

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญรูปประกอบ	(12)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไฮโดรโปนิคส์	3
2.2 ปัญหาในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์	4
2.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	5
2.4 ต้นทุนการผลิตพืชแบบไฮโดรโปนิคส์	26
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	27
3.2 วิธีการการวิจัย	29
3.3 วิเคราะห์และบันทึกผลการทดลอง	30
3.4 วิเคราะห์ผลทางสถิติ	32
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 สมบัติของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้แล้ว	34
4.2 ปริมาณธาตุอาหารที่เหลือในระบบปลูกและปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในใบพืช	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การเติบโตของพืช	72
4.4 ปริมาณรงควัตถุที่สะสมในใบพืช	93
4.5 การควบคุมการเจริญเติบโตที่ผิดปกติของพืชด้วยวิธีชีวภาพ โดย <i>T. harzianum</i> CB-Pin-01	97
4.6 ต้นทุนการผลิตจากการคำนวณ	100
4.7 ผลผลิตและกำไรสุทธิจากการคำนวณ	100
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	101
บรรณานุกรม	103
ภาคผนวก ก	118
ภาคผนวก ข	136
ประวัติผู้เขียน	154

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1	คุณค่าทางโภชนาการของคะน้าและผักกาดหอม ต่อน้ำหนัก 100 g และปริมาณธาตุอาหารที่พบในพืช	9
ตารางที่ 2	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำ	31
ตารางที่ 3	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในตัวอย่างพืช	32
ตารางที่ 4	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร ที่ปลูกคะน้าพันธุ์เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ์โรมานา ณ วันต่างๆหลังย้ายปลูก	35
ตารางที่ 5	ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย และอุณหภูมิ ในสารละลายธาตุอาหารที่ปลูกคะน้าพันธุ์เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ์โรมานา ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	37
ตารางที่ 6	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เหลือ และการสะสมไนโตรเจนในใบพืชในแต่ละปัจจัยที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	42
ตารางที่ 7	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เหลือ และการสะสมไนโตรเจนในใบพืชในแต่ละปัจจัยที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	47
ตารางที่ 8	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมที่เหลือ และการสะสมไนโตรเจนในใบพืชในแต่ละปัจจัยที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	51
ตารางที่ 9	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแคลเซียมที่เหลือและการสะสมไนโตรเจนในใบพืชในแต่ละปัจจัยที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	56
ตารางที่ 10	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมที่เหลือ และการสะสมไนโตรเจนในใบพืชในแต่ละปัจจัยที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	61
ตารางที่ 11	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณเหล็กที่เหลือและการสะสมไนโตรเจนในใบพืชในแต่ละปัจจัยที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	66
ตารางที่ 12	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรทที่เหลือและการสะสมไนโตรเจนในใบพืชในแต่ละปัจจัยที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	71

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 13	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติในแต่ละปัจจัยของสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ์โรมานาที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	74
ตารางที่ 14	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติในแต่ละปัจจัยของจำนวนใบ พื้นที่ใบ และความยาวรากของคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	78
ตารางที่ 15	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติในแต่ละปัจจัยของน้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งต้น/รากของคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ์โรมานาที่ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	84
ตารางที่ 16	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติในแต่ละปัจจัยของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, บี และแคโรทีนอยด์ในใบคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ์โรมานาที่วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	95
ตารางที่ 17	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติในแต่ละปัจจัยของระดับคะแนนการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในสารละลายธาตุอาหารที่ปลูกคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ์โรมานา ซึ่งควบคุมด้วย <i>Trichoderma harzianum</i> CB-Pin-01 ณ วันต่างๆหลังย้ายปลูก	99

## บัญชีรูป

รูป		หน้า
รูปที่ 1	โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์เอ	11
รูปที่ 2	โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์บี	12
รูปที่ 3	โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์	13
รูปที่ 4	โครงสร้างทางเคมีของ Hydrogenated carotenoid derivatives	13
รูปที่ 5	โครงสร้างทางเคมีของ Oxygenated carotenoid derivatives	14
รูปที่ 6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารกับปริมาณผลผลิตพืช	22
รูปที่ 7	ชุดปลูกแบบ DRFT	28
รูปที่ 8	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลายแต่ละชนิดที่เหลือในชุดทดลอง คะน้ำพันธุ์เห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสมอสพันธุ์โรมานา (B) ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	39
รูปที่ 9	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในคะน้ำพันธุ์เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสมอส พันธุ์โรมานา หลังย้ายปลูก 30 วันในสารละลายแต่ละชนิด	41
รูปที่ 10	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายแต่ละชนิดที่เหลือในชุดทดลองคะน้ำพันธุ์ เห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสมอสพันธุ์โรมานา (B) ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	44
รูปที่ 11	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมในคะน้ำพันธุ์เห็ดหอมและผักกาดหอม คอสมอสพันธุ์โรมานา หลังย้ายปลูก 30 วันในสารละลายแต่ละชนิด	46
รูปที่ 12	ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายแต่ละชนิดที่เหลือในชุดทดลองคะน้ำ พันธุ์เห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสมอสพันธุ์โรมานา (B) ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	49
รูปที่ 13	ปริมาณแคลเซียมในสารละลายแต่ละชนิดที่เหลือในชุดทดลองคะน้ำพันธุ์ เห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสมอสพันธุ์โรมานา (B) ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	53
รูปที่ 14	ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในคะน้ำพันธุ์เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสมอสพันธุ์ โรมานา หลังย้ายปลูก 30 วัน (A) และ 40 วัน (B) ในสารละลายแต่ละชนิด	55

## บัญชีรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
รูปที่ 15	ปริมาณแมกนีเซียมในสารละลายแต่ละชนิดที่เหลือในชุดทดลองคะน้ำพันธุเห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสพันธุโรมานา (B) ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	58
รูปที่ 16	ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในคะน้ำพันธุเห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุโรมานา หลังย้ายปลูก 30 วัน ในสารละลายแต่ละชนิด	60
รูปที่ 17	ปริมาณเหล็กในสารละลายแต่ละชนิดที่เหลือในชุดทดลองคะน้ำพันธุเห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสพันธุโรมานา (B) ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	63
รูปที่ 18	ปริมาณเหล็กที่สะสมในคะน้ำพันธุเห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุโรมานา หลังย้ายปลูก 40 วัน ในสารละลายแต่ละชนิด	65
รูปที่ 19	ปริมาณไนเตรทในสารละลายแต่ละชนิดที่เหลือในชุดทดลองคะน้ำพันธุเห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสพันธุโรมานา (B) ณ วันต่างๆ หลังย้ายปลูก	68
รูปที่ 20	ปริมาณไนเตรทที่สะสมในคะน้ำพันธุเห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุโรมานาหลังย้ายปลูก 30 วัน ในสารละลายแต่ละชนิด	70
รูปที่ 21	ความสูงลำต้นคะน้ำพันธุเห็ดหอม และผักกาดหอมคอสพันธุโรมานาหลังย้ายปลูก 20 วันในสารละลายแต่ละชนิด	73
รูปที่ 22	จำนวนใบของคะน้ำพันธุเห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุโรมานา หลังย้ายปลูก 30 วัน (A) และ 40 วัน (B) ในสารละลายแต่ละชนิด	77
รูปที่ 23	ความยาวรากของคะน้ำพันธุเห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุโรมานา หลังย้ายปลูก 40 วันในสารละลายแต่ละชนิด	80
รูปที่ 24	น้ำหนักสดคะน้ำพันธุเห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุโรมานาหลังย้ายปลูก 40 วัน ในสารละลายแต่ละชนิด	81
รูปที่ 25	น้ำหนักสดคะน้ำพันธุเห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุโรมานาหลังย้ายปลูก 30 วัน (A) และ 40 วัน (B) ในสารละลายแต่ละชนิด	83

## บัญชีรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
รูปที่ 26	น้ำหนักแห้งต้นคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ้โรมานา หลังย้ายปลูก 30 วัน (A) และ 40 วัน (B) ในสารละลายแต่ละชนิด	86
รูปที่ 27	น้ำหนักสดรากคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ้โรมานา หลังย้ายปลูก 30 วันในสารละลายแต่ละชนิด	88
รูปที่ 28	น้ำหนักแห้งรากคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ้โรมานา หลังย้ายปลูก 30 วัน ในสารละลายแต่ละชนิด	90
รูปที่ 29	อัตราส่วนน้ำหนักแห้งต้นต่อรากคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ้โรมานาหลังย้ายปลูก 40 วัน ในสารละลายแต่ละชนิด	92
รูปที่ 30	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบคะน้ำพันธุ้เห็ดหอมและผักกาดหอมคอสพันธุ้โรมานา หลังย้ายปลูก 40 วัน ในสารละลายแต่ละชนิด	94
รูปที่ 31	ระดับคะแนนการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในสารละลายธาตุอาหารของคะน้ำ พันธุ้เห็ดหอม (A) และผักกาดหอมคอสพันธุ้โรมานา (B) ณ วันต่างๆหลังย้ายปลูกในสารละลายแต่ละชนิด	98