บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยางธรรมชาติ

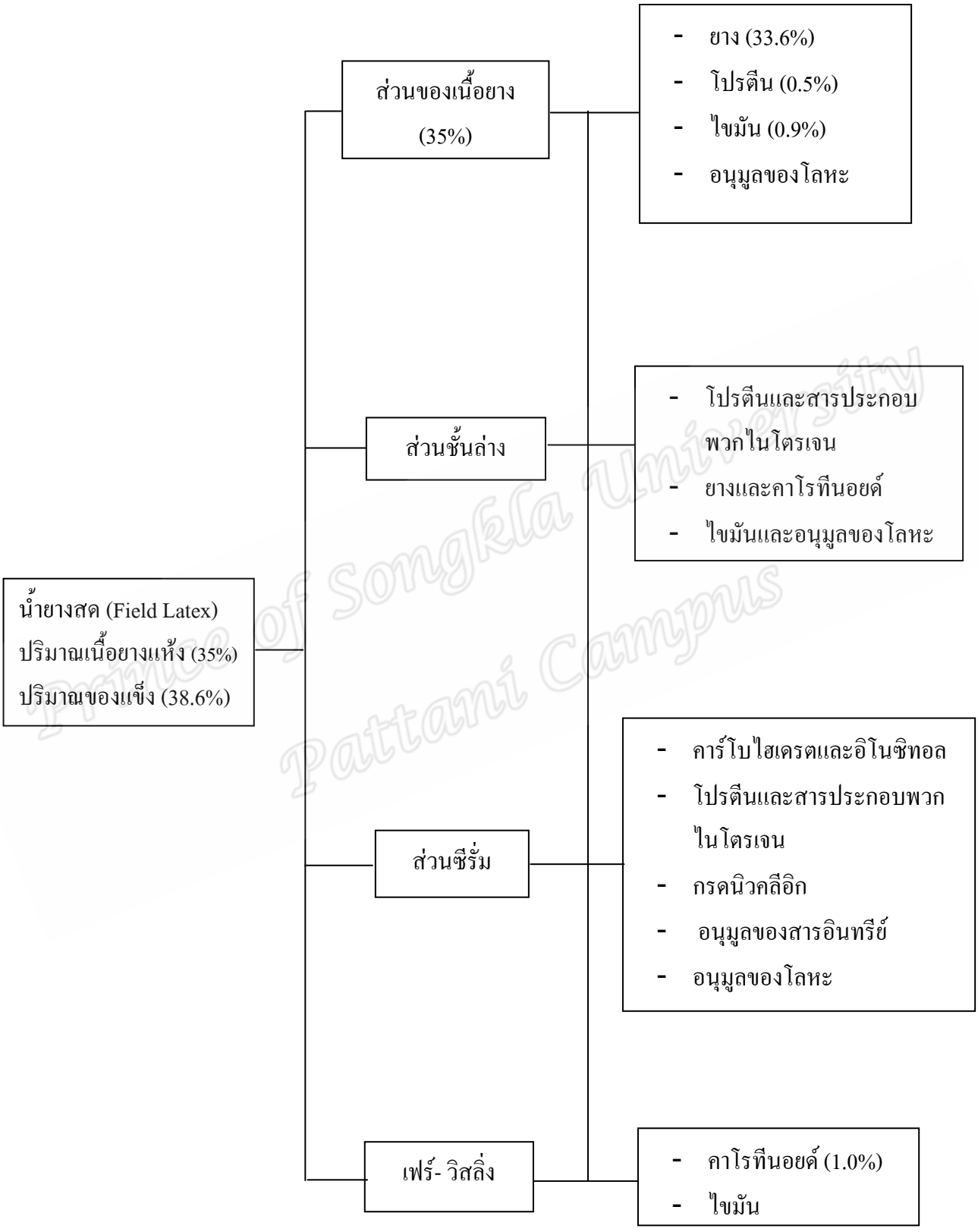
น้ำยางสดจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis* L.) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม มีความหนาแน่น 0.97-0.98 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าพีเอช 6.5-7.0 โดยมีส่วนประกอบของสารต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางอาจไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ อายุต้นยาง การกรีด ฤดูกาล เป็นต้น (Brydson, 1978)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (Brydson, 1978)

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36 (เป็นเนื้อยางแห้งร้อยละ 33)
สารที่เป็นโปรตีน	1.0-1.5
สารประกอบพวกเรซิน	1.0-2.5
เถ้า	น้อยกว่า 1.0
น้ำตาล	1.0
น้ำ	ประมาณ 60

เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงประมาณ 2,000- 3,000 เท่าของแรงดึงดูดของโลก จะสามารถแยกน้ำยาง ออกได้ 4 ส่วน เรียงจากด้านบนสู่ด้านล่างของภาชนะ ได้แก่ ส่วนของเนื้อยาง ส่วนของชั้นล่าง ส่วนซีรั่ม และส่วน เฟรย์ – วิสลิ่ง (รูปที่ 2.1) ส่วนของเนื้อยางอาจมีของแข็งอื่น เช่น อนุมูลของโลหะอื่นเจือปนบ้างเล็กน้อย ส่วนที่ติดอยู่กับเนื้อยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง เป็นอนุภาคของเฟรย์ – วิสลิ่ง เซรุ่มจะมีสีใสปนเหลือง เป็นฟองง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส ทองแดง โพแทสเซียมและแมกนีเซียม ส่วนที่อยู่ล่างสุดเป็นตะกอนสีเหลือง น้ำตาลคล้ำหรือสีขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกโลหะหนัก เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และ ขี้เถ้า (เสาวนีย์, 2543)

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก (เสาวนีย์และคณะ, 2547)

Prince of Songkla University Pattani Campus

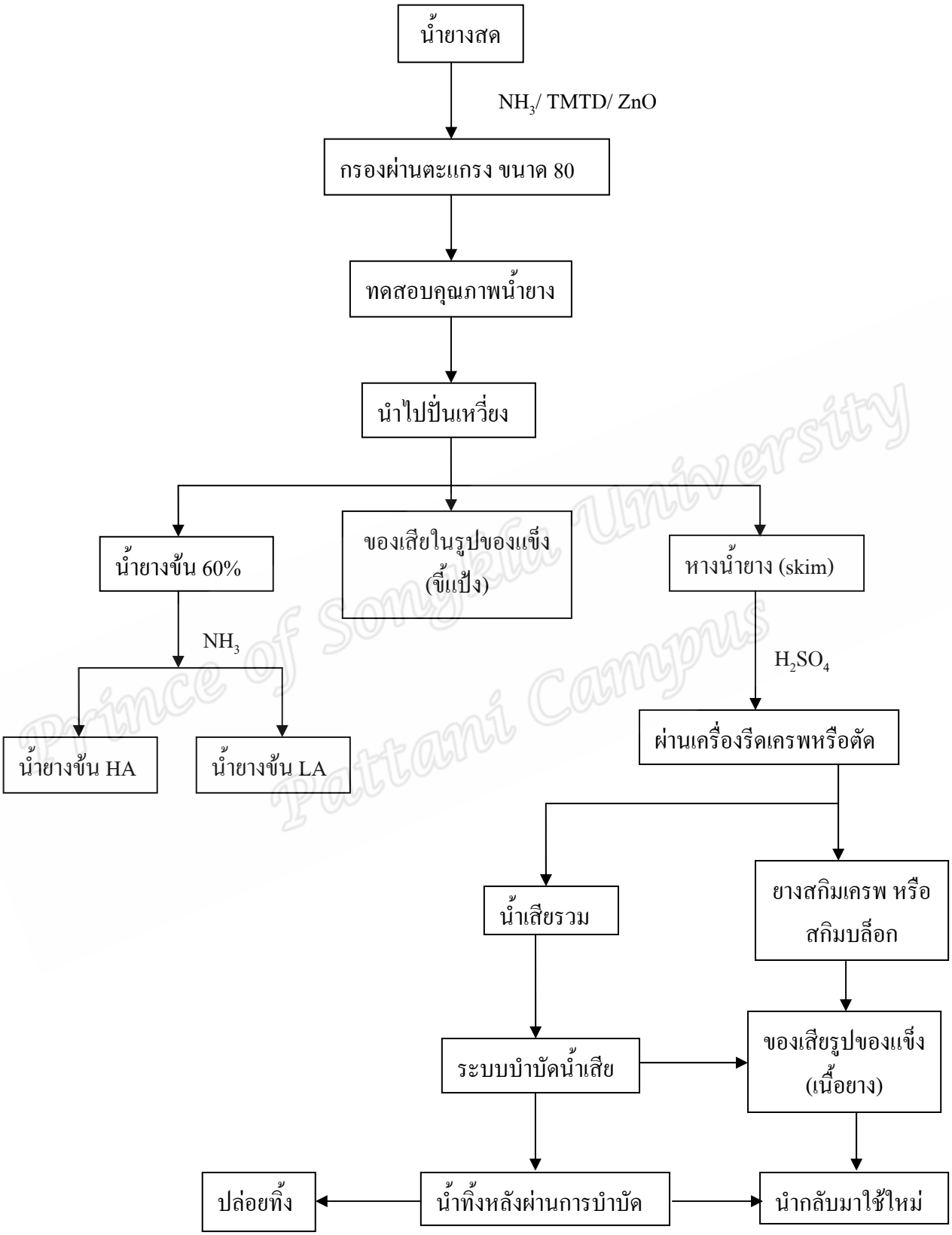
2.2 การผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางสดโดยวิธีการปั่นมีขั้นตอนการผลิต แสดงดังในรูปที่ 2.2 น้ำยางสดจากสวนยางต้องมีการเติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางป้องกันน้ำยางจับตัว เมื่อน้ำยางสดเข้าโรงงานผลิตน้ำยางข้น จะกรองผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช ลงสู่ถังรวมและลงตัวอย่างน้ำยางมาทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หลังจากนั้นผ่านแก๊สแอมโมเนียสู่น้ำยางปริมาณไม่ต่ำกว่า 0.4% ของน้ำหนักยาง นอกจากนี้ยังมีการเติมเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (tetramethyl-thiuram disulfide, TMTD) สังกะสีออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) เพื่อรักษาสภาพน้ำยางและป้องกันการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำยาง เพื่อลดการระเหยกรดไขมัน โดยจะใช้ ZnO และ TMTD ในอัตราส่วนเท่ากัน คือร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักยาง ตั้งทิ้งไว้ 1 วันเพื่อให้น้ำยางที่ได้ตกตะกอนสิ่งแปลกปลอมออก นำมาทดสอบปริมาณแมกนีเซียม หากน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงมากกว่า 50 ppm ต้องเติมสารไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (diammonium phosphate, $(NH_4)_2PO_4$) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียม ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (เมื่อปั่นเป็นน้ำยางข้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm) หลังจากนำน้ำยางไปปั่นเหวี่ยงได้น้ำยางข้นชนิด 60 % เก็บรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย 0.7% เรียกว่าน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia, HA) ถ้าใช้แอมโมเนีย 0.2 % ร่วมกับสารช่วยเก็บรักษาน้ำยาอื่นเรียกว่าน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia, LA) ส่วนของหางน้ำยางนำมาจับตัวเนื้อยางด้วยกรดซัลฟิวริค แล้วผ่านเครื่องรีดเครพหรือตัดย่อยทำสกิมเครพหรือสกิมบล็อก ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น นอกเหนือจากผลผลิตที่ได้ยังมีน้ำทิ้งและกากตะกอนต่างๆ ที่อยู่ในรูปของแข็งที่เรียกว่า ตม หรือ กากขี้แป้ง (วราศรี, 2543)

2.3 กากขี้แป้ง

กากขี้แป้ง เกิดจากส่วนของการตกตะกอนในถังพักน้ำยางสดและกระบวนการปั่นน้ำยางสดในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น (วันชัย, 2540) ลักษณะของกากขี้แป้ง เป็นของแข็ง สีขาวหรือสีเหลืองอ่อน เนื่องจากมีแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (สมทิพย์ และคณะ, 2545) ในทางเคมี เรียกว่า ตะกอนของแมกนีเซียม แอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งเกิดจากการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sathyaseelan, 2006) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำยางที่มีอยู่เดิม โดยอัตราการเกิดกาขี้แป้งต่อน้ำยางสด พบว่า น้ำยางสด 1 ตัน ทำให้เกิดกากขี้แป้งเฉลี่ย 9.7 กิโลกรัม (วราศรี, 2543) นอกจากนี้กากขี้แป้งยังประกอบด้วย สิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ฝุ่น ทรายเปลือกไม้ มีนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของกากขี้แป้ง วราศรี (2543) ได้ทำการวิเคราะห์กากขี้แป้ง พบว่าธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โพแทสเซียมในรูป K_2O แมกนีเซียม และสังกะสี อยู่ในช่วง 2.06-2.14, 19.6-21.6, 1.8-2.1, 5.31-7.56 และ 1.01-0.51 ร้อยละ

โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสสูงเช่นเดียวกับรายงานของ Sathyaseelan (2006) พบว่า กากขี้แป้งมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.49 และมีไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และสังกะสีปริมาณ เฉลี่ยร้อยละ 6.05, 35.98 และ 6.86 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการศึกษาการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากขี้แป้งน้ำยางข้นของเสาวนีย์ และคณะ (2547) พบว่า มีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โพแทสเซียมในรูป K_2O แมกนีเซียม และสังกะสี เฉลี่ยร้อยละ 3.31, 14.69, 1.01, 12.24 และ 0.63 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ กากขี้แป้งที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง จึงทำให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ทำให้มีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้น ส่วนใหญ่โดรงงานจะนำกากขี้แป้งที่เกิดขึ้นไปถมที่ หรือกำจัดโดยการฝังกลบและเผาทิ้ง ในปัจจุบันมีการนำกากขี้แป้งไปประยุกต์ใช้ในการทำปุ๋ย วัสดุปลูก หรือวัสดุปรับปรุงดิน โดย วราศรี (2543) ได้นำกากขี้แป้งมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยในการปลูกหญ้านวลน้อยพบว่า กากขี้แป้งทำให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ดี และมีสมบัติในการช่วยปรับสภาพดิน และทำให้ดินมีพีเอชเป็นกลาง วลัยพร (2547) ศึกษาการใช้ประโยชน์กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในรูปสารบำรุงดิน โดยนำกากขี้แป้งของเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น มาใช้ร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งในการทำเป็นวัสดุบำรุงดินโดยพบว่าไม่มีข้อจำกัดในการนำกากขี้แป้งและกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทดลองปลูกผักกาดหอม มะเขือเทศและข้าว พบว่าผลผลิตที่ได้จากพืชมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี ส่วนวิภาพรรณ (2550) ศึกษาการใช้ประโยชน์กากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น กากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำและน้ำมันปาล์ม ในการปลูกหญ้าสนาม พันธุ์นวลน้อย พบว่า สามารถปลูกหญ้านวลน้อยได้ดีเมื่อเทียบกับหน้าดินที่มีการเติมปุ๋ย จากแนวทางการศึกษาข้างต้นพบว่ากากขี้แป้งสารทาถนำไปใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรได้



รูปที่ 2.2 การผลิตน้ำยางข้นและการเกิดของเสียของโรงงานน้ำยางข้น (เสาวนีย์และคณะ, 2547)

2.4 จุลินทรีย์ EM

2.4.1 ชนิดจุลินทรีย์ EM

EM ย่อมาจาก Effective Microorganisms หมายถึง กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่ง ศ.ดร. เทรูโอะ ฮิงะ นักวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญสาขาพืชสวน มหาวิทยาลัยริวกิว ประเทศญี่ปุ่น ได้ศึกษาทดลองคัดและเลือกสรรจุลินทรีย์ต่างๆ จากธรรมชาติรวมกันได้ 5 กลุ่ม (Families) 10 จีนัส (Genus) 80 ชนิด (Species) (บริษัท อี เอ็ม คิวเซ, 2546) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 จุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย (Filamentous fungi) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย สามารถทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มีสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี ปกติใช้เป็นหัวเชื้อผลิตเหล้า ผลิตปุ๋ยหมัก

กลุ่มที่ 2 จุลินทรีย์พวกสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic microorganisms) คือกลุ่มที่ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่ดิน เช่น ไนโตรเจน กรดอะมิโน น้ำตาล วิตามิน ฮอร์โมน และสารประกอบอื่นๆ เพื่อสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ดิน

กลุ่มที่ 3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (Zynogumic or Fermented microorganisms) มีผลทำให้พืชต้านทานโรค (Disease resistant) ช่วยลดการพังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิด ของพืชและสัตว์ สามารถบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษต่างๆ ได้

กลุ่มที่ 4 จุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing microorganisms) ซึ่งมีทั้งที่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และพวกแบคทีเรีย ทำหน้าที่ตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศเพื่อให้ดินผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต เช่น โปรตีน กรดอินทรีย์ กรดไขมัน แป้ง ฮอร์โมน และ วิตามิน

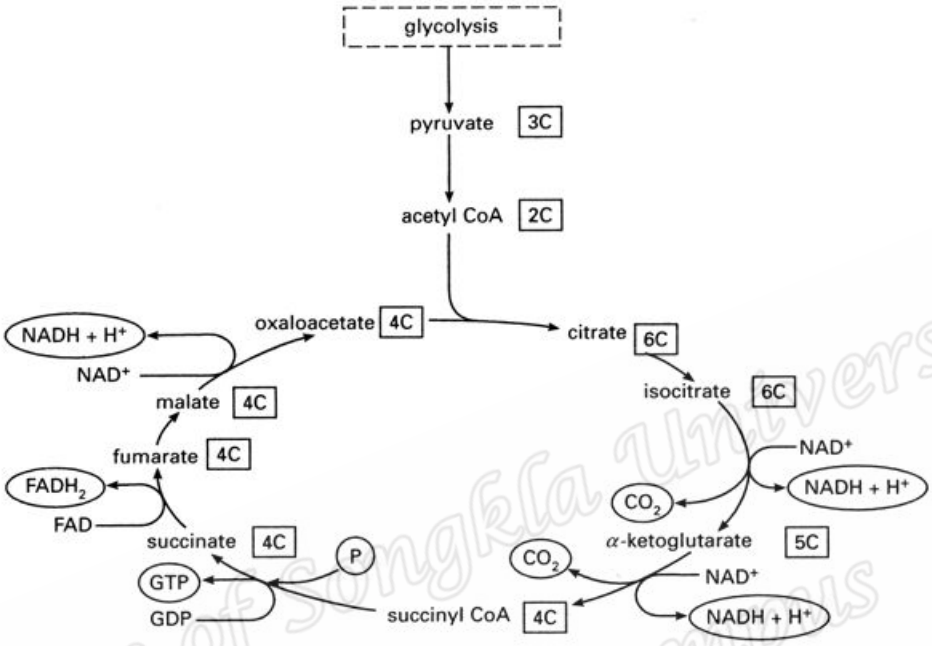
กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแลคติก (Lactic acids) มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อรา และแบคทีเรีย ที่เป็นโทษ ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ ที่ไม่ต้องการอากาศหายใจ ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินเน่าเปื่อย หรือดินก่อโรคให้เป็นดิน ที่ต้านทานโรค ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืช

2.4.2 กลไกการย่อยสลายสารโดยจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีหลายชนิดด้วยกัน โดยแบ่งตามความต้องการสารอาหารแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม พวกที่ได้สังเคราะห์อาหารเอง (Autotrophic bacteria) โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถสามารถใช้พลังงานแสง หรือการออกซิไดส์สารอนินทรีย์เพื่อใช้ในการสร้าง ATP และพวกที่ได้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุ (Heterotrophic bacteria) ซึ่งจะเป็นกลุ่มที่สำคัญที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปสารอนินทรีย์ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยสารอินทรีย์

Prince of Songkla University Pattani Campus

เหล่านี้อาจเป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือกรดไขมัน ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานเกิดขึ้นได้หลายวิถีทาง เช่น ไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบ จากนั้นจะเข้าสู่การถ่ายทอดอิเล็กตรอน เพื่อให้ได้ ATP ซึ่งเป็นพลังงานที่จุลินทรีย์ต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 การย่อยสลายกลูโคส โดยผ่านวิถีไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครบ (พัชรา, 2544)

ในสภาวะที่มีอากาศ กลูโคสจะเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิสได้เป็นกรดไพรูวิก ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม จากนั้นกรดไพรูวิก จะเปลี่ยนเป็น อะซิติลโคเอเข้าสู่วัฏจักรเครบและการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป ได้เป็นผลิตภณฑ์ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{การหมัก}} C_3H_4O_3 \xrightarrow{\text{การหายใจ}} CO_2 + H_2O + ATP$$

ในสภาวะไร้อากาศกลูโคสจะเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิสได้เป็นกรดไพรูวิก ซึ่งมำนวนคาร์บอน 3 อะตอม จากนั้นกรดไพรูวิกอาจเปลี่ยนเป็นกรดแลกติก หรือกรดอะซิติกต่อไปได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลาย (อภัสรา, 2537)

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{การหมัก}} C_3H_4O_3, C_3H_6O_4, C_2H_4O_2$$

ส่วนการย่อยสารอาหารพวกโปรตีนนั้น จุลินทรีย์ต้องมีการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อย ให้กลายเป็นกรดอะมิโนก่อนจึงจะนำเข้าสู่เซลล์ได้ จากนั้นกรดอะมิโนจะถูกดึงออก เหลือเฉพาะหมู่

Prince of Songkla University Pattani Campus

คาร์บอกซิลิก ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอเข้าสู่วัฏจักรเครบและการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป (ดวงพร, 2545)

โปรตีน $\xrightarrow{\text{Proteinase}}$ เปปไทด์ $\xrightarrow{\text{Peptidase}}$ กรดอะมิโน

ส่วนของหมู่อะมิโนจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

ในสภาวะที่มีอากาศ

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + R\text{-}OH + ATP$$

ในสภาวะไร้อากาศ

$$R\text{-}NH_2 + H_2O + S^{2-} \longrightarrow NH_4HS \text{ (มีกลิ่นเหม็น)}$$

2.4.3 การประยุกต์ใช้ EM

ในประเทศไทย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้นำไปวิเคราะห์แล้วรับรองว่า จุลินทรีย์ EM ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ จึงสามารถนำ EM ไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ คือ ใช้กับพืช การปศุสัตว์ การประมง และสิ่งแวดล้อม (บริษัท อี เอ็ม คิวเซ, 2546)

ปัจจุบัน EM ได้รับความนิยมขยายไปทั่วโลก เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่มีพิษภัย มีแต่ประโยชน์ถ้าสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง และมุ่งเน้นการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมทำให้การขยายการใช้ EM ไปสู่เกษตรกรและองค์กรทั่วโลกกว่า 30 ประเทศ ได้แก่ Internationnal Nature Farming Research Center Movement (INFRC) JAPAN, EM Research Organization (EMRO) JAPAN และ International Federation of Agriculture Moverment (IFOAM) GERMANY เป็นต้น นอกจากนี้สถาบันวิจัย California Certified Organics Farmers ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นสถาบันวิจัยเกษตรธรรมชาติ ได้ให้คำรับรองเมื่อ ค.ศ. 1993 ว่าเป็นวัสดุประเภทจุลินทรีย์ ที่ปลอดภัยและได้ผลจริง 100% (บริษัท อี เอ็มคิวเซ จำกัด, 2546)

มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ EM ในด้านการเกษตร โดย กนัฐยาและอุบล (2549) ได้รายงานการย่อยสลายกากขี้แป้งด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้กากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานีและสงขลา ซึ่งมีปริมาณของแข็งในกากขี้แป้ง คิดเป็นร้อยละ 58.5 และ 56.1 ตามลำดับ เมื่อนำกากขี้แป้งจากทั้งสองแหล่งไปหมักโดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในปริมาณร้อยละ 30, 60, 90 ของปริมาณของแข็งในกากขี้แป้ง เป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณของแข็งในกากขี้แป้งในจังหวัดปัตตานีและสงขลามีค่าลดลงเหลือร้อยละ 38.8, 40.2, 42.5 และ 50.5, 50.3, 50.1 ตามลำดับ โดยที่สภาวะของการหมักอยู่ในช่วง 27.0-27.3 องศาเซลเซียส และ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.6-8.3 นอกจากนี้ จรัญ (2542) ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตน้ำยางพาราที่ได้จากการใช้ปุ๋ย EM และปุ๋ยเคมีอนินทรีย์ในการปลูกต้นยางพารา ปรากฏว่าภายในระยะเวลา 1 ปี ต้นยางที่ได้รับ EM ให้ผลผลิตน้ำยางพารา สูงกว่าต้นยางที่ได้รับปุ๋ยเคมี ส่วนสภาพของสวนยาง พบว่าหน้าดินร่วนซุย รากยางขึ้นมาหน้าดินเป็นสีขาว มีปริมาณไส้เดือนอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก หน้ายางไม่เป็นโรคใบร่วง จากการวิเคราะห์ทางด้านผลผลิตการลงทุนและผลตอบแทน พบว่าการใช้ EM มีต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมัก 2,240 บาทต่อตัน หากใช้ปุ๋ยเคมีจะมีต้นทุน 8,000 บาทต่อตัน ดังนั้นการใช้ EM จะทำให้ต้นทุนลดลงมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตน้ำยางพารา นอกากนี้ยังพบว่าEM สามารถย่อยสลายกากอินทรีย์ทางการเกษตรได้ดี เช่น การทำปุ๋ยหมัก โดยใช้ มูลสัตว์ ขี้เลื่อย รำข้าว ฟางข้าว เป็นส่วนผสมในการทำปุ๋ยหมัก ทำให้การย่อยสลายเกิดได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ EM ยังสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย โดยจะช่วยลดตะกอนในน้ำเสียให้น้อยลง (Nathan *et al*., 2003) ส่วน Khaliq *et al.* (2006) ได้ศึกษาผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของฝ้ายและปริมาณเมล็ดฝ้ายในประเทศปากีสถานโดยใช้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ร่วมกับ EM 7 ชุดทดลอง ผลปรากฏว่า การใช้สารอินทรีย์ และใช้ EM เพียงอย่างเดียว พบว่าปริมาณผลผลิตไม่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้สารอินทรีย์ร่วมกับ EM พบว่าผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 44 การใช้ NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์ทำให้ผลผลิตของฝ้ายมีปริมาณสูงสุด ส่วนการใช้ธาตุอาหาร NPK อย่างเดียวให้ผลผลิตเท่ากันกับการใช้ ½ ธาตุอาหาร NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์ โดยการใช้ ทั้ง NPK และ ½ ธาตุอาหาร NPK ร่วมกับ EM มีผลทำให้ปริมาณ NPK ในพืชเพิ่มขึ้น

2.5 สารปรับปรุงดิน (Soil amendment)

สารปรับปรุงดิน คือ สารที่ใส่ลงไปในดินแล้ว ทำให้สภาพทางเคมี ทางกายภาพและชีวภาพของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอาจจะมีธาตุอาหารพืชปะปนอยู่ในสารนั้นแต่วัตถุประสงค์ใช้สารปรับปรุงดิน จะไม่เน้นการเพิ่มเติมธาตุอาหารพืช (www.doae.go.th, 2547) สารปรับปรุงดินสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.5.1 สารปรับปรุงสภาพทางเคมีของดิน

สภาพทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด- เป็นด่างของดิน และความเค็มของดิน ซึ่งถ้าอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม พืชก็ไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ หรือ เจริญเติบโตไม่ถึงศักยภาพที่ควรจะเป็น สารที่ใช้ปรับปรุงสภาพทางเคมีของดิน ได้แก่

1. ปูน (Lime) เมื่อใส่ลงในดินจะทำปฏิกิริยาสะเทินความเป็นกรดของดินทำให้ระดับความเป็นกรด- เป็นด่างของดินอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

Prince of Songkla University Pattani Campus

2. ยิปซัม (Gypsum) เป็นสารปรับปรุงดินที่ใช้แก้ปัญหาดินเค็ม ยิปซัมเป็นแร่ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติมีแคลเซียมซัลเฟตเป็นองค์ประกอบหลักไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96 เกิดจากการตกตะกอนของแคลเซียมซัลเฟตซึ่งอยู่ในน้ำทะเลและได้จากโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีฟอสเฟต (Jalali, 1990)

2.5.2 สารปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน

สภาพทางกายภาพของดิน ได้แก่ สมบัติทางด้านความโปร่ง ความร่วนซุยหรือความแน่นทึบมีผลโดยตรงต่อการถ่ายเทอากาศและการอุ้มน้ำของดิน การปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน มีหลายชนิด เช่น

การเกิดแผ่นแข็งบนผิวดิน

การเกิดแผ่นแข็งบนผิวหน้าดินเป็นปัญหาต่อการปลูกพืชที่พบมากบนพื้นที่แถบแห้งแล้งกึ่งแห้งแล้ง เป็นอุปสรรคต่อการงอกของเมล็ด วิธีการป้องกันหรือลดปัญหาการเกิดแผ่นแข็งบนผิวหน้าดินทำได้หลายวิธี เช่น การพรวนดินการใช้วัสดุคลุมดินและการใช้สารปรับปรุงดินที่เป็นอินทรียวัตถุจะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ผลดี ถ้าใช้ในปริมาณที่มากพอ สารปรับปรุงดินอินทรียวัตถุที่สำคัญ มีดังนี้

1. สาร PAM มีชื่อการค้าว่า “Syaram” เป็นสารประกอบอินทรีย์พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลของมอโนเมอร์ (monomer) ต่อกันเป็นเส้นยาว มีสมบัติโดยทั่วไปละลายน้ำได้ดีและมีความสามารถในการเชื่อมอนุภาคแร่ดินเหนียวเข้าด้วยกัน ซึ่งทำให้เม็ดดินมีความต้านทานต่อการกระแทกของฝนหรือน้ำ

2. ยิปซัม หรือฟอสโฟยิมซั่ม การใช้ยิมซั่มหรือฟอสโฟยิมซั่มช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพบางประการของดินให้ดีขึ้น เช่น การจับกันเป็นแผ่นแข็งที่ผิวดินน้อยลง ดินมีการแทรกซึมน้ำดีขึ้น

3. ไลม์-ซัลเฟอร์ (Lime-sulfur) หรือสารประกอบแคลเซียมไพลีซัลไฟด์ เมื่อใส่ลงไปในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งดินโซดิกหรือดินเค็ม ทำให้ดินเกิดการจับกันเป็นแผ่นแข็งบนผิวดินน้อยลง เช่นเดียวกับยิปซัม

ความแน่นทึบหรือการอัดตัวของดิน

ความแน่นทึบหรือความอัดตัวของดิน เป็นสมบัติทางกายภาพของดินที่ก่อให้เกิดปัญหาในการผลิตพืช สาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินอัดตัวกัน เชื่อมกันและทำให้มีสภาพแน่นทึบเองตามธรรมชาติ เกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดเนื้อดิน โครงสร้างของดิน องค์ประกอบทางเคมีของดิน และสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ

Prince of Songkla University Pattani Campus

การแก้ไขปัญหาความแน่นทึบของดินอาจปฏิบัติได้ในหลายแนวทาง ได้แก่

1. การใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรบางชนิด เช่น ไถดินดาน

2. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือสารอินทรีย์เพื่อปรับสภาพดินและส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและสัตว์ในดิน เช่น ไส้เดือน

3. การใช้สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ เช่น

1. ยิปซัม การใช้ยิปซัมเป็นครั้งคราวหรืออย่างต่อเนื่องพบว่าช่วยแก้ปัญหาการอัดแน่นหรือความแน่นทึบของชั้นดินใต้ผิวดินบนได้

2. ไลม์-ซัลเฟอร์หรือสารประกอบแคลเซียมโพลีซัลไฟด์ บทบาทการแก้ปัญหาการอัดตัว หรือความแน่นทึบของดินใต้ผิวดินมีกลไกเหมือนกับกรณีการใส่ยิปซัม

3. สารประกอบทางเคมีในรูปแอมโมเนียมลอริลซัลเฟต (Ammonium lauryl sulfate, ALS) เป็นสารลดแรงตึงผิวฤทธิ์อ่อนที่มีประจุลบ มีการใช้สารชนิดนี้แก้ปัญหาการอัดแน่นของดินและการเคลื่อนที่แทรกซึม และการซึมลงของน้ำในดิน เมื่อใส่สารแอมโมเนียมลอริลซัลเฟตลงในดิน ประจุลบ ของอนุมูลซัลเฟตจะดึงโมเลกุลของน้ำที่ดูดอยู่ที่ผิวดินโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับไฮโดรเจนอะตอมน้ำ ทำให้โมเลกุลของน้ำบางส่วนโดยเริ่มจากชั้นนอกสุดถูกดึงออกไปจากผิวดินทำให้ดินที่เคยแน่นมีความแน่นน้อยลง (www.doae.go.th, 2547)

2.5.3 สารปรับปรุงความจุในการอุ้มน้ำของดิน

ความจุในการอุ้มน้ำของดินตามธรรมชาติขึ้นกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าและมีเนื้อละเอียดกว่าจะอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าและมีเนื้อหยาบกว่า สารปรับปรุงบำรุงดินที่มีสมบัติช่วยเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดินที่สำคัญบางชนิดได้แก่ (www.doae.go.th, 2547)

1. สารพอลีเมอร์ดูดน้ำ (superabsorbent polymer) ต้องมีความสามารถดูดน้ำได้เองตามธรรมชาติประมาณ 20 เท่าของน้ำหนักสารเป็นอย่างน้อย โดยทั่วไปนิยมผลิตออกมาใช้ในทางการเกษตรในรูปครอสลิงค์พอลีเมอร์อครีลามีดส์ ที่มีสมบัติดูดน้ำเต็มที่ได้เร็วปานกลาง แต่น้ำที่ดูดไว้ส่วนใหญ่เป็นประโยชน์ต่อพืช

2. แอนไอโอนิคพอลีอครีลามีดส์ ยิปซัม และไลม์-ซัลเฟอร์ มีผลต่อการลดปัญหาการเกิดแผ่นแข็งบนผิวดิน ในทางอ้อมมีส่วนช่วยทำให้น้ำแทรกซึมลงดินได้มากขึ้นแทนที่จะสูญเสียไปโดยการไหลบ่า ทำให้ดินมีโอกาสดูดน้ำไว้ได้มากขึ้น

3. แคลไซน์เคลย์ (Calcined clay) เป็นผลิตภัณฑ์จากแร่ดินเหนียวที่เตรียมไว้โดยการนำแร่ดินเหนียวเผาที่อุณหภูมิสูงแล้วทำให้แห้ง ซึ่งในการเผาด้วยความร้อนสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยน

Prince of Songkla University Pattani Campus

โครงสร้างของตัวแร่ให้อยู่ในรูปใหม่ซึ่ง มีความแข็งแกร่ง มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและมีความพรุนสูงทำให้เป็นประโยชน์ต่อการเก็บกักน้ำและอากาศ

4. ไอโซไลท์ (Isolite) เป็นสารเซรามิคที่เตรียมได้จากการเผาดินขาว ผลิตภัณฑ์เซรามิคชนิดนี้เป็นสารที่มีลักษณะพรุนเนื่องจากประกอบด้วยรูเล็กๆ จำนวนมากที่สามารถเก็บกักน้ำได้ สามารถใช้ปรับปรุงดินได้เนื่องจากช่วยเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดินให้สูงขึ้น

5. ซีโอไลท์ (Zeolite) เป็นสารในรูปแร่อลูมิโนซิลิเกตชนิดหนึ่งที่มีสมบัติดูดน้ำได้ดี เมื่อนำไปใช้โดยใส่ลงไปในดินจึงช่วยให้ดินมีความสามารถอุ้มน้ำได้สูงขึ้น และทำให้พืชที่ปลูกสามารถใช้น้ำในดินได้ขึ้น

6. เทอราคอตเต็ม (Terracottem) เป็นสารปรับปรุงดินที่ประกอบด้วยส่วนผสมแห้งของสารต่างๆ รวม 6 ประเภท ซึ่งประกอบด้วย พอลิเมอร์ดูดน้ำประมาณร้อยละ 40 ปุ๋ยเคมีที่ละลายน้ำง่ายและปุ๋ยประเภทปลดปล่อยช้าประมาณร้อยละ 10 สารตัวเร่งการเจริญเติบโตของพืช ชนิดต่างๆ ร้อยละ 0.25 สารนำพาหรือสารตัวเติม (filler) ประมาณร้อยละ 50 เพื่อใช้เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และช่วยบำรุงดินและเร่งการเจริญเติบโตของพืชไปพร้อมๆ กัน

2.5.4 สารปรับปรุงดินที่เป็นสารอินทรีย์

1. พีท (Peat) เกิดจากการเน่าเปื่อยทับถมกันเป็นเวลาหลายร้อยปีของซากพืชซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีฝนตกชุก มีความชื้นสูง คุณภาพของพีทขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพภูมิประเทศ พีทจัดเป็นสารปรับปรุงดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง แต่มีแร่ธาตุที่จำเป็นต่ำมาก มีช่องว่างร้อยละ 94-95 พีทที่ใช้ในการปลูกพืชส่วนใหญ่เป็นพวกพีทมอส เมื่อถูกนำไปทำให้ชื้นและระบายน้ำได้ดี จะมีช่องอากาศร้อยละ 17 (พิสมัย, 2534)

2. ขี้เลื่อย (saw dust) เป็นเศษเหลือของไม้จากโรงงานแปรรูปไม้ ซึ่งก่อนนำมาปลูกพืชควรนำมาหมักให้มีการย่อยสลายก่อน เพราะขี้เลื่อยที่ใหม่อาจทำให้พืชเกิดอาการขาดไนโตรเจน และอาจมีการปล่อยสารพิษออกมาจากขี้เลื่อย (เรวัตร, 2546) ขี้เลื่อยมีช่องว่างทั้งหมดร้อยละ 58.7 มีความสามารถในการอุ้มน้ำร้อยละ 32.2 จึงถือได้ว่าขี้เลื่อยมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีมากจนอาจเป็นปัญหาเกี่ยวกับการระบายอากาศ มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.2-6.0 การใช้ขี้เลื่อยในการปลูกพืชนั้นต้องมีการเปลี่ยนทุก 1-2 ฤดูปลูกเพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงของเชื้อโรคพวก Pythium ข้อดีของขี้เลื่อยคือ มีน้ำหนักเบาและมีราคาถูก (อภิรักษ์, 2540)

3. มูลสัตว์ เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมูลสัตว์ช่วยปรับปรุงดินให้โปร่งและร่วนซุย ทำให้การเตรียมดินง่าย นอกจากนี้ยังมีปริมาณธาตุอาหารสูงทำให้ ต้นกล้าเจริญเติบโตเร็วทำให้มีโอกาสรอดได้มาก โดยมูลไก่ จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่ามูลหมู และมูลวัว มูลสัตว์ใหม่ๆ จะมี

ปริมาณธาตุอาหารสูงกว่ามูลสัตว์ที่เก่าและเก็บไว้นาน ทั้งนี้เนื่องจากส่วนที่ละลายได้ง่ายจะถูกชะล้างออกไปหมด บางส่วนจะกลายเป็นแก๊ส CO_2 และ NH_3 สูญหายไป (มุกดา, 2543) ดังนั้นต้องมีการเก็บรักษาอย่างระมัดระวัง เพื่อช่วยรักษาคุณค่าของปุ๋ยคอกไม่ให้เสื่อมคุณค่าอย่างรวดเร็ว

4. แกลบ ได้จากการสีข้าว แกลบข้าวสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่างๆ หรือผสมกับวัสดุอื่นๆทำเป็นวัสดุก่อสร้างแล้ว แกลบข้าวยังถูกนำไปผลิตเป็นขี้เถ้าแกลบ ซึ่งส่วนประกอบหลักของขี้เถ้าแกลบ คือ ซิลิกา นอกจากนี้เถ้าแกลบสามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินได้ เพราะมันมีความพรุนตัวจึงช่วยการกระจายน้ำในดินได้ นอกจากนี้ยังพบว่า เถ้าแกลบสามารถปรับสภาพดินให้มีความเป็นกรดลดลง หรือใช้แก้น้ำที่มีสภาพเป็นกรดได้ (เรวัตร, 2546)

2.6 ดิน (Soil)

ดิน หมายถึง วัตถุที่เป็นส่วนประกอบของสารซึ่งเกิดจากการสลายตัวและผุกร่อนของหิน อินทรีย์วัตถุ น้ำ และแก๊ส ทำหน้าที่เป็นเครื่องยึดเหนี่ยวของลำต้น เก็บอาหาร และน้ำ เพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตของพืช สมบัติของดินที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช คือ สามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี มีแร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่มากพอ และความเข้มข้นของสารเคมีหรือเกลือในดินไม่มากจนเป็นอันตรายต่อพืช (Teilnugutom, 2005)

ดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ดังต่อไปนี้ (www.doa.go.th, 2545)

1. ดินทราย (Sand) ประกอบด้วยทรายมากกว่า 85% มีลักษณะร่วน ดินไม่เกาะกัน เมื่อกำให้แน่นในมือขณะที่ดินแห้งแล้วคลายมือออกจะแตกร่วน ดินทรายตอบสนองต่อปูนและปุ๋ยได้เร็ว พืชสามารถใช้ได้ทันที มีธาตุอาหารต่ำ ดินต้องมีการปรับปรุงจึงจะเหมาะสมต่อการเพาะปลูก

2. ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) เป็นดินที่ประกอบด้วยทรายมากกว่า 50 % แต่ก็มีตะกอนทรายและอนุภาคดินเหนียว มากพอที่จะประสานให้เกาะกันเป็นก้อนได้ เมื่อกำให้แน่นในมือ ขณะที่ดินแห้งจะเป็นก้อนแต่แตกออกจากกันได้ง่าย

3. ดินร่วน (Loam) เป็นดินซึ่งมีส่วนประกอบของทราย ตะกอนทรายและอนุภาคดินเหนียวมากเกือบเท่ากัน เปอร์เซ็นต์อนุภาคดินเหนียวต่ำกว่าทราย และตะกอนทรายเล็กน้อย มีลักษณะอ่อนนุ่มเมื่อจับ เมื่อเปียกจะเหนียวเล็กน้อย พืชสามารถดูดธาตุอาหารและน้ำเข้าไปได้ง่าย อากาศมีการถ่ายเทได้ดี ดินมีธาตุอาหารระดับปานกลาง จัดว่าเป็นดินที่เหมาะต่อการเพาะปลูกพืช

4. ดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt Loam) เป็นดินที่ประกอบด้วยตะกอนทรายมากกว่าร้อยละ 50 ที่เหลือส่วนใหญ่เป็นทรายละเอียด ดินชนิดนี้เมื่อแห้งจะจับกันเป็นก้อนน้อย แต่ทำให้แตกออกจากกันได้ง่าย

Prince of Songkla University Pattani Campus

5. ดินเหนียว (Clay) เป็นดินเนื้อละเอียดซึ่งจะจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่อแห้ง เหนียว สามารถปั้นเป็นรูปต่างๆ ได้ ธาตุอาหารในดินจะเป็นประโยชน์ได้ขึ้นอยู่กับสภาพของดินว่าเป็นดินเปียกหรือดินแห้ง ในสภาพดินเปียกพืชจะใช้เป็นประโยชน์ได้ดีกว่าดินแห้ง ธาตุอาหารอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ดินต้องมีการปรับปรุงจึงเหมาะต่อการเพาะปลูกพืช

2.7 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช

พืชสามารถสร้างอาหารสำหรับการเจริญเติบโตได้โดยการสังเคราะห์แสง อาหารที่สร้างขึ้นได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้มาจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเจริญเติบโตและการสร้างอาหารของพืชจำเป็นต้องได้ธาตุอาหารโดยการดูดซึมจากดิน (Jones, 1979) โดยธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก มีทั้งหมด 6 ธาตุ โดยแบ่งเป็นธาตุอาหารหลัก คือไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่วนธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน

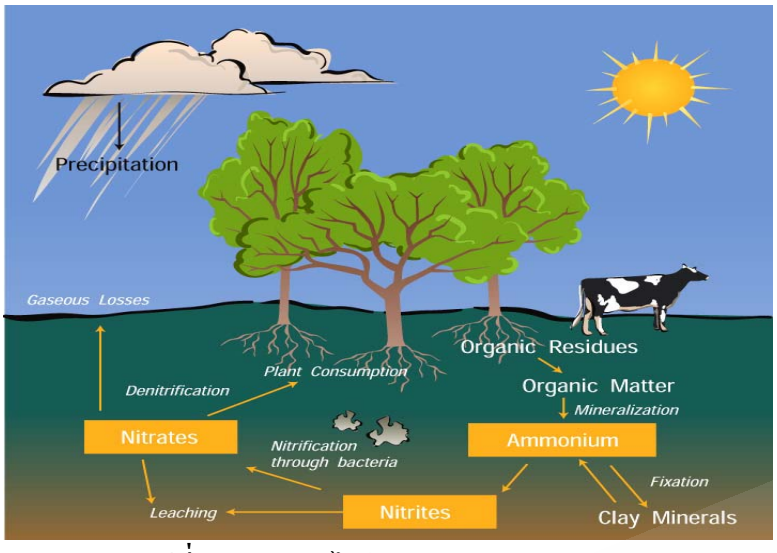
2. ธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณน้อย มี 7 ธาตุได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และ คลอรีน

ธาตุทั้งสองกลุ่มมีความสำคัญเท่าๆ กัน แตกต่างกันตรงปริมาณที่พืชต้องการเท่านั้น

2.7.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก หรือ ธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบหลายชนิดในพืช เช่น โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลิอิก และวิตามิน เป็นต้น เมื่อพืชได้รับธาตุนี้ปริมาณที่พอเพียงพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีมีความแข็งแรง โดยเฉพาะที่ใบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีสีเขียวเข้ม ไนโตรเจนเป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้ตั้งตัวได้เร็วในระยะแรก นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพ ไนโตรเจนปกติจะอยู่ในรูปของแก๊สไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก แต่พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้ ยกเว้นพืชตระกูลถั่วที่มีระบบรากพิเศษสามารถนำแก๊สไนโตรเจนจากอากาศเอามาใช้ประโยชน์ได้ ดังรูปที่ 2.4 (ยงยุทธ, 2543)

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 2.4 วัฏจักรไนโตรเจน (Gordon, 2005)

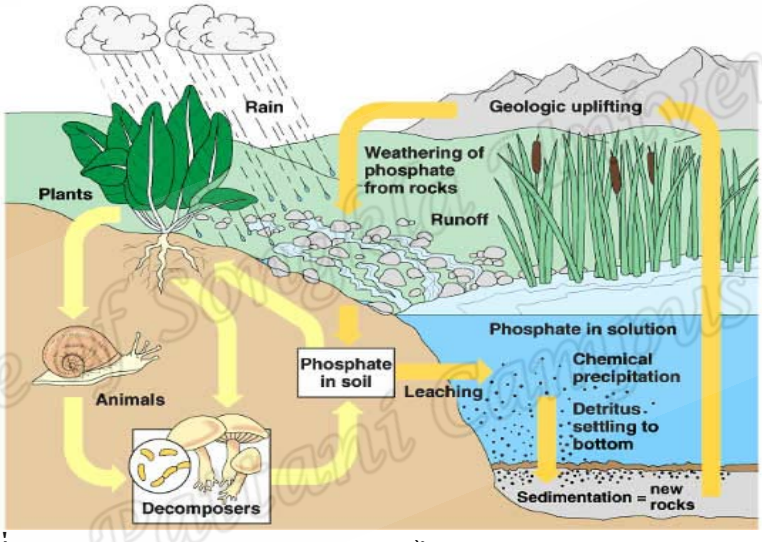
ไนโตรเจนในดินแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ๆ คือ อินทรีย์ไนโตรเจน พบว่ามีอยู่ประมาณร้อยละ 97- 98 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน และกรดนิวคลิอิก แต่ไนโตรเจนรูปนี้ พืชไม่อาจนำไปใช้ได้โดยตรง จะต้องถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนเสียก่อนและรูป อนินทรียไนโตรเจน พบว่ามีประมาณร้อยละ 2-3 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) และไนไตรท์ไอออน (NO_2^-) (รูปที่ 2.3) โดยไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบ ไนเตรทด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของแบคทีเรียในดิน เรียกแบคทีเรียเหล่านี้ว่า แบคทีเรียประเภทไนตริไฟอิง นอกจากนี้ไนเตรทบางส่วนเป็นจะเปลี่ยนแปลงเป็นแก๊สไนโตรเจน โดยแบคทีเรียประเภทดีไนตริไฟด์ ซึ่งไนโตรเจนในรูปของไนเตรท พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายที่สุดเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุด เมื่อพืชขาดไนโตรเจนจะแสดงอาการอาการผิดปกติ คือ ใบจะสูญเสียสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ลำต้นแคระแกร็น (มนูญ, 2543)

2.7.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารหลักเช่นเดียวกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีน้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยมีอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.15 (ชัยฤกษ์, 2536) แต่พืชมีความต้องการฟอสฟอรัสร้อยละ 0.3 – 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดในพืช เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟไลปิด โปรตีน และเป็นองค์ประกอบของ ATP (Jones, 1979) ฟอสฟอรัสจำเป็นสำหรับการงอก

ของเมล็ดพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากแขนงและรากฝอยในระยะแรกของการเจริญเติบโต ช่วยเร่งให้พืชแก่เร็ว และช่วยให้ดอก ผล เมล็ด เจริญได้ตามปกติ มีบทบาทในการควบคุมการสังเคราะห์ด้วยแสงเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและยังมีบทบาทต่อสมดุลของฮอร์โมนพืชอีกด้วย (Jones, 1979)

ธาตุฟอสฟอรัสในดินมีกำเนิดมาจากการสลายตัวผุพังของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้ ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-}) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน (รูปที่ 2.5) สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก (จำเป็น, 2547)



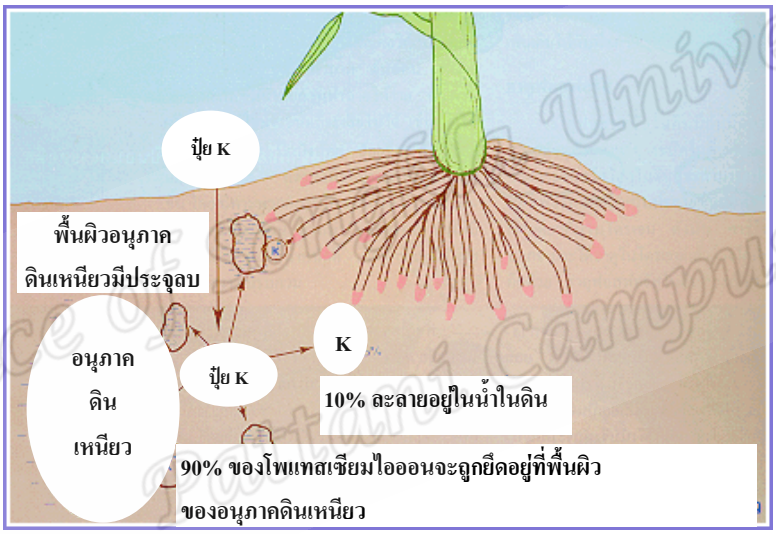
รูปที่ 2.5 วัฏจักรฟอสฟอรัส (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2541)

หากพืชขาดธาตุฟอสฟอรัสการเจริญเติบโตจะหยุดชะงักใบมีสีแดงแซม เนื่องจากพืชมีการสังเคราะห์รงค์วัตถุแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นทำให้สีของใบกลายเป็นสีม่วงเข้ม นอกจากฟอสฟอรัสจะมีบทบาทในการควบคุมการสังเคราะห์ด้วยแสงและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตแล้ว ยังมีบทบาทต่อสมดุลของฮอร์โมนพืชด้วย เนื่องจากพืชที่ขาดฟอสฟอรัสมักออกดอกช้าและจำนวนดอกน้อยกว่าปกติ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2541)

2.7.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียมมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชแต่ละชนิดต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่าง กันโดยทั่วไปความต้องการจะอยู่ในช่วงร้อยละ 2-5 โดยน้ำหนักแห้งของอวัยวะด้านวัฏภาค (ยงยุทธ, 2543)

โพแทสเซียมในดินที่พืชนำเอาไปใช้เป็นประโยชน์ได้ มาจากการสลายตัวของหินและแร่หลายชนิดในดิน (รูปที่ 2.6) โดยร้อยละ 10 ของโพแทสเซียมละลายอยู่ในน้ำ ส่วนที่เหลือจะดึงดูดกับอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบ โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปอนุมูลบวก หรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) เท่านั้นที่พืชจะดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ ถ้าธาตุโพแทสเซียมยังคงอยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกมาเป็นอนุมูลบวก พืชไม่สามารถดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ อนุมูลโพแทสเซียมในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก็ได้ ดังนั้นดินที่มีเนื้อดินละเอียด เช่น ดินเหนียว จึงมีปริมาณของธาตุนี้สูงกว่าดินพวกเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายและดินร่วนปนทราย แม้โพแทสเซียมไอออนจะดูดยึดอยู่ที่อนุภาคดินเหนียว รากพืชก็สามารถดึงดูดธาตุนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายเมื่อมันละลายอยู่ในน้ำ (Teilnugutom, 2005)



รูปที่ 2.6 การแลกเปลี่ยนโพแทสเซียมของดินและพืช (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2541)

โพแทสเซียมมีความสำคัญในการสร้างและการเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น ดังนั้นพืชพวกอ้อย มะพร้าว และมัน จึงต้องการโพแทสเซียมสูงมาก ถ้าขาดโพแทสเซียมพืชที่มีหัวจะลีบ มะพร้าวไม่มัน และอ้อยไม่มีน้ำตาล พืชที่ขาดโพแทสเซียมมักเหี่ยวง่าย แคระแกร็น ใบล่างเหลืองและเกิดเป็นรอยไหม้ตามขอบ (ชัยฤกษ์, 2536)

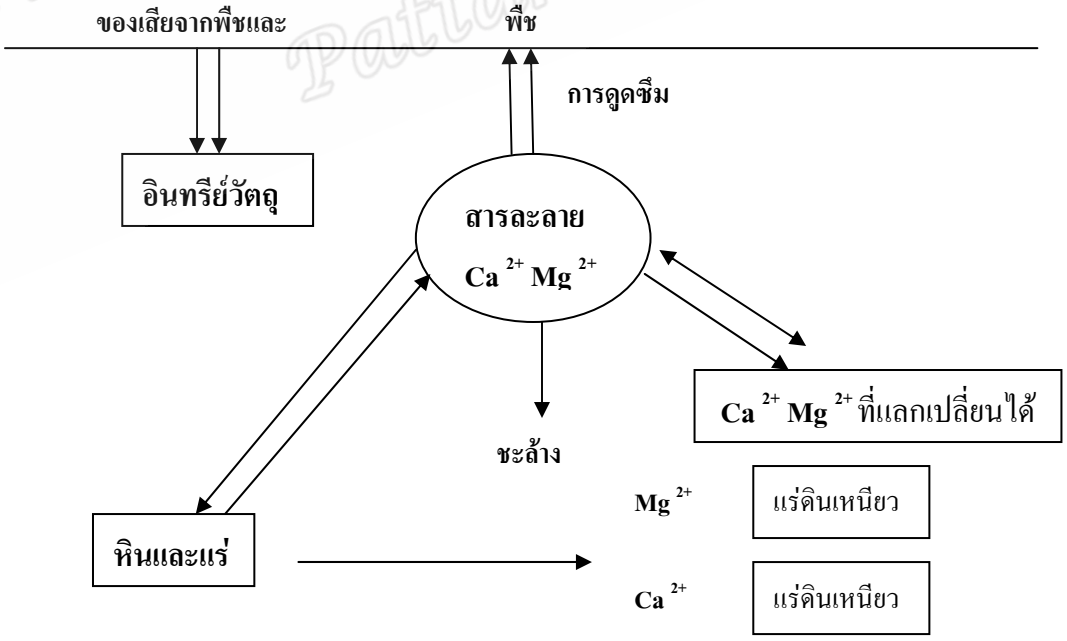
2.7.4 แมกนีเซียม

แมกนีเซียม เป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เพื่อช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ ช่วยในการทำงานของระบบเอนไซม์และช่วยในการดูดธาตุฟอสฟอรัส และช่วยในการเคลื่อนที่ของน้ำตาลในพืช รูปของแมกนีเซียมในดิน (Teilnugutom, 2005)

แมกนีเซียมที่อยู่ในดินแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ๆ คือ

1. อินทรีย์แมกนีเซียม พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไฟติน (phytin) และ แมกนีเซียมเพคเตต (magnesium pectate) ซึ่งจะต้องถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเปลี่ยนจากอินทรีย์แมกนีเซียมไปเป็น อนินทรีย์แมกนีเซียมอยู่ในรูปของแมกนีเซียมไอออนก่อนที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. อนินทรีย์แมกนีเซียม ประกอบด้วยแมกนีเซียมที่ละลายยากได้แก่ แมกนีเซียมที่มาจากหินและแร่ ได้แก่แร่ไบโอไทต์ (Biotite) เซอร์เพนทีน (Serpentine) และ โดโลไมต์ (dolomite) เมื่อแร่ผุพังสลายตัวจะให้แมกนีเซียมไอออนลงไปในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (รูปที่ 2.7) แมกนีเซียมประเภทนี้จะถูกยึดติดบริเวณผิวของคอลลอยด์เมื่อแมกนีเซียมไอออนในสารละลายในดินสูญหายไปโดยพืชหรือจุลินทรีย์ แมกนีเซียมชนิดนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อรักษาภาวะสมดุล และสารละลายแมกนีเซียมไอออนในดิน พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (Teilnugutom, 2005)



รูปที่ 2.7 การดูดซึมแมกนีเซียมของพืช (Teilnugutom, 2005)

อาการของพืชที่ขาดธาตุแมกนีเซียม พบใบล่าง (ใบแก่) ที่ขอบใบ และระหว่างเส้นใบ (vein) จะเป็นสีซีด ๆ สีขาวใส แผ่นใบมีสีเหลือง ใบจะเล็กลง ฉีกขาดง่าย กิ่ง ก้าน ของพืชอ่อนแอทำให้เชื้อราได้ ทำให้ใบแก่เร็วเกินไป (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2541)

2.7.5 สังกะสี

สังกะสีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์เมมเบรน มีบทบาทในการสร้างคลอโรฟิลล์ มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้าง ฮอร์โมนพืช และเอนไซม์บางชนิด เช่น ดีไฮโดรจีเนส โปรติเนส และเปปติเดส นอกจากนี้ยังช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน แร่ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบที่พบทั่วไป คือ สปาเลอไรท์ (ZnS) สมิทซอไนต์ ($ZnCO_3$) และ เฮมิมอร์ไฟต์ ($Zn_4(OH)_2Si_2O_7.H_2O$) เมื่อแร่เหล่านี้สลายตัวจะปลดปล่อยสังกะสีออกมาในรูปซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง พีเอชที่พืชสามารถนำเอาธาตุสังกะสีไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดอยู่ในช่วง 5.5 - 6.0 เมื่อค่าพีเอชสูงกว่า 6.0 สังกะสีที่เป็นประโยชน์จะเริ่มลดลง อาการขาดธาตุสังกะสี จะแสดงอาการขาดที่ส่วนยอดของพืช โดยใบที่อยู่ตามส่วนยอดมีสีเหลือง ใบเล็กผิดปกติ ต้นเตี้ย แคระแกรน (Teilnugutom, 2005)

2.8 ทานตะวัน (Sun flower)

ทานตะวัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Helianthus annuus* L. อยู่ในตระกูล Compositae เป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญพืชหนึ่ง นิยมปลูกในพื้นที่แห้งแล้ง ผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและพันธุ์ของทานตะวัน (Chapman *et al*., 1993) น้ำมันที่ได้จากการสกัดจากเมล็ดทานตะวันมีคุณภาพสูง ในปัจจุบันทานตะวันมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปมากมายเนื่องจากได้รับการผสมและปรับปรุงพันธุ์ มีพันธุ์ต้นเตี้ยประมาณ 2 ฟุตใช้สำหรับเป็นไม้ปลูกในกระถางได้ดี สามารถเจริญงอกงามได้ดีมากในสภาพของดินโดยทั่วไป เช่น พันธุ์ Big smile และ Sun smile (AFM Flower Seeds, 1982)

2.8.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ทานตะวัน มีระบบรากแก้ว เมื่อต้นแก่จะมีรากแขนงที่แข็งแรง แผ่ไปทางด้านข้างรอบ ๆรากแก้ว ช่วยค้ำจุนลำต้น และดูดน้ำ บริเวณผิวดิน รากที่อยู่เหนือดินมีสีเหลืองแกมเขียวคล้ายกับสีของลำต้น ส่วนรากที่อยู่ใต้ดินทั้งรากแก้วและรากแขนง มีสีน้ำตาลอ่อน (รูปที่ 2.8 a)

ลำต้นของทานตะวันตั้งตรง พันธุ์ลูกผสมที่นำเมล็ดไปสกัดนำมัน ลำต้นไม่แตกกิ่ง ดอกออกที่ปลายยอด ดอกมีขนาดใหญ่ ลำต้นจะสูง 2.5 - 3.5 เมตร บางพันธุ์สูงประมาณ 1.5 - 2.5

Prince of Songkla University Pattani Campus

เมตร กิ่งที่แตกแขนงออกไป มีดอกเล็กกว่าดอกที่ปลายยอด ลักษณะภายใน ภายในลำต้นไม่มียาง ลำต้นอ่อนเนื้อเยื่อตรงแกนกลางลำต้นมีสีขาว นุ่ม ลักษณะคล้ายโฟม (รูปที่ 2.8 b)

รูปที่ 2.8 ลักษณะทางพฤกศาสตร์ (a) รากแก้ว รากแขนง และ (b) ลำต้นของต้นทานตะวัน (www.stks.or.th, 2550)

ทานตะวันมีใบเลี้ยง 2 ใบ จัดเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ใบเลี้ยงมีสีเขียว รูปไข่ หนา จะหลุดร่วงหลังจากมีใบแท้ประมาณ 6-8 ใบ ใบทานตะวันเป็นใบเดี่ยวการเรียงตัวของใบบนกิ่ง ใบคู่ที่ 1-2 ต่อจากใบเลี้ยง เรียงแบบตรงกันข้ามสลับตั้งฉาก (รูปที่ 2.9 a) มีขนค่อนข้างยาวปกคลุมก้านใบ และแผ่นใบทั้งสองด้าน ใบแก่ มีสีเขียว ใบทานตะวันมีหลายขนาด กว้าง ประมาณ 5-30 เซนติเมตร ยาวประมาณ 7- 40 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์และขนาดของลำต้น (Putnam *et al.*, 1990)

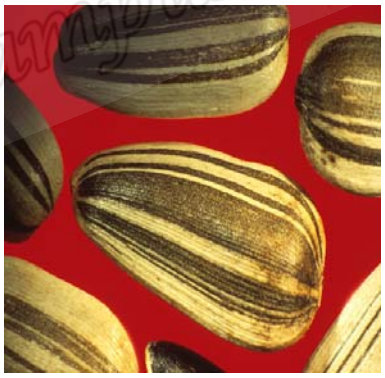
ช่อดอกของทานตะวันมี ฐานรองช่อดอกเป็นรูปโดม มีใบประดับสีเขียวซ้อนเป็นชั้น 3-4 ชั้น มีขนสีขาวปกคลุมทั้งสองด้าน ช่อดอกทานตะวันประกอบด้วยดอกย่อยวงนอก และดอกย่อยวงใน ซึ่งมีจำนวนประมาณ 500 ดอก ถึง 3000 ดอก ขนาดของช่อดอกหรือจานดอกเมื่อบานเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 – 35 เซนติเมตร (รูปที่ 2.9 b) ขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ หรือ

Prince of Songkla University Pattani Campus

สิ่งแวดล้อม ดอกย่อยจะบานจากรอบนอกเข้าไปถึงศูนย์กลาง ดอกที่อยู่ตรงบริเวณกลางช่อดอกจะไม่สมบูรณ์ มีขนาดเล็ก

ผลและเมล็ดเจริญมาจากรังไข่ของดอกย่อยวงใน เมื่อดอกได้รับการผสมเกสร โคนกลีบดอกที่เชื่อมติดกันจะพองออกเป็นกระเปาะ และเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียวอ่อน รังไข่จะเจริญเป็นผล สีของรังไข่จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเทาและดำ ทุกส่วนที่อยู่เหนือรังไข่จะหลุดร่วงได้ เป็นเมล็ดลักษณะดังรูปที่ 2.9 c (www.doa.go.th, 2545)

(a)



(b) (c)

รูปที่ 2.9 ลักษณะของ (a) ใบ (b) ดอก และ (c) เมล็ดของทานตะวัน

(www.stks.or.th, 2550)

ทานตะวันที่ปลูกกันโดยทั่วไปมีขนาดความสูง 150-300 เซนติเมตร และใช้ระยะเวลาในการปลูก 90-120 วัน แต่ในปัจจุบันมักนิยมปลูกทานตะวันที่ได้รับการผสมและปรับปรุงพันธุ์ ให้มีต้นเตี้ยประมาณ 50 เซนติเมตร ใช้เป็นไม้ปลูกในกระถางได้ดี สามารถเจริญงอกงามได้ดีมากในสภาพของดินโดยทั่วไป เช่น พันธุ์ Big smile และ Sun smile โดยพันธุ์ Sun smile มีความสูงโดยทั่วไปประมาณ 40-50 เซนติเมตร และใช้ระยะเวลาในการปลูก 60 วัน เจริญได้ดีใน

บริเวณที่มีแสง สามารถทนต่อโรคและแมลงได้ดี จึงเป็นที่นิยมปลูกกันมากขึ้นในปัจจุบัน (AFM Flower Seeds, 1982)

2.8.2 การใส่ปุ๋ย

ทานตะวันเป็นพืชที่ให้โปรตีน และแร่ธาตุสูง จึงควรใส่ปุ๋ยในปริมาณที่พืชต้องการตามสภาพดินที่ปลูกด้วยสำหรับปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมคือสูตร 15-15-15 หรือ 16-16-8 อัตรา 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่รองพื้นก่อนปลูกและใช้ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0 อัตรา 20-30 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อทานตะวันอายุได้ 30 วัน หรือมีใบจริง 6-7 คู่ ซึ่งเป็นระยะกำลังจะออกดอก (www.doa.go.th, 2545)

2.8.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมการปลูกทานตะวัน

ทานตะวันปลูกได้ในพื้นที่สภาพไร่ และสภาพหลังการเก็บเกี่ยว พื้นที่น้ำไม่ท่วมขัง ดินที่เหมาะสม คือ ดินร่วน ดินร่วมปนทรายหรือร่วมเหนียวระบายน้ำดี มีความเป็นกรดเล็กน้อย ความเป็นกรด-ด่างของดิน 6.0-7.5 (Putnam *et al*., 1990)

2.8.4 ประโยชน์ของทานตะวัน

เดิมทานตะวันเป็นเพียงไม้ดอกไม้ประดับ ต่อมาได้นำเมล็ดมาเป็นของขบเคี้ยว และสกัดเป็นน้ำมัน จึงทำให้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง การใช้ประโยชน์จากทานตะวันมีหลายลักษณะ ได้แก่ (www.stks.or.th, 2550)

1. เมล็ด ใช้บริโภคโดยตรง เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์ได้ ในเมล็ดมีธาตุเหล็กสูง เมื่อบดจะได้แป้งสีขาว มีไขมันสูง มีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณแป้ง

2. เปลือกของลำต้น มีลักษณะเหมือนเยื่อไม้ ใช้ทำกระดาษสีขาวที่มีคุณภาพดี ลำต้นใช้ทำเชื้อเพลิงได้ เมื่อไถกลบจะเป็นปุ๋ยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ดี

3. ราก ใช้ทำแป้งเค้ก สปาเก็ตตี้ ในรากมีวิตามินบี 1 และธาตุอีกหลายชนิด รากทานตะวันสามารถใช้ประกอบอาหารสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน

4. น้ำมัน น้ำมันสกัดจากเมล็ดมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 35 และมีคุณภาพสูง ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเช่น กรดลิโนเลอิค หรือกรดลิโนเลนิค สูงถึงร้อยละ 60-70 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยลดคลอเลสเตอรอล และยังประกอบด้วยไวตามิน เอ ดี อี และเค คุณภาพของไวตามินอีจะสูงกว่าในน้ำมันพืชอื่น ๆ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะไม่เกิดกลิ่นหืน ทั้งสีกลิ่น และรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากใช้เป็นน้ำมันพืชแล้วยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำเนยเทียม สี น้ำมันชักเงา สบู่ และน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์

5. กาก กากที่ได้จากการสกัดน้ำมันออกแล้ว ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ได้ ในกากเมล็ดทานตะวันที่กะเทาะเปลือกและบีบน้ำมันออกแล้ว มีโปรตีนประมาณร้อยละ 42 สามารถใช้เป็นแหล่งแคลเซียมสำหรับปศุสัตว์ได้ดี

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการนำกากอินทรีย์จากโรงงาน เช่น กากตะกอนจากโรงงานน้ำยางข้น กากตะกอนจากโรงงานผลิตอาหาร หรือกากอินทรีย์ทางการเกษตร มาใช้ให้เกิดเพื่อเป็นการลดปัญหาในการกำจัด และเพิ่มมูลค่าของกากอินทรีย์เหล่านี้ โดยมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรอย่างกว้างขวาง เช่น การทำปุ๋ย การทำวัสดุปรับปรุงดิน หรือสารปรับปรุงดิน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของอุไรวรรณ (2545) รายงานการใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน โดยศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหาร ของกากตะกอนของเสียชนิดใช้อากาศโดยมีการเติมดินในเหมืองแร่ร้างร่วมกับวัสดุปลูก พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป ค่าความเป็นกรดด่างของดินลดลง ยกเว้นสิ่งทดลองกลุ่มที่ผสมแกลบเผา มีค่าความเป็นกรดด่างของดินเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้า P และ K ที่เป็นประโยชน์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนไนโตรเจนมีการปลดปล่อยออกมามากที่สุดในสัปดาห์แรกของการหมัก หลังจากนั้นจะลดลง ทำการทดลองปลูกข้าวโพดหวานในดินผสม 4 กิโลกรัมผสมกับกากตะกอนของเสียและวัสดุปลูกในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเหมืองแร่ร้างผสมขุยมะพร้าว ร้อยละ 15 และกากตะกอนของเสียชนิดใช้อากาศร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้ข้าวโพดหวานมีความสูงและน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร เมื่อระดับกากตะกอนของเสียเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของธาตุที่วิเคราะห์ได้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับธาตุอาหาร เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Nóvoa-Muñoz *et al*. (2008) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน และติดตามการเจริญเติบโตของหญ้าไรย์ (Rye grass, *Lolium multiflorum*) ในดินที่เป็นกรดเมื่อเติมสารปรับปรุงดินจากของเสียแบบของแข็งจากโรงงานผลิตไวน์ โดยวิเคราะห์สมบัติเริ่มต้นของของเสียที่เตรียมเป็นสารปรับปรุงดิน และติดตามสมบัติทางเคมีและการเจริญของ *L. multiflorum* ในดินที่เป็นกรดเมื่อเติมสารปรับปรุงดิน โลหะหนักที่มีอยู่ในของเสียเป็นปัญหาอย่างหนึ่งในการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดิน จึงมีการหาค่าการเปลี่ยนแปลงระดับโลหะทั้งหมดที่ในดินและในพืช *L. multiflorum* เมื่อเติมสารปรับปรุงดินพบว่ามีธาตุอาหาร C (214 g/kg) N (25 g/kg) P (534 mg/kg) และ K (106 g/kg) ในปริมาณสูง ซึ่งแสดงว่าสารปรับปรุงดินที่เติมสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินได้ การเติมสารปรับปรุงดินทำให้ค่าพีเอช และค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้น แต่ทำให้การละลายของทองแดงลดลง การเจริญเติบโตของ *L. multiflorum* อยู่ในภาวะเหมาะสมเมื่อมีการเติมสารปรับปรุงดินในอัตราต่ำกว่า 2.5 g/kg การวิเคราะห์ระดับโลหะหนักในพืช พบว่าอยู่ในช่วง 8–85 g/kg ซึ่งไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

นอกจากการนำกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชแล้ว ยังมีการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก มาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชเพื่อลดปริมาณและทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีและเพื่อให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณและคุณภาพสูงสุด Ghosh *et al*. (2004) ศึกษาการเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วย มูลวัว มูลสัตว์ปีก ปุ๋ยหมักฟอสฟอรัส โดยมีการเติมปุ๋ยธาตุอาหาร NPK ร้อยละโดยน้ำหนัก คือ 0, 75 และ 100 เพื่อหาระบบที่ให้ผลผลิตสูงสุด พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีร่วมกันทำให้มีผลผลิตถั่วเหลืองสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ผลจากการใช้ปุ๋ยแบบต่างๆ เป็นดังนี้ ปุ๋ย NPK 75% + มูลวัว > NPK 75% + มูลสัตว์ปีก > NPK 75% + ปุ๋ยหมักฟอสฟอรัส > 100% NPK และพบว่าข้าวฟ่างมีการตอบสนองต่อมูลสัตว์ปีกได้ดีในขณะที่ถั่วเหลืองตอบสนองต่อมูลวัวได้ดี ปุ๋ยหมักฟอสฟอรัสมีผลต่อการปลูกถั่วเหลืองและข้าวฟ่างน้อยกว่าปุ๋ยจากมูลวัวและปุ๋ยจากสัตว์ปีก แต่มีผลต่อผลผลิตข้าวสาลีเท่าเทียมกับปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสอง ส่วน Courtney and Mullen (2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพดินและการเจริญเติบโตของข้าวบาร์เลย์เมื่อมีการเติมปุ๋ยหมักสองประเภท โดยนำกากอินทรีย์เหลือใช้จากการเกษตรซึ่งเป็นวิธีในการเก็บรักษาแหล่งของสารอินทรีย์และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ ในการทดลองใช้ปุ๋ยหมักจากเห็ด ปุ๋ยหมักที่มีการอัดอากาศ และปุ๋ยเคมีในอัตราส่วน 0, 25, 50 และ 100 t/ha เพื่อศึกษาสมบัติของดินและผลผลิตข้าวบาร์เลย์ที่ได้ โดยสมบัติของดินที่ทำการศึกษาได้แก่ พีเอช การนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ ไนโตรเจน แคตไอออนที่ใช้ประโยชน์ได้ ธาตุอื่นๆ ที่สกัดด้วย DTPA ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน และผลผลิตเมล็ดข้าวที่ได้ ผลการทดลองพบว่า การเติมปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินทำให้อินทรียวัตถุในดินและปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยหมักทั้งสองชนิดในการปรับปรุงดินผลที่ได้มีค่าแตกต่างกัน ปุ๋ยหมักจากเห็ดทำให้ปริมาณธาตุอาหารและผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงกว่า ในขณะที่การเติมปุ๋ยหมักทั้งสองไม่ทำให้ระดับของทองแดงและสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ปริมาณเหล็กลดลง

กากอินทรีย์ที่มีปริมาณสูงในภาคใต้ของไทย คือ กากขี้แป้งกากโรงงานน้ำยางข้น โดยมีงานที่ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้ง และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเกษตร เช่น วราศรี (2543) ศึกษาอัตราการเกิดกากขี้แป้งและลักษณะของกากขี้แป้งจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น รวมถึงการนำกากขี้แป้งมาใช้ประโยชน์เพื่อทำเป็นปุ๋ย โดยได้สำรวจโรงงานน้ำยางข้นจำนวน 3 โรงงานในจังหวัดสงขลา ผลการสำรวจพบว่า การผลิตน้ำยางข้นทำให้เกิดของเสียในรูปของกากขี้แป้ง 9.7-10.3 กก/ตันน้ำยางสด ซึ่งทางโรงงานมักจะกองทิ้งไว้หรือนำไปถมที่ บางโรงงานก็ทิ้งรวมกับขยะ บางโรงงานกำจัดโดยการเผาทิ้ง ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้งพบว่า กากขี้แป้งมีสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารปรับสภาพดินหรือใช้ทำปุ๋ยได้เพราะมีธาตุอาหารสำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N, P,

K, Mg, Zn โดยกากขี้แป้งมี N, P ในรูป P_2O_5, K ในรูป K_2O, Mg, Zn อยู่ในช่วงร้อยละ 2.06-2.14, 19.6-21.6, 1.8-2.1, 5.31-7.56, 0.51 -1.01 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และพบว่ากากขี้แป้งมีสภาพไม่คงตัว สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ง่าย โดยเมื่อนำกากขี้แป้งมาสกัดกับน้ำที่กำจัดไอออนออก พบว่า K ละลายออกมามากที่สุดในช่วง 69-88% และ N ละลายออกมาร้อยละ 11-12 ส่วน P, Mg, Zn สามารถละลายออกได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1% นอกจากนี้พบว่ามีค่าสัดส่วนของ BOD_5 ต่อ COD มากกว่า 0.5 แสดงให้เห็นว่า กากขี้แป้งเมื่อละลายน้ำแล้วจะทำให้น้ำที่สกัดออกมานั้นมีสมบัติย่อยสลายทางชีวภาพได้ ส่วนการศึกษาของธนธรณ์ (2546) พบว่าในกากขี้แป้งมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชได้แก่ N, P, K, Mg, Zn, Ca ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในกากขี้แป้งพบ ธาตุ N, P ในรูป P_2O_5 , K ในรูป K_2O , Mg, Zn, Ca มีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 3.13, 14.96, 1.01, 12.24, 0.57 และ 0.03 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการสกัดกากขี้แป้งด้วยน้ำกลั่นพบว่าธาตุ Mg ละลายออกมามากที่สุดคือร้อยละ 3.90 รองลงมาคือ P, K, N, Ca, Zn มีการศึกษาค่าสัดส่วนของ BOD ต่อ COD ของของเหลวที่สกัดได้พบว่ามีค่ามากกว่า 0.5 ดังนั้น กากขี้แป้งเมื่อละลายน้ำแล้วน้ำที่ได้มีสมบัติที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ส่วนเสาวนีย์และคณะ (2547) ศึกษาองค์ประกอบของโลหะที่มีอยู่ในกากขี้แป้งน้ำยางข้น พบว่า ประกอบด้วยธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช N, P, K, Zn และ Cu มีธาตุที่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำหรือธาตุที่สามารถละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำ เป็นแนวทางการเตรียมปุ๋ยเหลวได้ นอกจากนี้ เสาวนีย์และคณะ (2548) ได้ทดลองนำกากขี้แป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้เป็นสารตัวเติมในน้ำยางธรรมชาติและซีเมนต์ โดยแปรปริมาณของกากขี้แป้งที่ระดับต่างๆ ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางฟิสิกส์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากขี้แป้ง ทำให้การเซ็ทตัวและการหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้กากขี้แป้งเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณกากขี้แป้งที่ระดับ 20-60 phr พบว่ายางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางฟิสิกส์ไม่ดี หลังการบ่มเร่งยางสมบัติจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก

จากการศึกษาของ 1วลัยพร (2547ในการใช้ประโยชน์กากขี้แป้งในรูปสารบำรุงดิน โดยนำกากขี้แป้งของเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น ผสมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งทำเป็นวัสดุบำรุงดินสำหรับการทำเกษตรกรรม ศึกษาลักษณะ สมบัติของดิน กากขี้แป้งและกากตะกอนก่อนการเพาะปลูก พบว่าไม่มีข้อจำกัดในการนำกากขี้แป้งและกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ อัตราส่วนที่เหมาะสมของดิน:กากขี้แป้ง:กากตะกอน สำหรับใช้เป็นวัสดุบำรุงดินในการปลูกผักกาดหอม มะเขือเทศและข้าว คือ 1:3:1 พืชทดลองมีการเจริญเติบโตได้ดี ไม่มีอาการขาดธาตุอาหาร โดยพิจารณาจากการสะสมธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพืชซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในการเติบโต และผลผลิตที่ได้จากพืชมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างจากการใช้

ปุ๋ยเคมี และ Zn ในดินมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.44-1.64 mg/kg ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร คือไม่เกิน 280-300 mg/kg ส่วนวิภาพรรณ (2550) ศึกษาการใช้ประโยชน์กากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แปรรูปสัตว์น้ำและน้ำมันปาล์มในการปลูกหญ้าสนามพันธุ์นวลน้อย โดยวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร N, P ในรูป P_2O_5 , K ในรูป K_2O ในกากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.01-2.26, 26.31-46.79 และ 0.55-0.72 ในกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำคิดเป็นร้อยละ 3.54-5.24, 3.16-4.27, 0.21-0.30 ในกากดีแคนเตอร์ 1.01-1.33, 0.30-0.7 และ 0.53-0.10 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จากการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปลูกที่เตรียมจากการผสมกากอินทรีย์ทั้งสามประเภท เพื่อใช้แทนหน้าดินในการปลูกหญ้าสนาม พบว่าของผสมกากอินทรีย์ทั้งสามประเภทอัตราส่วน 20:20:20 ผสมร่วมกับเส้นใยปาล์มและเศษกระดาษสำนักงานอย่างละร้อยละ 20 สามารถปลูกหญ้านวลน้อยได้ดีเมื่อเทียบกับหน้าดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมีโดยมีอัตราการรอดของต้นสูงกว่าร้อยละ 50 ความสูงของต้นหญ้าและรากมีค่าในระดับเดียวกัน และมีน้ำหนักยอดมากกว่า 1 เท่า นอกจากนี้ วราศรี (2543) ได้ทดสอบศักยภาพของกากขี้แป้งกับการปลูกหญ้านวลน้อย พบว่า ทำให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ดี และยังช่วยปรับสภาพดินทำให้มีพีเอชเป็นกลาง

นอกจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในกากขี้แป้งและการนำกากขี้แป้งมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชแล้ว ยังมีงานวิจัยที่นำกากขี้แป้งมาย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์โดย กนัฐยาและอุบล (2549) รายงานการย่อยสลายกากขี้แป้งด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้กากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานีและสงขลา ซึ่งมีปริมาณของแข็งในกากขี้แป้ง คิดเป็นร้อยละ 58.5 และ 56.1 ตามลำดับ เมื่อนำกากขี้แป้งจากทั้งสองแหล่งไปหมักโดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในปริมาณร้อยละ 30, 60, 90 ของปริมาณของแข็งในกากขี้แป้ง เป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณของแข็งในกากขี้แป้งในจังหวัดปัตตานีและสงขลามีค่าลดลงเหลือร้อยละ 38.8, 40.2, 42.5 และ 50.5, 50.3, 50.1 ตามลำดับ โดยที่สภาวะของการหมักอยู่ในช่วง 27.0-27.3 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.6-8.3 การใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ นอกจากสามารถนำมาใช้ในการย่อยสลายกากขี้แป้ง ยังมีงานวิจัยที่นำจุลินทรีย์ EM มาประยุกต์ในด้านการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้น เช่น งานวิจัยของ จรัญ และ Khaliq *et al.* โดย จรัญ (2542) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตน้ำยางพาราที่ได้จากการใช้ปุ๋ย EM และปุ๋ยเคมีอนินทรีย์ ปรากฏว่าภายในระยะเวลา 1 ปี ต้นยางที่ได้รับ EM ให้ผลผลิตน้ำยางพาราสูงกว่าต้นยางที่ได้รับปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตน้ำยางพารา 180 กิโลกรัม/20 ไร่/วัน ส่วนสภาพของสวนยาง พบว่าหน้าดินร่วนซุย รากยางขึ้นมาหน้าดินเป็นสีขาว มีปริมาณไส้เดือนอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก หน้ายางไม่เป็นโรคใบร่วง จากการวิเคราะห์ทางด้านผลผลิตการลงทุนและผลตอบแทน พบว่าการใช้ EM จะมีต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมัก 2,240 บาทต่อตัน หากใช้ปุ๋ยเคมีจะมีต้นทุนถึง 8,000 บาทต่อตัน ดังนั้นการใช้ EM จะทำให้

ต้นทุนลดลงมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตน้ำยางพารา ส่วน Khaliq *et al.* (2006) ได้ศึกษาผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของฝ้ายและปริมาณเมล็ดฝ้ายในประเทศปากีสถานโดยใช้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) 7 ชุดทดลอง ดังนี้ สารอินทรีย์, EM, สารอินทรีย์ร่วมกับ EM, ธาตุอาหาร NPK, ธาตุอาหาร NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์, ½ ธาตุอาหาร NPK (ธาตุอาหาร NPK ครึ่งหนึ่งของความต้องการของพืช) ร่วมกับ EM, ½ ธาตุอาหาร NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์ และกลุ่มควบคุม ผลปรากฏว่า การใช้สารอินทรีย์ และ EM เพียงอย่างเดียว ปริมาณผลผลิตไม่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้สารอินทรีย์ร่วมกับ EM พบว่าผลผลิตเพิ่มขึ้น 44 % การใช้ NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์ทำให้ผลผลิตของฝ้ายมีปริมาณสูงสุด ส่วนการใช้ธาตุอาหาร NPK อย่างเดียวให้ผลผลิตเท่ากันกับการใช้ ½ ธาตุอาหาร NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์ โดยการใช้ ทั้ง NPK และ ½ ธาตุอาหาร NPK ร่วมกับ EM มีผลทำให้ปริมาณ NPK ในพืชเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับการใช้จุลินทรีย์ในทางการเกษตร เช่น การนำจุลินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก โดยมีการการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ พบว่าจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อความชื้นอยู่ในระดับร้อยละ 50-60 เนื่องจากหากความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 50 ความสามารถในการทำงานของจุลินทรีย์จะน้อยลง และหากความชื้นมีค่ามากกว่าร้อยละ 60 จะทำให้ออกซิเจนเคลื่อนที่เข้ามาในระบบได้ยาก ทำให้กลายเป็นการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Das and Keener, 1997) ประสิทธิภาพของการหมักเกิดขึ้นได้มากเพียงใดนั้นสามารถตรวจสอบได้จากอุณหภูมิของการหมัก โดยทั่วไปกระบวนการหมักแบ่งโดยทั่วไปออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ Mesophilic phase ใช้เวลา 1-3 วัน โดยแบคทีเรีย ยีสต์ และราที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Mesophilic microorganisms) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน เช่น น้ำตาล กรดอมิโน โปรตีน จากนั้นอุณหภูมิการหมักจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ 2 คือ Thermophilic phase โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic microorganisms) จะมีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ พวก ไขมัน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในช่วงนี้การหมักจะเกิดได้ดีที่สุด จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 คือ Cooling phase อุณหภูมิของการหมักเริ่มลดลง การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ สิ้นสุดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Bernal *et al*., 2008) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการหมักอยู่ในช่วง 40-65 °C (de Bertoldi *et al.*, 1983) เมื่ออุณหภูมิการหมักมากกว่า 55 °C จะทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคตายได้ แต่พวกจุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูง (Thermophilic) สามารถเจริญได้ หากอุณหภูมิการหมักสูงมากถึง 63 °C การทำงานของจุลินทรีย์จะลดลงอย่างรวดเร็ว (Miller, 1992) ส่วนค่าพีเอชไม่ใช่พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ว่าเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด แต่ค่าพีเอชเป็น

ปัจจัยที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน ไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งการเปลี่ยนไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียจะสูงขึ้นเมื่อพีเอชมากกว่า 7.5 (Mari *et al.*, 2005) โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารด้วยจุลินทรีย์ คือ 6.7–9.0 (de Bertoldi *et al.*, 1983) กระบวนการหมักจะประสบผลสำเร็จได้ต้องอาศัยจุลินทรีย์หลายชนิด (Ryckebore *et al*., 2003) ซึ่งขั้นตอนเริ่มแรกของกระบวนการหมักจะมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าพวกยีสต์และรา ส่วนเชื้อราจะพบได้ตลอดการหมัก แต่มีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียเมื่อมีความชื้นต่ำกว่า 35% แต่หยุดการทำงานเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 60 $^{\circ}$C โดยเชื้อราสามารถย่อยสลายสารพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายยากได้ (Bernal *et al.*, 2008) ในระบบเปิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ดี โดยในช่วงแรกจุลินทรีย์ย่อยสลายพวกกากอินทรีย์ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ง่ายก่อน และการให้อากาศแก่ระบบหมักเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อขาดออกซิเจนจะทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอาหารได้ (Wu *et al.*, 2005) นอกากนี้ยังมีการศึกษาธาตุอาหารหลังจากกระบวนการหมักสิ้นสุด พบว่ามีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการหมัก อินทรียวัตถุจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ทำให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลง ซึ่งการลดลงของอินทรีย์วัตถุสามารถประมาณได้จากน้ำหนักแห้งที่ลดลง (Garrison *et al*., 2001) จากผลของน้ำหนักแห้งที่ลดลงในระหว่างการหมัก ทำให้ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ เพิ่มขึ้น (Bernal *et al.*, 1996) ส่วนไนโตรเจนมีค่าลดลง การที่ปริมาณไนโตรเจนลดลง เนื่องจากเมื่อสารอินทรียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ไนโตรเจนจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในขั้นตอน Thermophilic phase แบบที่มีการให้อากาศจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนมากที่สุด เมื่อค่าพีเอชมากกว่า 7.5 และมีอุณหภูมิสูง กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) จะเกิดขึ้นได้ยากเนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้น้อย ทำให้แอมโมเนียมไอออนอยู่ในรูปแอมโมเนีย และระเหยออกสู่บรรยากาศ ความเข้มข้นของไนโตรเจนจึงลดลง ดังนั้นในกระบวนการหมักต้องมีการควบคุมสภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิ พีเอช ความชื้น และ การให้อากาศ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สมบูรณ์ที่สุด และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักไปใช้ประโยชน์ต่อไป (Tiquia, 2005)

ปุ๋ยหมักที่มีจุลินทรีย์สามารถเพิ่มการเจริของพืชได้ จากการศึกษาของ Soumaré *et al.* (2002) เกี่ยวกับผลของปุ๋ยหมักและผลของการเติมธาตุอาหาร ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าไรย์ ในดินที่ทำการเกษตรของประเทศมาลี การทดลองประกอบด้วยชุดทดลอง 12 ชุด คือ กลุ่มควบคุม และชุดที่ใช้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และคาร์บอนดังนี้ คือ NPK, NPK+C_{25}, NPK+C_{50}, NPK+C_{100}, PK+C_{50}, NK+C_{50}, NP+C_{50}, K+C_{50}, P+C_{50}, N+C_{50} และ C_{50} โดยใช้ปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 25, 50 และ100 ตัน/เฮคแทร์ (C_{25}, C_{50} and C_{100}) พบว่าการเติมปุ๋ยหมักและการเติมธาตุอาหารทำให้ผลผลิตแบบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเติมปุ๋ยหมัก 50 ตัน/

เฮคแทร์ เพียงอย่างเดียวทำให้ผลผลิตแบบแห้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และ 17.5 ในขณะที่การเติมธาตุอาหาร NPK อย่างเดียวให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 69.7 และ 65 ในดินจากสองแหล่งตามลำดับ การใช้ปุ๋ยหมัก และการเติมธาตุอาหารร่วมกันในอัตรา NPK+C_{25} ในดินจากแหล่ง Gao และ NPK+C_{50} ในดินในดินจากแหล่ง Bgda ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อมีการเติมปุ๋ยหมักทำให้ปริมาณ P, K, Fe, Mn, Zn, Cu ที่ใช้ประโยชน์ได้ และค่าพีเอช เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักสามารถเสริมธาตุอาหารในดินเขตร้อนได้ จากผลการศึกษาของ Soumaré *et al.* (2002) แสดงให้เห็นว่าการเจริญของพืชและสมบัติของดินดีขึ้นเมื่อเติมสารอินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้พบว่าการเติมสารอินทรีย์ในดินยังมีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออน โดย Walker และ Bernal (2008) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยหมักและมูลสัตว์ปีกต่อการละลายไอออนและการแลกเปลี่ยนของไอออนในดินที่มีเกลือสูงในเมอร์เซียประเทศสเปน พบว่าดินที่เติมสารอินทรีย์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าหรือค่าการละลายของ Na^+, Ca^{2+} และ Mg^{2+} มีเพียงการละลายของ K^+ ที่เพิ่มขึ้น ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารอินทรีย์ในดิน ไอออนที่มีการแลกเปลี่ยน คือ Ca^{2+}, Mg^{2+} และ K^+ ส่วน Na^+ ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ การเติมปุ๋ยหมักและมูลสัตว์ปีกสามารถเพิ่มการเจริญของ *Beta maritima* และ *Beta vulgaris* จากการศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพต่อสมบัติของดินและต่อการเติบโตของข้าวโพดโดย Wu *et al.* (2005) ซึ่งใช้ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ 2 ประเภท คือ ปุ๋ยที่มีเชื้อราไมคอร์ไรซา (Arbuscular Mycorrhizal Fungi, AMF) ปุ๋ยที่มีแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียที่ช่วยละลายฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ผลการทดลองพบว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพทำให้มีมวลชีวภาพและพืชเจริญสูงสุด และการใช้ปุ๋ยชีวภาพครึ่งหนึ่ง ผลที่ได้จะเหมือนกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี การเติมจุลินทรีย์ลงไปไม่เพียงแต่เพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารของพืชเท่านั้นแต่ยังปรับปรุงคุณภาพของดินด้วย เช่น ปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณไนโตรเจนในดิน เชื้อราไมคอร์ไรซา มีอัตราการเข้าสู่รากเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแบคทีเรีย ในทางตรงกันข้ามเชื้อราจะไปยับยั้งผลจากแบคทีเรียที่เป็นตัวละลายฟอสฟอรัส เมื่อธาตุอาหารในดินขาดแคลนพบว่าแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนและเชื้อราไมคอร์ไรซา มีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Marschner *et al.* (2003) รายงานการศึกษาโครงสร้างและบทบาทของจุลินทรีย์ในดินที่มีการใช้ปุ๋ยปรับปรุงดินแบบอินทรีย์และอนินทรีย์เป็นระยะเวลายาวนาน โดยการใช้ปุ๋ยแตกต่างกัน 5 แบบ คือ การใช้ปุ๋ยธาตุอาหาร (NPK) โดยเอากากที่เหลือจากการเพาะปลูกออก, การใช้ปุ๋ยธาตุอาหารร่วมกับกากที่เหลือจากการเพาะปลูก ปุ๋ยคอก 5.2 ตัน/เฮกแตร์/ปี กากตะกอนน้ำเสีย 7.6 ตัน/เฮกแตร์/ปี และฟางข้าว 4.0 ตัน/เฮกแตร์/ปี ผลการทดลอง พบว่า การเติมสารอินทรีย์ปรับปรุงดินทำให้อินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) จะสูงสุดเมื่อมีการเติมฟางข้าว และต่ำสุดเมื่อเติมปุ๋ยธาตุอาหารอย่างเดียว นอกจากนี้ พบว่ามีเฉพาะการทำงานของ

เอนไซม์โปรติเอสเท่านั้นที่ให้ผลแตกต่างกันในแต่ละการทดลอง โดยการทำงานจะสูงสุด เมื่อมีการเติมกากตะกอนน้ำเสียและต่ำสุดเมื่อเติมปุ๋ยธาตุอาหารอย่างเดียว อัตราส่วนของแบคทีเรียแกรมบวกกับแกรมลบ และแบคทีเรียต่อเชื้อราวิเคราะห์โดยการตรวจสอบปริมาณฟอสโฟไลปิดและกรดไขมัน พบว่ามีค่าสูงเมื่อเติมสารอินทรีย์ และมีค่าต่ำเมื่อเติมสารอนินทรีย์ และพบว่าเฉพาะแบคทีเรียเท่านั้นที่มีผลต่อการเติมสารปรับปรุงดิน ส่วนพวกยูคารีโอตไม่มีผล นอกจากนี้ประชากรแบคทีเรียและยูคารีโอตมีผลต่ออินทรีย์คาร์บอนและอัตราส่วน C/N ด้วย

Prince of Songkla University
Pattani Campus