



ISBN 974-644-135-3

รายงานการวิจัย

เรื่อง

แบบจำลองกระบวนการสร้างผลผลิตข้าวในภาคใต้

Yield Elaboration Model for Rice in Southern Thailand

RSC

เลขที่	SR19155	162	2544
Bib Key	221144		
.....			

โดย

นายรังสรรค์ อากาศพิภะกุล

ภาควิชาพืชศาสตร์

คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

“ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป ประจำปี 2538 จากสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ”

พฤษภาคม 2544

Abstract:

An understanding of the yield elaboration process and the stages of plant growth and development from seed germination until physiological maturity at harvesting is useful in the interpretation and analysis of limited-grain-yield problems. The interaction of plant-soil-climate with various cultural practices are important in defining a model to predict grain yield. The objectives of this research were to study the effects of nitrogen availability and planting methods on plant growth and development within the yield elaboration process, to analyse the patterns of each variable, and to define genetic coefficients and parameters for defining a yield elaboration model in the south climate.

A rice cultivar known as Chieng Phatthalung was used in the study. Pot and field experiments were conducted from September 1995 through February 1996 (the wet season). Two outdoor pot experiments were undertaken. The first studied the yield elaboration process with six N allocation rates: 0, 75, 125, 187.5, 250 and 312.5 kg N ha⁻¹ were applied in a randomized complete block design with three pots per treatment per replication for three replications. The second outdoor pot experiment examined apical development stages with four N application rates: 0, 75, 125 and 187.5 kg N ha⁻¹ (equivalent) were applied to 11 pots per treatment. An on-farm study examined the difference in the yield elaboration process between wet sown rice and transplanted rice. Plant density in wet-sown rice was about 400 plants m⁻², and the hill spacing in transplanted rice was approximately 16-20 hills m⁻². The number of plants hill⁻¹ and the hill spacing in each farmer's field varied according to individual practices. The rate of N application was 75 kg N ha⁻¹. The experimental design was also conducted as a randomized complete block by using each farmer's field as a block.

The results of the pot experiments showed that the beginning of tillering, the turning point of leaf appearance, panicle initiation, flag leaf stage, 50% flowering, and physiological maturity were found at about 220, 520, 1,200, 1,790, 2,015 and 2,520°Cd, equivalent to 11, 27, 62, 92, 103 and 129 days after sowing (DAS), respectively. The total number of leaves on the main stem was 15-16. The turning point of leaf appearance and panicle initiation coincided with the appearance of the 8-9th and 12-13th leaves, respectively. N showed positive effects in increased stem height, panicle length, number of primary rachis-branches, number of tillers, leaf components, total above-ground dry matter, yield and yield components, %N and N uptake. Not all results gave a positive correlation - the number of leaves culm⁻¹, specific leaf, leaf area ratio

and grain filling percentage were not significantly different between the treatments, and the weight of 1,000 grains and the harvest index were both higher in the non-N treated trials. Also, the N uptake at harvest decreased in the N trials, especially in the higher application trials. The observations of different planting methods showed that the growth and development stages of wet sown rice occurred earlier than in transplanted rice, probably due to transplant shock. Timing for the beginning of tillering, 50% flowering and physiological maturity were 410, 1,920, and 2,380^{°Cd}, or about 21, 99 and 122 DAS for wet sown rice and 760, 2,110 and 2,535^{°Cd} or about 39, 108 and 130 DAS for transplanted rice, respectively. However, the beginning of stem elongation for wet sown rice was later than that for transplanted rice at about 1,090 and 940^{°Cd} or about 56 and 48 DAS, respectively. Generally, a higher density in the number of plants and tillers for wet sown rice gave a higher leaf area and total above-ground dry matter before the 50% flowering stage. Analysis of yield components showed that wet sown rice had a higher number of panicles but a lower number of spikelets and number of grains than transplanted rice. Percentage of filled grains and the 1,000 grain weight were not different between the planting methods. Overall grain yield and harvest index were also low in wet sown rice. The %N at various stages was lower in wet sown rice, however the total N uptake at maturity was not significantly different between the methods. The wet sown rice did show a lower uptake in the grains. Non-linear equations and linear regression were used to show the patterns of growth and development.

บทคัดย่อ

ความเข้าใจกระบวนการสร้างผลผลิตพืชอย่างเป็นลำดับขั้นตอนของการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอกในช่วงเริ่มการเพาะปลูกจนถึงสิ้นสุดการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต จะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการอธิบายผลและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่าง ๆ ที่จำกัดระดับผลผลิตพืช ผลที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่างพืช-ดิน-ภูมิอากาศ และการเขตกรรมด้านต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนการเจริญเติบโตและพัฒนาการ จะมีความสำคัญในการกำหนดรูปแบบจำลองการประมาณค่าผลผลิตของพืช วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อ ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกที่มีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวพันธุ์เจี๊ยงพัทลุงที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างผลผลิต พร้อมทั้งศึกษาวิเคราะห์รูปแบบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบผลผลิต ตลอดจนการหาค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญสำหรับแบบจำลองการสร้างผลผลิตข้าวในสภาพภูมิอากาศของภาคใต้ การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองทั้งสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรช่วงฤดูนาปีระหว่างเดือนกันยายน 2538 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2539 การทดลองในกระถางมี 2 การทดลอง การทดลองแรกเป็นการศึกษากระบวนการสร้างผลผลิตของข้าว อัตรานิโตรเจนที่กำหนดมี 6 ระดับ คือ 0, 12, 20, 30, 40 และ 50 กก. ไนโตรเจนไร่⁻¹ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ มีจำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 3 กระถาง ทรีตเมนต์¹ การทดลองที่สองเป็นการศึกษาระยะพัฒนาการต่าง ๆ ของตายอด อัตรานิโตรเจนมี 4 ระดับ คือ 0, 12, 20 และ 30 กก. ไนโตรเจนไร่⁻¹ และทรีตเมนต์ไนโตรเจนแต่ละระดับมีจำนวน 11 กระถาง ส่วนการทดลองในแปลงนาเกษตรกรเป็นการศึกษาความแตกต่างกระบวนการสร้างผลผลิตของข้าวระหว่างวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมกับการปลูกแบบปักดำ ความหนาแน่นจำนวนต้นมีค่าโดยประมาณ 400 ต้น เมตร² และ 16-20 กอ เมตร² ตามลำดับ ระยะความห่างระหว่างกอจะขึ้นอยู่กับความเคยชินของเกษตรกรเจ้าของแปลง อัตรานิโตรเจนที่ใส่เท่ากับ 12 กก. ไนโตรเจนไร่⁻¹ การทดลองวางแผนแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยใช้แปลงนาเกษตรกรแต่ละรายที่มีวิธีการปลูกแต่ละแบบเป็นซ้ำ รวมจำนวน 6 ซ้ำ

ผลการทดลองในกระถางได้แสดงให้เห็นว่า ระยะเริ่มสร้างหน่อ จุดวกกลับของอัตรากาการปรากฏใบ ระยะเริ่มกำเนิดตาดอก ระยะใบธง ระยะดอกบาน 50% และระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยามีค่าโดยประมาณ 220, 520, 1,200, 1,790, 2,015 และ 2,520 °Cd หรือเท่ากับ 11, 27, 62, 92, 103 และ 129 วันหลังการหว่านเมล็ดข้าวงอก ตามลำดับ จำนวนใบต้นหลักมีใบทั้งหมดประมาณ 15-16 ใบ จุดวกกลับของอัตรากาการปรากฏใบ และการกำเนิดตาดอกจะเกิดขึ้นเมื่อต้นหลักมีใบประมาณ 8-9 ใบ และ 12-13 ใบ ตามลำดับ ไนโตรเจนมีผลเด่นชัดต่อการเพิ่มความสูงลำต้น ความยาวรวง จำนวนระแนปฐุมภูมิ จำนวนหน่อ องค์ประกอบพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งของพืชส่วนเหนือดิน ผลผลิต

และองค์ประกอบผลผลิต เปรอร์เซ็นต์และปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดิน ในกรณีของจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ ค่าพื้นที่ใบจำเพาะ อัตราส่วนพื้นที่ใบ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มไม่แสดงผลแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ ในทางตรงข้ามน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตของทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ไนโตรเจนจะมีค่ามากกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ไนโตรเจน นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินจะมีค่าลดลงในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตตามอัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น สำหรับความแตกต่างระหว่างแบบวิธีการปลูกพบว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตามที่ไม่มีการถอนกล้าจะมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ระยะต่าง ๆ ได้เร็วกว่าการปลูกแบบปักดำ โดยระยะเริ่มสร้างหน่อ ระยะดอกบาน 50% และระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของการปลูกแบบหว่านน้ำตามมีค่าประมาณ 410, 1,920 และ 2,380 °Cd หรือเท่ากับ 21, 99 และ 122 วันหลังการหว่านเมล็ดข้าววงอก ส่วนการปลูกแบบปักดำมีค่าเท่ากับ 760, 2,110 และ 2,535 °Cd หรือเท่ากับ 39, 108 และ 130 วันหลังการหว่านเมล็ดข้าววงอก ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระยะเริ่มยึดลำต้นของการปลูกแบบหว่านน้ำตามจะช้ากว่าการปลูกแบบปักดำซึ่งมีค่าโดยประมาณ 1,090 และ 940 °Cd หรือเท่ากับ 56 และ 48 วันหลังการหว่านเมล็ดข้าววงอก ตามลำดับ สภาพทั่วไปของการปลูกแบบหว่านน้ำตามซึ่งมีจำนวนต้นและหน่อที่หนาแน่นกว่า จะมีผลทำให้พื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินในช่วงก่อนระยะดอกบาน 50% มีค่ามากกว่า ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลผลิตได้แสดงให้เห็นว่าการปลูกแบบหว่านน้ำตามมีจำนวนรวงมากกว่า แต่มีจำนวนดอกและจำนวนเมล็ดน้อยกว่า ส่วนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ไม่แสดงความแตกต่างระหว่างแบบวิธีการปลูกทั้งสอง ระดับผลผลิตและดัชนีเก็บเกี่ยวของการปลูกแบบหว่านน้ำตามจะมีค่าต่ำกว่าด้วย ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามทุก ๆ ช่วงระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการ จะมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำทุกแต่ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างวิธีการปลูกทั้งสองไม่แสดงผลความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการปลูกแบบหว่านน้ำตามจะมีปริมาณไนโตรเจนในส่วนของเมล็ดน้อยกว่า รูปแบบต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและพัฒนาการในแต่ละลักษณะของข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้าววงอกและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ระหว่างตัวแปร 2 ลักษณะที่เกี่ยวข้องได้แสดงในรูปสมการรีเกรสชันและสมการไม่เชิงเส้น

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
สารบัญเรื่อง	vi
สารบัญตาราง	ix
สารบัญภาพ	xi
คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย	xiv
บทนำ	1
วิธีการดำเนินการวิจัย	6
ลักษณะงานที่ศึกษาและสถานที่ทดลอง	6
พันธุ์ข้าวที่ศึกษา	6
ลักษณะต่าง ๆ ของคุณสมบัติดิน	7
การเตรียมดินของการทดลองในกระถาง	7
วิธีการปลูก การเขตกรรม และแผนงานทดลอง	7
การเก็บตัวอย่างพืชและการบันทึกข้อมูล	9
อายุการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช	15
ปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์	16
การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด	17
การก่อเกิดผลผลิต	18
การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณค่าพารามิเตอร์	19
ผลการวิจัย	20
สภาพภูมิอากาศในช่วงการทดลอง	20
อายุพืชที่ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและพัฒนาการ	22
การปรากฏใบ	23
การยืดลำต้น	25

	หน้า
พัฒนาการของตาดอก	28
จำนวนต้น	32
จำนวนหน่อ	37
พื้นที่ใบและองค์ประกอบพื้นที่ใบ	41
น้ำหนักแห้งพืชส่วนเหนือดิน	52
พื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบ	59
การประมาณค่าพื้นที่ใบ	66
ปริมาณการดูดกลืนรังสีแสงสังเคราะห์	68
การเจริญเติบโตของเมล็ด	72
ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต	76
ดัชนีการเก็บเกี่ยว	84
ปริมาณไนโตรเจนในส่วนพืช	92
วิจารณ์ผล	99
สภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว	99
การเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นหลัก	101
ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสม น้ำหนักแห้ง	104
พื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบ	110
ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้ง	111
ประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์	112
รูปแบบและลักษณะการเจริญเติบโตของเมล็ด	114
การวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต	118
การก่อกำเนิดและการแปรผันของดัชนีการเก็บเกี่ยว	120
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดิน	124
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	129
เอกสารอ้างอิง	133
ภาคผนวก	149
Appendix A. Soil properties	149
Appendix B. Soil texture	151

	หน้า
Appendix C. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ at sowing and harvesting	152
Appendix D. Previous crop and cultural practices within farmer's field (1995-96 wet season)	153
Appendix E. Responses of morphological and physiological traits to nitrogen application rates for pot experiment	154
แบบประวัตินักวิจัย	158

สารบัญตาราง

(List of Tables)

	Page
Table 1. Climatic conditions during the growing season 1995-96.	20
Table 2. Accumulated thermal time after sowing ($^{\circ}\text{Cd}$) at various growth stages for pot experiment and field experiment.	22
Table 3. Number of leaves on main stem at various growth stages for pot experiment.	25
Table 4. Number of leaves on the main stem as a function of thermal time in $^{\circ}\text{Cd}$ after sowing, phyllochron and the coefficient of determination (r^2) for treatment nitrogens in pot experiment at various growth stages.	26
Table 5. Developmental stages of the apical at the main shoot following Matsushima's classification for the four nitrogen treatments during the stem elongation stage.	29
Table 6. Culm height, panicle length and number of primary rachis-branches of the main shoot at harvest for the four N application rates.	32
Table 7. Number of culms pot^{-1} for pot experiment and number of culms m^{-2} for field experiment at various growth stages.	35
Table 8. Number of tillers plant^{-1} at various growth stages for pot experiment and field experiment.	42
Table 9. Correlation matrix of leaf area components for pot experiment and field experiment.	43
Table 10. Leaf area in $\text{cm}^2 \text{pot}^{-1}$ for pot experiment and leaf area in $\text{cm}^2 \text{m}^{-2}$ for field experiment at various growth stages.	45
Table 11. Number of leaves pot^{-1} for pot experiment and number of leaves m^{-2} for field experiment at various growth stages.	48
Table 12. Number of leaves culm^{-1} at various growth stages for pot experiment and field experiment.	49
Table 13. Leaf size in $\text{cm}^2 \text{leaf}^{-1}$ at various growth stages for pot experiment and field experiment.	51

	Page
Table 14. Leaf dry weight at various growth stages in g pot^{-1} for pot experiment and in g m^{-2} for field experiment.	53
Table 15. Stem dry weight at various growth stages in g pot^{-1} for pot experiment and in g m^{-2} for field experiment.	54
Table 16. Above-ground dry matter at various growth stages in g pot^{-1} for pot experiment and in g m^{-2} for field experiment.	59
Table 17. Specific leaf area at various growth stages for pot experiment and field experiment.	61
Table 18. Leaf area ratio at various growth stages for pot experiment and field experiment.	62
Table 19. Estimation of final grain weight, maximum rate of grain filling and duration in accumulated thermal time from anthesis to 0.95 of final grain weight for pot experiment and field experiment.	75
Table 20. Yield and yield components for pot experiment and field experiment.	78
Table 21. Correlation matrix of yield and yield components for pot experiment and field experiment.	80
Table 22. Percentage of nitrogen in dry matter (%N) and nitrogen uptake (N_{UP} ; g N pot^{-1} or g N m^{-2}) at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the growing season 1995-96.	94

สารบัญภาพ

(List of Illustrations)

	Page
Fig. 1. Amount of rainfall, mean air temperature and sunshine duration at SongKhla and Phatthalung from September 1995 to February 1996.	21
Fig. 2. Relationship between number of leaves on main stem and thermal time after sowing for pot experiment.	24
Fig. 3. Relationship between stem height (culm+apex) of main stem and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	27
Fig. 4. Relationship between panicle length and apical development stages for treatment N0, N1, N2 and N3 in pot experiment.	29
Fig. 5. Relationship between panicle length and thermal time after sowing for treatment N0, N1, N2 and N3 in pot experiment.	30
Fig. 6. Relationship between Huan leaf number during stem elongation and thermal time after sowing for treatment N0, N1, N2 and N3 in pot experiment.	31
Fig. 7. Relationship between number of plants m^{-2} and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	33
Fig. 8. Relationship between number of culms m^{-2} and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	36
Fig. 9. Relationship between number of tillers m^{-2} and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	38
Fig. 10. Relationship between number of tillers plant ⁻¹ and thermal time after sowing for pot experiment and field experiment.	40
Fig. 11. Relationship between leaf area and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice transplanted rice.	46
Fig. 12. Relationship between number of leaves culm ⁻¹ and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	50
Fig. 13. Relationship between leaf size and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	52

	Page
Fig. 14. Relationship between leaf dry weight and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	56
Fig. 15. Relationship between stem dry weight and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	57
Fig. 16. Relationship between total above-ground dry matter and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	60
Fig. 17. Relationship between specific leaf area and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	64
Fig. 18. Relationship between leaf area ratio and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	65
Fig. 19. Relationships between leaf area and leaf dry weight and total above-ground dry matter at stem elongation and 50% flowering stages for pot experiment.	67
Fig. 20. Relationship between leaf area and leaf dry weight for field experiment of wet sown rice and (b) transplanted rice.	69
Fig. 21. Relationship between leaf area and total above-ground dry matter for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	70
Fig. 22. Relationship between total above-ground dry matter and accumulative absorbed photosynthetically active radiation (PAR _a) for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	71
Fig. 23. Relationship between mean grain weight and thermal time from anthesis for pot experiment and field experiment.	73
Fig. 24. Relationship between maximum rate of grain filling and duration of grain filling with 95% confidence intervals for pot experiment and field experiment.	76
Fig. 25. Relationship between grains moisture content and thermal time after sowing for pot experiment and field experiment.	77
Fig. 26. Relationship between grain yield and number of grains area ⁻¹ for pot experiment and field experiment.	82
Fig. 27. Relationship between grain yield and weight of 1,000 grains for pot experiment and field experiment.	83

	Page
Fig. 28. Relationship between weight of 1,000 grains and number of grains area for pot experiment and field experiment.	85
Fig. 29. Relationship between harvest index during the grain filling period and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice.	86
Fig. 30. Relationship between harvest index and grain yield for pot experiment and field experiment.	89
Fig. 31. Relationship between harvest index and total above-ground dry matter for pot experiment and field experiment.	90
Fig. 32. Relationship between grain yield and total above-ground dry matter for pot experiment and field experiment.	91
Fig. 33. Comparison of predicted and observed grain yield for (a) pot experiment and (b) field experiment.	93
Fig. 34. Relationship between percentage of nitrogen in dry matter and total above-ground dry matter for field experiment.	96
Fig. 35. Relationship between nitrogen uptake and total above-ground dry matter at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment.	97

คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย

(List of Abbreviations and symbols used)

CDTT	=accumulated daily thermal time
$^{\circ}\text{Cd}$	=degree celsius days
EXP	=exponential
D	=duration of grain filling
DGW	=dry grain weight
F	=50% flowering stage
FGW	=fresh grain weight
FLO	=flowering stage
%FG	=percentage of filled grains
GW	=grain weight
GY	=grain yield
H	=harvesting stage
HI	=harvest index
K	=extinction coefficient
L	=leaf area index
LA	=leaf area
LAR	=leaf area ratio
LDW	=leaf dry weight
L_n	=length of the youngest leaf blade above the collar of the subtending leaf
L_{n-1}	=length of the blade of the penultimate leaf
LPA	=length of panicle
LSIZE	=leaf size
M2	=square meter (m^2)
MC	=grain moisture content
N	=nitrogen application rate; maximum possible sunshine
%N	=percentage of nitrogen
N_{UP}	=nitrogen uptake
NBG	=number of non-fertilized grains

NC	=number of culms
NG	=number of grains
NL	=number of leaves
NLC	=number of leaves culm ⁻¹
NP	=number of plants
NPA	=number of panicles
NSPIK	=number of spikelets
NT	=number of tillers
%N	=percentage of nitrogen absorbed on weight basis
O_i	=the i th observed value
P_i	=the i th predicted value
PAR	=photosynthetically active radiation
PAR_a	=absorbed PAR
PAR_i	=incident PAR
PCF	=panicle conversion factor
PI	=panicle initiation stage
PMC	=pollen mother cell
PPI	=physiological panicle initiation
PW	=panicle weight
R	=maximum rate of grain filling
R^2	=coefficient of determination for non-linear regression
RMSD	=root mean square deviation
RUE	=radiation use efficiency
SE	=stem elongation stage
SLA	=specific leaf area
SDW	=stem dry weight
STH	=stem height (culm+apex)
STPA	=stage of panicle
T_{base}	=base temperature for plant growth
TDM	=total above-ground dry matter
T_{max}	=maximum temperature

T_{\min}	=minimum temperature
TP	=turning point
TPR	=transplanted rice
VPI	=visual panicle initiation
W1000G	=weight of 1,000 grains
W1G	=weight of one grain
W1GB	=weight of one non-fertilized grain
WBG	=weight of non-fertilized grains
WSR	=wet sown rice
a	=constant
b	=constant
c	=constant
n	=actual duration of bright sunshine; number of samples; total number of visible leaves on the main stem
r	=coefficient of correlation
r^2	=coefficient of determination for linear regression
Σ	=sum of
s_i	=efficiency of intercepted radiation
>	=greater than
\geq	=greater than or equal to
<	=less than
\leq	=less than or equal to

บทนำ

แหล่งปลูกข้าวของภาคใต้โดยส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ตามพื้นที่ราบลุ่มรอบ ๆ ทะเลสาบสงขลาในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา พื้นที่นาในส่วนนี้ประมาณว่ามีบริเวณมากกว่า 65% ของพื้นที่ทำนาทั้งหมด แม้ว่าสภาพภูมิอากาศของภาคใต้จะเอื้ออำนวยต่อการทำนาปีละสองครั้ง กล่าวคือ อุณหภูมิอากาศค่อนข้างคงที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 25-29°C แสงแดดจ้าและฝนตกตลอดปี ปริมาณฝนรายปีรวมเฉลี่ยมากกว่า 1,600 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามโดยสภาพที่เป็นจริงแล้ว การทำนาในภาคใต้จะถูกกำหนดโดยการกระจายและปริมาณฝนที่ตกหนักมาก ทำให้เกิดสภาพน้ำท่วมขังพื้นที่จนได้รับความเสียหายในช่วงฤดูนาปี ตรงกันข้ามมักจะเกิดภัยแล้งและข้าวขาดน้ำในช่วงฤดูนาปรัง ปริมาณข้าวเปลือกของภูมิภาคที่ผลิตได้มากที่สุดในช่วงฤดูนาปีที่พื้นที่นาทั้งหมดถูกใช้เพื่อการปลูกข้าว มีผลผลิตค่อนข้างต่ำโดยเฉลี่ยประมาณไร่ละ 35 ถึง (Apakupakul, 1991) ข้อมูลผลผลิตข้าวเปลือกที่รายงานโดยกองเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510-2537 ได้แสดงให้เห็นว่า ผลผลิตข้าวเปลือกของภาคใต้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ทั้ง ๆ ที่ในขณะปัจจุบันมีการค้นคว้าหาข้าวพันธุ์ดีให้เกษตรกรปลูกทดแทนข้าวพันธุ์เก่าพื้นเมือง ส่งเสริมให้มีการบำรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน แนะนำสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมต่อพื้นที่สำหรับการตอบสนองของข้าวแต่ละพันธุ์ รวมทั้งเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรกรรมหลักที่จำเป็นและสำคัญในการผลิตข้าว

ปัจจัยจำกัดที่สำคัญ ๆ ของการผลิตข้าวในภาคใต้ ได้พยายามศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์ปัญหา โดยกลุ่มนักวิจัยของโครงการระบบการทำฟาร์มไทย-ฝรั่งเศส คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2525 จนถึง ปี พ.ศ. 2533 และได้สรุปสาเหตุของปัจจัยจำกัดการผลิตข้าวออกเป็น 2 ประเด็นสำคัญ กล่าวคือ ประเด็นแรก ผลผลิตข้าวต่ำที่ได้รับในแต่ละปีไม่เพียงแต่เกิดขึ้นเฉพาะปัญหาดินขาดความอุดมสมบูรณ์เท่านั้น สภาพน้ำท่วมขังในช่วงฤดูนาปีจะเป็นสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบผลผลิตของข้าวด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพน้ำท่วมขังที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำได้ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตขณะที่เป็นระยะต้นกล้าจนถึงระยะแตกกอสูงสุด ซึ่งระยะการเจริญเติบโตในช่วงดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นระหว่างประมาณปลายเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ลักษณะการตกของฝนในภาคใต้ที่มีปริมาณฝนตกชุกมากระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ประกอบกับมีอิทธิพลจากน้ำทะเลหนุนในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้สภาพพื้นที่เกือบทั้งหมดในส่วนที่ลุ่มสุดของพื้นที่บริเวณนี้เกิดสภาพน้ำท่วมขังยืดยาวออกไปจนถึงช่วงกำเนิดตาดอก และบางที่อาจจะยืดเยื้อเลยไปถึงระยะดอกบานในปีที่มีปริมาณฝนมากกว่าปกติ ประเด็นที่สอง ลำดับขั้นตอนทางเทคนิคของการเกษตร (itinerary of techniques) ที่มีความแตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ในส่วนที่

เกี่ยวกับแบบวิธีการปลูก การเตรียมพื้นที่ปลูก ปริมาณและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช ชนิดของพันธุ์พืชที่นิยมปลูกในพื้นที่ ตลอดจนการตัดสินใจหรือการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมของเกษตรกร จะมีผลทำให้กระบวนการสร้างผลผลิตของพืชในแต่ละแห่งมีความแตกต่างกัน (Sebillotte, 1978)

ผลงานของนักวิจัยกลุ่มนี้ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ออกมามากมาย (Crozat et al., 1985a; 1985b; Crozat and Chitapong, 1986; Crozat et al., 1986; Apakupakul, et al., 1986; Le Gouis and Apakupakul, 1990; Trebuil, 1986; etc.) ซึ่งจากการศึกษาวิเคราะห์พื้นที่และปัจจัยจำกัดต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการสร้างผลผลิตของข้าวที่ปลูกในสภาพจริงบนพื้นที่นาเขตการเกษตรอาศัยน้ำฝนของเกษตรกรบริเวณอำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา และอำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง พบปัญหาว่า แปลงนาเกษตรกรในช่วงฤดูการทำนาปีมักเกิดสภาพน้ำท่วมขังโดยเฉลี่ยมีระดับน้ำสูงกว่า 30-50 เซนติเมตร ปัจจัยที่ได้ศึกษาผ่านมาแล้วประกอบด้วย จำนวนครั้งของการไถที่มีผลต่อขนาดก้อนดินและโครงสร้างดิน ปริมาณและระยะเวลาการใส่ปุ๋ยในโตรเจน ชนิดของพืชตระกูลถั่วที่สามารถตรึงไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วม ปริมาณของวัชพืช แบบวิธีการปลูกที่สะดวกต่อการกำจัดข้าวผี และอื่น ๆ ผลงานเหล่านี้ให้แต่เพียงแนวความคิดของกลไกที่เกี่ยวกับการสร้างผลผลิตข้าวอย่างกว้าง ๆ แต่ยังขาดความรู้พื้นฐานและการจัดรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ อีกมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะรูปแบบต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและพัฒนาการตามขั้นตอนการกระบวนการสร้างผลผลิตข้าว ที่เริ่มตั้งแต่ระยะการงอกของเมล็ดเป็นต้นกล้าจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ประกอบกับในขณะปัจจุบันกำลังประสบกับปัญหาเศรษฐกิจและอัตราค่าแรงงานเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับตามสภาพการครองชีพ ส่งผลให้เกษตรกรลดพื้นที่การทำนาแบบปักดำ และหันมาให้ความสำคัญกับการปลูกแบบหว่านน้ำตมมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะการทำนาแบบหว่านน้ำตมใช้แรงงานน้อย ลดขั้นตอนการปฏิบัติงาน ต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้น (Schnier et al., 1990a) ซึ่งผลกระทบที่ตามมาก็คือ ผลงานต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาในกรณีการทำนาแบบปักดำไม่สามารถนำมาประยุกต์ได้กับสภาพการปลูกข้าวในสถานการณ์ปัจจุบัน อย่างไรก็ตามเทคนิคของการศึกษาให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงกลไกต่าง ๆ ด้วยการติดตามผลอย่างละเอียดในขั้นตอนต่าง ๆ อย่างเป็นลำดับตลอดช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการในกระบวนการสร้างผลผลิตของพืชที่มีระบบการปลูกแต่ละแบบเปรียบเสมือนเครื่องมือที่มีความสำคัญมากต่อการอธิบายผล ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพปกติ ขั้นตอนของพืชที่เกิดขึ้นตามมามากมายหลังขั้นตอนนั้น ๆ จนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้ายของการสร้างผลผลิตจะถูกกระทบตามไปด้วย รูปแบบการเปลี่ยนแปลงและข้อมูลทั่ววิเคราะห์หรือรวบรวมได้ในแต่ละขั้นตอน สามารถนำมากำหนดการสร้างแบบจำลอง

และเป็นแนวทางที่มีประโยชน์เพื่อการวิจัยปัจจัยจำกัดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่าง ๆ ของการสร้างผลผลิตพืชแต่ละชนิดได้เป็นอย่างดี (รังสรรค์ อากาศภะกุล, 2536)

แบบจำลองพืชแต่ละชนิดที่สร้างขึ้นจะมีประโยชน์เพื่อการอธิบายผลที่ได้จากการทดลอง และเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวิจัยหรือวางแผนการปลูกพืช (Whisler et al., 1986) โดยทั่วไปแบบจำลองพืชสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แบบจำลองเอมพิริคัล (empirical model) และแบบจำลองกล (mechanistic model) แบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันตรงที่ว่าแบบจำลองเอมพิริคัลจะที่ใช้สมการอย่างง่าย ๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการประมาณค่า ส่วนแบบจำลองกลจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลในแต่ละขั้นตอนของการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และรูปแบบสมการจะมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่ามาก อย่างไรก็ตามแบบจำลองกลได้เป็นที่ยอมรับว่ามีความถูกต้องตรงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด และให้ค่าทำนายได้ถูกต้องแม่นยำที่ดีกว่าด้วย ในขณะปัจจุบันนี้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปจะเป็นแบบจำลองกล ยกตัวอย่างเช่น ARCWHEAT (Weir et al., 1984), BEANGROW (Hoogenboom et al., 1994), CERES (Ritchie and Otter, 1984; Jones and Kiniry, 1986; Ritchie et al., 1986; Birch et al., 1990; etc.), EPIC (Williams et al., 1984), GUMCAS (Matthew and Hunt, 1994), LINTUL-BRASNAP (Hobekotte, 1997), QSUN (Chapman et al., 1985), SORGF (Maas and Arkin, 1980), SOYGROW (Wilkerson et al., 1983; Jones et al., 1984) และอื่น ๆ อีกมากกว่า 20 รูปแบบ ผังงานแบบจำลองพืชที่มีแผนภูมิอย่างง่าย ๆ (Sinclair, 1986; Muchow et al., 1990; Amir and Sinclair, 1991a, b; Sinclair and Amir, 1992) หรือผังงานที่แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ทุกขั้นตอนอย่างชัดเจนและมีความสลับซับซ้อนมากขึ้น (O'Leary et al., 1985; Graf et al., 1990a, b, 1991; Aggarwal et al., 1994) ได้คำนึงถึงความสัมพันธ์ที่มีต่อกันระหว่างพืช-ดิน-ภูมิอากาศเป็นพื้นฐาน โดยให้ความสำคัญกับปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการตลอดช่วงอายุของพืช ประกอบด้วย อัตราการคายระเหยน้ำของพืช ปริมาณไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชมักจะแสดงอาการขาดแคลนให้เห็นอยู่เสมอ สภาพลมฟ้าอากาศในแต่ละวันที่เกี่ยวข้องกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ และปริมาณฝน เมื่อพิจารณาผังงานแบบจำลองพืชอย่างง่ายดังที่ยกตัวอย่างมานั้น ขั้นตอนต่าง ๆ ที่แสดงจะเกี่ยวข้องกับลำดับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช การสร้างจำนวนใบที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ การสร้างมวลชีวภาพที่ขึ้นอยู่กับ การดูดกลืนรังสีแสงสังเคราะห์ และการสะสมน้ำหนักรวมของเมล็ดที่ถูกควบคุมโดยช่วงเวลาและอุณหภูมิ ลักษณะของแผนภูมิที่กล่าวมานี้จะเหมือนกับลำดับขั้นตอนของการศึกษากระบวนการสร้างผลผลิตของพืชนั่นเอง (รังสรรค์ อากาศภะกุล, 2536; Sebillotte, 1978; Boiffin et al., 1981; Sebillotte, 1989)

แนวความคิดของการวิเคราะห์กระบวนการสร้างผลผลิตพืชที่เสนอโดย Sebillotte (1980) มีจุดมุ่งหมายสำคัญเพื่อการวินิจฉัยปัญหาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ของโครงสร้างดิน ปริมาณน้ำและธาตุอาหาร รวมทั้งสมการพหุนามอากาศ ที่มีอิทธิพลต่อการสร้างผลผลิตของพืช และเพื่อวางแผนที่กำหนดการให้คำแนะนำสำหรับการจัดการพืชให้มีการผลผลิตที่ดีขึ้น การวิเคราะห์ผลในแนวความคิดดังกล่าวนี้ได้มีการศึกษาไว้แล้วอย่างละเอียดในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี (Masle-Meynard, 1980; Meynard, 1985) ข้าว (Pigeaire, 1980; Durr, 1984; Apakupakul, 1991) ข้าวบาเลย์ (Gbongue, 1985) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Navarro-Garza, 1984) ถั่วเหลือง (Pigeaire, 1984) ผลที่ได้จากการศึกษาในพืชเหล่านี้พยายามจะหาเหตุผลอธิบายว่า ปัจจัยใดเป็นปัจจัยจำกัดต่อการสร้างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ปัจจัยการผลิตนั้น ๆ มีผลอย่างไรและได้เกิดขึ้นในขั้นตอนใดของช่วงอายุพืช ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์กระบวนการสร้างผลผลิตจำเป็นต้องศึกษาและติดตามผลอย่างละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ตั้งแต่ขั้นตอนแรกเมื่อเริ่มต้นการปลูกพืชจนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้ายในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต

เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตของพืชใด ๆ จะพบว่าผลผลิตของพืชนั้น ๆ มีความแปรผันกับผลรวมขององค์ประกอบผลผลิตที่เกี่ยวข้องกับจำนวนต้น จำนวนหน่อ จำนวนรวง จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด ช่วงเวลาของการสร้างองค์ประกอบผลผลิตดังกล่าวนี้ อาจจำแนกอย่างกว้างๆ ออกได้เป็น 2 ระยะ กล่าวคือ ระยะแรกจะเป็นการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น การสร้างหน่อและการเพิ่มจำนวนใบ ที่มีความสำคัญต่อการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์เพื่อการสังเคราะห์แสงและการสร้างสมน้ำหนักรวม ส่วนระยะหลังที่เริ่มจากดอกบานจนถึงการสุกแก่ทางสรีรวิทยาจะเป็นช่วงเวลาสำหรับการสร้างจำนวนเมล็ดและการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของเมล็ด ในกรณีของข้าวนั้นแม้ว่าผลงานของ Matsushima (1975) จะได้ศึกษาถึงการก่อเกิดองค์ประกอบผลผลิตแต่ละลักษณะพร้อมกับวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตได้อย่างละเอียดในทุกขั้นตอน และผลงานทดลองในลำดับต่อมา (Pigeaire, 1980; Durr, 1984; Apakupakul, 1991) ที่ศึกษากระบวนการสร้างผลผลิตของข้าวนั้น ผลการวิจัยเหล่านี้ได้เสนอรูปแบบของความสัมพันธ์เพียงบางลักษณะ และยังขาดรูปแบบของสมการหรือฟังก์ชันต่าง ๆ ที่สำคัญอีกมากในแต่ละขั้นตอนการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ที่มีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์เพื่อกำหนดแบบจำลองกระบวนการสร้างผลผลิตของข้าว ขณะเดียวกันค่าพารามิเตอร์ที่รวบรวมได้จากผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีผู้เสนอไว้แล้วยังไม่เหมาะสมและมีความคาดเคลื่อนสูงสำหรับการทำนายค่าผลผลิตของข้าวในพื้นที่ที่ศึกษา ดังนั้นการศึกษาทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ:

- (1) ศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ของไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกที่มีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวพันธุ์เขียวพัทลุงที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างผลผลิต
- (2) วิเคราะห์รูปแบบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบผลผลิต และ

(3) การหาค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญสำหรับแบบจำลองการสร้างผลผลิตข้าวในสภาพภูมิอากาศของภาคใต้

ในการทดลองครั้งนี้คาดว่าประโยชน์ที่จะได้รับจากผลงานวิจัย คือ

(1) เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการวินิจฉัยปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวนาหว่านน้ำตมและนาปักดำในสภาพภูมิอากาศช่วงฤดูการทำนาปีของภาคใต้

(2) สามารถเข้าใจถึงระยะเวลาการก่อเกิดและพัฒนาการขององค์ประกอบผลผลิต และการอธิบายผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลทำให้องค์ประกอบผลผลิตแต่ละลักษณะเกิดความผิดปกติไปจากสภาพปกติ เมื่อปัจจัยนั้น ๆ มีไม่เพียงพอต่อความต้องการที่ขั้นตอนใดในช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว

(3) ข้อมูลของการวิจัยมีความสำคัญต่อการให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่เกษตรกร และสามารถนำมาวางแผนสำหรับการปรับกลยุทธ์เพื่อการผลิตข้าวให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่และตามความต้องการสำหรับการบริโภคของประชากรในภาคใต้

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการ สำหรับการสร้างแบบจำลองกระบวนการสร้างผลผลิตข้าวในภาคใต้ได้กระทำในช่วงฤดูนาปี โดยเริ่มปลูกข้าวเมื่อเดือนกันยายน 2538 และสิ้นสุดการเก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ 2539 ลักษณะงานทดลองครั้งนี้มีการศึกษาติดตามผลอย่างใกล้ชิดทั้งแบบการปลูกในกระถางและในสภาพแวดล้อมที่เป็นจริงบนพื้นที่นาของเกษตรกร ดังมีรายละเอียดสำคัญ ๆ ประกอบด้วย

ลักษณะงานที่ศึกษาและสถานที่ทดลอง

1. การทดลองในกระถาง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ประกอบและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองในแปลงนาเกษตรกร ลักษณะการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 งานทดลองย่อย กล่าวคือ

การทดลองที่ 1.1 อิทธิพลของปริมาณไนโตรเจนที่มีผลต่อกระบวนการสร้างผลผลิตของข้าว

การทดลองที่ 1.2 การพัฒนาตายอดและการเจริญเติบโตของลำต้นเมื่อได้รับปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

งานทดลองดังกล่าวนี้มีสภาพการปลูกคล้าย ๆ กับการหว่านน้ำตม โดยใช้สถานที่ทดลองของ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูด $07^{\circ} 01'$ เหนือ และลองจิจูด $100^{\circ} 30'$ ตะวันออก

2. การทดลองในแปลงนาเกษตรกร ลักษณะงานทดลองเป็นการเปรียบเทียบกระบวนการสร้างผลผลิตของข้าวที่มีวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ โดยเกษตรกรเจ้าของพื้นที่จะเป็นผู้รับผิดชอบงานทางเกษตรกรรมหลักสำคัญ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำนา แปลงนาของเกษตรกรในส่วนนี้จะกระจายอยู่ตามแหล่งต่าง ๆ ภายในเขตอำเภอเมืองพัทลุง และอำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง หรือประมาณละติจูดที่ $07^{\circ} 35'$ เหนือ และลองจิจูด $100^{\circ} 30'$ ตะวันออก

พันธุ์ข้าวที่ศึกษา

ข้าวปลูกของการทดลองเป็นข้าวพันธุ์เชิงพัทลุงจากการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีของศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงและผ่านการรับรองพันธุ์ขึ้นทะเบียนตามประกาศกรมวิชาการเกษตร นิรนาม (2539) ได้รายงานว่ ลักษณะทั่วไปของข้าวพันธุ์นี้ไวต่อช่วงแสง ลำต้นสูงประมาณ 150 เซนติเมตร สีใบเขียว ใบธงแผ่เป็นแวนนอน รวงยาวปานกลาง ไร่แก่ค่อนข้างดี คอรวงยาว การ

ร่วงของเมล็ดปานกลาง เมล็ดยาวเรียวมีเปลือกสีฟาง ขนาดยาว 9.8 มิลลิเมตร กว้าง 2.5 มิลลิเมตร และหนา 1.8 มิลลิเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ดเฉลี่ย 23.1 กรัม ข้าวกล้องสีขาว มีขนาดยาว 6.7 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตร และหนา 1.8 มิลลิเมตร มีท้องไขปานกลาง ข้าวสุกร่วนแข็งและไม่หอม ปริมาณอมิโลส 2.83% ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 1 สัปดาห์ ผลตอบสนองต่อไนโตรเจนสูงสุดเมื่อใส่ในอัตรา 9 กิโลกรัม ไร่¹ ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี อายุเก็บเกี่ยวมากกว่าข้าวพื้นเมืองพันธุ์ส่งเสริมและพันธุ์รับรองที่มีอยู่เดิม โดยเก็บเกี่ยวได้ในเดือนมกราคม ผลผลิตสูงสุดเฉลี่ย 470 กิโลกรัม ไร่¹ แต่มีความอ่อนแอต่อโรคไหม้ในระยะกล้า

ลักษณะต่าง ๆ ของคุณสมบัติดิน

คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีดินของการทดลองได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกลางของคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยการทดลองในกระถางได้นำดินชุดบางนราจากแปลงนาเกษตรกรในอำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง มาผึ่งลมให้แห้งแล้วจึงทำการย่อยดินให้ละเอียด หลังจากนั้นได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินเพียงครั้งเดียวก่อนการบรรจุดินลงในกระถาง ส่วนในแปลงเกษตรกรแต่ละรายจะมีการเก็บตัวอย่างดิน 3 ครั้ง โดยเริ่มเก็บตัวอย่างดินครั้งแรกในช่วงก่อนการเตรียมแปลงปลูก ต่อมาในครั้งที่สองจะเก็บตัวอย่างดินก่อนการใส่ปุ๋ยรองพื้น และครั้งสุดท้ายจะเก็บตัวอย่างดินภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ผลการวิเคราะห์ลักษณะต่าง ๆ ของคุณสมบัติดินที่กล่าวมานี้ ได้แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ไว้ใน Appendix A, B and C

การเตรียมดินของการทดลองในกระถาง

ดินที่นำมาจากแปลงเกษตรกรที่ผ่านการผึ่งลมให้แห้งและย่อยละเอียดดินแล้วของการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 จะแบ่งใส่บรรจุลงในกระถาง ๆ ละ 18 กิโลกรัม กระถางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 เซนติเมตร และมีความลึก 40 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะใส่น้ำขังไว้ 1 สัปดาห์ เพื่อให้ดินอืดตัวและพร้อมที่จะคลุกเคล้าดินให้มีสภาพเป็นโคลนก่อนการปลูก 1 วัน ซึ่งในวันที่จะปลูกนั้นจะต้องไม่มีน้ำขังอยู่บนผิวน้ำดินเช่นเดียวกับการปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไปสำหรับการเตรียมแปลงหว่านน้ำตมของเกษตรกร

วิธีการปลูก การเขตรกรรมและแผนงานทดลอง

แบบวิธีการปลูกข้าวในกระถางทั้ง 2 การทดลอง มีลักษณะการปลูกคล้าย ๆ กับการหว่านน้ำตม เมล็ดข้าวที่ใช้ปลูกได้ผ่านการแช่น้ำมาแล้ว 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะนำไปหุ้มให้เมล็ดงอกอีก 48 ชั่วโมง เมล็ดที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวนี้จะนำไปหยอดบนผิวน้ำดิน เมื่อวันที่

11 กันยายน 2538 โดยหยอดกระถางละ 60-70 เมล็ด และถอนแยกให้เหลือเฉพาะต้นที่สมบูรณ์ กระถางละ 40 ต้น (โดยให้มีจำนวนต้นใกล้เคียงกับสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตามในแปลงนาเกษตรกร) เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2538 ซึ่งวันที่ถอนแยกนี้ต้นหลักจะมีใบประมาณ 6 ใบ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะแบ่งใส่ 2 ครั้ง ๆ ละเท่า ๆ กัน โดยใส่รองพื้นครั้งแรกในวันเดียวกับการถอนแยก ด้วยปุ๋ยผสมสูตร 16-20-0 และใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในครั้งที่สองที่ระยะยืดลำต้นเมื่อ 23 พฤศจิกายน 2538 ด้วยปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปริมาณไนโตรเจนของการทดลองที่ 1.1 มีจำนวน 6 ระดับ ประกอบด้วย 0, 12, 20, 30, 40 และ 50 กิโลกรัม ไนโตรเจน ไร่⁻¹ ของทรีตเมนต์ N0, N1, N2, N3, N4 และ N5 ตามลำดับ แผนการทดลองเป็นแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ทรีตเมนต์ละ 3 กระถาง ซ้ำ¹ รวมจำนวน 3 ซ้ำ ส่วนปริมาณไนโตรเจนของการทดลองที่ 1.2 มีจำนวน 4 ระดับ ประกอบด้วย 0, 12, 20 และ 30 กิโลกรัม ไนโตรเจน ไร่⁻¹ ตามลำดับของทรีตเมนต์ N0, N1, N2 และ N3 เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 ทรีตเมนต์ไนโตรเจนแต่ละระดับมีจำนวน 11 กระถางเพื่อต้องการให้มีจำนวนค่าสังเกตที่มากพอสำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ N0 กับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ N1, N2 และ N3 ระดับน้ำในกระถางของการทดลองทั้งสองภายหลังจากถอนแยก 3 วัน จะควบคุมให้มีความสูงประมาณ 3-5 เซนติเมตร. ตลอดช่วงการเจริญเติบโตจนกระทั่งถึง 1 สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต

สำหรับการทดลองในแปลงเกษตรกร ได้เริ่มดำเนินการทดลองในช่วงเวลาใกล้เคียงกันกับการทดลองในกระถาง เมล็ดข้าวออกของการทำนาแบบหว่านน้ำตามและการตกกล้าของวิธีการปลูกแบบปักดำได้ปฏิบัติอย่างเดียวกันที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น แปลงนาเกษตรกรแต่ละรายจะมีแบบการปลูกข้าว 2 วิธี ประกอบด้วยการปลูกแบบหว่านน้ำตามหนึ่งแปลงและการทำนาแบบปักดำอีกหนึ่งแปลง ขนาดแปลงนาของแต่ละวิธีการปลูกมีพื้นที่เฉลี่ยประมาณ 1-1.5 ไร่ ความหนาแน่นในแปลงหว่านน้ำตามมีจำนวนต้นโดยเฉลี่ยประมาณ 400 ต้น เมตร² โดยใช้อัตราการหว่านเมล็ดที่ได้จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอกกับน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดพันธุ์ ส่วนแปลงปักดำจะมีความหนาแน่นประมาณ 16-20 กอ เมตร² กล้าที่ใช้ปักดำมีอายุประมาณ 20-36 วัน ความแปรปรวนของจำนวนกอและอายุกล้าในแปลงปักดำ มีสาเหตุสำคัญ ๆ จากความเคยชิน และความพร้อมในการเตรียมแปลงปักดำของเกษตรกรแต่ละราย สำหรับวันหว่านข้าวออกในแปลงน่าน้ำตามและวันตกกล้าเพื่อการปักดำของเกษตรกรจะขึ้นอยู่กับความสะดวกและการตัดสินใจของเกษตรกรแต่ละราย การปลูกทั้งสองแบบจะได้รับไนโตรเจน 12 กิโลกรัม ไร่⁻¹ โดยมีจำนวนครั้งของการใส่ปุ๋ย ปริมาณการแบ่งปุ๋ยที่ใส่ในแต่ละครั้ง สูตรปุ๋ยสำหรับการรองพื้นและการแต่งหน้า ตลอดจนระยะเวลาที่ใส่จะเป็นเช่นเดียวกันที่ได้กล่าวไว้แล้วในทรีตเมนต์ N1 ของการทดลองในกระถาง จะมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยตรงที่ว่าใส่ปุ๋ยครั้งแรกสำหรับการรองพื้นนั้น ได้กระทำหลังการหว่านข้าวออก 1 สัปดาห์ และหลังการปักดำ 1 วัน สำหรับแปลงหว่าน

น้ำตามและแปลงปักดำ ตามลำดับ ประวัติของแปลงและการเขตกรรมของเกษตรกรแต่ละรายในการทดลองครั้งนี้ มีรายละเอียดต่าง ๆ ที่ได้แสดงไว้ใน Appendix D แผนการทดลองของการศึกษาวิธีการปลูกในแปลงเกษตรกรที่มีผลต่อแบบจำลองการสร้างผลผลิตของข้าว ได้วางแผนแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยมีแปลงเกษตรกรแต่ละรายเป็นซ้ำ รวมจำนวนทั้งสิ้น 6 ซ้ำ

ตลอดช่วงฤดูการปลูกของการทดลองในกระถางและการทดลองในแปลงนาเกษตรกรไม่มีการกำจัดวัชพืชและไม่ได้ใช้สารเคมีชนิดใด ๆ ในการป้องกันโรคและแมลงรวมทั้งศัตรูต่าง ๆ ที่จะเข้ารบกวนทำความเสียหายให้กับพืช

การเก็บตัวอย่างพืชและข้อมูลที่บันทึก

การศึกษาในแต่ละการทดลองจะมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด เพื่อให้ผลการทดลองได้ครอบคลุมปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องการทราบพร้อมทั้งเหตุผลคำอธิบายอย่างละเอียดของกาวิจัยนั้น ๆ การเก็บตัวอย่างพืชและการจัดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ จะขอกกล่าวแยกกันตามลักษณะงานทดลองที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

1. การทดลองในกระถาง

1.1 การทดลองที่ 1.1 ลักษณะงานที่เกี่ยวกับการสุ่มเก็บตัวอย่างพืชและการบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย

(1) การปรากฏใบ ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะใบธงได้ติดตามการปรากฏใบของต้นหลัก (main stem) ที่อยู่ในตำแหน่งกลางกระถางจำนวน 2 ต้น กระถาง¹ ซ้ำ¹ โดยเริ่มบันทึกครั้งแรกในระยะที่ข้าวมีจำนวน 3 ใบ การบันทึกจะกระทำทุก ๆ 3 วัน จนกระทั่งสิ้นสุดการปรากฏใบเมื่อเห็นคอใบธงโผล่พ้นจากกาบใบ และทุก ๆ ครั้งที่มีการบันทึกจำนวนใบจะบันทึกจำนวนหน่อที่เกิดขึ้นจากต้นหลักที่สังเกตด้วย การปรากฏใบแต่ละครั้งที่บันทึกจะใช้ตามเสกของ Huan (1973) โดยมีจุดศูนนิยม 1 หลัก ซึ่งการปรากฏใบที่วันบันทึกข้อมูลใด ๆ เมื่อกำหนดให้ L_n คือ ความยาวของใบที่อ่อนที่สุด L_{n-1} คือความยาวใบที่อยู่ถัดลงมาจากใบ L_n และ n คือจำนวนใบทั้งหมดที่ปรากฏบนต้นหลักในวันนั้น ๆ ค่าการปรากฏใบจะคำนวณได้จากสมการ คือ

$$\text{Huan leaf number} = L_n/L_{n-1} + (n-1) \quad (A1)$$

(2) การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ในช่วงการเจริญเติบโตที่ระยะเริ่มยืดลำต้นและระยะดอกบาน 50% ได้สุ่มเก็บตัวอย่างพืชหรือตเเมนต์ละ 1 กระถาง ช่วงการเจริญเติบโต¹ ซ้ำ¹ ระยะเริ่มยืดลำต้นของข้าวในการทดลองนี้ได้ประมาณค่าจากข้อมูลการทดลองใน

แปลงหวานน้ำตมของเกษตรกร (การทดลองที่ 2) ที่มีการหวานเมล็ดข้าวอกในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน โดยยึดถือตามเกณฑ์กำหนดของ Apakupakul (1991) ที่รายงานว่า ระยะการเริ่มยึดลำต้นของข้าวจะเริ่มเมื่อความสูงของต้นหลักที่วัดจากข้อแรกจนถึงปลายยอดอ่อนมีค่าเฉลี่ยประมาณ 25 มิลลิเมตร. ข้อมูลที่จับบันทึกแต่ละระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการประกอบด้วย ความสูงของต้นหลัก (เฉพาะการเก็บตัวอย่างครั้งแรกของระยะยึดลำต้น) จำนวนต้น จำนวนหน่อ จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งต้น การวัดพื้นที่ใบของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ในแต่ละซ้ำได้สุ่มมากระถางละ 20 ต้น (ครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นทั้งหมดในกระถาง) ก่อนการวัดพื้นที่ใบได้บันทึกจำนวนใบพร้อมกับแยกส่วนใบออกจากลำต้น จำนวนใบในส่วนนี้ได้นำไปวัดพื้นที่ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบภาพของเดลต้า-ที (delta-T image analysis system; DIAS) ลักษณะความสูงต้นจากข้อแรกจนถึงปลายยอดอ่อนกระทำโดยสุ่มเฉพาะต้นหลักของตัวอย่างพืชที่วัดพื้นที่ใบในช่วงการเจริญเติบโตระยะเริ่มยึดลำต้นจำนวน 10 ต้น ทรีตเมนต์¹ ใช้ใบมีดโกนผ่าตรงบริเวณประมาณกึ่งกลางทางส่วนแบนของลำต้นออกเป็น 2 ซีก พร้อมกับบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นนำตัวอย่างพืชทั้งหมดทั้งที่เป็นส่วนใบและส่วนลำต้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จึงบันทึกน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งต้น ดังนั้นค่าต่าง ๆ ที่บันทึกได้ในขั้นตอนนี้ซึ่งประกอบด้วย ค่าของพื้นที่ใบ (LA_1) จำนวนใบ (NL_1) น้ำหนักแห้งใบ (LDW_1) และน้ำหนักแห้งลำต้น (SDW_1) จะมีความสัมพันธ์กับการคำนวณค่าขนาดใบเฉลี่ย (LSIZE) พื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area; SLA) และอัตราส่วนพื้นที่ใบ (leaf area ratio; LAR) ของแต่ละระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ดังสมการต่าง ๆ ตามลำดับ คือ

$$LSIZE = LA_1/NL_1 \quad (A2)$$

$$SLA = LA_1/LDW_1 \quad (A3)$$

$$LAR = LA_1/(LDW_1+SDW_1) \quad (A4)$$

สำหรับตัวอย่างพืชส่วนที่เหลืออีกประมาณครึ่งหนึ่งนั้นได้ปฏิบัติในทำนองเดียวกันด้วยการบันทึกจำนวนใบ (NL_2) พร้อมกับแยกส่วนใบออกจากส่วนลำต้นเพื่อนำไปอบและบันทึกน้ำหนักแห้งใบ (LDW_2) และน้ำหนักแห้งต้น (SDW_2) ผลรวมของจำนวนใบ น้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งต้นทั้งส่วนแรกและส่วนหลัง สามารถคำนวณหาค่าทั้งหมดของพื้นที่ใบ (LA) จำนวนใบรวม (NL) และน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมดส่วนเหนือดิน (TDM) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตได้ดังสมการต่าง ๆ ตามลำดับคือ

$$LA = (LDW_1+LDW_2) \times SLA \quad (A5)$$

$$NL = NL_1 + NL_2 \quad (A6)$$

$$TDM = LDW_1 + LDW_2 + SDW_1 + SDW_2 \quad (A7)$$

(3) การเจริญเติบโตของเมล็ด ขณะเริ่มระยะผสมเกสร (ประมาณ 1-2 วันก่อนระยะดอกบาน 50%) ได้คัดเลือกรวงซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกันที่กำลังโผล่จากกาบใบประมาณ 50% ของความยาวรวงพร้อมกับทำเครื่องหมายไว้ที่โคนรวงจำนวน 15 รวง ทรีตเมนต์¹ ซ้ำ¹ การเก็บตัวอย่างครั้งแรกจะเป็นวันเดียวกับวันที่ทำการคัดเลือกรวงและหลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างทุก ๆ 3 วัน โดยเก็บครั้งละ 9 เมล็ด รวง⁻¹ ซึ่งเป็นตำแหน่งเมล็ดของระแ่งที่ 3, 4 และ 5 นับจากระแ่งทางด้านปลายรวง ระแ่งละ 3 เมล็ด (Fujita et al., 1984; Rahman and Yoshida, 1985; Apakupakul, 1991) นำเมล็ดที่เก็บได้ทั้ง 3 ซ้ำ มารวมกันจะได้จำนวนเมล็ดที่เก็บในแต่ละครั้งรวม 27 เมล็ด ทรีตเมนต์¹ พร้อมกับบันทึกน้ำหนักสดเมล็ด (FGW) แล้วนำเข้าอบแห้งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นได้ปล่อยให้เมล็ดสดอุณหภูมิลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้องด้วยการนำตัวอย่างเมล็ดใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจึงบันทึกน้ำหนักแห้งเมล็ด (DGW) ด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดถูกต้องถึงทศนิยม 4 หลัก ความแตกต่างระหว่างน้ำหนักเมล็ดก่อนและหลังอบแห้ง สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ด (MC) ได้ดังสมการ

$$MC = (FGW - DGW) / FGW \times 100 \quad (A8)$$

(4) ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตขณะที่พืชมีการสุกแก่ทางสรีรวิทยานั้น จำนวนตัวอย่างของพืชยังคงเหลืออยู่อีกทรีตเมนต์ละ 1 กระถาง ซ้ำ¹ ข้อมูลพืชที่บันทึกในช่วงนี้ประกอบด้วย จำนวนต้น จำนวนหน่อ จำนวนรวง จำนวนดอก (spikelets) จำนวนเมล็ดดี จำนวนเมล็ดไม่สมบูรณ์ น้ำหนักเฉลี่ยเมล็ด ผลผลิต และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน ในที่นี้คำว่าเมล็ดดีจะหมายถึง เมล็ดที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าหรือเท่ากับ 1.06 โดยใช้วิธีการคัดแยกเมล็ดด้วยน้ำเกลือ (Matsushima, 1975) ส่วนค่าน้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดดีได้สุ่มนับจากน้ำหนักเฉลี่ย 500 เมล็ด จำนวน 3 ตัวอย่าง ทรีตเมนต์¹ ซ้ำ¹ และปรับค่าให้เป็นน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด สำหรับเมล็ดไม่สมบูรณ์ที่มีความถ่วงจำเพาะเมล็ดน้อยกว่า 1.06 ได้คำนวณหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ในแต่ละซ้ำด้วยวิธีการอันเดียวกัน ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดทั้งสองประเภทนี้ ซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักเฉลี่ยเมล็ดดี 1 เมล็ด (W1G) และน้ำหนักเฉลี่ยเมล็ดไม่สมบูรณ์ 1 เมล็ด (W1GB) ที่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดดี (GW) พื้นที่¹ และน้ำหนักเมล็ดไม่สมบูรณ์ (BGW) พื้นที่¹ สามารถคำนวณจำนวนเมล็ด

(NG พื้นที่¹) จำนวนเมล็ดไม่สมบูรณ์ (NBG) พื้นที่¹ และจำนวนดอก (NSPI) พื้นที่¹ ได้ดังสมการต่าง ๆ ตามลำดับ คือ

$$NG = GW/W1G \quad (A9)$$

$$NBG = BGW/W1GB \quad (A10)$$

$$NSPI = NG+NBG \quad (A11)$$

ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักเมล็ด ผลผลิต และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน (น้ำหนักผลรวมของส่วนต่อซัง ระวัง เมล็ดดี และเมล็ดไม่สมบูรณ์) ในช่วงสุดท้ายของการเก็บเกี่ยวผลผลิตนี้ จะเป็นค่าของน้ำหนักที่บันทึกหลังผ่านการอบแห้งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เช่นเดียวกับระยะการเจริญเติบโตอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับค่าน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมดส่วนเหนือดิน (TDM) พื้นที่¹ สามารถนำไปคำนวณหาค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvest index, HI) ดังความสัมพันธ์ของสมการ คือ

$$HI = GW/TDM \quad (A12)$$

(5) เเปอร์เซนโตไนโตรเจนที่อยู่ในพืชส่วนเหนือดิน ส่วนทั้งหมดของพืชที่อยู่เหนือดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในทรีตเมนต์ต่าง ๆ และผ่านการอบแห้งพร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักแห้งมาแล้วในทุก ๆ ช่วงระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการนั้น ช่วงระยะการเจริญเติบโตที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับต้นได้นำเอาส่วนของใบกับส่วนของต้นไปบดรวมกันให้ละเอียด ส่วนในช่วงการเจริญเติบโตที่ระยะดอกบาน 50% ส่วนของพืชที่นำไปบดละเอียดนั้นจะมีส่วนของรวงรวมอยู่ด้วยกับส่วนของใบและส่วนของต้น สำหรับในช่วงสุดท้ายของระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีความแตกต่างไปจากช่วงการเจริญเติบโตทั้งสอง กล่าวคือ ตัวอย่างพืชที่นำไปบดละเอียดประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนของต่อซังบดรวมกับส่วนของระวัง และเมล็ดไม่สมบูรณ์ ส่วนที่สองเป็นส่วนของเมล็ดดีที่บดอย่างละเอียด ตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของทรีตเมนต์ต่าง ๆ รวมกันทั้ง 3 ซ้ำ จำนวนทรีตเมนต์ละ 1 ตัวอย่าง ได้นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาเปอร์เซนโตไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืช (%N) โดยน้ำหนักแห้งซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่สะสมไว้ในส่วนทั้งหมดของพืชเหนือดิน (N_{up}) พื้นที่¹ ที่ช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะต่าง ๆ แสดงได้ดังสมการ คือ

$$N_{up} = \%N \times TDM \quad (A13)$$

ทำนองเดียวกันปริมาณไนโตรเจนในต่อซึ่งรวมทั้งในส่วนของระแง้และเมล็ดไม้ผสมบูรณ์ ($N_{up-straw}$) พื้นที่⁻¹ และปริมาณไนโตรเจนของเมล็ด ($N_{up-grains}$) พื้นที่⁻¹ มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของส่วนต่อซึ่งรวมกับระแง้และเมล็ดไม้ผสมบูรณ์ (DM_{straw}) และน้ำหนักแห้งของเมล็ด (GW) ตามลำดับ ดังสมการ คือ

$$N_{up-straw} = \%N_{straw} \times DM_{straw} \quad (A14)$$

$$N_{up-grains} = \%N_{grains} \times GW \quad (A15)$$

1.2 การทดลองที่ 1.2 ลักษณะการปฏิบัติงานเพื่อกำหนดตัวอย่างพืชและการบันทึกข้อมูลประกอบด้วย

(1) การทำเครื่องหมายลำดับใบ ใบของต้นหลักที่นับจากโคนต้นสู่ปลายยอดจะถูกทำเครื่องหมายแสดงลำดับใบไว้บนแผ่นใบ ต้นหลักที่ใช้ทำเครื่องหมายแสดงลำดับใบมีจำนวน 20 ต้น กระจ่าง¹ ทริตเมนต์¹ โดยเริ่มกระทำครั้งแรกเมื่อต้นหลักมีใบ 3 ใบ และกระทำสัปดาห์ละครั้งจนกระทั่งข้าวออกใบธง การกระทำเช่นนี้เพื่อใช้อธิบายผลการพัฒนาตายอดของต้นหลักที่สัมพันธ์กับระยะเวลาการปรากฏใบของวันที่มีการเก็บตัวอย่างพืชในวันนั้น ๆ

(2) การเจริญเติบโตและพัฒนาการ เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะเริ่มยัดลำต้นจากการพิจารณาข้อมูลของการทดลองที่ 1.1 จะเริ่มเก็บตัวอย่างพืชครั้งแรกจากต้นที่ทำเครื่องหมายแสดงลำดับใบจำนวน 1 ต้น กระจ่าง¹ ทริตเมนต์¹ โดยเก็บเป็นช่วง ๆ ละ 2-5 วัน และการเก็บตัวอย่างพืชในช่วงการเจริญเติบโตระยะนี้จะสิ้นสุดเมื่อข้าวออกดอก ข้อมูลบันทึกลักษณะต่าง ๆ ของต้นหลักที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งประกอบด้วย ระยะเวลาการปรากฏใบ จำนวนหน่อ ความสูงต้นจากข้อแรกถึงปลายยอดอ่อน ระยะพัฒนาการของตายอด ความยาวรวงจากคอรวงถึงปลายรวง หลังจากนั้นได้นำตัวอย่างเข้าอบแห้งที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จึงบันทึกน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน พัฒนาการตายอดของต้นหลักที่บันทึกผลในระยะต่าง ๆ ได้กระทำโดยใช้ใบมีดโกนผ่าประมาณกึ่งกลางตรงบริเวณโคนต้นหลักพร้อมกับตัดเนื้อเยื่อข้าวบริเวณปลายยอดอ่อนไปวางไว้บนแผ่นสไลด์ หลังจากนั้นจึงนำไปส่องดูลักษณะรูปร่างของตายอดด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสองตา ระยะต่าง ๆ ของการพัฒนาตายอดได้บันทึกตามการจัดแบ่งของ Matsushima (1975) กล่าวโดยสรุปสั้น ๆ จะประกอบด้วย

ระยะ I: เริ่มสร้างใบธง

ระยะ II-III: เริ่มสร้างกลีบรองดอก

ระยะ IV-VIII: เริ่มสร้างระแง้

ระยะ IX-XII: เริ่มสร้างดอก

ระยะ XIII: เรณูเซลล์แม่เปลี่ยนสภาพ

ระยะ XIV-XVII: ไมโอซิส

ระยะ XVIII-XXI: เรณูสุกแก่

ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพของเรณูเซลล์แม่ กรณีที่ตรวจพบว่าลักษณะพัฒนาการตายอดของต้นหลักใด ๆ ผ่านพ้นระยะสร้างดอก (ระยะ XII) เกินกว่าที่จะพิจารณาตัดสินใจได้แล้ว จะบันทึกว่าระยะพัฒนาการตายอดของต้นหลักนั้น ๆ อยู่ในระยะ PMC ซึ่งหมายถึงช่วงระหว่างระยะการเปลี่ยนแปลงสภาพจนถึงระยะการแบ่งตัวของเรณูเซลล์แม่นั้นเอง

สำหรับตัวอย่างที่ศึกษาในช่วงสุดท้ายที่ระยะเก็บเกี่ยวนั้นได้กระทำเหมือนกันทุกประการกับที่กล่าวมาแล้วในระยะเริ่มยัดลำต้น ข้อมูลของต้นหลักที่บันทึกประกอบด้วยความสูงต้น (ผลรวมของลำต้นและรวง) จำนวนหน่อ ความยาวรวง จำนวนระแง่ปฐมภูมิ และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่อบแห้ง 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2. การทดลองในแปลงนาเกษตรกร

ลักษณะพิเศษของงานมีการติดตามการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวที่มีวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำอย่างใกล้ชิดกว้างงานทดลองในกระถาง ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย

(1) การเจริญเติบโตและพัฒนาการตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต การสุ่มเก็บตัวอย่างพืชตั้งแต่ช่วงแรกของการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าจนกระทั่งถึง 1-2 สัปดาห์ก่อนระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้นจะกระทำทุก ๆ สัปดาห์ โดยเริ่มเก็บตัวอย่างพืชครั้งแรกในช่วงเวลาหลังการหว่านข้าววงอกประมาณ 2 สัปดาห์ และหลังการปักดำประมาณ 1 สัปดาห์ ในแปลงหว่านน้ำตมและในแปลงปักดำ ตามลำดับ ขนาดของตัวอย่างในแปลงหว่านน้ำตมได้สุ่มเก็บจากพื้นที่ขนาด 0.5×0.5 เมตร ส่วนในแปลงปักดำที่มีการปฏิบัติไม่ยุ่งยากและสะดวกกว่า ได้สุ่มเก็บจำนวน 4 กอ เมตร² แปลงเกษตรกรแต่ละรายจะเก็บตัวอย่างพืชจำนวน 2 ตัวอย่าง แบบการปลูก¹ ข้อมูลที่บันทึกจากตัวอย่างพืชที่สุ่มเก็บมาของแต่ละครั้งในหนึ่งหน่วยพื้นที่จะเป็นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 ประกอบด้วย จำนวนต้น จำนวนกอ จำนวนหน่อ จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งต้น ตัวอย่างพืชทั้งหมดของแต่ละแบบการปลูกจะสุ่มมาตัวอย่างละครั้งหนึ่งของจำนวนต้นที่เก็บมาได้ในแต่ละครั้งเพื่อนำไปวัดพื้นที่ใบ รวมทั้งการคำนวณค่าขนาดใบเฉลี่ย พื้นที่ใบจำเพาะ และอัตราส่วนพื้นที่ใบ ตลอดจนการอบหาน้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน และอื่น ๆ นั้น ได้มีการปฏิบัติที่เหมือนกันทุกประการดังที่ได้กล่าวไว้อย่างละเอียดแล้วในการทดลองที่ 1.1 ของหัวข้อย่อยที่ (2) สำหรับการติดตามลักษณะการยัดลำต้นที่เกี่ยวกับความสูงต้นหลักของการปลูกทั้ง 2 แบบ ได้บันทึกในช่วงระหว่างหลังการหว่านข้าววงอกประมาณ 30-90 วัน และระหว่างหลังการปักดำ 20-70 วัน ตามลำดับสำหรับการปลูกแบบหว่านน้ำตมและการปลูกแบบปักดำ โดยใช้จำนวนต้น 10 ต้น ตัวอย่าง¹ แบบการปลูก¹ ลักษณะของขั้นตอนในการปฏิบัติและการบันทึกข้อมูลความสูงต้นหลักได้กระทำอย่างเดียวกันที่อธิบายไว้แล้วข้างต้น

(2) การเจริญเติบโตของเมล็ด การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดตั้งแต่ระยะเริ่มผสมเกสรของข้าวที่มีการปลูกทั้ง 2 แบบ ได้ศึกษาเช่นเดียวกันกับการทดลองในกระถาง รวงที่ทำเครื่องหมายเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของเมล็ดมีจำนวนแปลงละ 80 รวง แบบการปลูก¹ โดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 10 รวง ๆ ละ 9 เมล็ด ซึ่งในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างจะมีจำนวนเมล็ดรวมแปลงละ 90 เมล็ด แบบการปลูก¹ ตำแหน่งของเมล็ดภายในรวง การบันทึกน้ำหนักสดเมล็ดและน้ำหนักแห้งเมล็ด การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ด ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ทุกขั้นตอนได้บรรยายไว้อย่างละเอียดแล้วในการทดลอง 1.1 ของหัวข้อย่อยที่ (3)

(3) ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ตัวอย่างพืชที่ศึกษาในช่วงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของการปลูกทั้ง 2 แบบ ได้เก็บเกี่ยวตัวอย่างจากพื้นที่ขนาด 1.0x1.0 เมตร และเพิ่มจำนวนตัวอย่างเป็นแปลงละ 4 ตัวอย่าง แบบการปลูก¹ สำหรับการบันทึกข้อมูลและขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต รวมทั้งการคำนวณต่าง ๆ ของแต่ละองค์ประกอบผลผลิต น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน และค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสามารถศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกันกับการทดลอง 1.1 ของหัวข้อย่อยที่ (4)

(4) เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดิน ลักษณะตัวอย่างพืชที่บดละเอียดของส่วนต่าง ๆ พืชที่อยู่เหนือดินจากแปลงต่าง ๆ ของการปลูกทั้ง 2 แบบ ที่ระยะเริ่มยี่ด ลำต้น ระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ได้กระทำเหมือนกันทุกประการและมีการคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนที่สะสมไว้ในส่วนเหนือดินของพืชไม่ว่าจะเป็นส่วนต้น ดอกชัง หรือเมล็ดได้ปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลอง 1.1 ของหัวข้อย่อยที่ (5)

อายุการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช

อายุพืชในช่วงต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและพัฒนาการหลังการหยอดเมล็ดข้างอกในกระถางทดลองและการหว่านเมล็ดข้างอกในแปลงหว่านน้ำตมและแปลงตกกกล้าเพื่อการปักดำนั้น จะแสดงในรูปของค่าความร้อนสะสม (accumulated daily thermal time, CDTT) หลังการหว่านเมล็ด มีหน่วยเป็น °Cd ซึ่งคำนวณจากค่าอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน (T_{max}) และค่าอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน (T_{min}) โดยใช้อุณหภูมิพื้นฐานสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว (T_{base}) เท่ากับ 8°C และ S_1 กับ S_2 เป็นวันหลังการหว่านเมล็ด และวันเก็บตัวอย่างที่ระยะใด ๆ ตามลำดับ ดังความสัมพันธ์ของสมการ คือ

$$CDTT = \sum_{j=S_1}^{S_2} \left[\left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base} \right] \quad (A16)$$

การทดลองครั้งนี้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศของสถานีอากาศเกษตรคองส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และสถานีอากาศเกษตรพัทลุง อำเภอเมืองพัทลุง จังหวัดพัทลุง ซึ่งตั้งอยู่ห่างประมาณ 1 และ 5 กิโลเมตร ตามลำดับจากคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และแปลงนาเกษตรกรที่ใช้เป็นพื้นที่ทดลอง

ปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์

พลังงานรังสีแสงสังเคราะห์ที่พืชดูดกลืนไว้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง สามารถคำนวณค่าได้จากสมการเอมพิริคัลของความสัมพันธ์ระหว่าง

$$PAR_g = \epsilon_1 PAR_i \quad (A17)$$

เมื่อ PAR_g คือ ปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์ที่พืชดูดกลืน (เมกะจูล เมตร²) ϵ_1 คือ ประสิทธิภาพการดูดกลืนรังสีของพืช และ PAR_i คือ ปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์เหนือแปลงพืช (เมกะจูล เมตร²) ซึ่งประมาณค่าได้จากประยุกต์สมการอังสตรอม คือ

$$PAR_g = PAR_0 \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (A18)$$

เมื่อ PAR_0 คือ ปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์เหนือบรรยากาศโลก (เมกะจูล เมตร²) a และ b คือ ค่าคงที่ ซึ่งแปรผันตามละติจูด ในที่นี้ใช้ค่า $a=0.24$ และ $b=0.40$ (ชัยวิทย์ ศิวาวัชชานาโย, 2527) ส่วนค่า n คือ ระยะเวลาที่มีแสงแดดจ้า (ชั่วโมง วัน⁻¹) และ N คือ ระยะเวลาที่คาดว่าจะมีแสงแดดสูงสุด (ชั่วโมง วัน⁻¹)

สำหรับค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนรังสีของพืช พบว่ามีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียลกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ ซึ่งคำนวณค่าได้ดังสมการ

$$\epsilon_1 = 0.95(1 - \text{EXP}(-KL)) \quad (A19)$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์การลดปริมาณรังสีภายในพุ่มใบพืช (extinction coefficient) การทดลองครั้งนี้ได้กำหนดให้ค่า K เท่ากับ 0.8 สำหรับข้าวพันธุ์เจ็ญพัทลุงที่มีใบแผ่ราบ และ L คือ ดัชนีพื้นที่ใบ

การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของเมล็ดกับช่วงเวลาความร้อนสะสมที่แสดงลักษณะแบบรีเกรสชันเส้นโค้งของฟังก์ชันลอจิสติกจะมีรูปสมการทั่วไป คือ

$$Y = \frac{a}{1 + b\text{EXP}(-cX)} \quad (\text{A20})$$

เมื่อ Y คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของเมล็ด X คือ ช่วงเวลาความร้อนสะสมภายหลังการผสมเกสร a คือ พารามิเตอร์แสดงค่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของเมล็ด หรือค่า carrying capacity b คือ พารามิเตอร์ที่แสดงความสัมพันธ์ทั้งอัตราและระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักรวม และ c คือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการสะสมน้ำหนักรวม

อัตราบัดดล (instantaneous rate) การสะสมน้ำหนักรวมของเมล็ดสามารถคำนวณค่าได้จาก การหาอนุพันธ์ของสมการแรก นั่นคือ

$$\frac{dy}{dx} = \frac{cY(a - Y)}{a} \quad (\text{A21})$$

สมการเชิงอนุพันธ์นี้จะให้ค่าอัตราสูงสุดการสะสมน้ำหนักรวมของเมล็ดขณะที่ Y มีค่าเท่ากับ $0.5a$ และเมื่อแทนที่ Y ด้วยค่า $0.5a$ ลงในสมการ จะได้ค่าอัตราสูงสุดการสะสมน้ำหนักรวมของเมล็ด (R) ดังความสัมพันธ์

$$R = \frac{ca}{4} \quad (\text{A22})$$

ในทางทฤษฎีของฟังก์ชันลอจิสติกจะพบว่า น้ำหนักแห้งของเมล็ดจะเข้าใกล้เชิงเส้นกำกับบนแต่ไม่สัมผัสกับเส้นกำกับบน (ค่าพารามิเตอร์ a) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะพิจารณาว่าที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยานั้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของเมล็ด (Y) จะเท่ากับ $0.95a$ ดังนั้นระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักรวมของเมล็ดที่เริ่มต้นจากระยะผสมเกสรจนถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาขณะที่เมล็ดมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ $0.05a$ และ $0.95a$ ตามลำดับนั้น จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$D = \frac{\ln a - \ln b \left(\frac{0.05 a}{0.95 a} \right)}{c} \quad (\text{A23})$$

เมื่อ D คือ ระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดจากระยะผสมเกสร ($^{\circ}\text{Cd}$) และ ln คือ ลอการิทึมธรรมชาติหรือลอการิทึมแบบเนเปียร์

การก่อเกิดผลผลิต

คำว่า “การก่อเกิดผลผลิตของเมล็ด (grain yield formation)” ในที่นี้หมายความว่าถึงน้ำหนักแห้งที่สร้างขึ้นและเก็บสะสมอยู่ในส่วนของเมล็ดตั้งแต่ระยะเริ่มแรกภายหลังการผสมเกสรจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งอัตราส่วนของน้ำหนักแห้งเมล็ดกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ช่วงเวลาใด ๆ ก็คือ ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ช่วงเวลานั้น ๆ แต่เนื่องจากการแยกเมล็ดที่มีการสร้างสมน้ำหนักแห้งในแต่ละรวงของธัญพืชที่แตกกอได้ดีเช่นข้าว จะมีความยุ่งยากและจำเป็นต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแล้วในกรณีที่มีการเก็บตัวอย่างเป็นจำนวนมาก ๆ จะมีข้อจำกัดหลายประการและข้อมูลที่ได้มักขาดความเที่ยงตรง ดังนั้นในงานทดลองครั้งนี้การก่อเกิดผลผลิตของเมล็ดในแต่ละช่วงเวลาที่มีการเก็บตัวอย่างใด ๆ สามารถ ประมาณค่าได้จากสมการ

$$\text{GY} = \text{PW} \times \text{PCF} \quad (\text{A24})$$

เมื่อ GY คือ ผลผลิตของเมล็ดที่ช่วงเวลานั้น ๆ PW คือ น้ำหนักรวง และ PCF คือ ตัวประกอบการแปลงผันของรวง (panicle conversion factor) สำหรับปรับค่าน้ำหนักรวงให้เป็นค่าผลผลิตของเมล็ด ซึ่งค่า PCF ได้พิจารณาจากความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\text{PCF} = \frac{Y_h}{\text{PW}_h} \quad (\text{A25})$$

เมื่อ Y_h และ PW_h คือ ผลผลิตของเมล็ด และน้ำหนักรวงที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวนี้มีข้อสมมติสำคัญ 2 ประการ กล่าวคือ ประการแรก จำนวนเมล็ดที่มีการสร้างสมน้ำหนักแห้ง รวง¹ ที่บันทึกได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตกับที่ระยะการเก็บตัวอย่างใด ๆ ในช่วงที่มีการสร้างสมน้ำหนักแห้งเมล็ดจะมีจำนวนเมล็ดเท่ากัน ประการที่สอง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักระแงรวมเมล็ดไม่สมบูรณ์ (ผลลบของน้ำหนักรวงกับน้ำหนักเมล็ด) กับน้ำหนักรวง ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตกับที่ระยะการเก็บตัวอย่างใด ๆ จะมีอัตราส่วนเดียวกัน นอกจากข้อสมมติทั้ง 2 ประการนี้แล้ว การวิจัยย้อนหลังอีกมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของเมล็ดต่างก็รายงานผลการทดลองว่า การสร้างสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดในช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จะมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งของเมล็ดในลักษณะเกือบคงที่ ดังนั้นค่า PCF ที่

ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตกับที่ระยะการเก็บตัวอย่างใด ๆ พอจะอนุมานได้ว่าเป็นอัตราส่วนเดียวกัน และมีค่าคงที่ที่ใช้สำหรับการแปลงผันน้ำหนักทรงให้เป็นน้ำหนักผลผลิตของเมล็ดที่ช่วงการเก็บตัวอย่างนั้น ๆ ได้

ความแม่นยำของสมการใด ๆ สำหรับประมาณค่าผลผลิตของเมล็ดในแต่ละสภาพและวิธีการปลูกนั้น ๆ จะตัดสินด้วยการพิจารณาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของการเบี่ยงเบน (root mean square deviation, RMSD) ที่เกิดจากผลรวมเฉลี่ยด้วยการเปรียบเทียบแบบคู่ของส่วนต่างข้อมูลคู่ที่ i ใด ๆ ระหว่างค่าสังเกต(O) และค่าทำนาย(P) ที่คำนวณได้ โดย n เป็นจำนวนข้อมูล ดังความสัมพันธ์

$$\text{RMSD} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{0.5} \quad (\text{A26})$$

สมการใดที่มีค่า RMSD ต่ำกว่า หมายความว่า สมการนั้น ๆ จะให้ค่าการทำนายผลผลิตเมล็ดที่ถูกต้องและมีความแม่นยำที่ดีกว่านั่นเอง

การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณค่าพารามิเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ ของตัวแปรที่ศึกษา ความแตกต่างทางสถิติจากการวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Student Newman-Keuls k-test และการทดสอบค่า t ที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ ตัวแปรแต่ละลักษณะที่วิเคราะห์ทางสถิติไม่ว่าจะการเปรียบเทียบระหว่างเป็นทริตเมนต์ในโตรเจนหรือระหว่างแบบวิธีการปลูก ตลอดจนการทดสอบความเป็นอนุพันธ์ของสัมประสิทธิ์รีเกรสชันและส่วนตัดแกน Y (y intercept) ได้ประเมินผลด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูปของ STAT-ITCF Statistical package, Version 3.20 (ITCF, 1987) สำหรับลักษณะระยะพัฒนาการของตายนอดที่บันทึกได้ในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างได้แสดงด้วยค่ามัธยฐานของระยะตายนอดที่บันทึกผลได้ในวันนั้น ๆ ส่วนค่าพารามิเตอร์ของรีเกรสชันเส้นตรงและรีเกรสชันเส้นโค้งของฟังก์ชันต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละลักษณะที่ศึกษากับระยะเวลาการเจริญเติบโตหลังการหว่านเมล็ดข้างนอก และหรือกับตัวแปรอื่น ๆ ได้คำนวณหาจากวิธีการทำซ้ำกำลังสองน้อยสุด (iterative least squares method) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SigmaPlot scientific graphing system, version 5.00 (Jandel Corporation, 1992)

Central Library
Prince of Songkla University

ผลการวิจัย

ข้อมูลการทดลองที่บันทึกได้ตามลำดับขั้นตอนการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว ซึ่งเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนแรกในระยษะต้นกล้าขณะที่ข้าวเริ่มปรากฏใบที่ 3 จนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตของฤดูปลูกข้าวนาปี ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างผลผลิตของการทดลองในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร จำแนกเป็นข้อ ๆ มีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

สภาพภูมิอากาศในช่วงการทดลอง

ฤดูปลูกข้าวนาปีของภาคใต้โดยทั่วไปเกษตรกรจะเริ่มหว่านเมล็ดข้าวออกในการทำนาแบบหว่านน้ำตามและเพื่อการตกกล้าในการทำนาแบบปักดำประมาณช่วงต้นถึงกลางเดือนกันยายน และจะเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณเดือนกุมภาพันธ์ สภาพภูมิอากาศตลอดช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวในการทดลองครั้งนี้ เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน 2538 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2539 (Table 1; Fig. 1) ปรากฏผลว่า สงขลาและพัทลุงมีการกระจายของฝนดี ฝนตกทุกเดือนโดยพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกที่สุด ปริมาณฝนและจำนวนวันที่มีฝนตกของสงขลา มีค่าเท่ากับ

Table 1. Climatic conditions during the 1995-96 wet season.

Location	Sep.95	Oct.95	Nov.95	Dec.95	Jan.96	Feb.96	Mean	Total
-----Rainfall (mm)-----								
Songkhla	212.8	247.9	488.4	443.8	84.5	33.9	--	1,511.3
Phatthalung	73.6	172.4	824.7	173.7	85.7	63.6	--	1,393.7
-----Rainy days (day)-----								
Songkhla	21	25	27	23	7	6	--	109
Phatthalung	15	23	25	18	13	13	--	107
-----Temperature (°C)-----								
Songkhla	28.0	27.8	26.7	26.2	26.4	27.2	27.1	--
Phatthalung	27.9	27.4	26.2	25.7	26.4	26.1	26.6	--
-----Sunshine duration (hr)-----								
Songkhla	3.8	4.4	4.3	3.7	8.2	10.2	5.8	--
Phatthalung	4.5	4.2	2.9	4.0	6.9	7.7	5.0	--

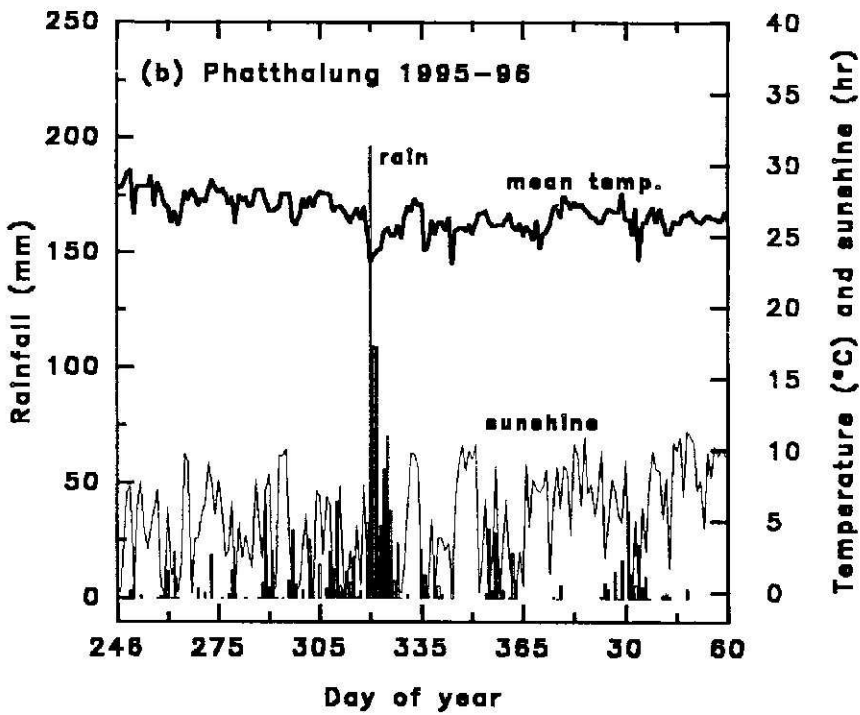
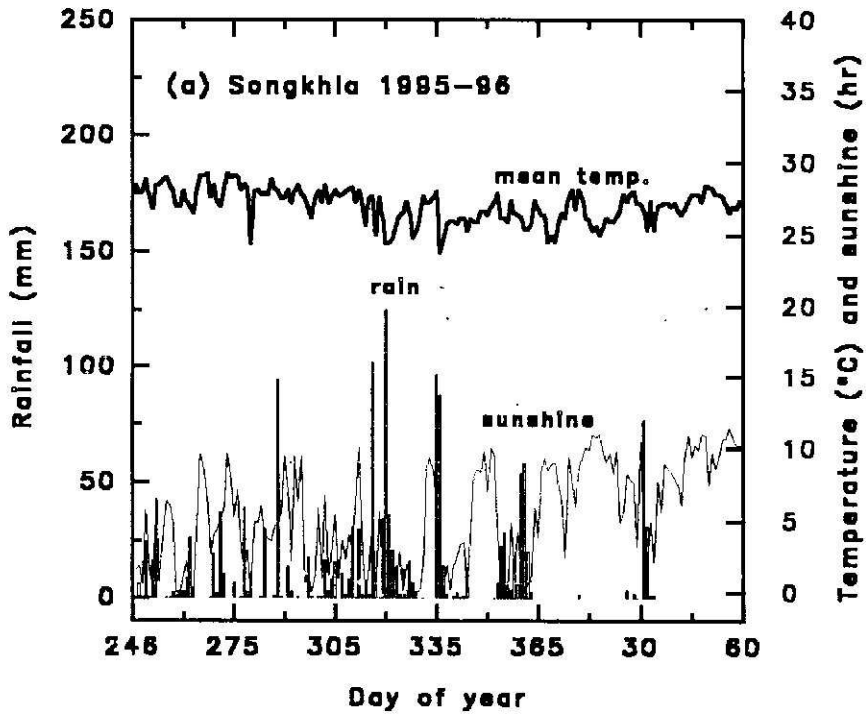


Fig. 1. Amount of rainfall, mean air temperature and sunshine duration at Songkhla and Phatthalung from September 1995 to February 1996.

1,511.3 มิลลิเมตร และ 109 วัน ส่วนพัทลุงจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเท่ากับ 1,393.7 มิลลิเมตร และ 107 วัน ตามลำดับ อุณหภูมิอากาศแปรผันอยู่ในช่วงระหว่าง 25.7-28.0 °C สำหรับค่าเฉลี่ยช่วงเวลาที่มีแสงแดดของสงขลาและพัทลุงในเดือนกันยายนถึงธันวาคมจะต่ำกว่าเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ โดยมีค่าเฉลี่ยผันแปรระหว่าง 3.8-4.5 และ 6.9-10.2 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งภาพรวมสภาพทั่ว ๆ ไปของลักษณะภูมิอากาศได้แสดงให้เห็นว่า สงขลามีปริมาณฝน จำนวนวันที่มีฝนตก ระดับอุณหภูมิอากาศ และช่วงเวลาที่แสงแดดมากกว่าพัทลุงเล็กน้อย

อายุพืชที่ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและพัฒนาการ

ค่าความร้อนสะสมภายหลังจากการหว่านเมล็ดข้าวจนถึงระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวที่คำนวณได้จากสมการ A16 ของการทดลองในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรที่แสดงใน Table 2 นั้น ค่าความร้อนสะสมเฉลี่ยรายวันของการทดลองครั้งนี้มีค่าแปรผันประมาณ 18-20°Cd

Table 2. Accumulated thermal time in °Cd after sowing at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Growth stage	Pot experiment	Field experiment	
		Wet sown rice	Transplanted rice
Transplanting	–	–	543.9
Beginning of tillering	217.3	408.9	759.3
Turning point	519.2	nd	nd
Beginning of stem elongation	nd	1,090.4 (1,046.6)	940.1 (1,025.5)
Panicle initiation	~1,200.0	nd	nd
Flag leaf	1,786.1	nd	nd
50% flowering	2,015.6	1,921.3	2,107.0
Harvest maturity	2,517.6	2,376.3	2,535.4

nd: non-detection

* Estimated from equations (1) and (2).

ข้อมูลการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะต่าง ๆ ที่กำหนดโดยค่าความร้อนสะสมภายหลังจากการหว่านเมล็ดข้าวถึงพบ ว่า เกษตรกรในพื้นที่เริ่มปักดำเมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 540°Cd

(28 วัน) ข้าวทดลองพันธุ์เจี๊ยงพัทลุงที่ปลูกในกระถางจะเริ่มแตกกอก่อนการปลูกในสภาพแปลงนาของการปลูกแบบการหว่านน้ำตมและแบบการปักดำ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 220°Cd (11 วัน) 410°Cd (21 วัน) และ 760°Cd (39 วัน) ตามลำดับ ใบลำดับต่าง ๆ ในระยะต้นกล้าของการทดลองในกระถางจะเริ่มปรากฏใบข้างก่อนเข้าสู่ระยะเริ่มยืดลำต้น ซึ่งจุดที่เกิดเปลี่ยนแปลงอัตราการปรากฏใบ (turning point) ดังกล่าวนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อข้าวมีอายุประมาณ 520°Cd (27 วัน) จะเริ่มปรากฏใบข้างที่จุดเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบ (turning point) เมื่อประมาณ 520°Cd (27 วัน) ระยะเริ่มยืดลำต้นของการปลูกในสภาพแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ มีค่าโดยประมาณเท่ากับ $1,090^{\circ}\text{Cd}$ (56 วัน) และ 940°Cd (48 วัน) ตามลำดับ ส่วนระยะการเริ่มกำเนิดตาดอก (Stage II ตามการจำแนกของ Matsushima, 1975) และช่วงเวลาการปรากฏใบตั้งแต่ใบแรกจนกระทั่งถึงใบสุดท้ายที่คอใบธงโผล่พ้นจากกาบใบ ที่ประเมินได้จากการทดลองในกระถาง มีค่าประมาณ ประมาณ $1,200^{\circ}\text{Cd}$ (62 วัน) และ $1,790^{\circ}\text{Cd}$ (92 วัน) ตามลำดับ สำหรับระยะดอกบาน 50% ของการทดลองในกระถางจะช้ากว่าการปลูกในสภาพแปลงแบบหว่านน้ำตม แต่จะเร็วการปลูกในสภาพแปลงแบบปักดำค่าเฉลี่ยที่บันทึกได้โดยประมาณเท่ากับ $2,015^{\circ}\text{Cd}$ (103 วัน) $1,920^{\circ}\text{Cd}$ (99 วัน) และ $2,110^{\circ}\text{Cd}$ (108 วัน) ทำนองเดียวกันระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโตและพัฒนาการของการสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตจะแสดงผลเช่นเดียวกับระยะดอกบาน 50% โดยมีค่าเท่ากับ $2,520^{\circ}\text{Cd}$ (129 วัน) $2,380^{\circ}\text{Cd}$ (122 วัน) และ $2,535^{\circ}\text{Cd}$ (130 วัน) ของการทดลองในกระถาง สภาพแปลงปลูกแบบหว่านน้ำตม และแปลงปลูกแบบปักดำ ตามลำดับ

การปรากฏใบ

ลักษณะการปรากฏใบของต้นหลักที่ได้รับปริมาณไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ กันจากการปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1.1 (Fig. 2) เริ่มตั้งแต่ระยะต้นกล้าขณะมีใบ 3 ใบ จนถึงระยะใบธงจะมีลักษณะการปรากฏใบเป็นแบบเดียวกัน อัตราการปรากฏใบจะเร็วในช่วงแรก ๆ ของการเจริญเติบโต หลังจากนั้นอัตราการปรากฏใบจะค่อย ๆ ช้าลงหลังลงตามลำดับเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น และอัตราการปรากฏใบจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่งในช่วง 4-5 ใบสุดท้าย ผลการคำนวณหาจุดเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบในช่วงแรกของการเจริญเติบโตด้วยวิธีของ Draper and Smith (1981) จากการสร้างตัวแปรหุ่น และข้อมูลการตรวจสังเกตระยะพัฒนาตายอด (ดูผลการทดลองที่ 1.2) ทำให้ทราบว่าข้าวพันธุ์เจี๊ยงพัทลุงเริ่มมีอัตราการปรากฏใบข้างที่จุดเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบที่ระยะ 8-9 ใบ และเริ่มกำเนิดตาดอกที่ระยะ 12-13 ใบ จำนวนใบทั้งหมดของต้นหลักที่บันทึกได้มีจำนวนใบประมาณ 15-16 ใบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการทดลองครั้งนี้จะมีช่วงเวลาของการเกิดจุดเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบและการกำเนิดตาดอกได้เร็วกว่า แต่มีจำนวนใบของต้นหลักน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานผลการทดลองในทรีตเมนต์ NO ของข้าวพันธุ์เจี๊ยงพัทลุงพันธุ์เดียวกัน

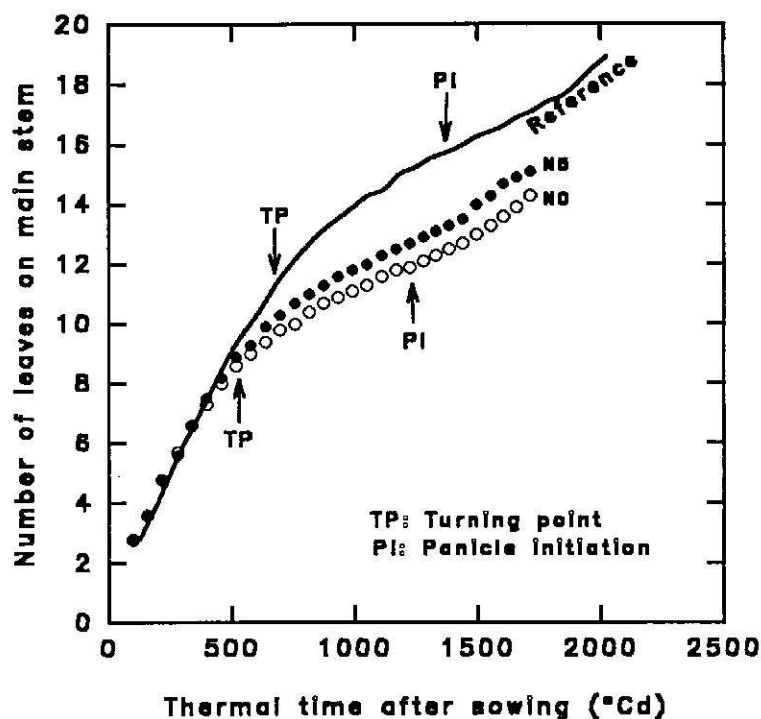


Fig. 2. Relationship between number of leaves on main stem and thermal time after sowing for pot experiment during the 1995-96 wet season (only treatment N0 and N5 are presented). Solid line represent the treatment N0 in pot experiment (1993 dry season). Arrows indicate the timing for turning point (TP) and panicle initiation (PI).

ในสภาพการปลูกที่หนาแน่นน้อยกว่า (1 ต้น กระจ่าง¹) ดังเส้นกราฟอ้างอิงจากผลงานทดลองในปี 2536

ความแตกต่างระหว่างหรือที่ตรงกันในโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับจำนวนใบที่ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติไว้ใน Table 3 นั้น จำนวนใบที่ปรากฏในแต่ละระยะการเจริญเติบโตจะสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจน กล่าวคือ

- จุดเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบ: $N0 \leq N1 \leq N2 \leq N3$ และ $N1 \leq N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$ ที่ $P=0.05$
- ระยะเริ่มกำเนิดตาดอก: $N0 \leq N1 \leq N2$; $N1 \leq N2 \leq N3$; $N3 \leq N4$ และ $N4 \leq N5$ ที่ $P=0.001$
- ระยะใบธง: $N0 \leq N1 \leq N2 \leq N3$; $N3 < N4$ และ $N4 < N5$ ที่ $P=0.001$

ความแปรปรวนของการทดลองทุกระยะการเจริญเติบโตมีค่าน้อยกว่า 2%

Table 3. Number of leaves on main stem at various growth stages for pot experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Turning point	Panicle initiation	Flag leaf
N0	8.6b	11.9d	15.1c
N1	8.7ab	12.1cd	15.1c
N2	8.7ab	12.1cd	15.2c
N3	8.7ab	12.4bc	15.3c
N4	8.9a	12.5ab	15.5b
N5	8.9a	12.7a	15.9a
F-test	*	***	***
CV (%)	1.03	1.06	0.72

*,*** Significant at the 0.05 and 0.001 probability levels

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบของทรีตเมนต์ไนโตรเจนทั้ง 6 ระดับ กับช่วงเวลาความร้อนสะสมหลังการหว่านเมล็ดข้าวของช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการทั้ง 3 ระยะ ประกอบด้วย (1) ระยะต้นกล้าถึงจุดเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบ (2) ระยะจุดเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบถึงระยะเริ่มกำเนิดตาดอก และ (3) ระยะเริ่มกำเนิดตาดอกถึงระยะใบธง มีลักษณะแบบรีเกรสชันเส้นตรง จำนวนใบที่ช่วงเวลาต่าง ๆ คำนวณค่าได้จากสมการที่แสดงใน Table 4 และค่าฟิลโลโครนของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ในช่วงดังกล่าว จะประมาณค่าได้จากส่วนกลับของสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (1/b) ค่าที่คำนวณได้จากทรีตเมนต์ต่าง ๆ แสดงแนวโน้มให้เห็นว่า ค่าฟิลโลโครนหรืออัตราการปรากฏใบมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณไนโตรเจน กล่าวคือ ทรีตเมนต์ N0 ต้องใช้เวลาสำหรับการปรากฏใบแต่ละใบมากกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ที่ได้รับปริมาณไนโตรเจนที่สูงขึ้นในทุก ๆ ช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ตั้งแต่ระยะต้นกล้าขณะมีใบ 3 ใบจนถึงระยะใบธง สมการรีเกรสชันสำหรับการประมาณค่าจำนวนใบของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว มีค่า r^2 มากกว่า 0.95

การยึดลำต้น

ความสูงต้นหลักที่ช่วงเวลาต่าง ๆ หลังการหว่านเมล็ดข้าวของการปลูกในสภาพแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ (Fig.3) มีลักษณะรูปร่างการเจริญเติบโตแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล กล่าวคือ ความสูงต้นหลักจะคงที่ หรือเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก ๆ ของการ

Table 4 Number of leaves on the main stem as a function of thermal time in °Cd after sowing, phyllochron and the coefficient of determination (r^2) for treatment nitrogens in pot experiment at various growth stages during the 1995-96 wet season.

Treatment	Regression equations ($Y = a+bX$)	Phyllochron ($1/b; \text{°Cd leaf}^{-1}$)	r^2
(1) From 3 leaves until turning point:			
N0	$NL=1.6+14.00 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	71.5	0.990 ^{***}
N1	$NL=1.5+14.32 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	69.8	0.993 ^{***}
N2	same as N1	69.8	0.993 ^{***}
N3	same as N1	69.8	0.991 ^{***}
N4	$NL=1.4+14.85 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	67.3	0.994 ^{***}
N5	$NL=1.4+14.75 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	67.8	0.995 ^{***}
(2) From turning point until panicle initiation:			
N0	$NL=6.6+4.44 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	225.2	0.984 ^{***}
N1	$NL=6.8+4.47 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	223.7	0.986 ^{***}
N2	$NL=6.8+4.53 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	220.8	0.981 ^{***}
N3	$NL=6.7+4.80 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	208.3	0.988 ^{***}
N4	$NL=6.9+4.73 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	211.4	0.982 ^{***}
N5	$NL=6.8+4.98 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	200.8	0.977 ^{***}
(3) From panicle initiation until flag leaf:			
N0	$NL=5.6+5.02 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	199.2	0.989 ^{***}
N1	$NL=5.8+5.05 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	198.0	0.997 ^{***}
N2	$NL=5.6+5.14 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	194.6	0.990 ^{***}
N3	$NL=5.8+5.23 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	191.2	0.990 ^{***}
N4	$NL=5.7+5.42 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	184.5	0.991 ^{***}
N5	$NL=5.8+5.45 \times 10^{-3} \text{ CDTT}$	183.5	0.988 ^{***}

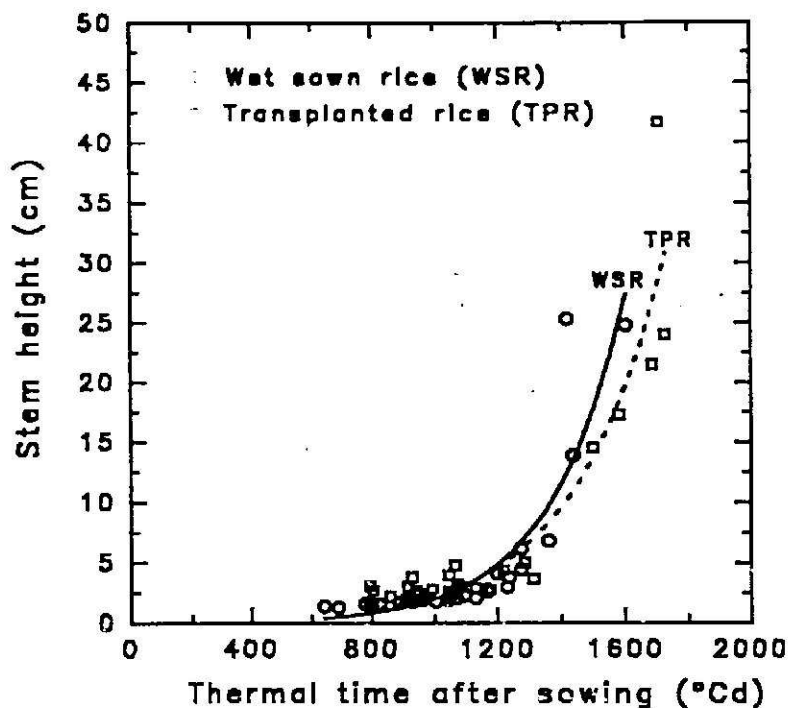


Fig. 3. Relationship between stem height (culm+apex) of main stem and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (1) and (2), respectively.

เจริญเติบโตและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่าความร้อนสะสมมากกว่า 1,000 °Cd (ประมาณ 51 วัน) หลังการหว่านเมล็ดข้าวออก ความสูงต้นหลักของการปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตม (STH_{WSR}) และแบบปักดำ (STH_{TPR}) ที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสม (CDTT) หลังการหว่านเมล็ดข้าวออก สามารถคำนวณค่าได้จากสมการ

$$STH_{WSR} = 2.69 \times 10^{-2} \text{EXP}(4.33 \times 10^{-3} \text{CDTT}), \quad R^2 = 0.807^{***} \quad (1)$$

$$STH_{TPR} = 6.36 \times 10^{-2} \text{EXP}(3.58 \times 10^{-3} \text{CDTT}), \quad R^2 = 0.868^{***} \quad (2)$$

โดยมีค่า R^2 มากกว่า 0.80 ค่าความร้อนสะสมที่คำนวณได้จากสมการขณะที่ต้นหลักสูง 25 มิลลิเมตรของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ มีค่าเท่ากับ 1,050.8 และ 1,010.9 °Cd หรือเท่ากับ 54 และ 52 วันหลังการหว่านเมล็ดข้าวออก ตามลำดับ

สำหรับสภาพการปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1.1 ความสูงต้นหลักของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ขณะที่มีความร้อนสะสม 1,188.5 °Cd (61 วัน) ปรากฏผลการวิเคราะห์ทางสถิติว่า ความ

สูงต้นหลักของทรีตเมนต์ $N_0 \leq N_1 \leq N_2$; $N_2 \leq N_3$ และ $N_3 < N_4 \leq N_5$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 13.68% ค่าเฉลี่ยความสูงต้นหลักในทรีตเมนต์ N_0 , N_1 , N_2 , N_3 , N_4 และ N_5 เท่ากับ 3.4, 4.2, 4.2, 5.6, 7.3 และ 7.7 ซม. ตามลำดับ

พัฒนาการของตาดอก

ระยะต่าง ๆ ของตาดอกที่พัฒนาเปลี่ยนแปลงเป็นตาดอกในช่วงขณะยึดลำต้น (Table 5) สามารถจัดจำแนกอย่างกว้าง ๆ ออกเป็น 2 ระยะ ระยะแรกเป็นการพัฒนาของรวงที่เกี่ยวกับการสร้างคอรวง กลีบรองดอก และระแง้ต่าง ๆ (ระยะ II-VIII) ส่วนระยะหลังเป็นการพัฒนาของดอกที่เกี่ยวกับการสร้างจำนวนดอกและการเปลี่ยนสภาพของเรณูเซลล์แม่ (ระยะ IX-XXI) ข้อมูลตาดอกต้นหลักที่บันทึกได้ในวันเก็บตัวอย่างครั้งแรกเมื่อข้าวมีอายุ 1,406.0 °Cd (72 วัน) จากทรีตเมนต์ต่าง ๆ ในการปลูกแบบกระถางของการทดลองที่ 1.2 พบว่า ทรีตเมนต์ N_0 และ N_1 มีการพัฒนาตาดอกได้ล่าช้ากว่าทรีตเมนต์ N_2 และ N_3 โดยทรีตเมนต์ N_0 และ N_1 กำลังอยู่ในระยะแรกของการเปลี่ยนสภาพระแง้ปฐมภูมิ (ระยะ IV) ในขณะที่ทรีตเมนต์ N_2 และ N_3 อยู่ในระยะกลางของการเปลี่ยนสภาพระแง้ปฐมภูมิ (ระยะ V) แม้ว่าระยะพัฒนาการตาดอกของทรีตเมนต์ N_0 ที่บันทึกได้ทั้ง 2 ครั้งในช่วงแรก ๆ ของการเก็บตัวอย่างจะแสดงผลค่อนข้างชัดเจนว่ามีพัฒนาการของรวงที่ล่าช้ากว่า แต่การพัฒนาในระยะเริ่มเปลี่ยนสภาพของดอก (ระยะ IX) ขณะที่ตาดอกสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visual panicle initiation, VPI) รวมทั้งระยะพัฒนาการของดอกในลำดับต่อมากลับพบว่าเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันกับทรีตเมนต์ในโตรเจนอื่น ๆ ด้วย ผลดังกล่าวนี้ทำให้คาดคะเนได้ว่าทรีตเมนต์ต่าง ๆ เสร็จสิ้นระยะพัฒนาการของรวงที่ช่วงเวลาประมาณ 1,480 °Cd (76 วัน) และเริ่มระยะพัฒนาการของดอกที่ช่วงเวลาประมาณ 1,500 °Cd (77 วัน) หลังการหว่านเมล็ดข้าวออก

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรวงกับระยะพัฒนาการตาดอกของการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 1,406.0-1,554.7 °Cd (72-80 วัน) ของทรีตเมนต์ในโตรเจนทั้ง 4 ระดับ (Fig.4) มีลักษณะการเพิ่มความยาวรวงเป็นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลเช่นเดียวกับลักษณะการเพิ่มความสูงลำต้นความยาวรวง (LPA) ของทรีตเมนต์ในโตรเจนระดับต่าง ๆ ที่ระยะพัฒนาการตาดอก (STPA) ไต ๆ สามารถประมาณค่าได้จากสมการ:

$$\text{ทรีตเมนต์ } N_0: \text{ LPA} = 8.47 \times 10^{-2} \text{ EXP}(30.48 \times 10^{-2} \text{ STPA}), R^2 = 0.885^{***} \quad (3)$$

$$\text{ทรีตเมนต์ } N_1: \text{ LPA} = 8.00 \times 10^{-2} \text{ EXP}(31.36 \times 10^{-2} \text{ STPA}), R^2 = 0.910^{***} \quad (4)$$

$$\text{ทรีตเมนต์ } N_2: \text{ LPA} = 2.88 \times 10^{-2} \text{ EXP}(43.35 \times 10^{-2} \text{ STPA}), R^2 = 0.929^{***} \quad (5)$$

$$\text{ทรีตเมนต์ } N_3: \text{ LPA} = 3.64 \times 10^{-2} \text{ EXP}(42.50 \times 10^{-2} \text{ STPA}), R^2 = 0.941^{***} \quad (6)$$

Table 5. Apical developmental stages of the the main shoot following Matsushima's classification for the four nitrogen treatments during the stem elongation stage. Median stage of the apical in each date of sampling was obtained from 11 individual plants.

Treatment	Apical development stage at the date of sampling ^(a)					
	22/11/95 (1406.0)	24/11/95 (1441.4)	27/11/95 (1496.7)	30/11/95 (1554.7)	05/12/95 (1642.9)	10/12/95 (1732.2)
	<-----panicle development----->			<-----spikelet development----->		
N0	IV	VII	IX	XI	>XII	PMC ^(b)
N1	IV	VII ⁺	IX	XI	>XII	PMC
N2	V	VII ⁺	IX	XI	>XII	PMC
N3	V	VII ⁺	IX	XI	>XII	PMC

(a) Numbers in parenthesis are the accumulated thermal time ($^{\circ}\text{Cd}$) after sowing.

(b) Differentiation to reduction division stages of pollen mother cell.

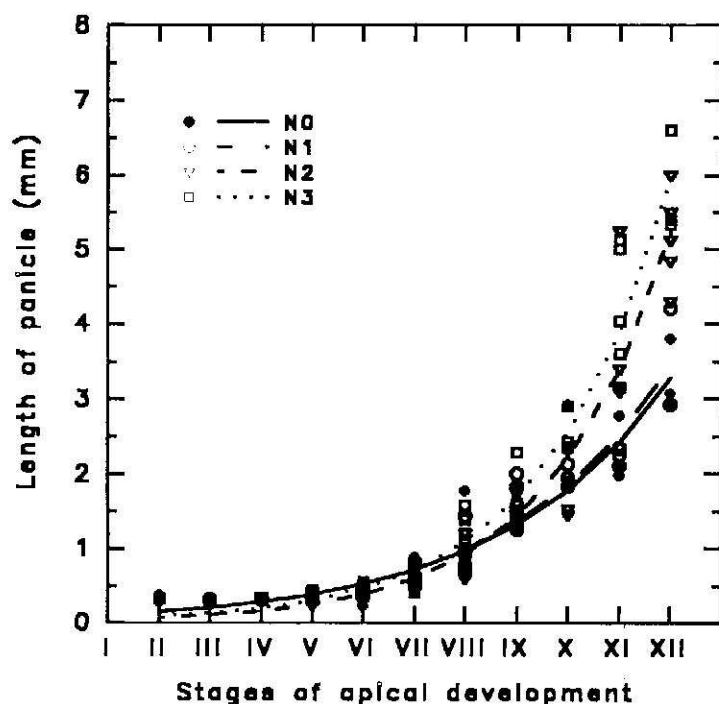


Fig. 4. Relationship between panicle length and apical development stages for treatment N0, N1, N2 and N3 in pot experiment during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (3), (4), (5) and (6), respectively.

ความยาวรวงต้นหลักของทรีตเมนต์ต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงระยะระหว่างการเปลี่ยนสภาพคอรวง (ระยะ II) ขณะปลายรวงเริ่มสร้างตาดอกในทางสรีรวิทยา (physiological panicle initiation, PPI) จนกระทั่งถึงระยะเริ่มแรกของการเปลี่ยนสภาพพระแ่งทุติยภูมิ (ระยะ VII) ค่าเฉลี่ยความยาวรวงที่ระยะ II และ VII จะเท่ากับ 0.1 และ 0.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าความแตกต่างของความยาวรวงระหว่าง ทรีตเมนต์จะเริ่มแสดงให้เห็นชัดเจนขึ้นหลังจากการพัฒนาตาดอระยะ IX เป็นต้นไป ซึ่งค่าความยาวรวงที่คำนวณได้จากสมการสำหรับทรีตเมนต์ N0 N1 N2 และ N3 ที่การพัฒนาตาดอระยะ IX จะเท่ากับ 1.32 1.35 1.42 และ 1.67 และที่ระยะ XII จะเท่ากับ 3.28 3.45 5.23 และ 5.97 มิลลิเมตร ตามลำดับ ลักษณะการเจริญเติบโตในด้านความยาวรวง (Fig.5) ของทรีตเมนต์ทั้ง 4 ปรากฏว่ารวงจะเริ่มเพิ่มขนาดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเปลี่ยนสภาพตาดอระหว่างการพัฒนาตาดอที่ระยะ XII-XIII ขณะข้าวมีอายุประมาณ 1,600 °Cd (83 วัน) จนกระทั่งมีขนาดรวงยาวสุดที่อายุข้าวประมาณ 1,820 °Cd (95 วัน) หรือก่อนระยะผสมเกสรประมาณ 5 วัน ขนาดเฉลี่ยความยาวรวงสูงสุดที่บันทึกได้ในทรีตเมนต์ N0, N1, N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 172.0, 179.3, 195.6 และ 225.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

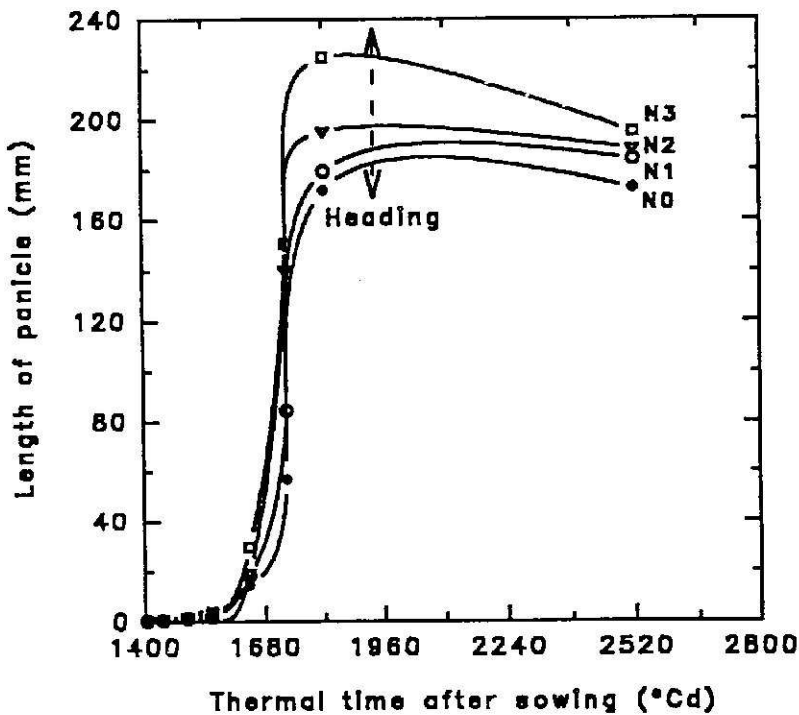


Fig. 5. Relationship between panicle length and thermal time after sowing for treatment N0, N1, N2 and N3 in pot experiment during the 1995-96 wet season. Spline curves were fitted to the observed data. Each observation point is the mean of the 11 individual plants.

จำนวนใบต้นหลักในวันเก็บตัวอย่างครั้งแรก ($1,406.0^{\circ}\text{Cd}$) มีความผันแปรตามระดับอัตราปริมาณไนโตรเจน กล่าวคือ 12.5, 12.8, 12.8 และ 13.0 ใบ ตามลำดับสำหรับทรีตเมนต์ N0, N1, N2 และ N3 อย่างไรก็ตามจำนวนใบทั้งหมดของต้นหลักไม่มีความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ โดยเฉลี่ยจำนวนใบทั้งหมดมีประมาณ 15 ใบ จำนวนใบที่ปรากฏ (NL) ของทั้ง 4 ทรีตเมนต์ มีความสัมพันธ์แบบรีเกรสชันเส้นตรงกับค่าความร้อนสะสม (CDTT) หลังการหว่านเมล็ดข้าวออก (Fig. 6) และจำนวนใบที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ประมาณค่าได้จากสมการ

$$\text{ทรีตเมนต์ N0: } NL = 5.50 + 4.95 \times 10^{-3} \text{ CDTT}, \quad r^2 = 0.998^{***} \quad (7)$$

$$\text{ทรีตเมนต์ N1: } NL = 5.98 + 4.83 \times 10^{-3} \text{ CDTT}, \quad r^2 = 0.990^{***} \quad (8)$$

$$\text{ทรีตเมนต์ N2: } NL = 6.31 + 4.65 \times 10^{-3} \text{ CDTT}, \quad r^2 = 0.969^{***} \quad (9)$$

$$\text{ทรีตเมนต์ N3: } NL = 6.22 + 4.83 \times 10^{-3} \text{ CDTT}, \quad r^2 = 0.982^{***} \quad (10)$$

อัตราการปรากฏใบในช่วงการยืดลำต้นของทรีตเมนต์ต่าง ๆ มีค่าโดยประมาณ 5×10^{-3} ใบ $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$

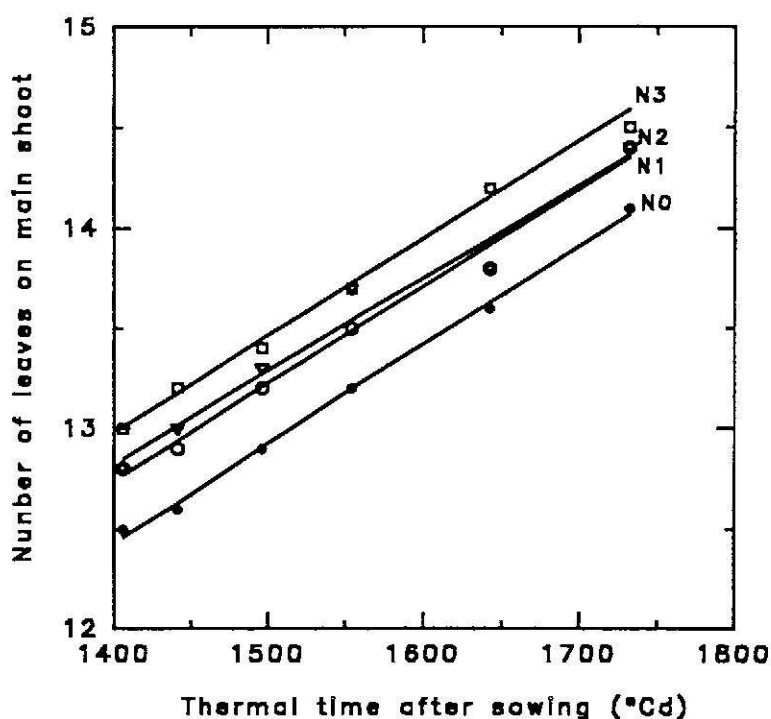


Fig. 6. Relationship between Huan leaf number during stem elongation and thermal time after sowing for treatment N0, N1, N2 and N3 in pot experiment (1995-96 wet season). Each observation point is the mean of the 11 individual plants. The fitted curves are present in equations (7), (8), (9) and (10), respectively.

ความสูงและน้ำหนักแห้งพืชส่วนเหนือดินโดยเฉลี่ยของต้นหลัก ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ปรากฏผลในเชิงบวกที่สัมพันธ์กับระดับปริมาณไนโตรเจน นั่นคือ ทริตเมนต์ $N0 < N1 < N2 < N3$ ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ทางสถิติจากข้อมูลของต้นหลักที่บันทึกในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต (Table 6) ได้แสดงให้เห็นว่า ความสูงลำต้น (ข้อแรก-คอรวง) และความยาวรวงของทริตเมนต์ $N1, N2$ และ $N3$ มีความแตกต่างจากทริตเมนต์ $N0$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.01$ โดยทริตเมนต์ $N0, N1, N2$ และ $N3$ มีความสูงลำต้นเท่ากับ 90.6, 99.6, 102.5 และ 106.2 เซนติเมตร ส่วนรวงจะมีความยาวเท่ากับ 17.3, 18.4, 18.8, และ 19.5 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับจำนวนระแง้ปฐมภูมิของรวงต้นหลักมีค่าผันแปรระหว่าง 7.1-7.6 ระแง้ รวง¹ และไม่มีความแตกต่างในเชิงสถิติกับทริตเมนต์ $N0$ อย่างไรก็ตามจำนวนระแง้มีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับตามอัตราปริมาณไนโตรเจน กล่าวคือ ทริตเมนต์ $N0 \leq N1 \leq N2 \leq N3$

Table 6. Culm height, panicle length and number of primary rachis-branches of the main shoot at harvest for the four N application rates.

Treatment	Culm height ^(a) (cm)	Panicle length (cm)	Number of primary rachis-branches
N0	90.6	17.3	7.1
N1	99.6**	18.4**	7.3NS
N2	102.5**	18.8**	7.5NS
N3	106.2**	19.5**	7.6NS

(a) Height from ground level to panicle necknode.

** t-test significant at the 0.01 probability level from treatment N0.

NS Not significant at the 0.05 level.

จำนวนต้น

สภาพการปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1.1 ซึ่งได้กำหนดจำนวนต้นภายหลังการถอน แยกให้มีอัตราความหนาแน่นกระถางละ 40 ต้นนั้น ตัวอย่างพืชของทริตเมนต์ต่าง ๆ ที่เก็บเกี่ยวในช่วงระยะการยืดลำต้น ระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่ามีจำนวนต้นคงที่เท่ากันตลอดช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเช่นเดียวกันกับวันถอนแยก สำหรับความหนาแน่นจำนวนต้นในสภาพแปลงนาเกษตรกรของการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำ (Fig. 7) ปรากฏผลในทำนองเดียวกันว่า จำนวนต้นที่ตรวจนับได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาต่าง ๆ

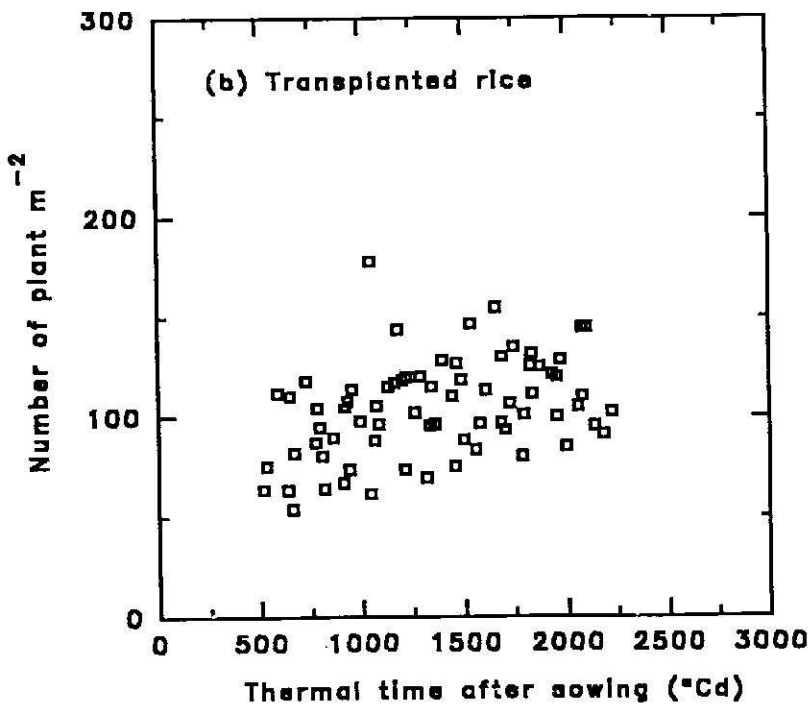
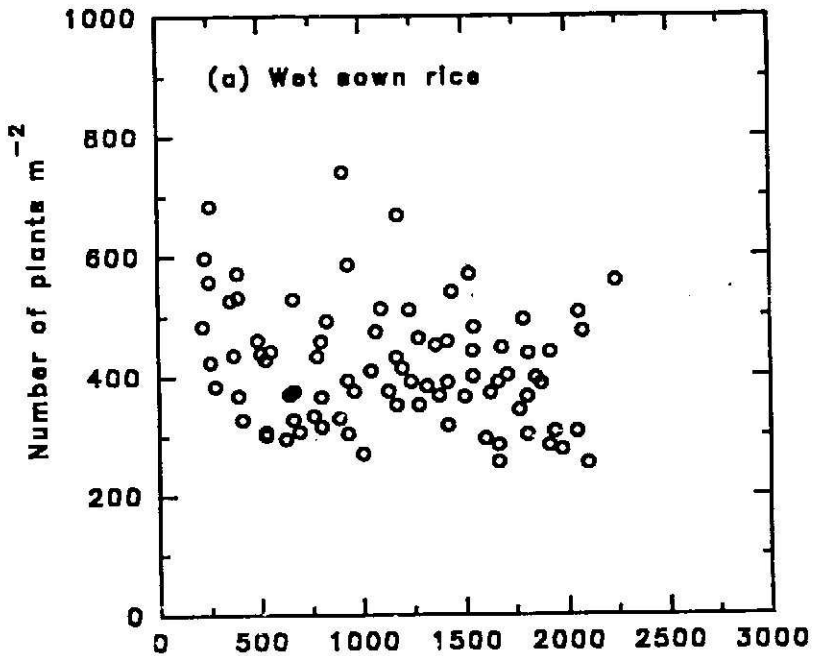


Fig. 7. Relationship between number of plants m^{-2} and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season.

จะมีอัตราความหนาแน่นใกล้เคียงกันตลอดฤดูปลูก การกระจายของจำนวนต้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงระหว่าง 300-600 และ 50-150 ต้น เมตร² ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ตามลำดับ โดยจำนวนต้นเฉลี่ยของแปลงหว่านน้ำตมมีค่าเท่ากับ 416.0 ต้น เมตร² และสัมประสิทธิ์การแปรผัน 13.44% ส่วนแปลงปักดำจะมีค่าเฉลี่ยของจำนวนต้น เมตร² จำนวนต้น กอ¹ และจำนวนกอ เมตร² เท่ากับ 105.1, 5.7 และ 18.6 สัมประสิทธิ์การแปรผัน 10.64, 9.02 และ 2.09% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงจำนวนต้นทั้งหมดซึ่งเป็นผลรวมของต้นหลักและหน่อที่ระยะต่าง ๆ ของการสุ่มเก็บตัวอย่าง (Table 7) จะสังเกตเห็นว่าจำนวนต้นรวมทั้งหมดของการทดลองในกระถางจะเพิ่มขึ้นตามลำดับอัตราการใช้ไนโตรเจน และจำนวนต้นรวมของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีมากกว่าการปลูกแบบปักดำทุก ๆ ช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว การวิเคราะห์ทางสถิติของการทดลองในกระถางแสดงผลความแตกต่างของจำนวนต้นทั้งหมด กระถาง¹ ที่ระยะต่าง ๆ ปรากฏผลดังนี้

- ระยะเริ่มยึดลำต้น:	$N0 \leq N1$; และ $N1 < N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$	ที่ $P=0.01$
- ระยะดอกบาน 50%:	$N0 \leq N1 \leq N2 \leq N3$; $N1 \leq N2 \leq N3 \leq N4$; และ $N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$	ที่ $P=0.05$
- ระยะเก็บเกี่ยว:	$N1 \leq N2 \leq N3$; $N2 \leq N3 \leq N4$; และ $N3 \leq N4 \leq N5$	ที่ $P=0.01$

สัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะต่าง ๆ มีค่าน้อยกว่า 10% ส่วนการปลูกในสภาพแปลงนาเกษตรกร ปรากฏผลว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีจำนวนต้นทั้งหมด เมตร² ที่ระยะเริ่มสร้างหน่อ ระยะเริ่มยึดลำต้น และระยะดอกบาน 50% มากกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระดับความเชื่อมั่นที่ $P=0.01$, 0.05 และ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันค่อนข้างสูงที่ 40.81, 29.16 และ 17.17% ของระยะต่าง ๆ ดังกล่าว ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนต้นทั้งหมดที่บันทึกได้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการจะพบว่า ทริตเมนต์ไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ รวมทั้งการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำในแปลงนาเกษตรกร มีจำนวนต้นทั้งหมดค่อย ๆ ลดจำนวนลงอย่างชัดเจน จากช่วงเริ่มแรกที่ระยะเริ่มสร้างหน่อจนกระทั่งเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ยกเว้นการปลูกแบบปักดำที่มีจำนวนต้นทั้งหมดต่ำสุดในระยะเริ่มสร้างหน่อ ผลดังกล่าวนี้สามารถอธิบายได้จากติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของจำนวนต้นทั้งหมดที่ปลูกในแปลงนาเกษตรกรดังแสดงไว้ใน Fig.8 โดยจำนวนต้นทั้งหมด เมตร² ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ช่วงแรกของการ

Table 7. Number of culms pot⁻¹ for (a) pot experiment and (b) number of culms m⁻² for (b) field experiment at various growth stages during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering	Harvest maturity
	Tillering	Stem elongation		
(a) Pot experiment:				
N0	–	133.3b	99.0c	98.7c
N1	–	135.7b	107.0bc	106.0c
N2	–	149.3a	119.0abc	111.7bc
N3	–	151.7a	120.0abc	122.7ab
N4	–	158.0a	125.7ab	122.0ab
N5	–	165.7a	136.7a	130.3a
F-test	–	**	*	**
CV (%)	–	4.57	8.36	5.38
(b) Field experiment:				
Wet sown rice	765.3a	600.3a	420.7a	–
Transplanted rice	157.6b	329.9b	283.7b	–
F-test	**	*	*	–
CV (%)	40.81	29.16	17.17	–

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

เจริญเติบโตจะมีการเพิ่มของจำนวนต้นทั้งหมด เมตร⁻² แบบริเกรสชันเส้นตรง ส่วนช่วงหลังที่เริ่มจากการสร้างหน่อของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและเริ่มจากขณะยึดลำต้นของการปลูกแบบปักดำ จะมีจำนวนต้นทั้งหมด เมตร⁻² ลดน้อยลงแบบฟังก์ชันลอจิสติก ซึ่งจำนวนต้นทั้งหมด เมตร⁻² ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (NCM2_{WSR}) และแบบปักดำ (NCM2_{TRR}) กับค่าความร้อนสะสม (CDTT) หลังการหว่านเมล็ดข้าววงอก ตั้งแต่การเจริญเติบโตในช่วงแรกจนถึงระยะดอกบาน 50% มีความสัมพันธ์ดังสมการ

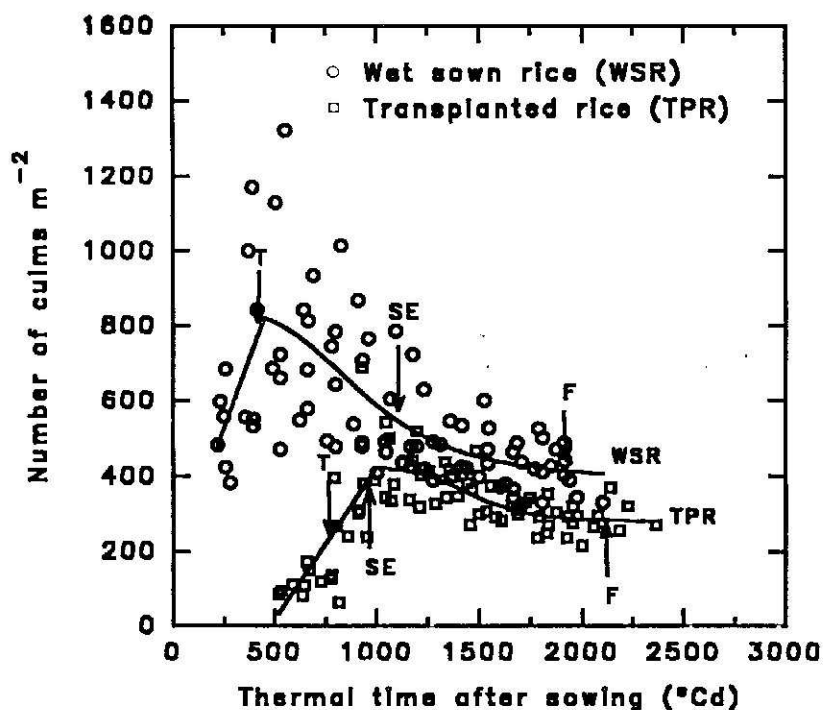


Fig. 8. Relationship between: number of culms m^{-2} and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (11), (12) and (13), (14) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

-การปลูกแบบหว่านน้ำตม :

ช่วงแรกที่ $CDTT \leq 450^{\circ}Cd$

$$NCM2_{WSR} = 107.71 + 1.70CDTT, \quad r^2 = 0.287^{NS} \quad (11)$$

ช่วงหลังที่ $CDTT > 450^{\circ}Cd$

$$NCM2_{WSR} = 388.08 + \frac{455.91}{1 + \left(\frac{CDTT}{940.78}\right)^{3.94}}, \quad R^2 = 0.477^{***} \quad (12)$$

-การปลูกแบบปักดำ :

ช่วงแรกที่ $CDTT \leq 1,000^{\circ}Cd$

$$NCM2_{TPR} = -352.39 + 0.75CDTT, \quad r^2 = 0.490^{***} \quad (13)$$

ช่วงหลังที่ $CDTT > 1,000^{\circ}Cd$

$$NCM2_{TPR} = 279.77 + \frac{145.25}{1 + \left(\frac{CDTT}{1,460.01}\right)^{10.12}}, \quad R^2 = 0.498^{***} \quad (14)$$

สมการต่าง ๆ เหล่านี้แสดงให้เห็นว่า จำนวนต้นทั้งหมดของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำที่ 450 และ 1,000 °Cd มีค่าสูงสุดเท่ากับ 820.3 และ 421.9 ต้น เมตร² ตามลำดับ อัตราการลดลงของจำนวนต้นจะมากที่สุดที่จุดเปลี่ยนความเร็ว 940.8 °Cd ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม และ 1,460.0 °Cd ของการปลูกแบบปักดำ มีค่าเท่ากับ 0.48 และ 0.25 ต้น °Cd⁻¹ และจำนวนต้นทั้งหมดต่ำสุดที่ระยะดอกบาน 50% มีค่าเท่ากับ 388.1 ต้น เมตร² และ 297.8 ต้น เมตร² ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ตามลำดับ

จำนวนหน่อ

กรณีที่จำนวนต้นตั้งแต่ระยะเริ่มแรกการเจริญเติบโตจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้สามารถอธิบายได้ว่า ข้าวซึ่งเป็นพืชที่แตกกอดีจะมีจำนวนต้นทั้งหมดเพิ่มขึ้นหรือลดจำนวนลงในระหว่างการเจริญเติบโตที่ระยะใด ๆ นั้น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนหน่อที่ปรากฏในช่วงเวลาขณะนั้น ๆ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงจำนวนหน่อของสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ของการเจริญเติบโตจนถึงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวเล็กน้อย (Fig. 9) จะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับจำนวนต้นทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว จำนวนหน่อ เมตร² ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (NTM2_{WSF}) และแบบปักดำ (NTM2_{PR}) ที่ปรากฏในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสม (CDTT) หลังการหว่านเมล็ดข้าววงอกแสดงได้ดังสมการ

- การปลูกแบบหว่านน้ำตม:

ช่วงแรกที่ CDTT ≤ 450 °Cd

$$NTM2_{WSF} = -559.38 + 2.26CDTT, \quad r^2 = 0.464^* \quad (15)$$

ช่วงหลังที่ CDTT > 450 °Cd

$$NTM2_{WSF} = 49.67 + \frac{370.53}{1 + \left(\frac{CDTT}{866.79}\right)^{7.43}}, \quad R^2 = 0.565^{***} \quad (16)$$

- การปลูกแบบปักดำ :

ช่วงแรกที่ CDTT ≤ 1,000 °Cd

$$NTM2_{PR} = -412.74 + 0.71CDTT, \quad r^2 = 0.465^{***} \quad (17)$$

ช่วงหลังที่ CDTT > 1,000 °Cd

$$NTM2_{PR} = 170.10 + \frac{139.38}{1 + \left(\frac{CDTT}{1,482.90}\right)^{12.39}}, \quad R^2 = 0.538^{***} \quad (18)$$

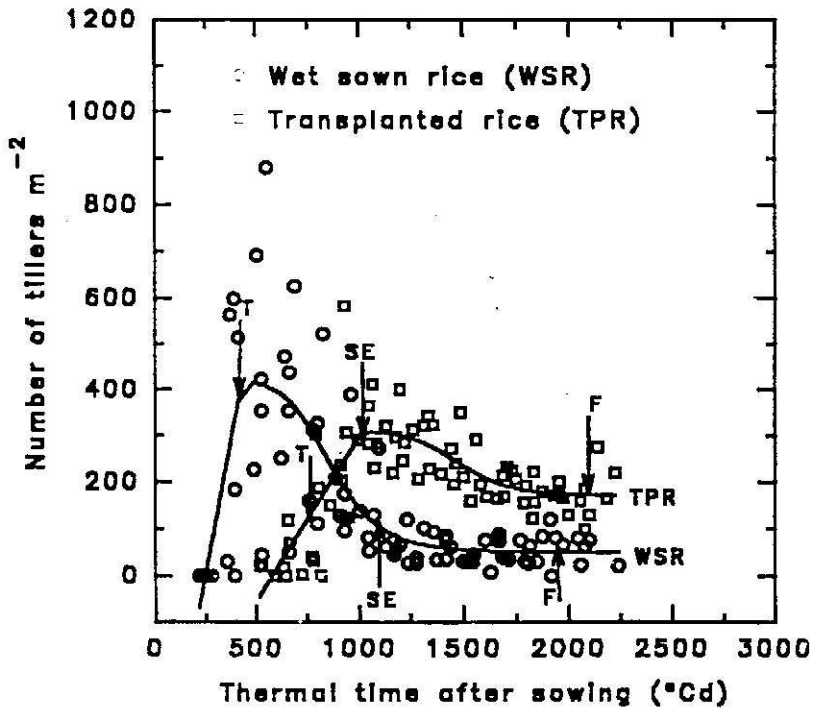


Fig. 9. Relationship between number of tillers m^{-2} and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (15), (16) and (17), (18) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

แม้ว่าค่าสูงสุดของจำนวนหน่อ เมตร⁻² ที่ $450^{\circ}Cd$ ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีจำนวนถึง 417.4 หน่อ เมตร⁻² และมีจำนวนมากกว่าการปลูกแบบปักดำในช่วงเวลา $1,000^{\circ}Cd$ ซึ่งมีจำนวนหน่อเพียง 308.4 หน่อ เมตร⁻² อย่างไรก็ตามค่าต่ำสุดของจำนวนหน่อที่ระยะหลังดอกบาน 50% ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ โดยมีค่าเท่ากับ 49.7 และ 170.1 หน่อ เมตร⁻² ตามลำดับ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการลดลงของหน่อในการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีอัตราที่สูงกว่านั่นเอง กล่าวคือ อัตราการลดลงของหน่อที่จุดเปลี่ยนความเว้าที่ $866.8^{\circ}Cd$ ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม และ $1,482.9^{\circ}Cd$ ของการปลูกแบบปักดำมีค่าเท่ากับ 0.79 และ 0.29 หน่อ $^{\circ}Cd^{-1}$ ตามลำดับ

ผลการศึกษานับจำนวนหน่อ ต้น⁻¹ จากการบันทึกหน่อที่เกิดจากต้นหลักในช่วงระยะเวลาปรากฏใบของสภาพการปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1.1 พบว่า ทุก ๆ ทรिटเมนต์ในโตรเจนจะเริ่มสร้างหน่อแรก T2 ที่เกิดจากซอกใบที่ 2 ของต้นหลักในช่วงขณะที่ข้าวมีความร้อนสะสม

217.3°Cd (ประมาณ 11 วัน) และหน่อสุดท้ายที่ปรากฏในทริตเมนต์ NO จะเป็นหน่อ T4 ส่วนทริตเมนต์อื่น ๆ จะเป็นหน่อ T5 ที่ประมาณช่วงค่าความร้อนสะสม 337.3 และ 400.1°Cd หรือประมาณ 17 และ 20 วันหลังจากวันเมล็ดข้าวออก ตามลำดับ จำนวนหน่อ ต้น¹ ขณะสิ้นสุดการเกิดหน่อของทริตเมนต์ NO และทริตเมนต์อื่น ๆ (N2-N5) มีประมาณ 3 และ 4 หน่อ ต้น¹ ตามลำดับ และไม่ปรากฏว่ามีหน่อ T1 เกิดขึ้นในทุก ๆ ทริตเมนต์ของการทดลองครั้งนี้ (การกำหนดชื่อใบและหน่อดูรายละเอียดต่าง ๆ ได้ใน รั้งสรรค์ อากาศัพพะกุล, 2538a) ในทำนองเดียวกันลักษณะการเปลี่ยนแปลงจำนวนหน่อ ต้น¹ ของสภาพการปลูกในกระถางทดลองกับในสภาพแปลงเกษตรกรของการทำนาหว่านน้ำตม (Fig.10) จะมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน ข้อมูลการทดลองในกระถางจะสนับสนุนให้เห็นว่า การปลูกแบบหว่านข้าวออกของการทำน่าน้ำตมที่ใช้อัตราการปลูกค่อนข้างหนาแน่นดังเช่นการทดลองครั้งนี้ จะมีช่วงเวลาเพียงสั้น ๆ สำหรับการสร้างหน่อ และจำนวนหน่อจะลดลงอย่างรวดเร็วก่อนระยะการยืดลำต้น ส่วนการทำนาแบบปักดำจะมีช่วงเวลาการสร้างหน่อยาวนานกว่า และจำนวนหน่อที่ลดลงจะเกิดขึ้นภายหลังระยะการยืดลำต้น อย่างไรก็ตามการลดลงของจำนวนหน่อทั้ง 2 แบบการปลูกจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงระยะดอกบาน 50% สมการสำหรับประมาณค่าจำนวนหน่อ ต้น¹ ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (NTNP_{WSR}) และแบบปักดำ (NTNP_{PR}) ที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลังจากการหว่านเมล็ดข้าวออก จะเป็นฟังก์ชันเดียวกันกับการลดลงของจำนวนหน่อ เมตร² กล่าวคือ

- การปลูกแบบหว่านน้ำตม:

ช่วงแรกที่ CDTT ≤ 450 °Cd

$$NTNP_{WSR} = -1.37 + 5.48 \times 10^{-3} CDTT, \quad r^2 = 0.485^* \quad (19)$$

ช่วงหลังที่ CDTT > 450 °Cd

$$NTNP_{WSR} = 0.15 + \frac{0.97}{1 + \left(\frac{CDTT}{854.23}\right)^{8.90}}, \quad R^2 = 0.584^{***} \quad (20)$$

- การปลูกแบบปักดำ :

ช่วงแรกที่ CDTT ≤ 1,000 °Cd

$$NTNP_{PR} = -4.11 + 7.34 \times 10^{-3} CDTT, \quad r^2 = 0.438^{***} \quad (21)$$

ช่วงหลังที่ CDTT > 1,000 °Cd

$$NTNP_{PR} = 1.58 + \frac{1.42}{1 + \left(\frac{CDTT}{1,500.84}\right)^{15.99}}, \quad R^2 = 0.392^{***} \quad (22)$$

การประมาณค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับจำนวนหน่อ ต้น¹ ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม จะมีค่าสูงสุดที่

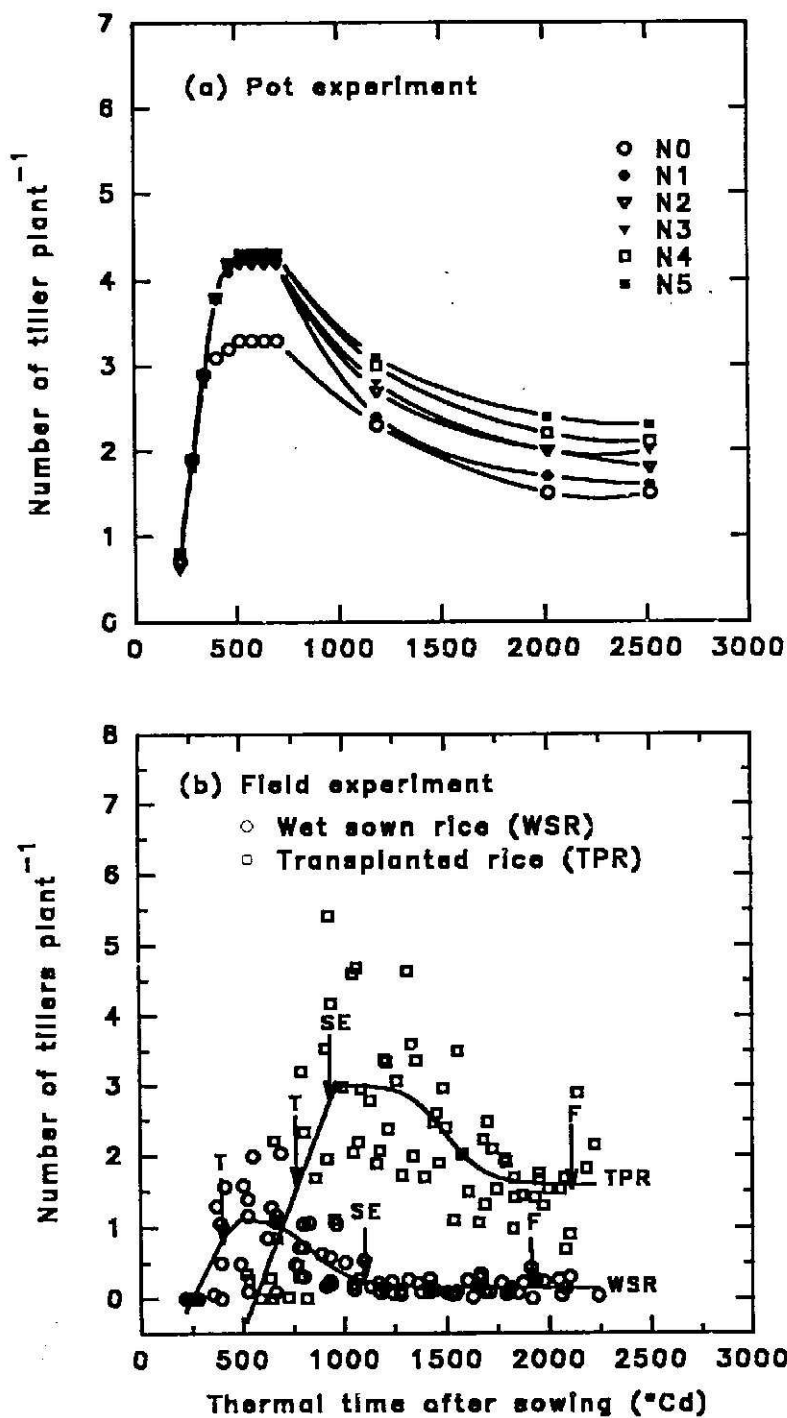


Fig. 10. Relationship between number of tillers plant⁻¹ and thermal time after sowing for (a) pot experiment and for (b) field experiment during the 1995-96 wet season. The fitted curves of field experiment are present in equations (19), (20) and (21), (22) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

450°Cd เท่ากับ 1.1 หน่วย ต้น¹ อัตราการลดลงของจำนวนหน่อสูงสุดที่จุดเปลี่ยนความเว้า 854.2°Cd เท่ากับ 2.5×10^3 หน่วย $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ และจำนวนหน่อ ต้น¹ ต่ำสุดที่ระยะดอกบาน 50% เท่ากับ 0.2 หน่วย ต้น¹ ส่วนการปลูกแบบปักดำจะมีจำนวนหน่อ ต้น¹ สูงสุดที่ $1,000^{\circ}\text{Cd}$ เท่ากับ 3.0 หน่วย ต้น¹ อัตราการลดลงของจำนวนหน่อสูงสุดที่จุดเปลี่ยนความเว้า $1,500.8^{\circ}\text{Cd}$ เท่ากับ 3.8×10^3 หน่วย $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ และจำนวนหน่อต่ำสุดที่ระยะดอกบาน 50% เท่ากับ 1.6 หน่วย ต้น¹

ผลวิเคราะห์ทางสถิติของจำนวนหน่อ ต้น¹ (Table 8) ได้แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างระหว่างพรีติเมนต์ไนโตรเจนของการทดลองในกระถางในช่วงระยะต่าง ๆ มีดังนี้

- ระยะเริ่มยึดลำต้น:	$N0 \leq N1 < N2; N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$	ที่ $P=0.001$
- ระยะดอกบาน 50%:	$N0 \leq N1 \leq N2 \leq N3; N1 \leq N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$; และ $N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$	ที่ $P=0.05$
- ระยะเก็บเกี่ยว:	$N0 \leq N1 \leq N2; N2 \leq N3 \leq N4$; และ $N3 \leq N4 \leq N5$	ที่ $P=0.001$

สัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะทั้ง 3 มีค่าเท่ากับ 5.86 12.78 และ 7.94% ตามลำดับ สำหรับในสภาพแปลงนาเกษตรกรจะพบว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตามทีระยะเริ่มสร้างหน่อจะมีจำนวนหน่อ ต้น¹ ไม่แตกต่างกันกับการปลูกแบบปักดำที่ระดับความเชื่อมั่น $P > 0.05$ ส่วนที่ระยะเริ่มยึดลำต้น และระยะดอกบาน 50% กลับมีจำนวนหน่อ ต้น¹ น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.01$ และ 0.001 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าค่อนข้างสูงเท่ากับ 40.96 42.94 และ 23.89% ที่ระยะเริ่มสร้างหน่อ ระยะเริ่มยึดลำต้น และระยะดอกบาน 50% ตามลำดับ

พื้นที่ใบและองค์ประกอบพื้นที่ใบ

พื้นที่ใบข้าว (LA) ในหนึ่งหน่วยพื้นที่ สามารถคำนวณค่าได้จากความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของจำนวนใบ (NL) กับขนาดใบเฉลี่ย (LSIZE) หรือระหว่างผลคูณของจำนวนต้นทั้งหมด (NC) กับจำนวนใบของแต่ละต้น (NLC) และขนาดใบเฉลี่ย ค่าสหสัมพันธ์เมทริกซ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ทั้ง 5 ลักษณะดังกล่าว (Table 9) ของสภาพการปลูกในกระถางปรากฏผลให้เห็นว่า ค่าสหสัมพันธ์ต่าง ๆ ระหว่างตัวแปร 2 ลักษณะที่คำนวณได้ในระยะการยึดลำต้นนั้น ค่าส่วนใหญ่จะแสดงความสัมพันธ์เป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ ผลเช่นนี้ได้พบในลักษณะทำนองเดียวกันที่ระยะดอกบาน 50% ยกเว้นจำนวนใบ ต้น¹ กับขนาดใบเฉลี่ยที่ระยะดอกบาน 50% แม้ว่าจะมีค่าเป็นบวกแต่ไม่พบความสัมพันธ์ในเชิงสถิติ ส่วนพื้นที่ใบและองค์ประกอบพื้นที่ใบตั้งแต่ระยะต้นกล้าจน

Table 8. Number of tillers plant⁻¹ at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering	Harvest maturity
	Tillering	Stem elongation		
(a) Pot experiment:				
N0	–	2.3b	1.5c	1.5c
N1	–	2.4b	1.7bc	1.6c
N2	–	2.7a	1.9abc	1.8bc
N3	–	2.8a	2.0abc	2.1ab
N4	–	3.0a	2.2ab	2.1ab
N5	–	3.1a	2.4a	2.3a
F-test	–	***	*	***
CV (%)	–	5.86	12.76	7.94
(b) Field experiment:				
Wet sown rice	0.8a	0.3b	0.3b	–
Transplanted rice	0.9a	3.1a	2.0a	–
F-test	NS	**	***	–
CV (%)	40.96	42.94	23.89	–

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

ถึงระยะดอกบาน 50% ในสภาพแปลงนาเกษตรกรทั้ง 2 แบบการปลูก ความสัมพันธ์โดยรวมจะแสดงผลคล้าย ๆ กับการปลูกในกระถาง กล่าวคือ ส่วนใหญ่ของค่าสหสัมพันธ์มีผลเป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ เช่นกัน ยกเว้นค่าสหสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบ เมตร² กับจำนวนต้นทั้งหมด เมตร² และจำนวนใบ เมตร² กับขนาดใบเฉลี่ยของการปลูกแบบหว่านน้ำตม และจำนวนต้น เมตร² กับจำนวนใบ ต้น⁻¹ ของการปลูกทั้ง 2 แบบไม่แสดงความสัมพันธ์ในเชิงสถิติ สำหรับค่าสหสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนต้น เมตร² กับขนาดใบเฉลี่ย จะมีความแตกต่างกันตามแบบการปลูก โดย

Table 9. Correlation matrix of leaf area components for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

(a) Pot experiment: Stem elongation and 50% flowering.

Above and below diagonal for stem elongation stage (n=18) and 50% flowering stage (n=18), respectively.

	LA pot ⁻¹	NL pot ⁻¹	NC pot ⁻¹	NLC	LSIZE
LA pot ⁻¹	–	0.916 ^{***}	0.880 ^{***}	0.690 ^{**}	0.900 ^{***}
NL pot ⁻¹	0.815 ^{***}	–	0.949 ^{***}	0.782 ^{***}	0.669 ^{**}
NC pot ⁻¹	0.845 ^{***}	0.929 ^{***}	–	0.556 [*]	0.655 ^{**}
NLC	0.575 [*]	0.856 ^{***}	0.611 ^{**}	–	0.490 [*]
LSIZE	0.888 ^{***}	0.474 [*]	0.591 ^{**}	0.211 ^{NS}	–

(b) Field experiment: Beginning of tillering until 50% flowering.

Above and below diagonal for wet sown rice (n=148) and transplanted rice (n=135), respectively.

	LA m ⁻²	NL m ⁻²	NC m ⁻²	NLC	LSIZE
LA m ⁻²	–	0.429 ^{***}	0.155 ^{NS}	0.698 ^{***}	0.779 ^{***}
NL m ⁻²	0.690 ^{***}	–	0.906 ^{***}	0.347 ^{***}	-0.155 ^{NS}
NC m ⁻²	0.523 ^{***}	0.923 ^{***}	–	-0.060 ^{NS}	-0.390 ^{***}
NLC	0.580 ^{***}	0.393 ^{***}	0.045 ^{NS}	–	0.547 ^{***}
LSIZE	0.866 ^{***}	0.305 ^{***}	0.170 [*]	0.457 ^{***}	–

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

LA=leaf area; NL=number of leaves; NC=number of culms; NLC=number of leaves culm⁻¹; and LSIZE=leaf size.

การปลูกแบบหว่านน้ำตมมีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบที่ระดับความเชื่อมั่น P=0.001 แต่การปลูกแบบปักดำมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกที่ระดับความเชื่อมั่น P=0.05 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเกิดขึ้นจากผลของปริมาณไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูก ที่ทำให้เกิดความแปรปรวนในแต่ละลักษณะดังนี้

1. พื้นที่ไบน

การวิเคราะห์ทางสถิติของพื้นที่ไบนในช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะต่าง ๆ (Table 10) จากสภาพการปลูกแบบกระถางแสดงผลความแตกต่างของพื้นที่ไบน กระถาง¹ ระหว่าง ทริตเมนต์ไนโตรเจนดังนี้

-ระยะเริ่มยึดลำต้น:	$N0 \leq N1; N1 \leq N2; N2 \leq N3; \text{ และ } N3 < N4 \leq N5$	ที่ $P=0.001$
-ระยะดอกบาน 50%:	$N0 \leq N1; N1 \leq N2 \leq N3 < N4; \text{ และ } N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$	ที่ $P=0.01$

ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะเริ่มยึดลำต้นและระยะดอกบาน 50% มีค่าเท่ากับ 8.55 และ 17.78% ตามลำดับ ส่วนความแตกต่างของพื้นที่ไบนระหว่างแบบการปลูกได้แสดงผลให้เห็นว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตมที่ระยะเริ่มสร้างหน่อและที่ระยะดอกบาน 50% จะมีพื้นที่ไบนมากกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.01$ และ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ค่อนข้างสูงเท่ากับ 32.37 และ 42.47% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพื้นที่ไบน เมตร² ที่ระยะดอกบาน 50% ไม่แสดงความแตกต่างในเชิงสถิติ และสัมประสิทธิ์การแปรผันลดลงมีค่าเท่ากับ 16.53% ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพื้นที่ไบนของสภาพการปลูกในกระถางจะมีความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกร โดยค่าพื้นที่ไบน กระถาง¹ ของทริตเมนต์ทุกระดับไนโตรเจนจะมีค่าสูงสุดที่ระยะยึดลำต้น ส่วนค่าพื้นที่ไบน เมตร² ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำจะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระยะเริ่มสร้างหน่อจนมีค่าสูงสุดที่ระยะดอกบาน 50% การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ไบน เมตร² ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม ($LAM2_{WSR}$) และแบบปักดำ ($LAM2_{TPR}$) กับค่าช่วงเวลาความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออกตลอดระยะเวลาช่วงเวลาก่อสร้างพื้นที่ไบน พบว่ามีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันลอจิสติก (Fig.11) ดังสมการ

$$LAM2_{WSR} = \frac{26,762.58}{1 + 7.11 \text{EXP}(-3.42 \times 10^{-3} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.484^{***} \quad (23)$$

$$LAM2_{TPR} = \frac{31,380.87}{1 + 403.92 \text{EXP}(-5.87 \times 10^{-3} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.839^{***} \quad (24)$$

ค่าพารามิเตอร์ของสมการทั้งสองแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ไบนสูงสุดและอัตราการสร้างพื้นที่ไบนของการปลูกแบบหว่านน้ำตม มีค่าน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ โดยค่าสูงสุดของพื้นที่ไบน เมตร² มีค่าเท่า

Table 10. Leaf area in $\text{cm}^2 \text{pot}^{-1}$ for (a) pot experiment and leaf area in $\text{cm}^2 \text{m}^{-2}$ for (b) field experiment at various growth stages during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	—	8,041.75(7.90)d	4,816.60(4.73)c
N1	—	8,965.11(8.81)cd	6,854.93(6.73)bc
N2	—	10,712.42(10.52)bc	8,614.84(8.46)ab
N3	—	11,780.61(11.57)b	9,111.86(8.95)ab
N4	—	13,870.63(13.63)a	10,153.38(9.98)ab
N5	—	14,391.47(14.13)a	12,125.41(11.91)a
F-test	—	***	**
CV (%)	—	8.55	17.78
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	8,783.71(0.89)a	24,413.42(2.44)a	26,224.37(2.62)a
Transplanted rice	3,864.46(0.39)b	12,450.34(1.25)b	27,846.73(2.78)b
F-test	**	*	NS
CV (%)	32.37	42.47	16.53

*,**,*** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

Leaf area indexes are in parenthesis.

กับ 26,762.58 และ 31,38.87 เซนติเมตร² เมตร⁻² และอัตราการสร้างพื้นที่ใบ เมตร⁻² มีค่าเท่ากับ 3.42×10^{-3} และ 5.87×10^{-3} เซนติเมตร² เมตร⁻² °Cd⁻¹ ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ตามลำดับ จุดเปลี่ยนความเร็วที่ 0.5 ของค่าพื้นที่ใบ เมตร⁻² สูงสุด จะเกิดขึ้นที่ 574.0°Cd (29 วัน) ก่อนการยึดลำต้นของการปลูกแบบหว่านน้ำตม และที่ 1,022.2°Cd (52 วัน) หลังการยึดลำต้นของการปลูกแบบปักดำ อัตราการสร้างพื้นที่ใบสูงสุดที่คำนวณได้ จะมีค่าเท่ากับ 22.88×10^{-3} และ 46.05×10^{-3} เซนติเมตร² เมตร⁻² °Cd⁻¹ ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ตามลำดับ

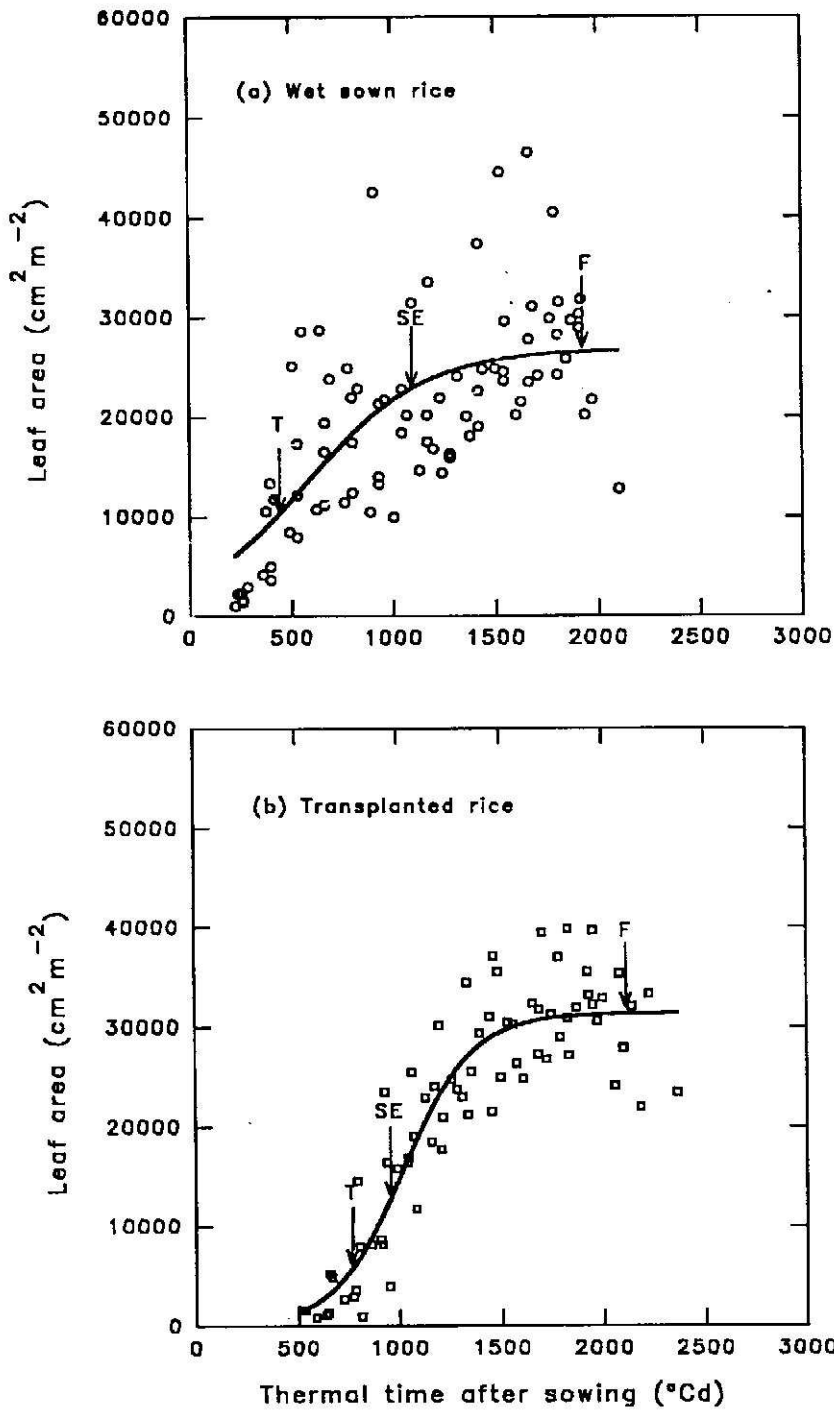


Fig. 11. Relationship between leaf area and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (23) and (24), respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

สำหรับระยะเวลาการสร้างพื้นที่ใบหลังการหว่านเมล็ดข้าวออกจนกระทั่งถึงระยะเวลาที่ค่าพื้นที่ใบมีค่าเท่ากับ 0.99 ของค่าพื้นที่ใบสูงสุด จะพบว่าการปลูกแบบปักดำที่มีระยะเวลาการสร้างใบเท่ากับ 1,918.4^oCd (98 วัน) ซึ่งนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกแบบปักดำที่มีระยะเวลาการสร้างใบเท่ากับ 1,804.9^oCd (93 วัน) การประมาณค่าพื้นที่ใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสมแสดงค่า R^2 ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากข้อมูลมีความแปรปรวนสูงดังจะเห็นได้จากลักษณะการกระจายของจุดสังเกตที่เกิดขึ้นใน Fig. 11(a)

2. จำนวนใบ

ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร ที่ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตและพัฒนากการ (Table 11) แสดงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ในโตรเจน และระหว่างวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมกับแบบปักดำ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ระยะเวลาต่าง ๆ จะคล้าย ๆ กันกับการวิเคราะห์ผลของจำนวนต้นทั้งหมด (Table 7) ที่ได้กล่าวรายละเอียดมาแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาถึงจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ (Table 12) จะสังเกตเห็นว่า สภาพการปลูกในกระถางมีค่าเฉลี่ยจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ ที่ระยะเริ่มยึดลำต้นและระยะดอกบาน 50% จะผันแปรอยู่ในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 3.2-3.5 และ 3.6-4.1 ใบ ต้นทั้งหมด¹ และไม่แสดงผลความแตกต่างในทางสถิติ โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผันค่อนข้างต่ำเท่ากับ 4.79 และ 7.38% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับสอดคล้องกับระดับทรีตเมนต์ในโตรเจน สำหรับสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ ในช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนากการที่ระยะต่าง ๆ มีความผันแปรในช่วงแคบ ๆ เช่นเดียวกันประมาณ 3-4 ใบ ต้นทั้งหมด¹ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระยะเริ่มสร้างหน่อของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ แต่ที่ระยะเริ่มยึดลำต้นและที่ระยะดอกบาน 50% มีจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติระหว่างวิธีการปลูกทั้ง 2 แบบ สัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะเริ่มสร้างหน่อจะมีค่าสูงกว่าที่ระยะเริ่มยึดลำต้นและระยะดอกบาน 50% ตามลำดับเท่ากับ 16.27, 15.52 และ 9.92%

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ จะค่อย ๆ เพิ่มจำนวนมากขึ้นตามลำดับตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ก่อนระยะเริ่มสร้างหน่อจนกระทั่งถึงระยะดอกบาน 50% (Fig.12) ซึ่งจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ ของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (NLC_{WSS}) และแบบปักดำ (NLC_{PD}) กับค่าความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลัการหว่านเมล็ดข้าวออก มีความสัมพันธ์เป็นแบบรีเกรสชันเส้นตรง ดังสมการ

Table 11. Number of leaves pot⁻¹ for (a) pot experiment and number of leaves m⁻² for (b) field experiment at various growth stages during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	--	433.0b	359.0c
N1	--	438.3b	393.7bc
N2	--	491.7a	478.0abc
N3	--	508.0a	495.7abc
N4	--	550.7a	516.7ab
N5	--	574.7a	556.3a
F-test	--	***	*
CV (%)	--	4.90	12.39
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	2,244.0a	2,026.7a	1,483.0a
Transplanted rice	579.7b	1,131.7b	992.0b
F-test	**	*	*
CV (%)	41.64	36.50	20.67

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

$$NLC_{WSR} = 2.88 + 5.55 \times 10^{-4} \text{CDTT}, \quad r^2 = 0.282^{***} \quad (25)$$

$$NLC_{TPR} = 3.36 + 3.59 \times 10^{-4} \text{CDTT}, \quad r^2 = 0.110^{**} \quad (26)$$

แม้ว่า r^2 ของสมการทั้งสองจะมีค่าค่อนข้างต่ำ แต่จำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสมที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ และ $P=0.01$ ตามลำดับสำหรับการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำ

Table 12. Number of leaves culm⁻¹ at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	—	3.2a	3.6a
N1	--	3.2a	3.7a
N2	—	3.3a	4.0a
N3	—	3.4a	4.1a
N4	—	3.5a	4.1a
N5	--	3.5a	4.1a
F-test	--	NS	NS
CV (%)	—	4.79	7.38
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	2.9b	3.4a	3.5a
Transplanted rice	3.8a	3.3a	3.6a
F-test	*	NS	NS
CV (%)	16.27	15.52	9.92

* Significant at the 0.05 probability level.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

3.ขนาดใบ

ส่วนของแผ่นใบเฉลี่ยจากสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร (Table 13) แสดงให้เห็นว่าทริตเมนต์ไนโตรเจนของการทดลองในกระถางจะมีขนาดใบเฉลี่ยแตกต่างกันในทางสถิติที่ระยะต่าง ๆ ดังนี้

- ระยะเริ่มยืดลำต้น: $N0 \leq N1 \leq N2$, และ $N1 \leq N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$ ที่ $P=0.01$
- ระยะดอกบาน 50%: $N0 \leq N1 \leq N2 \leq N3 \leq N4$; และ $N1 \leq N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$ ที่ $P=0.05$

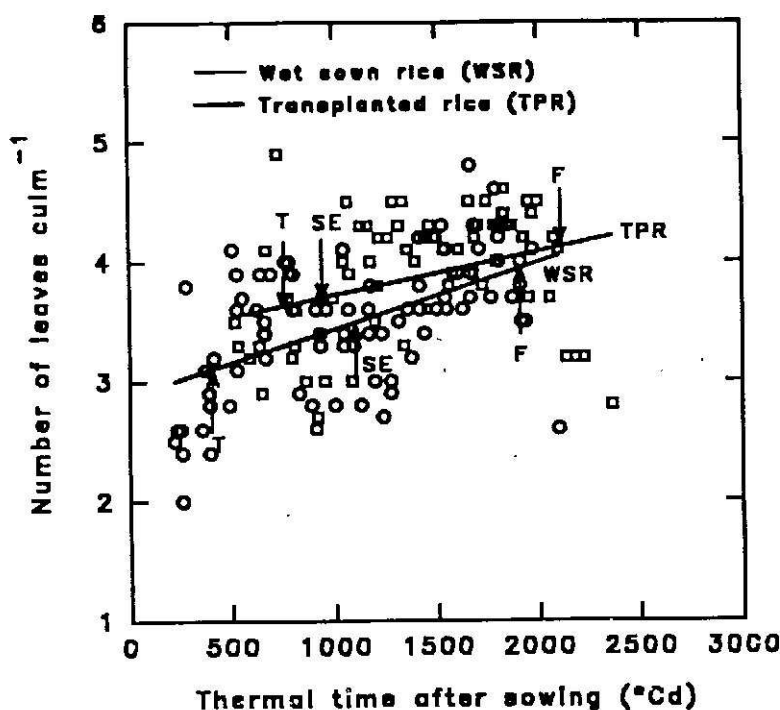


Fig. 12. Relationship between number of leaves culm⁻¹ and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (25) and (26) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

สัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะเริ่มยืดลำต้นและที่ระยะดอกบาน 50% มีค่าเท่ากับ 8.30 และ 13.54% ตามลำดับ ส่วนความแตกต่างของขนาดใบเฉลี่ยอันเนื่องจากแบบวิธีการปลูกปรากฏผลว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตามที่ระยะเริ่มสร้างหน่อและที่ระยะดอกบาน 50% จะมีขนาดใบเฉลี่ยเล็กกว่า แต่ที่ระยะเริ่มยืดลำต้นกลับมีขนาดใบเฉลี่ยใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดใบเฉลี่ยที่ระยะเดียวกันของการปลูกแบบปักดำ โดยมีความแตกต่างทางสถิติที่ระยะเริ่มสร้างหน่อ ระยะเริ่มยืดลำต้น และระยะดอกบาน 50% ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.05, 0.05 และ 0.001 สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 22.83, 4.82 และ 10.39% ตามลำดับ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดใบเฉลี่ยระหว่างช่วงระยะเริ่มยืดลำต้นจนถึงระยะดอกบาน 50% ของสภาพการปลูกในกระถางกับในแปลงนาเกษตรกรจะมีความแตกต่างอย่างเด่นชัด กล่าวคือ ขนาดใบเฉลี่ยของทริตเมนต์ในโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ มีแผ่นใบเล็กลง ในขณะที่ขนาดใบเฉลี่ยของการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำกลับมีแผ่นใบเพิ่มใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการปลูกแบบปักดำจะมีขนาดใบเฉลี่ยใหญ่ที่สุด อย่างไรก็ตามสภาพการปลูกในกระถางที่ระยะเริ่มยืดลำต้น จะมีขนาดใบเฉลี่ยใหญ่กว่าสภาพการปลูกในแปลงเกษตรกรทั้ง 2 แบบวิธีการปลูก แต่ที่ระยะดอกบาน 50% จะมีขนาดใบ

Table 13. Leaf size in $\text{cm}^2 \text{ leaf}^{-1}$ at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	—	18.28b	13.27b
N1	—	20.57ab	17.13ab
N2	—	21.82ab	18.07ab
N3	—	23.22a	18.27ab
N4	—	24.72a	19.78ab
N5	—	25.09a	21.98a
F-test	—	**	*
CV (%)	—	8.30	13.54
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	3.91b	11.96a	17.48b
Transplanted rice	6.74a	10.83b	28.13a
F-test	*	*	***
CV (%)	23.83	4.82	10.39

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

เฉลี่ยใกล้เคียงกับการปลูกแบบหว่านน้ำตม (ยกเว้นทรีตเมนต์ N0)

รูปแบบการเจริญเติบโตของขนาดใบเฉลี่ยในสภาพแปลงนาเกษตรกรที่มีการปลูกแบบหว่านน้ำตม ($LSIZE_{WSR}$) และแบบปักดำ ($LSIZE_{TPR}$) จะมีขนาดใบเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลัการหว่านเมล็ดข้าววงอก โดยแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะแบบรีเกรสชันเส้นตรง (Fig. 13) และขนาดใบเฉลี่ยของวิธีการปลูกทั้ง 2 แบบ ที่ช่วงเวลาค่าความร้อนสะสมใด ๆ สามารถประมาณค่าได้จากสมการ

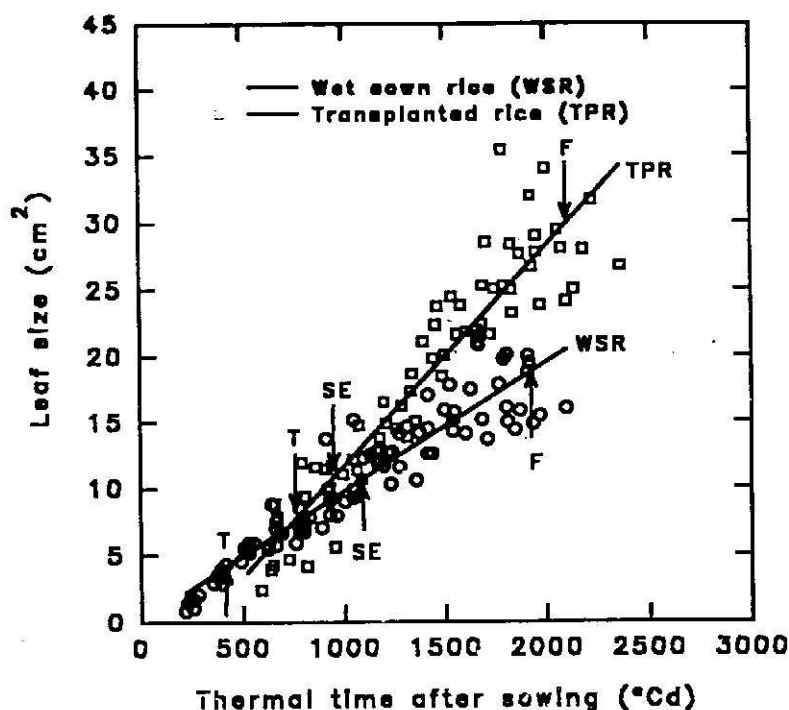


Fig. 13. Relationship between leaf size and thermal time after sowing for field experiment of wet sown rice and transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (27) and (28) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

$$LSIZE_{WSR} = 0.08 + 9.71 \times 10^{-3} CDTT, \quad r^2 = 0.877^{***} \quad (27)$$

$$LSIZE_{TPR} = 4.87 + 16.53 \times 10^{-3} CDTT, \quad r^2 = 0.885^{***} \quad (28)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า r^2 ของสมการทั้งสองมีค่ามากกว่า 0.85 และสัมประสิทธิ์รีเกรสชันที่แสดงถึงอัตราการเพิ่มขนาดใบต่อหน่วยเวลาความร้อนสะสมของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ ความแตกต่างดังกล่าวนี้ทำให้ประมาณค่าได้ว่า ขนาดใบเฉลี่ยของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะเริ่มมีค่าน้อยกว่าขนาดใบเฉลี่ยของการปลูกแบบปักดำในช่วงเวลาความร้อนสะสมประมาณ 730°Cd (37 วัน) เป็นต้นไปภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออก

น้ำหนักแห้งพืชส่วนเหนือดิน

ส่วนเหนือดินของพืชในช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะต่าง ๆ ซึ่งแสดงด้วยค่าน้ำหนักแห้งใบ (Table 14) และน้ำหนักแห้งลำต้น (Table 15) ของสภาพการปลูกแบบกระถาง ปรากฏผลความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์ในโตรเจน ดังนี้

Table 14. Leaf dry weight at various growth stages in g pot⁻¹ for (a) pot experiment and in g m⁻² for (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	--	28.87c	20.04b
N1	--	29.84c	30.02ab
N2	--	37.52b	39.22ab
N3	--	39.60ab	43.45a
N4	--	46.04a	48.04a
N5	--	46.83a	54.81a
F-test	--	***	*
CV (%)	--	9.37	35.04
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	20.89a	85.93a	122.08a
Transplanted rice	10.70b	32.82b	130.95a
F-test	*	*	NS
CV (%)	32.03	44.81	17.81

*,*** Significant at the 0.05 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

น้ำหนักแห้งใบ

- ระยะเริ่มยืดลำต้น: $N0 \leq N1 < N2$; $N2 \leq N3$; และ $N3 \leq N4 \leq N5$ ที่ $P=0.001$
- ระยะดอกบาน 50%: $N0 \leq N1 \leq N2$; และ $N1 \leq N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$ ที่ $P=0.05$

สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 9.37 และ 35.04% ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งลำต้น

- ระยะเริ่มยืดลำต้น: $N0 \leq N1 < N2$; $N2 < N3$; $N3 \leq N4$; และ $N4 \leq N5$ ที่ $P=0.001$

Table 15. Stem dry weight at various growth stages in g pot⁻¹ for (a) pot experiment and in g m⁻² for (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	—	83.20d	183.38c
N1	--	92.13d	231.72bc
N2	—	106.53c	287.88ab
N3	—	120.73b	291.54ab
N4	—	131.51ab	328.55a
N5	—	143.40a	361.89a
F-test	--	***	***
CV (%)	—	6.54	11.46
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	23.80a	205.42a	738.53a
Transplanted rice	14.87b	43.72b	670.23a
F-test	*	**	NS
CV (%)	22.85	47.81	9.21

*,**,*** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

- ระยะดอกบาน 50%: N0≤N1; N1≤N2≤N3; และ N2≤N3≤N4≤N5 ที่ P=0.001

สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 6.54 และ 11.46% ตามลำดับ สำหรับสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรจะพบว่า น้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้นที่ระยะเริ่มสร้างหน่อ และที่ระยะเริ่มยี่ดลำต้นของการปลูกแบบหว่านน้ำตม มีค่ามากกว่าการปลูกแบบปักดำ โดยน้ำหนักแห้งใบมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น P= 0.05 ของระยะเริ่มสร้างหน่อและระยะเริ่มยี่ดลำต้น และ

สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 32.03 และ 44.81% ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งลำต้นมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ และ 0.01 และสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 22.85 และ 47.81% ของระยะเริ่มสร้างหน่อและระยะเริ่มยึดลำต้น ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้นที่ระยะดอกบาน 50% ของแบบการปลูกทั้งสองไม่แสดงความแตกต่างกันในทางสถิติ และสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าต่ำลงเท่ากับ 17.81 และ 9.21% ของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้น ตามลำดับ

รูปแบบการเพิ่มของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้น เริ่มตั้งแต่ช่วงแรกของการเจริญเติบโตจนถึงระยะดอกบาน 50% จากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกร ปรากฏผลว่าลักษณะการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งใบ (Fig. 14) มีรูปแบบฟังก์ชันลอจิสติก ซึ่งจะแตกต่างจากลักษณะการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งลำต้น (Fig. 15) ที่มีรูปแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล R^2 ของฟังก์ชันทั้งสองสำหรับการปลูกแต่ละแบบมีค่าค่อนข้างสูง การประมาณค่าน้ำหนักแห้งใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (LDW_{WSR}) และแบบปักดำ (LDW_{TPR}) ทำนองเดียวกันค่าน้ำหนักแห้งลำต้นของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (SDW_{WSR}) กับแบบปักดำ (SDW_{TPR}) ที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสมหลังการหว่านเมล็ดข้าวออก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$LDW_{WSR} = \frac{155.53}{1 + 16.39 \text{EXP}(-2.56 \times 10^{-3} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.728^{***} \quad (29)$$

$$LDW_{TPR} = \frac{151.59}{1 + 320.75 \text{EXP}(-4.65 \times 10^{-3} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.867^{***} \quad (30)$$

$$SDW_{WSR} = 29.65 \text{EXP}(1.56 \times 10^{-3} \text{CDTT}), \quad R^2 = 0.871^{***} \quad (31)$$

$$SDW_{TPR} = 19.11 \text{EXP}(1.68 \times 10^{-3} \text{CDTT}), \quad R^2 = 0.873^{***} \quad (32)$$

การเพิ่มน้ำหนักแห้งใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ มีจุดเปลี่ยนความเว้าที่ $1,092.4^{\circ}\text{Cd}$ (56 วัน) และ $1,241.0^{\circ}\text{Cd}$ (64 วัน) ตามลำดับ อัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้นของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ โดยอัตราสูงสุดการเพิ่มน้ำหนักแห้งใบที่จุดเปลี่ยนความเว้าจะเท่ากับ 9.95×10^2 และ 17.62×10^2 กรัม $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ ส่วนอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งลำต้นจะเท่ากับ 1.56×10^3 และ 1.68×10^3 กรัม $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ ของสภาพวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ตามลำดับ

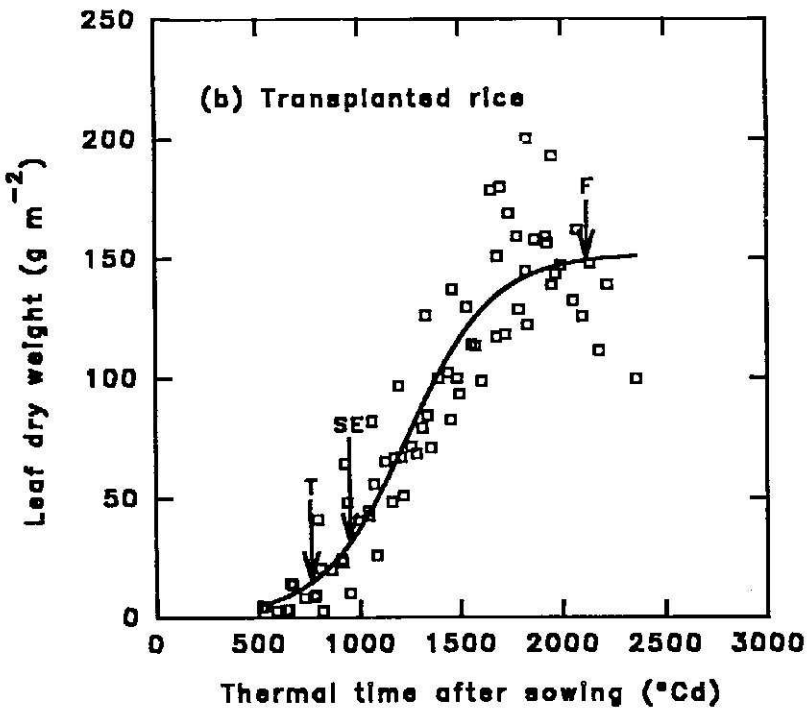
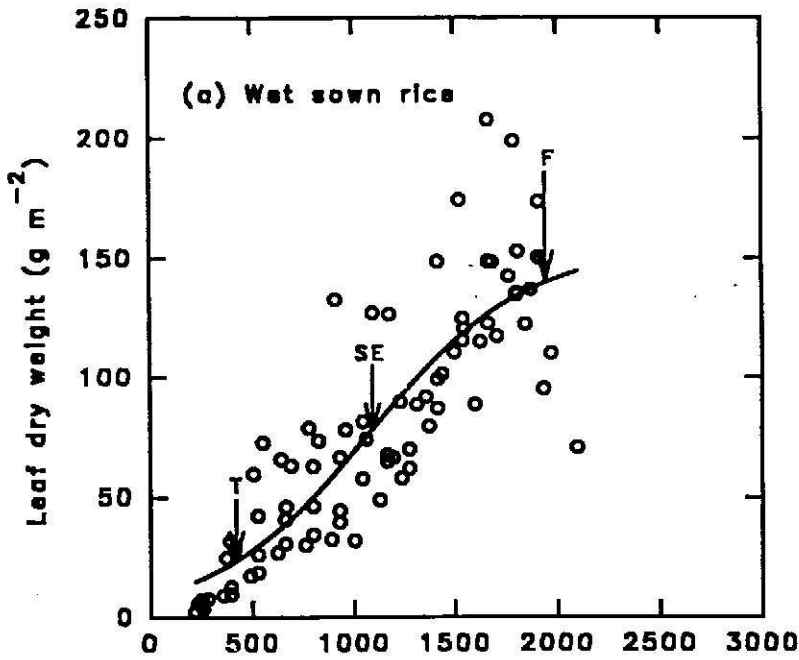


Fig. 14. Relationship between leaf dry weight and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (29) and (30) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

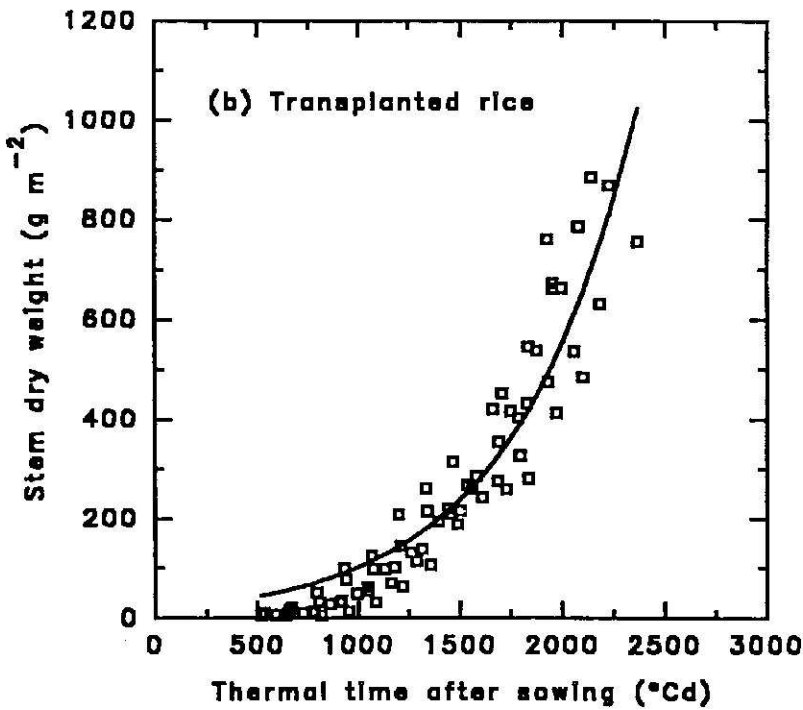
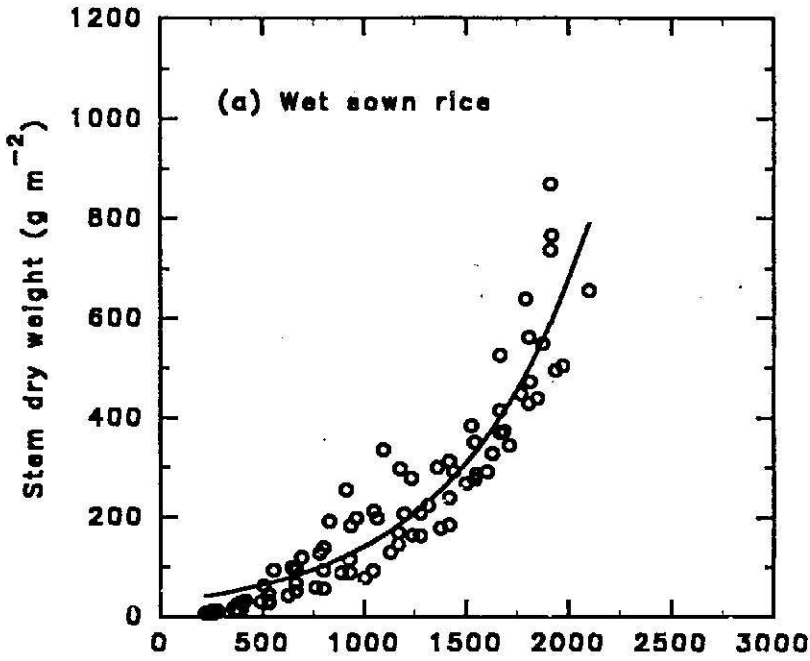


Fig. 15. Relationship between stem dry weight and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (31) and (32) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ได้จากผลรวมของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้นในแต่ละระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการ (Table 16) จะแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติคล้าย ๆ กับกรณีของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้น โดยน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจากสภาพการปลูกในกระถาง มีความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ในโตรเจน ดังนี้

- ระยะเริ่มยืดลำต้น: $N0 \leq N1 < N2; N2 \leq N3; N3 \leq N4; \text{ และ } N4 \leq N5$ ที่ $P=0.001$
- ระยะดอกบาน 50%: $N0 \leq N1; N1 \leq N2 \leq N3; \text{ และ } N2 \leq N3 \leq N4 \leq N5$ ที่ $P=0.001$
- ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต: $N0 < N1 < N2 < N3; \text{ และ } N3 \leq N4 \leq N5$ ที่ $P=0.001$

สัมประสิทธิ์การแปรผันแต่ละระยะมีค่าเท่ากับ 6.80, 11.74 และ 7.23% ตามลำดับ ส่วนสภาพในแปลงนาเกษตรกรที่มีการปลูกแบบหว่านน้ำตม จะมีน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินมากกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ ในระยะเริ่มสร้างหน่อ และที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.01$ ในระยะเริ่มยืดลำต้น สำหรับระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของแบบการปลูกทั้งสอง จะมีค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินใกล้เคียงกัน และสัมประสิทธิ์การแปรผันของระยะเริ่มสร้างหน่อ ระยะเริ่มยืดลำต้น ระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต มีค่าเท่ากับ 24.59, 46.36, 8.62 และ 9.97% ตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินในการปลูกแบบหว่านน้ำตม (TDM_{WSR}) และแบบปักดำ (TDM_{PR}) ที่แสดงความสัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลักรหว่านเมล็ดข้าวออกตลอดช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต มีลักษณะแบบฟังก์ชันลอจิสติก (Fig.16) และ R^2 มีค่ามากกว่า 0.90 ค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ช่วงเวลาใด ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$TDM_{WSR} = \frac{1,174.34}{1 + 44.89 \text{EXP}(-2.22 \times 10^{-3} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.908^{***} \quad (33)$$

$$TDM_{IPR} = \frac{1,041.86}{1 + 287.41 \text{EXP}(-3.33 \times 10^{-3} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.925^{***} \quad (34)$$

ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากสมการจะแสดงให้เห็นว่า น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำมีจุดเปลี่ยนความเร็วที่ $1,713.6^\circ\text{Cd}$ (88 วัน) และ $1,700.0^\circ\text{Cd}$ (87 วัน) และอัตราการเพิ่มสูงสุดที่จุดเปลี่ยนความเร็วของการปลูกแบบหว่านน้ำตม จะมีค่าต่ำกว่า

Table 16. Above-ground dry matter at various growth stages in g pot⁻¹ for (a) pot experiment and in g m⁻² for (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering	Harvest maturity
	Tillering	Stem elongation		
(a) Pot experiment:				
N0	–	112.06d	203.42c	178.78d
N1	–	121.99d	261.75bc	255.94c
N2	–	144.04c	327.10ab	295.88b
N3	–	160.34bc	336.07ab	345.34a
N4	–	177.55ab	376.58a	356.16a
N5	–	190.23a	416.70a	372.64a
F-test	--	***	***	***
CV (%)	–	6.80	11.74	7.23
(b) Field experiment:				
Wet sown rice	44.70a	291.06a	860.61a	923.00a
Transplanted rice	25.58b	76.54b	801.19a	925.68a
F-test	*	**	NS	NS
CV (%)	24.59	46.36	8.62	9.97

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

การปลูกแบบปักดำ โดยมีค่าเท่ากับ 65.18×10^{-2} และ 86.73×10^{-2} กรัม °Cd⁻¹ ตามลำดับ

พื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบ

อิทธิพลของระดับปริมาณไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกมีผลต่อพื้นที่ใบจำเพาะ (Table 17) และอัตราส่วนพื้นที่ใบ (Table 18) ในลักษณะที่คล้าย ๆ กัน ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าทั้งสองที่ได้จากสภาพการปลูกในกระถางแสดงให้เห็นว่า ค่าพื้นที่ใบจำเพาะและค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบที่ระยะเริ่มยืดลำต้นและระยะดอกบาน 50% ไม่มีความแตกต่างระหว่างพรีดีเมนต์ไนโตรเจน พื้นที่ใบ

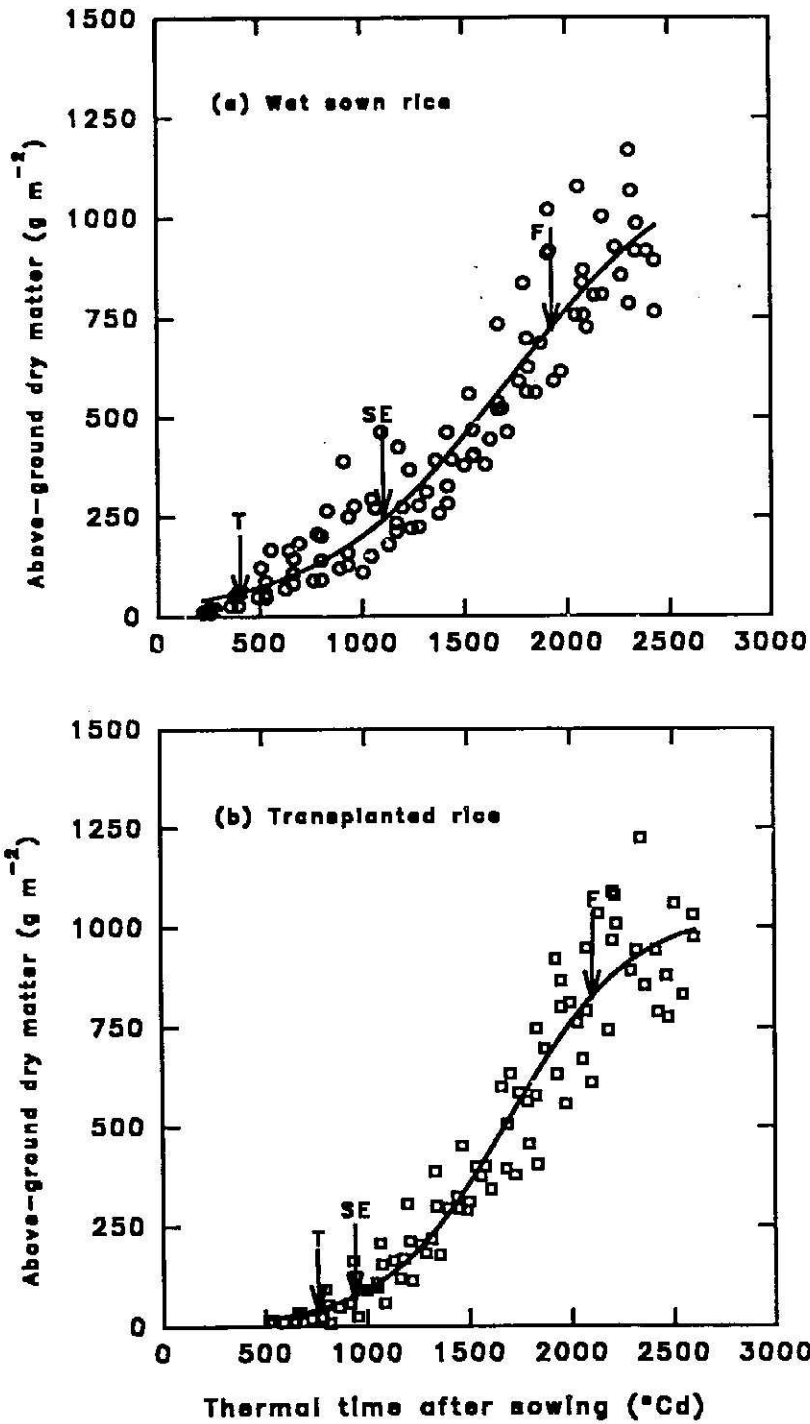


Fig. 16. Relationship between total above-ground dry matter and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (33) and (34) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

Table 17. Specific leaf area at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	–	278.90a	243.85a
N1	–	285.35a	227.78a
N2	–	289.64a	219.48a
N3	–	297.39a	216.53a
N4	–	302.13a	211.61a
N5	–	309.62a	221.18a
F-test	–	NS	NS
CV (%)	–	6.70	5.81
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	420.60a	284.36b	201.42a
Transplanted rice	360.92b	382.32a	204.03a
F-test	*	*	NS
CV (%)	6.67	12.56	4.03

* Significant at the 0.05 probability level.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

จำเพาะที่ระยะเริ่มยืดลำต้นและที่ระยะดอกบาน 50% มีค่าประมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 275-310 และ 210-245 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ และอัตราส่วนพื้นที่ใบมีค่าประมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 65-80 และ 23-30 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ ตามลำดับ สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยพื้นที่จำเพาะที่ระยะเริ่มยืดลำต้นและดอกบาน 50% จะเท่ากับ 6.70 และ 5.81% ส่วนอัตราส่วนพื้นที่ใบจะเท่ากับ 5.81 และ 12.91% ตามลำดับ สำหรับสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรปรากฏผลว่า ค่าพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบ ที่ระยะเริ่มสร้างหน่อและระยะเริ่มยืดลำต้น จะมีความแตกต่างกัน

Table 18. Leaf area ratio at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

Treatment	Beginning of		50% flowering
	Tillering	Stem elongation	
(a) Pot experiment:			
N0	--	71.77a	23.57a
N1	--	69.40a	25.69a
N2	--	75.14a	26.56a
N3	--	77.02a	26.72a
N4	--	79.72a	26.81a
N5	--	76.26a	29.10a
F-test	--	NS	NS
CV (%)	--	5.80	12.91
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	191.08a	82.92b	32.99a
Transplanted rice	151.04b	163.18a	34.66a
F-test	*	**	NS
CV (%)	10.84	18.46	132.92

*,** Significant at the 0.05 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

ระหว่างแบบการปลูก กล่าวคือพื้นที่ใบจำเพาะของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่ระยะเริ่มสร้างหน่อจะมีค่ามากกว่า แต่ที่ระยะเริ่มยืดลำต้นกลับมีค่าน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ ทั้งสองระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการ สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 6.67 และ 12.56% ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วนพื้นที่ใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำที่ระยะเริ่มสร้างหน่อและระยะเริ่มยืดลำต้นแสดงความแตกต่างระหว่างแบบการปลูกเช่นเดียวกับค่าพื้นที่ใบจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ และ

0.01 โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะทั้งสองเท่ากับ 10.84 และ 18.46% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบที่ระยะดอกบาน 50% ของทั้งสองแบบการปลูกมีค่าใกล้เคียงกัน สัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะดอกบาน 50% ของพื้นที่ใบจำเพาะและของอัตราส่วนพื้นที่ใบมีค่าเท่ากับ 4.03 และ 12.92% ตามลำดับ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงโดยภาพรวมของพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบจากสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร จะมีค่าลดลงอย่างเป็นลำดับตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ยกเว้นกรณีพื้นที่ใบจำเพาะของการปลูกแบบปักดำที่มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับต้น และเป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราส่วนพื้นที่ใบของสภาพการปลูกในกระถางทั้งสองช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการ จะมีค่าต่ำกว่าอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกร รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ของการเจริญเติบโตจนถึงระยะหลังดอกบาน 50% ของแบบการปลูกทั้งสองจะมีลักษณะคล้ายกันดังแสดงใน Fig. 17 และ Fig. 18 ตามลำดับ ซึ่งค่าพื้นที่ใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (SLA_{WSR}) แบบปักดำ (SLA_{TPR}) และค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (LAR_{WSR}) และแบบปักดำ (LAR_{TPR}) ที่มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลังจากการหว่านเมล็ดข้าววงอกแสดงได้ดังสมการ

การปลูกแบบหว่านน้ำตม:

ช่วงแรกที่ $CDTT \leq 480$ °Cd(25 วัน)

$$SLA_{WSR} = 320.57 + 22.26 \times 10^{-2} CDTT, \quad r^2 = 0.161^{NS} \quad (35)$$

$$LAR_{WSR} = 46.47 + 35.63 \times 10^{-2} CDTT, \quad r^2 = 0.464^* \quad (36)$$

ช่วงหลังที่ $CDTT > 480$ °Cd(25 วัน)

$$SLA_{WSR} = 191.73 + \frac{247.20}{1 + \left(\frac{CDTT}{946.97}\right)^{4.17}} \quad R^2 = 0.938^{***} \quad (37)$$

$$LAR_{WSR} = 45.17 + \frac{153.81}{1 + \left(\frac{CDTT}{798.14}\right)^{4.15}} \quad R^2 = 0.906^{***} \quad (38)$$

การปลูกแบบปักดำ:

ช่วงแรกที่ $CDTT \leq 800$ °Cd(41 วัน)

$$SLA_{TPR} = 346.51 + 1.28 \times 10^{-2} CDTT, \quad r^2 = 0.001^{NS} \quad (39)$$

$$LAR_{TPR} = 27.04 + 15.44 \times 10^{-2} CDTT, \quad r^2 = 0.331^{NS} \quad (40)$$

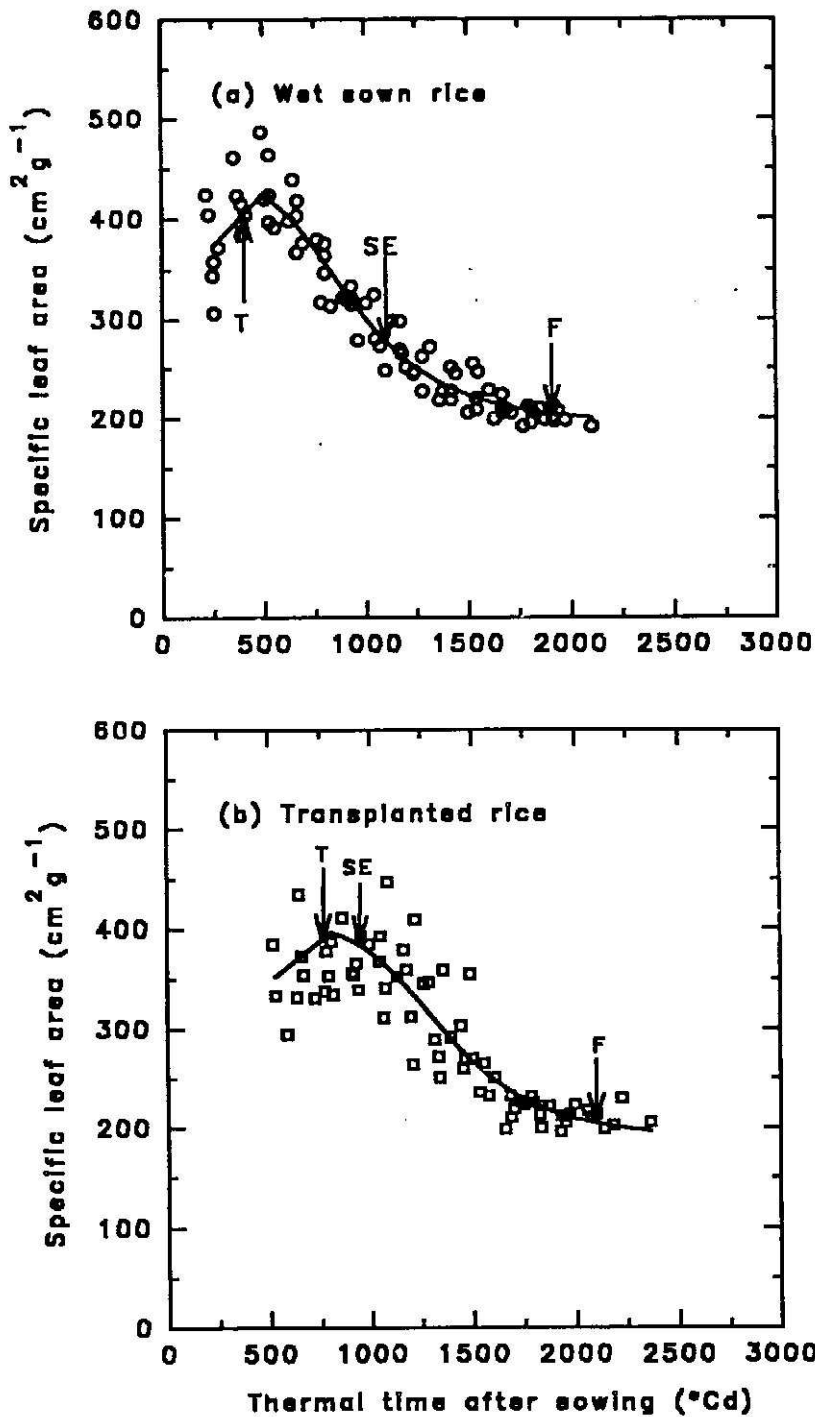


Fig. 17. Relationship between specific leaf area and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (35), (37) and (39), (41) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

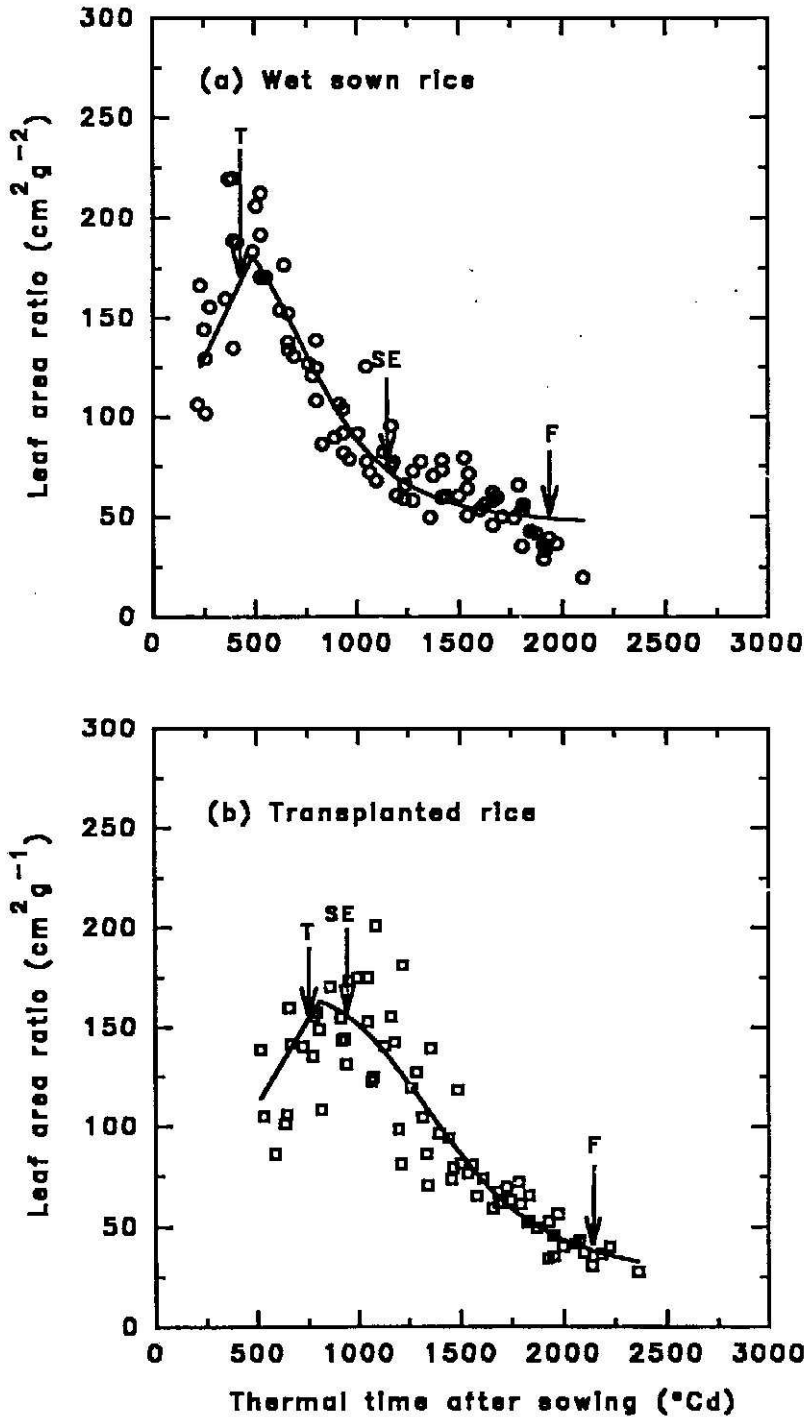


Fig. 18 Relationship between leaf area ratio and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (36), (38) and (40), (42) for wet sown rice and transplanted rice, respectively. Arrows indicate the average timing for beginning of tillering (T), beginning of stem elongation (SE) and 50% flowering (F).

ช่วงหลังที่ $CDTT > 800^{\circ}\text{Cd}$ (41 วัน)

$$SLA_{TPR} = 188.76 + \frac{216.62}{1 + \left(\frac{CDTT}{1,366.03}\right)^{5.96}}, R^2 = 0.816^{***} \quad (41)$$

$$LAR_{TPR} = 24.84 + \frac{144.23}{1 + \left(\frac{CDTT}{1,421.07}\right)^{5.57}}, R^2 = 0.825^{***} \quad (42)$$

สมการต่าง ๆ ที่แสดงมานี้จะชี้ให้เห็นว่า พื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบที่ช่วงเวลาค่าความร้อนสะสมมากกว่า 480 และ 800°Cd ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ตามลำดับ จะประมาณค่าได้แม่นยำและมีความถูกต้องมากขึ้น โดย R^2 มีค่ามากกว่า 0.80 สมการของค่าพื้นที่ใบจำเพาะสามารถคำนวณได้ว่า พื้นที่ใบจำเพาะของการหว่านน้ำตมที่ 480°Cd และการปักดำที่ 800°Cd มีค่าสูงสุดเท่ากับ 425.20 และ 396.81 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ อัตราการลดลงมากที่สุดของพื้นที่ใบจำเพาะที่จุดเปลี่ยนความเว้าของการหว่านน้ำตมที่ 945.0°Cd และการปักดำที่ $1,366.0^{\circ}\text{Cd}$ มีค่าเท่ากับ 0.27 และ 0.24 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ และค่าพื้นที่ใบจำเพาะต่ำสุดที่ประมาณระยะดอกบาน 50% ของการหว่านน้ำตมและการปักดำจะเท่ากับ 191.73 และ 188.76 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันจะคำนวณได้ว่า อัตราส่วนพื้นที่ใบของการหว่านน้ำตมที่ 480°Cd และการปักดำที่ 800°Cd มีค่าเท่ากับ 182.35 และ 163.42 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ อัตราการลดลงมากที่สุดที่จุดเปลี่ยนเว้าของการหว่านน้ำตมที่ 798.1°Cd และการปักดำที่ $1,421.1^{\circ}\text{Cd}$ มีค่าเท่ากับ 0.20 และ 0.14 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ และค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่ำสุดที่ประมาณระยะดอกบาน 50% ของการหว่านน้ำตมและการปักดำจะเท่ากับ 45.17 และ 24.84 เซนติเมตร² กรัม⁻¹ ตามลำดับ

การประมาณค่าพื้นที่ใบ

ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจากสภาพการปลูกในกระถาง (Fig.19) มีลักษณะแบบรีเกรสชันเส้นตรง และ r^2 มีค่าค่อนข้างสูงมากกว่า 0.80 การกระจายของข้อมูลพื้นที่ใบจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจนระหว่างพื้นที่ใบที่ระยะเริ่มยืดลำต้นกับที่ระยะดอกบาน 50% การประมาณค่าพื้นที่ใบ กระถาง¹ ที่ระยะเริ่มยืดลำต้น (LA_{POT-SE}) กับที่ระยะดอกบาน 50% ($LA_{POT-FLO}$) ที่แสดงความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งใบ กระถาง¹ ที่ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการนั้น ๆ ของน้ำหนักแห้งใบ (LDW_{POT-SE} , $LDW_{POT-FLO}$) และของน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน (TDM_{POT-SE} , $TDM_{POT-FLO}$) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$LA_{POT-SE} = 931.79 + 271.83LDW_{POT-SE}, r^2 = 0.840^{***} \quad (43)$$

$$LA_{POT-SE} = 448.80 + 71.80TDM_{POT-SE}, r^2 = 0.881^{***} \quad (44)$$

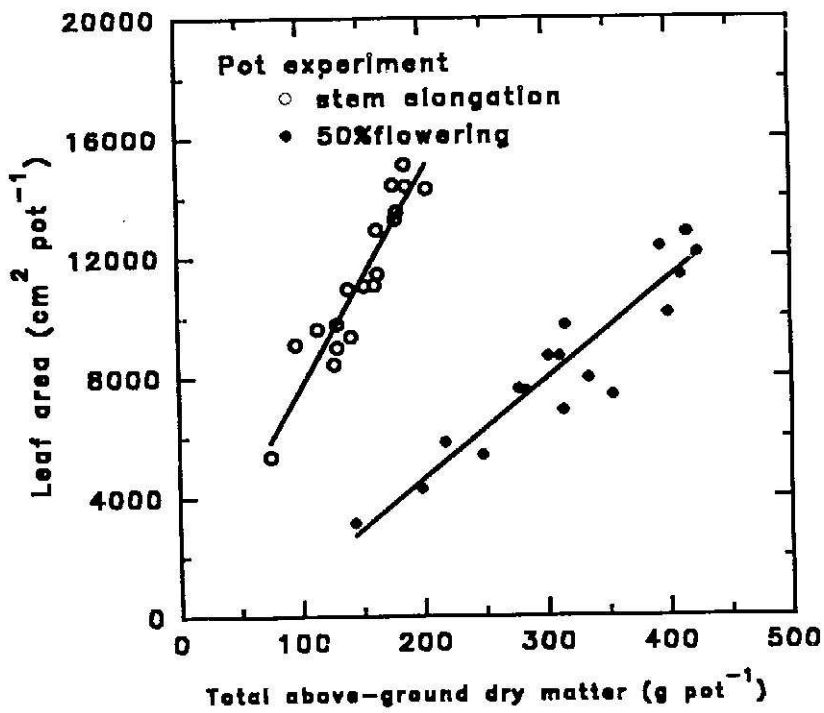
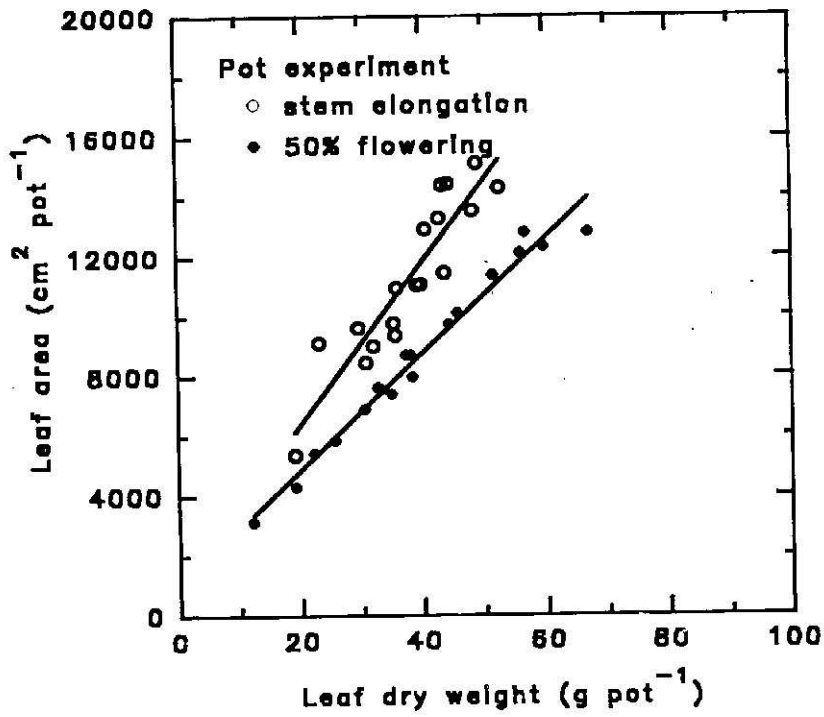


Fig. 19. Relationships between leaf area and leaf dry weight (above) and total above-ground dry matter (below) at stem elongation and 50% flowering stages for pot experiment during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (43)-(46).

$$LA_{POT-FLO} = 991.28 + 194.20LDW_{POT-FLO}, \quad r^2 = 0.997^{***} \quad (45)$$

$$LA_{POT-FLO} = -2,061.35 + 33.33TDM_{POT-FLO}, \quad r^2 = 0.878^{***} \quad (46)$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืช ส่วนเหนือดินจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกร (Fig.20 and 21) ที่มีการเก็บตัวอย่างพืชอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโตจนถึงระยะหลังดอกบาน 50% จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง และ R^2 มีค่าค่อนข้างสูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายของข้อมูลพื้นที่ใบจะมากขึ้นเมื่อน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินมีค่ามากกว่า 50 และ 100 กรัม เมตร² ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันการประมาณค่าพื้นที่ใบ เมตร² ของการหว่านน้ำตม (LA_{WSR}) และการปักดำ (LA_{TPR}) ที่แสดงความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้ง เมตร² จากแบบการปลูกนั้น ๆ ของน้ำหนักแห้งใบ (LDW_{WSR} , LDW_{TPR}) และของน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน (TDM_{WSR} , TDM_{TPR}) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$LA_{WSR} = 1,064.72LDW^{0.691}, \quad R^2 = 0.880^{***} \quad (47)$$

$$LA_{WSR} = 1,480.83TDM^{0.481}, \quad R^2 = 0.728^{***} \quad (48)$$

$$LA_{TPR} = 1,333.92LDW^{0.649}, \quad R^2 = 0.938^{***} \quad (49)$$

$$LA_{TPR} = 2,020.10TDM^{0.440}, \quad R^2 = 0.831^{***} \quad (50)$$

ปริมาณการดูดกลืนรังสีแสงสังเคราะห์

รังสีแสงสังเคราะห์ (photosynthetically active radiation, PAR) ที่พืชดูดกลืนไว้จะมีผลโดยตรงต่อการสร้างปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชทั้งส่วนเหนือดินและส่วนราก ความสัมพันธ์เช่นนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณการดูดกลืนรังสีแสงสังเคราะห์กับการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน ตั้งแต่เริ่มหว่านเมล็ดข้าวออกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ (Fig.22) ปรากฏว่า ความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นแบบรีเกรสชันเส้นตรง และ r^2 มีค่ามากกว่า 0.90 ปริมาณการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (TDM_{WSR}) และแบบปักดำ (TDM_{TPR}) ที่สัมพันธ์กับปริมาณการดูดกลืนรังสีแสงสังเคราะห์ (PAR_g) ของแต่ละแบบการปลูก แสดงได้ดังสมการ

$$TDM_{WSR} = -31.67 + 1.93PAR_g, \quad r^2 = 0.912^{***} \quad (51)$$

$$TDM_{TPR} = -36.72 + 2.56PAR_g, \quad r^2 = 0.960^{***} \quad (52)$$

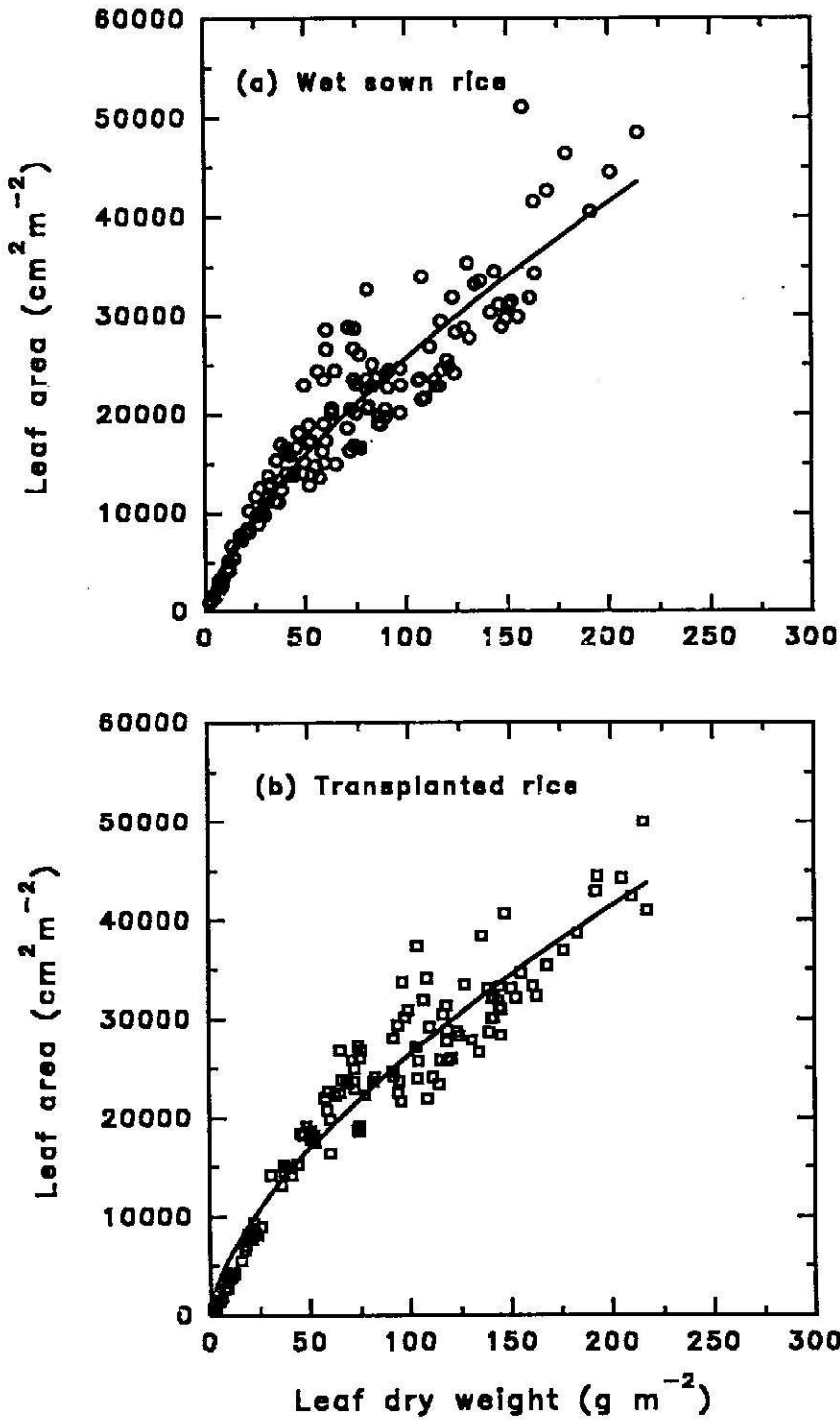


Fig. 20. Relationship between leaf area and leaf dry weight for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (47) and (49) for wet sown rice and transplanted rice, respectively.

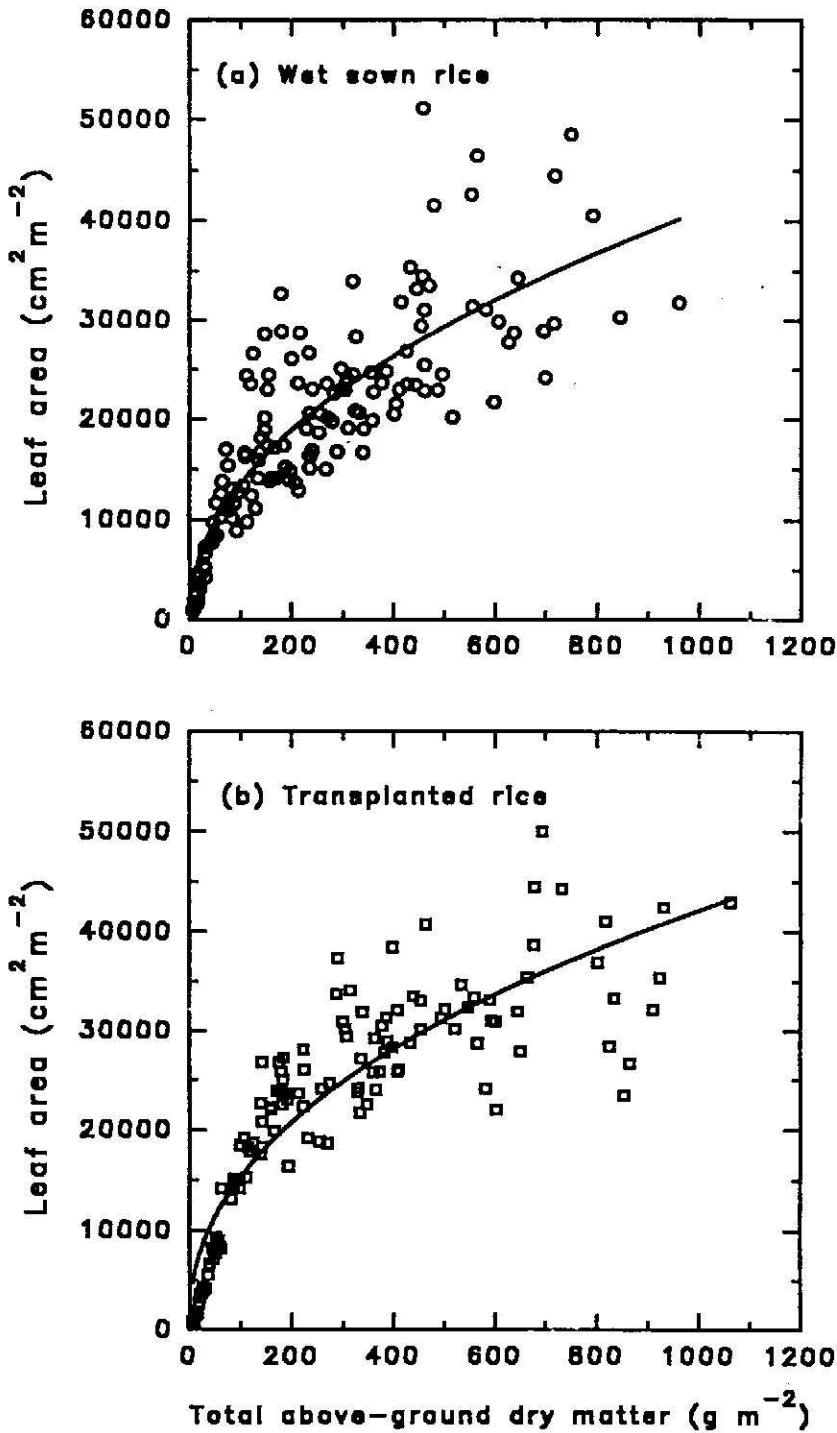


Fig. 21. Relationship between leaf area and total above-ground dry matter for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (48) and (50) for wet sown rice and transplanted rice, respectively.

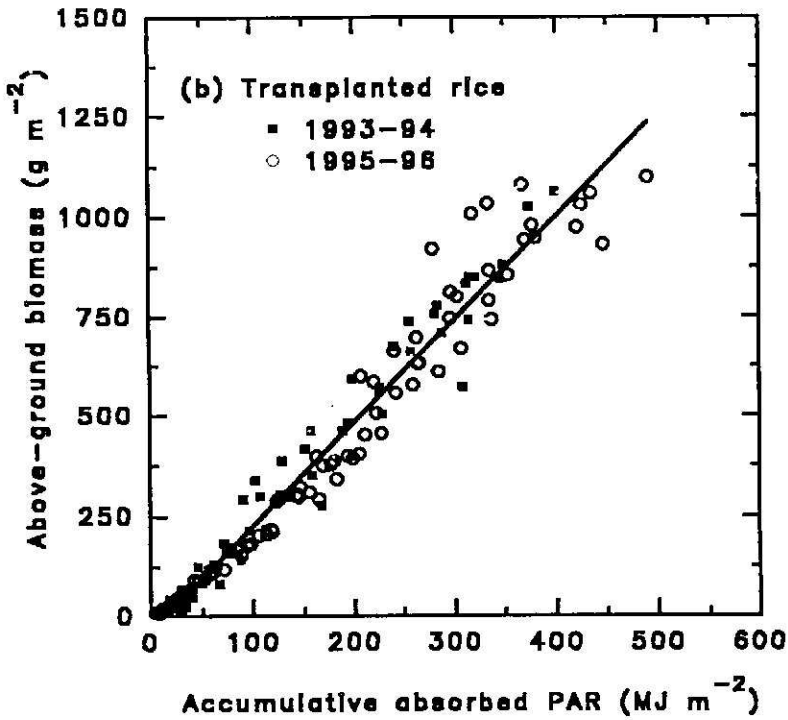
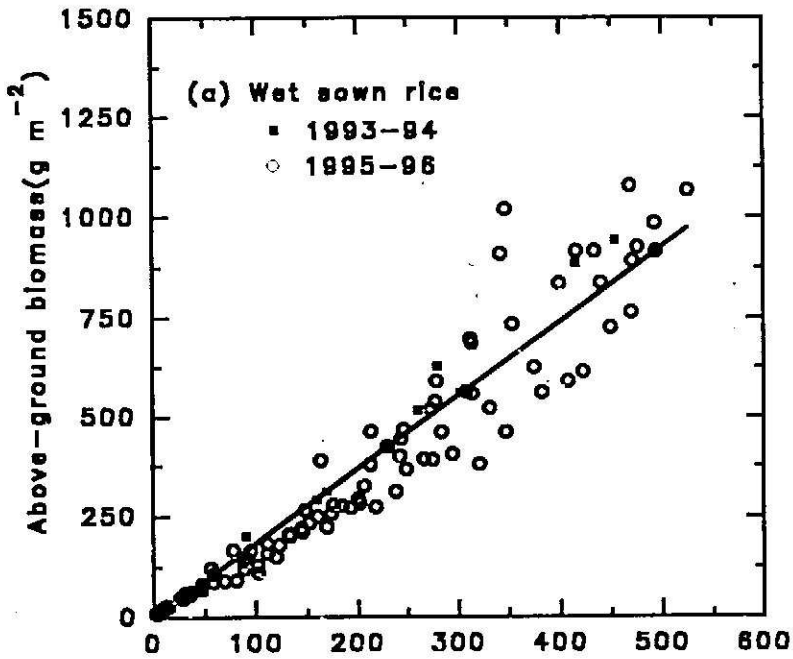


Fig. 22 Relationship between total above-ground dry matter and accumulative absorbed photosynthetically active radiation (PAR_p) for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1993-94 (■) and 1995-96 (○) wet season. The fitted curves for the 1995-96 wet season and for pooled data are present in equations (51), (53) and (52), (54), for wet sown rice and transplanted rice, respectively.

สัมประสิทธิ์รีเกรสชันจะเป็นค่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ ในที่นี้สามารถกล่าวได้ว่า การปลูกข้าวพันธุ์เจี๊ยงพัทลุงแบบหว่านน้ำตมมีประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ตลอดช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการเท่ากับ 1.93 กรัม เมกะจูล⁻¹ และมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำที่มีประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์เท่ากับ 2.56 กรัม เมกะจูล⁻¹ ขณะเดียวกันเมื่อนำข้อมูลการทดลองในข้าวพันธุ์เดียวกันและมีแบบการปลูกในแปลงนาเกษตรกรที่เหมือนกันจากผลงานวิจัยของรังสรรค์ อาภาศัพพะกุล (2538b) มาแสดงไว้ด้วยกัน จะเห็นว่ามี การกระจายของข้อมูลอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์รีเกรสชันและจุดตัดแกน Y ไม่แสดงความแตกต่างระหว่างการทดลองของการปลูกแต่ละแบบ ดังนั้นสมการรีเกรสชันที่เกิดจากการรวมข้อมูลสำหรับการประมาณค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชสวนเหนือดินที่สัมพันธ์กับปริมาณการดูดกลืนรังสีแสงสังเคราะห์ของข้าวพันธุ์เจี๊ยงพัทลุงในการปลูกแต่ละแบบ มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\text{TDM}_{\text{WSR}} = -26.94 + 1.91 \text{PAR}_a \quad r^2 = 0.914^{***} \quad (53)$$

$$\text{TDM}_{\text{TPR}} = -33.40 + 2.59 \text{PAR}_a \quad r^2 = 0.960^{***} \quad (54)$$

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของสมการรวมข้อมูลในเชิงสถิติโดยวิธีทดสอบค่า t ระหว่างแบบการปลูกปรากฏว่า วิธีปลูกข้าวแบบน้ำตมมีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันน้อยกว่าแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ ซึ่งหมายความว่า การใช้รังสีแสงสังเคราะห์ของข้าวเจี๊ยงพัทลุงที่ปลูกแบบหว่านน้ำตม จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำนั่นเอง

การเจริญเติบโตของเมล็ด

น้ำหนักแห้งเริ่มแรกของเมล็ดขณะไม่มีเนื้อเมล็ดที่ระยะเริ่มผสมเกสรของสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรมีค่าแปรผันระหว่าง 2.5-3.0 มิลลิกรัม ข้อมูลติดตามผลการเจริญเติบโตของเมล็ดที่ช่วงเวลาต่าง ๆ สามารถคาดคะเนได้ว่า ช่วงเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดจะเริ่มขึ้นทันทีภายหลังจากผสมเกสรจนกระทั่งถึงช่วงเวลาที่ค่าความร้อนสะสมประมาณ 300°Cd (17 วัน) หลังจากการผสมเกสร ครั้นเมื่อเมล็ดสร้างน้ำหนักแห้งจนมีค่าสูงสุดแล้ว เมล็ดนั้น ๆ จะไม่เกิดสภาวะการสูญเสียน้ำหนักและมีค่าเกือบคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการเจริญเติบโตของเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต น้ำหนักแห้งสูงสุดเฉลี่ยของเมล็ดที่บันทึกได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าแปรผันประมาณ 20-21 มิลลิกรัม รูปแบบการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดตั้งแต่ระยะเริ่มผสมเกสรจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของทรีตเมนต์ในโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ จากสภาพการปลูกในกระถางและวิธีการปลูกทั้งสองแบบในแปลงนาเกษตรกร (Fig.23) มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบฟังก์ชันลอจิสติก

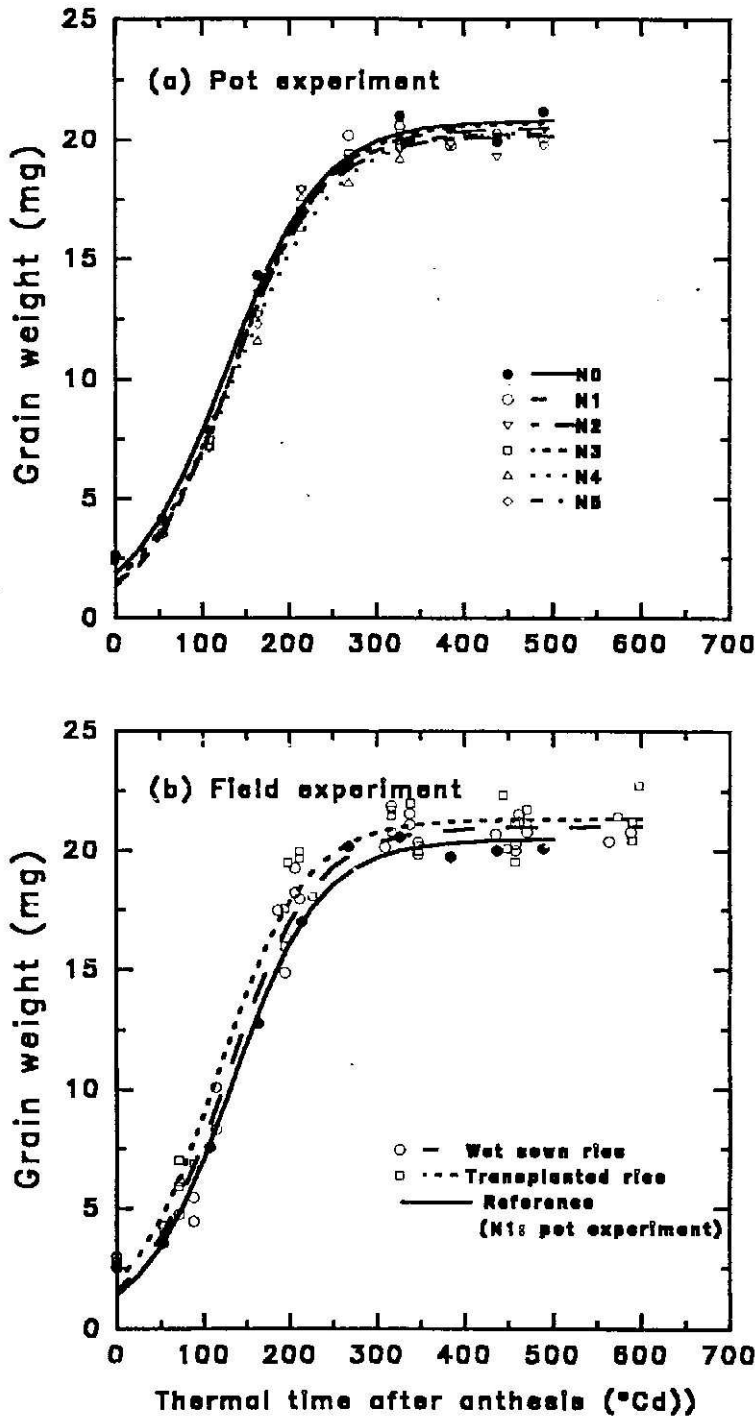


Fig. 23 Relationship between mean grain weight and thermal time after anthesis for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (55), (56) and (57) for pot experiment (pooled data of all treatment nitrogens), wet sown rice and transplanted rice, respectively.

กราฟเส้นโค้งที่แสดงการเจริญเติบโตของเมล็ดสำหรับทรีตเมนต์ไนโตรเจนทั้ง 6 ระดับ มีลักษณะเกือบเหมือนกันทุกประการ ส่วนกรณีของแบบการปลูกในแปลงนาเกษตรกรจะสังเกตเห็นว่า การเจริญเติบโตของเมล็ดในการปลูกแบบหว่านน้ำตมทุกช่วงเวลาค่าความร้อนสะสมภายหลังระยะผสมเกสรมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ แต่มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์ N1 ของการทดลองในกระถาง ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนที่อัตราระดับเดียวกัน หากไม่คำนึงถึงความแตกต่างการเจริญเติบโตของเมล็ดระหว่าง ทรีตเมนต์ไนโตรเจน คำนวณน้ำหนักแห้งของเมล็ดจากสภาพการปลูกในกระถาง (GW_{pct}) และในแปลงนาเกษตรกรของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (GW_{WSR}) และแบบปักดำ (GW_{PR}) แสดงความสัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสมภายหลังการผสมเกสร (CDT_{ant}) โดยมี R^2 มากกว่า 0.95 และสามารถประมาณค่าน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ได้จากสมการ

$$GW_{pct} = \frac{20.47}{1 + 12.10 \text{EXP}(-18.74 \times 10^{-3} CDT_{ant})}, \quad R^2 = 0.991^{***} \quad (55)$$

$$GW_{WSR} = \frac{21.00}{1 + 12.18 \text{EXP}(-19.73 \times 10^{-3} CDT_{ant})}, \quad R^2 = 0.983^{***} \quad (56)$$

$$GW_{PR} = \frac{21.32}{1 + 9.96 \text{EXP}(-19.72 \times 10^{-3} CDT_{ant})}, \quad R^2 = 0.986^{***} \quad (57)$$

สมการลอจิสติกที่แสดงถึงลักษณะการเจริญเติบโตของเมล็ดจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่บันทึกได้จากทรีตเมนต์ไนโตรเจนทั้ง 6 ระดับของการทดลองในกระถาง และทั้งสองแบบการปลูกในแปลงนาเกษตรกร จะแสดงค่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของเมล็ดในช่วงสิ้นสุดการเจริญเติบโต (final grain weight) พร้อมทั้งสามารถคำนวณหาอัตราสูงสุดของการสะสมน้ำหนักแห้งและระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดสำหรับทรีตเมนต์ไนโตรเจนและแบบการปลูกนั้น ๆ ได้ คุณสมบัติของเมล็ดทั้ง 3 ลักษณะที่นำเสนอใน Table 19 ได้แสดงให้เห็นว่า การแปรผันของน้ำหนักแห้งสูงสุดของเมล็ดในช่วงสิ้นสุดการเจริญเติบโต อัตราสูงสุดของการสะสมน้ำหนักแห้ง และระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด มีค่าระหว่าง 20.18-21.32 มิลลิกรัม 0.0892-0.1051 มิลลิกรัม $^{\circ}\text{Cd}^{-1}$ (1.61-1.89 มิลลิกรัม วัน $^{-1}$) และ 265.9-306.1 $^{\circ}\text{Cd}$ (15-17 วัน) ตามลำดับ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ทรีตเมนต์ไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ มีค่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของเมล็ดและอัตราสูงสุดของการสะสมน้ำหนักแห้งเมล็ดต่ำกว่า แต่มีระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่ยาวนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเมล็ดทั้งสองวิธีการปลูกในสภาพแปลงนาเกษตรกร

ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างอัตราสูงสุดของการสะสมน้ำหนักแห้ง R กับระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักแห้งเมล็ด (D) จากข้อมูลของทรีตเมนต์ไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ของการทดลองใน

Table 19. Estimation of final grain weight, maximum rate of grain filling and duration in accumulated thermal time from anthesis to 0.95 of final grain weight for (a) pot experiment and (b) field experiment (1995-96 wet season).

Treatment	Final grain weight (mg)	Maximum rate of grain filling (mg °Cd ⁻¹)	Duration (°Cd)
(a) Pot experiment:			
N0	20.83	0.0944(1.70)	290.6(16.1)
N1	20.48	0.0996(1.79)	284.5(15.8)
N2	20.28	0.1008(1.81)	280.4(15.6)
N3	20.73	0.0951(1.71)	295.1(16.4)
N4	20.36	0.0892(1.61)	306.1(17.0)
N5	20.18	0.0972(1.75)	285.4(15.9)
(b) Field experiment:			
Wet sown rice	21.00	0.1036(1.86)	265.9(14.8)
Transplanted rice	21.32	0.1051(1.89)	275.9(15.3)

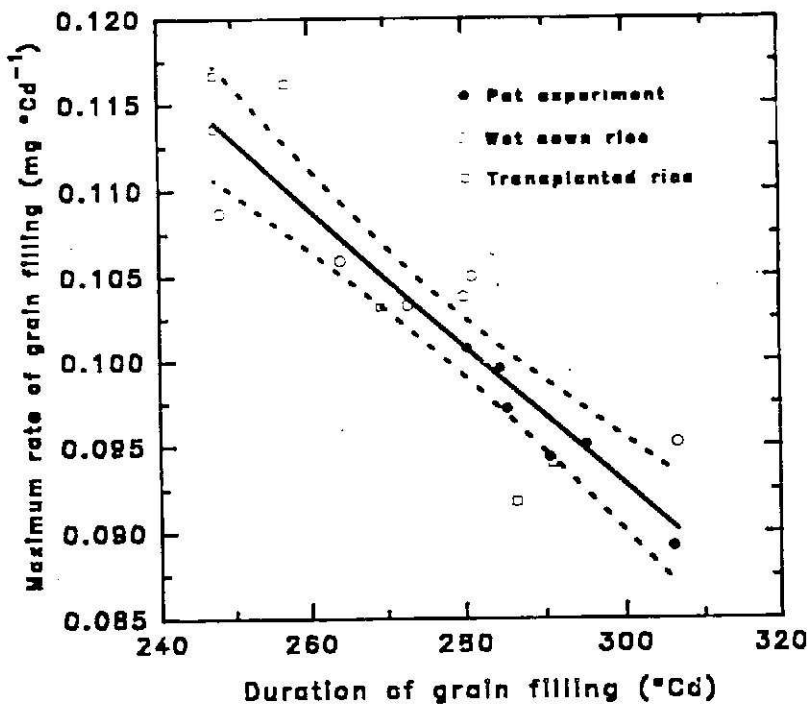
Rate in mg day⁻¹ and duration in days are in parenthesis.

กระถางและแบบการปลูกทั้งสองในแปลงนาเกษตรกร (Fig.24) แสดงลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบรีเกรสชันเส้นตรง โดยมีค่า r^2 ค่อนข้างสูงเท่ากับ 0.84 ดังสมการ

$$R = 0.2135 - 4.0253 \times 10^{-4} D \quad r^2 = 0.837^{***} \quad (58)$$

สัมประสิทธิ์รีเกรสชันที่แสดงค่าเป็นลบสามารถอธิบายได้ว่า ทรีตเมนต์ไนโตรเจนหรือแบบการปลูกใด ๆ ที่มีระยะเวลาการสร้างสมน้ำหนักรวมเมล็ดที่ยาวนานกว่า หรือเมล็ดสุกแก่ช้ากว่า ทรีตเมนต์ไนโตรเจนหรือแบบการปลูกนั้น ๆ จะมีอัตราสูงสุดของการสะสมน้ำหนักรวมเมล็ดที่มีค่าน้อยลง หรือมีการเจริญเติบโตของเมล็ดช้าลงนั่นเอง

สำหรับผลติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดตั้งแต่ระยะเริ่มผสมเกสรจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต (Fig.25) ของทรีตเมนต์ไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ จากการทดลองในกระถางจะมีรูปแบบเช่นเดียวกับที่ปรากฏในสภาพแปลงนาเกษตรกร กล่าวคือ เมล็ดในช่วงแรกจะมีความ



g. 24 Relationship between maximum rate of grain filling and duration of grain filling with 95% confidence intervals for pot experiment and field experiment. The fitted curve is present in equation (58).

ขึ้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากความขึ้นเริ่มแรกประมาณ 45% ที่ระยะเริ่มผสมเกสรจนกระทั่งมีความขึ้นสูงสุดประมาณ 60% ที่ช่วงเวลาความร้อนสะสม 80-100 °Cd (5-6 วัน) ภายหลังจากการผสมเกสร หลังจากนั้นแล้วความขึ้นเมล็ดจะลดลงอย่างเป็นลำดับจนมีค่าความขึ้นลงต่ำสุดประมาณ 15-20 % ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยอัตราความขึ้นที่ลดลงมากที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความร้อนสะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 100-200 °Cd (6-11 วัน) ภายหลังจากการผสมเกสร

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

ปริมาณไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกที่มีผลต่อระดับผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดังแสดงใน Table 20 ได้ปรากฏให้เห็นว่า สภาพการปลูกในกระถางทดลองจะมีระดับผลผลิต จำนวนรวง จำนวนดอก จำนวนดอก รวง¹ และจำนวนเมล็ดเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีแนวโน้มลดลงตามระดับทริตเมนต์ที่มีปริมาณไนโตรเจนมากขึ้น ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของระดับผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตระหว่างทริตเมนต์ไนโตรเจนปรากฏผลดังนี้

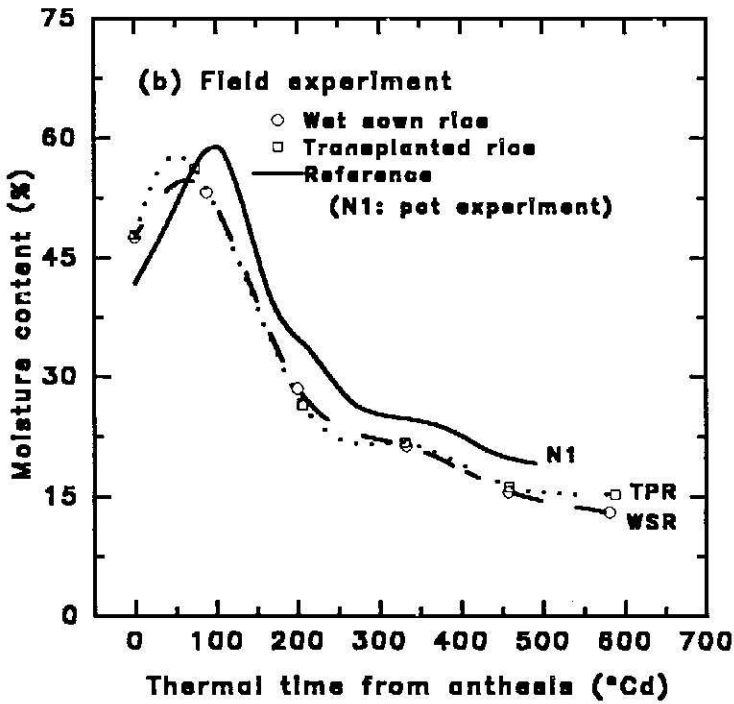
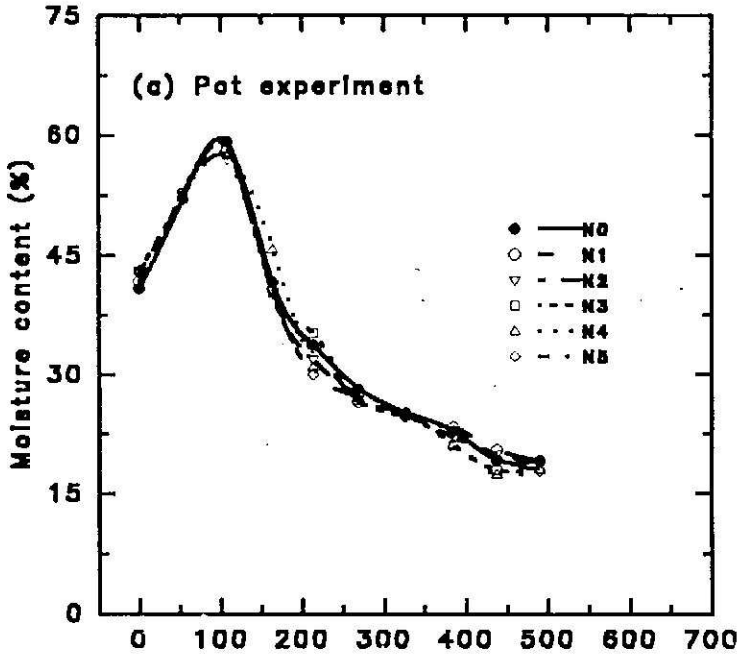


Fig. 25 Relationship between grains moisture content and thermal time after anthesis for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season. Spline curves were fitted to the observation data. Each observation point is the mean of 27 grains from the pot experiment and the 540 grains from the field experiment.

Table 20. Yield and yield components for (a) pot experiment and (b) field experiment for the 1995-96 wet season.

(a) Pot experiment:

Treatment	GY (g pot ⁻¹)	NPA pot ⁻¹	NSPI pot	NSPI PA	NG pot	%FG	W1,000G (g)
N0	53.09b	89.0b	3,538.3c	39.9c	2,680.7c	76.21a	19.79a
N1	73.62a	101.3ab	5,397.7b	53.2b	3,878.3b	71.95a	18.97b
N2	82.42a	110.0a	6,123.0b	55.7b	4,408.0ab	72.94a	18.70b
N3	99.82a	116.7a	7,269.3a	62.5a	5,369.3a	73.57a	18.60b
N4	99.24a	119.7a	7,880.0a	66.0a	5,516.0a	69.68a	18.00c
N5	97.57a	120.7a	8,919.3a	67.8a	5,379.7a	65.99a	18.12c
F-test	**	**	***	***	***	NS	***
CV (%)	12.74	7.93	9.03	6.21	12.43	6.94	1.23

(b) Field experiment:

Treatment	GY (g m ⁻²)	NPA m ⁻²	NSPI m ⁻²	NSPI PA ⁻¹	NG m ⁻²	%FG	W1,000G (g)
WSR	301.98b	357.6a	19,815.3b	56.6b	15,372.2b	78.82a	19.84a
TPR	360.27a	240.1b	24,307.5	101.3a	18,230.0a	76.16a	19.77a
F-test	**	*	*	***	*	NS	NS
CV (%)	7.21	20.03	11.43	4.66	7.85	3.46	1.57

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

GY=grain yield; NPA=number of panicles; NSPI=number of spikelets; NG=number of grains; FG=filled grain; W1,000G=weight of 1,000 grains; WSR=wet sown rice and TPR=transplanted rice.

- ผลผลิต กระถาง¹: $N_0 < N_1 \leq N_2 \leq N_3 \geq N_4 \geq N_5$ ที่ $P=0.01$
- จำนวนรวง กระถาง¹: $N_0 \leq N_1$; และ $N_1 \leq N_2 \leq N_3 \leq N_4 \leq N_5$ ที่ $P=0.01$
- จำนวนดอก กระถาง¹: $N_0 < N_1$; $N_1 \leq N_2 < N_3$ และ $N_3 \leq N_4 \leq N_5$ ที่ $P=0.001$
- จำนวนดอก รวง¹: $N_0 < N_1$; $N_1 \leq N_2 < N_3$; และ $N_3 \leq N_4 \leq N_5$ ที่ $P=0.001$
- จำนวนเมล็ด กระถาง: $N_0 < N_1$; $N_1 \leq N_2$; และ $N_2 \leq N_3 \leq N_4 \geq N_5$ ที่ $P=0.001$
- เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม: $N_0 \geq N_1 \leq N_2 \leq N_3 \geq N_4 \geq N_5$ ที่ $P > 0.05$
- น้ำหนัก 1,000 เมล็ด: $N_0 > N_1$; และ $N_1 \geq N_2 \geq N_3 \geq N_4 \leq N_5$ ที่ $P=0.001$

สัมประสิทธิ์การแปรผันของลักษณะต่าง ๆ มีค่าต่ำกว่า 15% โดยระดับผลผลิต จำนวนรวง จำนวนดอก จำนวนดอก รวง¹ จำนวนเมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 12.74, 7.93, 9.03, 6.21, 12.43, 6.94 และ 1.23% ตามลำดับ สำหรับสภาพการปลูกในแปลงนางเกษตรกรจะพบว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตมมีระดับผลผลิตต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.01$ โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผันค่อนข้างต่ำเท่ากับ 7.21% และผลการวิเคราะห์ทางสถิติขององค์ประกอบผลผลิตที่เกิดขึ้นจากแบบการปลูกทั้งสองวิธีได้แสดงให้เห็นว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีจำนวนรวง เมตร² มากกว่า แต่จะมีจำนวนดอก เมตร² จำนวนดอก รวง¹ และจำนวนเมล็ด เมตร² น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$, 0.05 , 0.001 และ 0.05 โดยมีสัมประสิทธิ์การแปรผันของแต่ละลักษณะเท่ากับ 20.03, 11.43, 4.66 และ 7.85% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของแบบการปลูกทั้งสองไม่แสดงความแตกต่างในทางสถิติ ($P > 0.05$) และสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าค่อนข้างต่ำเท่ากับ 3.46 และ 1.57% ตามลำดับ

ค่าสหสัมพันธ์เมทริกซ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของสภาพการปลูกในกระถางทดลองและในแปลงนาเกษตรกร (Table 21) จะมีทั้งค่าสหสัมพันธ์ที่แสดงค่าเป็นบวกและเป็นลบตามความผันแปรของข้อมูลที่บันทึกได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ได้รับอิทธิพลจากระดับปริมาณไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกในแต่ละสภาวะ ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ ของผลผลิต จำนวนรวง จำนวนดอก และจำนวนเมล็ด ภาพรวมโดยทั่วไปจะมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวก ($P=0.001$) ยกเว้นวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมในส่วนของลักษณะระหว่างผลผลิตกับจำนวนรวง และระหว่างจำนวนรวงกับจำนวนดอกและจำนวนเมล็ด จะมีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบ และไม่แสดงความสัมพันธ์ในทางสถิติ สำหรับในส่วนของเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะต่าง ๆ จะพบว่า ค่าสหสัมพันธ์ส่วนใหญ่แสดงค่าเป็นลบและไม่มีความ

Table 21. Correlation matrix of yield and yield components for (a) pot experiment and (b) field experiment (1995-96 growing season).

(a) Pot experiment: For all treatments nitrogen application rates (n=18).

	GY pot ⁻¹	NPA pot ⁻¹	NSPI pot ⁻¹	NG pot ⁻¹	%FG	W1,000G
GY pot ⁻¹	–					
NPA pot ⁻¹	0.784 ^{***}	–				
NSPI pot ⁻¹	0.885 ^{***}	0.878 ^{***}	–			
NG pot ⁻¹	0.996 ^{***}	0.787 ^{***}	0.910 ^{***}	–		
%FG	-0.091 ^{NS}	-0.527 [*]	-0.527 [*]	-0.134 ^{NS}	–	
W1,000G	-0.755 ^{***}	-0.667 ^{**}	-0.904 ^{***}	-0.804 ^{***}	0.462 ^{NS}	–

(b) Field experiment:

Above and below diagonal for wet sown rice (n=20) and transplanted rice (n=24), respectively.

	GY m ⁻²	NPA m ⁻²	NSPI m ⁻²	NG m ⁻²	%FG	W1,000G
GY m ⁻²	–	-0.083 ^{NS}	0.854 ^{***}	0.981 ^{***}	-0.037 ^{NS}	0.313 ^{NS}
NPA m ⁻²	0.722 ^{***}	–	-0.090 ^{NS}	-0.136 ^{NS}	-0.130 ^{NS}	0.217 ^{NS}
NSPI m ⁻²	0.890 ^{***}	0.731 ^{***}	–	0.897 ^{***}	-0.245 ^{NS}	-0.021 ^{NS}
NG m ⁻²	0.986 ^{***}	0.732 ^{***}	0.913 ^{***}	–	0.001 ^{NS}	0.126 ^{NS}
%FG	-0.251 ^{NS}	-0.400 ^{NS}	-0.629 ^{***}	-0.269 ^{NS}	–	-0.196 ^{NS}
W1,000G	0.030 ^{NS}	0.167 ^{NS}	-0.157 ^{NS}	-0.133 ^{NS}	0.060 ^{NS}	–

*,**,*** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Abbreviation of variables as in Table 20.

สัมพันธ์ในเชิงสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มกับจำนวนรวงและจำนวนดอก และความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก 1,000 เมล็ดกับผลผลิต จำนวนรวง จำนวนดอก และจำนวนเมล็ด ของสภาพการปลูกในกระถางทดลอง และความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เมล็ด

เดิมกับจำนวนคอกระของสภาพการปลูกแบบปักดำ มีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบและมีความสัมพันธ์ในเชิงสถิติ (P มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.05-0.001) เมื่อพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับองค์ประกอบหลักของผลผลิตที่สำคัญ ๆ คือจำนวนเมล็ดกับน้ำหนักเฉลี่ยเมล็ด (ในตารางแสดงด้วยค่า W 1,000G) จะปรากฏว่า ผลผลิตของสภาพการปลูกในกระถางทดลองมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับจำนวนเมล็ด แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ ส่วนผลผลิตของสภาพแปลงนาเกษตรกรจากการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ จะมีความสัมพันธ์ในทางบวกเช่นกันเฉพาะกับจำนวนเมล็ด ($P=0.001$) เพียงลักษณะเดียวเท่านั้น ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทั้งสามที่ประกอบด้วย ผลผลิตกับจำนวนเมล็ด ผลผลิตกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด กับจำนวนเมล็ดของสภาพการปลูกในกระถางทดลองและในแปลงนาเกษตรกรได้แสดงไว้ตามลำดับใน Fig.26-28 โดยมีรายละเอียดสำคัญดังนี้

(1) ผลผลิตกับจำนวนเมล็ด การกระจายของข้อมูลในทรีตเมนต์ในโตรเจน การปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ จะมีผลผลิตอยู่ในช่วงประมาณระหว่าง 40-115 กรัม กระถาง¹ 260-380 และ 260-490 กรัม เมตร² และมีจำนวนเมล็ดอยู่ในช่วงประมาณระหว่าง 2,100-6,400 เมล็ด กระถาง¹ 12,700-19,400 และ 12,700-24,000 เมล็ด เมตร² ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับจำนวนเมล็ดของสภาพการปลูกในการทดลองทั้งสอง (Fig.26) มีลักษณะแบบรีเกรสชันเส้นตรง และ r^2 มีค่าค่อนข้างสูงมากกว่า 0.95 ผลผลิตของทรีตเมนต์ในโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ จากสภาพการปลูกในกระถาง (GY_{pot}) และสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตม (GY_{WSR}) และแบบปักดำ (GY_{TPR}) สามารถประมาณค่าได้จากจำนวนเมล็ด (NG) ของสภาพนั้น ๆ ดังสมการ

$$GY_{pot} = 7.38 + 1.70 \times 10^{-2} NG, \quad r^2 = 0.993^{***} \quad (59)$$

$$GY_{WSR} = -9.74 + 2.05 \times 10^{-2} NG, \quad r^2 = 0.963^{***} \quad (60)$$

$$GY_{TPR} = 6.44 + 1.94 \times 10^{-2} NG, \quad r^2 = 0.973^{***} \quad (61)$$

(2) ผลผลิตกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีการกระจายอยู่ในช่วงแคบ ๆ ซึ่งข้อมูลของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่บันทึกได้ในทรีตเมนต์ในโตรเจน การปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ จะแปรผันอยู่ในช่วงโดยประมาณระหว่าง 17.5-20.0, 18.5-20.5 และ 19.0-20.5 กรัม ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของแต่ละสภาพการปลูก (Fig.27) ได้แสดงให้เห็นว่า ผลผลิตของทรีตเมนต์ในโตรเจนจากสภาพการปลูกในกระถาง มีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (W 1,000 G) แบบรีเกรสชันเส้นตรง โดยสัมประสิทธิ์รีเกรสชันมีค่าเป็นลบ และ r^2 มีค่าเท่ากับ 0.57 ดังสมการ

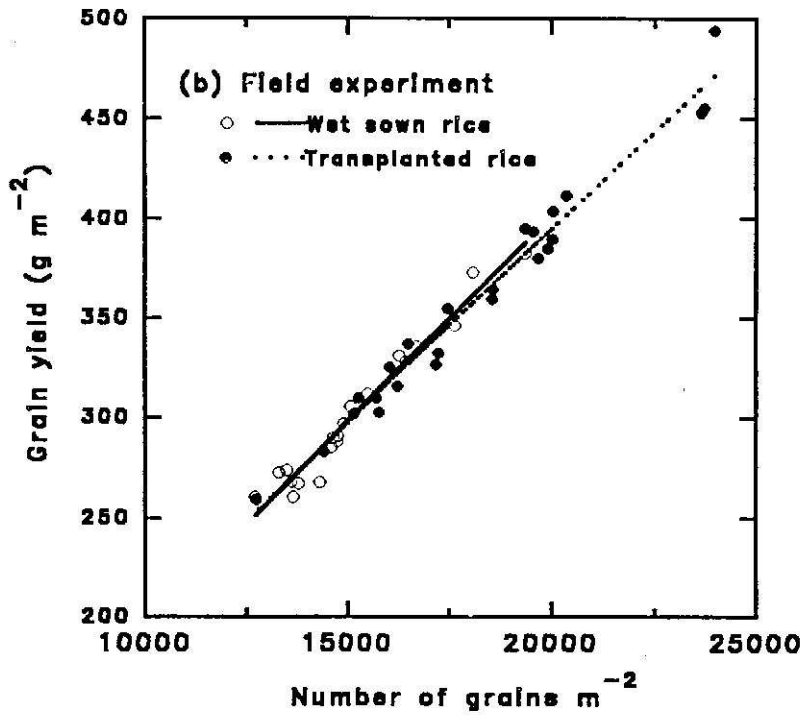
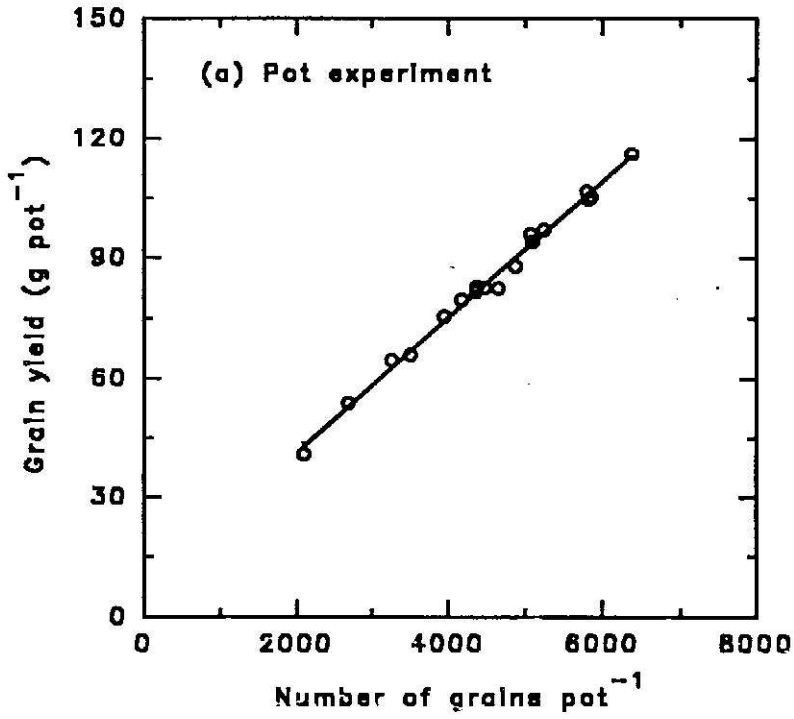


Fig. 26. Relationship between grain yield and number of grains area⁻¹ for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (59), (60) and (61) for pot experiment (pooled data of all treatment nitrogens), and field experiment of wet sown rice and transplanted rice, respectively.

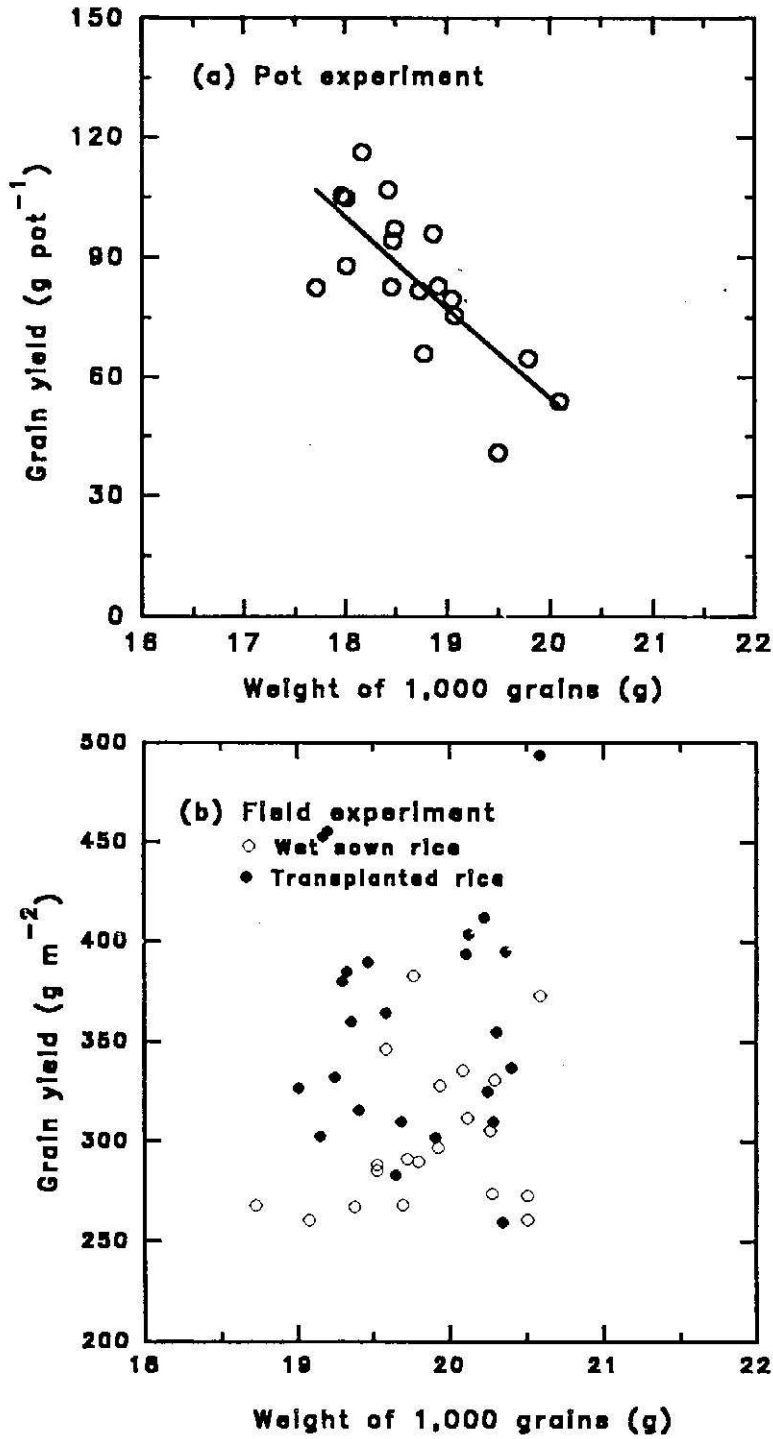


Fig. 27. Relationship between grain yield and weight of 1,000 grains for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season. Only the fitted curve of pot experiment (pooled data of all treatment nitrogens) is present in equation (62).

$$GY_{pot} = 509.14 - 22.72W1,000G, \quad r^2 = 0.570^{***} \quad (62)$$

ส่วนผลผลิตในสภาพแปลงนาเกษตรทั้งวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำไม่แสดงความสัมพันธ์กับน้ำหนักร 1,000 เมล็ด

(3). น้ำหนัก 1,000 เมล็ด กับจำนวนเมล็ด ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก 1,000 เมล็ดกับจำนวนเมล็ดของสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร (Fig.28) มีรูปแบบเป็นเช่นเดียวกันกับความสัมพัทธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด กล่าวคือ ทริตเมนต์ไนโตรเจนของสภาพการปลูกในกระถางจะมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดลดลงเมื่อมีจำนวนเมล็ดเพิ่มขึ้น โดยแสดงความสัมพันธ์แบบรีเกรสชันเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันเป็นลบ โดย r^2 มีค่าเท่ากับ 0.65 ซึ่งน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของสภาพการปลูกในกระถาง ($W1,000G_{pot}$) จะประมาณค่าได้จากสมการ

$$W1,000G_{pot} = 20.76 - 4.54 \times 10^{-4} NG, \quad r^2 = 0.646 \quad (63)$$

ส่วนการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำในแปลงนาเกษตรกรจะมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงค่าสังเกตของจำนวนเมล็ดที่บันทึกได้ระหว่าง 12,700-24,000 เมล็ด เมตร²

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

วิวัฒนาการก่อนเกิดดัชนีเก็บเกี่ยวข้าวที่คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินขณะที่เมล็ดกำลังเจริญเติบโตของสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ (Fig.29) ปรากฏให้เห็นว่า วิธีการปลูกทั้งสองแบบมีค่าดัชนีการเกี่ยวเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับ ตั้งแต่ระยะเริ่มผสมเกสรจนกระทั่งสิ้นสุดที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ค่าดัชนีการเกี่ยวเกี่ยวของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (HI_{WSR}) และแบบปักดำ (HI_{TPR}) ที่แสดงความสัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลังจากหว่านเมล็ดข้าวออก จะมีลักษณะเป็นแบบรีเกรสชันเส้นตรง และ r^2 มีค่าค่อนข้างสูงมากกว่า 0.90 ดังสมการ

$$HI_{WSR} = -1.171 + 6.315 \times 10^{-4} CDTT, \quad r^2 = 0.910^{***} \quad (64)$$

$$HI_{TPR} = -1.199 + 6.228 \times 10^{-4} CDTT, \quad r^2 = 0.920^{***} \quad (65)$$

สัมประสิทธิ์รีเกรสชันของสมการได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีอัตราการเพิ่มของค่าดัชนีการเกี่ยวเกี่ยวมากกว่าการปลูกแบบปักดำ และเมื่อคำนวณหาค่าระยะเวลาการก่อเกิดดัชนี

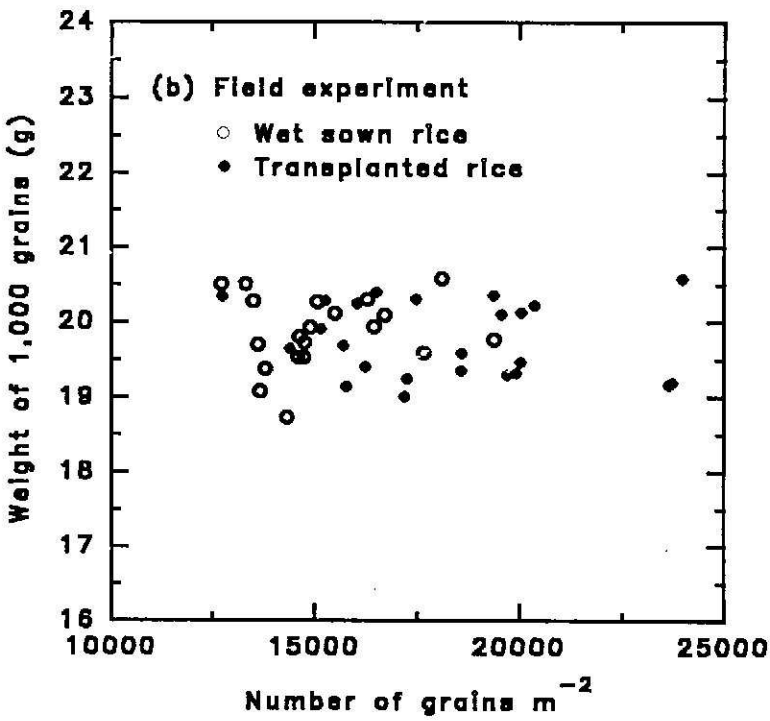
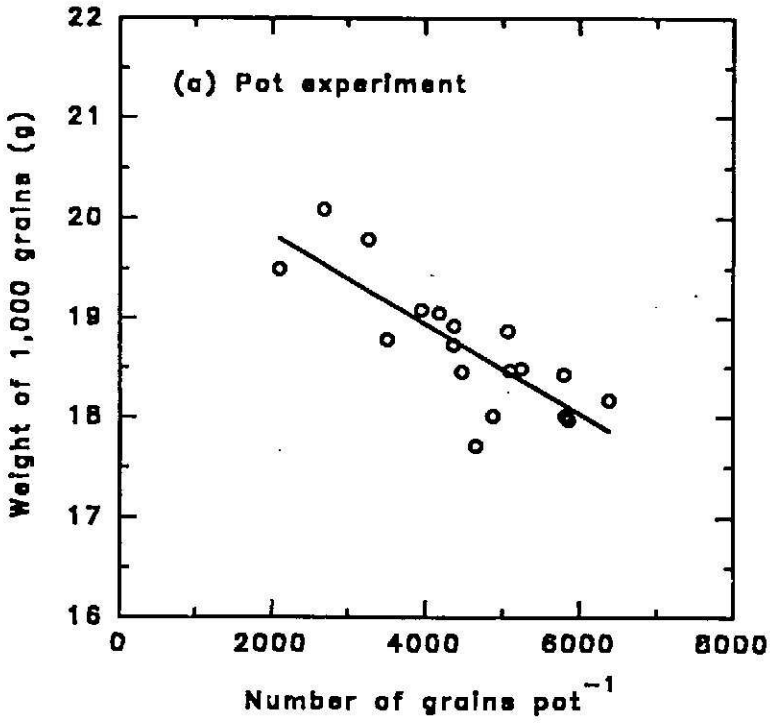


Fig. 28. Relationship between weight of 1,000 grains and number of grains area⁻¹ for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season. Only the fitted curve of pot experiment (pooled data of all treatment nitrogens) is present in equation (63).

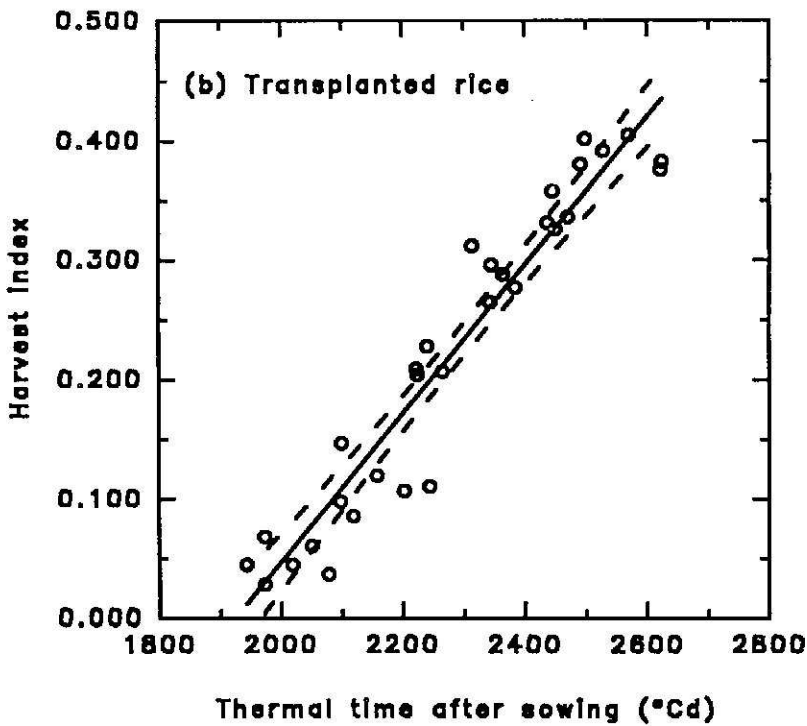
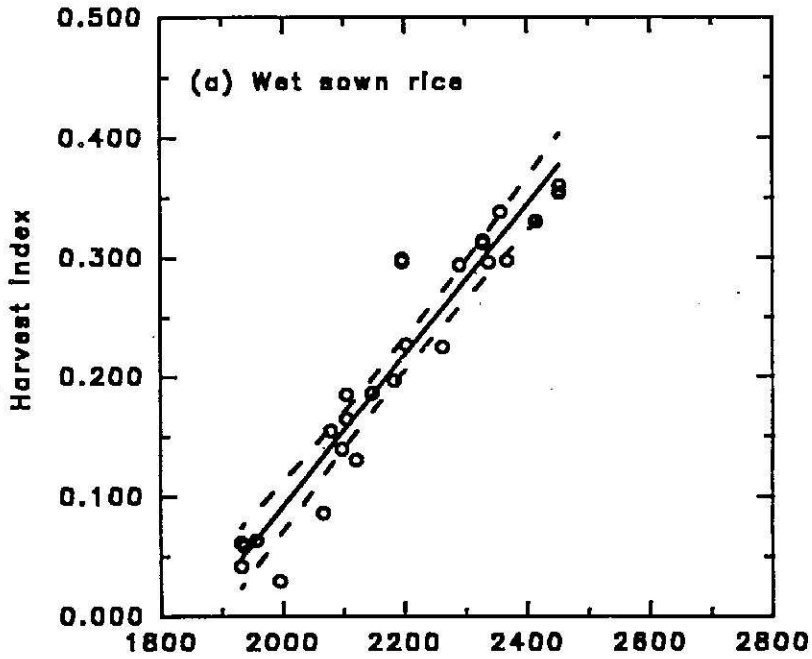


Fig. 29. Relationship between harvest index during the grain filling period and thermal time after sowing for field experiment of (a) wet sown rice and (b) transplanted rice during the 1995-96 wet season. The fitted curves are present in equations (64), (65) and (66) for wet sown rice, transplanted rice and pooled data, respectively.

เก็บเกี่ยวตั้งแต่ระยะเริ่มแรกจนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่ 0.329 และ 0.390 ตามลำดับของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ จะพบว่าระยะเวลาการก่อเกิดดัชนีเก็บเกี่ยวของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีช่วงเวลานั้นกว่าการปลูกแบบปักดำ กล่าวคือ ช่วงเวลาสะสมความร้อนภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออกขณะเริ่มสร้างดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI=0) จนกระทั่งดัชนีการเก็บเกี่ยวมีค่าสูงสุดในแต่ละแบบวิธีการปลูกตามลำดับนั้น การปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าประมาณ $1,855^{\circ}\text{Cd}$ (103 วัน) และ $2,375^{\circ}\text{Cd}$ (132 วัน) ส่วนการปลูกแบบปักดำจะมีค่าประมาณ $1,925^{\circ}\text{Cd}$ (107 วัน) และ $2,550^{\circ}\text{Cd}$ (142 วัน) ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาการก่อเกิดดัชนีเก็บเกี่ยวของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำจะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 520°Cd (29 วัน) และ 625°Cd (35 วัน) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ด้วยวิธีการทดสอบค่า t ของส่วนตัดแกน Y (Y-intercept) และสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของสมการประมาณค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวปรากฏผลว่า ลักษณะทั้งสองไม่แสดงความแตกต่างในทางสถิติระหว่างแบบวิธีการปลูกที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ ดังนั้นสมการสำหรับประมาณค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เกิดจากการรวมข้อมูลของการปลูกทั้งสองแบบในการทดลองครั้งนี้คือ

$$\text{HI} = -1.111 + 5.932 \times 10^{-4} \text{CDTT}, \quad r^2 = 0.879^{***} \quad (66)$$

ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาขณะเก็บเกี่ยวผลผลิตจากสภาพการปลูกในกระถางทดลองของทรีตเมนต์ในโตรเจนระดับต่าง ๆ และในแปลงนาเกษตรกรของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ มีค่าแปรผันระหว่าง 0.225-0.332, 0.270-0.376 และ 0.317-0.484 ตามลำดับ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยวระหว่างทรีตเมนต์ในโตรเจนไม่แสดงผลความแตกต่างในทางสถิติ กล่าวคือ:

$$\text{ดัชนีการเก็บเกี่ยวของทรีตเมนต์ } \text{NO} \geq \text{N1} \geq \text{N2} \leq \text{N3} \geq \text{N4} \geq \text{N5} \quad \text{ที่ } P > 0.05$$

สัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 7.14% โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยวของทรีตเมนต์ในโตรเจน NO , N1 , N2 , N3 , N4 และ N5 ที่บันทึกได้เท่ากับ 0.302, 0.290, 0.283, 0.289, 0.280 และ 0.262 ตามลำดับ ส่วนสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรปรากฏผลว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.329 ซึ่งต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำที่มีค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.390 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.01$ และสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าค่อนข้างต่ำเช่นกันเท่ากับ 4.10%

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการเก็บเกี่ยวเกี่ยวกับผลผลิตและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจากสภาพการปลูกในกระถางทดลองและในแปลงนาเกษตรกร (Fig.30 and 31) แสดงให้เห็นว่า ดัชนีการเก็บเกี่ยวของทรีตเมนต์ไนโตรเจนและของการปลูกแบบหว่านน้ำตมไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิต ($P>0.05$) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.075 และ 0.150 แต่มีความสัมพันธ์เป็นลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ กับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน โดยมีค่า r เท่ากับ -0.522 และ -0.502 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามดัชนีการเก็บเกี่ยวของการปลูกแบบปักดำจะมีความสัมพันธ์เป็นบวกกับผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน ($P>0.05$) ความสัมพันธ์ทั้งสองลักษณะมีค่า r เท่ากับ 0.472 และ -0.077 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน (Fig.32) จะพบว่าผลผลิตของทรีตเมนต์ไนโตรเจนจากสภาพการปลูกในกระถางทดลอง (GY_{pot}) และผลผลิตในแปลงนาเกษตรกรของการปลูกแบบหว่านน้ำตม (GY_{WSR}) และแบบปักดำ (GY_{TPR}) แสดงความสัมพันธ์เป็นบวกกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน (TDM) ของแต่ละสภาวะปลูกนั้น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ โดย r^2 มีค่าเท่ากับ 0.781 , 0.597 , และ 0.722 ตามลำดับ ดังสมการ

$$GY_{pot} = 14.910 + 0.231TDM, \quad r^2 = 0.781^{***} \quad (67)$$

$$GY_{WSR} = 92.045 + 0.226TDM, \quad r^2 = 0.597^{***} \quad (68)$$

$$GY_{TPR} = 13.648 + 0.374TDM, \quad r^2 = 0.722^{***} \quad (69)$$

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์รีเกรสชันด้วยวิธีการทดสอบค่า t ได้แสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของสภาพการปลูกในกระถางทดลองมีค่าใกล้เคียงกับสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตม ($P>0.05$) แต่สัมประสิทธิ์รีเกรสชันทั้งสองนี้จะมีค่าน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ ทำนองเดียวกันผลการทดสอบค่า t ของส่วนตัดแกน Y ปรากฏว่าสภาพการปลูกในกระถางทดลองและในแปลงนาเกษตรกรของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีค่าแตกต่างจากศูนย์ (a มีค่าไม่เท่ากับ 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.001$ ตรงกันข้ามกับส่วนตัดแกน Y ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่า a ไม่แตกต่างจากศูนย์ ($P>0.05$) สัมประสิทธิ์รีเกรสชันของสมการทั้งสามจะบ่งบอกถึงค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวในแต่ละสภาพการทดลองและวิธีแบบการปลูก ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีรีเกรสชันนี้ จะมีค่าต่ำกว่าวิธีการหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินทุกสภาพและวิธีการปลูกดังกล่าวต่าง ๆ ที่ได้เสนอไว้แล้ว

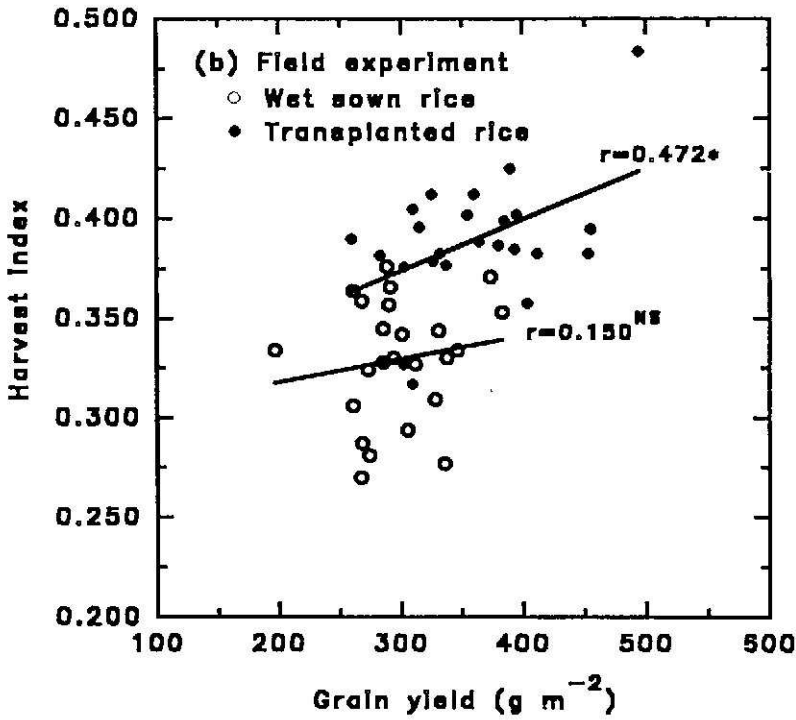
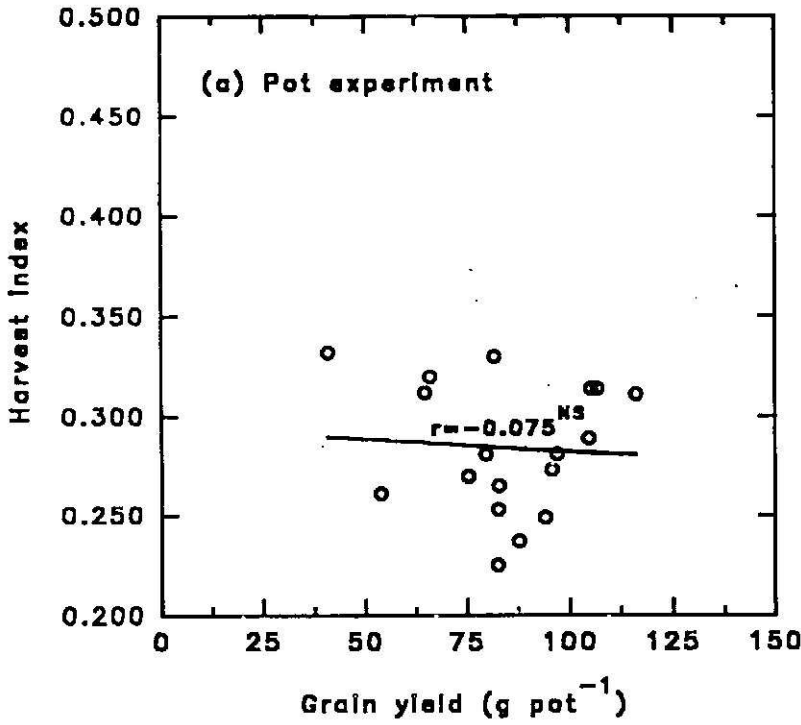


Fig. 30. Relationship between harvest index and grain yield for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

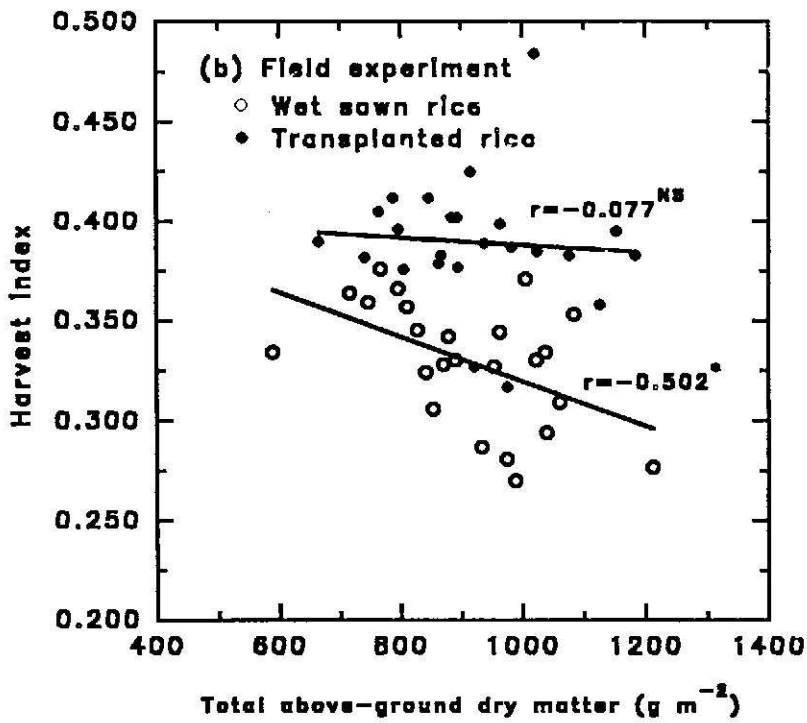
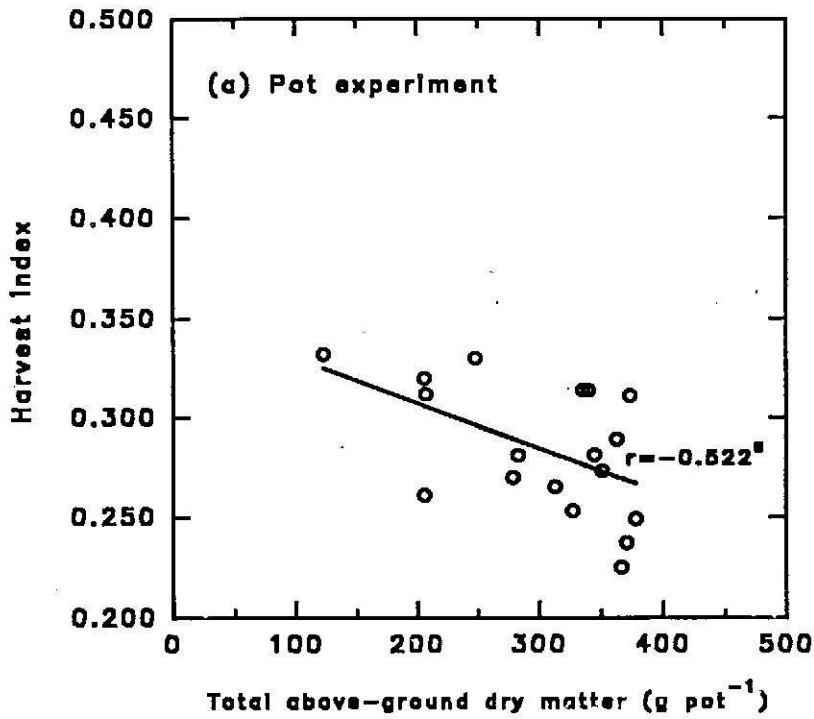


Fig. 31. Relationship between harvest index and total above-ground dry matter for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season.

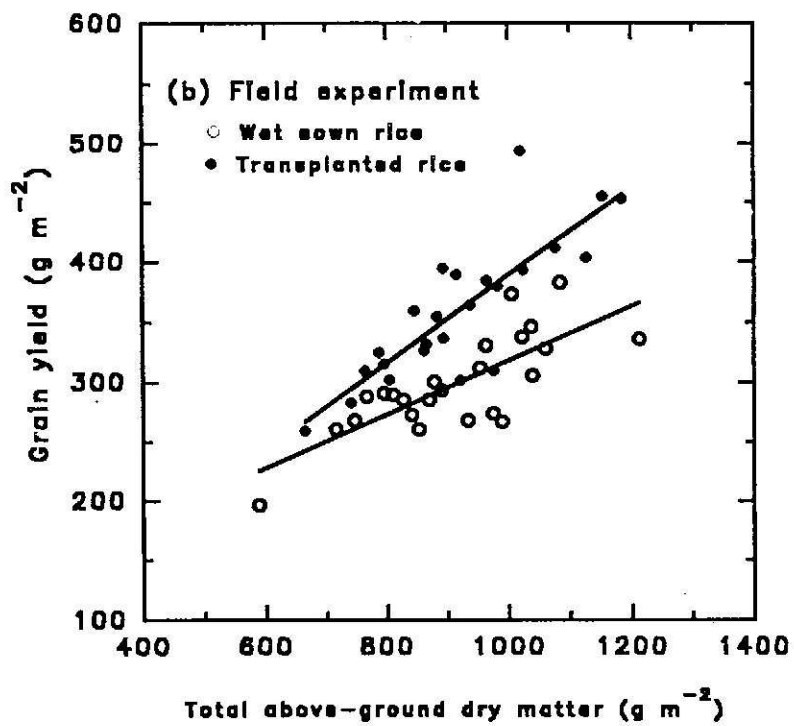
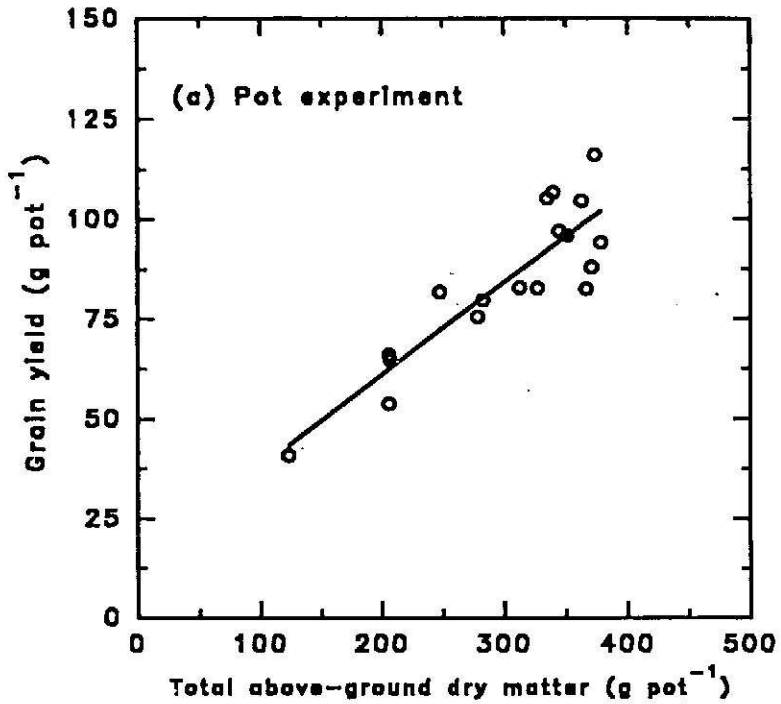


Fig. 32. Relationship between grain yield and total above-ground dry matter for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-96 wet season. The fitted curved for pot experiment (pooled data of all treatment nitrogens), and field experiment of wet sown rice and transplanted rice are present in equations (67), (68) and (69), respectively.

อย่างละเอียดข้างต้น

ค่าทำนายผลผลิตของทรีตเมนต์ในโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ รวมทั้งวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยว กับค่าตัวอย่างพืชที่บันทึกน้ำหนักแห้งทั้งหมดส่วนเหนือดินของทรีตเมนต์ในโตรเจนและแบบวิธีการปลูกนั้น ๆ ยกตัวอย่างเช่น ทรีตเมนต์ N0, N1 และการปลูกแบบหว่านน้ำตมของการทดลองครั้งนี้ มีค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.302, 0.290, 0.329 และมีค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างพืชเท่ากับ 123.32, 205.75 กรัม ไร่⁻¹ และ 767.53 กรัม เมตร⁻² ดังนั้นผลผลิตที่คำนวณได้จะมีค่าเท่ากับ 37.24, 59.67 กรัม ไร่⁻¹ และ 252.52 กรัม เมตร⁻² ตามลำดับ ค่าทำนายผลผลิตที่คำนวณได้ด้วยวิธีการนี้กับค่าทำนายผลผลิตที่ได้จากการประมาณค่าด้วยสมการรีเกรสชันข้างต้นเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าสังเกตผลผลิตที่บันทึกได้จริงจากการสุ่มเก็บตัวอย่างพืชของแต่ละสภาพและวิธีแบบการปลูกนั้น ๆ (Fig.33) จะปรากฏให้เห็นว่าลักษณะการกระจายของข้อมูลที่ได้จากผลคูณของค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยว กับค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินโดยส่วนมากจะอยู่ห่างจากเส้นกราฟ 1:1 มากกว่าข้อมูลที่คำนวณได้จากสมการรีเกรสชันเส้นตรง โดยมีค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของการเบี่ยงเบน (root mean square deviation; RMSD) ที่คำนวณได้จากวิธีการแรกสำหรับทรีตเมนต์ในโตรเจน การปลูกแบบหว่านน้ำตม และการปลูกแบบปักดำมีค่าเท่ากับ 9.05, 28.90 และ 30.90 ซึ่งจะมีค่ามากกว่าวิธีการรีเกรสชันเส้นตรงที่มีค่าเท่ากับ 8.86, 25.26 และ 30.02 ตามลำดับ ผลดังกล่าวนี้จะชี้ให้เห็นว่า การประมาณค่าผลผลิตและการประมาณค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีการรีเกรสชันที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจะมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่านั่นเอง ดังเช่นกรณีของการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตม

ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดิน

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนโดยน้ำหนักแห้งและปริมาณไนโตรเจนส่วนเหนือดินที่ช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะต่าง ๆ จากสภาพการปลูกในกระถางของทรีตเมนต์ในโตรเจนและสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกร (Table 22) ได้แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งและปริมาณของไนโตรเจนที่วิเคราะห์จากพืชส่วนเหนือดินมีค่าแปรผันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.63-1.11% และ 0.93-3.92 กรัมไนโตรเจน ไร่⁻¹ และในส่วนของเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีค่าแปรผันเท่ากับ 1.03-1.24% และ 0.55-1.21 กรัมไนโตรเจน ไร่⁻¹ ตามลำดับ การแปรผันของเปอร์เซ็นต์และปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับต้น ระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต รวมทั้งไนโตรเจนที่อยู่ในส่วนของเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต จะแสดงความสัมพันธ์ค่อนข้างชัดเจนกับอัตราไนโตรเจนที่ข้าวได้รับเพิ่มขึ้น ผลโดยทั่วไปค่าเปอร์เซ็นต์และ

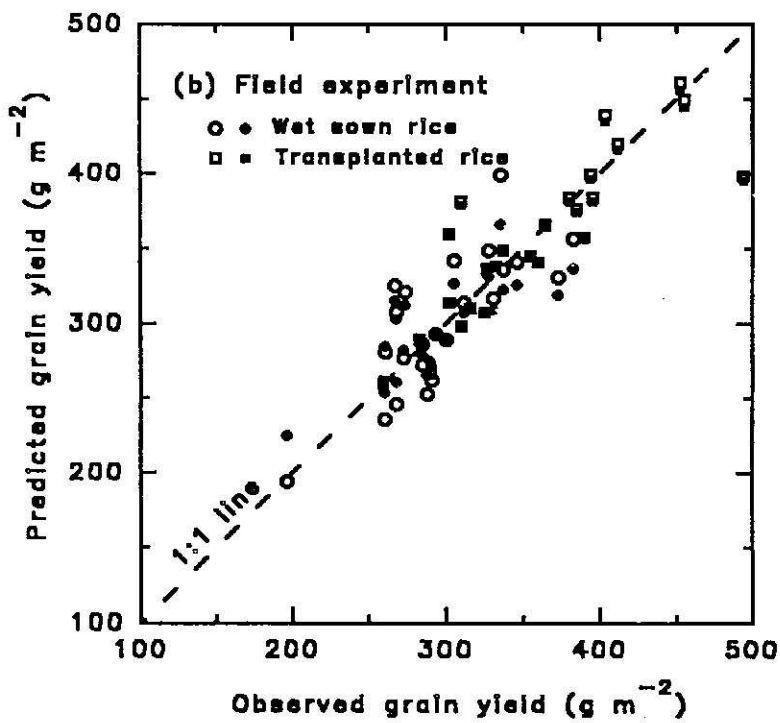
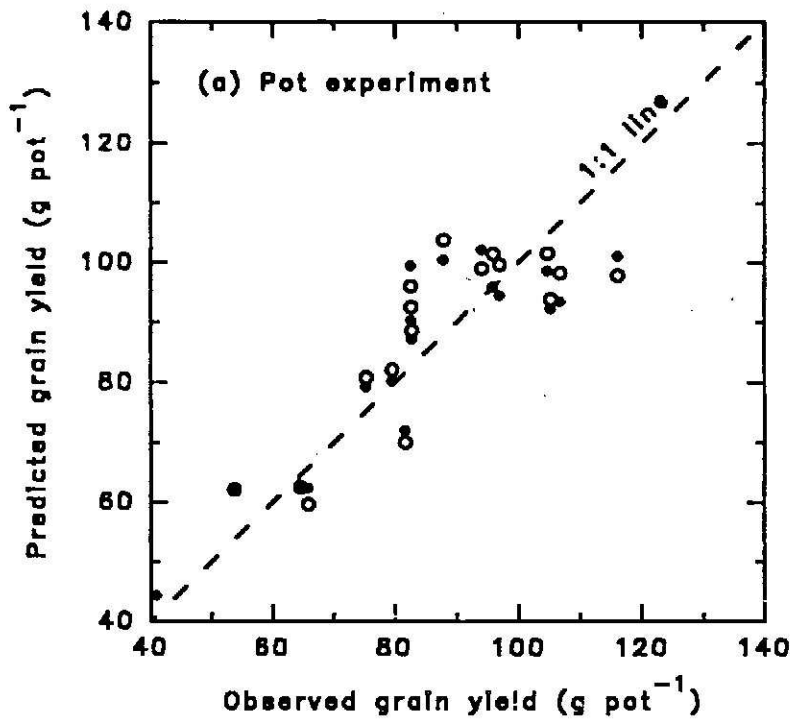


Fig. 33. Comparison of predicted and observed grain yield for (a) pot experiment and (b) field experiment of the 1995-96 wet season. Predicted grain yield with open and solid symbols were respectively obtained from TDMxHI at harvest and the linear regression equations (67)-(69).

Table 22. Percentage of nitrogen in dry matter (%N) and nitrogen uptake (N_{up} ; g N pot⁻¹ or g N m²) at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the growing season 1995-96.

Treatment	Stem elongation		50% flowering		Harvesting	
	%N	N_{up}	%N	N_{up}	%N	N_{up}
(a) Pot experiment:						
N0	0.83	0.93	0.63	1.28	0.71 (1.03)	1.26 (0.55)
N1	0.81	0.99	0.71	1.86	0.69 (1.05)	1.76 (0.77)
N2	0.92	1.33	0.79	2.58	0.68 (1.06)	2.03 (0.87)
N3	0.92	1.48	0.86	2.89	0.72 (1.16)	2.48 (1.16)
N4	0.99	1.76	0.89	3.35	0.73 (1.16)	2.62 (1.15)
N5	1.11	2.11	0.94	3.92	0.77 (1.24)	2.89 (1.21)
(b) Field experiment:						
Wet sown rice	1.38b	4.01a	0.96b	8.19b	0.79b (i.14b)	7.28a (3.42b)
Transplanted rice	2.95a	2.27b	1.32a	10.46a	0.90a (1.34a)	8.40a (4.85a)
F-test	***	*	*	*	* (*)	NS (**)
CV (%)	11.06	34.71	14.04	11.04	8.33 (9.68)	13.52 (14.01)

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

NS not significant.

Within columns, treatment means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level (Student-Newman-Keuls *k*-test)

Nitrogen in grains represente in parenthesis.

ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินและในส่วนเมล็ดของทรีตเมนต์ N0<N1<N2<N3<N4<N5 ตามลำดับ ส่วนสภาพการปลูกในแปลงเกษตรกร เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินและใน ส่วนของเมล็ดมีค่าแปรผันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.79-2.95% และ 1.14-1.34% ตามลำดับ วิธีการปลูก แบบหว่านน้ำตามที่จะระยะเริ่มยี่ดลำดับ ระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต จะมีค่า เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำโดยแสดงผลความแตกต่างทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น P=0.01 ในช่วงระยะเริ่มยี่ดลำดับ และ P=0.05 ในช่วงระยะดอกบาน 50% และในช่วงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต สัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะการเจริญเติบโตและ พัฒนาการทั้งสามระยะมีค่าเท่ากับ 11.06, 14.04 และ 8.33% ตามลำดับ ทำนองเดียวกัน

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนเมล็ดของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตม จะมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ และสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 9.68% สำหรับปริมาณไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและในส่วนของเมล็ดจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกร จะมีค่าแปรผันอยู่ในช่วงระหว่าง 2.27-10.46 และ 3.42-4.85 กรัมไนโตรเจนเมตร² ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปรากฏว่า ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับมีค่ามากกว่า แต่ที่ระยะดอกบาน 50% กลับมีปริมาณไนโตรเจนที่น้อยกว่าอย่างมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.05$ ทั้งสองช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ส่วนที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตแม้ว่าค่าปริมาณไนโตรเจนจะแสดงผลที่ไม่แตกต่างทางสถิติระหว่างแบบการปลูก ($P>0.05$) แต่สภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ สัมประสิทธิ์การแปรผันที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับมีค่าค่อนข้างสูงเท่ากับ 34.71% แต่ที่ระยะดอกบาน 50% และที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีค่าลดลงเท่ากับ 11.04 และ 13.52% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำโดยแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $P=0.01$ และสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับ 14.01%

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินจากสภาพการปลูกในกระถางของทรีตเมนต์ไนโตรเจนระดับต่าง ๆ และในสภาพแปลงนาเกษตรกรทั้งวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและการปลูกแบบปักดำ จะแสดงค่าลดลงตามลำดับตั้งแต่ช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการจากระยะเริ่มยี่ดลำดับจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ยกเว้นในกรณีทรีตเมนต์ N_0 ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระยะดอกบาน 50% ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรทั้งวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตม ($\%N_{WSP}$) และการปลูกแบบปักดำ ($\%N_{TPR}$) ที่ผันแปรตามน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน (TDM) ที่ช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะนั้น ๆ ของแต่ละแบบวิธีการปลูก (Fig. 34) จะมีลักษณะความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งในรูปของสมการยกกำลัง โดย R^2 ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำมีค่าค่อนข้างสูงเท่ากับ 0.703 และ 0.857 ตามลำดับ ดังสมการ

$$\%N_{WSP} = 8.40TDM^{0.33}, \quad R^2 = 0.703^{***} \quad (70)$$

$$\%N_{TPR} = 13.96TDM^{0.38}, \quad R^2 = 0.857^{***} \quad (71)$$

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่ประมาณค่าจากน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน

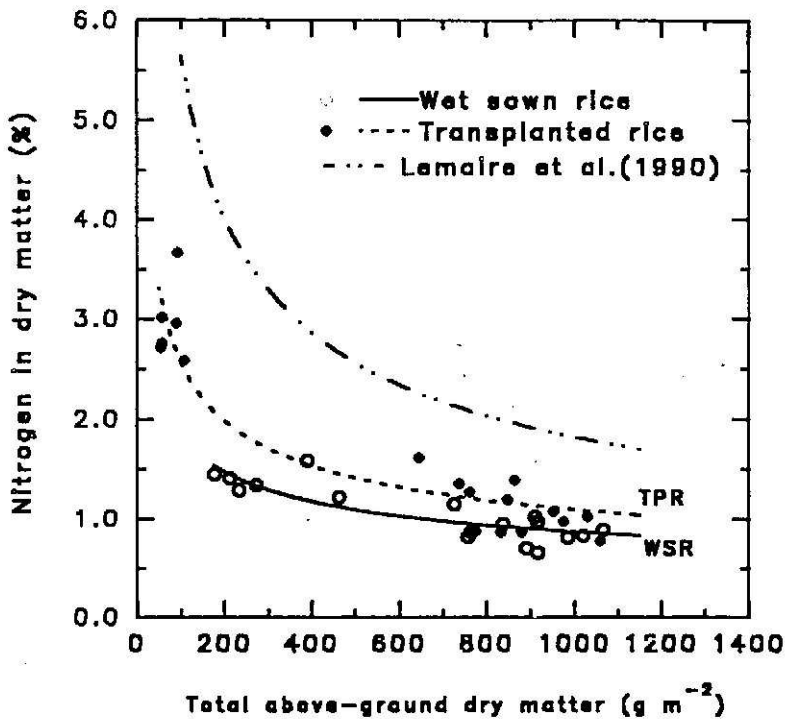


Fig. 34. Relationship between percentage of nitrogen in dry matter and total above-ground dry matter for field experiment during the 1995-1996 wet season. The fitted curves for wet sown rice and transplanted rice are present in equations (70) and (71), respectively. The reference equation proposed by Lemaire *et al.* (1990): $\%N = 5.64TDM^{-0.49}$ for C3 species, where TDM is total above-ground dry matter in $t\ ha^{-1}$, was used for comparison.

ในข้าวพันธุ์เขียงพัทลุงทั้งการปลูกแบบหว่านน้ำตามและการปลูกแบบปักดำ จะมีค่าต่ำกว่าเส้นกราฟอ้างอิงของพืชกลุ่มซี3 ที่เสนอโดย Lemaire *et al.* (1990) อย่างเด่นชัด

สำหรับการประมาณค่าไนโตรเจนที่พืชดูดจากดินและเก็บสะสมไว้ในส่วนเหนือดินที่ช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการจากระยะเริ่มยี่ดกล้าต้นจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร (Fig. 35) ได้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของทรีดเมนต์ไนโตรเจนระดับต่าง ๆ จะมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากระยะเริ่มยี่ดกล้าต้นจนมีค่าสูงสุดที่ระยะดอกบาน 50% หลังจากนั้นปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินจะมีค่าลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต การลดลงของปริมาณไนโตรเจนในช่วงระหว่างดอกบาน 50% จนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจากสภาพการปลูกในกระถาง จะปรากฏอย่างเด่นชัดตามลำดับอัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นอย่างเดียวกันกับสภาพการปลูกจริงในแปลงนาของเกษตรกรที่มีวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตาม (N_{UP-WSR}) และของวิธีการปลูกแบบปักดำ (N_{UP-TPR}) ที่แสดงความสัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสม (CDTT) ภายหลังจากการหว่าน

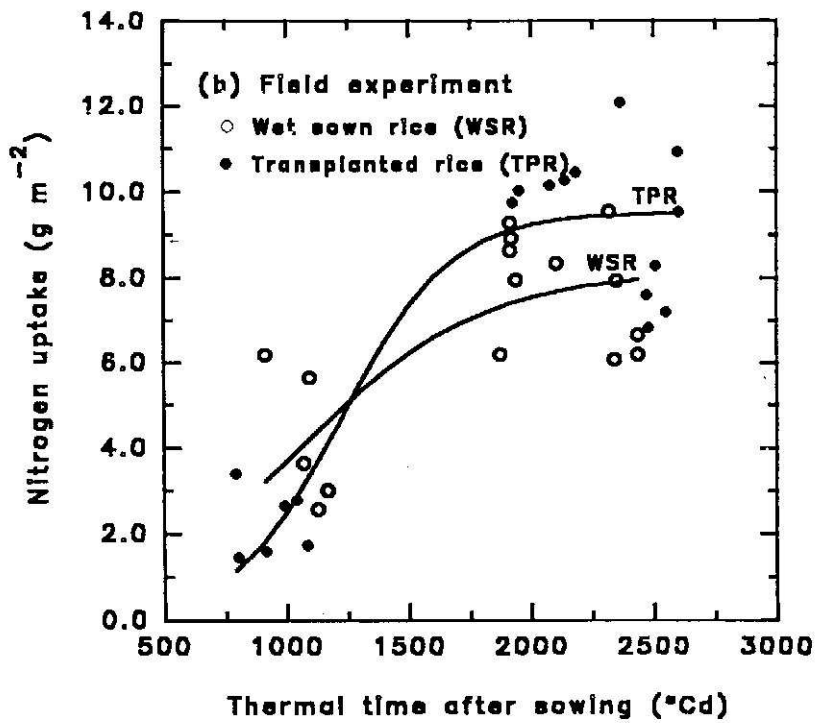
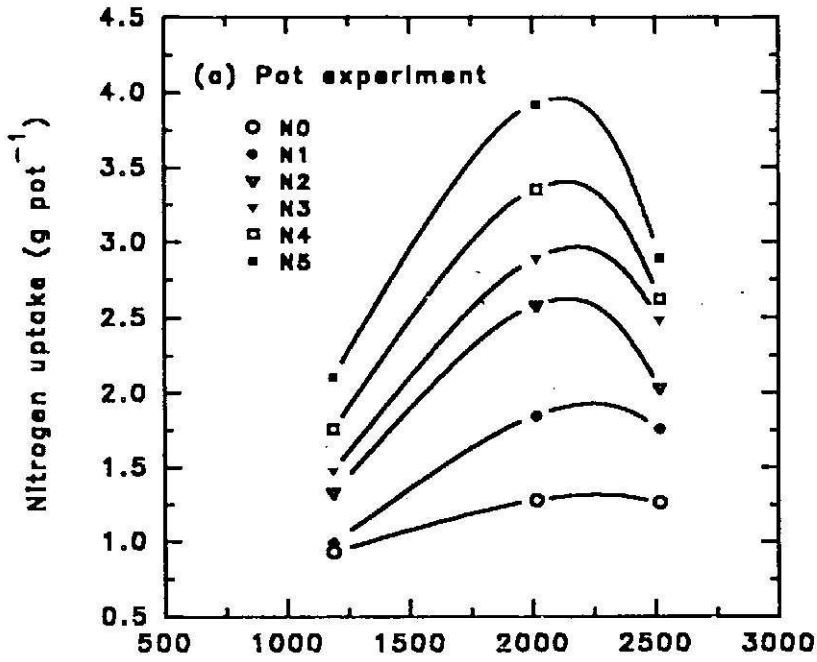


Fig. 35. Relationship between nitrogen uptake and total above-ground dry matter at various growth stages for (a) pot experiment and (b) field experiment during the 1995-1996 wet season. The fitted curves for field experiment of wet sown rice and transplanted rice are present in equations (72) and (73), respectively.

เมล็ดข้าววงอกสามารถประมาณค่าได้จากฟังก์ชันลอจิสติก โดยค่า R^2 ของการปลูกแบบหว่านน้ำ
 ตมและของแบบปักดำ มีค่าเท่ากับ 0.528 และ 0.841 ตามลำดับ ดังสมการ

$$N_{UP-WSR} = \frac{8.15}{1 + 18.35 \text{EXP}(-27.26 \times 10^{-4} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.528^{**} \quad (72)$$

$$N_{UP-TPR} = \frac{9.52}{1 + 264.07 \text{EXP}(-45.30 \times 10^{-4} \text{CDTT})}, \quad R^2 = 0.841^{***} \quad (73)$$

เส้นกราฟจากสมการทั้งสองที่แสดงใน Fig. 35 ได้ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดิน
 ของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมเริ่มมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำเมื่อค่าความร้อนสะสมมากกว่า
 $1,250^\circ\text{Cd}$ ภายหลังจากหว่านเมล็ดข้าววงอก ซึ่งคาดว่าเป็นช่วงที่เข้าสู่ระยะพัฒนาการของรวงขณะ
 สร้างระแง้และดอกของข้าวพันธุ์เจ็ยงพัทลุง

วิจารณ์ผล

สภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว

ข้าวเลี้ยงพัทลุงเป็นข้าวแนะนำส่งเสริมและเกษตรกรนิยมปลูกกันมากทางภาคใต้ในช่วงฤดูนาปี ซึ่งมีช่วงเวลาของฤดูกาลและความยาวนานช่วงแสงที่เหมาะสมตามลักษณะสำคัญประจำพันธุ์ สภาพโดยทั่วไปของปัจจัยภูมิอากาศที่มีอิทธิพลโดยตรงกับระดับผลผลิตข้าวในช่วงฤดูการทำนาปี จะถูกกำหนดโดยปริมาณและการกระจายของฝน อุณหภูมิอากาศ และรังสีดวงอาทิตย์ ความต้องการของข้าวที่มีต่อบุปัจจัยดังกล่าวนี้จะผันแปรตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ในระยะแรกของการเจริญเติบโตและพัฒนาการทางลำต้นและใบจนถึงระยะสร้างรวงจะเป็นช่วงที่ข้าวมีความต้องการน้ำมากที่สุด ปริมาณและการกระจายของฝนในช่วงนี้จำเป็นต้องมีอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ ความต้องการน้ำของข้าวจะเริ่มลดลงเป็นลำดับเมื่อเข้าสู่ระยะออกดอกจนถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 7 วัน การเจริญเติบโตและพัฒนาการในช่วงหลังขณะที่ข้าวออกดอกและสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดนั้น จะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิอากาศและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงและอัตราการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ไปสู่ส่วนของเมล็ด เมื่อพิจารณาลักษณะการผันแปรสภาพภูมิอากาศของการทดลองครั้งนี้ตั้งแต่เริ่มหว่านเมล็ดข้าววงอกเดือนกันยายน 2538 จนถึงระยะออกรวงประมาณเดือนธันวาคม 2538 จะพบว่าในช่วงดังกล่าวนี้มีปริมาณและการกระจายของฝนในพื้นที่สงขลาและพัทลุงอย่างเพียงพอ แม้ว่าสภาพฝนของพัทลุงในเดือนพฤศจิกายนจะมีฝนตกชุกมากจนทำให้แปลงนาทดลองบางแปลงมีระดับน้ำท่วมขังสูงกว่า 30 เซนติเมตร แต่สภาพการท่วมขังเช่นนี้จะเกิดขึ้นเพียงช่วงระยะสั้น ๆ ประมาณ 2 วันเท่านั้น ส่วนสภาพภูมิอากาศในช่วงออกดอกจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตระหว่างเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ 2539 จะมีปริมาณและการกระจายของฝนลดลงอย่างต่อเนื่อง ขณะเดียวกันปริมาณช่วงเวลาที่แสงแดดจะเพิ่มมากขึ้นประมาณ 1-2 เท่าของช่วงแรก สำหรับอุณหภูมิอากาศตลอดช่วงการทดลองจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังจะเห็นได้ว่าลักษณะภูมิอากาศที่ได้กล่าวมานี้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวตลอดช่วงฤดูการทำนาปี 2538-39 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Hardjwinata (1980), De Datta (1981) and Yoshida (1981) ที่ได้สรุปผลว่า ข้าวนาปีสามารถเจริญเติบโตและมีพัฒนาการที่ดีจะต้องได้รับปริมาณฝนมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร ที่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดฤดูปลูก มีอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วงระหว่าง 20-30°C และต้องการปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มากขึ้นในระยะออกรวงสำหรับการสร้างจำนวนดอกและมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มสูงขึ้นด้วย

อายุการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวระยะต่าง ๆ ที่แสดงด้วยค่าความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้าววงอกมีความแตกต่างกันตามลักษณะแบบวิธีการปลูก ค่าความร้อนที่

บันทึกได้ในระยะต่าง ๆ ของสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรที่มีวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตม จะเริ่มสร้างหน่อและเข้าสู่ระยะดอกบาน 50% ได้เร็วกว่า พร้อมทั้งมีอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรที่มีวิธีการปลูกแบบปักดำ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมได้ลดขั้นตอนการถอนกล้า การเจริญเติบโตและพัฒนาการทางลำต้น ใบ และรากของต้นกล้าในระยะแรก ๆ ไม่ถูกกระทบกระเทือนหรือชะงักงัน (Schnier *et al.*, 1990a; Dingkuhn *et al.*, 1990a; 1991; 1992a, b) อย่างไรก็ตามสภาพการปลูกในกระถางจะเริ่มระยะการสร้างหน่อได้เร็วกว่าสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบหว่านน้ำตม อาจมีสาเหตุสำคัญที่คาดคะเนว่าน่าจะเกิดจากความแตกต่างของควมดีในการบันทึกข้อมูลที่กระทำทุก ๆ 3 วันของสภาพการปลูกในกระถาง และทุก ๆ 7 วันของสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกร หรืออาจเป็นไปได้ว่าสภาพการปลูกในกระถางที่ได้เตรียมดินอย่างประณีตและมีความสามารถควบคุมระดับน้ำและธาตุอาหารพืชที่ดีกว่า น่าจะส่งผลทำให้ต้นหลักของสภาพการปลูกในกระถางมีความสมบูรณ์แข็งแรงและเก็บสะสมอาหารได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปลูกที่เป็นจริงในแปลงนาเกษตรกร ซึ่งธาตุอาหารที่เก็บสะสมไว้ในต้นหลักจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของหน่อในช่วงแรก ๆ ขณะที่มีใบน้อยกว่า 3 ใบ และรากน้อยกว่า 4 ราก (Ishizuka and Tanaka, 1963, cited in Murata and Matsushima, 1975) สำหรับความแตกต่างของระยะเริ่มยึดลำต้นที่มีผลจากการตรวจวัดว่า แบบวิธีหว่านน้ำตมมีระยะการยึดลำต้นเกิดขึ้นช้ากว่าแบบวิธีปักดำนั้น เหตุผลสนับสนุนที่จะเป็นไปได้มี 2 ประการ ประการแรก ระยะห่างระหว่างต้นหลักของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีการกระจุกตัวน้อยกว่าวิธีการปลูกแบบปักดำ ซึ่งการปฏิบัติปกติตามความเคยชินของเกษตรกรจะใช้จำนวนต้นกล้าปักดำโดยเฉลี่ยประมาณกอละ 3-5 ต้น ประการที่สอง จุดเจริญตายอดของต้นหลักในการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะอยู่ใกล้กับระดับผิวดิน ในขณะที่การปลูกแบบปักดำจะทำให้จุดเจริญตายอดของต้นหลักจมลึกลงไปจากผิวดิน เหตุผลทั้งสองประการนี้ทำให้ตั้งข้อสมมติฐานได้ว่า ความเข้มแสงที่ตายอดได้รับน่าจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับการยึดลำต้น กล่าวคือ ตายอดต้นหลักของสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะได้รับความเข้มแสงในปริมาณที่มากกว่า แต่ได้รับสิ่งรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการส่งเสริมการยึดลำต้นน้อยกว่า มีผลทำให้การเจริญเติบโตทางด้านการเพิ่มความสูงลำต้นเกิดขึ้นได้ช้ากว่าวิธีการปลูกแบบปักดำ เมื่อพิจารณาถึงกรณีความแตกต่างของช่วงเวลาสำหรับระยะดอกบาน 50% ระหว่างสภาพการปลูกในกระถางที่มีระยะการบานของดอกเกิดล่าช้ากว่าสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีหว่านน้ำตม จะมีสาเหตุเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความสมบูรณ์แข็งแรงของต้นหลัก ซึ่งสภาพการปลูกในกระถางที่สามารถสร้างจำนวนหน่อ ต้น¹ ได้มากกว่านั้น มีเหตุผลอธิบายสนับสนุนได้จากผลการศึกษาขั้นตอนระยะพัฒนาการของรวงในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ โดย Matsushima (1975) ที่แสดงให้เห็นว่า ต้นหลักจะมีระยะพัฒนาการของรวงได้ก่อนหน่อ และเร็วกว่าหน่อลำดับต่าง ๆ

ประมาณ 1-2 ช่วงระยะพัฒนาการ และผลจากการติดตามสังเกตลักษณะการไหลของรวงข้าวที่เกิดจากต้นหลักและหน่อชูดต่าง ๆ ของ Counce *et al.* (1996) ได้ผลสรุปว่า รวงต้นหลักจะปรากฏออกมาให้เห็นก่อนรวงของหน่อชูดแรก และติดตามด้วยรวงของหน่อชูดที่สอง และรวงของหน่อชูดที่สาม ตามลำดับ Yoshida (1981) ได้กล่าวไว้ค่อนข้างละเอียดว่า การบานของดอกจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อรวงไหลพ้นออกจากกาบใบธง และการบานของดอกในแต่ละรวงจากปลายรวงถึงโคนรวงจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 7-10 วัน เหตุผลที่กล่าวอ้างมานี้จะเป็นข้อสรุปที่ชี้ให้เห็นว่า สภาพการปลูกในกระถางที่มีต้นหลักสมบูรณ์แข็งแรงและสามารถสร้างจำนวนหน่อ ต้น¹ ได้มากกว่า จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาสำหรับการบานของดอกจนถึงระยะดอกบาน 50% ของรวงทั้งหมดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพเป็นจริงในแปลงนาเกษตรกรที่ใช้วิธีการปลูกอย่างเดียวกันแบบหว่านน้ำตม เนื่องจากมีจำนวนหน่อ ต้น¹ ที่น้อยกว่า ความแตกต่างของช่วงเวลาระยะดอกบาน 50% นี้จะส่งผลสืบเนื่องถึงการแปรผันของระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วย

การเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นหลัก

รูปแบบการปรากฏใบของต้นหลักที่มีอัตราปลูกอย่างหนาแน่นในการทดลองครั้งนี้ จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปคล้าย ๆ กับสภาพการปลูกที่มีอัตราความหนาแน่นน้อยกว่าในข้าวพันธุ์เดียวกันกับผลงานทดลองของช่วงฤดูการทำนาปีระหว่างเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม 2536 (รังสรรค์ อากาศพิภะกุล, 2537) ความยาวนานช่วงแสงของสภาพการปลูกทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยความยาวนานช่วงแสงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม และระหว่างเดือนกันยายนถึงกุมภาพันธ์ที่คำนวณได้จะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.3 และ 11.9 ชั่วโมง ตามลำดับ (Chang, 1971) อย่างไรก็ตามลักษณะการปรากฏใบที่เกี่ยวข้องกับระยะเปลี่ยนแปลงอัตราการปรากฏใบ ระยะกำเนิดตาดอก และจำนวนใบทั้งหมดของต้นหลัก ที่บันทึกได้จากการทดลองทั้งสองพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ผลงานวิจัยในสภาพแปลงนาทดลองของ Apakupakul (1991) ที่กระทำในช่วงฤดูนาปี 2531-2532 และ 2532-2533 ติดต่อกัน ที่ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง ได้รายงานว่าการปรากฏใบต้นหลักในสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมของข้าวพันธุ์แก่นจันทร์และพันธุ์ กข 7 ที่มีอัตราความหนาแน่นของการปลูก 50 ต้น เมตร² จะเริ่มระยะเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบช้ากว่าแต่จะมีจำนวนใบทั้งหมดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพอัตราการปลูกที่มีความหนาแน่น 300 ต้น เมตร² สำหรับระยะเริ่มกำเนิดตาดอกนั้นไม่พบความแตกต่างกันระหว่างอัตราการปลูก ผลดังกล่าวนี้ทำให้ได้ข้อสรุปว่า สภาพอัตราการปลูกอย่างหนาแน่นที่ก่อให้เกิดการบังแสงซึ่งกันและกัน จะมีผลโดยตรงต่อลักษณะการปรากฏใบและจำนวนใบ ส่วนกรณีความแตกต่างของระยะเริ่มกำเนิดตาดอกนั้นยังไม่สามารถยืนยันผลได้ชัดเจนว่าอัตราการปลูกจะมีผลหรือไม่อย่างไร เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของไนโตรเจน Dale and Wilson (1978), Apakupakul (1991), Longnecker *et al.*

(1993), รังสรรค์ อาภาคัพทะกุล (2537) ได้รายงานผลที่เหมือนกันว่า ไนโตรเจนมีผลทำให้อัตราการปรากฏใบสูงขึ้นและมีจำนวนใบเพิ่มขึ้นด้วย แต่ผลดังกล่าวนี้ยังเป็นที่โต้เถียงกันดังการรวบรวมผลงานทดลองต่าง ๆ ของ Wilhelm and McMaster, 1995 และมีความขัดแย้งกันกับผลงานวิจัยของ Masle-Meynard (1980), Frank and Bauer (1982), Bauer *et al.* (1984), and Durr (1984)

ความสูงของต้นหลักจากข้อแรกถึงปลายยอดที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออก จะมีลักษณะการเพิ่มแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Durr, 1984; Apakupakul, 1991) ผลการศึกษาในข้าวพันธุ์แก่นจันทร์และพันธุ์ กข 7 ของ Apakupakul (1991) ได้ข้อสรุปเช่นเดียวกับการทดลองครั้งนี้ว่า ระยะเวลาการยืดลำต้นของข้าวจะเริ่มเมื่อต้นหลักมีความสูงเท่ากับ 25 มิลลิเมตร และไนโตรเจนจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อลักษณะการเพิ่มความสูงต้นหลักที่มีผลทำให้การยืดตัวของปล้องเพิ่มจำนวนมากขึ้น (Chandler, 1969; Kahn and Vergara, 1982) ข้อสรุปของ De Datta (1981) and Yoshida (1981) ได้กล่าวอย่างกว้าง ๆ ว่า ระยะเริ่มยืดลำต้นของข้าวจะผันแปรตามอายุพันธุ์ โดยข้าวพันธุ์อายุสั้น (105-120 วัน) และพันธุ์อายุปานกลางจะเริ่มยืดลำต้นในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับระยะสร้างตาดอก ส่วนพันธุ์หนัก (150 วัน) จะเริ่มยืดลำต้นประมาณตอนช่วงปลายของการแตกกอก่อนระยะสร้างตาดอก การศึกษาให้ทราบถึงระยะเริ่มยืดลำต้นและความสูงต้นหลักนับว่ามีความสำคัญมากต่อการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการใส่ไนโตรเจนเป็นปุ๋ยแต่งหน้าในครั้งที่สอง ที่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนดอกและการสร้างน้ำหนักแห้งของพืชส่วนเหนือดินในธัญพืชหลายชนิดรวมทั้งข้าว ดังกรณีตัวอย่างเช่น Masle-Meynard (1980) ได้รายงานว่ ขณะที่ต้นหลักของข้าวสาลีมีความสูง 10 มิลลิเมตร จะเป็นระยะเริ่มการยืดลำต้นและเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่รวงของต้นหลักเข้าสู่ระยะการสร้างจำนวนดอก (ภายหลังระยะที่รวงปรากฏเป็นสันนูนคู่หรือที่เรียกว่า Double ridges) และน้ำหนักแห้งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญสำหรับการประมาณค่าจำนวนรวงของข้าวสาลี (Meynard, 1985) และข้าวบาร์เลย์ (Gbongue, 1985)

ระยะพัฒนาการของรวงต้นหลักจากสภาพการปลูกในกระถางขณะที่ตาเปล่าสามารถสังเกตเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงซึ่งตรงกับระยะที่ IX ตามการจำแนกของ Matsushima (1975) รวมทั้งระยะการพัฒนาตาดอกในลำดับต่อ ๆ มาสำหรับข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงที่ไม่แสดงความแตกต่างระหว่างที่ไรต์เมนต์ไนโตรเจน ผลเช่นนี้พบตรงกันข้ามกับงานวิจัยที่ศึกษาจากสภาพแปลงนาในข้าวหลายพันธุ์ Durr (1984) ได้รายงานว่ไนโตรเจนมีผลทางอ้อมต่อการพัฒนาตายอด และช่วงเวลาการพัฒนาตายอดจะแปรผันตามพันธุ์ปลูกและอัตราไนโตรเจน ทำนองคล้ายกัน Apakupakul (1991) ได้ศึกษาพบว่า ไนโตรเจนมีผลทำให้ตายอดภายหลังระยะเริ่มกำเนิดตาดอก (ระยะ II) ของข้าวพันธุ์แก่นจันทร์และพันธุ์ กข 7 มีพัฒนาการที่ระยะต่าง ๆ ได้เร็วขึ้น ข้อขัดแย้งของผลการศึกษาดังกล่าวนี้คาดว่ามีสาเหตุสำคัญจากความแตกต่างระหว่างพันธุ์ สภาพการปลูกแบบกระถาง

กับสภาพที่เป็นจริงในแปลงนา ตลอดจนสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของข้าว โดยทั่วไปช่วงพัฒนาการของรวงตั้งแต่เริ่มกำเนิดตาดอกจนถึงระยะสิ้นสุดการสร้างระแงงทุติยภูมิ (ระยะ VIII) จะแตกต่างในข้าวแต่ละพันธุ์ และพันธุ์เบาจะพัฒนาได้เร็วกว่าพันธุ์หนัก ซึ่งประมาณว่าข้าวอายุสั้นพันธุ์ไออาร์ 50 (Senanayake *et al.*, 1991) ข้าวอายุปานกลางพันธุ์ธนอิน 25 (Matsushima, 1975) และพันธุ์ไออาร์ 42 (Senanayake *et al.*, 1991) และข้าวอายุยาวพันธุ์แก่นจันทร์ (Apakupakul, 1991) ใช้เวลา 4-7, 10-12, 11-15, และ 15-18 วัน ตามลำดับ ในการทดลองครั้งนี้เป็นที่น่าเสียดายว่า ระยะเริ่มกำเนิดตาดอกได้เกิดขึ้นก่อนการเก็บตัวอย่างพืชครั้งแรก อย่างไรก็ตามข้าวเชิงพัทลุงจะมีอายุค่อนข้างยาวเช่นเดียวกับข้าวพันธุ์แก่นจันทร์ ถ้าหากสมมติว่าช่วงเวลาระหว่างระยะเริ่มกำเนิดตาดอกจนถึงระยะที่ตาเปล่าสังเกตเห็นลักษณะพัฒนาการของรวงมีค่าใกล้เคียงกัน และในโตรเจนมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงระยะพัฒนาการช่วงต่าง ๆ ของรวงนั้น คาดคะเนได้ว่าข้าวพันธุ์เชิงพัทลุงจะเริ่มกำเนิดตาดอกเมื่อมีอายุเฉลี่ยประมาณ 1,170-1,230 °Cd (59-62 วัน) ภายหลังจากหว่านเมล็ดข้าววงอก ประกอบกับระยะดอกบาน 50% ไม่แสดงความแตกต่างระหว่างทริตเมนต์ไนโตรเจน ดังนั้นระยะเริ่มกำเนิดตาดอกสามารถกำหนดค่าได้ค่อนข้างชัดเจนว่าจะเกิดขึ้นก่อนการออกรวงประมาณ 39-42 วัน และมีค่ามากกว่าที่ Matsushima (1975) and Yoshida (1981) ได้รายงานไว้ว่า ระยะเริ่มกำเนิดตาดอกของข้าวโดยเฉลี่ยทั่วไปจะเกิดก่อนระยะออกรวงประมาณ 30 วัน ช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกันดังกล่าวนี้อาจจะมีการแปรผันกับฤดูกาลและภาวะการณต่าง ๆ ของสภาพการปลูก (Matsushima, 1975) ซึ่งมีความสอดคล้องกับ Senanayake *et al.*, (1991) ที่ศึกษาพบว่าระยะเริ่มกำเนิดตาดอกของข้าวพันธุ์ไออาร์ 50 และพันธุ์ไออาร์ 42 จะเกิดก่อนระยะออกดอกประมาณ 29 และ 38 วัน ตามลำดับ สำหรับพัฒนาการในส่วนของดอกบนระแงงชุดต่าง ๆ นั้น Matsushima (1975) ก็ได้รายงานเช่นเดียวกันว่า ดอกต่าง ๆ ภายในรวงจะพัฒนาจนสมบูรณ์เต็มที่ประมาณช่วงปลายระยะ XIX หรือประมาณ 5-7 วันก่อนระยะออกรวง ข้อมูลดังกล่าวนี้ทำให้สามารถกำหนดได้ว่า ข้าวพันธุ์เชิงพัทลุงจะเสร็จสิ้นพัฒนาการของดอกที่อายุโดยเฉลี่ยประมาณ 1,920-1,955 °Cd (101-103 วัน) ภายหลังจากหว่านเมล็ดข้าววงอก และช่วงเวลาสำหรับพัฒนาการในส่วนของดอกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 16-18 วัน ซึ่งเป็นเวลานานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ไออาร์ 42 และพันธุ์ไออาร์ 50 ที่มีค่าเท่ากับ 11 และ 13 วัน ตามลำดับ (Senanayake, 1991) แม้ว่าระยะพัฒนาการต่าง ๆ ของรวงสามารถประมาณค่าได้โดยทางอ้อมจากจำนวนวันก่อนการออกรวงนั้น ค่าที่ประมาณได้จะมีความถูกต้องน้อยกว่าวิธีการวัดผลโดยตรงจากลักษณะและช่วงเวลาพัฒนาการของดอกที่แตกต่างกันตามระยะต่าง ๆ (Matsushima, 1975)

การเพิ่มขนาดความยาวรวงระหว่างทริตเมนต์ไนโตรเจนที่ช่วงการเจริญเติบโตตายอดโต ๆ จะค่อย ๆ มีความแตกต่างกันเป็นลำดับตามระยะตาดอกที่มีพัฒนาการมากขึ้น ลักษณะที่พบในทำนองนี้ได้มีผลรายงานไว้แล้วในข้าวจาโปนิกา (Matsushima, 1975) ความยาวรวงของทริตเมนต์

ต่าง ๆ ของการทดลองครั้งนี้จะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงพัฒนาการตายอดตั้งแต่ระยะที่ II จนถึงระยะที่ VIII ครั้นเมื่อตายอดพัฒนาเข้าสู่ระยะที่ IX ขณะที่รวงกำลังสร้างจำนวนดอกและสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่านั้น ขนาดรวงของทริตเมนต์ต่าง ๆ จะมีความยาวมากกว่า 1.0 มิลลิเมตร และการประมาณค่าความยาวรวงจากสมการเอกซโพเนนเชียลที่มีระยะพัฒนาการตายอดมากกว่าระยะที่ IX ไปแล้วจะเริ่มแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มขนาดความยาวรวง ผลอย่างเดียวกันนี้ได้มีผู้วิจัยรายงานไว้ก่อนหน้านี้แล้วทั้งในข้าวอินดิกา (Senanayake *et al.*, 1991) และข้าวจาโปนิกา (Matsushima, 1975) ขนาดความยาวรวงที่เพิ่มขึ้นภายหลังระยะที่ IX จนถึงระยะออกรวงในผลการทดลองครั้งนี้จะสัมพันธ์กับอัตราปริมาณไนโตรเจนซึ่งสามารถอธิบายได้จากจำนวนระแง้และจำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นตามระดับปริมาณการใส่ไนโตรเจนที่มากขึ้น (Matsushima, 1975; Durr, 1984; Apakupakul, 1991) และค่าความยาวรวงสูงสุดของทริตเมนต์ไนโตรเจนระดับต่าง ๆ คาดว่าจะเกิดขึ้นก่อนหน้าระยะออกรวง เช่นเดียวกับผลงานวิจัยในข้าวของ Matsushima (1975) และในข้าวสาลีของ Brookings and Kirby, (1981) and Kirby (1988) ผลการทดลองครั้งนี้ดูคล้ายกับว่าไนโตรเจนมีผลน้อยมากต่อช่วงระยะเวลาสำหรับพัฒนาการของรวงเช่นเดียวกับที่พบในข้าวสาลี (Longnecker *et al.*, 1991) และสามารถคาดคะเนได้ว่า ความยาวสูงสุดของรวงจะเกิดขึ้นในช่วงสุดท้ายของการพัฒนาดอก หรือประมาณ 7 วันก่อนระยะออกรวง (Matsushima, 1975) ลักษณะของต้นหลักในส่วนของกิ่งก้านกับความสูงลำต้น ขนาดความยาวรวง และจำนวนระแง้ปฐมภูมิ ที่บันทึกได้ในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต จะเป็นข้อมูลสนับสนุนและบ่งชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของไนโตรเจนที่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาพัฒนาการตาดอกที่ระยะต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลการปรากฏใบต้นหลักในข้าวพันธุ์เดียวกันที่ได้จากผลการศึกษาของ รังสรรค์ อาภาคัพทะกุล (ไม่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่) ที่มีวันปลูกต่าง ๆ กันทุกช่วง 15 วัน ตั้งแต่วันปลูกครั้งแรกเมื่อ 15 มกราคม จนถึงวันปลูกสุดท้ายเมื่อ 15 ธันวาคม 2537 ได้พบว่าข้าวพันธุ์เชิงัยพัทลุงเป็นข้าวที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง ประกอบกับการปรากฏใบของต้นหลักมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาความร้อนสะสมภายหลังจากหว่านเมล็ดข้าวออกแบบรีเกรสชันเส้นตรง ผลเช่นนี้ทำให้ประมาณค่าได้ว่า ระยะเริ่มกำเนิดตาดอกของข้าวพันธุ์นี้จะตรงกับระยะการปรากฏใบของต้นหลักเมื่อมีใบประมาณ 11-12 ใบ หรือประมาณว่าเป็นตำแหน่งใบที่ 3-4 ก่อนใบธง ซึ่งตรงกับกรายงานผลของ Yoshida (1981), Miller, *et al.*, (1993) and Nemoto *et al.*, (1995)

ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสมน้ำหนักรวง

ข้าวจัดได้ว่าเป็นธัญพืชชนิดหนึ่งที่มีความสามารถสร้างหน่อได้ดี อัตราเมล็ดที่หว่านหรือจำนวนต้นกล้าที่ปักดำจะมีผลชัดเจนกับความหนาแน่นของหน่อ ขณะเดียวกันพื้นที่ใบของต้นหลัก

และหน่อจะทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อสร้างน้ำหน่อแห้งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตขององค์ประกอบผลผลิตตลอดจนการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ดังมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

จำนวนต้นและหน่อ

สภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรที่แสดงให้เห็นว่า จำนวนต้นที่บันทึกได้ในแต่ละครั้งที่มีการเก็บตัวอย่างพืชมีค่าใกล้เคียงกันตลอดช่วงการทดลองนั้น อธิบายได้ว่าปัจจัยของระดับความสูงน้ำมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวในพื้นที่ศึกษา โดยระดับน้ำตลอดช่วงฤดูปลูกโดยเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 10-20 เซนติเมตร แม้ว่าในพื้นที่พหุปลูกจะมีฝนตกชุกและหนักมากช่วงกลางเดือนพฤศจิกายนจนทำให้แปลงทดลองบางแปลงมีระดับน้ำสูงกว่า 30 เซนติเมตร แต่สภาพน้ำที่ท่วมขังได้เกิดขึ้นเป็นช่วงสั้นเพียง 2 วัน ซึ่งตรงข้ามกับงานวิจัยของ Apakupakul (1991) ที่กำหนดให้เกิดสภาพการท่วมขังอย่างต่อเนื่องด้วยการเพิ่มระดับความสูงน้ำจาก 10 เซนติเมตรเมื่อข้าวเริ่มยี่ดกล้าต้นจนมีระดับน้ำสูงสุดที่ 50 เซนติเมตรในระยะสร้างเมล็ด ได้พบว่า อัตราการปลูกอย่างหนาแน่นที่ 300 ต้น เมตร² จะมีจำนวนต้นในระยะดอกบาน 50% ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนต้นในช่วงแรกก่อนมีการเพิ่มระดับน้ำ จากเหตุผลที่กล่าวมาทำให้พิจารณาและอธิบายได้ว่า ความแตกต่างของจำนวนต้นทั้งหมดในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของการทดลองครั้งนี้ มีสาเหตุโดยตรงจากการแปรผันของจำนวนหน่อที่เกิดขึ้นในระยะนั้น ๆ กรณีของสภาพการปลูกในกระถางได้พบว่าจำนวนต้นทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือมีจำนวนหน่อมากขึ้นนั่นเอง ผลเช่นนี้แสดงให้เห็นว่า ข้าวพันธุ์เจียงพัทลุงมีการตอบสนองต่อบุ๋ยไนโตรเจนที่ดี (นิรนาม, 2539) เช่นเดียวกับพันธุ์ไออาร์ 64 (Schnier *et al.*, 1990b) และพันธุ์ไออาร์ 72 (Dingkuhn *et al.*, 1992a, b) ส่วนจำนวนต้นทั้งหมดของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามที่มีมากกว่าการปักดำ จะมีสาเหตุจากอัตราการปลูกที่มีความหนาแน่นกว่า จำนวนต้นหลักของการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำโดยเฉลี่ยตลอดช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวจะมีค่าเท่ากับ 400 และ 90 ต้น เมตร² ตามลำดับ และมีการสร้างหน่อได้หนาแน่นมากกว่าด้วย (Schnier *et al.*, 1990a, b; Dingkuhn *et al.*, 1990a; 1991; 1992a, b) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของจำนวนต้นทั้งหมด เมตร² จำนวนหน่อ เมตร² และจำนวนหน่อ ต้น⁻¹ ที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้าววงอกจะมีรูปแบบอย่างเดียวกัน อย่างไรก็ตามจำนวนต้นทั้งหมดและจำนวนหน่อ เมตร² ภายหลังที่มีจำนวนสูงสุดของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามจะลดจำนวนลงในอัตราที่สูงกว่าการปักดำซึ่งมีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Schnier *et al.* (1990b), Dingkuhn *et al.* (1991, 1992a) ที่ได้อธิบายว่าเกิดจากสภาพการบังแสงและเกิดการขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรง โดยจำนวนหน่อของการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำจะลดลงเท่ากับ 35 และ 25% ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามการทดลอง

ครั้งนี้ได้พบว่า อัตราการลดลงของจำนวนหน่อ ต้น¹ ที่ช่วงเวลาดังกล่าวของการปลูกแบบหว่านน้ำ ตมจะมีค่าต่ำกว่าเนื่องจากมีจำนวนหน่อ ต้น¹ น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำที่มีจำนวนหน่อในช่วง เริ่มยึดลำต้นสูงถึง 3 หน่อ ต้น¹ ขณะที่การปลูกแบบหว่านน้ำตมมีจำนวนหน่อสูงสุดที่ระยะสร้าง หน่อจะมีเพียง 0.8 หน่อ ต้น¹ จำนวนหน่อของข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงที่แปรผันกับค่าความร้อนสะสม ภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออกที่เกิดจากสภาพการปลูกในกระถางของทรีตเมนต์ในโตรเจนระดับ ต่าง ๆ และจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีการหว่านน้ำตมและแบบวิธีการปักดำ จะมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นจำนวนหน่อในลักษณะอย่างเดียวกันกับการรายงานผลของ Graf *et al.* (1990a, b), Deyun *et al.* (1991) and Graf *et al.* (1991)

พื้นที่ใบและองค์ประกอบพื้นที่ใบ

ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับลักษณะต่าง ๆ ขององค์ประกอบพื้นที่ใบที่เกิด จากอิทธิพลของไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกแสดงผลในลักษณะอย่างเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า โดยภาพรวมพื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนใบมากและใบมีขนาดใหญ่ จำนวนใบที่เพิ่มมากขึ้นนั้น จะมีความสัมพันธ์กับระดับความหนาแน่นของจำนวนต้นทั้งหมดและแปรผันกับจำนวนใบของแต่ละ ต้นด้วย ในการทดลองครั้งนี้จะสังเกตเห็นว่า พื้นที่ใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตมไม่แสดง ความสัมพันธ์กับจำนวนต้นทั้งหมดนั้น มีสาเหตุจากวิธีการปลูกแบบนี้จำเป็นต้องใช้อัตราการ หว่านเมล็ดปลูกที่ค่อนข้างสูง จำนวนต้นที่ขึ้นอย่างหนาแน่นจะเจริญเติบโตและสร้างน้ำหนักแห้ง ได้น้อยลง (Willey and Heath, 1969) จนส่งผลกระทบต่อทำให้จำนวนใบของแต่ละต้นลดลงและใบมี ขนาดเล็ก ขณะเดียวกันจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของจำนวนต้นจะแสดงผลการชด เชยกับขนาดใบที่เล็กลงด้วย

พื้นที่ใบที่มีความแตกต่างกันระหว่างทรีตเมนต์ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกนั้น ส่วนหนึ่ง เป็นผลจากจำนวนต้นทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นที่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากผลของไนโตรเจนและอัตราการ ใช้เมล็ดพันธุ์ดังมีรายละเอียดต่าง ๆ ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและ พัฒนาการของจำนวนต้นและหน่อ และอีกส่วนหนึ่งจะเกิดขึ้นจากความแตกต่างขององค์ประกอบ พื้นที่ใบซึ่งจะอธิบายแยกให้เห็นความแตกต่างในแต่ละลักษณะ สำหรับรูปแบบการเจริญเติบโต ของพื้นที่ใบที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาค่าความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออกของวิธีการ ปลูกทั้งสองจะมีลักษณะแบบซิกมอยด์ (S-shape) เช่นเดียวกับพืชชนิดอื่นที่มีการรายงานผลวิจัยไว้ แล้วมากมาย (e.g., Goyne *et al.*, 1993; Benbi, 1994; Gimenez *et al.*, 1994; Maddoni and Otegui, 1996; Singh and Virmani, 1996, etc.) ฟังก์ชันลอจิสติกที่ใช้อธิบายผลของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนระยะดอกบานของแบบการปลูกข้าวทั้งสองวิธีที่ได้จากการทดลองครั้ง นี้จะพบได้ในทำนองคล้าย ๆ กันกับธัญพืชชนิดอื่น (Dale *et al.*, 1980; Hammer and Muchow,

1994; Milroy and Goynes, 1995) ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากสมการจะเป็นข้อมูลสนับสนุนเหตุผลที่กล่าวถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการสร้างพื้นที่ใบของแบบการปลูกทั้งสองได้เป็นอย่างดี

จำนวนใบที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ไนโตรเจนและวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีจำนวนใบมากกว่าการปลูกแบบปักดำทุกช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการจะมีผลสืบเนื่องที่สอดคล้องกับจำนวนต้นทั้งหมด (ดูวิจารณ์ผลในจำนวนต้นและหน่อ) เมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีของจำนวนใบต้นทั้งหมด¹ ระหว่างทรีตเมนต์ไนโตรเจนที่แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ไนโตรเจนนั้น จะสามารถอธิบายได้ว่า ไนโตรเจนนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อการสร้างหน่อแล้วยังมีความสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนใบของแต่ละต้นด้วยถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ผลทางสถิติจะไม่แสดงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ก็ตาม Schnier *et al.* (1990b) รายงานว่า อัตราการใช้ไนโตรเจนมีผลทำให้ไนโตรเจนในใบเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของไนโตรเจนในส่วนของใบจะเป็นดัชนีที่แสดงผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของใบ (Dingkuhn *et al.*, 1990a, b) ส่วนกรณีของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่ระยะเริ่มสร้างหน่อจะมีจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำเนื่องจากความแตกต่างของอายุการเจริญเติบโต ซึ่งปรากฏชัดว่าระยะเริ่มสร้างหน่อของการปลูกแบบหว่านน้ำตมได้เกิดขึ้นก่อนการปักดำกล้า (ค่าความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้างอกที่ระยะเริ่มสร้างหน่อของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำมีค่าเท่ากับ 408.9 และ 759.3 °Cd ตามลำดับ ดูข้อมูลอายุพืชใน Table 2) อย่างไรก็ตาม กราฟเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ กับค่าความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้างอกของการปลูกแบบหว่านน้ำตม จะมีจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำทุกช่วงการเจริญเติบโต ผลดังกล่าวนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับข้างต้นว่า น่าจะเกิดจากปริมาณไนโตรเจนในส่วนของใบจะมีความแตกต่างกันระหว่างแบบวิธีการปลูก (Dingkuhn *et al.*, 1990a, b; Schnier *et al.*, 1990b; Dingkuhn *et al.*, 1991; 1992a, b) ข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงในการทดลองครั้งนี้จะมีจำนวนใบ ต้นทั้งหมด¹ ต้นแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 2.9-4.1 ใบ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการรายงานของ De Datta (1981) and Yoshida (1981) ที่กล่าวว่า จำนวนใบของข้าวในช่วงอายุระหว่างระยะเริ่มกำเนิดตาดอกจนถึงระยะดอกบานจะมีใบโดยเฉลี่ยประมาณ 5-6 ใบ

ขนาดของใบที่แสดงความแตกต่างกันระหว่างทรีตเมนต์ไนโตรเจนและวิธีการปลูกในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการสามารถอธิบายผลได้ในลักษณะเดียวกันกับที่ปรากฏดังกรณีของความหนาแน่นจำนวนใบและจำนวนใบของแต่ละต้น ปัจจัยเด่นชัดที่ทำให้เกิดความแตกต่างจะเกี่ยวข้องกับ ความหนาแน่นของต้นทั้งหมด ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ปริมาณไนโตรเจนในส่วนของใบ รวมถึงผลการสร้างน้ำหนักแห้งของต้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของขนาดใบในช่วงระหว่างระยะเริ่มยึดลำต้นจนถึงระยะดอกบาน 50% ของทรีตเมนต์ไนโตรเจนจะมีขนาดใบลดลงซึ่งแสดงผลในทางตรงกันข้ามกับแบบวิธีการปลูกในสภาพแปลงนา

เกษตรกรรมที่มีขนาดของใบเพิ่มขึ้น ขนาดใบของทรีตเมนต์ไนโตรเจนที่มีค่าลดลงในระยะดอกบาน 50% เป็นผลจากใบประมาณที่ 2 หรือ 3 นับจากปลายยอดในตำแหน่งก่อนใบธงจนถึงใบล่างสุดใน ช่วงเวลาขณะนั้น มีส่วนของใบแห้งเกิดขึ้นทางบริเวณส่วนปลายของใบ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของขนาด ใบซึ่งบันทึกเฉพาะส่วนพื้นที่สีเขียวจึงมีค่าลดลงตามปริมาณของส่วนใบแห้ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากสภาพของรากที่ถูกจำกัดและเกิดการอัดแน่นภายในกระถางที่มีผลต่อการดูดน้ำและ ธาตุอาหารไปยังส่วนใบได้ช้าลง หรืออาจจะเป็นสาเหตุของการบังแสงกันอย่างรุนแรงขณะเริ่มยึด ลำต้นที่มีพื้นที่ใบในช่วงเวลานั้นมากเกินไป (ดูข้อมูลพื้นที่ใบ Table 10) สำหรับการเจริญเติบโตของ ขนาดใบในสภาพปกติ ความยาวใบจะเพิ่มขึ้นตามลำดับตำแหน่งใบ (ยกเว้นใบธง) จากส่วนโคนสู่ ปลายยอด (Hoshikawa, 1975 cited in Yoshida, 1981) ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ได้พบในลักษณะ คล้าย ๆ กันในข้าวโพด (Dwyer and Stewart, 1986; Keating and Wafula, 1992) เพร็ลมิลเลท (Persaud et al., 1993) และข้าวสาลี (Perarajasingham and Hunt, 1995) ซึ่ง Persaud et al. (1993) ได้ แสดงให้เห็นว่า ความยาวและความกว้างใบรวมทั้งพื้นที่ใบของแต่ละใบจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการ เจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ผลงานวิจัยข้างต้นที่อ้างถึงสามารถนำมาอธิบายให้เห็นว่า ขนาดใบของข้าวพันธุ์เฉื่อยพิทลุงที่ปลูกในสภาพเป็นจริงของแปลงนาเกษตรทั้งการปลูกแบบหว่าน น้ำตมและแบบปักดำ จะมีความยาวใบและความกว้างใบเพิ่มขึ้นตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและพัฒนาการ และจากการสังเกตขณะวัดพื้นที่ใบที่ระยะดอกบาน 50% จะพบความแตกต่าง อย่างเด่นชัดว่า ขนาดใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีแนวโน้มให้ใบที่ยาวกว่า แต่มีความกว้าง ใบแคบกว่าเกือบ 2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดใบของการปลูกแบบปักดำ (ข้อมูลไม่ได้จัดบันทึก) เหตุที่เป็นเช่นนี้คาดคะเนว่า ความแตกต่างของความหนาแน่นที่เกี่ยวกับจำนวนต้นและจำนวนใบ ระหว่างแบบการปลูกทั้งสองจะเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมขนาดของใบข้าว

การสร้างน้ำหนักแห้งของพืชส่วนเหนือดิน

ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกที่มีผลต่อพื้นที่ใบและลักษณะต่าง ๆ ขององค์ประกอบพื้นที่ ใบจะเกี่ยวเนื่องกับการสร้างน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้นด้วย ทั้งนี้เพราะว่าการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ระยะใด ๆ น้ำหนักแห้งใบจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ใบและจำนวนใบ ส่วน น้ำหนักแห้งลำต้นจะแปรผันกับจำนวนต้นทั้งหมด ผลงานวิจัยเกี่ยวกับอัตราไนโตรเจนและแบบวิธี การปลูกในข้าวพันธุ์ไออาร์ 72 ของ Dingkuhn et al., (1992b) ได้รายงานว่ น้ำหนักใบ เมตร² ของ ใบธง และใบตำแหน่งที่ 1-3 ถัดจากใบธง จะมีน้ำหนักใบเพิ่มขึ้นตามอัตราไนโตรเจนที่ใส่และ น้ำหนักใบในตำแหน่งดังกล่าวของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่ามากกว่าการปลูกแบบปักดำ ขณะเดียวกันน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจะเพิ่มขึ้นตามอัตราไนโตรเจนที่ใส่ด้วย และ การปลูกแบบหว่านน้ำตมมีการสร้างน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมดส่วนเหนือดินได้มากกว่าการปลูก

แบบปักดำ (Dingkuhn *et al.*, 1992a, b) ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าของน้ำหนักรังไรและน้ำหนักรังไรทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินทำให้พิจารณาได้ว่า น้ำหนักรังไรส่วนลำต้น (ผลต่างระหว่างน้ำหนักรังไรทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินกับน้ำหนักรังไร) ของข้าวพันธุ์ไออาร์ 72 จะแสดงผลความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างทริตเมนต์ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกด้วย Mishra (1991) ได้พบในการทำงานคล้าย ๆ กันว่า น้ำหนักใบและน้ำหนักรังไรลำต้นของข้าวพันธุ์พีดี 4 ที่ได้รับไนโตรเจนจะมีค่ามากกว่าที่ไม่ใส่ไนโตรเจน ผลงานวิจัยดังกล่าวที่อ้างถึงได้ให้ข้อสรุปสำคัญต่าง ๆ สำหรับการอธิบายลักษณะการสร้างน้ำหนักรังไรและน้ำหนักรังไรลำต้นของข้าวเชิงพืคลงที่ศึกษาเกี่ยวกับอัตราการใส่ไนโตรเจนและวิธีการปลูกได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามน้ำหนักรังไรทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ระยะดอกบาน 50% จากสภาพการปลูกในกระถางของทริตเมนต์ไนโตรเจนระดับต่าง ๆ (ยกเว้นทริตเมนต์ N3) จะมีค่ามากกว่าที่บันทึกได้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้น มีสาเหตุจากความแปรปรวนของตัวอย่างพืชที่มีผลทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการเปรียบเทียบน้ำหนักรังไรทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินระหว่างช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการในระยะดังกล่าว

น้ำหนักรังไรและน้ำหนักรังไรลำต้นที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ระยะเริ่มแรกของการเจริญเติบโตจนถึงระยะดอกบาน 50% ของสภาพการปลูกจริงในแปลงนาเกษตรกรทั้ง 2 วิธี ที่มีลักษณะการเพิ่มแบบฟังก์ชันลอจิสติกสำหรับการสร้างน้ำหนักรังไร และแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลสำหรับการสร้างน้ำหนักรังไรลำต้น ได้พบเช่นเดียวกันในข้าวพันธุ์ Makalioka 34 (Graf *et al.*, 1990a) และในข้าวสาลี (Brooking and Kirby, 1989) สมการที่วิเคราะห์ได้จากการปรับเส้นโค้งของน้ำหนักรังไรและน้ำหนักรังไรลำต้นสำหรับข้าวพันธุ์เชิงพืคลงได้แสดงให้เห็นว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตามมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักรังไรและน้ำหนักรังไรลำต้นต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ โดยมีสาเหตุจากการที่วิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามเกิดสภาพการบังแสงอย่างรุนแรงและปริมาณไนโตรเจนในส่วนใบมีน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกแบบปักดำดังรายละเอียดที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาถึงการสร้างน้ำหนักรังไรทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจากผลรวมของน้ำหนักรังไรและลำต้นจะสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกันว่า ไนโตรเจนมีผลทำให้น้ำหนักรังไรทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น ดังเช่นงานวิจัยในข้าว (Dingkuhn *et al.*, 1990a, b; Schnier *et al.*, 1990b; Dingkuhn *et al.*, 1992; 1998) ข้าวสาลี (Gajri *et al.*, 1993) ข้าวโพด (Muchow and Sinclair, 1995; Sinclair and Muchow, 1995; Uhart and Andrade, 1995) ข้าวฟ่าง (Muchow, 1988) และทานตะวัน (Fenet and Kiniry, 1995) เป็นต้น ลักษณะความแตกต่างของการสร้างน้ำหนักรังไรทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินของข้าวระหว่างวิธีการปลูกจากผลงานวิจัยของ Dingkuhn *et al.*, (1991; 1992a) ได้รายงานว่า การปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตามและแบบโรยแถวจะเริ่มสร้างน้ำหนักรังไรส่วนเหนือดินได้เร็วกว่าการปลูกแบบปักดำโดยประมาณ 5 วัน และการเพิ่มน้ำหนักรังไรของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำ

คมและแบบโรยแถวในการเจริญช่วงแรก ๆ จะมีอัตราที่สูงกว่า แต่ในช่วงระหว่างการสุกแก่ทางสรีรวิทยา กลับมีอัตราที่ต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ ผลงานทดลองนี้สามารถนำมาอธิบายสนับสนุนให้เห็นความแตกต่างระหว่างแบบวิธีการปลูกที่มีผลต่อการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชสวนเหนือดิน ซึ่งรวมถึงน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้นของข้าวพันธุเชิงพัทลุงที่ใช้เป็นพันธุศึกษาในการทดลองครั้งนี้ได้เด่นชัดขึ้น

พื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบ

การวิเคราะห์ลักษณะการเจริญเติบโตของพืชที่แสดงด้วยค่าพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบที่ระยะเริ่มยืดลำต้นและระยะดอกบาน 50% ไม่พบความแตกต่างระหว่างที่รติเมนต์ไนโตรเจน ผลงานวิจัยที่ได้ศึกษาคคล้าย ๆ กันนี้มีรายงานเพียงเฉพาะกรณีของพื้นที่ใบจำเพาะเท่านั้นที่ปรากฏผลเช่นเดียวกันว่า พื้นที่ใบจำเพาะของข้าวภายหลังจากระยะกล้าไปแล้วจะไม่ผันแปรตามอัตราไนโตรเจน (Dingkuhn et al., 1998) สำหรับอัตราส่วนพื้นที่ใบแม้ว่าจะไม่มีผลงานวิจัยอื่นมาสนับสนุน แต่ก็พิจารณาได้ว่า สัดส่วนการสร้างพื้นที่ใบกับการสร้างสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชสวนเหนือดินในแต่ละที่รติเมนต์ไนโตรเจนจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนความแตกต่างระหว่างวิธีการปลูกที่มีผลต่อพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบที่ระยะเริ่มสร้างหน่อและระยะเริ่มยืดลำต้นจะสามารถอธิบายได้ว่า ใบส่วนใหญ่ของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามขณะเริ่มสร้างหน่อจะเป็นใบที่เกิดจากหน่อที่ยังอ่อนและมีแผ่นใบที่บาง ซึ่งตรงข้ามกับลักษณะใบของการปลูกแบบปักดำที่ใบส่วนใหญ่จะเป็นใบของต้นหลักที่มีอายุมากกว่าและแผ่นใบมีความหนากว่าด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับใบของหน่อที่มีอายุน้อยกว่า ครั้นเมื่อเข้าสู่ระยะเริ่มยืดลำต้นซึ่งเป็นระยะที่การสร้างหน่อของการปลูกแบบหว่านน้ำตามได้เสร็จสิ้นนานแล้วในขณะที่การสร้างหน่อของการปลูกแบบปักดำเพิ่งจะสิ้นสุด ประกอบกับช่วงระหว่างระยะเริ่มสร้างหน่อกับระยะเริ่มยืดลำต้นของการปลูกแบบหว่านน้ำตามมีเวลายาวนานกว่า ใบที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะมีอายุการเจริญเติบโตและมีพัฒนาการมากกว่าการปลูกแบบปักดำ (ดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงจำนวนหน่อ Fig. 9-10) ดังนั้นค่าพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบระหว่างแบบการปลูกทั้งสองที่ระยะเริ่มยืดลำต้นจะแสดงผลในทางตรงกันข้ามกับที่ระยะเริ่มสร้างหน่อ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบของการทดลองครั้งนี้จะสังเกตได้ว่า ค่าทั้งสองจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออกหรือภายหลังการปักดำจนถึงระยะที่มีการสร้างจำนวนหน่อสูงสุด หลังจากนั้นแล้วค่าทั้งสองจะลดลงเป็นลำดับจนกระทั่งมีค่าเกือบคงที่ขณะเข้าสู่ระยะดอกบาน 50% รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบจำเพาะในลักษณะนี้ได้มีรายงานไว้เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่น ๆ (Reddy et al., 1989; Ma et al., 1992; van Oosterom and Acevedo, 1993; Dingkuhn et al., 1998) และค่าพื้นที่ใบจำเพาะของข้าวเชิงพัทลุงที่

บันทึกได้จะมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 191.32-487.00 และ 195.90-446.80 เซนติเมตร กรัม¹ ของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ตามลำดับ และมีค่าใกล้เคียงกับที่ Yoshida (1981) ได้รายงานค่าพื้นที่ใบจำเพาะโดยเฉลี่ยของข้าวจะแปรผันระหว่าง 200-450 เซนติเมตร กรัม¹ สำหรับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนพื้นที่ใบที่มีลักษณะอย่างเดียวกับพื้นที่ใบจำเพาะ ก็มีรายงานไว้เช่นกัน (O'Leary *et al.*, 1985; Charles-Edwards *et al.*, 1986; Simane *et al.*, 1993) ค่าพื้นที่ใบจำเพาะที่เริ่มลดลงเป็นลำดับตั้งแต่ระยะสร้างจำนวนหน่อสูงสุดเป็นต้นไปนั้นได้แสดงว่าใบจะมีความหนาเพิ่มขึ้น หรืออาจหมายถึงมีสารอาหารสะสมไว้ในส่วนของใบมากขึ้น (Yoshida, 1981; Charles-Edwards *et al.*, 1986; Reddy *et al.*, 1989) อัตราการลดลงของพื้นที่ใบจำเพาะและของอัตราส่วนพื้นที่ใบที่ปลูกแบบหว่านน้ำตมแม้ว่าจะมีค่าสูงกว่าการปลูกแบบปักดำ แต่อย่างไรก็ตามค่าพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราส่วนพื้นที่ใบที่ระยะดอกบาน 50% ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแบบวิธีการปลูก ซึ่งเป็นข้อสรุปและยืนยันผลการสร้างน้ำหนักแห้งในครั้งนี้ได้ว่า ความหนาของใบและการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าวเฉียดส่วนเหนือดินที่เกิดขึ้นภายหลังระยะดอกบาน 50% จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการปลูกแบบหว่านน้ำตมกับแบบปักดำ

ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้ง

พื้นที่ใบของสภาพการปลูกในกระถางขณะเริ่มยึดลำต้นและดอกบาน 50% ที่แสดงความสัมพันธ์แบบรีเกรสชันเส้นตรงกับน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมดส่วนเหนือดิน จะมีความชันเส้นกราฟที่แตกต่างกัน โดยความชันเส้นกราฟขณะเริ่มยึดลำต้นมีค่ามากกว่าขณะดอกบาน 50% ซึ่งหมายความว่าน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมดส่วนเหนือดินขณะเริ่มยึดลำต้นที่สัมพันธ์กับค่าพื้นที่ใบใด ๆ จะมีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าขณะดอกบาน 50% ลักษณะความสัมพันธ์ที่ปรากฏนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่ชี้แนะว่า ในการประมาณค่าพื้นที่ใบจำเป็นต้องใช้ค่าน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งของพืชส่วนเหนือดินที่ระยะนั้น ๆ เป็นเกณฑ์ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าค่าพื้นที่ใบจำเพาะและอัตราพื้นที่ใบจะลดลงตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชนั่นเอง ผลที่พบในการทดลองครั้งนี้มีความแตกต่างจากข้าวสาลี (Aase, 1978) ข้าวบาเลย์ (Ramos, *et al.*, 1983) ข้าวไรต์ ถั่วเหลือง และบัพฟิลโลอัลฟิลฟา (Retta and Armbrust, 1995) ที่ได้พบว่า ความชันของกราฟที่วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมดส่วนเหนือดินมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะแรกก่อนการสร้างหน่อจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ส่วนการศึกษาอื่น ๆ ในอัลฟิลฟาหลายสายพันธุ์ (Sharratt and Baker, 1986) เฟิร์ลมิลเลท (Payne *et al.*, 1991) ถั่วลิสง (Ma *et al.*, 1992) และข้าวฟ่าง (Retta and Armbrust, 1995) ได้พบในลักษณะรูปแบบที่แตกต่างกันว่า พื้นที่ใบของพืชเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะของกราฟเส้นโค้งกับน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือ

ดินในรูปสมการฟังก์ชันยกกำลัง ($y=ax^b$) เช่นเดียวกับการประมาณค่าพื้นที่ใบของข้าวพันธุ์เฉื่อยพัทลุงจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรทั้งสองแบบวิธีการปลูก ที่มีการติดตามลักษณะเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบอย่างใกล้ชิดทุกขั้นตอนตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะดอกบาน 50% ความแตกต่างของลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งที่กล่าวมาข้างต้นนี้ได้ชี้ให้เห็นว่า พื้นที่ใบของพืชต่างพันธุ์หรือต่างชนิดกันจะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่แตกต่างกัน ในกรณีที่พืชพันธุ์ใดหรือชนิดใดแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะของรูปสมการเส้นโค้ง การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบของพืชนั้น ๆ จะเกี่ยวข้องกับการแปรผันของค่าพื้นที่ใบจำเพาะ (Lieth *et al.*, 1986; Payne *et al.*, 1991; Ma *et al.*, 1992) การประมาณค่าพื้นที่ใบที่ช่วงเวลาใด ๆ นอกจากจะสามารถหาค่าได้โดยตรงจากความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินแล้ว ค่าพื้นที่ใบจำเพาะและค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญด้วยเช่นกันและนิยมใช้สำหรับการประมาณค่าพื้นที่ใบในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช โดยพื้นที่ใบจะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างค่าพื้นที่ใบจำเพาะกับน้ำหนักแห้งใบ ($LA=SLA \times LDW$) หรือมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมดส่วนเหนือดิน ($LA=LAR \times TDM$) นั่นเอง

ประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์ที่พืชดูดกลืนกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน ตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวพันธุ์เฉื่อยพัทลุงจากสภาพแปลงนาเกษตรกร ที่แสดงในรูปสมการรีเกรสชันเส้นตรงได้พบในลักษณะเดียวกับอัญพืชอื่น ๆ (Gallagher and Biscoe, 1978; Muchow *et al.*, 1990; Begue *et al.*, 1991; Andrade *et al.*, 1993; Goyne *et al.*, 1993; Rosenthal *et al.*, 1993; Watiki *et al.*, 1993; Kiniry, 1994; Jamieson *et al.*, 1995; etc.) สัมประสิทธิ์รีเกรสชันของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ และแบบการปลูกทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูปลูกช่วงนาปี 2536-2537 จากผลงานวิจัยที่ได้รายงานไว้โดย รังสรรค์ อากาศัพพะกุล(2538) อย่างไรก็ตามวิธีการปลูกแต่ละแบบไม่แสดงความแตกต่างกันระหว่างปีการทดลองทั้งสอง ผลการรวมข้อมูลทั้งสองฤดูปลูกปรากฏว่า สัมประสิทธิ์รีเกรสชันของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีค่าลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการทดลองปี 2536-2537 มีข้อมูลสังเกตเพียง 12 ค่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสังเกตของการทดลองปี 2538-2539 ที่มีข้อมูลจำนวนมากถึง 91 ค่า ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันระหว่างแบบวิธีปลูกที่เกิดจากการรวมข้อมูลแสดงผลยืนยันการทดลองว่า ข้าวเฉื่อยพัทลุงที่ปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ได้ต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ โดยปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์ที่พืชดูดกลืนไว้ทุก ๆ หนึ่งหน่วยเมกะจูล จะถูกใช้เพื่อการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดได้

เท่ากับ 1.91 และ 2.59 กรัม ตามลำดับสำหรับการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ ประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ของข้าวพันธุ์ที่ศึกษานี้จะมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยในข้าวพันธุ์อื่น ๆ (Charles-Edwards, 1982; Kiniry *et al.*, 1989; Apakupakul, 1991)

วิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีค่าประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำจากผลของการทดลองในครั้งนี้ จะเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการดูดกลืนรังสี (E_r) ที่เกิดความแตกต่างกันระหว่างแบบวิธีการปลูกตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ผลดังกล่าวนี้จะสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตสำหรับการสร้างน้ำหนักแห้งของพืชที่ระยะเวลานั้น ๆ ด้วย ค่า E_r ที่คำนวณได้จากสมการ (A19) โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ใบจาก Table 10 จะแสดงให้เห็นว่า การปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่า E_r ที่ระยะเริ่มสร้างหน่อ ระยะเริ่มยึดลำต้น และระยะดอกบาน 50% เท่ากับ 0.484, 0.815 และ 0.833 ส่วนการปลูกแบบปักดำจะมีค่า E_r ที่ระยะต่าง ๆ เท่ากับ 0.255, 0.601 และ 0.847 ตามลำดับ ความแตกต่างของค่า E_r ระหว่างแบบวิธีการปลูกจะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างระยะกล้าจนถึงระยะดอกบาน 50% โดยการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่า E_r สูงกว่าอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกแบบปักดำ ลักษณะเช่นนี้วิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมซึ่งตามปกติมีจำนวนต้นและมีจำนวนใบที่หนาแน่นกว่า จะสามารถดูดกลืนปริมาณรังสีแสงสังเคราะห์ไว้ในส่วนพุ่มใบพืชได้ดีกว่าการปลูกแบบปักดำ ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาถึงอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินในช่วงระหว่างระยะกล้าจนถึงระยะดอกบาน 50% (คำนวณค่าโดยใช้ข้อมูลน้ำหนักแห้งพืชจาก Table 16 ที่สัมพันธ์กับอายุพืชระยะต่าง ๆ จาก Table 2) จะมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างแบบวิธีการปลูก โดยอัตราการเจริญเติบโตของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำจะมีค่าเท่ากับ 0.385 และ 0.312 กรัม เมตร⁻² °Cd⁻¹ ตามลำดับ ในทำนองตรงกันข้ามแม้ว่าค่า E_r ภายหลังระยะดอกบาน 50% จะมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างแบบการปลูก แต่อัตราการเจริญเติบโตของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าน้อยกว่าเกือบถึงสองเท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกแบบปักดำ ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.137 และ 0.291 กรัม เมตร⁻² °Cd⁻¹ ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตภายหลังระยะดอกบาน 50% ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีค่าน้อยกว่าอาจจะมีสาเหตุจากสภาพความหนาแน่นของจำนวนต้นและจำนวนใบมีผลต่อการส่องผ่านปริมาณรังสีลงสู่พุ่มใบได้น้อยลง ใบส่วนล่าง ๆ ที่เกิดภาวะการบังแสงจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพื่อการสร้างสมน้ำหนักแห้งได้น้อยลงตามไปด้วย หรืออาจจะมีการดั่งสารสังเคราะห์จากใบส่วนบนลงสู่ใบส่วนล่างเพิ่มขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้ามสภาพการปลูกแบบปักดำจะมีการส่องผ่านรังสีได้ดีกว่า โดยปริมาณรังสีสามารถส่องลงสู่ใบส่วนล่างได้ตามช่องว่างระหว่างกอ เหตุผลที่เป็นไปได้อีกประการหนึ่งอาจเกิดขึ้นจากลักษณะการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีความหนาแน่นของจำนวนต้นมากกว่า จะมีผลทำให้ไนโตรเจนในส่วนของใบมีปริมาณน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ (Schnier *et al.*, 1990; Dingkuhn *et al.*, 1991; 1992a, b) ไนโตรเจนจำเพาะของ

ใบที่มีค่าน้อยจะมีผลโดยตรงทำให้การสังเคราะห์แสงของใบลดลงและส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ต่ำกว่าด้วย (Sinclair and Horie, 1989; Connor *et al.*, 1993; Sinclair and Shiraiwa, 1993; Gimenez *et al.*, 1994; Hammer and Wright, 1994; Bange *et al.*, 1997) นอกจากนี้แล้วการเขตรกรรมและดูแลรักษาแปลงกล้าของเกษตรกรทั้งหมดในพื้นที่ทดลอง จะมีการหว่านปุ๋ยเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่จะใช้ปักดำในช่วงประมาณ 10 วันก่อนการถอนกล้า โดยใช้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตราประมาณไร่ละ 10 กิโลกรัม ดังนั้นวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมในสภาพที่เป็นจริงแล้วจะได้รับปุ๋ยไนโตรเจนน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ ความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนระหว่างแบบวิธีการปลูกจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช (Burns, 1992; Gajri *et al.*, 1993; Cruz and Sinoquet, 1994; Gimenez *et al.*, 1994; Osaki *et al.*, 1994) และจะกระทบถึงประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ของพืชด้วย (Abbate *et al.*, 1995; Hall *et al.*, 1995)

รูปแบบและลักษณะการเจริญเติบโตของเมล็ด

พืชปลูกที่ให้เมล็ดจะพบว่าน้ำหนักเมล็ดที่เพิ่มขึ้นภายหลังการผสมเกสรเป็นผลของการเคลื่อนย้ายสารอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบรวมทั้งสารอาหารที่พืชสังเคราะห์ได้ขณะดอกบานไปเก็บสะสมไว้ภายในเมล็ด สภาพโดยทั่วไปการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการผสมเกสรจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในพืชชนิดต่าง ๆ จะมีลักษณะรูปร่างเป็นกราฟเส้นโค้งซิกมอยด์ (Sofield *et al.*, 1974; Matsushima, 1975; Chowdhury and Wardlaw, 1978; Simmons and Crookston, 1979; Tashiro and Wardlaw, 1989; etc.) อย่างไรก็ตามงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของเมล็ดในช่วงระยะการสะสมน้ำหนักแห้งปรากฏว่า กราฟเส้นโค้งที่ใช้สำหรับอธิบายผลจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การแปรผันของน้ำหนักแห้งเมล็ด ลักษณะการเจริญเติบโตของเมล็ดที่มีการปรับเส้นโค้งจากผลงานวิจัยของ Nass and Reiser (1975) and Bruckner and Frohbery (1987) ได้แสดงด้วยสมการพหุนามกำลังสอง (quadratic polynomial) แต่ Jones *et al.* (1979), Gebeyehou *et al.* (1982) and Bauer *et al.* (1985) จะแสดงด้วยสมการพหุนามกำลังสาม (cubic polynomial) ส่วน Loss *et al.* (1989), Darroch and Baker (1990), Apakupakul (1991), Habekotte (1993), Duguid and Brule-Babel (1994), Darroch and Baker (1995) and Dracup and Kirby (1996) พบว่า สมการลอจิสติกมีความเหมาะสมมากที่สุด และ Koesmarno and Sedcole (1994) ได้ใช้ทั้งสมการลอจิสติกและสมการกอมเพิซอธิบายลักษณะการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวบาร์เลย์ ประกอบกับผลงานวิจัยของ Yoshida and Hara (1977) and Fujita *et al.* (1984) ได้พบว่ารูปแบบการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวมีการแปรผันกับชนิดของพันธุ์ปลูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาภายหลังที่น้ำหนักเมล็ดมีค่าสูงสุดนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ น้ำหนักแห้งเมล็ดที่ระยะใกล้การสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ Fujisaka 5, Khao Lo และพันธุ์ Ku 70-1

จะมีค่าน้ำหนักแห้งเมล็ดลดลง ส่วนข้าวพันธุ์ไออาร์ 20, Bergresis และพันธุ์ Bomdia เมล็ดจะไม่เกิดภาวะการสูญเสียน้ำหนักและมีค่าน้ำหนักแห้งเมล็ดค่อนข้างคงที่ ลักษณะการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่กล่าวมานี้มีผลจากความแตกต่างทางพันธุกรรมของข้าวในแต่ละพันธุ์ สำหรับการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวพันธุ์เจียงพัทลุงจากสภาพการปลูกในกระถางของทรีดเมนต์ไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ และจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีหว่านน้ำตมและแบบวิธีปักดำ ปรากฏผลว่า น้ำหนักแห้งเมล็ดจะมีค่าคงที่ภายหลังระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่งเวลาขณะนั้น เมล็ดจะมีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.95 ของน้ำหนักแห้งเมล็ดสูงสุด ลักษณะแบบอย่างเดียวกันนี้ได้พบเช่นกันในข้าวพันธุ์แก่นจันทร์และพันธุ์ กข 7 (Apakupakul, 1991) ดังนั้นเส้นโค้งลอจิสติกจึงมีความถูกต้องและเหมาะสมทั้งในเชิงชีวภาพและการวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติที่ใช้แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตของเมล็ดในการทดลองครั้งนี้ด้วย ความคล้ายคลึงกันในรูปแบบการเจริญเติบโตของเมล็ดได้ชี้ให้เห็นว่า อัตราไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกไม่มีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด ยิ่งไปกว่านั้นรูปแบบการเจริญเติบโตของเมล็ดจากสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรจะซ้อนกันเป็นเส้นโค้งที่ขนานกันตลอดช่วงเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งเมล็ดนั้น มีสาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิอากาศของพื้นที่ทั้งสองแห่งไม่มีความแตกต่างกัน ผลดังกล่าวนี้มีส่วนวิจัยมากมายที่ได้รายงานสนับสนุน ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาในข้าว (Yoshida and Hara, 1977; Fujita et al., 1984) ข้าวสาลี (Sofield et al., 1977; Wiegand and Cuellar, 1981; Stone and Nicolas, 1995a; Stone et al., 1995) และข้าวโพด (Muchow, 1990a) เป็นต้น

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการเจริญเติบโตของเมล็ดจากการประมาณค่าโดยใช้สมการลอจิสติกซึ่งประกอบด้วย น้ำหนักแห้งเมล็ดช่วงสุดท้าย อัตราสูงสุดของการสะสมน้ำหนักแห้ง และระยะเวลาการเจริญเติบโตของเมล็ด จะมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างทรีดเมนต์ไนโตรเจน และวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมไม่แสดงความแตกต่างกับการปลูกแบบปักดำ (ดูรายละเอียดใน Apakupakul, 1997) อย่างไรก็ตามน้ำหนักแห้งเมล็ดที่ระยะต่าง ๆ ภายหลังจากผสมเกสรของทรีดเมนต์ NO จะมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทรีดเมนต์อื่น ๆ ที่ได้รับไนโตรเจน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่า สภาพการบังแสงในช่วงประมาณ 15 วันก่อนระยะออกรวงที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับความหนาแน่นพื้นที่ใบของทรีดเมนต์ไนโตรเจนมีผลทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดเจริญเติบโตและพัฒนาการได้น้อยลงและมีขนาดที่เล็กลงด้วย (Matsushima, 1975; Yoshida, 1981) คุณสมบัติการเจริญเติบโตของเมล็ดทั้ง 3 ลักษณะที่คำนวณค่าได้นั้น จะสัมพันธ์กับการแปรผันทางด้านพัฒนาการของขนาดเปลือกหุ้มเมล็ดและกิจกรรมการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการสะสมน้ำหนักแห้ง Matsushima (1975) ได้พิสูจน์ให้เห็นว่า เนื้อเมล็ดของข้าวจะถูกจำกัดโดยคุณสมบัติทางกายภาพของขนาดเปลือกหุ้มเมล็ดทั้งสองส่วนที่มีการประกบติดกันอย่างแข็งแรงมาก และปริมาณไนโตรเจนที่ใส่เป็นปุ๋ยแต่งหน้าในช่วงที่มีการแบ่งเซลล์ขณะสร้างเปลือกหุ้มเมล็ดหรือ

ประมาณ 17 วันก่อนระยะออกรวงจะเป็นช่วงที่มีผลสูงสุดต่อการเพิ่มขนาดเปลือกหุ้มเมล็ดและขนาดเนื้อเมล็ดด้วย นอกจากนี้ยังได้รายงานว่ากิจกรรมการเปลี่ยนคาร์บอนให้เป็นสารอาหารในกระบวนการสังเคราะห์แสงขณะที่เมล็ดกำลังเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ในช่วงระยะข้าวออกรวง ผลการทดลองที่คล้าย ๆ กันนี้ได้มีผู้วิจัยอื่น ๆ รายงานไว้เช่นเดียวกันในพืชหลายชนิด (e.g., Yoshida, 1981; Lencoff and Loomis, 1986; Muchow and Davis, 1988; Sinclair and Horie, 1989; Connor *et al.*, 1993; Uhart and Andrade, 1995; etc.) สืบหรับลักษณะการแปรผันของความหนาแน่นจำนวนรวงและจำนวนดอก รวง¹ ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องคำนึงถึงเพื่อการอธิบายผลที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมล็ดด้วยเช่นกัน ผลการทดลองครั้งนี้จะมีจำนวนรวง กระถาง¹ และจำนวนดอก รวง¹ เพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจน และวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามจะมีจำนวนรวง เมตร² มากกว่า แต่มีจำนวนดอก รวง¹ น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกแบบปักดำ (ดูข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต Table 20) ความแตกต่างของสภาพการปลูกในกระถางสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวได้รับจะถูกนำไปใช้เพื่อการเพิ่มจำนวนรวงและเพิ่มจำนวนระแนรรวมทั้งจำนวนเมล็ดภายในรวงมากกว่าการเพิ่มขนาดเปลือกหุ้มเมล็ด และอัตราการเปลี่ยนคาร์บอนให้เป็นสารอาหารที่เพิ่มขึ้นในทริตเมนต์ไนโตรเจนจะมีส่วนสัมพันธ์กับจำนวนรวงและจำนวนดอกที่เกิดขึ้นด้วย ส่วนสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรที่ได้รับปริมาณไนโตรเจนที่เท่ากัน จะปรากฏผลชัดเจนอย่างชัดเจนระหว่างจำนวนรวง เมตร² กับจำนวนดอก รวง¹ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ลักษณะที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักรวมของเมล็ดที่แสดงค่าไม่แตกต่างกันมากนักระหว่างทริตเมนต์ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกจะสัมพันธ์กับขนาดเปลือกหุ้มเมล็ด ความหนาแน่นจำนวนรวง จำนวนดอกภายในรวง และปริมาณสารอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นในทริตเมนต์ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกนั้น ๆ นั่นเอง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสูงสุดของการสะสมน้ำหนักรวมกับระยะเวลาการเจริญเติบโตของเมล็ดที่แสดงค่าเป็นลบได้พบเช่นเดียวกันในข้าวพันธุ์แก่นจันทร์และพันธุ์ กช 7 (Apakupakul, 1991) รวมทั้งธัญพืชอื่น ๆ จำพวกข้าวสาลี (Gebeyehou *et al.*, 1982; Sayed and Ghandorah, 1984; van Sanford, 1985; Bruckner and Frohberg, 1987; Triboni, 1990; Mou *et al.*, 1994) ข้าวโพด (Mostafavi and Cross, 1990) เพิร์ลมิลเลท (Bieler *et al.*, 1993) และพืชน้ำมัน oilseed rape (Nanda *et al.*, 1994) น้ำหนักแห้งเมล็ดโดยสภาพทั่ว ๆ ไปจะแปรผันกับอัตราการสะสมน้ำหนักรวมและระยะเวลาการเจริญเติบโตของเมล็ด ความสัมพันธ์ทั้งสองลักษณะที่เกิดจากน้ำหนักแห้งเมล็ดกับอัตราการสะสมน้ำหนักรวม และน้ำหนักแห้งเมล็ดกับระยะเวลาการเจริญเติบโตของเมล็ด จะมีบทบาทสำคัญสำหรับการพิจารณาระดับผลผลิตของพืชปลูกที่เก็บเกี่ยวเมล็ด การศึกษาลักษณะความแปรปรวนต่าง ๆ ทางด้านจีโนไทป์ที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของเมล็ดในงานวิจัยของ Wiegand and Cuellar (1981), Metzger *et al.* (1984), Wong and Baker (1986) and

Nanda *et al.* (1994) ได้รายงานว่ น้ำหนักเมล็ดแห้งมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระยะเวลาการเจริญเติบโตของเมล็ด ในทางตรงกันข้าม Jones *et al.* (1979), Loss *et al.* (1989), Mostafavi and Cross (1990), Hunt *et al.* (1991), Duguid and Brule-Babel (1994), Mou *et al.* (1994) and Darroch and Baker (1995) ได้พบว่า น้ำหนักแห้งเมล็ดมีความสัมพันธ์กับอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่าความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเจริญเติบโตของเมล็ด ส่วน Gebeyehou *et al.* (1982), Fujita *et al.* (1984) and Bieler *et al.* (1993) ได้พบว่า น้ำหนักแห้งเมล็ดจะมีความสัมพันธ์กันทั้งสองลักษณะกับอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งและระยะเวลาการเจริญเติบโตของเมล็ด ผลความแตกต่างของงานวิจัยเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวในสภาพพื้นที่ที่มักจะประสบกับปัญหาความแห้งแล้งภายหลังระยะการออกรวงและผสมเกสร ซึ่งกลยุทธ์ในการยกระดับผลผลิตข้าวสามารถกระทำได้โดยการเพิ่มอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดกับการเพิ่มจำนวนเมล็ดให้มากขึ้นด้วยวิธีการสรรหาคัดเลือกพันธุ์ หรือการปรับปรุงพันธุ์ให้มีการเจริญเติบโตที่ดีและมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่สูงขึ้นในช่วงระหว่างการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด จุดสำคัญของประเด็นปัญหานี้ควรมีการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัยที่จะกระทำต่อไปในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ด้วย

ผลการศึกษาความชื้นเมล็ดข้าวขณะที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งในช่วงประมาณ 100°Cd (5-6 วัน) ภายหลังระยะการผสมเกสรที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยของ Rahman and Yoshida (1985) ซึ่งได้พบว่า ความชื้นเมล็ดมีค่าลดลงในช่วง 3 วันแรกและความชื้นเมล็ดจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อประมาณ 6 วันภายหลังการผสมเกสร ส่วนงานวิจัยอีกการทดลองหนึ่งของ Yoshida and Hara (1977) ได้แสดงให้เห็นว่า ความชื้นเมล็ดมีค่าคงที่และไม่ได้ลดลงในช่วง 2-3 วันภายหลังการผสมเกสร ผลขัดแย้งในงานวิจัยที่ยกตัวอย่างมานี้ อาจมีสาเหตุจากความแตกต่างของคุณสมบัติลักษณะประจำพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์และอาจรวมถึงสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศขณะนั้น สำหรับลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นเมล็ดที่เกิดขึ้นในข้าวพันธุ์เลี้ยงพัทลุงทั้งสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรสามารถจำแนกออกเป็น 3 ช่วงระยะที่แตกต่างกัน โดยระยะแรกความชื้นเมล็ดจะเพิ่มขึ้นภายหลังระยะการผสมเกสร ต่อมาในระยะที่สองความชื้นเมล็ดจะลดลงอย่างรวดเร็ว และระยะที่สามความชื้นเมล็ดยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องแต่มีอัตราการลดลงที่ช้ากว่าระยะที่สอง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นเมล็ดทั้ง 3 ระยะที่กล่าวมาได้แสดงถึงพัฒนาการของเนื้อเมล็ด กล่าวคือ ระยะแรกจะเป็นระยะสร้างน้ำนม ระยะที่สองจะเป็นระยะสร้างแป้งอ่อน และระยะที่สามจะเป็นระยะสร้างแป้งแข็ง ตามลำดับ และขณะที่เมล็ดมีความชื้นเท่ากับ 18-20% ที่ช่วงประมาณค่าความร้อนสะสม 400°Cd (22 วัน) ภายหลังการผสมเกสรนั้น ระยะเวลาดังกล่าวนี้จะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพของข้าว (Nangju and De Datta, 1970)

การวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

ข้าวที่ปลูกในสภาพไม่ใส่ไนโตรเจนโดยทั่วไปจะมีระดับผลผลิตต่ำกว่าเมื่อใส่ไนโตรเจนไม่
 ว่าข้าวพันธุ์นั้น ๆ จะปลูกด้วยเมล็ดแบบโรยแถว แบบหยอดหลุม แบบหว่านน้ำตม หรือจะเป็นวิธี
 การปลูกแบบปักดำ (Sasahara and Itoh, 1989; Schiner *et al.*, 1990a, b; Dingkuhn *et al.*, 1991;
 Johnson *et al.*, 1991; Dingkuhn *et al.*, 1992a; Kropff *et al.*, 1993) สำหรับความแตกต่างของผล
 ผลิตระหว่างแบบวิธีการปลูกที่ได้รับไนโตรเจนอัตราเดียวกันจะผันแปรตามอายุพันธุ์ข้าว ผลงาน
 วิจัยของ Dingkuhn *et al.* (1992) ได้รายงานไว้ว่า ข้าวพันธุ์อายุสั้น (95-105 วัน) ที่ปลูกแบบหว่านน้ำ
 ตมจะให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกแบบปักดำ เนื่องจากสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมไม่มีขั้นตอน
 การถอนกล้า ระบบรากไม่ถูกกระทบกระเทือนในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ทำให้มีระยะการ
 เจริญเติบโตและพัฒนาการทางลำต้นและใบที่ยาวนานกว่า และสามารถสร้างน้ำหนักแห้งและผล
 ผลิตได้มากกว่าด้วย ส่วนข้าวพันธุ์อายุปานกลาง (110-120 วัน) และข้าวพันธุ์อายุยาว (130-140
 วัน) จะแสดงผลในทางตรงกันข้ามโดยการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีผลผลิตต่ำกว่าการปลูกแบบ
 ปักดำ สภาพการเจริญเติบโตของต้นกล้าในช่วงแรก ๆ ที่แตกต่างกันระหว่างแบบวิธีการปลูกนั้นมี
 ผลกระทบกระเทือนน้อยมากต่อระดับผลผลิต ขณะเดียวกันการเจริญเติบโตและพัฒนาการทาง
 ด้านลำต้นและใบที่มากเกินไปตามช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้นจะก่อให้เกิดผลเสียที่เกี่ยวข้องกับสภาวะ
 การบังแสง ปริมาณไนโตรเจนในส่วนใบมีน้อย พืชแสดงอาการขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรง อัตรา
 การเจริญเติบโตและการสร้างน้ำหนักแห้งในช่วงหลังขณะที่ข้าวเข้าสู่ระยะสีป็นจะลดลงอย่าง
 เด่นชัดดังผลวิจารณ์ที่กล่าวไว้แล้วในตอนต้น ลักษณะเช่นนี้จะสอดคล้องกับผลการตอบสนองของ
 แบบวิธีการปลูกข้าวพันธุ์เฉียดพัลลวงซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 125 และ 135 วัน ภายหลังจาก
 หว่านเมล็ดข้าวออก ตามลำดับสำหรับสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ นอกจากนี้
 สภาพการหักล้มช่วงก่อนระยะออกรวงในแปลงนาบางแปลงของเกษตรกรที่มีการปลูกแบบหว่าน
 น้ำตมจะมีผลโดยตรงต่อระดับผลผลิตที่ลดลง ซึ่งสภาพที่เกิดการหักล้มได้ขัดขวางการลำเลียงน้ำ
 และธาตุอาหารรวมทั้งการสร้างสารสังเคราะห์ตลอดจนการเคลื่อนย้ายน้ำหนักแห้งจากส่วนต่าง ๆ
 ของพืชไปสะสมในส่วนเมล็ดจะถูกจำกัดอย่างรุนแรง

ผลผลิตของข้าวที่สัมพันธ์กับลักษณะต่าง ๆ ขององค์ประกอบผลผลิตสามารถคำนวณหา
 ค่าได้โดยตรงจากองค์ประกอบผลผลิตพื้นฐานที่เกิดจากผลคูณของจำนวนเมล็ด พื้นที่¹ กับ
 น้ำหนักเฉลี่ยหนึ่งเมล็ด โดยจำนวนเมล็ด พื้นที่¹ จะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างจำนวนรวง พื้นที่¹
 กับจำนวนดอก รวง⁻¹ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม $\times 10^{-2}$ หรือเท่ากับผลคูณของจำนวนดอก พื้นที่¹ กับ
 เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม $\times 10^{-2}$ ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยหนึ่งเมล็ดสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักแห้ง 1,000
 เมล็ด $\times 10^{-3}$ ดังนั้นระดับผลผลิตที่แปรผันตามอัตราการใช้ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกสามารถ

พิจารณาและอธิบายผลได้จากความแตกต่างของจำนวนรวง จำนวนดอก จำนวนเมล็ด และ น้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ด กล่าวคือ ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวได้รับ จะเป็นผลสืบ ต่อเนื่องจากสาเหตุสำคัญที่ไนโตรเจนมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มจำนวนหน่อที่ให้กำเนิดรวงได้มากกว่า (รังสรรค์ อาภาศัพท์กุล, 2538, Matsushima, 1975) และมีจำนวนดอกเพิ่มปริมาณมากขึ้น (Matsushima, 1975; Yoshida, 1981; Sasahara and Itoh, 1989; Apakupakul, 1991; Senanayake et al., 1996) อย่างไรก็ตามจำนวนรวงและจำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มมี แนวโน้มลดลงและเมล็ดมีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยลงด้วย ความแตกต่างของผลผลิตระหว่างทริตเมนต์ ไนโตรเจนจากการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจน 75 กิโลกรัม เฮกตาร์¹ หรือเท่ากับ 12 กิโลกรัม ไร่⁻¹ (อัตราไนโตรเจนของทริตเมนต์ N1) จะเป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุดของดินชุด บางนราสำหรับการผลิตข้าวพันธุ์เจียงพัทลุงในสภาพภูมิอากาศของภาคใต้ ส่วนกรณีของการปลูก แบบวิธีหว่านน้ำตมที่มีผลผลิตต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำนั้น แม้ว่าวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะ สามารถสร้างจำนวนรวงได้มากกว่าจากสาเหตุที่มีจำนวนต้นและหน่อหนาแน่นกว่า แต่จำนวน ดอก เมตร² จำนวนดอก รวง¹ และจำนวนเมล็ด เมตร² มีค่าน้อยกว่าอย่างเด่นชัด ความแตกต่าง ขององค์ประกอบผลผลิตระหว่างแบบวิธีการปลูกทั้งสองและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผล ผลิตกับองค์ประกอบผลผลิตดังกล่าวนี้ที่ปรากฏในวิธีการปลูกแต่ละแบบ ได้พบเช่นเดียวกันกับผล งานวิจัยของ Schnier et al. (1990a, b), Dingkuhn et al. (1991, 1992a) การศึกษาผลผลิตของการ ทดลองครั้งนี้สามารถสรุปผลสำคัญ ๆ ได้ว่า จำนวนดอก เมตร² และจำนวนดอก รวง¹ จะเป็น ปัจจัยจำกัดผลผลิตของการปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตม ส่วนจำนวนรวง เมตร² จะเป็นปัจจัยจำกัด ผลผลิตของการปลูกข้าวแบบปักดำ การยกระดับผลผลิตของข้าวหว่านน้ำตมด้วยการเพิ่มจำนวน ดอก เมตร² หรือจำนวนดอก รวง¹ ให้สูงขึ้นสามารถกระทำได้โดยการศึกษาสัดส่วนการแบ่งใส่ ไนโตรเจนให้เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้ข้าวมีการเจริญเติบโตที่มากจนเกินไปในช่วงแรก ๆ ก่อน การสร้างตาดอกพร้อมกับเพิ่มไนโตรเจนให้เพียงพอในช่วงพัฒนาการของรวงขณะสร้างดอกบน ระแงะชุดต่าง ๆ ระหว่างระยะพัฒนาการตายอดที่ IX-XII ตามการจัดแบ่งของ Matsushima ส่วนผล ผลิตของการปลูกแบบปักดำที่สัมพันธ์กับการเพิ่มจำนวนรวงนั้น การเพิ่มความหนาแน่นของ จำนวนกอหรือการปักดำที่มีระยะระหว่างกอแคบจะมีผลต่อการเพิ่มจำนวนหน่อที่ให้กำเนิดรวงได้ มากขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตามจำนวนดอกที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูก จะมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มลดลงซึ่งสามารถพบได้ในข้าวจากไปนิกาพันธุ์ต่าง ๆ ด้วย (Sasahara and Itoh, 1989) และเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มที่ลดลงในการทดลองครั้งนี้ น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องที่สัมพันธ์กับ การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบคล้าย ๆ กับที่เกิดขึ้นในข้าวพันธุ์ไฮอาร์ 8 (Fagade and de Datta, 1971)

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับองค์ประกอบผลผลิตพื้นฐาน (จำนวน เมล็ดและน้ำหนักเฉลี่ยหนึ่งเมล็ด) ลักษณะความสัมพันธ์เชิงบวกแบบรีเกรสชันเส้นตรงระหว่างผล

ผลิตกับจำนวนเมล็ดที่เกิดขึ้นในทริตเมนต์ไนโตรเจนและวิธีการปลูกแต่ละแบบอธิบายได้ว่าจำนวนเมล็ด พื้นที่¹ จะเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตของข้าว ลักษณะเช่นนี้ปรากฏผลอย่างเดียวกันในข้าวพันธุ์อื่น ๆ (Durr, 1984; Apakupakul, 1991) และในธัญพืชจำพวกข้าวบาร์เลย์ (Gbongue, 1985) ข้าวสาลี (Apakupakul, 1987) และเฟิร์ลมีลเลท (Diouf, 1990) การเพิ่มจำนวนเมล็ดเพื่อยกระดับผลผลิตจะเกี่ยวข้องกับจำนวนรวง จำนวนดอก และเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มดังรายละเอียดข้างต้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของทริตเมนต์ไนโตรเจนจะมีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูก โดยผลผลิตของทริตเมนต์ไนโตรเจนจะมีค่าลดลงเมื่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมีค่าเพิ่มขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือมีความสัมพันธ์เชิงลบแบบรีเกรสชันเส้นตรงนั่นเอง ในขณะที่ผลผลิตของวิธีการปลูกแต่ละแบบไม่แปรผันกับค่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ยิ่งกว่านั้นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก 1,000 เมล็ดกับจำนวนเมล็ดของทริตเมนต์ไนโตรเจนและแบบวิธีการปลูกจะพบในรูปแบบอย่างเดียวกันกับความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ดด้วย ความสัมพันธ์ทั้งสองลักษณะที่เกิดขึ้นในทริตเมนต์ไนโตรเจนได้แสดงและสนับสนุนให้เห็นว่า น้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดจะเป็นปัจจัยจำกัดอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้น และจำนวนเมล็ดที่เพิ่มขึ้นแต่น้ำหนักเฉลี่ยเมล็ดลดลงได้มีการรายงานผลไว้เช่นเดียวกันในข้าวพันธุ์แก่นจันทร์และพันธุ์ กข 7 (Apakupakul, 1991) โดยน้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดข้าวพันธุ์แก่นจันทร์และพันธุ์ กข 7 จะเริ่มมีน้ำหนักเมล็ดลดค่าลงเมื่อจำนวนเมล็ด เมตร² มีค่าเท่ากับ 16,000 และ 20,000 เมล็ด เมตร² ตามลำดับ ผลการทดลองจากสภาพการปลูกข้าวในกระถางครั้งนี้สนับสนุนลักษณะการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดว่า สภาพการบังแสงที่เพิ่มขึ้นตามลำดับความหนาแน่นพื้นที่ใบที่สัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนจะมีผลทำให้ขนาดเปลือกหุ้มเมล็ดและน้ำหนักเฉลี่ยเมล็ดลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงที่บันทึกได้จากสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรมีความแตกต่างน้ำหนักเมล็ดเพียง 1.79 กรัม หรือมีค่าเท่ากับ 1.79 มิลลิกรัม เมล็ด¹ เท่านั้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อคิดเห็นของ Yoshida (1981) ที่ได้ให้ข้อสรุปว่า น้ำหนักเมล็ดข้าวในแต่ละพันธุ์จะมีค่าค่อนข้างคงที่ตามลักษณะประจำพันธุ์เนื่องจากขนาดเมล็ดจะถูกควบคุมโดยขนาดของเปลือกหุ้ม แต่ในสภาพการปลูกที่มีการบังแสงอย่างรุนแรงจะมีผลทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีขนาดลดลงและน้ำหนักเมล็ดจะมีค่าลดลงตามไปด้วย

การก่อเกิดและการแปรผันของดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวขณะเริ่มสะสมน้ำหนักแห้งเมล็ดภายหลังจากผสมเกสรจะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงจนกระทั่งสิ้นสุดที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ลักษณะการก่อเกิดดัชนีการเก็บเกี่ยวที่มีรูปแบบอย่างเดียวกันนี้สามารถพบได้ในข้าวสาลี (Amir and Sinclair, 1991a; Gent, 1994; Moot et

al., 1996) ข้าวโพด (Muchow, 1990a) ข้าวฟ่าง (Muchow, 1990b) ถั่วเหลือง (Salado-Navarro et al., 1985; Spaeth and Sinclair, 1985) ถั่วแขก (Lynch and White, 1992) และทานตะวัน (Chapman et al., 1993) อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์เฉียดพัลลวงจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรรมแบบหว่านน้ำตมไม่แสดงความแตกต่างจากการปลูกแบบปักดำ เนื่องจากอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างแบบวิธีการปลูกทั้งสองดังผลวิจารณ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในหัวข้อของรูปแบบการเจริญเติบโตของเมล็ด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์เฉียดพัลลวงที่เกิดจากการรวมข้อมูลทั้งสองแบบวิธีการปลูกจะมีค่าประมาณเท่ากับ $6.0 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{Cd}^{-1}$ หรือเท่ากับ 0.011 วัน^{-1} โดยมีค่าใกล้เคียงกับพืชกลุ่มที่ 3 ทั่ว ๆ ไป จำพวกถั่วเหลือง (Sinclair, 1986) ข้าวสาลี (Amir and Sinclair, 1991) และทานตะวัน (Chapman et al., 1993) แต่จะมีค่าต่ำกว่าพืชกลุ่มที่ 4 จำพวกข้าวโพดและข้าวฟ่างซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.015 และ 0.019 วัน^{-1} ตามลำดับ (Muchow, 1990a, b)

ความแตกต่างกันระหว่างวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมกับการปลูกแบบปักดำซึ่งได้กล่าววิจารณ์รายละเอียดสำคัญต่าง ๆ ไว้แล้วในตอนต้นที่ประกอบด้วย ความหนาแน่นจำนวนต้นหลักที่เกิดจากการหว่านเมล็ดข้างนอกและจำนวนต้นกล้าของการปักดำ การเจริญเติบโตที่ชะงักงันและผลกระทบต่อระบบรากจากการถอนกล้า ความสามารถในการสร้างหน่อ สภาพการบังแสง ปริมาณไนโตรเจนในสวนใบ อัตราการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบในช่วงก่อนและหลังระยะออกรวง และอัตราการเปลี่ยนคาร์บอนให้เป็นสารอาหารที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงขณะมีการสะสมน้ำหนักแห้งเมล็ดนั้น ความแตกต่างเหล่านี้จะมีผลโดยตรงที่สืบเนื่องต่อกันอย่างเป็นขั้นตอนทำให้ระยะพัฒนาการต่าง ๆ (ยกเว้นระยะเริ่มยี่ดลำต้น) ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมปรากฏขึ้นก่อนการปลูกแบบปักดำรวมทั้งลักษณะการก่อเกิดดัชนีการเก็บเกี่ยวด้วย แม้ว่าวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะเริ่มต้นและเสร็จสิ้นการก่อเกิดดัชนีการเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่า แต่ช่วงพัฒนาการของดัชนีการเก็บเกี่ยวกลับมีระยะเวลาที่สั้นกว่าการปลูกแบบปักดำอย่างเด่นชัด สมมติฐานสำคัญสำหรับการอธิบายผลในส่วนนี้จะสัมพันธ์กับความแตกต่างของชุดลำดับของหน่อที่เกิดขึ้นระหว่างแบบวิธีการปลูกทั้งสอง เมื่อพิจารณาตามรูปแบบจำลองการเกิดหน่อของข้าวที่เสนอโดย Katayama (จักรวรรค์ อาภาคัพพะกุล, 2536) นั้น หน่อชุดแรกที่เกิดจากต้นหลักจะเกิดขึ้นก่อนหน่อชุดที่สองและหน่อชุดที่สาม ตามลำดับ ประกอบกับสภาพทั่ว ๆ ไปของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีจำนวนต้นหลักและจำนวนหน่อหนาแน่นกว่าจะเกิดผลกระทบโดยตรงทำให้การสร้างหน่อมีระยะเวลาสั้นลงและจำนวนหน่อ ต้น⁻¹ น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ ชุดของหน่อส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะเป็นหน่อชุดแรกเกือบทั้งหมด ขณะที่ชุดของหน่อในสภาพการปลูกแบบปักดำจะมีมากถึงหน่อชุดที่สองหรืออาจจะสามารถพัฒนาได้ถึงหน่อชุดที่สามด้วย ดังนั้นช่วงระยะเวลาการ

ออกทรงและการสะสมน้ำหนักแห้งเมล็ดของการปลูกแบบหว่านน้ำตามที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่าและมีระยะเวลาที่สั้นกว่าจะสัมพันธ์กับจำนวนหน่อ ต้น¹ และชุดของหน่อที่มีน้อยกว่านั่นเอง

ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวขณะสุกแก่ทางสรีรวิทยาจากสภาพการปลูกในกระถาง แม้ว่าไม่มีความแตกต่างในทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์ไนโตรเจน แต่ค่าเฉลี่ยที่บันทึกได้จะแสดงแนวโน้มลดลงตามระดับการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้ง ๆ ที่ระดับผลผลิตระหว่างทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่กับที่ใส่ไนโตรเจนจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนนั้น เกิดจากสาเหตุที่เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มมีค่าลดลงเมื่อข้าวได้รับปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการเก็บเกี่ยวกับเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ค่อนข้างสูงที่ระดับความเชื่อมั่น P น้อยกว่า 0.001 ($r=0.825^{***}$) ผลงานวิจัยในข้าวทั้งสภาพที่ไม่ใส่และที่ใส่ไนโตรเจนของ Tanaka *et al.* (1996, cited in Yoshida, 1981) ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความสูงและอายุพันธุ์ข้าวที่เพิ่มขึ้น ในการทดลองครั้งนี้ข้าวพันธุ์เจียงพัทลุงซึ่งเป็นข้าวพันธุ์อายุยาวและมีความสูงเพิ่มขึ้นตามระดับปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ ดังนั้นค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์นี้จะมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อได้รับไนโตรเจนเพิ่มขึ้นซึ่งมีความสอดคล้องกับผลงานดังกล่าวด้วย ส่วนวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามที่มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำจะเป็นสภาพที่เกิดขึ้นได้ทั่ว ๆ ไปในข้าวเกือบทุกพันธุ์ โดยข้าวพันธุ์นั้น ๆ เมื่อปลูกด้วยวิธีการหว่านน้ำตามจะให้ผลผลิตในระดับที่ต่ำกว่า แต่การสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับวิธีการปลูกแบบปักดำ ดังเช่นงานวิจัยของ Dingkuhn *et al.* (1990a, 1991)

ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สัมพันธ์กับผลผลิตและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินซึ่งแปรผันกับปริมาณไนโตรเจนของสภาพการปลูกในกระถางนั้น ความสัมพันธ์ทั้งสองลักษณะที่เกิดขึ้นจะแสดงผลอย่างเดียวกันกับสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรรมแบบวิธีการหว่านน้ำตาม แต่แสดงผลในทางตรงกันข้ามกับวิธีการปลูกแบบปักดำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้บ่งชี้ให้เห็นว่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำ จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินและระดับผลผลิต ตามลำดับ การศึกษาอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้หว่านและความหนาแน่นจำนวนกอที่เหมาะสม รวมทั้งการศึกษาสัดส่วนและจำนวนครั้งของการใส่ไนโตรเจนในช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะต่าง ๆ อย่างเหมาะสมสำหรับข้าวพันธุ์เจียงพัทลุง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีมากเกินไปจนทำให้เกิดสภาพการบังแสงและการขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงในระยะสร้างรวงและระยะการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด รวมถึงผลที่มีต่อการหักล้ม นับว่ามีความสำคัญมากที่จะทำให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวมีค่าสูงขึ้นพร้อมกับยกระดับผลผลิตให้เพิ่มขึ้นด้วย

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่แสดงในรูปสมการรีเกรสชันเส้นตรงของการทดลองครั้งนี้จะเป็นอย่างเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในพืช

ชนิดอื่น ๆ (e.g., Baker and Gebeyehou, 1982; Prihar and Stewart, 1990; Sinclair *et al.*, 1990; Pilbeam, 1996) ข้อคิดเห็นของ Sinclair *et al.* (1990), Prihar and Stewart, (1990) and Pilbeam (1996) ได้วิจารณ์ว่า ค่าจุดตัดแกน Y ของสมการที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อวิเคราะห์ผลในทางสถิติควรจะมีค่าไม่แตกต่างจากศูนย์ อย่างไรก็ตามค่าจุดตัดแกน Y อาจจะมีค่าเป็นบวกหรือมีค่าเป็นลบก็ได้ในบางสภาพการปลูกที่มีปัจจัยภายนอกไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ยกตัวอย่างเช่น สภาพการขาดน้ำในข้าวโพด (Sinclair *et al.*, 1990; Pilbeam, 1996) และในข้าวฟ่าง (Prihar and Stewart, 1991) สำหรับสภาพการปลูกข้าวในกระถางของทรีดเมนต์ไนโตรเจนและในแปลงนาเกษตรกรโดยวิธีการหว่านน้ำตามที่มีจุดตัดแกน Y เป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์จะเกิดจากสาเหตุที่ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงมีค่าลดลงในช่วงที่มีการระเหยน้ำหนักแห้งของเมล็ด โดยประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงจะลดลงตามลำดับเมื่อน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตกับปริมาณการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินได้แสดงให้เห็นว่า ดัชนีการเก็บเกี่ยวของทรีดเมนต์ไนโตรเจนและในแปลงนาหว่านน้ำตามจะมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินมีค่ามากกว่า 250 กรัม กระถาง⁻¹ และมากกว่า 800 กรัม เมตร² ตามลำดับ นอกจากนี้ปัญหานี้แล้วสภาพการหักล้มในแปลงนาหว่านน้ำตามเนื่องจากการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่มากเกินไป จะเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้จุดตัดแกน Y มีค่าเป็นบวกและแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่แตกต่างจากศูนย์ด้วย ดังนั้นการเพิ่มระดับผลผลิตในแปลงนาหว่านน้ำตามจะมีข้อจำกัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินมีค่าเพิ่มขึ้น และผลการวิเคราะห์รีเกรสชันที่มีปัจจัยจำกัดภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องในสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตามที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะให้ค่าจุดตัดแกน Y ที่มีค่าเป็นบวกและสัมพันธ์รีเกรสชันจะมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจากสภาพแปลงนาเกษตรกรที่มีวิธีการปลูกแบบปักดำจะมีจุดตัดแกน Y ที่มีค่าไม่แตกต่างจากศูนย์นั้นได้ชี้ให้เห็นว่า ผลผลิตเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน และดัชนีการเก็บเกี่ยวจะมีค่าคงที่ที่ไม่เปลี่ยนแปลงกับปริมาณการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน ($r=0.077^{NS}$, Fig. 31) ความแตกต่างของค่าจุดตัดแกน Y ในสมการรีเกรสชันเส้นตรงที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะมีความสำคัญต่อการพิจารณาถึงความแม่นยำสำหรับการประมาณค่าผลผลิต ผลการเปรียบเทียบค่าผลผลิตที่มีผลกระทบจากสภาพการปลูกที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีหว่านน้ำตามนั้น การคำนวณค่าผลผลิตจากวิธีการรีเกรสชันเส้นตรงที่สัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน จะเป็นวิธีการที่ให้ค่าถูกต้องและน่าเชื่อถือกว่าวิธีการคำนวณค่าผลผลิตจากผลคูณระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของดัชนีการเก็บเกี่ยว ทำนอง

เดียวกับสัมประสิทธิ์รีเกรสชันที่แสดงถึงค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวของการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีหว่านน้ำตม จะเป็นค่าที่มีความถูกต้องกว่าวิธีคำนวณดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตด้วย ส่วนการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีการปักดำของการทดลองครั้งนี้ที่การเจริญเติบโตของการสร้างผลผลิตข้าวไม่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกนั้น วิธีการคำนวณผลผลิตจากสมการทั้งสองจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ผลความแม่นยำของวิธีการทั้งสองที่กล่าวถึงนี้สามารถพิจารณาได้จากค่าจากกำลังสองเฉลี่ยของการเบี่ยงเบน (RMSE) โดยวิธีการที่ดีและมีการประมาณค่าได้ถูกต้องแม่นยำนั้น จะต้องมียาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของการเบี่ยงเบนต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่พิจารณา

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดิน

การแปรผันของไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ระยะต่าง ๆ จากสภาพการปลูกข้าวพันธุ์เฉียดพัทลุงในกระถาง จะแสดงความสัมพันธ์กับอัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับข้าวพันธุ์อื่น ๆ ที่ปลูกในสภาพแปลงนา (Matsushima, 1975) และเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนของเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเพิ่มขึ้นตามลำดับระดับอัตราการใช้ไนโตรเจนด้วย (Mishra, 1991) ผลงานวิจัยของ Schnier *et al.* (1990a, b) and Dingkuhn *et al.* (1992a, b) ได้ทดลองปลูกข้าวด้วยวิธีการต่าง ๆ กันพร้อมกับรายงานผลว่า เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนใบตลอดช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการตั้งแต่ช่วงแรกจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของวิธีการปลูกข้าวแบบต่าง ๆ ที่ไม่ใส่ไนโตรเจนจะมีค่าต่ำกว่าที่ใส่ไนโตรเจนอย่างเด่นชัด ประกอบกับผลงานวิจัยของ Osaki *et al.* (1991) ได้แสดงให้เห็นว่า ในระยะที่ข้าวมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบสูงสุดและที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนใบของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตทั้งสองจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนในส่วนลำต้น ผลงานวิจัยที่กล่าวถึงนี้ให้แนวความคิดและมีเหตุผลที่สามารถนำมาเป็นข้อยืนยันสนับสนุนได้ว่า เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนใบที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ไนโตรเจนย่อมมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับกรณีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำทุกช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการระยะต่าง ๆ นั้น มีผลสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Dingkuhn *et al.* (1991) เนื่องจากสาเหตุของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีค่าน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำนั่นเอง และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างความแตกต่างของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีจำนวนต้นและหน่อหนาแน่นกว่า การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่ดีกว่าในช่วงก่อนระยะการออกทรง รวมทั้งมีการสร้างพื้นที่ใบที่มากกว่า จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินมีค่าลดลงมากกว่าการปลูกแบบปักดำทั้ง ๆ ที่สภาพวิธีการปลูกทั้งสองแบบจะได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่

เท่ากัน อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชสวนเหนือดินที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวพันธุ์เจียงพัทลุงทั้งสภาพการปลูกในกระถางที่แปรผันกับปริมาณไนโตรเจนและในสภาพแปลงนาเกษตรกรของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและปักดำจากผลที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนต่อซึ่งข้าวและในส่วนเมล็ดมันแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 0.50-0.77% และ 0.98-1.61% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการรายงานผลของ Peng *et al.* (1996) and van Duivenbooden *et al.* (1996)

สภาพโดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชสวนเหนือดินจะมีค่าลดลงตามลำดับระยะเวลาเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพการสร้างจำนวนหน่อและใบที่มีผลทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งในพืชเพิ่มขึ้น ดังเช่นผลการศึกษาในข้าวของ Apakupakul (1991), Graft *et al.* (1991) and Ying *et al.* (1998) และในพืชอาหารสัตว์ของ Lemaire and Salette (1984a, b) and Cruz and Sinoquet (1994) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในโตรเจนในพืชสวนเหนือดินตลอดช่วงการเจริญเติบโตตั้งแต่ช่วงแรกจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวพันธุ์เจียงพัทลุงจะแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชสวนเหนือดินในรูปสมการยกกำลังเช่นเดียวกับที่เสนอโดย Lemaire and Salette (1984a, b) and Lemaire *et al.* (1990) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นโค้งอ้างอิงของ Lemaire *et al.* (1990) ที่ศึกษาในสภาพไม่มีปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มซี3 จะพบว่า ทุก ๆ ค่าของน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชสวนเหนือดินในสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำของข้าวพันธุ์เจียงพัทลุง จะมีค่าไนโตรเจนในพืชสวนเหนือดินน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นโค้งอ้างอิง และสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำด้วย ลักษณะความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในสวนเหนือดินของพืชที่ปรากฏให้เห็นนี้ อาจเป็นไปได้ว่าการดูดกลืนไนโตรเจนจากดินของข้าวเขตร้อนมีประสิทธิภาพต่ำกว่าพืชอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่น ขณะเดียวกันความอุดมสมบูรณ์ของดินเขตร้อนจะมีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่ต่ำกว่าและเกิดการสูญเสียได้เร็วกว่าเขตอบอุ่นด้วย การที่จะทำให้ข้าวมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชสวนเหนือดินเพิ่มขึ้นด้วยการใช้อัตราไนโตรเจนที่สูงขึ้นจะมีผลเสียโดยตรงกับข้าวที่จะเกิดการเสี่ยงต่อโรคไหม้ได้ง่ายและเพิ่มการระบาดของโรคอย่างรุนแรง ดังนั้นการศึกษาอัตราและจำนวนครั้งของการใส่ไนโตรเจนอย่างเหมาะสมและให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่ากับการลงทุนยังมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการทดลองเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในแต่ละพันธุ์ปลูกของสภาพภูมิอากาศเขตร้อน

ปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดจากดินแล้วนำไปเก็บสะสมไว้ในพืชสวนเหนือดินที่เกิดขึ้นจากผลคูณระหว่างเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ในพืชสวนเหนือดินกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชสวนเหนือดินที่ช่วงเวลานั้น ๆ ผลการทดลองจากสภาพการปลูกในกระถางของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับต้น ระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ที่มีค่า

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินและมีปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นตามลำดับอัตราการใช้ไนโตรเจน จะมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินมีค่าสูงขึ้นด้วย ลักษณะเช่นนี้เป็นสภาพโดยทั่ว ๆ ไปที่เกิดขึ้นกับพืชแทบทุกชนิดที่แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่เพิ่มขึ้นเป็นผลโดยตรงจากอัตราการใช้ไนโตรเจนที่สูงขึ้นนั่นเอง ดังเช่นกรณีการทดลองในข้าว (IRRI, 1989; Schnier *et al.*, 1990a, b; Dingkuhn *et al.*, 1991, 1992b; Jun *et al.*, 1991; Makarim *et al.*, 1991; Shinano *et al.*, 1991; Peng *et al.*, 1996; van Keulen, 1991) ข้าวสาลี (Cassman *et al.*, 1992) ข้าวโพด (Muchow and Sinclair, 1995; Sinclair and Muchow, 1995; Uhart and Andrade, 1995) เป็นต้น ทำนองเดียวกันสภาพการปลูกทั้งสองแบบในแปลงนาเกษตรกรที่มีอัตราการใช้ไนโตรเจนที่เท่ากันนั้น ปริมาณไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของพืชจากวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับต้นจะมีค่ามากกว่า แต่ที่ระยะดอกบาน 50% กลับมีค่าที่ต่ำกว่า ส่วนที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีค่าใกล้เคียงกันกับการปลูกแบบปักดำ ความแตกต่างระหว่างแบบวิธีการปลูกที่แปรผันตามช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการในแต่ละระยะ มีสาเหตุจากการปลูกแบบหว่านน้ำตมมีการสร้างน้ำหนักรวมทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับต้นได้มากกว่า แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินต่ำกว่าที่ระยะดอกบาน 50% และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ขณะเดียวกันน้ำหนักรวมทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ระยะดอกบาน 50% จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแบบวิธีการปลูกทั้งสอง ดังผลของการวิเคราะห์ทางสถิติที่แสดงไว้ใน Table 16 และ 22 ลักษณะความแตกต่างระหว่างแบบวิธีการปลูกที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้มีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Dingkuhn *et al.* (1992b) ที่ได้พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออกจนกระทั่งถึงระยะออกรวงของวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าสูงกว่าการปลูกแบบปักดำ

Takahashi *et al.* (1959, cited by Baba and Iwata, 1967) ได้ศึกษาถึงอัตราการดูดกลืนไนโตรเจนจากดินในข้าวจาปนิกาพันธุ์ต่าง ๆ พร้อมกับรายงานว่ อัตราการดูดกลืนไนโตรเจนของข้าวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงสุดภายหลังการปักดำประมาณ 10 วัน หลังจากนั้นการดูดกลืนไนโตรเจนจะลดลงตามลำดับด้วยอัตราที่ช้ากว่าในช่วงแรก และอัตราการดูดกลืนไนโตรเจนจะเริ่มคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากภายหลังระยะออกรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต สภาพเช่นนี้สามารถพิจารณาได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนที่เก็บสะสมไว้ในส่วนเหนือดินของข้าวที่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการตั้งแต่ระยะเริ่มแรกจนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตน่าจะมีลักษณะแบบฟังก์ชันลอจิสติกดังเส้นกราฟที่ปรากฏในงานวิจัยของ Graf *et al.* (1991), Makarim *et al.* (1991), Muchow and Sinclair (1995) and Rickman *et al.* (1996) อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของทรีตเมนต์ไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ จากสภาพการปลูกในกระถางรวมทั้งวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำจากสภาพแปลงนาเกษตรกร จะมีค่าลดลงอย่างเด่นชัด

จากระยะดอกบาน 50% จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีทรีตเมนต์ N2-N5 จะมีปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินลดลงมากกว่าทรีตเมนต์ N0 และ N1 ซึ่งโดยสภาพทั่ว ๆ ไปแล้วปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าวควรจะมีค่าคงที่หรืออาจจะเพิ่มปริมาณขึ้นได้อีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ลักษณะที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้มีสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกมีข้อผิดพลาดจากผลความแปรปรวนจากน้ำหนักแห้งของพืชส่วนเหนือดิน โดยทรีตเมนต์ไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ (ยกเว้นเฉพาะทรีตเมนต์ N3) มีค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินที่ระยะดอกบาน 50% มากกว่าที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต และประการที่สองในช่วงระยะก่อนและหลังดอกบาน 50% มีข้อมูลการวิเคราะห์ผลน้อย ทำให้ขาดการติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างระยะดอกบาน 50% จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต สภาพการณ์ที่คล้าย ๆ กันนี้จะพบได้เช่นเดียวกันในการศึกษาผลผลิตของข้าวลูกผสมไฮบริดพันธุ์ต่าง ๆ (IRRI, 1989) และงานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองแบบการเจริญเติบโตของข้าวสาลี (Rickman *et al.*, 1996) ข้อเสนอสนับสนุนเพื่ออธิบายให้เห็นว่า ทำไมที่ระยะดอกบาน 50% ของข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงมีปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินมากกว่าที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่อัตราไนโตรเจนที่ระดับสูง ๆ ค่าความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินระหว่างช่วงเวลาทั้งสองจึงมีค่าเพิ่มขึ้นนั้น Stutte and de Silva (1981), Foster and stutte (1986) and Mikkelsen (1987) ได้แสดงให้เห็นว่า ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินสามารถเกิดการสูญเสียผ่านทางส่วนของใบออกสู่บรรยากาศได้ในขณะที่พืชเกิดกระบวนการโฟโตเรสไพเรชัน โดยไนโตรเจนที่สูญเสียออกไปจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียและแอมโมเนีย และอัตราการสูญเสียไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิ ซึ่งระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 28-35°C สำหรับปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินขณะเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงจากสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรที่ประมาณค่าจากสมการลอจิสติกของการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำจะมีค่าโดยประมาณ 7.90 และ 9.50 กรัมไนโตรเจน เมตร² ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการรายงานผลของ Tirol-Padre *et al.* (1996) ส่วนค่าไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของเมล็ดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ไนโตรเจนก็มีรายงานผลไว้เช่นเดียวกันจากการทดลองในข้าว (Shinano *et al.*, 1991) และในข้าวสาลี (Cassman *et al.*, 1992) เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของเมล็ดกับน้ำหนักเฉลี่ยหนึ่งเมล็ด (Table 20) จากสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร จะมีค่าทั้งสองแปรผันอยู่ในช่วงระหว่าง 1.03-1.34 %N และ 18.00-19.84 มิลลิกรัมตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองได้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในหนึ่งเมล็ดของข้าวพันธุ์เฉียงพัทลุงจะมีค่าแปรผันโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.20-0.26 มิลลิกรัม เมล็ด⁻¹ ซึ่งใกล้เคียงกับข้าวจาโปนิกาพันธุ์ชานิกิในผลงานวิจัยของ Iwasaki *et al.* (1992) และปริมาณไนโตรเจนในหนึ่งเมล็ดนี้จะเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการกำหนดอัตราไนโตรเจนสำหรับการ

ผลิตข้าวให้ได้จำนวนตามเป้าหมายที่ต้องการ ดังเช่นในกรณีของข้าวสาลีที่ต้องการผลผลิต 100 กิโลกรัม จำเป็นต้องใส่ไนโตรเจนประมาณ 3 กิโลกรัม (Boiffin et al., 1981; Meynard and Limaux, 1987) โดยปริมาณไนโตรเจนในส่วนของเมล็ดและน้ำหนักรวมของเมล็ดของข้าวสาลีจากสภาพทั่ว ๆ ไป จะมีค่าแปรผันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.90-1.30 มิลลิกรัมไนโตรเจน เมล็ด¹ และ 35.5-38.0 มิลลิกรัม (Meynard, 1987) ทำนองเดียวกันการผลิตข้าวพันธุ์เชียงใหม่ 100 กิโลกรัม ในช่วงฤดูนาปีของสภาพภูมิอากาศภาคใต้ จะต้องใส่ไนโตรเจนประมาณ 1.2 กิโลกรัม โดยไม่คำนึงถึงปริมาณไนโตรเจนที่ตกค้างในดินและที่เกิดการสูญเสียสู่บรรยากาศในช่วงก่อนปลูกข้าว รวมทั้งปริมาณไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากการย่อยสลายเศษซากพืชและส่วนที่อยู่ในส่วนตอซัง ตลอดจนในส่วนของระแงะและในส่วนของเมล็ดลีบในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ลักษณะภูมิอากาศตลอดช่วงการทดลองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณและการกระจายของฝน ระดับอุณหภูมิอากาศ และระยะเวลาของช่วงแสงแดด จะมีปริมาณอย่างเพียงพอตามความต้องการและมีสภาพที่เหมาะสมในแต่ละช่วงระยะเวลาสำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวพันธุ์เจียงพัทลุง การปลูกข้าวในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีการหว่านน้ำตมที่ไม่มีขั้นตอนการถอนกล้าและการเจริญเติบโตของระบบรากไม่ถูกกระทบกระเทือน จะมีผลส่งเสริมให้ระยะสร้างหน่อ ระยะดอกบาน 50% และระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตเกิดขึ้นก่อน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็วกว่าหรือข้าวมีอายุสั้นกว่าการปลูกแบบวิธีปักดำ การศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ทางด้านการเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นหลักจากสภาพการปลูกในกระถางได้แสดงผลอย่างชัดเจนว่า อัตราการปรากฏใบที่ระยะต่าง ๆ จำนวนใบทั้งหมด ความสูงลำต้น ความยาวรวง และจำนวนระแนปฐุมภูมิ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับที่สัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่มากขึ้น การปรากฏใบในแต่ละทริตเมนต์ไนโตรเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงระยะที่แตกต่างกัน คือ ช่วงแรกจากระยะใบที่ 3 ถึงระยะที่การปรากฏใบเริ่มมีอัตราที่ช้าลงที่จุดวกกลับ (turning point) ขณะที่ต้นหลักมีใบประมาณ 8-9 ใบ ช่วงที่สองจากระยะจุดวกกลับจนถึงระยะเริ่มกำเนิดตาดอกที่ระยะการปรากฏใบประมาณ 12-13 ใบ และช่วงสุดท้ายภายหลังระยะเริ่มกำเนิดตาดอกจนถึงระยะการปรากฏใบสุดท้ายที่ 15-16 ใบของระยะใบธงนั้น อัตราการปรากฏใบทั้ง 3 ช่วงระยะจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยการปรากฏใบในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วค่อย ๆ มีค่าลดลงในช่วงที่สอง หลังจากนั้นการปรากฏใบจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งในช่วงสุดท้ายประมาณใบที่ 3 ก่อนการออกใบธง เวลาที่ใช้เพื่อการปรากฏใบแต่ละใบที่เรียกว่าฟิลโลโครอนั้น ช่วงระยะแรก ระยะที่สอง และระยะสุดท้าย จะมีค่าแปรผันระหว่าง 67.3-71.4, 200.8-225.2 และ 183.5-199.2^oCd ใบ⁻¹ หรือมีค่าเท่ากับ 3.5-3.8, 10.6-11.9 และ 9.7-10.5 วัน ใบ⁻¹ ตามลำดับ ระยะเริ่มกำเนิดตาดอกซึ่งตรงกับระยะการปรากฏใบต้นหลักที่ 12-13 ใบหรือประมาณใบที่ 3-4 ก่อนใบธงนั้น ไม่สามารถจะสรุปผลได้ว่า ไนโตรเจนมีผลต่อการกำเนิดตาดอกของข้าวพันธุ์เจียงพัทลุงหรือไม่ สำหรับระยะพัฒนาการของรวงในช่วงการสร้างจำนวนดอกจนถึงระยะดอกบาน 50% จะมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างทริตเมนต์ไนโตรเจน คาดคะเนว่าการกำเนิดตาดอกและการสร้างดอกบนส่วนของระแนงจะเริ่มเมื่อช่วงค่าความร้อนสะสมโดยประมาณ 1,170-1,230^oCd (59-62 วัน) และ 1,920-1,955^oCd (101-103 วัน) ภายหลังจากหว่านเมล็ดข้าวออก ตามลำดับ ส่วนระยะการยืดลำต้นจากสภาพการปลูกในแปลงเกษตรกรทั้งสองแบบวิธีการปลูก จะเกิดขึ้นเมื่อความสูงต้นหลักที่วัดจากข้อแรกจนถึงปลายยอดมีค่าเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ซึ่งตรงกับค่าความร้อนสะสม

ประมาณ $1,000^{\circ}\text{Cd}$ (51 วัน) ภายหลังจากการหว่านเมล็ดข้าวออก การเจริญเติบโตของต้นหลักในระยะยืดลำต้นมีลักษณะการเพิ่มความสูงแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล

อิทธิพลของไนโตรเจนจากการทดลองในกระถางได้แสดงผลที่ชัดเจนว่า ไนโตรเจนมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มจำนวนหน่อ พื้นที่ใบ จำนวนใบ ขนาดใบ น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินทั้งในส่วนของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้น จำนวนรวง จำนวนดอก จำนวนเมล็ด ระดับผลผลิต ตลอดจนเปอร์เซ็นต์และปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินและในเมล็ด แต่จำนวนใบ ต้น¹ พื้นที่ใบจำเพาะ อัตราส่วนพื้นที่ใบ เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และดัชนีการเก็บเกี่ยว ไม่แสดงผลความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ไนโตรเจน ในทางตรงกันข้ามน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีค่าลดลงเป็นลำดับตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ส่วนสภาพการปลูกในแปลงนาเกษตรกรแบบวิธีการหว่านน้ำตมที่ใช้เมล็ดพันธุ์มากกว่าการปลูกแบบปักดำ จะทำให้จำนวนต้นและจำนวนหน่อมีความหนาแน่นกว่า การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบในช่วงก่อนระยะดอกบาน 50% ของการปลูกแบบหว่านน้ำตมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพื้นที่ใบ จำนวนใบ น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินทั้งในส่วนของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้น ทุกลักษณะจะมีค่ามากกว่าการปลูกแบบปักดำ ส่วนขนาดใบของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่ระยะดอกบาน 50% จะมีขนาดเล็กกว่าสำหรับจำนวนใบ ต้น¹ น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินทั้งในส่วนของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้น พื้นที่ใบจำเพาะ และอัตราส่วนพื้นที่ใบในช่วงระยะดอกบาน 50% ไม่มีความแตกต่างระหว่างแบบวิธีการปลูก การเปลี่ยนแปลงของลักษณะต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสมภายหลังจากการหว่านเมล็ดข้าวออกที่เกี่ยวข้องกับจำนวนหน่อ พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินทั้งในส่วนของน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งลำต้น พื้นที่ใบจำเพาะ และอัตราส่วนพื้นที่ใบ มีรูปแบบเป็นเส้นโค้งที่สามารถประมาณค่าในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้โดยสมการไม่เชิงเส้น (non-linear equation) ค่าพารามิเตอร์ของสมการจะแสดงคุณสมบัติการเพิ่มหรือลดลงของแต่ละลักษณะได้เป็นอย่างดี ส่วนลักษณะการเพิ่มจำนวนใบ ต้น¹ และขนาดใบ จะแสดงความสัมพันธ์แบบรีเกรสชันเส้นตรงกับค่าความร้อนสะสมภายหลังจากการหว่านเมล็ดข้าวออก พื้นที่ใบของแบบวิธีการปลูกทั้งสองตั้งแต่ช่วงแรกของการเจริญเติบโตจนถึงระยะดอกบาน 50% มีการเปลี่ยนแปลงแบบฟังก์ชันยกกำลังที่สัมพันธ์กับค่าน้ำหนักแห้งใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน และการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินทั้งสภาพการปลูกแบบหว่านน้ำตมและแบบปักดำ จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการดูดกลืนรังสีแสงสังเคราะห์ที่มีลักษณะแบบรีเกรสชันเส้นตรง โดยวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีประสิทธิภาพการใช้รังสีแสงสังเคราะห์ต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำที่มีค่าเท่ากับ 1.91 และ 2.59 กรัม เมกะจูล⁻¹ ตามลำดับ ส่วนกรณีการเจริญเติบโตของเมล็ดภายหลังระยะการผสมเกสรจากสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร จะมีรูปแบบการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดแบบฟังก์ชันลอจิสติก และอัตราสูงสุดกับระยะเวลาของการสะสม

น้ำหนักแห้งเมล็ดที่คำนวณได้จากสมการ จะมีความสัมพันธ์แบบผกผันในรูปสมการรีเกรสชันเส้นตรง ในการทดลองครั้งนี้การปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตมจะมีจำนวนรวง เมตร² มากกว่า แต่มีจำนวนดอก เมตร² จำนวนดอก รวง⁻¹ และจำนวนเมล็ด เมตร² น้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ ส่วนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ไม่แสดงความแตกต่างระหว่างวิธีการปลูก ผลผลิตของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำเนื่องจากจำนวนเมล็ดมีน้อยกว่านั่นเอง โดยจำนวนดอก เมตร² หรือจำนวนดอก รวง⁻¹ และจำนวนรวง เมตร² จะเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตที่สำคัญของการปลูกข้าวแบบวิธีหว่านน้ำตม และแบบการปักดำ ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับจำนวนเมล็ดและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ได้แสดงผลสนับสนุนว่า ผลผลิตของสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรจะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบรีเกรสชันเส้นตรงที่สัมพันธ์กับจำนวนเมล็ด และผลผลิตจากสภาพการปลูกในกระถางจะแสดงความสัมพันธ์แบบรีเกรสชันเส้นตรงที่มีค่าความลาดชันเป็นลบกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อจำนวนเมล็ดเพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้น้ำหนักเมล็ดลดลง ส่วนการก่อเกิดดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนสะสมภายหลังการหว่านเมล็ดข้าวออก ตั้งแต่เริ่มมีการสะสมน้ำหนักแห้งเมล็ดภายหลังระยะผสมเกสรจนถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีลักษณะแบบรีเกรสชันเส้นตรง โดยวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีช่วงเวลาที่สั้นกว่าและมีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดิน ส่วนการปลูกแบบปักดำจะแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับระดับผลผลิต การประมาณค่าผลผลิตจากสมการรีเกรสชันเส้นตรงที่สัมพันธ์กับค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินจะให้ค่าที่ถูกต้องและเป็นวิธีที่ดีที่สุดในทุกสภาพการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองที่มีปัจจัยต่าง ๆ จำกัดการเจริญเติบโตที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสร้างผลผลิตของพืช เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาการจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับสัมพันธ์กับอัตราการใส่ไนโตรเจนที่สูงขึ้น และวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ ทำนองเดียวกันเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจะสัมพันธ์กับระดับไนโตรเจนที่ได้รับและแบบวิธีการปลูกด้วย การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินจากสภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกร จะมีค่าลดลงเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการมากขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่ระยะเริ่มยี่ดลำดับจะมีค่าสูงกว่าที่ระยะดอกบาน 50% และจะมีค่าต่ำสุดในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินกับปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชส่วนเหนือดินตลอดช่วงการทดลองในสภาพแปลงนาเกษตรกร จะมีลักษณะแบบเส้นโค้งในรูปสมการยกกำลัง สำหรับปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในพืชส่วนเหนือดินของแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและ

พัฒนาการรวมทั้งในส่วนของเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราไนโตรเจนที่มากขึ้น และวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมในช่วงระยะเริ่มยี่ดลำต้นจะมีค่ามากกว่า แต่ในช่วงระยะดอกบาน 50% จะมีค่าต่ำกว่า ส่วนในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีค่าใกล้เคียงกับการปลูกแบบปักดำ อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนในส่วนเมล็ดของการปลูกแบบหว่านน้ำตมจะมีค่าต่ำกว่าการปลูกแบบปักดำ สภาพการปลูกในกระถางและในแปลงนาเกษตรกรของการทดลองครั้งนี้ ปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่ระยะเริ่มยี่ดลำต้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่ระยะดอกบาน 50% หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในพืชส่วนเหนือดินที่ลดลงในช่วงระหว่างระยะดอกบาน 50% จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต จะมีอัตราการลดลงอย่างรุนแรงตามลำดับไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้การปลูกข้าวพันธุ์เจ็ยงพัทลุงให้มีผลผลิตสูงสุดในสภาพภูมิอากาศของภาคใต้ได้ข้อสรุปว่า ปริมาณไนโตรเจน 12 กิโลกรัม ไร่¹ หรือเท่ากับ 75 กิโลกรัม เฮกตาร์¹ จะเป็นอัตราที่เหมาะสมต่อการสร้างผลผลิต การเจริญเติบโตในช่วงแรกทางลำต้นและใบก่อนระยะกำเนิดตาดอกของการปลูกแบบหว่านน้ำตมที่มีมากเกินไป จนทำให้เกิดสภาพการบังแสงและข้าวเกิดการขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงนั้น การศึกษาสัดส่วนและจำนวนครั้งของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระยะต่าง ๆ ยังมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการยืดความยาวรวงพร้อมกับการเพิ่มจำนวนดอก เมตร² หรือจำนวนดอก รวง¹ เพื่อยกระดับผลผลิตของวิธีการปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตม ขณะเดียวกันการเพิ่มผลผลิตของวิธีการปลูกข้าวแบบวิธีการปักดำที่แปรผันกับความหนาแน่นจำนวนรวง สามารถกระทำได้โดยการเพิ่มความหนาแน่นจำนวนกอ เมตร² ให้มากขึ้นด้วยการปักดำที่ดี ต้นกล้าที่ใช้ปักดำต้องมีความสมบูรณ์แข็งแรงและมีอายุที่พอเหมาะสำหรับการปักดำ

เอกสารอ้างอิง

- ชัยวิทย์ ศิลาวัชชาโนย. 2527. การวัดรังสีแสงแดดที่ขนาดใหญ่. ว. สงขลานครินทร์. วทท. 6: 135-146.
- นิรนาม. 2539. ข้าวพันธุ์ที่เหมาะสมในภาคใต้. เอกสารประกอบการสัมมนาการเกษตรภาคใต้ปี 2539 ระหว่างวันที่ 17-18 สิงหาคม 2539 ณ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา.
- รังสรรค์ อาภาคัมภะกุล. 2536. การวินิจฉัยกระบวนการสร้างผลผลิตพืช. ว. สงขลานครินทร์. วทท. 15: 431-444.
- รังสรรค์ อาภาคัมภะกุล. 2537. การเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว. 1. การปรากฏใบและจำนวนใบ. ว. สงขลานครินทร์. วทท. 16: 7-16.
- รังสรรค์ อาภาคัมภะกุล. 2538a. การเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว: 2 อิทธิของไนโตรเจนต่อการเกิดและวิวัฒนาการของหน่อ. ว. สงขลานครินทร์. วทท. 17: 151-163.
- รังสรรค์ อาภาคัมภะกุล. 2538b. ประสิทธิภาพการใช้รังสีดวงอาทิตย์ของข้าวภายใต้แบบการทำนาและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน. ว. สงขลานครินทร์. วทท. 17: 23-33.
- Aase, J.K. 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. *Agron. J.* 70: 563-565.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H. and Culot, J.P. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci. Camb.* 124: 351-360.
- Aggarwal, P.K., Kalra, N., Singh, A.K. and Sinha, S.K. 1994. Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, water and nitrogen availability on productivity of wheat: I. The model description, parametrization and validation. *Field Crops Res.* 38: 73-91.
- Amir, J. and Sinclair, T.R. 1991a. A model of temperature and solar radiation effects on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res.* 28: 47-58.
- Amir, J. and Sinclair, T.R. 1991b. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res.* 28: 59-69.
- Andrade, F.H., Uhart, S.A. and Cirilo, A. 1993. Temperature effects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Res.* 32: 17-25.
- Apakupakul, R. 1987. Etude de l'elaboration du rendement du ble en conditions variee de nutrition azotee. *Memoire de DEA, INA-PG*, 83p.

- Apakupakul, R. 1991. Contribution a l'étude du fonctionnement du peuplement du riz (*Oryza sativa* L.): Influence de la hauteur de l'eau dans les rizières, de la densité de semis, de la fertilisation azotée et de la variété. These Docteur INA-PG, 216p.+Annexes.
- Apakupakul, R. 1997. Grain growth of loeland rice under nitrogen application rates and planting methods. Thai J. Agric. Sci. 30: 1-17.
- Baba, I. and Iwata, I. 1967. Inorganic nutrition. p. 117-137. In: Theory and Practice of Growing Rice. Matsubayashi, M., Ito, R. Tsunemichi, T., Toshio, N. and Noboru, Y. (editors). Fuji Publishing Co. Ltd., Tokyo, Japan, 527p.
- Baker, R.J. and Gebeyehou, G. 1982. Comparative growth analysis of two spring wheats and one spring barley. Crop Sci. 22: 1225-1229.
- Bange, M.P., Hammer, G.L. and Rickert, K.G. 1997. Effect of specific leaf nitrogen on radiation use efficiency and growth of sunflower. Crop. Sci. 37: 1201-1207.
- Bauer, A., Frank, A.B. and Black, A.L. 1984. Estimation of spring wheat leaf growth rate and anthesis from air temperature. Agron. J. 76: 829-835.
- Bauer, A., Frank, A.B. and Black, A.L. 1985. Estimation of spring wheat grain dry matter assimilation from air temperature. Agron, J. 77: 743-752.
- Begue, A., Desprat, J.F., Imbernon, J. and Baret, F. 1991. Radiation use efficiency of pearl millet in the Sahelian zone. Agric. for. Meteorol. 56: 93-110.
- Benbi, D.K. 1994. Prediction of leaf area indices and yields of wheat. J. Agric. Sci. Camb. 122: 13-20.
- Bieler, P., Fussell, L.K. and Bidinger, F.R. 1993. Grain growth of *Pennisetum glaucum* (L.) R. BR. under well-watered and drought-stressed conditions. Field Crops Res. 31: 41-54.
- Birch, C.J., Carberry, P.S., Muchow, R.C., McCown, R.L. and Hargreaves, J.N.G. 1990. Development and evaluation of a sorghum model based on CERES-Maize in a semi-arid tropical environment. Field Crops Res. 24: 87-104.
- Boiffin, J., Caneill, J., Meynard, J.M. and Sebillotte, M. 1981. Elaboration du rendement et fertilisation du ble d'hiver en Champagne Crayeuse: I. Protocole et methode d'étude d'un probleme technique regional. Agronomie. 1: 549-558.
- Brooking, I.R. and Kirby, E.L.M. 1981. Interrelationships between stem and ear development in winter wheat: The effect of a Norin 10 dwarfing gene, *Gai/Rht₂*. J. Agric. Sci. Camb. 97: 373-381.

- Bruckner, P.L. and Froberg, R.C. 1987. Rate and duration of grain fill in spring wheat. *Crop Sci.* 27: 451-455.
- Burns, I.G. 1992. Influence of plant nutrient concentration on growth rate: Use of a nutrient interruption technique to determine critical concentrations Of N, P and K in young plants. *Plant and Soil.* 142: 221-233.
- Cassman, K.G., Bryant, D.C., Fulton, A.E. and Jackson, L.F. 1992. Nitrogen supply effects on partitioning of dry matter and nitrogen to grain of irrigation wheat. *Crop Sci.* 32: 1251-1258.
- Chandler, Jr. R.F. 1969. Plant morphology and stand geometry in relation to nitrogen. *In* Physiological aspects of crop yield. Eastin, J.D., Haskins, F.A., Sullivan, C.Y. and van Bavel, C.H.M. Eds., pp. 265-289.
- Chang, J.H. 1971. Problems and Methods in Agricultural Climatology. Oriental Publis. Co., Taipei, Taiwan, 96p+Appendix.
- Chapman, S.C., Hammer, G.L. and Meinke, H. 1993. A sunflower simulation model: I. Model development. *Agron. J.* 85: 725-735.
- Charles-Edwards, D.A. 1982. Physiological Determinants of Crop Growth. Academic Press, Sydney, 161p.
- Charles-Edwards, D.A., Doley, D. and Rimmington, G.M. 1986. Modelling Plant Growth and Development. Academic Press, Inc, London, 235p.
- Chowdhury, S.I. and Wardlaw, I.F. 1978. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Aust. J. Agric. Sci.* 29: 205-223.
- Connor, D.J., Hall, A.J. and Sadras, V.O. 1993. Effects of nitrogen supply on expansion and photosynthetics of sunflower leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 20: 251-263.
- Counce, P.A., Siebenmorgen, T.J., Poag, M.A., Holloway, G.E., Kocher, M.F. and Lu, R. 1996. Panicle emergence of tiller types and grain yield of tiller order for direct-seeded rice cultivars. *Field Crops Res.* 47: 235-242.
- Cruz, P.A. and Sinoquet, H. 1994. Competition for light and nitrogen during regrowth cycle in a tropical forage mixture. *Field Crops Res.* 36: 21-30.
- Dale, J.E. and Wilson, R.G. 1978. A comparison of leaf and ear development in barley cultivars as affected by nitrogen supply. *J. Agric. Sci. Camb.* 72: 273-280.

- Dale, R.F., Coelho, D.T. and Gallo, K.P. 1980. Prediction of daily green leaf area index for corn. *Agron. J.* 72:999-1005.
- Darroch, B.A. and Baker, R.J. 1990. Grain filling in three spring wheat genotypes: statistical analysis. *Crop Sci.* 30: 525-529.
- Darroch, B.A. and Baker, R.J. 1995. Two measures of grain filling in spring wheat. *Crop Sci.* 35: 164-168.
- De Datta, S.K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. John Wiley & Sons, New York, 618 p.
- Deyun, P., Zhaoquin, W. and Lijiao, Y. 1991. Simulation of tillering and potential production of indica rice. p. 94-101. *In* Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP). Penning de Vries, F.W.T., van Laar, H.H. and Kropff, M.J. (Editors). Pudoc Wageningen, The Netherlands.
- Dingkuhn, M., De Datta, S.K., Javellana C., Pamplona, R. and Schnier, H.F. 1992a. Effect of late-season N fertilization on photosynthesis and yield of transplanted and direct-seeded tropical flooded rice. I. Growth dynamics. *Field Crops Res.* 28: 223-234.
- Dingkuhn, M., De Datta, S.K., Pamplona, R., Javellana C., and Schnier, H.F. 1992b. Effect of late-season N fertilization on photosynthesis and yield of transplanted and direct-seeded tropical flooded rice. II. A canopy stratification study. *Field Crops Res.* 28: 235-249.
- Dingkuhn, M., Jones, M.P., Johnson, D.E. and Scw, A. 1998. Growth and yield potential of *Oryza sativa* and *O. glaberrima* upland rice cultivars and their interspecific progenies. *Field Crops Res.* 57: 57-69.
- Dingkuhn, M., Schnier, H.F., De Datta, S.K., Dorffling, K., and Javellana C. 1991. Relationships between ripening-phase productivity and crop duration, canopy photosynthesis and senescence in transplanted and direct-seeded lowland rice. *Field Crops Res.* 26: 327-345.
- Dingkuhn, M., Schnier, H.F., De Datta, S.K., Wijanco, E. and Dorffling, K. 1990a. Diurnal and developmental changes in canopy gas exchange in relation to growth in transplanted and direct-seeded flooded rice. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 119-134.
- Dingkuhn, M., Schnier, H.F., De Datta, S.K., Dorffling, K., Javellana C. and Pamplona, R. 1990b. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: II. Interactions among canopy properties. *Crop Sci.* 30: 1284-1292.

- Diouf, M. 1990. Analyse de l'elaboration du rendement du mil (*Penesetum Typhoides* stapf et Mubb). Mise en point d'une method de diagnostic en parcelles paysannes. These de Docteur INA-PG, 227p+Annexes.
- Dracup, M. and Kirby, E.J.M. 1996. Pod and seed growth and development of narrow-leaved lupin in a water limited mediterranean-type environment. *Field Crops Res.* 48: 209-222.
- Draper, N.R. and Smith, H. 1981. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 709p.
- Duguide, S.D. and Brule-Babel, A.L. 1994. Rate and duration of grain filling in five spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes *Can. J. Plant Sci.* 74: 681-686.
- Durr, C. 1984. Systeme de culture et elaboration du rendement du riz (*Oryza sativa* L.) en camargue. These DDI, INA-PG, 226p.
- Dwyer, L.M. and Stewart, D.W. 1986. Leaf area development in field-grown maize. *Agro. J.* 78: 334-343.
- Fagade, S.O. and De Datta, S.K. 1971. Leaf area index, tillering capacity, and grain yield of tropical rice as affected by plant density and nitrogen level. *Agron J.* 63: 503-506.
- Flenet, F. and Kiniry, J.R. 1995. Efficiency of biomass accumulation by sunflower as affected by glucose requirement of biosynthesis and leaf nitrogen content. *Field Crops Res.* 44: 119-127.
- Foster, E.F. and Stutte, C.A. 1986. Glutamine synthase activity and foliar nitrogen volatilization in response to temperature and inhibitor chemicals. *Annals Bot.* 57: 305-307.
- Frank, A.B. and Bauer, A. 1982. Effect of temperature and fertilizer N oat apex development in spring wheat. *Agron. J.* 74: 504-509.
- Fujita, K., Coronel, V.P. and Yoshida, S. 1984. Grain-filling characteristics of rice varieties (*Oryza sativa* L.) differing in grain size under controlled environmental conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 30: 445-454.
- Gajri, P.R., Prihar, S.S. and Arora, V.K. 1993. Interdependence of nitrogen and irrigation effects on growth and input-use efficiencies in wheat. *Field Crops Res.* 31: 71-86.
- Gallagher, J.N. and Biscoe, P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *J. Agric. Sci. Camb.* 91: 47-60.
- Gbongue, D. 1985. Influence de l'alimentation azotee sur l'elabolation du nombre de grains d'un peuplement diorge d'hiver (*Hordeum hexastichum* L.) These DDI, INA-PG, 269p.

- Gebeyehou, G., Knott, D.R. and Baker, R.J. 1982. Rate and duration of grain filling in durum wheat cultivars. *Crop Sci.* 22: 337-340.
- Gent, M.P.N. 1994. Photosynthate reserves during grain filling in winter wheat. *Agron. J.* 86: 159-167.
- Gimenez, C., Connor, D.J. and Rueda, F. 1994. Canopy development, photosynthesis and radiation-use efficiency in sunflower in response to nitrogen. *Field Crops Res.* 38: 15-27.
- Goyne, P.J., Milroy, S.P., Lilley, J.M. and Hare, J.M. 1993. Radiation interception, radiation use efficiency and growth of barley cultivars. *Aust. J. Agric. Res.* 44: 1351-1366.
- Graf, B., Rakotobe, O., Zahner, P., Delucchi, V. and Gutierrez, A.P. 1990a. A simulation model for the dynamics of rice growth and development: I. The carbon balance. *Agric. Syst.* 32: 341-365.
- Graf, B., Gutierrez, A.P., Rakotobe, O., Zahner, P. and Delucchi, V. 1990b. A simulation model for the dynamics of rice growth and development: II. The competition with weeds for nitrogen and light. *Agric. Syst.* 32: 367-392.
- Graf, B., Dingkuhn, M., Schnier, F., Coronel, V. and Akita, S. 1991. A simulation model for the dynamics of rice growth and development: III. Validation of the model with high-yielding varieties. *Agric. Syst.* 36: 329-349.
- Habekotte, B. 1993. Quantitative analysis of pod formation, seed set and seed filling in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) under field conditions. *Field Crops Res.* 35: 21-33.
- Habekotte, B. 1997. Evaluation of seed yield determining factors of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) by means of crop growth modelling. *Field Crops Res.* 54: 137-151.
- Hall, A.J., Connor, D.J. and Sadras, V.O. 1995. Radiation-use efficiency of sunflower crops: Effects of specific leaf nitrogen and ontogeny. *Field Crops Res.* 41: 65-77.
- Hammer, G.L. and Muchow, R.C. 1994. Assessing climatic risk to sorghum production in water-limited subtropical environments. I. Development and testing of a simulation model. *Field Crops Res.* 36: 221-234.
- Hammer, G.L. and Wright, G.C. 1994. A theoretical analysis of nitrogen and radiation effects on radiation use efficiency in peanut. *Aust. J. Agric. Res.* 45: 575-589.
- Hoogenboom, G., White, J.W., Jones, J.W. and Boote, K.J. 1994. BEANGRO: A process-oriented dry bean model with a versatile user interface. *Agron. J.* 86: 182-190.

- Hardjwinata, S. 1980. Macroclimatic aspects of rice production in Southeast Asia. p. 57-68. *In*: Agrometeorology of the Rice Crop IRRI, Los Banos, Philippines.
- Huan, J.R. 1973. Visual quantification of wheat development. *Agron. J.* 65: 116-119.
- Hunt, L.A., van der Poorten, G. and Pararajasingham, S. 1991. Postanthesis temperature effects on duration and rate of grain filling in some winter wheats. *Can. J. Plant Sci.* 71: 609-617.
- IRRI. 1989. Annual Report for 1988. Los Banos. Philippines. 646 p.
- ITCF. 1987. Manuel d'utilisation. STAT-ITCF. Version 3.20. Institut Technique des Cereales et des Fourrages. Paris, France.
- Iwasaki, Y., Mae, T., Makino, A., Ohira, K. and Ojima, K. 1992. Nitrogen accumulation in the inferior spikelet of rice ear during ripening. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38: 517-525.
- Jamieson, P.D., Martin, R.J., Francis, G.S. and Wilson, D.R. 1995. Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley. *Field Crops Res.* 43: 77-86.
- Jandel Corporation. 1991. User's Manual. SigmaPlot Scientific Graphing System. Version 5.00. Jandel Corp.
- Johnson, D.E., Lee, P.G. and Wilman, D. 1991. Experiments with upland rice in southern Belize: fertilizer application, weed control, plant spacing, sowing rate and variety. *J. Agric. Sci. Camb.* 116: 201-215.
- Jones, C.A. and Kiniry, J.R. 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A & M Univ. Press, College Station, 194 p.
- Jones, D.B., Peterson, M.L. and Geng, S. 1979. Association between grain filling rate and duration and yield components in rice. *Crop Sci.* 19: 641-643.
- Jones, J.W., Mishoe, J.W. and Boote, K.J. 1984. SOYGRO: Soybean crop growth model. *In* International symposium on minimum data sets for agrotechnology transfer. ICRISAT. Patancheru, India, pp. 83-94.
- Jun, P., Lingcang, Q. and Binwu, D. 1991. Study on the relationship between nitrogen and other minerals in rice. p. 233-238. *In* Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP). Penning de Vries, F.W.T., van Laar, H.H. and Kropff, M.J. (Editors). Pudoc Wageningen, The Netherlands.
- Keating, B.A. and Wafula, B.M. 1992. Modelling the fully expanded area of maize leaves. *Field Crops Res.* 29: 163-176.

- Khan, M.R. and Vergara, B.S. 1982. Varietal difference in nitrogen uptake and utilization in deepwater rice cultivars. In Deepwater Rice Workshop. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines, pp. 315-326.
- Kiniry, J.R. 1994. Radiation-use efficiency and grain yield of maize competing with Jonson grass. *Agron. J.* 86: 554-557.
- Kiniry, J.R., Jones, C.A., O'Toole, J.C., Blanchet, R., Cabelguene, M., and Spanel, D.A. 1989. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain crop species. *Field Crops Res.* 20: 51-64.
- Kirby, E.L.M. 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Res.* 18: 127-140.
- Koesmarno, H.K. and Sedcole, J.R. 1993. A method for the analysis of barley kernel growth data from designed experiments. *J. Agric Sci. Camb.* 123: 25-33.
- Kropff, M.J., Cassman, K.G., van Laar, H.H. and Peng, S. 1993. Nitrogen and yield potential of irrigated rice. *Plant and Soil.* 155/156: 391-394.
- Lemaire, G. and Salette, J. 1984a. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prelevement d'azote pour un peuplement de graminees fourrageres. I. Etude de l'effet du milieu. *Agrono.* 4: 423-430.
- Lemaire, G. and Salette, J. 1984a. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prelevement d'azote pour un peuplement de graminees fourrageres. II. Etude de la variabilite entre genotypes. *Agrono.* 4: 431-436.
- Lemaire, G., Gastal, F., Cruz, P., Greenwood, D.J. and Draycott, A. 1990. Relationships between plant-N, plant mass and relative growth rate for C3 and C4 crops. First Congress of the European Society of Agronomy, Paris, 5-7 December 1990.
- Lencoff, J.H. and Loomis, R.S. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Sci.* 26: 1017-1022.
- Lieth, J.H., Reynolds, J.F. and Rogers, H.H. 1986. Estimation of leaf area of soybean under elevated carbon dioxide levels. *Field Crops Res.* 13: 193-203.
- Longnecker, N., Kirby, E.J.M. and Robson, A. 1993. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Sci.* 33: 154-160.
- Loss, S.P., Kirby, E.J.M., Siddique, K.H.M. and Perry M.W. 1989. Grain growth and development of old and modern Australian wheat. *Field Crops Res.* 21: 131-146.

- Lynch, J. and White, J.W. 1992. Shoot nitrogen dynamics in tropical common bean. *Crop Sci.* 32: 392-397.
- Ma, L., Gardner, F.P. and Selamat, A. 1992. Estimation of leaf area from leaf and total mass measurements in peanut. *Crop Sci.* 32: 467-471.
- Maas, S.J. and Arkin, G.F. 1980. Sensitivity analysis of SORGF, a grain sorghum model. *Trans. ASAE.* 23: 671-675.
- Maddoni, G.A. and Otegui, M.E. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Res.* 48:81-87.
- Makarim, A.K., Hidayat, A. and ten Berge, H.F.M. 1991. Dynamics of soil ammonium, crop nitrogen uptake and dry matter production in lowland rice. p. 214-228. *In Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP)*. Penning de Vries, F.W.T., van Laar, H.H. and Kropff, M.J. (Editors). Pudoc Wageningen, The Netherlands.
- Masle-Meynard, J. 1980. L'elaboration du nombre d'epis chez le ble d'hiver. Influence de differentes caracteristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumiere. These DDI, INA-PG, 274p.
- Matsushima, S. 1975. *Crop Science in Rice. Theory of yield determination and its application*. Fuji Publishing Co. Ltd., Tokyo, Japan, 365p.
- Matthews, R.B. and Hunt, R.B. 1994. GUMCAS: A model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz) *Field Crops Res.* 36: 69-84.
- Metzger, D.D., Czaplowski, S.J. and Rasmusson, D.C. 1984. Grain filling duration and yield in spring barley. *Crop Sci.* 24: 1101-1105.
- Meynard, M. 1985. Construction d'itineraires techniques pour la conduite du ble d'hiver. These DDI, INA-PG, 297p.
- Meynard, J.M. 1987. L'analyse de l'elaboration du rendement sur les essais de fertilisation azotee. *Pers. Agric.* 115: 76-83.
- Meynard, J.M. and Limaux, F. 1987. Prevision des rendements et conduite de la fertilization azotee. Cas du ble d'hiver. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 73: 117-132.
- Mikkelsen, D.S. 1987. Nitrogen budgets in flooded soils used for rice production. *Plant and Soil* 100: 71-97.
- Miller, B.C., Foin, T.C. and Hill, J.E. 1993. CARICE: A model for scheduling and evaluating management actions. *Agron. J.* 85: 938-947.

- Milroy, S.P. and Goynes, P.J. 1995. Leaf area development in barley: Model construction and response to soil moisture status. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 845-860.
- Mishra, B. 1991. Simulation of nitrogen nutrition and growth of rice. p. 229-232. *In Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP)*. Penning de Vries, F.W.T., van Laar, H.H. and Kropff, M.J. (Editors). Pudoc Wageningen, The Netherlands.
- Moot, D.J., Jamieson, P.D., Henderson, A.L., Ford, M.A. and Potter, J.R. 1996. Rate of change in harvest index during grain-filling of wheat. *J. Agric. Sci. Camb.* 126: 387-395.
- Mostafavi, M.R. and Cross, H.Z. 1990. Defoliation effects on grain filling of *R-nj* color-selected maize strains. *Crop Sci.* 30: 385-362.
- Mou, B., Kronstad, W.E. and Saulescu, N.N. 1994. Grain filling parameters and protein content in selected winter wheat populations: II. Associations. *Crop Sci.* 34: 838-841.
- Muchow, R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. I. Leaf growth and leaf nitrogen. *Field Crops Res.* 18: 1-16.
- Muchow, R.C. 1990a. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. *Field Crops Res.* 23: 145-158.
- Muchow, R.C. 1990b. Effect of high temperature on the rate and duration of grain-growth in field-grown *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 329-337.
- Muchow, R.C. and Davis, R. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.* 18: 17-30.
- Muchow, R.C. and Sinclair, T.R. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield: II. Field and model analysis. *Agron. J.* 87: 642-648.
- Muchow, R.C., Sinclair, T.R. and Bennett, J.M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82: 338-343.
- Murata, Y. and Matsushima, S. 1975. Rice. *In Crop Physiology*. L.T. Evans (Editor). Cambridge Univ. Press, London, pp.73-99.
- Nanda, R., Bhargava, S.C. and Tomar, D.P.S. 1994. Rate and duration of silique and seed-filling period and their relation to seed yield in *Brassica* species. *Indian J. Agric. Sci.* 64: 227-232.

- Nanju, D. and De datta, S.K. 1970. Effect of time of harvest and nitrogen level on yield and grain breakage in transplanted rice. *Agron. J.* 62: 468-474.
- Nass, H.G. and Reiser, B. 1975. Grain filling period and grain yield relationships in spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 55: 673-678.
- Navarro-Garza, H. 1984. L'analyse des composantes du rendement du maïs. Application à l'étude de la variabilité du rendement dans une petite région. These DDI, INA-PG, 238p.+ Annexes.
- Nemoto, K., Morita, S. and Baba, T. 1995. Shoot and root development in rice related to the phyllochron. *Crop Sci.* 35: 24-29.
- O'Leary, G.J., Connor, D.J. and White, D.H. 1985. A simulation model of the development, growth and yield of the wheat crop. *Agric. Syst.* 17: 1-26.
- Osaki, M., Shinano, T. and Tadano, T. 1991. Redistribution of carbon and nitrogen compounds from the shoot to the harvesting organs during maturation in field crops. *Soil sci. Plant Nutr.* 37: 117-128.
- Osaki, M., Matsumoto, M., Shinano, T. and Tanado, T. 1994. Parameters determining yield of field crops in relation to the amount of nitrogen absorbed. *Soil Sci. Plant Nutr.* 40: 19-28.
- Pararajasingham, P. and Hunt, L.A. 1995. Effects of photoperiod on leaf appearance rate and leaf dimensions in winter and spring weathers. *Can. J. Plant Sci.* 76: 43-50.
- Payne, W.A., Wendt, C.W., Hossner, L.R. and Gates, C.E. 1991. Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. *Agron. J.* 83: 937-941.
- Peng, S., Garcia, F.V., Laza, R.C., Sanico, A.L., Visperas, R.M. and cassman, K.G. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Res.* 47: 243-252.
- Persaud, N., Gandah, M., Ouattara, M. and Mokete, N. 1993. Estimating leaf area of pearl millet from linear measurements. *Agron. J.* 85: 10-12.
- Pigeaire, A. 1980. Contribution à l'analyse de l'élaboration du rendement du riz pluvial. ORSTOM, doc. mult. 99p.
- Pigeaire, A. 1984. Elaboration des composantes du rendement chez le soja de type indéterminé. These DDI, INA-Touse, 110p.
- Pilbeam, C.J. 1996. Variation in harvest index of maize (*Zea mays*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*) grown in a marginal rainfall area of Kenya. *J. Agric. Sci. Camb.* 126: 1-6.

- Prihar, S.S. and Stewart, B.A. 1990. Using upper-bound slope through origin to estimate genetic harvest index. *Agron. J.* 82: 1160-1165.
- Prihar, S.S. and Stewart, B.A. 1991. Sorghum harvest index in relation to plant size, environment, and cultivar. *Agron. J.* 83: 603-608.
- Rahman, M.S. and Yoshida, S. 1985. Effect of water stress on grain filling in rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31: 497-511.
- Ramos, J.M., Garcia del Moral, L.F. and Recalde, L. 1983. Dry matter and leaf area relationships in winter barley. *Agron. J.* 75: 308-310.
- Reddy, V.R., Acock, B., Baker, D.N. and Acock, M. 1989. Seasonal leaf area-leaf weight relationships in the cotton canopy. *Agron. J.* 81: 1-4.
- Reita, A. and Armbrust, D.V. 1995. Estimation of leaf and stem area in the wind erosion prediction system (WEPS). *Agron. J.* 87: 93-98.
- Rickman, R.W., Waldman, S.E. and Klepper, B. 1996. MODWht3: A development-driven wheat growth simulation. *Agron. J.* 88: 176-185.
- Ritchie, J.T. and Otter, S. 1989. Description and performance of CERES-Wheat: A user oriented wheat yield model. ARS Wheat Yield Project, Agricultural Research Service, p. 159-175.
- Ritchie, J.T., Alocilja, E.C., Singh, U. and Uehara, G. 1986. IBSNAT/CERES Rice model. *Agrotechnology Transfer.* 3:1-5.
- Rosenthal, W.D., Gerik, T.J. and Wade, L.J. 1993. Radiation-use efficiency among grain sorghum cultivars and plant densities. *Agron. J.* 85: 703-705.
- Salado-Navarro, L.R., Hinson, K. and Sinclair, T.R. 1985. Nitrogen partitioning and dry matter allocation in soybean with different seed protein concentration. *Crop Sci.* 25: 451-455.
- Sasahara, T. and Itoh, Y. 1989. Comparison of the effect of fertilizer application at and after the stage of panicle-base initiation on yield and yield components of semi-dwarf and standard rice cultivars. *Field Crops Res.* 20: 157-164.
- Sayed, H.T. and Ghandorah, H.O. 1984. Association of grain-filling characteristics with grain weight and senescence in wheat under warm dry condition. *Field Crops Res.* 9: 323-332.
- Schnier, H.F., Dingkuhn, M., De Datta, S.K., Mengel, K. Wijangco, E. and Javellana, C. 1990a. Nitrogen economy and canopy carbon dioxide assimilation of tropical lowland rice. *Agron. J.* 82: 451-459.

- Schnier, H.F., Dingkuhn, M., De Datta, S.K., Mengel, K. and Faronilo, J.E. 1990b. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth, and yield. *Crop Sci.* 30: 1276-1284.
- Sebillotte, M. 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *C.R. Acad. agric. Fr.* 64: 906-914.
- Sebillotte, M. 1980. An analysis of yield elaboration in wheat. *In Wheat Technical Monograph.* CIBA-GEIGY, Bale, Switzerland, pp.25-32.
- Sebillotte, M. 1989. Approaches of the on-farm agronomist: Illustrated methodological considerations. Development Oriented Research on Agrarian Systems Project. Kasetsart Univ., Thailand, 36p.
- Senanayake, N., De Datta, S.K., Naylor, R.E.L. and Thompson, W.J. 1991. Lowland rice apical development: Stages and cultivar differences detected by electron microscopy. *Agron. J.* 83: 1013-1023.
- Senanayake, N., Naylor, R.E.L. and De Datta, S.K. 1996. Effect of nitrogen fertilization on rice spikelet differentiation and survival. *J. Agric. Sci. Camb.* 127: 303-309.
- Sharratt, B.S. and Baker, D.G. 1986. Alfalfa leaf area as a function of dry matter. *Crop Sci.* 26: 1040-1043.
- Shinano, T., Osaki, M. and Tadano, T. 1991. Effect of nitrogen application on reconstruction of nitrogen compounds during the maturation stage in several field crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37: 259-270.
- Simane, B., Peacock, J.M. and Struik, P.C. 1993. Differences in developmental plasticity and growth rate among drought-resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) *Plant and Soil* 157: 155-166.
- Simmons, S.R. and Crookston, R.K. 1979. Rate and duration of growth of kernels formed at specific florets in spikelets of spring wheat. *Crop Sci.* 19: 690-693.
- Sinclair, T.R. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I. Model development. *Field Crops Res.* 15: 125-141.
- Sinclair, T.R., Bennett, J.M. and Muchow, R.C. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize. *Crop Sci.* 30: 690-693.
- Sinclair, T.R. and Amir, J. 1992. A model to assess nitrogen limitations on the growth and yield of spring wheat. *Field Crops Res.* 30: 63-78.

- Sinclair, T.R. and Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Sci.* 29: 90-98.
- Sinclair, T.R. and Muchow, R.C. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield: I. Modeling physiological responses. *Agron. J.* 87: 632-641.
- Sinclair, T.R. and Shiraiwa, T. 1993. Soybean radiation-use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. *Crop Sci.* 33: 808-812.
- Singh, P. and Virmani, S.M. 1996. Modeling growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) *Field Crops Res.* 46: 41-59.
- Sofield, I., Evans, L.T. and Wardlaw I.F. 1974. The effect of temperature and light on grain filling in wheat. *In: Mechanisms of Regeneration of Plant Growth.* Bialeski, R.L., Ferguson, A.R. and Cresswell, M.M. (Editors) *R. Soc. N.Z. Bull.* 12: 909-915.
- Sofield, I., Evans, L.T., Crook, M.G. and Wardlaw, I.F. 1977. Factor influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 785-797.
- Spaeth, S.C. and Sinclair, T.R. 1985. Linear increase in soybean harvest index during seed-filling. *Agron. J.* 77: 207-211.
- Stone, P.J. and Nicolas, M.E. 1995. Effect of timing of heat stress duration grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance. I. Grain growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 927-934.
- Stone, P.J., Savin, R., Wardlaw, I.F. and Nicolas, M.E. 1995. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. I. Grain growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 945-954.
- Stutte, C.A. and da Silva, P.R.F. 1981. Nitrogen volatilization from rice leaves. I. Effects of genotype and air temperature. *Crop Sci.* 21: 596-600.
- Tashiro, T. and Wardlaw, I.F. 1989. A comparison of the effect of high temperature on grain development in wheat and rice. *Ann. Bot.* 64: 59-65.
- Tirol-Padre, A., Ladha, J.K., Singh, U., Laureles, E., Punzalan, G. and Akita, S. 1996. Grain yield performance of rice genotypes at suboptimal levels of soil N as affected by N uptake and utilization efficiency. *Field Crops Res.* 46: 127-143.
- Triboi, E. 1990. Modele d'elaboration du poids du grain chez le ble tendre (*Triticum aestivum* em Thell) *Agronomie.* 10: 191-200.

- Uhart, S.A. and Andrade, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383.
- van Duivenbooden, N. de Wit, C.T. and van Keulen, H. 1996. Nitrogen, phosphorus and potassium relations in five major cereals reviewed in respect to fertilizer recommendations using simulation modelling. *Fer. Res.* 44: 37-49.
- van Keulen, H. 1991. Interaction of water and nitrogen in crop production: a simulation approach. p. 176-194. *In Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP)*. Penning de Vries, F.W.T., van Laar, H.H. and Kropff, M.J. (Editors). Pudoc Wageningen, The Netherlands.
- van Oosterom, E.J. and Acevedo, E. 1993. Leaf area and crop growth in relation to phenology of barley in Mediterranean environments. *Plant and Soil.* 148: 223-237.
- van Sanford, D.A. 1985. Variation in kernel growth Characters among soft red winter wheats. *Crop Sci.* 25: 626-630.
- Watiki, J.M., Fukai, S., Banda, J.A. and Keating, B.a. 1993. Radiation interception and growth of maize/cowpea intercrop as affected by maize plant density and cowpea cultivar. *Field Crops Res.* 35: 123-133.
- Weir, A.H., Bragg, P.L., Porter, J.R. and Rayner, J.H. 1984. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *J. Agric. Sci. Camb.* 102: 371-382.
- Whisler, F.D., Acock, B., Baker, D.N., Fye, R.E. Hodges, H.F., Lambert, J.R., Lemmon, H.E., McKinion, J.M. and Reddy, V.R. 1986. Crop simulation models in agronomic system. *Adv. Agron.* 40: 141-208.
- Wiegand, C.L. and Cuellar, J.A. 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Sci.* 21: 95-101.
- Wilhelm, W.W. and McMaster, G.S. 1995. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. *Crop Sci.* 35: 1-3.
- Wilkerson, G.G., Jones, J.W., Boote, K.J., Ingram, K.T. and Mishoe, J.W. 1983. Modeling soybean growth for crop management. *Tran. ASAE.* 26: 63-73.
- Willey, R.W. and Heath, S.B. 1969. The quantitative relationships between plant population and crop yield. *Adv. agron.* 21: 281-321.

- Williams, J.R., Jones, C.A. and Dyke, P.T. 1984. The EPIC model and its application. *In* International symposium on minimum data sets for agrotechnology transfer. p. 111-121. ICRISAT. Patancheru, India.
- Wong, L.S. and Baker, R.J. 1986. Developmental patterns in five spring wheat genotypes varying in time to maturity. *Crop Sci.* 26: 1167-1170.
- Ying, J., Peng, S., Yang, G., Zhou, N., Visperas, R.M. and Cassman, K.G. 1998. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments. II. Nitrogen accumulation and utilization efficiency. *Field Crops Res.* 57: 85-93.
- Yoshida, S and Hara, T. 1977. effect of air temperature and light on grain filling of an indica and a japonica rice (*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 23: 93-107.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. IRRRI, Los Banos, Laguna, Philippines, 269p.

Appendix A. Soil properties.

(a) Pot experiment:

pH(1:1;soil:H ₂ O)	5.10
OM	3.25%
available P	20.04 mg kg ⁻¹
exchangeable K	0.42 cmol(+) kg ⁻¹
exchangeable Al	0.26 cmol(+) kg ⁻¹
CEC	9.80 cmol(+) kg ⁻¹
NH ₄ ⁺ -N	0.070 g kg ⁻¹
NO ₃ ⁻ -N	0.003 g kg ⁻¹

(b) Field experiment:

-Wet sown rice.

Plot No.	Soil depth (cm)	pH 1:1	NH ₄ ⁺ -N g kg ⁻¹	Avai-P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	Al	Acidity	%OM
1	0-15	5.34	0.016	15.10	0.05	3.06	0.29	0.08	0.05	0.10	1.83
	15-30	6.84	0.013	1.21	0.03	3.67	0.45	0.07	0.01	0.02	0.40
2	0-15	5.19	0.041	10.57	0.05	3.75	0.18	0.03	0.34	0.45	2.72
	15-30	5.60	0.021	2.64	0.02	3.50	0.08	0.01	0.10	0.16	1.12
3	0-15	5.31	0.027	5.22	0.04	3.70	0.16	0.05	0.12	0.34	2.43
	15-30	5.68	0.045	1.83	0.03	3.94	0.13	0.08	0.07	0.12	1.31
4	0-15	5.96	0.022	8.81	0.03	2.65	0.09	0.04	0.06	0.03	1.55
	15-30	5.97	0.035	1.24	0.02	2.16	0.02	0.02	0.06	0.03	0.83
5	0-15	5.07	0.025	3.45	0.07	3.89	0.28	0.04	0.39	0.57	2.50
	15-30	4.97	0.016	1.85	0.03	2.02	0.18	0.03	1.28	1.51	1.37
6	0-15	4.88	0.012	3.99	0.05	3.22	0.25	0.05	0.82	1.01	2.24
	15-30	4.97	0.007	1.45	0.03	2.02	0.20	0.04	0.79	1.12	1.28

Appendix A. Soil properties (cont.).

(b) Field experiment:

-Transplanted rice.

Plot No	Soil depth (cm)	pH 1:1	NH ₄ ⁺ -N g kg ⁻¹	Avai-P mg kg ⁻¹	K ⁺	Ca	Mg	Na	Al	Acidity	%OM
					cmol(+) kg ⁻¹						
1	0-15	5.41	0.017	8.17	0.05	2.47	0.41	0.03	0.13	0.23	1.55
	15-30	6.65	0.015	8.22	0.03	4.38	0.56	0.06	0.05	0.21	0.47
2	0-15	5.23	0.020	7.62	0.04	3.48	0.17	0.04	0.29	0.41	2.52
	15-30	6.18	0.017	1.96	0.03	4.05	0.09	0.10	0.04	0.09	0.97
3	0-15	5.32	0.047	3.95	0.05	3.99	0.20	0.04	0.22	0.41	3.21
	15-30	5.07	0.022	2.01	0.02	3.37	0.13	0.03	0.46	0.52	1.33
4	0-15	no data									
	15-30	no data									
5	0-15	5.14	0.033	3.15	0.06	3.53	0.23	0.05	0.30	0.46	3.07
	15-30	5.09	0.020	1.62	0.03	2.04	0.16	0.04	1.10	1.26	1.34
6	0-15	4.92	0.018	3.11	0.04	3.34	0.27	0.05	0.75	0.84	2.17
	15-30	4.93	0.007	1.37	0.03	2.04	0.17	0.05	1.33	1.90	1.30

Appendix B. Soil texture.

Plot No.	Soil depth (cm)	%Sand	%Silt	%Clay	Texture
1	0-15	70.50	15.33	14.17	sandy loam
	15-30	66.72	13.26	20.03	sandy clay loam
2	0-15	60.43	14.11	25.46	sandy clay loam
	15-30	63.38	11.11	25.51	sandy clay loam
3	0-15	53.48	16.89	29.62	sandy clay loam
	15-30	53.21	13.03	33.76	sandy clay loam
4	0-15	73.89	10.92	15.19	sandy loam
	15-30	70.99	9.46	19.56	sandy loam
5	0-15	51.75	16.99	31.26	sandy clay loam
	15-30	51.79	12.69	35.56	sandy clay
6	0-15	53.14	11.92	34.94	sandy clay loam
	15-30	41.17	16.27	42.57	clay

Appendix C. NH_4^+ -N at before the first N application and harvesting.

Plot No.	Soil depth (cm)	NH_4^+ -N (g kg^{-1})	
		Before the 1 st N application	Harvesting
(a) Wet sown rice:			
1	0-15	3.74	1.63
	15-30	3.21	1.76
2	0-15	1.15	2.78
	15-30	3.08	1.78
3	0-15	2.86	1.27
	15-30	3.29	1.88
4	0-15	2.15	1.29
	15-30	3.54	1.82
5	0-15	2.48	0.34
	15-30	1.56	0.61
6	0-15	2.54	0.71
	15-30	2.05	1.65
(b) Transplanted rice:			
1	0-15	2.12	0.86
	15-30	1.68	0.50
2	0-15	3.25	1.81
	15-30	2.56	2.57
3	0-15	4.72	1.48
	15-30	2.24	1.48
4	0-15	4.42	0.38
	15-30	3.01	0.36
5	0-15	3.30	1.40
	15-30	2.04	0.60
6	0-15	2.54	0.42
	15-30	4.10	0.39

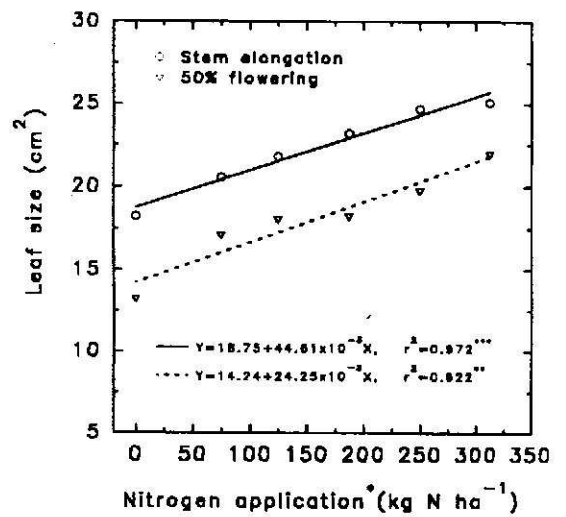
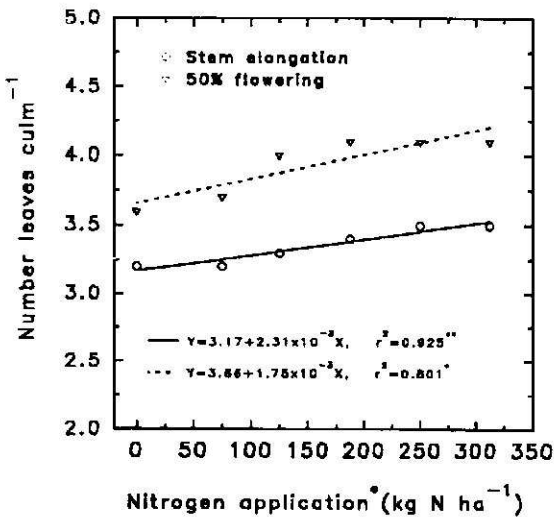
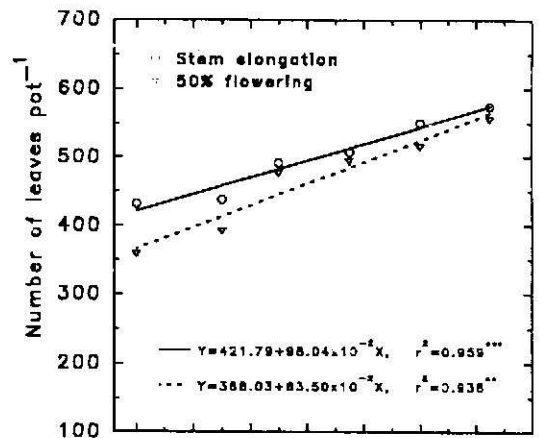
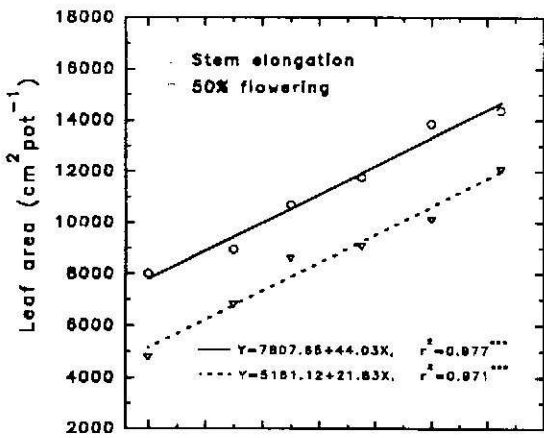
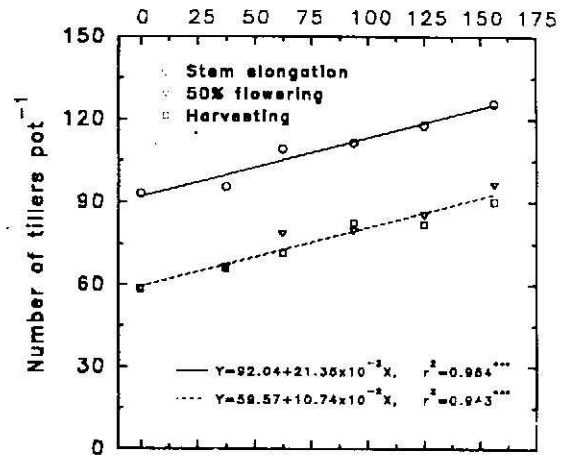
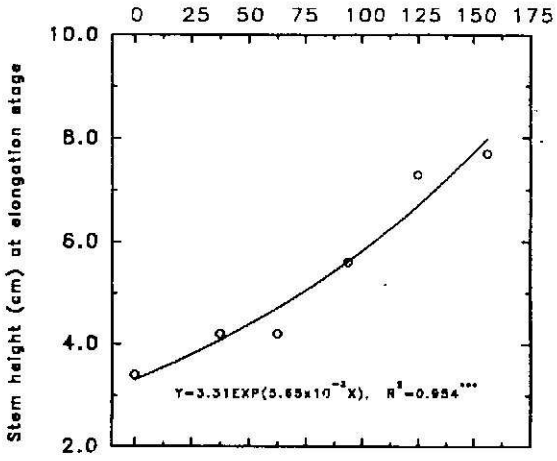
**Appendix D. Previous crop and cultural practices within farmer's field
(1995-96 wet season).**

Plot No.	Previous crop (dry season)	Number of plowing	Sowing date		Transplanting date	Harvesting date	
			WSR*	TPR**		WSR	TPR
1	non	2	27/09	21/09	20/10	13/02	13/02
2	rice	2	13/09	06/09	28/09	17/02	17/02
3	rice	2	29/09	01/09	02/10	13/02	18/01
4	non	3	05/09	30/08	05/10	17/02	30/01
5	non	2	14/09	31/08	20/09	23/01	17/01
6	non	2	27/09	10/09	07/10	13/02	30/01

* wet sown rice

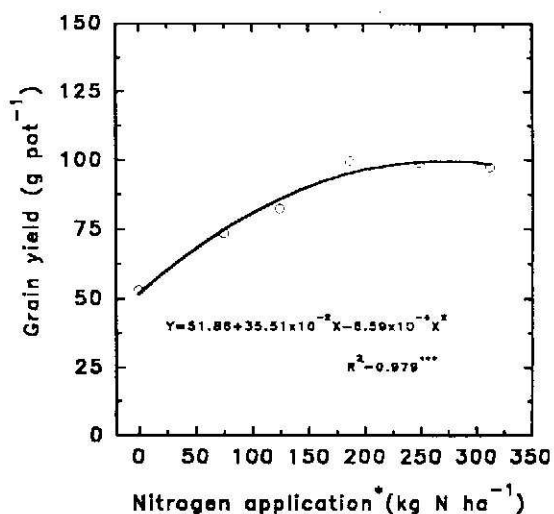
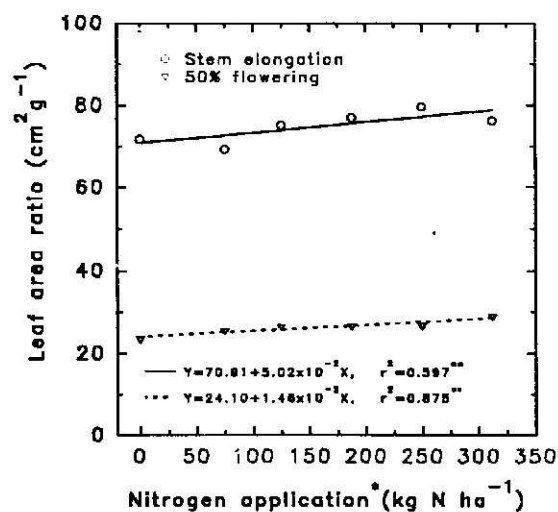
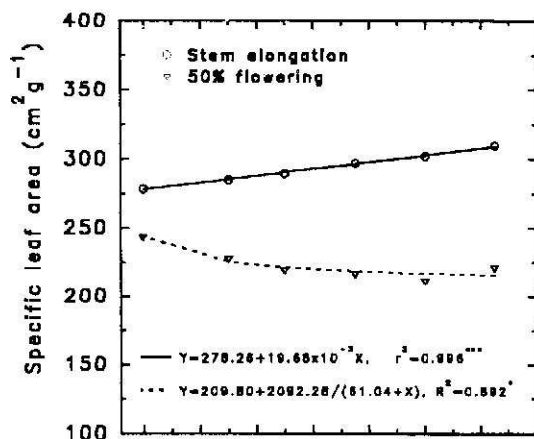
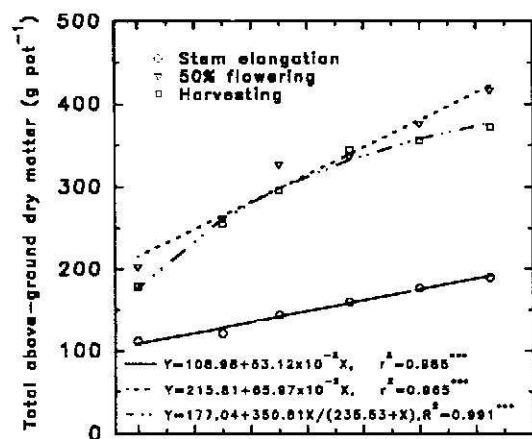
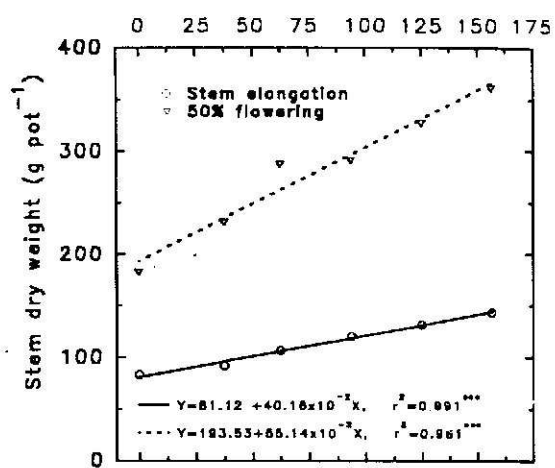
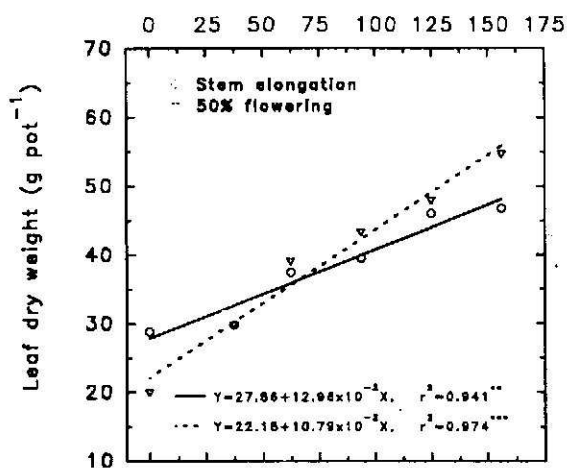
** transplanted rice

Appendix E. Responses of morphological and physiological traits to nitrogen application rates for pot experiment.



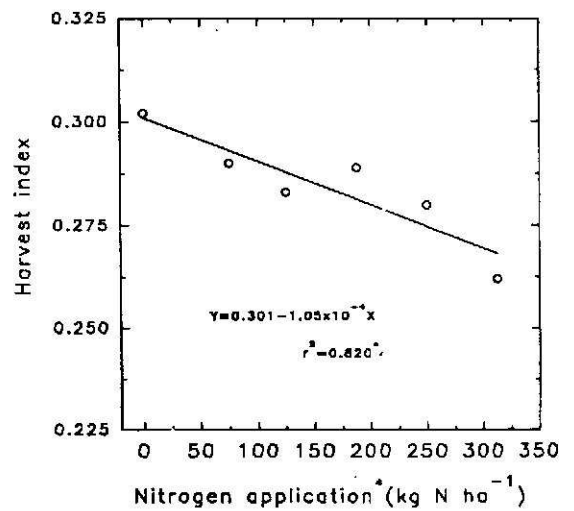
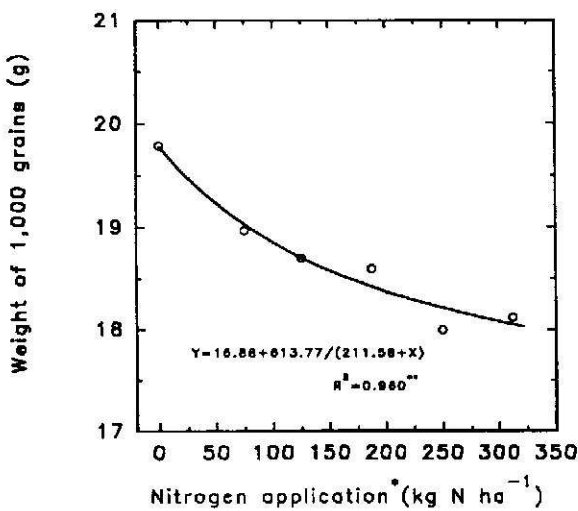
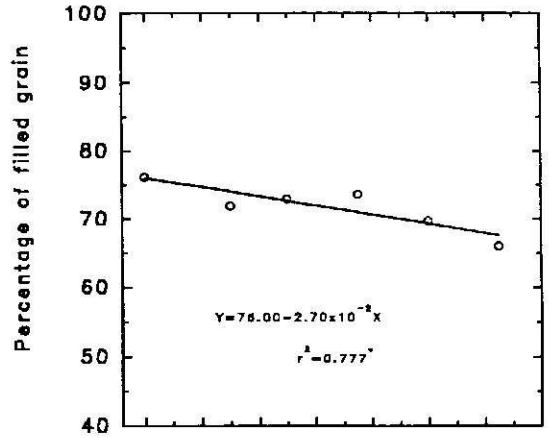
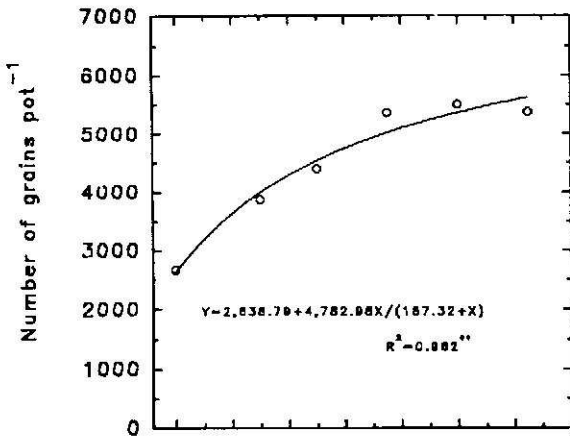
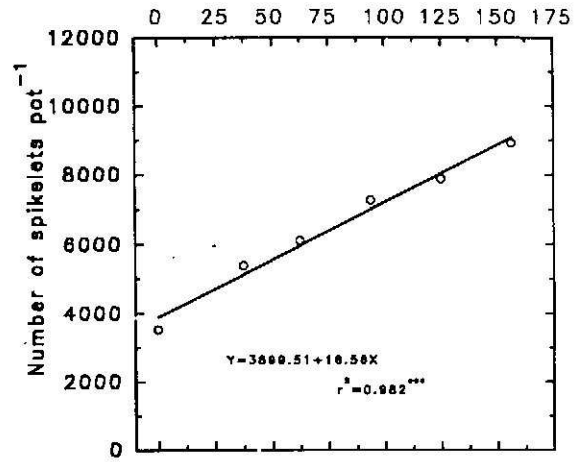
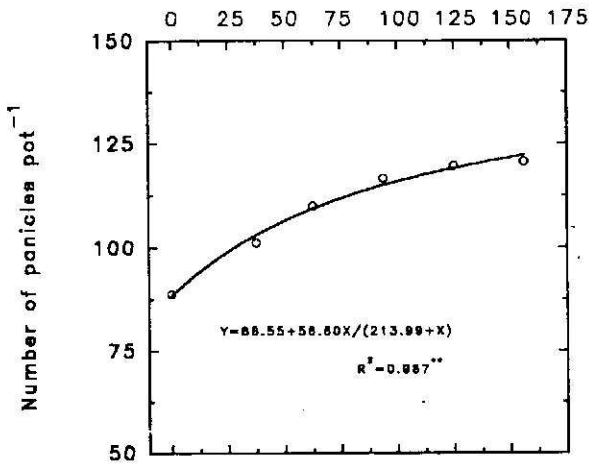
* At stem elongation (above x-axis): N1=37.5, N2=62.5, N3=93.75, N4=125 and N5=156.25 kg N ha^{-1} .

At 50% flowering and harvesting (below x-axis): N1=75, N2=125, N3=187.5, N4=250 and N5=312.5 kg N ha^{-1} .



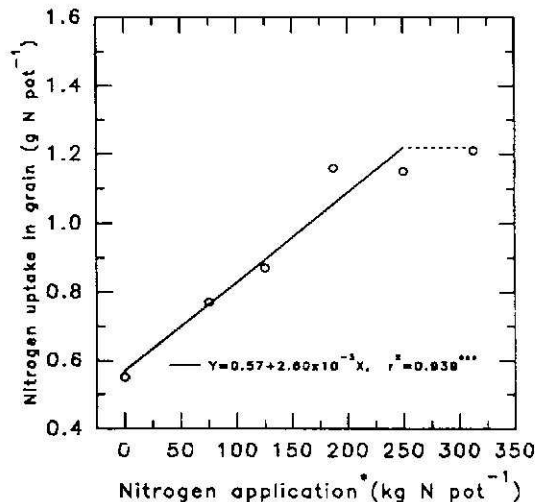
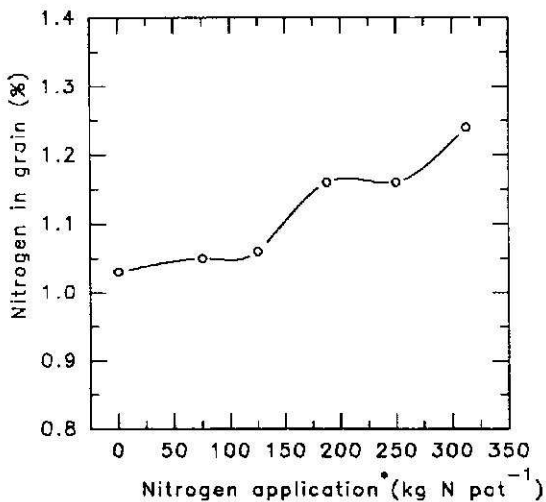
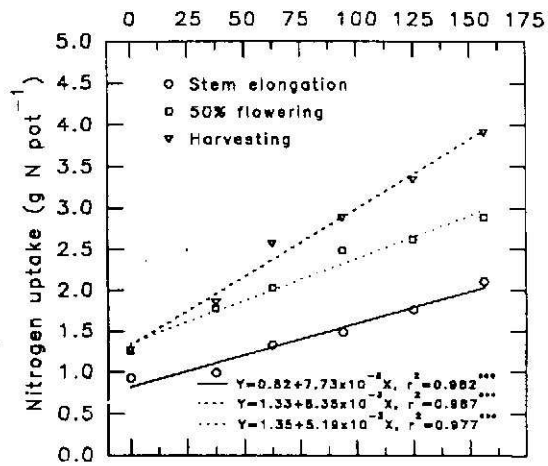
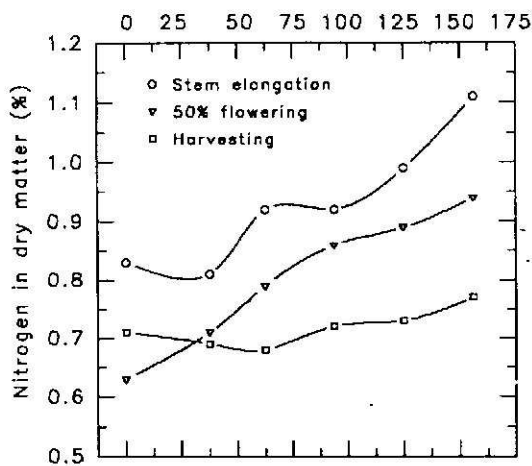
* At stem elongation (above x-axis): N1=37.5, N2=62.5, N3=93.75, N4=125 and N5=156.25 kg N ha⁻¹.

At 50% flowering and harvesting (below x-axis): N1=75, N2=125, N3=187.5, N4=250 and N5=312.5 kg N ha⁻¹.



* At stem elongation (above x-axis): N1=37.5, N2=62.5, N3=93.75, N4=125 and N5=156.25 kg N ha⁻¹.

At 50% flowering and harvesting (below x-axis): N1=75, N2=125, N3=187.5, N4=250 and N5=312.5 kg N ha⁻¹.



*At stem elongation (above x-axis): N1=37.5, N2=62.5, N3=93.75, N4=125 and N5=156.25 kg N ha⁻¹.

At 50% flowering and harvesting (below x-axis): N1=75, N2=125, N3=187.5, N4=250 and N5=312.5 kg N ha⁻¹.