



บทบาทของเหล็กและสังกะสี ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผักสลัด  
ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

Role of Iron and Zinc on Growth and Nutrient Content of Lettuce  
in Hydroponic System

หัตถยา คงสุข

Hutthaya Khongsuk

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Soil Resource Management  
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



บทบาทของเหล็กและสังกะสี ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผักสลัด  
ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

Role of Iron and Zinc on Growth and Nutrient Content of Lettuce  
in Hydroponic System

หัตถยา คงสุข

Hutthaya Khongsuk

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Soil Resource Management  
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**ชื่อวิทยานิพนธ์** บทบาทของเหล็กและสังกะสี ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผักสลัด  
 ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

**ผู้เขียน** นางสาวหทัยา คงสุข

**สาขาวิชา** การจัดการทรัพยากรดิน

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

**คณะกรรมการสอบ**

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เฟื่องหนู)

.....ประธานกรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ขาวมี)

.....กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เฟื่องหนู)

.....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชมาภรณ์ แสงงาม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....  
 (ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้างู๋สง)  
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ .....

(นางสาวหทัยา คงสุข)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นางสาวหทัยา คงสุข)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	บทบาทของเหล็กและสังกะสี ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผักสลัด ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์
ผู้เขียน	นางสาวหทัยา คงสุข
สาขาวิชา	การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา	2564

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคมีความต้องการผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งปลอดภัยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและมีธาตุอาหารที่มีประโยชน์มากขึ้น โดยเฉพาะธาตุเหล็กและสังกะสี ที่จำเป็นต่อพืชและร่างกายมนุษย์ ซึ่งการได้รับธาตุเหล็กและสังกะสีที่ไม่เพียงพอต่อร่างกายในแต่ละวัน กำลังเป็นปัญหาที่พบในวงกว้าง จึงนำมาสู่การศึกษาผลของการเพิ่มธาตุเหล็กและธาตุสังกะสี ที่มีต่อการเจริญเติบโต การสะสมไนเตรต และธาตุอาหาร ในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ และศึกษาผลของผักสลัดเพิ่มธาตุเหล็กและธาตุสังกะสี ที่มีต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ (T4056) โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design, CRD ประกอบด้วย 3 การทดลอง 1) การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด ในชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผัก 2) การเสริมธาตุเหล็กและธาตุสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด ในชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT 3) การทดสอบผักสลัดเสริมธาตุอาหารกับเซลล์ลำไส้มนุษย์ พบว่า ชีวภัณฑ์ B-Veggie ส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มความทนต่อภาวะเหล็กสูงของผักสลัด ซึ่งการเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้ชีวภัณฑ์ทำให้กรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างกับการไม่เสริมธาตุเหล็ก และการเสริมธาตุเหล็ก 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผักสลัด 5 ชนิด (กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด) มีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น 1.10-1.27 เท่า และปริมาณแมงกานีสเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี มีแนวโน้มลดลง โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณเหล็กมากที่สุด (16.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผักสลัดทั้ง 5 ชนิดมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 4.68-6.05 เท่า และทำให้ปริมาณไนเตรตและเหล็กมีแนวโน้มลดลง โดยกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณสังกะสีมากที่สุด (13.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) การเสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีการเจริญเติบโตและปริมาณเหล็กไม่แตกต่างกับการให้ธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และพบว่าสารสกัดจากผักสลัด 3 ชนิด (กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด) ที่ได้รับธาตุอาหาร

พืชในอัตราปกติและเสริมธาตุอาหาร ที่ความเข้มข้นของสารสกัดที่ 0 0.15 0.31 0.62 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้ระดับการมีชีวิตรอดของเซลล์ลำไส้มนุษย์ที่น้อยที่สุดยังคงสูงถึง 79.04% (สารทดสอบที่ปลอดภัยจะต้องไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 50%) ซึ่งบ่งชี้ว่าปลอดภัยสำหรับการบริโภค โดยสารสกัดจากกรีนโอ๊ค ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 90.19%-112.26% ซึ่งสารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี ที่ความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้เซลล์มีแนวโน้มการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นมากที่สุด และสารสกัดจากเรดโอ๊ค ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 79.04%-118.20% โดยสารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กที่ความเข้มข้น 0.62 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้เซลล์มีแนวโน้มการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่สารสกัดเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสีที่ความเข้มข้นสูงสุด (5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ทำให้เซลล์มีแนวโน้มการเจริญเติบโตลดลง 20.96% และสารสกัดจากบัตเตอร์เฮด ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 99.63%-154.40% โดยสารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กที่ความเข้มข้นสูงสุด ทำให้เซลล์มีแนวโน้มการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นมากที่สุด จึงสรุปได้ว่า การเสริมธาตุเหล็ก การเสริมธาตุสังกะสี และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ผักสลัดเจริญเติบโตได้ตามปกติ และมีคุณภาพมากขึ้น ด้วยปริมาณเหล็กและสังกะสีที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีปริมาณโพแทสเซียมลดลง และมีปริมาณไนเตรตไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป และปลอดภัยต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของผักสลัด และพัฒนาเป็นผักทางเลือกเพื่อสุขภาพ (functional vegetable) ได้ในอนาคต

Thesis Title	Role of Iron and Zinc on Growth and Nutrient Content of Lettuce in Hydroponic System
Author	Ms. Hutthaya Khongsuk
Major Program	Soil Resources Management
Academic Year	2021

## ABSTRACT

Nowadays, consumers have a demand for hydroponic lettuce which is safe from pesticide and contain beneficial nutrition. Especially iron and zinc are necessary for plants and the human body, and an inadequate daily intake of iron and zinc is a widespread problem. The objective of this study was to investigate the effects of iron and zinc fortification in the hydroponic system on the growth, nitrate, and nutrient content of lettuce and the effect of iron and zinc fortified lettuce on human primary colon cells (T4056). The experiment design was a completely randomized design, CRD with 3 experiments 1) Effect of iron-fortified with B-Veggie bio-agent on lettuce growth in flood roots system. 2) Effect iron and zinc fortified on the growth and quality of lettuce in the deep root floating technique, DRFT system. 3) Effect of nutrient fortified lettuce on primary human colon cells. The result showed that the B-Veggie bio-agent promotes lettuce growth and increases their high iron tolerance ability. Green oak and frillice iceberg, with the use of B-Veggie bio-agent, fortified with iron at 8.83 mg/L can grow normally compared to the unfortified green oak and frillice iceberg. Iron-fortified (8.83 mg/L) increased iron content in 5 lettuces (green cos, frillice iceberg, green oak, red oak, and butterhead) 1.10-1.27 times, with frillice iceberg obtaining the highest iron content (16.70 mg/kg fresh weight), but the amount of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and zinc tends to decrease. Zinc fortified (21.15 mg/L) increased zinc content in 5 lettuces 4.68-6.05 times, with green oak the highest zinc content (16.70 mg/kg fresh weight), but the amount of nitrate and iron tends to decrease. Iron with zinc fortified (4.42 mg/L and 10.58 mg/L, respectively) make butterhead growth and iron content similarly to the unfortified one and increased the zinc content of butterhead around 2 times. With the MTT cytotoxicity test, the extract of 3 lettuces (green oak, red oak, and butterhead) at 0 0.15 0.31 0.62 1.25 2.5 and 5 mg/mL with nutrients fortified and unfortified



management. The result showed that the survival of human primary colon cells at the lowest level remains as high as 79.04% (the safety extract must not decrease the cell viability to less than 50%). It indicated the safety of lettuce for consumption. Green oak extract keeps the percentage of cell survival in the range of 90.19%-112.26%. The zinc fortified green oak extract at 2.5 mg/mL evoked cells to the highest growth level. Red oak extract keeps the percentage of cell survival in the range of 79.04%-118.20%. The iron-fortified red oak extract at 0.62 mg/mL evoked cells to the highest growth level, but the zinc-fortified red oak extract at the highest concentration decreased the percentage of cell survival by 20.96%. Butterhead extract keeps the percentage of cell survival in the range of 99.63%-154.40%. The iron-fortified butterhead extract at the highest concentration evoked cells to the highest growth level. In conclusion, iron and zinc fortified lettuce grows normally with high quality and high iron and zinc content, along with the low potassium content and nitrate below the EFSA standard. The fortified lettuce was also safe for the primary colon cells cell. It could be upgraded to a functional vegetable in the future.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำตักเตือน และข้อคิดในด้านต่าง ๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ แก้ไข และชี้แนะแนวทาง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ ดร. สุพรรณษา กังเซ่ง ที่กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และให้ความรู้ด้านการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ จนจบปฏิบัติการ ตลอดจนถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ขาวมี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชมาภรณ์ แสงงาม กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่คอยให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติภาคใต้ ที่อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ สารเคมี และสถานที่สำหรับผลิตผักสลัดที่ใช้ในการวิจัย รวมไปถึงทุนสนับสนุนในการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 2 ที่ให้การสนับสนุนทุนจัดทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณภาคีวิชา นวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนเรียนดี สำหรับเข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา และขอขอบคุณภาควิชาเภสัชวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ และอุปกรณ์ ดำเนินในการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการทุกท่านที่ได้มอบความรู้ และประสิทธิ์ประสาทเนื้อหาทางวิชาการด้านต่างๆ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่สนับสนุนให้มีโอกาสทางการศึกษา รวมทั้งเป็นแรงผลักดันที่สำคัญ ทำให้มีกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

หัตถยา คงสุข

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพ	(12)
รายการตารางผนวก	(16)
รายการภาพผนวก	(17)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำตั้งเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	24
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	24
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	25
วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	25
วิธีการทดลอง	29
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	36
3. ผลการทดลอง	37
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	79
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	112
เอกสารอ้างอิง	114
ภาคผนวก	137
ประวัติผู้เขียน	158

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเจริญเติบโตของผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie	37
2	การเจริญเติบโต และปริมาณไนโตรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม	44

	ในผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและเสริมธาตุเหล็ก	
3	ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีสและทองแดง ในผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและเสริมธาตุเหล็ก	45
4	สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบที่มีความแตกต่างทางสถิติในผักสลัด ที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติเสริมธาตุเหล็ก (n=5)	46
5	การเจริญเติบโต และปริมาณไนเตรต ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสีและเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	51
6	ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีสและทองแดง ในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสีและเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	52
7	สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบที่มีความแตกต่างทางสถิติในผักสลัด เสริมธาตุสังกะสีและเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (n=5)	53

### รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของผักสลัด กรีนโอ๊ค (A) เรดโอ๊ค (B) กรีนคอส (C) บัตเตอร์เฮด (D) และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก (E)	4
2	การปลูกผักสลัดในระบบ nutrient film technique, NFT	6
3	การปลูกผักสลัดในระบบ deep root floating technique, DRFT	6
4	การปลูกผักสลัดในระบบ deep water culture, DWC	7
5	ลักษณะการเกิดโรคในผักสลัด โรคใบจุด (A) โรครากเน่า (B)	8
6	การก่อตัวของสารประกอบเอ็นไนโตรโซ (N-nitroso compounds) จาก ไนเตรต-ไนไตรต์-และไนทริกออกไซด์	18
7	การย่อยสลายไนเตรตในระบบทางเดินอาหาร	20
8	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ MTT ที่ถูกรีดิวซ์เป็น Formazan โดย กระบวนการ Mitochondrial Reductase จากเซลล์ที่มีชีวิต	24
9	ลักษณะของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ใช้ชีวภัณฑ์ (A) กรีนโอ๊คที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ (B) ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้ชีวภัณฑ์ (C) และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ (D) เมื่อทดสอบเสริมธาตุเหล็กที่ระดับต่างกัน	39
10	น้ำนักสดหลังตัดแต่งของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	56
11	น้ำนักสดส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	56

### รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	น้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และ บัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	57
13	น้ำหนักลำต้นสดของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	58
14	น้ำหนักลำต้นแห้งของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	58
15	น้ำหนักรากสดของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	59
16	น้ำหนักรากแห้งของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	59
17	ลักษณะผักสลัดกรีนโอ๊คที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	60
18	ลักษณะผักสลัดเรดโอ๊คที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	61
19	ลักษณะผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	61

### รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ปริมาณไนเตรตในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	62
21	ปริมาณไนโตรเจน (A) ฟอสฟอรัส (B) และโพแทสเซียม (C) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	65
22	ปริมาณแคลเซียม (A) และแมกนีเซียม (B) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	67
23	ปริมาณเหล็ก (A) และสังกะสี (B) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	70
24	ปริมาณแมงกานีส (A) และทองแดง (B) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี	71
25	ลักษณะของเซลล์ลำไส้มนุษย์ (primary colon cells) ที่ใช้ในการทดสอบที่กำลังขยาย 10X (A) และ 20X (B)	72

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ ของสารสกัดจากผักสลัดกรีนโอ๊คที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	74
27	ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ ของสารสกัดจากผักสลัดเรดโอ๊คที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	77
28	ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ ของสารสกัดจากผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	78



## รายการตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	โภชนาการของผักสลัด	141
2	ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563	143
2.1	ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมอ้างอิง ที่ควรได้รับต่อวัน	143
2.2	ปริมาณเหล็ก สังกะสี และแมงกานีสอ้างอิงที่ควรได้รับต่อวัน	144
3	ภูมิอากาศของแปลงทดสอบในแต่ละการทดลอง	145
3.1	ภูมิอากาศประจำเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560	145
3.2	ภูมิอากาศประจำเดือน มีนาคม พ.ศ. 2560	146
3.3	ภูมิอากาศประจำเดือน มกราคม พ.ศ. 2561	147
3.4	ภูมิอากาศประจำเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561	149
3.5	ภูมิอากาศประจำเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2562	150
3.6	ภูมิอากาศประจำเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562	151
3.7	ภูมิอากาศประจำเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2562	152
4	สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบ	154
4.1	สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืช ในอัตราปกติ (n=5)	154
4.2	สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดเสริมธาตุเหล็ก	155
4.3	สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี	156
4.4	สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับ สังกะสี	157

## รายการภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร	138
2	ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อทดสอบความมีชีวิตรอดของเซลล์	138
3	ใบรับรองของเซลล์ลำไส้มนุษย์ (primary colon cells) ที่ใช้ในการทดสอบ	139
4	ภาชนะสำหรับเลี้ยงเซลล์และจานเพาะเลี้ยงแบบ 96 หลุม	140
5	ขั้นตอนการทดสอบสารกับเซลล์ลำไส้มนุษย์	140
6	ขั้นตอนการตรวจจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต	140

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. บทนำต้นเรื่อง

จากกระแสรักสุขภาพในยุคปัจจุบัน ผู้บริโภคมีความตระหนักถึงความปลอดภัยและคุณค่าของอาหารที่บริโภค ทำให้ความต้องการผักไฮโดรโปนิคส์มีมากขึ้น การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์จึงได้รับความนิยมนำขึ้นเช่นกัน (อัจฉรา และคณะ, 2559) ระบบไฮโดรโปนิคส์ เป็นระบบที่สามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี ใช้พื้นที่ปลูกน้อย มีการใช้น้ำและจัดการธาตุอาหารที่พืชต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้ พืชที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นประเภทกินใบ โดยเฉพาะผักสลัด หรือผักในตระกูลผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ซึ่งผักสลัดที่ปลูกในประเทศไทยสามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะเด่นได้ดังนี้ 1) กลุ่มคอสมอส (cos) หรือโรมเมน (romaine) แผ่นใบใหญ่ ก้านใบหนา และลำต้นใหญ่ เช่น กรีนคอสมอส 2) กลุ่มคริสป์เฮด (crisphead) ใบห่อเข้าหากัน ใบบางกรอบ และขอบใบหยัก เช่น ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก 3) กลุ่มลีฟ (leaf) ไม่มีการห่อหัว ใบหยักเป็นคลื่นหรือย่น เช่น กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค 4) กลุ่มบัตเตอร์เฮด (butterhead) เป็นพวกห่อหัวเข้าหากันอย่างหลวม ๆ ใบข้างนอกมีสีเขียว ข้างในสีขาวหรือสีเหลือง เช่น บัตเตอร์เฮด เป็นต้น (กัมปนาท, 2561) ผักสลัดเป็นแหล่งที่มาของวิตามิน ธาตุอาหาร และสารพฤกษเคมีหลากหลายชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยทั่วไปแล้ว มนุษย์ควรบริโภคผักและผลไม้วันละไม่ต่ำกว่า 400 กรัม (Butryee, 2020) แต่ประชากรไทยร้อยละ 65.5 (53 ล้านคน) บริโภคผักและผลไม้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (Phulkard *et al.*, 2020) ด้วยส่วนหนึ่งผู้บริโภคมีความกังวลในเรื่องของไนเตรตตกค้าง และการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช แต่การผลิตผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิคส์ สามารถควบคุมปริมาณไนเตรตให้อยู่ในช่วงไม่เกินค่ามาตรฐานของไนเตรตของผักสลัดตามฤดูกาลและระบบปลูกที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป โดยให้ผักสลัดทั่วไปที่ปลูกกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาคลุม ที่เก็บเกี่ยวในช่วงวันที่ 1 ตุลาคม ถึง 31 มีนาคม ควรมียุทธศาสตร์ไนเตรตไม่เกิน 4,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ที่เก็บเกี่ยวในช่วงวันที่ 1 พฤษภาคม ถึง 30 กันยายน ควรมียุทธศาสตร์ไนเตรตไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และผักสลัดกลุ่มไอซ์เบิร์กที่ปลูกกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาคลุมในทุกฤดูกาล ควรมียุทธศาสตร์ไนเตรตไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และแทนที่การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชด้วยนวัตกรรมทางชีววิธี โดยการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เพื่อป้องกันและควบคุมโรครากเน่าและใบจุด และใช้เชื้อราบิวเวอร์เรีย (*Beauveria bassiana*) เพื่อควบคุมแมลงศัตรูผัก (อัจฉรา และคณะ, 2564)

ธาตุเหล็กและสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช หากพืชได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอจะแสดงอาการซีดเหลืองที่ใบอ่อน (Rout and Sahoo, 2015) และแสดงอาการขาดสังกะสีโดยใบอ่อนมีขนาดเล็กกว่าปกติ สีเหลืองซีดมีจุดสีแดงขึ้นตามแผ่นใบ รากสั้น ลำต้นแคระแกร็น และเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อระบบการทำงานของร่างกายมนุษย์ ร่างกายควรได้รับเหล็กและสังกะสี 5.0-16.0 และ 2.7-15.0 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563) อย่างไรก็ตาม พบว่าประชากรโลกมากกว่า 6 พันล้านคนกำลังขาดธาตุเหล็ก และมากกว่า 2 พันล้านคนกำลังขาดธาตุสังกะสี (Das *et al.*, 2019; Stelle *et al.*, 2019) ซึ่งแนวทางบรรเทาปัญหาดังกล่าวที่น่าสนใจ คือการเสริมธาตุอาหารในพืชเพื่อการบริโภค ด้วยกระบวนการไบโอฟอร์ติฟิเคชัน (biofortification) (วิสิฐ, 2553; Garg *et al.*, 2018) และการปลูกผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิคส์ สามารถเสริมปริมาณธาตุเหล็กหรือสังกะสีในผัก ด้วยกระบวนการไบโอฟอร์ติฟิเคชันได้ (Sago *et al.*, 2018; Giordano *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตาม ผักสลัดแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโต และการสะสมธาตุอาหารที่แตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) จึงนำมาสู่การศึกษาบทบาทของเหล็กและสังกะสี ที่มีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อให้ได้แนวทางเสริมธาตุอาหารที่เหมาะสมกับผักสลัดแต่ละชนิด และได้ผักสลัดที่เจริญเติบโตดี มีคุณภาพ มีปริมาณไนเตรตไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของสหภาพยุโรป มีธาตุอาหารที่มีประโยชน์ มีปริมาณเหล็กและสังกะสีสูง อย่างไรก็ตาม ผักสลัดที่ใช้บริโภคส่วนใหญ่ ยังไม่มีข้อมูลจากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity screening) มากนัก จึงควรมีการทดสอบด้านความปลอดภัยในระดับเซลล์ สำหรับยืนยันความปลอดภัยในเบื้องต้น เพื่อให้ได้ผลผลิตผักสลัดที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และเพิ่มมูลค่าของผักสลัดได้อีกทางหนึ่งด้วย

## 2. ตรวจสอบเอกสาร

### 2.1 การผลิตผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิคส์

#### 2.1.1 ผักสลัด

ผักสลัด หรือ ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป (กัมปนาท, 2561) และยังเป็นผักที่ได้รับความนิยมทั่วโลก ด้วยค่าเฉลี่ยการบริโภคต่อวันคือ 22.5 กรัมต่อคน ในทวีปยุโรป (Pinto *et al.*, 2015) ผักสลัดเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย มีธาตุอาหารที่มีประโยชน์ครบถ้วน มีเส้นใยที่ดีต่อระบบขับถ่าย มีสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ช่วยส่งเสริมในส่วนของสุขภาพและระบบประสาท (Li *et al.*, 2010) และสามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี จึงนับเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ที่นับวันจะทวีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ชัยมงคล, 2556)

#### 2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักสลัด

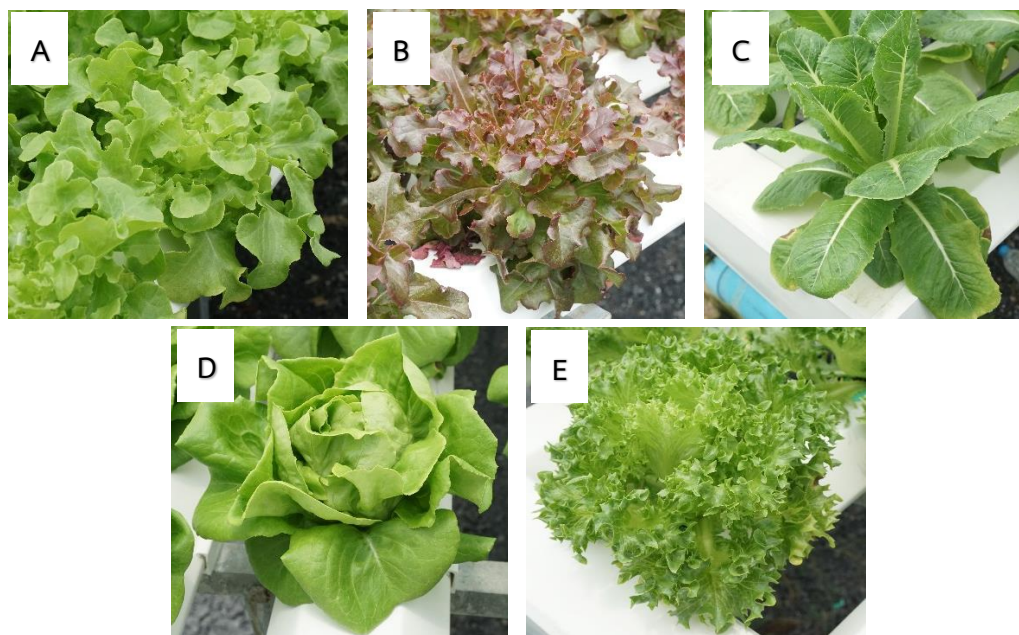
ผักสลัดมีรากที่เป็นระบบรากแก้ว อยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ลำต้นจะเห็นชัดในระยะแทงช่อดอก ลักษณะลำต้นผักสลัดจะตั้งตรงอวบอ้วนเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบและใบจะแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง ไปจนถึงสีเขียวแก่หรือมีสีแดงหรือน้ำตาลปนอยู่ ชนิดที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา เนื้อใบบอนนุ่ม ใบจะห่อหัวอัดกันแน่น คล้ายกะหล่ำปลี ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก ขนาดและรูปร่างของใบแตกต่างกันตามชนิด ดอกมีลักษณะเป็นช่อแบบที่เรียกว่า panicle เป็นดอกสมบูรณ์เพศ เมล็ดเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว เจริญมาจากรังไข่อันเดียว มีเปลือกบางหุ้ม มีลักษณะแบน ยาว หัวท้ายแหลม เป็นรูปหอก มีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด มีสีเทาปนครีม ขนาดประมาณ 1 × 4 มิลลิเมตร สายพันธุ์หรือชนิดผักสลัดที่นิยมปลูกในประเทศไทย (กัมปนาท, 2561) แบ่งตามลักษณะเด่นได้ 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1. ลีฟ (leaf) หรือลูสลีฟ (loose leaf) หรือลูสเฮด (loose head) ได้แก่ผักสลัดในกลุ่ม *Lactuca sativa* var. *crispa* เป็นชนิดที่ไม่มีการห่อหัว ใบหยักเป็นคลื่นหรือย่น มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีแดง เช่น กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค กรีนคอรัล เรดคอรัล เป็นต้น

2. คอส (cos) หรือ โรมเมน (romaine) ได้แก่ผักสลัดในกลุ่ม *Lactuca sativa* var. *longifolia* เป็นชนิดที่ลำต้นตั้งสูง ใบบางแคบเรียวยาว มีสีเขียวหรือสีแดง เช่น กรีนคอส เรดคอส เป็นต้น

3. บัตเตอร์เฮด (butterhead) หรือบิบ (bibb) ได้แก่ผักสลัดในกลุ่ม *Lactuca sativa* var. *capitata* เป็นชนิดที่ห่อหัวเข้าหากันอย่างหลวม ๆ ใบข้างนอกมีสีเขียว ข้างในสีขาวหรือเหลือง เช่น บัตเตอร์เฮด เป็นต้น

4. คริสป์เฮด (crisphead) หรือไอซ์เบิร์ก (iceberg) หรือผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว ได้แก่ผักสลัดอีกชนิดที่อยู่ในกลุ่ม *Lactuca sativa* var. *capitata* แต่มีลักษณะบางประการต่างจากบัตเตอร์เฮด มีใบบางกรอบห่อเข้าหากัน และขอบใบหยัก ไม่เรียบ เช่น ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก เป็นต้น



ภาพที่ 1 ลักษณะของผักสลัด กรีนโอ๊ค (A) เรดโอ๊ค (B) กรีนคอส (C) บัตเตอร์เฮด (D) และ ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก (E)

### 2.1.3 โภชนาการของผักสลัด

ผักสลัดคืออาหารประเภทผัก ที่เป็นหนึ่งในอาหารหลักห้าหมู่ มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณ 95-97% (Haytowitz *et al.*, 2018) มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะมีสารอาหารที่มีประโยชน์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุหรือธาตุอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์ (Li *et al.*, 2010) โดยเฉพาะ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และทองแดง ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของการทำงานในปฏิกิริยาหลายชนิดในร่างกาย ช่วยรักษาสสมดุลของสารต่าง ๆ ระหว่างเลือดและเนื้อเยื่อ ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อและระบบประสาททำงานได้ตามปกติ (รัชนิ และริญ, 2554) มีเส้นใยที่มีคุณสมบัติในการช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดและดีต่อระบบขับถ่าย (ทวีทอง, 2545) มีสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยส่งเสริมในส่วนของระบบประสาทและสุขภาพ เช่น สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ โพลีฟีนอล คลอโรฟิลล์ และแอนโธไซยานิน เป็นต้น (ตารางภาคผนวกที่ 1)

การบริโภคผักหรือผลไม้เป็นประจำอย่างต่อเนื่อง ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็ง (ทวีทอง, 2545) และพบว่าการบริโภคผัก

สลัดที่อุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง ลำไส้ใหญ่ และโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือดได้ (Boivin *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2016; Mazewski *et al.*, 2018; Zhou *et al.*, 2019)

#### 2.1.4 ระบบไฮโดรโปนิคส์

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หรือ ไฮโดรโปนิคส์ (hydroponics) เป็นคำผสมระหว่าง ไฮโดร (hydro) ที่หมายถึงน้ำ โปโนส (ponos) ที่หมายถึงการทำงาน และอิกส์ (ics) เมื่อรวมทั้ง 3 คำ เข้าด้วยกันจึงมีความหมายว่า ศาสตร์หรือศิลปะว่าด้วยการทำงานของน้ำ ดังนั้น การปลูกพืชในระบบ ไฮโดรโปนิคส์ จึงหมายถึงการปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช้ดิน และได้รับธาตุอาหารผ่านทางน้ำที่มีธาตุอาหารที่พืชต้องการละลายอยู่ (กรมวิชาการเกษตร, 2558) ข้อดีของระบบไฮโดรโปนิคส์คือ เป็นระบบปลูกที่ผลิตพืชได้ทั้งปี สามารถทำได้ในสภาพพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ไม่มีข้อจำกัดเรื่องน้ำแล้ง น้ำท่วม สารพิษตกค้างและศัตรูพืชในดิน และความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน จึงเป็นระบบปลูกที่สามารถจัดการธาตุอาหารได้ง่าย ทำให้พืชสามารถใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันคนส่วนใหญ่หันมานิยมปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์กันมากขึ้น โดยทั่วไปมีอยู่ 4 ระบบ ได้แก่

1. nutrient film technique, NFT คือ การปลูกพืชในระบบราง โดยแต่ละลำรางมีความกว้างตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร สูงประมาณ 5 เซนติเมตร ราง ความยาวของรางตั้งแต่ 5-10 เมตร ขึ้นกับชนิดของพืชที่ปลูก และให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบาง ๆ เหมือนแผ่นฟิล์ม (ความสูงของสารละลายธาตุอาหารประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) อย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2 การปลูกผักสลัดในระบบ nutrient film technique, NFT

2. deep flow technique, DFT คือ การปลูกพืชในระบบน้ำลึก โดยรากพืชแช่อยู่ในภาชนะ ที่สารละลายธาตุอาหารลึกประมาณ 15- 20 เซนติเมตร มีแผ่นโฟมหรือวัสดุที่ลอยน้ำให้พืชยึดลำต้น และปล่อยให้รากเป็นอิสระในน้ำ อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ระบบไฮโดรโปนิคส์ลอยน้ำ (floating hydroponic systems) คือการปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในภาชนะ หรือรางปลูกที่มีระดับน้ำลึกกว่าระบบ NFT



3. deep root floating technique, DRFT คือ การปลูกพืชในระบบน้ำลึก โดยรากพืชแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความลึกประมาณ 4 เซนติเมตร และให้อากาศไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ปั้มน้ำปั้มน้ำสารละลายธาตุอาหารจากถังบรรจุสารละลาย ขึ้นไปหมุนเวียนในระบบปลูก แล้วไหลผ่านรากพืชในระบบปลูก มาสู่ด้านท้าย ผ่านสื่อดูดปรับน้ำ (nutrient level adjust) ซึ่งทำหน้าที่ปรับระดับความสูงต่ำของสารละลายในระบบปลูก



ภาพที่ 3 การปลูกผักสลัดในระบบ deep root floating technique, DRFT

4. deep water culture, DWC คือ การปลูกพืชในชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผัก ที่สารละลายธาตุอาหารไม่ไหลวน โดยใช้ปั้ลมเป็นตัวให้อากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระบบ



ภาพที่ 4 การปลูกผักสลัดในระบบ deep water culture, DWC

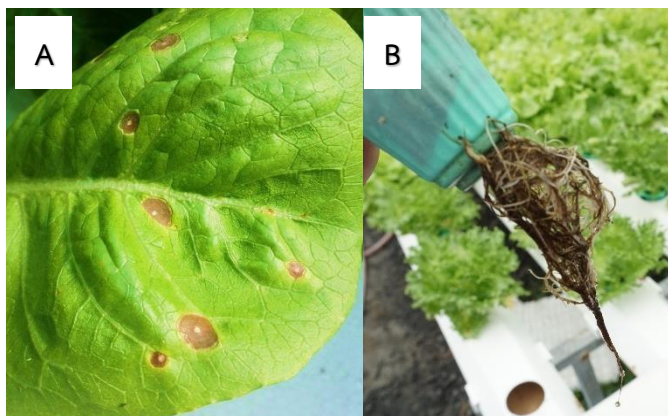
การปลูกผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิคส์ สามารถควบคุมกระบวนการผลิต และจัดการธาตุอาหารได้ง่าย ซึ่งผักจะต้องได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตครบทั้ง 17 ธาตุ โดยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ได้มาจากน้ำและอากาศ ขณะที่ธาตุอื่นอีก 14 ธาตุ จะต้องใส่ใน



สารละลายสำหรับปลูก โดยธาตุอาหารต้องอยู่ในรูปไอออนที่ผักสามารถดูดไปใช้ได้เท่านั้น จึงจะเป็นประโยชน์กับผัก (อัจฉรา และคณะ, 2559) และการปลูกผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิกส์ ให้ผลผลิตที่มีการเจริญเติบโตและคุณภาพค่อนข้างสูงกว่าผักสลัดที่ปลูกในดิน ซึ่งจากการศึกษาของ Lei and Engeseth (2021) พบว่าผักสลัดอายุ 35 วันที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ มีขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักส่วนเหนือดิน ขนาดใบ และความยาวราก มากกว่าผักสลัดอายุ 35 วันที่ปลูกในดิน และผักสลัดในกลุ่มคอส (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ มีผลผลิต ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solids) โปรตีน และเส้นใย (crude fiber) มากกว่าคอสที่ปลูกในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (Majid *et al.*, 2021) นอกจากนี้ การปลูกผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิกส์ สามารถลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรได้เช่นกัน

### 2.1.5 การเกิดโรคในผักสลัดและการใช้ชีวภัณฑ์ *Bacillus* spp.

ผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ มักประสบกับการเข้าทำลายโดยเชื้อโรคพืช เนื่องจากเป็นระบบปลูกที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการแพร่ระบาดของเชื้อโรคพืช (Menzies and Bélanger, 1996) โดยทั่วไปมักเป็นโรคที่เกิดกับใบและรากของผักสลัด เพราะเชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิดแพร่ระบาดมาทางอากาศ หรืออาจติดมากับน้ำ วัสดุปลูก เมล็ดพันธุ์ เข้าไปปนเปื้อนในระบบจ่ายสารละลายธาตุอาหารพืช สำหรับเชื้อสาเหตุโรคพืชที่แพร่ระบาดมาทางอากาศ เมื่อตกลงบนผักสลัด จะงอก germ tube และเจริญต่อไปเป็นเส้นใยเติบโตเข้าไปในพืชผ่านช่องเปิดตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการติดเชื้อที่ใบ เช่น เชื้อ *Alternaria* sp. ที่เป็นสาเหตุของโรคใบจุด (พรหมมาศ, 2550) ที่มักเกิดในบริเวณใบแก่และใบล่างของต้น ลักษณะอาการของโรคเริ่มจากการเกิดแผลจุดสีเหลืองขึ้นบนแผ่นใบ ต่อมาแผลค่อย ๆ โตขึ้น เป็นแผลแห้งสีน้ำตาลเป็นวงกลมเรียงซ้อนกันหลายวง เห็นได้ชัดเจนบริเวณด้านบนของแผ่นใบ ขนาดของแผลโรคใบจุด มีตั้งแต่ขนาดเล็ก ไปจนถึงขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 นิ้ว (ภาพที่ 5A) ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเข้าทำลายและสายพันธุ์ของพืช ในส่วนเชื้อสาเหตุโรคพืชที่ปนเปื้อนในระบบจ่ายสารละลายธาตุอาหารพืช เมื่อสัมผัสกับรากผักสลัด ทำให้เกิดการติดเชื้อที่บริเวณราก เช่น เชื้อ *Pythium* sp. ที่เป็นสาเหตุของโรครากเน่า (Menzies *et al.*, 1996) ลักษณะอาการของโรคคือรากมีสีน้ำตาลถึงดำ เน่า รากเกิดใหม่สั้นกุดและแผ่ขยายได้น้อย สร้างความเสียหายให้กับรากของผักสลัดอย่างรุนแรง (ภาพที่ 5B) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของผักสลัดลดลง โดยในสภาพที่เชื้อแพร่กระจายและมีการเข้าทำลายทำให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นของผักสลัดลดลงจากปกติประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ (พรหมมาศ, 2548)



ภาพที่ 5 ลักษณะการเกิดโรคในผักสลัด โรคใบจุด (A) โรครากเน่า (B)  
ที่มา : อัจฉรา, 2564

นอกจากปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ การที่พืชได้รับธาตุอาหารในระดับที่ไม่เพียงพอหรือไม่สมดุล อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พืชอ่อนแอ ส่งผลให้เชื้อสาเหตุโรคพืชสามารถเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น (Spann *et al.*, 2010) แต่ปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอและสมดุล ทำให้พืชแข็งแรงและมีความต้านทานโรคเพิ่มขึ้น (Snoeijers *et al.*, 2000; Walters and Bingham, 2007) ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณของธาตุอาหาร และมีแนวทางป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช เพื่อลดความเสียหายของผลผลิตผักสลัด โดยอาจมีการใช้สารเคมีหรือใช้สิ่งมีชีวิตควบคุมสิ่งมีชีวิตด้วยกันเอง เช่น จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ *Bacillus subtilis* ที่มีคุณสมบัติในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรครากเน่า และโรคใบจุด เป็นต้น (วานิด, 2553; กฤติเดช และดุสิต, 2559; อัจฉรา และคณะ, 2564)

จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ คือจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดโรคต่อคนหรือสัตว์ มีความสามารถในการต่อต้านหรือควบคุมเชื้อราและแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคพืช (อัจฉรา และคณะ, 2553) จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ มีกลไกการยับยั้งหรือควบคุมเชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืชอยู่ 4 รูปแบบ (นิพนธ์, 2553) คือ

1) การทำลายชีวิต (antibiosis) เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ *Bacillus subtilis* สามารถสร้างสารปฏิชีวนะ เช่น subtilin, bacillin, bacillomycin, subtenolin, mycosubtilin, toximycin, bacitracin, xanthobacidin, iturin, subtilosin และ subsporin complex ทำให้ความรุนแรงของโรคราสนิมในข้าวสาลีลดลงถึง 57.14% (Eldoksch *et al.*, 2001) และ *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ TRV 9-5-2 สามารถสร้างสารปฏิปักษ์ในการยับยั้งเส้นใยของเชื้อโรคพืช *Rhizoctonia solani* สาเหตุโรคใบไหม้ของถั่วหรั่ง (*Vigna subterranea*) ลงได้ (Pengnoo *et al.*, 2006)

2) การแข่งขัน (competition) ความสามารถในการเจริญเติบโต และครอบครองพื้นที่ได้เร็วของ *Bacillus subtilis* ส่งผลให้เชื้อสาเหตุโรคพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ เพราะ

โดนแย่งใช้พื้นที่ น้ำ ธาตุอาหาร อากาศ และปัจจัยในการเจริญเติบโตไปก่อน โอกาสในการก่อโรคของเชื้อสาเหตุโรคพืชลดลงได้ โดย Bautista และคณะ (2014) รายงานว่า *Bacillus subtilis* สามารถยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ ด้วยการผลิตสารที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขันให้กับตัวเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์เอง เช่นสาร linear polyketide หรือ nonribosomal peptide เป็นต้น

3) การเป็นปรสิต (parasitism) คุณสมบัติในการเป็นปรสิตเกิดขึ้นโดย เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ สามารถสร้างเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อสาเหตุโรคพืช เช่น  $\beta$ -1 glucanase, 3-glucanase, 4- glucanase, protease และ chitinase ทำให้เชื้อสาเหตุโรคพืชอ่อนแอและตาย เช่นเดียวกันกับแบคทีเรีย *Bacillus* sp. (739) ที่สามารถสร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อรา *Bipolaris sorokiniana* ที่เป็นเชื้อสาเหตุของโรคใบจุดในข้าวลงได้ (Aktuganov et al., 2007)

4) การชักนำให้ต้านทานต่อโรค (induced host resistance) จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ มีความสามารถในการกระตุ้น หรือชักนำให้พืชมีความทนทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืชได้ (จิระเดช, 2546) โดย กฤติเดช และ ดุสิต (2559) รายงานว่าผักกาดฮ่องเต้ที่ปลูกโดยใช้ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* มีการสะสม indole-3-acetic acid (IAA) ภายในลำต้น 11.2-12.3 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม น้ำหนักสด และส่งเสริมให้ต้นกล้าอายุ 14 วัน มีความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง 11.8-12.1 เซนติเมตร 3.7-3.8 เซนติเมตร 13.7-14.0 กรัม และ 3.2-3.5 กรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ (*Brassica chinensis* var. *chinensis*) ที่ปลูกโดยใช้สารเคมี ที่มีความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 9.1 เซนติเมตร 2.9 เซนติเมตร 8.5 กรัม และ 2.3 กรัม ตามลำดับ รวมทั้งยังสามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืช ตลอดจนลดความเสียหายจากด้วงหมัดกระโดดและหนอนใยผักได้

นอกจากนี้ *Bacillus subtilis* ยังเป็นแบคทีเรียที่พบโดยทั่วไปในธรรมชาติทั้งในดิน น้ำ และบริเวณรอบรากพืช เจริญเติบโตเร็ว เลี้ยงง่าย ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่มีความแห้งแล้ง อุณหภูมิสูงและความเค็มสูงได้ดี อีกทั้งเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่สร้างเส้นใย ทำให้สะดวกต่อการเพิ่มปริมาณเชื้อและพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ (Obagwu and Korsten, 2003) การควบคุมโดยชีววิธีด้วยแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus subtilis* จึงเป็นที่นิยม เพราะควบคุมได้ทั้งเชื้อรา *Pythium* spp. ซึ่งเป็นสาเหตุของโรครากเน่า และ *Alternaria* spp. เชื้อราสาเหตุโรคใบจุดของผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิกส์ และพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ B-Veggie แบบแกรนูล เพื่อให้สะดวกสำหรับนำไปใช้ มีการรอดชีวิตสูงเป็นเวลานาน และมีต้นทุนการผลิตต่ำ นำมาใช้ทดแทนสารเคมีควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ (อััจฉรา และคณะ, 2553)

## 2.2 ธาตุอาหารในผักสลัด

ธาตุอาหารที่ผักสลัดต้องการมีทั้งหมด 17 ธาตุ จำแนกเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่ต้องการใช้

### 2.2.1 ธาตุอาหารที่ต้องการปริมาณมาก

1. คาร์บอน ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผักสลัด เช่น แปป และเซลลูโลส ผักสลัดได้รับคาร์บอนมากจากการสังเคราะห์ด้วยแสง และรับคาร์บอนไดออกไซด์มาจากอากาศ โดยคาร์บอนส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรตสำหรับสะสมพลังงาน (ยงยุทธ, 2558)

2. ไฮโดรเจน เป็นส่วนสำคัญในการสร้างน้ำตาล และการเติบโตของผักสลัด. ผักสลัดได้รับไฮโดรเจนส่วนใหญ่จากน้ำ โดยผักสลัดมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 95-96% (รัชณี และริญ, 2554; Haytowitz et al., 2018)

3. ออกซิเจน เป็นส่วนสำคัญสำหรับกระบวนการหายใจ และสร้างสารให้พลังงาน ATP จากการใช้น้ำตาลที่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ผักสลัดสร้างออกซิเจนขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อที่จะสร้างน้ำตาล และใช้ออกซิเจนในการกระบวนการหายใจเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็น ATP (ยงยุทธ, 2558)

4. ไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีบทบาทมากในการเจริญเติบโตของผักสลัด เป็นองค์ประกอบของสารหลายชนิด เช่น โปรตีนที่อยู่ใน protoplasm เอนไซม์ที่ช่วยเร่งและควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ นิวคลีโอโปรตีน ที่เป็นสารสำคัญเกี่ยวกับระบบพันธุกรรมพืช และเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช หน้าที่สำคัญของธาตุไนโตรเจน ได้แก่ ช่วยกระตุ้นให้ผักสลัดเจริญเติบโต ทำให้ผักสลัดมีใบสีเขียว เพิ่มปริมาณโปรตีน และควบคุมการสะสมอาหารของผักสลัด โดยผักสลัดดูดใช้ไนโตรเจนในรูปไนเตรตไอออน ( $\text{NO}_3^-$ ) และแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) หากผักสลัดขาดไนโตรเจน จะแสดงอาการเริ่มจากใบล่างเหลืองผิดปกติ ทำให้ได้ผลผลิตคุณภาพต่ำ แต่หากผักสลัดได้รับไนโตรเจนมากเกินไป ผักสลัดจะแสดงอาการโตช้ากว่าปกติ บวมน้ำ ลำต้นอ่อน หักง่าย เพราะปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปทำให้พืชสร้างโปรตีน ที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนพลาสซึมมากขึ้น ส่งผลให้ผักสลัดอวบน้ำ และทำให้พืชสร้างคาร์โบไฮเดรตลดลง ไม่เพียงพอต่อการสร้างเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์บางลง (ยงยุทธ, 2558)

5. ฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบของสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญของผักสลัด และเป็นธาตุที่เป็นตัวถ่ายทอดพลังงานจากสารหนึ่งไปยังสารอื่น ๆ ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อผักสลัด คือช่วยส่งเสริมการงอกของรากผักสลัดในระยะแรกของการเจริญเติบโต ช่วยเร่งให้ผักสลัดโตเร็ว และช่วยให้รากผักสลัดดูดดูดโพแทสเซียมมาใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ผักสลัดดูดใช้ฟอสฟอรัสในรูป ออร์โธฟอสเฟต ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) หากขาดฟอสฟอรัส ผักสลัดจะเริ่มแสดงอาการจากส่วนล่างหรือส่วนที่แก่ก่อน โดยมีการเจริญเติบโตจำกัดและแคระแกร็น การแพร่กระจายของรากมีน้อย เป็นต้น (ยงยุทธ, 2558)

6. โพแทสเซียม เป็นธาตุที่มีบทบาทในกระบวนการต่าง ๆ หลายกระบวนการในพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ และยังเป็นตัวกระตุ้นให้เอนไซม์หลายชนิดในพืชทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ธาตุโพแทสเซียมจะพบมากตามปลายราก ยอด และส่วนที่กำลัง

เจริญเติบโตของพืช ช่วยส่งเสริมการสร้างและการขนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากและใบ โพแทสเซียมจึงทำให้ผักสลัดมีลำต้นแข็งแรง ไม่หักง่าย และมีความต้านทานโรคบางชนิดเพิ่มขึ้น (Walters and Bingham, 2007) ผักสลัดดูดใช้โพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) หากขาดโพแทสเซียม ผักสลัดจะเริ่มแสดงอาการจากใบล่างหรือใบที่แก่ก่อน ขอบใบผักสลัดจะเหลือง แล้วกลายเป็นสีน้ำตาลจากปลายใบเข้าสู่กลางใบ ส่งผลให้ผักสลัดมีความอ่อนแอ ความต้านทานโรคลดน้อยลง หักล้มง่ายเนื่องจากรากเน่าหรือลำต้นอ่อน (ยงยุทธ, 2558)

7. แคลเซียม เป็นหนึ่งธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์พืช อยู่ในรูปของ calcium pectate ซึ่งจำเป็นต่อการแบ่งเซลล์ของพืช เป็นตัวยับยั้งฤทธิ์ของสารออกซิน (auxin) ที่เป็นสารเร่งการขยายตัวของเซลล์พืช หากขาดแคลเซียม จะทำให้เซลล์พืชยืดยาวผิดปกติ และเป็นธาตุที่ช่วยในการสร้างโปรตีน เพราะแคลเซียมทำให้พืชดูดไนโตรเจนได้มากขึ้น (Nichols. and Beardsell., 1981) ผักสลัดดูดใช้แคลเซียมในรูปแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) อาการขาดธาตุแคลเซียมมักเริ่มที่ส่วนอ่อนหรือส่วนที่อยู่ใกล้ ๆ ยอดอ่อน โดยยอดของผักสลัดจะลีบเล็กและหงิกงอ ใบอ่อนจะม้วนงอ โดยที่ขอบใบทั้งสองม้วนเข้าหากัน แต่ปลายใบจะหงิกงอมนไปทางด้านหลังของใบ บางครั้งอาจมีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นที่ใบ (ยงยุทธ, 2558)

8. แมกนีเซียม เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ในพืช ผักสลัดดูดใช้แมกนีเซียมในรูปของแมกนีเซียมไอออน ( $Mg^{2+}$ ) หากขาดแมกนีเซียม ใบแก่ของผักสลัดจะเกิดอาการเหลืองระหว่างเส้นใบ ทำให้เห็นเป็นดวงหรือแถบสีเขียว (chlorosis) ระหว่างเส้นใบ แต่เส้นใบ (vein) ยังมีสีเขียวอยู่ หากอาการขาดแมกนีเซียมรุนแรงขึ้น ต่อไปใบจะเปลี่ยนเป็นสีขาวและสีน้ำตาล แล้วตายในที่สุด (ยงยุทธ, 2558)

9. กำมะถัน มีส่วนจำเป็นในการสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิด เช่น cysteine เป็นองค์ประกอบของวิตามิน B1 (thiamine) เป็นองค์ประกอบของสารที่ระเหยได้ (volatile oil) ในพืช ผักสลัดดูดใช้กำมะถันในรูป ซัลเฟตไอออน ( $SO_4^{2-}$ ) หากขาดกำมะถัน ใบผักสลัดจะมีสีเขียวอ่อนหรือเหลืองคล้ายกับอาการขาดไนโตรเจน ใบมีขนาดเล็กกลอง อาการขาดกำมะถันต่างกับการขาดไนโตรเจน คือ การขาดกำมะถันจะเริ่มแสดงอาการขาดจากส่วนยอดลงไป (ยงยุทธ, 2558)

## 2.2.2 ธาตุอาหารที่ต้องการปริมาณน้อย

1. เหล็ก เป็นจุลธาตุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ได้แก่ การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีน การสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช อีกทั้งยังเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์อีกหลายชนิด และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา oxidation และ reduction ในพืช (Rout and Sahoo, 2015) ผักสลัดดูดใช้เหล็ก ในรูปของเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) หากได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอต่อความต้องการ ผักสลัดจะแสดงอาการเหลืองที่ใบอ่อน เนื่องจาก

เหล็ก เป็นจุลธาตุที่เคลื่อนที่ในพืชได้น้อย และเป็นองค์ประกอบของคลอโรพลาสต์ การขาดธาตุเหล็ก ทำให้พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนลดลง ส่งผลให้ใบมีสีเหลืองซีด (ยงยุทธ, 2558)

2. สังกะสี จุลธาตุที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน และเป็นตัวกระตุ้น หรือประกอบเป็นโครงสร้างในเอนไซม์ของพืชจำนวนมาก มีบทบาทในการสร้างคลอโรฟิลล์ เป็นองค์ประกอบอยู่ในเอนไซม์บางชนิด และมีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้าง plant hormone ของพืช ผักสลัดดูดใช้สังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) หากได้รับธาตุสังกะสีไม่เพียงพอ ผักสลัดแสดงอาการขาดสังกะสี โดยใบอ่อนมีขนาดเล็กกว่าปกติ และมีสีเหลืองซีด มีจุดสีแดงขึ้นตามแผ่นใบ รากสั้น และลำต้นแคระแกร็น เนื่องจากสังกะสี เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช อาการขาดจึงมักไปแสดงในส่วนที่กำลังเจริญ เช่น ใบอ่อนหรือราก (ยงยุทธ, 2558)

3. แมงกานีส เป็นตัวควบคุมกระบวนการ oxidation และ reduction ในพืช เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุเหล็ก และมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากเป็นธาตุที่ช่วยในการสร้างคลอโรฟิลล์ และเป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิดในพืช- ผักสลัดดูดใช้แมงกานีสในรูปแมงกานีสไอออน ( $Mn^{2+}$ ) และแมงกานีสไอออน ( $Mn^{3+}$ ) อาการขาดแมงกานีสจะแสดงที่ใบอ่อนของพืช โดยที่ใบจะมีสีเหลืองตามระหว่างเส้นใบ เนื่องจากเป็นบริเวณที่ขาดคลอโรฟิลล์ ส่วนเส้นใบยังมีสีเขียวเป็นปกติ (ยงยุทธ, 2558)

4. ทองแดง ช่วยในกระบวนการหายใจของพืช เป็นองค์ประกอบของโปรตีน เอนไซม์บางชนิด มีหน้าที่ทางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์ ผักสลัดดูดใช้ทองแดงในรูปคิวปรัสไอออน ( $Cu^+$ ) และคิวปริกไอออน ( $Cu^{2+}$ ) อาการขาดธาตุทองแดงจะเริ่มจากใบอ่อน และจะเกิดกับโคนใบมากกว่าปลายใบ โดยอาการที่แสดงให้เห็นคือใบจะมีสีเขียวเข้มผิดปกติ ต่อมาจะค่อย ๆ เหลือง และจำกัดการเจริญเติบโตของพืช ถ้าการขาดรุนแรงใบจะแห้งและร่วง (ยงยุทธ, 2558)

5. โมลิบดีนัม เป็นธาตุที่ช่วยทำให้พืชดูดไนโตรเจนได้ดีขึ้น และเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการสร้างคลอโรฟิลล์และเอนไซม์บางชนิดในพืช รูปของโมลิบดีนัมที่ผักสลัดใช้ได้ คือ โมลิบเดตไอออน ( $MoO_4$ ) อาการขาดโมลิบดีนัมจะปรากฏในตอนกลางของลำต้นก่อน อาการที่สังเกตได้คือ ขอบใบจะม้วนขึ้น ปลายใบอาจจะมีไหม้โดยเฉพาะใบแก่ ต่อมาใบจะเหี่ยว และลูกกลมมากขึ้น จนกระทั่งพืชตายในที่สุด (ยงยุทธ, 2558)

6. โบรอน เป็นธาตุที่ช่วยในการสร้างโปรตีนในพืช และช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารอื่น ๆ ผักสลัดดูดใช้โบรอนในรูปบอเรตไอออน ( $BO_3^{3-}$ ) อาการขาดธาตุโบรอนจะแสดงที่ส่วนยอดที่อ่อนที่สุด โดยอาการที่สังเกตได้คือส่วนยอดจะชะงักการเจริญเติบโต แคระแกร็น ใบมีสีเหลืองหรือสีแดง หรือแห้งตาย หากผ่าดูภายในจะเห็นมีจุดสีน้ำตาลหรือสีดำ (ยงยุทธ, 2558)

7. คลอรีน เป็นองค์ประกอบอยู่ใน soluble salt ที่มีผลต่อ osmotic pressure ในพืช รูปของคลอรีนที่เป็นประโยชน์ต่อผักสลัดคือคลอรีนไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) อาการขาดคลอรีนจะแสดงให้เห็นโดยปลายใบจะเหี่ยวในขณะที่ใบยังอ่อนอยู่ ต่อมาใบจะมีสีซีดหรือเหลืองและมีรอยไหม้เป็นรอยต่าง ๆ ตามบริเวณขอบใบที่เหี่ยว (ยงยุทธ, 2558)

8. นิกเกิล เป็นธาตุอาหารทำสำคัญต่อเอนไซม์ ทำหน้าที่ปลดปล่อยไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ และช่วยในกระบวนการงอกของเมล็ด ผักสลัดดูดใช้นิกเกิลในรูปนิกเกิลไอออน ( $\text{Ni}^{2+}$ ) (ยงยุทธ, 2558) การได้รับนิกเกิลไม่เพียงพออาจทำให้พืชใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนได้ลดลง (Polacco *et al.*, 2013)

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมธาตุอาหารในผักสลัด

### 2.3.1 ชนิดและพันธุ์ของผักสลัด

ผักสลัดแต่ละชนิดต้องการธาตุอาหารแตกต่างกัน โดยเฉพาะผักสลัดที่มีลักษณะทางสรีระใหญ่ แผ่นใบกว้าง ก้านใบหนา เช่น กรีนคอส อาจต้องการไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมากกว่าผักสลัดชนิดอื่น Kim และคณะ (2016) รายงานว่าผักสลัดในกลุ่มคอส (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) เช่น กรีนคอส มีไฟเบอร์ เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีส สูงกว่าในผักสลัดในกลุ่มคริสป์เฮด (*Lactuca sativa* var. *capitata*) เช่น ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก เป็นต้น

Zhang และคณะ (2017) รายงานว่า ผักสลัดในกลุ่มลิฟ (*Lactuca sativa* var. *crispata*) เช่นกรีนไอคและเรดไอค มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าผักสลัดในกลุ่มบัตเตอร์เฮด (*Lactuca sativa* var. *capitata*) ที่มีปริมาณโพแทสเซียมไม่แตกต่างจากผักสลัดในกลุ่มคอส และค้นพบว่าผักสลัดในกลุ่มบัตเตอร์เฮด มีปริมาณไนเตรตมากกว่าผักสลัดในกลุ่มลิฟ (*Lactuca sativa* var. *crispata*) เช่นกรีนไอคและเรดไอค และผักสลัดในกลุ่มลิฟ มีปริมาณไนเตรตมากกว่าผักสลัดในกลุ่มคอส ตามลำดับ

Haytowitz และคณะ (2018) รายงานว่า ผักสลัดในกลุ่มลิฟ ผักสลัดในกลุ่มคอส ผักสลัดในกลุ่มบัตเตอร์เฮด และผักสลัดในกลุ่มคริสป์เฮด มีปริมาณธาตุอาหารและสารโภชนาการแตกต่างกัน (ตารางภาคผนวกที่ 1)

### 2.3.2 ระยะการเจริญเติบโตและอายุพืช

ระยะการเจริญเติบโตและอายุ มีผลต่อการดูดใช้และการสะสมธาตุอาหารในผักสลัด (คงเอก และคณะ, 2558) โดยเฉพาะช่วงที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยว พืชจะมีความต้องการธาตุอาหารมากที่สุด ซึ่ง Mauromicale และคณะ. (2006) รายงานว่า ปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในผักสลัด มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอายุพืช แสดงว่า ผักสลัดที่อายุมากขึ้นสามารถดูดใช้ไนโตรเจนและสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ได้มากขึ้น สอดคล้องกับ Pinto และคณะ (2014) พบว่าผัก

สลัดอายุ 31 วัน มีปริมาณธาตุอาหารและปริมาณรงควัตถุมากกว่าผักสลัดอายุ 16 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม Zink และ Yamaguchi (1963) รายงานว่าผักสลัดปลีพันธุ์ great lakes ดูธาตุอาหารจากดินมากที่สุดในระยะ 21 วันก่อนเก็บเกี่ยว โดยใช้ธาตุอาหาร 70% จากปริมาณที่ต้องการตลอดฤดูปลูก

### 2.3.3 อันตรกิริยาของธาตุอาหารพืช

อันตรกิริยาของพืช เกิดจากการที่ดินหรือระบบปลูกพืชมีธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง มากเป็นพิเศษ มีผลโดยตรงต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลทำให้พืชดูดใช้ธาตุอื่นได้เพิ่มขึ้นหรือลดลง

Ylivainio และคณะ (2004) รายงานว่า การเสริมธาตุเหล็กที่ 2 มิลลิกรัมต่อกระถาง ทำให้ผักสลัดสายพันธุ์ *Australian gelber* (*Lactuca sativa* cv. *Australian gelber*) ที่ปลูกในดินทราย ดูดใช้สังกะสี แมงกานีส และทองแดงลดลง ซึ่งแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ในขณะที่ Bouain และคณะ (2014) รายงานว่า การเพิ่มปริมาณสังกะสี (0, 15, 90, 360, 1,440 และ 2,880 ไมโครโมลาร์) ทำให้ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสในระบบไฮโดรโปนิคส์มีแนวโน้มดูดใช้ฟอสฟอรัสลดลงตามปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้น และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

### 2.3.4 อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง มีบทบาทต่อการสะสมธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของผักสลัด Khan และคณะ (2018) รายงานว่าที่อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงสูง ส่งผลให้ผักสลัดฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กดูดใช้ในโตรเจนและไนเตรตเพิ่มขึ้น

สุทธิดา และคณะ (2558) รายงานว่า การเพิ่มความเข้มแสงหรือความส่องสว่าง (จาก 327 เป็น 4,338 ลักซ์) ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของผักสลัดเรดโอ๊คเพิ่มขึ้น โดยทั่วไประดับแสงกลางแจ้ง จะอยู่ที่ประมาณ 10,000 ลักซ์

Falovo และคณะ (2009) รายงานว่า ผักสลัดที่ปลูกในฤดูใบไม้ผลิ มีการเจริญเติบโต ปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม ไนเตรต แครอทินอยด์และประสิทธิภาพในการใช้น้ำ ต่ำกว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูร้อน และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตาม Sublett และคณะ (2018) รายงานว่า ผักสลัดที่ปลูกในฤดูใบไม้ผลิ ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูร้อน มีปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสังกะสีไม่แตกต่างกัน แต่ผักสลัดที่ปลูกในฤดูร้อน มีปริมาณเหล็กสูงกว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูอื่นอย่างเห็นได้ชัด



## 2.4 ความสำคัญของเหล็ก สังกะสี โพแทสเซียม ไนเตรต และผลต่อสุขภาพมนุษย์

### 2.4.1 เหล็ก

เหล็ก เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด และฮีโมโกลบินที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง นอกจากนี้ธาตุเหล็กยังมีช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน ช่วยการเจริญเติบโตของเซลล์สมองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจและความจำ (cognitive development) ช่วยการทำงานของกล้ามเนื้อต่างๆ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ต่าง ๆ ในการนำพลังงานต่าง ๆ ไปใช้ ร่างกายคนปกติต้องการเหล็กจากอาหารประมาณ 5.0-16.0 มิลลิกรัมต่อวัน (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563) หากร่างกายได้รับเหล็กในปริมาณที่ไม่เพียงพอ หรือเมื่อขาดธาตุเหล็ก จะเป็นสาเหตุหลักให้เกิดภาวะซีดหรือภาวะโลหิตจาง (anemia) แหล่งอาหารของเหล็กคือ เนื้อสัตว์ ไข่ ถั่ว ตับ เครื่องในสัตว์ และผักสีเขียว เป็นต้น (เชาน์ และพรรณี, 2552; สิริพันธ์, 2560)

### 2.4.2 สังกะสี

สังกะสี เป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบการทำงานของร่างกาย มีหน้าที่ในการเข้าไปควบคุมกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในระดับเซลล์ ยังเป็นเอนไซม์ช่วยย่อยโปรตีนที่ลำไส้เล็ก เป็นโคแฟกเตอร์ช่วยสังเคราะห์ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ มีส่วนช่วยบำรุงดูแลร่างกายส่วนที่สึกหรอ โดยการเข้าไปซ่อมแซม ทำหน้าที่ช่วยควบคุมการทำงานของเอนไซม์ ร่างกายคนปกติต้องการสังกะสีจากอาหารประมาณ 2.7-15.0 มิลลิกรัมต่อวัน (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563) หากร่างกายได้รับสังกะสีไม่เพียงพอ ร่างกายจะแสดงออกมาด้วยอาการทางผิวหนัง ขนตามร่างกายร่วง ผิวหนังเป็นรอยเขียวฟกช้ำได้ง่าย เมื่อเกิดแผลขึ้นมาจะหายช้า ส่วนในหญิงที่ให้นมบุตร การขาดธาตุสังกะสีจะส่งผลไปถึงการเจริญเติบโตที่ผิดปกติของลูกน้อย อาหารที่มีสังกะสีมาก ได้แก่ ตับ ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่ว หอยนางรม เป็นต้น (เชาน์ และพรรณี, 2552; สิริพันธ์, 2560)

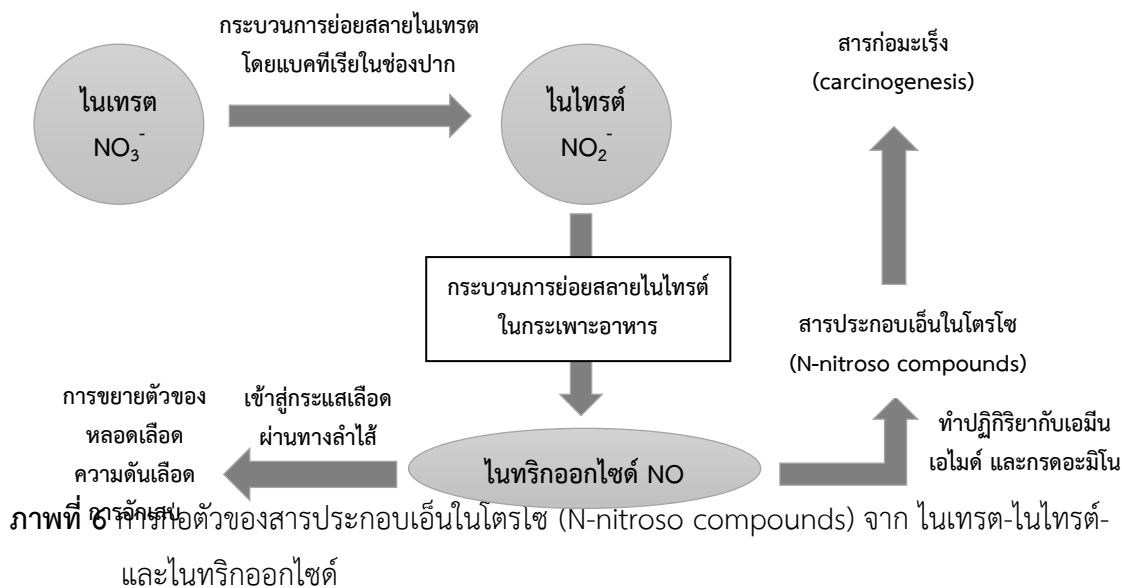
### 2.4.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียม มีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์ ในการช่วยให้การทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายเป็นปกติ เช่น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ช่วยควบคุมความดันโลหิตที่สูง และ ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ และหลอดเลือด หากร่างกายได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ร่างกายตอบสนองช้า (สิริพันธ์, 2558) อย่างไรก็ตาม หากได้รับโพแทสเซียมจากอาหารน้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน ติดต่อกัน จะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย กล้ามเนื้ออ่อนแรง และท้องผูก (Hernandez *et al.*, 1987) ร่างกายคนปกติต้องการโพแทสเซียมจากอาหารประมาณ 1,950-3,900

มิลลิกรัมต่อวัน หรือ 3-5 มิลลิอิกควาเลนต่อความต้องการพลังงาน 100 กิโลแคลอรีต่อวัน (\* 1 มิลลิอิกควาเลนของโพแทสเซียม = โพแทสเซียม 39 มิลลิกรัม) (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563) อย่างไรก็ตาม การได้รับโพแทสเซียมสูงกว่าค่าที่กำหนด อาจส่งผลให้หัวใจผิดปกติ เกิดอาการช็อค หดสติและเสียชีวิตในที่สุด (Talukder *et al.*, 2016) โดยปกติไตสามารถขับโพแทสเซียมออกทางปัสสาวะได้ถึงวันละ 7,800 มิลลิกรัม แต่ถ้ามีโพแทสเซียมในเลือดสูงกว่า 5.5 มิลลิอิกควาเลนต่อลิตรความสามารถในการทำงานของไตจะลดลง (Kes, 2001) อย่างไรก็ตาม ราเบลลิงค์ และคณะ (Rabelink *et al.*, 1990) รายงานว่า การบริโภคโพแทสเซียม 15,600 มิลลิกรัมต่อวันติดต่อกันเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ไม่มีผลเสียต่อร่างกายมนุษย์ และการลดปริมาณโพแทสเซียมในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ สามารถทำได้เช่นกัน (กนกพร และคณะ, 2563)

#### 2.4.4 ไนเตรต

ไนเตรต เป็นรูปหนึ่งของธาตุไนโตรเจน ที่เป็นธาตุอาหารชนิดที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทั่วไปแล้ว พืชส่วนใหญ่จะดูดไนโตรเจนในรูปไนเตรต ซึ่งไนเตรตที่ถูกดูดเข้าไปในเซลล์ราก จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นแอมโมเนีย ก่อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ ในกระบวนการชื่อว่า Nitrate assimilation พืชมีความจำเป็นต้องใช้ไนเตรตในการทำหน้าที่ควบคุมเมแทบอลิซึม และการพัฒนาของรากแขนง การสังเคราะห์กรดอะมิโน เป็นต้น ซึ่งไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียไม่สามารถทำหน้าที่เหล่านี้ได้ (ยงยุทธ, 2558) จึงมักพบการสะสมของธาตุไนเตรตในพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์อยู่มาก ปริมาณการสะสมไนเตรตในผักแตกต่างกันตามชนิดของผัก อัตราปุ๋ยไนโตรเจน ความเข้มแสง การปลูกผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิคส์ จะพบไนเตรตอยู่ในเนื้อเยื่อพืชเสมอ ในประเด็นของผลต่อสุขภาพ ไนเตรตถูกพิจารณาให้เป็นหนึ่งในสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Griesenbeck *et al.*, 2009; Cometti, 2011; Espejo-Herrera *et al.*, 2016; Emine and Oguz, 2017) เพราะเมื่อไนเตรตจากอาหารเข้าสู่ร่างกาย ไนเตรตจะถูกรีดิวซ์เป็นไนไตรต์ และทำปฏิกิริยากับ เอมีน เกิดเป็นสารประกอบที่ชื่อว่าเอ็นไนโตรโซหรือไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (ภาพที่ 6)

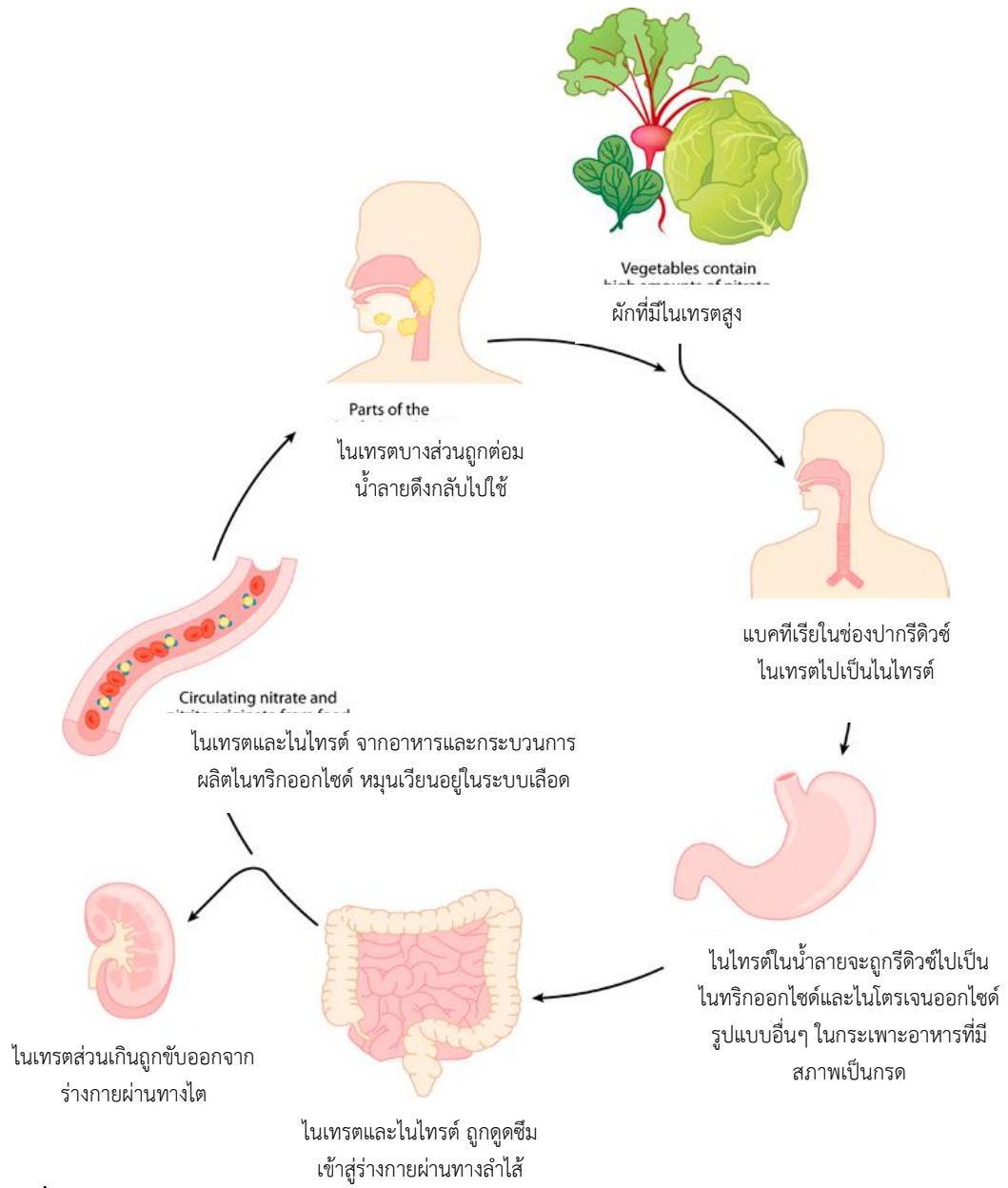


ที่มา : ดัดแปลงจาก Emine and Oguz, 2017

จึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานของไนเตรตในผักสลัด โดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของไนเตรตในผักสลัดทั่วไปที่ปลูกกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาคลุม ที่เก็บเกี่ยวในช่วงวันที่ 1 ตุลาคม ถึง 31 มีนาคม ควรมีปริมาณไนเตรตไม่เกิน 4,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ที่เก็บเกี่ยวในช่วงวันที่ 1 พฤษภาคม ถึง 30 กันยายน ควรมีปริมาณไนเตรตไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และผักสลัดกลุ่มไฮโดรโปนิคที่ปลูกกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาคลุมในทุกฤดูกาล ควรมีปริมาณไนเตรตไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010) อย่างไรก็ตาม โอกาสที่ไนเตรตจะถูกรีดิวส์เป็นไนไตรต์ และทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็นไนโตรซามีน มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Shannon *et al.*, 2021) เพราะไนเตรตจะถูกอวัยวะในร่างกายดึงไปใช้ หรือถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนออกไซด์รูปอื่น ผ่านกระบวนการย่อยสลายไนเตรตในระบบทางเดินอาหาร ซึ่ง Weitzberg และ Lundberg (2013) ได้อธิบายถึงกระบวนการดังกล่าวไว้ว่า ไนเตรตจากอาหารจะถูกเผาผลาญเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ในร่างกายมนุษย์ และไนเตรตบางส่วนจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายผ่านทางลำไส้เล็ก และส่งต่อไปยังกระแสเลือด ซึ่งไนเตรตส่วนเกินจากกระบวนการย่อย (ประมาณ 25%) จะถูกขับออกไปทางไต และอีก 25% ของไนเตรตจะถูกดึงไปใช้โดยต่อน้ำลาย ซึ่งแบคทีเรียในช่องปากจะทำหน้าที่รีดิวส์ไนเตรตจากอาหารไปเป็นไนไตรต์ จากนั้นเมื่อไนไตรต์ถูกกลืนก็จะถูกรีดิวซ์ต่อไปเป็นไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์รูปแบบอื่นๆ ในกระเพาะอาหารที่มีสภาพเป็นกรด ซึ่งไนไตรต์ที่ไม่โดนย่อยในกระเพาะอาหารจะถูกส่งต่อไปยังลำไส้เล็ก และมีการดูดซึมอย่างเป็นระบบ จากนั้นถูกเผาผลาญต่อไปเป็นไนตริกออกไซด์ในเลือดและเนื้อเยื่อ (ภาพที่ 7)

Wagner และคณะ (1983) รายงานว่า 60% ของไนเตรดที่มนุษย์บริโภคเข้าไปในร่างกาย จะถูกขับออกให้ไปอยู่ในปัสสาวะในระยะเวลา 48 ชั่วโมง รวมทั้งองค์กร IARC (International Agency for Research on Cancer) ได้ชี้แจงว่า "มีหลักฐานไม่เพียงพอในมนุษย์สำหรับการก่อมะเร็งของไนเตรดในอาหาร" และ "หลักฐานในมนุษย์เกี่ยวกับสารก่อมะเร็งของไนไตรต์ในอาหารมีจำกัด" (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2010)

นอกจากนี้ ยังมีหลักฐานในเชิงบวกบ่งชี้ว่า ไนเตรดในอาหารช่วยลดความดันโลหิตในคนที่สุขภาพดีได้อย่างมาก และการบริโภคไนเตรดในมื้ออาหารทุกวันสัมพันธ์กับการลดความดันโลหิต ซึ่ง ไนเตรดความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ จะเท่ากับ 62 มิลลิกรัมไนเตรด และการบริโภคไนเตรดที่ความเข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ หรือ 186 มิลลิกรัมไนเตรด จากผักโขม 200 กรัม สามารถลดความดันโลหิตได้ 3 มิลลิเมตรปรอท (Hobbs *et al.*, 2013) และการบริโภคน้ำปีทรูทสกัดวันละ 250 มิลลิลิตร ที่มีปริมาณไนเตรดที่ความเข้มข้นประมาณ 6.4 มิลลิโมลาร์ หรือ 396.8 มิลลิกรัมไนเตรด สามารถลดความดันโลหิต 7.7/2.4 มิลลิเมตรปรอท (Kapil *et al.*, 2015)



ภาพที่ 7 การย่อยสลายไนเตรตในระบบทางเดินอาหาร  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Weitzberg and Lundberg, 2013

## 2.7 ไบโอฟอร์ติฟิเคชัน (biofortification)

ไบโอฟอร์ติฟิเคชัน (biofortification) หรือกระบวนการที่ทำให้พืชมีสารอาหารบางชนิดมากขึ้นกว่าเดิม ด้วยวิธีการทางพืช อาทิ การผสมพันธุ์พืช (breeding) การคัดเลือกพันธุ์พืช (genetic selection) การดัดแปลงพันธุกรรมพืช (genetic modification) การเลี้ยง (feeding) หรือการปลูกพืช (growing) เพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่มีสารอาหารที่ต้องการในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (Bouis and Welch, 2010)

การเสริมธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดีที่สุดในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช โดยการเสริมธาตุแคลเซียม มีผลให้ปริมาณแคลเซียม คลอโรฟิลล์ กลูโคสและฟรุกโตสในผักสลัดเพิ่มมากขึ้น (Falovo *et al.*, 2009) ในขณะเดียวกัน การเพิ่มปริมาณเหล็กในสารละลายธาตุอาหาร ที่ 1.0 และ 2.0 มิลลิโมลาร์ มีผลให้ปริมาณไนเตรต ปริมาณเหล็ก และคลอโรฟิลล์ในบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์เพิ่มขึ้น (Giordano *et al.*, 2019) และการเสริมธาตุสังกะสี ที่ความเข้มข้น 80-100 โมลาร์ มีผลให้กะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* cv. *Bronco*) มีปริมาณสังกะสีและกำมะถันเพิ่มขึ้น และยังมีอาการเจริญเติบโตได้ตามปกติ (Barrameda-Medina *et al.*, 2019)

นอกจากนี้ การเสริมธาตุซีลีเนียมในสารละลายธาตุอาหาร ยังมีผลให้ปริมาณซีลีเนียมในผักกาด (วงศ์ Brassicaceae) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Wiesner-Reinhold *et al.*, 2017) และการเสริมธาตุไอโอดีน ทำให้ปริมาณไอโอดีนในพริกไทย (*Capsicum annuum* L.) เพิ่มขึ้น (Li *et al.*, 2017) สอดคล้องกับ Buturi และคณะ (2021) รายงานว่า กระบวนการไบโอฟอร์ติฟิเคชัน สามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม ไอโอดีน สังกะสี ซีลีเนียม เหล็ก ทองแดง และซิลิกอน ในพืชตระกูลผักได้

## 2.8 การตรวจสอบความปลอดภัยของอาหารในระดับเซลล์

### 2.8.1 เซลล์ลำไส้มนุษย์

เซลล์ลำไส้มนุษย์ คือ เซลล์ยูแคริโอตชนิดหนึ่ง ที่ถูกแยกออกมาจากเนื้อเยื่อของลำไส้เล็กในทางเดินอาหารของมนุษย์ ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีการสัมผัสกับอาหารและดูดซึมสารอาหารมากที่สุด นำมาเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนในภาชนะ ตามกรรมวิธีการเพาะเลี้ยงเซลล์สัตว์ หรือการนำเซลล์ไลน์ออกมาเพาะเลี้ยงนอกร่างกาย ทำให้เกิดการเจริญในภาชนะเลี้ยงที่เป็นแก้วหรือพลาสติก ที่บรรจุอาหารที่กระตุ้นให้เซลล์อยู่รอดและเพิ่มจำนวนได้ นิยามโดยเบื้องต้นของเซลล์ หมายถึงหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต นักชีววิทยาจำแนกสิ่งมีชีวิตออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะโครงสร้างเซลล์ คือ เซลล์โพรแคริโอต (prokaryote) ได้แก่ พวกแบคทีเรีย ไมโครพลาสมา และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และ เซลล์ยูแคริโอต (eukaryote) ได้แก่ เซลล์พืช และเซลล์สัตว์ (พจนานุกรม และคณะ, 2560) รวมไปถึง

ถึงเซลล์ลำไส้มนุษย์ ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะการเจริญของเซลล์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ อาหารเลี้ยงเซลล์ และวิธีการเลี้ยงเซลล์ โดยทั่วไปมักใช้เซลล์ที่ความเข้มข้นตั้งต้น  $10^4$ - $10^5$  เซลล์ต่อ มิลลิลิตร โดยเซลล์จะเพิ่มจำนวนขึ้นเป็น 10 เท่าในระยะเวลาเลี้ยง 3-4 วัน อาหารที่เลี้ยงควรมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ คืออุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  และ pH ประมาณ 7.4 (กัลยาณี, 2547) ซึ่ง Bhatt และคณะ (2018) รายงานว่า เซลล์ลำไส้มนุษย์ เป็นเซลล์ที่มีประโยชน์ในการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของลำไส้และความเป็นพิษต่อเซลล์มากที่สุด สอดคล้องกับ Sodano และคณะ (2021) พบว่าเซลล์ลำไส้มนุษย์ เป็นเซลล์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาผลกระทบของยาต่อลำไส้ของมนุษย์มากที่สุด

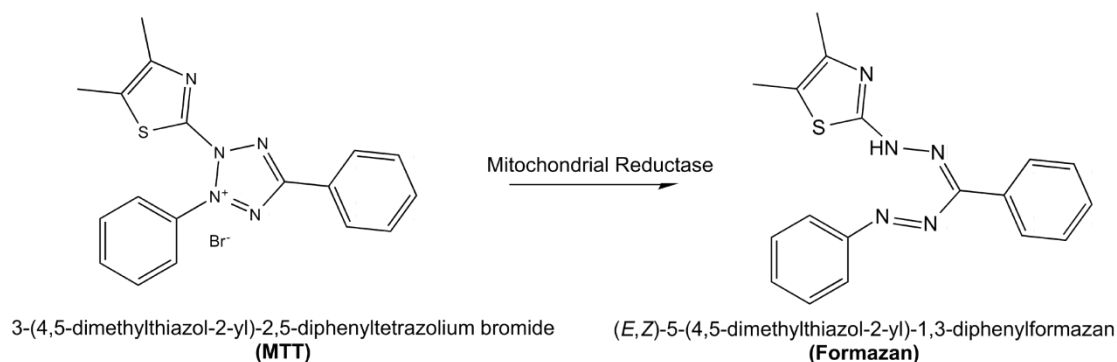
### 2.8.2 การตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity screening)

การตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ คือการเพาะเลี้ยงเซลล์สัตว์ด้วยสารที่ต้องการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์ความปลอดภัยของสาร เป็นวิธีที่รวดเร็วและสามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ และสามารถให้ข้อมูลด้านความปลอดภัยเบื้องต้นในระดับเซลล์ (สุพัตรา และคณะ, 2555) การตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ จะเกี่ยวข้องกับวิธีการที่เซลล์สัมผัสกับสารทดสอบ ระยะเวลาในการสัมผัสสาร และความเสถียรของสารทดสอบ (พจนพร และคณะ, 2560)

การทดสอบความปลอดภัยในระดับเซลล์ของพืชอาหารในประเทศไทย ส่วนใหญ่มักเป็นการทดสอบในพืชสมุนไพร เช่น การศึกษาความเป็นพิษของพืชสมุนไพรไทยในกลุ่มยาอายุวัฒนะต่อเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด MDB-MB-231 โดยใช้สารสกัดจากก้านเสื่อโคร่ง (*Betula alnoides* Ham.) กันเกรา (*Fagraea fragrans* Roxb.) บอระเพ็ด (*Tinospora crispa* L. Miers ex Hook.f. and Thomson.) และคนทีสอ (*Vitex trifolia* L.) ความเข้มข้นของสารสกัด 0.0001-1 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นสูงสุด ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ 50% แสดงว่าปลอดภัยต่อเซลล์ (Chawalitpong *et al.*, 2012) และสารสกัดจากใบจำปี (*Michelia alba* DC.) และจำปา (*Michelia champaca* L.) ความเข้มข้น 0-0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นสูงสุด ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์มะเร็งท่อน้ำดีชนิด RMCCA-1 ลดลงจนถึงระดับที่ 50% (ศรมน และคณะ, 2563) รวมถึงสารสกัดจากยาสมุนไพร 5 ราก ประกอบไปด้วยยารากสมุนไพร 5 ชนิด ได้แก่ รากย่านาง (*Tiliacora triandra* Colebr. Diels.) รากมะเดื่อชุมพร (*Ficus racemosa* L.) รากชิงชี่ (*Capparis micracantha* DC.) รากเท้าชายม่อม (*Clerodendrum indicum* L. Kuntze.) และรากคนทา (*Harrisonia perforata* Blanco. Merr.) ความเข้มข้น 0.001625-0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นสูงสุด ไม่ทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวแมคโครฟาจ RAW 264.7 ลดลงจนถึงระดับที่ 50% (วิยดา และกิ่งกาญจน์, 2561) นอกจากนี้พืชสมุนไพร ยังมีรายงานว่าสารสกัดจากผักพื้นบ้าน ได้แก่ ผักปลั่ง ผักแว่น และผักแขยง 0.015625-0.25 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นสูงสุด ไม่ทำให้เซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด Molt4 ลดลงจนถึงระดับที่

50% เช่นกัน (สุวรรณ และคณะ, 2561) แต่สารสกัดจากต้นจักรนารายณ์ (*Gynura divaricata* DC.) ที่ความเข้มข้น 0-10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับเซลล์ไลน์ชนิด L929 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารทดสอบ 1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ 50% แสดงถึงความเป็นพิษต่อเซลล์ (สุพัตรา และคณะ, 2551)

วิธีการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือวิธี MTT assay หรือการตรวจสอบเซลล์มีชีวิต โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึมในเซลล์ นิยมใช้สาร MTT (3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyltetrazolium bromide) ในการทดสอบ ซึ่งเป็นสารประกอบ tetrazole ที่มีสีเหลือง ละลายน้ำได้ สามารถเข้าไปในไมโทคอนเดรียของเซลล์ที่มีชีวิต (viable cells) และ ถูกรีดิวซ์โดย succinate dehydrogenase (mitochondrial reductase enzyme) ให้อยู่ในรูปของ formazan ซึ่งเป็นผลึกสีม่วงไม่ละลายน้ำ (insoluble purple formazan) อยู่ในเซลล์มีชีวิต เซลล์ที่ตายจะไม่เกิดสีม่วงของผลึก formazan (Bsharat, 2013) และต้องทำการละลาย formazan ด้วย dimethyl sulfoxide, DMSO หรือส่วนผสมระหว่าง sodium dodecyl sulfate กับ HCl (Mosmann, 1983; Buckberry, 2005) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (optical density, OD) ด้วยเครื่อง microtiter plate reader ที่ความยาวคลื่น (wavelength) 570 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดของเซลล์ และนำไปแปลผลเป็นความปลอดภัยในระดับเซลล์ต่อไป



ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ MTT ที่ถูกรีดิวซ์เป็น Formazan โดยกระบวนการ Mitochondrial Reductase จากเซลล์ที่มีชีวิต (ดัดแปลงจาก Bsharat, 2013)

### 3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มธาตุเหล็กและธาตุสังกะสี ที่มีต่อการเจริญเติบโต การสะสมไนเตรต และธาตุอาหาร ในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์
- 2) เพื่อศึกษาผลของผักสลัดเพิ่มธาตุเหล็กและธาตุสังกะสี ที่มีต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์



#### 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผักสลัดที่เจริญเติบโตดี มีคุณภาพ มีปริมาณเหล็กและสังกะสีสูง สามารถยกระดับเป็นผักทางเลือกเพื่อสุขภาพ (Functional Vegetable)

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

#### 1. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

##### 1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกผักสลัด

- 1) กระบะปลูกพร้อมข้อต่อ สายยาง และหัวทราย, ป้อนอกซิเจน ยี่ห้อ Magic 8800
- 2) โต๊ะปลูกพร้อมถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร, ป้อนสูบน้ำ ยี่ห้อ Sonic AP2500
- 3) แผ่นโพลีรองปลูก
- 4) แผ่นพลาสติกปูพื้น
- 5) ฟองน้ำสำหรับเพาะเมล็ด
- 6) ถาดพลาสติก
- 7) เมล็ดผักสลัดพันธุ์กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด
- 8) เชื้อราพันธ์ B-Veggie (*Bacillus subtilis*)

##### 1.2 สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

- 1) แคลเซียมไนเตรต (calcium nitrate,  $(\text{CaNO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
- 2) เหล็กอีดีทีเอ และ เหล็กอีดีดีเอชเอ (Fe-EDTA, Fe-EDDHA)
- 3) โพแทสเซียมไนเตรต (potassium nitrate,  $\text{KNO}_3$ )
- 4) โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (monopotassium phosphate,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )
- 5) โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (mono ammonium phosphate,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ )
- 6) แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- 7) แมงกานีสซัลเฟต (manganese sulfate,  $\text{MnSO}_4/\text{H}_2\text{O}$ )
- 8) คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulphate,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
- 9) แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
- 10) ซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- 11) กรดบอริก (boric acid,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ )
- 12) นิค-สเปรย์ (Nic-Spray)

##### 1.3 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

- 1) กรดซัลฟิวริก (sulphuric acid, 98% w/w H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- 2) กรดไนตริก (nitric acid, 65% w/w HNO<sub>3</sub>)
- 3) กรดเพอร์คลอริก (perchloric acid, 70% w/w HClO<sub>4</sub>)
- 4) สารละลายวานาโดโมลิบเดต (vanadomolybdate reagent)
- 5) อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)
- 6) สารผสมเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture)
- 7) กรดบอริก (boric acid, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>)
- 8) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH)
- 9) สารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ (strontium chloride, SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O)
- 10) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid)

#### 1.4 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงเซลล์ และทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

- 1) ตัวอย่างทดสอบการทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze dry sample)
- 2) เซลล์ลำไส้มนุษย์ (human primary colon cell line, T4056)
- 3) อาหารเลี้ยงเซลล์ (Dulbecco's modified eagle medium, DMEM)
- 4) ซีรัม (fetal bovine serum, FBS)
- 5) กรดอะมิโน (L-glutamine)
- 6) เกลือโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>)
- 7) ยาปฏิชีวนะ (penicillin-streptomycin, pen-strep)
- 8) สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 โมลาร์ และ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1 โมลาร์ สำหรับปรับ pH ให้ได้ 7.4
- 9) น้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูง (milli-Q water)
- 10) เอนไซม์ทริปซิน-เอดทีเอมิตระอะซิติลกลูตาเมต (trypsin-EDTA)
- 11) 1X ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ซาลิน (1X phosphate buffer saline, 1X PBS)
- 12) สารละลายทริปแพนบลู (trypan blue solution)
- 13) สาร MTT (3-[4,5]-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-dephenyl tetrazolium bromide)
- 14) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulfoxide, DMSO)
- 15) แอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อ (70% ethanol)

#### 1.5 อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์

- 1) ถังเก็บไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen storage tank)

- 2) ตู้ชีวนิรภัย (biological safety cabinet)
- 3) ตู้อบแบบคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> incubator)
- 4) ตู้อบตัวอย่างพีช (hot air oven)
- 5) ตู้นึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)
- 6) เครื่องเขย่าผสม (vortex mixture)
- 7) เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 g และ 0.0001 g (analytical balance)
- 8) กล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับ (inverted microscope)
- 9) ไมโครปิเปต (micropipette)
- 10) ตู้เย็นและตู้แช่แข็ง (refrigerator and freezer)
- 11) เตาย่อยตัวอย่าง (digestion block)
- 12) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (nitrogen distillation apparatus)
- 13) หลอดย่อยตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร (jeldahl tube)
- 14) ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร (erlenmeyer flask)
- 15) บิวเรตต์ขนาด 50 มิลลิลิตร (burette)
- 16) ดิสเพนเซอร์ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร (dispenser)
- 17) กระจกตวง (measuring cylinder)
- 18) ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask)
- 19) เครื่องวัดสีเบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (visible spectrophotometer)
- 20) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์  
(atomic absorption spectrophotometer)
- 21) เตาให้ความร้อน (hot plate)
- 22) เครื่องบดตัวอย่างพีช (grinder)
- 23) เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (spectrophotometer/ microplate reader)
- 24) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 25) กระดาษกรองวัตแมน เบอร์ 1 (Whatman filter paper No.1)
- 26) สไลด์สำหรับนับจำนวนเซลล์ (hemocytometer)
- 27) ขวดใส่อาหารเลี้ยงเซลล์ (duran)
- 28) หลอดทดลอง (test tube) และหลอดแช่แข็งเกลียวนอก (cryovial tube)
- 29) ภาชนะสำหรับเลี้ยงเซลล์ (tissue culture flask)
- 30) ปีกเกอร์ (beaker)
- 31) หลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube)

- 32) เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
- 33) จานเพาะเลี้ยงแบบ 96 หลุม (96 well plates)
- 34) ชั้นวางหลอดทดลอง (multi-function centrifuge tubes racks)
- 35) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stirring bars)
- 36) หลอดก้นแหลม (eppendorf)
- 37) เครื่องควบคุมการดูดจ่ายสารละลาย (pipette aids)
- 38) ปิเปต 5 และ 10 มิลลิลิตร
- 39) เครื่องดูดจ่ายสารละลายหลายตำแหน่ง (multichannel pipette)
- 40) ปิเปตทิป (pipette tip)
- 41) ปิเปตตังรีเซอัวร์ (pipetting reservoir)
- 42) ตัวกรองสารละลายเคมีขนาดเล็กสำหรับหลอดฉีดยา (syringe-filter)  
ขนาดรูกรอง 0.2 ไมโครเมตร

## 2. วิธีการทำการทดลอง

### 2.1 การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด ในชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผัก (deep water culture)

ศึกษาผลของการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด 2 ชนิด คือกรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก ให้ผักสลัดแต่ละชนิดมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ completely randomized design, CRD กับกรรมวิธีทดสอบ 8 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ (1 ต้น/ซ้ำ) ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
- กรรมวิธีที่ 2 ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เสริมธาตุเหล็ก 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 3 ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เสริมธาตุเหล็ก 11.78 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 4 ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เสริมธาตุเหล็ก 14.72 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 5 ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
- กรรมวิธีที่ 6 ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เสริมธาตุเหล็ก 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 7 ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เสริมธาตุเหล็ก 11.78 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 8 ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เสริมธาตุเหล็ก 14.72 มิลลิกรัมต่อลิตร

เพาะเมล็ดผักสลัดบนฟองน้ำสำหรับเพาะเมล็ดที่รดน้ำจนชุ่ม วางลงบนถาดพลาสติก และรักษาระดับน้ำในถาดพลาสติกให้ได้ครึ่งหนึ่งของฟองน้ำ ย้ายกล้าปลูกเมื่ออายุ 7 วัน ลงในกระบะ

ปลูกขนาด 50 x 30 x 15 เซนติเมตร จำนวน 5 ต้น/ชุดปลูก มีน้ำในระบบ 10 ลิตร เติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นที่ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด ได้แก่ ไนโตรเจน 347.80 ฟอสฟอรัส 74.40 โพแทสเซียม 441.10 แคลเซียม 319.70 แมกนีเซียม 53.00 กำมะถัน 67.50 โบรอน 0.76 ทองแดง 0.85 เหล็ก 6.70 สังกะสี 0.76 แมงกานีส 0.81 โมลิบดีนัม 0.0045 และนิกเกิล 0.0002 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นอัตราส่วนที่คำนวณจากสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลงจาก KMITL สำหรับผักสลัด กำหนดให้เป็นสารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในกรรมวิธีทดสอบที่ใช้ชีวภัณฑ์ให้เติมชีวภัณฑ์ B-Veggie ในอัตรา 40 กรัม ผสมในน้ำ 1 ลิตร ใช้ที่ 100 มิลลิลิตร เทลงในถังสารละลายเมื่อย้ายกล้าลงชุดปลูก และเริ่มเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 8.83 11.78 14.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสารละลายทั้งระบบให้ผักสลัด โดยแบ่งใส่ 3 รอบ เมื่อผักอายุ 30 33 และ 35 วัน เพื่อให้ได้ปริมาณครบตามที่กำหนด เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักอายุ 42 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด บันทึกน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง และบันทึกลักษณะใบ ทรงพุ่ม ราก และอาการผิดปกติที่สังเกตได้

## 2.2 การเสริมธาตุเหล็กและธาตุสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด ในชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT

### 2.2.1 การเสริมธาตุเหล็ก

ศึกษาผลของการเสริมธาตุเหล็กและการให้ธาตุอาหารในอัตราปกติ ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด 5 ชนิด คือกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ completely randomized design, CRD กับกรรมวิธีทดสอบ 10 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ (2 ต้น/ซ้ำ) ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ปลูกกรีนคอส ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
- กรรมวิธีที่ 2 ปลูกฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
- กรรมวิธีที่ 3 ปลูกกรีนโอ๊ค ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
- กรรมวิธีที่ 4 ปลูกเรดโอ๊ค ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
- กรรมวิธีที่ 5 ปลูกบัตเตอร์เฮด ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
- กรรมวิธีที่ 6 ปลูกกรีนคอส เสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 7 ปลูกฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก เสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 8 ปลูกกรีนโอ๊ค เสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 9 ปลูกเรดโอ๊ค เสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร
- กรรมวิธีที่ 10 ปลูกบัตเตอร์เฮด เสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร

เพาะเมล็ดผักสลัด 5 ชนิด ย้ายกล้าลงชุดปลูกเมื่อผักสลัดอายุ 7 วัน และให้สารละลายธาตุอาหารเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 แต่เปลี่ยนจากชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผักเป็นชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT ขนาด 1.2 x 3.4 เมตร จำนวน 96 ต้น/ชุดปลูก มีน้ำในระบบ 120 ลิตร ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie ในอัตรา 40 กรัม ผสมในน้ำ 1 ลิตร ใช้ที่ 1 ลิตร เติลงในถังสารละลายเมื่อย้ายกล้าลงชุดปลูกกับทุกกรรมวิธีทดสอบ เริ่มเสริมธาตุหลักที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสารละลายทั้งระบบให้ผักสลัด โดยแบ่งใส่ 3 รอบ เมื่อผักอายุ 30 33 และ 35 วัน เพื่อให้ได้ปริมาณครบตามที่กำหนด เก็บผลผลิตที่ 38 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด ใช้ผักสลัดทั้ง 5 ชนิด ชนิดละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น บันทึกน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง เลือกเฉพาะส่วนที่รับประทานได้ ล้างให้สะอาด ชั่งน้ำหนักส่วนที่รับประทานได้ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน บันทึกน้ำหนักแห้งที่ได้ จากนั้นบดตัวอย่างแห้งให้ละเอียดเพื่อเตรียมวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด ดังนี้

**1. ปริมาณไนเตรต** วิเคราะห์ด้วยวิธี salicylic acid (Cataldo *et al.*, 1975) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.10 กรัม ผสมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเพื่อเก็บเฉพาะสารละลายส่วนใส ดูดสารละลายส่วนใส 0.1 มิลลิลิตร เติม 0.40 มิลลิลิตร ของ 5% salicylic acid ใน  $H_2SO_4$  เข้มข้น ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 20 นาที แล้วเติม NaOH ลงไป 5 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer

**2. ปริมาณไนโตรเจน** วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl (Kjeldahl, 1883) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.10 กรัม ห่อกระดาษ แล้วหย่อนใส่หลอดย่อยตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารเร่งปฏิกิริยา 0.1 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ย่อยตัวอย่างจนใส เติมน้ำลงไปประมาณ 10 มิลลิลิตร และนำไปใส่เข้าเครื่องกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นให้กลั่นไนโตรเจนโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนีย ไทเทรตหาแอมโมเนียในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน

**3. ปริมาณฟอสฟอรัส** วิเคราะห์ด้วยวิธีเยลโลโมลิบโดวานโดฟอสฟอริกแอซิด (yellow molybdovanadophosphoric acid method) (Kitson and Mellon, 1944) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.10 กรัม ย่อยสลายด้วยกรดผสมไนตริก และ เพอร์คลอริก ( $HNO_3 : HClO_4 ; 3:1$ ) จนตัวอย่างพืชใส แล้วทำให้เกิดสีด้วยการทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมของโมลิบเดตและวานาเดตในสภาพที่เป็นกรด ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง spectrophotometer

**4. ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และ ทองแดง** วิเคราะห์ด้วยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอม (AOAC, 2016) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.10 กรัม ย่อยสลายด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก ( $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$  ; 3:1) จนตัวอย่างพืชใส จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการย่อยมาปรับปริมาตรหรือเจือจางให้เหมาะสมแล้วนำไปวัดด้วย เครื่อง atomic absorption spectrophotometer

### 2.2.2 การเสริมธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

เปรียบเทียบผลของการเสริมธาตุสังกะสีและการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด 5 ชนิด คือกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ completely randomized design, CRD กับกรรมวิธีทดสอบ 10 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ (2 ต้น/ซ้ำ) ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ปลูกกรีนคอส เสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 2 ปลูกฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก เสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 3 ปลูกกรีนโอ๊ค เสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 ปลูกเรดโอ๊ค เสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 5 ปลูกบัตเตอร์เฮด เสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 6 ปลูกกรีนคอส เสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 7 ปลูกฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก เสริมสารละลายผสมธาตุเหล็ก

ที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 8 ปลูกกรีนโอ๊ค เสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 9 ปลูกเรดโอ๊ค เสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 10 ปลูกบัตเตอร์เฮด เสริมสารละลายผสมธาตุเหล็ก

ที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร

เพาะเมล็ดผักสลัด 5 ชนิด ย้ายกล้าลงชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT เมื่อผักสลัดอายุ 7 วัน และให้สารละลายธาตุอาหาร ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1.1 เริ่มเสริมธาตุสังกะสีที่ระดับ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสารละลายทั้งระบบให้ผักสลัด โดยแบ่งใส่ 3 รอบ เมื่อผักอายุ 30 33 และ 35 วัน เพื่อให้ได้ปริมาณครบตามที่กำหนด เก็บผลผลิตที่



38 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด ใช้ผักสลัดทั้ง 5 ชนิด ชนิดละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น บันทึกผลและเตรียมตัวอย่างเพื่อประเมินการเจริญเติบโตและวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.2.1

## 2.3 การทดสอบผักสลัดเสริมธาตุอาหารกับเซลล์ลำไส้มนุษย์

### 2.3.1 การเสริมธาตุอาหารในผักสลัด

ศึกษาผลของการเสริมธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี และธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด โดยเลือกผักสลัดที่เป็นที่นิยมในท้องตลาด 3 ชนิด ในที่นี้คือ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด ให้ผักสลัดแต่ละชนิดมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ completely randomized design, CRD กับกรรมวิธีทดสอบ 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ (2 ต้น/ซ้ำ) ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ให้สารละลายธาตุอาหารพีซีในอัตราปกติ

กรรมวิธีที่ 2 เสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 3 เสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 เสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร

เพาะเมล็ดผักสลัด 3 ชนิด ย้ายกล้าลงชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT เมื่อผักสลัดอายุ 7 วัน และให้สารละลายธาตุอาหาร ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.2.1 ทดสอบเสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร เสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสารละลายทั้งระบบให้ผักสลัด โดยแบ่งใส่ 3 รอบ เมื่อผักอายุ 30 33 และ 35 วัน เพื่อให้ได้ปริมาณครบตามที่กำหนด เก็บผลผลิตที่ 38 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด ใช้ผักสลัดทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 4 ซ้ำ แบ่งผลผลิตที่ได้ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกให้บันทึกผลและเตรียมตัวอย่างเพื่อประเมินการเจริญเติบโต ด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง น้ำหนักสดส่วนที่กินได้ น้ำหนักแห้งส่วนที่กินได้ น้ำหนักลำต้นสด น้ำหนักลำต้นแห้ง น้ำหนักรากสด และน้ำหนักรากแห้ง และวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.2.1 ผลผลิตส่วนที่สอง ใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์

### 2.3.2 การทดสอบผลของผักสลัดต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์

ศึกษาผลของผักสลัดที่ให้ธาตุอาหารในอัตราปกติ และผักสลัดเสริมธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี และธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่มีต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ ในประเด็นการรอดชีวิต

รอดของเซลล์เมื่อสัมผัสกับสารสกัดจากผักสลัด โดยแบ่งผลผลิตจากการทดลองที่ 2.3.1 โดยใช้ผักสลัดทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 4 ซ้ำ (1 ต้น/ซ้ำ) เลือกเฉพาะส่วนที่รับประทานได้ล้างให้สะอาด สุ่มซังน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัดแต่ละชนิด ให้ได้ประมาณ 100 กรัม นำไปคั้นน้ำในเครื่องสกัดเย็นแบบแยกกาก ให้ได้น้ำคั้นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเก็บตัวอย่าง นำไปกรองผ่านผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman filter paper No.1 นำตัวอย่างมาทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง แล้วนำตัวอย่างผักสลัดที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง แล้วนำไปทดสอบกับเซลล์ลำไส้มนุษย์ โดยวิธี MTT assay ดัดแปลงจากวิธีการในเอกสารอ้างอิง (พจนพร, 2560) ทำทั้งหมด 3 รอบ ก่อนนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดของเซลล์ ดังนี้

**1. การเตรียมเซลล์** นำเซลล์ลำไส้มนุษย์ (human primary colon cell line, T4056) ที่เก็บจากลำไส้ใหญ่ของมนุษย์เพศชาย อายุ 70 ปี จาก Applied Biological Material (ABM Inc.) เมืองริชมอนด์ ประเทศแคนาดา (ภาคผนวก ก) บรรจุในหลอดแช่แข็งเกลียวนอก ที่อยู่ในถังเก็บไนโตรเจนเหลว ย้ายมาเก็บในตู้แช่แข็ง จากนั้น นำมาละลายอย่างรวดเร็ว โดยแกว่งหลอดครึ่งล่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส ประมาณ 10-15 วินาที จนกว่าจะละลาย โดยให้มีฟลิกน้ำแข็งเหลืออยู่เล็กน้อย ฉีดพ่นหลอดด้วยแอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อ (70% ethanol) ก่อนนำไปเปิดฝาในตู้ชีวนิรภัย (biological safety cabinet)

ดูดเซลล์ที่ละลายแล้วด้วยเครื่องควบคุมการดูดจ่ายสารละลาย (pipette aids) ประมาณ 5 มิลลิลิตร ผสมกับอาหารเลี้ยงเซลล์ Dulbecco's modified eagle medium, DMEM ที่ผสม 10% fetal bovine serum, FBS ซึ่งอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสแล้ว ที่อยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง (ประมาณ 15 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากันดี ก่อนปิดฝาแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าผสมอีกครั้ง จากนั้นทำการปั่นแยกเซลล์ที่ 1,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที เทส่วนใส (supernatant) ที่ เศาะเบาๆ ให้เซลล์ที่กั้นหลอดหมุนเหวี่ยงหลุดออก ผสมเซลล์กับอาหารเลี้ยงเซลล์ Dulbecco's modified eagle medium, DMEM ที่ผสม 10% fetal bovine serum, FBS (ประมาณ 15 มิลลิลิตร) อีกครั้ง แล้วดูดสารละลายทั้งหมดใส่ภาชนะสำหรับเลี้ยงเซลล์ (tissue culture flask) นำไปบ่มในตู้อบแบบคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> incubator) ที่ตั้งอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง

จากนั้น ทำเซลล์ลำไส้มนุษย์ที่เกาะผิวอยู่ในภาชนะสำหรับเลี้ยงเซลล์ให้แขวนลอย โดยการทำให้ trypsinization นับจำนวนและเจือจางเซลล์ให้ได้  $10 \times 10^4$  เซลล์/มิลลิลิตร (ประมาณ 16 มิลลิลิตร/ภาดเลี้ยงเซลล์) ใส่เซลล์แขวนลอยในจานเพาะเลี้ยง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และใช้ multichannel pipette ดูดเซลล์แขวนลอยใส่หลุมละ 100 ไมโครลิตร ให้ได้เซลล์  $1 \times 10^4$  เซลล์/หลุม ในภาดเลี้ยงเซลล์ 96 หลุม ใส่ภาดเลี้ยงเซลล์ในตู้อบแบบคาร์บอนไดออกไซด์และบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน จนกระทั่งเซลล์มีความเจริญอยู่ในช่วง log phase ที่เหมาะสมต่อการทดสอบสาร

**2. การทดสอบสาร** เตรียมตัวอย่างทดสอบและเจือจางในอาหารเลี้ยงเซลล์ให้มีความเข้มข้นของสารทดสอบที่ต้องการ โดยชั่งผงตัวอย่างฝักที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแห้ง 150 มิลลิกรัม ละลายในน้ำ milli-Q water 3 มิลลิลิตร จากนั้นกรองผ่านอุปกรณ์ syringe-filter ขนาดรูกรอง 0.2 ไมโครเมตร ให้ได้ตัวอย่างเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำไปเจือจางในอาหารเลี้ยงเซลล์ Dulbecco's modified eagle medium, DMEM ที่ผสม 2% fetal bovine serum, FBS ให้มีความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เจือจาง 1 เท่าตัวให้มีความเข้มข้น 2.5 1.25 0.62 0.31 และ 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นต่ำที่สุดคือ 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำอาหารเก่าออกจากหลุม ดูดอาหารเลี้ยงเซลล์และสารทดสอบใส่ให้กับเซลล์ที่เกาะติดอยู่ในหลุม หลุมละ 100 ไมโครลิตร ใส่ถาดเลี้ยงเซลล์ในกล่องความชื้น บ่มจนถึงเวลา 24 ชั่วโมง

**3. การตรวจหาจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต** เริ่มด้วยการเจือจางสาร MTT (3-[4,5]-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyl tetrazolium bromide) ให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับใช้ที่ 100 ไมโครลิตรต่อหลุม นำถาดเลี้ยงเซลล์ที่ใช้ทดสอบสาร ที่สิ้นสุดเวลาบ่มสาร ใช้ multichannel pipette ดูดสารทดสอบและอาหารเก่าทิ้ง ใช้ Multichannel Pipette ดูดสารละลาย MTT กับ Dulbecco's modified eagle medium, DMEM (0% fetal bovine serum, FBS) ที่เจือจางไว้ใน pipetting reservoir 100 ไมโครลิตร ใส่ในทุก ๆ หลุม บ่มในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ใช้ multichannel pipette ดูดสารละลาย MTT กับ Dulbecco's modified eagle medium, DMEM (0% fetal bovine serum, FBS) ที่บ่มไว้ 4 ชั่วโมง แล้วเติมสาร dimethyl sulfoxide, DMSO 100 ไมโครลิตร และ ผสม dimethyl sulfoxide, DMSO กับเซลล์ให้เข้ากันโดยดูดขึ้นลง ๆ หลาย ๆ ครั้ง นำไปอ่านค่าการรอดชีวิตของเซลล์ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร และวัดค่าอ้างอิงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader จากนั้น นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดของเซลล์ ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดของเซลล์

$$= \frac{(OD_{570} - OD_{650} \text{ ของเซลล์บ่มสารทดสอบ}) \times 100}{(OD_{570} - OD_{650} \text{ ของเซลล์ที่ไม่ได้บ่มสารทดสอบ})}$$

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน analysis of variance, ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีทดสอบโดยวิธี Duncan's multiple range tests, DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% โดยใช้โปรแกรม statistical analysis program, SPSS ver.26

### บทที่ 3

#### ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด ในชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผัก

ผักสลัดกรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กอายุ 42 วัน ที่ใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่งโดยเฉลี่ยมากกว่าผักสลัดที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ ที่ 40.91% และ 23.22% ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) มีทรงพุ่มขนาดใหญ่ ลำต้นแข็งแรง และปริมาณรากหนาแน่นกว่าผักสลัดที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์อย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 9) การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับใช้ชีวภัณฑ์ ทำให้อายุผักสลัดมีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งสูงกว่าการเสริมธาตุเหล็กโดยไม่ใช้ชีวภัณฑ์ โดยน้ำหนักสดหลังตัดแต่งของกรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็กที่ใช้ชีวภัณฑ์ มีค่าอยู่ในช่วง 130.85-259.89 และ 44.14-250.83 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผักสลัดเสริมธาตุเหล็กที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งอยู่ในช่วง 96.23-156.25 และ 52.90-185.20 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

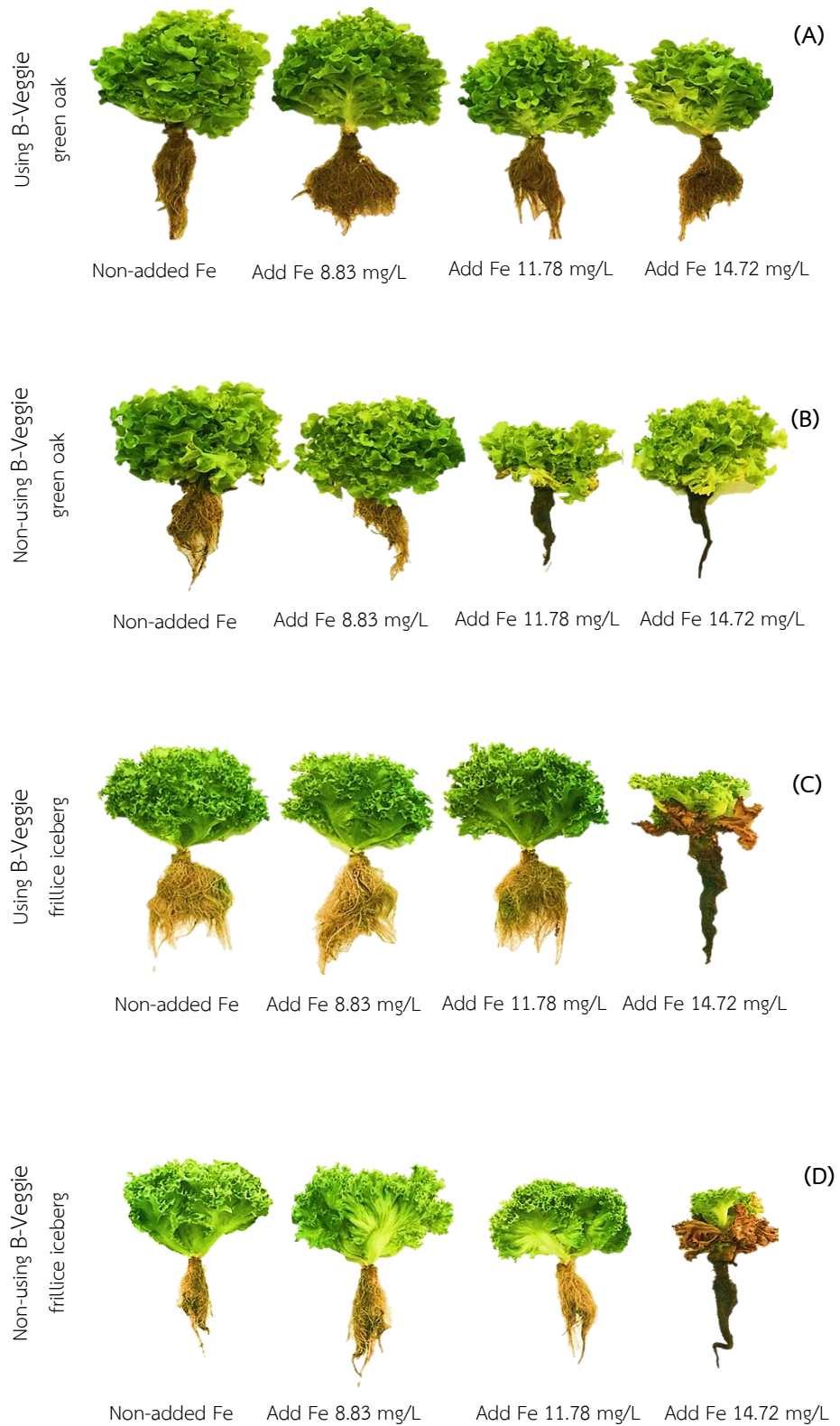
การเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มทำให้กรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้ชีวภัณฑ์ มีทรงพุ่ม กลุ่มราก และน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง ไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและใช้ชีวภัณฑ์ แต่ทำให้ผักสลัดที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง 52.99% และ 24.14% ตามลำดับ และการเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 11.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้ชีวภัณฑ์ มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง 18.06% และ 3.14% ตามลำดับ โดยไม่พบลักษณะอาการผิดปกติของพืช แต่ทำให้ผักสลัดที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง 63.61% และ 35.08% ตามลำดับ โดยพบลักษณะอาการผิดปกติ ทรงพุ่มเล็ก ลำต้นแคระแกร็นอย่างเห็นได้ชัด รากมีสีดำ นิ่มและเน่า

การเสริมธาตุเหล็กที่ระดับสูงสุด (14.72 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้กรีนโอ๊คที่ใช้ชีวภัณฑ์ มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง 50.52% โดยไม่พบลักษณะอาการผิดปกติของพืช แต่ทำให้กรีนโอ๊คที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง 60.75% โดยพบลักษณะอาการผิดปกติของพืช คล้ายกรีนโอ๊คที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์และเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 11.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้และไม่ใช้ชีวภัณฑ์ มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง 81.70% และ 71.44% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและใช้ชีวภัณฑ์ และพบลักษณะอาการผิดปกติ ลำต้นแคระแกร็นและรากมีสีดำ นิ่มและเน่า แสดงให้เห็นว่า ผักสลัดทั้งสองชนิด มีความสามารถในการทนต่อปริมาณเหล็กที่เพิ่มสูงขึ้นได้ไม่เท่ากัน และกรรมวิธีเสริมธาตุเหล็กในผักสลัดที่ให้ผลดีที่สุด คือการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับการเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร

**ตารางที่ 1** การเจริญเติบโตของผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie

Treatment		42 days whole fresh weight (g)	
		green oak	frillice iceberg
Using B-Veggie	Non-added Fe	264.46 ± 7.90a	241.23 ± 12.92ab
	Add Fe 8.83 mg/L	259.89 ± 5.54a	250.83 ± 8.78a
	Add Fe 11.78 mg/L	216.69 ± 15.71b	233.66 ± 5.66b
	Add Fe 14.72 mg/L	130.85 ± 4.02d	44.14 ± 5.32e <sup>#</sup>
Non-using B-Veggie	Non-added Fe	156.25 ± 5.78c	185.20 ± 6.01c
	Add Fe 8.83 mg/L	124.31 ± 4.50d	182.99 ± 5.49c
	Add Fe 11.78 mg/L	96.23 ± 6.83e <sup>#</sup>	156.60 ± 7.21d
	Add Fe 14.72 mg/L	103.81 ± 6.14e <sup>#</sup>	52.90 ± 8.20e <sup>#</sup>
F-test		*	*
C.V. (%)		4.65	4.64

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; อักษรตัวพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยวิธี F-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%  
# = ผักสลัดที่รากแสดงลักษณะอาการเน่า



ภาพที่ 9 ลักษณะของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ใช้ชีวภัณฑ์ (A) กรีนโอ๊คที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ (B) ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้ชีวภัณฑ์ (C) และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ (D) เมื่อทดสอบเสริมธาตุเหล็กที่ระดับต่างกัน

## 3.2 ผลการเสริมธาตุเหล็กและธาตุสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด ในชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT

### 3.2.1 ผลการเสริมธาตุเหล็กในผักสลัด

#### 3.2.1.1 การเจริญเติบโตของผักสลัดเสริมธาตุเหล็ก

จากการทดสอบเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ในผักสลัด 5 ชนิด (กรีนคอส พิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด) ที่มีการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie พบว่าการเสริมธาตุเหล็กทำให้กรีนคอสเสริมมีการเจริญเติบโตสูงสุด ด้วยน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ 305.73 และ 222.15 กรัม ตามลำดับ แต่การให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ทำให้เรดโอ๊คมีการเจริญเติบโตต่ำสุด ด้วยน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ 84.62 และ 66.34 กรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และการเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง และน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ของพิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด เพิ่มขึ้น 20.42%-23.55%, 30.67%-33.09%, 29.28-30.40% และ 22.62-25.46% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ตารางที่ 2)

#### 3.2.1.2 คุณภาพของผักสลัดเสริมธาตุเหล็ก

ผลการศึกษาคุณภาพของผักสลัด ประกอบด้วย ปริมาณไนเตรต ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัด 5 ชนิด ปลูกในฤดูร้อน มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

ปริมาณไนเตรต ผักสลัดทั้ง 5 ชนิด ซึ่งปลูกในฤดูร้อน กรรมวิธีที่ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและกรรมวิธีเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณไนเตรตอยู่ในช่วง 616.20-1,420.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป (ผักสลัดทั่วไปและผักสลัดกลุ่มไอซ์เบิร์ก ที่ปลูกกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาคลุม และเก็บเกี่ยวในฤดูร้อน ควรมีปริมาณไนเตรตไม่เกิน 4,000 และ 2,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) โดยบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนเตรตมากที่สุด (1,420.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนคอสเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนเตรตน้อยที่สุด (616.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และพบว่ากรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณไนเตรตน้อยกว่ากรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ที่ 30.59% แต่บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณไนเตรตมากกว่าบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ที่ 18.05% และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม กรีนคอส พิลเลย์ไอซ์

เบิร์ก และเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ตารางที่ 2)

ปริมาณไนโตรเจน พบว่าการเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มทำให้ปริมาณไนโตรเจนในกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด เพิ่มขึ้น 17.02% 25.58% และ 17.32% ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในกรีนคอสและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กมีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด (2,245.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนคอสเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด (1,407.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)

ปริมาณฟอสฟอรัส การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง 49.55% 33.62% 45.19% 37.95% และ 52.40% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยกรีนคอสที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด (288.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด (120.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 2)

ปริมาณโพแทสเซียม การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง 44.69% 39.02% 32.39% และ 33.34% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในขณะที่กรีนโอ๊ค ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด (5,015.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุด (2,220.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 2)

ปริมาณแคลเซียม การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ปริมาณแคลเซียมในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง 32.60% 22.72% 27.05% 27.38% และ 31.17% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด (823.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณแคลเซียมน้อยที่สุด (449.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 3)

ปริมาณแมกนีเซียม การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ปริมาณแมกนีเซียมในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง 41.38% 22.70% 31.09% 35.98% และ 41.91% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่



ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแมกนีเซียมมากที่สุด (160.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณแมกนีเซียม น้อยที่สุด (74.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 3)

ปริมาณเหล็ก การเสริมธาตุเหล็กมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเหล็กในกรีนคอส พิลเลย์ไอซ์ เบิร์ก และเรดโอ๊ค เพิ่มขึ้น 4.36 2.84 และ 1.32 เท่า ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่บัตเตอร์เฮด ปริมาณเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และกรีนโอ๊คมีปริมาณเหล็กไม่แตกต่างกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณเหล็กมากที่สุด (16.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด (2.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 3)

ปริมาณสังกะสี การเสริมธาตุเหล็กมีแนวโน้มทำให้ปริมาณสังกะสีลดลง 0.56-0.77 เท่า โดยเฉพาะในกรีนคอส ที่ปริมาณสังกะสีลดลงถึง 44.48% และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณสังกะสีมากที่สุด (3.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณสังกะสีน้อยที่สุด (1.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 3)

ปริมาณแมงกานีส การเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มทำให้ปริมาณแมงกานีสในกรีนคอส และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเพิ่มขึ้น 1.37 และ 1.46 เท่า ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด ปริมาณแมงกานีสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณแมงกานีสมากที่สุด (2.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุด (0.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 3)

ปริมาณทองแดง การเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มทำให้ปริมาณเหล็กทองแดงในกรีนคอส กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง 0.74 0.77 0.78 และ 0.60 เท่า ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในขณะที่ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก มีปริมาณแมงกานีสไม่แตกต่างกับฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณทองแดงมากที่สุด (0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณทองแดงน้อยที่สุด (0.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 3)

### 3.2.1.3 สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบ

ผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ พบว่าน้ำหนักสดหลังตัดแต่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ ( $r = 0.991$ ) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณไนโตรเจนและเหล็ก ( $r = -0.996$  และ  $r = -0.903$  ตามลำดับ) น้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณไนโตรเจนและเหล็ก ( $r = -0.993$  และ  $r = -0.945$  ตามลำดับ) ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเหล็ก ( $r = 0.900$ ) ปริมาณโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแคลเซียม ( $r = 0.888$ ) และปริมาณแคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสังกะสี ( $r = 0.933$ )

ผักสลัดเสริมธาตุเหล็ก พบว่าน้ำหนักสดหลังตัดแต่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ ( $r = 0.981$ ) ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ( $r = 0.993$ ,  $r = 0.883$  และ  $r = 0.895$  ตามลำดับ) ปริมาณโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแคลเซียม สังกะสี และทองแดง ( $r = 0.890$ ,  $r = 0.896$  และ  $r = 0.908$  ตามลำดับ) ปริมาณแคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียมและสังกะสี ( $r = 0.964$  และ  $r = 0.983$  ตามลำดับ) และปริมาณแมกนีเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเหล็กและสังกะสี ( $r = 0.964$  และ  $r = 0.983$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 2** การเจริญเติบโต และปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและเสริมธาตุหลัก

Treatment	whole fresh weight (g)	leaves fresh weight (g)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )
Control-green cos	284.66 ± 44.50a	206.38 ± 31.95a	747.84 ± 32.62ef	1,501.75 ± 81.34ef	288.49 ± 24.47a	4,130.31 ± 858.74ab
Control- frillice iceberg	155.1 ± 20.48cd	131.11 ± 11.67cd	1,258.74 ± 91.39ab	1,937.22 ± 156.10bc	209.11 ± 16.73d	5,015.74 ± 542.60a
Control-green oak	95.67 ± 22.06fg	76.84 ± 21.07fg	1,126.59 ± 36.59bc	2,140.14 ± 110.30ab	280.66 ± 5.49ab	4,012.66 ± 413.21ab
Control-red oak	84.62 ± 16.90g	66.34 ± 15.20g	992.31 ± 191.91cd	2,245.40 ± 174.99a	226.5 ± 37.65cd	4,140 ± 1083.19ab
Control-butterhead	137.35 ± 8.66de	116 ± 7.14de	1,203.52 ± 234.93b	2,019.26 ± 132.94b	253.15 ± 28.53bc	3,330.6 ± 866.73bc
Fe -green cos	305.73 ± 9.56a	222.15 ± 11.68a	616.20 ± 73.08f	1,407.14 ± 102.69f	145.53 ± 10.01ef	2,284.3 ± 341.45cd
Fe - frillice iceberg	186.77 ± 3.49b	161.99 ± 2.33b	1,437.13 ± 88.71a	1,784.11 ± 96.77cd	138.8 ± 7.97ef	3,058.72 ± 706.34b-d
Fe -green oak	125.01 ± 17.70d-f	102.22 ± 15.39ef	781.98 ± 112.13ef	1,775.92 ± 186.49cd	153.82 ± 21.91e	3,131.68 ± 807.36b-d
Fe -red oak	109.4 ± 12.28e-f	86.51 ± 11.05fg	903.76 ± 120.96de	1,671.03 ± 115.26de	140.55 ± 7.64ef	2,798.85 ± 233.81cd
Fe -butterhead	168.42 ± 18.64bc	145.53 ± 21.53bc	1,420.76 ± 189.72a	1,669.61 ± 203.70de	120.5 ± 17.90f	2,220.1 ± 469.78d
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	12.34	12.83	12.76	7.81	10.42	20.03

**หมายเหตุ:** แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Duncan's multiple range tests, DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 3** ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีสและทองแดง ในผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและเสริมธาตุหลัก

Treatment	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )
-----------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

Control-green cos	763.91 ± 48.11ab	142.72 ± 11.29ab	2.83 ± 0.61g	3.08 ± 0.58ab	1.52 ± 0.28b	0.5 ± 0.07bc
Control- frillice iceberg	823.1 ± 83.19a	156.97 ± 13.32a	5.88 ± 1.34f	3.66 ± 0.38ab	1.56 ± 0.14b	0.45 ± 0.05cd
Control-green oak	794.2 ± 77.00ab	145.49 ± 15.94ab	13.6 ± 1.72bc	3.24 ± 0.49ab	0.8 ± 0.07c	0.73 ± 0.05a
Control-red oak	753.72 ± 24.64a	160.52 ± 11.00a	12.28 ± 1.03cd	2.35 ± 0.32cd	1.46 ± 0.55b	0.59 ± 0.07b
Control-butterhead	653.11 ± 100.32bc	128.62 ± 18.41bc	7.68 ± 2.37ef	1.87 ± 0.36d-f	1.15 ± 0.13bc	0.43 ± 0.03cd
Fe -green cos	514.91 ± 47.13de	83.66 ± 6.57ef	12.33 ± 1.80cd	1.71 ± 0.17ef	2.08 ± 0.29a	0.37 ± 0.06d
Fe - frillice iceberg	636.12 ± 92.28c	121.34 ± 18.09cd	16.7 ± 2.35a	2.52 ± 0.64bc	2.28 ± 0.53a	0.46 ± 0.11cd
Fe -green oak	579.4 ± 117.61cd	100.26 ± 16.95de	13.36 ± 3.90bc	2.26 ± 0.22c-e	1.21 ± 0.20bc	0.56 ± 0.06b
Fe -red oak	547.34 ± 15.11c-e	102.77 ± 6.45de	16.18 ± 0.52ab	1.8 ± 0.05d-f	1.63 ± 0.14b	0.46 ± 0.03cd
Fe -butterhead	449.54 ± 83.87e	74.71 ± 14.89f	10.07 ± 1.98de	1.3 ± 0.27f	1.13 ± 0.31bc	0.26 ± 0.04e
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	11.66	11.44	18.03	16.35	20.83	13.18

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Duncan's multiple range tests, DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 4** สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบที่มีความแตกต่างทางสถิติในผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและเสริมธาตุเหล็ก

Treatment	Correlation	Correlation coefficients (r)
Control	whole fresh weight × leaves fresh weight	0.991**
	whole fresh weight × N	-0.996**
	whole fresh weight × Fe	-0.903*
	leaves fresh weight × N	-0.993**
	leaves fresh weight × Fe	-0.945*
	N × Fe	0.900*
	K × Ca	0.888*
	Ca × Zn	0.933*
Add Fe	whole fresh weight × leaves fresh weight	0.981**
	N × K	0.993**
	N × Ca	0.883*
	N × Mg	0.895*
	K × Ca	0.890*
	K × Zn	0.896*
	K × Cu	0.908*
	Ca × Mg	0.964**
	Ca × Zn	0.983**
	Mg × Fe	0.930*
	Mg × Zn	0.911*

หมายเหตุ: \* แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

\*\* แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

### 3.2.2 ผลการเสริมธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีในผักสลัด

#### 3.2.2.1 การเจริญเติบโตของผักสลัดเสริมธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

จากการทดสอบเสริมธาตุสังกะสีที่ระดับ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ในผักสลัด 5 ชนิด (กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด) ที่มีการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie พบว่าการเสริมธาตุสังกะสี ทำให้ผักสลัดมีแนวโน้มการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ มากกว่าผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี เฉลี่ยที่ 46.87% และ 40.59% ตามลำดับ โดยกรีนคอสเสริมธาตุสังกะสี มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้มากที่สุด (287.85 และ 210.54 กรัม ตามลำดับ) และเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้น้อยที่สุด (40.29 และ 24.06 กรัม ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้มากกว่าผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่ทำให้บัตเตอร์เฮด มีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกับบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (ตารางที่ 5)

#### 3.2.2.2 คุณภาพของผักสลัดเสริมธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีในผักสลัด

ผลการทดสอบเสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่มีต่อคุณภาพ (ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในส่วนที่รับประทานได้) ของผักสลัด 5 ชนิด มีดังนี้

ปริมาณไนเตรต ผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไนเตรตอยู่ในช่วง 352.27-916.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป (ผักสลัดทั่วไปและผักสลัดกลุ่มไอซ์เบิร์ก ที่ปลูกกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาคลุมและเก็บเกี่ยวในฤดูร้อน ควรมีปริมาณไนเตรตไม่เกิน 4,000 และ 2,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) โดยกรีนคอสและกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณไนเตรตน้อยกว่ากรีนคอสและกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่ 139.48% และ 54.70% ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไนเตรตที่มากที่สุด (916.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนคอสเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณไนเตรตที่น้อยที่สุด (352.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และพบว่าบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไน

เทรตน้อยกว่าแบตเตอรี่เฮดเสริมธาตุสังกะสี ที่ 14.29% แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 5)

ปริมาณไนโตรเจน การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีทำให้ ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 36.89% 47.36% และ 22.03% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่กรีนคอสและแบตเตอรี่เฮด มีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด (2,368.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด (1,513.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 5)

ปริมาณฟอสฟอรัส การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และแบตเตอรี่เฮด มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 49.92% 57.83% 107.96% 39.63% และ 14.41% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด (219.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด (105.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 5)

ปริมาณโพแทสเซียม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 23.71% 8.60% 69.71% และ 6.77% ตามลำดับ โดยเฉพาะกรีนโอ๊ค ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่แบตเตอรี่เฮด มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว 16.75% แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด (3,942.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุด (2,057.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 5)

ปริมาณแคลเซียม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณแคลเซียมมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 16.99% 46.28% และ 35.67% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่กรีนคอสและแบตเตอรี่เฮด มีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกันกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี โดยเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด (815.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณแคลเซียมน้อยที่สุด (536.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6)

ปริมาณแมกนีเซียม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 22.86% 50.91% และ 35.08% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่กรีนคอสและแบตเตอรี่เฮด มี

ปริมาณแมงกานีสไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี โดยเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก ร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุด (149.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุด (82.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6)

ปริมาณเหล็ก การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดมีปริมาณเหล็กมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 1.78 2.79 4.04 2.80 และ 3.56 เท่า ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยกรีนคอสเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีปริมาณเหล็กมากที่สุด (14.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด (3.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6)

ปริมาณสังกะสี การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดมีปริมาณสังกะสีน้อยกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 0.48 0.38 0.25 0.30 และ 0.46 เท่า ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณสังกะสีมากที่สุด (13.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ในขณะที่บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณสังกะสีน้อยที่สุด (2.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6)

ปริมาณแมงกานีส การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีปริมาณแมงกานีส น้อยกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 0.77 และ 0.74 เท่า ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก และกรีนโอ๊ค มีปริมาณแมงกานีสไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี โดยฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณแมงกานีสมากที่สุด (1.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุด (0.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6)

ปริมาณทองแดง การเสริมธาตุสังกะสี และเสริมเหล็กร่วมกับสังกะสี ไม่ทำให้ผักสลัดชนิดเดียวกันมีปริมาณทองแดงที่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักสลัดต่างชนิด พบว่ากรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณทองแดงมากที่สุด (0.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณทองแดงน้อยที่สุด (0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6)

### 3.2.2.3 สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบ

จากผลการทดลองพบว่าน้ำหนักสดหลังตัดแต่งของผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ ( $r = 0.991$ ) ปริมาณไนเตรดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนโตรเจน ( $r = 0.886$ ) และปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณโพแทสเซียมและแมงกานีส ( $r = 0.906$  และ  $r = 0.975$  ตามลำดับ) แต่ปริมาณ



ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสังกะสี ( $r = -0.948$ ) ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียม ( $r = 0.891$ ) และปริมาณแคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียม ( $r = 0.922$ )

ผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี พบว่าน้ำหนักสดหลังตัดแต่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ ( $r = 0.994$ ) ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ( $r = 0.929$ ,  $r = 0.921$  และ  $r = 0.891$  ตามลำดับ) ปริมาณแคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียม ( $r = 0.972$ ) และปริมาณเหล็กมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสังกะสี ( $r = 0.905$ ) (ตารางที่ 7)

**ตารางที่ 5** การเจริญเติบโต และปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสีและเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

Treatment	whole fresh weight (g)	leaves fresh weight (g)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )
Zn-green cos	287.85 ± 41.75a	210.54 ± 30.61a	352.27 ± 23.17f	1,513.83 ± 128.10b	120.68 ± 11.40cd	2,435.76±295.35cd
Zn - frillice iceberg	156.57 ± 20.06c	131.32 ± 16.85c	693.57 ± 106.9cd	1,730.1 ± 84.57b	107.66 ± 6.26d	3,630.24±494.86ab
Zn -green oak	87.01 ± 22.1d	66.81 ± 19.12e	545.54 ± 34.47e	1,540.87 ± 206.11b	105.7 ± 9.10d	2,057.48±446.03d
Zn -red oak	81.08 ± 6.81d	61.12 ± 7.73e	848.63 ± 76.2ab	1,706.28 ± 154.09b	118.96 ± 14.56cd	3,005.36±702.38bc
Zn -butterhead	152.12 ± 23c	127.95 ± 20.34cd	704.21 ± 67.53cd	1,662.59 ± 367.82b	129.52 ± 40.58cd	3,033.76±914.92bc
Fe+Zn -green cos	234.79 ± 23.87b	169.28 ± 18.4b	843.6 ± 138.18ab	1,697.21 ± 110.81b	180.92 ± 7.12b	3,013.39±197.20bc
Fe+Zn - frillice iceberg	87.6 ± 12.08d	68.21 ± 10.14e	774.94 ± 97.8bc	2,368.39 ± 43.84a	169.92 ± 9.50b	3,942.49±332.85a
Fe+Zn -green oak	40.16 ± 3.8e	28.04 ± 5.37f	843.97 ± 123.73ab	2,270.61 ± 252.20a	219.81 ± 36.32a	3,491.85±601.70ab
Fe+Zn -red oak	40.29 ± 4.4e	24.06 ± 1.77f	916.11 ± 62.53a	2,082.25 ± 319.30a	166.1 ± 30.43b	3,208.96±665.32a-c
Fe+Zn -butterhead	127.43 ± 14.49c	105.21 ± 12.36d	603.58 ± 67.45de	1648.86 ± 123.68b	148.19 ± 16.33bc	2,525.63±365.14cd
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	15.77	16.51	12.23	11.25	14.87	17.90

หมายเหตุ: แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Duncan's multiple range tests, DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

**ตารางที่ 6** ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีสและทองแดง ในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสีและเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

Treatment	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )
Zn-green cos	536.08 ± 60.61d	82.62 ± 8.12e	8.4 ± 2.06c	8.47 ± 1.65b	1.07 ± 0.11a-c	0.29 ± 0.06cd
Zn - frillice iceberg	676.31 ± 60.89bc	118.48 ± 10.63bc	5.53 ± 0.83d	10.27 ± 1.07b	1.21 ± 0.15a	0.37 ± 0.03bc
Zn -green oak	541.16 ± 79.64d	86.52 ± 10.32e	3.13 ± 1.65d	13.34 ± 2.65a	0.76 ± 0.14d-f	0.52 ± 0.09a
Zn -red oak	600.83 ± 74.83cd	110.64 ± 16.83b-d	3.52 ± 0.86d	8.53 ± 1.01b	1.11 ± 0.11ab	0.42 ± 0.05b
Zn -butterhead	541.55 ± 111.47d	96.22 ± 19.79c-d	3.94 ± 1.85d	5.44 ± 1.79c	0.93 ± 0.22b-d	0.28 ± 0.06d
Fe+Zn -green cos	569.76 ± 42.68cd	94.58 ± 7.16de	14.92 ± 0.96a	4.05 ± 1.52cd	1.00 ± 0.13a-c	0.27 ± 0.02d
Fe+Zn - frillice iceberg	791.2 ± 27.11ab	145.57 ± 8.75a	15.41 ± 1.67a	3.91 ± 0.11cd	1.15 ± 0.07a	0.32 ± 0.04cd
Fe+Zn -green oak	791.62 ± 120.15ab	130.57 ± 23.82ab	12.66 ± 2.44ab	3.32 ± 0.30d	0.59 ± 0.11f	0.55 ± 0.08a
Fe+Zn -red oak	815.17 ± 86.96a	149.45 ± 17.89a	9.85 ± 0.59bc	2.6 ± 0.39d	0.86 ± 0.19c-e	0.43 ± 0.08b
Fe+Zn -butterhead	494.4 ± 74.03d	88.89 ± 14.44de	14.01 ± 4.20a	2.49 ± 0.24d	0.69 ± 0.07ef	0.24 ± 0.03d
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	12.36	13.39	21.74	21.33	14.73	14.91

**หมายเหตุ:** แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจำนวน 4 ซ้ำ; ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \* = มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อทดสอบ

ด้วยวิธี Duncan's multiple range tests, DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

**ตารางที่ 7** สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบที่มีความแตกต่างทางสถิติในผักสลัด  
เสริมธาตุสังกะสีและเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

Treatment	Correlation	Correlation coefficients (r)
Add Zn	whole fresh weight × leaves fresh weight	0.991**
	$\text{NO}_3^- \times \text{N}$	0.886*
	$\text{N} \times \text{K}$	0.906*
	$\text{N} \times \text{Mg}$	0.957*
	$\text{P} \times \text{Zn}$	-0.948*
	$\text{K} \times \text{Mg}$	0.891*
	$\text{Ca} \times \text{Mg}$	0.922*
Add Fe+Zn	whole fresh weight × leaves fresh weight	0.994**
	$\text{N} \times \text{K}$	0.929*
	$\text{N} \times \text{Ca}$	0.921*
	$\text{N} \times \text{Mg}$	0.891*
	$\text{Ca} \times \text{Mg}$	0.972**
	$\text{Fe} \times \text{Zn}$	0.905*

หมายเหตุ: \* แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

\*\* แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

### 3.3 ผลของผักสลัดเสริมธาตุอาหารต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์

#### 3.3.1 การเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัดเสริมธาตุอาหาร

ผลการเสริมธาตุอาหารในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด ในชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT ที่อายุ 38 วัน พบว่า การเสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่มีธาตุเหล็ก 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง น้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ น้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ น้ำหนักลำต้นสดผักสลัด น้ำหนักลำต้นแห้งผักสลัด น้ำหนักรากสดผักสลัด และน้ำหนักรากแห้งผักสลัด และคุณภาพของผักสลัด มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

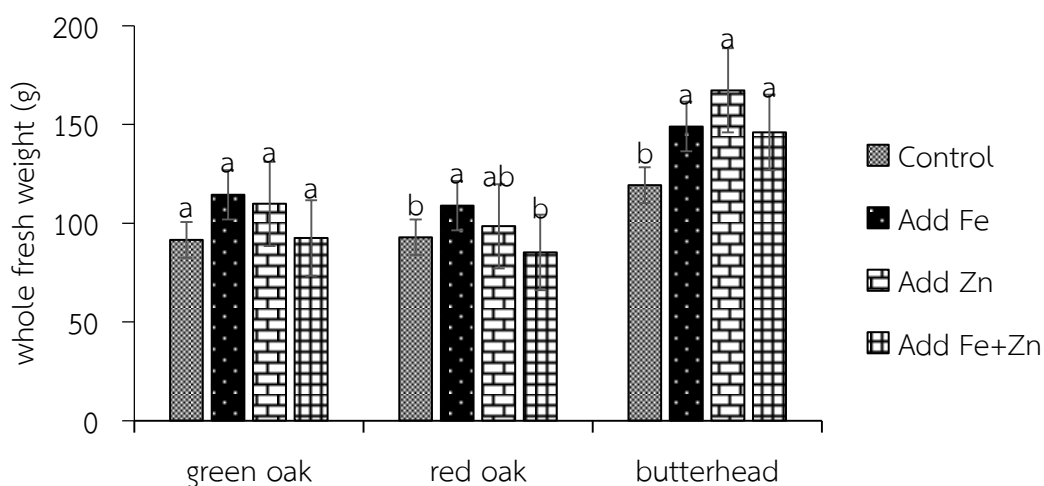
น้ำหนักสดหลังตัดแต่ง การให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุอาหาร ทำให้น้ำหนักสดหลังตัดแต่งกรีนโอ๊ค ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม การเสริมธาตุเหล็กทำให้เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งเพิ่มขึ้น 17.21% และ 24.93% ตามลำดับ (108.88 และ 148.98 กรัม ตามลำดับ) การเสริมธาตุสังกะสีและการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮดมีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งเพิ่มขึ้น 40.31% และ 22.44% ตามลำดับ (167.31 กรัม และ 146.01 กรัม ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ภาพที่ 10)

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ การเสริมธาตุเหล็กทำให้กรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้เพิ่มขึ้น 35.34% 22.37% และ 23.94% ตามลำดับ (90.31 87.10 และ 116.86 กรัม ตามลำดับ) แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และทำให้น้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ของกรีนโอ๊คเพิ่มขึ้น 30.17% (3.40 กรัม) และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ซึ่งมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน การเสริมธาตุสังกะสีและการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮดมีน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้เพิ่มขึ้น 31.70% และ 23.13% ตามลำดับ (124.17 และ 116.09 กรัม ตามลำดับ) แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุสังกะสีทำให้น้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ของบัตเตอร์เฮดเพิ่มขึ้น 33.85% (4.73 กรัม) และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ซึ่งมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 11,12)

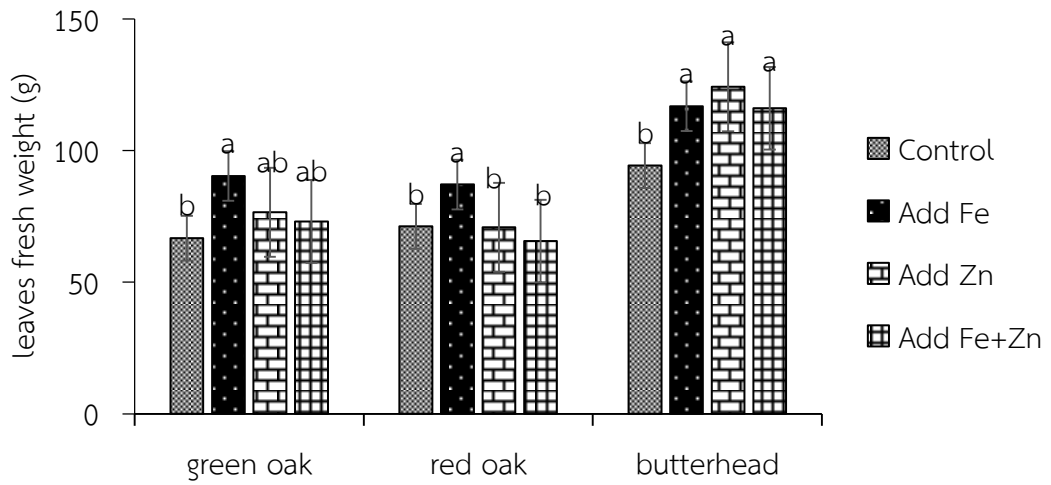
น้ำหนักลำต้นสดและน้ำหนักลำต้นแห้ง การเสริมธาตุเหล็กทำให้กรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีน้ำหนักลำต้นสดเพิ่มขึ้น 76.59% 45.53% และ 56.09% ตามลำดับ (4.72 5.11 และ 8.76 กรัม ตามลำดับ) การเสริมธาตุสังกะสีทำให้กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีน้ำหนักลำต้นสดเพิ่มขึ้น 52.38% และ 65.11% ตามลำดับ (4.08 และ 9.27 กรัม ตามลำดับ) และการเสริมธาตุเหล็ก

ร่วมกับสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮด มีน้ำหนักลำต้นสดเพิ่มขึ้น 60.30% (9.00 กรัม) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ไม่ทำให้น้ำหนักลำต้นแห้งของกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คแตกต่างกับกรรมวิธีที่ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ แต่ทำให้น้ำหนักลำต้นแห้งของบัตเตอร์เฮดเพิ่มขึ้น 35.10% 44.08% และ 7.76% ตามลำดับ (0.41 0.44 และ 0.33 กรัม ตามลำดับ) แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ภาพที่ 13,14)

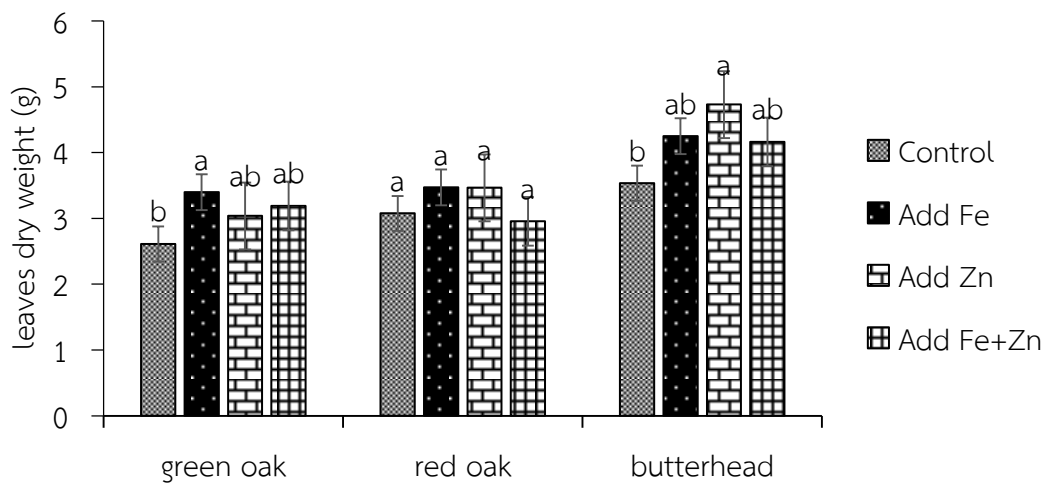
น้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้ง พบว่าผักสลัดทั้ง 3 ชนิด ตอบสนองต่อการเสริมธาตุสังกะสีอย่างเห็นได้ชัด โดยการเสริมธาตุสังกะสีทำให้กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีน้ำหนักรากสดเพิ่มขึ้น 31.80% 31.31% และ 75.06% ตามลำดับ (29.15 23.90 และ 33.87 กรัม ตามลำดับ)และทำให้น้ำหนักรากแห้งเพิ่มขึ้น 45.10% 31.08% และ 39.17% ตามลำดับ (1.04 0.85 และ 1.05 กรัม ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ภาพที่ 15,16) แสดงให้เห็นว่า ในด้านของการเจริญเติบโตของผักสลัด บัตเตอร์เฮดสามารถตอบสนองต่อการเสริมธาตุสังกะสีได้ดีที่สุด



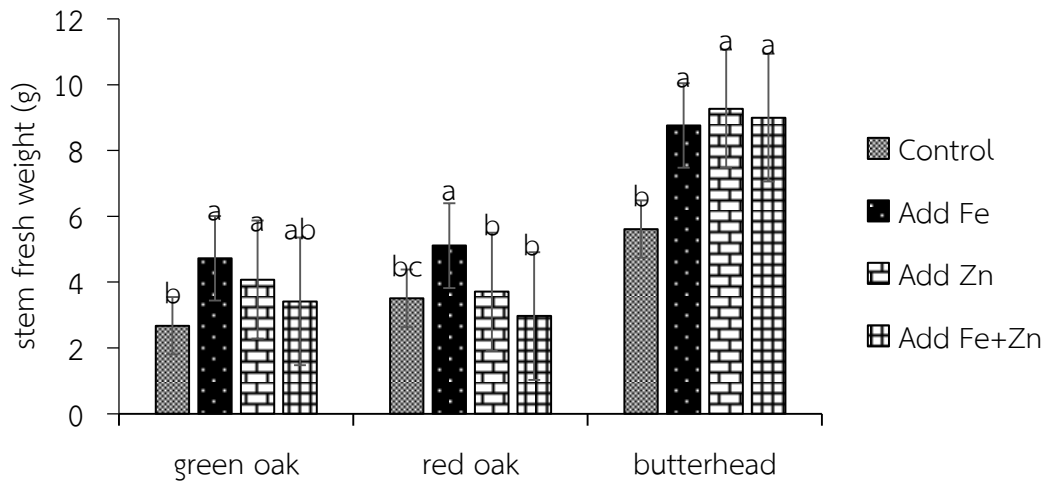
ภาพที่ 10 น้ำหนักสดหลังตัดแต่งของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



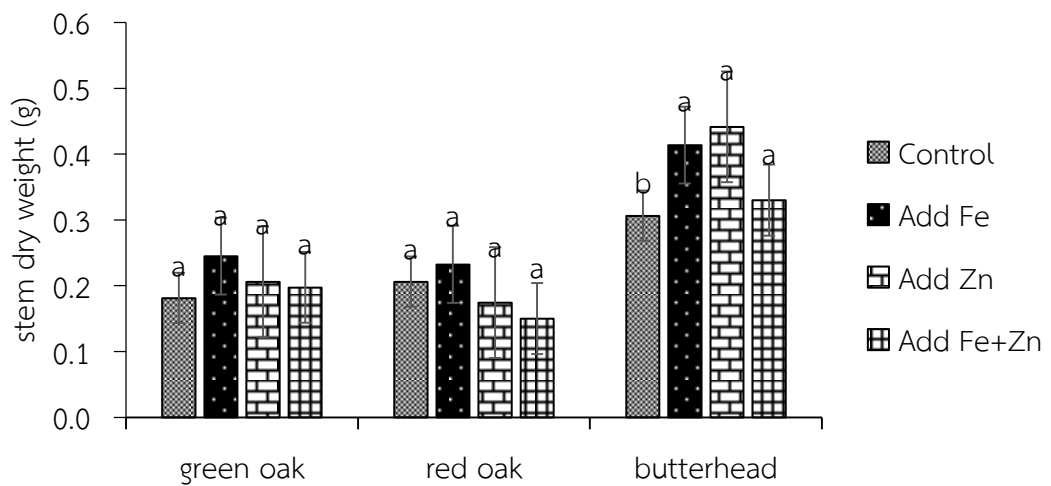
ภาพที่ 11 น้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



ภาพที่ 12 น้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

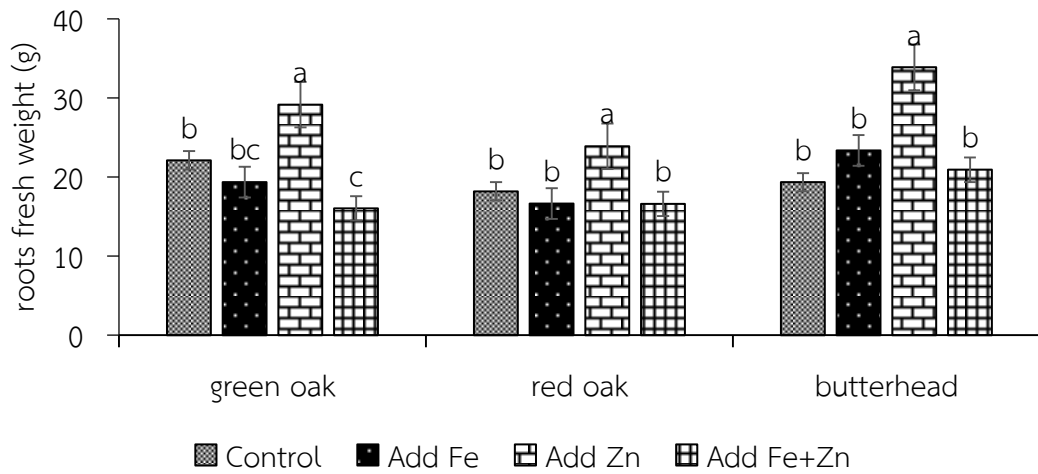


ภาพที่ 13 น้ำหนักลำต้นสดของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

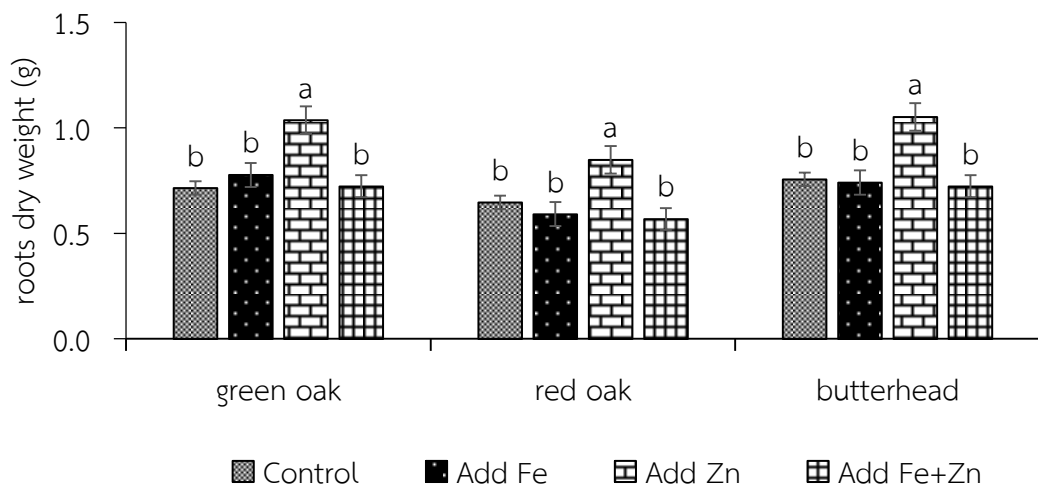


ภาพที่ 14 น้ำหนักลำต้นแห้งของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี





ภาพที่ 15 น้ำหนักรากสดของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



ภาพที่ 16 น้ำหนักรากแห้งของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (กรัม) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

สีของแผ่นใบและลักษณะทรงพุ่ม จากการพิจารณา พบว่า กรีนโอ๊คเสริมธาตุอาหาร มีขนาดใบ ทรงพุ่ม และกลุ่มราก ค่อนข้างใหญ่กว่ากรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ โดยการเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ใบและรากของกรีนโอ๊คมีสีเข้มกว่ากรรมวิธีอื่นๆ การเสริมธาตุสังกะสี มีแนวโน้มทำให้บริเวณทั่วทั้งแผ่นใบของกรีนโอ๊คมีลักษณะสีเหลืองซีด และแสดงอาการรุนแรงในใบอ่อน และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีกลุ่มรากค่อนข้างใหญ่กว่ากรรมวิธีอื่นๆ (ภาพที่ 17) เรดโอ๊คเสริมธาตุอาหารและเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีลักษณะทรงพุ่มที่ค่อนข้างไม่

แตกต่างกัน การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้รากของเรดโอ๊คมีสีค่อนข้างเข้มกว่ากรรมวิธีอื่นๆ การเสริมธาตุสังกะสี มีแนวโน้มทำให้กลุ่มรากมีขนาดใหญ่ และรากมีความยาวมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ แต่ไม่ปรากฏลักษณะใบเหลืองซีดเช่นในกรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮด และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีกลุ่มรากค่อนข้างใหญ่ เช่นเดียวกับกรรมวิธีเสริมธาตุสังกะสี (ภาพที่ 18) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุอาหาร มีขนาดทรงพุ่ม และกลุ่มราก ใหญ่กว่าบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ อย่างชัดเจน การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ใบและรากของบัตเตอร์เฮดมีสีเข้มกว่ากรรมวิธีอื่นๆ การเสริมธาตุสังกะสี มีแนวโน้มทำให้บริเวณทั่วทั้งแผ่นใบของบัตเตอร์เฮดมีลักษณะสีเหลืองซีด และแสดงอาการรุนแรงในใบอ่อน เช่นเดียวกับในกรีนโอ๊ค และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮดมีทรงพุ่มและกลุ่มรากค่อนข้างใหญ่ เช่นเดียวกับกรรมวิธีเสริมธาตุสังกะสี (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 17 ลักษณะผักสลัดกรีนโอ๊คที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



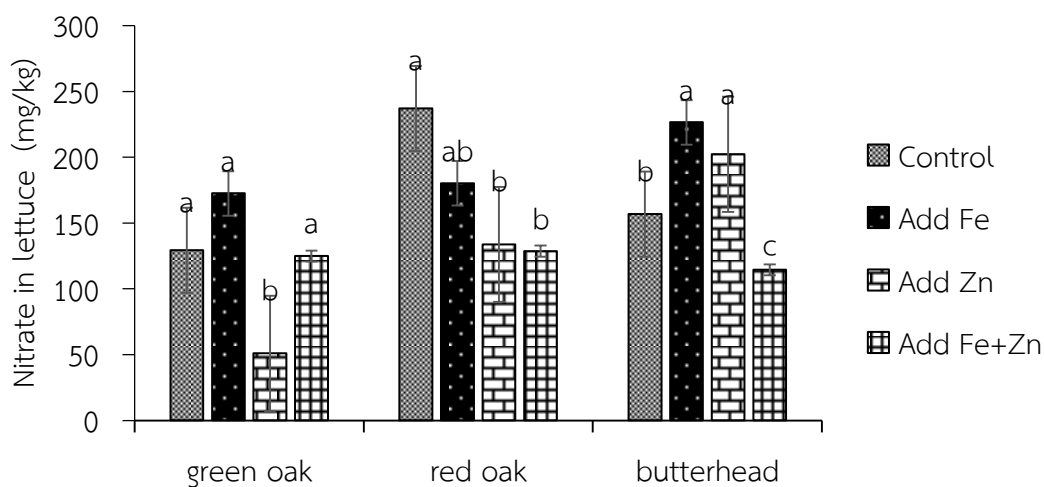
ภาพที่ 18 ลักษณะผักสลัดเรดโอ๊คที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



ภาพที่ 19 ลักษณะผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

ปริมาณไนเตรต ผักสลัดที่ในการทดลองที่ 2.3 มีปริมาณไนเตรตอยู่ในช่วง 51.04-226.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด โดยบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณไนเตรตมากที่สุด (226.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณไนเตรตน้อยที่สุด (51.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป (ผักสลัดทั่วไปและผักสลัดกลุ่มไอซ์เบิร์กที่ปลูกกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาคลุม ควรมีปริมาณไนเตรตไม่เกิน 3,000 และ 2,000 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

ตามลำดับ) สำหรับกรีนโอ๊ค การให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ไม่ทำให้ปริมาณไนเตรตของกรีนโอ๊คมีความแตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรตลดลง 60.54% (51.04 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในส่วนของเรดโอ๊ค การให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุเหล็ก ไม่ทำให้ปริมาณไนเตรตของเรดโอ๊คมีความแตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ปริมาณไนเตรตของเรดโอ๊คลดลง 43.57% และ 45.74% ตามลำดับ (133.77 และ 128.63 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และในบัตเตอร์เฮด พบว่าการเสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุสังกะสี มีแนวโน้มทำให้ปริมาณไนเตรตของบัตเตอร์เฮดเพิ่มขึ้น 44.53% และ 29.08% ตามลำดับ (226.50 และ 202.28 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) แต่การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ปริมาณไนเตรตของบัตเตอร์เฮดลดลง 26.97% (114.45 มิลลิกรัมไนเตรตต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 ปริมาณไนเตรตในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในผักสลัด ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ดังนี้

ไนโตรเจน พบมากที่สุดในเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (2,443.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (1,733.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า กรีนโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนโตรเจนลดลง 15.74% (1,801.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เรดโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกับกรีนโอ๊ค แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณไนโตรเจนลดลง 19.94% (1,956.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในส่วนของบัตเตอร์เฮดที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณไนโตรเจนลดลง 16.66% (1,733.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ

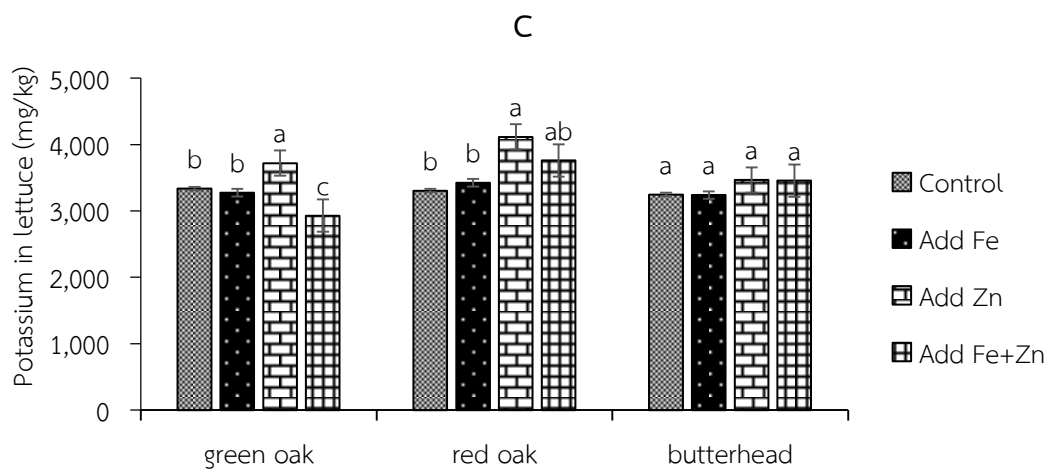
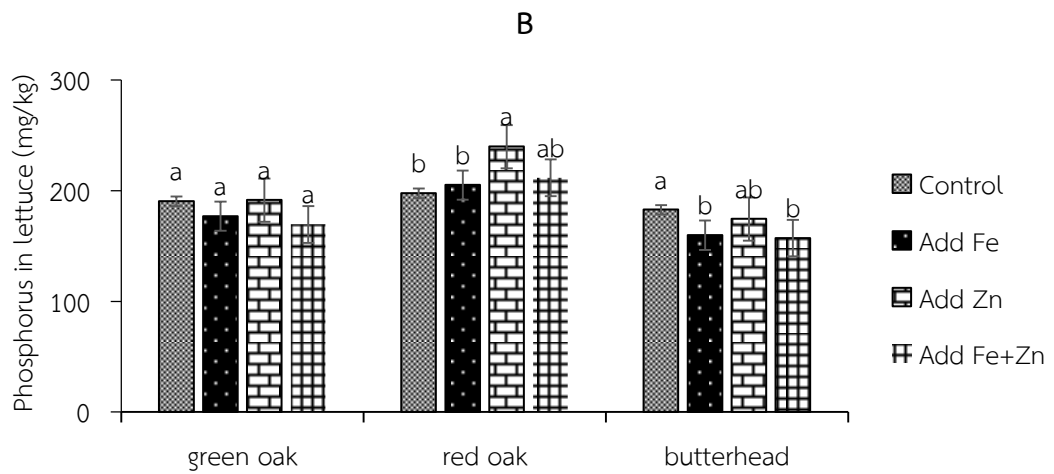
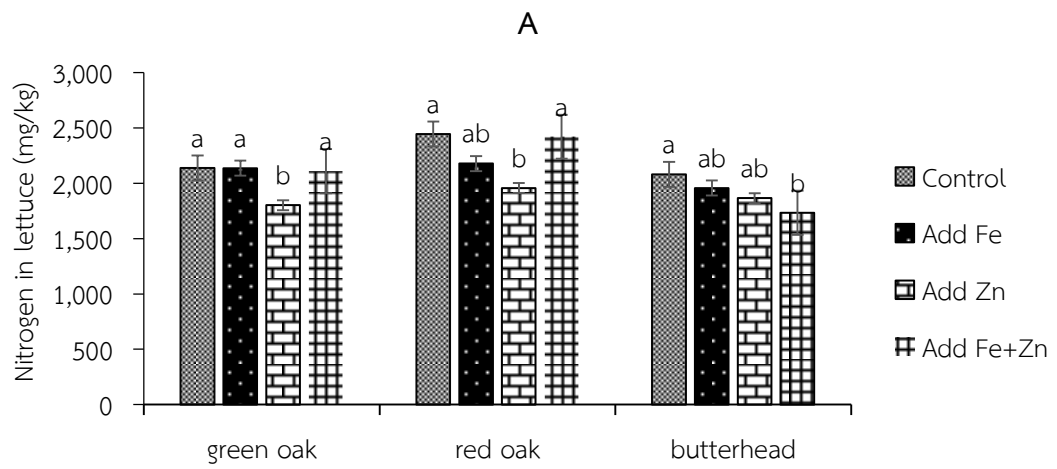
ฟอสฟอรัส พบมากที่สุดในเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี (239.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (157.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า กรีนโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน แต่ในเรดโอ๊คกลับให้ผลที่ต่างออกไป โดยเรดโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น 21.32% (239.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในส่วนของบัตเตอร์เฮดที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณฟอสฟอรัสลดลง 12.60% และ 14.08% ตามลำดับ (159.75 และ 157.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ

โพแทสเซียม พบมากที่สุดในเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี (4,115.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (2,928.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า กรีนโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณโพแทสเซียมไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น 11.46% (3,719.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) และการ

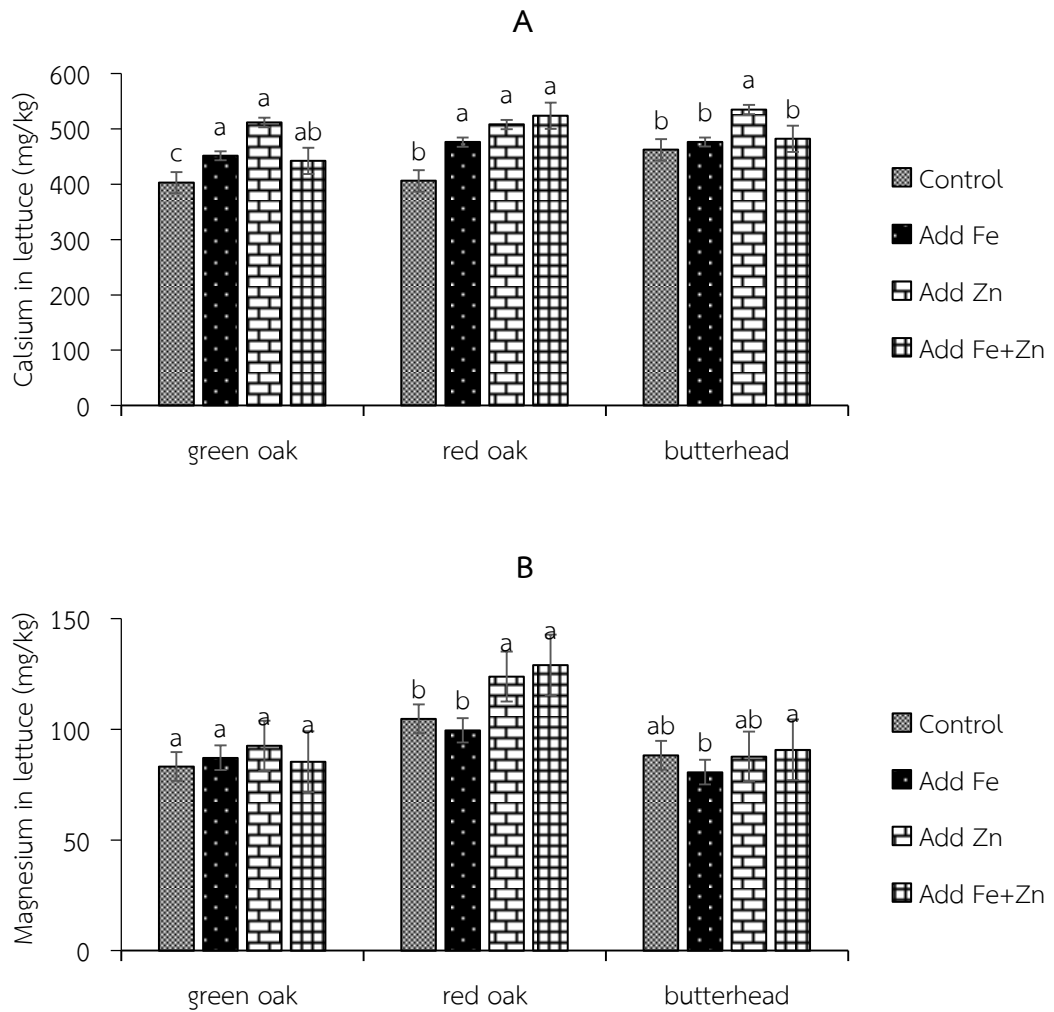
เสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณโพแทสเซียมลดลง 12.24% (2,928.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เรดโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็กและเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณโพแทสเซียมไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น 24.57% (4,115.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในส่วนของบัตเตอร์เฮด ที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณโพแทสเซียมไม่แตกต่างกัน

แคลเซียมพบมากที่สุดในบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุสังกะสี (534.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (402.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นที่ 12.03% 26.95% และ 9.70% ตามลำดับ (451.35 511.48 และ 441.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่มีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 17.26% 25.11% และ 29.03% ตามลำดับ (476.06 507.91 และ 523.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในส่วนของบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 15.75% (534.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ

แมกนีเซียมพบมากที่สุดในเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (128.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก (80.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า กรีนโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแมกนีเซียมไม่แตกต่างกัน แต่ในเรดโอ๊คกลับให้ผลที่ต่างออกไป โดยเรดโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณแมกนีเซียมไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 18.20% และ 23.13% ตามลำดับ (123.81 และ 128.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในส่วนของบัตเตอร์เฮด ที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแมกนีเซียมไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 21,22)



ภาพที่ 21 ปริมาณไนโตรเจน (A) ฟอสฟอรัส (B) และโพแทสเซียม (C) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



ภาพที่ 22 ปริมาณแคลเซียม (A) และแมกนีเซียม (B) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



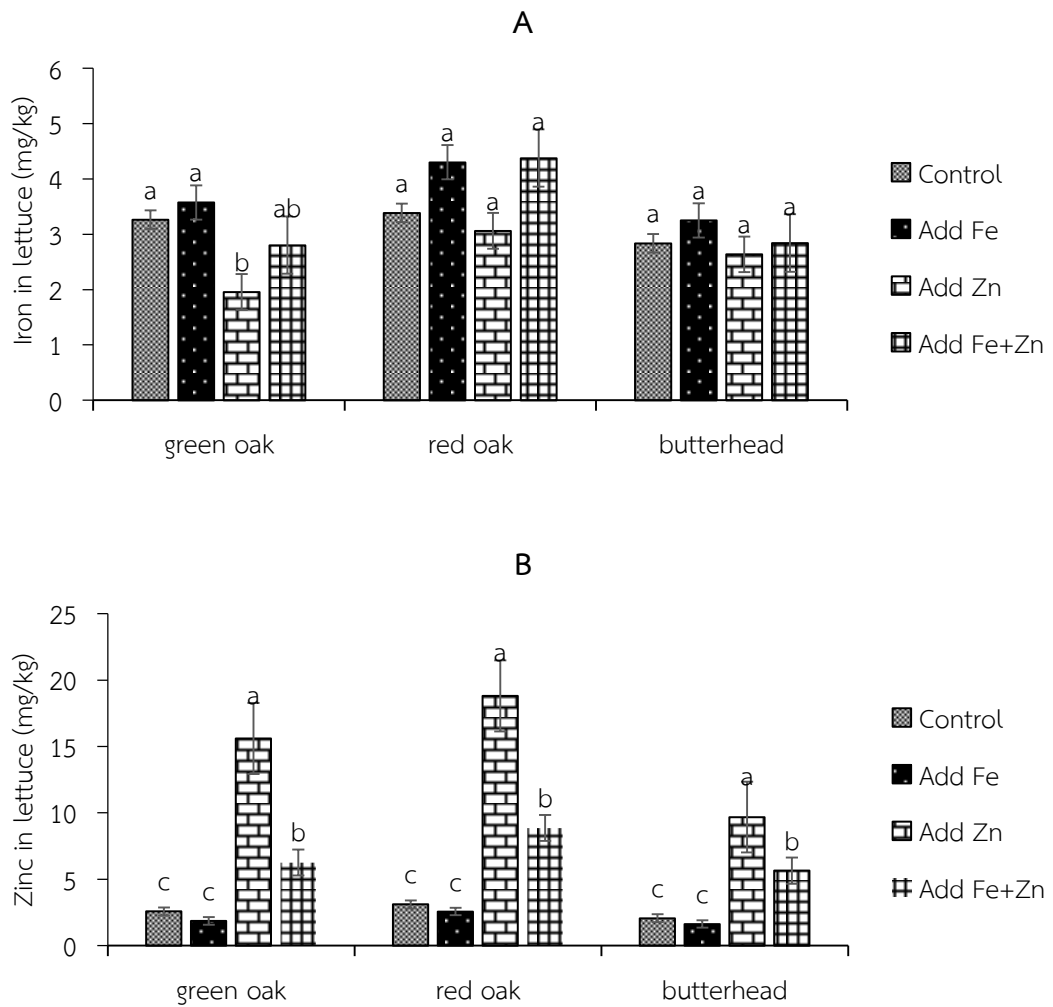
ในส่วนของจุลธาตุอาหาร ประกอบด้วยเหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง ดังนี้

เหล็ก พบมากที่สุดในเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (4.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี (1.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) การเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มทำให้ผักสลัดมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น 1.10-1.27 เท่า แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า กรีนโอ๊คที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณเหล็กไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณเหล็กลดลง 0.6 เท่า (1.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ในขณะที่เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮดที่เสริมธาตุอาหาร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ

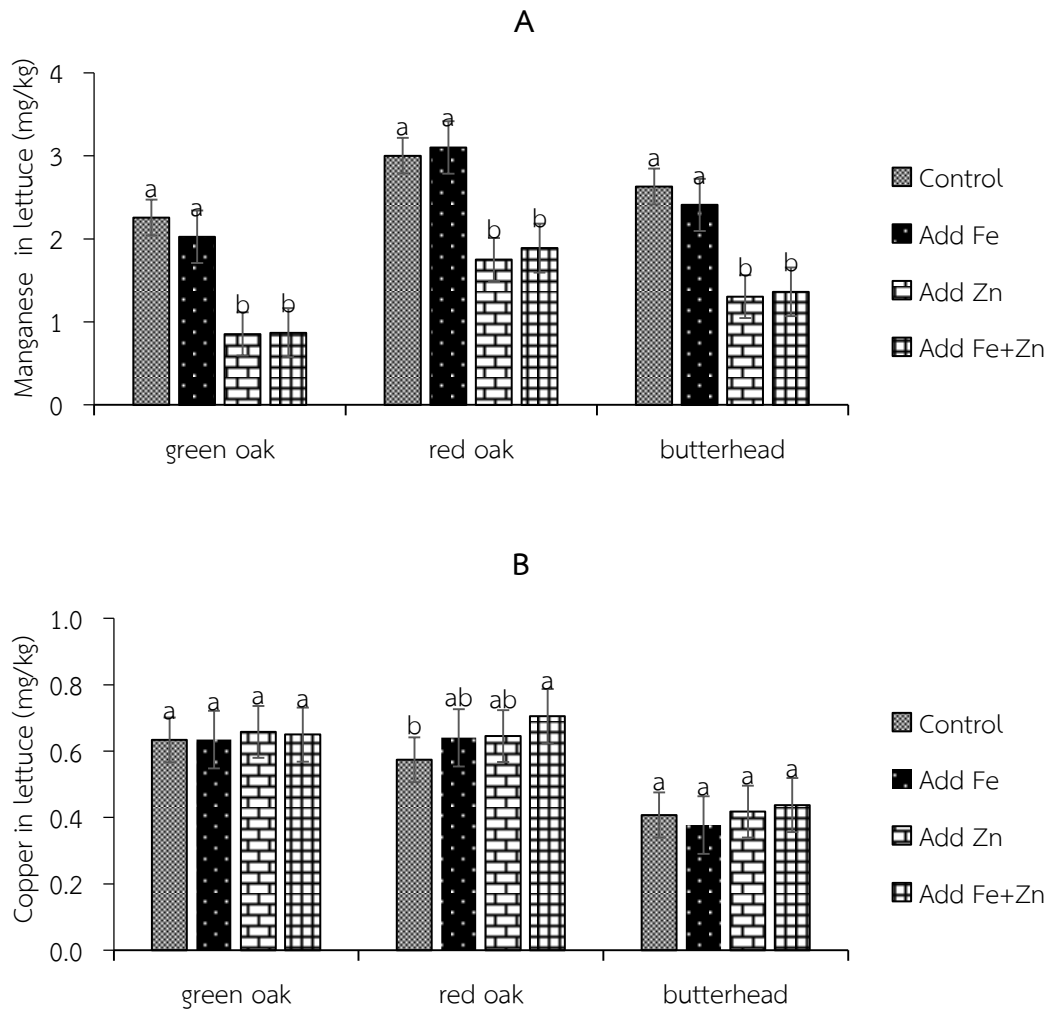
สังกะสี พบมากที่สุดในเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี (18.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในและบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก (1.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุเหล็ก ส่งผลให้ผักสลัดมีปริมาณสังกะสีที่ไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 6.05 6.04 และ 4.68 เท่า ตามลำดับ (15.60 18.82 และ 9.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ผักสลัดทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 2.43 2.85 และ 2.74 เท่า ตามลำดับ (6.26 8.87 และ 5.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ

แมงกานีส พบมากที่สุดในเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก (3.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี (0.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุเหล็ก ส่งผลให้ผักสลัดมีปริมาณแมงกานีสที่ไม่แตกต่างกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีปริมาณแมงกานีสลดลง 0.38 0.58 และ 0.50 เท่า ตามลำดับ (0.86 1.75 และ 1.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ผักสลัดทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณแมงกานีสลดลง 0.39 0.63 และ 0.52 เท่า ตามลำดับ (0.87 1.89 และ 1.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ

ทองแดง พบมากที่สุดในเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (0.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) พบน้อยที่สุดในและบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก (0.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เมื่อแยกพิจารณาในผักสลัดแต่ละชนิด พบว่า กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮดที่เสริมธาตุอาหารไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ แต่ในส่วนของเรดโอ๊คให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก และเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณทองแดงไม่ต่างกัน แต่การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น 1.23 เท่า (0.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ภาพที่ 23,24)



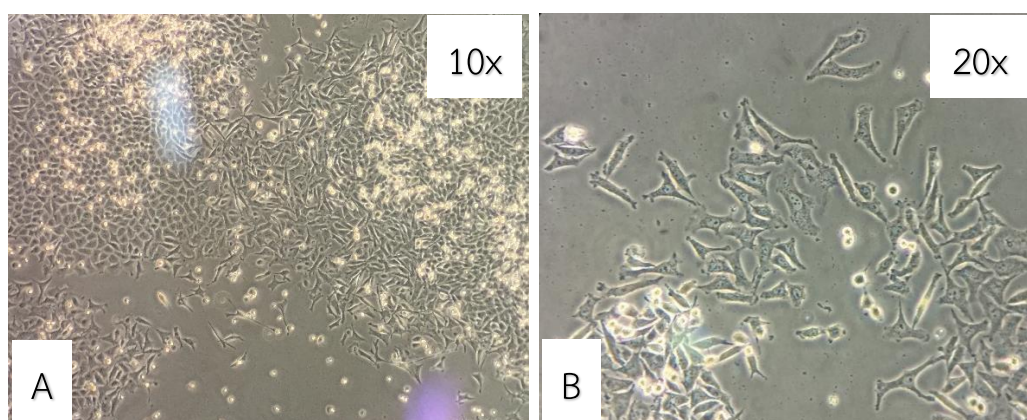
**ภาพที่ 23** ปริมาณเหล็ก (A) และสังกะสี (B) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี



**ภาพที่ 24** ปริมาณแมงกานีส (A) และทองแดง (B) ในผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ทดสอบโดยเสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

### 3.3.2 ผลต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์

จากการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิธี MTT assay ด้วยการใส่สารสกัดจากผักสลัด 3 ชนิด (กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด) ที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่ความเข้มข้น 0 0.15 0.31 0.62 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับเซลล์ลำไส้มนุษย์ (primary colon cells) (ภาพที่ 25) จำนวน  $1 \times 10^4$  cell/well เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลำไส้มนุษย์ มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้



ภาพที่ 25 ลักษณะของเซลล์ลำไส้มนุษย์ (primary colon cells) ที่ใช้ในการทดสอบที่กำลังขยาย 10X (A) และ 20X (B)

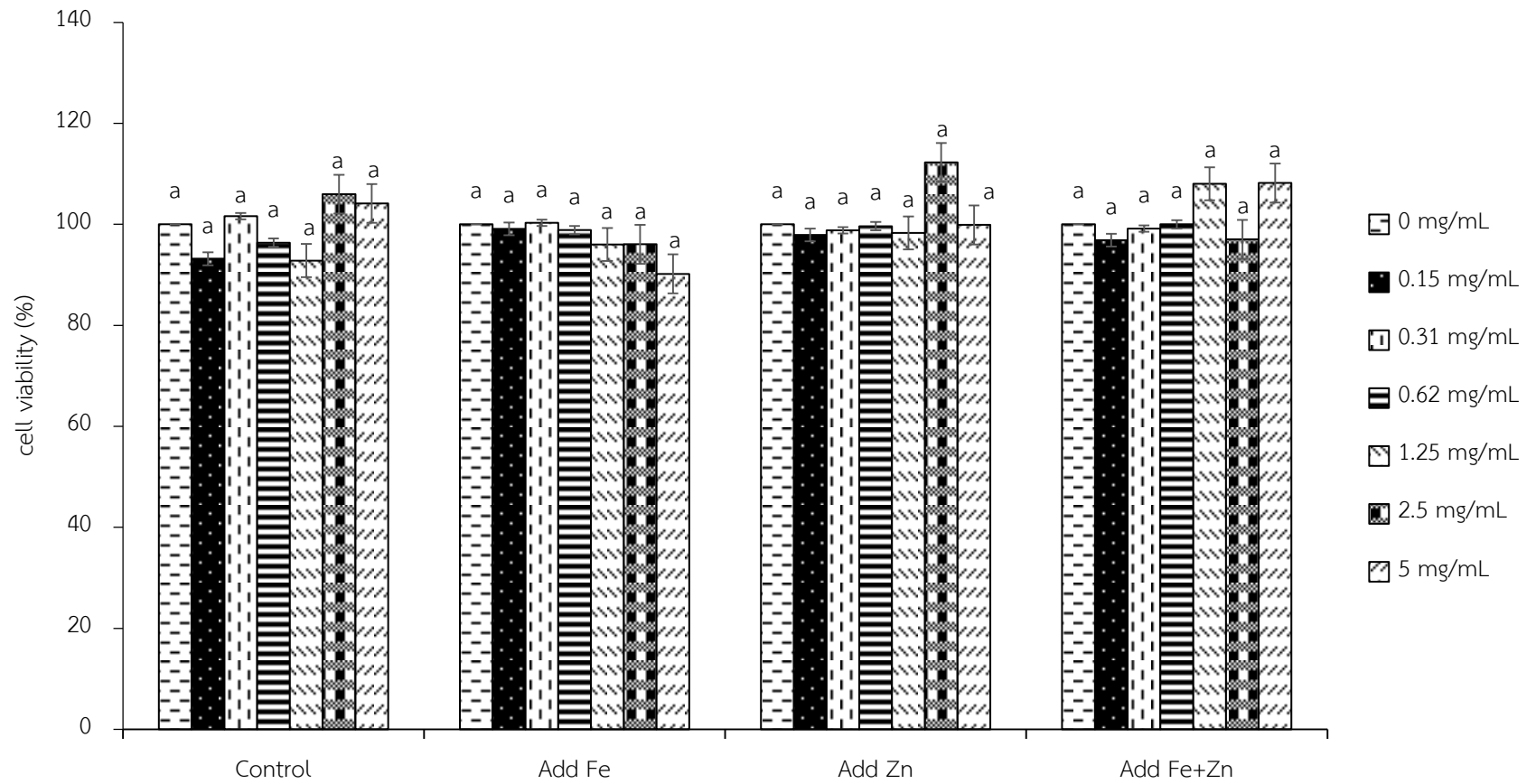
สารสกัดจากกรีนโอ๊ค ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 90% โดยสารสกัดจากกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 92.82%-105.96% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.62 และ 1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 6.82% 3.63% และ 7.19% ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้น 2.50 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 5.97% และ 4.14% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 26)

สารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 90.19%-100.30% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.62 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 0.91% 1.15% 4.00% 3.95% และ 9.81% ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้น 0.31 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 0.30% แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร

สารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 97.88%-112.26% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 0.62 1.25 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 2.12% 1.18% 0.36% 1.71% และ 0.11% ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้น 2.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 12.27% แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 26)

สารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 97.02%-108.18% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 3.13% 0.87% และ 2.98% ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้น 1.25 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 8.03% และ 8.18% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 26)

สารสกัดจากเรดโอ๊ค ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 75% โดยสารสกัดจากเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 93.75%-105.97% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 6.25% ในขณะที่ความเข้มข้น 0.31 0.62 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์แนวโน้มเพิ่มขึ้น 4.51% 0.16% 4.18% 5.97% และ 5.48% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 26 ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ ของสารสกัดจากผักสลัดกรีนโอ๊คที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 101.68%-118.20% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 0.62 และ 1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 11.67% 15.30% 18.20% และ 17.59% ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร และที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เช่นกัน ที่ 10.68% และ 1.68% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 27)

สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 79.04%-104.17% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 0.57% 1.21% และ 1.51% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร ในขณะที่ความเข้มข้น 0.62 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 4.17% และ 3.41% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร อย่างไรก็ตาม ที่ความเข้มข้นสูงสุด (5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 20.96% และแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 27)

สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 99.71%-109.27% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 0.29% ในขณะที่ความเข้มข้น 0.31 0.62 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์แนวโน้มเพิ่มขึ้น 7.29% 4.92% 10.23% 6.42% และ 9.27% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 27)

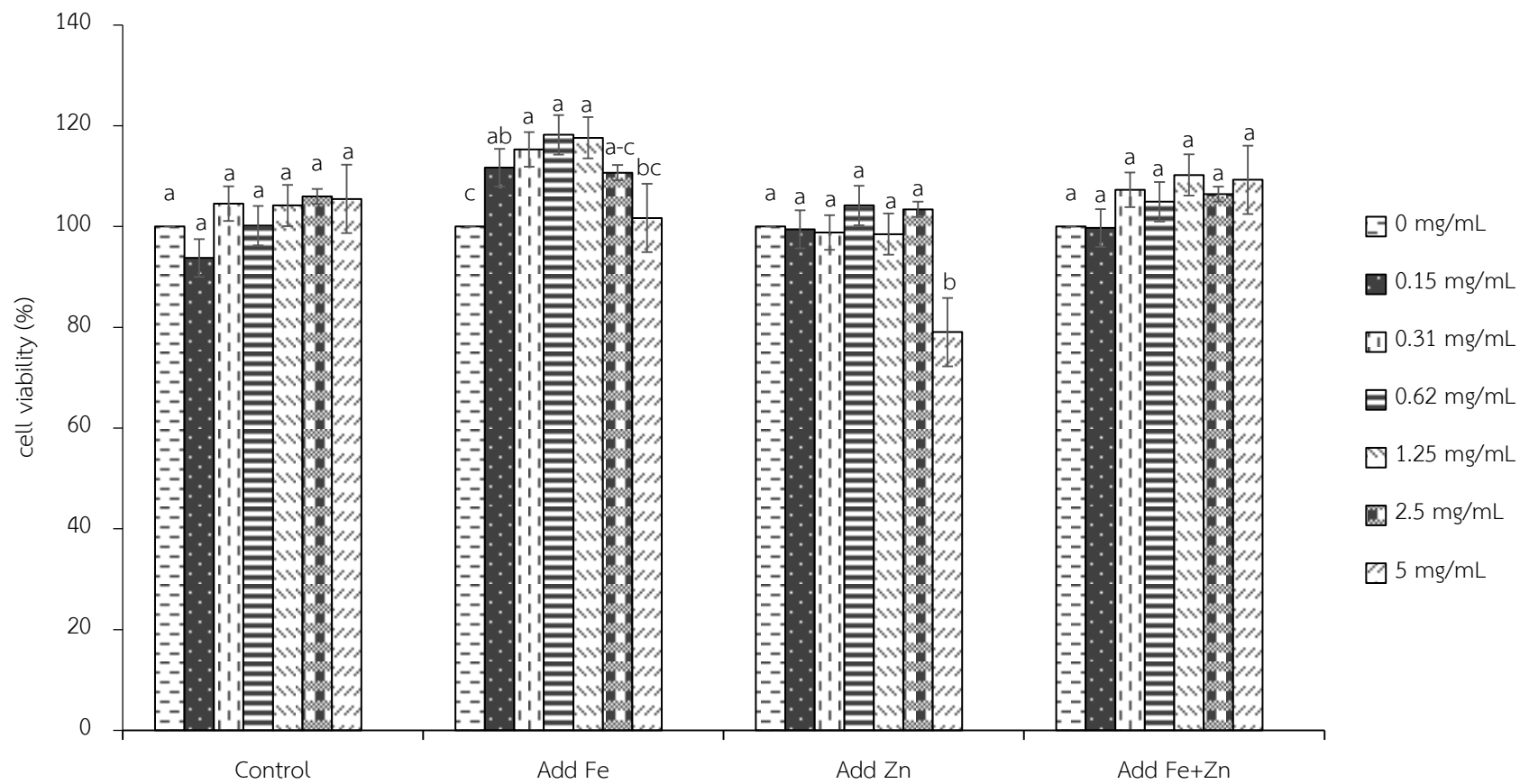


สารสกัดจากบัตเตอร์เฮดไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 99% โดยสารสกัดจากบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 102.94%-134.75% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 0.62 1.25 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 2.94% 14.15% 14.42% 18.83% และ 31.03% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร และที่ความเข้มข้นสูงสุด (5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 34.75% และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 28)

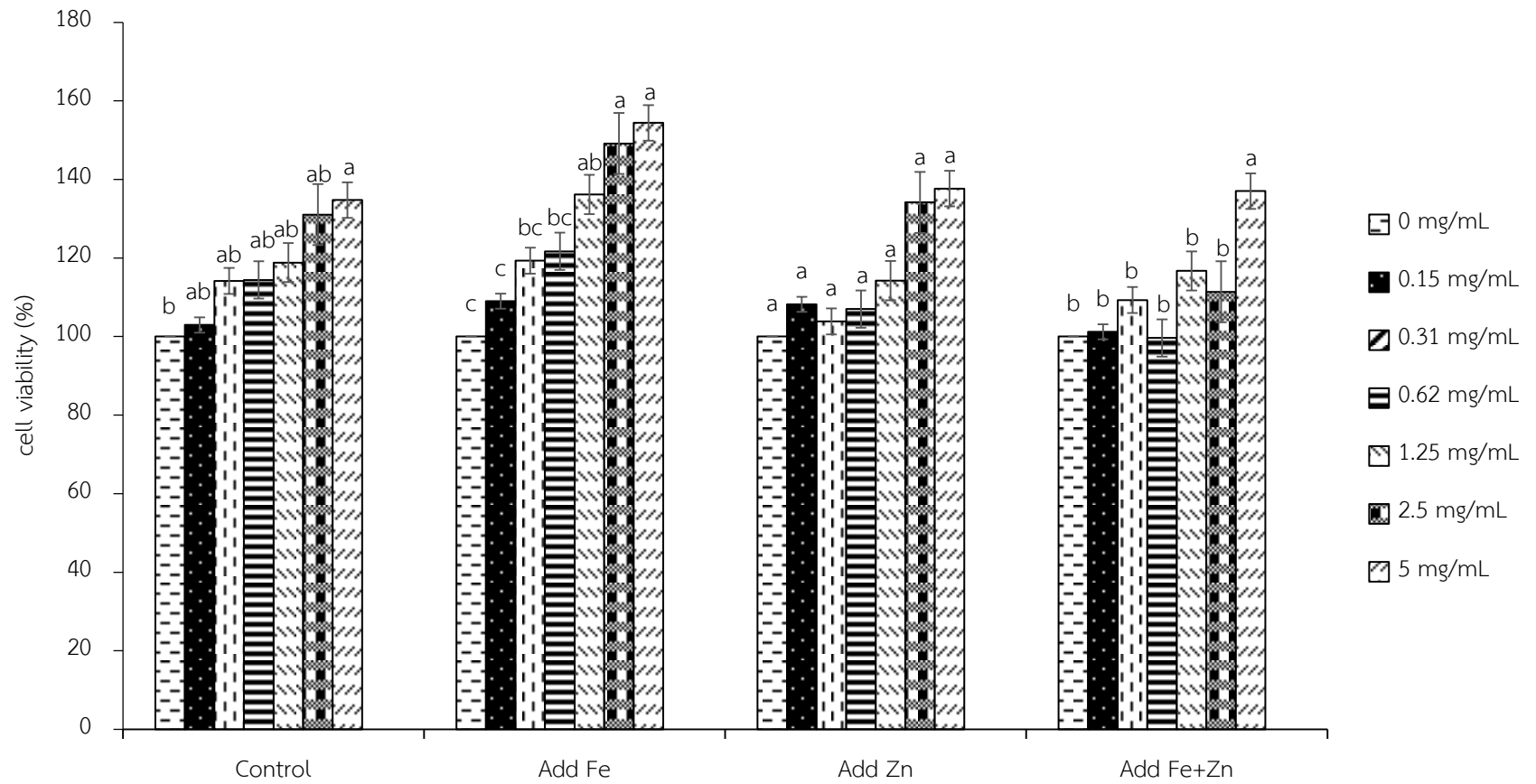
สารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 108.99%-154.40% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 และ 0.62 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 9.00% 19.33% และ 21.70% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร และที่ความเข้มข้น 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 36.19% 49.14% และ 54.40% ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 28)

สารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 103.86%-137.66% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 0.62 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 8.22% 3.86% 7.00% 14.24% 34.16% และ 37.66% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 28)

สารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 99.63%-137.03% เมื่อทดสอบเซลล์ด้วยสารสกัดที่ความเข้มข้น 0.62 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 0.37% ในขณะที่ความเข้มข้น 0.15 0.31 1.25 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 1.20% 9.27% 16.71% และ 11.40% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร และที่ความเข้มข้นสูงสุด (5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้น 37.03% และแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ไม่มีการทดสอบสาร (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 27 ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ ของสารสกัดจากผักสลัดเรดโอ๊คที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)



ภาพที่ 28 ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ ของสารสกัดจากผักสลัดแบตเตอรี่เฮดที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

## บทที่ 4

### วิจารณ์ผลการทดลอง

พฤติกรรมบริการโภชนาการที่มีประโยชน์ลดลง ทำให้ร่างกายมนุษย์ได้รับสารอาหารที่ไม่เพียงพอ โดยเฉพาะธาตุเหล็กและสังกะสี ที่ร่างกายควรได้รับ 5.0-16.0 และ 2.7-15.0 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ (Haytowitz *et al.*, 2018) องค์การอนามัยโลกรายงานว่า ประชากรโลกมากกว่า 6 พันล้านคนกำลังขาดธาตุเหล็ก และมากกว่า 2 พันล้านคนกำลังขาดธาตุสังกะสี (Das *et al.*, 2019; Stelle *et al.*, 2019) หนึ่งในแนวทางแก้ปัญหาที่น่าสนใจ คือการเสริมธาตุอาหารในพืชเพื่อการบริโภค ด้วยกระบวนการไบโอฟอร์ติฟิเคชัน (biofortification) (วิสิฐ, 2553; Garg *et al.*, 2018) หรือกระบวนการที่ทำให้พืชมีสารอาหารบางชนิดมากขึ้นกว่าเดิม ด้วยการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในสารละลายในระบบไฮโดรโปนิคส์ เพราะเป็นระบบปลูกที่ไม่มีข้อจำกัดเรื่องน้ำแล้ง น้ำท่วม สารพิษตกค้างในดิน ศัตรูพืชในดิน และความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน จึงเป็นระบบที่จัดการธาตุอาหารได้ง่าย สามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารให้พืชได้อย่างอิสระ ระบบไฮโดรโปนิคส์จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการเสริมธาตุอาหารในพืช (Buturi *et al.*, 2021) โดยเฉพาะผักสลัด (*Lactuca sativa* L.) เพราะเป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีธาตุอาหารครบถ้วน เป็นที่นิยม รับประทานสดได้ง่าย (Li *et al.*, 2010) และผักสลัดสามารถใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ (Trejo-Télez and Gómez-Merino, 2012; Kleiber *et al.*, 2013; อริสรา และคณะ, 2562; นพดล, 2563) ด้วยปริมาณผลผลิตสูงกว่าผักสลัดที่ปลูกในดิน 11 เท่า (ผลผลิตผักสลัดที่ปลูกในดินและในระบบไฮโดรโปนิคส์ 3.9 และ 41 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ) (Barbosa *et al.*, 2015) และมีการเจริญเติบโตรวมทั้งคุณภาพสูงกว่าผักสลัดที่ปลูกในดิน (Lei and Engeseth, 2021; Majid *et al.*, 2021) และการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียม การลดปริมาณโพแทสเซียม การลดปริมาณซิลิเนียม สามารถทำได้ในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ (คงเอก, 2557; กนกพร และคณะ, 2562; Da Cruz Ferreira *et al.*, 2020) โดยเฉพาะการเสริมธาตุเหล็กและสังกะสี ที่สามารถทำได้ในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์เช่นกัน (Sago *et al.*, 2018; Giordano *et al.*, 2019)

#### 4.1 การเจริญเติบโตของผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie

การปลูกผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิคส์ ในพื้นที่ภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทย มักประสบกับการเข้าทำลายโดยเชื้อโรคพืช ได้แก่ โรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* spp. และโรคใบจุดที่เกิดจากเชื้อ *Alternaria* spp. อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชดังกล่าว แทนที่การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชด้วยนวัตกรรมทางชีววิธี คือชีวภัณฑ์ B-Veggie ที่มี

คุณสมบัติป้องกันและควบคุมโรครากเน่าและใบจุด (อัจฉรา และคณะ, 2564) รวมทั้ง ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดได้เช่นกัน (วานิด, 2553) จากการทดลองพบว่า การใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie ส่งเสริมให้ผักสลัดกรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ด้วยน้ำหนักสดหลังตัดแต่งที่เพิ่มขึ้น 40.91% และ 23.22% ตามลำดับ มีขนาดทรงพุ่มใหญ่ขึ้น กลุ่มรากมีความหนาแน่นและปริมาณรากมากกว่าผักสลัดที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์อย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 9) เป็นไปได้ว่าแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* จากชีวภัณฑ์ B-Veggie รวมตัวกันที่รากเกิดเป็นไบโอฟิล์ม (biofilm) (Beaugard *et al.*, 2013; Goswami *et al.*, 2016; Hashem *et al.*, 2019) ผลิตสาร indole-3-acetic acid, IAA ที่ช่วยกระตุ้นกิจกรรมของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตพืช เช่น จิบเบอเรลลิน ออกซิน และไซโตไคนิน ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช และชักนำให้รากผักสลัดยืดยาวได้มากขึ้น เช่นเดียวกับในมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) (Tahir *et al.*, 2017) นอกจากนี้ พบว่าแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* จากชีวภัณฑ์ ส่งเสริมให้ต้น *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana*) ผักสลัด และข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) มีการดูใช้ในเทรตและการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Arkhipova *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2020) และ ทำให้ผักสลัดมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นถึง 57% เมื่อเปรียบเทียบกับ ผักสลัดที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ (วานิด, 2553) และส่งเสริมให้การเจริญเติบโตของต้นยางพาราเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (พันธ์ทิพย์, 2564; ศุภรัตน์, 2564; อุบลวรรณ, 2564)

โดยทั่วไปแล้ว การจัดการธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ ผักสลัดจะต้องได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตจากสารละลายธาตุอาหารพืชจำนวน 14 ธาตุ ในสัดส่วนที่สมดุล ดังนั้น การเสริมธาตุอาหารในผักสลัดด้วยกระบวนการไบโอฟอร์ติฟิเคชัน โดยวิธีเพิ่มปริมาณธาตุหลักลงในสารละลายธาตุอาหาร เท่ากับเป็นการรบกวนสมดุลดังกล่าว ทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้ไม่เต็มศักยภาพ เพราะธาตุหลักมีอันตรกิริยาเชิงปฏิปักษ์กับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ปริมาณหลักที่มากเกินไปจะขัดขวางไม่ให้พืชดูดใช้ธาตุดังกล่าว ทำให้พืชสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตได้น้อยลง ส่งผลให้เกิดอาการใบแห้ง (necrosis) และรากพืชหลุดร่วง (Xing *et al.*, 2010; Pinto *et al.*, 2016) และธาตุหลักที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชปริมาณมากจะทำให้เกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์พืช (Connolly and Guerinot, 2002; Galaris *et al.*, 2019) ธาตุหลักที่มากเกินไปจึงรบกวนการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น การศึกษาระดับหลักที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดจึงมีความสำคัญ อย่างไรก็ตาม การเสริมธาตุหลักก็ร่วมกับการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie ส่งผลให้ผักสลัดเจริญเติบโตได้ดี และทนต่อสภาวะที่มีธาตุหลักในระดับสูงได้มากขึ้น โดยกรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้ชีวภัณฑ์และเสริมธาตุหลักที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร มีทรงพุ่ม กลุ่มราก และน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง ไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและใช้ชีวภัณฑ์ แต่การเสริมธาตุหลักที่ระดับเดียวกัน ทำให้กรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง 52.99% และ 24.14% ตามลำดับ อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุหลักให้ผักสลัดร่วมกับการใช้ชีวภัณฑ์ ทำให้ต้นพืชมีความแข็งแรงมากกว่า และทนต่อธาตุหลักปริมาณมากได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ไม่

ใช้ชีวภัณฑ์ ซึ่งผักสลัดที่ปลูกโดยใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับเสริมธาตุเหล็กที่ระดับเดียวกัน มีการเจริญเติบโต ด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง ไม่แตกต่างกับผักสลัดที่ปลูกโดยใช้ชีวภัณฑ์และไม่เสริมธาตุเหล็ก เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สร้างกลไกที่ช่วยเพิ่มความเป็นกรดในบริเวณราก (rhizosphere) ทำให้พืชสามารถเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กได้ดี (Zhang *et al.*, 2007) ส่งผลให้พืชทนต่อปริมาณเหล็กได้มากขึ้น เช่นเดียวกับในมันสำปะหลัง ที่การให้ธาตุเหล็กที่ 32.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร ร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ทำให้มันสำปะหลังมีปริมาณเหล็กในใบเพิ่มขึ้น 300% และมีน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น 59% เมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังที่ได้รับธาตุเหล็กเท่ากันแต่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ (Freitas *et al.*, 2015)

จะเห็นได้ว่า ผักสลัดทั้งสองชนิดทนต่อปริมาณเหล็กที่เพิ่มสูงขึ้นได้ไม่เท่ากัน โดยกรีนโอ๊คที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ เริ่มแสดงอาการผิดปกติเมื่อเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 11.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ เริ่มแสดงอาการผิดปกติเมื่อเสริมธาตุเหล็กที่ระดับสูงสุด 14.72 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 9) อาจเนื่องมาจากความสามารถในการดูดใช้ธาตุเหล็กของกรีนโอ๊คมีมากกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก (Kim *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม เมื่อเสริมธาตุเหล็กที่ระดับสูงสุด (14.72 มิลลิกรัมต่อลิตร) กรีนโอ๊คที่ใช้ชีวภัณฑ์ ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้และไม่ใช้ชีวภัณฑ์ มีแนวโน้มของน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลงอย่างมาก และรากแสดงลักษณะอาการเน่าอย่างรุนแรง (ภาพที่ 9) สันนิษฐานว่าเกิดจากปริมาณเหล็กในสารละลายมีมากเกินไปจนเป็นพิษ ซึ่งส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช เช่นเดียวกับในชาและมะเขือเทศ (Hemalatha and Venkatesan, 2011; Frei *et al.*, 2016) และเป็นไปได้ว่าปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้นในสารละลาย ทำให้ปริมาณแคลเซียมในผักสลัดที่ปลูกในฤดูหนาวเดียวกันมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 3) ปริมาณแคลเซียมที่เป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ลดลง ทำให้ผนังเซลล์บางลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้เซลล์แตก รากพืชเสียหาย ไม่สามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้ตามปกติ หรืออาจโดนเข้าทำลายโดยเชื้อโรคพืช จึงทำให้เกิดอาการเน่า (Menzies *et al.*, 1996) เมื่อรากผักสลัดไม่สามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้ตามปกติ จึงส่งผลต่อเนื่องให้ผักมีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลง สอดคล้องผลการทดลองในต้นกล้าถั่วเหลือง ที่การเพิ่มปริมาณเหล็กให้พืชมากเกินไป (15 และ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้น้ำหนักสดและแห้งของต้นกล้าถั่วเหลืองมีแนวโน้มลดลง (Gülser *et al.*, 2019) แต่การเสริมธาตุเหล็กในระดับที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ *Bacillus subtilis* ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตพืชและการทนต่อสภาวะที่มีธาตุเหล็กสูงได้ (Lee *et al.*, 2020) แต่กรีนโอ๊คที่ใช้ชีวภัณฑ์และเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มของน้ำหนักสดหลังตัดแต่งลดลงน้อยกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ใช้ชีวภัณฑ์และเสริมธาตุเหล็ก เป็นไปได้ว่าชีวภัณฑ์ B-Veggie ตอบสนองต่อกรีนโอ๊คได้ดีกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า เมื่อใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie การเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจรบกวนสมดุลธาตุอาหารของผักสลัด แต่ไม่ส่งผลต่อความสมดุลของธาตุเหล็ก ทำให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ รวมทั้งไม่

แสดงอาการขาดธาตุอาหารธาตุใดธาตุหนึ่งอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้น จึงเลือกการเสริมธาตุเหล็กที่ระดับ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie เป็นกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุด ในการเสริมธาตุเหล็กในผักสลัด

## 4.2 ผลการเสริมธาตุเหล็กและสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด

จากการทดสอบผลของการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด ในชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผัก (float root system) (การทดลองที่ 2.1) ที่ดำเนินการในเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม พ.ศ.2560 มีอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 21.4-28.3 องศาเซลเซียส และ 23.6-32.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความชื้นต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 55.9%-86.7% และ 53.1%-96.8% ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 3.1-3.2) ทำให้ทราบถึงผลต่อเจริญเติบโตของผักสลัดในเบื้องต้น (กรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก) เพื่อหาปริมาณที่ดีที่สุดของการเสริมธาตุเหล็ก ที่ผักสลัดมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ รวมทั้งไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหารธาตุใดธาตุหนึ่งอย่างเห็นได้ชัด

การเสริมธาตุเหล็กและธาตุสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด ในชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT (การทดลองที่ 2.2) ที่ดำเนินการในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ.2561 มีอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 23.0-30.2 องศาเซลเซียส และ 20.4-28.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความชื้นต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 64.3%-96.2% และ 47.6%-82.6% ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 3.3-3.4) จึงเป็นการทดลองต่อยอด ที่มีการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie กับทุกกรรมวิธีทดสอบ เพื่อพิจารณาผลของการเสริมธาตุเหล็กในระดับที่ดีที่สุด ที่เลือกมาจากการทดลองแรก (8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร) เปรียบเทียบกับการให้ธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และผลของการเสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับการเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด ในระบบปลูกที่ใหญ่ขึ้นและมีชนิดผักสลัดหลากหลายขึ้น ได้แก่ กรีนคอส (*Lactuca sativa* var. longifolia) ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก (*Lactuca sativa* var. capitata) กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. crispata) และบัตเตอร์เฮด (*Lactuca sativa* var. capitata)

### 4.2.1 การให้ธาตุอาหารพืชในอัตราปกติและการเสริมธาตุเหล็กในผักสลัด

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญการเจริญเติบโตของพืช และมีจำเป็นต่อระบบการทำงานของร่างกายมนุษย์ และมีประชากรทั่วโลกมากกว่า 6 พันล้านคนกำลังประสบกับภาวะขาดธาตุเหล็ก (Das *et al.*, 2019) การเสริมธาตุเหล็กในผักสลัดผ่านกระบวนการไบโอฟอร์ติฟิเคชัน จึงเป็น

แนวทางที่น่าสนใจ และจากการทดสอบผลของการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด (การทดลองที่ 2.1) ทำให้ได้ข้อมูลของระดับการเสริมธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด นำมาสู่การทดลองต่อยอด เพื่อพิจารณาผลของการเสริมธาตุเหล็กเปรียบเทียบกับกรให้ธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด

#### 4.2.1.1 ผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

การเสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับชีวภัณฑ์ B-Veggie ทำให้น้ำหนักสดหลังตัดแต่งของกรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก ที่ปลูกในระบบ deep root floating technique, DRFT (การทดลองที่ 2.2.1) มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งน้อยกว่ากรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก ที่ปลูกในชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผัก (การทดลองที่ 2.1) ประมาณ 2 เท่า อาจเป็นเพราะผักสลัดได้รับสารละลายธาตุอาหารแตกต่างกัน ระบบ deep root floating technique, DRFT มีผักสลัด 96 ต้น ต่อสารละลายธาตุอาหาร 120 ลิตร ในขณะที่ชุดปลูกแบบอาศัยน้ำซึมซับเข้าสู่รากผักมีผักสลัด 5 ต้น ต่อสารละลายธาตุอาหาร 10 ลิตร ทำให้ผักสลัดได้รับสารละลายธาตุอาหารต่างกันประมาณ 2 เท่า

การเสริมธาตุเหล็ก (การทดลองที่ 2.2.1) ทำให้กรีนคอสมีการเจริญเติบโตสูงสุด และเรดโอ๊คได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติมีการเจริญเติบโตต่ำสุด อาจเนื่องมาจากลักษณะทางสรีระของกรีนคอสที่มีแผ่นใบใหญ่ ก้านใบหนา และลำต้นมีขนาดใหญ่ ทำให้มีความสามารถในการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารมากกว่าผักสลัดกลุ่มอื่น โดยเฉพาะเรดโอ๊ค ที่มีลักษณะทางสรีระของพืชเล็กกว่ากรีนคอสอย่างเห็นได้ชัด (Di Gioia *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2016) และการเสริมธาตุเหล็ก ทำให้การเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง และน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ ของฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ด้วยความสัมพันธ์เชิงบวกของน้ำหนักสดหลังตัดแต่งกับน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ ( $r = 0.981$ ) (ตารางที่ 4) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้น อาจไปเร่งกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมในพืชเป็นองค์ประกอบในโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ และโปรตีนชนิดอื่นๆ มีบทบาทในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช เช่น จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดจัสโมนิก และไอออนของเหล็กเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์พวก non-heme-enzyme เป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินอยู่ในโครงสร้างของฮีโมโกลบิน อีกทั้งเหล็กที่อยู่ในรูปของเหล็ก-กำมะถันคลัสเตอร์ ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิด (Balk and Schaedler, 2014; Rout and Sahoo, 2015) สอดคล้องกับผลการศึกษาในผักสลัด ถั่วเขียวและมันสำปะหลัง ที่การเพิ่มเหล็กมีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Goto *et al.*, 2000; Freitas *et al.*, 2015; Majeed *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตาม Przybysz และคณะ (2016) ได้รายงานผลขัดแย้ง



กันไว้ว่า การเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กส่งผลให้ปริมาณชีวมวลของกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* var. *capitata*) มีแนวโน้มลดลง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดังนั้น จึงอนุมานได้ว่าภาวะธาตุเหล็กสูง อาจรบกวนสมดุลสารอาหารของผักสลัด และส่งผลต่อการเพิ่มน้ำหนักสดพืช ซึ่งจะพิจารณาในหัวข้อคุณภาพของผักสลัดต่อไป

#### 4.2.1.2 ผลต่อคุณภาพของผักสลัด

คุณภาพของผักสลัด ประกอบด้วย ปริมาณไนเตรต ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัด

ปริมาณไนเตรต ในผักสลัดจากการทดสอบการเสริมธาตุเหล็ก (การทดลองที่ 2.2.1) อยู่ในช่วง 616.20-1,420.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 2) ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010) การเสริมธาตุเหล็กทำให้กรีนคอส พิลเลย์ไอซ์เบิร์ก และเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณไนเตรตไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ แต่ทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้น และกรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรตลดลง อาจเนื่องมาจากผักสลัดแต่ละชนิด (พันธุ์) มีการตอบสนองต่อไนเตรตต่างกัน (ตารางที่ 2) การเสริมธาตุเหล็กทำให้บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากกลไกระดับโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมยีน LATS สำหรับสร้างโปรตีน ที่เพิ่มขึ้นในสถานะที่มีเหล็กสูง ส่งผลให้พืชดูดใช้สะสมไนเตรตมากขึ้น (Iacuzzo *et al.*, 2011) และบัตเตอร์เฮด เป็นผักสลัดชนิดที่ดูดใช้และสะสมธาตุเหล็กและไนเตรตได้มาก (Kim *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2017) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Giordano และคณะ (2019) ที่การเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายธาตุอาหารจาก 0.015 เป็น 2.0 mM ส่งผลให้ไนเตรตในบัตเตอร์เฮดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กกลับมีปริมาณไนเตรตลดลง อาจเนื่องมาจากกรีนโอ๊ค ตอบสนองต่อการเสริมธาตุเหล็กได้ไม่ดี (ตารางที่ 3) เพราะกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณเหล็กไม่แตกต่างกับกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ แสดงว่ากลไกระดับโมเลกุลที่ทำให้พืชดูดใช้ในเรดโอ๊คได้มากขึ้นในบัตเตอร์เฮด อาจไม่เกิดขึ้นในกรีนโอ๊ค และในสถานะที่มีเหล็กสูง อาจทำให้กรีนโอ๊คเลือกดูดใช้ฟอสฟอรัสมากกว่าไนเตรต (Rout and Sahoo, 2015) อาจเป็นผลสืบเนื่องให้กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนเตรตลดลง ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนเตรตมากที่สุด และกรีนคอสการเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนเตรตน้อยที่สุด เนื่องมาจากผักสลัดทั้งสองชนิดมีการเสริมธาตุเหล็กเหมือนกัน ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณไนเตรตแตกต่างกันอาจเป็นชนิดของผักสลัด เพราะบัตเตอร์เฮดสามารถดูดใช้และสะสมไนเตรตได้มากกว่ากรีนคอส (Zhang *et al.*, 2017)

ปริมาณไนโตรเจน การเสริมธาตุเหล็กทำให้ปริมาณไนโตรเจนในกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลจากปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้น ช่วยเร่งกลไกระดับโมเลกุลที่เกี่ยวข้องในการควบคุมยีน LATS ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งส่งผลให้พืชดูดใช้นิโตรเจนในรูปไนเตรตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผักกาดหวาน (Iacuzzo *et al.*, 2011) และการเสริมธาตุเหล็กอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณเหล็กออกไซด์ที่สะสมอยู่ในราก ทำให้พืชสามารถดูดซับแอนไอออนในสารละลาย เช่น ไนโตรเจนในรูปไนเตรตได้เพิ่มขึ้น (Rout and Sahoo, 2015) สอดคล้องกับ Giordano และคณะ (2019) รายงานว่า การเพิ่มปริมาณเหล็กในสารละลายธาตุอาหาร มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรตของบัตเตอร์เฮด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่ทำให้กรีนคอสและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กมีปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ สันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากการที่ผักสลัดในกลุ่มบัตเตอร์เฮด สามารถดูดใช้ธาตุเหล็กได้มากกว่าผักสลัดในกลุ่มคอสและกลุ่มไอซ์เบิร์ก (Kim *et al.*, 2016) และโดยทั่วไปแล้ว ผักสลัดในกลุ่มบัตเตอร์เฮดมีปริมาณเหล็ก 1.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มากกว่ากลุ่มคอสและกลุ่มไอซ์เบิร์กที่มีปริมาณเหล็ก 1.0 และ 0.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Haytowitz *et al.*, 2018) และในการทดลองนี้ เมื่อให้ธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ บัตเตอร์เฮดมีปริมาณเหล็กมากกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก 1.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่า บัตเตอร์เฮดมีโอกาสดูดใช้ในการเสริมธาตุเหล็กในการดูดใช้นิโตรเจนได้มากกว่ากรีนคอสและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ( $r = 0.993$ ,  $r = 0.883$  และ  $r = 0.895$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 4) แสดงว่า เมื่อผักสลัดเสริมธาตุเหล็กดูดใช้นิโตรเจนเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้เกิดการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเช่นกัน สันนิษฐานว่าเกิดจากอันตรกิริยาแบบส่งเสริมกันระหว่างไนโตรเจนกับโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (ยงยุทธ, 2558) ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด (2,245.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนคอสเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด (1,407.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีนในผักสลัด เพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน และผักสลัดในกลุ่มเรดโอ๊คมีปริมาณโปรตีน 1.3 กรัมต่อ 100 กรัม มากกว่าผักสลัดในกลุ่มคอสที่มีปริมาณโปรตีน 1.2 กรัมต่อ 100 กรัม (Haytowitz *et al.*, 2018)

ปริมาณฟอสฟอรัส การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง (33.62-52.40%) อาจเป็นผลมาจากในภาวะเหล็กสูง เหล็กที่เพิ่มขึ้นอาจไปจำกัดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส (Xing *et al.*, 2010; ยงยุทธ, 2558) เพราะธาตุเหล็กในรูปของไอออนบวก ได้แก่เฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ที่มีอยู่มากในสารละลาย มีโอกาสจับตัวกับธาตุฟอสฟอรัสในรูปของไอออนลบ ได้แก่ออร์โธฟอสเฟต ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ) และตกตะกอนในสารละลาย พืชจึงดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ลดลง (ตารางที่ 2)

สอดคล้องกับผลการทดลองในข้าวที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่าการให้ธาตุเหล็กในสารละลาย 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ข้าว (*Oryza sativa* L.) มีปริมาณฟอสฟอรัสลดลง และแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (De Dorlodot *et al.*, 2005) ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า กรีนคอสที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด (288.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด (120.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อาจมีผลมาจากความสามารถในการสะสมธาตุอาหารที่แตกต่างกันของพืช โดยผักสลัดในกลุ่มคอสมีปริมาณฟอสฟอรัส 30.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มากกว่าผักสลัดในกลุ่มเรดโอ๊คที่มีปริมาณฟอสฟอรัส 28.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Haytowitz *et al.*, 2018)

ปริมาณโพแทสเซียม การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง (32.39-44.69%) อาจเกิดจากการแข่งขันระหว่างเหล็กและโพแทสเซียม เพราะพืชดูดใช้โพแทสเซียมและเหล็กในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) และเหล็ก ในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) ส่งผลให้เหล็กมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าโพแทสเซียม (Wiklander, 1964) และการเสริมธาตุเหล็กทำให้ในสารละลายมีปริมาณเหล็กมากกว่าโพแทสเซียม ผักสลัดจึงดูดใช้เหล็กมากกว่าและเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ พบว่าปริมาณโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแคลเซียม สังกะสี และทองแดง ( $r = 0.890$ ,  $r = 0.896$  และ  $r = 0.908$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 4) แสดงว่าปริมาณโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ผักสลัดมีปริมาณแคลเซียม สังกะสี และทองแดงเพิ่มขึ้น สันนิษฐานว่าเกิดจากอันตรกิริยาแบบส่งเสริมกันระหว่างโพแทสเซียมกับแคลเซียม สังกะสี และทองแดง (ยงยุทธ, 2558) สอดคล้องกับผลการทดลองของคองเอก (2557) พบว่าการให้ธาตุโพแทสเซียมในสารละลาย 250 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ผักสลัดมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น และแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด (5,015.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุด (2,220.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อาจเป็นเพราะผักกลุ่มสีเข้มต้องการโพแทสเซียมมากกว่าผักกลุ่มสีซีด (ขวลิต, 2561) ร่วมกับอิทธิพลของการเสริมธาตุเหล็ก ที่มีอันตรกิริยาในเชิงปฏิปักษ์กับโพแทสเซียม เช่นเดียวกับในข้าว ที่สภาวะเหล็กสูงส่งผลให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมได้ลดลง (Li *et al.*, 2001) ในเชิงของสุขภาพ โพแทสเซียมถูกพิจารณาให้เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ ร่างกายคนปกติต้องการโพแทสเซียมจากอาหารประมาณ 1,950-3,900 มิลลิกรัมต่อวัน (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563) แต่การได้รับโพแทสเซียมสูงกว่าค่าที่กำหนด อาจส่งผลให้ไตและหัวใจผิดทำงานปกติ เกิดอาการช็อค หมดสติและ

เสียชีวิตได้ (Talukder *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม ในฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด (5,015.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ใน 100 กรัม มีปริมาณโพแทสเซียมเพียง 501.57 มิลลิกรัม ซึ่งไม่เกินค่าปริมาณโพแทสเซียมควรได้รับต่อวันที่กำหนด

ปริมาณแคลเซียม การเสริมธาตุเหล็กทำให้ปริมาณแคลเซียมในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง (22.72-32.60%) อาจมีสาเหตุมาจากการแข่งขันระหว่างเหล็กและแคลเซียม เพราะพืชดูดใช้แคลเซียมและเหล็กในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) และเหล็ก ในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าแคลเซียมในรูปแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) ส่งผลให้เหล็กมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าแคลเซียม (Wiklander, 1964) และการเสริมธาตุเหล็กทำให้ในสารละลายมีปริมาณเหล็กมากกว่าแคลเซียม ผักสลัดจึงดูดใช้เหล็กมากกว่า สอดคล้องกับผลการทดลองในข้าวที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ที่การให้ธาตุเหล็กในสารละลาย 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ข้าว (*Oryza sativa* L.) มีปริมาณแคลเซียมลดลง และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (De Dorlodot *et al.*, 2005) และเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ พบว่าปริมาณแคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียมและสังกะสี ( $r = 0.964$  และ  $r = 0.983$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 4) แสดงว่าปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ผักสลัดมีปริมาณแมกนีเซียมและสังกะสีเพิ่มขึ้น สันนิษฐานว่าเกิดจากอันตรกิริยาแบบส่งเสริมกันระหว่างแมกนีเซียมกับเหล็ก และสังกะสี (ยงยุทธ, 2558) สันนิษฐานว่าเกิดจากอันตรกิริยาแบบส่งเสริมกันระหว่างแคลเซียมกับแมกนีเซียม และสังกะสี ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด (823.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณ แคลเซียมน้อยที่สุด (449.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแคลเซียมมากกว่าบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติที่ 169.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 3) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าบัตเตอร์เฮด (Kim *et al.*, 2016; Haytowitz *et al.*, 2018) เนื่องจากภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการคายน้ำของพืช (ยงยุทธ, 2558) เขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน มีโอกาสทำให้ผักสลัดที่ปลูกในเขตร้อนเช่นประเทศไทย มีอัตราการคายน้ำสูงกว่าผักสลัดที่ปลูกในเขตหนาว อาจส่งผลให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ปลูกในเขตร้อน ดูดและเคลื่อนย้ายแคลเซียมได้มากกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ปลูกในเขตหนาว

ปริมาณแมกนีเซียม การเสริมธาตุเหล็กทำให้ปริมาณแมกนีเซียมในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุมีแนวโน้มลดลง (22.70-41.38%) อาจมีสาเหตุ

มาจาก การแข่งขันระหว่างเหล็กและแมกนีเซียม เพราะพืชดูดใช้แคลเซียมและเหล็กในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) โดยทั่วไปแล้วแมกนีเซียมในรูปแมกนีเซียมไอออน ( $Mg^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าเหล็ก ในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ซึ่งในสภาวะปกติ แมกนีเซียมจะมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าเหล็ก (Wiklander, 1964) แต่ในสภาวะที่มีเหล็กสูง ในสารละลายธาตุอาหารมีปริมาณเหล็กมากกว่าแมกนีเซียม ผักสลัดจึงดูดใช้เหล็กมากกว่า และเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ พบว่าปริมาณแมกนีเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเหล็กและสังกะสี ( $r = 0.964$  และ  $r = 0.983$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 4) แสดงว่าปริมาณแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ผักสลัดมีปริมาณเหล็กและสังกะสีเพิ่มขึ้น สันนิษฐานว่าเกิดจากอันตรกิริยาแบบส่งเสริมกันระหว่างแมกนีเซียมกับเหล็ก และสังกะสี (ยงยุทธ, 2558) ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า เรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแมกนีเซียมมากที่สุด (160.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยที่สุด (74.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่าบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติที่ 31.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 3) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่า บัตเตอร์เฮดมีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่าเรดโอ๊ค (Haytowitz *et al.*, 2018) เป็นไปได้ว่าเพราะเขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน ทำให้ผักสลัดบางชนิดดูดใช้ธาตุอาหารแตกต่างกัน เช่นเดียวกับปริมาณแคลเซียม

ปริมาณเหล็ก การเสริมธาตุเหล็กทำให้ปริมาณเหล็กในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก และเรดโอ๊ค มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 4.36 2.84 และ 1.32 เท่า เพราะเหล็กเป็นธาตุที่มีไอออนขนาดเล็ก ทำให้มีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) สูง ร่วมกับผลของการเสริมธาตุเหล็ก ที่ทำให้ความเข้มข้นเหล็กในสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้น พืชจึงดูดใช้เหล็กเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ, 2558) สอดคล้องกับการทดลองของ Giordano และคณะ (2019) รายงานว่าการเพิ่มเหล็กในสารละลายธาตุอาหาร 1.0 และ 2.0 มิลลิโมลต่อลิตร มีผลให้ปริมาณเหล็กในบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์เพิ่มขึ้น และแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม อย่างไรก็ตาม บัตเตอร์เฮดและกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณเหล็กไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เป็นไปได้ว่าเกิดจากระดับวิกฤตของธาตุเหล็กในผักสลัดแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงไม่ส่งผลให้บัตเตอร์เฮดและกรีนโอ๊คดูดใช้เหล็กเพิ่มขึ้น เหมือนในกรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก และเรดโอ๊ค ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณเหล็กมากที่สุด (16.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด (2.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณ

เหล็กมากกว่ากรีนคอสที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติที่ 3.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 3) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่ากรีนคอสมีปริมาณเหล็กมากกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก (Haytowitz *et al.*, 2018) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน เพราะอุณหภูมิสูงทำให้พืชคายน้ำและดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ, 2558) และในเขตอากาศที่มีอุณหภูมิสูงเช่นประเทศไทย อาจส่งผลให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กดูดใช้ธาตุเหล็กได้มากกว่ากรีนคอส มีรายงานว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูร้อน (อุณหภูมิสูง) มีปริมาณเหล็กมากกว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (Sublett *et al.*, 2018)

ปริมาณสังกะสี การเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสังกะสีในผักสลัดลดลง 0.56-0.77 เท่า สันนิษฐานว่า เป็นเพราะการแข่งขันระหว่างเหล็กและสังกะสี เพราะพืชดูดใช้ธาตุเหล็กและสังกะสีในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) โดยทั่วไปแล้วสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าเหล็ก ในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ซึ่งในสภาวะปกติสังกะสีจะมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าเหล็ก (Wiklander, 1964) แต่ในสภาวะที่มีเหล็กสูง ในสารละลายธาตุอาหารมีปริมาณเหล็กมากกว่าสังกะสี ผักสลัดจึงดูดใช้เหล็กมากกว่า ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณสังกะสีมากที่สุด (3.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณสังกะสีน้อยที่สุด (1.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อาจเกิดจากอิทธิพลของสภาวะเหล็กสูง ที่ทำให้ผักสลัดดูดใช้ธาตุสังกะสีได้น้อยลง เช่นเดียวกับในข้าวและเยอบีร่ากระถาง (*Gebera jamesonii*) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ (De Dorlodot *et al.*, 2005; วิฐู และอิทธิสุนทร, 2555)

ปริมาณแมงกานีส การเสริมธาตุเหล็ก มีแนวโน้มทำให้ปริมาณแมงกานีสในกรีนคอสและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเพิ่มขึ้น 1.37 และ 1.46 เท่า เป็นไปได้ว่ามีเกี่ยวข้องกับรูปแบบการกระจายของแมงกานีสในพืชที่เปลี่ยนไปตามระดับของเหล็ก และอัตราส่วน Fe/Mn ที่เพิ่มขึ้นเหมือนในต้นข้าว (*Oryza sativa* L.) (Tanaka and Navasero, 1966) ซึ่งขัดแย้งกับ De Dorlodot และคณะ (2005) รายงานว่าการให้ธาตุเหล็กในสารละลาย 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ข้าว (*Oryza sativa* L.) มีปริมาณแมงกานีสลดลง และแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เพราะในสภาวะปกติ เหล็กและแมงกานีสจะเป็นธาตุที่มีอันตรกิริยาในเชิงปฏิปักษ์ต่อกัน (ยงยุทธ, 2558) ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็ก มีปริมาณแมงกานีสมากที่สุด (2.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุด (0.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณแมงกานีสมากกว่ากรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติที่ 0.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 3) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว)

ระบุไว้ว่า กรีนไอล์คมีปริมาณแมงกานีสมากกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก (Haytowitz *et al.*, 2018) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน เพราะอุณหภูมิสูงทำให้พืชคายน้ำและดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ, 2558) และในเขตอากาศที่มีอุณหภูมิสูงเช่นประเทศไทย อาจส่งผลให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กดูดใช้ธาตุแมงกานีสได้มากกว่ากรีนไอล์ค

ปริมาณทองแดง การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้ปริมาณทองแดงในกรีนคอส กรีนไอล์ค เรดไอล์ค และบัตเตอร์เฮด มีแนวโน้มลดลง 0.74 0.77 0.78 และ 0.60 เท่า ตามลำดับ อาจเป็นเพราะการแข่งขันระหว่างเหล็กและทองแดง เพราะพืชดูดใช้ธาตุเหล็กและทองแดงในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) โดยทั่วไปแล้ว ทองแดงในรูปคิวปัสไอออน ( $\text{Cu}^+$ ) และคิวปิคไอออน ( $\text{Cu}^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าเหล็กในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ซึ่งในสภาวะปกติทองแดงจะมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าเหล็ก (Wiklander, 1964) แต่ในสภาวะที่มีเหล็กสูง ในสารละลายธาตุอาหารมีปริมาณเหล็กมากกว่าทองแดง ผักสลัดจึงดูดใช้เหล็กมากกว่า แต่ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็ก กับมีปริมาณทองแดงไม่แตกต่างกับฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เป็นไปได้ว่าเกิดจากระดับวิกฤตของธาตุเหล็กในผักสลัดแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงไม่ส่งผลให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กดูดใช้ทองแดงลดลง ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า กรีนไอล์คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีปริมาณทองแดงมากที่สุด (0.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กมีปริมาณทองแดงน้อยที่สุด (0.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) สันนิษฐานว่าเกิดจากความสามารถในการสะสมธาตุอาหารที่แตกต่างกันของพืช โดยผักสลัดในกลุ่มกรีนลีฟ มีปริมาณทองแดง 29.0 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มากกว่าผักสลัดในกลุ่มบัตเตอร์เฮดที่มีปริมาณทองแดง 16.0 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Haytowitz *et al.*, 2018) ร่วมกับอิทธิพลของปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้น ทำให้พืชดูดใช้ทองแดงได้ลดลง เช่นเดียวกับในข้าวที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ (De Dorlodot *et al.*, 2005)

#### 4.2.2 การเสริมธาตุสังกะสีและการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีในผักสลัด

สังกะสีเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีความสำคัญต่อระบบการทำงานของร่างกายมนุษย์ และมีประชากรทั่วโลกมากกว่า 2 พันล้านคนกำลังประสบกับภาวะขาดธาตุสังกะสี (Stelle *et al.*, 2019) การเสริมธาตุสังกะสีในผักสลัดผ่านกระบวนการไปโอพอร์ติฟิเคชัน จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ แต่จากการทดสอบเสริมธาตุเหล็กในผักสลัด (การทดลองที่ 2.2.1) พบว่าการเสริมธาตุเหล็ก ทำให้พืชดูดใช้สังกะสีลดลง นำมาสู่การพิจารณาผลของการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี เปรียบเทียบกับการเสริมธาตุสังกะสี ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด

#### 4.2.2.1 ผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนคอส พิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊คมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ มากกว่าผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี เฉลี่ยที่ 46.87% และ 40.59% ตามลำดับ เป็นไปได้ว่า การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียวทำให้เกิดสภาวะที่มีสังกะสีสูงมาก อาจส่งผลให้เกิดจากการแข่งขันระหว่างธาตุเหล็กและสังกะสี เพราะพืชดูดใช้ธาตุเหล็กและสังกะสีในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) ซึ่งสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าเหล็ก ในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ทำให้สังกะสีมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าเหล็ก (Wiklander, 1964) และการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียวทำให้มีปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหาร มากกว่าการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในผักสลัดที่เสริมธาตุสังกะสี พบว่าน้ำหนักสดหลังตัดแต่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ ( $r = 0.991$ ) (ตารางที่ 7) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะสังกะสี เป็นจุลธาตุที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับน้ำหนักพืช การเพิ่มปริมาณสังกะสีในสารละลายอาจทำให้พืชสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้นและมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นมากกว่าการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่อาจมีการแข่งขันระหว่างธาตุเหล็กและสังกะสี (Wiklander, 1964) ผักสลัดที่เสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว จึงมีโอกาสใช้ประโยชน์จากสังกะสีในการเจริญเติบโตได้มากกว่า ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า กรีนคอสเสริมธาตุสังกะสี มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้มากที่สุด (287.85 และ 210.54 กรัม ตามลำดับ) และเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งและน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้น้อยที่สุด (40.29 และ 24.06 กรัม ตามลำดับ) อาจเนื่องมาจากลักษณะทางสรีระของกรีนคอสที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มีความสามารถในการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารมากกว่าผักสลัดกลุ่มอื่น โดยเฉพาะเรดโอ๊ค (Kim *et al.*, 2016) ร่วมกับอิทธิพลของการเสริมธาตุสังกะสี เพราะ 70% ของสังกะสีถูกสำรองอยู่ในเนื้อเยื่อพืช ทำให้พืชที่เสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณชีวมวลเพิ่มขึ้น (Montoya *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตาม บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุสังกะสี มีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกับบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี อาจเกิดจากระดับวิกฤตของธาตุสังกะสีในผักสลัดแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม จึงไม่ส่งผลให้บัตเตอร์เฮดดูดใช้สังกะสีเพิ่มขึ้นหรือลดลง ทำให้มีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน



#### 4.2.2.2 ผลต่อคุณภาพของผักสลัด

ปริมาณไนเตรตในผักสลัดจากการทดสอบการเสริมธาตุสังกะสี และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี อยู่ในช่วง 352.27-916.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 5) ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010) การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนคอสและกรีนโอ๊ค มีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่ 139.48% และ 54.70% ตามลำดับอาจเป็นผลมาจากการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ทำให้เกิดสภาวะที่มีสังกะสีสูงมาก ซึ่งสังกะสีในรูปของไอออนบวก ( $Zn^{2+}$ ) มีโอกาสจับตัวกับไนเตรตที่อยู่ในรูปของไอออนลบ ( $NO_3^-$ ) และตกตะกอนในสารละลาย พืชจึงมีโอกาสดูดใช้ในเทรตได้น้อยลง (ตารางที่ 5) แต่การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เกิดสภาวะที่มีเหล็กสูง อาจส่งเสริมให้พืชมีกลไกที่ดูดใช้และสะสมไนเตรตเพิ่มขึ้น (Iacuzzo *et al.*, 2011) แต่บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไนเตรตไม่แตกต่างกับบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุสังกะสี สันนิษฐานว่าเกิดจากที่บัตเตอร์เฮดสามารถดูดใช้และสะสมไนเตรตได้มาก (Zhang *et al.*, 2017) จนถึงระดับวิกฤตของพืช (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม จึงไม่ส่งผลให้บัตเตอร์เฮดดูดใช้ในเทรตเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนโตรเจน ( $r = 0.886$ ) (ตารางที่ 7) แสดงว่าปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผักสลัดมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะพืชดูดใช้ในโตรเจนในรูปไนเตรตไอออน ( $NO_3^-$ ) (ยงยุทธ์, 2558) ปริมาณไนเตรตและไนโตรเจนจึงแปรผันตรงกัน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณไนเตรตมากที่สุด (916.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนคอสเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณไนเตรตน้อยที่สุด (352.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เพราะผักสลัดในกลุ่มลิฟสามารถดูดใช้และสะสมไนเตรตได้มากกว่าผักสลัดในกลุ่มคอส (Zhang *et al.*, 2017) ร่วมกับอิทธิพลของการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ที่ทำให้กรีนคอสและกรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรตมากกว่าผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว

ปริมาณไนโตรเจน การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีทำให้ ฟิลเลย์โอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว (22.03-16.89%) เพราะการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีทำให้เกิดสภาวะที่มีเหล็กสูง อาจส่งเสริมให้พืชมีกลไกที่ดูดใช้และสะสมไนโตรเจนในรูปไนเตรตเพิ่มขึ้น (Iacuzzo *et al.*, 2011) การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว อาจส่งเสริมให้เกิดการแข่งขันระหว่างสังกะสีกับไนโตรเจน เพราะสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไอออน ( $NH_4^+$ ) ทำให้สังกะสีมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าไนโตรเจน (Wiklander, 1964) ในสารละลายที่มีสังกะสีสูงมาก พืชจึงดูดใช้สังกะสีมากกว่าไนโตรเจน

แต่กรีนคอสและแบตเตอรี่เฮดเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี กลับมีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี สันนิษฐานว่าเกิดจากที่กรีนคอสและแบตเตอรี่เฮด มีลักษณะทางสรีระที่ค่อนข้างใหญ่ แผ่นใบหนา อาจส่งเสริมให้พืชสามารถดูดใช้และสะสมไนโตรเจนได้มากจนถึงระดับวิกฤต (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม จึงไม่ส่งผลให้กรีนคอสและแบตเตอรี่เฮดดูดใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์พบว่า ในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ( $r = 0.906$  และ  $r = 0.975$  ตามลำดับ) และในผักสลัดเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ( $r = 0.929$ ,  $r = 0.921$  และ  $r = 0.891$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 7) อาจเป็นเพราะไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีบทบาทมากในการเจริญเติบโตของพืช เป็นองค์ประกอบของโปรตีน และสารสำคัญอีกหลายชนิดในพืช ไนโตรเจนมีหน้าที่หลักคือช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโต (ยงยุทธ, 2558) แสดงว่าปริมาณไนโตรเจนในผักสลัดลดลง จากการเสริมธาตุสังกะสี อาจส่งผลให้ผักสลัดดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารสำคัญที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโตลดลงเช่นกัน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด (2,368.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด (1,513.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสังกะสีในสารละลาย ที่การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว จำกัดการดูดใช้ไนโตรเจนได้มากกว่าการเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี อย่างไรก็ตาม การเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี ทำให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่ากรีนคอส 671.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 5) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่า กรีนคอสมีปริมาณโปรตีน (ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นไนโตรเจน) มากกว่าฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก (Haytowitz *et al.*, 2018) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน เพราะอุณหภูมิสูงทำให้พืชคายน้ำและดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ, 2558) และในเขตอากาศที่มีอุณหภูมิสูงเช่นประเทศไทย อาจส่งผลให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กดูดใช้ธาตุไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนได้มากกว่ากรีนคอส มีรายงานว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูร้อน (อุณหภูมิสูง) มีปริมาณไนโตรเจนและไนเตรตสูงกว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูใบไม้ผลิซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (Fallovo *et al.*, 2009)

ปริมาณฟอสฟอรัส การเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี ทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และแบตเตอรี่เฮด มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว (14.41-107.96%) อาจเป็นผลมาจากการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียวทำให้เกิดภาวะสังกะสีสูงมาก สังกะสีที่เพิ่มขึ้นอาจไปจำกัดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส (Das *et al.*, 2005) เพราะธาตุสังกะสีในรูปของไอออนบวก ได้แก่ สังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) ที่มีอยู่มากในสารละลาย มีโอกาสจับตัว

กับธาตุฟอสฟอรัสในรูปของไอออนลบ ได้แก่ออร์โธฟอสเฟต ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) และตกตะกอนในสารละลาย พืชจึงดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ลดลง (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับผลการทดลองในหญ้าหวาน (*Stevia rebaudiana*) ที่การให้ปุ๋ยสังกะสีและฟอสฟอรัสพร้อมกัน ส่งผลให้หญ้าหวานมีความสูงจำนวนแขนง และจำนวนใบต่อต้นน้อยกว่าการให้การให้ปุ๋ยสังกะสีหรือปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลาย (Das *et al.*, 2005) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า และเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ พบว่าในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี ปริมาณฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสังกะสี ( $r = -0.948$ ) (ตารางที่ 7) อาจเป็นเพราะสังกะสีในรูปของไอออนบวก ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ที่มีอยู่มากในสารละลาย มีโอกาสจับตัวกับธาตุฟอสฟอรัสในรูปของไอออนลบ ได้แก่ออร์โธฟอสเฟต ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) และตกตะกอนในสารละลาย พืชจึงดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ลดลง ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด (219.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด (105.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 5) อาจเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสังกะสีในสารละลาย ที่การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว จำกัดการดูดใช้ฟอสฟอรัสได้มากกว่าการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

ปริมาณโพแทสเซียม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ทำให้กรีนคอส พิลเลย์ ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว (6.77-69.71%) อาจมีสาเหตุมาจากการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียวทำให้เกิดสภาวะที่มีสังกะสีสูงมาก ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างสังกะสีและโพแทสเซียม เพราะพืชดูดใช้สังกะสีและโพแทสเซียมในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) และสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $\text{Zn}^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) ส่งผลให้สังกะสีมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าโพแทสเซียม (Wiklander, 1964) และการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ทำให้ในสารละลายมีปริมาณสังกะสีมากกว่าโพแทสเซียม ผักสลัดจึงดูดใช้สังกะสีมากกว่า แต่แบตเตอรี่เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีมีปริมาณโพแทสเซียมไม่แตกต่างกับแบตเตอรี่เฮดที่เสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว เป็นไปได้ว่าเกิดจากระดับวิกฤตของธาตุโพแทสเซียมในผักสลัดแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม จึงไม่ส่งผลให้แบตเตอรี่เฮดดูดใช้โพแทสเซียมเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี พบว่าปริมาณโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียม ( $r = 0.891$ ) (ตารางที่ 7) แสดงว่าปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลง อาจส่งผลให้ผักสลัดดูดใช้แมกนีเซียมลดลง อาจเป็นเพราะโพแทสเซียม เป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์อาหารด้วยแสง และการหายใจในพืช (ยงยุทธ, 2558) เมื่อปริมาณโพแทสเซียมในผักสลัดที่ลดลง จากการเสริมธาตุสังกะสี จึงส่งผลให้ผักสลัดดูดใช้แมกนีเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ที่มีหน้าที่สำคัญในการดูดซับพลังงานแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์อาหารด้วยแสง ลดลงเช่นกัน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า พิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด (3,942.49

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำสุด (2,057.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 5) เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสังกะสีในสารละลาย ที่การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว จำกัดการดูดใช้โพแทสเซียมได้มากกว่าการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี อย่างไรก็ตาม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ฟิลเลย์โอซ์เบิร์กมีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่ากรีนคอส 929.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 5) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่า กรีนคอสมีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าฟิลเลย์โอซ์เบิร์ก (Haytowitz *et al.*, 2018) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน เพราะอุณหภูมิสูงทำให้พืชคายน้ำและดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ, 2558) และในเขตอากาศที่มีอุณหภูมิสูงเช่นประเทศไทย อาจส่งผลให้ฟิลเลย์โอซ์เบิร์กดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมได้มากกว่ากรีนคอส มีรายงานว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูร้อน (อุณหภูมิสูง) มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (Falovo *et al.*, 2009)

ปริมาณแคลเซียม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ฟิลเลย์โอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณแคลเซียมมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว (16.99-46.28%) อาจมีสาเหตุมาจากการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียวทำให้เกิดสภาพที่มีสังกะสีสูงมาก ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างสังกะสีและแคลเซียม เพราะพืชดูดใช้สังกะสีและแคลเซียมในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) และสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าแคลเซียมในรูปแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) ส่งผลให้สังกะสีมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าแคลเซียม (Wiklander, 1964) และการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ทำให้ในสารละลายมีปริมาณสังกะสีมากกว่าแคลเซียม ผักสลัดจึงดูดใช้สังกะสีมากกว่าแคลเซียม แต่กรีนคอสและบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี เป็นไปได้ว่า เกิดจากระดับวิกฤตของธาตุแคลเซียมในผักสลัดแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม จึงไม่ส่งผลให้กรีนคอสและบัตเตอร์เฮดดูดใช้แคลเซียมเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี และผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี พบว่าปริมาณแคลเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแมกนีเซียม ( $r = 0.922$  และ  $r = 0.972$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 7) แสดงว่าปริมาณแคลเซียมที่ลดลง อาจส่งผลให้ผักสลัดดูดใช้แมกนีเซียมลดลง อาจเป็นเพราะแคลเซียม เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ และเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนในพืช (ยงยุทธ, 2558) เมื่อปริมาณแคลเซียมในผักสลัดลดลงจากการเสริมธาตุสังกะสี อาจส่งผลให้ผักสลัดดูดใช้แมกนีเซียมซึ่งเป็นสารสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน ลดลงเช่นกัน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด (815.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณแคลเซียมต่ำสุด (536.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6) ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่า เรดโอ๊คและกรีนคอส มีปริมาณแคลเซียมไม่แตกต่างกัน (Haytowitz *et al.*, 2018) จึงสันนิษฐานว่าปริมาณแคลเซียมในผักสลัดเกี่ยวข้องกับ

ความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายเป็นหลัก การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว จำกัดการดูดใช้แคลเซียมได้มากกว่าการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

ปริมาณแมกนีเซียม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค มีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว (22.86-35.08%) อาจมีสาเหตุมาจากการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียวทำให้เกิดสภาวะที่มีสังกะสีสูงมาก ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างสังกะสีและแมกนีเซียม เพราะพืชดูดใช้สังกะสีและแมกนีเซียมในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) โดยทั่วไปแล้วแมกนีเซียมในรูปแมกนีเซียมไอออน ( $Mg^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) ซึ่งในสภาวะปกติ แมกนีเซียมจะมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าสังกะสี (Wiklander, 1964) แต่ในสภาวะที่มีสังกะสีสูงมาก สารละลายธาตุอาหารมีปริมาณสังกะสีมากกว่าแมกนีเซียม ผักสลัดจึงดูดใช้สังกะสีมากกว่า แต่กรีนคอสและบัตเตอร์เฮด มีปริมาณแมกนีเซียมไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี เป็นไปได้ว่าเกิดจากระดับวิกฤตของธาตุแมกนีเซียมในผักสลัดแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม จึงไม่ส่งผลให้กรีนคอสและบัตเตอร์เฮดดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นหรือลดลง ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแมกนีเซียมมากที่สุด (149.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนคอสเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยที่สุด (82.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อย่างไรก็ตาม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่ากรีนคอส 245.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 6) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่ากรีนคอสมีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่าเรดโอ๊ค (Haytowitz *et al.*, 2018) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน เพราะอุณหภูมิสูงทำให้พืชคายน้ำและดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ, 2558) และในเขตอากาศที่มีอุณหภูมิสูงเช่นประเทศไทย อาจส่งผลให้เรดโอ๊คดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมได้มากกว่ากรีนคอส

ปริมาณเหล็ก การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮดมีปริมาณเหล็กมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว (1.78-4.04 เท่า) เพราะการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณเหล็กในสารละลายมากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ทำให้พืชดูดใช้ธาตุเหล็กได้มากกว่า (ไพบูลย์, 2546) เป็นไปได้ว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียวทำให้เกิดสภาวะที่มีสังกะสีสูงมาก ทำให้เกิดการการแข่งขันระหว่างสังกะสีและเหล็ก เพราะพืชดูดใช้สังกะสีและเหล็กในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) และสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าเหล็กในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ส่งผลให้สังกะสีมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าเหล็ก (Wiklander, 1964) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากรีนคอสเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีปริมาณเหล็กมากที่สุด (14.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด (3.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6) อาจเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสังกะสีใน

สารละลาย ที่การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว จำกัดการดูดใช้เหล็กได้มากกว่าการเสริมธาตุเหล็ก ร่วมกับสังกะสี

ปริมาณสังกะสี การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีทำให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีปริมาณสังกะสีน้อยกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว (0.25-0.48 เท่า) (ตารางที่ 6) แต่ทว่า เมื่อพิจารณาค่าสัมพันธ์ในผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี พบว่าปริมาณเหล็กมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสังกะสี ( $r = 0.905$ ) (ตารางที่ 7) แสดงว่าปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้นในการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ส่งผลให้ผักสลัดดูดใช้สังกะสีเพิ่มขึ้น โดยปกติแล้ว เหล็กและสังกะสีเป็นธาตุที่มีอันตรกิริยาในเชิงปฏิปักษ์ต่อกัน แต่การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ทำให้ในสารละลายมีปริมาณสังกะสีมากกว่าเหล็ก พืชจึงดูดใช้สังกะสีมากกว่า เพราะคุณสมบัติของสังกะสี ที่เป็นธาตุที่มีไอออนขนาดเล็ก ทำให้มีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) สูง ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า กรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีปริมาณสังกะสีมากที่สุด (13.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ในขณะที่บัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณสังกะสีน้อยที่สุด (2.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6) ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่า กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีปริมาณสังกะสีไม่แตกต่างกัน (Haytowitz *et al.*, 2018) จึงสันนิษฐานว่าความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผักสลัดดูดใช้สังกะสีเพิ่มขึ้น

ปริมาณแมงกานีส การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีปริมาณแมงกานีสน้อยกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ที่ 0.77 และ 0.74 เท่า ตามลำดับ สันนิษฐานว่า เป็นเพราะการแข่งขันระหว่างเหล็ก สังกะสี และแมงกานีส เพราะพืชดูดใช้ธาตุทั้งสาม ในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) โดยทั่วไปแล้วสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $Zn^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าเหล็ก ในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) และเล็กกว่าแมงกานีสไอออน ( $Mn^{2+}$ ) และแมงกานีสไอออน ( $Mn^{3+}$ ) ทำให้ลำดับของแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) คือ สังกะสี > เหล็ก > แมงกานีส ในสารละลายที่มีทั้งเหล็กและสังกะสีสูง ผักสลัดจึงมีโอกาสดูดใช้เหล็กและสังกะสีมากกว่าแมงกานีส แต่กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก และกรีนโอ๊ค มีปริมาณแมงกานีสไม่แตกต่างกับผักสลัดชนิดเดียวกันที่เสริมธาตุสังกะสี เป็นไปได้ว่าเกิดจากระดับวิกฤตของธาตุแมงกานีสในผักสลัดแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Kim *et al.*, 2016) การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม จึงไม่ส่งผลให้กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก และกรีนโอ๊ค ดูดใช้แมงกานีสเพิ่มขึ้นหรือลดลง ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กเสริมธาตุสังกะสีมีปริมาณแมงกานีสมากที่สุด (1.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุด (0.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6) เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีในสารละลาย ที่การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี จำกัดการดูดใช้แมงกานีสได้มากกว่าการเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว อย่างไรก็ตาม การเสริมธาตุสังกะสีเพียงธาตุเดียว ทำให้ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กมีปริมาณแมงกานีสมากกว่ากรีนโอ๊ค 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 5) แต่ข้อมูลจากการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตหนาว) ระบุไว้ว่า กรีนโอ๊คมีปริมาณ

แมงกานีสมากกว่าฟิเลย์ไอซ์เบิร์ก (Haytowitz *et al.*, 2018) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเขตอากาศในการทดลองที่แตกต่างกัน เพราะในประเทศไทยมีอุณหภูมิสูง ทำให้พืชคายน้ำและดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ, 2558) ร่วมกับอิทธิพลของการเสริมธาตุอาหารที่มีอันตรกิริยาในเชิงปฏิปักษ์ต่อกัน เช่น เหล็กและสังกะสี อาจส่งผลให้ฟิเลย์ไอซ์เบิร์กดูดใช้ธาตุแมงกานีสได้มากกว่ากรีนโอ๊ค

ปริมาณทองแดง การเสริมธาตุสังกะสีและการเสริมเหล็กร่วมกับสังกะสี ไม่ทำให้ผักสลัดชนิดเดียวกันมีปริมาณทองแดงที่แตกต่างกัน สันนิษฐานว่าเป็นเพราะการแข่งขันระหว่างไอออน เพราะพืชดูดใช้เหล็ก สังกะสี และทองแดงในรูปไอออนบวก (ยงยุทธ, 2558) และทองแดงในรูปคิวปัสไอออน ( $\text{Cu}^+$ ) และคิวปิคไอออน ( $\text{Cu}^{2+}$ ) มีขนาดไอออนเล็กกว่าสังกะสีในรูปสังกะสีไอออน ( $\text{Zn}^{2+}$ ) และเหล็กในรูปเฟอร์รัสไอออน ( $\text{Fe}^{2+}$ ) หรือเฟอร์ริกไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ส่งผลให้สังกะสีมีแรงดูดยึด (absorbability) และความสามารถในการแทนที่ (replacing power) มากกว่าเหล็กและสังกะสี (Wiklander, 1964) และอาจเป็นระดับวิกฤตของธาตุทองแดงในผักสลัด (Kim *et al.*, 2016) ทำให้การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสริมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัม ไม่ส่งผลให้ผักสลัดทุกชนิดดูดใช้ทองแดงเพิ่มขึ้นหรือลดลง อย่างไรก็ตาม การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณทองแดงมากที่สุด (0.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และบัตเตอร์เฮด มีปริมาณทองแดงน้อยที่สุด (0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 6) อาจมีผลมาจากความสามารถในการสะสมธาตุอาหารที่แตกต่างกันของพืช โดยผักสลัดในกลุ่มลิฟมีปริมาณทองแดง 29.0 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มากกว่าผักสลัดในกลุ่มบัตเตอร์เฮดที่มีปริมาณทองแดง 16 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม (Haytowitz *et al.*, 2018)

#### 4.3 ผลของผักสลัดเสริมธาตุอาหารที่มีต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์

จากการทดสอบการเสริมธาตุเหล็กและธาตุสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด ในชุดปลูกแบบ deep root floating technique, DRFT (การทดลองที่ 2.2) ที่ดำเนินการในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ.2561 มีอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 23.0-30.2 องศาเซลเซียส และ 20.4-28.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความชื้นต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 64.3%-96.2% และ 47.6%-82.6% (ตารางผนวกที่ 3.3-3.4) ทำให้ทราบว่าผักสลัดแต่ละชนิด มีการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน การทดสอบผักสลัดเสริมธาตุอาหารกับเซลล์ลำไส้มนุษย์ (การทดลองที่ 2.3) ดำเนินการปลูกผักสลัดในเดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม พ.ศ.2562 มีอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 23.4-33.0 องศาเซลเซียส 23.6-34.1 องศาเซลเซียส และ 24.2-33.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความชื้นต่ำสุด-สูงสุดเฉลี่ย 52.5%-93.3% 51.4%-97.4% และ 52.6%-96.3% ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 3.5-3.7) จึงเป็นการทดลองต่อยอดไปอีกขั้น โดยพิจารณาผลของการเสริมธาตุเหล็กที่ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเปรียบเทียบกับ

การเสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัดแต่ละชนิด ซึ่งเลือกมาแล้วว่าเป็นชนิดที่เป็นที่นิยมในท้องตลาด ในที่นี้คือ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด และนำผักสลัดที่มีการจัดการเสริมธาตุอาหารมาความปลอดภัยในระดับเซลล์ ด้วยการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ โดยวิธี MTT assay เพราะเป็นวิธีการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด (Mosmann, 1983; Buckberry, 2005) และเซลล์ลำไส้มนุษย์เป็นเซลล์ที่ได้มาจากอวัยวะที่มีการสัมผัสกับอาหาร และดูดซึมสารอาหารมากที่สุด และเป็นเซลล์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของลำไส้ และความเป็นพิษของสารทดสอบมากที่สุด (Bhatt *et al.*, 2018; Sodano *et al.*, 2021)

#### 4.3.1 การเจริญเติบโตของผักสลัดเสริมธาตุอาหาร

การเจริญเติบโตของผักสลัด จะพิจารณาจากน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง น้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ น้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ น้ำหนักลำต้นสดผักสลัด น้ำหนักลำต้นแห้งผักสลัด น้ำหนักรากสดผักสลัด และน้ำหนักรากแห้งผักสลัด สีของแผ่นใบและลักษณะทรงพุ่มของผักสลัด

กรีนโอ๊คเสริมธาตุอาหาร มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งไม่แตกต่างกับกรีนโอ๊คที่ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ภาพที่ 10) แต่มีขนาดใบ ทรงพุ่ม และกลุ่มราก ค่อนข้างใหญ่กว่ากรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (ภาพที่ 17) อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุอาหารในสารละลาย ส่งผลให้กรีนโอ๊คมีการดูดใช้สารละลายธาตุอาหาร ไปกระจายอยู่ในส่วนต่าง ๆ ไม่เท่ากัน (ตารางที่ 11-16) จึงต้องมีการแยกพิจารณาผลของเสริมธาตุอาหาร ต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในแต่ละส่วน พบว่าการเสริมธาตุเหล็ก ทำให้กรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนที่รับประทานได้ และน้ำหนักลำต้นสดเพิ่มขึ้น (35.34% 30.17% และ 76.59% ตามลำดับ) และทำให้ใบและรากของกรีนโอ๊คมีสีเข้มกว่ากรรมวิธีอื่นๆ (ภาพที่ 17) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (การทดลองที่ 2.2.1) และในภาวะเหล็กสูง พืชมีการดูดใช้ธาตุเหล็กไปใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์มากขึ้น ทำให้พืชมีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับ Sarwar และคณะ (2022) รายงานว่าการเสริมธาตุเหล็กทำให้ใบถั่วลิสงมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และรากผักสลัดอาจติดสีเข้มจากธาตุเหล็กที่เติมลงในสารละลาย การเสริมธาตุสังกะสีทำให้กรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโต ด้านน้ำหนักลำต้นสด น้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้งเพิ่มขึ้น (52.38% 30.17% 31.80% และ 45.10% ตามลำดับ) เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของสังกะสี เพราะการเสริมธาตุสังกะสีจึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (การทดลองที่ 2.2.2) แต่การเสริมธาตุสังกะสี มีแนวโน้มทำให้บริเวณทั่วทั้งแผ่นใบของกรีนโอ๊คมีลักษณะสีเหลืองซีด และแสดงอาการรุนแรงในใบอ่อน สันนิษฐานว่า สังกะสีส่วนเกินอาจไปจำกัดความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็ก ทำให้ใบอ่อนเกิดอาการเหลืองซีด (Boardman and McGuire, 1990) การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมี



น้ำหนักสดหลังตัดแต่ง และน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ มากกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 2 เท่า สันนิษฐานว่าเกิดจากอิทธิพลของสภาพอากาศ ที่ความชื้นสูง พืชจะคายน้ำลดลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้ผักสลัดมีการดูดใช้สารละลายเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสีลดลง ทำให้การแข่งขันกันระหว่างธาตุอาหารเกิดขึ้นได้น้อย และทำให้กรีนโอ๊คในการทดลองปัจจุบัน มีกลุ่มรากค่อนข้างใหญ่กว่ากรรมวิธีอื่นๆ อาจเป็นเพราะ ในสภาวะที่มีเหล็กและสังกะสีสูง ทำให้กรีนโอ๊คดูดใช้ธาตุเหล็กและสังกะสีมากขึ้น เนื่องจากธาตุเหล็กมีบทบาทในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช เช่น จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดจาสโมนิก (Balk and Schaedler, 2014; Rout and Sahoo, 2015) และธาตุสังกะสีเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์ออกซิน (Skoog, 1940) จึงส่งผลให้กรีนโอ๊คมีจำนวนรากเพิ่มขึ้น

เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งเพิ่มขึ้น 17.21% (ภาพที่ 10) แต่มีลักษณะทรงพุ่มที่ค่อนข้างไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ๆ (ภาพที่ 18) อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุอาหารในสารละลาย ส่งผลให้เรดโอ๊คมีการดูดใช้สารละลายธาตุอาหาร ไปกระจายอยู่ในส่วนต่าง ๆ ไม่เท่ากัน (ตารางที่ 11-16) การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้เรดโอ๊คมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้และน้ำหนักลำต้นสดเพิ่มขึ้น (22.37% และ 45.53% ตามลำดับ) และทำให้ใบและรากของเรดโอ๊คมีสีเข้มกว่ากรรมวิธีอื่นๆ (ภาพที่ 18) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (การทดลองที่ 2.2.1) และในภาวะเหล็กสูง อาจส่งเสริมให้พืชดูดใช้เหล็กที่เป็นองค์ประกอบหลักของแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ใบเรดโอ๊คมีสีม่วงแดง (Shi *et al.*, 2017) ทำให้เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กมีสีม่วงแดงมากขึ้น และรากผักสลัดอาจติดสีเข้มจากธาตุเหล็กที่เติมลงในสารละลาย การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้งเพิ่มขึ้น (31.31% และ 31.08% ตามลำดับ) เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของสังกะสี เพราะการเสริมธาตุสังกะสีจึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (การทดลองที่ 2.2.2) มีข้อสังเกตว่า ในภาวะสังกะสีสูง เรดโอ๊คไม่แสดงอาการเหลืองซีดเหมือนกรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮด เป็นไปได้ว่า เพราะสังกะสีเป็นตัวกระตุ้น (catalyst) ของกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Shi *et al.*, 2017) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ใบเรดโอ๊คมีสีม่วงแดง เรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสีจึงไม่เกิดอาการซีด การเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีน้ำหนักสดหลังตัดแต่ง และน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ มากกว่าการทดลองที่ผ่านมา ประมาณ 2 เท่า เป็นไปได้ว่าเกิดจากอิทธิพลของสภาพอากาศ ที่พืชจะคายน้ำลดลง เมื่อมีความชื้นสูง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้ผักสลัดมีการดูดใช้สารละลายเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสีลดลง ทำให้การแข่งขันกันระหว่างธาตุอาหารเกิดขึ้นได้น้อย และทำให้เรดโอ๊คในการทดลองปัจจุบัน มีกลุ่มรากค่อนข้างใหญ่กว่ากรรมวิธีอื่นๆ อาจเป็นเพราะในสภาวะที่มีเหล็กและสังกะสีสูง ทำให้เรดโอ๊คดูดใช้ธาตุเหล็กและสังกะสีมากขึ้น ส่งผลให้เรดโอ๊คมีจำนวนรากเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในกรีนโอ๊ค

แบตเตอรี่เฮดเสริมธาตุเหล็ก แบตเตอรี่เฮดเสริมธาตุสังกะสี และแบตเตอรี่เฮดเสริมธาตุเหล็ก ร่วมกับสังกะสี มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งเพิ่มขึ้น 24.93% 40.31% และ 22.44% ตามลำดับ (ภาพที่ 10) และมีขนาดทรงพุ่มและกลุ่มราก ใหญ่กว่าแบตเตอรี่เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ อย่างชัดเจน (ภาพที่ 19) อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุอาหารในสารละลาย ส่งผลให้แบตเตอรี่เฮดมีการดูดใช้ สารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้น การเสริมธาตุเหล็กทำให้แบตเตอรี่เฮด มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสด ส่วนที่รับประทานได้ น้ำหนักลำต้นสดและน้ำหนักลำต้นแห้งเพิ่มขึ้น (23.94% 56.09% และ 35.10% ตามลำดับ) และทำให้ใบและรากของแบตเตอรี่เฮดมีสีเข้มกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ (ภาพที่ 19) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (การทดลองที่ 2.2.1) และในภาวะเหล็กสูง พืชมีการดูดใช้ธาตุเหล็กไปใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์มากขึ้น (Sarwar *et al.*, 2022) และรากผักสลัด อาจติดสีเข้มจากธาตุเหล็กที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้แบตเตอรี่เฮด มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ น้ำหนัก ลำต้นสดและน้ำหนักลำต้นแห้งเพิ่มขึ้น (31.70% 65.11% และ 44.08% ตามลำดับ) มีการ เจริญเติบโตด้านน้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้งเพิ่มขึ้น (75.06% และ 39.17% ตามลำดับ) เป็นไปได้ว่าเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของสังกะสี เพราะการเสริมธาตุสังกะสีจึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโต เพิ่มขึ้น (การทดลองที่ 2.2.2) และทำให้บริเวณทั่วทั้งแผ่นใบของแบตเตอรี่เฮดมีลักษณะสีเหลืองซีด และแสดงอาการรุนแรงในใบอ่อน สันนิษฐานว่าเกิดจากสังกะสีส่วนเกิน อาจไปจำกัดความเป็น ประโยชน์ของธาตุเหล็ก ส่งผลให้ใบอ่อนเกิดอาการเหลืองซีด (Boardman and McGuire, 1990) เช่นเดียวกับในกรีนโอ๊ค การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้แบตเตอรี่เฮด มีการเจริญเติบโตด้าน น้ำหนักสดส่วนที่รับประทานได้ น้ำหนักลำต้นสดและน้ำหนักลำต้นแห้งเพิ่มขึ้น (23.13% 60.30% และ 7.76% ตามลำดับ) และทำให้แบตเตอรี่เฮดมีทรงพุ่มและกลุ่มรากค่อนข้างใหญ่ อาจเป็นเพราะใน สภาวะที่มีเหล็กและสังกะสีสูง ทำให้แบตเตอรี่เฮดดูดใช้ธาตุเหล็กและสังกะสีมากขึ้น ส่งผลให้แบตเตอรี่ เฮดมีจำนวนรากเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับในกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค

#### 4.3.2 คุณภาพของผักสลัดเสริมธาตุอาหาร

คุณภาพของผักสลัด ประกอบด้วย ปริมาณไนเตรต ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัด

กรีนโอ๊ค การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมา ประมาณ 6 เท่า สันนิษฐานว่าเกิดจากอิทธิพลของสภาพอากาศ ที่ความชื้นสูง พืชจะคายน้ำลดลง (ยง ยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้กรีนโอ๊คมีการดูดใช้ในเทรตลดลง และการเสริมธาตุเหล็กทำให้กรีนโอ๊คใน การทดลองปัจจุบัน มีปริมาณไนเตรตลดลง 60.54% และทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลง 15.74% และมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 1 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา เป็นไปได้

ว่าเพราะสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุเหล็ก แต่การเสริมธาตุเหล็กทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 12.03% ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่ผ่านมา ที่การเพิ่มเหล็กทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณแคลเซียมลดลง 27.05% สันนิษฐานว่าที่ความเข้มข้นสูง อาจส่งผลให้กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กดูดใช้แคลเซียมเพิ่มขึ้น การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 10 เท่า สันนิษฐานว่าเป็นเพราะความเข้มข้นสูง ทำให้พืชคายน้ำลดลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้กรีนโอ๊คมีการดูดใช้ในทรตลดลง และทำให้กรีนโอ๊คในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณไนโตรเจนลดลง 15.74% เหล็กและแมงกานีสลดลง 0.6 เท่า และ 0.38 เท่า และมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 6 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา อาจเป็นเพราะสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยมาก การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 7 เท่า สันนิษฐานว่าเป็นเพราะความเข้มข้นสูง ทำให้พืชคายน้ำลดลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้กรีนโอ๊คมีการดูดใช้ในทรตลดลง และทำให้กรีนโอ๊คในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณโพแทสเซียมลดลง 12.24% และแมงกานีสลดลง 0.39 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา สันนิษฐานว่าเป็นเพราะสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุเหล็ก ร่วมกับสังกะสี แต่มีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 9.70% และมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 2.43 เท่า ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่ผ่านมา ที่การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณแคลเซียมและสังกะสีไม่แตกต่างจากการให้ธาตุอาหารในอัตราปกติ สันนิษฐานว่าที่ความเข้มข้นสูง อาจส่งผลให้กรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ดูดใช้แคลเซียมและสังกะสีเพิ่มขึ้น

เรดโอ๊ค การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 5 เท่า สันนิษฐานว่าเป็นเพราะความเข้มข้นสูง ทำให้พืชคายน้ำลดลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้เรดโอ๊คมีการดูดใช้ในทรตลดลง และการเสริมธาตุเหล็กทำให้เรดโอ๊คในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 1 เท่า และมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 17.26% ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่ผ่านมา ที่การเพิ่มเหล็กทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณแคลเซียมลดลง 27.38% สันนิษฐานว่าที่ความเข้มข้นสูง อาจส่งผลให้เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กดูดใช้แคลเซียมเพิ่มขึ้น การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 6 เท่า อาจเป็นเพราะอิทธิพลของการคายน้ำที่ลดลง จากสภาพอากาศที่มีความเข้มข้นสูง (ยงยุทธ, 2558) ส่งผลให้เรดโอ๊คมีการดูดใช้ในทรตลดลง การเสริมธาตุสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณไนเตรตลดลง 43.57% และมีไนโตรเจนลดลง 19.94% มีปริมาณแมงกานีสลดลง 0.58 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา เป็นไปได้ว่าสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสี แต่มีปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เพิ่มขึ้น 21.32% 24.57% 25.11% และ 18.20% ตามลำดับ ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่ผ่านมา ที่การเสริมธาตุสังกะสีทำให้ปริมาณธาตุดังกล่าวในเรดโอ๊คมีแนวโน้มลดลง สันนิษฐานว่าที่ความเข้มข้นสูง อาจส่งผลให้เรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี

ดูที่ใช้ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น และทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 6.04 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา สันนิษฐานว่าเพราะสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสี การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 7 เท่า เป็นไปได้ว่าเกิดจากสภาพอากาศที่ความชื้นสูง ทำให้พืชคายน้ำลดลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้เรดโอ๊คมีการดูใช้ในเทรตลดลง และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้เรดโอ๊คในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณไนเตรตลดลง 45.74% และมีปริมาณแมงกานีสลดลง 0.63 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา เป็นไปได้ว่าสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี แต่ทำให้มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 29.03% และ 23.13% ตามลำดับ มีปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น 1.23 เท่า ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่ผ่านมา ที่การเสริมธาตุสังกะสีทำให้ปริมาณธาตุดังกล่าวในเรดโอ๊คมีแนวโน้มลดลง สันนิษฐานว่าที่ความชื้นสูง อาจส่งผลให้เรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ดูใช้แคลเซียม แมกนีเซียมและทองแดงเพิ่มขึ้น และทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 2.85 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา สันนิษฐานว่าเพราะสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

บัตเตอร์เฮด การเสริมธาตุเหล็ก ทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 5 เท่า เป็นไปได้ว่าเกิดจากสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง ทำให้พืชคายน้ำลดลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้บัตเตอร์เฮดมีการดูใช้ในเทรตลดลง และการเสริมธาตุเหล็กทำให้บัตเตอร์เฮดในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้น 44.53% แต่ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสลดลง 12.60% ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา อาจเป็นเพราะอิทธิพลของสภาพอากาศมีผลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุเหล็ก ทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 3 เท่า อาจเป็นเพราะสภาพอากาศ ที่ทำให้พืชคายน้ำลดลง เมื่อมีความชื้นสูง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้บัตเตอร์เฮดมีการดูใช้ในเทรตลดลง และการเสริมธาตุสังกะสีทำให้บัตเตอร์เฮดในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้น 29.08% และมีปริมาณแมงกานีสลดลง 0.50 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา สันนิษฐานว่าเพราะสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสี แต่ทำให้มีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 15.75% ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่ผ่านมา ที่การเสริมธาตุสังกะสีทำให้แคลเซียมมีแนวโน้มลดลง และการเสริมธาตุสังกะสีทำให้บัตเตอร์เฮด มีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 4.68 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา สันนิษฐานว่าเพราะอิทธิพลของสภาพอากาศมีผลต่อบัตเตอร์เฮดน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสี การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณไนเตรตน้อยกว่าการทดลองที่ผ่านมาประมาณ 5 เท่า สันนิษฐานว่าเกิดจากอิทธิพลของสภาพอากาศ ที่ความชื้นสูง พืชจะคายน้ำลดลง (ยงยุทธ, 2558) อาจส่งผลให้บัตเตอร์เฮดมีการดูใช้ในเทรตลดลง และการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี

ให้แบตเตอรี่เฮดมีปริมาณไนเตรตลดลงและการเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี ทำให้แบตเตอรี่เฮดในการทดลองปัจจุบันมีปริมาณไนเตรตลดลง 26.97% มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลง 16.66% และ 14.08% ตามลำดับ มีปริมาณแมงกานีสลดลง 0.52 เท่า และมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 2.74 เท่า ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา เป็นไปได้ว่าเพราะสภาพอากาศมีอิทธิพลน้อยกว่าความเข้มข้นของธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี

#### 4.3.3 ความปลอดภัยในระดับเซลล์ของผักสลัดเสริมธาตุอาหาร

การทดสอบความปลอดภัยในระดับเซลล์ จะดูจากเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเซลล์ ซึ่งถ้าหากสารทดสอบไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 50% ก็จะได้ถือว่าปลอดภัย (สุพิตรรา และคณะ, 2555) การทดสอบความปลอดภัยในระดับเซลล์ของพืชอาหารในประเทศไทย ส่วนใหญ่มักเป็นการทดสอบในพืชสมุนไพร เช่น การศึกษาความเป็นพิษของพืชสมุนไพรไทยในกลุ่มยาอายุวัฒนะต่อเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด MDB-MB-231 (Chawalitpong *et al.*, 2012) การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดจากใบจำปีและจำปาที่มีต่อเซลล์มะเร็งท่อน้ำดีชนิด RMCCA-1 (ศรมน และคณะ, 2563) ผลของสารสกัดจากยาสมุนไพร 5 ราก (รากย่านาง รากมะเดื่อชุมพร รากชิงช้า รากเท้าชายม่อม และรากคนทา) ที่มีต่อเซลล์เม็ดเลือดขาวแมคโครฟาจ RAW 264.7 (วิดา และกิ่งกาญจน์, 2561) และผลของสารสกัดจากผักพื้นบ้าน (ผักปลัง ผักแพว และผักแขยง) ที่มีต่อเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด Molt4 (สุวรรณา และคณะ, 2561) เป็นต้น แต่การศึกษาความปลอดภัยของผักสลัดที่มีต่อเซลล์ ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ซึ่งจากการทดสอบความปลอดภัยในระดับเซลล์ของผักสลัดเสริมธาตุอาหาร ด้วยการทดสอบผลของผักสลัดต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์ (การทดลองที่ 2.3.2) พบว่าสารสกัดจากผักสลัดทั้ง 3 ชนิด (กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และแบตเตอรี่เฮด) ทุกกรรมวิธีทดสอบ (ได้รับธาตุอาหารในอัตราปกติ เสริมธาตุเหล็ก เสริมธาตุสังกะสี และเสริมธาตุเหล็กพร้อมกับสังกะสี) ที่ทุกระดับความเข้มข้น (0 0.15 0.31 0.62 1.25 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ 50% ในขณะที่สารสกัดจากต้นจักรนาราย (ความเข้มข้น 0-10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ความเข้มข้น 1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ไลน์ชนิด L929 ลดลงจนถึงระดับที่ 50% (สุพิตรรา และคณะ, 2551) อนุมานได้ว่าผักสลัดในการทดลองปัจจุบัน มีความปลอดภัยต่อเซลล์ นอกจากนี้ ในภาพรวมของการทดสอบพบว่าเซลล์ลำไส้มนุษย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบด้วยสารสกัดจากผักสลัดเสริมธาตุอาหาร (ภาพที่ 26-28) สันนิษฐานว่าเพราะการเสริมธาตุอาหาร ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในผักสลัดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการลดลงของไนโตรเจนในผักสลัด มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิก ที่เป็นอาหารของเซลล์ (Zhou *et al.*, 2019)

สารสกัดจากกรีนโอ๊ค ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 90% สันนิษฐานว่าเป็นเพราะความเข้มข้นของสารทดสอบที่ค่อนข้างสูง (0-5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในพืชและเซลล์ชนิดอื่น (0-1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) (Chawalitpong et al., 2012; วิทยา และกิงกาญจน์, 2561; สุวรรณ และคณะ, 2561; ศรมน และคณะ, 2563) อาจส่งผลให้เซลล์บางส่วนเกิดการตาย อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบสารสกัดจากกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ พบว่าเซลล์ลำไส้มนุษย์มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 92.82%-105.96% เป็นไปได้ว่า กรีนโอ๊คประกอบไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ อาทิ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และทองแดง (การทดลองที่ 2.3.2) ที่อาจเป็นอาหารของเซลล์เช่นกัน ทำให้เซลล์มีแนวโน้มการรอดชีวิตไม่แตกต่างกับการไม่ใส่สารทดสอบ สารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง อยู่ในช่วง 90.19%-100.30% อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุเหล็ก ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณเหล็กและแคลเซียม ที่เป็นสารอาหารที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีปริมาณไนเตรตและไนโตรเจนลดลง ทำให้พืชมีสารประกอบฟีนอลิก ที่เป็นอาหารของเซลล์เพิ่มขึ้น (Zhou et al., 2019) แต่ปริมาณของสารอาหารที่เข้มข้นมากเกินไป อาจไปจำกัดการเจริญเติบโตของเซลล์ และสารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 97.88%-112.26% อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรต เหล็ก และแมงกานีสลดลง และมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่า สันนิษฐานว่าเป็นเพราะการเสริมธาตุสังกะสี ที่เป็นองค์ประกอบในสารพฤษเคมีหลายชนิด (Barrameda-Medina et al., 2019) อาจกระตุ้นให้เซลล์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และสารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 97.02%-108.18% สันนิษฐานว่า เพราะการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนเตรต โพแทสเซียม และแมงกานีสลดลง รวมทั้งมีปริมาณแคลเซียมและสังกะสีเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้เซลล์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่น้อยกว่าในกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี ในภาพรวมพบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ที่ทดสอบกับกรีนโอ๊คเสริมธาตุอาหาร มีแนวโน้มไม่แตกต่างกับการทดสอบด้วยกรีนโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดชนิดอื่น อาจเป็นเพราะกรีนโอ๊คเป็นผักสลัดชนิดที่ตอบสนองต่อการเสริมธาตุอาหารน้อยที่สุด

สารสกัดจากเรดโอ๊คไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 75% สันนิษฐานว่าเพราะความเข้มข้นของสารทดสอบที่ค่อนข้างสูงอาจทำให้เซลล์บางส่วนเกิดการตาย (สุพิตรา และคณะ, 2551) โดยสารสกัดจากเรดโอ๊คที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 93.75%-105.97% สันนิษฐานว่า เพราะกรีนโอ๊คประกอบไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์อยู่มาก เช่นเดียวกับกรีนโอ๊ค (การทดลองที่ 2.3.2) ซึ่งอาจเป็นอาหารของเซลล์เช่นกัน ทำให้เซลล์มีแนวโน้มการรอดชีวิตไม่แตกต่างกับการไม่ใส่สารทดสอบ สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 101.68%-118.20% อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุเหล็ก ทำให้เรดโอ๊คมีปริมาณไนเตรตลดลง และมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้เรดโอ๊คมีการสะสมสารสำคัญบางชนิด ที่อาจช่วยกระตุ้นให้เซลล์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่

สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 79.04%-104.17% โดยสารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสีที่ความเข้มข้นสูงสุด (5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลง 20.96% เป็นไปได้ว่าเกิดจากการเสริมธาตุสังกะสีทำให้ปริมาณไนเตรต ไนโตรเจน และแมงกานีสมีแนวโน้มลดลง และปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่า สันนิษฐานว่าปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นในเรดโอ๊ค ในความเข้มข้นที่มากเกินไป อาจจำกัดการเจริญของเซลล์ สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 99.71%-109.27% อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี ทำให้มีปริมาณไนเตรตและแมงกานีสลดลง แต่ทำให้มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสีและทองแดงเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้เซลล์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่น้อยกว่าในเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก ซึ่งแตกต่างกับในกรีนโอ๊คอย่างเห็นได้ชัด สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค มีการสะสมสารพิษเคมีที่แตกต่างกัน (Haytowitz *et al.*, 2018)

สารสกัดจากบัตเตอร์เฮด ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ต่ำกว่า 99% สันนิษฐานว่าเพราะบัตเตอร์เฮด ประกอบไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์อยู่มาก เช่นเดียวกับกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค (การทดลองที่ 2.3.2) และอาจมีสารสำคัญบางประการที่ส่งผลให้เซลล์มีความแข็งแรง ทำให้เซลล์เกิดการตายน้อยมาก โดยสารสกัดจากบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 102.94%-134.75% ซึ่งเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารทดสอบ เป็นไปได้ว่าให้บัตเตอร์เฮด อาจมีสารพิษเคมีบางประการที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญของเซลล์ ซึ่งให้ผลแตกต่างกับในกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คอย่างเห็นได้ชัด มีความเป็นไปได้ว่า เพราะกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีการสะสมสารพิษเคมีที่แตกต่างกัน (Haytowitz *et al.*, 2018) สารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 108.99%-154.40% โดยเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารทดสอบ อาจเป็นเพราะการเสริมธาตุเหล็กทำให้บัตเตอร์เฮดมีไนเตรตเพิ่มขึ้น และมีปริมาณฟอสฟอรัสลดลง สัดส่วนดังกล่าวอาจส่งผลให้บัตเตอร์เฮดมีการสะสมสารสำคัญบางชนิด ที่อาจช่วยกระตุ้นให้เซลล์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และสารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 103.86%-137.66% โดยเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารทดสอบเช่นกัน สันนิษฐานว่าเป็นเพราะการเสริมธาตุสังกะสีทำให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณไนเตรต สังกะสี และแคลเซียมเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณแมงกานีสลดลง อาจส่งผลให้เซลล์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่น้อยกว่าในบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก และสารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเซลล์อยู่ในช่วง 99.63%-137.03% สันนิษฐานว่า การเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีให้บัตเตอร์เฮดมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณไนเตรต ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมงกานีสลดลง สัดส่วนดังกล่าวอาจทำให้บัตเตอร์เฮดมีการสะสมสารสำคัญบางชนิดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เซลล์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่น้อยกว่าในบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุเหล็ก ซึ่งแตกต่างกับในกรีนโอ๊คอย่างเห็นได้ชัด สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีการสะสมสารพิษเคมีที่แตกต่างกัน (Haytowitz *et al.*, 2018)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบ บทบาทของเหล็กและสังกะสี ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัด
  - 1.1. ซีวภัณฑ์ B-Veggie ทำให้กรีนโอ๊คและฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และส่งเสริมให้ผักสลัดทนต่อภาวะเหล็กสูง ได้มากกว่าผักสลัดที่ปลูกโดยไม่ใช้ซีวภัณฑ์
  - 1.2. ผักสลัดเสริมธาตุอาหารมีแนวโน้มการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับผักสลัดที่ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ
  - 1.3. ระดับเหล็กที่เหมาะสมต่อการเสริมธาตุเหล็กในผักสลัดมากที่สุดคือ 8.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผักสลัดมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น 1.10-1.27 เท่า และทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในผักสลัดมีแนวโน้มลดลง
  - 1.4. การเสริมธาตุสังกะสีที่ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผักสลัดมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 4.68-6.05 เท่า และทำให้ปริมาณไนเตรตในผักสลัดมีแนวโน้มลดลง โดยผักสลัดสามารถเจริญเติบโตได้ปกติ แต่กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮดมีสีเหลืองซีด จึงควรลดความเข้มข้นของสังกะสีที่เสริมให้ผักสลัด
  - 1.5. การเสริมสารละลายผสมธาตุเหล็กที่ 4.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุสังกะสี 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผักสลัดทุกชนิดมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้น 2.43-2.85 เท่าทำให้แนวโน้มของปริมาณเหล็กไม่ต่างจากเดิม ยกเว้นกรีนโอ๊คที่มีปริมาณเหล็กลดลง 0.86 เท่า และเรดโอ๊คที่มีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น 1.29 เท่า
  - 1.6. ผักสลัดทุกชนิด ในทุกการทดลอง และทุกกรรมวิธีทดสอบ มีปริมาณไนเตรตไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป
  - 1.7. ชนิดผักสลัดที่เหมาะสมกับการเสริมธาตุอาหาร
    - 1.7.1. ผักสลัดที่เหมาะสมกับการเสริมธาตุเหล็กคือ ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์กและเรดโอ๊ค
    - 1.7.2. ผักสลัดที่เหมาะสมกับการเสริมธาตุสังกะสีคือ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด
    - 1.7.3. ผักสลัดที่เหมาะสมกับการเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสีคือ บัตเตอร์เฮดและกรีนโอ๊ค
2. ผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และผักสลัดเสริมธาตุอาหาร ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ลดลงจนถึงระดับที่ 50% แสดงว่ามีความปลอดภัยต่อเซลล์
  - 2.1. สารสกัดจากกรีนโอ๊คเสริมธาตุสังกะสี ทำให้เซลล์ลำไส้มนุษย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



- 2.2. สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุเหล็ก ทำให้เซลล์ลำไส้มนุษย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่สารสกัดจากเรดโอ๊คเสริมธาตุสังกะสีที่ความเข้มข้นสูงสุด (5 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร) ทำให้เซลล์ลำไส้มนุษย์มีแนวโน้มลดลง แต่ไม่ถึงระดับที่ 50%
- 2.3. สารสกัดจากบัตเตอร์เฮดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ และสารสกัดจากบัตเตอร์เฮดเสริมธาตุอาหาร ทำให้เซลล์ลำไส้มนุษย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การเสริมธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี และธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี สามารถทำได้ในผักสลัดทั้ง 5 ชนิด (กรีนคอส ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยผักสลัดแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อการเสริมธาตุอาหารในรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของผักสลัด การเสริมธาตุอาหาร และปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ฤดูกาลเพาะปลูก ดังนั้น การเสริมธาตุอาหารในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ จึงควรเลือกชนิดผักสลัดที่มีการตอบสนองต่อการเสริมธาตุเหล็กหรือสังกะสีได้ดี เพื่อให้ได้มาซึ่งผักสลัดที่มีเหล็กและสังกะสีสูง มีโพแทสเซียมต่ำ มีปริมาณไนเตรตไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป เหมาะกับเกษตรกรที่ต้องการเพิ่มมูลค่าผลผลิต และผู้บริโภคที่ต้องการผักทางเลือกเพื่อสุขภาพ (functional vegetable)

### ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาต่อในเรื่องของปริมาณสารสำคัญและสารพิษตกค้างในผักสลัด เพื่อทราบข้อมูลฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากผักสลัด และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นผลของผักสลัดเสริมธาตุอาหารต่อเซลล์ชนิดอื่นหรือสัตว์ทดลอง เพราะการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ลำไส้มนุษย์เป็นการทดสอบความปลอดภัยในระดับเบื้องต้น จึงควรจะมีการทดสอบในเชิงลึกยิ่งขึ้น เพื่อพัฒนาให้เป็นผักทางเลือกเพื่อสุขภาพได้ในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- กนกพร มานันตพงศ์, ศิริรัตน์ อนุตระกูลชัย, รัฐพล ไกรกลาง, พรทิวา กัญยวงค์หา และอนงนาฏ ศรีประโชติ. 2563. การลดปริมาณโพแทสเซียมในผักที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรพอนิกส์. วารสารดินและปุ๋ย 41(2): 26-35.
- กฤติเดช อนันต์ และดุสิต อธิณูวัฒน์. 2559. ผลของการใช้ *Bacillus subtilis* สูตรผงและสูตรน้ำในการผลิตผักกาดฮ่องเต้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 24: 641-660.
- กัมปนาท เนตรภักดี. 2561. My Little Farm Vol.8: ผักสลัดปลูกง่าย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์บ้านและสวน.
- กัลยาณี จิรศรีพงศ์พันธ์. 2547. เทคนิคพื้นฐานการเพาะเลี้ยงเซลล์สัตว์. นครปฐม : ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- คงเอก ศิริงาม. 2557. ผลของโพแทสเซียมต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 9(1): 16-32.
- คงเอก ศิริงาม, ปราณีต จิระสุทัศน์ และวิภาภรณ์ แสงวงมี. 2558. ผลของวิธีการปลูกต่อการเจริญเติบโต และปริมาณรงควัตถุของผักกาดหอมใบพันธุ์กรีนโอ๊ค. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10(1): 82-95.
- คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. 2563. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.วี. โปรเกรสซีฟ.
- ไพบุลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. เคมีดิน (SOIL CHEMISTRY). เชียงใหม่ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดเชียงใหม่พิมพ์สวย.
- จิระเดช แจ่มสว่าง. 2546. การควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ชวลิต รัตนกุล. 2561. อาหารและยาที่ใช้สำหรับผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังที่ได้รับการปลูกถ่ายไต. วารสารโภชนบำบัด 26(1): 22-34.
- ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ. 2556. แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการเพาะปลูกและการเลือกรูปแบบการขนส่งของโซ่อุปทานผักกาดหอม. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน 1(2): 12-23.

- ดิเรก ทองอร่าม. 2547. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ดีการพิมพ์.
- ทวีทอง หงส์วิวัฒน์. 2545. สารานุกรมผัก. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แสงแดด.
- นพดล ชุ่มอินทร์. 2563. ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คในระบบไฮโดรโปนิกส์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 38(3): 296-303.
- นิพนธ์ ทวีชัย. 2553. โรคพืชและการจัดการด้วยวิธีชีวภาพ. ใน สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. (เล่มที่ 35, หน้า 129-159). กรุงเทพมหานคร : โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว.
- ประสาทพร สมิตะมาน. 2534. โรคพืชวิทยา. เชียงใหม่ : ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปริญญา ทวีชัยการ. 2554. มะเร็งลำไส้ใหญ่และทวารหนัก เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่งจำกัด (มหาชน) .
- พจนพร ไกรดิษฐ์, วรมย์ญลิน ทิพย์มณี และเยาวภา สุขพรมมา. 2560. เซลล์และชีววิทยาโมเลกุล : ฉบับรวบรัดพร้อมเทคนิคปฏิบัติการ . สงขลา : ภาควิชาชีวเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- พรหมมาศ คุณากาญจน์. 2548. การใช้จุลินทรีย์ในการควบคุมโรคโคนเน่ารากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* spp. ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- พรหมมาศ คุณากาญจน์. 2550. โรคและการป้องกันกำจัดโรคในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. กรุงเทพมหานคร : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พันธ์ทิพย์ จุลวรรณโณ. 2564. ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* สำหรับควบคุม *Rigidoporus microporus* เชื้อสาเหตุโรครากขาว และส่งเสริมการเจริญเติบโตของยางพารา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- พิชญ์นันท์ กังแฮ. 2553. ผลของแอมโมเนียมต่อเชื้อ *Pythium* spp. ที่แยกได้จากรากผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ที่แสดงอาการโรคเน่าในระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มานะ กาญจนมณีเสถียร อัจฉรา เฟื่องหนู ฤดีกร วิวัฒน์ปฐพี และวานิด รอดเนียม 2556. การคัดเลือกแบคทีเรียปฏิปักษ์ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียปฏิปักษ์เพื่อควบคุมโรคพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. รายงานวิจัย. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยศิลปากร.

- เมฆ จันทร์ประยูร. 2541. ผักสวนครัว. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ไททรรศน์.
- ยงยุทธ โอสธสภ. 2558. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัชนี้ คงอุยฉาย และริญ เจริญศิริ. 2554. โภชนาการกับผัก. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สารคดี.
- ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์. 2548. ผลของสารอินทรีย์สกัดและสารสกัดจากดินร่วมกับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของ ผักกาดหอมพันธุ์เรดไฮคในการปลูกพืชแบบไร้ดิน. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วานิด รอดเนียม, วิจิตร ต้นมาละ, บุญมา ดีแสง, ปฐมพงศ์ วงษ์เลี้ยง, มานะ กาญจนมณีเสถียร และ อัจฉรา เฟื่องหนู. 2552. ผลของเชื้อแบคทีเรียปฏิบั๊กซ์ *Bacillus* spp. ต่อเชื้อรา *Alternaria* spp. สาเหตุโรคใบจุดของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. วารสารโรคพืช 23: 31-40.
- วานิด รอดเนียม. 2552. การคัดเลือกและการเตรียมสูตรสำเร็จ *Bacillus subtilis* เพื่อควบคุมโรคใบจุด ที่เกิดจาก *Alternaria longipes* ในผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วิฐู ศิริรัตนอำพร และอิทธิสุนทร นันทกิจ. 2555. อิทธิพลของชนิดเหล็กคีเลต และความเข้มข้นของธาตุอาหาร ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตเยอบีร่ากระถาง (*Gebera jamesonii*) ในระบบปลูก NFT (Nutrient Film Techniques). วารสารดินและปุ๋ย ปีที่ 34: 8-16.
- วิดา กวานเทียน และกิ่งกาญจน์ บรรลือพืช. 2561. ความเป็นพิษต่อเซลล์ ฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระ ของตำรับยาห้ารากลที่สกัดด้วยน้ำ. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 37(พิเศษ): 27-38.
- วิสิฐุ จะวะสิต. 2553. การเสริมสารอาหารในอาหาร (Food Fortification). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน.
- ศรมน สุทิน, พัชรี ภคกษมา, กิตติพัฒน์ โสภิตธรรมคุณ, ปานทิพย์ รัตนศิลป์กัลชาญ และนพวัฒน์ เฟื่องคำศรี. 2563. คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งท่อน้ำดีของสารสกัดหยาบจากใบต้นจำปีและจำปา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ 5(1): 30-40.
- ศุภรัตน์ สังข์ทอง. 2564. แบคทีเรียปฏิบั๊กซ์เพื่อควบคุมโรครากขาวของยางพารา (*Hevea brasiliensis*). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ศุภลักษณ์ สิงหนุต. 2549. โรคขาดธาตุอาหารของพืช. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนส์ไตร์
- สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2558. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สุพัตรา มณีเมือง, เนตรนภา อินสลด, นิตี คำเมืองลือ, ประดิษฐ์ เทอดทูล, และพฤกษ์ สกุลช่างสังจะทัย. 2558. ผลของความเข้มข้นจากชุดหลอดแอลอีดีสำหรับการเพาะปลูก ที่มีต่อผักสลัดเรดโอ๊คในระบบโรงเรือนไฮโดรโปนิคส์. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, 8(1): 63-72.
- สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม, อาทิตยา ปัตเมฆ, อัจจิมา ไพรอนันต์ และอุ๋นเรื่อน เพชรวัลย์. 2551. การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดจากต้นจักรนารายณ์ที่มีต่อเซลล์ไลน์ชนิด L929. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: 587-593
- สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม, อินทิตรา เพชรทับทิม และเกษม สร้อยทอง. 2555. ความเป็นพิษต่อเซลล์ ของ Beauvericin และ สารสกัดหยาบที่ได้จากเชื้อราสกุล *Beauveria* sp. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7(1): 35-43.
- สุวรรณา เสมศรี, นันทิกานต์ ยงพิศาลภพ, นวพร คงด้วง, สุรีย์พร หอมวิเศษวงศา และวิชาญจันทร์ วิทยานุชิต. 2651.ฤทธิ์ของสารสกัดผักปลัง ผักแพว และผักแขยงต่อการต้านมะเร็งและการกลืนกินสิ่งแปลกปลอมของเซลล์แมคโครฟาจ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ 4(2): 40-49.
- อมรา จันทราภานนท์. 2512. สารอาหารพวกแร่ธาตุ. ใน โภชนศาสตร์ และ โภชนบำบัด. หน้า 242-258. กรุงเทพมหานคร : คณะสาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อริสรา ผาสุข, ประสิทธิ์ ชูติชูเดช และเบ็ญจวรรณ ชูติชูเดช. 2562. การเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด 5 พันธุ์ ที่ปลูกภายใต้ระบบไฮโดรโปนิคส์. *Journal of Science and Technology MSU* 38(4). 391-401.
- อัจฉรา เฟื่องหนู, มานะ กาญจนมณีเสถียร, ฤดีกร วิวัฒน์ปฐพี, ปฐมพงศ์ วงษ์เลี้ยง และวานิด รอดเนียม. 2553. การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะเพื่อควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อราเข้าทำลายบริเวณรากพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์. รายงานการวิจัย. ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- อัจฉรา เฟื่องหนู, จุฑามาศ แก้วมโน, สิริรัตน์ เกียรติปฐมชัย, กลอยใจ สำเร็จวานิชย์ และพันธ์ทิพย์ จุลวรรณโณ. 2559. การผลิตผักไฮโดรโปนิคส์ปลอดภัยโดยชีววิถี. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, บริษัทวิทยาการพิมพ์.
- อัจฉรา เฟื่องหนู, จุฑามาศ แก้วมโน, สิริรัตน์ เกียรติปฐมชัย และอุสมาน เล้าะและ. 2564. เทคโนโลยีระบบผลิตผักไฮโดรโปนิคส์คุณภาพและปลอดภัยโดยชีวภัณฑ์บี-เวจจี (*B-Veggi: Bacillus subtilis*). กรุงเทพมหานคร : สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

- อัจฉรา เฟื่องหนู. 2564. การถ่ายทอดเทคโนโลยีสำหรับการผลิตผักในระบบไฮโดรโพนิกส์โดยชีววิธีในภาคใต้. สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2565. สืบค้นจาก [http://www.thai-explore.net/search\\_detail/result/10834](http://www.thai-explore.net/search_detail/result/10834)
- อุบลวรรณ ผลทวีชัย. 2564. ผลของไนโตรเจนและแมงกานีสร่วมกับ *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ SM1 ต่อ *Rigidoporus microporus* สายพันธุ์ NK6 สาเหตุโรครากขาวของยางพารา (*Hevea brasiliensis*). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อุมาพร สุทัศน์วรวิฑู. 2535. บทบาทของสังกะสีต่อสุขภาพ. ใน สารอาหารที่นิยมใช้เพื่อเสริมสุขภาพและต้านโรค. (บรรณาธิการ. ธิดา นิงสานนท์ และอรวรรณ เรืองสมบูรณ์) หน้า 43-55. กรุงเทพมหานคร : คณะเภสัชศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- Abbaspour, N., Hurrell, R. and Kelishadi, R. 2014. Review on iron and its importance for human health. *Journal of Research in Medical Sciences* 19(2): 164-174.
- Aktuganov, G., Galimzyanova, N., Melent'ev, A. and Kuz'mina, L. 2007. Extracellular hydrolases of strain *Bacillus* sp. 739 and their involvement in the lysis of micromycete cell walls. *Microbiology* 76: 413-420.
- Alarcon-Flores, M.I., R., Vidal, J.L.M., Romero-Gonzalez, F.J.E. and Frenich A.G. 2014. Monitoring of phytochemicals in fresh and fresh-cut vegetables: a comparison. *Food Chemistry* 142: 392-399.
- AOAC, G. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. Accessed 18 January 2018. Retrieved from [http://www.eoma.aoac.org/app\\_f.pdf](http://www.eoma.aoac.org/app_f.pdf)
- Arnold, M., Sierra, M.S., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., Bray, F., 2017. Global patterns and trends in colorectal cancer incidence and mortality. *Gut* 66: 683-691.
- Aversa, R., Petrescu, R. V., Apicella, A. and Petrescu, F. I. 2016. The basic elements of life's. *American Journal of Engineering and Applied Sciences* 9(4): 1189-1197.
- Barbosa, G.L., Gadelha, F.D.A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G.M. and Halden, R.U. 2015. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(6): 6879-6891.

- Bains, K., Uppal, V., and Kaur, H. 2014. Optimization of germination time and heat treatments for enhanced availability of minerals from leguminous sprouts. *Journal of Food Science and Technology* 51(5): 1016-1020.
- Balk, J., Schaedler, T.A. 2014. Iron cofactor assembly in plants. *Annual Review of Plant Biology* 65: 125-153.
- Baslam, M., Morales, F., Garmendia, I., and Goicoechea, N. 2012. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. *Scientia Horticulturae* 151: 103-111.
- Bautista, C.V., Rahlwes, K. and Straigh, P. 2014. Bacterial competition reveals differential regulation of the pks genes by *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology* 196(4): 717-728
- Beauregard, P. B., Chai, Y., Vlamakis, H., Losick, R. and Kolter, R. 2013. *Bacillus subtilis* biofilm induction by plant polysaccharides. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(17): 1621-1630.
- Boardman, R. and McGuire, D. O. 1990. The role of zinc in forestry. I. Zinc in forest environments, ecosystems and tree nutrition. *Forest Ecology and Management* 37(1-3): 167-205.
- Boivin, D., Lamy, S., Lord-Dufour, S., Jackson, J., Beaulieu, E., Côté, M., Moghrabi, A., Barrette, S., Gingras, D. and Béliveau, R. 2009. Antiproliferative and antioxidant activities of common vegetables: A comparative study. *Food Chemistry* 112(2): 374-380.
- Bhatt, A. P., Gunasekara, D. B., Speer, J., Reed, M. I., Peña, A. N., Midkiff, B. R. and Redinbo, M. R. 2018. NSAID-induced leaky gut modeled using polarized monolayers of primary human intestinal epithelial cells. *ACS Infectious Diseases* 4(1): 46.
- Bhatt, R., Hossain, A., Sharma, P., 2020. Zinc biofortification as an innovative technology to alleviate the zinc deficiency in human health: a review. *Open Agriculture* 5: 176-187.
- Bouain, N., Kisko, M., Rouached, A., Dauzat, M., Lacombe, B., Belgaroui, N. and Rouached, H. 2014. Phosphate/zinc interaction analysis in two lettuce

- varieties reveals contrasting effects on biomass, photosynthesis, and dynamics of Pi transport. *BioMed Research International*: 1-9
- Bouis, H. E. and Welch, R. M. 2010. Biofortification, a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop Science* 50: 20-32
- Bsharat, M. M. and Ali-shtayeh, M. S. 2013. In vitro cytotoxic and cytostatic activities of plants used in traditional Arabic herbal medicine to treat cancer in Palestine. Accessed 15 May 2019. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/259466155>
- Butryee C. 2020. Vegetables and fruits consumption at least 400 g per day for health: evidence-based approach. *Journal of Nutrition Association of Thailand* 55(1): 53-65.
- Buturi, C. V., Mauro, R. P., Fogliano, V., Leonardi, C., and Giuffrida, F. 2021. Mineral biofortification of vegetables as a tool to improve human diet. *Foods* 10(2): 223.
- Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A.A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., Horst, W.J. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 9092-9102.
- Cataldo, D. A., Maroon, M., Schrader, L. E., and Yongs, V. L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant-tissue by nitration a salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 6: 71-80.
- Chawalitpong, S., Srisomsap, C., Panriansaen, R. and Cherdshewasart, W. 2012. Cytotoxic against MDA-MB-231 breast cancer cells by the rejuvenating Thai herbal plants. In 50. Kasetsart University Annual Conference, Bangkok (Thailand). 31 Jan-2 Feb 2012.
- Clemens, S., 2014. Zn and Fe biofortification: The right chemical environment for human bioavailability. *Plant Science* 225: 52-57.
- Connolly, E. L. and Guerinot, M. L. 2002. Iron stress in plants. *Genome Biology* 3(8): reviews1024.1.



- Coskun, D., Britto, D. T. and Kronzucker, H. J. 2017. The nitrogen-potassium intersection: Membranes, metabolism, and mechanism: The N-K intersection. *Plant, Cell and Environment* 40(10): 2029-2041.
- Crowe, F.L., Roddam, A.W., Key, T.J., Appleby, P.N., Overvad, K., Jakobsen, M.U., Tjønneland, A., Hansen, L., Boeing, H., Weikert, C. and Linseisen, J., 2011. Fruit and vegetable intake and mortality from ischaemic heart disease: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)-Heart study. *European Heart Journal* 32(10): 1235-1243.
- Da Cruz Ferreira, R. L., de Mello Prado, R., de Souza Junior, J. P., Gratao, P. L., Tezotto, T. and Cruz, F. J. R. 2020. Oxidative stress, nutritional disorders, and gas exchange in lettuce plants subjected to two selenium sources. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20(3): 1215-1228.
- Das, K., Dang, R., Shivananda, T. N., and Sur, P. 2005. Interaction between phosphorus and zinc on the biomass yield and yield attributes of the medicinal plant stevia (*Stevia rebaudiana*). *The Scientific World Journal* 5: 390-395.
- Das, S., Chaki, A.K., Hossain, A., 2019. Breeding and agronomic approaches for the biofortification of zinc in wheat (*Triticum aestivum* L.) to combat zinc deficiency in millions of a population: a Bangladesh perspective. *The International Journal Acta Agrobotanica* 72(2): 1-13
- De Dordodot, S., Lutts, S. and Bertin, P. 2005. Effects of ferrous iron toxicity on the growth and mineral composition of an interspecific rice. *Journal of Plant Nutrition* 28(1): 1-20.
- Di Gioia, F., Gonnella, M., Buono, V., Ayala, O., Santamaria, P. 2017. Agronomic, physiological and quality response of romaine and red oak-leaf lettuce to nitrogen input. *Italian Journal of Agronomy* 12(806): 47-58.
- Dupont, S., Mondy, Z., Williamson, G. and Price, K. 2000. Effect of variety, processing, and storage on the flavonoid glycoside and composition of lettuce and chicory. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 3957-3964.
- Edgar Pinto, Agostinho A. Almeida, Ana A. Aguiar and Isabel M.P.L.V.O. Ferreira. 2014. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis* 37: 38-43.

- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. 2010. Statement on possible public health risks for infants and young children from the presence of nitrates in leafy vegetables. *EFSA Journal* 8(12). Accessed 11 July 2019. Retrieved from <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2010.1935>
- Eldoksch, H.A., Atteia, M. F., and Abdel-Moity, S.M.H. 2001. Management of brown leaf rust, *Puccinia recondite* of wheat using natural products and biocontrol agents. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4: 550-553.
- Espejo-Herrera, N., Gràcia-Lavedan, E., Boldo, E., Aragonés, N., Pérez-Gómez, B., Pollán, M., Molina, A. J., Fernández, T., Martín, V., La Vecchia, C., Bosetti, C., Tavani, A., Polesel, J., Serraino, D., Gómez Acebo, I., Altzibar, J. M., Ardanaz, E., Burgui, R., Pisa, F. and Villanueva, C. M. 2016. Colorectal cancer risk and nitrate exposure through drinking water and diet: Risk of CRC associated with nitrate exposure. *International Journal of Cancer* 139(2): 334-346.
- Falovo, C., Roupheal, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A. and Colla, G. 2009. Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7(2): 456-462.
- Francois, L. E. and Goodin, J. R. 1972. Interaction of Temperature and Salinity on Sugar Beet Germination<sup>1</sup>. *Agronomy Journal* 64(3): 272-273.
- Frei, M., Tetteh, R. N., Razafindrazaka, A. L., Fuh, M. A., Wu, L. B. and Becker, M. 2016. Responses of rice to chronic and acute iron toxicity: genotypic differences and biofortification aspects. *Plant and Soil* 408(1): 149-161.
- Freitas, M.A., Medeiros, F.H.V., Carvalho, S.P., Guilherme, L.R.G., Teixeira, W.D., Zhang, H., Paré, P.W. 2015. Augmenting iron accumulation in cassava by the beneficial soil bacterium *Bacillus subtilis* (GBO3). *Frontiers in Plant Science* 6(596): 1-11.
- Gaikwad, D.J., 2020. Hydroponics Cultivation of Crops, in: Protected Cultivation and Smart Agriculture. New Delhi Publishers.
- Galaris, D., Barbouti, A., and Pantopoulos, K. 2019. Iron homeostasis and oxidative stress: An intimate relationship. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research* 1866(12): Accessed 25 September 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2019.118535>.

- Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P., Kumar, A., Chunduri, V. and Arora, P. 2018. Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. *Frontiers in Nutrition* 12. Accessed 25 November 2019. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>
- Giordano, M., El-Nakhel, C., Pannico, A., Kyriacou, M.C., Stazi, S.R., De Pascale, S., Rouphael, Y. 2019. Iron biofortification of red and green pigmented lettuce in closed soilless cultivation impacts crop performance and modulates mineral and bioactive composition. *Agronomy* 9(290): 1-21.
- Goswami, D., Thakker, J. N. and Dhandhukia, P. C. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food and Agriculture* 2(1). Accessed 14 February 2022. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500>
- Goto, F., Yoshihara, T., and Saiki, H. 2000. Iron accumulation and enhanced growth in transgenic lettuce plants expressing the iron-binding protein ferritin. *Theoretical and Applied Genetics* 100(5): 658-664.
- Gupta, N., Ram, H., Kumar, B. 2016. Mechanism of zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 15: 89-109.
- Gülser, F., Yavuz, H., Gökkaya, T. and Sedef, M. 2019. Effects of iron sources and doses on plant growth criteria in soybean seedlings. *Eurasian Journal of Soil Science* 8: 298-303.
- Haleema, B., Rab, A., Hussain, S. A. 2018. Effect of calcium, boron and zinc foliar application on growth and fruit production of tomato. *Sarhad Journal of Agriculture* 34(1): 19-30.
- Hashem, A., Tabassum, B., Fathi and Allah, E. 2019. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences* 26(6): 1291-1297.

- Haytowitz, D., Ahuja, J., Wu, X., Khan, M., Somanchi, M., Nickle, M., Nguyen, Q., Roseland, J., Williams, J. and Patterson, K. 2018. USDA National Nutrient Database for standard reference legacy. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Accessed 14 May 2022. Retrieved from <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-national-nutrient-database-standard-reference-legacy-release>
- Hemalatha, K., and Venkatesan, S. 2011. Impact of iron toxicity on certain enzymes and biochemical parameters of tea. *Asian Journal of Biochemistry* 6(7): 384-394
- Hernandez, R. E., Schambelan, M., Cogan, M. G., Colman, J., Morris Jr, R. C. and Sebastian, A. 1987. Dietary NaCl determines severity of potassium depletion-induced metabolic alkalosis. *Kidney International* 31(6): 1356-1367.
- Hobbs, D. A., George, T. W. and Lovegrove, J. A. 2013. The effects of dietary nitrate on blood pressure and endothelial function: A review of human intervention studies. *Nutrition Research Reviews* 26(2): 210-222.
- Iacuzzo, F., Gottardi, S., Tomasi, N., Savoia, E., Tommasi, R., Cortella, G., Terzano, R., Pinton, R., Dalla Costa, L., Cesco, S., 2011. Corn salad (*Valerianella locusta* (L.) Laterr.) growth in a water-saving floating system as affected by iron and sulfate availability: Crop growth and food quality as affected by Fe and S availability. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 344-354.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2010. Ingested nitrate and nitrite, and cyanobacterial peptide toxins. Accessed 1 May 2022. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK326544/>
- Kanjanamaneesathian, M., Wiwattanapatapee, R., Rotniam, W., Pengnoo, A., Wongpetkhiew, W., Tanmala, V. 2013. Application of a suspension concentrate formulation of *Bacillus velezensis* to control root rot of hydroponically grown vegetables. *Journal of the New Zealand Plant Protection Society* 66: 229-234.
- Kapil, V., Khambata, R. S., Robertson, A., Caulfield, M. J. and Ahluwalia, A. 2015. Dietary nitrate provides sustained blood pressure lowering in hypertensive patients. *Hypertension* 65(2): 320-327.

- Kes, P. 2001. Hyperkalemia: a potentially lethal clinical condition. *Acta Clinica Croatica* 40: 215-225.
- Khan, K. A., Yan, Z. and He, D. 2018. Impact of light intensity and nitrogen of nutrient solution on nitrate content in three lettuce cultivars prior to harvest. *Journal of Agricultural Science* 10(6): 99-109.
- Kim, M.J., Moon, Y., Tou, J.C., Mou, B., Waterland, N.L. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* 49: 19-34.
- Kitson, R. E., and Mellon, M. G. 1944. Colorimetric determination of phosphorus as molybdivanadophosphoric acid. *Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition* 16(6): 379-383.
- Kjeldahl, J. 1883. New method for the determination of nitrogen in organic substances. *Journal of Analytical Chemistry* 22: 366-383.
- Kleiber, T., Starzyk, J. and Bosiacki, M., 2013. Effect of nutrient solution, effective microorganisms (EM-A), and assimilation illumination of plants on the induction of the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic cultivation. *Acta Agrobotanica* 66(1): 27-38
- Lee, S., Trinh, C. S., Lee, W. J., Jeong, C. Y., Truong, H. A., Chung, N., Kang, C.-S. and Lee, H. 2020. *Bacillus subtilis* strain L1 promotes nitrate reductase activity in Arabidopsis and elicits enhanced growth performance in Arabidopsis, lettuce, and wheat. *Journal of Plant Research* 133(2): 231-244.
- Lei, C., and Engeseth, N. J. 2021. Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce. Accessed 30 January 2022. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111931>
- Li, R., Li, D. W., Liu, H. P., Hong, C. L., Song, M. Y., Dai, Z. X. and Weng, H. X. 2017. Enhancing iodine content and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) through biofortification. *Scientia Horticulturae* 214: 165-173.
- Li, Z., Zhao, X., Sandhu, A.K. and Gu, L. 2010. Effects of exogenous abscisic acid on yield, antioxidant capacities, and phytochemical contents of greenhouse grown lettuces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 6503-6509.

- Llorach, R., Martínez-Sánchez, A., Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I., Ferreres and F. 2008. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chemistry* 108: 1028-1038.
- Mauromicale, G., Ierna, A. and Marchese, M. 2006. Chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in field-grown potato as affected by nitrogen supply, genotype, and plant age. *Photosynthetica* 44(1): 76-82.
- Majeed, A., Minhas, W.A., Mehboob, N., Farooq, S., Hussain, M., Alam, S., Rizwan, M.S. 2020. Iron application improves yield, economic returns and grain-Fe concentration of mungbean. *PloS One* 15: e0230720. Accessed 11 July 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230720>
- Majid, M., Khan, J. N., Shah, Q. M. A., Masoodi, K. Z., Afroza, B. and Parvaze, S. 2021. Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. *longifolia*) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agricultural Water Management* 245: 106572.
- Martinez-Tomas, R., Perez-Llamas, F., Sanchez-Campillo, M., Gonzalez-Silvera, D., Cascales, A.I., Garcia-Fernandez, M., Lopez-Jimenez, J.A., Navarro, S.Z., Burgos, M.I., Lopez-Azorin, F., Wellner, A., Plaza, F.A., Bialek, L., Almingier, M. and Larque, E. 2012. Daily intake of fruit and vegetable soups processed in different ways increases human serum beta-carotene and lycopene concentrations and reduces levels of several oxidative stress markers in healthy subjects. *Food Chemistry* 134: 127-133.
- Mazewski, C., Liang, K. and de Mejia, E.G. 2018. Comparison of the effect of chemical composition of anthocyanin-rich plant extracts on colon cancer cell proliferation and their potential mechanism of action using in vitro, in silico, and biochemical assays. *Food Chemistry* 242: 378-388.
- Menzies, J.G. and Bélanger, R.R. 1996. Recent advances in cultural management of diseases of greenhouse crops. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18(2): 186-193.

- Menzies, J.G., Ehret, D.L. and Stan, S. 1996. Effect of inoculum density of *Pythium aphanidermatum* on the growth and yield of cucumber plants grown in recirculating nutrient film culture. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18: 50-54.
- Montoya, M., Vallejo, A., Recio, J., Guardia, G., and Alvarez, J. M. 2020. Zinc-nitrogen interaction effect on wheat biofortification and nutrient use efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 183(2): 169-179.
- Nichols, D. G. and Beardsell, D. V. 1981. Interactions of calcium, nitrogen and potassium with phosphorus on the symptoms of toxicity in *Grevillea* cv. *Poorinda Firebird*. *Plant and Soil* 61(3): 437-445.
- Obagwu, J. and Korsten, L. 2003. Integrated control of citrus green and blue mold using *Bacillus subtilis* in combination with sodium bicarbonate or hot water. *Postharvest Biology and Technology* 28: 187-194.
- Olaleye, O., Tabi, F., Ogunkunle, A., Singh, B. and Sahrawat, K. 2007. Effect of toxic iron concentrations on the growth of lowland rice. *Journal of Plant Nutrition* 24(3): 441-457.
- Pengnoo, A., Wiwattanapatapee, R., Chumthong, A. and Kanjanamaneesathian, M. 2006. Bacterial antagonist as seed treatment to control leaf blight disease of bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *Journal of Microbiology and Biotechnology* 22: 9-14.
- Peter J. A. 2012. Iron. In *Present Knowledge in Nutrition*. (eds. W. John Jr. Erdman, Alan M. and H. Steven Z.) . Singapore: Ho Printing Singapore Pte Ltd.: 506-520.
- Phulkerd, S., Gray, R. S., Chamrathirong, A. 2020. The influence of co-residential and non-co-residential living arrangements on sufficient fruit and vegetable consumption in the aging population in Thailand. *BMC Geriatrics* 20(1): 1-8.
- Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A. and Ferreira, I. M. 2014. Changes in macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: Influence of soil composition. *Food Chemistry* 152: 603-611.
- Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A. and Ferreira, I. M. 2015. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis* 37: 38-43.

- Pinto, S. D. S., Souza, A. E. D., Oliva, M. A. and Pereira, E. G. 2016. Oxidative damage and photosynthetic impairment in tropical rice cultivars upon exposure to excess iron. *Scientia Agricola* 73: 217-226.
- Polacco, J. C., Mazzafera, P., and Tezotto, T. 2013. Opinion-nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. *Plant Science* 199: 79-90.
- Przybysz, A., Wrochna, M., Mатеcka-Przybysz, M., Gawronska, H. and Gawronski, S. W. 2016. Vegetable sprouts enriched with iron: Effects on yield, ROS generation and antioxidative system. *Scientia Horticulturae* 203: 110-117.
- Rabelink, T. J., Koomans, H. A., Hené, R. J. and Mees, E. J. D. 1990. Early and late adjustment to potassium loading in humans. *Kidney International* 38(5): 942-947.
- Roberta R. H., Janet Y. Uriu-Adams and Carl L. K. 2012. Zinc. In *Present Knowledge in Nutrition*. (Eds. W. John Jr. Erdman, A. Ian M. and H. Steven Z.). Singapore: Ho Printing Singapore Pte Ltd.: 521-539.
- Rout, G.R., Sahoo, S. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science* 3: 1-24.
- Sago, Y., Watanabe, N. and Minami, Y. 2018. Zinc biofortification of hydroponic baby leaf lettuce grown under artificial lighting with elevated wind speed and root zone temperature. *Journal of Agricultural Meteorology* 74: 173-177
- Samreen, T., Shah, H.U., Ullah, S., Javid, M. 2017. Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown mungbeans plant (*Vigna radiata*). *Arabian Journal of Chemistry* 10: 1802-1807.
- Sarwar, S., Khaliq, A., Yousra, M. and Sultan, T. 2022. Iron biofortification potential of siderophore producing rhizobacterial strains for improving growth, yield and iron contents of groundnut. *Journal of Plant Nutrition*: 1-16.
- Shannon, O. M., Easton, C., Shepherd, A. I., Siervo, M., Bailey, S. J., and Clifford, T. 2021. Dietary nitrate and population health: a narrative review of the translational potential of existing laboratory studies. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* 13(1): 1-17.



- Shi, P., Li, B., Chen, H., Song, C., Meng, J., Xi, Z., Zhang, Z. 2017. Iron supply affects anthocyanin content and related gene expression in berries of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon. *Molecules* 22(283): 1-13.
- Skoog, F. 1940. Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. *American Journal of Botany*: 939-951.
- Snoeijsers, S. S., Pérez-García, A., Joosten, M. H. and De Wit, P. J. 2000. The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology* 106(6): 493-506.
- Snowden, R. E. D. and Wheeler, B. D. 1995. Chemical changes in selected wetland plant species with increasing Fe supply, with specific reference to root precipitates and Fe tolerance. *New Phytologist* 131(4): 503-520.
- Sodano, F., Avallone, B., Tizzano, M., Fogliano, C., Rolando, B., Gazzano, E. and Rimoli, M. G. 2021. Ketogal safety profile in human primary colonic epithelial cells and in mice. *Pharmaceuticals* 14(11). 1149. Accessed 9 February 2022. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ph14111149>
- Spann, T.M. and Schumann, A.W. 2010. Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. *Electronic Data Information Source* 2010(4). Accessed 8 May 2021. Retrieved from <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS118100.pdf>
- Sperotto, R. A., Ricachenevsky, F. K., Waldow, V. de A. and Fett, J. P. 2012. Iron biofortification in rice: It's a long way to the top. *Plant Science*, 190, 24-39.
- Stelle, I., Kalea, A.Z., Pereira, D.I.A., 2019. Iron deficiency anaemia: experiences and challenges. *Proceedings of the Nutrition Society* 78: 19-26.
- Sublett, W. L., Barickman, T. C., and Sams, C. E. 2018. The effect of environment and nutrients on hydroponic lettuce yield, quality, and phytonutrients. *Horticulturae* 4(4): 48. Accessed 10 November 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040048>
- Tahir, H. A. S., Gu, Q., Wu, H., Raza, W., Hanif, A., Wu, L., Colman, M. V. and Gao, X. 2017. Plant Growth Promotion by Volatile Organic Compounds Produced by *Bacillus subtilis* SYST2. *Frontiers in Microbiology* 8. Accessed 21 February 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00171>

- Talukder, M.R., M. Asaduzzaman, M. Ueno, M. Kawaguchi, S. Yano, T. Ban, H. Tanaka and T. Asao. 2016. Low potassium content vegetable research for chronic kidney disease patients in Japan. *Open Journal of Nephrology* 2(1): 1-8.
- Tanaka, A., Navasero, S.A. 1966. Interaction between iron and manganese in the rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition* 12: 29-33.
- Trejo-Téllez, L.I. and Gómez-Merino, F.C., 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. In. *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. Accessed 12 June 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.5772/37578>
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Mishra, S., Chauhan, D. K. and Dubey, N. K. 2015. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: Advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(7): 1-14
- Tsonev, T., Lidon, F.J.C. 2012 Zinc in plants - an overview 12. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24: 322-333.
- Turati F., Rossi M., Pelucchi C., Levi F. and La Vecchia C. 2015. Fruit and vegetables and cancer risk: A review of southern European studies. *The British Journal of Nutrition* 113: 102-110
- Wagner, D. A., Schultz, D. S., Deen, W. M., Young, V. R. and Tannenbaum, S. R. 1983. Metabolic fate of an oral dose of <sup>15</sup>N-labeled nitrate in humans: effect of diet supplementation with ascorbic acid. *Cancer Research* 43(4): 1921-1925.
- Walker R. 1990 Nitrates and N-nitroso compounds: A review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications, *Food Additives and Contaminants* 7: 717-768.
- Walters, D.R. and Bingham, I.J. 2007. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology* 151(3): 307-324.
- Wang, K.M., J.G. Wu, G. Li, D.P. Zhang, Z.W. Yang and C.H. Shi. 2011. Distribution of phytic acid and mineral elements in three Indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal of Cereal Science* 54: 116-121.
- Weitzberg, E. and Lundberg, J.O., 2013. Novel aspects of dietary nitrate and human health. *Annual Review of Nutrition* 33: 129-159.

- White, P.J. and Broadley, M.R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182: 49-84.
- Wiesner-Reinhold, M., Schreiner, M., Baldermann, S., Schwarz, D., Hanschen, F. S., Kipp, A. P. and McKenzie, M. J. 2017. Mechanisms of selenium enrichment and measurement in brassicaceous vegetables, and their application to human health. *Frontiers in Plant Science* 8: 1365. Accessed 7 June 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01365>
- Wiklander, L. 1964. Cation and anion exchange phenomena. *Chemistry of The Soil*: 163-205
- Wintermans, J.F.G.M. and DeMots A. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll a and b and their pheophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta* 109: 448-453.
- Winter, J. W., Paterson, S., Scobie, G., Wirz, A., Preston, T. and McColl, K. E. L. 2007. N-nitrosamine generation from ingested nitrate via nitric oxide in subjects with and without gastroesophageal reflux. *Gastroenterology* 133(1): 164-174.
- Xing, W., Huang, W. and Liu, G. 2010. Effect of excess iron and copper on physiology of aquatic plant *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid. *Environmental Toxicology: An International Journal* 25(2): 103-112.
- Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S. and Jiang, Y. 2020. Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiers in Plant Science* 11. Accessed 21 June 2021. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904>
- Xue, Y.-F., Zhang, W., Liu, D.-Y., Xia, H.-Y. and Zou, C.-Q. 2016. Nutritional composition of iron, zinc, calcium, and phosphorus in wheat grain milling fractions as affected by fertilizer nitrogen supply. *Cereal Chemistry Journal* 93(6): 543-549.
- Yen, G. and Wu, J. 1999. Antioxidant and radical scavenging properties of extract from *Ganoderma tsugae*. *Food Chemistry* 65: 375-379.

- Ylivainio, K., Jaakkola, A. and Aksela, R. 2004. Effects of Fe compounds on nutrient uptake by plants grown in sand media with different pH. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(5), 602-608.
- Yousaf, M., Bashir, S., Raza, H., Shah, A.N., Iqbal, J., Arif, M., Bukhari, M.A., Muhammad, S., Hashim, S., Alkahtani, J., Alwahibi, M.S., Hu, C. 2021. Role of nitrogen and magnesium for growth, yield and nutritional quality of radish. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28: 3021-3030.
- Zahra, N., Hafeez, M. B., Shaukat, K., Wahid, A. and Hasanuzzaman, M. 2021. Fe toxicity in plants: Impacts and remediation. *Physiologia Plantarum*, ppl.13361.
- Zink, F. and Yamaguchi, M. 1963. Head lettuce growth and nutrient absorption studies indicate need for re-evaluation of fertilizer practices. *California Agriculture* 17(6): 13-14.
- Zhang, G., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S. and Maruo, T. 2017. Plant growth and photosynthesis response to low potassium conditions in three lettuce (*Lactuca sativa*) types. *The Horticulture Journal*. Accessed 24 July 2019. Retrieved from <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-008>
- Zhang, H., Kim, M.S., Krishnamachari, V., Payton, P., Sun, Y., Grimson, M., Farag, M.A., Ryu, C.M., Allen, R., Melo, I.S. and Paré, P.W., 2007. Rhizobacterial volatile emissions regulate auxin homeostasis and cell expansion in *Arabidopsis*. *Planta* 226(4): 839-851.
- Zhou, W., Liang, X., Dai, P., Chen, Y., Zhang, Y., Zhang, M., Lu, L., Jin, C. and Lin, X. 2019. Alteration of phenolic composition in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by reducing nitrogen supply enhances its anti-proliferative effects on colorectal cancer cells. *International Journal of Molecular Sciences* 20(17). 4205. Accessed 10 February 2022. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ijms20174205>

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

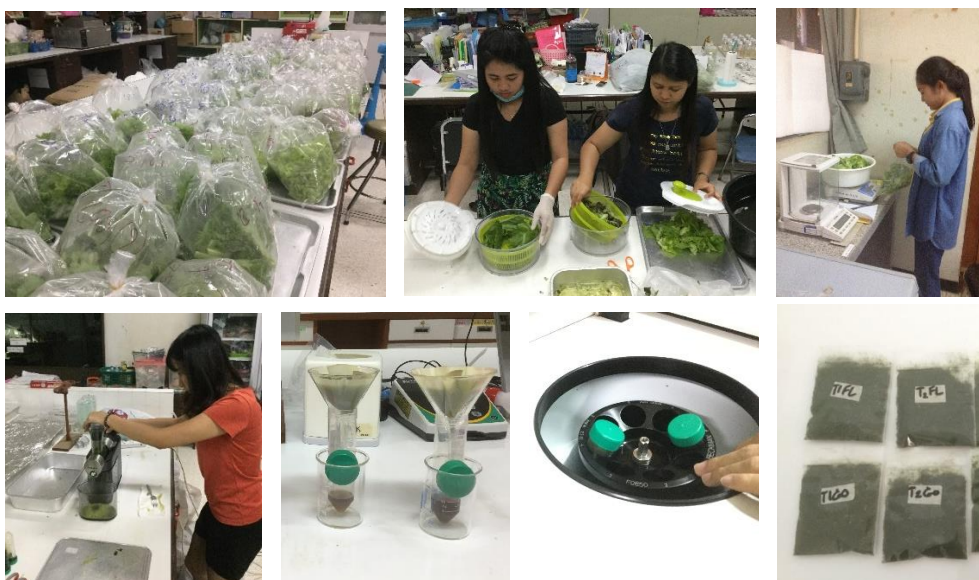
## การเตรียมตัวอย่างพืช

## 1. การเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร



ภาพผนวกที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร

## 2. การเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อทดสอบความมีชีวิตรอดของเซลล์



ภาพผนวกที่ 2 ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อทดสอบความมีชีวิตรอดของเซลล์


## ภาคผนวก ข

## การทดสอบความมีชีวิตรอดของเซลล์ด้วยวิธี MTT Assay

## 1. การทดสอบความมีชีวิตรอดของเซลล์ด้วยวิธี MTT Assay

## 1.1. การเตรียมเซลล์

## 1.1.1. เซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ



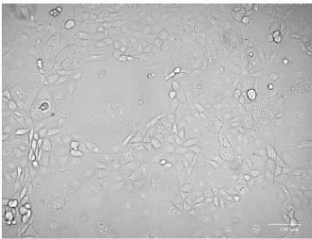
Certificate of Analysis

**Product Description**

Product Name	Human Primary Colon Cells
Cat Number	T4056
Lot Number	VC8154
Source Organism	<i>Homo sapiens</i>
Donor information	Male, 70 years old
Source Organ	Colon Section
Cell Passage Number	2
Viability	>70%
Freezing Medium	Cryopreservation Medium (TM024)
Date of Cryopreservation	September 28, 2016
QC Evaluation Medium	Prigrow III (TM003)

**Test for Microbial Contaminants**

	Test Method	Results
Bacteria	Direct Culture	Not detected
Fungi	Direct Culture	Not detected

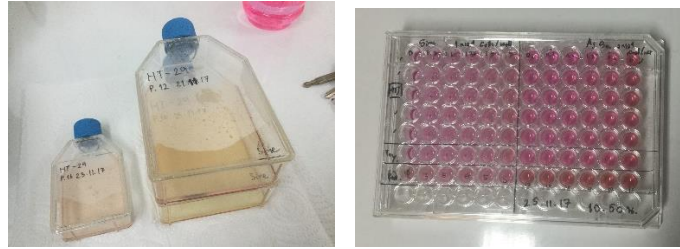


This product is for research use only and is not intended for therapeutic or diagnostic applications. Please contact a technical service representative for more information.

#1-3671 Viking Way  
 Richmond BC, Canada V6V 2J5  
 Tel: 604-247-2416  
 Fax: 604-247-2414  
 www.abmGood.com

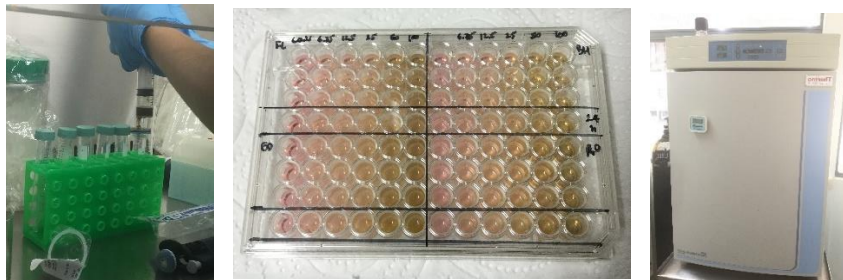
ภาพผนวกที่ 3 ใบรับรองของเซลล์ลำไส้มนุษย์ (primary colon cells) ที่ใช้ในการทดสอบ

### 1.1.2. ภาพขณะเลี้ยงเซลล์และเตรียมเซลล์ทดสอบ



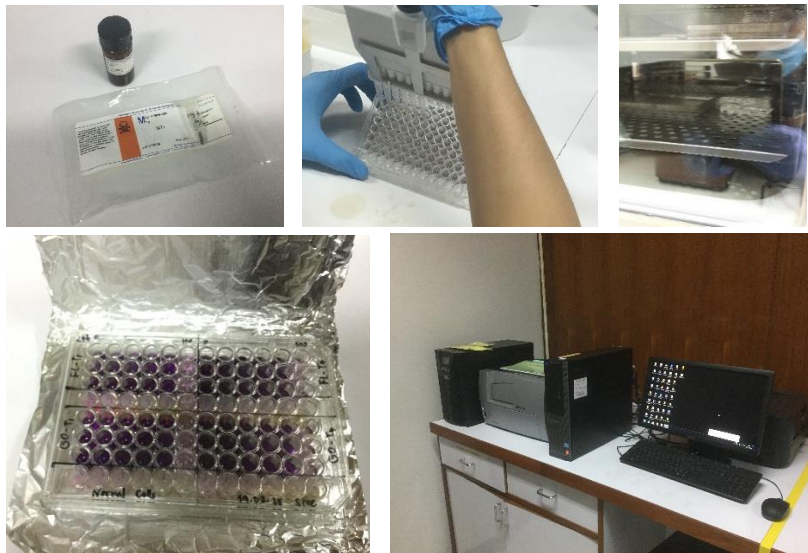
ภาพผนวกที่ 4 ภาพสำหรับเลี้ยงเซลล์และจานเพาะเลี้ยงแบบ 96 หลุม

### 1.2. การทดสอบสาร



ภาพผนวกที่ 5 ขั้นตอนการทดสอบสารกับเซลล์ลำไส้มนุษย์

### 1.3. การตรวจจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต



ภาพผนวกที่ 6 ขั้นตอนการตรวจจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต



## ภาคผนวก ค

### ตารางภาคผนวกที่ 1 โภชนาการของผักสลัด

Nutrient and phytochemical content per 100 g	Lettuce species				
	leaf		romain	butterhead	crisphead
	green	red			
Water (g)	95.0	95.6	94.6	95.6	95.6
Energy (kcal)	15.0	13.0	17.0	13.0	14.0
Protein (g)	1.4	1.3	1.2	1.4	0.9
Total lipid (fat) (g)	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1
Carbohydrate (g)	2.9	2.3	3.3	2.2	3.0
Total fiber (g)	1.3	0.9	2.1	1.1	1.2
Total sugars (g)	0.8	0.5	1.2	0.9	2.0
Sucrose (g)	-	-	-	-	0.1
Glucose (g)	0.4	0.2	0.4	0.4	0.9
Fructose (g)	0.4	0.3	0.8	0.5	1.0
Calcium, Ca (mg)	36.0	33.0	33.0	35.0	18.0
Iron, Fe (mg)	0.9	1.2	1.0	1.2	0.4
Magnesium, Mg (mg)	13.0	12.0	14.0	13.0	7.0
Phosphorus, P (mg)	29.0	28.0	30.0	33.0	20.0
Potassium, K (mg)	194.0	187.0	247.0	238.0	141.0
Sodium, Na (mg)	28.0	25.0	8.0	5.0	10.0
Zinc, Zn (mg)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Copper, Cu (µg)	29.0	28.0	48.0	16.0	25.0
Manganese, Mn (mg)	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
Selenium, Se (µg)	0.6	1.5	0.4	0.6	0.1
Vitamin C (mg)	9.2	3.7	4.0	3.7	2.8
Thiamin (mg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Riboflavin (mg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Niacin (mg)	0.4	0.3	0.3	0.4	0.1
Pantothenic acid (mg)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
Vitamin B-6 (mg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Total folate (µg)	38.0	36.0	136.0	73.0	29.0
Total choline (mg)	13.6	11.8	9.9	8.4	6.7
Betaine (mg)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1

Vitamin A (µg)	370.0	375.0	436.0	166.0	25.0
beta-Carotene (µg)	4,440.0	4,500.0	5,230.0	1,990.0	299.0
alpha-Carotene (µg)	-	-	-	-	4.0
Lutein + zeaxanthin (µg)	1,730.0	1,720.0	2,310.0	1,220.0	277.0
Vitamin E (alpha-tocopherol) (mg)	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
gamma-Tocopherol (mg)	0.4	0.2	0.4	0.3	0.1
Vitamin K (phylloquinone) (µg)	126.0	140.0	102.0	102.0	24.1
Total polyunsaturated fatty acids (g)	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Threonine (g)	0.1	-	-	-	-
Isoleucine (g)	0.1	-	-	-	-
Leucine (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	-
Lysine (g)	0.1	-	0.1	0.1	-
Phenylalanine (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	-
Valine (g)	0.1	-	0.1	0.1	-
Arginine (g)	0.1	-	0.1	0.1	-
Alanine (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	-
Aspartic acid (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Glutamic acid (g)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Glycine (g)	0.1	-	-	-	-
Serine (g)	-	-	0.1	-	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก Haytowitz *et al.*, 2018

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563  
 ตารางภาคผนวกที่ 2.1 ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมอ้างอิง  
 ที่ควรได้รับต่อวัน

กลุ่มวัย	อายุ	ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัมต่อวัน)			
		ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	โพแทสเซียม (Potassium)	แคลเซียม (Calcium)	แมกนีเซียม (Magnesium)
ทารก	0-5 เดือน	น้ำนมแม่ (100)	น้ำนมแม่	210.0	น้ำนมแม่ (30)
	6-11 เดือน	275.0	925-1,550	260.0	60.0
เด็ก	1-3 ปี	460.0	1,175-1,951	500.0	60.0
	4-8 ปี	500.0	1,525-2,725	800.0	80-120
ชาย	9-18 ปี	1,000.0	1,975-4,500	1,000.0	170-290
	19-50 ปี	700.0	2,450-4,200	800.0	310-320
	51-70 ปี	700.0	2,450-4,100	1,000.0	300.0
	≥ 71 ปี	700.0	2,050-3,400	1,000.0	280.0
หญิง	9-18 ปี	1,000.0	1,875-3,600	1,000.0	170-250
	19-50 ปี	700.0	2,050-3,400	800.0	250-260
	51-70 ปี	700.0	2,050-3,400	1,000.0	260.0
	≥ 71 ปี	700.0	1,875-3,025	1,000.0	240.0
หญิง ตั้งครรภ์	ไตรมาสที่ 1	plus 0	plus 0	plus 0	plus 30
	ไตรมาสที่ 2	plus 0	plus 350-575	plus 0	plus 30
	ไตรมาสที่ 3	plus 0	plus 350-575	plus 0	plus 30
หญิงให้ นมบุตร	0-5 เดือน	plus 0	plus 575-975	plus 0	plus 0
	6-11 เดือน	plus 0	plus 575-975	plus 0	plus 0

ที่มา : คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับ  
 คนไทย สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

ตารางภาคผนวกที่ 2.2 ปริมาณเหล็ก สังกะสี และแมงกานีสอ้างอิงที่ควรได้รับต่อวัน

กลุ่มวัย	อายุ	ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัมต่อวัน)			
		เหล็ก (Iron)	สังกะสี (Zinc)	แมงกานีส (Manganese)	ทองแดง (Copper)
ทารก	0-5 เดือน	น้ำหนักแม่	น้ำหนักแม่	น้ำหนักแม่	น้ำหนักแม่
	6-11 เดือน	9.0	2.7	0.4	0.4
เด็ก	1-3 ปี	5.0	4.4	0.6	0.7
	4-8 ปี	6.0-6.6	5.3-6.3	0.8-1.1	1.0
ชาย	9-18 ปี	11.0-15.0	9.5-12.9	1.6-2.5	1.0-1.3
	19-50 ปี	11.5	10.9-11.6	2.5	1.6
	51-70 ปี	11.5	10.9	2.5	1.6
	≥ 71 ปี	11.0	10.3	2.5	1.6
หญิง	9-18 ปี	12.5-16.0	9.0-9.8	1.6-2.5	1.0-1.1
	19-50 ปี	20.0	9.2-9.7	2.5	1.3
	51-70 ปี	10.0	8.6-9.2	2.5	1.3
	≥ 71 ปี	10.0	8.6	2.5	1.3
หญิงตั้งครรภ์	ไตรมาสที่ 1	-	plus 1.6	plus 0	1.5
	ไตรมาสที่ 2	-	plus 1.6	plus 0	1.5
	ไตรมาสที่ 3	-	plus 1.6	plus 0	1.5
หญิงให้นมบุตร	0-5 เดือน	13.0	plus 2.9	plus 0	1.5
	6-11 เดือน	-	plus 2.9	plus 0	1.5

ที่มา : คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข



เฉลี่ย	1.4	28.3	21.4	24.7	86.7	55.9	73.1	3.0	913.3
--------	-----	------	------	------	------	------	------	-----	-------

หมายเหตุ: ภูมิอากาศในแปลงทดสอบของการทดลองที่ 2.1 (กุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ.2560),  
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาทำการตรวจ 8 เวลา

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา (คอหงส์) 838 ถ.เพชรเกษม ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา

### ตารางภาคผนวกที่ 3.2 ภูมิอากาศประจำเดือน มีนาคม พ.ศ. 2560

วันที่	ปริมาณ ฝน (มม.)	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น(%)			ความเร็วลม เฉลี่ย(Knot)	ความกด อากาศ (hpa)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	3.8	31.5	24.9	27.8	96.0	69.0	82.2	8.1	1,010.1
2	0.6	30.6	24.6	27.4	93.0	71.0	83.6	6.6	1,009.8
3	1.6	31.0	25.0	27.7	97.0	63.0	79.5	4.4	1,008.7
4	-	31.5	24.5	27.7	98.0	57.0	77.9	3.5	1,008.4
5	-	31.9	24.1	27.5	98.0	51.0	80.8	1.6	1,008.9
6	-	32.2	23.1	27.1	98.0	48.0	79.7	3.1	1,008.8
7	-	33.5	22.3	27.4	98.0	46.0	77.8	3.5	1,009.1
8	-	31.8	22.5	27.2	90.0	58.0	82.9	4.6	1,009.4
9	-	31.7	24.0	27.8	96.0	44.0	76.4	3.4	1,009.1
10	-	32.2	24.3	28.0	97.0	56.0	75.4	4.4	1,009.2
11	-	32.7	23.3	27.6	98.0	47.0	76.2	1.8	1,010.0
12	-	33.2	21.5	26.8	97.0	52.0	75.9	1.6	1,010.6
13	-	33.9	21.9	28.0	98.0	54.0	77.0	1.6	1,010.2
14	-	36.5	22.5	28.6	98.0	38.0	73.3	2.1	1,009.8
15	-	35.6	22.8	28.9	98.0	43.0	72.5	0.5	1,008.9
16	-	34.0	24.0	28.7	96.0	32.0	75.8	1.3	1,008.8
17	-	33.9	23.5	28.3	98.0	36.0	76.1	1.8	1,009.2
18	-	33.6	23.8	28.4	97.0	38.0	75.4	3.3	1,010.3
19	-	34.1	23.5	28.0	96.0	50.0	81.2	1.6	1,011.2
20	47.6	33.6	22.5	26.5	98.0	40.0	85.1	0.4	1,011.2
21	9.0	34.1	22.6	26.8	98.0	53.0	84.4	0.8	1,010.3
22	-	33.0	22.8	27.9	96.0	55.0	83.7	3.9	1,008.7
23	-	34.6	24.4	28.9	95.0	60.0	79.1	2.8	1,008.8
24	-	33.6	25.0	29.3	97.0	50.0	75.0	1.4	1,009.9
25	-	33.2	24.2	29.1	94.0	52.0	76.5	5.1	1,010.0

26	-	33.3	25.0	28.9	98.0	55.0	81.0	2.9	1,010.0
27	-	33.3	25.5	28.9	97.0	60.0	77.4	2.8	1,010.2
28	9.0	28.5	24.5	26.5	97.0	80.0	89.4	-	1,011.4
29	71.2	32.9	23.2	25.6	98.0	50.0	92.9	1.4	1,011.6
30	-	32.3	23.0	27.0	97.0	68.0	88.5	1.5	1,011.8
31	2.2	33.4	24.2	27.4	98.0	71.0	85.1	0.9	1,011.3
รวม	145.0	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	4.7	32.9	23.6	27.8	96.8	53.1	79.9	2.7	1,009.9

หมายเหตุ: ภูมิอากาศในแปลงทดสอบของการทดลองที่ 2.1 (กุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ.2560),

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาทำการตรวจ 8 เวลา

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา (คอหงส์) 838 ถ.เพชรเกษม ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา

### ตารางภาคผนวกที่ 3.3 ภูมิอากาศประจำเดือน มกราคม พ.ศ. 2561

วันที่	ปริมาณ ฝน (มม.)	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น(%)			ความเร็ว ลมเฉลี่ย (Knot)	ความกด อากาศ (hpa)	น้ำ ระเหย (มม.)	Sunshine (hrs.)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย				
1	1.4	28.9	24.0	27.0	90.0	64.0	76.5	4.4	1,008.8	3.2	0.4
2	0.4	29.6	24.4	26.8	90.0	61.0	76.0	3.3	1,008.4	2.7	3.6
3	0.6	30.1	24.6	27.1	91.0	62.0	75.2	3.3	1,008.4	3.4	2.2
4	0.6	29.8	23.1	27.1	97.0	66.0	80.0	-	1,008.2	2.2	1.9
5	-	31.4	22.3	27.1	96.0	61.0	81.6	-	1,008.1	2.3	0.9
6	-	31.7	23.7	27.9	97.0	61.0	79.5	-	1,007.7	3.4	8.7
7	5.8	30.2	22.5	26.7	98.0	69.0	85.7	0.9	1,008.9	2.1	1.1
8	4.6	30.2	23.2	26.5	99.0	70.0	86.1	1.6	1,009.7	7.1	2.2
9	-	31.8	23.7	27.3	98.0	59.0	81.7	1.0	1,011.0	3.5	10.3
10	11.6	31.3	22.3	27.1	99.0	60.0	81.9	2.5	1,012.1	7.1	10.6
11	52.4	26.4	22.8	24.0	99.0	90.0	95.5	1.1	1,012.3	2.8	-
12	16.4	30.0	22.2	25.0	99.0	66.0	87.0	2.4	1,012.0	4.3	3.1
13	73.0	27.0	21.8	23.9	98.0	81.0	93.1	0.4	1,012.1	-	-
14	3.2	25.2	20.2	22.9	99.0	78.0	93.3	0.5	1,012.0	0.2	-
15	-	28.4	21.7	24.8	99.0	68.0	88.7	0.5	1,010.3	2.0	0.4
16	-	30.5	20.5	26.3	97.0	59.0	80.7	3.8	1,009.3	4.4	7.5
17	-	31.4	22.6	26.9	94.0	55.0	78.2	3.1	1,008.7	4.6	7.0
18	-	31.2	23.0	27.4	92.0	58.0	79.4	2.0	1,008.6	3.8	10.4
19	0.6	29.8	22.9	27.1	98.0	64.0	79.4	3.6	1,009.1	3.0	2.4
20	42.4	26.9	23.5	24.9	99.0	84.0	92.0	2.1	1,008.6	7.3	-
21	-	30.1	23.7	27.3	97.0	66.0	79.9	3.1	1,008.0	2.9	4.9
22	0.4	31.7	22.5	27.4	97.0	56.0	80.5	1.8	1,007.8	4.3	6.2

23	-	30.8	23.6	26.8	97.0	62.0	83.2	1.8	1,008.0	2.6	2.2
24	2.4	31.4	23.8	27.3	95.0	64.0	82.2	1.3	1,008.2	1.0	3.0
25	-	31.0	22.2	27.3	92.0	61.0	80.5	2.9	1,006.9	9.0	6.9
26	-	31.2	24.2	27.6	95.0	60.0	78.2	1.9	1,007.6	2.4	7.0
27	-	30.9	24.7	27.6	96.0	64.0	79.7	1.3	1,007.9	5.0	6.2
28	-	31.8	21.5	27.8	98.0	55.0	78.3	3.0	1,008.5	2.2	9.7
29	-	32.0	23.3	27.5	98.0	55.0	80.7	2.4	1,009.9	1.3	7.7
30	-	32.0	23.8	27.9	98.0	57.0	80.1	0.5	1,009.6	4.3	9.8
31	-	31.5	23.2	28.0	91.0	56.0	77.0	2.9	1,010.2	5.2	10.8
รวม	215.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	7.0	30.2	23.0	26.7	96.2	64.3	82.3	1.9	1,009.3	3.5	4.7

หมายเหตุ: ภูมิอากาศในแปลงทดสอบของการทดลองที่ 2.2 (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ.2561),

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาทำการตรวจ 8 เวลา

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา (คอหงส์) 838 ถ.เพชรเกษม ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา

### ตารางภาคผนวกที่ 3.4 ภูมิอากาศประจำเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

วันที่	ปริมาณ ฝน (มม.)	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น(%)			ความเร็ว ลมเฉลี่ย (Knot)	ความกด อากาศ (hpa)	น้ำ ระเหย (มม.)	Sunshine (hrs.)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย				
1	-	31.5	24.2	28.1	92.0	54.0	82.0	3.9	1,010.8	4.5	10.8
2	-	31.2	23.5	27.6	86.0	63.0	78.2	5.4	1,011.1	5.2	10.5
3	-	31.0	25.3	27.4	87.0	98.0	75.1	7.3	1,011.8	5.3	10.3
4	-	30.6	24.5	27.1	81.0	55.0	74.1	4.8	1,012.1	5.1	11.2
5	-	30.7	24.3	27.1	83.0	51.0	27.1	3.6	1,013.5	5.5	10.1
6	-	29.8	23.0	26.5	82.0	51.0	74.2	6.0	1,013.4	5.0	10.8
7	-	31.1	23.9	27.0	95.0	36.0	70.2	2.6	1,011.9	4.3	10.8
8	-	30.7	19.9	26.3	89.0	45.0	71.7	2.5	1,011.3	5.2	10.1
9	-	30.7	22.5	26.6	90.0	48.0	70.3	10.8	1,011.1	5.1	10.5
10	-	31.0	3.0	26.5	99.0	46.0	75.1	2.1	1,012.2	4.1	10.8
11	-	30.8	19.0	26.1	98.0	53.0	74.8	1.4	1,012.6	4.6	9.8
12	-	31.1	22.5	27.1	98.0	53.0	71.5	3.6	1,013.9	5.0	9.5
13	-	30.9	24.3	26.8	83.0	55.0	74.8	2.4	1,014.2	3.9	6.8
14	-	31.7	24.9	27.8	82.0	53.0	69.9	2.1	1,014.6	3.5	6.1
15	-	32.9	21.0	27.6	97.0	48.0	72.9	3.5	1,013.4	5.1	10.2
16	-	33.7	22.5	27.4	97.0	51.0	76.1	3.3	1,011.7	4.9	10.3
17	-	33.5	22.6	27.8	98.0	35.0	74.2	1.0	1,009.8	4.8	10.3
18	-	32.3	23.0	27.6	97.0	48.0	73.1	3.0	1,009.7	5.0	10.4
19	1.4	32.7	22.2	27.2	97.0	41.0	78.4	3.0	1,009.7	5.1	9.1



20	-	31.5	22.3	27.8	98.0	54.0	73.0	5.5	1,009.0	4.6	9.5
21	-	32.7	23.2	28.1	92.0	53.0	74.5	4.8	1,008.0	5.9	9.9
22	-	32.5	25.0	27.9	90.0	52.0	75.2	5.3	1,008.5	5.3	9.2
23	26.4	31.2	25.0	27.4	87.0	54.0	78.7	2.9	1,009.9	5.8	1.6
24	-	30.5	22.3	26.6	97.0	62.0	80.6	5.3	1,011.2	3.6	5.7
25	0.8	32.0	25.5	27.9	88.0	65.0	74.5	3.3	1,010.7	3.3	9.4
26	-	32.2	25.0	27.8	90.0	46.0	72.3	2.5	1,009.9	6.5	9.9
27	-	31.8	23.5	27.7	91.0	55.0	75.8	6.0	1,009.7	4.4	8.8
28	-	32.7	24.2	28.1	98.0	50.0	74.2	3.5	1,009.5	5.9	10.4
รวม	28.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	0.9	28.5	20.4	24.7	82.6	47.6	65.9	3.6	913.4	4.4	8.5

หมายเหตุ: ภูมิอากาศในแปลงทดสอบของการทดลองที่ 2.2 (มกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ.2561),

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาทำการตรวจ 8 เวลา

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา (คอหงส์) 838 ถ.เพชรเกษม ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา

### ตารางภาคผนวกที่ 3.5 ภูมิอากาศประจำเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2562

วันที่	ปริมาณ ฝน (มม.)	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น(%)			ความเร็ว ลมเฉลี่ย (Knot)	ความกด อากาศ (hpa)	น้ำ ระเหย (มม.)	Sunshine (hrs.)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย				
1	21.6	33.2	25.1	27.9	99.0	62.0	87.1	1.1	1,007.8	4.8	3.6
2	-	34.6	24.9	28.6	96.0	54.0	81.2	1.4	1,008.1	3.8	7.7
3	-	35.4	22.8	28.4	97.0	51.0	81.7	1.3	1,008.2	4.0	6.1
4	-	34.4	24.1	28.6	96.0	56.0	79.4	1.5	1,007.6	5.2	6.7
5	7.4	32.4	24.8	28.5	99.0	60.0	82.1	0.9	1,007.4	3.1	2.7
6	16.4	32.3	23.5	26.8	98.0	61.0	88.8	0.8	1,008.7	4.3	0.8
7	-	32.2	23.9	27.6	97.0	60.0	82.4	2.4	1,009.4	4.0	2.0
8	0.6	33.6	24.5	28.4	95.0	55.0	80.9	1.5	1,009.1	3.1	5.9
9	0.4	33.7	23.0	28.3	99.0	56.0	82.7	0.6	1,008.8	2.2	3.5
10	0.4	35.0	23.0	29.7	97.0	51.0	74.9	0.9	1,007.4	5.1	6.8
11	-	35.0	24.6	29.5	97.0	54.0	78.6	2.0	1,008.5	3.2	4.9
12	-	34.5	25.4	30.0	96.0	60.0	76.6	2.1	1,008.9	5.2	5.5
13	-	35.2	26.0	30.1	96.0	52.0	75.7	2.4	1,008.6	5.6	9.7
14	-	35.6	25.5	30.5	95.0	49.0	73.4	1.8	1,008.0	5.6	9.4
15	-	34.0	24.0	29.3	98.0	52.0	73.6	2.0	1,009.3	4.7	3.5
16	T	35.4	25.4	28.8	97.0	49.0	80.1	1.8	1,008.6	2.9	6.2
17	-	34.2	24.8	29.1	94.0	52.0	79.8	0.8	1,008.9	2.8	0.7
18	15.4	32.7	23.3	26.2	99.0	59.0	90.8	0.6	1,009.1	1.6	2.5
19	9.2	33.1	22.4	27.0	99.0	57.0	84.8	0.9	1,008.3	3.9	0.8

20	-	34.7	23.7	28.9	96.0	48.0	77.0		1,008.2	3.7	6.5
21	-	34.8	22.8	30.1	89.0	44.0	68.9	3.8	1,008.1	5.6	6.4
22	-	34.3	25.8	28.8	90.0	47.0	76.0	2.5	1,006.8	4.1	3.1
23	0.4	30.2	25.2	27.5	94.0	66.0	81.0	1.4	1,007.0	2.2	1.0
24	-	34.6	22.5	29.5	98.0	51.0	73.9	1.9	1,007.9	4.5	9.5
25	4.0	34.3	25.0	28.1	97.0	52.0	82.4	1.5	1,009.1	3.9	5.0
26	-	32.9	24.8	28.5	94.0	57.0	78.6	2.3	1,009.6	3.5	1.5
27	1.8	34.1	24.4	27.7	99.0	83.0	78.1		1,008.6	2.6	3.0
28	-	34.8	22.3	29.2	98.0	44.0	74.2	1.4	1,008.0	4.9	5.4
29	-	35.3	23.9	29.5	96.0	47.0	72.8	0.5	1,007.6	5.0	7.8
30	-	36.3	23.0	30.1	96.0	37.0	69.1	0.6	1,008.1	5.6	5.8
รวม	77.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	2.5	33.0	23.4	27.8	93.3	52.5	76.3	1.4	975.8	3.9	4.6

หมายเหตุ: ภูมิอากาศในแปลงทดสอบของการทดลองที่ 2.3 (มิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ.2562),

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาทำการตรวจ 8 เวลา

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา (คอหงส์) 838 ถ.เพชรเกษม ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา

### ตารางภาคผนวกที่ 3.6 ภูมิอากาศประจำเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562

วันที่	ปริมาณ ฝน (มม.)	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น(%)			ความเร็ว ลมเฉลี่ย (Knot)	ความกด อากาศ (hpa)	น้ำ ระเหย (มม.)	Sunshine (hrs.)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย				
1	-	35.2	24.6	29.5	97.0	47.0	73.4	1.5	1,008.2	5.5	4.8
2	-	34.5	24.3	29.3	96.0	51.0	76.1	1.8	1,008.1	3.5	5.5
3	1.6	34.0	23.0	28.8	97.0	48.0	76.6	1.1	1,008.6	3.3	0.1
4	-	34.8	24.7	29.0	95.0	50.0	76.3	1.5	1,008.8	5.5	5.1
5	-	33.2	24.6	28.6	97.0	54.0	77.3	0.9	1,008.1	2.5	1.8
6	37.4	35.3	24.5	28.0	99.0	44.0	83.2	1.1	1,008.4	น้ำล้น	6.7
7	-	35.2	22.5	29.2	99.0	48.0	76.6	-	1,008.9	5.4	8.0
8	5.8	35.0	25.8	29.0	97.0	43.0	77.0	1.3	1,009.7	4.8	7.0
9	-	34.5	23.7	29.0	97.0	50.0	75.9	1.9	1,010.3	5.7	9.4
10	5.4	34.6	29.3	27.5	98.0	48.0	82.7	0.5	1,009.4	4.3	6.0
11	-	34.3	24.5	28.4	98.0	48.0	80.4	0.6	1,010.5	3.6	6.2
12	22.8	32.7	23.0	26.3	99.0	62.0	88.3	0.9	1,011.0	3.6	3.1
13	-	34.8	22.8	27.8	99.0	77.0	78.9	1.5	1,010.0	4.0	7.5
14	1.4	35.0	21.0	27.5	98.0	45.0	80.1	1.6	1,009.2	4.1	6.8
15	-	34.2	23.5	28.7	98.0	46.0	76.6	2.0	1,008.7	5.2	9.3
16	0.6	32.5	24.2	27.6	96.0	57.0	81.2	2.4	1,007.9	4.4	4.9
17	-	33.4	23.7	28.3	89.0	54.0	76.9	1.6	1,007.0	4.8	4.9

18	1.6	34.5	24.3	28.4	98.0	51.0	74.6	1.6	1,006.2	2.5	6.6
19	-	32.5	22.1	28.4	96.0	59.0	80.0	1.5	1,006.7	3.2	4.0
20	6.6	33.3	22.5	28.2	99.0	56.0	82.9	1.4	1,007.2	3.7	2.3
21	4.0	35.0	24.0	27.8	98.0	49.0	83.3	2.3	1,008.4	3.9	5.4
22	5.0	34.9	24.3	27.4	99.0	48.0	83.0	1.6	1,008.2	5.1	7.2
23	1.0	34.0	23.2	27.5	97.0	52.0	83.6	-	1,008.3	2.6	4.2
24	9.6	34.2	22.5	27.5	99.0	52.0	82.9	1.3	1,009.7	3.5	4.2
25	21.2	32.1	23.7	25.9	99.0	63.0	90.9	1.0	1,010.9	4.2	0.1
26	1.6	33.0	23.0	27.1	99.0	55.0	85.8	-	1,009.5	2.9	3.3
27	17.0	32.8	21.5	26.6	99.0	59.0	87.9	0.5	1,009.7	4.4	3.1
28	-	34.1	22.4	28.3	97.0	46.0	75.7	2.8	1,009.4	6.0	8.2
29	-	34.5	23.8	28.9	97.0	44.0	73.3	-	1,009.8	5.4	7.4
30	-	35.4	21.5	29.5	98.0	45.0	73.3	1.4	1,009.3	4.9	7.4
31	-	35.0	23.9	28.8	96.0	42.0	74.5	2.4	1,008.9	5.6	
รวม	142.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	4.6	34.1	23.6	28.2	97.4	51.4	79.7	1.3	1,008.9	4.1	5.2

หมายเหตุ: ภูมิอากาศในแปลงทดสอบของการทดลองที่ 2.3 (มิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ.2562),

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาทำการตรวจ 8 เวลา

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา (คอหงส์) 838 ถ.เพชรเกษม ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา

### ตารางภาคผนวกที่ 3.7 ภูมิอากาศประจำเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2562

วันที่	ปริมาณ ฝน (มม.)	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้น(%)			ความเร็ว ลมเฉลี่ย (Knot)	ความกด อากาศ (hpa)	น้ำ ระเหย (มม.)	Sunshine (hrs.)
		สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย				
1	0.2	32.5	24.2	27.9	98.0	59.0	80.9		1,009.6	3.2	3.8
2	0.8	34.4	23.5	29.3	95.0	50.0	74.7	2.3	1,008.9	4.5	6.2
3	-	34.3	24.3	28.6	94.0	51.0	77.9	1.1	1,009.1	4.3	6.0
4	-	34.3	23.0	29.1	90.0	46.0	73.3	3.1	1,008.0	6.1	7.6
5	-	35.5	25.8	30.0	95.0	41.0	72.0	2.8	1,007.0	6.7	8.8
6	-	36.0	25.2	30.2	93.0	40.0	69.3	2.6	1,007.4	5.9	7.3
7	-	34.6	25.0	29.2	92.0	39.0	68.9	3.0	1,008.0	4.4	2.2
8	0.2	33.4	24.9	29.3	91.0	48.0	71.5	2.5	1,007.6	5.0	0.1
9	11.2	33.4	24.3	27.1	97.0	53.0	82.3	3.0	1,007.1	5.5	2.2
10	12.0	32.7	23.7	26.6	98.0	58.0	86.7	0.9	1,006.6	3.2	2.2
11	4.8	34.2	23.6	28.4	99.0	49.0	78.0	1.4	1,007.1	4.7	5.8
12	-	34.0	25.0	29.2	99.0	52.0	75.7	2.0	1,008.3	6.2	5.0
13	-	35.0	24.6	28.8	99.0	46.0	78.2	1.6	1,009.3	2.6	7.6
14	2.8	32.7	25.1	28.5	96.0	59.0	79.4	1.8	1,010.6	5.0	5.8
15	-	31.9	24.4	27.6	94.0	64.0	81.6	2.4	1,010.4	5.2	7.6

16	10.8	32.8	24.4	27.3	98.0	57.0	82.8	2.0	1,009.3	5.9	3.1
17	-	34.4	25.0	29.0	96.0	51.0	77.0		1,009.4	4.5	7.4
18	11.0	33.8	24.0	28.4	98.0	46.0	78.0	0.4	1,010.4	5.8	5.8
19	-	34.5	22.5	28.5	99.0	51.0	76.7	2.0	1,009.7	4.6	9.6
20	-	35.3	23.4	29.6	96.0	46.0	74.4	2.8	1,008.4	5.6	9.2
21	3.2	33.1	24.7	27.7	95.0	57.0	81.9	2.6	1,008.8	3.5	5.8
22	0.2	34.8	23.9	29.1	95.0	41.0	74.6	1.2	1,009.8	5.7	8.9
23	-	34.2	24.0	28.5	97.0	51.0	78.5	1.5	1,010.0	2.9	6.2
24	3.2	32.6	24.2	26.5	95.0	60.0	85.7	1.5	1,010.0	3.1	2.4
25	8.4	28.8	24.6	26.5	97.0	72.0	84.8	1.0	1,009.9	3.7	0.7
26	-	32.8	23.7	27.2	98.0	58.0	84.2	1.0	1,009.6	3.0	3.0
27	3.0	30.5	24.3	27.0	97.0	62.0	84.1	1.4	1,009.2	1.5	0.8
28	-	33.8	23.5	28.5	97.0	50.0	76.0	2.3	1,009.0	4.4	2.3
29	8.8	30.9	24.2	26.2	99.0	67.0	89.0	1.4	1,008.4	2.2	-
30	3.6	32.6	23.5	26.3	99.0	58.0	88.0		1,007.0	2.5	3.3
31	-	34.0	23.2	28.0	98.0	50.0	79.9	1.9	1,007.0	4.6	6.1
รวม	84.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	2.7	33.5	24.2	28.2	96.3	52.6	78.9	1.7	1,008.7	4.4	4.9

หมายเหตุ: ภูมิอากาศในแปลงทดสอบของการทดลองที่ 2.3 (มิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ.2562),

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาทำการตรวจ 8 เวลา

ที่มา : สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา (คอหงส์) 838 ถ.เพชรเกษม ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา

ตารางภาคผนวกที่ 4 สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบ

ตารางภาคผนวกที่ 4.1 สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดที่ได้รับธาตุอาหารพืชในอัตราปกติ (n=5)

	whole fresh weight	leaves fresh weight	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
whole fresh weight	1.000	<b>0.991**</b>	-0.645	<b>-0.996**</b>	0.440	0.107	0.037	-0.270	<b>-0.903*</b>	0.259	0.812	-0.450
leaves fresh weight		1.000	-0.542	<b>-0.993**</b>	0.370	0.132	0.022	-0.301	<b>-0.945*</b>	0.270	0.792	-0.535
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			1.000	0.597	-0.579	0.108	-0.024	-0.032	0.333	0.013	-0.667	-0.116
N				1.000	-0.456	-0.125	-0.069	0.293	<b>0.900*</b>	-0.311	-0.769	0.432
P					1.000	-0.521	-0.177	-0.576	-0.075	-0.036	-0.019	0.393
K						1.000	<b>0.888*</b>	0.785	-0.208	0.840	0.364	-0.040
Ca							1.000	0.748	0.044	<b>0.933*</b>	0.155	0.391
Mg								1.000	0.250	0.487	0.210	0.264
Fe									1.000	-0.198	-0.807	0.770
Zn										1.000	0.200	0.225
Mn											1.000	-0.533
Cu												1.000

หมายเหตุ: ตัวหนา = แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (\*) และ 99% (\*\*)

ตารางภาคผนวกที่ 4.2 สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดเสริมธาตุเหล็ก (n=5)

	whole fresh weight	leaves fresh weight	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
whole fresh weight	1.000	<b>0.981**</b>	-0.243	-0.617	0.030	-0.568	-0.190	-0.329	-0.312	-0.165	0.137	-0.401
leaves fresh weight		1.000	-0.066	-0.588	-0.087	-0.552	-0.162	-0.285	-0.317	-0.128	0.204	-0.463
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			1.000	-0.046	-0.846	-0.141	-0.163	-0.008	-0.156	-0.156	0.137	-0.537
N				1.000	0.513	<b>0.993**</b>	<b>0.883*</b>	<b>0.895*</b>	0.771	0.876	0.476	0.860
P					1.000	0.603	0.601	0.427	0.416	0.630	0.115	0.869
K						1.000	<b>0.890*</b>	0.873	0.741	<b>0.896*</b>	0.435	<b>0.908*</b>
Ca							1.000	<b>0.964**</b>	0.851	<b>0.983**</b>	0.756	0.801
Mg								1.000	<b>0.930*</b>	<b>0.911*</b>	0.816	0.715
Fe									1.000	0.742	0.810	0.655
Zn										1.000	0.669	0.812
Mn											1.000	0.260
Cu												1.000

หมายเหตุ: ตัวหนา = แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (\*) และ 99% (\*\*)

ตารางภาคผนวกที่ 4.3 สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดเสริมธาตุสังกะสี (n=5)

	whole fresh weight	leaves fresh weight	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
whole fresh weight	1.000	<b>0.991**</b>	-0.757	-0.458	0.322	-0.060	-0.223	-0.420	0.458	-0.329	0.321	-0.715
leaves fresh weight		1.000	-0.707	-0.374	0.340	0.039	-0.161	-0.350	0.531	-0.378	0.351	-0.769
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			1.000	<b>0.886*</b>	0.094	0.613	0.512	0.793	-0.118	-0.231	0.243	0.158
N				1.000	0.053	<b>0.906*</b>	0.783	<b>0.957*</b>	-0.001	-0.309	0.584	-0.107
P					1.000	0.114	-0.447	-0.187	0.812	<b>-0.948*</b>	0.057	-0.777
K						1.000	0.821	<b>0.891*</b>	0.192	-0.419	0.781	-0.409
Ca							1.000	<b>0.922*</b>	-0.364	0.151	0.743	0.080
Mg								1.000	-0.229	-0.090	0.685	0.024
Fe									1.000	-0.824	-0.041	-0.841
Zn										1.000	-0.313	0.870
Mn											1.000	-0.452
Cu												1.000

หมายเหตุ: ตัวหนา = แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (\*) และ 99% (\*\*)

ตารางภาคผนวกที่ 4.4 สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทดสอบในผักสลัดเสริมธาตุเหล็กร่วมกับสังกะสี (n=5)

	whole fresh weight	leaves fresh weight	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
whole fresh weight	1.000	<b>0.994**</b>	-0.226	-0.723	-0.242	-0.421	-0.758	-0.768	0.157	0.482	0.363	-0.534
leaves fresh weight		1.000	-0.333	-0.743	-0.296	-0.453	-0.809	-0.808	0.088	0.442	0.339	-0.591
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			1.000	0.438	0.522	0.478	0.701	0.613	0.625	0.281	0.199	0.618
N				1.000	0.486	<b>0.929*</b>	<b>0.921*</b>	<b>0.891*</b>	0.528	0.248	0.180	0.200
P					1.000	0.458	0.467	0.246	0.542	0.399	-0.327	-0.110
K						1.000	0.823	0.794	0.777	0.568	0.478	0.032
Ca							1.000	<b>0.972**</b>	0.492	0.107	0.145	0.540
Mg								1.000	0.399	0.021	0.252	0.600
Fe									1.000	<b>0.905*</b>	0.616	-0.142
Zn										1.000	0.638	-0.513
Mn											1.000	-0.060
Cu												1.000

หมายเหตุ: ตัวหนา = แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (\*) และ 99% (\*\*)



