



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พืชสวน)

ปริญญา

พืชสวน

พืชสวน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของจุลธาตุ รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย และไตรโคเดอร์มาต่อการผลิต
ผักกาดหอมกลุ่มบัตเตอร์เฮดด้วยสารละลายในเขตร้อน

Effects of Micronutrient, Electrical Conductivity Pattern of Nutrient Solution and
Trichoderma harzianum in Hydroponic Production of Butterhead Lettuce
in Tropical Zone

นามผู้วิจัย นางสาวปิยนุช อ้อพงษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สุรวิฑูรย์ วรรณไกรโรจน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ปริญญ์ จุลกะ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อติศรา มีนะกนิษฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของจุลธาตุ รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย และไตรโคเดอร์มาต่อการผลิตผักกาดหอม
กลุ่มบัตเตอร์เฮดด้วยสารละลายในเขตร้อน

Effects of Micronutrient, Electrical Conductivity Pattern of Nutrient Solution and
Trichoderma harzianum in Hydroponic Production of Butterhead Lettuce
in Tropical Zone

โดย

นางสาวปิยนุช อ้อพงษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชสวน)

พ.ศ. 2558

ปิยนุช อ้อพงษ์ 2558: ผลของจุลธาตุ รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย และไตรโคเดอร์มาต่อการผลิตผักกาดหอมกลุ่มบัตเตอร์เฮดด้วยสารละลายในเขตร้อน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชสวน) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ สุวิทย์ วรรณไกรโรจน์, Ph.D. 179 หน้า

การศึกษาผลของการปรับความเข้มข้นของจุลธาตุ รูปแบบค่าการนำไฟฟ้า และประสิทธิภาพการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาต่อการผลิตผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ด้วยสารละลายในระบบ NFT ณ โรงเรือนทดลอง ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 พบว่า ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ที่ดัดแปลงโดยยงยุทธ (2546) ซึ่งใช้เหล็กและแมงกานีสความเข้มข้นลดลง คือการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็ก 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็ก 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็ก 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ พื้นที่ใบ และความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยต่อต้นสูงสุด และพบว่า การใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีปริมาณวิตามินซีสะสมมากที่สุดคือ 1,070 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานของ EU ซึ่งปลอดภัยต่อการบริโภค ในขณะที่การใช้ทองแดงความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นผักกาดหอมมีการเจริญที่ลดลง แตกต่างจากการใช้สังกะสีและโบรอนเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งให้ต้นผักกาดหอมมีการเจริญที่เพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้ทองแดง 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร โบรอน 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่ลิบริดัม 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตด้านลำต้นและใบสูงที่สุด และมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค นอกจากนี้ การศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้า 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ พบว่าการปรับรูปแบบให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับลดเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และปรับลดเป็น 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ได้ผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด โดยไม่ทำให้ปริมาณไนเตรตเกินมาตรฐาน ส่วนการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมกับสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 10 กรัมต่อ 40 ลิตร ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่เจริญเติบโตดีไม่แตกต่างทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา โดยพบว่าสารละลายธาตุอาหารที่ปรับปริมาณจุลธาตุตามผลจากการทดลองนี้ซึ่งไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วม ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดและมีความเขียวใบ ความสูงต้น น้ำหนักแห้ง และปริมาณธาตุอาหารไม่แตกต่างกับการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วม ในขณะที่การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาสามารถช่วยลดปริมาณไนเตรตที่พบในต้นผักกาดหอมได้

Piyanuch Orpong 2015: Effects of Micronutrient, Electrical Conductivity Pattern of Nutrient Solution and *Trichoderma harzianum* in Hydroponic Production of Butterhead Lettuce in Tropical Zone. Master of Science (Horticulture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Associate Professor Surawit Wannakrairoj, Ph.D. 179 pages.

A study on effects of micronutrient concentration, electrical conductivity pattern of nutrient solution and *Trichoderma harzianum* (CB-Pin-01) on hydroponic production of Butterhead lettuce grown in nutrient film technique (NFT) system was investigated at Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok during April 2014 to April 2015. The results showed that lettuce grown in modified Cooper nutrient solution with 0.71 mg/l iron and manganese 0.73 mg/l, 0.71 mg/l iron and 0.24 mg/l manganese, 0.48 mg/l iron or 0.49 mg/l manganese and 0.24 mg/l iron and 0.24 mg/l manganese gave the highest growth in term of fresh weight, dry weight, leaf number, leaf area and canopy width. Lettuce grown in modified Cooper nutrient solution with 0.48 mg/l iron and 0.49 mg/l manganese had the highest vitamin C content of 1,070 mg/kg fresh weight. Its nitrate content did not exceed the EU's regulation maximum value for nitrate residue. Increasing of copper concentration reduced growth of lettuce in contrast to the effect of zinc and boron. Cooper nutrient solution with 1.04 mg/l copper, 1.90 mg/l zinc, 2.71 mg/l boron and 0.003 mg/l molybdenum gave the highest growth with safe level of nitrate content. Electrical conductivity pattern of nutrient solution that led to the highest growth was 1.8 mS/cm in the first week after transplanting, 1.5 mS/cm in the second week after transplanting and 1.2 mS/cm in the last 2 weeks before harvesting. The addition of 10 g/ 40 l *T. harzianum* (CB-Pin-01) resulted in insignificant difference in growth. The nutrient solution resulted from this study without *T. harzianum* (CB-Pin-01) yielded the highest growth in term of leaf greenness, height, leaf dry weight and nutrient content but no statistical difference with the same nutrient solution with *T. harzianum* (CB-Pin-01). While the use of *T. harzianum* (CB-Pin-01) could reduce the nitrate content found in the lettuce.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์สุรวิษ วรรณไกรโรจน์อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ปริยานุช จุลกะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ทั้งในเรื่องการเรียนและเรื่องต่างๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ยงยุทธ เจียมไชยศรี ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาให้แนวคิดตลอดจนเชื้อเพื่อสารเคมีและวัสดุที่จำเป็นต่องานวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และอาจารย์ชินวัฒน์ ยัพวัฒน์พันธ์ ประธานการสอบ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์รุ่งโรจน์ พิทักษ์ด้านธรรม และคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาทั้งในเรื่องวิทยานิพนธ์และเรื่องต่างๆ จนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณคุณธนาดี สมบุญศิริ และคุณชลิตา ชินพันธ์ ที่คอยช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณภาควิชาพืชสวน และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร ที่เชื้อเพื่อสถานที่ทำการทดลอง ตลอดจนอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ สำหรับใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณคุณชัชภัทร คงแก้ว นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาปฐพี ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชเป็นอย่างดีตลอดเวลาทำการทดลอง และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติสำหรับทุนสนับสนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ จากภาควิชาพืชสวน ทุกๆ ท่านที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดการศึกษาและการทำวิจัย จนทำให้การทดลองและการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และให้คำแนะนำในทุกๆ เรื่องด้วยดีเสมอมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ปิยนุช อ้อพงษ์

มิถุนายน 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	37
ผล	37
วิจารณ์	123
สรุปและข้อเสนอแนะ	136
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	137
ภาคผนวก	151
ภาคผนวก ก อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างทำการทดลอง	152
ภาคผนวก ข สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลอง	156
ภาคผนวก ค การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช	161
ภาคผนวก ง ภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มาอัตราส่วน 10 กรัมต่อ 40 ลิตร	163
ภาคผนวก จ ผลการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มาอัตราส่วน 20 กรัม ต่อ 40 ลิตร	166
ภาคผนวก ฉ ผังแสดงตำแหน่งโต๊ะปลูกในโรงเรือน	169
ภาคผนวก ช ผลการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอมต่างกลุ่ม	173
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	179

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	สูตรสารละลายธาตุอาหารที่นิยมใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน 8
2	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว 43
3	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว 44
4	การเจริญเติบโตของขอรากผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว 47
5	การเจริญเติบโตของขอรากผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว 48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6	ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	50
7	ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	51
8	ปริมาณวิตามินซีในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	53
9	ปริมาณวิตามินซีในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียสก่อนเก็บเกี่ยว	54
10	ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
11	ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นของเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	60
12	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	64
13	การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	65
14	ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	66
15	ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	73
17	การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	74
18	ปริมาณไนโตรเจนในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	75
19	ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	78
20	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

21

การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นของโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

83

22

ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

84

23

ปริมาณธาตุไนโตรเจนในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

87

24

การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นของโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

91

25

การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นของโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สูงและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	93
27	ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว	96
28	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวันอยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส	102
29	การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวันอยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส	104
30	ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวันอยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
31	ปริมาณเส้นใยในผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวันอยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส 109
32	ปริมาณธาตุในผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวัน อยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส 110
33	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารร่วมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส 116
34	การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารร่วมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส 118
35	ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารร่วมกับการใช้และไม่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส 120

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
36	ปริมาณธาตุในผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส	122
ตารางผนวกที่		
จ1	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา 20 กรัมต่อ 40 ลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์	165
จ2	การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา 20 กรัมต่อ 40 ลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์	166
ข1	การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมต่างกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi	176
ข2	การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมต่างกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi	177

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษาอิทธิพลของเหล็กร่วมกับ แมงกานีส ระหว่างวันที่ 27 เดือนเมษายน ถึง 24 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00–18.00 น.	151
ก2 ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษาอิทธิพลของเหล็กร่วมกับแมงกานีส ระหว่างวันที่ 27 เดือนเมษายน ถึง 24 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00–18.00 น.	151
ก3 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษาความเข้มข้นที่ต่างกันของทองแดง สังกะสี โบรอน และโมลิบดีนัม ในระหว่างวันที่ 19 เดือนสิงหาคม ถึง 15 เดือนกันยายน พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00–18.00 น.	152
ก4 ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษาความเข้มข้นที่ต่างกันของทองแดง สังกะสี โบรอน และโมลิบดีนัม ในระหว่างวันที่ 19 เดือนสิงหาคม ถึง 15 เดือนกันยายน พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00–18.00 น.	152
ก5 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าและ ประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มา ในระหว่างวันที่ 18 เดือนมีนาคม ถึง 15 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00–18.00 น.	153
ก6 ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าและ ประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มา ในระหว่างวันที่ 18 เดือนมีนาคม ถึง 15 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00–18.00 น.	153
ง1 ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลาย Cooper สูตรดัดแปลง (A) Cooper สูตรดัดแปลง ร่วมกับไตรโคเดอร์มา 10 กรัมต่อ 40 ลิตร (B) สูตรที่ได้จากการทดลอง (C) สูตรที่ได้จากการทดลองร่วมกับไตรโคเดอร์มา 10 กรัมต่อ 40 ลิตร (D) ในระยะเก็บเกี่ยวที่อายุ 42 วัน (การทดลองที่ 3)	162
ง2 รากผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายสูตรที่ได้จากการ ทดลอง (A) สูตรที่ได้จากการทดลองร่วมกับไตรโคเดอร์มา 10 กรัมต่อ 40 ลิตร (B) ในระยะเก็บเกี่ยวที่อายุ 42 วัน (การทดลองที่ 3)	163

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ฉ1 ผังแสดงตำแหน่งโต๊ะปลูกการทดลองที่ 1.1 ศึกษาผลของเหล็กและ แมงกานีสต่อการผลิตผักกาดหอม	170
ฉ2 ผังแสดงตำแหน่งโต๊ะปลูกการทดลองที่ 1.2 ศึกษาผลของทองแดง สังกะสี โบรอน และโมลิบดีนัมต่อการผลิตผักกาดหอม	171
ฉ3 ผังแสดงตำแหน่งโต๊ะปลูกการทดลองที่ 2 ศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของ สารละลาย และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมกับ สารละลายธาตุอาหารในการผลิตผักกาดหอม	172
ช1 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษาผลการใช้สูตรสารละลายธาตุ อาหารที่ได้จากการทดลองเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอม ต่างกลุ่ม ในระหว่างวันที่ 26 เดือนมิถุนายน ถึง 23 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.	178
ช2 ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษาผลการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหาร ที่ได้จากการทดลองเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอมต่าง กลุ่ม ในระหว่างวันที่ 26 เดือนมิถุนายน ถึง 23 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.	178

ผลของจุลธาตุ รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย และไตรโคเดอร์มาต่อ การผลิตผักกาดหอมกลุ่มบัตเตอร์เฮดด้วยสารละลายในเขตร้อน

Effects of Micronutrient, Electrical Conductivity Pattern of Nutrient Solution
and *Trichoderma harzianum* in Hydroponic Production of Butterhead Lettuce
in Tropical Zone

คำนำ

เทคนิคการปลูกพืชในสารละลาย หรือ hydroponic culture เป็นวิธีการปลูกพืชโดยใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากในปัจจุบันอัตราการเพิ่มของประชากรเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ยิ่งไปกว่านั้นพื้นที่ทำการเกษตรมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพื้นที่บางส่วนถูกนำไปใช้เป็นที่อยู่อาศัยและสร้างเป็นโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งบางพื้นที่ยังมีปัญหาดินขาดความอุดมสมบูรณ์ และปัญหาการสะสมของโรคและแมลง (อานันท์, มมป.) การปลูกพืชโดยใช้สารละลายยังสามารถใช้เป็นเทคนิคในการผลิตผักบางชนิดเพื่อทดแทนการนำเข้านี้ เนื่องจากผลผลิตที่ได้จากการปลูกพืชโดยใช้สารละลายนั้นมีคุณภาพสูงกว่าการปลูกพืชในดิน (ราเชนทร์ และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตาม สูตรสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืชด้วยวิธีนี้ ถูกพัฒนาในประเทศเขตอบอุ่น (Cooper, 1979) ขณะที่ประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อน ซึ่งอุณหภูมิบางช่วงอาจสูงถึงประมาณ 38 องศาเซลเซียส การปลูกพืชโดยใช้สารละลายในประเทศไทยจึงประสบกับปัญหาสภาพอากาศไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ในสภาพอากาศร้อนส่งผลให้ต้นพืชชะงักการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพลดลง (ดิเรก, 2550; ธีระศักดิ์, 2547) รากพืชอ่อนแอ เนื่องจากในสภาพอุณหภูมิสูงส่งผลให้การละลายของออกซิเจนในสารละลายลดลง อาจง่ายต่อการเข้าทำลายของโรคพืช โดยพบว่าการใช้ *Trichoderma* spp. ซึ่งจัดเป็นเชื้อราปฏิปักษ์ต่อเชื้อโรคพืช ร่วมกับสารละลายธาตุอาหาร สามารถกระตุ้นให้พืชต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรค ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งเพิ่มความเป็นประโยชน์และประสิทธิภาพในการดูแลใช้ธาตุอาหารได้มากขึ้น (แพรทอง, 2549; Harman *et al.*, 2004)

นอกจากนี้ความห่วงกังวลในเรื่องความปลอดภัยของผลิตผลอาจสูง เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคมีความสนใจเรื่องความปลอดภัยในการบริโภคมากขึ้น ซึ่งการใช้สารละลายธาตุอาหารที่เข้มข้นเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืชให้เพียงพอต่อความต้องการ อาจเป็นหนึ่งสาเหตุที่ส่งผลต่อความปลอดภัยในการบริโภค ทั้งนี้อาจทำให้เกิดการสะสมธาตุอาหารหรือสารบางชนิดในปริมาณที่สูงเกินไป เนื่องจากมีการดูดธาตุอาหารมากกว่าปริมาณที่พืชจะนำไปใช้ (Burt, 1993) อีกทั้งการใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารไม่สัมพันธ์กับระยะการเจริญเติบโตของพืชหรือสภาพอากาศร้อน ยังมีผลกระทบต่อปริมาณการบริโภค ดังนั้นหากสามารถพัฒนาสูตรสารละลายธาตุอาหารที่มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ อาจทำให้พืชมีการเจริญเติบโตดี ทำให้การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีประสิทธิภาพมากขึ้น การศึกษาความเข้มข้นของจุลธาตุและรูปแบบค่าการนำไฟฟ้า รวมทั้งการใช้ไตรโคเดอร์มาในสารละลายธาตุอาหาร จึงอาจเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผักกาดหอมที่ปลูกในเขตร้อนของประเทศไทย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของจุลธาตุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่ปลูกในเขตร้อน
2. เพื่อศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่ปลูกในเขตร้อน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่ปลูกในเขตร้อน

การตรวจเอกสาร

ผักกาดหอม

ผักกาดหอมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. อยู่ในวงศ์ Asteraceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศยุโรปและเอเชีย (Thompson and Kelly, 1978) จัดเป็นพืชเขตหนาว เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิกลางวัน 18-25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกลางคืน 10-15 องศาเซลเซียส (Ryder, 1998) เป็นผักที่ปลูกได้ง่าย และเป็นที่ยอดนิยมอย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการค้าขายกันอย่างกว้างขวาง นิยมนำมาใช้บริโภคสดเป็นสลัด จนได้รับชื่อว่าเป็น The King of Salad Plant (Shoemaker, 1949)

ผักกาดหอมถูกจำแนกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ออกได้เป็น 7 กลุ่ม (Shoemaker, 1949; Krístková, 2008) คือ

1. Butterhead Group เป็นกลุ่มของผักกาดหอมที่มีการห่อหัวแบบไม่แน่น (*L. sativa* var. *capitata* L. *nidus tenerima* Helm) ลักษณะการห่อจะห่อหัวเป็นแบบหลวมๆ ใบจะอ่อนนุ่มและผิวใบเป็นมัน ใบไม่กรอบเหมือนชนิดห่อหัวแน่น พันธุ์ที่นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดิน เช่น 'Kopfsalat', 'Rex RZ'
2. Crisphead Group เป็นกลุ่มของผักกาดหอมที่มีการห่อหัวแบบแน่น (*L. sativa* var. *capitata* L. *nidus jaggeri* Helm) ลักษณะการห่อหัวจะแน่น ใบจะบาง กรอบเปราะง่าย เส้นกลางใบชัดเจน ใบห่อเป็นหัวแข็งคล้ายกะหล่ำปลี พันธุ์ที่นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดิน เช่น 'Iceberg', 'Eissalat', 'Batavia'
3. Cos Group เป็นกลุ่มของผักกาดหอมที่มีการห่อหัวแบบหลวมและใบยาว (*L. sativa* var. *longifolia*) เช่น 'Laitue romaine'
4. Leaf Group เป็นกลุ่มของผักกาดหอมใบ (*L. sativa* var. *crispa*) เป็นกลุ่มของผักกาดหอมที่ไม่มีการห่อหัว เช่น 'Schnittsalat'

5. Stem Group เป็นกลุ่มของผักกาดหอมต้น (*L. sativa* var. *asparagina*) แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ใบมีสีเขียวอ่อนคล้ายใบผักกาดหอมในกลุ่ม cos และชนิดที่แผ่นใบเป็นรูปใบหอก ยาว ปลายใบแหลม นิยมนำส่วนของลำต้นมาใช้ประโยชน์แทนใบ รับประทานสดหรือปรุงสุกคล้ายหน่อไม้ฝรั่ง ในขณะที่ใบในระยะใบอ่อนสามารถรับประทานสดได้ หรือปรุงสุกคล้ายผักโขมได้เช่นกัน

6. Latin Group เป็นกลุ่มของผักกาดหอมที่มีลักษณะการห่อหัวแบบหลวม ใบสีเขียวเข้ม หนาคล้ายแผ่นหนัง รับประทานสด

7. Oil seed Group ผักกาดหอมกลุ่มนี้ ใบมีรสขม จึงไม่นิยมรับประทานเป็นผัก เมล็ดมีน้ำมันสูง ประกอบด้วยวิตามินอี และแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ นิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร

โดยผักกาดหอมใน 4 กลุ่มแรกนั้นเป็นที่นิยมของผู้บริโภค จึงมีการนำมาปลูกกันอย่างแพร่หลายทั้งในระบบใช้ดินและระบบไม่ใช้ดิน (ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2554)

Soilless culture

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (Soilless culture) เป็นการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกอื่นๆ เป็นตัวช่วยพยุงรากแทนการใช้ดิน เช่น ทราย กรวด ดินเผา ขุยมะพร้าว หรือวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดิน ซึ่งพืชสามารถเจริญเติบโตได้จากการได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีน้ำผสมกับธาตุต่างๆ ที่พืชต้องการจากทางราก ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. Substrate culture เป็นการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกต่างๆ ที่ไม่ใช่ดิน อาจเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเป็นวัสดุสังเคราะห์ เช่น ขุยมะพร้าว พีทมอส ดินเผา หินภูเขาไฟ เป็นต้น โดย นิยมให้สารละลายธาตุอาหารด้วยระบบน้ำหยด

2. Hydroponic culture เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยรากพืชจะสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง มีการให้สารละลายธาตุอาหารผ่านทางรากตลอดเวลา

3. Aeroponic culture เป็นระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยที่รากพืชจะลอยอยู่ในอากาศ พืชจะได้รับธาตุอาหารโดยการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหาร

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินนั้นมีประโยชน์และได้รับความนิยมมากขึ้นอย่างแพร่หลาย โดยได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาความไม่เหมาะสมต่างๆ ที่พบจากการปลูกพืชโดยใช้ดิน อีกทั้งเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจากการปลูกบนดินที่มีขีดจำกัดเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพดินที่ไม่เหมาะสม ดินเค็ม ดินด่าง ดินเสื่อมโทรม ขาดความอุดมสมบูรณ์ หรือสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสม ฤดูแล้ง (ราเชนทร์ และคณะ, 2548) การปลูกพืชแบบนี้ช่วยประหยัดพื้นที่ในการปลูก โดยสามารถปลูกได้แม้ในพื้นที่จำกัด เช่น ดาดฟ้าบนอาคารบ้านเรือน หรือระเบียงบ้าน ตลอดจนปลูกในแนวดิ่งเพื่อใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิตต่อพื้นที่ (นภดล, 2538; ดิเรก, 2550) ดังนั้น การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินนี้ ถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการเพิ่มประสิทธิภาพเกี่ยวกับการผลิตทางการเกษตร

นอกจากนี้การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินยังเป็นเรื่องสำคัญในการใช้ศึกษาเรื่องธาตุอาหาร เช่น การศึกษาการดูดซึมธาตุอาหาร การศึกษาพฤติกรรมที่เป็นวัฏจักรและส่งเสริมกันของธาตุอาหาร ผลของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์โมเลกุลที่สำคัญของพืช เป็นต้น (Mengel and Kirkby, 2001)

ระบบในการปลูกแบบ hydroponic culture

สำหรับการปลูกแบบ hydroponic มีหลายระบบ เช่น

1. ระบบ NFT (Nutrient Film Technique) เป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างมาก (อานันท์, 2548) การปลูกพืชในระบบนี้จะเป็นการปลูกโดยให้รากของพืชแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายที่ไหลผ่านจะมีลักษณะคล้ายกับแผ่นฟิล์มบางๆ มีความสูงประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และรางจะมีความลาดเอียงเล็กน้อย เพื่อให้สารละลายสามารถไหลผ่านได้ โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและเวียนกลับมาถึงเก็บสารละลาย ดังนั้นในระบบนี้ สารละลายจะไหลหมุนเวียนผ่านรากตลอดเวลา (ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2554) ข้อดีของระบบนี้คือ ความสะดวกในการปฏิบัติงาน ให้ผลผลิตที่สะอาด ใช้น้ำน้อยกว่าระบบอื่นๆ เป็นระบบที่สามารถติดตั้งได้ทุกพื้นที่ อายุใช้งานของวัสดุปลูกและอุปกรณ์ยาวนาน และ

สามารถเคลื่อนย้ายได้ (ถวัลย์, 2534) ส่วนข้อจำกัดคือ อุปกรณ์ที่ใช้มักมีราคาแพง ต้องใช้กระแสไฟฟ้าตลอดเวลา และต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิด

2. ระบบ DFT (Deep Flow Technique) เป็นระบบที่ประยุกต์ขึ้นมาจากระบบ NFT เพื่อแก้ปัญหาในระบบรากแห้งเมื่อระบบไฟฟ้าขัดข้อง (ดิเรก, 2550) โดยในระบบนี้ใช้วิธีปลูกพืชบนแผ่นโฟม หรือวัสดุที่ลอยน้ำได้เพื่อยึดลำต้น ส่วนรากพืชจะแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 5-8 เซนติเมตร ด้านหนึ่งจะมีท่อน้ำไหลเข้าและที่ปลายอีกด้านมีท่อน้ำไหลออก เมื่อน้ำไหลท่วมภาชนะจนสูงกว่าท่อน้ำออก น้ำจะไหลล้นออกสู่ท่อน้ำออก ไหลกลับเข้าสู่ถังพัก เมื่อตกลงสู่ถังพักจะเกิดฟองอากาศ อากาศจึงถูกเติมโดยอัตโนมัติและสารละลายจะถูกสูบกลับเข้าในภาชนะอีกโดยปั้มน้ำ (ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2554) ระบบนี้จะแตกต่างจากระบบ NFT ตรงปริมาณสารละลายที่ใช้ในการปลูก โดยสารละลายที่ใช้จะมีจำนวนมากกว่าหลายเท่า เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนข้อจำกัดของระบบนี้คือ เมื่ออุณหภูมิสูง การลดความร้อนในระบบปลูกจะทำได้ช้า ใช้สารละลายและน้ำในปริมาณมาก อีกทั้งยังเกิดปัญหารากพืชขาดอากาศได้ง่าย (อานัฐ, 2548)

3. ระบบ DRFT (Dynamic Root Floating Hydroponics Technique) เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบ DFT โดยมีวิธีการปลูกที่เหมือนกัน แต่จะเพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารละลายธาตุอาหาร โดยอาจมีการดัดแปลงให้มีส้นที่พื้นภาชนะ เพื่อให้โคนต้นสัมผัสอากาศตลอดเวลา มีวาล์วสำหรับปรับระดับน้ำ สามารถควบคุมและลดระดับน้ำเพื่อให้รากด้านบนได้รับอากาศ ทำให้พืชได้รับทั้งอากาศและสารละลายธาตุอาหารที่มีการหมุนเวียนที่รากพืชอย่างต่อเนื่อง (ดิเรก, 2550)

สารละลายธาตุอาหาร

การที่พืชจะเจริญเติบโตได้นั้น พืชจำเป็นต้องได้รับแสง อากาศ และธาตุอาหาร โดยปกติแล้วพืชจะได้รับธาตุอาหารจากดิน แต่เนื่องจากการปลูกแบบ hydroponic นี้เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ดังนั้นธาตุอาหารที่พืชได้รับจะอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารต่างๆ ที่พืชต้องการ และเพื่อให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปอย่างดี อัตราส่วนของธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารจึงควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมจะต้องมีชนิดและปริมาณธาตุอาหารที่มากพอกับความต้องการของพืชโดยไม่เป็นพิษกับพืช และมี

สัดส่วนระหว่างธาตุที่เหมาะสมไม่ทำให้เกิดการแข่งขันของการดูดใช้ระหว่างธาตุอาหารที่มีประจุชนิดเดียวกัน (อิทธิสุนทร, 2542) ทั้งนี้ อัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับชนิด และอายุการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้สภาพแวดล้อมก็มีผลต่อความเหมาะสมของสารละลายธาตุอาหาร โดยความเหมาะสมจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Kang and van Iersel, 2001; Fallovo, 2009)

ปัจจุบันสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในประเทศไทยนั้นมีหลายสูตร เช่น Cooper (1979), Hoagland and Arnon (1950) และ Resh (1984) เป็นต้น แต่ละสูตรจะมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันไป การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก สภาพแวดล้อมขณะปลูก ตลอดจนวัตถุประสงค์ในการปลูก เนื่องจากหากเป็นการปลูกเพื่อการค้าจำเป็นต้องเลือกใช้ธาตุอาหารให้เหมาะสม รวมทั้งมีการคำนวณถึงต้นทุนการผลิต เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด

ตารางที่ 1 สูตรสารละลายธาตุอาหารที่นิยมใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ธาตุอาหาร (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Cooper (1979)	Hoagland and Arnon (1950)	Resh (1984)
ไนโตรเจน	200	210	175
ฟอสฟอรัส	60	31	65
โพแทสเซียม	300	231	400
แคลเซียม	170	200	197
แมกนีเซียม	50	48	44
เหล็ก	12	5	2
แมงกานีส	2	0.5	0.5
โบรอน	0.3	0.5	0.5
สังกะสี	0.1	0.05	0.05
ทองแดง	0.1	0.02	0.05
โมลิบดีนัม	0.2	0.01	0.02

ที่มา: ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2554

ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบสูตรสารละลายธาตุอาหารในแต่ละสูตร (ตารางที่ 1) พบว่า ความเข้มข้นของธาตุที่มีปริมาณแตกต่างกันไม่มาก แต่ธาตุที่มีปริมาณแตกต่างกันมาก อย่างไรก็ตาม สูตรต่างๆ ที่นิยมใช้กันนั้นจะให้ผลไม่แตกต่างกัน หากใช้ธาตุเหมือนกัน ซึ่งในประเทศไทย นั้นชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย (2554) แนะนำให้ใช้สารละลายสูตรของ Cooper ร่วมกับนิคสเปรย์ (Nicspray®) ซึ่งเป็นธาตุผสมสำเร็จรูปและมีนิคเกิลเป็นส่วนประกอบ แทนธาตุในสูตร Cooper โดยใช้นิคสเปรย์ในอัตราส่วน 0.05 กรัมต่อลิตร

ยงยุทธ และคณะ (2554) พบว่า ธาตุ และหลักคีเลตสูตรต่างๆ ที่นิยมใช้กัน ให้ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่แตกต่างกัน ถ้าใช้ธาตุที่เหมือนกัน โดยทั่วไปสูตร Cooper ทำให้รากเจริญดีกว่า ทั้งนี้ อาจใช้หลัก EDTA 50 กรัมต่อลิตร หรือหลัก DTPA 100 กรัมต่อลิตร หรือหลัก DTPA ร่วมกับหลัก EDDHA อย่างละ 50 กรัมต่อลิตร หรือหลัก DTPA 75 กรัมต่อลิตร ร่วมกับหลัก EDDHA 25 กรัมต่อลิตร เป็นต้น สำหรับกรณีปลูกผักสลัดโดยใช้สารละลายที่มีค่า EC ต่ำ ควรเพิ่มแคลเซียมไนเตรต 10% และเพิ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 10% จากสูตรของ Cooper และธาตุจากนิคสเปรย์ 50 กรัมต่อลิตร แต่จะได้ผลดียิ่งขึ้นถ้าเติมแมกนีสิเอม EDTA 10 กรัมต่อลิตร และแอมโมเนียมโมลิบเดต 0.5 กรัมต่อลิตร และอาจเติมนิคเกิลซัลเฟต 0.3 กรัมต่อลิตร ด้วย

พืชแต่ละชนิดต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน เช่น ผักกินใบ ต้องการความเข้มข้นของสารละลายต่ำกว่าผักกินผล และต้องการปริมาณธาตุไนโตรเจนค่อนข้างสูง ผักกินผลต้องการธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียมในปริมาณที่มากกว่า นอกจากนี้ ช่วงอายุการเจริญเติบโต และสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ แสง และความชื้น) ยังมีผลต่อความต้องการสารละลายธาตุอาหาร โดยช่วงแรกของการเจริญเติบโตพืชจะต้องการสารละลายในระดับความเข้มข้นต่ำ เมื่อเริ่มมีอายุมากขึ้น พืชจะต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้นจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต้องไม่สูงเกินไปจนส่งผลเสียต่อพืช เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่สูงเกินไปจะทำให้ธาตุต่างๆ เริ่มเป็นพิษต่อพืช ความสามารถในการดูดน้ำของพืชจะลดลง ตลอดจนจะทำให้มีปริมาณธาตุบางชนิดสูงกว่าที่ควรบริโภค ดังนั้นสูตรละลายธาตุอาหารที่ใช้ในจึงอาจแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด (ธรรมศักดิ์, 2554)

การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องดูแลจัดการสารละลายธาตุอาหาร ต้องตรวจสอบและควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหารให้เหมาะสม โดยค่า pH ที่เหมาะสมนั้น ควรอยู่ที่ประมาณ 5.8–6.5 (Cooper, 1979; อธิวิสุนทร และคณะ, 2552) หากค่า pH สูงเกินไปหรือต่ำเกินไป จะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชและการดูดใช้ธาตุอาหาร ธาตุอาหารบางตัวอาจอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยปัญหาที่มักพบคือสารละลายธาตุอาหารจะมีค่าเป็นด่างเกินไป เนื่องจากพืชดูดไนเตรตและปล่อยไฮดรอกซิลไอออนออกมา ส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นตามลำดับ ถ้าไม่ได้รับการปรับด้วยกรดเพื่อลดค่า pH จะส่งผลให้เกิดการตกตะกอนของธาตุอาหาร ทำให้พืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้ และเกิดความไม่สมดุลของธาตุในสารละลายธาตุอาหาร ส่งผลให้พืชเกิดอาการขาดธาตุ

ดังจะเห็นได้ว่าการจัดการสารละลายธาตุอาหาร ถือเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร ต้องมีการจัดการให้เหมาะสมกับชนิดพืช อายุพืช และสภาพแวดล้อม เพื่อให้สารละลายธาตุอาหารมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอ โดยไม่มากเกินไปจนสิ้นเปลือง หรือน้อยเกินไปจนพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และเพื่อให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชมากที่สุด

ค่า Electrical Conductivity

ค่า EC หรือค่า Electrical Conductivity เป็นค่าการนำไฟฟ้า สามารถใช้บ่งบอกถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร เนื่องจากเกลือที่อยู่ในสารละลายนั้นมีการแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า ทำให้สารละลายนำไฟฟ้าได้ ถ้ามีธาตุอาหารเป็นจำนวนมากจะทำให้สารละลายมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่ค่าการนำไฟฟ้านี้ไม่สามารถบอกได้ว่าสารละลายนั้นมีธาตุอาหารแต่ละชนิดมากหรือน้อย หากต้องการทราบจะต้องนำสารละลายธาตุอาหารไปวิเคราะห์ทางเคมี โดยค่าการนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็น มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mMho/cm) ปัจจุบันนิยมเรียกว่า มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (mS/cm) แทน โดย 1 mMho/cm เท่ากับ 1 mS/cm (ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2544)

ปกติค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในระบบ hydroponic จะอยู่ที่ระดับ 1-4 mS/cm โดยขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงอายุการเจริญของพืช สภาพภูมิอากาศ ดังนั้นการปลูกในระบบ

hydroponic จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อให้พืชได้รับปริมาณสารอาหารตามที่ต้องการ หากค่า EC มีค่าต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้การเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่มีในสารละลายนั้นไม่สมดุล ผลผลิตที่ได้จึงอาจมีคุณภาพต่ำลง (ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2544; อธิวิสุนทร, มปป) ในพืชบางชนิดการเพิ่มปริมาณเกลือแร่มีผลเชิงบวก เช่น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland เป็น 200% ทำให้ชัลเวียออกดอกก่อนต้นที่ปลูกในสารละลายความเข้มข้นต่ำกว่า อีกทั้งยังเพิ่มน้ำหนักแห้งรวมและพื้นที่ใบ (Kang and van Iersel, 2004) ในทำนองเดียวกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้น K^+ ในสารละลายธาตุอาหารจะมีผลเพิ่มน้ำหนักผลแห้งรวม ปริมาณ total soluble solids และความเข้มข้นของ lycopene ในมะเขือเทศ (Fanasca *et al.*, 2006) ในทางกลับกันหาก EC มีค่าสูงเกินไป อาจเป็นพิษต่อพืช ทำให้การดูดซึมธาตุเป็นไปอย่างไม่สมดุล ทั้งนี้หากค่า EC สูงเกินไป สามารถปรับลดได้โดยการเพิ่มน้ำ และหากค่า EC ต่ำไปสามารถปรับเพิ่มได้โดยการเพิ่มธาตุอาหาร

Schwarz and Kuchenbuch (1998) ได้ศึกษาการดูดน้ำของมะเขือเทศในระบบ closed hydroponic พบว่าการเจริญและผลผลิตที่ได้มีปริมาณลดลงเมื่อค่า EC สูงขึ้น (6-9 mS/cm) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหรือปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น พื้นที่ปลูก หรือพื้นที่ใบ เป็นต้น เช่นเดียวกับ Schwarz *et al.* (2002) ที่ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารหรือค่า EC ต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของมะเขือเทศในการปลูกแบบ hydroponics พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้น มีผลให้การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงลดลง นอกจากนี้จิตตานันท์ (2545) ได้ศึกษาอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมใบ โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi (1988) ความเข้มข้น 0.5 mS/cm ในสัปดาห์แรก แล้วเพิ่มความเข้มข้นสารละลายทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 0.25 mS/cm ผลที่ได้พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในช่วงที่ 2 และ 3 ของการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งราก พื้นที่ใบ และปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในใบเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารจาก 0.5 mS/cm เป็น 0.75 mS/cm ในสัปดาห์ที่ 4

Kim *et al.* (2005) ได้ศึกษาผลจากค่า pH และ EC ในสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของกุหลาบภายในโรงเรือน ซึ่งผลที่ได้พบว่า อุณหภูมิสูงและความเข้มแสงที่สูงในฤดู

ร่อนนั้นก็มีผลชักนำให้การดูดน้ำและแร่ธาตุของกุหลาบในระบบ hydroponics ไม่สมดุล โดยมีความต้องการในการดูดน้ำมากกว่าธาตุอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อการสูญเสียน้ำ นอกจากนี้ Samarakoon *et al.* (2006) ได้ศึกษาผลของค่า EC ในสารละลายธาตุอาหารต่อการดูดธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตในผักกาดหอม โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูตร Albert เป็น 0.5 กรัมต่อลิตร (EC เท่ากับ 1.4 mS/cm), 1 กรัมต่อลิตร (EC เท่ากับ 2.0 mS/cm) และ 2 กรัมต่อลิตร (EC เท่ากับ 3.0 mS/cm) พบว่า เมื่อค่า EC เพิ่มขึ้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลงอย่างเห็นได้ชัด ที่ EC เท่ากับ 1.4 mS/cm มีจำนวนใบมากกว่า EC 2.0 และ 3.0 mS/cm แต่ไม่มีผลต่อความสูงต้นและพื้นที่ใบ ในทางกลับกันพบว่าการดูดธาตุ N, P, K, และ Ca เพิ่มขึ้นเมื่อค่า EC เพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ที่ผกผันกันระหว่างการเจริญเติบโตและอัตราการดูดธาตุอาหารนั้น อาจเป็นผลกระทบเชิงลบจากการดูดธาตุที่มากเกินไป

ธาตุอาหารที่จำเป็นของพืชและปฏิกริยาระหว่างธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารที่จำเป็นของพืช (essential nutrient elements) คือ ธาตุที่พืชต้องการเพื่อดำรงชีวิต หากขาดพืชจะมีอาการผิดปกติซึ่งเป็นอาการที่มีลักษณะเฉพาะ อาจแก้ไขโดยการให้ธาตุนั้นในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ธาตุเหล่านี้มีบทบาทโดยตรงต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช ดังนั้นเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารครบทุกธาตุอย่างเพียงพอและสมดุลกัน รวมทั้งมีปัจจัยอื่นๆ ที่จำเป็นอย่างเหมาะสม พืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติและให้ผลผลิตสูงตามศักยภาพ (ยงยุทธ, 2552) หากพืชได้รับธาตุอาหารไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดการขาดธาตุอาหารหรือการให้ธาตุอาหารมากเกินไปจะมีผลต่อการดูดธาตุแต่ละธาตุ เนื่องจากธาตุแต่ละธาตุมีความสัมพันธ์ต่อกัน (โสระยา, 2548) โดย Meharg and Macnair (1992) และ Marschner (2012) อธิบายว่า ขนาดอิเล็กทรอนิกส์รอบนอกของธาตุอาหารมีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการเข้าแข่งขันการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช การทำความเข้าใจต่อบทบาทของธาตุอาหารที่จำเป็น รวมถึงความสามารถในการเคลื่อนย้ายของธาตุนั้น จะช่วยให้เข้าใจในเรื่องการตอบสนองต่อการขาดธาตุและอาการเป็นพิษจากการได้รับธาตุอาหารของพืชที่มากเกินไป (McCauley *et al.*, 2009)

พืชจะดูดใช้ธาตุอาหารในรูปไอออน โดยธาตุที่พืชต้องการจะมีอยู่ 16 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โมลิบดีนัม (Mo) โบรอน (B) และคลอรีน (Cl) สามารถจำแนกได้ 2 วิธี (Mengel and Kirkby, 2001) คือ

1. แบ่งตามบทบาทของธาตุอาหารในทางสรีรวิทยา สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซิลิเคอร์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอินทรีย์สาร ประกอบกันเป็นโมเลกุลที่มีความสำคัญในกระบวนการที่ใช้เอนไซม์ นอกจากนี้ยังช่วยในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reactions)

กลุ่มที่ 2 ฟอสฟอรัส และโบรอน ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) กับกลุ่มแอลกอฮอล์ของอินทรีย์สารในพืช และปฏิกิริยาการขนส่งพลังงาน

กลุ่มที่ 3 โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม คลอรีน แมงกานีส และคลอรีน สร้างศักย์ออกซิเดชันในเซลล์ เป็นตัวกระตุ้นการออกฤทธิ์ของเอนไซม์ โดยช่วยปรับรูปร่างของโปรตีนซึ่งเป็นเอนไซม์ให้เหมาะสม ควบคุมสภาพการดูดซึมหรือการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ และควบคุมสภาพศักย์ไฟฟ้าในเซลล์

กลุ่มที่ 4 เหล็ก ทองแดง สังกะสี และโมลิบดีนัม ช่วยในการขนส่งอิเล็กตรอน

2. แบ่งตามปริมาณที่พืชต้องการ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารในพืช คือ macronutrient (มหธาตุ) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุในกลุ่มนี้เมื่อพืชเจริญเต็มวัยมีค่าสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมี 9 ธาตุ คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน และ micronutrients (จุลธาตุ) ซึ่งเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุในกลุ่มนี้เมื่อพืชเจริญเต็มวัยมีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง มีอยู่ 7 ธาตุ คือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม โบรอน และคลอรีน (ยงยุทธ, 2552)

การที่มหธาตุมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบ hydroponic ค่อนข้างชัดเจน ในที่นี้จึงกล่าวถึงเฉพาะบทบาทของจุลธาตุซึ่งมีทั้งหมด 7 ธาตุ ประกอบด้วย เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม โบรอน และคลอรีน

เหล็ก มีรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} รวมไปถึงเหล็กคีเลตที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กไอออนกับสารคีเลตธรรมชาติ โดยมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช ทั้งการสังเคราะห์แสง การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีน การสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช และเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิด เหล็กจะมี interaction กับธาตุอื่นด้วยการเพิ่มความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส หรือทองแดง ที่ความเข้มข้นของเหล็กมีระดับปกติหรือต่ำ จะทำให้พืชดูดเหล็กได้น้อยลง (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้เหล็กยังมีสถานะที่เป็นปฏิกิริยากับแมงกานีส โดยการเพิ่มปุ๋ยแมงกานีสจะลดการดูดเหล็ก และในทางกลับกันการเพิ่มเหล็กจะทำให้การดูดแมงกานีสลดน้อยลงด้วย และเมื่อศึกษาผล การเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายธาตุอาหารต่อการดูดธาตุ พบว่าฟอสฟอรัสได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด รองลงมาคือโพแทสเซียม แมกนีเซียม ไนโตรเจน และแคลเซียม นอกจากนี้ยังมีผลทำให้การดูดจุลธาตุลดลง โดยจะดูดแมงกานีสลดลงมากที่สุด รองลงมาคือสังกะสีและทองแดง สำหรับลักษณะอาการเมื่อพืชเกิดการขาดธาตุเหล็กนั้น พืชจะเกิดเหลืองซีดระหว่างเส้นใบ (interveinal chlorosis) โดยเส้นใบจะยังเขียว ขณะที่พื้นที่ระหว่างเส้นใบมีสีเหลือง โดยจะเกิดบริเวณใบอ่อนก่อน (ดิเรก, 2550) เนื่องจากธาตุนี้ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ในพืช เมื่อถึงขั้นรุนแรงจะเริ่มจากเส้นใบขนาดเล็กเปลี่ยนเป็นมีสีเหลืองหรือขาว ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และหากได้รับมากเกินไป ใบจะมีสีเขียวอมน้ำเงิน การเจริญเติบโตของลำต้น ราก และใบจะหยุดชะงัก (โสระยา, 2548)

แมงกานีส รูปที่เป็นประโยชน์ที่พืชดูดใช้ทั่วไปนั้น จะอยู่ในรูป Mn^{2+} โดยแมงกานีสมีหน้าที่ในกระบวนการเมตาบอลิซึมทั้งการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ฮอร์โมนพืช ทำหน้าที่เป็นตัวรับส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง (โสระยา, 2548) เป็นตัวเร่งการทำงานและเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ และยังมีบทบาทในการแบ่งเซลล์ การยืดยาวของเซลล์ และการพัฒนาในระยะเจริญพันธุ์ของพืชด้วย แมงกานีสมี interaction กับธาตุอื่นด้วย ซึ่งพบว่าแมงกานีสกับเหล็กนั้นมีภาวะปฏิกิริยาต่อกันในการดูดอย่างชัดเจน โดยพบว่าการเพิ่มเหล็กในสารละลายธาตุอาหาร จะช่วยลดความเป็นพิษของแมงกานีสในข้าวบาร์เลย์ได้ (Alam *et al.*, 2001) นอกจากนี้โมลิบดีนัม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมก็มีภาวะปฏิกิริยาต่อแมงกานีส โดยพบว่าโพแทสเซียมและแคลเซียมจะลดการดูดซึมของแมงกานีส การได้รับแมงกานีสมากเกินไป อาจเหนียวนาให้พืชขาดธาตุอื่นๆ ด้วย เช่น เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียม ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้ขาดเหล็กและแมกนีเซียมคือ การแข่งขันกันในการดูดและการ

แข่งขันกันในการทำหน้าที่ในเซลล์ เมื่อพืชขาดธาตุแมงกานีส พืชจะเกิดอาการ chlorosis โดยใบอ่อนจะเกิดสีเหลืองระหว่างเส้นใบ บางครั้งอาจเกิดอาการใบแห้งตาย และมีจุดสีเหลืองขนาดเล็กเกิดบนใบ (ดิเรก, 2550) หากได้รับแมงกานีสมากเกินไป พืชจะเกิดอาการจุดสีน้ำตาลล้อมรอบด้วยสีเหลืองที่ใบแก่ (โสระยา, 2548)

ทองแดง หน้าที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ Cu^{2+} มีบทบาทสำคัญในการเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ และมีบทบาทด้านการสังเคราะห์แสง ซึ่งโดยทั่วไปกว่า 50% ของทองแดงจะอยู่ในคลอโรพลาสต์โดยเกาะอยู่กับ พลาสโตไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง (โสระยา, 2548) ดังนั้นหากขาดทองแดงจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ลิพิดิน ทองแดงจะมีภาวะที่เป็นปฏิปักษ์กับจุลธาตุหลายชนิด ทั้งในด้านการดูดและการเคลื่อนย้าย แต่ที่มีผลมากที่สุดคือกับมหธาตุ โดยพบว่าปุ๋ยไนโตรเจนจะมีส่วนเร่งให้พืชขาดทองแดงได้ง่าย ทำให้พืชต้องการทองแดงมากขึ้น (ยงยุทธ, 2552) เมื่อพืชเกิดอาการขาดทองแดง การเจริญเติบโตจะลดลง และเกิดใบเหลือง หากพืชได้รับมากเกินไปจะส่งผลให้ลำต้นเกิดอาการแคระแกร็น และสัญญาณวิทยาของรากจะเปลี่ยนแปลงไป รากจะสั้นและไม่แตกแขนง (โสระยา, 2548)

สังกะสี พืชจะดูดใช้ในรูป Zn^{2+} บทบาทที่สำคัญของสังกะสีจะเกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิด ช่วยเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ชนิดต่างๆ เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ และเกี่ยวข้องกับการควบคุมและการดูแลซ่อมแซมเนื้อเยื่อ สังกะสีจะมี interaction กับธาตุอื่นๆ ทั้งในด้านการดูด การเคลื่อนย้ายและกระบวนการเมตาบอลิซึมโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับฟอสฟอรัส (ยงยุทธ, 2552) และพบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตสูงเกินไป จะเหนี่ยวนำให้พืชสามารถขาดสังกะสีได้ ฟอสฟอรัสสามารถ inactivate ฤทธิ์ของสังกะสีได้ โดยพบว่าปัญหาการขาดสังกะสีไม่ได้เกิดจากความเข้มข้นของสังกะสีในเนื้อเยื่อพืชเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสกับสังกะสีในพืชด้วย (Bergmann, 1992) และในสภาวะที่พืชขาดสังกะสีหากได้รับปุ๋ยฟอสเฟตสูง จะทำให้พืชดูดฟอสฟอรัสเข้าไปสะสมมากจนเป็นพิษและแสดงอาการผิดปกติได้ นอกจากนี้สังกะสียังมี interaction กับกำมะถันและธาตุอื่นๆ ด้วย โดยพบว่ามีความสัมพันธ์กันกับกำมะถัน มีภาวะที่เป็นปฏิปักษ์กันด้านการดูดและการเคลื่อนย้ายกับโบรอน โดยพบว่าการในสภาวะที่มีโบรอนสูงสังกะสีจะช่วยลดความเป็นพิษของโบรอนในพืชได้ (Fageria, 2001) ถ้าความเข้มข้นสังกะสีมากเกินไปจะชักนำให้ขาดเหล็ก เนื่องจากไฮเดรตไอออนของเหล็กและสังกะสีมีขนาดใกล้เคียงกัน จึงเป็น

ปฏิบัติต่อกัน อาการที่เกิดขึ้นเมื่อพืชขาดสังกะสีคือ การเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก ขั้วสั้น และใบเล็กลง และใบจะมีสีเหลือง และหากได้รับมากเกินไปพบว่า สังกะสีจะไปยับยั้งการยืดยาวของราก และทำให้ใบเกิดอาการเหลือง (โสระยา, 2548)

โมลิบดีนัม พืชจะเคลื่อนย้ายในรูป MoO_4^{2-} มีบทบาทสำคัญต่อกิจกรรมของเอนไซม์ที่ช่วยในกระบวนการเมตาบอลิซึมหลายชนิด ทั้งนี้บทบาทหลักของโมลิบดีนัมจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรรีดักเทส (Marschner, 2012) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยในเรื่องการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน มีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีนและกรดนิวคลีอิก และการพัฒนาของพืชในระยะเจริญพันธุ์ โมลิบดีนัมจะมีภาวะปฏิบัติและภาวะส่งเสริมกับธาตุอื่น โดยแอมโมเนียมจะมีบทบาทในการลดการดูดโมลิบดีนัมของราก ฟอสฟอรัสมีผลในการเพิ่มโมลิบดีตไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชในสารละลายดินให้มากขึ้น แต่ถ้าฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตไฮดรอกไซด์มีมากเกินไป จะลดการดูดโมลิบดีนัมเนื่องจากฟอสเฟตไฮดรอกไซด์จะเข้าแย่งจับ carrier ที่บริเวณ cell membrane โมลิบดีนัมจะมีภาวะส่งเสริมกับโพแทสเซียม ทองแดง และแมกนีเซียม โดยแมกนีเซียมจะช่วยให้รากพืชดูดโมลิบดีนัมได้มากขึ้น ส่วนซัลเฟตจะเป็นภาวะปฏิบัติคือจะทำให้รากพืชดูดโมลิบดีนัมได้น้อยลง และในสถานะที่โมลิบดีนัมต่ำนั้น หากได้รับทองแดงหรือแมกนีเซียมากเกินไป จะทำให้พืชขาดโมลิบดีนัมเร็วขึ้น (ยงยุทธ, 2552) เมื่อพืชขาดโมลิบดีนัม พืชจะแสดงอาการใบและเส้นใบเหลือง (โสระยา, 2548) ขอบใบไหม้ งอ และเหี่ยวตายในที่สุด (ดิเรก, 2550)

โบรอน มีความสัมพันธ์กับกระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและกรดนิวคลีอิก การสร้างผนังเซลล์ การแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์แสง ช่วยเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล มีผลต่อการสร้างดอกและการติดผลของพืช นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มหรือส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของธาตุอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม (กองปฐพีวิทยา, 2543) โดยโบรอนจะส่งเสริมการเคลื่อนย้ายแคลเซียมในท่อลำเลียงอาหาร ในสถานะที่โบรอนในดินสูงจนเป็นพิษต่อพืชนั้น การเพิ่มสังกะสีจะทำให้การสะสมโบรอนในพืชลดลง ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ส่วนในกัมมะถันนั้นจะเป็นภาวะปฏิบัติ อาการเมื่อพืชขาดโบรอนคือ ใบเหลือง รูปร่างใบผิดปกติ ส่งผลต่อการสร้างดอกและเมล็ด (โสระยา, 2548)

คลอรีน เป็นธาตุที่ละลายได้ง่าย อาจไม่จำเป็นต้องใส่เพิ่มให้ธาตุเนื่องจากมีผสมอยู่ในน้ำฝน ปุ๋ย และมลภาวะของอากาศในปริมาณที่เพียงพอแล้ว (โสระยา, 2548) คลอรีนมีบทบาท

เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การควบคุมออกซิเจน เป็นตัวกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ และเร่งการสร้างแป้ง ช่วยในการเจริญเติบโตของราก คลอรีนจะมี interaction กับแมงกานีส ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน โดยคลอรีนจะยับยั้งกระบวนการเกิด nitrification ในดิน (ยงยุทธ, 2552) เมื่อพืชขาดคลอรีน จะเกิดอาการเหี่ยว โดยเฉพาะบริเวณขอบใบ การยืดยาวของรากจะถูกยับยั้ง แต่จะไม่มีผลในการเพิ่มการแตกแขนงของราก (โสระยา, 2548)

แต่ในปัจจุบันมีการยอมรับนิเกิล (Ni) ว่าเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นับเป็นธาตุที่ 17 ที่พืชต้องการ นอกจากนี้ ยังพบว่ามีธาตุโคบอลต์ (Co) โซเดียม (Na) และซิลิกอน (Si) ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่จำเป็นในพืชบางชนิดเท่านั้น (ยงยุทธ, 2552; Mengel and Kirkby, 2001)

รายงานการศึกษาในดินพบว่าฟอสฟอรัสมีผลต่อการดูดทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี (Safaya, 1976; James *et al.*, 1995) โดยพบว่าฟอสฟอรัสสามารถชักนำให้เกิดการขาดสังกะสีได้ในข้าวโพด (Terman *et al.*, 1972; Safaya, 1976) ปริมาณฟอสฟอรัสที่มากเกินไปจะลดการดูดสังกะสีในมันฝรั่ง ซึ่งส่งผลต่อขนาดหัวและผลผลิตที่ได้ (Soltanpour, 1969)

Barben *et al.* (2010) ได้ศึกษาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและสังกะสีในระบบ hydroponic ในมันฝรั่งพันธุ์ Russet Burbank พบว่าฟอสฟอรัสและสังกะสีมี interaction ต่อกัน และนอกจากนี้ยังพบว่าทั้งฟอสฟอรัสและสังกะสียังมี interaction กับแมงกานีสด้วย โดยเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นได้ส่งผลกระทบต่อ การดูดแมงกานีส และพบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและสังกะสีมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นมันฝรั่ง คือเมื่อฟอสฟอรัสและสังกะสีมีความเข้มข้นต่ำนั้น ต้นที่ได้จะมีลักษณะแคระแกร็น การเจริญของยอดและรากจะลดลง แต่ถ้าให้มากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อพืชได้ โดยต้นจะไม่แข็งแรง เกิดอาการ chlorosis ใบด่าง ใบหงิก เกิด necrosis ดังนั้นจึงควรให้ฟอสฟอรัสและสังกะสีที่ความเข้มข้นเหมาะสม เพื่อให้ได้ต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์ มีการเจริญเติบโตปกติ จะเห็นได้ว่าธาตุแต่ละธาตุมีบทบาทแตกต่างกันไป ดังนั้นในการปลูกพืชให้ได้ผลตามต้องการจึงต้องพยายามจัดหาธาตุอาหารให้เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการของพืช (ดิเรก, 2550)

อุณหภูมิและความเข้มแสง

การปลูกพืชในสารละลายนั้น อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการปลูก ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิสารละลายล้วนแล้วแต่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยในสภาพอุณหภูมิสูงและวันยาวจะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพต่ำ ใบมีรสขม และเกิดช่อดอกเร็วขึ้น (สุเทวี, 2530) ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของผักกาดหอมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขณะที่ปลูก (Wien, 1997) อุณหภูมิอากาศสูงยังทำให้อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อการทำงานของราก เช่น การหายใจ การดูดซับน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำ การคายน้ำ และการดูดธาตุอาหาร ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตทั้งสิ้น (Ikeda and Osawa, 1984) นอกจากนี้ยังมีผลโดยตรงต่อปริมาณออกซิเจนในสารละลาย โดยพบว่าความต้องการออกซิเจนของพืชเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หากปริมาณออกซิเจนลดลง 3 หรือ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือประมาณ 60% จะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งถือเป็นอาการแรกของการขาดออกซิเจน (Gislerod and Adams, 1983) นอกจากนี้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแสงมีความสัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิ โดยเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน (ราเชนทร์, 2548)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อน ในกรณีที่อุณหภูมิสูง จะส่งเสริมให้พืชมีอัตราการคายน้ำสูง อัตราการดูดใช้ธาตุอาหารน้อยกว่าอัตราการดูดน้ำ เนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำมากเพื่อการคายน้ำ ทำให้ธาตุอาหารเหลือตกค้างในสารละลายมากกว่าปกติ ความเข้มข้นของสารละลายจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการเร่งกระบวนการทางเคมีต่างๆ ในพืช ซึ่งอาจทำให้พืชอยู่ในสภาวะเครียดและหยุดการเจริญเติบโตและอาจตายได้ในที่สุด ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิต่ำ อากาศเย็น การคายน้ำต่ำ พืชจะดูดใช้ธาตุอาหารสูงกว่าการดูดน้ำ ธาตุอาหารจะหายไปอย่างรวดเร็ว ความเข้มข้นของสารละลายจะลดลง (Kim *et al.*, 2005) โดยการปลูกพืชในระบบ NFT อุณหภูมิถือเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุด โดยเฉพาะในเขตร้อน เนื่องจากการสะสมอุณหภูมิของสารละลายในช่วงเวลากลางวัน ทำให้อุณหภูมิสูงเกินไปและมีผลให้การละลายของออกซิเจนในสารละลายลดลงจนอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช รากพืชอ่อนแอ ดูดธาตุอาหารและน้ำได้น้อย และโรคพืชเข้าทำลายได้ง่าย โดยเฉพาะ Pythium โดยปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมินั้นพบมากที่สุดในช่วงที่อุณหภูมิสารละลายสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส (ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2554)

นอกจากอุณหภูมิแล้ว ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในเรื่องของแสงยังเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช โดยแสงจะไปมีผลกระทบทางอ้อมกับการสะสมไนเตรตในพืช เพราะแสงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของไนเตรตรีดักเทส ซึ่งเอนไซม์นี้จะมีกิจกรรมช้าลงเมื่อได้รับแสงที่ไม่เพียงพอ (Maynard and Barker, 1972) ส่งผลต่อความปลอดภัยในเรื่องการบริโภคผัก อีกทั้งยังมีผลต่อคุณภาพของผลผลิตด้วย โดยพบว่าน้ำหนักรากและจำนวนใบของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดลดลงเมื่อระดับร่มเงาเพิ่มมากขึ้น และใบบางขึ้น รวมทั้งปริมาณ ascorbic acid ลดลง โดยปริมาณของ ascorbic acid จะสูงในช่วงกลางวันและลดต่ำลงในช่วงกลางคืน และเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสงแดดนั่น แนวโน้มของปริมาณ ascorbic acid จะมีปริมาณมากกว่าในสภาวะที่มีเมฆ (Shinohara and Suzuki, 1981)

ไนเตรต

ไนเตรตเป็นอนุมูลไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยพืชต้องการและดูดใช้มากในช่วงพัฒนาต้นกล้าต้น (ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย, 2554) ไนเตรตที่พืชดูดขึ้นไปส่วนใหญ่นั้น จะนำไปใช้ในการสร้างสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ส่วนที่เหลือใช้พืชก็จะมีการสะสมไว้ในรูปไนเตรตเช่นเดิม โดยสะสมในแวคิวโอลในส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกันไป (Miller and Smith, 1992; Rossato *et al.*, 2001)

กระบวนการ nitrate reduction เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตเป็นแอมโมเนียมเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน โดยกระบวนการนี้จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิดคือ เอนไซม์ไนเตรตรีดักเทส (nitrate reductase) และเอนไซม์ไนไตรตรีดักเทส (nitrite reductase) โดยเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทสจำเป็นสำหรับกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นไนไตรต์ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในไซโตซอล (cytosol) ซึ่งการทำงานของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทสนี้ต้องการโมลิบดีนัมเพื่อใช้เป็นโคแฟกเตอร์กระตุ้นการทำงาน หากพืชขาดโมลิบดีนัมจะส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทสลดลง เนื่องจากเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการสังเคราะห์โมลิบดีนัม โคแฟกเตอร์ ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรต จากนั้นเมื่อไนเตรตเปลี่ยนไนไตรต์ ไนไตรต์จะถูกส่งต่อเข้าคลอโรพลาสต์ (chloroplast) เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมโดยอาศัยเอนไซม์ไนไตรตรีดักเทส ในการเร่งปฏิกิริยา ถ้ากระบวนการเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์เกิดขึ้นเร็วกว่ากระบวนการเปลี่ยนไนไตรต์เป็นแอมโมเนียม จะส่งผลเสียกับพืช เนื่องจากไนไตรต์เป็นพิษกับพืช โดยปกติมักมีไนไตรต์อยู่ในปริมาณที่น้อยมาก จึงไม่เป็นอันตรายต่อพืช ในทาง

กลับกัน ถ้ากระบวนการเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์เกิดขึ้นช้า จะส่งผลให้พืชสะสมไนเตรตเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโน โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เพื่อให้ได้กลูตาเมต (glutamate) สำหรับใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนต่อไป (ยงยุทธ, 2552; Marschner 2012)

ชนิด อายุ และส่วนของพืชที่แตกต่างกันถือเป็นปัจจัยภายในที่มีผลต่อการสะสมไนเตรต โดยเมื่อเปรียบเทียบในพืชต้นเดียวกันนั้น พบว่าส่วนที่แก่กว่าจะมีการสะสมมากกว่าส่วนที่อ่อนกว่า เนื่องจากใบที่แก่กว่านั้นมีการสะสมเมตาบอลิซึมเป็นไปอย่างช้า ทำให้เหลือไนเตรตตกค้างอยู่มาก (Wright and Davison, 1964) โดยบริเวณใบจะมีการสะสมไนเตรตในปริมาณที่มากกว่า ลำต้น ราก ดอก ผล และเมล็ด (Santamaria *et al.*, 1999) ในขณะที่พืชต่างชนิดกันก็มีผลต่อการสะสมไนเตรตเช่นกัน โดยสาเหตุที่พืชมีความสามารถในการสะสมไนเตรตแตกต่างกันนี้ ยังไม่สามารถบอกได้แน่ชัด ส่วนหนึ่งอาจมาจากเอนไซม์สำคัญบางตัวที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตจนกลายเป็นโปรตีน เช่น ไนเตรตรีดักเทส ในพืชแต่ละชนิดมีกิจกรรมแตกต่างกัน (Keeney, 1970)

นอกจากนี้สภาพแวดล้อมขณะปลูกซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกยังมีอิทธิพลร่วมต่อการสะสมไนเตรตในพืช ไม่ว่าจะเป็นธาตุอาหาร อุณหภูมิ หรือความเข้มแสง ล้วนแล้วแต่มีผลต่อการสะสมไนเตรตทั้งสิ้น โดยธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืช เช่น ไนโตรเจน หากให้ในรูปของไนเตรตปริมาณมาก อาจมีผลชักนำให้พืชเกิดการสะสมไนเตรตเพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงปริมาณธาตุหลักและโมลิบดีนัมที่พืชได้รับควรอยู่ในปริมาณที่เพียงพอก่อนการเก็บเกี่ยว เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์และเป็นโคแฟกเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตเป็นแอมโมเนียม (Heldt, 2005) ในกรณีที่ปลูกแบบ hydroponics ปริมาณการสะสมไนเตรตในต้นพืชจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุมูลไนเตรตที่อยู่ในสารละลายที่ใช้ปลูกพืช และอัตราการใช้ออนุมูลไนเตรตของพืชที่นำไปเปลี่ยนเป็นกลูตามิน ซึ่งต้องใช้โมเลกุลของน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงร่วมด้วย โดยในสภาพที่มีแสงแดดจัด พืชจะมีการสังเคราะห์แสงค่อนข้างสูง จึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไนเตรตเป็นกลูตามินสูง แต่ในสภาพที่แสงน้อยพืชจะมีการดูดสารไนเตรตเข้าไปมาก เนื่องจากมีการกระตุ้นการสะสมไนเตรต เพื่อชดเชยแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ทดแทนความเข้มข้นของอินทรีย์สาร (คาร์โบไฮเดรต) ที่ลดลงซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเมื่อความเข้มแสงลดลง (Seginer *et al.*, 1998) รวมถึงสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง

ประกอบกับอุณหภูมิสูง จะส่งเสริมให้พืชสะสมไนเตรตมากขึ้น (Bassioni, 1971) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทส (nitrate reductase) ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงไนเตรดลดลง (Viets and Hageman, 1971) ส่งผลให้มีการสะสมไนเตรตในพืชมากขึ้น เนื่องจากความเข้มแสงจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทส โดยพบว่าเมื่อพืชอยู่ในสภาวะที่แสงน้อยหรือไม่มีแสง เอนไซม์ไนเตรตรีดักเทสจะมีกิจกรรมช้าลงหรือไม่ทำงาน (Maynard and Barker, 1972) พืชที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ความเข้มแสงต่ำจึงมีแนวโน้มในการสะสมไนเตรตสูงกว่าพืชที่เจริญเติบโตในสภาพแสงปกติ

อีกทั้งพืชที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสูง ยังมีแนวโน้มในการสะสมปริมาณไนเตรตในปริมาณที่สูงกว่าพืชที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่ำ (วุฒิพงษ์, 2546) โดย Sanguandeekul (1999) ได้ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของสารละลายต่อการดูดธาตุอาหาร การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพ และคุณค่าทางอาหารในผักกาดหอม 3 พันธุ์ คือ Cortina, Impuls และ Lollo Bionda พบว่าฤดูกาลที่ปลูก ความเข้มข้นของสารละลาย และพันธุ์มีผลต่อความเข้มข้นของไนเตรต โดยพบว่าความเข้มข้นของไนเตรตจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น

ปริมาณไนเตรตที่สะสมอยู่ในพืชนั้น เป็นหนึ่งปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความกังวลเมื่อซื้อผักที่ได้จากปลูกในระบบ hydroponics เนื่องจากการปลูกผักในระบบ hydroponics นี้ มีการแช่หรือสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากปุ๋ยเคมี ต้นพืชอาจมีการดูดสารเคมีเข้าไปสะสม หรือเกิดการตกค้างของสารเคมีในต้น ทำให้เกิดความกังวลในเรื่องการบริโภค โดยหากได้รับไนเตรตในปริมาณที่สูงจะสามารถส่งผลเสียต่อร่างกายได้ ปกติแล้วไนเตรตไม่มีพิษ แต่เนื่องจากเมื่อรับประทานเข้าไป จะถูกแบคทีเรียในปากเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ (Duncan *et al.*, 1995) ที่มีผลต่อฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ในเลือด ทำให้ไม่สามารถนำพาออกซิเจนไปใช้ได้ เกิดเมทีโมโกลบิน (methemoglobin) เรียกสภาวะนี้ว่าเมทีโมโกลบินินเมีย (methemoglobinemia) ในคนทั่วๆ ไป จะมีเมทีโมโกลบินในเลือดประมาณ 0.5-2% ถ้าสูงขึ้นเกิน 10% จะทำให้ผิวหนัง ริมฝีปาก เขียวคล้ำได้ และถ้ามากกว่า 25% ทำให้อ่อนเพลีย ตัวเขียว หัวใจเต้นเร็ว ถ้าสูงถึงระดับ 50-60% ทำให้หมดสติ และเสียชีวิตได้ โดยเฉพาะเด็กที่ได้รับไนเตรตเป็นเวลานาน แม้เพียงปริมาณเล็กน้อย จะทำให้เกิดอาการปัสสาวะบ่อยหรือมากกว่าปกติ และเลือดออกในม้ามได้ (Maynard and Baker, 1972; Hill, 1999; McKnight *et al.*, 1999)

นอกจากนี้ไนเตรตเมื่อเข้าสู่ร่างกายยังสามารถกลายเป็นสารก่อมะเร็งได้ โดยไนเตรตจะมีการเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับเอมีน (amine) กลายเป็นไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดมะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งตับ และมะเร็งหลอดอาหาร (Liu and Yang, 2012)

ปริมาณไนเตรตในพืชที่มีการกำหนดไว้ตามข้อบังคับของสหภาพยุโรป (European Commission, 1997) มีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดพืชและฤดูกาลปลูก เช่น ในผักโขมไม่ควรเกิน 3,500 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด, มันฝรั่งไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และในผักกาดหอมไม่ควรเกิน 2,500 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในช่วงพฤษภาคมถึงตุลาคม และ 3,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดช่วงพฤศจิกายนถึงเมษายน

ดังนั้นการจัดการสารละลายและสภาพแวดล้อมขณะปลูกจึงเป็นสิ่งสำคัญ และจำเป็นต้องมีการควบคุมระดับความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและสภาพแวดล้อมขณะปลูก

เชื้อราไตรโคเดอร์มา

Trichoderma spp. เป็นเชื้อราที่พบได้ทั่วไปในดินและเศษซากอินทรีย์วัตถุตามธรรมชาติ (Howell, 2003) โดยมีคุณสมบัติและศักยภาพการเป็นเชื้อราปฏิปักษ์สูง สามารถควบคุมเชื้อราที่เป็นสาเหตุการเกิดโรคในพืชได้ เช่น *Pythium* spp., *Phytophthora* sp., *Rhizoctonia* sp., *Sclerotium* sp. และ *Fusarium* sp. เป็นต้น โดยลักษณะในการเข้าควบคุมเชื้อราที่เป็นอันตรายต่อพืชของ *Trichoderma* spp. มี 3 ลักษณะ (จิระเดช และ วรณวิไล, 2542) คือ

1. การแข่งขันด้านปัจจัยในการดำรงชีวิตกับเชื้อราสาเหตุโรคพืช (competition) เนื่องจาก *Trichoderma* spp. เจริญเติบโตรวดเร็ว สามารถสร้างสปอร์ได้ในปริมาณสูง ช่วยให้สามารถแข่งกับเชื้อราสาเหตุโรคได้ดี

2. การเป็นปรสิต (parasitism) ในบางสายพันธุ์ของเชื้อรา *Trichoderma* spp. เป็นปฏิสัมพันธ์กับเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยตรง โดยสร้างเส้นใยพันรัด แล้วแทงเข้าไปในเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรค ทำให้เชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคพืชตาย

3. การสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotic) ใน *Trichoderma* spp. บางสายพันธุ์สามารถสร้างสารปฏิชีวนะเพื่อยุติยั้งหรือทำลายเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรค

กลไกในการเข้าทำลายเชื้อราสาเหตุโรคพืชของ *Trichoderma* spp. คือการเจริญสร้างเส้นใยเข้าพันรัดรอบเส้นใยของเชื้อโรค แล้วผลิตเอนไซม์หลายชนิด เช่น chitinase, cellulase, glucanase และสารปฏิชีวนะต่างๆ ออกมาย่อยสลายหรือทำลายผนังเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช ทำให้เกิดการสลายตัวของผนังเส้นใย นอกจากนี้ *Trichoderma* spp. ยังสามารถใช้เส้นใยแทงผ่านเข้าสู่เส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ และเจริญอย่างรวดเร็ว โดยใช้ส่วนของของเหลวในเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคเป็นอาหาร ทำให้เกิดการฉีกขาดของผนังเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช ส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวภายในเส้นใย หรือเกิดการตกตะกอนใน organelles และ cytoplasm ทำให้กิจกรรมการเจริญของเส้นใยลดลงเป็นอย่างมาก ส่งผลต่อการขยายพันธุ์ของเชื้อโรคและตายในที่สุด (Elad *et al.*, 1983; จีระเดช และ วรณวิไล, 2542)

นอกจากนี้ *Trichoderma* spp. ยังสามารถกระตุ้นให้พืชต้านทานต่อเชื้อโรคได้มากขึ้น กระตุ้นการเจริญเติบโต เพิ่มความเป็นประโยชน์และประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหาร (Harman *et al.*, 2004) Inbar *et al.* (2001) รายงานว่า การใช้ *Trichoderma harzianum* สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าแตงกวาและพริกไทยได้ โดยมีความสูงเพิ่มขึ้น 23.8% และ 17.2%, พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น 96.1% และ 50% และมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 24.7% และ 28.6% ตามลำดับ และช่วยให้ต้นกล้าทนต่อโรคโคนเน่าคอดิน (damping-off) เช่นเดียวกับ Yedidia *et al.* (2001) ที่รายงานว่าการใช้ *T. harzianum* (T-203) ช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกและการเจริญเติบโตของแตงกวาได้ทั้งการปลูกโดยใช้ดินและไม่ใช้ดิน อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการละลายของธาตุอาหาร ส่งเสริมให้พืชสามารถดูดใช้ได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการคลุกเมล็ดพืชด้วยเชื้อรา *T. harzianum* ในอัตรา 2% โดยน้ำหนักเมล็ด สามารถช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การรอดตายของคะน้าจากเชื้อ *Pythium* sp. ได้ แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต (สมเกียรติ, 2542) แพรทอง (2549) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของ *T. harzianum* (CB-Pin-01) ชนิดสดในการควบคุมโรค

รากเน่าของผักกาดหอมกรีนคอส ที่เกิดจาก *Pythium* sp. ในการปลูกแบบ NFT พบว่าการใช้ *T. harzianum* (CB-Pin-01) ชนิดสด 100 กรัมต่อสารละลายธาตุอาหาร 200 ลิตร คลุกเมล็ดและผสมลงในสารละลายธาตุอาหาร มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรครากเน่าและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1 ผลของความเข้มข้นของจุลธาตุต่อการผลิตผักกาดหอม

เพาะเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์ไฮโดรพันธุ์ Rex RZ จากประเทศเนเธอร์แลนด์ ในถ้วยปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร สูง 5.25 เซนติเมตร ซึ่งใส่วัสดุผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเวอร์มิคูไลต์ในอัตราส่วน 3:1 ใส่ถาดหล่อด้วยน้ำประปา (EC 0.3 mS/cm, pH 7) เมื่อดันกล้าอายุ 1 สัปดาห์ ทำการเปลี่ยนน้ำประปาเป็นสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper (1979) ที่ดัดแปลงโดย ยงยุทธ (2546) ความเข้มข้น $\frac{1}{2}$ เท่า และเมื่อดันกล้าอายุครบ 2 สัปดาห์ จึงย้ายลงวางซึ่งมีการป้อนสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper (1979) ดัดแปลงโดย ยงยุทธ (2546) ที่มีเหล็กเข้มข้นพื้นฐาน 13 มิลลิกรัมต่อลิตรทุกสูตร และมีการปรับความเข้มข้นของจุลธาตุ หมุนเวียนตลอดเวลา ด้วยอัตราการใช้ของสารละลาย 1 ลิตรต่อพื้นที่ โดยเปรียบเทียบกับการใช้ Nicspray® (บริษัท เวสโก้เคมีประเทศไทย จำกัด) อัตรา 0.05 กรัมต่อลิตร การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1.1 ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อการผลิตผักกาดหอม

ปรับลดความเข้มข้นเหล็กและแมงกานีสในสูตร Cooper (1979) ที่มีเหล็กเข้มข้นพื้นฐาน 13 มิลลิกรัมต่อลิตรทุกสูตร พร้อมกันทั้งสองธาตุ โดยใช้ความเข้มข้นเป็น 0.25, 0.5 และ 0.75 เท่าของ Nicspray® ซึ่งเหล็กและแมงกานีสที่ใช้ในการปรับได้จาก Fe-EDTA และ Mn-EDTA (บริษัท Ciba Specialty (ประเทศไทย)) วางแผนการทดลองแบบ 3x3 factorial with control in Completely Randomized Design (CRD) มี 10 ซ้ำบน 1 โต๊ะปลูก ซ้ำละ 1 ต้น โดยมีสารละลายธาตุอาหารรวม 10 สูตร ดังนี้

1. สารละลายธาตุอาหารที่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร (สูตรเปรียบเทียบ)

2. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร

6. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร

7. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร

8. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร

9. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร

10. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 6.2-6.5 โดยใช้ pH down และ EC ของสารละลายให้เท่ากับ 1.5-1.8 mS/cm ทุก 2-3 วัน โดยการเติมน้ำประปาในกรณีที่ค่า EC เพิ่มขึ้น และเติมสารละลายธาตุอาหารในกรณีที่ค่า EC ลดต่ำลง และเปลี่ยนสารละลายทุก 2 สัปดาห์ เก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศตลอดการปลูก บันทึกผลการทดลองที่ 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

การทดลองที่ 1.2 ผลของทองแดง, สังกะสี, โบรอน และโมลิบดีนัมต่อการผลิต
ผักกาดหอม

ปรับความเข้มข้นทองแดง, สังกะสี, โบรอน และโมลิบดีนัมที่ละลาย โดยให้ความเข้มข้นทองแดง สังกะสี และโบรอน เป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่าของ Nicspray® และความเข้มข้นโมลิบดีนัมเป็น 0.25, 0.5 และ 0.75 เท่าของ Nicspray® ซึ่งทองแดงและสังกะสีที่ใช้ในการปรับได้จาก Cu-EDTA และ Zn-EDTA (บริษัท Ciba Specialty (ประเทศไทย)) โบรอนจากกรดบอริก (H_3BO_3) และโมลิบดีนัมจากแอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_2MoO_4$) วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 10 ขั้วบน 1 โต๊ะปลูก ขั้วละ 1 ต้น โดยใช้สารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1.1 (ภาคผนวก) ซึ่งปรับปริมาณทองแดง สังกะสี โบรอน และโมลิบดีนัมต่างกัน รวม 13 สูตร ดังนี้

1. สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร โบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร (สูตรเปรียบเทียบกับ)
2. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้ทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้ทองแดงเข้มข้น 2.08 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้ทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้สังกะสีเข้มข้น 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้สังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้สังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร
8. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้โบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร

9. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้โบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร
10. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้โบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร
11. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้โมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร
12. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้โมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร
13. สารละลายธาตุอาหารตามสูตรที่ 1 แต่ใช้โมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 6.2-6.5 โดยใช้ pH down และ EC ของสารละลายให้เท่ากับ 1.5-1.8 mS/cm ทุก 2-3 วัน โดยการเติมน้ำประปาในกรณีที่มีค่า EC เพิ่มขึ้น และเติมสารละลายธาตุอาหารในกรณีที่มีค่า EC ลดต่ำลง และเปลี่ยนสารละลายทุก 2 สัปดาห์ เก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศตลอดการปลูก บันทึกผลการทดลองที่ 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

การทดลองที่ 2 ผลของรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่อการผลิตผักกาดหอม

เพาะเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์ไฮโดรโพนิคส์ Rex RZ ในถ้วยปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร สูง 5.25 เซนติเมตร ซึ่งใส่วัสดุผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเวอร์มิคูไลต์ในอัตราส่วน 3:1 ใส่ถาดหลอด้วยน้ำเปล่า (EC 0.3 mS/cm, pH 7) เมื่อต้นกล้าอายุ 1 สัปดาห์ เปลี่ยนน้ำประปาเป็นสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ 1 จากการทดลองที่ 1 ที่ความเข้มข้น $\frac{1}{2}$ เท่า เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และเมื่อต้นกล้าอายุครบ 2 สัปดาห์ จึงย้ายลงวางที่มีการป้อนสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ที่มีอัตราการไหลของสารละลาย 1 ลิตร/นาที่ หมุนเวียนตลอดเวลา วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 10 ซ้ำบน 1 โต๊ะปลูก ซ้ำละ 1 ต้น โดยเริ่มปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้า (EC) นับตั้งแต่ย้ายลงวางปลูก เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

1. ควบคุมค่า EC ให้อยู่ในช่วง 1.5–1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง โดยปรับค่า EC ให้เท่ากับ 1.5–1.8 mS/cm ทุก 2-3 วัน นับตั้งแต่ย้ายลงรางปลูก โดยปรับค่าทุก 1-2 วัน (สูตรเปรียบเทียบ)

2. ปรับระดับค่า EC โดยเริ่มให้ค่า EC ในสัปดาห์แรกเท่ากับ 1.2 mS/cm จากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ปรับค่า EC เป็น 1.5 mS/cm สัปดาห์ที่ 3 และ 4 ปรับเป็น 1.8 mS/cm

3. ปรับระดับค่า EC โดยเริ่มให้ค่า EC ในสัปดาห์แรกเท่ากับ 1.8 mS/cm จากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ปรับค่า EC เป็น 1.5 mS/cm สัปดาห์ที่ 3 และ 4 เป็น 1.2 mS/cm

4. ปรับระดับค่า EC โดยเริ่มให้ค่า EC ในสัปดาห์แรกเท่ากับ 1.2 mS/cm จากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ปรับค่า EC เป็น 1.5 mS/cm สัปดาห์ที่ 3 ปรับเป็น 1.8 mS/cm และในสัปดาห์ที่ 4 เป็น 1.2 mS/cm

เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์ ปรับค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 6.2–6.5 โดยใช้ pH down และปรับค่า EC ของสารละลาย โดยการเติมน้ำประปาในกรณีที่ค่า EC เพิ่มขึ้น และเติมสารละลายธาตุอาหารในกรณีที่ค่า EC ลดต่ำลง เก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศตลอดการปลูก บันทึกผลการทดลองที่ 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

การทดลองที่ 3 ผลของการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมกับสารละลายธาตุอาหารในการผลิตผักกาดหอม

เพาะเมล็ดผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ในถ้วยปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร สูง 5.25 เซนติเมตร ซึ่งใส่วัสดุผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเวอร์มิคูไลต์ในอัตราส่วน 3:1 ใส่ถาดหลอด้วยน้ำเปล่า (EC 0.3 mS/cm, pH 7) เมื่อต้นกล้าอายุ 1 สัปดาห์ ได้ทำการเปลี่ยนน้ำประปาเป็นสารละลายธาตุอาหาร 2 สูตร โดยใช้สูตร Cooper (1979) ที่ดัดแปลงโดยยงยุทธ (2546) และสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 เมื่อต้นกล้าอายุครบ 2 สัปดาห์ ได้ทำการย้ายลงในรางที่มีการปั๊มสารละลายธาตุอาหารสูตรเดิมที่มีอัตราการไหลของสารละลาย 1 ลิตร/นาที่ หมุนเวียนตลอดเวลา วางแผนการทดลองแบบ 2x2 factorial in CRD มี 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น โดยสารละลายทั้ง 4 สูตร มีดังนี้

1. สูตร Cooper (1979) ที่ดัดแปลงโดยยงยุทธ (2546)
2. สูตร Cooper (1979) ที่ดัดแปลงโดยยงยุทธ (2546) + ไตรโคเดอร์มาสายพันธุ์ CB-Pin-01 อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร
3. สูตรดัดแปลงที่ได้จากการทดลองที่ 1
4. สูตรดัดแปลงที่ได้จากการทดลองที่ 1 + ไตรโคเดอร์มาสายพันธุ์ CB-Pin-01 อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร

เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์ ปรับค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 6.2-6.5 โดยใช้ pH down และ EC ของสารละลายให้เท่ากับ 1.5-1.8 mS/cm ทุก 2-3 วัน ทุก 2-3 วัน โดยการเติมน้ำประปาในกรณีที่มีค่า EC เพิ่มขึ้น และเติมสารละลายธาตุอาหารในกรณีที่มีค่า EC ลดต่ำลง เก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศตลอดการปลูก บันทึกผลการทดลองที่ 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

วิธีการเตรียมไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* sp.) ชนิดสด

นำหัวเชื้อหรือสปอร์ของไตรโคเดอร์มาสายพันธุ์ CB-Pin-01 ชนิดผงแห้ง (จาก รศ. จิระเดช แจ่มสว่าง) มาเพาะเลี้ยงในข้าวสอยหุงสุกที่ได้จากการใช้ข้าวสาร 600 กรัม ใส่น้ำประปาประมาณ 0.5 ลิตร แล้วหุงด้วยหม้อข้าวไฟฟ้า จากนั้นตักข้าวใส่ถุงพลาสติก รอให้ข้าวอุ่นจึงเทหัวเชื้อของไตรโคเดอร์มาใส่ จากนั้นมัดปากถุงให้แน่น เขย่าเบาๆ ให้หัวเชื้อคลุกเคล้าทั่วทั้งถุงแล้วใช้ปลายเข็มเจาะถุงพลาสติกประมาณ 15-20 รู จากนั้นบ่มเชื้อไว้ในที่มีอากาศถ่ายเท ร่ม และเย็น อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน นำถุงมาขยำเบาๆ ให้เส้นใยของเชื้อกระจายทั่วทั้งถุง บ่มเชื้อต่ออีก 4-5 วัน ก่อนนำไปใช้ (จิระเดช, 2547)

การบันทึกผลการทดลอง

1. ความสูงของต้น (เซนติเมตร) วัดจากบริเวณผิววัสดุปลูกจนถึงปลายยอด ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

2. ความกว้างของทรงพุ่ม (เซนติเมตร) วัดส่วนที่กว้างที่สุดของทรงพุ่มทั้งสองด้านในแนวตั้งฉากกัน ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3. จำนวนใบ นับจำนวนใบทั้งหมดที่มีขนาดกว้างและยาวมากกว่า 1 เซนติเมตร ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

4. พื้นที่ใบทั้งหมด ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter) รุ่น LI-3100C บริษัท LI-COR ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเลือกวัดใบที่มีขนาดกว้างและยาวมากกว่า 1 เซนติเมตร ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด ทุกใบ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น

5. ความเขียวใบ ด้วยเครื่องวัดความเขียวใบ (Chlorophyll Meter) รุ่น SPAD-502 Plus บริษัท Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น โดยเลือกวัดใบทั้งหมดสามใบ คือใบที่โตเต็มที่ ใบที่โตปานกลาง และใบอ่อน (ใบที่เพิ่งกาง) (Adrián *et al.*, 2007) ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อหาค่าความเขียวใบ

6. ความยาวของราก (เซนติเมตร) โดยวัดจากบริเวณโคนต้นจนถึงปลายรากที่ยาวที่สุด ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

7. น้ำหนักสด โดยแบ่งเป็นส่วนลำต้นและใบ และส่วนราก ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

8. น้ำหนักแห้ง โดยแบ่งเป็นส่วนต้นและราก ที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง

9. ปริมาณไนเตรต โดยเก็บตัวอย่างสดส่วนลำต้นและใบที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 5 กรัมมาบดให้ละเอียดเจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 250 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำแผ่นทดสอบปริมาณไนเตรตมาจุ่มในสารสกัดที่ถูกเจือจางด้วยน้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง reflectometer RQ-flex ยี่ห้อ Merck (Takabe and Yoneyama, 1995) คำนวณหาปริมาณไนเตรตจากสูตร

$$\text{ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด)} = \frac{250 \times (\text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง reflectometer RQ-flex})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

10. วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร (ทัศนีย์ และคณะ, 2542) ส่วนลำต้นและใบที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด

ก. ไนโตรเจน

วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl method โดยนำตัวอย่างแห้งในส่วนลำต้นและใบมาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 0.4 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติม H_2SO_4 - Na_2SO_4 -Se mixture แล้วนำไปย่อยบนเครื่องย่อยสลายภายในตู้ดูดควัน ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องย่อยสลายให้อยู่ในช่วง 360–400 องศาเซลเซียส ย่อยตัวอย่างพืชจนได้สารละลายใส ยกลงทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าสารละลายให้เข้ากัน กรองเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดที่มีฝาปิด จากนั้นดูดสารละลายใสที่ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงใน distillation flask เติม NaOH เข้มข้น 40% ปริมาตร 6 มิลลิลิตร แล้วทำการกลั่นให้ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย แล้วถูกเก็บในรูปแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในสารละลาย Boric acid indicator ทำการกลั่นจนสารละลายใน flask มีปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตด้วย H_2SO_4 เข้มข้น 0.01N เพื่อวัดปริมาณไนโตรเจน นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนจากสูตร

$$\% \text{ ธาตุอาหาร} = \left(\frac{(A - B) \times C \times 0.014 \times 50 \times 100}{D} \right) / E$$

- A คือ ค่าที่ไทเทรตได้ของตัวอย่าง
- B คือ ค่าที่ไทเทรตได้ของ blank
- C คือ ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต
- D คือ ปริมาตรสารละลายใส่ที่ดูดหลังสกัด (มิลลิลิตร)
- E คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ข. ฟอสฟอรัส

วิเคราะห์ด้วยวิธี Vanada-molybdate yellow color โดยย่อยตัวอย่าง เช่นเดียวกับวิธีการหาปริมาณธาตุไนโตรเจน กรองเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดที่มีฝาปิด จากนั้นดูดสารละลายใส่ที่ได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ปรับปริมาตรเป็น 3 มิลลิลิตรด้วย blank (HNO_3 , H_2SO_4 และ HClO_4 เข้มข้น ในอัตราส่วน 5:1:2) เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร ammonium molybdate เข้มข้น 5% และ ammonium metavanadate เข้มข้น 0.25% อย่างละ 1 มิลลิลิตร เขย่าแล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 440 นาโนเมตร เปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณจากสูตร

$$\% \text{ ธาตุอาหาร} = \frac{A \times 8 \times 50 \times 100}{10^6 \times B \times C}$$

- A คือ ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกราฟสารละลายมาตรฐาน
- B คือ ปริมาตรสารละลายใส่ที่ดูดหลังสกัด (มิลลิลิตร)
- C คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ค. โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

ย่อยตัวอย่างเช่นเดียวกับวิธีการหาปริมาณธาตุไนโตรเจน กรองเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดที่มีฝาปิด จากนั้นดูดสารละลายที่ได้จากการย่อยตัวอย่างพืชมา 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองและปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์

ปริมาณธาตุอาหารด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer เทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณจากสูตร

$$\% \text{ ธาตุอาหาร} = \left(\frac{(A - \text{blank}) \times B \times C}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \right) / 10,000$$

A คือ ค่าที่ได้จากการเทียบกราฟสารละลายมาตรฐาน

B คือ ปริมาตรที่ปรับด้วยน้ำกลั่นหลังย่อยตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

C คือ จำนวนเท่าที่เจือจาง

ง. เกล็ด แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี

นำตัวอย่างแห้งในส่วนลำต้นและใบมาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 0.4 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติมกรด HNO_3 และ HClO_4 เข้มข้น ที่ผสมกันในอัตราส่วน 5:2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยบนเครื่องย่อยสลายภายในตู้ดูดควัน ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องย่อยสลายให้อยู่ในช่วง 180–200 องศาเซลเซียส ย่อยสลายตัวอย่างพืชจนได้สารละลายใส ยกทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าสารละลายให้เข้ากัน กรองเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดที่มีฝาปิด จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Liu *et al.*, 2000) เปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณจากสูตร

$$\% \text{ ธาตุอาหาร} = \frac{(A - \text{blank}) \times B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

A คือ ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกราฟสารละลายมาตรฐาน

B คือ ปริมาตรที่ปรับด้วยน้ำกลั่นหลังย่อยตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

จ. โบรอน

นำตัวอย่างแห้งในส่วนลำต้นและใบมาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ในขวด เติม Ca(OH)_2 0.3 กรัม คนให้เข้ากัน แล้วนำไปเผาในเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 470 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ละลายตะกอนที่ได้ด้วย H_2SO_4 เข้มข้น 0.36N ปริมาตร 20 มิลลิลิตร กรองสารละลายที่ได้ใส่ขวด จากนั้นดูดสารละลายที่ได้ 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย EDTA เข้มข้น 0.1M ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ammonium acetate buffer ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และ azomethine-H ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 430 นาโนเมตร เปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณจากสูตร

$$\% \text{ ธาตุอาหาร} = \frac{A \times 8 \times 20}{B \times C}$$

A คือ ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกราฟสารละลายมาตรฐาน

B คือ ปริมาตรสารละลายใส่ที่ดูดหลังสกัด (มิลลิลิตร)

C คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

11. วิตามินซี

เก็บตัวอย่างสดส่วนลำต้นและใบที่อายุเก็บเกี่ยว 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 5 กรัม มาบดให้ละเอียดเจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 150 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำแผ่นทดสอบวิตามินซีมาจุ่มในสารสกัดที่ถูกเจือจางด้วยน้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง reflectometer RQ-flex ยี่ห้อ Merck (Takabe and Yoneyama, 1995) โดยคำนวณหาปริมาณวิตามินซีจากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณวิตามินซี} &= \frac{150 \times (\text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง reflectometer RQ-flex})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \\ &(\text{มิลลิกรัมต่อ } 100 \text{ กรัม น้ำหนักสด}) \end{aligned}$$

12. เส้นใยอาหาร

เก็บตัวอย่างสดส่วนลำต้นและใบ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 100 กรัม จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดแล้วใส่ตัวอย่างที่บดละเอียดในน้ำร้อนปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือด นาน 10 นาที เติม NaOH เข้มข้น 50% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนต่อจนเดือดนาน 5 นาที ขณะต้มใช้แท่งแก้วคน ปล่อยให้เดือดนาน 15 นาที กรองตัวอย่างที่ได้ใส่ตะแกรงสแตนเลส ปล่อยให้ น้ำไหลผ่านจนเหลือแต่เส้นใยแล้วล้างด้วยน้ำให้หมด นำเส้นใยที่ได้ไปอบด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส จนแห้ง ปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (ราเชนทร์, 2548) นำค่าที่ได้มาคำนวณ ดังนี้

$$\text{ใยอาหาร (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของใยอาหาร}}{\text{น้ำหนักสดของตัวอย่าง}} \times 100$$

สถานที่ทำการทดลอง

1. โรงเรียนปลูกพืชทดลองอาคารสารสนเทศ 50 ปี ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
2. ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
3. ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
4. ห้องปฏิบัติการกลางคณะเกษตร อาคารวชิรานุสรณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มต้นคว่ำและทำการทดลองเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

ผลและวิจารณ์

ผล

การทดลองที่ 1 ผลของความเข้มข้นของจุลธาตุต่อการผลิตผักกาดหอมด้วยสารละลายในเขตร้อน

การปลูกผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ในระบบ Nutrient Film Technique (NFT) โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper (1979) ดัดแปลงโดยยงยุทธ (2546) ที่มีการปรับความเข้มข้นของจุลธาตุ เปรียบเทียบกับการใช้จุลธาตุซื้อการค้า Nicspray® ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงสุดและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า เมื่อใช้มหธาตุเข้มข้นเท่ากัน แต่ใช้จุลธาตุเข้มข้นต่างกันนั้น มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ดังนี้

การทดลองที่ 1.1 ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อการผลิตผักกาดหอม

การเจริญเติบโตของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้นพื้นฐาน 13 มิลลิกรัมต่อลิตรทุกสูตร ที่มีการปรับความเข้มข้นของเหล็กเท่ากับ 0.24, 0.48 หรือ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24, 0.49 หรือ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารที่ใช้จุลธาตุ Nicspray® อัตรา 0.05 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีเหล็กและแมงกานีสเข้มข้น 0.95 และ 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว พบว่า

1. การเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ

1.1 จำนวนใบ

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของจำนวนใบผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้น

เหล็กที่ต่างกันไม่มีผลทำให้จำนวนใบของผักกาดหอมแตกต่างกัน ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแมงกานีสที่ต่างกัน มีผลให้จำนวนใบของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ใบจำนวนมากที่สุดเท่ากับ 32.47 ใบ รองลงมาคือการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.73 และ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้ใบจำนวน 31.4 และ 29.67 ใบ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อจำนวนใบ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้จำนวนใบสูงที่สุดคือ 35.1 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตที่เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร แมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้ใบจำนวน 34.4, 33.9 และ 33.7 ใบ ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนใบของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนน้อยที่สุดคือ 26.4 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีจำนวนใบเท่ากับ 27.6 ใบ (ตารางที่ 3)

1.2 ความสูงของต้น

ความสูงของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้เหล็กเข้มข้นสูงที่สุดคือ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่สูงที่สุดเท่ากับ 10.97 เซนติเมตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้น 0.48 และ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใช้แมงกานีสที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลให้ความสูงต้นของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีความสูงมากเท่ากับ 10.29 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้ค่าความสูงต้นเท่ากับ 10.19 เซนติเมตร ขณะที่การใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ได้ต้นที่มีความสูงน้อยที่สุด (ตารางที่ 2) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความสูงต้น โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่

มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่สูงที่สุดคือ 11.3 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายที่มีการปรับความเข้มข้นเหล็กร่วมกับแมงกานีสที่เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73, 0.24 และ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความสูง 11.1, 11.0, 10.9 และ 10.6 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีความสูงน้อยที่สุดคือ 9.2 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้ต้นที่สูง 9.4 และ 9.5 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

1.3 ความกว้างของทรงพุ่ม

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของความกว้างทรงพุ่มผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นเหล็กที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมแตกต่างกัน ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแมงกานีสที่ต่างกัน มีผลให้ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นซึ่งมีความกว้างทรงพุ่มสูงสุดเท่ากับ 19.99 เซนติเมตร รองลงมาคือการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.49 และ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความกว้างทรงพุ่ม โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุดเท่ากับ 20.3 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตที่เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความกว้าง 20.2, 19.9 และ 19.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ

แมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความกว้างทรงพุ่มน้อยที่สุดเท่ากับ 18.7 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความกว้างทรงพุ่มเท่ากับ 18.9 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

1.4 ความเขียวของใบ

การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของความเขียวใบผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ใบที่มีความเขียวมากที่สุด รองลงมาคือการใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแมงกานีสที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ความเขียวของใบของผักกาดหอมแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความเขียวของใบ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร มีใบที่เขียวมากที่สุดคือ 38.9 SPAD unit ในขณะที่ความเขียวของใบของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุดคือ 35.0 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารซึ่งมีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีความเขียวของใบเท่ากับ 35.3 SPAD unit (ตารางที่ 3)

1.5 พื้นที่ใบ

การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของพื้นที่ใบผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นเหล็กที่ต่างกันไม่มีผลทำให้พื้นที่ใบของผักกาดหอมแตกต่างกัน ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแมงกานีสที่ต่างกันมีผลให้พื้นที่ใบของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ใบที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นสูงสุดเท่ากับ 40.22 เซนติเมตร รองลงมาคือการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.73 และ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อพื้นที่ใบ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดเท่ากับ 41.5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารซึ่งมีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น 41.3, 40.8 และ 40.7 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 29.3 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 3)

1.6 น้ำหนักสด

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักสดผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นเหล็กที่ต่างกันไม่มีผลทำให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมแตกต่างกัน ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแมงกานีสที่ต่างกัน มีผลให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดสูงสุดเท่ากับ 75.5 กรัม รองลงมาคือการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.73 และ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อน้ำหนักสด โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดสูงสุดคือ 85.0 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้น้ำหนักสด 83.3, 81.9 และ 80.1 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดน้อยที่สุดคือ 49.0 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติผักกาดหอมที่

เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้ต้นที่มีน้ำหนักสดเท่ากับ 51.3 กรัม (ตารางที่ 3)

1.7 น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 4.69 กรัม รองลงมาคือการใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 และ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใช้แมงกานีสที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมงกานีสเข้มข้นน้อยที่สุดคือ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และมากที่สุดคือ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 4.61 และ 4.47 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อน้ำหนักแห้ง โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 5.2 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกันทั้ง 4 สิ่งทดลอง ในขณะที่น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดคือ 3.3 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 3.4, 3.5 และ 3.7 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวนใบ	ความสูงของต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างของทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
เหล็ก (A)							
0.24	31.0	9.6 c	19.6	37.0 a	38.0	68.0	4.19 b
0.48	31.0	9.8 b	19.4	37.3 a	37.7	68.0	4.31 b
0.71	31.5	11.0 a	19.6	36.1 b	37.1	70.8	4.69 a
F-test	ns	*	ns	*	ns	ns	*
แมงกานีส (B)							
0.24	32.5 a	10.2 a	20.0 a	36.6	40.2 a	75.5 a	4.61 a
0.49	29.7 c	10.3 a	19.3 b	36.9	35.8 b	63.8 b	4.11 b
0.73	31.4 b	9.8 b	19.3 b	37.0	36.8 b	67.4 b	4.47 a
F-test	*	*	*	ns	*	*	*
AxB	*	*	*	*	*	*	*
CV. (%)	5.4	5.3	2.9	2.5	7.6	10.3	11.3

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดังแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นหลักร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

จุลธาตุ	จำนวน ใบ	ความสูง ต้น (ซม.)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (ซม.)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อ ต้น (ตร.ซม.)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)	
Nicspray® 0.05 กรัมต่อลิตร (เหล็ก 0.95 มก./ล., แมงกานีส 0.97 มก./ล.)	27.6 de	11.3 a	19.3 bc	36.3 cd	33.7 c	51.3 c	3.3 d	
เหล็ก 0.24 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	35.1 a	10.1 c	20.2 a	35.3 e	41.3 a	85.0 a	5.2 a
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	28.7 cd	9.4 d	19.4 bc	36.8 bcd	37.4 b	60.6 b	3.5 cd
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	29.3 bc	9.2 d	19.3 bc	38.9 a	35.3 bc	58.3 b	3.9 c
เหล็ก 0.48 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	28.6 cd	9.5 d	19.5 b	37.2 bc	37.9 b	58.2 b	3.4 cd
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	33.9 a	10.6 b	19.9 ab	37.6 b	40.8 a	81.9 a	5.2 a
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	30.5 b	9.2 d	18.9 cd	37.2 bc	34.4 c	63.9 b	4.3 b
เหล็ก 0.71 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	33.7 a	11.0 ab	20.3 a	37.3 b	41.5 a	83.3 a	5.2 a
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	26.4 e	10.9 ab	18.7 d	36.2 d	29.3 d	49.0 c	3.7 cd
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	34.4 a	11.1 ab	19.8 ab	35.0 e	40.7 a	80.1 a	5.2 a
F-test	*	*	*	*	*	*	*	
CV. (%)	5.6	5.6	3.0	2.6	8.1	10.5	11.8	

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

2. การเจริญเติบโตส่วนราก

2.1 ความยาวของราก

ความยาวของรากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้เหล็กและแมงกานีสความเข้มข้นต่ำที่สุด ทำให้ได้รากที่ยาวที่สุด กล่าวคือ เมื่อใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้รากยาว 40.73 เซนติเมตร ขณะที่การใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้รากยาว 40.20 เซนติเมตร (ตารางที่ 4) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความยาวราก อย่างไรก็ตามสารละลายมาตรฐาน Cooper สูตรดัดแปลงที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้รากยาวสูงสุดคือ 42.8 เซนติเมตร (ตารางที่ 5)

2.2 น้ำหนักสด

น้ำหนักสดของรากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้น้ำหนักสดรากสูงสุด คือ 11.68 และ 11.72 กรัม ตามลำดับ ขณะที่การใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้น้ำหนักสดรากสูงสุด 12.28 กรัม (ตารางที่ 4) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อน้ำหนักสด โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้น้ำหนักสดรากสูงสุดเท่ากับ 14.1 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้รากที่มีน้ำหนักสดเท่ากับ 13.8 และ 13.5 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

2.3 น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของรากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้รากที่มีน้ำหนักแห้งมากเท่ากับเมื่อใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 0.71 และ 0.65 กรัม ตามลำดับ ขณะที่การใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้รากที่มีน้ำหนักแห้งไม่ต่างกัน คือ 0.62 และ 0.65 กรัม ตามลำดับ ส่วนการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 และ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้รากที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุด คือ 0.73 และ 0.67 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อน้ำหนักแห้ง โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้น้ำหนักแห้งรากสูงสุดเท่ากับ 0.82 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้รากที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.80 และ 0.74 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของของรากลูกกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกใน

สารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นหลักและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

จุลธาตุ (มก./ล.)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
หลัก (A)			
0.24	40.73 a	11.68 a	0.71 a
0.48	37.40 b	9.83 b	0.62 b
0.71	38.18 b	11.72 a	0.65 ab
F-test	*	*	*
แมงกานีส (B)			
0.24	40.20 a	12.28 a	0.73 a
0.49	37.30 c	9.74 c	0.58 b
0.73	38.81 b	11.22 b	0.67 a
F-test	*	*	*
AxB	*	*	*
CV. (%)	5.8	16.8	19.3

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

จุลธาตุ		ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
Nicspray® 20 กรัมต่อลิตร (เหล็ก 0.95 มก./ล., แมงกานีส 0.97 มก./ล.)		35.8 e	9.6 bc	0.53 d
เหล็ก 0.24 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	42.8 a	13.5 a	0.82 a
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	39.0 bcd	11.2 b	0.67 bc
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	40.5 b	10.4 bc	0.63 bcd
เหล็ก 0.48 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	38.4 bcd	9.3 c	0.57 cd
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	37.5 cde	10.7 bc	0.65 bcd
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	36.4 de	9.5 bc	0.64 bcd
เหล็ก 0.71 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	39.5 bc	14.1 a	0.80 a
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	35.5 e	7.3 d	0.41 e
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	40.0 bc	13.8 a	0.74 ab
F-test		*	*	*
CV. (%)		6.1	17.1	19.8

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3. ไนเตรต

ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 4,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 และ 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใช้แมงกานีสที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 3,683 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือการใช้แมงกานีสความเข้มข้น 0.73 และ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณไนเตรตที่พบในผักกาดหอม โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 5,433 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีปริมาณไนเตรตเท่ากับ 4,917 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าปริมาณไนเตรตน้อยสุดเท่ากับ 1,050 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และหากพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อบังคับของ European Commission ในปี 1997 ซึ่งต้องมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด พบว่านอกจากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีค่าปริมาณไนเตรตน้อยสุดแล้ว ยังมีผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีปริมาณไนเตรตสะสมเท่ากับ 1,967, 1,717 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ความเข้มข้น (มก./ล.)	ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
เหล็ก (A)	
0.24	4,600 a
0.48	1,456 c
0.71	3,378 b
F-test	*
แมงกานีส (B)	
0.24	3,683 a
0.49	2,506 c
0.73	3,244 b
F-test	*
AxB	*
CV. (%)	10.7

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 7 ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ความเข้มข้น (มก./ล.)		ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
Nicspray® 20 กรัมต่อลิตร (เหล็ก 0.95 มก./ล., แมงกานีส 0.97 มก./ล.)		4,283 c
เหล็ก 0.24 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	4,417 bc
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	3,950 c
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	5,433 a
เหล็ก 0.48 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	1,717 e
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	1,600 e
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	1,050 f
เหล็ก 0.71 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	4,917 ab
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	1,967 e
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	3,250 d
F-test		*
CV. (%)		9.9

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

4. วิตามินซี

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกันจาก 4 สิ่งทดลองที่พบ วิตามินซี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณวิตามินซีสูงสุดเท่ากับ 1,070 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับความเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 910 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด เช่นเดียวกับในแมงกานีสที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้ปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ความเข้มข้นแมงกานีส 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณวิตามินซีสูงสุดเท่ากับ 1,060 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือที่ความเข้มข้น 0.73 และ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ทั้งนี้ ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด มีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุดคือ 1,070 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด รองลงมาคือที่เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด, เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 1,050, 840 และ 770 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 8 ปริมาณวิตามินซีในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ความเข้มข้น (มก./ล.)	วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม น้ำหนักสด)
เหล็ก (A)	
0.24	840 b
0.48	1,070 a
0.71	910 ab
F-test	*
แมงกานีส (B)	
0.24	770 b
0.49	1,060 a
0.73	840 b
F-test	*
AxB	*
CV. (%)	12.5

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

5. ปริมาณจุลธาตุ

5.1 เหล็ก

ปริมาณเหล็กที่พบในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นผักกาดหอมมีเหล็กมากที่สุดเท่ากับ 138.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้สารละลายที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใช้แมงกานีสซึ่งมีความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้ปริมาณเหล็กในต้นผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้แมงกานีสความเข้มข้นน้อยที่สุดคือ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีเหล็กมากที่สุดเท่ากับ 130.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้แมงกานีสเข้มข้น 0.49 และ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณเหล็กที่พบในผักกาดหอม โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กความเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเหล็กสูงสุดเท่ากับ 156.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีเหล็ก 152.9 และ 144 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีปริมาณเหล็กน้อยที่สุดคือ 101.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีเหล็กเท่ากับ 107.61 และ 114.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

5.2 แม่งกานีส

จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแอมกานีสที่พบในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีปริมาณแอมกานีสมากที่สุดเท่ากับ 24.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแอมกานีสที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณแอมกานีสที่พบในผักกาดหอมแตกต่างกัน (ตารางที่ 10) ทั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแอมกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณแอมกานีสในผักกาดหอม โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแอมกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแอมกานีสมากที่สุดเท่ากับ 51.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแอมกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแอมกานีสน้อยสุดเท่ากับ 10.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแอมกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแอมกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีแอมกานีส 12.7 และ 14.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

5.3 สังกะสี

ปริมาณสังกะสีที่พบในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กและแอมกานีสต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณสังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 50.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้สารละลายที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใช้แอมกานีสที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้ปริมาณสังกะสีที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีแอมกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณสังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 53.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้สารละลายที่มีแอมกานีสเข้มข้น 0.73 และ 0.49 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีสังกะสี 43.1 และ 39.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณสังกะสีที่พบในผักกาดหอม โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 61.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีสังกะสี 61.5 และ 55.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่การใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีปริมาณสังกะสีน้อยสุดเท่ากับ 29.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11)

5.4 ทองแดง

ปริมาณทองแดงที่พบในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กความเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณทองแดงมากที่สุดเท่ากับ 7.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้สารละลายที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71 และ 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแมงกานีสที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณทองแดงที่พบในผักกาดหอมแตกต่างกัน (ตารางที่ 10) ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณทองแดงที่พบในผักกาดหอม โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงมากที่สุดเท่ากับ 8.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีทองแดง 8.1, 7.4, 7.3, 7.2 และ 6.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมที่ปลูกสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.71

มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงน้อยสุดเท่ากับ 4.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตที่เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีทองแดง 5.2 และ 6.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

5.5 โบรอน

ปริมาณโบรอนที่พบในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเหล็กต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กความเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณโบรอนมากที่สุดเท่ากับ 58.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.24 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้นแมงกานีสที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณโบรอนที่พบในผักกาดหอมแตกต่างกัน (ตารางที่ 10) ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณโบรอนที่พบในผักกาดหอม โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโบรอนสูงสุดเท่ากับ 62.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโบรอนน้อยสุดเท่ากับ 42.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่เหล็กเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีโบรอน 43.6, 43.8 และ 46.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นเหล็กและแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

จุลธาตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	Fe	Mn	Zn	Cu	B
เหล็ก (A)					
0.24	138.2 a	24.4 a	50.9 a	7.3 a	50.2 b
0.48	117.6 b	19.6 b	45.9 b	6.2 b	58.8 a
0.71	114.4 b	13.3 c	39.9 c	6.3 b	44.3 c
F-test	*	*	*	*	*
แมงกานีส (B)					
0.24	130.3 a	18.5	53.7 a	7.1	51.5
0.49	121.9 b	19.9	39.8 b	6.4	49.6
0.73	118.0 b	18.9	43.1 b	6.3	52.2
F-test	*	ns	*	ns	ns
AxB	*	*	*	*	*
CV. (%)	11.6	17.4	15.1	23.9	9.9

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 11 ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

จุลธาตุ		ปริมาณธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
		Fe	Mn	Zn	Cu	B
Nicspray® 20 กรัมต่อลิตร (เหล็ก 0.95 มก./ล., แมงกานีส 0.97 มก./ล.)		152.9 a	51.5 a	62.0 a	8.4 a	43.6 ef
เหล็ก 0.24 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	144.0 a	24.7 b	61.5 a	7.3 abc	51.5 c
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	156.3 a	24.3 b	47.2 b	8.1 ab	48.5 cde
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	114.2 cd	24.3 b	43.9 bc	6.5 bcd	50.8 cd
เหล็ก 0.48 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	129.4 b	14.1 cd	55.9 a	7.4 abc	56.8 b
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	101.9 d	22.9 b	43.1 bc	6.1 cde	57.5 b
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	121.5 bc	21.8 b	38.6 c	5.2 de	62.2 a
เหล็ก 0.71 มก./ล.	แมงกานีส 0.24 มก./ล.	117.3 bc	16.7 c	43.7 bc	6.8 abcd	46.2 def
	แมงกานีส 0.49 มก./ล.	107.6 cd	12.7 d	29.2 d	4.8 e	42.9 f
	แมงกานีส 0.73 มก./ล.	118.3 bc	10.7 d	46.9 b	7.2 abc	43.8 ef
F-test		*	*	*	*	*
CV. (%)		11.22	17.18	13.96	23.49	9.65

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

การทดลองที่ 1.2 ผลของทองแดง, สังกะสี, โบรอน และโมลิบดีนัมต่อการผลิต ผักกาดหอม

1.2.1 ปรับความเข้มข้นของทองแดง

ผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่างกันที่ 4 ระดับคือ 1.04 (control), 1.56, 2.08 และ 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ก่อนเก็บเกี่ยว ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบ ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า

1.2.1.1 การเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ

ก. จำนวนใบ

จำนวนใบของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ 37.8 ใบ และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีใบจำนวน 35.6 ใบ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 32 ใบ (ตารางที่ 12)

ข. ความสูงของต้น

ความสูงของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 12.06 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่

ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.09 และ 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสูงน้อยที่สุด (ตารางที่ 12)

ค. ความกว้างของทรงพุ่ม

ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นซึ่งมีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 23.35 เซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความกว้างทรงพุ่มเท่ากับ 22.77 เซนติเมตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความกว้างทรงพุ่มน้อยที่สุดเท่ากับ 20.63 เซนติเมตร (ตารางที่ 12)

ง. ความเขียวของใบ

ความเขียวของใบของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ใบที่มีความเขียวมากที่สุดเท่ากับ 36.86 SPAD unit ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความเขียวของใบน้อยที่สุดเท่ากับ 32.33 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.56 และ 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 12)

จ. พื้นที่ใบ

พื้นที่ใบของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นสูงสุดเท่ากับ 57.25 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 37.97 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 12)

จ. น้ำหนักสด

น้ำหนักสดของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดสูงสุดเท่ากับ 113.85 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่น้ำหนักสดของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุดคือ 63.27 กรัม (ตารางที่ 12)

ช. น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 6.09 กรัม โดยการใช้ทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดคือ 3.49 กรัม (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของธาตุต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวนใบ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
1.04 (control)	37.8 a	12.06 a	23.35 a	33.53 b	52.85 a	113.85 a	6.09 a
1.56	35.6 ab	11.48 a	22.77 ab	32.49 b	57.25 a	102.41 a	5.11 b
2.09	33.6 bc	9.66 b	21.26 bc	36.86 a	45.05 b	80.52 b	4.81 b
2.60	32.0 c	9.64 b	20.63 c	32.33 b	37.97 c	63.27 c	3.49 c
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV. (%)	7.0	8.9	5.6	4.7	9.0	13.9	12.8

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)
 ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.1.2 การเจริญเติบโตส่วนราก

ผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากมากที่สุดคือ 58.54 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับต้นที่ได้รับทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้ทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้รากของผักกาดหอมมีความยาวรากน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้นทองแดงต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
1.04 (control)	58.54 a	9.79	0.72
1.56	54.56 ab	9.79	0.67
2.09	52.10 bc	8.63	0.79
2.60	46.74 c	10.07	0.67
F-test	*	ns	ns
CV. (%)	8.5	14.9	13.7

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.1.3 ไนเตรต

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้นของแดงแตกต่างกันพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ของแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 2,967 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีของแดงเข้มข้น 2.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตน้อยสุดเท่ากับ 1,133 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และหากพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อบังคับของ European Commission ในปี 1997 ซึ่งต้องมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด พบว่าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่ความเข้มข้นของแดงต่างกันทั้ง 4 สิ่งทดลองมีค่าปริมาณไนเตรตต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแดงต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
1.04 (control)	2,967 a
1.56	2,067 b
2.09	1,133 c
2.60	1,550 bc
F-test	*
CV. (%)	14.9

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.2.1.4 วิตามินซี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแสงแตกต่างกันโดยเครื่อง reflectometer RQ-flex (Takabe and Yoneyama, 1995) พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกโดยใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงทั้ง 4 ความเข้มข้น มีวิตามินซีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด

1.2.1.5 ปริมาณจุลธาตุ

ก. เหล็ก

ความเข้มข้นของทองแดงที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณเหล็กที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเหล็กมากที่สุดเท่ากับ 117.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 และ 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณเหล็กน้อยสุดเท่ากับ 77.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 15)

ข. แมงกานีส

ความเข้มข้นของทองแดงที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณแมงกานีสที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแมงกานีสมากที่สุดเท่ากับ 29.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแมงกานีสน้อยสุดเท่ากับ 9.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดง

เข้มข้น 1.56 และ 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 10.02 และ 11.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ค. สังกะสี

ความเข้มข้นของทองแดงที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสังกะสีที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 40.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 และ 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณสังกะสีน้อยสุดเท่ากับ 34.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 15)

ง. ทองแดง

ความเข้มข้นของทองแดงที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณทองแดงที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงมากที่สุดเท่ากับ 14.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมซึ่งเจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 มีปริมาณทองแดงน้อยสุดเท่ากับ 9.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 15)

จ. โบรอน

ความเข้มข้นของทองแดงที่แตกต่างกันมีผลทำให้ธาตุโบรอนที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโบรอนมากที่สุดเท่ากับ 31.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 1.04 และ 2.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สารละลาย

ธาตุอาหารที่มีทองแดงเข้มข้น 2.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณโบรอนน้อยสุดเท่ากับ 26.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นทองแดงต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	Fe	Mn	Zn	Cu	B
1.04 (control)	102.63 a	11.66 b	39.76 a	9.80 c	29.17 ab
1.56	96.90 ab	10.02 b	40.76 a	12.30 b	31.23 a
2.09	77.74 b	29.55 a	34.9 b	11.48 b	26.24 b
2.60	117.27 a	9.44 b	38.54 a	14.88 a	28.13 ab
F-test	*	*	*	*	*
CV. (%)	15.2	15.5	7.0	9.8	8.4

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.2.2 ปรับความเข้มข้นของสังกะสี

ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกันที่ 4 ระดับคือ 0.95 (control), 1.43, 1.90 และ 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ก่อนเก็บเกี่ยว ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบ ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า

1.2.2.1 การเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ

ก. จำนวนใบ

จำนวนใบของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบมากที่สุดคือ 38.8 ใบ รองลงมาคือผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร, ที่ความเข้มข้น 2.38 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีจำนวนใบเท่ากับ 37.8, 36.6 และ 36.2 ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

ข. ความสูงของต้น

ความสูงของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 13.28 เซนติเมตร รองลงมาคือผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38, 0.95 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ให้ต้นที่มีความสูงเท่ากับ 12.22, 12.06 และ 12 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

ค. ความกว้างของทรงพุ่ม

เช่นเดียวกับจำนวนใบและความสูงต้น ที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ความกว้างทรงพุ่มผักกาดหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 23.72 เซนติเมตร รองลงมาคือผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95, 1.43 และ 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ต้นที่มีความกว้างทรงพุ่มเท่ากับ 23.35, 23.06 และ 23.01 ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

ง. ความเขียวของใบ

ความเขียวของใบของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ใบที่มีความเขียวมากที่สุดเท่ากับ 34.19 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 และ 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ใบที่มีความเขียวใบน้อยที่สุดเท่ากับ 30.23 SPAD unit (ตารางที่ 16)

จ. พื้นที่ใบ

พื้นที่ใบของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นสูงสุดเท่ากับ 60.03 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่พื้นที่ใบของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 51.70 ตารางเซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับ

ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 16)

จ. น้ำหนักสด

น้ำหนักสดของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดมากที่สุดเท่ากับ 113.85 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่น้ำหนักสดของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 63.27 กรัม (ตารางที่ 16)

ช. น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่สังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 6.50 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่สังกะสีเข้มข้น 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 5.58 กรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

สังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวนใบ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
0.95 (control)	37.8	12.06	23.35	33.53 a	52.85 b	113.85 a	6.09 ab
1.43	36.2	12.00	23.06	34.19 a	60.03 a	102.41 a	5.58 bc
1.90	38.8	13.28	23.01	33.58 a	59.54 a	80.52 b	6.50 a
2.38	36.6	12.22	23.72	30.23 b	51.70 b	63.27 c	4.73 b
F-test	ns	ns	ns	*	*	*	*
CV. (%)	6.8	9.0	7.5	4.9	8.0	13.9	11.5

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.2.2 การเจริญเติบโตส่วนราก

การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดในสูตรสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ที่ความเข้มข้นสังกะสีต่างกันไม่มีผลทำให้ความยาวรากของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากมากที่สุดเท่ากับ 11.91 กรัม และ 0.81 กรัม ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 7.72 และ 0.63 กรัม (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

สังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
0.95 (control)	58.54	9.79 ab	0.72 ab
1.43	53.68	9.76 ab	0.73 ab
1.90	61.42	11.91 a	0.81 a
2.38	50.52	7.72 b	0.63 b
F-test	ns	*	*
CV. (%)	16.2	19.0	16.5

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.2.3 ไนเตรต

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีแตกต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 2,967 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณน้อยสุดเท่ากับ 1,417 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และหากพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อบังคับของ European Commission ในปี 1997 ซึ่งต้องมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด พบว่าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีสังกะสีต่างกันทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าปริมาณไนเตรตต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

สังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
0.95 (control)	2,967 a
1.43	2,167 b
1.90	1,417 c
2.38	2,267 ab
F-test	*
CV. (%)	17.5

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.2.2.4 วิตามินซี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้นสังกะสีแตกต่างกันโดยเครื่อง reflectometer RQ-flex (Takabe and Yoneyama, 1995) พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกโดยใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีทั้ง 4 ความเข้มข้น มีวิตามินซีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

1.2.2.5 ปริมาณจุลธาตุ

ก. เหล็ก

ความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณเหล็กที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเหล็กสูงสุดเท่ากับ 112.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือที่สังกะสีเข้มข้น 0.95, 1.43 และ 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 19)

ข. แมงกานีส

ความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณแมงกานีสที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่สังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแมงกานีสมากที่สุดเท่ากับ 33.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่สังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุดเท่ากับ 8.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 19)

ค. สังกะสี

ความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสังกะสีที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮด

ที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 49.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีปริมาณสังกะสีน้อยสุดเท่ากับ 37.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 19)

ง. ทองแดง

ความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณทองแดงที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงมากที่สุดเท่ากับ 11.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงน้อยที่สุดเท่ากับ 9.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 19)

จ. โบรอน

ความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณโบรอนที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโบรอนมากที่สุดเท่ากับ 36.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 0.95 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโบรอนน้อยที่สุดเท่ากับ 9.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสังกะสีเข้มข้น 1.90 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นสังกะสีต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

สังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	Fe	Mn	Zn	Cu	B
0.95 (control)	102.63	11.66 c	39.76 b	9.80 b	29.17 b
1.43	101.43	29.65 b	37.23 c	10.02 b	31.48 b
1.90	93.10	33.20 a	38.88 bc	9.97 b	31.08 b
2.38	112.78	8.82 d	49.74 a	11.85 a	36.17 a
F-test	ns	*	*	*	*
CV. (%)	17.5	7.8	3.9	8.3	9.7

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.3 ปรับความเข้มข้นของไบรอน

ผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไบรอนต่างกันที่ 4 ระดับคือ 1.09 (control), 1.63, 2.17 และ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ก่อนเก็บเกี่ยว ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบ ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า

1.2.3.1 การเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ

ก. จำนวนใบ

จำนวนใบของผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นไบรอนต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีไบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 37.8 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ไบรอนเข้มข้น 2.17 และ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ได้ต้นที่มีจำนวนใบเท่ากับ 36 และ 34.4 ใบ ในขณะที่การใช้ไบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 32.2 ใบ และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ไบรอนเข้มข้น 2.71 และ 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 20)

ข. ความสูงของต้น

ความสูงของผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นไบรอนต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีไบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 12.98 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีไบรอนเข้มข้น 1.09 และ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีไบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัม

ต่อลิตร มีความสูงตื้นน้อยที่สุดเท่ากับ 11.04 เซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 20)

ค. ความกว้างของทรงพุ่ม

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติพบว่าที่ความเข้มข้นโบรอนต่างกันไม่มีผลทำให้ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้โบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 23.94 เซนติเมตร (ตารางที่ 20)

ง. ความเขียวของใบ

ความเขียวของใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีใบที่มีความเขียวมากที่สุดเท่ากับ 33.53 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเขียวของใบน้อยที่สุดเท่ากับ 31.23 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้โบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ใบที่มีความเขียวเท่ากับ 31.26 SPAD unit (ตารางที่ 20)

จ. พื้นที่ใบ

พื้นที่ใบของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุดเท่ากับ 63.09 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมเจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมี

พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 62.43 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่การใช้โบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 49.86 ตารางเซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 52.85 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 20)

ฉ. น้ำหนักสด

น้ำหนักสดของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้โบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดมากที่สุดเท่ากับ 127.01 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ต้นที่มีน้ำหนักสดเท่ากับ 120.8 และ 113.85 กรัม ในขณะที่น้ำหนักสดของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 72.93 กรัม (ตารางที่ 20)

ช. น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้โบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 6.20 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 และ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 3.75 กรัม (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โบรอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวนใบ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
1.09 (control)	37.8 a	12.06 ab	23.35	33.53 a	52.85 b	113.85 a	6.09 a
1.63	32.2 b	11.04 b	23.49	31.23 b	49.86 b	72.93 b	3.75 b
2.17	36.0 ab	12.98 a	23.94	31.26 b	63.09 a	127.01 a	6.20 a
2.71	34.4 ab	11.66 ab	23.35	32.97 a	62.43 a	120.80 a	5.48 a
F-test	*	*	ns	*	*	*	*
CV. (%)	8.1	9.3	4.6	3.5	7.4	14.2	12.6

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)
 ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.3.2 การเจริญเติบโตส่วนราก

การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดในสูตรสารละลายธาตุอาหารที่โบรอนความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ที่ความเข้มข้นโบรอนต่างกันไม่มีผลทำให้ความยาวรากของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การใช้โบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากมากที่สุดเท่ากับ 13.37 และ 0.86 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งน้อยสุดเท่ากับ 6.49 และ 0.52 กรัม ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเท่ากับ 7.12 และ 0.64 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โบรอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
1.09 (control)	58.54	9.79 b	0.72 ab
1.63	54.60	13.37 a	0.86 a
2.17	57.64	6.49 c	0.52 c
2.71	55.20	7.12 bc	0.64 bc
F-test	ns	*	*
CV. (%)	11.7	22.5	18.7

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.3.3 ไนเตรต

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนแตกต่างกันพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 2,967 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีโบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตน้อยสุดเท่ากับ 1,683 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร และหากพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อบังคับของ European Commission ในปี 1997 ซึ่งต้องมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด พบว่าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีโบรอนต่างกันทั้ง 4 ความเข้มข้นมีค่าปริมาณไนเตรตต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โบรอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
1.09 (control)	2,967 a
1.63	1,683 c
2.17	2,183 bc
2.71	2,533 ab
F-test	*
CV. (%)	14.2

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.2.3.4 วิตามินซี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้นโบรอนแตกต่างกันโดยเครื่อง reflectometer RQ-flex (Takabe and Yoneyama, 1995) พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกโดยใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนทั้ง 4 ความเข้มข้น มีวิตามินซีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม น้ำหนักสด

1.2.3.5 ปริมาณจุลธาตุ

ก. เหล็ก

ความเข้มข้นของโบรอนที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณเหล็กที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเหล็กมากที่สุดเท่ากับ 123.60 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเหล็กน้อยที่สุดเท่ากับ 86.40 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้โบรอนเข้มข้น 2.17 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณเหล็กเท่ากับ 97 และ 102.63 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 23)

ข. แมงกานีส

ความเข้มข้นของโบรอนที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณแมงกานีสที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแมงกานีสมากที่สุดเท่ากับ 43.10 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุดเท่ากับ 11.66 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้โบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 11.9 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม (ตารางที่ 23)

ค. สังกะสี

ความเข้มข้นของโบรอนที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสังกะสีที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 51.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีน้อยที่สุดเท่ากับ 38.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 และ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 39.76 และ 42.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 23)

ง. ทองแดง

ความเข้มข้นของโบรอนที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณทองแดงที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงมากที่สุดเท่ากับ 12.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงน้อยที่สุดเท่ากับ 9.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 และ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณทองแดงเท่ากับ 9.8 และ 10.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 23)

จ. โบรอน

ความเข้มข้นของโบรอนที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณโบรอนที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโบรอนมากที่สุดเท่ากับ 58.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโบรอนเข้มข้น 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโบรอนน้อยที่สุดเท่ากับ 29.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโบรอนต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โบรอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	Fe	Mn	Zn	Cu	B
1.09 (control)	102.63 ab	11.66 c	39.76 b	9.80 b	29.17 d
1.63	123.60 a	11.90 c	51.25 a	12.85 a	45.03 c
2.17	97.00 b	43.10 a	38.80 b	10.22 b	52.80 b
2.71	86.40 b	33.20 b	42.24 b	9.79 b	58.37 a
F-test	*	*	*	*	*
CV. (%)	18.1	11.8	6.0	6.3	6.4

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.2.4 ปรับปรุงความเข้มข้นของโมลิบดีนัม

ผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของโมลิบดีนัมต่างกันที่ 4 ระดับคือ 0.012 (control), 0.009, 0.006 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ก่อนเก็บเกี่ยว ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า

1.2.4.1 การเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ

ก. จำนวนใบ

จำนวนใบของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้นต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร มีใบที่มีจำนวนมากที่สุดเท่ากับ 37.8 ใบ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 และ 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ต้นที่มีจำนวนใบเท่ากับ 37.2 และ 34.6 ใบ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 33.6 ใบ (ตารางที่ 24)

ข. ความสูงของต้น

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติพบว่าโมลิบดีนัมความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลทำให้ความสูงของต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโมลิบดีนัมต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 13.48 เซนติเมตร (ตารางที่ 24)

ค. ความกว้างของทรงพุ่ม

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติพบว่าโมลิบดีนัมความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลทำให้ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้นโมลิบดีนัมต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับความสูงต้น โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 23.61 เซนติเมตร (ตารางที่ 24)

ง. ความเขียวของใบ

ความเขียวของใบของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมความเข้มข้นต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ใบที่มีความเขียวใบมากที่สุดเท่ากับ 33.53 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 และ 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ใบที่มีความเขียวเท่ากับ 33.31 และ 32.23 SPAD unit ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ใบที่มีความเขียวใบน้อยที่สุดเท่ากับ 31.03 SPAD unit (ตารางที่ 24)

จ. พื้นที่ใบ

พื้นที่ใบของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมความเข้มข้นต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นสูงสุดคือ 61.19 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมเจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 และ 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 60.38 และ 59.77 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร

ให้ต้นที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 52.85 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับ ผักกาดหอมเจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 และ 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 24)

จ. น้ำหนักสด

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติพบว่าที่โมลิบดีนัมความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลทำให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมความเข้มข้นต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีน้ำหนักสดมากที่สุดเท่ากับ 122.58 กรัม (ตารางที่ 24)

ข. น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมความเข้มข้นต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 6.09 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 5.29 กรัม ในขณะที่น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 5.06 กรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้โมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โมลิบดีนัม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวนใบ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
0.012 (control)	37.8 a	12.06	23.35	33.53 a	52.85 b	113.85	6.09 a
0.003	37.2 ab	12.42	23.39	33.31 a	59.77 ab	122.58	6.09 a
0.006	33.6 b	12.22	23.61	32.23 a	60.38 ab	102.10	5.06 b
0.009	34.6 ab	13.48	23.20	30.03 b	61.19 a	115.54	5.29 ab
F-test	*	ns	ns	*	*	ns	*
CV. (%)	7.8	12.4	4.5	5.0	9.8	15.7	11.6

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.4.2 การเจริญเติบโตส่วนราก

การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดในสูตรสารละลายธาตุอาหารที่โมลิบดีนัมความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ที่ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ความยาวรากของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากมากที่สุดเท่ากับ 9.79 และ 0.72 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้รากที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเท่ากับ 7.84 และ 0.64 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 5.84 และ 0.52 กรัม ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้โมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่มีความเข้มข้นโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โมลิบดีนัม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
0.012 (control)	58.54	9.79 a	0.72 a
0.003	55.64	7.84 ab	0.64 ab
0.006	60.00	5.84 b	0.52 b
0.009	57.06	7.62 b	0.55 b
F-test	ns	*	*
CV. (%)	13.9	18.8	15.7

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2.4.3 ไนเตรต

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่าให้ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 2,967 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณไนเตรตน้อยสุดเท่ากับ 1,433 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร และหากพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อบังคับของ European Commission ในปี 1997 ซึ่งต้องมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด พบว่าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้นต่างกันทั้ง 4 ความเข้มข้นมีค่าปริมาณไนเตรตต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 26 ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โมลิบดีนัม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
0.012 (control)	2,967 a
0.003	2,033 b
0.006	1,783 bc
0.009	1,433 c
F-test	*
CV. (%)	13.6

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.2.4.4 วิตามินซี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้นโมลิบดีนัมแตกต่างกันโดยเครื่อง reflectometer RQ-flex (Takabe and Yoneyama, 1995) พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกโดยใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีวิตามินซีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

1.2.4.5 ปริมาณจุลธาตุ

ก. เหล็ก

ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณเหล็กที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณเหล็กสูงสุดเท่ากับ 114.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้โมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009, 0.012 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 27)

ข. แมงกานีส

ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณแมงกานีสที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณแมงกานีสสูงสุดเท่ากับ 43.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณแมงกานีสน้อยสุดเท่ากับ 11.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 27)

ค. สังกะสี

ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ปริมาณ สังกะสีที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่-เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณสังกะสีมากที่สุดเท่ากับ 42.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใช้โมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012, 0.006 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 27)

ง. ทองแดง

ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณ ทองแดงที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่-เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณทองแดงมากที่สุดเท่ากับ 11.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณทองแดงน้อยสุดเท่ากับ 9.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.006 และ 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณทองแดงเท่ากับ 9.15 และ 9.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 27)

จ. โบรอน

ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณ โบรอนที่พบในผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่-เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณโบรอนมากที่สุดเท่ากับ 36.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ได้ต้นที่มีปริมาณโบรอนน้อยสุดเท่ากับ 29.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 และ 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโบรอนเท่ากับ 30.37 และ 31.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 27)

ตารางที่ 27 ปริมาณธาตุในต้นผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโมลิบดีนัมต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บเกี่ยว

โมลิบดีนัม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	Fe	Mn	Zn	Cu	B
0.012 (control)	102.63	11.66 d	39.76	9.80 ab	29.17 b
0.003	96.32	43.75 a	35.81	9.11 b	30.37 b
0.006	114.87	30.03 b	38.03	9.15 b	31.24 ab
0.009	113.91	20.71 c	42.17	11.01 a	36.20 a
F-test	ns	*	ns	*	*
CV. (%)	19.0	11.4	12.6	10.0	11.8

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 2 ผลของรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่อการผลิตผักกาดหอม

การหาความเข้มข้นของจุลธาตุที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ในระบบ Nutrient Film Technique (NFT) โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper (1979) ดัดแปลงโดยยงยุทธ (2546) ในการทดลองที่ 1 พบว่า ความเข้มข้นจุลธาตุที่เหมาะสมคือ ที่ความเข้มข้นของเหล็ก 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดง 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร โบรอน 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และโมลิบดีนัม 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงได้นำมาทำการศึกษาการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร พบว่า การปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้า 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวัน อยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนี้

1. การเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ

1.1 จำนวนใบ

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันไม่มีผลทำให้จำนวนใบของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บทั้ง 4 รูปแบบค่าการนำไฟฟ้า มีจำนวนใบเฉลี่ย 32–34 ใบ (ตารางที่ 28)

1.2 ความสูงของต้น

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันมีผลทำให้ความสูงต้นของผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น

1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ในสิ่งทดลองที่ 4 มีความสูงต้นสูงที่สุดเท่ากับ 13.04 เซนติเมตร โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีความสูงต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 11.02 เซนติเมตร (ตารางที่ 28)

1.3 ความกว้างของทรงพุ่ม

ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 21.87 เซนติเมตร โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ให้ความกว้างทรงพุ่มน้อยที่สุดเท่ากับ 21.12 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ที่ให้ความกว้างทรงพุ่มเท่ากับ 21.23 และ 21.31 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 28)

1.4 ความเขียวของใบ

ความเขียวของใบของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่า

การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีความเขียวใบสูงสุดเท่ากับ 35.52 SPAD unit แต่ไม่แตกต่างกับ ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ในขณะที่ ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm มีค่าความเขียวใบน้อยที่สุดเท่ากับ 32.69 SPAD unit และไม่แตกต่างทางสถิติกับการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 28)

1.5 พื้นที่ใบ

พื้นที่ใบของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีพื้นที่ใบสูงสุดเท่ากับ 64.88 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่สารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ให้ผักกาดหอมที่มีพื้นที่ใบน้อยที่สุดเท่ากับ 56.84 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่

ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm และการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 28)

1.6 น้ำหนักสด

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันมีผลทำให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีน้ำหนักสดสูงที่สุดเท่ากับ 113.92 กรัม ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีน้ำหนักสดน้อยที่สุดเท่ากับ 83.15 กรัม แต่ไม่แตกต่างกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง ซึ่งมีน้ำหนักสดเท่ากับ 83.97 กรัม (ตารางที่ 28)

1.7 น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 5.64 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ที่ให้ค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 5.26 กรัม ในขณะที่น้ำหนักแห้งของผักกาดหอม

ที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง มีค่าน้ำหนักที่สุกเท่ากับ 4.52 และ 4.54 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 28)

ตารางที่ 28 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวัน อยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

ค่าการนำไฟฟ้า ในแต่ละสัปดาห์ (mS/cm)	จำนวนใบ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อ ต้น (ตร.ซม.)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
1.5-1.8 ตลอดการทดลอง	31.6	11.90 b	21.87 a	32.69 b	57.24 b	83.97 c	4.54 b
1.2-1.5-1.8-1.8	33.8	11.02 c	21.31 b	34.56 ab	59.29 b	83.15 c	4.52 b
1.8-1.5-1.2-1.2	33.6	12.32 b	21.23 b	35.52 a	64.88 a	113.92 a	5.64 a
1.2-1.5-1.8-1.2	33.0	13.04 a	21.12 b	35.07 a	56.84 b	99.22 b	5.26 a
F-test	ns	*	*	*	*	*	*
CV. (%)	6.3	3.5	1.8	5.5	6.7	5.3	8.6

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี

Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2. การเจริญเติบโตทางราก

จากการศึกษาการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าทั้ง 3 แบบเปรียบเทียบกับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าปกติที่มีการควบคุมระดับค่าการนำไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง โดยมีได้กำหนดเป็นช่วงๆ พบว่า รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันไม่มีผลต่อความยาวรากของผักกาดหอม โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้า โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง ให้ความยาวรากสูงที่สุดเท่ากับ 48.36 เซนติเมตร รองลงมาคือสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว, สารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ให้รากที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 9.28 และ 0.66 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุดไม่แตกต่างทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้า โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง ซึ่งให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 8.67 และ 0.6 กรัม และสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ที่ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 8.06 และ 0.61 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 29)

ตารางที่ 29 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวัน อยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

ค่าการนำไฟฟ้า ในแต่ละสัปดาห์ (mS/cm)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
1.5-1.8 ตลอดการทดลอง	48.36	8.67 ab	0.60 ab
1.2-1.5-1.8-1.8	42.30	7.47 b	0.53 b
1.8-1.5-1.2-1.2	47.84	9.28 a	0.66 a
1.2-1.5-1.8-1.2	46.10	8.06 ab	0.61 ab
F-test	ns	*	*
CV. (%)	9.6	11.4	11.4

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3. ไนเตรต

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ พบว่า รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันไม่มีผลให้ปริมาณไนเตรตมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 2,717 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าเป็น 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว, การปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง ซึ่งให้ผักกาดหอมที่มีปริมาณไนเตรตเท่ากับ 2,567, 2,550 และ 2,517 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และหากพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อบังคับของ European Commission ในปี 1997 ซึ่งต้องมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด พบว่าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ ทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าปริมาณไนเตรตต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 30)

ตารางที่ 30 ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมแบตเตอรี่ไฮโดรพอนิกส์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวัน อยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

ค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละสัปดาห์ (mS/cm)	ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
1.5-1.8 ตลอดการทดลอง	2,517
1.2-1.5-1.8-1.8	2,717
1.8-1.5-1.2-1.2	2,567
1.2-1.5-1.8-1.2	2,550
F-test	ns
CV. (%)	5.6

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4. วิตามินซี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว ต่างกันด้วยเครื่อง reflectometer RQ-flex (Takabe and Yoneyama, 1995) พบว่า ไม่สามารถตรวจพบวิตามินซีได้ในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารทั้ง 4 รูปแบบค่าการนำไฟฟ้า เนื่องจากไม่สามารถหาค่าได้ ซึ่งหมายความว่าปริมาณวิตามินซีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

5. เส้นใย

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณเส้นใยในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว พบว่าการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีปริมาณเส้นใยสูงที่สุด เท่ากับ 3.91 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีปริมาณเส้นใยน้อยที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าเป็น 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว และสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง ที่ให้ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 3.10, 3.35 และ 3.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 31)

6. ปริมาณธาตุ

6.1 มหธาตุ

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณมหธาตุในต้นผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ พบว่า รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันไม่มีผลให้ปริมาณมหธาตุที่พบในต้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นไนโตรเจน โดยพบว่าสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง และสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าเป็น 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 32)

6.2 จุลธาตุ

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณจุลธาตุในต้นผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ก่อนเก็บ พบว่า รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันไม่มีผลให้ปริมาณจุลธาตุที่พบในต้นมีค่าแตกต่างกัน ยกเว้นแมงกานีสและโบรอน โดยพบว่าค่าการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุด ในขณะที่การปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ให้ต้นผักกาดหอมที่มีปริมาณโบรอนสูงที่สุด และไม่แตกต่างทางสถิติกับ

สารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร 4 สัปดาห์ ก่อนเก็บ โดยควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้อยู่ในช่วง 1.5-1.8 mS/cm ตลอดการทดลอง และสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก 1.8 mS/cm ในสัปดาห์ที่สามหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 31 ปริมาณเส้นใยในผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวัน อยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

ค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละสัปดาห์ (mS/cm)	ปริมาณเส้นใย (กรัม)
1.5-1.8 ตลอดการทดลอง	3.35 bc
1.2-1.5-1.8-1.8	3.91 a
1.8-1.5-1.2-1.2	3.60 ab
1.2-1.5-1.8-1.2	3.10 c
F-test	*
CV. (%)	15.0

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 32 ปริมาณธาตุในผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดของอุณหภูมิกลางวัน อยู่ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

ค่าการนำไฟฟ้า ในแต่ละสัปดาห์ (mS/cm)	ปริมาณธาตุ									
	เปอร์เซ็นต์					มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
1.5-1.8 ตลอดการทดลอง	3.90 ab	0.86	7.5	1.27	0.39	128.83	7.11 d	50.92	14.56	73.46 ab
1.2-1.5-1.8-1.8	3.78 b	0.83	7.8	1.18	0.37	130.59	15.03 c	54.14	13.85	81.47 a
1.8-1.5-1.2-1.2	4.06 a	0.81	7.1	1.44	0.39	130.39	28.55 a	54.91	13.77	67.38 b
1.2-1.5-1.8-1.2	3.97 ab	0.81	7.3	1.21	0.38	125.84	22.69 b	49.47	13.00	70.11 ab
F-test	*	ns	ns	ns	ns	Ns	*	ns	ns	*
CV. (%)	4.1	5.7	9.8	14.4	17.1	8.2	18.3	10.8	10.3	12.0

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 3 ผลของการใช้ไตรโคเดอร์มาพร้อมกับสารละลายธาตุอาหารในการผลิต ผักกาดหอม

จากการทดลองที่ 1 หาความเข้มข้นของจุลธาตุที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอม บัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ในระบบ Nutrient Film Technique (NFT) โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper (1979) ดัดแปลงโดยยงยุทธ (2546) พบว่า ความเข้มข้นจุลธาตุที่เหมาะสม คือ ที่ความเข้มข้นของเหล็ก 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีส 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดง 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร โบรอน 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โมลิบดีนัม 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยได้นำมาทำการศึกษาต่อเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ของผักกาดหอมในสูตรสารละลายธาตุอาหารร่วมกับการใช้และไม่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ใน อัตราส่วน 10 กรัมต่อ 40 ลิตร พบว่า การใช้ไตรโคเดอร์มามีผลต่อการเจริญเติบโตของ ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุด ระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนี้

1. การเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ

1.1 จำนวนใบ

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของจำนวนใบผักกาดหอมที่เจริญเติบโต ในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีจำนวนใบมากกว่าการใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลง เท่ากับ 38.2 และ 33.4 ใบ ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ไตรโคเดอร์มาไม่มีผลทำให้จำนวนใบ ของผักกาดหอมแตกต่างกัน ทั้งนี้พบว่า สูตรสารละลายธาตุอาหารและการใช้ไตรโคเดอร์มามี อิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อจำนวนใบ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโต ในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 มีจำนวนใบเท่ากับผักกาดหอมที่เจริญเติบโต ในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ซึ่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 38.2 ใบ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ที่ใช้และไม่ใช้เชื้อรา โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา

ทำให้ผักกาดหอมที่มีจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 33.2 ใบ และไม่แตกต่างทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วม ซึ่งมีจำนวนใบเท่ากับ 33.6 ใบ (ตารางที่ 33)

1.2 ความสูงของต้น

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติความสูงต้นของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีความสูงต้นมากที่สุดเท่ากับ 12.76 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงทำให้ได้ความสูงต้นเท่ากับ 11.31 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มาพบว่า การใช้ไตรโคเดอร์มาทำให้ได้ต้นที่มีความสูงน้อยลง ในขณะที่ผักกาดหอมบำบัดเดอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมมีความสูงต้นเท่ากับ 12.42 เซนติเมตร ทั้งนี้พบว่า สูตรสารละลายธาตุอาหารและการใช้ไตรโคเดอร์มามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความสูงต้น โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีความสูงต้นมากที่สุดเท่ากับ 13.04 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ที่ให้ความสูงต้นของผักกาดหอมเท่ากับ 12.48 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ทำให้ผักกาดหอมที่มีความสูงต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 10.82 เซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาที่มีความสูงต้นเท่ากับ 11.8 เซนติเมตร (ตารางที่ 33)

1.3 ความกว้างของทรงพุ่ม

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 20.55 เซนติเมตร

ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงทำให้ได้ความกว้างทรงพุ่มเท่ากับ 19.50 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มาพบว่า การใช้ไตรโคเดอร์มาทำให้ได้ต้นที่มีความกว้างทรงพุ่มน้อยลง เท่ากับ 19.54 เซนติเมตร ในขณะที่ผักกาดหอม บัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมมีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 20.51 เซนติเมตร ทั้งนี้พบว่า สูตรสารละลายธาตุอาหารและการใช้ไตรโคเดอร์มามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความกว้างทรงพุ่ม โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีความกว้างทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 20.74 เซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มาและการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ซึ่งให้ผักกาดหอมที่มีความกว้างทรงพุ่มเท่ากับ 20.35 และ 20.27 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ทำให้ผักกาดหอมที่มีความกว้างทรงพุ่มน้อยที่สุดเท่ากับ 18.72 เซนติเมตร (ตารางที่ 33)

1.4 ความเขียวใบ

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติความเขียวใบของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลง ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีความเขียวใบมากที่สุดเท่ากับ 38.77 SPAD unit ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีความเขียวใบน้อยที่สุดเท่ากับ 34.85 SPAD unit ในขณะที่การใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมไม่มีผลทำให้ความเขียวของใบผักกาดหอมมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้พบว่า สูตรสารละลายธาตุอาหารและการใช้ไตรโคเดอร์มามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความเขียวใบ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ทำให้ได้ใบผักกาดหอมที่มีความเขียวมากที่สุดเท่ากับ 39.68 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วม ซึ่งทำให้ใบมีความเขียวเท่ากับ 37.86 SPAD unit ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ใบผักกาดหอมที่มีความเขียวน้อยที่สุดเท่ากับ 34.23 SPAD unit และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่

ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ซึ่งมีความเขียวใบเท่ากับ 35.47 SPAD unit (ตารางที่ 33)

1.5 พื้นที่ใบ

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติพื้นที่ใบของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุดเท่ากับ 57.09 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงทำให้ได้พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 48.60 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มาพบว่า การใช้ไตรโคเดอร์มาทำให้ได้ต้นที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 45.62 เซนติเมตร ในขณะที่ผักกาดหอมบำบัดเดอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาจะมีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุดเท่ากับ 60.07 เซนติเมตร ทั้งนี้พบว่า สูตรสารละลายธาตุอาหารและการใช้ไตรโคเดอร์มามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความกว้างทรงพุ่ม โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 มีพื้นที่ใบเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 64.05 ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper และสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ซึ่งมีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 56.09 และ 50.14 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 41.1 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 33)

1.6 น้ำหนักสด

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติน้ำหนักสดของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีน้ำหนักสดมากที่สุดเท่ากับ 107.09 กรัม ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงทำให้ได้น้ำหนักสดเท่ากับ 71.32 กรัม และเมื่อพิจารณา

ประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มาพบว่า การใช้ไตรโคเดอร์มาทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดมากที่สุดเท่ากับ 83.22 กรัม ซึ่งน้อยกว่าผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมซึ่งมีน้ำหนักสดเท่ากับ 95.19 กรัม ทั้งนี้พบว่า สูตรสารละลายธาตุอาหารและการใช้ไตรโคเดอร์มามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อน้ำหนักสด โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีน้ำหนักสดสูงที่สุดเท่ากับ 108.56 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ที่ให้น้ำหนักสดผักกาดหอมเท่ากับ 97.62 กรัม ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ทำให้ผักกาดหอมที่มีน้ำหนักสดน้อยที่สุดเท่ากับ 60.83 กรัม (ตารางที่ 33)

1.7 น้ำหนักแห้ง

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติ น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 6.46 กรัม ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงทำให้ได้น้ำหนักแห้งเท่ากับ 5.48 กรัม และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มาพบว่า การใช้ไตรโคเดอร์มาทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 5.93 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมซึ่งมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 6.01 กรัม ทั้งนี้พบว่า สูตรสารละลายธาตุอาหารและการใช้ไตรโคเดอร์มามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อน้ำหนักแห้ง โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 6.54 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ที่ให้น้ำหนักแห้งผักกาดหอมเท่ากับ 6.38 กรัม ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ที่ใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มาร่วม ทำให้ผักกาดหอมที่มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 5.48 กรัม (ตารางที่ 33)

ตารางที่ 33 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่าง ทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

สูตรสารละลายธาตุอาหาร		จำนวนใบ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ย ต่อต้น (ตร.ซม.)	น้ำหนักสด ของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
สารละลายธาตุ	Cooper	33.4 b	11.31 b	19.50 b	38.77 a	48.60 b	71.32 b	5.48 b
	การทดลองที่ 1	38.2 a	12.76 a	20.55 a	34.85 b	57.09 a	107.09 a	6.46 a
F-test		*	*	*	*	*	*	*
ไตรโคเดอร์มา	ใช้	35.7	11.65 b	19.54 b	36.05	45.62 b	83.22 b	5.93
	ไม่ใช้	35.9	12.42 a	20.51 a	37.58	60.07 a	95.19 a	6.01
F-test		ns	*	*	ns	*	*	ns
Cooper	- ไตรโคเดอร์มา	33.6 b	11.8 bc	20.27 a	37.86 a	56.09 b	81.81 b	5.48 b
	+ ไตรโคเดอร์มา	33.2 b	10.82 c	18.72 b	39.68 a	41.10 c	60.83 c	5.48 b
ผลจากการทดลองที่ 1	- ไตรโคเดอร์มา	38.2 a	13.04 a	20.74 a	34.23 b	64.05 a	108.56 a	6.54 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	38.2 a	12.48 ab	20.35 a	35.47 b	50.14 b	97.62 a	6.38 a
LSD _{0.05}		*	*	*	*	*	*	*
CV. (%)		7.0	6.3	2.0	6.0	9.5	12.9	7.3

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

2. การเจริญเติบโตทางราก

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติการเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 มีความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 45.52 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา และสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ที่ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีความยาวรากเท่ากับ 41.92 และ 41.72 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา มีความยาวรากน้อยที่สุดเท่ากับ 35.1 เซนติเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา และสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper และเมื่อพิจารณาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากพบว่า ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ให้รากที่มีน้ำหนักสดสูงสุดคือ 8.29 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 และสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ที่ให้น้ำหนักสดเท่ากับ 8.27 และ 7.61 กรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับน้ำหนักแห้ง การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ให้ผักกาดหอมที่มีน้ำหนักแห้งรากสูงสุดเท่ากับ 0.70 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา ทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา (ตารางที่ 34)

ตารางที่ 34 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

สูตรสารละลายธาตุอาหาร		ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของ ราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ราก (กรัม)
สารละลายธาตุ	Cooper	38.41	7.63	0.65
	จากการทดลองที่ 1	43.72	7.94	0.63
F-test		ns	ns	ns
ไตรโคเดอร์มา	ใช้	38.51	7.29 b	0.59 b
	ไม่ใช้	43.62	8.28 a	0.70 a
F-test		ns	*	*
Cooper	- ไตรโคเดอร์มา	41.72 ab	8.29 a	0.70 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	35.10 b	6.97 b	0.56 b
ผลจาก การทดลองที่ 1	- ไตรโคเดอร์มา	45.52 a	8.27 a	0.69 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	41.92 ab	7.61 ab	0.61 b
LSD _{0.05}		*	*	*
CV. (%)		15.7	9.1	8.9

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3. ไนเตรต

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกันร่วมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาแยกปัจจัย พบว่า การใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่การใช้ไตรโคเดอร์มา มีผลทำให้ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างสูตรสารละลายธาตุและไตรโคเดอร์มา พบว่า ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 มีปริมาณไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลง ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Cooper และสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ร่วมกับการใช้ไตรโคเดอร์มา มีปริมาณไนเตรตน้อยที่สุดเท่ากับ 1,283 และ 1,567 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ และหากพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อบังคับของ European Commission ในปี 1997 ซึ่งต้องมีปริมาณไนเตรตสะสมอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด พบว่าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายทั้ง 4 สูตร มีค่าปริมาณไนเตรตต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 35)

ตารางที่ 35 ปริมาณไนเตรตในผักกาดหอมปัตเตอร์ไฮด์พันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

สูตรสารละลายธาตุอาหาร		ปริมาณไนเตรต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)
สารละลายธาตุ	Cooper	1858
	การทดลองที่ 1	2033
F-test		ns
ไตรโคเดอร์มา	ใช้	1425 b
	ไม่ใช้	2467 a
F-test		*
Cooper	- ไตรโคเดอร์มา	2,433 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	1,283 b
ผลจากการทดลองที่ 1	- ไตรโคเดอร์มา	2,500 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	1,567 b
LSD _{0.05}		*
CV. (%)		12.3

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4. วิตามินซี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีสูตรแตกต่างกันด้วยเครื่อง reflectometer RQ-flex (Takabe and Yoneyama, 1995) พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกโดยใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีสูตรแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร มีวิตามินซีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

5. ปริมาณธาตุ

5.1 มหธาตุ

จากผลการทดลองพบว่าการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีการสะสมปริมาณมหธาตุที่มากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลง ยกเว้นไนโตรเจนและแคลเซียม ในขณะที่การใช้ไตรโคเดอร์มาร่วม พบว่า การสะสมธาตุอาหารมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในต้นผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลง แตกต่างจากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ที่การใช้ไตรโคเดอร์มาไม่มีผลต่อการสะสมมหธาตุ ยกเว้นไนโตรเจน ที่มีปริมาณลดลง (ตารางที่ 36)

5.2 จุลธาตุ

จากผลการทดลองพบว่าการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีการสะสมปริมาณจุลธาตุที่มากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลง ยกเว้นเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และโบรอน ในขณะที่การใช้ไตรโคเดอร์มาร่วม พบว่า การสะสมธาตุอาหารมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในต้นผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลง แตกต่างจากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 ที่การใช้ไตรโคเดอร์มาไม่มีผลต่อการสะสมจุลธาตุ ยกเว้นเหล็ก และสังกะสี (ตารางที่ 36)

ตารางที่ 36 ปริมาณธาตุในผักกาดหอมแบตเตอรี่เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง		ปริมาณธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)									
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Cooper	- ไตรโคเดอร์มา	3.42 b	0.85 a	6.47 a	0.71 b	0.29 ab	124.32 a	12.11 b	39.53 ab	12.11 ab	39.46 b
	+ ไตรโคเดอร์มา	2.63 c	0.50 b	4.50 b	0.52 b	0.22 b	96.93 b	11.70 b	27.67 c	9.40 b	33.96 b
ผลจาก การทดลองที่ 1	- ไตรโคเดอร์มา	4.38 a	0.76 a	6.80 a	1.08 a	0.35 a	123.74 a	29.28 a	45.81 a	14.47 a	72.49 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	3.41 b	0.67 ab	6.12 ab	1.11 a	0.34 a	107.93 b	33.43 a	31.62 bc	10.68 ab	65.58 a
LSD _{0.05}		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV. (%)		12.1	30.0	20.5	29.3	19.3	9.2	22.1	16.6	17.8	10.0

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

Least Significant Difference (LSD)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

วิจารณ์

การทดลองที่ 1 ผลของความเข้มข้นของจุลธาตุต่อการผลิตผักกาดหอม

การทดลองที่ 1.1 ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อการผลิตผักกาดหอม

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของเหล็กร่วมกับแมงกานีสต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกด้วยสารละลายในสภาพอากาศร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 42 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 36 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในส่วนของการลำต้นและใบ พบว่า การใช้เหล็กและแมงกานีสที่ความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร, เหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ได้ต้นที่มีจำนวนใบ ความกว้างของทรงพุ่ม พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนระหว่างการใช้เหล็กและแมงกานีส โดยการใช้เหล็กและแมงกานีสในความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ทดลอง คือ 0.24 ต่อ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่สูงที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสสูงขึ้นในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ 0.48 ต่อ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.71 ต่อ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม การเจริญเติบโตยังคงที่อยู่ที่ระดับเดิมแม้จะมีการเพิ่มธาตุอาหารก็ตาม แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสสูงขึ้นเป็น 0.95 ต่อ 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร กลับทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมลดน้อยลง ซึ่งอาจสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับกับการเจริญเติบโต โดยการใช้ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสในอัตราส่วน 0.24 ต่อ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในช่วงที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต (adequate range) และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสเป็น 0.48 ต่อ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.71 ต่อ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม อาจเป็นไปได้ว่าการใช้เหล็กทั้งสองอัตราส่วนยังคงอยู่ในช่วงที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ในขณะที่การเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสเป็น 0.95 ต่อ 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง อาจเนื่องมาจากสภาวะเป็นพิษของธาตุที่มีปริมาณมากเกินไป (toxic range) อีกทั้งยังสอดคล้องกับ

กฎของ Liebig ในปี ค.ศ. 1840 หรือกฎของปัจจัยที่น้อยที่สุด (law of minimum) ที่กล่าวว่า การเจริญเติบโตของพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีอยู่น้อยที่สุดที่เป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของพืช หากได้รับปัจจัยนั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการ ปัจจัยนั้นจะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของพืช โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดอาจต้องการเหล็กและแมงกานีสในความเข้มข้นเพียง 0.24 ต่อ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้การเพิ่มความเข้มข้นธาตุอาหารที่สูงเกินไป ไม่สามารถทำให้มีการเจริญเติบโตมากขึ้นได้ เพราะพืชอาจได้รับธาตุอาหารอื่นไม่เพียงพอหรือมีปัจจัยอื่นเป็นข้อกำหนด เช่นเดียวกับยางยูท และคณะ (2554) ที่พบว่า มหาธาตุและเหล็กคือธาตุอาหารต่างๆ ที่นิยมใช้กัน ให้ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่แตกต่างกัน ถ้าใช้จุลธาตุที่เหมือนกัน

และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นธาตุที่พบในต้นผักกาดหอมพบว่าปริมาณเหล็กและแมงกานีสมีความสอดคล้องกัน โดยมีภาวะปฏิกิริยาต่อกันในการดูดใช้ เนื่องจากขนาดของอิเล็คตรอนรอบนอกใกล้เคียงกัน จึงอาจเกิดการแข่งขันกันในการเคลื่อนที่เข้าสู่รากผ่านทางช่องผ่านโปรตีนหรือแย่งกันเข้าจับกับพาหะในการขนส่ง โดยในสถานะที่เหล็กมากจะทำให้พืชขาดแมงกานีส เช่นเดียวกับในสถานะที่แมงกานีสมากก็จะทำให้พืชขาดเหล็กเช่นเดียวกัน ดังนั้น ในการให้ธาตุเหล็กและแมงกานีสแก่พืชควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม หากมีธาตุใดธาตุหนึ่งเข้มข้นมากเกินไป อาจส่งผลการดูดใช้ธาตุอื่น เนื่องจากเกิดการยับยั้งการดูดใช้ซึ่งกันและกัน อีกทั้งยังอาจเกิดการแข่งขันกันทำหน้าที่ในเซลล์ โดยเฉพาะธาตุที่มีขนาดของอิเล็คตรอนรอบนอกใกล้เคียงกัน (ยางยูท, 2552; Meharg and Macnair, 1992; Marschner, 2012)

การสะสมธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในปริมาณที่มาก อาจเป็นหนึ่งสาเหตุที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เนื่องจากทั้ง 4 ธาตุเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่พืชเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีเพื่อใช้ในการสร้างอาหาร โดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวดูดซับพลังงานแสง (สมบุญ, 2548) ดังนั้น หากมีธาตุเหล่านี้ในปริมาณมากอาจช่วยส่งเสริมกระบวนการดังกล่าวจึงส่งผลให้การเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น แต่ต้องไม่มากเกินไปจนถึงระดับความเป็นพิษต่อเซลล์ ในขณะที่การใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 หรือ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้จะมีการสะสมธาตุไม่มากเท่ากับการใช้เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี อาจเนื่องมาจากปริมาณธาตุที่ได้รับและสะสมยังคงอยู่ในปริมาณที่

เพียงพอต่อการเจริญเติบโต จึงไม่มีผลชะงักการเจริญเติบโต ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณธาตุที่ได้จากการทดลองพบว่า มีปริมาณอยู่ในระดับที่พอเพียงจนถึงระดับที่มากเกินไป แต่ไม่ถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืช (Maynard and Hochmuth, 2007)

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า การใช้เหล็กที่ความเข้มข้นสูง ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีความสูงมาก เนื่องจากเหล็กมีความเกี่ยวข้องในการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน (GA) (ยงยุทธ, 2552) ซึ่งมีบทบาทช่วยในเรื่องการยืดยาวของเซลล์ จึงส่งผลให้ต้นที่ได้รับเหล็กเข้มข้นมากกว่า มีการเจริญด้านความสูงต้นมากกว่าต้นที่รับเหล็กความเข้มข้นน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยในการบริโภคร่วมด้วย พบว่า การใช้เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณไนเตรตน้อยที่สุดเท่ากับ 1,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่เหล็กเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแมงกานีสเข้มข้น 0.24 หรือ 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างทำให้ต้นผักกาดหอมมีปริมาณไนเตรตอยู่ในระดับที่สูงกว่าข้อกำหนดสหภาพยุโรปในปี 1997 (3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) คือ 4,417, 4,917 และ 3,250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณทองแดง เนื่องจากในสภาวะที่มีทองแดงสะสมมากจะเหนี่ยวนำให้พืชขาดโมลิบดีนัม (ยงยุทธ, 2552) ซึ่งผักกาดหอมอยู่ในกลุ่มที่ไวต่อการขาดโมลิบดีนัม เช่นเดียวกับบร็อคโคลี่และผักโขม (Havlin *et al.*, 2005) โดยโมลิบดีนัมมีส่วนสำคัญในการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน เนื่องจากไนโตรเจนที่พืชดูดใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) โดยเมื่อไนเตรตเข้าสู่เซลล์แล้วจะต้องเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยถูกรีดิวซ์เป็นแอมโมเนียมเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนต่อไป ต่างจากแอมโมเนียมที่เมื่อพืชดูดเข้าไปแล้วสามารถนำไปใช้ได้เลย โดยในกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตเป็นแอมโมเนียมนั้นจำเป็นต้องใช้เอนไซม์ช่วยในการเกิดปฏิกิริยา คือคือ เอนไซม์ไนเตรตรีดักเทส (nitrate reductase) และเอนไซม์ไนไตรตรีดักเทส (nitrite reductase) ซึ่งการทำงานของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทสต้องการโมลิบดีนัมเพื่อใช้เป็นโคแฟกเตอร์กระตุ้นการทำงาน (Marschner, 2012) หากพืชขาดโมลิบดีนัมจะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการสังเคราะห์โมลิบดีนัมโคแฟกเตอร์ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทสลดลง จนอาจทำให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากไนเตรตได้ ทำให้มีปริมาณไนเตรตเหลือสะสมอยู่ในเซลล์เป็นจำนวนมาก

การทดลองที่ 1.2 ผลของทองแดง, สังกะสี, โบรอน และโมลิบดีนัมต่อการผลิต ผักกาดหอม

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของทองแดงต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม บัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกด้วยสารละลาย ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 36 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่พบระหว่างทำการทดลอง เท่ากับ 39 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการศึกษาการปรับความเข้มข้นของทองแดง พบว่า เมื่อความเข้มข้นทองแดงเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นผักกาดหอมมีความยาวรากลดน้อยลง อาจเนื่องจากเมื่อพืชอยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นทองแดงสูง รากจะชะงักการเจริญเติบโตก่อนส่วนลำต้นและใบ เนื่องจากในสภาพดังกล่าวรากจะมีการสะสมทองแดงไว้มากและมีการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ส่วนลำต้นและใบช้า ส่งผลให้รากมีการยืดตัวน้อยลง (Marschner, 2012) สอดคล้องกับส่วนเหนือดินที่พบว่าการเจริญของส่วนลำต้นและใบมีการแปรผกผันกับความเข้มข้นของทองแดง โดยที่ใช้ทองแดงความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีการเจริญส่วนลำต้นและใบลดน้อยลง เช่นเดียวกับ Xiong *et al.* (2006) ที่พบว่าการใช้ทองแดงความเข้มข้นสูงส่งผลให้ผักกาดขาวมีความยาวราก จำนวนใบ และชีวมวลลดลง และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณทองแดงก็พบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกันคือเมื่อใช้ความเข้มข้นทองแดงเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณทองแดงที่สะสมในต้นผักกาดหอมมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ในขณะที่ปริมาณหลักที่สะสมในต้นผักกาดหอมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากภาวะปฏิบัติซึ่งกันและกัน อาจเนื่องมาจากมีขนาดของอิเล็กตรอนรอบนอกใกล้เคียงกัน (ยงยุทธ, 2552; Meharg and Macnair, 1992) จึงอาจเกิดการแข่งขันกันในการเคลื่อนที่เข้าสู่รากผ่านทางช่องผ่านโปรตีนหรือแย่งกันเข้าจับกับพาหะในการขนส่ง (Marschner, 2012) และเมื่อพิจารณาปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมพบว่า การใช้ความเข้มข้นทองแดงเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนเตรตมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากทองแดงมีภาวะปฏิบัติต่อไนโตรเจน โดยทองแดงและไนโตรเจนมีผลต่อการใช้ประโยชน์และการเคลื่อนย้ายซึ่งกันและกัน (Marschner, 2012) อีกทั้งในสภาวะที่มีทองแดงสะสมมากจะเหนี่ยวนำให้พืชขาดโมลิบดีนัม (ยงยุทธ, 2552) จะเห็นได้ว่าการใช้ทองแดงที่ความเข้มข้นน้อยที่สุดคือ 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีปริมาณไนเตรตสูงที่สุด สอดคล้องกับปริมาณทองแดงที่พบในต้นซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด ดังนั้นในสภาวะที่ความเข้มข้นทองแดงน้อยจึงส่งเสริมการสะสมไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นสังกะสีพบว่า การใช้สังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้การเจริญเติบโตทางราก ลำต้น และใบดีที่สุด แต่ทั้งนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มขึ้นจากเดิม กลับทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมลดน้อยลง อาจเนื่องมาจากความเหมาะสมของความเข้มข้นธาตุที่ใช้ โดยพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของธาตุสูงขึ้นจะส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อถึงจุดๆ หนึ่ง การเพิ่มความเข้มข้นของธาตุจะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ระดับความเข้มข้นนี้เรียกว่า ระดับความเข้มข้นวิกฤติ (critical concentration) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นอีกจะส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากสภาวะเป็นพิษของธาตุที่มีปริมาณมากเกินไป ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโต (Timmer, 1991; พูนพิภพ, 2549) ทั้งนี้ความเข้มข้นสังกะสีที่เพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณสังกะสีที่พบในต้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าสังกะสีมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ทริปโตเฟน (tryptophan) และออกซิน (auxin) โดยในยอดของพืชที่ขาดสังกะสีจะมีออกซินสะสมในปริมาณที่ต่ำซึ่งอาจเป็นผลมาจากการยับยั้งการสร้างหรือเกิดการเร่งการสลายตัวของออกซิน (Cheng, 1948; Cakmak *et al.*, 1989) ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีอาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้นและใบได้ ส่งผลให้ต้นผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีในระดับที่เหมาะสม นอกจากนี้การที่พืชมีการสะสมสังกะสีในปริมาณมากยังช่วยเพิ่มประโยชน์ในเรื่องของการบริโภคด้วย เนื่องจากสังกะสีมีคุณสมบัติช่วยในการป้องกันการติดเชื้อโรค เสริมสร้างความสมบูรณ์ของร่างกาย อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการป้องกันการเกิดมะเร็ง (Ananda *et al.*, 2009) ดังนั้น การเพิ่มความเข้มข้นของสังกะสีนอกจากจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตแล้วยังช่วยเพิ่มคุณภาพเชิงโภชนาการให้กับผู้บริโภคได้เช่นกัน

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นโบรอนและโมลิบดีนัมพบว่า การใช้โบรอนเข้มข้น 1.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ได้ต้นที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุด แต่เมื่อความเข้มข้นโบรอนเพิ่มสูงขึ้นกลับส่งผลให้การน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากลดน้อยลง อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นโบรอนที่สูงขึ้นมีผลต่อการดูดธาตุแคลเซียม ซึ่งมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการยืดยาวของราก โดยพบว่าต้นที่ไม่ได้รับแคลเซียมจากสารละลายธาตุอาหารจะส่งผลให้รากมีการยืดยาวที่ลดน้อยลง เนื่องจากเซลล์ไม่ขยายขนาด (ยงยุทธ, 2552) และเมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตส่วนลำต้นและใบ พบว่ามีแนวโน้มแปรผกผันกับการเจริญเติบโตส่วนราก อาจเนื่องมาจากการที่รากยังคงมีประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารเพื่อส่งไปยังส่วนลำต้นและใบ จึงไม่ส่งผลต่อการเจริญในส่วนลำต้นและใบ อีกทั้งโบรอนมีบทบาทต่อระยะเจริญพันธุ์มากกว่าระยะเจริญทางลำต้นและใบ

(Marschner, 2012) ทั้งนี้ยังพบว่ามีความสอดคล้องกับปริมาณธาตุที่สะสมในดิน โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นโบรอนที่เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณโบรอนที่พบในดินผักกาดหอมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ในขณะที่ปริมาณสังกะสีมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากภาวะปฏิกิริยาในด้านการดูดและการเคลื่อนย้าย โดยพบว่าในสภาวะที่พืชขาดสังกะสีจะส่งเสริมการดูดและการเคลื่อนย้ายโบรอน (Singh *et al.*, 1990) และเมื่อพิจารณาปริมาณไนเตรตที่พบในดินพบว่ามีความสอดคล้องกับการเจริญเติบโต โดยต้นที่มีการเจริญเติบโตที่สูงกว่า มีการสะสมไนเตรตในปริมาณมากกว่าต้นที่เจริญเติบต่น้อยกว่า อาจเนื่องมาจากการส่งสัญญาณของไนเตรตในการควบคุมการขยายขนาดของใบ โดยไนเตรตมีบทบาทในการกระตุ้นการเคลื่อนที่ของไซโตไคนินจากรากไปยังส่วนลำต้นและใบ ส่งผลให้เกิดการขยายขนาดของเซลล์ ส่งเสริมการขยายขนาดของใบ (Forde, 2002)

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นโมลิบดีนัมพบว่า การเจริญเติบโตในส่วนลำต้นและใบมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ทั้งนี้บทบาทหลักของโมลิบดีนัมจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทส (Marschner, 2012) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยในเรื่องการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน หากพืชได้รับธาตุนี้ในปริมาณที่เพียงพอ จะช่วยส่งเสริมให้การใช้ประโยชน์จากไนเตรตเป็นไปอย่างปกติ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของส่วนลำต้นและใบเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และเมื่อพิจารณาปริมาณไนเตรตที่พบในลำต้นและใบพบว่ามีความสอดคล้องกับความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่ให้แก่พืชเช่นกัน คือปริมาณไนเตรตที่พบในลำต้นและใบมีแนวโน้มแปรผกผันกับความเข้มข้นของโมลิบดีนัมที่ได้รับ โดยจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในดินพบว่า ปริมาณธาตุโบรอนและทองแดงที่พบในดินมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน เนื่องจากมีภาวะเสริมกัน ต่างจากปริมาณแมงกานีสที่แปรผกผันกับปริมาณความเข้มข้นโบรอนที่ได้รับ เนื่องจากมีภาวะปฏิปักษ์ต่อกัน

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุที่สะสมในดินผักกาดหอมที่ได้จากการปรับความเข้มข้นทองแดง, สังกะสี, โบรอน และโมลิบดีนัม พบว่ามีปริมาณอยู่ในระดับที่พอเพียงจนถึงระดับที่มากเกินไป แต่ไม่ถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืช ยกเว้นการใช้สังกะสีที่ความเข้มข้น 2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีการสะสมแมงกานีส 8.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่เพียงพอต่อความต้องการเล็กน้อย คือ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะปฏิปักษ์ระหว่างกันจากการมีขนาดของอิเล็คตรอนรอบนอกใกล้เคียงกัน จึงอาจเกิดการแข่งขันกันในการเคลื่อนที่เข้าสู่รากผ่านทางช่องผ่านโปรตีนหรือแย่งกันเข้าจับกับพาหะในการขนส่ง (ยงยุทธ, 2552; Meharg and Macnair, 1992; Maynard and Hochmuth, 2007; Marschner, 2012)

การทดลองที่ 2 ผลของรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่อการผลิต ผักกาดหอม

การศึกษาผลของรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ Rex RZ ในสภาพอากาศร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงสุดและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวันเฉลี่ย 33 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปรับลดเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวันเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส และปรับลดเป็น 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวันเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ได้ผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ในขณะที่การปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยวให้ผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด อาจเนื่องจากในสภาพอากาศร้อน ส่งเสริมให้พืชมีอัตราการคายน้ำสูง สมดุลระหว่างการดูดน้ำและธาตุอาหารเปลี่ยน พืชมีการดูดน้ำมากกว่าธาตุอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อการคายน้ำ (Kim *et al.*, 2005) ส่งผลให้มีธาตุอาหารสะสมอยู่ในสารละลายมาก ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับ Ikeda (2007) ที่กล่าวว่า ในช่วงฤดูร้อนพืชมีการดูดน้ำมากกว่าในช่วงฤดูหนาว ดังนั้นในสภาพอากาศร้อนควรใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่ำ ในขณะที่สภาพอากาศเย็นควรใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้น ในสภาพอากาศร้อนการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจะยิ่งส่งเสริมให้ความเข้มข้นของธาตุในสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร โดยความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความเหมาะสมจะลดลง สอดคล้องกับงานทดลองของปริชาติ (2550) ที่กล่าวว่าในสภาพอากาศร้อน เมื่ออายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูกและ 2 ถึง 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ผักกาดหอมคอสที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh ที่มี EC 1.75 mS/cm ร่วมกับ pH 6.0 และ EC 1.00 mS/cm ร่วมกับ pH 6.0 ตามลำดับ ให้การเจริญเติบโตดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่ม EC สูงขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง ดังนั้น จะเห็นได้ว่าในสภาพอากาศร้อน ที่อุณหภูมิสูง การใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่ำจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมได้ดีกว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลายสูง เนื่องจากในสภาพ

ที่อุณหภูมิสูงเป็นช่วงที่ไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของผักกาดหอมซึ่งปกติแล้วจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 12-21 องศาเซลเซียส (Morgan, 1999)

นอกจากนี้ ในสภาพอากาศร้อนยังส่งผลให้พืชมีอัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้น พลังงานที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงถูกแบ่งไปใช้ในการหายใจ บวกกับในสภาวะอุณหภูมิสูงส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลง เนื่องจากเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนอาจเกิดการเสียสภาพทำให้ไม่สามารถเข้าจับกับซับสเตรตได้ (ลิลลี่ และคณะ, 2556) โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการหายใจของพืชเพิ่มมากขึ้น และชักนำให้เอนไซม์ rubisco สูญเสียฤทธิ์ทางชีววิทยา (Ehleringer and Bjorkman, 1977; Crafts-Brandner and Salvucci, 2002) ดังนั้น ในสภาพอากาศร้อนจึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาในเรื่องการดูดใช้ธาตุอาหารพบว่า ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญในส่วนลำต้นและใบ เช่นเดียวกับผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับลดเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และปรับลดเป็น 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่มีมากที่สุดเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนแปรผันตรงกับการเจริญเติบโตของผักกาดหอม บัตเตอร์เฮด เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่ช่วยเสริมสร้างการเจริญในส่วนลำต้นและใบ การสะสมธาตุนี้ในปริมาณที่มากจึงเป็นการส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนลำต้นและใบ

จากการวิเคราะห์คุณภาพของผักกาดหอมพบว่า ปริมาณเส้นใยในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว มีค่าสูงที่สุด แสดงให้เห็นได้ว่าสารละลายความเข้มข้นสูงอาจส่งผลให้พืชเกิดความเครียด เนื่องจากในสภาพอากาศร้อนพืชมีการคายน้ำที่มาก ส่งผลให้ต้องการการรดน้ำมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำที่สูญเสียไป แต่

เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูง อาจทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายในและสารละลายภายนอกต้นพืชไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้น้ำไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์พืชได้ เนื่องจากโดยปกติการเคลื่อนที่ของน้ำจะเคลื่อนที่จากศักย์สูงไปศักย์ต่ำ (Taiz and Zeiger, 2002) ปฏิกริยาต่างๆ ภายในเซลล์เกิดการหยุดชะงัก การเจริญเติบโตของพืชจึงลดลง ซึ่งอาจส่งผลให้พืชเกิดการปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ ป้องกันการสูญเสียน้ำ และรักษาค่าความต่างศักย์ระหว่างภายในและภายนอก นอกจากนี้ยังอาจเกิดการอัดแน่นกันของเส้นใยเนื่องจากการขาดน้ำที่อาจเป็นตัวช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น ส่งผลให้พืชสร้างสารบางชนิดเพื่อมาเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างเพื่อช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำ จึงส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยมากเมื่อเทียบกับการใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่ำ อีกทั้งยังสอดคล้องกับปริมาณธาตุโบรอนที่พบในลำต้นและใบที่มีมากที่สุดเช่นกัน เนื่องจากโบรอนมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ผนังเซลล์ การสังเคราะห์ลิคินิน และโครงสร้างผนังเซลล์ (Mengel and Kirkby, 2007; Marschner, 2012)

เมื่อพิจารณาปริมาณไนเตรตและปริมาณไนโตรเจนที่พบในต้น พบว่า ปริมาณไนเตรตที่สะสมในผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าทั้ง 4 แบบ มีค่าไม่ต่างกัน แต่ปริมาณไนโตรเจนต่างกัน ทั้งนี้ สารประกอบที่มีพันธะระหว่างไนโตรเจนกับออกซิเจน และระหว่างไนโตรเจนด้วยกัน ตัวอย่างเช่น ไนเตรต (nitrate) ไนไตรท์ (nitrite) ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียมไอออนได้ทั้งหมดระหว่างการย่อย (ชัยวัฒน์, 2550) ปริมาณไนเตรตและปริมาณไนโตรเจนที่วัดค่าได้จึงเป็นคนละส่วนกัน โดยผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ที่มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด มีการใช้ประโยชน์จากไนเตรตได้น้อยที่สุด โดยมีการเปลี่ยนรูปไนเตรตไปใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตที่รูปแบบค่าการนำไฟฟ้าอื่น ดังจะเห็นได้จากปริมาณไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด ในขณะที่ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้มีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.2 mS/cm ในสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ที่มีปริมาณไนโตรเจนและการเจริญเติบโตมากที่สุดนั้น เนื่องจากมีการใช้ประโยชน์จากไนเตรตในการสังเคราะห์กรดอินทรีย์ได้มาก จึงมีการเจริญเติบโตที่สูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในสภาพอากาศร้อนพืชมีการคายน้ำมาก ความต้องการการรดน้ำเพื่อให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำที่

สูญเสียไปจึงเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูง อาจทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายในและสารละลายภายนอกต้นพืชไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้น้ำไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์พืชได้ (Taiz and Zeiger, 2002) การดูคใช้ไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปไนเตรตจึงไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไนเตรตจากสารละลายภายนอกเข้าสู่รากพืช นั้น จะเคลื่อนที่ร่วมกับการดูดน้ำ เช่นเดียวกับการขนส่งไนเตรตในส่วนต่างๆ ของพืช ที่เกิดขึ้นผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ (Marschner, 2012) ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายให้มีค่า 1.2 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก หลังจากนั้นปรับเพิ่มเป็น 1.5 mS/cm ในสัปดาห์ที่สองหลังย้ายปลูก และ 1.8 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว จึงไม่สามารถดูไนเตรตไปใช้ได้เพียงพอกับความต้องการ

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุที่สะสมในต้นผักกาดหอมที่ได้จากการปรับรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่าทุกธาตุมีปริมาณอยู่ในระดับที่พอเพียงจนถึงระดับที่มากเกินไป แต่ไม่ถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืช (Maynard and Hochmuth, 2007)

การทดลองที่ 3 ผลของการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมกับสารละลายธาตุอาหารในการผลิตผักกาดหอม

จากการศึกษาผลของสูตรสารละลายธาตุอาหารร่วมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ในสภาพอากาศร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 41 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 45 และ 33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตระหว่างสูตรสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงกับสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 พบว่า การใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ทำให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินสูงกว่าการใช้สารละลาย Cooper สูตรดัดแปลง อาจเนื่องมาจากในสภาพอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 21 องศาเซลเซียส ส่งเสริมให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่เร็ว เร่งการแทงช่อดอก และมีรสขม (Whitaker *et al.*, 1974; Kanaan and Economakis, 1992) จึงมีอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าการปลูกในสภาพอากาศเย็น ดังนั้น การดูคใช้ธาตุอาหารจึงอาจลดน้อยลง เนื่องจากมีช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโตก่อนการเก็บเกี่ยวสั้นลง จึงอาจไม่มีความจำเป็นที่ต้องใส่ธาตุอาหารที่มากจนเกินไป ทั้งนี้การใส่ธาตุอาหารในปริมาณที่มากเกินไปความต้องการของพืช อาจส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ ดังนั้น การปรับ

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในสูตรสารละลายธาตุอาหารตามผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 จึงอาจสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 มีการใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) ร่วมกับไนเตรต (NO_3^-) จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอม เนื่องจากอัตราส่วนการใช้แอมโมเนียมและไนเตรตมีผลต่อการเจริญเติบโต Wang *et al.* (2009) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรตต่อการเจริญเติบโตของปวยเล้งในระบบ hydroponic ที่อัตราส่วนของแอมโมเนียมและไนเตรตแตกต่างกัน 5 อัตราส่วน คือ 100 ต่อ 0, 75 ต่อ 25, 50 ต่อ 50, 25 ต่อ 75 และ 0 ต่อ 100 พบว่าการใช้แอมโมเนียมและไนเตรตในอัตราส่วน 25 ต่อ 75 สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของปวยเล้งได้ เช่นเดียวกับ ภาณุมาศ (2546) ที่พบว่าการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland and Arnon ที่มีอัตราส่วนของแอมโมเนียมและไนเตรต 20 ต่อ 80 ทำให้ได้คะแนนของงอกที่มีความสูงต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดต้น และอัตราส่วนต้นต่อรากสูงสุด

และจากการทดลองเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มาพบว่าการใช้ไตรโคเดอร์มาในอัตราส่วน 20 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร ซึ่งเป็นอัตราที่แพทอง (2549) แนะนำ ทำให้ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วมกับการชะงักการเจริญเติบโตเมื่อทำการย้ายลงวางปลูกที่มีสารละลายธาตุอาหารร่วมกับไตรโคเดอร์มาหมุนเวียนตลอดเวลา ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วม (ตารางผนวกที่ 1 และตารางผนวกที่ 2) จึงได้ทำการปรับความเข้มข้นของไตรโคเดอร์มาลดลง โดยใช้ในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร พบว่า ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ไตรโคเดอร์มาในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร มีการเจริญเติบโตสูงกว่าการใช้ไตรโคเดอร์มาในอัตราส่วน 20 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร โดยการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในสูตรสารละลายธาตุอาหาร Cooper สูตรดัดแปลงและสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองที่ 1 ที่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วมในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร มีแนวโน้มการเจริญเติบโตคงที่และลดน้อยลง เมื่อเทียบกับสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วม อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของไตรโคเดอร์มาที่ใช้มีความเข้มข้นสูงเกินไป เนื่องจากเชื้อราเจริญอยู่กับรากพืชมากกว่าอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร เมื่อสปอร์ของเชื้อราเกาะอยู่ที่รากเป็นจำนวนมากอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบราก (จิระเดช, 2550) เช่นเดียวกับ สมเกียรติ (2542) ที่กล่าวว่า การใช้ไตรโคเดอร์มาในอัตราที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดผลเสีย เนื่องจากไตรโค-

เดอร์มาจะแย่งใช้อาหารกับพืช ทำให้มีผลต่อความแข็งแรงของต้นพืช สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า การเจริญเติบโตของรากมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วม ในขณะ ที่การเจริญเติบโตในส่วนลำต้นและใบก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน การไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วมในสารละลายธาตุอาหารส่งผลให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีแนวโน้มการเจริญเติบโตสูงกว่าใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วม ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ รวีวรรณ (2558) ที่พบว่า การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ร่วมกับไตรโคเดอร์มา ในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร ส่งผลให้ได้ต้นผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด ในขณะที่การใช้ไตรโคเดอร์มา ในอัตราส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตลดลง

นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าในสภาวะที่อุณหภูมิอากาศสูงส่งผลให้อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้นเช่นกัน โดยเมื่ออุณหภูมิสูงของสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำมีค่าลดลง (อานันท์, 2548) ไตรโคเดอร์มา ซึ่งจัดเป็นเชื้อราชนิดหนึ่งที่มีความต้องการใช้ออกซิเจน เช่นเดียวกับรากที่ต้องการใช้ออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโตเช่นกัน เกิดการแย่งกันใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในปริมาณที่น้อย ส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วมมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ลดลง เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการทำงานของไตรโคเดอร์มา ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอาจลดลงเนื่องจากออกซิเจนไม่เพียงพอ นอกจากนี้ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตและควมมีชีวิตของไตรโคเดอร์มา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไตรโคเดอร์มา อยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและควมมีชีวิตลดลง (Mukherjee and Raghu; 1997; Gupta and Sharma, 2013; Singh *et al.*, 2014)

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปริมาณไนเตรตพบว่าสูตรสารละลายธาตุอาหารไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรต ในขณะที่การใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วมทำให้ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมมีค่าลดลง เช่นเดียวกับงานทดลองของ รวีวรรณ (2558) ที่พบว่า การใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ร่วมกับไตรโคเดอร์มา ในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 40 ลิตร ส่งผลให้ปริมาณไนเตรตในต้นผักกาดหอมมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากต้นผักกาดหอมที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วมมีการดูดไนเตรตน้อยกว่าต้นที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการใช้ไตรโคเดอร์มา ร่วม เนื่องจากระบบรากเกิดผลกระทบจากการปกคลุมของไตรโคเดอร์มา ทำ

ให้มีไนเตรตที่เหลือจากการใช้สะสมในแควิโอลน้อย ในขณะที่การไม่ใช้ไตรโคเดอร์มาช่วย รากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ การดูดใช้ในไตรโคเดอร์มาซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตในด้านลำต้นและใบจึงมีปริมาณสูง (De Angeli *et al.*, 2006) อีกทั้งไตรโคเดอร์มาสามารถช่วยให้แอมโมเนียมดูดซับได้ง่ายขึ้น (Neumann, 2003) ดังนั้นการใช้ไตรโคเดอร์มาจึงอาจช่วยส่งเสริมการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นแอมโมเนียเพื่อใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน และเนื่องจากการใช้ประโยชน์จากไนเตรตของพืชนั้น เมื่อดูดเข้าไปแล้วจะไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที จะต้องทำการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นแอมโมเนียก่อน เพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนต่อไป โดยหากมีไนเตรตที่ปริมาณที่มาก พืชจะมีกลไกการตอบสนองโดยกระตุ้นการสังเคราะห์เอนไซม์ไนเตรรีดักเทส และเมื่อการรีดิวซ์ไนเตรตดำเนินเต็มกำลังแล้ว ไนเตรตที่เหลือจะถูกเก็บไว้ในแควิโอลชั่วคราว (ยงยุทธ, 2552)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ความเข้มข้นของจุลธาตุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด เมื่อใช้มหาตุสูตร Cooper (1979) คือ เหล็กเข้มข้น 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร แมงกานีสเข้มข้น 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดงเข้มข้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสีเข้มข้น 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร โบรอนเข้มข้น 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และโมลิบดีนัมเข้มข้น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. รูปแบบให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด ในช่วง 4 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว ควรมีค่า 1.8 mS/cm ในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูก สัปดาห์ถัดไป ควรปรับลดเป็น 1.5 mS/cm แล้วปรับลดเป็น 1.2 mS/cm ในช่วงสองสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้ผักกาดหอมที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด โดยมีปริมาณไนเตรตในระดับที่ปลอดภัย
3. การใช้สารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้ไทรโคเดอร์มาในอัตราส่วน 10 กรัมต่อ 40 ลิตร ไม่มีผลเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด แต่สามารถช่วยลดปริมาณไนเตรตสะสมในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายได้

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้พบว่าการใช้ปริมาณธาตุเหล็กและแมงกานีสที่น้อยที่สุดที่ทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดมีการเจริญเติบโตสูงสุด จึงอาจศึกษาต่อไปโดยลดช่วงความเข้มข้นลง และอาจทดสอบความเหมาะสมของสูตรจุลธาตุ รวมทั้งรูปแบบค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองนี้ ในการผลิตพืชชนิดอื่นเพิ่มเติม พร้อมทั้ง อาจศึกษาความเข้มข้นของไทรโคเดอร์มาที่จะสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยควรมีระบบบกรองเชื้อไม่ให้ไปสร้างผลเสียต่อการเจริญเติบโตของราก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. 2543. **ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

จิตตานันท์ รังสิมันตุชาติ. 2545. **อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมใบ (Lactuca sativa L. var. crispa)**. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิระเดช แจ่มสว่าง. 2547. **การควบคุมโรคผักโดยชีววิธี**. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีในการปลูกผักระบบไม่ใช้ดินและภายในโรงเรือน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. เชื้อราไตรโคเดอร์มาแก้ปัญหาโรครากเน่าในผักไฮโดรโปนิกส์ได้ผลจริง (ตอนที่ 2). **วารสารเคหการเกษตร** 31(11) 149-154.

_____ และ วรณวิไล อินทนู. 2542. **การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาควบคุมโรคพืชโครงการเกษตรสู่ชาติ**. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย. 2554. ใน **เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสำหรับ “มือใหม่”**. 21-22 พฤษภาคม 2554, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชัยวัฒน์ วามวรรตน์. 2550. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธีเคลดาส์ล, น. 65-69. ใน **เอกสารประกอบการเรียนวิชาปฏิบัติการชีวเคมี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ดิเรก ทองอร่าม. 2550. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท พิมพ์ดีการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. 2534. **ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. พรวนนกการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์, จงรักษ์ จันทรเจริญสุข และชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2542. **คู่มือการวิเคราะห์พืช**. โครงการพัฒนาวิชาการ ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2554. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน, น. 2-18. ใน **เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสำหรับ “มือใหม่”**. 21-22 พฤษภาคม 2554, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน. 2547. **การเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายสูตรต่างๆ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นภดล เรียบเลิศหิรัญ. 2538. **การปลูกพืชไร้ดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ริ้วเขียว, กรุงเทพฯ.

ปรีชาดิ ดิษฐกิจ. 2550. **ผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และระดับ pH ต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L. var. *romana*)**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2549. **ชีววิทยา 2**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

แพรวทอง ละมุล. 2549. **ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ในการควบคุมโรครากเน่าของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ สาเหตุจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum***. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาณุมาศ โคตรพงศ์. 2546. **ผลของอัตราส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรตต่อการเจริญเติบโตของคะน้าฮ่องกง**. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสดสภา. 2552. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ เจียมไชยศรี. 2554. สารละลายธาตุอาหารพืช, น. 37-56. ใน **เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสำหรับ “มือใหม่”**. 21-22 พฤษภาคม 2554, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รวีวรรณ เจียวก๊ก. 2558. **ผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไนเตรตของผักกาดหอมกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบ Nutrient Film Technique (NFT)**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์. 2548. **ผลของสารอินทรีย์สกัดจากดินร่วมกับสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คในการปลูกพืชแบบไร้ดิน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____, สยาม สิ้นสวัสดิ์, ศิริธรรม สิงห์โต และประธาน โพธิ์สวัสดิ์. 2548. **เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน (Soiless Culture)**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุรียา ตันติวิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทรกร. 2556. **สรีรวิทยาของพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร. 2546. **การเจริญเติบโต การสะสมไนเตรต การลดไนเตรตก่อนเก็บเกี่ยวในผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. **สรีรวิทยาพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 4 จามจุรีโปรดักท์, กรุงเทพฯ.

สมเกียรติ อินเทียม. 2542. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในการควบคุมเชื้อรา *Pythium* sp. สาเหตุโรคเน่าระดับดินของคะน้า. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทวี สุขปรากร. 2530. การพัฒนาและสูกแก่ของเมล็ดผักกาดหอมชนิดต่างๆ. รายงานผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โสระยา ร่วมรังสี. 2548. **เอกสารคำสอนการผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน**. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อานัฐ ตันโช. 2548. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท Trio Advertising & Media จำกัด, เชียงใหม่.

_____. มมป. **เอกสารประกอบคำสอน วิชา ดป488 ระบบการปลูกพืชไร้ดิน**. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. มมป. **การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบที่มีการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

_____. 2542. **สารละลายธาตุอาหารพืช**. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 2 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ร่วมกับวารสารเคหการเกษตร 13-15 ธันวาคม 2542.

_____, จริยา วิสิทธิ์พานิช, นงนุช เลาหะวิสุทธิ, พรหมมาศ คูหากาญจน์, เรไร
 นันทนาวัฒน์ และ เปรม ฤ สงขลา. 2552. **เอกสารประกอบโครงการฝึกอบรมการ
 ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 10**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบัน
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Adrián, P.L., S.Z. Viña, D. Frezza, A. Chaves and A. Chiesa. 2007. Estimation of
 chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma
 meter in butterhead lettuce. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**
 38: 2877-2885.

Alam, S., S. Kamei and S. Kawai. 2001. Amelioration of manganese toxicity in barley
 with iron. **Journal of Plant Nutrition** 24: 1421-1433.

Ananda, S.P., F.W.J. Beck , D.C. Snell and O. Kucuk. 2009. **Zinc in Cancer Prevention**
Nutrition and Cancer 61:6, 879-887.

Barben, S.B., B.G. Hopkins, V.D. Jolley, B.L. Webb and B.A. Nichols. 2010. Optimizing
 phosphorus and zinc concentrations in hydroponic chelator-buffered nutrient
 solution for Russet Burbank potato. **Journal of Plant Nutrition** 33: 557-570.

Bassioni, N. H. 1971. Temperature and pH interaction in nitrate uptake. **Plant and Soil**
 35: 445-443.

Bergmann, W. 1992. **Nutritional Disorders of Plants**. Offizin Anderson Nexo, Leipzig,
 Germany.

Burt, T.P. 1993. **Nitrate Process, Patterns and Management**. National Academy of
 Sciences, Washington, D. C., USA.

- Cakmak I., H. Marschner and F. Bangerth. 1989. Effect of Zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of IAA and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Experimental Botany** 40: 405-412.
- Cheng, T. 1948. The Role of Zinc in Auxin Synthesis in the Tomato Plant. **American Journal of Botany** 35-3: 172-179.
- Cooper, A. 1979. **The ABC of NFT**. Grower Book, London.
- Crafts-Brandner, S.J. and M.E. Salvucci. 2002. Sensitivity of photosynthesis in the C₄ plant, maize, to heat stress. **Plant Physiology** 129: 1773-1780.
- Duncan, C., H. Dougall, P. Johnston, S. Green, R. Brogan, C. Leifert, L. Smith, M. Golden and N. Benjamin. 1995. Chemical generation of nitric oxide in the mouth from the enterosalivary circulation of dietary nitrate. **Nature Medicine** 1: 546-551.
- De Angeli, A., D. Monachello, G. Ephritikhine, J.M. Frachiss, S. Thomine, F. Gambale and H. Barbier-Brygoo. 2006. The nitrate/proton antiporter AtCLCa mediates nitrate accumulation in plant vacuoles. **Nature** 442: 939-942.
- Ehleringer, J.R. and O. Bjorkman. 1977. Quantum yields for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants. **Plant Physiology** 59: 86-90.
- Elad, Y., I. Chet, P. Boyle and Y. Henis. 1983. Parasitism of *Trichoderma* spp. on *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii*-scanning electron microscopy and fluorescence microscopy. **Phytopathology** 73: 85-88.

European Commission. 1997. **Commission Regulation (EC) No. 194/97 of 31 January 1997**. Official Journal of the European Communities No. L31/48-50.

Fageria, V.D. 2001. Nutrient interaction in crop plants. **Journal of Plant Nutrition** 24: 1269-1290.

Falovo, C., Y. Rouphael, E. Rea, A. Battistelli and G. Colla. 2009. Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. *acephala* in floating raft culture. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 89: 1682–1689.

Fanasca, S., G. Colla, G. Maiani, E. Venneria, Y. Rouphael, E. Azzini and F. Saccardo. 2006. Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 54: 4319-4325.

Forde, B.G. 2002. Local and long range signaling pathways regulating plants response to nitrate. **Annual Review of Plant Biology** 53: 203-224.

Gislerod, H. R. and P. Adams. 1983. Diurnal variations in the oxygen content and requirement of recirculating nutrient solutions and in the uptake of water and potassium by cucumber and tomato plants. **Scientia Horticulturae** 21: 311–321.

Gupta, V. and A. K. Sharma. 2013. Assessment of optimum temperature of *Trichoderma harzianum* by monitoring radial growth and population dynamics in different compost manures under different temperature. **Octa Journal of Biosciences** 1(2): 151-157.

- Harman, G.E., C.R. Howell, A. Viterbo, I. Chet and M. Lorito. 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Review Microbiology** 2: 43–56.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers** Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Heldt, H.W. 2005. **Plant Biochemistry**. Academic Press, New York.
- Howell, C.R. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. **Plant Diseases** 87(1): 4-10.
- Ikeda, H. 2007. Environment-friendly soilless culture and fertigation technique, pp. 55-72. *In Soilless Culture Workshop Handbook*, during 5-6 January 2007. Department of Agriculture and Soilless Culture Forum of Thailand, Chiangmai.
- _____ and T. Osawa, 1984. Lettuce growth as influenced by N source and temperature of the nutrient solution. **Proceedings of the Fifth International Congress on Soilless Culture** 273-284.
- Inbar, J., M. Abramsky, D. Cohen and I. Chet. Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. **European Journal of Plant Pathology** 100: 337-346.
- James, D.W., C.J. Hurst and T.A. Tindall. 1995. Alfalfa cultivar response to phosphorus and potassium deficiency: elemental composition of the herbage. **Journal of Plant Nutrition** 18: 2447-2464.

- Kanaan, S.S. and C.D. Economakis. 1992. Effect of climatic conditions and time of harvest on growth and tissue nitrate content of lettuce in nutrient film culture. **Acta Horticulturae** 323: 75-80.
- Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2001. Interactions between temperature and fertilizer concentration affect growth of subirrigated petunias. **Journal of Plant Nutrition** 24: 753–765.
- _____ 2004. Nutrient solution concentration affects shoot: root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated *Salvia* (*Salvia splendens*). **HortScience** 39: 49-54.
- Keeney, D.R. 1970. Nitrates in Plants and Waters. **Journal of Milk and Food Technology** 33: 425-432.
- Kim, H.J., Y.S. Cho, O.K. Kwon, M.W. Cho, J.B. Hwang, S.D. Bae and W.T. Jeon. 2005. Effect of pH and EC of Hydroponic solution on growth of greenhouse rose. **Asian Journal Plant Science** 4: 348-355.
- Křístková, E., I. Doležalová, A. Lebeda, V. Vinter and A. Novotná. 2008. Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. **Horticultural Science (Prague)** 35(3): 113–129.
- Liu, A., C. Hamel, R.I. Hamilton, B.L. Ma and D.L. Smith. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. **Mycorrhiza** 9: 331-336.

- Liu, W.K. and Q.C. Yang. 2012. Effects of short-term treatment with various light intensities and hydroponic solutions on nitrate concentration of lettuce. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science** 62: 109-113.
- Marschner, H. 2012. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3rd edition. Academic Press, New York.
- Maynard, D.N. and A.V. Barker. 1972. Nitrate content of vegetable crops. *Horticultural Science* 7: 224–226.
- _____ and G.J. Hochmuth. 2007. **Knott's Handbook for Vegetable Growers**. 5th edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- McCauley, A., C. Jones and J. Jacobsen. 2009. **Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms**. Nutrient Management, a Self-study Course from the MSU Extension Service Continuing Education Series. Montana State University, Bozeman, MT.1-15.
- Meharg, A.A. and M.R. Macnair. 1992. Suppression of the high affinity phosphate uptake system: A mechanism of arsenate tolerance in *Holcus lanatus* L. **Journal of Experimental Botany** 43: 519-524.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 2001. **Principles of Plant Nutrition**. 5th edition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Miller, A.J. and S.J. Smith. 1992. The mechanism of nitrate transport across the tonoplast of barley root cells. **Planta** 187: 554-557.
- Morgan, L. 1999. **Hydroponic lettuce production**. Casper Publications, Narrabeen.

- Mukherjee, P.K. and K. Raghu. 1997. Effect of temperature on antagonistic and biocontrol potential of *Trichoderma* sp. on *Sclerotium rolfsii*. *Mycopathologia* 139: 151–155.
- Rossato, L., P. Laine and A. Ourry. 2001. Nitrogen storage and remobilization in *Brassica napus* L. during the growth cycle, nitrogen fluxes within the plant and changes in soluble protein patterns. *Journal of Experimental Botany* 52: 1655–1663.
- Ryder, E.J. 1998. **Lettuce, Endive and Chicory**. CABI Publishing. Wallingford. UK.
- Sanguandeeikul, S. 1999. **The effect of cultivar, nutrient solution concentration and season on the yield and quality of NFT produced lettuce (*Lactuca sativa* L.)**. Ph. D. Thesis Massey University.
- Safaya, N. M. 1976. Phosphorus-zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorus, zinc, copper, manganese and iron in corn. *Soil Science Society of American Journal* 40: 719-722.
- Samarakoon, U.C., P.A. Weerasinghe and W.A.P. Weerakkody. 2006. Effect of EC of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. *Tropical Agriculture Research* 18: 13-21.
- Santamaria, P., A. Elia, F. Serio and E. Todaro. 1999. A survey of nitrate and oxalate content in retail fresh vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 79:1882–1888.

- Schwarz, D., H.P. Klaring, M.W. Van Lersel and I.T. Gram. 2002. Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels. **Journal of American Society Horticultural Science** 127: 984–990.
- _____. and R. Kuchenbuch. 1998. Water uptake by tomato plants grown in closed hydroponic systems dependent on the EC level. **Acta Horticulturae** 458:123-140.
- Seginer I, F. Buwalda and G. van Straten. 1998. Nitrate in greenhouse lettuce: a modelling study. **Acta Horticulturae** 456: 189–197.
- Shinohara, Y. and Y. Suzuki. 1981. Effects of light and nutrition conditions on ascorbic acid content of lettuce. **Journal of the Japanese Society for Horticulture Science** 50: 239-246.
- Shoemaker, J.B. 1949. **Salad Crop Vegetable Growing**. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Singh, A, M. Shahid, M. Srivastava, S. Pandey, A. Sharma and V. Kumar. 2014. Optimal physical parameters for growth of *Trichoderma* species at varying pH, temperature and agitation. **Virology and Mycology** 3: 1-7.
- Singh, J.P.; D.J. Dahiya and R.P. Marwal. 1990. Boron uptake and toxicity in wheat in relation to zinc supply. **Fertilizer Research** 24: 105-110.
- Soltanpour, P. N. 1969. Effect of N, P and Zn placement on yield and composition of potatoes. **Agronomy Journal** 61: 288-289.

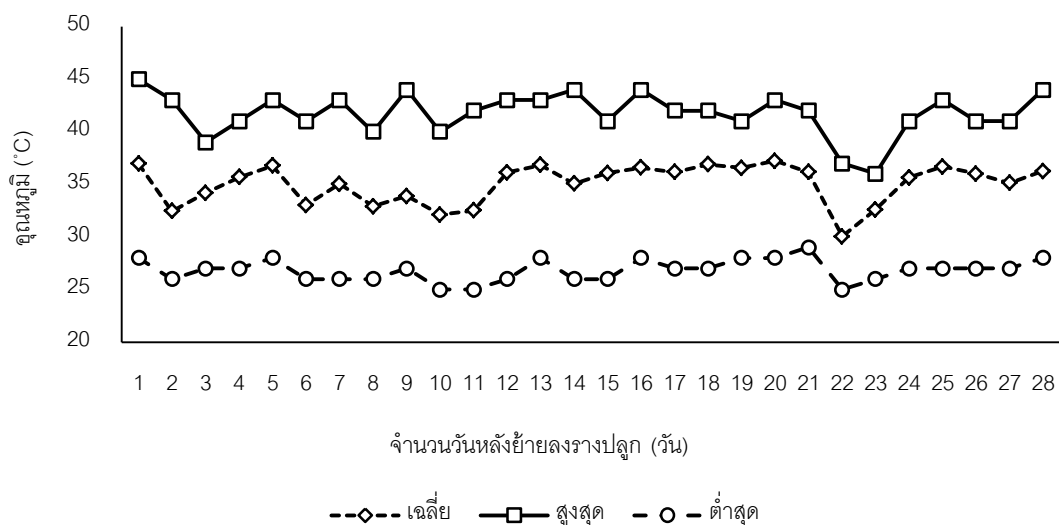
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. **Plant Physiology**. 3rd edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, MA.
- Takabe, M. and T. Yoneyama. 1995. An analysis of nitrate and ascorbic acid in crop exudates using a simple reflection photometer system. **Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition** 66(2): 155-158.
- Terman, G.L., P.M. Giordano and S.E. Allen. 1972. Relationship between dry matter yields and concentration of Zn and P in young corn plants. **Agronomy Journal** 64: 686-687.
- Thompson, H.C. and W.C. Kelly. 1957. **Vegetable crops**. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- Timmer, V.R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. p. 113–134. In R. van den Driessche (ed.) Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Viets, F.G. and R.H.ry Hageman. 1971. **Factors affecting the accumulation of nitrate in soil, water, and plants**. Agricultural Research Service. United State Department of Agriculture. Agriculture Handbook No.413. Washington D.C.
- Wang, J., Y. Zhou, C. Dong, Q. Shen and R. Putheti. 2009. Effects of NH_4^+ -N/ NO_3^- -N ratios on growth, nitrate uptake and organic acid levels of spinach (*Spinacia oleracea* L.). **African Journal of Biotechnology** 8: 3597-3602.
- Whitaker, T.W., E.J. Ryder, V.E. Rubatsky and P.V. Vail. 1974. **Lettuce production in the United States**. USDA handbook.

- Wien, H.C. 1997. Lettuce. pp. 479-509 *In The Physiology of Vegetable Crops*, Wien, H.C. *ed.* Oxon-New York: CAB International.
- Wright, M. and K. Davison. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. **Advances in Agronomy** 16: 197-247.
- Yedidia, I., A.K. Srivastva, Y. Kapulnik and I. Chet. 2001. Effect to *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. **Plant and Soil** 235: 235-242.

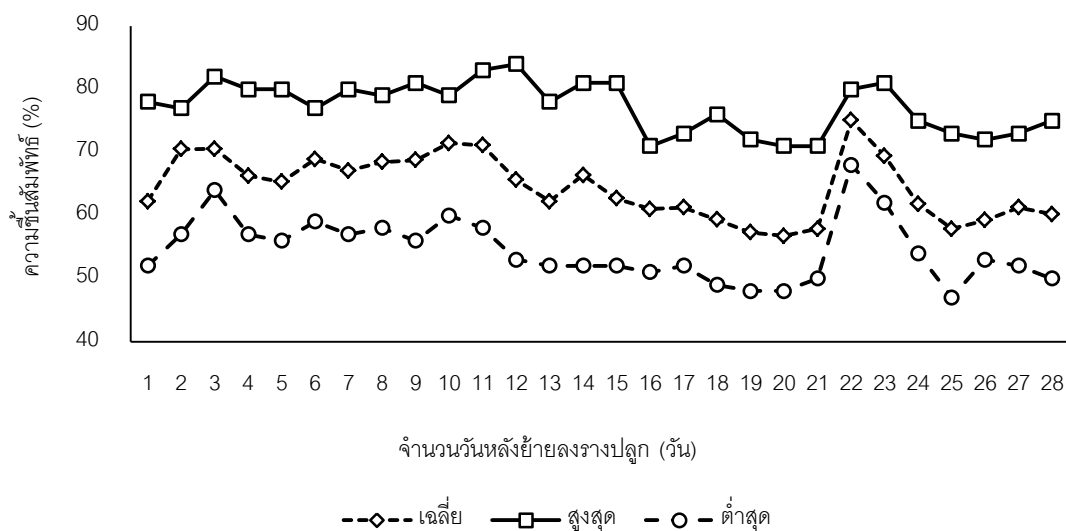
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

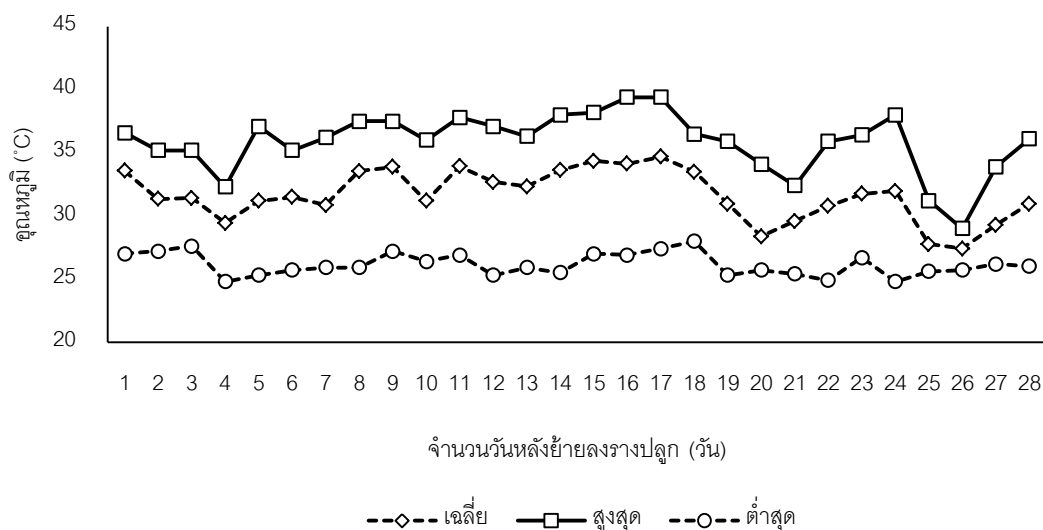
คุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างทำการทดลอง



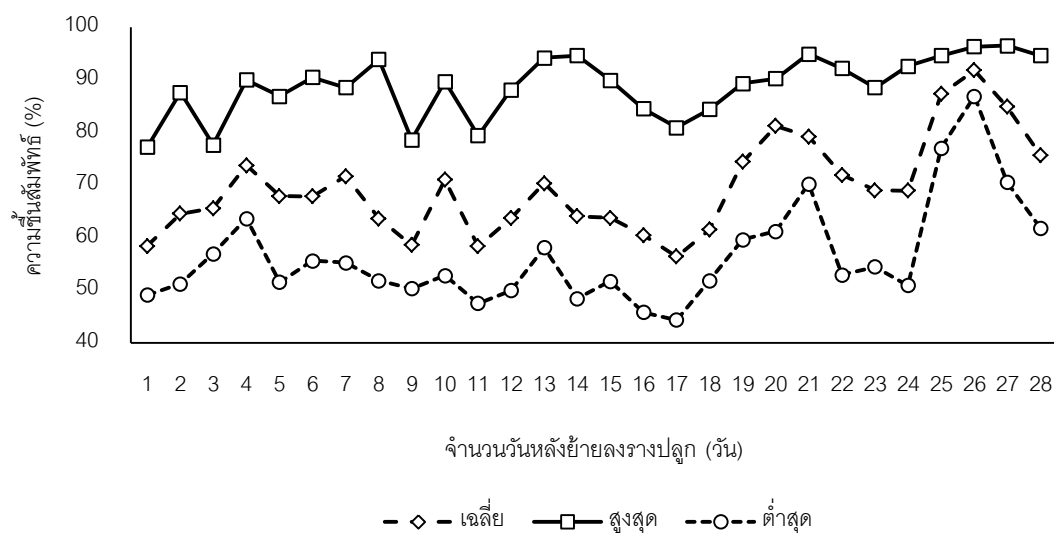
ภาพผนวกที่ ก1 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษาอิทธิพลของเหล็กร่วมกับแมงกานีส ระหว่างวันที่ 27 เดือนเมษายน ถึง 24 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.



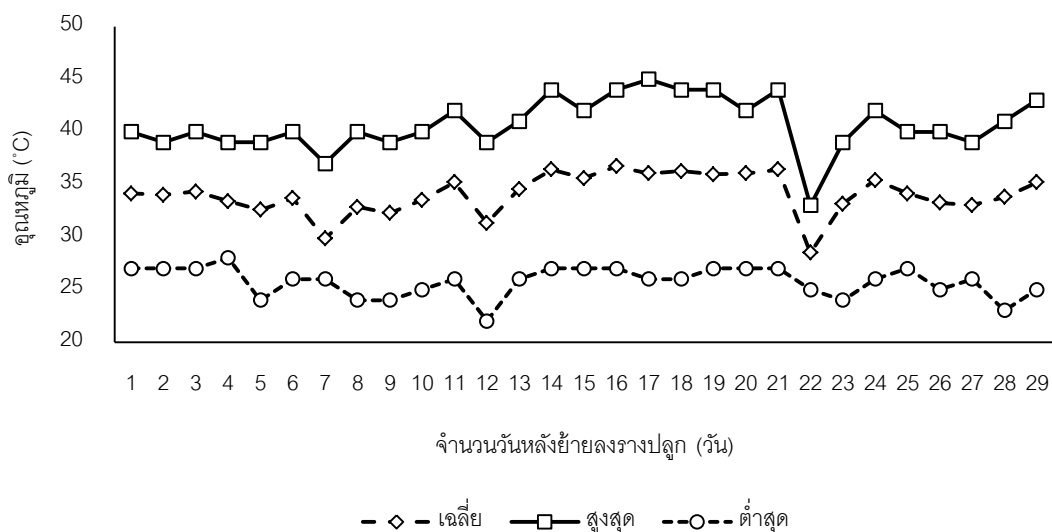
ภาพผนวกที่ ก2 ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษาอิทธิพลของเหล็กร่วมกับแมงกานีส ระหว่างวันที่ 27 เดือนเมษายน ถึง 24 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.



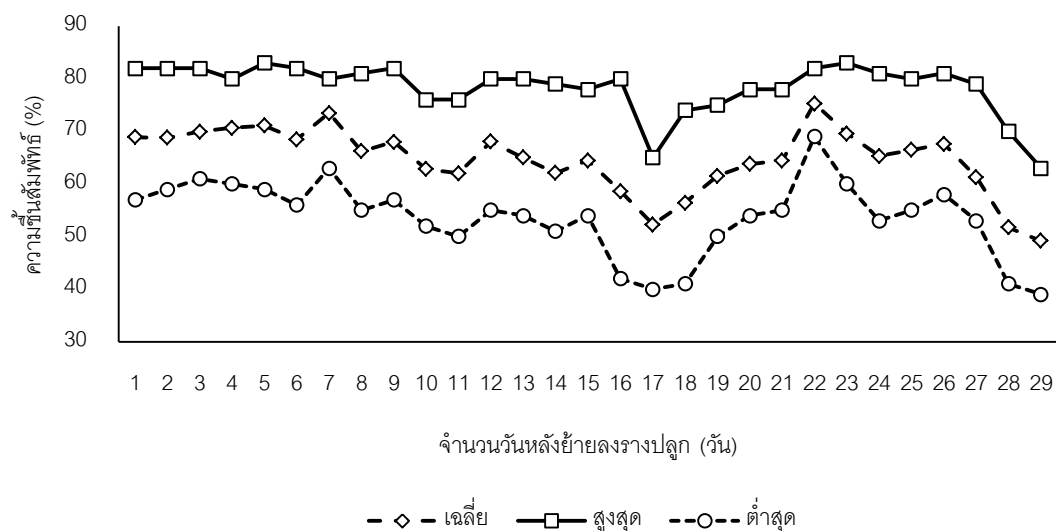
ภาพผนวกที่ ก3 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษาความเข้มข้นที่ต่างกันของทองแดง
สังกะสี โบรอน และโมลิบดีนัม ในระหว่างวันที่ 19 เดือนสิงหาคม ถึง
15 เดือนกันยายน พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.



ภาพผนวกที่ ก4 ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษาความเข้มข้นที่ต่างกันของทองแดง
สังกะสี โบรอน และโมลิบดีนัม ในระหว่างวันที่ 19 เดือนสิงหาคม ถึง 15 เดือน
กันยายน พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.



ภาพผนวกที่ ก5 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าและประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มา ในระหว่างวันที่ 18 เดือนมีนาคม ถึง 15 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.



ภาพผนวกที่ ก6 ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าและประสิทธิภาพการใช้ไตรโคเดอร์มา ในในระหว่างวันที่ 18 เดือนมีนาคม ถึง 15 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.

ภาคผนวก ข

สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลอง

สูตรสารละลายธาตุอาหาร Cooper ดัดแปลง (ยงยุทธ, 2546)

ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 5 ลิตร

Stock A

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	501.5	กรัม
Fe-EDTA	50	กรัม

Stock B

KH_2PO_4	131.5	กรัม
KNO_3	291.5	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	256.5	กรัม
Nicspray®	25	กรัม

Nicspray® ประกอบด้วยธาตุอาหารดังนี้

แมกนีเซียม (MgO)	7.29	เปอร์เซ็นต์
เหล็ก (Fe)	1.90	เปอร์เซ็นต์
แมงกานีส (Mn)	1.94	เปอร์เซ็นต์
ทองแดง (Cu)	2.08	เปอร์เซ็นต์
สังกะสี (Zn)	1.90	เปอร์เซ็นต์
โบรอน (B)	2.17	เปอร์เซ็นต์
โมลิบดีนัม (Mo)	0.024	เปอร์เซ็นต์
นิกเกิล (Ni)	0.050	เปอร์เซ็นต์

สูตรสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองที่ 1.1

ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 5 ลิตร

Stock A

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	501.5	กรัม
Fe-EDTA	50	กรัม

Stock B

KH_2PO_4	131.5	กรัม
KNO_3	291.5	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	256.5	กรัม
Zn-EDTA	3.6539	กรัม
Cu-EDTA	3.7143	กรัม
H_3BO_3	3.1036	กรัม
$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	0.0113	กรัม

สูตรสารละลายธาตุอาหารพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองที่ 1.2

ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 5 ลิตร

Stock A

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	501.5	กรัม
Fe-EDTA	50	กรัม

Stock B

KH_2PO_4	131.5	กรัม
KNO_3	291.5	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	256.5	กรัม
Fe-EDTA	1.8269	กรัม
Mn-EDTA	1.8654	กรัม

สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลอง

ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 5 ลิตร

Stock A

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	501.5	กรัม
Fe-EDTA	50	กรัม

Stock B

KH_2PO_4	131.5	กรัม
KNO_3	291.5	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	256.5	กรัม
Fe-EDTA	1.8269	กรัม
Mn-EDTA	1.8654	กรัม
Zn-EDTA	7.3075	กรัม
Cu-EDTA	3.7143	กรัม
H_3BO_3	7.7590	กรัม
$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	0.0030	กรัม

สูตรสารละลายธาตุอาหาร Enshi (1988)

ความเข้มข้น 50 เท่า ปริมาตร 5 ลิตร

Stock A

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	237.5	กรัม
Fe-EDTA	5.9	กรัม

Stock B

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	38.75	กรัม
KNO_3	202.5	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	125	กรัม
Nicspray®	5	กรัม

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

1. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

Digestion mixture (H_2SO_4 - Na_2SO_4 -Se mixture) เตรียมโดยผสม Se 2.5 กรัม Na_2SO_4 250 กรัม และ Conc. H_2SO_4 2,500 มิลลิลิตร หรือในอัตราส่วน 1:100:1,000 ในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปตั้งบนเตาให้ความร้อนภายในตู้ดูดควัน จนกระทั่งได้สารละลายใสไม่มีสี ต้มต่อ 10 นาที เก็บสารละลายที่ได้ในขวดสีชาที่มีฝาปิด

Boric acid indicator solution เตรียมโดยละลายกรด H_2BO_3 40 กรัม ในน้ำร้อน ปริมาตร 70 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายเย็น เทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ซึ่งมีเอทานอล 200 มิลลิลิตร และ mixed indicator (ละลาย bromocresol green 0.33 กรัม และ methyl red 0.165 กรัม ในเอทานอล 500 มิลลิลิตร) 20 มิลลิลิตร บรรจุอยู่ หลังจากผสมสารละลายในขวดรูปชมพู่ให้เข้ากันแล้ว ค่อยๆ เติม NaOH เข้มข้น 0.05N ลงไป จนกระทั่งพบว่าเมื่อนำสารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร มาผสมกับน้ำ 1 มิลลิลิตร สารละลายมีการเปลี่ยนจากสีชมพูปนม่วงเป็นสีเขียว ปรับปริมาตรสารละลายที่ได้ด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร พร้อมทั้งเขย่าให้เข้ากัน

2. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์โบรอน

สารละลาย EDTA เตรียมโดยละลาย disodium ethylene diamine tetraacetate 37.2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร

สารละลาย ammonium acetate buffer เตรียมโดยละลาย ammonium acetate 250 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายเป็น 5.5 โดยใช้ glacial acetic acid

สารละลาย azomethine-H เตรียมโดยละลาย azomethine-H 2.25 กรัม และ ascorbic acid 5 กรัม ในน้ำกลั่นบนเตาให้ความร้อนอุณหภูมิ 35 – 40 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็น แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (เตรียมน้ำยาก่อนใช้ทุกครั้ง)

ภาคผนวก ง

ภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มาอัตราส่วน 10 กรัมต่อ 40 ลิตร



ภาพผนวกที่ 31 ผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลาย Cooper สูตรดัดแปลง (A) Cooper สูตรดัดแปลง ร่วมกับไตรโคเดอร์มา 10 กรัมต่อ 40 ลิตร (B) สูตรที่ได้จากการทดลอง (C) สูตรที่ได้จากการทดลองร่วมกับไตรโคเดอร์มา 10 กรัมต่อ 40 ลิตร (D) ในระยะเก็บเกี่ยวที่อายุ 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด (การทดลองที่ 3)



ภาพผนวกที่ ง2 รากผักกาดหอมบำบัดไฮโดรเจลที่เจริญเติบโตในสารละลายสูตรที่ได้จากการทดลอง (A) สูตรที่ได้จากการทดลองร่วมกับไตรโคเดอร์มา 10 กรัมต่อ 40 ลิตร (B) ในระยะเก็บเกี่ยวที่อายุ 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด (การทดลองที่ 3)

ภาคผนวก จ

ผลการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มาอัตราส่วน 20 กรัมต่อ 40 ลิตร

ตารางผนวกที่ ๑1 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ ไตรโคเดอร์มา 20 กรัมต่อ 40 ลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรสารละลายธาตุอาหาร		จำนวนใบ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ย ต่อต้น (ตร.ซม.)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
สารละลายธาตุ	Cooper	38.2 a	11.24 b	23.28	36.98	42.34 b	67.53 b	4.78 b
	การทดลองที่ 1	33.4 b	13.01 a	23.96	35.37	48.68 a	85.08 a	5.28 a
F-test		*	*	ns	ns	*	*	*
ไตรโคเดอร์มา	ใช้	35.7	10.84 b	22.08 b	35.12 b	41.54 b	56.72 b	4.20 b
	ไม่ใช้	35.9	13.41 a	25.16 a	37.23 a	49.48 a	95.89 a	5.86 a
F-test		ns	*	*	*	*	*	*
Cooper	- ไตรโคเดอร์มา	33.6 b	12.94 ab	24.72 a	35.57 ab	47.04 b	88.42 b	5.47 b
	+ ไตรโคเดอร์มา	33.2 b	9.54 c	21.84 b	38.38 a	37.63 c	46.64 d	4.09 c
ผลจากการทดลองที่ 1	- ไตรโคเดอร์มา	38.2 a	13.88 a	25.59 a	34.67 b	51.92 a	103.36 a	6.25 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	38.2 a	12.14 b	22.32 b	36.07 ab	45.45 b	66.80 c	4.31 c
LSD _{0.05}		*	*	*	ns	*	*	*
CV. (%)		5.0	6.1	4.9	6.0	6.3	12.6	10.3

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ๑2 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Rex RZ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารรวมกับการใช้และไม่ใช้ไตรโคเดอร์มา 20 กรัมต่อ 40 ลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรสารละลายธาตุอาหาร		ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
สารละลายธาตุ	Cooper	47.29 a	5.62	0.43
	การทดลองที่ 1	40.95 b	5.45	0.39
F-test		*	ns	ns
ไตรโคเดอร์มา	ใช้	36.04 b	4.42 b	0.29 b
	ไม่ใช้	52.2 a	6.65 a	0.53 a
F-test		*	*	*
Cooper	- ไตรโคเดอร์มา	54.16 a	6.40 ab	0.55 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	40.42 b	4.84 bc	0.32 b
ผลจากการทดลองที่ 1	- ไตรโคเดอร์มา	50.24 a	6.90 a	0.52 a
	+ ไตรโคเดอร์มา	31.66 c	3.99 c	0.27 b
LSD _{0.05}		*	*	*
CV. (%)		14.4	11.6	10.9

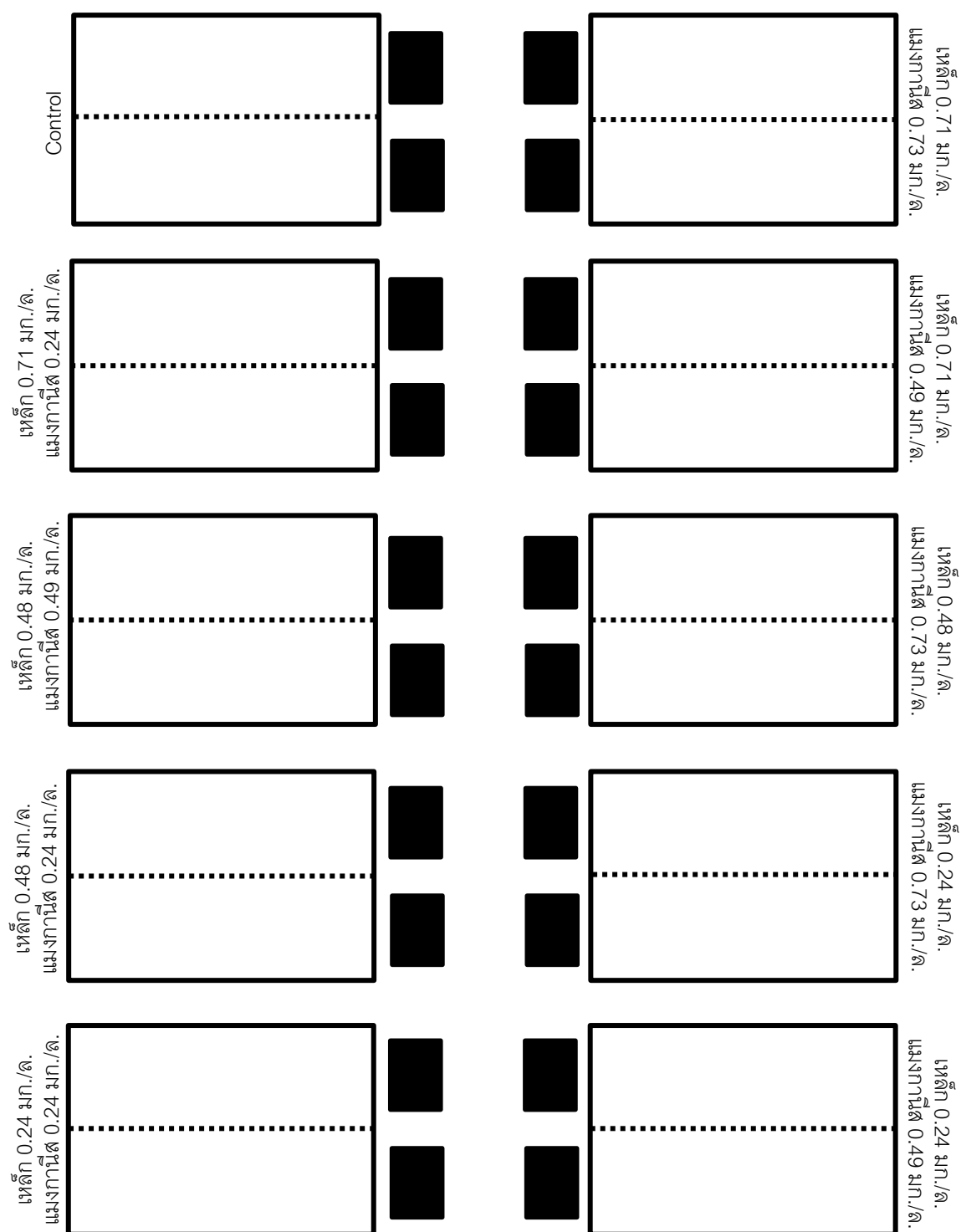
ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี

Least Significant Difference (LSD)

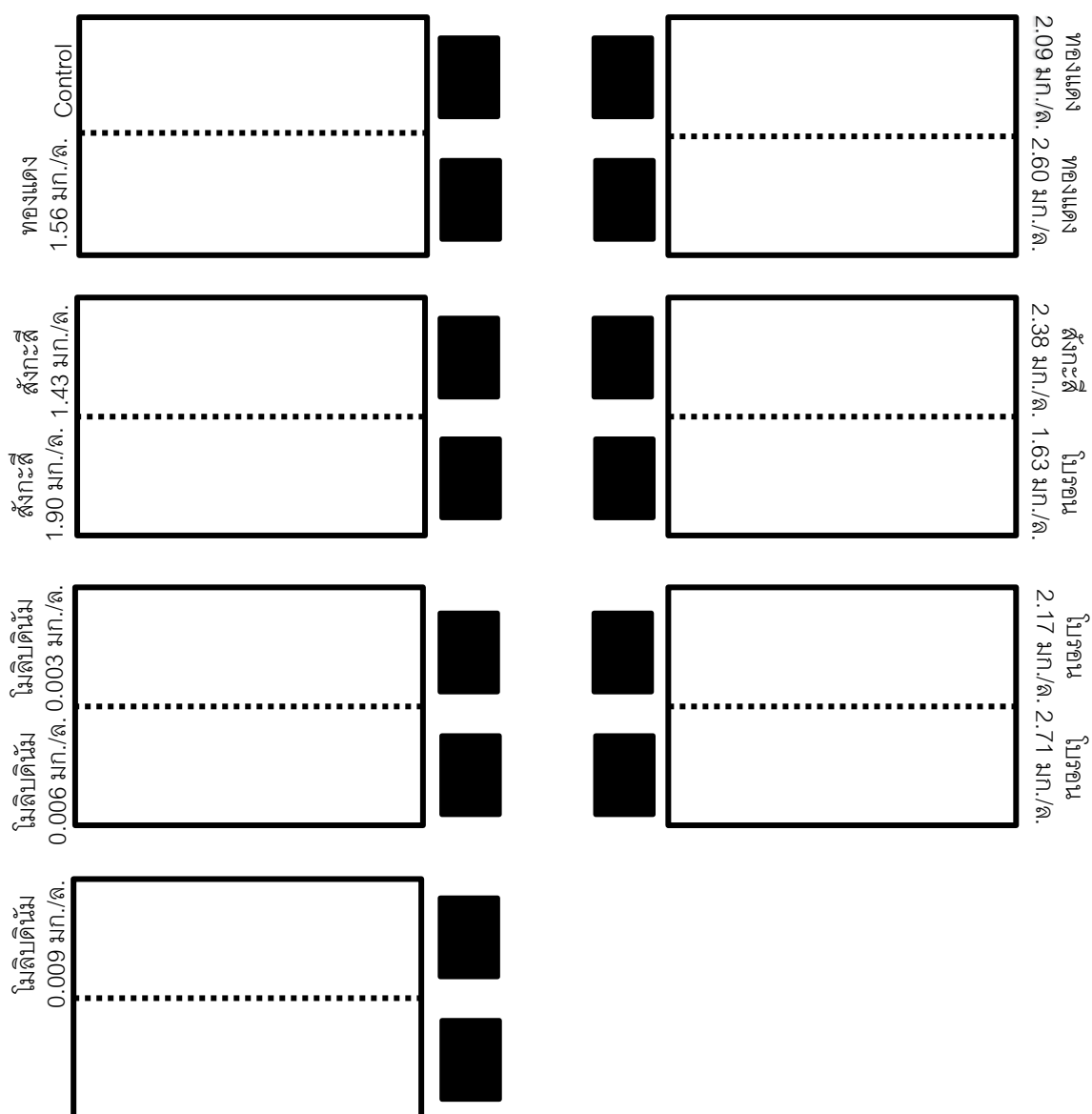
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ภาคผนวก จ

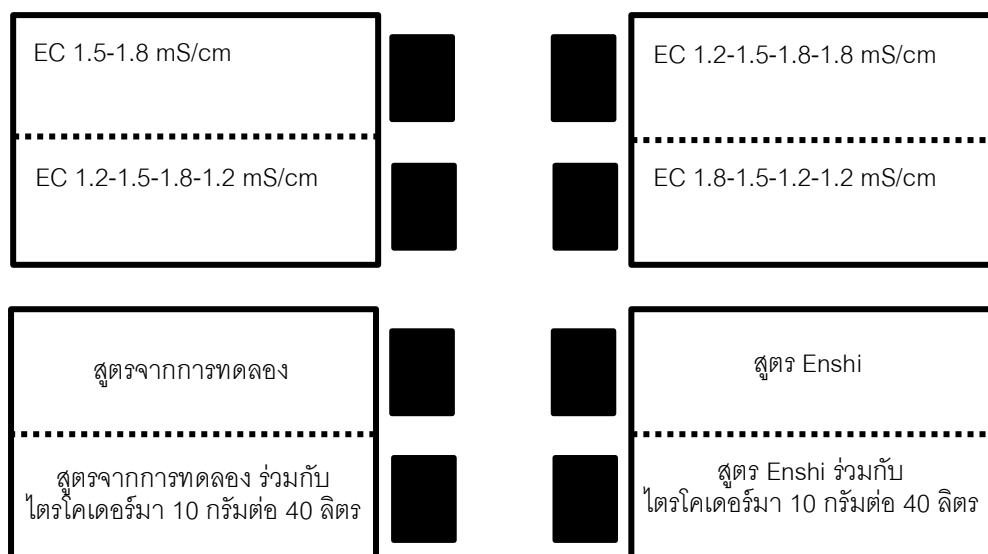
ผังแสดงตำแหน่งโต๊ะปลูกในโรงเรียน



ภาพผนวกที่ ๑1 แสดงตำแหน่งโตะปลูกการทดลองที่ 1.1 ศึกษาผลของเหล็กและแมงกานีสต่อการผลิตผักกาดหอม



ภาพผนวกที่ ๒2 แสดงตำแหน่งโอดีะปลูกการทดลองที่ 1.2 คีษผลของทองแดง สังกะสี
โบรอน และไมลิตินันต่อการผลิตผักกาดหอม



ภาพผนวกที่ จ3 ผังแสดงตำแหน่งโต๊ะปลูกการทดลองที่ 2 ศึกษารูปแบบค่าการนำไฟฟ้าของ สารละลาย และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของการใช้ไตรโคเดอร์มาร่วมกับ สารละลายธาตุอาหารในการผลิตผักกาดหอม

ภาคผนวก ข

ผลการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองเทียบกับ
สูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอมต่างกลุ่ม

ผลการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอมต่างกลุ่ม

จากการศึกษาวิจัยข้างต้นทำให้ได้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมกลุ่มบัตเตอร์เฮดในเขตร้อน ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้ จึงได้มีการทำการศึกษาเพิ่มเติมในผักกาดหอมที่กลุ่มต่างกัน เพื่อทดสอบว่าสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองนี้สามารถให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีในผักกาดหอมกลุ่มอื่นด้วยหรือไม่ ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาสูตรสารละลายธาตุอาหารเปรียบเทียบกับระหว่างสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองและสูตรสารละลายธาตุอาหาร Enshi เพิ่มเติมด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

เพาะเมล็ดผักกาดหอมกลุ่มคออส กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด ในถ้วยปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร สูง 5.25 เซนติเมตร ซึ่งใส่วัสดุผสมระหว่างเพอร์ไลต์และเวอร์มิคูไลต์ในอัตราส่วน 3:1 ใส่ถาดหล่อด้วยน้ำประปา (EC 0.3 mS/cm, pH 7) เมื่อต้นกล้าอายุ 1 สัปดาห์ ทำการเปลี่ยนน้ำประปาเป็นสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้น $\frac{1}{2}$ เท่า โดยสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้เป็นสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองและสูตรสารละลายธาตุอาหาร Enshi เมื่อต้นกล้าอายุครบ 2 สัปดาห์ จึงย้ายลงรางซึ่งมีการปั๊มสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองหมุนเวียนตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลของสารละลาย 1 ลิตรต่อนาที โดยเทียบกับการใช้กับสูตรสารละลายธาตุอาหาร Enshi ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากัน

ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 6.2-6.5 โดยใช้ pH down และ EC ของสารละลายให้เท่ากับ 1.5-1.8 mS/cm ทุก 2-3 วัน โดยการเติมน้ำประปาในกรณีที่ค่า EC เพิ่มขึ้น และเติมสารละลายธาตุอาหารในกรณีที่ค่า EC ลดต่ำลง และเปลี่ยนสารละลายทุก 2 สัปดาห์ เก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศตลอดการปลูก บันทึกผลการทดลองที่ 42 วัน นับตั้งแต่เพาะเมล็ด ทำการทดลอง ณ โรงเรือนทดลอง ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2558

ผลการทดลอง

จากการศึกษาผลการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอมต่างกลุ่มในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งมีอุณหภูมิกลางวัน (06.00–18.00 น.) สูงสุดเฉลี่ย 39.5 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิกลางวันสูงสุดที่สูงและต่ำที่สุดระหว่างทำการทดลองเท่ากับ 42 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า

ส่วนลำต้นและใบ การใช้สารละลายธาตุอาหารที่ต่างกันไม่มีผลต่อจำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมทั้ง 3 กลุ่ม ในขณะที่การใช้สารละลายธาตุอาหารที่ต่างกันมีผลให้ความกว้างทรงพุ่ม และความเขียวของใบของผักกาดหอมทั้ง 3 กลุ่มมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองทำให้ได้ผักกาดหอมที่มีความกว้างทรงพุ่มและความเขียวใบสูงสุดคือ 25.77 เซนติเมตร และ 28.91 SPAD unit ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มของผักกาดหอมที่ต่างกันมีผลให้ความกว้างทรงพุ่ม ความเขียวใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยผักกาดหอมคอสมี่แนวโน้มการเจริญเติบโตดังกล่าวสูงที่สุด ทั้งนี้กลุ่มของผักกาดหอมที่ต่างกันไม่มีผลให้จำนวนใบมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ

ส่วนราก การใช้สารละลายธาตุอาหารที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่กลุ่มของผักกาดหอมที่แตกต่างกันมีผลให้ความยาวราก และน้ำหนักสดมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้ง โดยผักกาดหอมทั้ง 3 กลุ่มที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารทั้ง 2 สูตร ให้ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ให้ความยาวรากสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมคอสมี่ที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลอง คือ 49.57 เซนติเมตร และ 41.37 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมกรีนโอ๊คที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ให้ความยาวรากน้อยที่สุดเท่ากับ 21.67 เซนติเมตร

ตารางผนวกที่ ข1 การเจริญเติบโตของลำต้นและใบผักกาดหอมต่างกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับ
สูตร Enshi

สูตรสารละลายธาตุอาหาร		จำนวนใบ	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความเขียวใบ (SPAD unit)	พื้นที่ใบเฉลี่ยใบต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)	น้ำหนักสดของ ต้นและใบ (กรัม)	น้ำหนักแห้งของ ต้นและใบ (กรัม)
สารละลายธาตุ	Enshi	26.89	24.41 b	27.02 b	64.17	75.86	4.33
	ผลจากการทดลอง	27.89	25.77 a	28.91 a	59.80	85.45	4.92
F-test		ns	*	*	ns	ns	ns
กลุ่มผักกาดหอม	คอส	25.17 b	27.18 a	37.35 a	65.14 a	83.95 a	5.40 a
	กรีนไคค	29.83 a	25.40 b	15.63 c	70.03 a	67.03 b	4.23 b
	ปัตเตอร์เฮด	27.17 ab	22.70 c	30.91 b	50.79 b	90.99 a	4.25 b
F-test		ns	*	*	*	*	*
Enshi	คอส	23.00 b	26.20 ab	34.78 b	68.55 ab	86.62 ab	4.26 bc
	กรีนไคค	28.30 ab	24.7 bc	16.03 d	75.66 a	61.88 c	4.50 b
	ปัตเตอร์เฮด	29.30 a	22.33 d	30.23 c	48.29 d	79.08 bc	3.73 bc
ผลจากการทดลอง	คอส	27.30 ab	28.15 a	39.92 a	61.72 bc	81.27 ab	6.53 a
	กรีนไคค	26.00 ab	26.10 ab	15.22 d	64.39 b	102.91 a	3.47 c
	ปัตเตอร์เฮด	30.30 a	23.07 cd	31.58 c	53.28 cd	72.18 bc	4.77 bc
F-test		ns	*	*	*	*	*
CV. (%)		11.6	6.2	4.3	9.0	14.5	16.6

ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี
Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

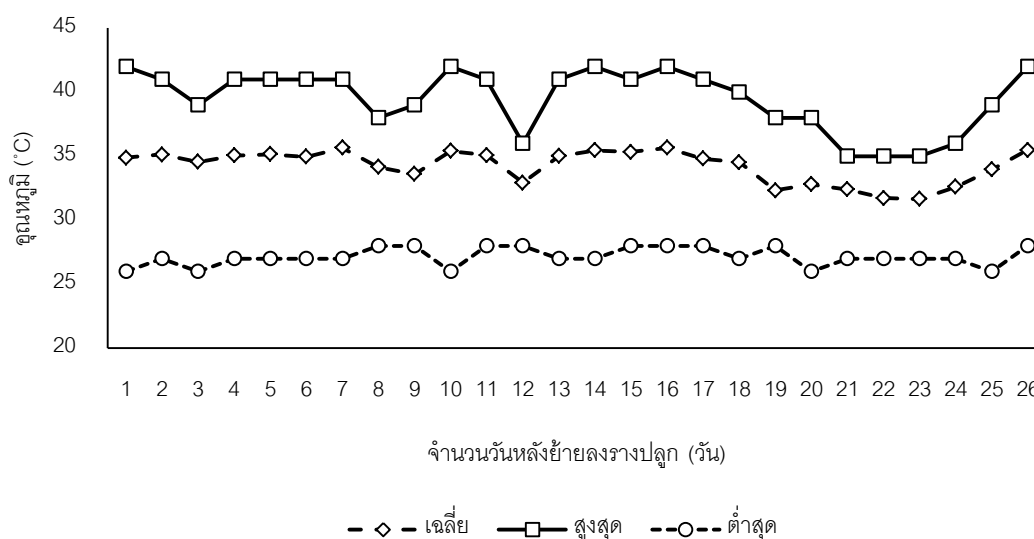
ตารางผนวกที่ ข2 การเจริญเติบโตของรากผักกาดหอมต่างกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับสูตร Enshi

สูตรสารละลายธาตุอาหาร		ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)
สารละลายธาตุ	Enshi	34.81	8.84	0.54
	ผลจากการทดลอง	38.93	8.22	0.53
F-test		ns	ns	ns
กลุ่มผักกาดหอม	คอส	37.28 b	9.90 a	0.57
	กรีนไคค	30.10 c	8.51 ab	0.49
	บัตเตอร์เฮด	43.23 a	7.18 b	0.55
F-test		*	*	ns
Enshi	คอส	33.20 b	10.38 a	0.58 ab
	กรีนไคค	21.67 c	8.05 ab	0.62 a
	บัตเตอร์เฮด	49.57 a	8.09 ab	0.43 b
ผลจากการทดลอง	คอส	41.37 ab	9.43 a	0.56 ab
	กรีนไคค	38.53 b	8.97 ab	0.49 ab
	บัตเตอร์เฮด	36.90 b	6.27 b	0.54 ab
F-test		*	ns	ns
CV. (%)		12.6	18.4	16.8

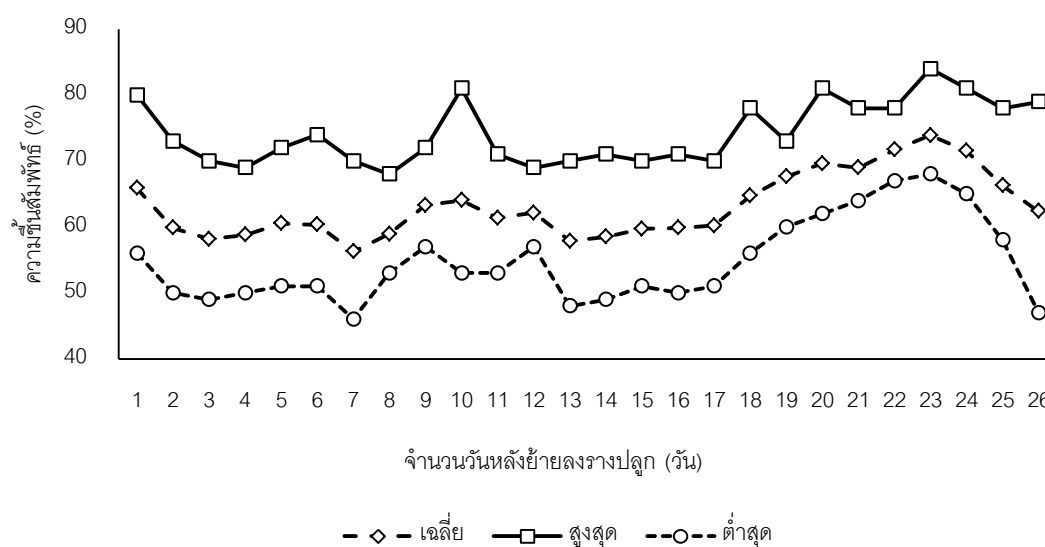
ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี

Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพผนวกที่ ข1 อุณหภูมิของอากาศระหว่างทำการศึกษาคัดการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอมต่างกลุ่ม ในระหว่างวันที่ 26 เดือนมิถุนายน ถึง 23 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.



ภาพผนวกที่ ข2 ความขึ้นต้นสัมพัทธ์ระหว่างทำการศึกษาคัดการใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ได้จากการทดลองเทียบกับสูตรสารละลาย Enshi ในผักกาดหอมต่างกลุ่ม ในระหว่างวันที่ 26 เดือนมิถุนายน ถึง 23 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น.

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นางสาวปิยนุช อ้อพงษ์
เกิดวันที่	29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาพฤษศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (พ.ศ. 2554)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	รางวัลนิสิตที่มีผลการเรียนดีและบำเพ็ญประโยชน์ให้ ภาควิชาพืชสวน
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนนิสิตช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย วิชา วิทยาการพืชสวน (01007271) ภาคปลาย ปีการศึกษา 2555 ทุนนิสิตช่วยสอน วิชา วิทยาการพืชสวน (01007271) ภาคปลาย ปีการศึกษา 2556 ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2558 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ