ผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีด้วยจอก (*Pistia stratiotes* L.)

นางสาวชิดชนก จิ๋วพัฒนกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF LIGHT ON ZINC ABSORPTION BY WATER LETTUCE (*Pistia stratiotes* L.)

Miss Chidchanok Jewpattanakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีด้วยจอก (*Pistia stratiotes* L.)
โดย	นางสาวชิดชนก จิ๋วพัฒนกุล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงแข สิทธิเจริญชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ตุลวิทย์ สถาปนจารุ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชิดชนก จิ๋วพัฒนกุล : ผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีด้วยจอก (*Pistia stratiotes* L.) (EFFECT OF LIGHT ON ZINC ABSORPTION BY WATER LETTUCE (*Pistia stratiotes* L.)) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์, 71 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบแสงจากหลอด LED (Light Emitting Diode) ที่มีผลต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก โดยให้พืชได้รับแสงจากหลอด LED 4 รูปแบบ ได้แก่ แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน แสงสีขาว และแสงสีแดงสลับกับแสงสีน้ำเงิน โดยแบ่งการทดลองทั้งหมด 3 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสังกะสี ชุดควบคุมที่ไม่มีพืช และชุดการทดลองที่มีการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า พืชที่ได้รับแสงจากหลอด LED สีแดงในชุดที่มีการเติมสังกะสี มีการสะสมสังกะสีมากที่สุดที่รากและใบในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 4122.5 ± 314.66 และ 986.96 ± 89.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ต่อมาได้ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม โดยให้พืชที่ได้รับแสงสีแดงเป็นระยะเวลา 6, 8 และ10 ชั่วโมงต่อวัน ผลการศึกษาพบว่า พืชที่ได้รับแสงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะสะสมสังกะสีได้ดีที่สุด ซึ่งมีปริมาณสังกะสีในรากและในใบในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 4064.29 ± 393.29 และ 638.60 ± 44.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ต่อมาทำการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสี คือ 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นของสังกะสี 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พืชมีการสะสมสังกะสีได้มากที่สุดทั้งในรากและในใบในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 5318.75 ± 521.49 และ 483.36 ± 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และต่อมาได้ศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นจอกคือ 2, 4 และ 6 ต้นต่อกระถาง พบว่า ชุดการทดลองที่มีจอกจำนวน 4 ต้นต่อกระถาง (โดยคิดเป็นจำนวน 1 ต้นต่อ 1 กระถาง) มีการสะสมสังกะสีมากที่สุดโดยมีปริมาณสังกะสีในรากและในใบในวันที่ 7 เท่ากับ 2429.76 ± 230.29 และ 133.01 ± 10.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อต้น ตามลำดับ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5787139020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: PHYTOREMEDIATION / LED LIGHTS / ZINC

CHIDCHANOK JEWPATTANAKUL: EFFECT OF LIGHT ON ZINC ABSORPTION BY WATER LETTUCE (*Pistia stratiotes* L.). ADVISOR: ASSOC. PROF.NAIYANAN ARIYAKANON, Ph.D., 71 pp.

The objective of this study was to compare the effect of LED (Light Emitting Diode) light of zinc absorption by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). Plants were treated by 4 types of LED light: red, blue, white and mixed between red and blue. The experiment was divided into 3 treatment, control group without zinc, control group added zinc at the concentration of 5 mg/L, and treatment group added zinc at the concentration of 5 mg/L. There was triplicate for each group and the experiment was done for 1 week. The results showed that the highest zinc accumulation in plants was found in plants treated with red light. The maximum concentration in roots and leaves were 4122.5 ± 314.66 and 986.96 ± 89.67 mg/kg DW, respectively. When the red light was applied, and duration was varied as 6, 8 and 10 hour for day. The results indicated that the highest zinc accumulation in plants was found in plants treated for 6 hour per day. The maximum concentration in roots and leaves were 4064.29 ± 393.29 and 638.60 ± 44.58 mg/kg DW, respectively. The concentration of zinc was varied as 5, 10 and 15 mg/L. The results revealed that the highest zinc accumulation in plants was found in plants grown in the solution at the concentration of 10 mg/L. The maximum concentration in roots and leaves were 5318.75 ± 521.49 and 483.36 ± 13 mg/kg DW, respectively. The density per pot was varied as 2, 4 and 6 plants. The results showed that the highest zinc accumulation in plants was found in plants grown in the density 4 plants per pot. The maximum concentration in roots and leaves were 2429.76 ± 230.29 and 133.01 ± 10.35 mg/kg DW per plant, respectively.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....

Academic Year: 2016 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์ จากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นัยนันทน์ อริยกานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณามอบความรู้ คำปรึกษา ตลอดจนถึงคำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ และกรุณาสละเวลาที่มีค่าอย่างยิ่งของท่านอาจารย์ในการตรวจแก้ไข และเรียบเรียง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนั้นยังให้ความช่วยเหลือ ให้ข้อคิดและคำสอนต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการเป็นแนวทางในการดำเนินชีวิต

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงแข สิทธิเจริญชัย และรองศาสตราจารย์ ดร.ตุลวิทย์ สถาปนจารุ ที่ทุกท่านได้กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมทั้ง ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และแนวทางการแก้ไขรายละเอียดต่างๆในวิทยานิพนธ์เพื่อเป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการศึกษาในหลักสูตรฯ

กราบขอบพระคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมทั้งใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนอุดหนุนวิจัย ตลอดจนถึงบุคลากรในหลักสูตรทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และการช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษา และการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อธวัชชัย และคุณแม่สุดาภรณ์ จิ๋วพัฒนกุล ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ให้คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีตลอดมา ตลอดจนญาติพี่น้อง เพื่อนสนิท มิตรสหายทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 สมมติฐานการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 สังกะสี 3
2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี 3
2.1.2 การนำไปใช้ประโยชน์ 4
2.1.3 ความเป็นพิษ 5
2.2 การบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation) 6
2.2.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช 6
2.2.2 ประเภทของการบำบัดโดยใช้พืช 7
2.2.2.1 การกรองด้วยรากพืช (Phytofiltration หรือ rhizofiltration) 7
2.2.2.2 การทำให้ระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization) 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3 แสง 8
2.3.1 ความหมายของแสง 8
2.3.2 แหล่งกำเนิดแสง 8
2.3.3 สีของแสง 9
2.3.4 ประโยชน์ของแสงแอลอีดี หรือ ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diodes; LED) 10
2.3.5 แสงกับการเจริญเติบโตของพืช 10
2.4 พืชที่ใช้ในการบำบัดสังกะสี 13
2.4.1 จอก 13
2.5 การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยใช้พืช 14
2.6 ผลของแสงที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชและการบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืช 15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 18
3.1 สถานที่ทำงานวิจัย 18
3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพืชที่ใช้ในงานวิจัย 18
3.1.2 สถานที่ที่ใช้ในการปลูกพืชในงานวิจัย 18
3.1.3 สถานที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของงานวิจัย 18
3.2 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 18
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพืช 18
3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงพืช 18
3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 19
3.3 ขั้นตอนการวิจัย 20
3.3.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร 20
3.3.2 การเตรียมพืช 20
3.3.3 การเตรียมภาชนะแก้วสำหรับปลูกพืช 20

หน้า

3.3.4 การเตรียมการทดลอง 20
3.4. การวิเคราะห์สังกะสีในพืชและในน้ำ 24
3.4.1 การสกัดตัวอย่างพืช 24
3.4.2 การสกัดตัวอย่างน้ำ 24
3.5 การรวบรวมและประมวลผลที่ได้จากงานวิจัย 24
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 25
4.1 ผลการเปรียบเทียบผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก 25
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 25
4.1.2 การเจริญเติบโตของจอก 33
4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) 36
4.1.4 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 37
4.1.5 การเปรียบเทียบสังกะสีที่สะสมในจอกที่แสงต่างๆ 39
4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่จอกสามารถดูดซึมสังกะสี 42
4.2.1 อิทธิพลของระยะเวลาต่อการเจริญเติบโตของจอก 42
4.2.2 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหารHoagland's No.2 ของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม 44
4.2.3 การเปรียบเทียบสังกะสีที่สะสมในจอกที่ระยะเวลาที่เหมาะสม 45
4.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก 48
4.3.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของจอก 48
4.3.2 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหารHoagland's No.2 ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน 49

Chulalongkorn University

หน้า

4.3.3 การเปรียบเทียบสังกะสีที่สะสมในจอกที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 51
4.4 ความหนาแน่นของจอกต่อการดูดซึมสังกะสี.....53
4.4.1 ปริมาณสังกะสีในราก 53
4.4.2 ปริมาณสังกะสีในใบ 54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 56
5.1 สรุปผลการทดลอง 56
5.2 ข้อเสนอแนะ 57
รายการอ้างอิง.....58
ภาคผนวก 64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สมบัติของสังกะสี 3

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานสังกะสีในแหล่งน้ำของประเทศไทย 6

ตารางที่ 2.3 ความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงขาว 9

ตารางที่ 2.4 ผลของช่วงแสงต่างๆต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียว 12

ตารางที่ 4.1 ช่วงความความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 กราฟแสดงปริมาณการผลิตและการใช้แร่สังกะสีในประเทศไทย 5 ปี 5

ภาพที่ 2.2 กระบวนการต่างๆของ phytoremediation 8

ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมของแสง 9

ภาพที่ 2.4 สเปกตรัมการดูดซึมแสงของคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ และสเปกตรัมของอัตราการสังเคราะห์แสงของคลอโรพลาสต์ 11

ภาพที่ 2.5 จอก 13

ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช 26

ภาพที่ 4.2 กราฟค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช 28

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช 30

ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช 31

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าของแข็งละลายทั้งหมดของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช 32

ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช 33

ภาพที่ 4.7 การเจริญเติบโตของจอกโดยการชั่งน้ำหนักสด 35

ภาพที่ 4.8 การเจริญเติบโตของจอกจากการวัดความยาวราก เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ 36

ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี (Calibration Curve) 37

ภาพที่ 4.10 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 38

ภาพที่ 4.11 ปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของจอกที่แสงต่างๆ ในชุดทดลองที่มีการเติมสังกะสี 40

ภาพที่ 4.12 ปริมาณสังกะสีที่สะสมในใบของจอกที่แสงต่างๆ ในชุดทดลองที่มีการเติมสังกะสี 41

ภาพที่ 4.13 การเจริญเติบโตของจอกในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม....43

ภาพที่ 4.14 ความยาวรากในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม....44

ภาพที่ 4.15 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม....45

ภาพที่ 4.16 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในรากของจอกของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม....46

ภาพที่ 4.17 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในใบของจอกของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม....47

ภาพที่ 4.18 การเจริญเติบโตของจอกจากการชั่งน้ำหนักสดของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน....48

ภาพที่ 4.19 ความยาวรากของจอก ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน....49

ภาพที่ 4.20 ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน....50

ภาพที่ 4.21 ปริมาณสังกะสีในรากของจอก ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน....51

ภาพที่ 4.22 ปริมาณสังกะสีในใบของจอก ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน....52

ภาพที่ 4.23 ปริมาณสังกะสีในรากของจอก 1 ต้นต่อกระถางของการศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นจอก....54

ภาพที่ 4.24 ปริมาณสังกะสีในใบของจอก1 ต้นต่อกระถาง ของการศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นจอก....55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

สังกะสีเป็นธาตุที่มีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมและร่างกายมนุษย์ ในปัจจุบันมีการนำสังกะสีมาใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศไทยอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ ด้านการผลิตเหล็ก ด้านเวชภัณฑ์ เป็นต้น ดังได้มีรายงานความต้องการในการใช้สังกะสีของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2551 เท่ากับ 112,005 เมตริกตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.7 จากปี พ.ศ. 2550 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกในปีต่อๆไป (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2559) เมื่อมีการนำสังกะสีไปใช้ประโยชน์จำนวนมาก จึงทำให้เกิดปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมที่บำบัดสังกะสีไม่หมดหรือเกิดจากผลิตภัณฑ์ที่มีสังกะสีเป็นส่วนประกอบ สังกะสีที่ปนเปื้อนมักอยู่ในรูปของฝุ่น หรือไอสารที่ลอยในอากาศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ การบำบัดสังกะสีที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีหลายวิธี ทั้งเทคนิคด้านชีวภาพ กายภาพ หรือเคมี ซึ่งการใช้พืชบำบัดสังกะสีที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้ในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ด้านพืชพรรณ พืชหลายชนิดมีศักยภาพในการบำบัดสังกะสีที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้

การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) เป็นกระบวนการใช้พืชเพื่อลดปริมาณความเป็นพิษของสารปนเปื้อนในดิน น้ำใต้ดิน หรือที่ที่มีการปนเปื้อนอื่น ๆ การใช้พืชบำบัดเป็นการกำจัดมลพิษในสภาพแวดล้อม โดยที่พืชสามารถช่วยกำจัดมลพิษได้หลายประเภท รวมถึงโลหะ สารฆ่าศัตรูพืช วัตถุระเบิดและน้ำมัน นอกจากนี้พืชยังช่วยป้องกันไม่ให้ลม ฝนและน้ำใต้ดินพัดพา หรือป้องกันมลพิษไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่น (Etim, 2012)

แสงมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช และมีผลต่อลักษณะ รวมถึงการสังเคราะห์แสงของพืช (Matsuda et al., 2004) โดยการสังเคราะห์แสงเพื่อการสร้างอาหาร การเจริญเติบโต การออกดอกของพืชจะเป็นแสงในช่วงความยาวคลื่น 290-1,000 นาโนเมตร (นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, 2558)

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกจอกมาเป็นพืชที่ใช้ในการดูดซึมสังกะสีภายใต้แสงสีต่างๆ เนื่องจากจอกเป็นพืชที่มีความสามารถในการดูดซึมโลหะหนักหลายชนิด และเป็นพืชที่หาได้ง่ายในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบช่วงความยาวคลื่นของแสงที่มีผลต่อการสะสมสังกะสีของจอก

2) เพื่อทดสอบผลของแสงที่มีผลต่อการดูดซึมสังกะสีของจอกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

3) เพื่อทดสอบความแตกต่างของจำนวนต้นต่อกระถางที่มีผลต่อการดูดซึมสังกะสี

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1) ช่วงความยาวคลื่นของแสงที่แตกต่างกันมีผลต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก

2) แสงมีผลต่อการดูดซึมสังกะสีของจอกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

3) ความหนาแน่นของจำนวนจอกต่อกระถางมีผลต่อการดูดซึมสังกะสี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1) ศึกษาผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีในน้ำของจอก โดยให้จอกได้รับแสงที่ช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน ได้แก่ แสงสีขาว แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 440-470 นาโนเมตร, 620-780 นาโนเมตร และ 440-470 นาโนเมตรกับ 620-780 นาโนเมตรสลับกัน จากนั้นศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่จอกสามารถดูดซึมสังกะสีได้มากที่สุด คือ 6, 8 และ 10 ชั่วโมงต่อวัน และศึกษาผลของแสงต่อความเข้มข้นสังกะสีที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความเข้มข้น 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร พร้อมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีทั้งหมดในน้ำ

2) ศึกษาความแตกต่างของจำนวนต้นจอกต่อการดูดซึมสังกะสีในน้ำ โดยปลูกจอกในน้ำที่มีจำนวนต้นเท่ากับ 2, 4 และ 6 ต้นต่อกระถาง และวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีทั้งหมดในน้ำ และในจอก

3) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดน้ำ คือ ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในน้ำ อุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรดด่าง การนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำงานวิจัยนี้ไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสังกะสีที่ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้จอก

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สังกะสี

สังกะสีเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่พบมากในเปลือกโลก สังกะสีพบได้ในดิน น้ำ และอากาศ ในปัจจุบันพบได้ในอาหารทุกชนิด (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005)

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สังกะสีมีลักษณะสีเทาอ่อนแกมน้ำเงิน มีเลขอะตอมเท่ากับ 30 มวลอะตอม 65.39 กรัมต่อโมล โครงสร้างผลึกแบบหกเหลี่ยม มีจุดเดือดที่ 907 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1 สมบัติของสังกะสี

สมบัติของสังกะสี	
ชื่อ, สัญลักษณ์, เลขอะตอม	สังกะสี, Zn, 30
อนุกรมเคมี	โลหะทรานซิชัน
ลักษณะ	สีเทาอ่อนแกมน้ำเงิน
มวลอะตอม	65.409 g/mol
สถานะ	ของแข็ง
จุดเดือด	1180 K (907 °C)
จุดหลอมเหลว	692.68 K (419.53 °C)
ความร้อนจำเพาะ (25 °C)	25.390 J/Kg.K

ที่มา: Royal Society of Chemistry (2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 การนำไปใช้ประโยชน์

สังกะสีเป็นธาตุหนึ่งที่สามารถพบได้ในร่างกายมนุษย์ และสัตว์ เพราะเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการ และเนื่องจากสังกะสีมีคุณลักษณะเฉพาะตัวจึงทำให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมด้านต่าง ๆ มากมาย ซึ่งอาจแบ่งการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้ (Putnum and Martin, 2016)

2.1.2.1 ด้านอุตสาหกรรมเหล็ก

มีการใช้สังกะสีเคลือบผิวเหล็กที่ส่วนประกอบของตัวถังและชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ตู้จดหมาย เป็นต้น เพื่อป้องกันการผุกกร่อน การเกิดสนิม

2.1.2.2 ด้านอุตสาหกรรมเซรามิค ยางและใยสังเคราะห์

ใช้สังกะสีออกไซด์ในอุตสาหกรรมเซรามิค ทำให้เซรามิคมีความมันวาว และป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนในยาง สำหรับสังกะสีซัลเฟตได้ใช้ในการผลิตใยสังเคราะห์

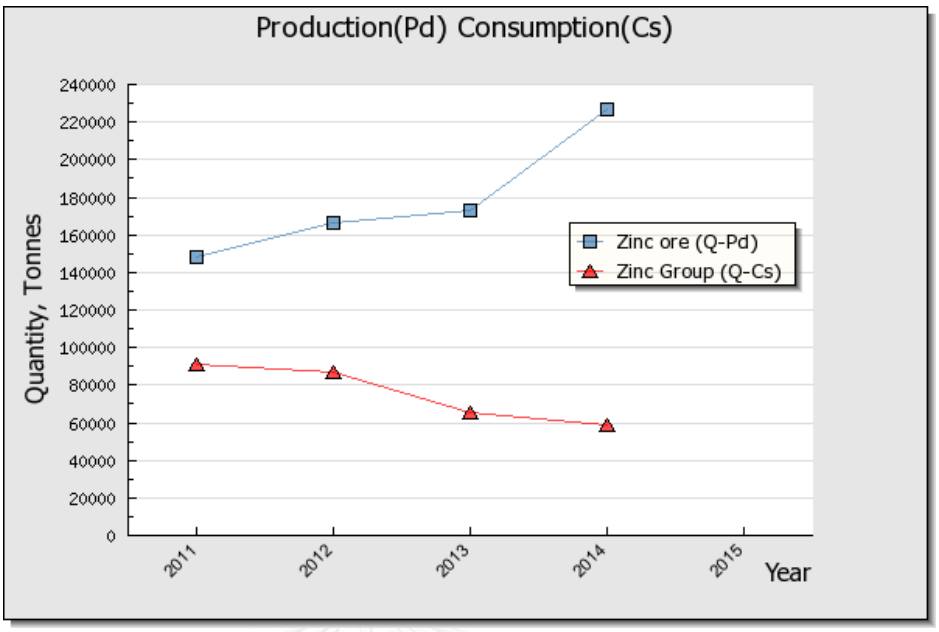
2.1.2.3 ด้านอุตสาหกรรมในครัวเรือน

ในชีวิตประจำวันได้มีการใช้สังกะสีเป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ครัวเรือน เช่น ขั้วหลอดไฟ ก๊อกน้ำ ลูกบิดประตู เป็นต้น

2.1.2.4 ด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สังกะสีได้นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิทยุ เครื่องโทรสาร คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น

นอกจากนี้สังกะสีสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่น การทำยา การผลิตสารเคมีที่ใช้ในการพิมพ์และย้อมผ้า ใช้ทำโลหะผสม เป็นต้น (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2559)



ภาพที่ 2.1 กราฟแสดงปริมาณการผลิตและการใช้แร่สังกะสีในประเทศไทย 5 ปี

ที่มา: กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2559)

2.1.3 ความเป็นพิษ

2.1.3.1 ความเป็นพิษในมนุษย์

1. ความเป็นพิษเฉียบพลัน

มนุษย์ได้รับสังกะสีเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ดังนี้

1) ทางการหายใจ เมื่อมนุษย์มีการหายใจนำสังกะสีเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากเกินพอ จะส่งผลกระทบต่อทางเดินหายใจ กระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้มีอาการเจ็บหน้าอก ไอ และส่งผลให้ปริมาตรความจุปอดลดลง ปอดมีประสิทธิภาพในการทำงานด้อยลง และนำไปสู่การเกิดโรคปอดเรื้อรัง

2) ทางการสัมผัส เมื่อผิวหนังได้รับการสัมผัสสังกะสี ทำให้เกิดการกัดกร่อนผิวหนังจนเป็นรอยแผลเป็น พุพอง เมื่อเข้าตาจะทำให้มีความระคายเคืองตา ปวดตา เกิดผื่นแดง ม่านตาอักเสบ ภาวะเลือดคั่ง

3) ทางการรับประทาน แม้ว่าสังกะสีค่อนข้างจะไม่มีความเป็นพิษในอาหาร และน้ำดื่ม แต่หากในแหล่งที่รับประทานมีสังกะสีมากเกินค่ามาตรฐาน คือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีอาการคลื่นไส้อาเจียนและท้องเสีย

2. ความเป็นพิษเรื้อรัง

การได้รับสังกะสีเป็นเวลานานผ่านเส้นทางต่างๆ ส่งผลให้เกิดโรคโลหิตจาง เกิดการเปลี่ยนแปลงในพลาสมา ตับอ่อนทำงานด้อยลง เยื่อหุ้มสมองถูกทำลาย เกิดการตายของเซลล์ประสาท (Nriagu, 2007)

2.1.3.2 ความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อม

การศึกษาความเป็นพิษของสังกะสี ได้ทำการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของสังกะสีออกไซด์ต่อหนอนแดง โดยหาระดับความเป็นพิษเฉียบพลันของสังกะสีออกไซด์ที่มีต่อหนอนแดงข้อมูลการตายของหนอนแดง ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าการตายของหนอนแดงค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีออกไซด์เพิ่มขึ้น (นาตยา เต็มราม และคณะ, 2553)

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานสังกะสีในแหล่งน้ำของประเทศไทย

แหล่งที่ปนเปื้อน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
น้ำผิวดิน	ไม่เกิน 1
น้ำใต้ดิน	ไม่เกิน 5
น้ำสำหรับบริโภค	ไม่เกิน 5
น้ำบาดาลเพื่อการบริโภค	ไม่เกิน 5

ที่มา: (กรมควบคุมมลพิษ. (2559); กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549)

2.2 การบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation)

2.2.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช

การบำบัดโดยใช้พืช คือ การใช้พืชสีเขียวที่มีในการลดความเข้มข้นของสารพิษอินทรีย์ และอนินทรีย์ เช่น โลหะหนัก ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม ซึ่งคำว่า Phytoremediation มาจากการรวมกันของคำสองคำ คือ Phyto (หมายถึง พืช) เป็นภาษากรีก และ remedium (หมายถึง การรักษา ปรับปรุง แก้ไข) เป็นภาษาละติน ซึ่งการบำบัดโดยใช้พืชนี้เป็นวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Ali

et al., 2013) การบำบัดโดยการใช้พืชเป็นการเพิ่มการย่อยสลาย และการกำจัดของสารมลพิษที่มีประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่ายต่ำ (Lui et al., 2014)

2.2.2 ประเภทของการบำบัดโดยใช้พืช

กระบวนการบำบัดโดยใช้พืช แบ่งออกเป็น 7 ประเภท ดังนี้

2.2.2.1 การกรองด้วยรากพืช (Phytofiltration หรือ rhizofiltration) คือ การใช้รากพืช หรือต้นกล้าของพืชกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนจากแหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำเสีย ซึ่งสารมลพิษจะถูกดูดซึมหรือดูดซับไว้ ทำให้การเคลื่อนที่ของสารมลพิษดังกล่าวลดลง

2.2.2.2 การทำให้ระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization) คือ การดูดซึมสารมลพิษจากดินโดยพืช ซึ่งจะเปลี่ยนสารมลพิษเป็นสารที่ระเหยได้ แล้วปลดปล่อยสู่บรรยากาศ กระบวนการนี้สามารถนำมาใช้สำหรับสารมลพิษอินทรีย์และโลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท และ ซีเรเนียม เป็นต้น

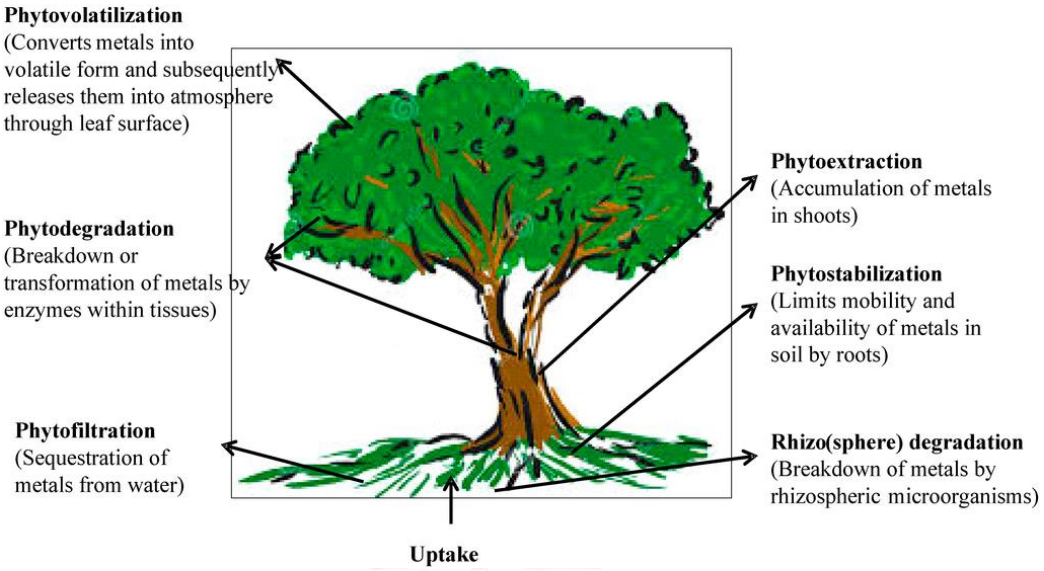
2.2.2.3 การสกัดด้วยพืช (Phytoextraction) คือ การใช้พืชดูดซึมสารมลพิษจากดินหรือน้ำผ่านทางรากพืชและโยกย้ายสารมลพิษเหล่านั้นไปสะสมไว้ที่ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน เช่น หน่อ ใบ และลำต้น เป็นต้น

2.2.2.4 การตรึงด้วยพืช (Phytostabilization) คือ การใช้พืชรักษาเสถียรภาพของสารมลพิษ โดยพืชจะลดการเคลื่อนไหวและการดูดซึมของสารมลพิษไว้ที่ราก

2.2.2.5 การย่อยสลายด้วยรากพืช (Rhizodegradation) คือ การย่อยสลายของสารมลพิษประเภทสารอินทรีย์ในดินด้วยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช พืชจะกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากโดยการหลั่งสารพวกคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน เป็นต้น ซึ่งสารที่หลั่งออกมาจากรากพืชนั้นจะมีแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน ทำให้จุลินทรีย์ในดินสร้างสารอาหารได้มากขึ้น

2.2.2.6 การย่อยสลายด้วยพืช (Phytodegradation) คือ การย่อยสลายของสารมลพิษประเภทสารอินทรีย์ที่อาศัยการปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ เช่น dehalogenase และ oxygenase พืชสามารถสะสมสารมลพิษจากสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนโดยกระบวนการเผาผลาญของจุลินทรีย์

2.2.2.7 การกำจัดเกลือด้วยพืช (Phytodesalination) คือ การใช้พืชทนเค็มกำจัดเกลือจากดินเค็ม เนื่องจากพืชทนเค็มมีการปรับตัวตามธรรมชาติได้ดี (Ali et al., 2013)



ภาพที่ 2.2 กระบวนการต่างๆของ phytoremediation

ที่มา: (Dixit et al., 2015)

2.3 แสง

2.3.1 ความหมายของแสง

แสง คือ พลังงานรูปหนึ่งที่ทำให้เกิดความสว่าง มีสมบัติเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอยู่ในรูปของคลื่น มีช่วงความยาวคลื่น 380-760 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดการมองเห็น เมื่อแสงมีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดสู่ตัวกลาง เช่น วัตถุโปร่งใส ได้แก่ น้ำ อากาศ แก้ว วัตถุโปร่งแสง ได้แก่ ควัน หมอก และวัตถุทึบแสง ได้แก่ ไม้ อิฐ เป็นต้น ทำให้มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป เช่น เกิดการหักเห การสะท้อน การดูดกลืน การทะลุผ่าน (เสาวณิต ทองมี, 2550)

2.3.2 แหล่งกำเนิดแสง

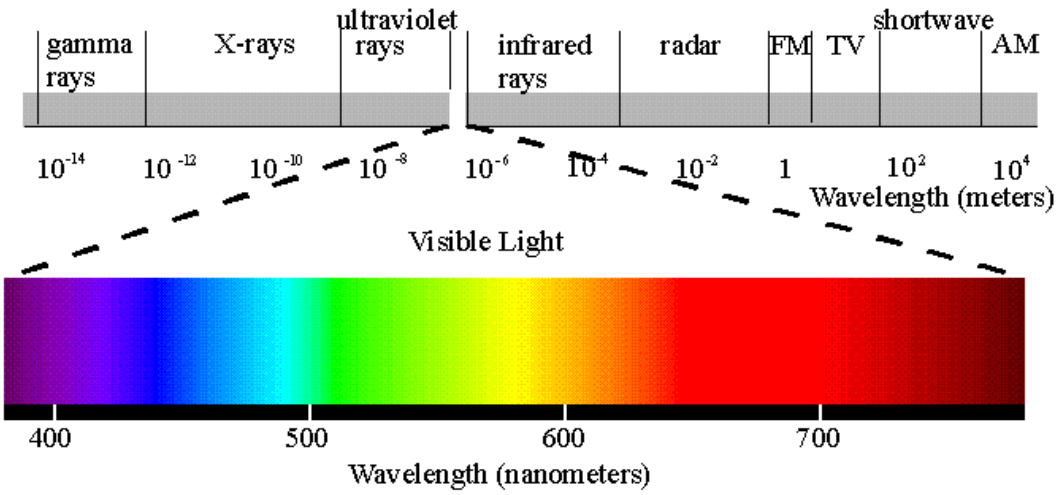
แหล่งกำเนิดแสงทั่วไปมีการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในสเปกตรัมที่มองเห็น แหล่งกำเนิดแสงแบ่งออกเป็น

1) แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ ได้แก่ แสงแดด ฟ้าผ่า แสงจากดวงดาว

2) แหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ แสงจากหลอดไฟ โคมไฟ แสงจากเทียน (Choudhury, 2014)

2.3.3 สีของแสง

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดของแสงในธรรมชาติที่สำคัญที่สุด ซึ่งให้แสงสีขาวที่สามารถแยกลำแสงสีขาวออกเป็นส่วนประกอบของสีต่างๆ ด้วยปริซึมได้เป็นแถบสีต่างๆกัน 7 สีเรียงติดกัน เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) โดยแต่ละสีจะมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน (Vandergriff, 1999)



ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมของแสง

ที่มา: Virtualfirefly (2011)

ตารางที่ 2.3 ความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงขาว

สี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
ม่วง	380–450
ฟ้า	450–480
ฟ้าเขียว	480–510
เขียว	510–550
เหลือง	570–590
ส้ม	590–630
แดง	630–750

ดัดแปลงจาก Choudhury (2014)

2.3.4 ประโยชน์ของแสงแอลอีดี หรือ ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diodes; LED)

ไดโอดเปล่งแสง (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงชนิดสารกึ่งตัวนำสองตัว การพัฒนาล่าสุดได้ผลิต LED ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะเป็นแสงที่ใช้พลังงานที่น้อย อายุการใช้งานยาวนาน มีการนำมาใช้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้เป็นแสงที่ใช้ในการบิน ไฟหน้ารถยนต์, การโฆษณา, สัญญาณไฟจราจร และไฟแฟลชกล้อง เป็นต้น (Wikipedia, 2017) เมื่อหลายสิบปีก่อนได้มีการนำหลอดไฟ LED มาใช้ในงานพืชสวน เช่น เป็นระบบแสงสว่างให้พืช รวมถึงใช้ในการควบคุมการวิจัยสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช และเป็นแสงที่ใช้สำหรับการผลิตแสงสว่างในสภาพแวดล้อมที่ถูกจำกัด นอกจากนี้ แสง LED ยังได้นำมาทำการจำลองแทนแสงอาทิตย์ LED อีกด้วย (Robert, 2008)

แสง LED มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายปีที่ผ่านมา โดยประโยชน์ของแสง LED นั้น ได้แก่ (Glaenzer, 2015)

1) อายุการใช้งานยาวนาน โคมไฟ LED หรือหลอด LED มีอายุการใช้งานยาวนานถึง 11-22 ปี

2) มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน LED ใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยประมาณ 80% -90% เมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟทั่วไป ซึ่งหมายความว่าประมาณ 80% ของพลังงานไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นแสง และอีก 20% ถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน นั่นหมายความว่า LED จะประหยัดพลังงานได้มาก

3) ไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปล่อยแสง LED มีความใกล้เคียงกับการปล่อยรังสียูวี ดังนั้นแสง LED จึงมีความเหมาะสมวัสดุที่ไวต่อความร้อน

RAJABHAT UNIVERSITY

2.3.5 แสงกับการเจริญเติบโตของพืช

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพืช รวมถึงการออกดอกของพืชด้วย การตอบสนองต่อช่วงเวลาของพืชแต่ละชนิดเมื่อได้รับแสงมีความแตกต่างกัน โดยแบ่งพืชออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (กาญจนา สาลีติ๊ด, 2541)

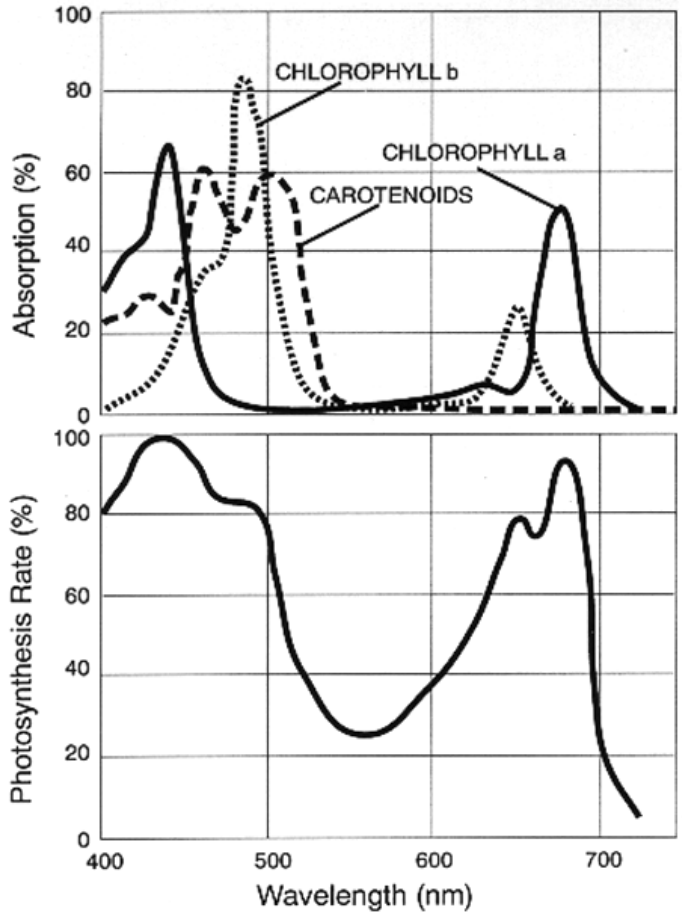
1) พืชวันสั้น (Short day plants) คือ พืชที่ออกดอกเมื่อได้แสงในช่วงวันสั้น

2) พืชวันยาว (Long day plants) คือ พืชที่ออกดอกเมื่อได้แสงในช่วงวันสั้น

3) พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงวัน (Day neutral plants) คือ พืชที่การออกดอกขึ้นอยู่กับอายุของพืช

แสงมีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง โดยปกติพืชสีเขียวจะมีการเก็บสะสมพลังงานแสง และเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานที่พืชสามารถใช้งานได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มแสง คุณภาพแสง ระยะเวลาหรือช่วงของแสง (Marr, 2016) การสังเคราะห์แสงของพืชมาจากช่วง

สเปกตรัมแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ คือ ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ซึ่งถูกดูดซับโดยโมเลกุลของสี ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์บี และ แคโรทีนอยด์ โดยคลอโรฟิลล์จะมีประสิทธิภาพในการจับแสงสีแดงและสีน้ำเงิน ส่วนแคโรทีน และ แซนโทฟิลล์จะได้รับแสงสีเขียวบางส่วนและผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่ความยาวคลื่นสีเขียวจะสะท้อนให้เห็นถึงสีสันของสี (Whitmarsh and Govindjee, 1999)



ภาพที่ 2.4 สเปกตรัมการดูดซึมแสงของคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ แคโรทีนอยด์ และสเปกตรัมของอัตราการสังเคราะห์แสงของคลอโรพลาสต์

ที่มา: Whitmarsh and Govindjee (1999)

ตารางที่ 2.4 ผลของช่วงแสงต่างๆต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียว

สีของแสง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ชนิดของพืช	ผลต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสง
สีไกลแดง (Far-red)	700-740	ผักกาดหอมใบแดง	-มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น มีการยืดตัวของใบ -ลดประสิทธิภาพของ anthocyanin และสารต้านอนุมูลอิสระ
สีแดง	625-700	-กะหล่ำปลี -คะน้า	- anthocyanin เพิ่มขึ้น - มีการสะสมคลอโรฟิลล์เอและบีเพิ่มขึ้น
สีเขียว	490-550	ผักกาดหอม	ไม่มีผลต่อคลอโรฟิลล์เอและบี
สีน้ำเงิน	425-490	-ผักกาดหอม -กะหล่ำปลี	-ใบมีการขยายตัว -คลอโรฟิลล์มีปริมาณมาก

ดัดแปลงจาก Olle and Viršile (2013)

การศึกษาการปลูกพืชภายในอาคารโดยใช้แสงประดิษฐ์ที่ไม่มีความร้อน คือ หลอด LED และ หลอด Fluorescence เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด ได้แก่ กะเพรา โหระพาและแมงลัก พบว่าพืชที่ปลูกในหลอด LED มีการเจริญเติบโต และมีอัตราการรอดชีวิตมากกว่าพืชที่ปลูกในหลอด Fluorescence (จูนลิฎา โยธาทิพย์, 2553)

การศึกษาผลของแสงสีฟ้าและสีแดงกับอัตราการสังเคราะห์แสงของต้นสนเข็ม โดยทำการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นสนเข็ม ในห้องที่เชื่อมต่อกับจอภาพ CO_2 และวัดอัตราการเปลี่ยนความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 10 นาทีภายใต้แสงสีแดงและอีก 10 นาทีภายใต้แสงสีฟ้า ผลการทดลองในแสงสีแดงมีความเข้มข้นของ

คาร์บอนไดออกไซด์ลดลง และ แสงสีฟ้าไม่ทำให้พืชสังเคราะห์แสงได้เร็วกว่าแสงสีแดง และมีแนวโน้มที่จะมีการสังเคราะห์แสงภายใต้แสงสีแดงได้เร็วขึ้น (Braddock et al., 2001)

2.4 พืชที่ใช้ในการบำบัดสังกะสี

2.4.1 จอก

ภาพที่ 2.5 จอก

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Pistia stratiotes* L.

ชื่อสามัญ: Water lettuce

ชื่อวงศ์: ARACEAE

ชื่อเรียกอื่น: ผักกอก กากอก

จอกเป็นพืชลอยน้ำ มีอายุหลายปี ลำต้นเป็นกอ มีไหลเพื่อช่วยในการขยายพันธุ์ มีรากแตกเป็นกระจุก ใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยว รูปไข่กลับ ยาว 2-15 เซนติเมตร มีดอกออกเป็นช่อตั้ง ขนาดเล็ก ยาว 1.2-1.5 เซนติเมตร ดอกย่อยเป็นดอกแยกเพศอยู่บนช่อเดียวกัน โดยดอกเพศผู้อยู่ด้านบน มีเกสรเพศผู้ 2-8 อัน เกสรเพศเมียมีเพียงรังไข่ 1 อัน ผล เป็นผลสด ขนาดเล็กสีเขียว มีหลายเมล็ด

การกระจายพันธุ์ พบได้ทั่วไปในเขตร้อน ลอยอยู่ตามน้ำนิ่งหรือไหลช้า ๆ ตามท้องทุ่งนา หรือบึงน้ำจืด ชอบแสงแดดจัด

ประโยชน์ของจอก

1) ใช้ทำปุ๋ยหมัก

2) เป็นยาสมุนไพร ใช้รักษาโรคและอาการต่างๆ เช่น เป็นยาระบาย แก้โรคผิวหนัง แก้หัด แก้วัณโรค ฟอกเลือด ขับพิษไข้ ขับเหงื่อ ขับเสมหะ ขับลม แก้บิด แก้ไอ เป็นต้น

3) เป็นอาหารสัตว์

4) เป็นไม้ประดับในการจัดอ่างปลา หรือสระน้ำ

ความเป็นพิษ ทำให้เกิดการคัน ระคายเคือง

2.5 การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยใช้พืช

การศึกษาศักยภาพของจอกในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนแคดเมียม การศึกษาได้ใช้ความเข้มข้นแคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_3$) เท่ากับ 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปลูกจอกในระบบ hydroponic เป็นเวลา 21 วัน ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พืชไม่มีการเจริญเติบโต แต่ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร พืชมีความสามารถในการสะสมแคดเมียมได้สูงสุดในรากถึง 11.67 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง และ ในใบ 5.75 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง และจากการประเมินค่าปัจจัยทางชีวภาพ (BCF) ของพืชชนิดนี้ แสดงให้เห็นว่าพืชชนิดนี้สามารถทนต่อความเข้มข้นของแคดเมียมได้สูงถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (Das et al., 2014)

การศึกษาความสามารถของจอกในการบำบัดโลหะเงินขนาดนาโนเมตรเปรียบเทียบกับโลหะเงินไอออนในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อน ซึ่งจะทำการปลูกพืชในความเข้มข้นของโลหะเงินขนาดนาโนเมตรที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.02, 0.2 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองควบคุม ณ เวลาเดียวกัน ซึ่งผลของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าจอกสามารถอยู่รอดได้ในโลหะเงินขนาดนาโนเมตรและโลหะเงินไอออนที่มีความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hanks et al., 2015)

การทดสอบการสะสมโลหะโดยจอก เพื่อนำไปใช้ในงานบำบัดสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยทำการปลูกจอก แล้วใส่ความเข้มข้นของโลหะในแต่ละตัวเท่ากับ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 มิลลิโมล เป็นระยะเวลา 21 วัน ผลการทดลองพบว่ารากของจอกลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโลหะ และผลการศึกษาชี้ให้เห็นการลดลงของการเจริญเติบโตในใบขึ้นอยู่กับโลหะ แต่ละชนิดรวมทั้งระยะเวลาของการรับแสง (Odjegba and Fasidi, 2004)

การศึกษาความสามารถในการสะสมนิกเกิล ตะกั่วและสังกะสีของสาหร่ายญี่ปุ่นและสาหร่ายหางกระรอก ภายใต้การปลูกแบบไม่ใช้ดิน ผลการศึกษาพบว่า พืชทั้งสองชนิดมีการสะสมนิกเกิล

ตะกั่ว และสังกะสีได้มากที่สุดที่ความเข้มข้น 10, 15 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพืชทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถทนต่อโลหะหนักดังกล่าวได้ เนื่องจากโลหะหนักเหล่านั้นมีปริมาณที่ไม่สูงเกินไป (Harguinteguy et al., 2015)

การศึกษาการตอบสนองของจอกต่อโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม นิกเกิล สังกะสี และฟอสฟอรัส ซึ่งทำการศึกษาโดยปลูกจอกในบ่อน้ำพลาสติก จากนั้นใส่โลหะหนักความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และใส่ฟอสฟอรัสความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่าจอกมีการสะสมโครเมียม นิกเกิล และสังกะสีในรากเท่ากับ 0.9,10.1 และ25.9 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีการสะสมโครเมียม นิกเกิล และสังกะสีในใบเท่ากับ 0.4, 1.9 และ10.3 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากการศึกษานี้บ่งชี้ให้เห็นว่าจอกมีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้หลายชนิด และสามารถอยู่รอดได้ในสภาวะที่มีโลหะหนักปนเปื้อน (Mufarrege et al., 2010)

2.6 ผลของแสงที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชและการบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืช

การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักตบชวาเมื่อได้รับ Cr^{3+} และ Cr^{6+} ที่ความเข้มข้น 1 และ 10 มิลลิโมล โดยให้ผักตบชวาได้รับแสงเป็นเวลา 11 ชั่วโมงต่อวัน และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะเรือนกระจก ทำการทดลอง 4 วัน ผลการศึกษาพบว่า ผักตบชวาที่ได้รับ Cr^{3+} 1 มิลลิโมล มีการเจริญเติบโตดีในวันที่ 2 และเมื่อผ่านไป 4 วัน อัตราการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์มีการลดลง จากการศึกษาสรุปได้ว่าการดูดซึมโครเมียมของผักตบชวาส่วนใหญ่จะมีการสะสมที่ราก และบางส่วนมีการ translocation ไปสะสมในใบ และแสงมีความจำเป็นอย่างมากในการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช (Paiva et al., 2009)

การศึกษาการเพิ่มขึ้นของแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายสีเขียวด้วยแสงจากหลอด LED โดยทำการศึกษาผลของแสงต่ออัตราการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของสาหร่าย ผลการศึกษาพบว่าแคโรทีนอยด์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามแนวขนานกับคลอโรฟิลล์บี และการสะสมแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายสีเขียวเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน นอกจากนี้การศึกษาพบว่าสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.40 ± 0.01 กรัม และผลผลิตมวลชีวภาพเท่ากับ 0.27 ± 0.01 กรัม จากการศึกษาสรุปได้ว่าคุณภาพของแสงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสะสมแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสีเขียว (Fu et al., 2013)

การศึกษาผลของแสง LED ต่อการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ทำการศึกษาโดยให้แสงแก่สาหร่ายที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ได้แก่ แสงสีขาว (380-760 นาโนเมตร) แสงสีแดง (620-645 นาโนเมตร) แสงสีเหลือง (587-595 นาโนเมตร) แสงสีเขียว (515-540 นาโนเมตร) และแสงสีน้ำเงิน (460-475 นาโนเมตร) ผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายที่ได้รับแสงสีแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อ

เปรียบเทียบกับสาหร่ายที่ได้รับแสงสีอื่น และความเข้มแสงที่สูงขึ้นส่งผลให้มวลชีวภาพของสาหร่ายมากขึ้นด้วย (Wang et al., 2007)

การศึกษาผลของแสงต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของต้นสันตะวา ได้ทำการศึกษาโดยวัดผลของการตอบสนองโดยใช้แสงในห้องปฏิบัติการทดลอง ซึ่งพบว่าสปีชีส์ของพืชชนิดนี้ต้องการแสงที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยการกระตุ้นของแสงนั้นจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโต เพราะแสงจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างของราก หรือทำให้รากเจริญเติบโตและยาวขึ้น (Tavechio and Thomaz, 2003)

การศึกษาผลของแสงที่ต่างกันต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ โดยใช้แสงสีขาว สีม่วง สีเขียว และในที่ไม่มีแสง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงนั้นขึ้นอยู่กับที่อยู่อาศัยของพืชว่าอันไหนที่จะตอบสนองต่อกระบวนการ ซึ่งแสงสีขาวหรือแสงธรรมชาตินั้นทำให้เกิดความเข้มข้นของออกซิเจนสูงที่สุด รองลงมาคือแสงสีม่วง สีเขียว และในที่ที่ไม่มีแสง ตามลำดับ และการศึกษานี้ยังพบอีกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ต่ำหรือสีม่วงนั้นมีประสิทธิภาพต่อการดูดซึมกระบวนการสังเคราะห์แต่แสงสีเขียวนั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซึมนั้นที่ไม่ดี (Vaz et al.)

การศึกษาผลของการเพิ่มรังสี UV ต่อประสิทธิภาพของการใช้น้ำและการผลิตมวลชีวภาพและกลไกของ photoprotective ต้นอ่อนต้นกระวาน ทดลองโดยการปลูกต้นไม้กลางแจ้งภายใต้เงื่อนไข ดังนี้ ปลูกโดยมีรังสี UV และปลูกโดยการเพิ่มรังสี UV-A และปลูกโดยการเพิ่ม UV-A +UV-B ผลการศึกษาพบว่าต้นอ่อนต้นกระวาน จะผลิตมวลชีวภาพมากขึ้นเมื่อสัมผัสกับระดับที่เหนือกว่ารังสี UV-A หรือ UV-A + UV-B โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้ระดับน้ำที่ต่ำ และการเพิ่มขึ้นของรังสี UV-A อาจมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการผลิตมวลชีวภาพของพืช (Bernal et al., 2015)

การศึกษาผลของแสงสีแดง สีน้ำเงินและสีขาวของหลอดไฟ LED (Light Emitting Diodes) ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม และคุณภาพสำหรับนำไปบริโภคได้ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยวิธีไม่ใช้ดิน โดยทำการศึกษาแสงที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ แสงของหลอดไฟ LED สีแดงผสมกับสีน้ำเงิน แสงของหลอดไฟ LED สีแดงผสมกับสีน้ำเงิน และสีขาว และแสงสีขาวจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งทดสอบมวลชีวภาพของพืชและการสะสมของคลอโรฟิลล์ (chl) แคโรทีนอยด์ (car) โปรตีนที่ละลายน้ำได้ น้ำตาลและไนเตรตในใบของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกภายใต้หลอดไฟ LED ที่แสงสีแดงผสมกับสีน้ำเงินและสีขาว ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตดีที่สุดจากการให้แสงทั้ง 3 ประเภท โดยการวัดการเจริญเติบโตของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอม (Lin et al., 2013)

การศึกษาผลของคุณภาพของแสงจากหลอด LED ที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตการสังเคราะห์แสงและคุณภาพทางโภชนาการของกะหล่ำปลี โดยให้แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน แสงสีน้ำเงินผสมกับแสงสีแดง อัตราส่วน 3/1 แสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7/1 และแสงสีขาวผสมกับ

แสงสีแดงและสีน้ำเงิน อัตราส่วน 3/2/1 และมีชุดควบคุมคือแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ผลการศึกษา พบว่าแสงสีแดงสามารถเพิ่มมวลชีวภาพ และเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นได้ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ (a + b) มีค่าสูงสุดในแสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7/1 และคลอโรฟิลล์เอและบี อัตราการสังเคราะห์แสง และอัตราการคายน้ำภายใต้แสงสีแดงมีค่าสูงสุดและเพิ่มขึ้น 43.8% และ 55.1% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จากการศึกษาสรุปได้ว่าแสงสีแดงผสมกับแสงสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7/1 เป็นส่วนผสมที่ดีที่สุดในการเพิ่มปริมาณของคลอโรฟิลล์เอและบี รวมถึงอัตราการสังเคราะห์แสงการเจริญเติบโตของพืช และคุณค่าทางโภชนาการ (Qian et al., 2016)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าจอกเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก แต่มีข้อจำกัดคือหากได้รับโลหะหนักในปริมาณที่มากจะส่งผลให้จอกมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา หรือแสดงความเป็นพิษออกมา เช่น ใบมีสีเหลือง เหี่ยว เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพืชน้ำหลายชนิดที่มีความสามารถในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ผักตบชวา เป็นต้น นอกเหนือจากแสงธรรมชาติแล้วยังมีการศึกษาผลของแสงเทียมในการปลูกพืชเพื่อดูการเจริญเติบโต และการตอบสนองต่อแสง จึงเป็นการศึกษาที่มีความน่าสนใจในการนำมาปรับใช้กับการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ทำงานวิจัย

3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพืชที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการทำวิจัยเป็นตัวอย่างพืชที่เก็บมาจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

3.1.2 สถานที่ที่ใช้ในการปลูกพืชในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการเลี้ยงพืชในเรือนทดลองที่สร้างขึ้นที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 สถานที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือของห้องปฏิบัติการ ชั้น 4 ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพืช

3.2.1.1 กระชอน

3.2.1.2 ถุงใส่ตัวอย่างพืช

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงพืช

3.2.2.1 ภาชนะแก้วทรงสี่เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 นิ้ว

3.2.2.2 ถังน้ำขนาด 50 ลิตร

3.2.2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง: Mettler Toledo

3.2.2.4 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

3.2.2.5 โถดูดความชื้น

3.2.2.6 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland' No.2

3.2.2.7 สารละลาย Clorox 0.1%

3.2.2.8 สารละลายซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4 \bullet 7H_2O$)

3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.2.3.1 เครื่องวัดความเข้มแสง ยี่ห้อ Hobo รุ่น Hobo Light Intensity Model: Pendant Temperature / Light Logger, USA

3.2.3.2 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดปรับปริมาตร ปิเปต ไมโครปิเปต หลอดหยด แท่งแก้วคนสาร กระดาษกรอง กระดาษ label ถุงมือ Aluminum foil ขวดพลาสติก เป็นต้น

3.2.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1. เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1) เครื่อง Microwave digester: Ethos one, ACT36–Rev01–03/06 Model, Italy

2) เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS): Agilent Technologies ID.N G8431A, USA

3) เครื่องวัด pH: Hanna instrument

4) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

5) เครื่องวัด Dissolved Oxygen (DO meter): Hach, sension 156, USA

2. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1) สารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland' No.2

2) Nitric acid, HNO_3: Qrec, AR-GS57006177

3.2.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

1. เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างพืช

1) เครื่อง Microwave digester: Ethos one, ACT36–Rev01–03/06 Model, Italy

2) เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS): Agilent Technologies ID.N G8431A, USA

3) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง: Metter Toledo

4) ตู้อบ

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

เตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland'No.2 ประกอบด้วย KNO_3 606.6 มิลลิกรัมต่อลิตร $Ca(NO_3)_2$ 656.4 มิลลิกรัมต่อลิตร H_3BO_3 2.86 มิลลิกรัมต่อลิตร NH_4PO_4 115.03 มิลลิกรัมต่อลิตร $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร $FeCl_3$ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร $MgSO_4$ 240.76 มิลลิกรัมต่อลิตร H_2MoO_4 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร และ $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 1.81มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังน้ำขนาด 50 ลิตร (Hoagland and Arnon, 1950)

3.3.2 การเตรียมพืช

เก็บตัวอย่างพืชที่มีรากและใบที่แข็งแรง มีสภาพที่สมบูรณ์ จากนั้นนำพืชมาล้างทำความสะอาดด้วย Clorox 0.1% และจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำพืชไปเลี้ยงไว้ในถังที่มีสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland'No.2 ก่อนนำพืชไปทำการทดลอง

3.3.3 การเตรียมภาชนะแก้วสำหรับปลูกพืช

ภาชนะแก้วที่ใช้สำหรับปลูกพืชมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 นิ้ว ความจุ 3 ลิตร นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น และผึ่งให้แห้ง แล้วติดฉลากที่ภาชนะแก้วทุกใบ

3.3.4 การเตรียมการทดลอง

งานวิจัยนี้มีการวางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Block Design โดยใช้จอกเป็นพืชในการทดลอง ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

3.3.4.1 ศึกษาผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีในน้ำของจอก มีตำรับการทดลอง 12 ตำรับ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวพืชมี 1 ช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว คือ 7 วัน มีการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในแต่ละตำรับการทดลอง มีหน่วยการทดลอง 96 หน่วย รวมหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมอีก 192 หน่วย ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองในงานวิจัยทั้งหมด 288 หน่วย

สำหรับตำรับการทดลอง 9 ตำรับ มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 440-470 นาโนเมตร

2. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 620-780 นาโนเมตร

3. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 440-470 นาโนเมตร กับ 620-780 นาโนเมตรสลับกัน

4. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงสีขาว

5. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 440-470 นาโนเมตร

6. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 620-780 นาโนเมตร

7. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 440-470 นาโนเมตร กับ 620-780 นาโนเมตรสลับกัน

8. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + แสงสีขาว

9. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 440-470 นาโนเมตร

10. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 620-780 นาโนเมตร

11. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 440-470 นาโนเมตร กับ 620-780 นาโนเมตรสลับกัน

12. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + แสงสีขาว

3.3.4.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่จอกสามารถดูดซึมสังกะสี โดยเลือกความยาวคลื่นแสงที่ทำให้จอกสะสมสังกะสีได้มากที่สุด จากการทดลองขั้นที่ 1 (แสงสีแดง) จากนั้นปรับเวลาในการได้รับแสงเป็น 6, 8 และ 10 ชั่วโมง มีการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในแต่ละตำรับการทดลอง มีหน่วย

Chulalongkorn University

การทดลอง 72 หน่วย รวมหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมอีก 144 หน่วย ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองในงานวิจัยทั้งหมด 216 หน่วย

สำหรับตำรับการทดลอง 9 ตำรับ มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลา 6 ชม.

2. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลา 8 ชม.

3. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม +ระยะเวลา 10 ชม.

4. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลา 6 ชม.

5. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลา 8 ชม.

6. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลา 10 ชม.

7. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + สีของแสงที่เหมาะสม +ระยะเวลา 6 ชม.

8. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + สีของแสงที่เหมาะสม +ระยะเวลา 8 ชม.

9. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + สีของแสงที่เหมาะสม +ระยะเวลา 10 ชม.

3.3.4.3 ศึกษาผลของแสงต่อความเข้มข้นสังกะสีที่แตกต่างกัน เมื่อได้ผลการทดลองที่ดีที่สุดในขั้นตอนที่1 และ 2 (แสงสีแดง และระยะเวลา 6 ชั่วโมง) แล้วทดลองปรับความเข้มข้นของสังกะสีเป็น 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีตำรับการทดลอง 7 ตำรับ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวพืชมี 1 ช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว คือ 7 วัน มีการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในแต่ละตำรับการทดลอง มีหน่วยการทดลอง 72 หน่วย รวมหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมอีก 96 หน่วย ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองในงานวิจัยทั้งหมด 168 หน่วย

สำหรับตำรับการทดลอง 7 ตำรับ มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม

2. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 10 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม

3. ในสารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + Zn^{2+} 15 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม

4. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 5 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม

5. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 10 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม

6. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + Zn^{2+} 15 มิลลิกรัมต่อลิตร + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม

7. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + ไม่มี Zn^{2+} + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม

3.3.4.4 การศึกษาความแตกต่างของจำนวนต้นที่มีผลต่อการดูดซึมสังกะสี นำผลการทดลองของแสงที่ดูดซึมสังกะสีที่ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้นทั้ง 3 ขั้นตอน (แสงสีแดง ระยะเวลา 6 ชั่วโมง และความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) มาทำการทดลองด้วยการกำหนดความหนาแน่นของจอก มีตำรับการทดลอง 7 ตำรับ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวพืชมี 1 ช่วงระยะเวลา เก็บเกี่ยว คือ 7 วัน มีการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในแต่ละตำรับการทดลอง มีหน่วยการทดลอง 72 หน่วย รวมหน่วยทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมอีก 96 หน่วย ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองในงานวิจัยทั้งหมด 168 หน่วย

สำหรับตำรับการทดลอง 7 ตำรับ มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + จำนวนจอก 2 ต้นต่อกระถางแก้ว + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม + ความเข้มข้นที่เหมาะสม

2. สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก + จำนวนจอก 4 ต้นต่อกระถางแก้ว + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม + ความเข้มข้นที่เหมาะสม

3. ในสารละลายที่มีธาตุอาหารพืช ปลูกจอก + จำนวนจอก 6 ต้นต่อกระถางแก้ว + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม + ความเข้มข้นที่เหมาะสม

4. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก จำนวนจอก 2 ต้นต่อกระถางแก้ว + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม + ไม่มี Zn^{2+}

5. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก จำนวนจอก 4 ต้นต่อกระถางแก้ว + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม + ไม่มี Zn^{2+}

6. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชปลูกจอก จำนวนจอก 6 ต้นต่อกระถางแก้ว + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม + ไม่มี Zn^{2+}

7. ชุดควบคุม สารละลายที่มีธาตุอาหารพืชไม่มีจอก + สีของแสงที่เหมาะสม + ระยะเวลาที่เหมาะสม + ความเข้มข้นที่เหมาะสม

3.4. การวิเคราะห์สังกะสีในพืชและในน้ำ

3.4.1 การสกัดตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างพืชที่ได้มาตัดแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนราก และส่วนใบ นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่อบเสร็จแล้ว เข้าโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างพืชมาชั่งน้ำหนักแห้ง บดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่อง Microwave digester (Ethos one, ACT36–Rev01–03/06 Model, Italy) ซึ่งเติม HNO_3 จากนั้นนำตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีทั้งหมดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Favas et al., 2012)

3.4.2 การสกัดตัวอย่างน้ำ

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทุกวัน ซึ่งจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS) และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS) จากนั้นนำตัวอย่างน้ำส่วนหนึ่งไปสกัดด้วยเครื่อง Microwave digester (Ethos one, ACT36–Rev01–03/06 Model, Italy) เติม HNO_3 แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีทั้งหมดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Link et al., 1999)

3.5 การรวบรวมและประมวลผลที่ได้จากงานวิจัย

นำผลที่ได้จากงานวิจัยไปทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณสังกะสีในพืช โดยใช้วิธีการทางสถิติ คือ One - way ANOVA และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Tukey’s Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ซึ่งใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 17.0

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการเปรียบเทียบผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก

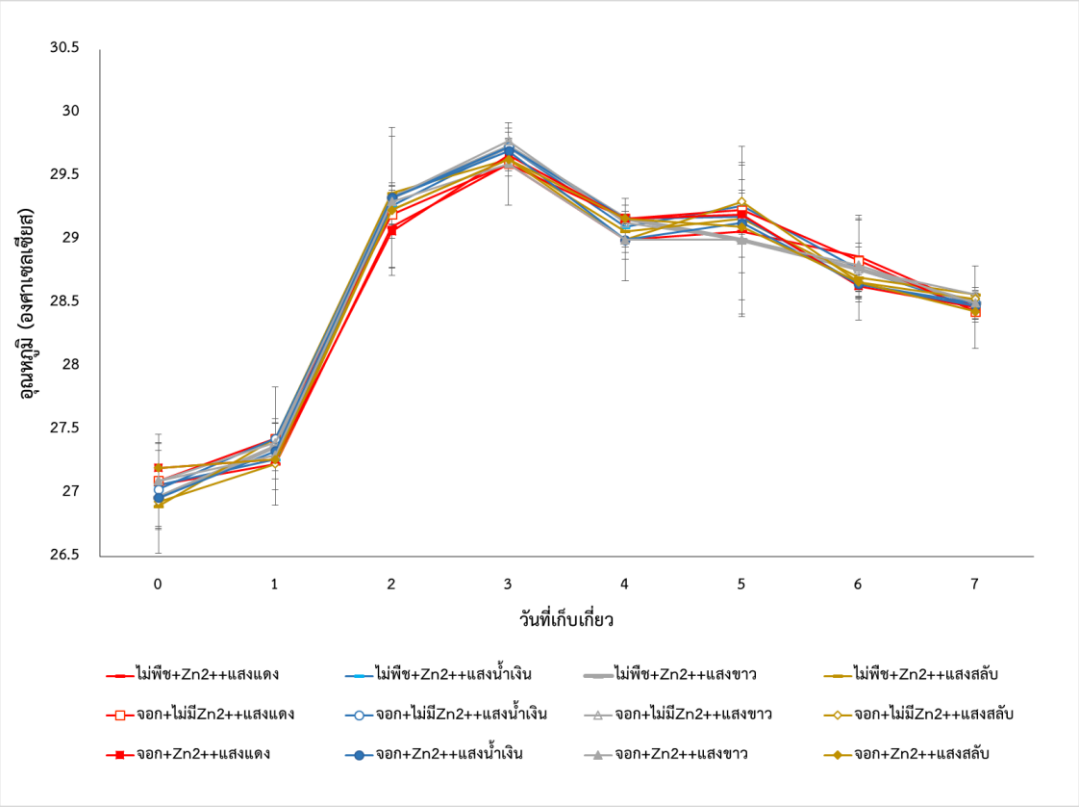
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2

ดัชนีชี้วัดหรือพารามิเตอร์ในการบ่งบอกคุณภาพน้ำ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ 1) ด้านกายภาพ เช่น อุณหภูมิ กลิ่น สี ความขุ่น และสารแขวนลอย เป็นต้น 2) ด้านเคมี เช่น ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นต้น และ 3) ด้านชีวภาพ เช่น จุลินทรีย์ประเภทต่างๆ เป็นต้น (กรมชลประทาน, 2555)

4.1.1.1 อุณหภูมิ

การศึกษาตรวจวัดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26.9-29.78 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำสุดในวันที่ 0 ของการทดลอง ในทุกชุดการทดลอง เท่ากับ 26.9 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุดในวันที่ 3 ในทุกชุดการทดลอง คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.78 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในภาพที่ 4.1) ซึ่งเมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง 1 สัปดาห์ อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 มีการเพิ่มขึ้นและลดลงในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน อาจเป็นเพราะในการทดลองได้ทำการศึกษาภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน ทั้งนี้อุณหภูมิเป็นดัชนีชี้วัดลักษณะทางกายภาพของน้ำที่มีความสำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำและจุลินทรีย์ รวมถึงสัตว์น้ำต่างๆ (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข, 2560) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำจะมีความผันแปรตามสภาพอากาศ โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป และมีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่มีความผกผันกับอุณหภูมิของน้ำ คือ ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดน้อยลง และในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำลงก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศจะสามารถละลายลงไปในน้ำได้มากขึ้น ทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายเพิ่มสูงขึ้น (ชูชัย อนุเดชากุล, 2553) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในภาชนะบรรจุน้ำเกิดจากการที่มีแสงส่องผ่านลงไปในภาชนะแล้วมีการเปลี่ยนพลังงานจากพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต,

2539) ดังการศึกษาการดูดซึมโลหะหนักทองแดง สังกะสี และแมงกานีสด้วยเนื้อเยื่อของใบจากต้นอ้อยของนวรัตน์ อุดมประเสริฐ (2558) พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซึมโลหะหนักของต้นอ้อย โดยเมื่ออุณหภูมิลดลงการดูดซึมไอออนบวกก็จะลดลงเช่นกัน (Bowen, 1969) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพืชมีความต้องการในการระเหยน้ำมากขึ้น ทำให้คายน้ำมากยิ่งขึ้น พืชจึงต้องมีการดูดสารละลายธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นเพื่อแทนการคายน้ำออกไป นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง และพืชแต่ละชนิดจะมีการจำกัดอุณหภูมิของการเจริญเติบโต ถ้ามีอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไปพืชจะหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นอุณหภูมิจึงต้องเหมาะสมเพื่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น พืชบางชนิดมีการเจริญเติบโตได้ดีในที่อุณหภูมิต่ำและจะเจริญเติบโตได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส ได้แก่ ผักกาด กะหล่ำปลี เป็นต้น (Marr, 2016)

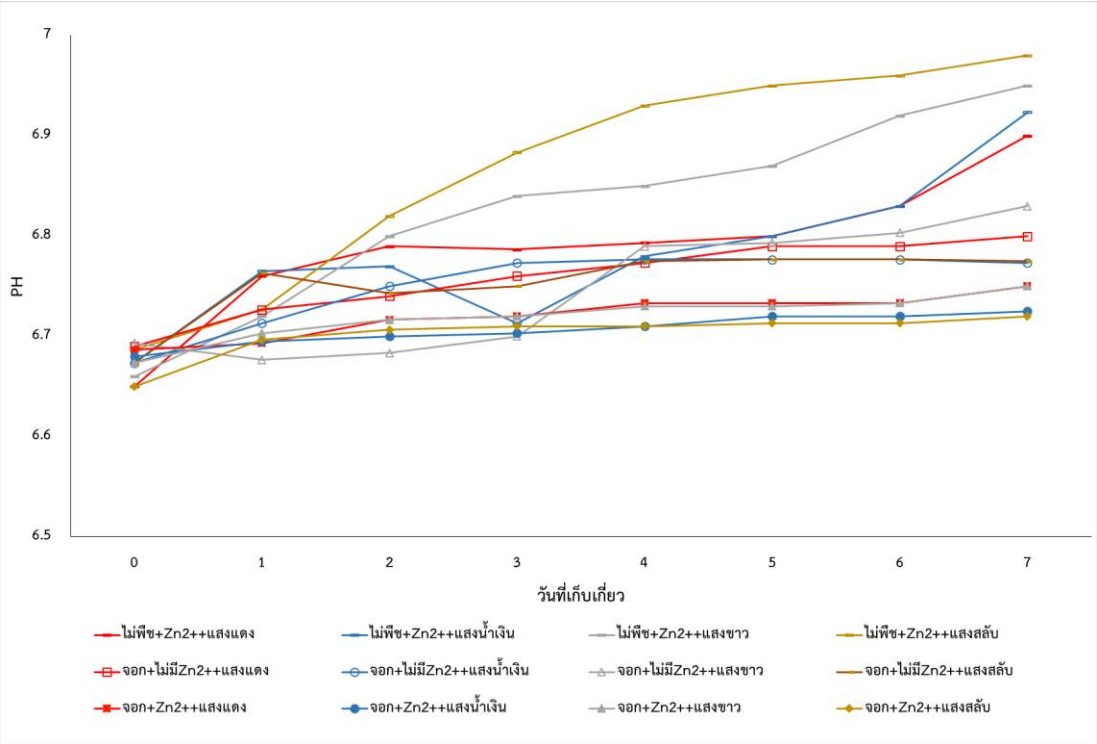


ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช

4.1.1.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

การศึกษาตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในชุดควบคุมไม่มีพืช ชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 6.65-6.98, 6.67-6.83, 6.65-6.75 ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพ 4.2 และตาราง 4.1) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันแรกของการทดลอง ซึ่งเมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความเป็นกรด-ด่าง เป็นค่าที่แสดงความเข้มข้นหรือปริมาณของไฮโดรเจนอิออนในน้ำ (H^+ หรือ H_3O^+) ค่าความเป็นกรดและด่างสามารถบอกให้ทราบถึงสิ่งเจือปนในแหล่งน้ำในรูปของสารที่ให้อนุมูลกรดหรือด่าง การวัดความเป็นกรดและด่างเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำที่มีประโยชน์ เนื่องจากมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารที่ใช้เลี้ยงพืช รวมถึงการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำอีกด้วย และสามารถบอกถึงคุณสมบัติในการกัดกร่อนของน้ำ นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสารละลายนั้นๆด้วย (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข, 2560) ความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญต่อกระบวนการการทำงานต่างๆ ได้แก่ การตกผลึก การบำบัดน้ำเสีย และการสลายตัวของสาร เป็นต้น โดยระดับความเป็นกรด-ด่างขึ้นอยู่กับปัจจัยทางชีวภาพ และปัจจัยทางเคมีของกระบวนการต่างๆ พืชมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น เนื่องจากใบและลำต้นมีการเจริญเติบโต และพืชมีการดูดไนเตรทไปใช้เป็นส่วนมาก และปลดปล่อยไบคาร์บอเนตในปริมาณที่เท่ากัน ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำจึงมีส่วนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไป (พิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์, 2552) ดังการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการดูดซึมสารละลายโลหะหนัก ในพืชสี่ชนิดได้แก่ ผักกาดหอม หญ้า cocksfoot ข้าวไร ผักสลัดน้ำ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง มีผลทำให้การดูดซึมของโลหะหนักนั้นมากขึ้น เมื่อพืชดูดซึมโลหะหนักมากขึ้นก็จะทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้นในสารละลาย ส่วนการลดลงของการดูดซึมนั้นอาจเป็นผลมาจากการแข่งขันของไฮโดรเจนไอออน (Hatch et al., 1988)



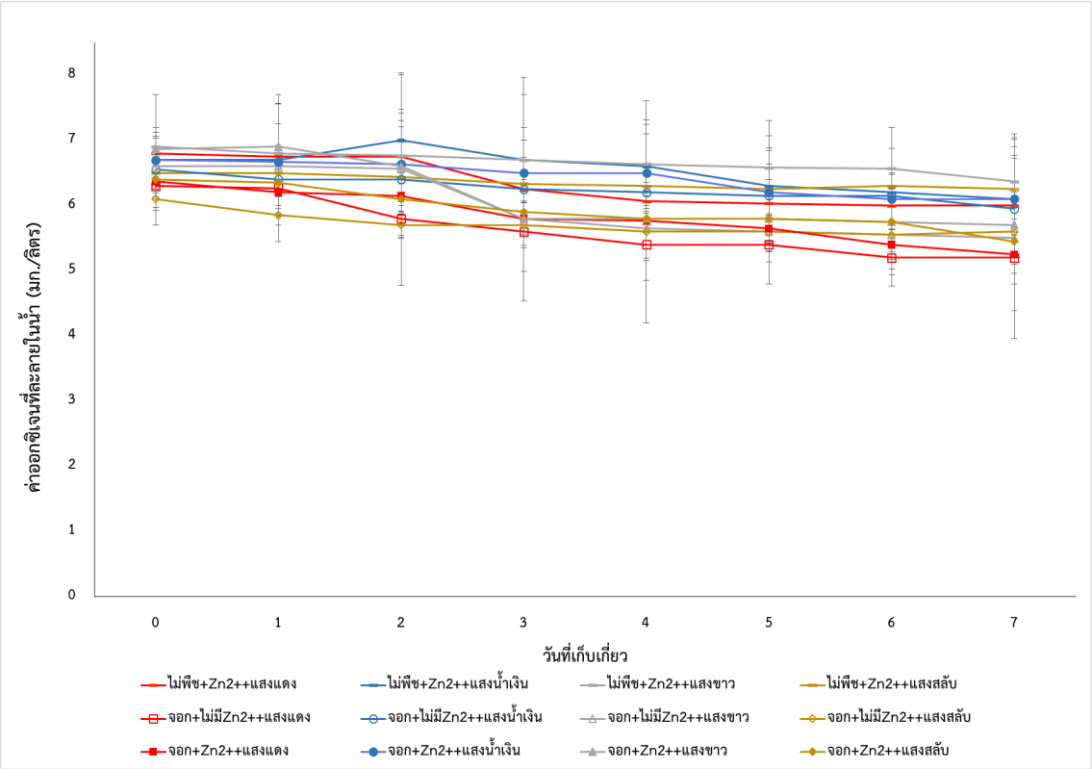
ภาพที่ 4.2 กราฟค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช

ตารางที่ 4.1 ช่วงความความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช

treatments	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
ชุดควบคุม ไม่มีพืช+Zn^{2+} + แสงสีแดง	6.65-6.9
ชุดควบคุม ไม่มีพืช+Zn^{2+} + แสงน้ำเงิน	6.67-6.92
ชุดควบคุม ไม่มีพืช+Zn^{2+} + แสงสีขาว	6.66-6.95
ชุดควบคุม ไม่มีพืช+Zn^{2+} + แสงสีแดงสลับแสงสีน้ำเงิน	6.67-6.98
ชุดควบคุม ไม่มี Zn^{2+} + จอก+ แสงสีแดง	6.69-6.8
ชุดควบคุม ไม่มี Zn^{2+} + จอก+ แสงสีน้ำเงิน	6.67-6.78
ชุดควบคุม ไม่มี Zn^{2+} + จอก+ แสงสีขาว	6.68-6.83
ชุดควบคุม ไม่มี Zn^{2+} + จอก+ แสงสีแดงสลับแสงสีน้ำเงิน	6.67-6.78
ชุดทดลอง จอก+ Zn^{2+} + แสงสีแดง	6.69-6.75
ชุดทดลอง จอก+ Zn^{2+} + แสงสีน้ำเงิน	6.68-6.73
ชุดทดลอง จอก+ Zn^{2+} + แสงสีขาว	6.67-6.75
ชุดทดลอง จอก+ Zn^{2+} + แสงสีแดงสลับแสงสีน้ำเงิน	6.65-6.72

4.1.1.3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissloved Oxygen; DO)

การศึกษาตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำของสารละลายธาตุอาหารชุดควบคุมไม่มีพืช ชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-7, 5.2-6.6 และ 5.25-6.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยในแต่ละชุดการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มลดลงจากวันแรกในทุกชุดการทดลอง (ดังแสดงในภาพ 4.2) ซึ่งเมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าออกซิเจนละลายน้ำของสารละลายธาตุอาหาร พบว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีพืช และชุดทดลองที่จอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีพบว่า มีความแตกต่างกับชุดควบคุมที่ไม่มีพืช และชุดทดลองที่จอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชในน้ำ โดยการสังเคราะห์แสงของพืชจะปล่อยออกซิเจนอิสระออกมาละลายในน้ำ จากนั้นพืชได้มีการนำออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันของบรรยากาศ และความเค็มของน้ำ โดยเมื่ออุณหภูมิและความเค็มของน้ำลดลง ออกซิเจนจะละลายน้ำได้มากขึ้น ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำจะอยู่ในช่วง 7-14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใต้ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนยังได้มาจากจากปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และการแพร่จากบรรยากาศลงสู่แหล่งน้ำด้วย (กรมประมง, 2560) และพันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก และคณะ (2558) ได้กล่าวว่าออกซิเจนละลายออกมาจากบรรยากาศและจากการสังเคราะห์แสงโดยพืชน้ำ และลดน้อยลงจากการสลายตัวของมวลชีวภาพพืชและสารอินทรีย์อื่น ๆ

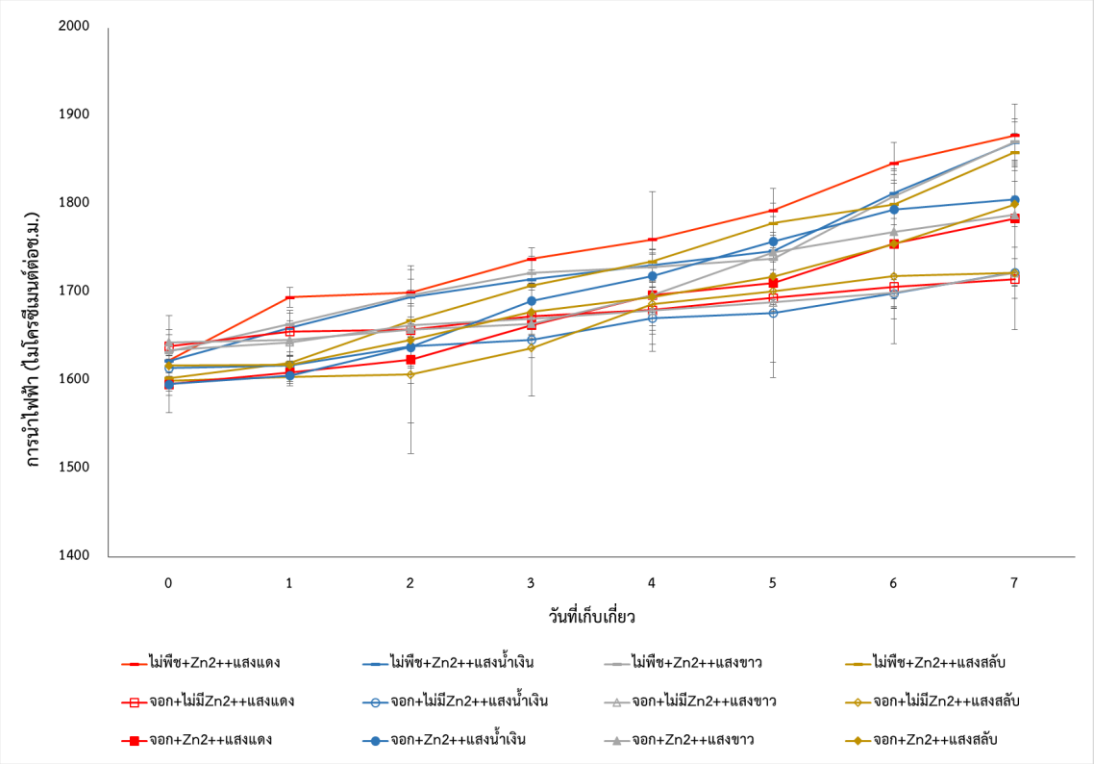


ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช

4.1.1.4 ค่าการนำไฟฟ้า

การศึกษาตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีความผันแปรในช่วงวันแรกๆ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยชุดควบคุมที่ไม่มีพืช ชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1603-1878.33, 1600-1723 และ 1596-1805.5 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.3) ซึ่งเมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของน้ำ สามารถบ่งบอกถึงความผิดปกติของน้ำจากการได้รับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ ชนิดของสารที่มีประจุ ส่วนใหญ่เกิดจากสารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุละลายอยู่ในน้ำยังมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำอีกด้วย (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข, 2560) ค่า

การนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกว่ามีการเพิ่มหรือลดของสารที่มีประจุละลายอยู่ในน้ำ โดยที่ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะมีสารที่มีประจุแตกตัวในน้ำเพิ่มขึ้นด้วย (ชูชัย อนุเดชากุล, 2553)



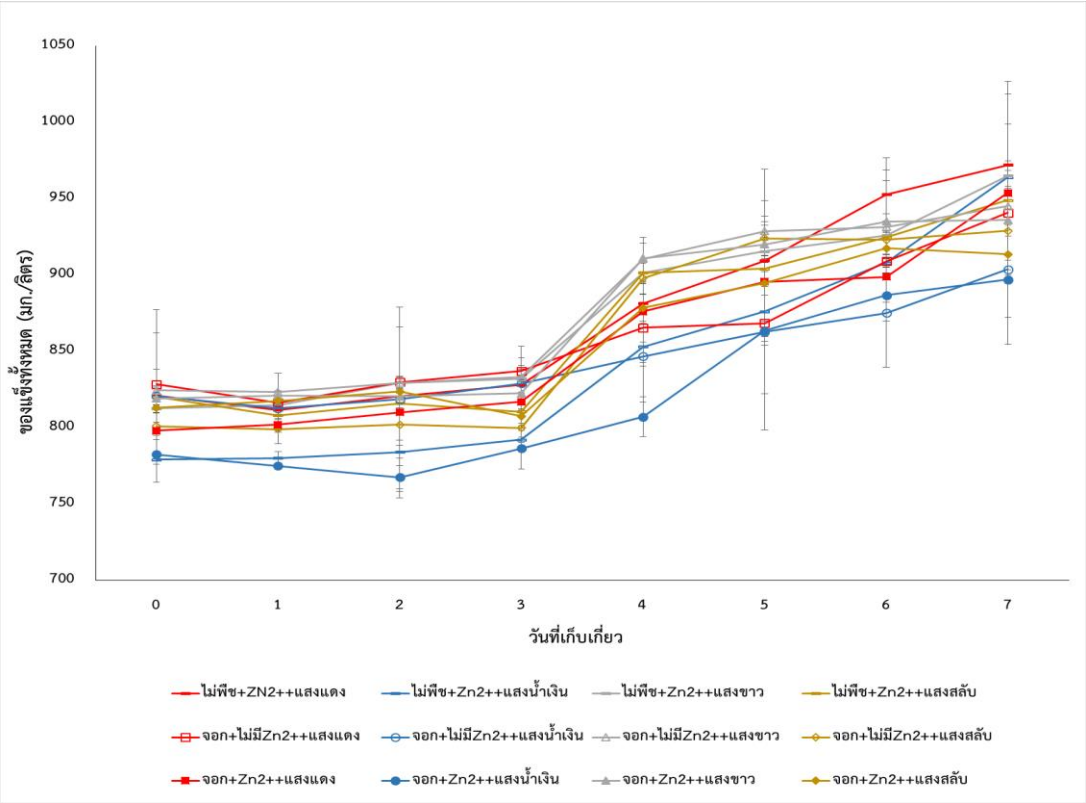
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1.5 ของแข็งละลายทั้งหมด

การศึกษาตรวจวัดของแข็งละลายทั้งหมดของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าของแข็งละลายทั้งหมดในชุดควบคุมไม่มีพืช ชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 779-972, 799-945 และ 767.5-953.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.4) โดยเมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจากวันแรก ของแข็งที่ละลายน้ำมีสามารถบอกปริมาณของธาตุเกลือในน้ำเสีย เช่น คลอไรด แบบคร่าวๆได้ (แสงดาว วงศ์ปัน, 2550) ค่าของแข็งละลายทั้งหมดสามารถบอกถึงความกระด้างของน้ำได้ โดยความกระด้างของน้ำจะมีผลต่อการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน และการดูดน้ำของพืช

โดยใช้แรงดันออสโมติกผ่านทางราก และค่าของแข็งละลายทั้งหมดไม่ควรเกิน 2800 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะจะทำให้พืชหยุดการเจริญเติบโต (ชูชัย อนุเดชากุล, 2553)

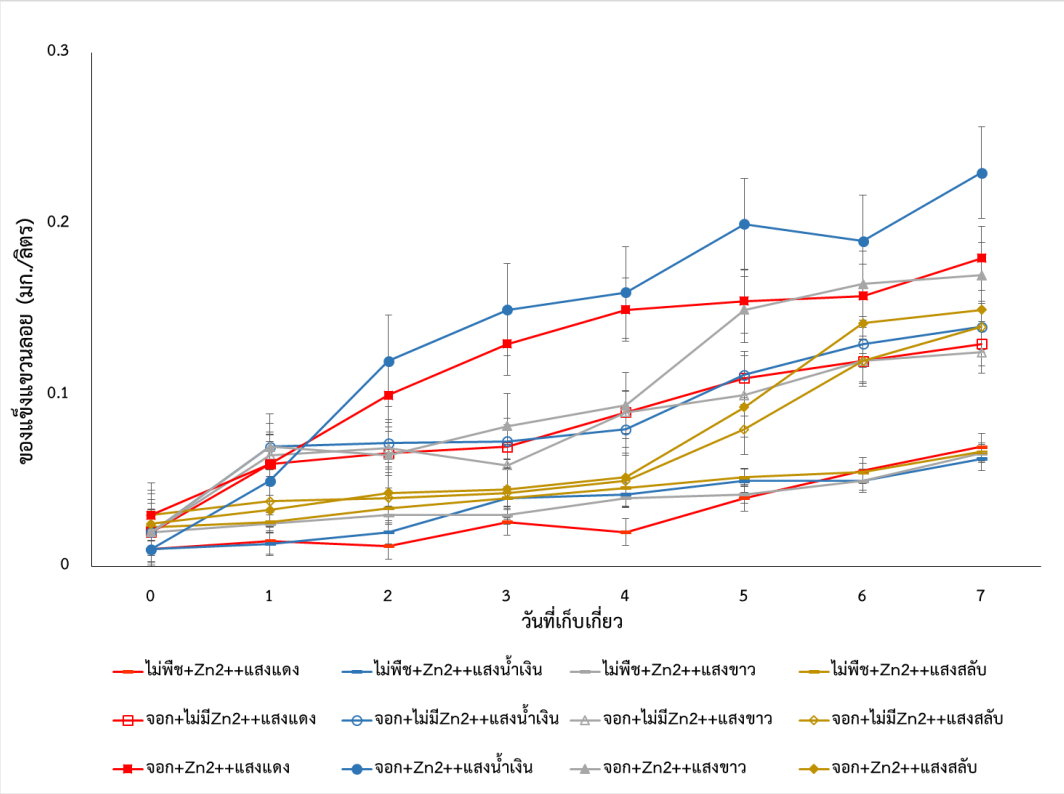


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าของแข็งละลายทั้งหมดของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช

4.1.1.6 ของแข็งแขวนลอย

การศึกษาตรวจวัดของแข็งแขวนลอยของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าของแข็งแขวนลอยชุดควบคุมที่ไม่มีพืช ชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.01-0.07, 0.02-0.14 และ 0.01-0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.5) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าในทุกชุดควบคุมไม่มีพืชมีความแตกต่างกับชุดชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และค่าของแข็งแขวนลอยในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดทดลองที่มีพืชและมีการเติมสังกะสี เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปพืชมีการหลุดร่วง และเหี่ยวเฉา และมีการตกตะกอนของธาตุต่างๆที่

เป็นส่วนประกอบของสารละลายธาตุอาหาร เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นแคลเซียมไอออน(Ca^{2+}) ซึ่งเป็นประจุไอออนที่ทำให้เกิดการตกตะกอนในสารละลายธาตุอาหาร จึงทำให้ชุดทดลองที่มีพืชและมีการเติมสังกะสีมีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองไม่มีพืช และชุดทดลองไม่มีการเติมสังกะสี

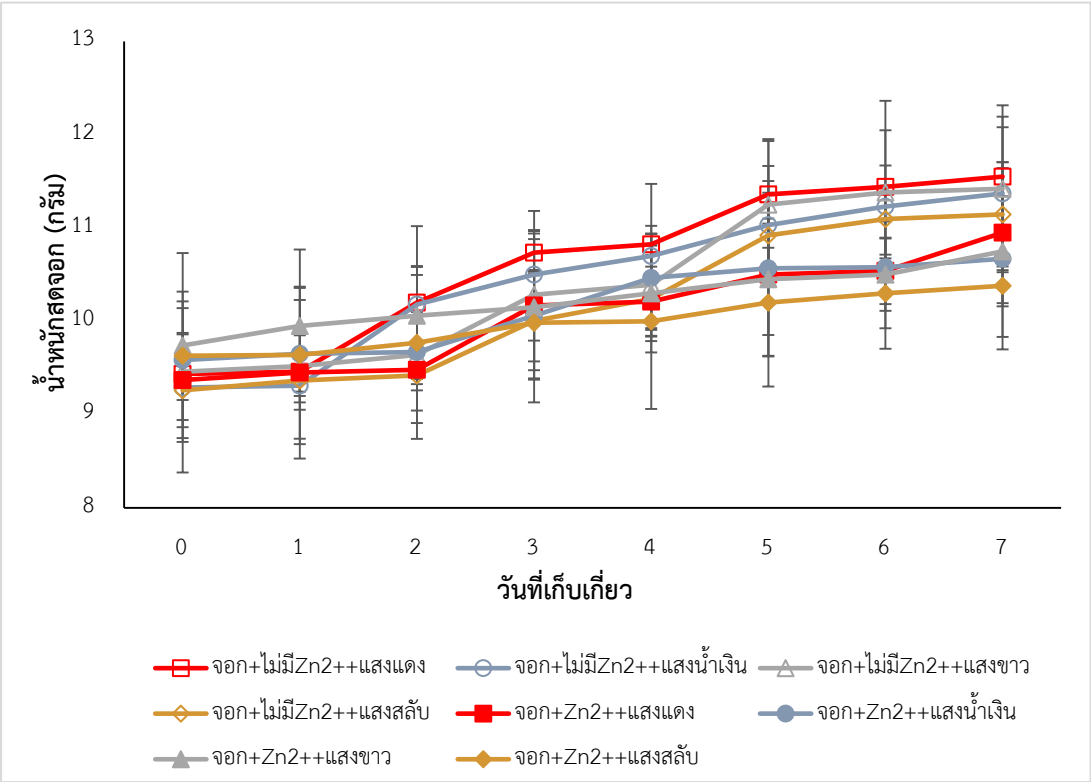


ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืช

4.1.2 การเจริญเติบโตของจอก

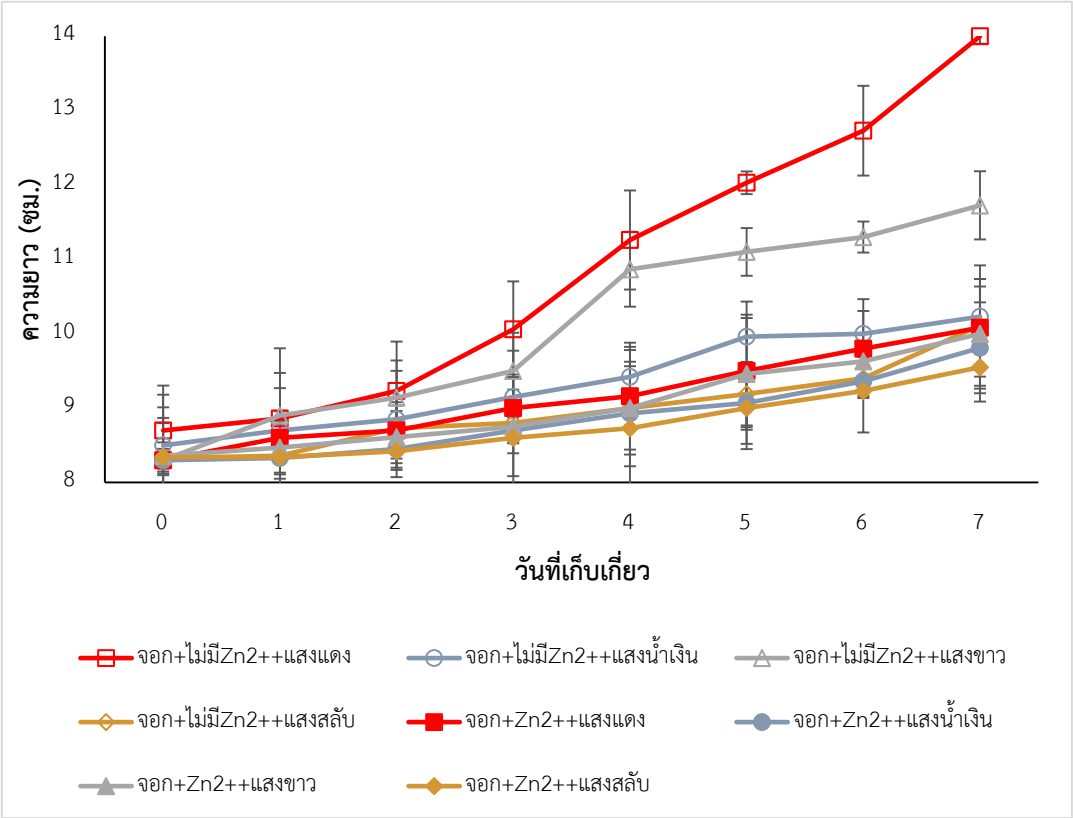
การศึกษาการเจริญเติบโตของจอกจากการชั่งน้ำหนักสด ตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าจอกมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในทุกๆแสง และในช่วงวันแรกของการเลี้ยงพืชการเจริญเติบโตของจอกไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อผ่านไป 5 วัน ในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีจะมีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดังแสดงในภาพที่ 4.6) อาจเกิดจากสังกะสีมีผลต่อการเจริญเติบโตของจอก เมื่อจอกได้รับสังกะสีในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้การเจริญเติบโตน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม แนวโน้มของการเจริญเติบโตในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรก็เพิ่มขึ้น โดยจอกที่ได้รับแสงสีแดงจะมีการเจริญเติบโตมากที่สุด เมื่อ

เปรียบเทียบกับชุดทดลองมีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ได้รับแสงต่างๆ รองลงมาคือจอกที่ได้รับแสงสีขาว จอกที่ได้รับสีน้ำเงิน และจอกที่ได้รับแสงสลับ โดยมีการเจริญเติบโตในวันที่ 7 เท่ากับ 10.95 ± 0.1, 10.75 ± 0.1 , 10.67 ± 0.1 และ10.38 ± 0.1 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเจริญเติบโตของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าการเจริญเติบโตของจอกในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้มีงานวิจัยของ Amoozgar et al. (2017) ที่ได้ทำการศึกษาผลของแสง LED ต่อการสังเคราะห์แสง และองค์ประกอบในการดูดซึมแร่ธาตุของผักกาด โดยใช้แสงสีขาว สีน้ำเงิน และสีแดง เปรียบเทียบใน 2 สถานที่ปลูก คือ ในภาวะเรือนกระจก กับ ในห้องที่ใช้แสง LED พบว่าแสงสีแดงมีอัตราส่วนของน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งดีที่สุด เมื่อเทียบกับแสงสีขาวและแสงสีน้ำเงิน และอัตราการเจริญเติบโตของต้นผักกาด จากการเทียบขนาดของรากและลำต้น พบว่าในห้องที่ใช้แสง LED มีค่าอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าในภาวะเรือนกระจก และการศึกษานี้ยังพบอีกว่าค่าของคลอโรฟิลล์ในอัตราการสังเคราะห์แสงนั้นมีค่ามากที่สุดในแสงสีแดง ซึ่งการดูดซึมของแสงนั้นจะนำไปสู่การขจัด reactive oxygen species ในพืชด้วยการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกลไกการกำจัด ROS ซึ่งยีนเหล่านั้นจะกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์ เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเพื่อทำลายสารอนุมูลอิสระ ทำให้พืชสามารถรักษาสมดุลภายในเซลล์เอาไว้ได้ โดยการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Figueroa et al. (1995) ที่ได้ศึกษาผลของแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงต่อการเจริญเติบโต และกระบวนการการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ผลการศึกษา พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ได้รับแสงสีแดงมีค่ามากกว่าสาหร่ายที่ได้รับแสงสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงที่ดีกว่าของแสงสีแดง เนื่องจากแสงสีแดงมีช่วงความยาวคลื่นที่พืชดูดกลืนพลังงานไปใช้ในการเจริญเติบโตมากที่สุด นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับกับการศึกษาของ Runkle (2016) ที่ได้อธิบายถึงผลของแสงสีแดงต่อการเจริญเติบโตของพืช ว่าโดยทั่วไปนั้นแสงสีแดงช่วยทำให้พืชเจริญเติบโต โดยมีหลายการศึกษาที่ใช้แสงสีแดงจากหลอด LED ในการปลูกพืช และพบว่าผลของแสงสีแดงนั้นสามารถทำให้การดูดซึมคลอโรฟิลล์ในการสังเคราะห์แสงดีขึ้น



ภาพที่ 4.7 การเจริญเติบโตของจอกโดยการชั่งน้ำหนักสด

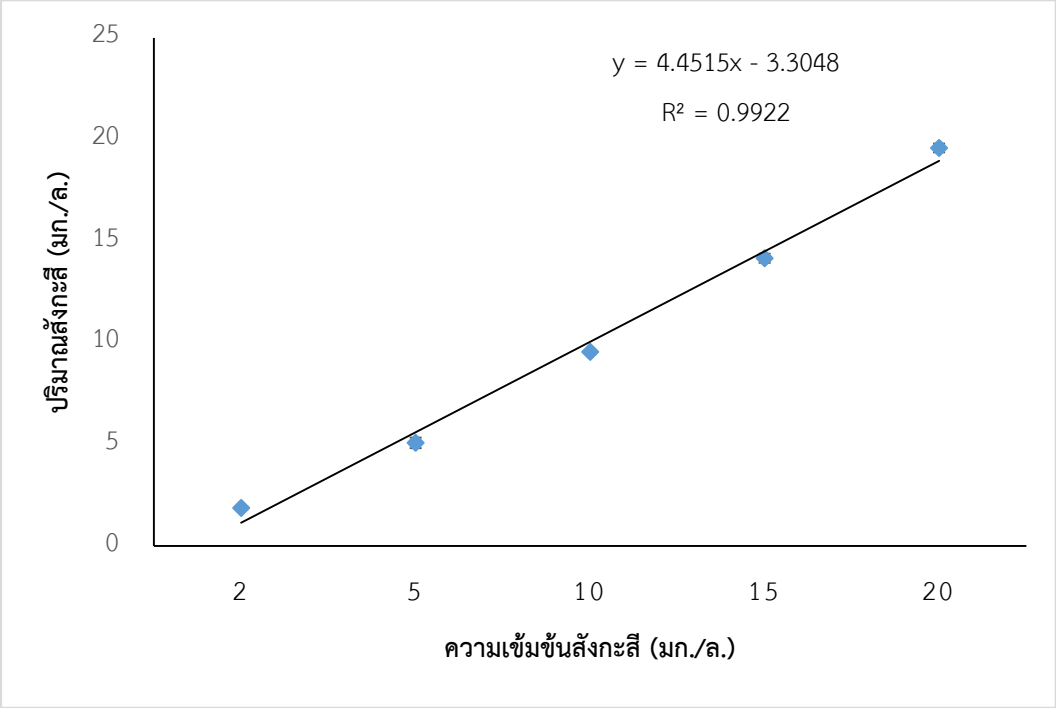
การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากของจอก พบว่า ในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี ความยาวรากอยู่ระหว่าง 8.3-14 ± 0.1 เซนติเมตร และในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรความยาวรากอยู่ระหว่าง 8.3-10.08 ± 0.1 เซนติเมตร (ดังแสดงในภาพที่ 4.7) เมื่อใช้สถิติสถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความยาวรากในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าความยาวรากในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพพืช ทำให้สามารถวัดความทนต่อความเป็นพิษของพืชได้ และเป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์ของพืชในการเจริญเติบโต (พิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์, 2552) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าพืชในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีจะมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าพืชในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรทั้งนี้ อาจเนื่องจากสังกะสีมีความเป็นพิษต่อพืช แต่ยังเป็นพิษที่พืชสามารถทนได้ เพราะจะเห็นได้ว่าทั้งชุดควบคุม และชุดทดลองพืชมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.8 การเจริญเติบโตของจอกจากการวัดความยาวราก เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ในการศึกษาประสิทธิภาพการสะสมของสังกะสีด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ได้ทำการทำ Calibration Curve เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ โดยทำการเตรียม Zn^{2+} ที่ความเข้มข้น 2, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลจากการวัดสังกะสีด้วยเครื่อง AAS มีค่าเท่ากับ 1.87 ± 0.09 , 5.08 ± 0.26, 9.56 ± 0.01, 14.16 ± 0.23 และ19.59 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งวิเคราะห์ค่าความถูกต้อง (Relative accuracy) ในแต่ละความเข้มข้นจะมีค่าเท่ากับ 93.57 %, 101.51 %, 95.55 %, 94.40 % และ97.93 % ตามลำดับ

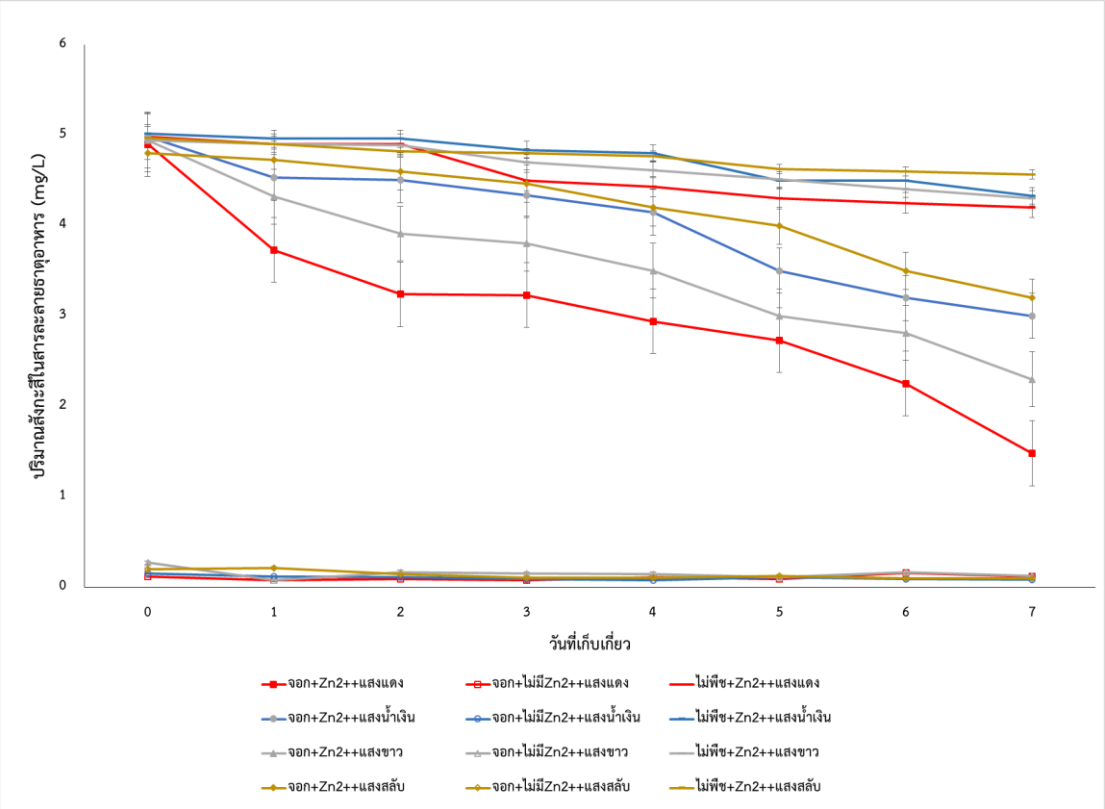


ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี (Calibration Curve)

4.1.4 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2

จากการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีเหลืออยู่ในวันที่ 7 ของสารละลายธาตุอาหารของแสงสีแดง สีขาว สีน้ำเงิน และแสงสีแดงสลับแสงสีน้ำเงิน เท่ากับ 1.48 ± 0.09, 2.3 ± 0.12, 3 ± 0.05 และ 3.2 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และคิดเป็นความสามารถในการบำบัดสังกะสีของจอก เท่ากับ 70.4%, 54%, 40% และ 36% ตามลำดับ และชุดควบคุมไม่มีพืชมีปริมาณสังกะสีเหลืออยู่ในวันที่ 7 ของสารละลายธาตุอาหารของแสงสีแดง สีขาว สีน้ำเงิน และแสงสีแดงสลับกับแสงสีน้ำเงิน เท่ากับ 4.2 ± 0.04, 4.33 ± 0.05, 4.3 ± 0.12 และ 4.57 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.9) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดควบคุมไม่มีพืชมีความแตกต่างกับชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีและชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ปริมาณของสังกะสีในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่มีการปลูกจอกมีแนวโน้มลดน้อยลงในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Lu et al. (2004) โดยศึกษาการกำจัดแคดเมียมและสังกะสีด้วยผักตบชวา ซึ่งทำการศึกษาศักยภาพในการกำจัดของผักตบชวาด้วยการวัดปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่เหลืออยู่ในสารละลาย พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยผักตบชวามีการดูดซึมสารละลายและโลหะหนักผ่านทางรากไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ จนถึงท่อลำเลียง เพื่อขนส่งไปยังลำต้นและใบ ทำให้มีการสะสมแคดเมียมและสังกะสีในส่วนราก ลำต้นและใบมากขึ้น ทั้งนี้มีการศึกษาของ Amrani et al. (1999) เกี่ยวกับปริมาณที่พืชได้รับสังกะสีในพืช และพบว่าพืชสามารถสะสมสังกะสีไว้ในต้นพืชได้ประมาณ 25–28 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยที่ไม่แสดงอาการเป็นพิษหรือลดการเจริญเติบโตแต่อย่างใด และนอกจากนี้พืชยังมีความต้องการสังกะสีละลายในน้ำประมาณ 50% เพื่อความเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

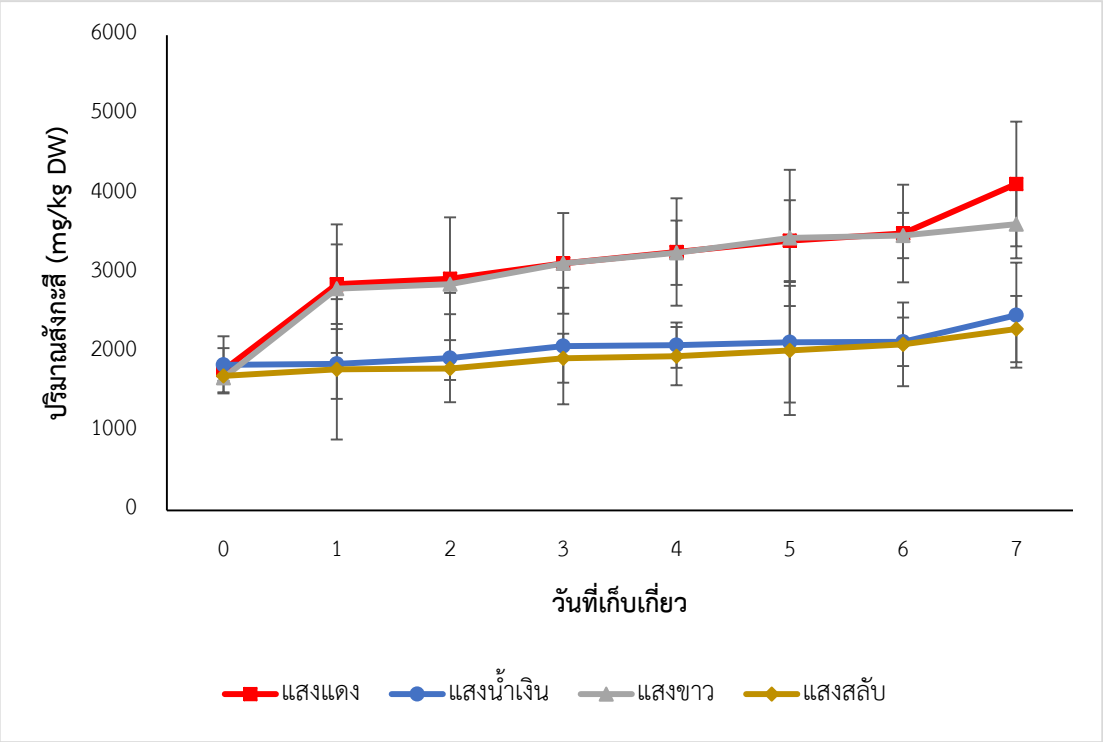


ภาพที่ 4.10 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2

4.1.5 การเปรียบเทียบสังกะสีที่สะสมในจอกที่แสงต่างๆ

4.1.5.1 การสะสมสังกะสีในรากของจอก

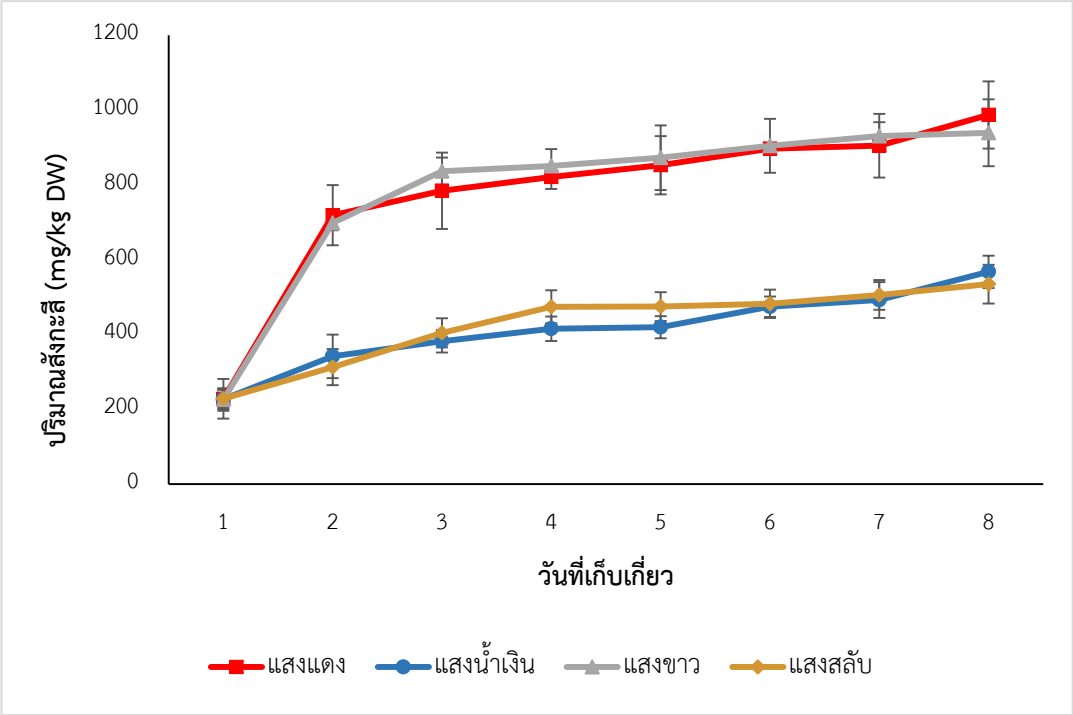
ผลการศึกษา พบว่าการสะสมสังกะสีในรากของจอกที่แสงสีแดง สีน้ำเงิน สีขาว และสีแดงสลับกับสีน้ำเงิน ในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 4122.5 ± 314.66, 2465.13 ± 246.5 , 3615 ± 332.22 และ 2290.51 ± 210.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจอกที่ได้รับแสงสีแดงจะมีการสะสมสังกะสีที่รากมากที่สุด (ดังแสดงในภาพที่ 4.10) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างกับชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงสีแดงกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงสีขาวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงน้ำเงินกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงสีแดงสลับกับสีน้ำเงินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยการดูดซึมสังกะสีโดยรากของพืชเข้าสู่ลำต้นและใบของพืชด้วยกระบวนการแพร่นั้นสังกะสีจะถูกดูดซึมผ่านรากในรูปของสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) และสะสมไว้ที่รากบางส่วน ผ่านเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น epidermis cortex endodermis และpericycle แล้วลำเลียงขึ้นไปผ่านท่อลำเลียง xylem เพื่อขนส่งไปยังลำต้น และเก็บสะสมไว้ในส่วนลำต้นและใบ (Gupta et al., 2016) ซึ่งสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของราก ดังการศึกษาของ Lin and Xing (2008) ที่ได้ทำการศึกษาการดูดซึมสังกะสีออกไซด์ขนาดนาโนเมตร (ZnO NPs) เปรียบเทียบกับสังกะสีซัลเฟต ($ZnSO_4$) ของหญ้า rye ซึ่งสังกะสีซัลเฟต ($ZnSO_4$) สามารถแตกตัวเป็นสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) ได้ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง และจากผลการศึกษาพบว่าหญ้า rye มีการดูดซึมสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) ผ่านรากโดยที่รากมีความเสียหายเนื่องจากเซลล์บริเวณ epidermis และ cortex ถูกทำลายซึ่งมีผลต่อการดูดน้ำหรือธาตุอาหารไปใช้และการสังเคราะห์แสง และการศึกษานี้สรุปได้ว่าหญ้า rye ที่ได้รับสังกะสีซัลเฟต ($ZnSO_4$) มีประสิทธิภาพในการดูดซึมมากกว่าหญ้า rye ที่ได้รับสังกะสีออกไซด์ขนาดนาโนเมตร (ZnO NPs) ทั้งนี้ประสิทธิภาพของพืชในการดูดซึมโลหะหนักขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของพืช ปริมาณความเข้มข้นโลหะหนัก เป็นต้น



ภาพที่ 4.11 ปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของจอกที่แสงต่างๆ ในชุดทดลองที่มีการเติมสังกะสี

4.1.5.2 การสะสมสังกะสีในใบของจอก

ผลการศึกษา พบว่าการสะสมสังกะสีในใบของจอกที่แสงสีแดง สีน้ำเงิน สีขาว และสีแดงสลับกับสีน้ำเงิน ในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 986.96 ± 89.67, 567.56 ± 157.62, 939.375 ± 89.4932 และ 534.60 ± 51.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า จอกที่ได้รับแสงสีแดงจะมีการสะสมสังกะสีที่ใบมากที่สุด (ดังแสดงในภาพที่ 4.11) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในใบของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างกับชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงสีแดงกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงสีขาวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงน้ำเงินกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่แสงสีแดงสลับกับสีน้ำเงินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.12 ปริมาณสังกะสีที่สะสมในใบของจอกที่แสงต่างๆ ในชุดทดลองที่มีการเติมสังกะสี

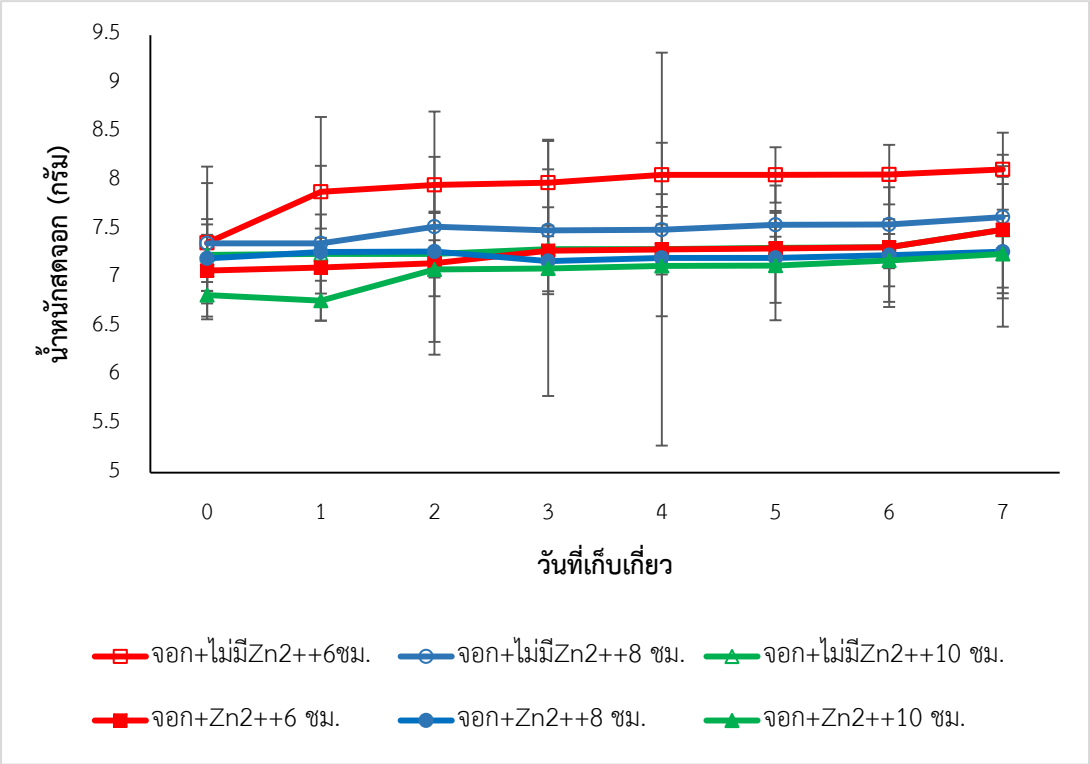
ผลการทดลองเปรียบเทียบผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก พบว่าจอกที่ได้รับแสงสีแดงจะมีการดูดซึมสังกะสีได้ดีที่สุด ทั้งในรากและในใบ นอกจากนี้การเจริญเติบโตในชุดควบคุมไม่มีสังกะสี และชุดทดลองที่มีการเติมสังกะสีที่แสงสีแดง มีการเจริญเติบโตที่สูงกว่าแสงอื่นๆ จึงสรุปได้ว่า แสงสีแดงคือแสงที่ดีที่สุดในการใช้ปลูกพืชเพื่อสะสมสังกะสี และได้ทำการเลือกแสงสีแดงเพื่อไปทำการทดลองในขั้นต่อไป โดยการศึกษาของ Muneer et al. (2014) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบความเข้มของแสงจากหลอด LED ต่อการสังเคราะห์แสงของต้นผักกาด โดยใช้ความเข้มแสงตั้งแต่ 70–238 ไมโครโมลต่อตารางเมตรวินาที พบว่าความเข้มแสงนั้นมีผลที่ช่วยทำให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น โดยมีการควบคุมโปรตีนในคลอโรพลาสต์ที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งผลการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของต้นสนเข็ม โดยให้พืชได้รับแสงสีแดงกับสีน้ำเงินภายในห้องปฏิบัติการ พบว่าต้นสนเข็มที่ได้รับแสงสีแดงมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าแสงสีน้ำเงิน นั่นหมายความว่า ต้นสนเข็มที่ได้รับแสงสีแดงมีการสังเคราะห์แสงมากกว่าต้นสนเข้มที่ได้รับแสงสีน้ำเงิน และแสงสีน้ำเงินมีผลต่อแซนโทฟิลล์และแคโรทีนที่เป็นรงควัตถุในการสังเคราะห์แสงและป้องกันเซลล์จากการเสียสภาพเนื่องจากแสง ทำให้ผักกาดหอมที่ได้รับแสงสีน้ำเงินมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าผักกาดหอมที่ได้รับแสงสีแดง (Braddock et al., 2001) และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเมื่อมีการสะสมโลหะหนักของหญ้าขนของ Gomes et al. (2011) ที่ทำการทดลองภายใต้ภาวะเรือนกระจก โดยพบว่ามวลชีวภาพของพืชลดลงเมื่อมีการปนเปื้อนโลหะ

หนักที่มากขึ้น และมีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากการสังเคราะห์แสง ทั้งนี้การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงนั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณไทลาคอยด์ของพืช ซึ่งเป็นรงควัตถุในการรับแสง แล้วเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานที่พืชนำมาใช้ในการสร้างสารที่มีพลังงานสูง ได้แก่ ATP และ NADPH เพื่อนำพลังงานที่ได้จากโมเลกุลของสารที่มีพลังงานสูงนี้ไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ในการเจริญเติบโตของพืชต่อไป และแสงมีผลต่อการดูดซึมสารเคมีเข้าไปเก็บสะสมในพืชได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนย้ายที่ต้องใช้พลังงานในการดูดซึมผ่านรากหรือใบ ซึ่งพลังงานที่ใช้ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจของพืช

4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่จอกสามารถดูดซึมสังกะสี

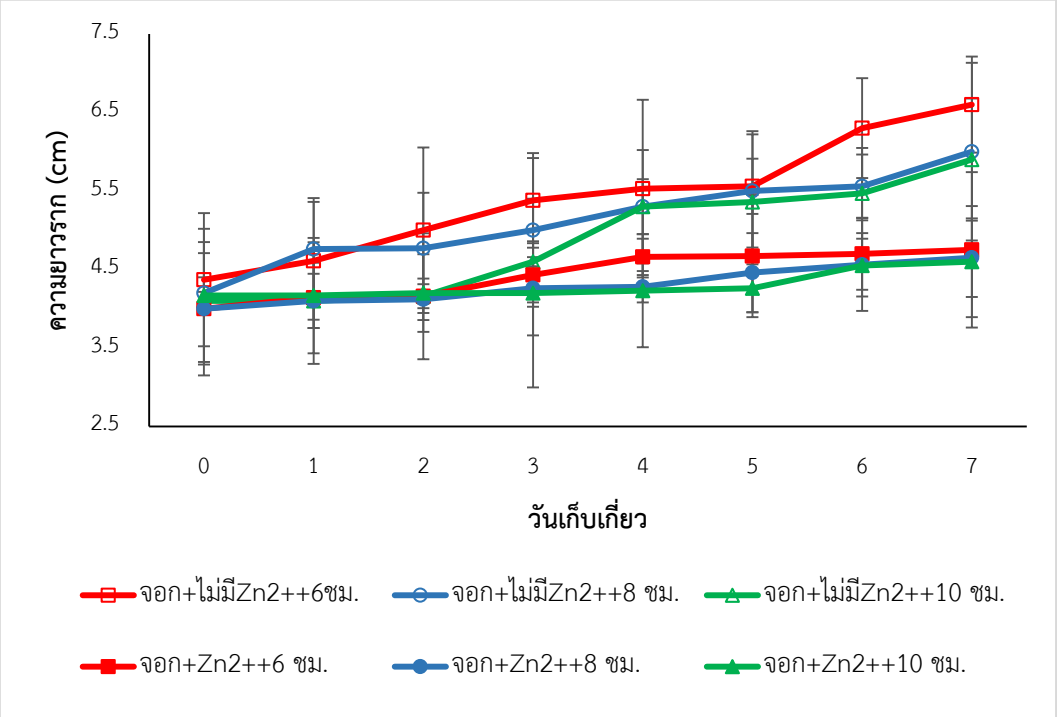
4.2.1 อิทธิพลของระยะเวลาต่อการเจริญเติบโตของจอก

การเจริญเติบโตของจอกจากการชั่งน้ำหนักสด ตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ ของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม พบว่าจอกมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.2-8.12 ± 0.05 กรัม และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 6.77-7.5 ± 0.07 กรัม ซึ่งชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ มีการเจริญเติบโตดีกว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ และในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีได้รับแสงที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลาที่ 6 ชั่วโมงมีการเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองมีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่างๆ รองลงมาคือชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยมีการเจริญเติบโตในวันที่ 7 เท่ากับ 7.5 ± 0.05, 7.27 ±0.05 และ7.25 ± 0.07กรัม ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.12) ทั้งนี้ในภาวะที่พืชได้รับแสงมากเกินไป อาจทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ช้าลง ซึ่งเมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเจริญเติบโตของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าการเจริญเติบโตของจอกในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.13 การเจริญเติบโตของจอกในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

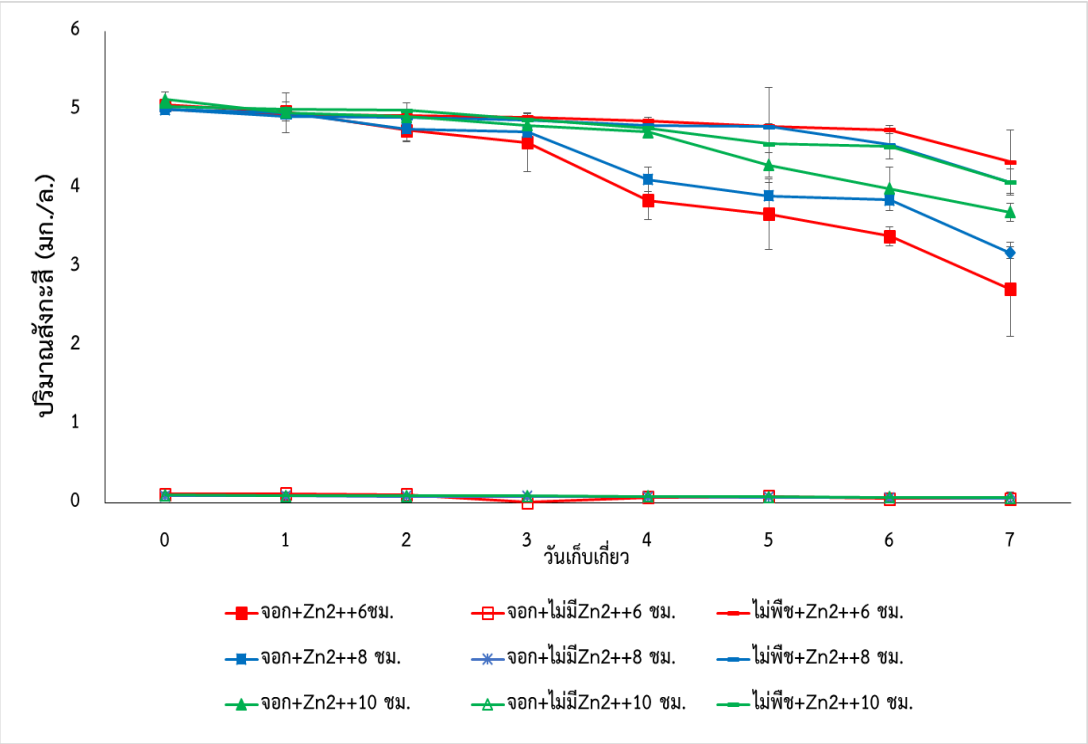
การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากของจอก พบว่าในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ มีความยาวรากอยู่ระหว่าง 4.1-6.6 ± 0.05 เซนติเมตร และในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆมีความยาวรากอยู่ระหว่าง 4-4.75 ± 0.03 เซนติเมตร (ดังแสดงในภาพที่ 4.13) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความยาวรากของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าความยาวรากของจอกในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆ และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลาต่างๆไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.14 ความยาวรากในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

4.2.2 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้รับแสงที่ระยะเวลา 6, 8 และ10 ชั่วโมง มีปริมาณสังกะสีเหลืออยู่ในสารละลายธาตุอาหารวันที่ 7 เท่ากับ 2.72 ± 0.05, 3.18 ± 0.07 และ 3.7 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และคิดเป็นความสามารถในการบำบัดสังกะสีของจอก มีค่าเท่ากับ 45.6%, 36.4% และ 26% ตามลำดับ และชุดควบคุมไม่มีพืชได้รับแสงที่ระยะเวลา 6, 8 และ10 ชั่วโมง มีปริมาณสังกะสีเหลืออยู่ในสารละลายธาตุอาหารวันที่ 7 เท่ากับ 4.34 ± 0.04, 4.08 ± 0.04 และ4.08 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.14) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดควบคุมไม่มีพืชมีความแตกต่างกับชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีและชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

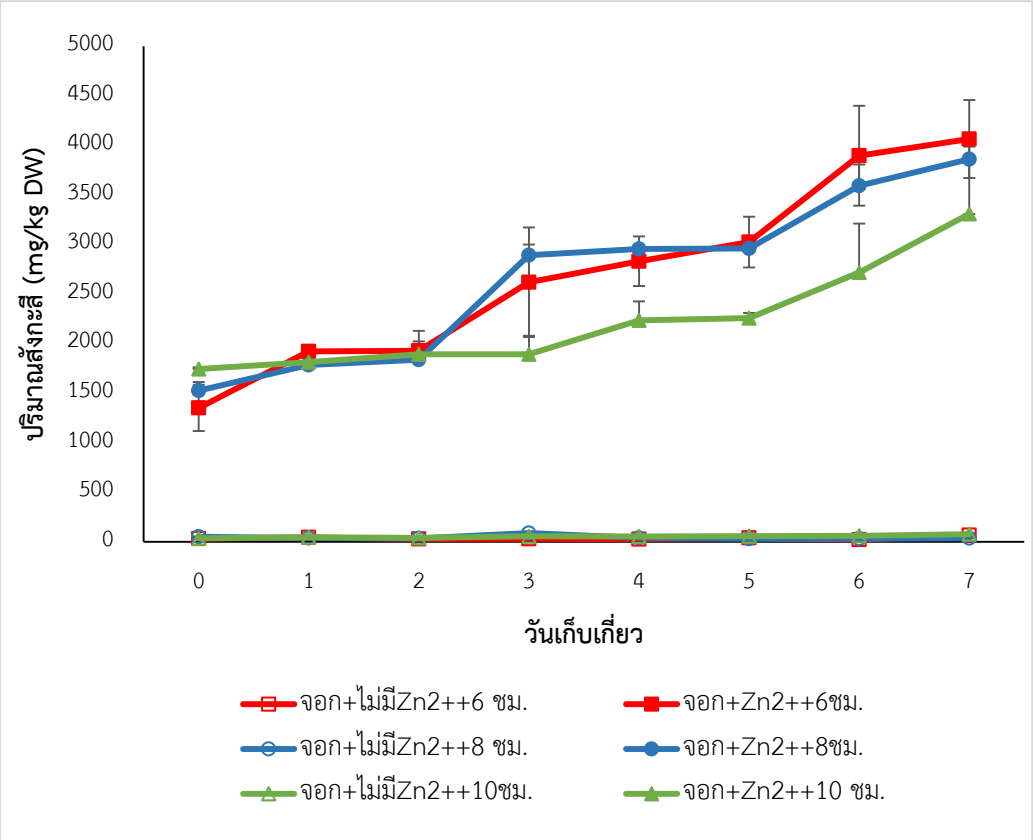


ภาพที่ 4.15 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

4.2.3 การเปรียบเทียบสังกะสีที่สะสมในจอกที่ระยะเวลาที่เหมาะสม

4.2.3.1 การสะสมสังกะสีในรากของจอก

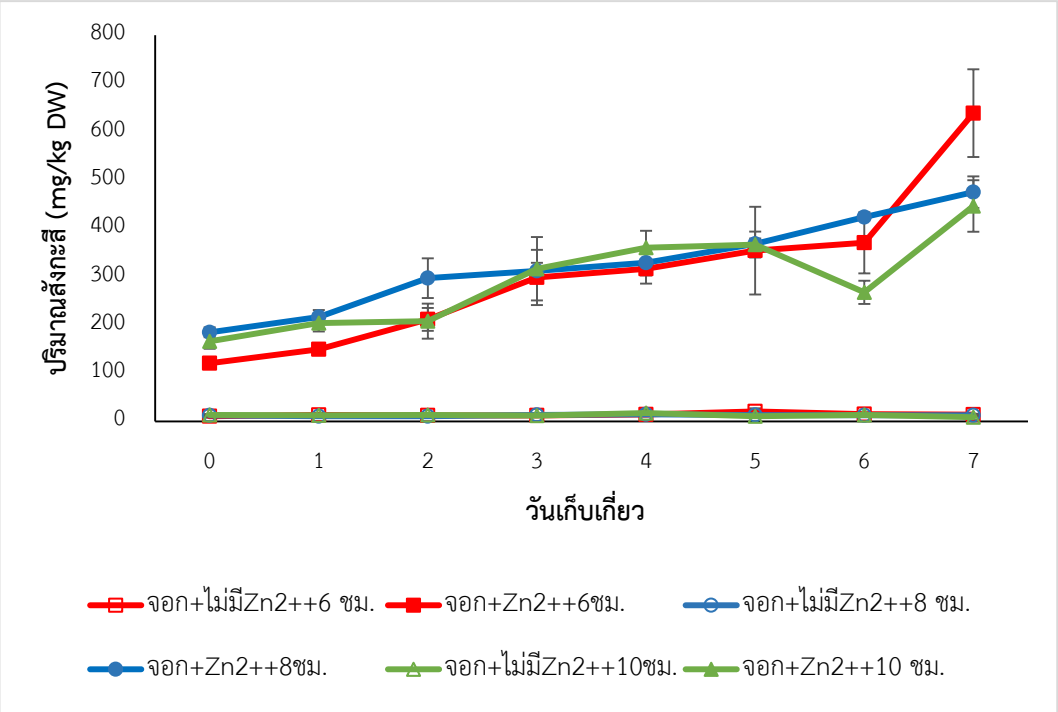
ผลการศึกษา พบว่าการสะสมสังกะสีในรากของจอกที่ระยะเวลา6, 8 และ 10 ชั่วโมง ในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 4064.29 ± 393.29, 3860.36 ± 380.36 และ 3307.85 ± 379.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจอกที่ได้รับแสงที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีการสะสมสังกะสีที่รากมากที่สุด (ดังแสดงในภาพที่ 4.15) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างกับชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ได้รับแสงที่6, 8 และ10 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.16 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในรากของจอกของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

4.2.3.2 การสะสมสังกะสีในใบของจอก

ผลการศึกษา พบว่าการสะสมสังกะสีในใบของจอกที่ระยะเวลา6, 8 และ 10 ชั่วโมง ในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 638.60 ± 44.58, 474.94 ± 32.61 และ 446.34 ± 53.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจอกที่ได้รับแสงที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีการสะสมสังกะสีที่ใบมากที่สุด (ดังแสดงในภาพที่ 4.16) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในใบของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างกับชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ได้รับแสงที่6, 8 และ10 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



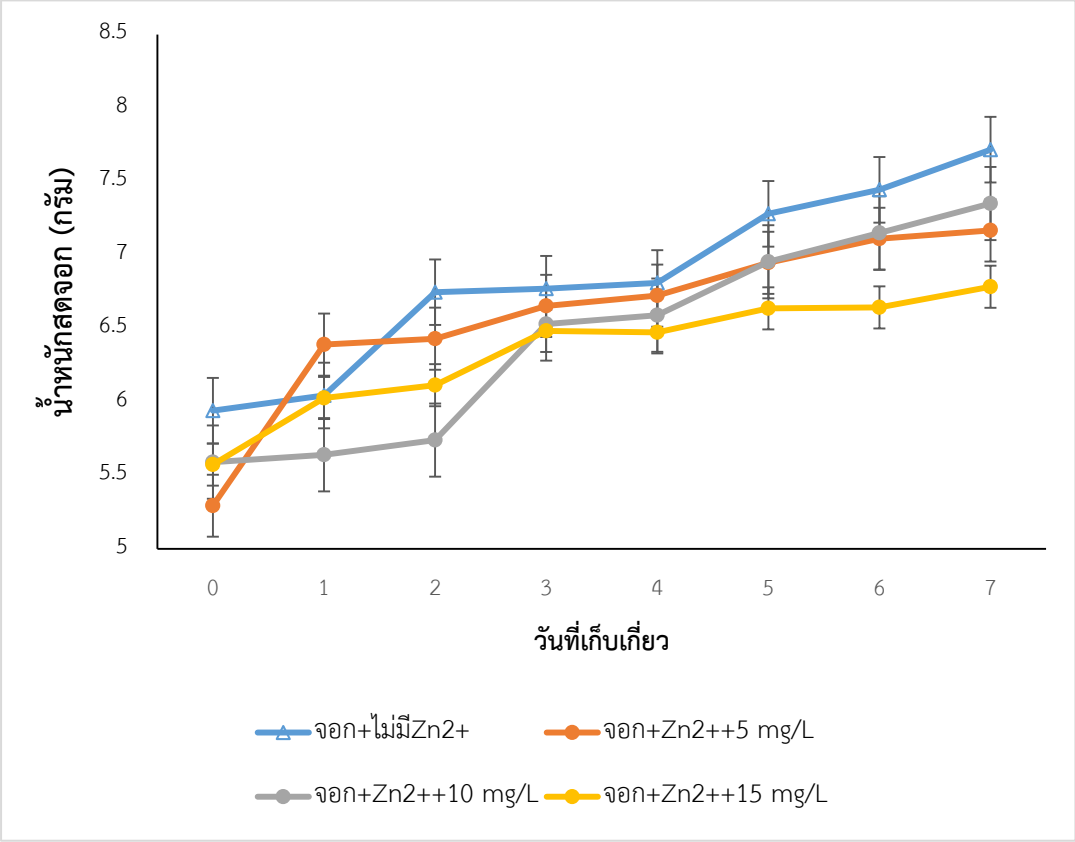
ภาพที่ 4.17 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในใบของจอกของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าจอกที่ได้รับแสงสีแดงที่ 6 ชั่วโมง จะทำให้จอกสามารถดูดซึมสังกะสีได้ดีที่สุด และจอกที่ได้รับแสงที่ 6 ชั่วโมง มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าจอกที่ได้รับแสงในระยะเวลาต่างๆของการทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อพืชได้รับแสงในระยะเวลาที่มากเกินไป ทำให้พืชมีกลไกการดูดซึมสังกะสีได้ไม่ดีเท่าที่ควร การทดลองในขั้นตอนต่อไป จึงได้เลือกจอกที่ได้รับแสงสีแดงที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ไปทำการทดลองเพื่อศึกษาความความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสังกะสีในการดูดซึมสังกะสีของจอกต่อไป ดังเช่นการศึกษาของ Chin and Chong (2012) ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกภายในอาคาร โดยใช้แสงสีแดงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 620-645 นาโนเมตร เปรียบเทียบระหว่างแสงอาทิตย์กับแสง LED ในระยะเวลา 8 กับ 11 วัน ผลการศึกษาพบว่า แสง LED กำลังสูงมีผลทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดีกว่าทั้ง 2 ระยะเวลา โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ของใบ ความกว้างของใบ และน้ำหนักต้นสดได้ผลดีกว่าแสงธรรมชาติอย่างชัดเจน

4.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก

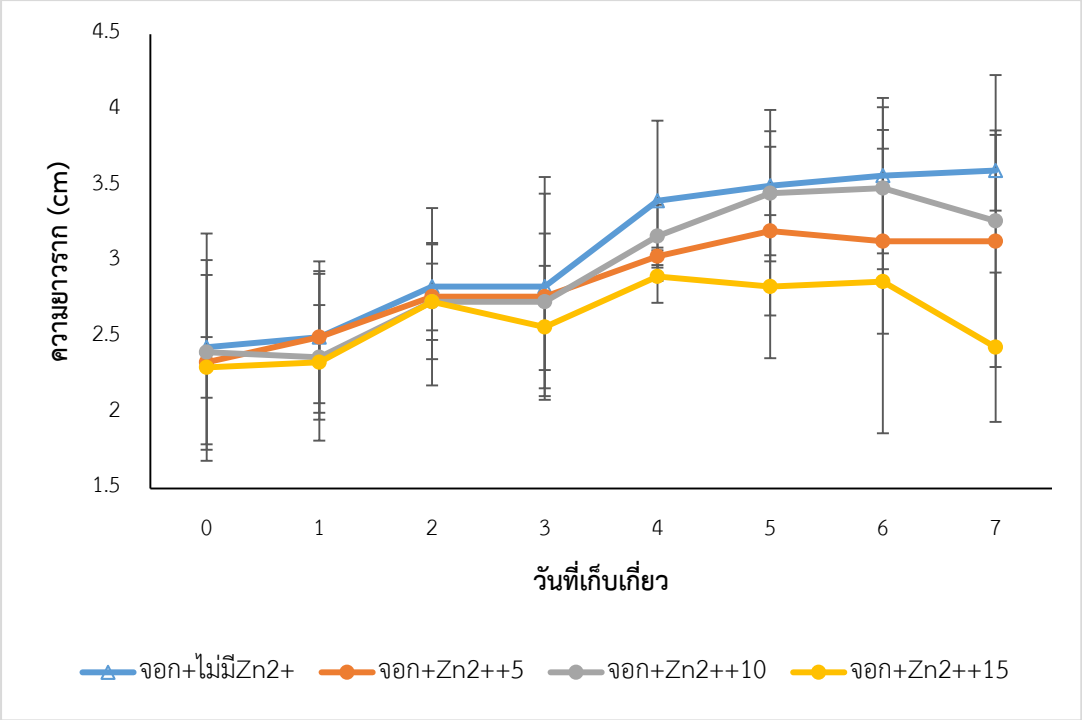
4.3.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของจอก

การเจริญเติบโตของจอกจากการชั่งน้ำหนักสด ตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก พบว่าจอกมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี จอกจะมีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี มีค่าการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 5.94-7.72 ± 0.1 กรัม ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี มีค่าการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 5.29-7.35 ± 0.1 กรัม โดยชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 10 มิลลิกรัมต่อลิตรมีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดังแสดงในภาพที่ 4.17) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเจริญเติบโตของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าการเจริญเติบโตของจอกในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5, 10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.18 การเจริญเติบโตของจอกจากการชั่งน้ำหนักสดของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน

การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากของจอกของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน พบว่าในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี ความยาวรากอยู่ระหว่าง 2.4-3.6เซนติเมตร และในชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ความยาวรากอยู่ระหว่าง 2.3-3.2 ± 0.02, 2.4-3.5 ± 0.03 และ 2.3-2.9 ± 0.02 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.18) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความยาวรากของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าความยาวรากของจอกในชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี และชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5, 10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

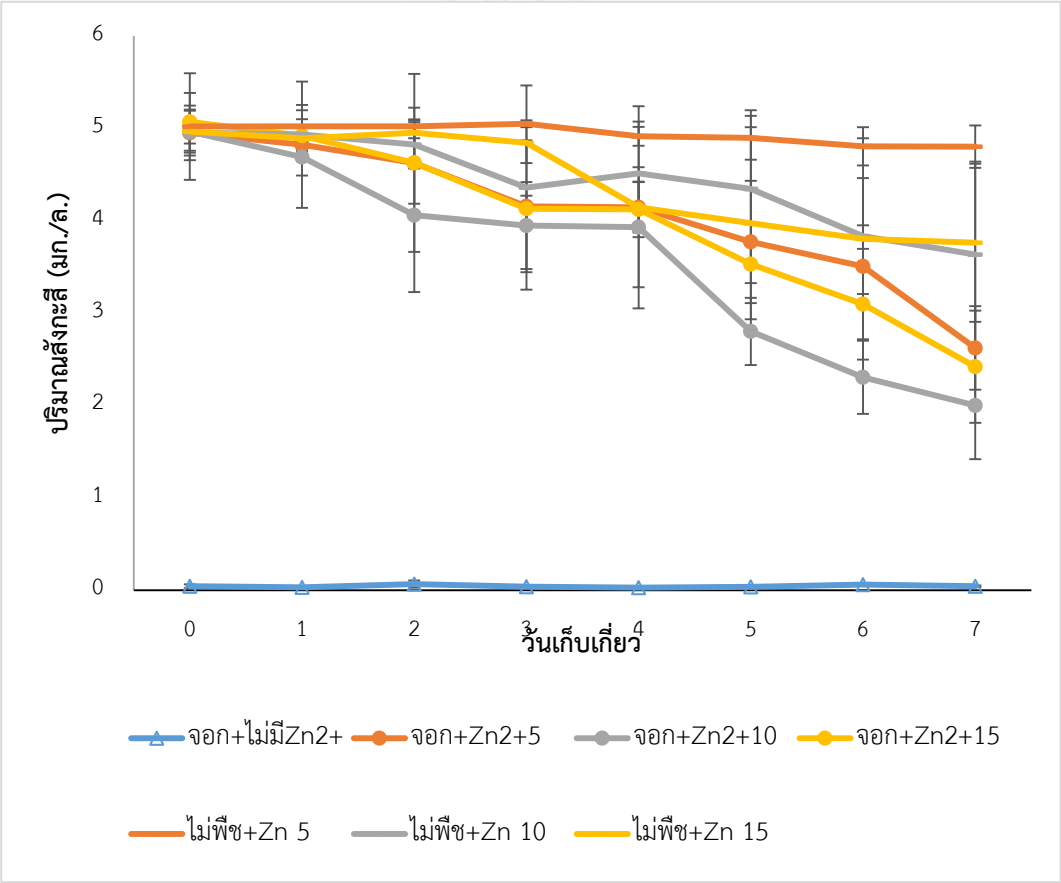


ภาพที่ 4.19 ความยาวรากของจอก ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน

4.3.2 ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน

การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสังกะสีที่เหลือในวันที่ 7 ของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5 ในชุดทดลองที่มีการเติมสังกะสี 5, 10

และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 2.62 ±0.24, 2 ± 0.15 และ2.42 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นความสามารถในการบำบัดสังกะสีของจอก มีค่าเท่ากับ 47.6%, 60% และ51.6% ตามลำดับ และชุดควบคุมไม่มีพืชและเติมสังกะสี 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสังกะสีที่เหลือในวันที่ 7 ของสารละลายธาตุอาหารเท่ากับ 4.80 ± 0.05, 3.63 ± 0.03 และ3.76 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.19) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดควบคุมไม่มีพืชมีความแตกต่างกับชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีและชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5,10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และชุดควบคุมไม่มีพืชมีความแตกต่างกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5,10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

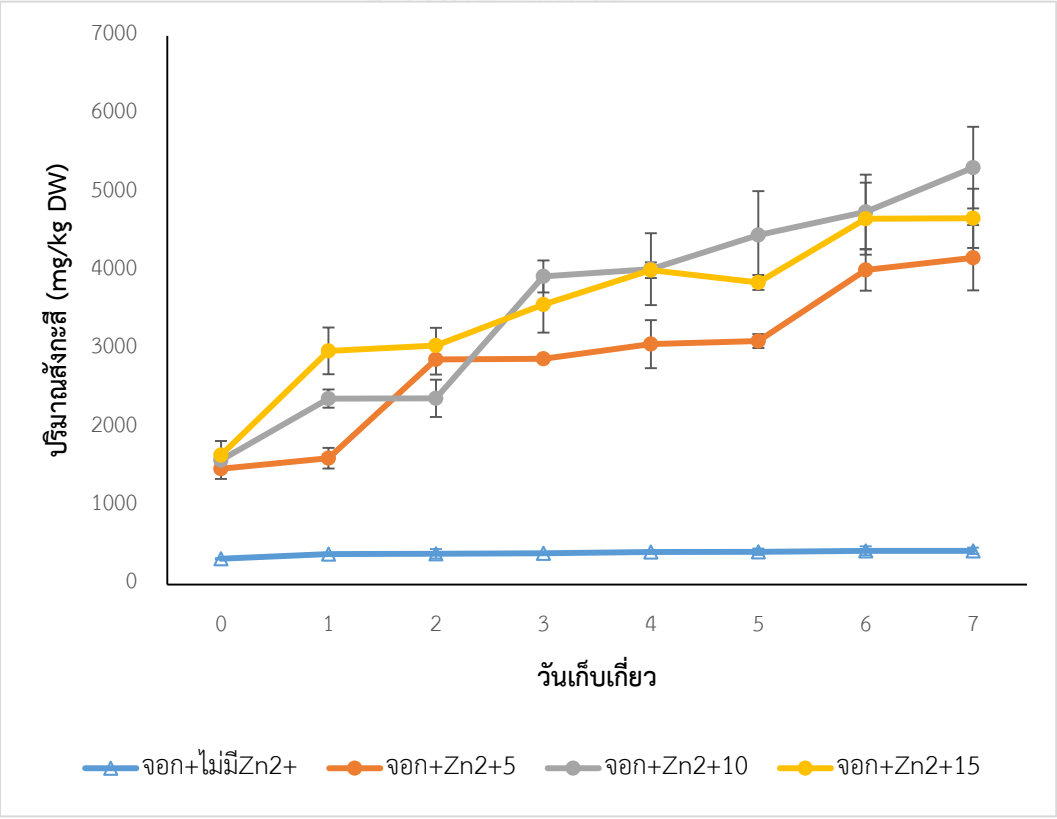


ภาพที่ 4.20 ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน

4.3.3 การเปรียบเทียบสังกะสีที่สะสมในจอกที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

4.3.3.1 การสะสมสังกะสีในรากของจอก

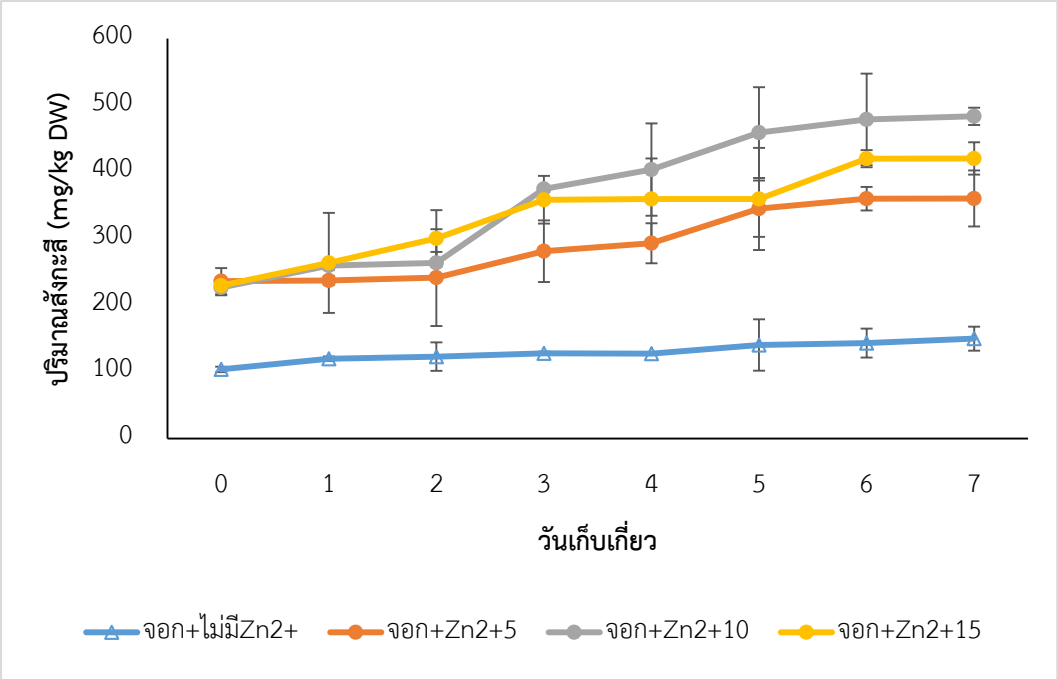
ผลการศึกษา พบว่าการสะสมสังกะสีในรากของจอกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าในชุดทดลองที่มีสังกะสี 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 4168.67 ±416.8, 5318.75 ± 521.49 และ 4671.67 ± 378.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรจอกจะมีการสะสมสังกะสีที่รากมากที่สุด (ดังแสดงในภาพที่ 4.20) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีมีความแตกต่างกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5,10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5, 10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.21 ปริมาณสังกะสีในรากของจอก ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน

4.3.3.2 การสะสมสังกะสีในใบของจอก

พบว่าการสะสมสังกะสีในใบของจอกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าในชุดทดลองที่มีสังกะสี 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 360.14 ± 42, 483.36 ± 13 และ 420.15 ± 24.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จอกจะมีการสะสมสังกะสีที่ใบมากที่สุด (ดังแสดงในภาพที่ 4.21) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในใบของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีมีความแตกต่างกับชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5,10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี 5,10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.22 ปริมาณสังกะสีในใบของจอก ของการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกัน

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีต่อการดูดซึมของจอก สรุปได้ว่าจอกจะสามารถดูดซึมสังกะสีที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ดีที่สุด โดยมีการดูดซึมไว้ที่รากมากที่สุด และการเจริญเติบโตของจอกที่มีการเติมสังกะสี 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณสังกะสีในจอก คือ จอกที่มีการเจริญเติบโตดี ก็จะสามารถดูดซึมสังกะสีได้ดีด้วย และมีความเป็นไปได้ว่าที่ความเข้มข้นสูงๆ อาจจะส่งผลต่อความเป็นพิษในจอก ทำให้จอกดูดซึมได้ไม่ดี ทั้งนี้การศึกษาการทดสอบการสะสมโลหะโดยจอกเพื่อใช้ในการบำบัดสิ่งแวดล้อมของ

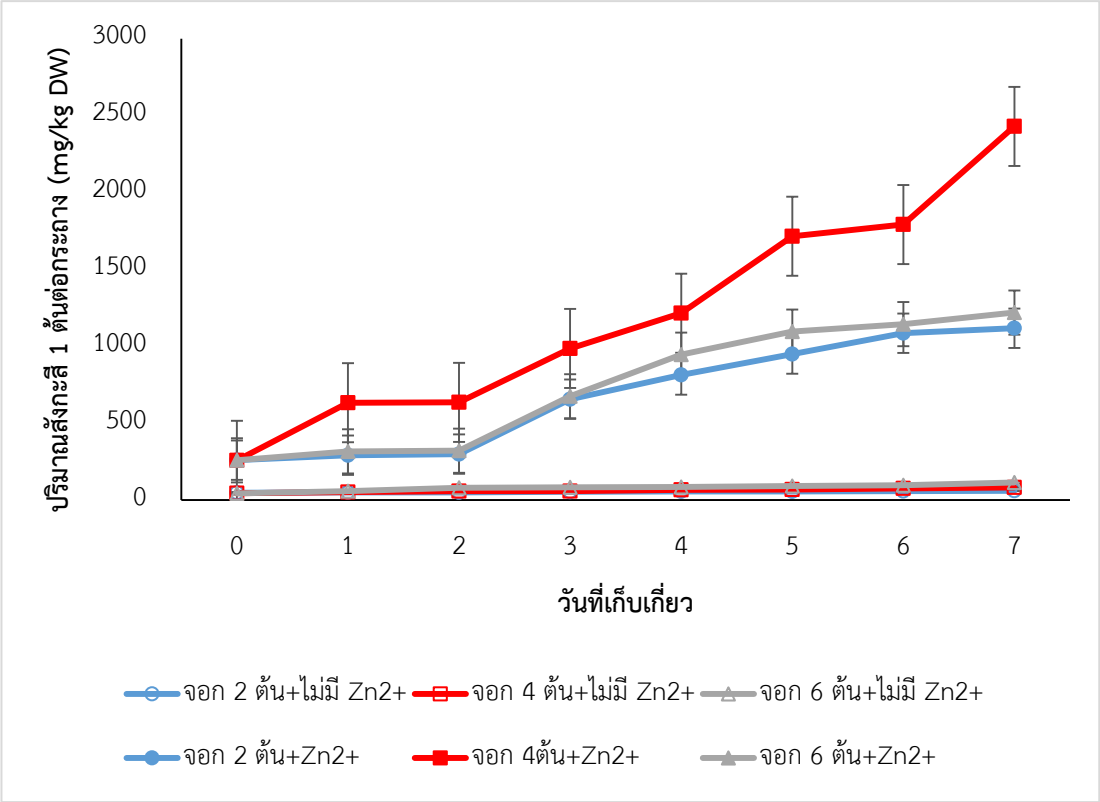
Odjegba and Fasidi (2004) โดยศึกษาโลหะหนักที่ใช้ ได้แก่ เงิน แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ปรอท นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ทดลองทำการปลูกจอก แล้วใส่ความเข้มข้นของโลหะแต่ละตัวเท่ากับ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 มิลลิโมล เป็นระยะเวลา 21 วัน ผลการศึกษาพบว่าอัตราการขยายใบและรากของจอกลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโลหะ และระยะเวลาที่จอกสัมผัสโลหะหนัก โดยปัจจัยที่ทำให้อัตราการขยายใบและรากลดลงนั้น คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สูงขึ้น การยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของพืช และการยับยั้งการแบ่งแยกเซลล์เนื้อเยื่อแบบ mitotic นอกจากนี้ผลการศึกษายังชี้ให้ว่าการการเจริญเติบโตที่ลดลงในใบของจอกขึ้นอยู่กับโลหะแต่ละชนิด รวมทั้งระยะเวลาของการรับแสงอีกด้วย

4.4 ความหนาแน่นของจอกต่อการดูดซึมสังกะสี

4.4.1 ปริมาณสังกะสีในราก

ผลการศึกษา พบว่าการสะสมสังกะสีในรากของจอกที่ความหนาแน่นต่อ 1 กระถางแตกต่างกัน โดยใน 1 กระถาง มีชุดการทดลองที่มีจอก 2, 4 และ 6 ต้น พบว่าในชุดทดลองจอกมีสังกะสี 2, 4 และ 6 ต้น คิดเป็น 1 ต้นต่อกระถางมีการสะสมสังกะสีในรากในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 1117.41 ± 100.75, 2429.76 ± 230.29 และ 1219.44 ± 120.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ดังแสดงในภาพ 4.22) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีมีความแตกต่างกับชุดทดลองที่มีจอก2, 4 และ 6 ต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองจอกมีสังกะสี 2 ต้น และชุดทดลองจอกมีสังกะสี 6 ต้น มีความแตกต่างกับชุดทดลองจอกมีสังกะสี 4 ต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

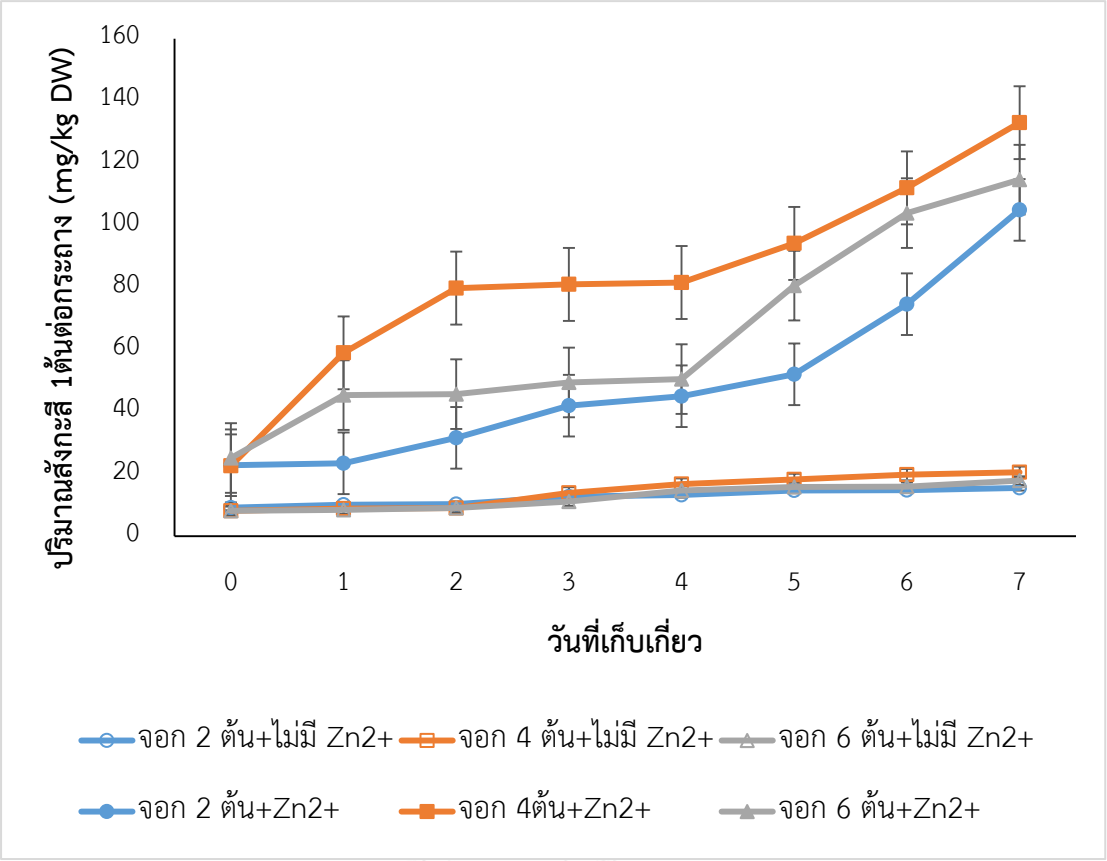


ภาพที่ 4.23 ปริมาณสังกะสีในรากของจอก 1 ต้นต่อกระถางของการศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นจอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.2 ปริมาณสังกะสีในใบ

ผลการศึกษา พบว่าการสะสมสังกะสีในใบของจอกที่ความหนาแน่นต่อ 1 กระถางแตกต่างกัน โดยใน 1 กระถาง มีชุดการทดลองที่มีจอก 2, 4 และ 6 ต้น พบว่าในชุดทดลองจอกมีสังกะสี 2, 4 และ 6 ต้น คิดเป็น 1 ต้นต่อกระถางมีการสะสมสังกะสีในใบในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 104.96 ± 3.29, 133.01 ± 10.35 และ 114.66 ± 11.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพ 4.23) เมื่อใช้สถิติ One - way ANOVA มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสังกะสีที่สะสมในใบของจอกในชุดการทดลองต่างๆ พบว่าชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีมีความแตกต่างกับชุดทดลองที่มีจอก2, 4 และ 6 ต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ชุดทดลองจอกมีสังกะสี 2, 4 และ 6 ต้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.24 ปริมาณสังกะสีในใบของจอก1 ต้นต่อกระถาง ของการศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นจอก

จากผลการศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นจอก สรุปได้ว่า จำนวนต้นจอก 4 ต้นต่อ 1 กระถาง สามารถดูดซึมสังกะสีได้ดีที่สุด ทั้งนี้เพราะถ้ามีจำนวนมากเกินไปจะทำให้เกิดการแย่งออกซิเจน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซึมสังกะสีลดน้อยลง ดังการศึกษาของดารารัตน์ โรจนพิทยากร (2558) ที่ศึกษาการบำบัดสิ่งแวดล้อมด้วยพืชร่วมกับจลนศาสตร์ทางไฟฟ้าในการบำบัดสังกะสีที่ปนเปื้อนด้วยหญ้ารูซี่ โดยมีการศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นหญ้ารูซี่ โดยแบ่งเป็น 5, 10 และ15 ต้นต่อกระถาง ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของหญ้ารูซี่จำนวนหญ้า 5 ต้นต่อกระถาง มีการสะสมสังกะสีมากที่สุด โดยสรุปได้ว่าอิทธิพลของความหนาแน่นของพืชมีผลทำให้พืชเกิดการแย่งชิงสารละลายธาตุอาหาร ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและพื้นที่ผิวของพืช ทำให้มีการดูดสารอาหารไปใช้ได้น้อยลง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ทั้ง 4 ขั้นตอน พบว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้ในการเลี้ยงพืชในทุกชุดการทดลอง อยู่ระหว่าง 26.9-29.7 องศาเซลเซียส และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5-8 ค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ระหว่าง 5.2-7 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มลดลง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 1538-2442 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และมีปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยอยู่ระหว่าง 767.5-1216, 0.01-0.85 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และการศึกษาการเจริญเติบโตของจอก พบว่าชุดควบคุมไม่มีการเติมสังกะสี จะมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี โดยชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสังกะสี มีน้ำหนักสดจอกอยู่ระหว่าง 5.29-11.42 กรัม และการวัดความยาวราก พบว่ารากของจอกมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ตลอดการทดลอง 1 สัปดาห์ และควบคุมไม่มีการเติมสังกะสีจะมีความยาวรากเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดทดลองที่มีจอกและเติมสังกะสี ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญเติบโตจากการชั่งน้ำหนักสด และการศึกษาผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก โดยการศึกษาการเปรียบเทียบผลของแสงต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก สรุปได้ว่าจอกที่ได้รับแสงสีแดงจะมีการดูดซึมสังกะสีได้ดีที่สุด ทั้งในรากและในใบ โดยมีการสะสมสังกะสีที่รากและใบ เท่ากับ 4122.5 ± 314.66 และ 986.96 ± 89.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง จากนั้นได้ทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่จอกสามารถดูดซึมสังกะสี พบว่าจอกที่ได้รับแสงสีแดงที่ 6 ชั่วโมง จะทำให้จอกสามารถดูดซึมสังกะสีได้ดีที่สุด โดยมีการสะสมสังกะสีที่รากและใบ เท่ากับ 4064.29 ± 393.29 และ 638.60 ± 44.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่จอกสามารถดูดซึมสังกะสีแล้วจึงทำการศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีที่แตกต่างกันต่อการดูดซึมสังกะสีของจอก ซึ่งสรุปได้ว่าจอกที่เจริญเติบโตในสารละลายสังกะสีที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะดูดซึมสังกะสีได้ดีที่สุด โดยมีการสะสมสังกะสีที่รากและใบ เท่ากับ 5318.75 ± 521.49 และ 483.36 ± 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และการศึกษาความหนาแน่นของจอกต่อการดูดซึมสังกะสี สรุปได้ว่า จำนวนต้นจอก 4 ต้นต่อ 1 กระถาง เป็นจำนวนที่เหมาะสมที่ทำให้จอกสามารถดูดซึมสังกะสีได้ดีที่สุด โดยมีการสะสมสังกะสีที่รากและใบ เท่ากับ 2429.76 ± 230.29 และ 133.01 ± 10.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้เลือกจอกเป็นพืชที่ใช้ในการดูดซึมสังกะสี ด้วยการปลูกในแสงจากหลอด LED ซึ่งสามารถนำมาเลี้ยงพืชแทนแสงจากธรรมชาติได้ แต่มีข้อจำกัดที่ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม คือ แสงสีแดง (620-780 นาโนเมตร) สำหรับงานวิจัยในอนาคตหากมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีอื่นที่ยังไม่ได้ทดลอง เช่น การปรับอุณหภูมิ เป็นต้น หรือควรทดลองใช้แสงจากหลอด LED ในการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมกับพืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้ดีชนิดอื่น เช่น แหน ผักตบชวา ธูปฤาษี เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2005). toxicological profile for zinc Retrieved 2016, April 6, from http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60.pdf.

Ali, H., Khan, E., and Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere, 91*(7), 869-881.

Amoozgar, A., Mohammadi, A., and Sabzalian, M. R. (2017). Impact of light-emitting diode irradiation on photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. Grizzly. *Photosynthetica, 55*(1), 85-95.

Amrani, M., Westfall, D., and Peterson, G. (1999). Influence of water solubility of granular zinc fertilizers on plant uptake and growth. *Journal of plant nutrition, 22*(12), 1815-1827.

Bernal M., Verdaguer D., Badosa J., et al. (2015). Effects of enhanced UV radiation and water availability on performance, biomass production and photoprotective mechanisms of Laurus nobilis seedlings. *Environmental and Experimental Botany, 109*, 264-275.

Bowen, J. E. (1969). Absorption of copper, zinc, and manganese by sugarcane leaf tissue. *Plant physiology, 44*(2), 255-261.

Braddock, B., Mercer, S., Rachelson, C., et al. (2001). Effects of Blue and Red Light on the Rate of Photosynthesis. *CU Boulder*

Chin, L.-Y., and Chong, K.-K. (2012). Study of high power light emitting diode (LED) lighting system in accelerating the growth rate of Lactuca sativa for indoor cultivation. *International Journal of Physical Sciences, 7*(11), 1773-1781.

Choudhury, A. (2014). Characteristics of light sources. *Principles of colour appearance and measurement., 1*, 1-52.

Das, S., Goswami, S., and Talukdar, A. D. (2014). A study on cadmium phytoremediation potential of water lettuce, Pistia stratiotes L. *Bulletin of environmental contamination and toxicology, 92*(2), 169-174.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Dixit, R., Wasiullah., Malaviya, D., et al. (2015). Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. *Sustainability, 7*(2), 2189.

Etim, E. (2012). Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy 2*, 120-136.

Favas, P. J., Pratas, J., and Prasad, M. (2012). Accumulation of arsenic by aquatic plants in large-scale field conditions: opportunities for phytoremediation and bioindication. *Science of the Total Environment, 433*, 390-397.

Figueroa, F. L., Aguilera, J., and Niell, F. X. (1995). Red and blue light regulation of growth and photosynthetic metabolism in Porphyra umbilicalis (Bangiales, Rhodophyta). *European Journal of Phycology, 30*(1), 11-18.

Fu, W., Guðmundsson, Ó., Paglia, G., et al. (2013). Enhancement of carotenoid biosynthesis in the green microalga Dunaliella salina with light-emitting diodes and adaptive laboratory evolution. *Applied microbiology and biotechnology, 97*(6), 2395-2403.

Glaenzer, V. (2015). 15 Benefits of LED Lighting. Retrieved 2016, April 18, from https://www.linkedin.com/pulse/15-benefits-led-lighting-virginie-glaenzer

Gomes, M. P., Marques, T. C. L. L. d., e Melo, S., et al. (2011). Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in Brachiaria decumbens. *Scientia Agricola, 68*(5), 566-573.

Gupta, N., Ram, H., and Kumar, B. (2016). Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 15*(1), 89-109.

Hanks, N. A., Caruso, J. A., and Zhang, P. (2015). Assessing Pistia stratiotes for phytoremediation of silver nanoparticles and Ag (I) contaminated waters. *Journal of environmental management, 164*, 41-45.

Harguinteguy, C. A., Pignata, M. L., and Fernández-Cirelli, A. (2015). Nickel, lead and zinc accumulation and performance in relation to their use in phytoremediation of macrophytes Myriophyllum aquaticum and Egeria densa. *Ecological Engineering, 82*, 512-516.

Hatch, D., Jones, L. H., and Burau, R. (1988). The effect of pH on the uptake of cadmium by four plant species grown in flowing solution culture. *Plant and soil, 105*(1), 121-126.

Lin K.H., Huang MY., Huang WD., et al. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce *(Lactuca sativa* L. var. capitata) *Scientia Horticulturae, 150*, 86-91.

Lin, D., and Xing, B. (2008). Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environmental science & technology, 42*(15), 5580-5585.

Link, D. D., Walter, P. J., and Kingston, H. (1999). Wastewater standards and extraction chemistry in validation of microwave-assisted EPA method 3015A. *Environmental science & technology, 33*(14), 2469-2473.

Liu H., Meng F., Tong Y., et al. (2014). Effect of plant density on phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated sediments with *Vallisneria spiralis*. *Ecological Engineering, 73*, 380–385.

Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., et al. (2004). Removal of cadmium and zinc by water hyacinth, Eichhornia crassipes. *Science Asia, 30*(93), 103.

Marr, C. W. (2016). Environment and Horticultural Plants. Retrieved 2016, April 18, from http://njha.org/contests-projects-activities/horticulture-identification-judging-contest/environment-horticultural-plants/

Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., et al. (2004). Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. *Plant and Cell Physiology, 45*(12), 1870-1874.

Mufarrege, M., Hadad, H., and Maine, M. (2010). Response of Pistia stratiotes to heavy metals (Cr, Ni, and Zn) and phosphorous. *Archives of environmental contamination and toxicology, 58*(1), 53-61.

Muneer, S., Kim, E. J., Park, J. S., et al. (2014). Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (Lactuca sativa L.). *International journal of molecular sciences, 15*(3), 4657-4670.

Nriagu, J. (2007.). Zinc Toxicity in Humans. . *School of Public Health, University of Michigan.*, 1-7.

Odjegba, V., and Fasidi, I. (2004). Accumulation of trace elements by Pistia stratiotes: implications for phytoremediation. *Ecotoxicology, 13*(7), 637-646.

Olle, M., and Viršile, A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and food science, 22*(2), 223-234.

Paiva, L. B., de Oliveira, J. G., Azevedo, R. A., et al. (2009). Ecophysiological responses of water hyacinth exposed to Cr 3+ and Cr 6+. *Environmental and Experimental Botany, 65*(2), 403-409.

Putnam R., and Martin M. (2016.). Surprising Zinc Retrieved 2016, April 6, from http://www.zinc.org/wpcontent/uploads/2013/06/pdf_compounds_casestudy_Surprising-Zinc.pdf

Qian, H., Liu, T., Deng, M., et al. (2016). Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. *Food chemistry, 196*, 1232-1238.

Robert C. Morrow. (2008). LED Lighting in Horticulture. *Hortscience, 43*(7), 1947-1950.

Royal Society of Chemistry. (2017). Zinc. Retrieved 2017, June 26, from http://www.rsc.org/periodic-table/element/30/zinc

Runkle, E. (2016). Red Light and Plant Growth. Retrieved 2017, April 25, from http://flor.hrt.msu.edu/assets/Uploads/Red-light3.pdf

Tavechio, W. L. G., and Thomaz, S. M. (2003). Effects of light on the growth and photosynthesis of Egeria najas Planchon. *Brazilian Archives of Biology and Technology, 46*(2), 203-209.

Vandergriff, L. J. (1999). Nature and Properties of Light. *Fundamentals of photonics*, 1-38.

Vaz, I., Correia, J., Fernandes, J., et al. Searching the effect of different light on photosynthetic rate of aquatic plants (Elodea sp.).

Virtualfirefly. (2011). Measuring light wavelength. Retrieved 2016, January 18, from https://virtualfirefly.wordpress.com/2011/02/24/measuring-light-wavelength/

Wang, C.-Y., Fu, C.-C., and Liu, Y.-C. (2007). Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of Spirulina platensis. *Biochemical Engineering Journal, 37*(1), 21-25.

Whitmarsh, J., and Govindjee. (1999). The Photosynthetic Process. In G. S. Singhal, G. Renger, S. K. Sopory, K. D. Irrgang & Govindjee (Eds.), *Concepts in Photobiology: Photosynthesis and Photomorphogenesis* (pp. 11-51). Dordrecht: Springer Netherlands.

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. (2559). มาตรฐานคุณภาพน้ำ. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html#s3. [12 เมษายน 2559]

กรมชลประทาน. (2555). รายงานผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพระตำหนักสวนปทุม จังหวัดปทุมธานี ประจำปี2553-2554. แหล่งที่มา: http://water.rid.go.th/hwm/swq/sediment/sedpdf/Hydrosed.pdf. [22 พฤษภาคม 2560]

กรมประมง.(2560). ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO). แหล่งที่มา: www.fisheries.go.th/cf-phuket/oxygen.doc [25 เมษายน 2560]

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2549). กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กำหนดมาตรฐานมลพิษและการจัดการสิ่งแวดลอมสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ และโลหกรรมชนิดแร่สังกะสี. แหล่งที่มา: file:///C:/Users/Administrator/Downloads/000001145592778.pdf. [12 เมษายน 2559]

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2559). การแสดงแผนภูมิ 5 ปีของผลผลิต การใช้ การนำเข้า และการส่งออกแร่. แหล่งที่มา: http://www7.dpim.go.th/stat/showgraphcontent.php. [6 เมษายน 2559]

กาญจนา สาลีติ๊ด. (2541). พฤกษศาสตร์ทั่วไป. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์ , หน้า 232-233.

จูนลิฎา โยธาทิพย์. (2553). การศึกษาการปลูกพืชภายในอาคารโดยใช้แสงประดิษฐ์. แหล่งที่มา: http://researchconference.kps.ku.ac.th/article_7/pdf/p_sci_tech27.pdf. [18 พฤศจิกายน 2558]

ชูชัย อนุเดชากุล. (2553). การใช้ผักตบชวาบำบัดคลอร์ไพริฟอส. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, . สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. .

ดารารัตน์ โรจนพิทยากร. (2558). การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยพืชร่วมกับจลนศาสตร์ไฟฟ้าในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสังกะสีโดยหญ้ารูซี่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ. (2558). สรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะเครียด: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นาตยา เต็มราม ยุพดี ชัยสุขสันต์ วรรณชไม การถนัด. และคณะ. (2553). พิษเฉียบพลันของซิงค์ออกไซด์ต่อหนอนแดง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 18*, 9-16.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. (2539). แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ (พิมพ์ครั้งที่ 7): สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก, วิภา หอมหวน, ดำรงศักดิ์ สุวรรณศรี และคณะ. (2558). การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยแหนแดง (Azolla microphylla) ในระบบบำบัดน้ำเสียพืชลอยน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., ปีที่ *43* (ฉบับที่ 4), 698-714.

พิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์. (2552). การกำจัดคลอร์ไพริฟอสโดยใช้จอก *Pistia stratiotes* และแหนเป็ด *Lemna Minor.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. .

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. (2560). การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่. (2559). อุตสาหกรรมสังกะสีของประเทศไทย. แหล่งที่มา http://lc.dpim.go.th/kb/1096. [6 เมษายน 2559]

เสาวณิต ทองมี. (2550). การใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่าง ภายในอาคารห้องสมุด : กรณีศึกษาอาคารห้องสมุดประชาชน “เฉลิมราชกุมารี”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

แสงดาว วงศ์ปัน. (2550). การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.: สำนักวิจัยและพัฒนา.

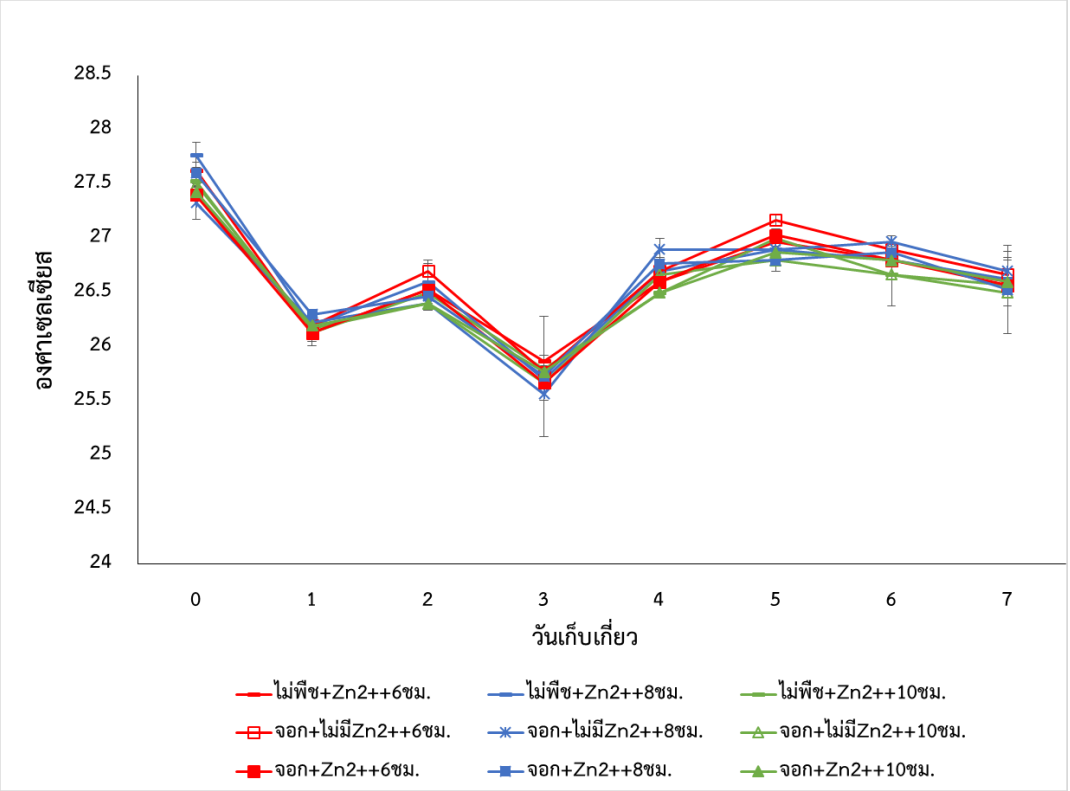
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

รูปภาพที่เกี่ยวกับงานวิจัย มีดังนี้

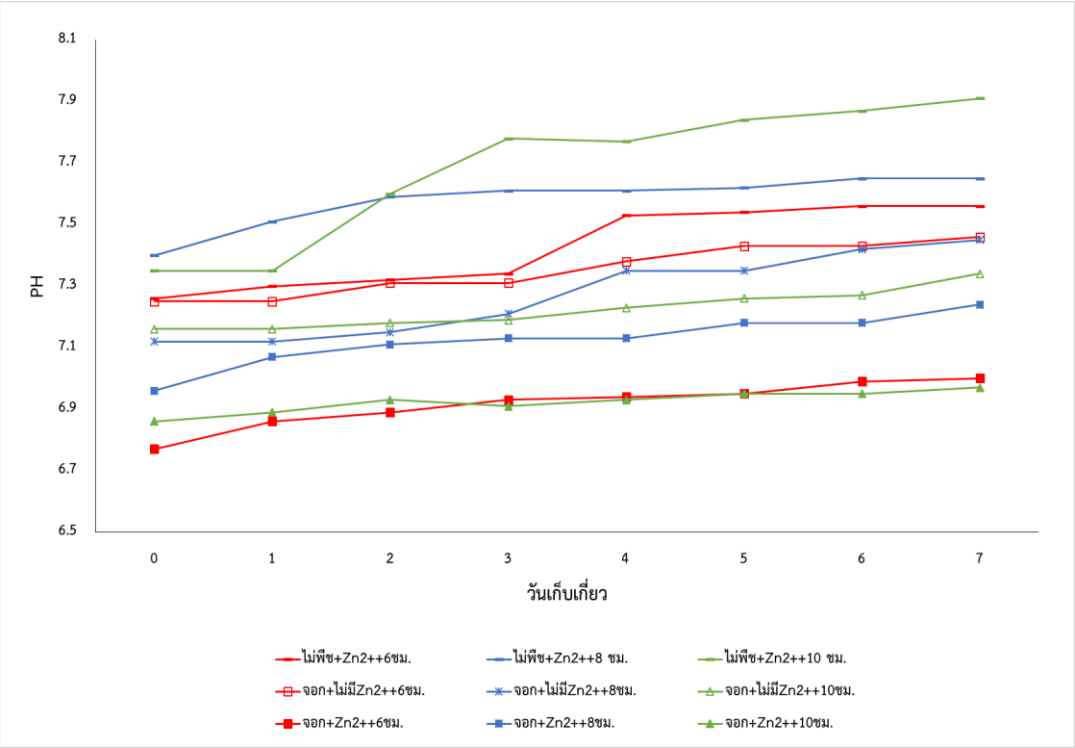
(ก)



(ก) กราฟแสดงอุณหภูมิอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืชในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

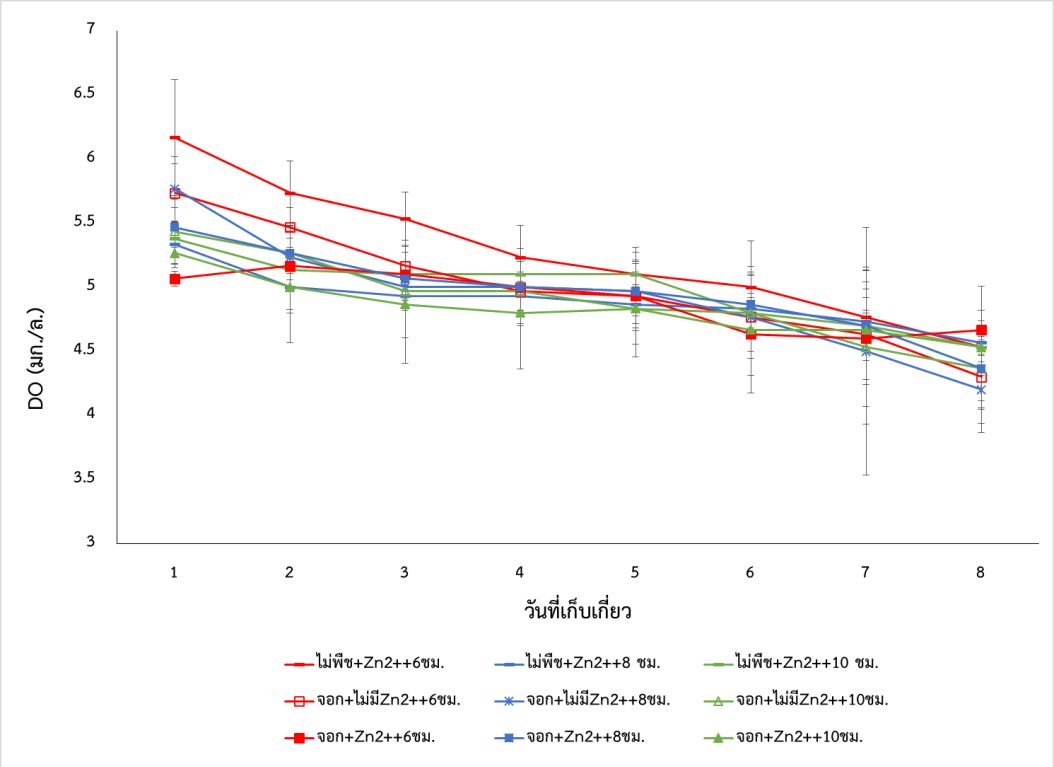
(ข)



(ข) กราฟแสดงความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืชในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

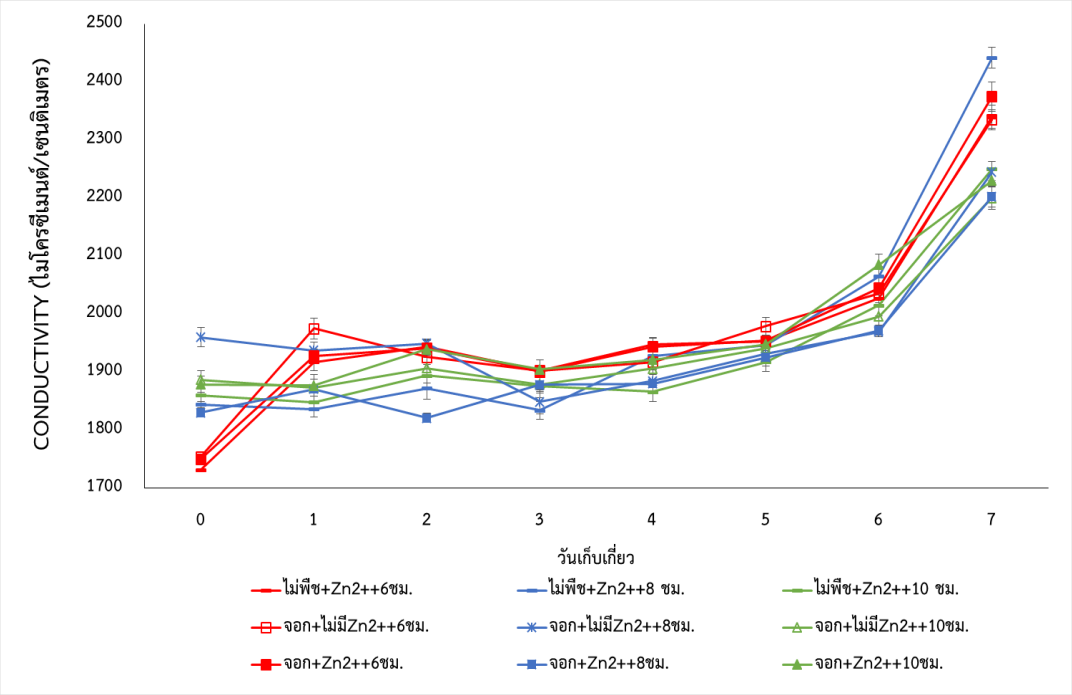
(ค)



(ค) กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืชในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

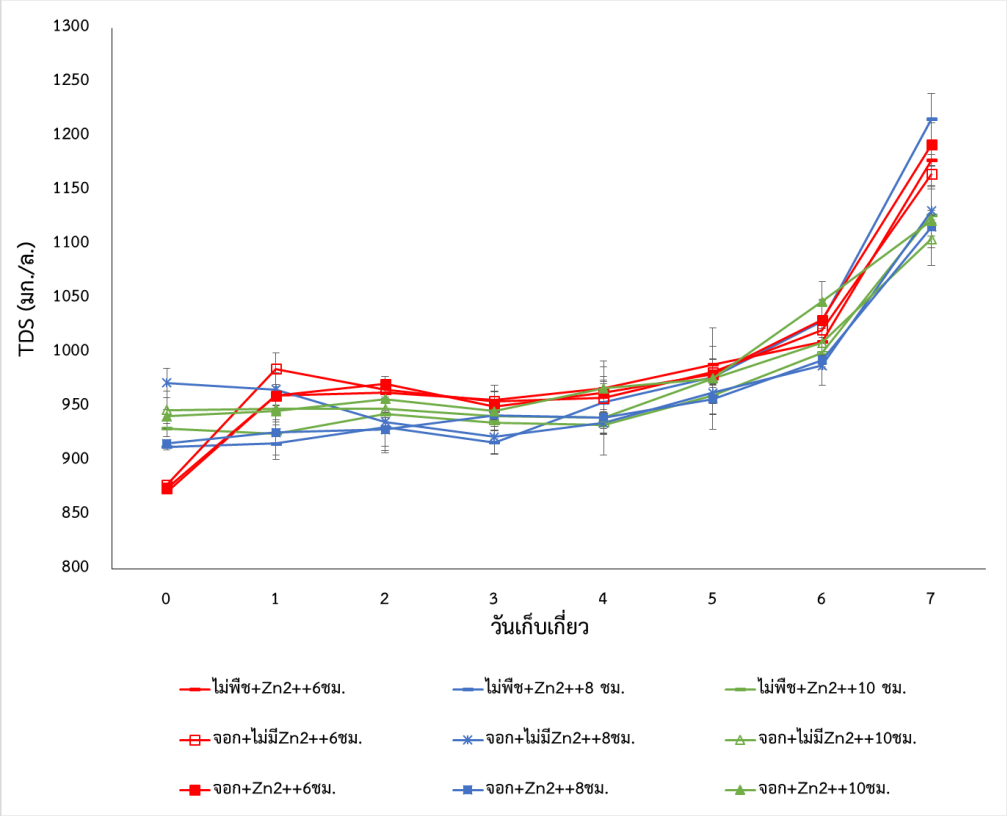
(ง)



(ง) กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืชในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

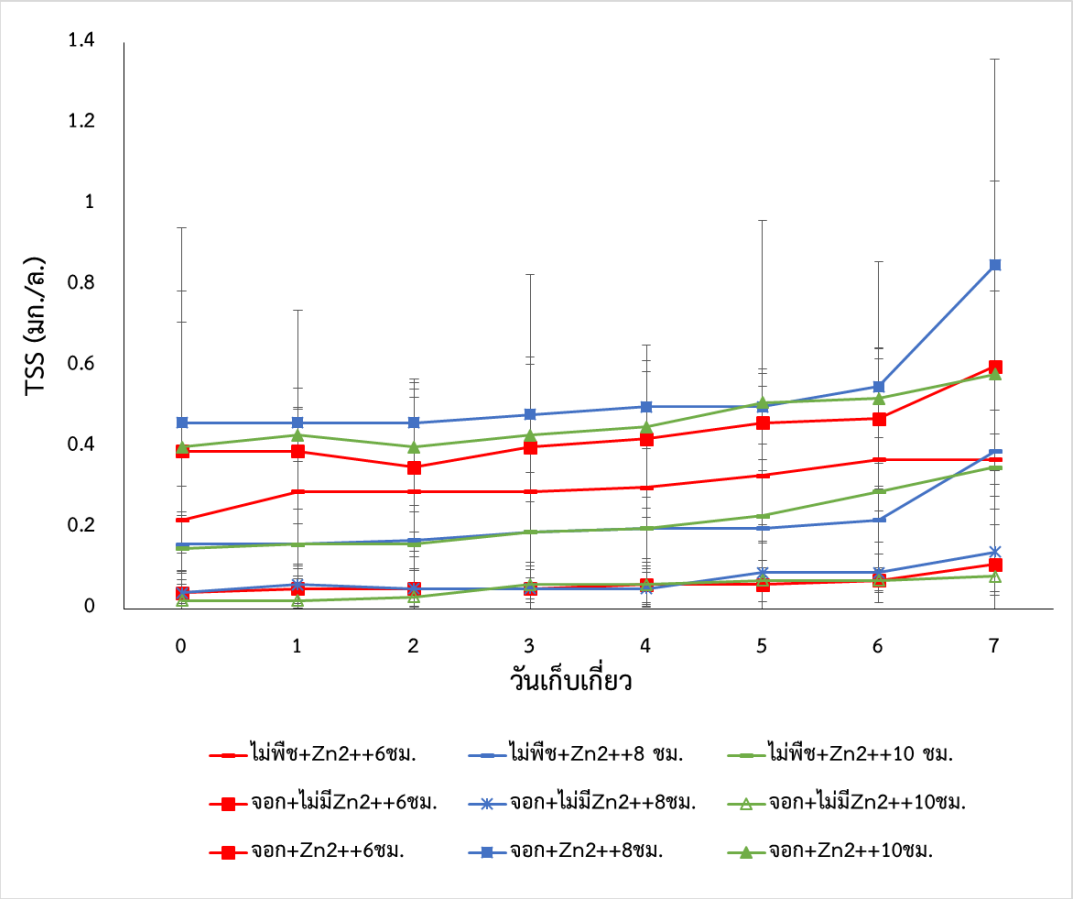
(จ)



(จ) กราฟแสดงค่าของแข็งละลายทั้งหมดของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืชในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ฉ)



(ฉ) กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอยของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's No.2 ที่ใช้เลี้ยงพืชในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชิดชนก จิ๋วพัฒนกุล เกิดเมื่อวันเสาร์ที่ 29 มิถุนายน พุทธศักราช 2534 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University