

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม สังกะสี และตะกั่ว

#### 4.1.1 การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียมระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ (0.25, 0.5, 0.75, และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งไม่เติมแคดเมียมเป็นชุดควบคุม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.1

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงให้เห็นว่าราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโต (น้ำหนักสด) ไม่แตกต่างจากพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งไม่เติมแคดเมียม ( $p > 0.05$ ) และพืชไม่แสดงอาการพิษใดๆ ที่เกิดจากการได้รับแคดเมียม ในขณะที่ราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ มีน้ำหนักสดลดลงแตกต่างจากพืชที่ไม่ได้รับแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.1) ดังนั้นในการศึกษาผลของฮอร์โมนพืช, สารคีเลต, และปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนพืชและสารคีเลตต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนัก ในส่วนของการศึกษาโลหะหนักแคดเมียมจะใช้สารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตรในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14

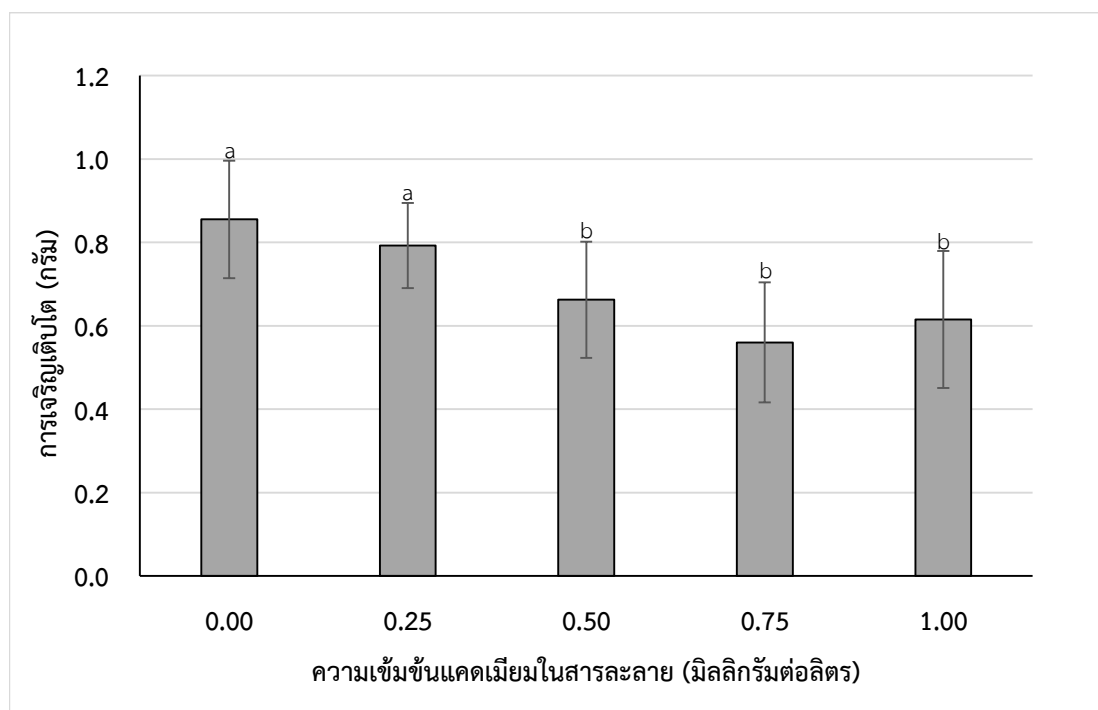
ความเข้มข้นแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0.00	0.86 ± 0.14 <sup>a</sup>	2.03 ± 0.13	0.56 ± 0.11	2.59 ± 0.21
0.25	0.79 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.00 ± 0.30	1.28 ± 0.35	4.27 ± 0.62
0.50	0.66 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.13 ± 0.38	0.81 ± 0.22	2.94 ± 0.43
0.75	0.56 ± 0.14 <sup>b</sup>	1.87 ± 0.55	0.85 ± 0.33	2.72 ± 0.82
1.00	0.61 ± 0.16 <sup>b</sup>	3.57 ± 0.55	1.04 ± 0.21	4.61 ± 0.71

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของแคดเมียม



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักหลังและก่อนการทดลอง) ที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุปนเปื้อนแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.1.2 การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสีระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ (2.50, 5.00, 7.50, และ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งไม่เติมสังกะสีเป็นชุดควบคุม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.2

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงให้เห็นว่าราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 2.50, 5.00, และ 7.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโต (น้ำหนักสด) ไม่แตกต่างจากพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งไม่เติมสังกะสี ( $p > 0.05$ ) และพืชไม่แสดงอาการพิษใดๆ ที่เกิดจากการได้รับสังกะสี ในขณะที่ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดลดลงแตกต่างจากพืชที่ไม่ได้รับสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.2) ดังนั้นในการศึกษาผลของฮอร์โมนพืช, สารคีเลต, และปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนพืชและสารคีเลตต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนัก ในส่วนของการศึกษาโลหะหนักสังกะสีจะใช้สารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 2.50 มิลลิกรัมต่อลิตรในการศึกษาต่อไป เนื่องจากพืชมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการเพาะเลี้ยงพืชในสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 5.00 และ 7.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าผลสถิติจะบอกว่าการเจริญเติบโตของพืชไม่แตกต่างกันก็ตาม

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเต็มสังกะสีที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

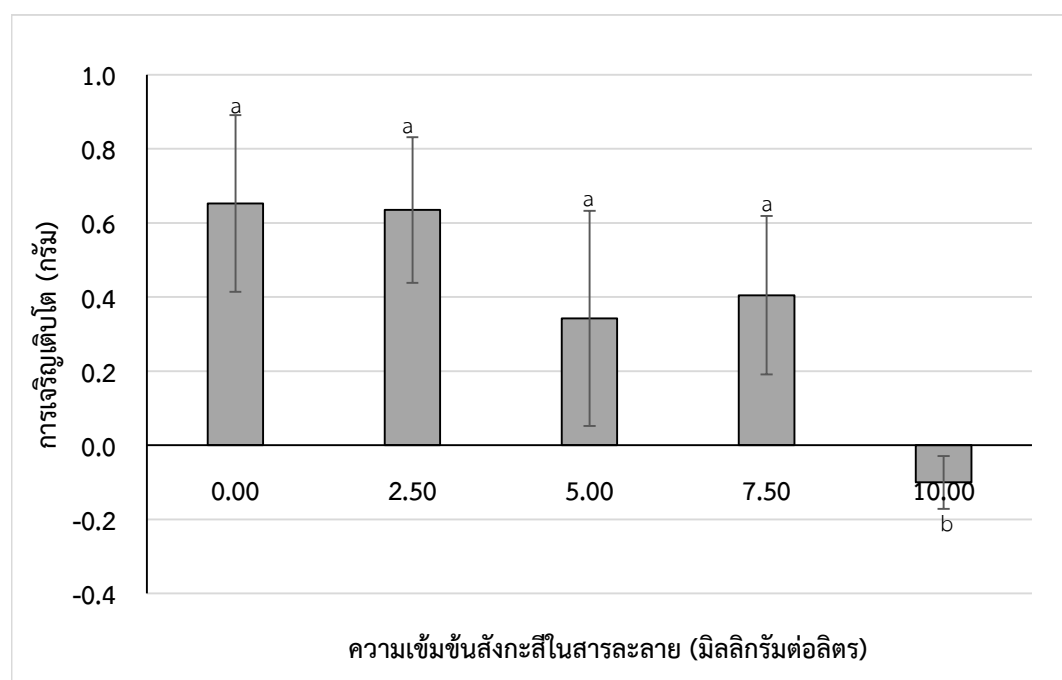
ความเข้มข้นสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0.00	0.65 ± 0.24 <sup>a</sup>	2.37 ± 0.36	1.13 ± 0.18	3.50 ± 0.24
2.50	0.64 ± 0.20 <sup>a</sup>	1.82 ± 0.23	0.84 ± 0.22	2.66 ± 0.17
5.00	0.34 ± 0.29 <sup>a</sup>	2.61 ± 0.15	0.90 ± 0.41	3.51 ± 0.26
7.50	0.41 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.90 ± 0.56	0.95 ± 0.30	3.84 ± 0.53
10.00	-0.10 ± 0.07 <sup>b</sup>	3.11 ± 0.98	1.22 ± 0.29	4.33 ± 1.18

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสังกะสี



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักหลังและก่อนการทดลอง) ที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุปนเปื้อนสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.1.3 การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่วระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ (2.50, 5.00, 10.00, และ 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งไม่เติมตะกั่วเป็นชุดควบคุม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.3

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติม ตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงให้เห็นว่าราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติม ตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 2.50 และ 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโต (น้ำหนักสด) ไม่แตกต่างจากพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งไม่เติมตะกั่ว ( $p > 0.05$ ) และพืชไม่แสดงอาการพิษใดๆ ที่เกิดจากการได้รับตะกั่ว ในขณะที่ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ มีน้ำหนักสดลดลงแตกต่างจากพืชที่ไม่ได้รับแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.3) ดังนั้นในการศึกษาผลของฮอร์โมนพืช, สารคีเลต, และปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนพืชและสารคีเลตต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนัก ในส่วนของการศึกษาโลหะหนักตะกั่วจะใช้สารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในการศึกษาต่อไป เนื่องจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีการเจริญเติบโตไม่ต่างกับพืชที่ระดับตะกั่ว 2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และตัวเลขก็ใกล้เคียงกันมากๆ

**ตารางที่ 4.3** การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

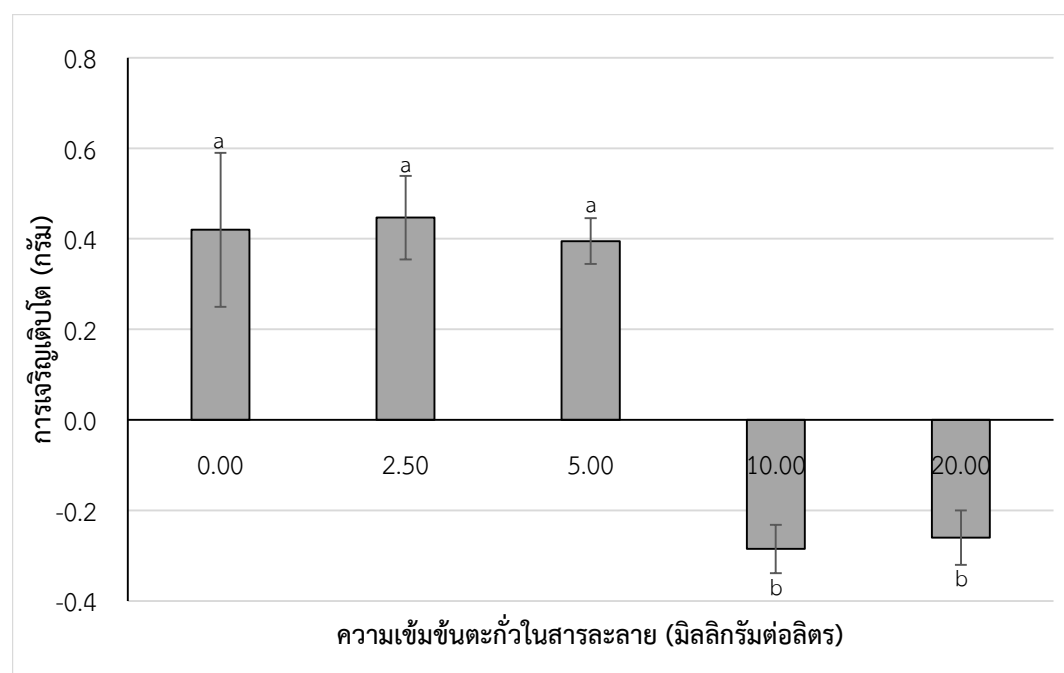
ความเข้มข้นตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0.00	0.42 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.26	0.56 ± 0.06	1.77 ± 0.30
2.50	0.45 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.61 ± 0.59	0.53 ± 0.23	2.14 ± 0.82
5.00	0.40 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.46 ± 0.47	0.68 ± 0.17	2.13 ± 0.57
10.00	-0.29 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.49 ± 0.71	0.53 ± 0.25	2.02 ± 0.96
20.00	-0.26 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.70 ± 0.56	0.51 ± 0.17	2.21 ± 0.73

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของตะกั่ว



**ภาพที่ 4.3** กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักหลังและก่อนการทดลอง) ที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุปนเปื้อนตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

4.2 ผลของฮอร์โมนพืช [กรดอินโดล-3-อะซีติก (Indole-3-acetic acid) หรือ IAA, Naphthalene acetic acid หรือ NAA, และ Gibberellic acid ( $GA_3$ )] ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนัก (แคดเมียม, สังกะสี, และตะกั่ว)

4.2.1 ผลของ กรดอินโดล-3-อะซีติก (Indole-3-acetic acid) หรือ IAA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักแคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมโดยไม่เติมฮอร์โมนพืช IAA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.4

ราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้น  $10^{-7}$  และ  $10^{-9}$  M มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช IAA (ตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.4)

ปริมาณแคดเมียมที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของแคดเมียมในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีลดลงอย่างมาก ที่ความเข้มข้น IAA  $10^{-11}$  M ในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่ไม่ได้รับ IAA (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5)

ตารางที่ 4.4 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

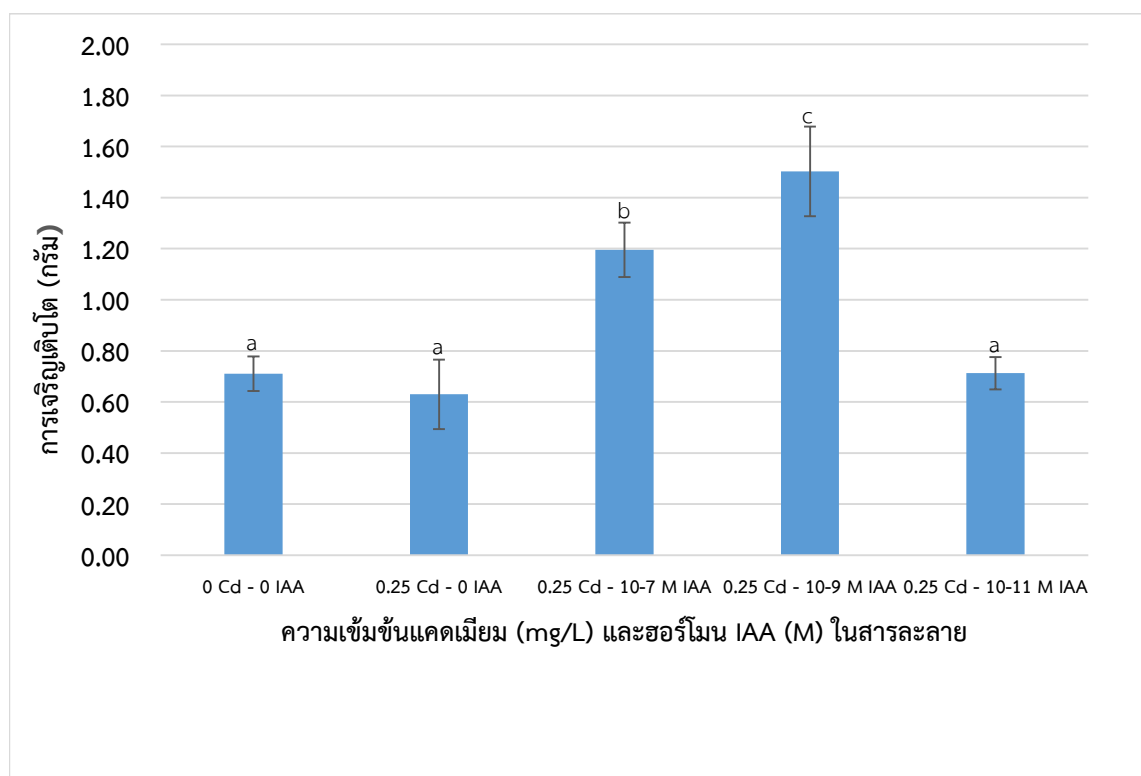
การทดลอง Cd (mg/L) - IAA (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Cd - 0 IAA	0.71 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.94 ± 0.54	0.60 ± 0.21	3.53 ± 0.41
0.25 Cd - 0 IAA	0.63 ± 0.14 <sup>a</sup>	3.60 ± 0.58	0.88 ± 0.11	4.48 ± 0.63
0.25 Cd - 10 <sup>-7</sup> M IAA	1.20 ± 0.11 <sup>b</sup>	4.06 ± 0.53	0.99 ± 0.22	5.04 ± 0.67
0.25 Cd - 10 <sup>-9</sup> M IAA	1.50 ± 0.18 <sup>c</sup>	4.87 ± 0.72	1.30 ± 0.23	6.17 ± 0.55
0.25 Cd - 10 <sup>-11</sup> M IAA	0.71 ± 0.06 <sup>a</sup>	4.64 ± 0.84	1.33 ± 0.12	5.97 ± 0.77

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ IAA

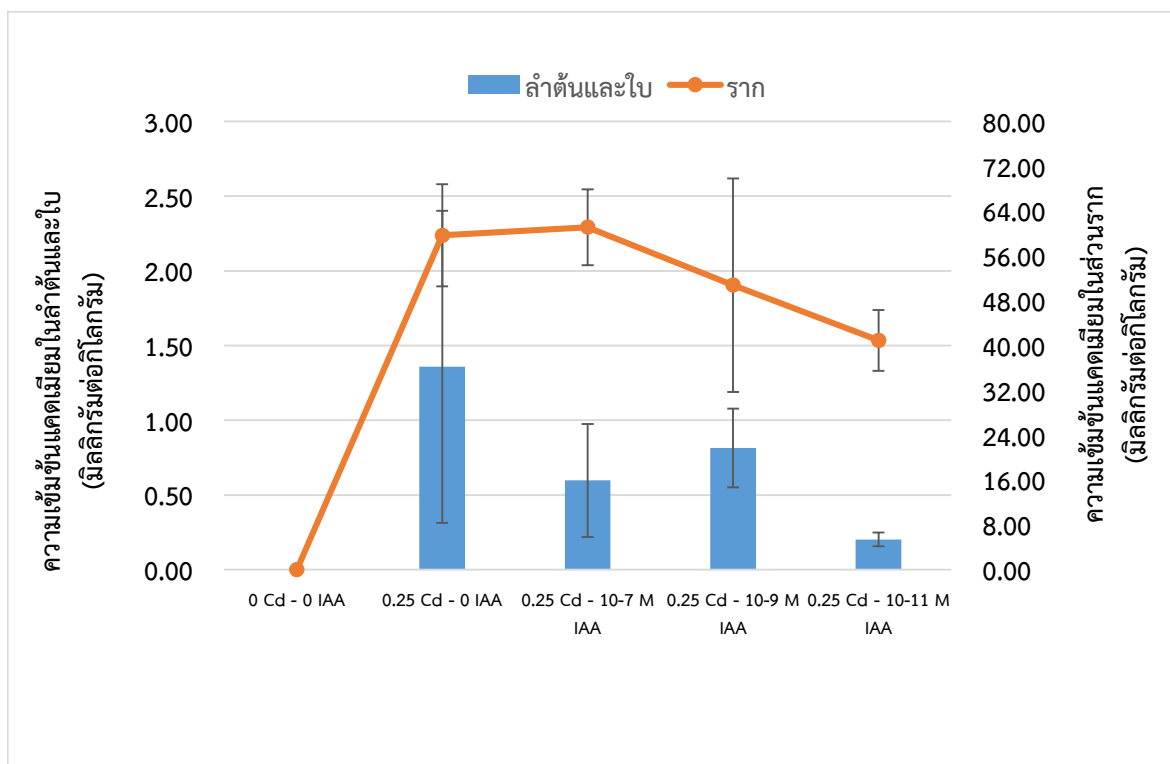


ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นแคดเมียมในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Cd (mg/L) - IAA (M)	ความเข้มข้นแคดเมียมในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Cd - 0 IAA	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
0.25 Cd - 0 IAA	1.36 ± 1.04	59.66 ± 9.11	61.02 ± 9.13	75.42 ± 3.65
0.25 Cd - 10 <sup>-7</sup> M IAA	0.60 ± 0.38	61.12 ± 6.78	61.72 ± 6.99	80.91 ± 2.05
0.25 Cd - 10 <sup>-9</sup> M IAA	0.81 ± 0.26	50.80 ± 19.06	51.62 ± 19.02	93.67 ± 1.39
0.25 Cd - 10 <sup>-11</sup> M IAA	0.20 ± 0.05	40.92 ± 5.43	41.13 ± 5.48	80.83 ± 1.47

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.2 ผลของฮอร์โมนพืช Naphthalene acetic acid หรือ NAA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวาทิบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักแคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมโดยไม่เติมฮอร์โมนพืช NAA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.6

ราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้น  $10^{-7}$  และ  $10^{-9}$  M มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช NAA (ตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.6)

ปริมาณแคดเมียมที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของแคดเมียมในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) ลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น NAA  $10^{-11}$  M ในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม ในขณะที่การสะสมของแคดเมียมในส่วนรากลดลงเล็กน้อยเมื่อเติม NAA ในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม เปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่ไม่ได้รับ NAA (ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7)

ตารางที่ 4.6 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

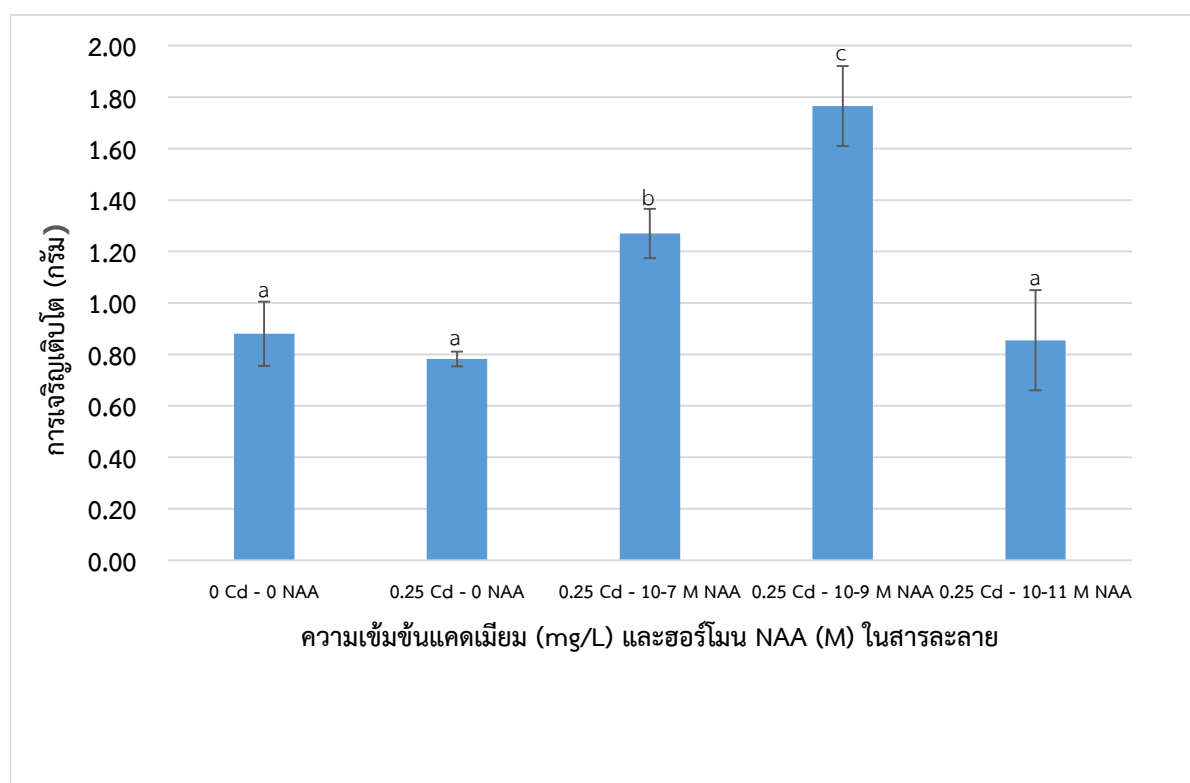
การทดลอง Cd (mg/L) - NAA (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Cd - 0 NAA	0.88 ± 0.13 <sup>a</sup>	2.33 ± 0.52	0.48 ± 0.06	2.81 ± 0.55
0.25 Cd - 0 NAA	0.78 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.63	0.82 ± 0.14	4.45 ± 0.65
0.25 Cd - 10 <sup>-7</sup> M NAA	1.27 ± 0.10 <sup>b</sup>	4.26 ± 0.51	0.87 ± 0.10	5.14 ± 0.59
0.25 Cd - 10 <sup>-9</sup> M NAA	1.77 ± 0.16 <sup>c</sup>	3.33 ± 0.61	0.86 ± 0.16	4.19 ± 0.48
0.25 Cd - 10 <sup>-11</sup> M NAA	0.86 ± 0.19 <sup>a</sup>	4.34 ± 0.44	1.09 ± 0.20	5.43 ± 0.63

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ NAA

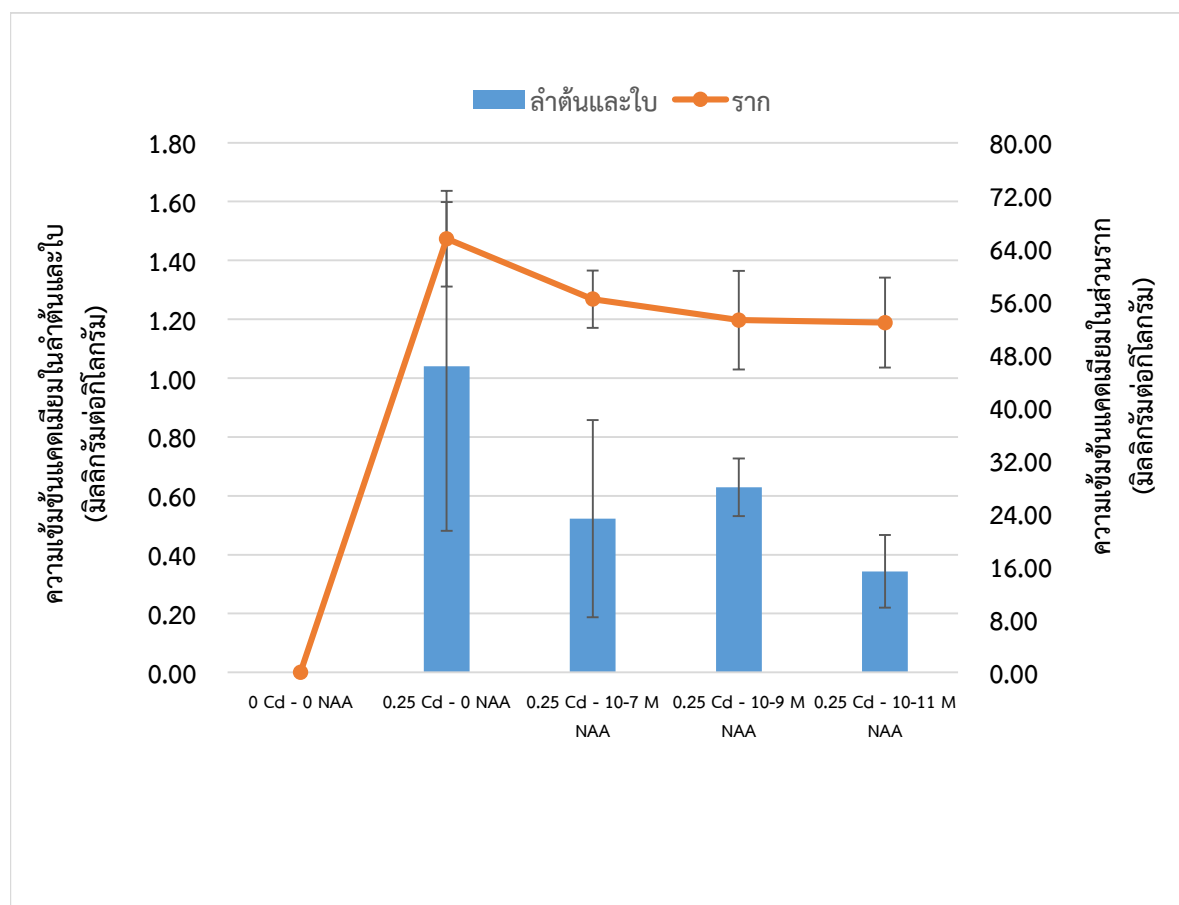


ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นแคดเมียมในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Cd (mg/L) - NAA (M)	ความเข้มข้นแคดเมียมในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Cd - 0 NAA	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
0.25 Cd - 0 NAA	1.04 ± 0.56	65.49 ± 7.23	66.53 ± 7.21	82.04 ± 6.49
0.25 Cd - 10 <sup>-7</sup> M NAA	0.52 ± 0.34	56.36 ± 4.34	56.89 ± 4.22	83.14 ± 3.36
0.25 Cd - 10 <sup>-9</sup> M NAA	0.63 ± 0.10	53.20 ± 7.45	53.83 ± 7.39	88.05 ± 4.27
0.25 Cd - 10 <sup>-11</sup> M NAA	0.34 ± 0.12	52.83 ± 6.79	53.17 ± 6.90	86.64 ± 4.89

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.3 ผลของฮอร์โมนพืช Gibberellic acid ( $GA_3$ ) ต่อการเจริญเติบโตและการสะสม โลหะหนักของราชวาทิบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหาร พืชที่มีโลหะหนักแคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมโดยไม่เติมฮอร์โมนพืช  $GA_3$  เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.8

ราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช  $GA_3$  (ตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.8)

ปริมาณแคดเมียมที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9

ผลการทดลองพบว่า การสะสมของแคดเมียมในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) เพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น  $GA_3$   $10^{-9}$  M ในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม ในขณะที่การสะสมของแคดเมียมในส่วนรากแทบไม่แตกต่างกันเมื่อเติม  $GA_3$  ในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม เปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่ไม่ได้รับ  $GA_3$  (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9)

ตารางที่ 4.8 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

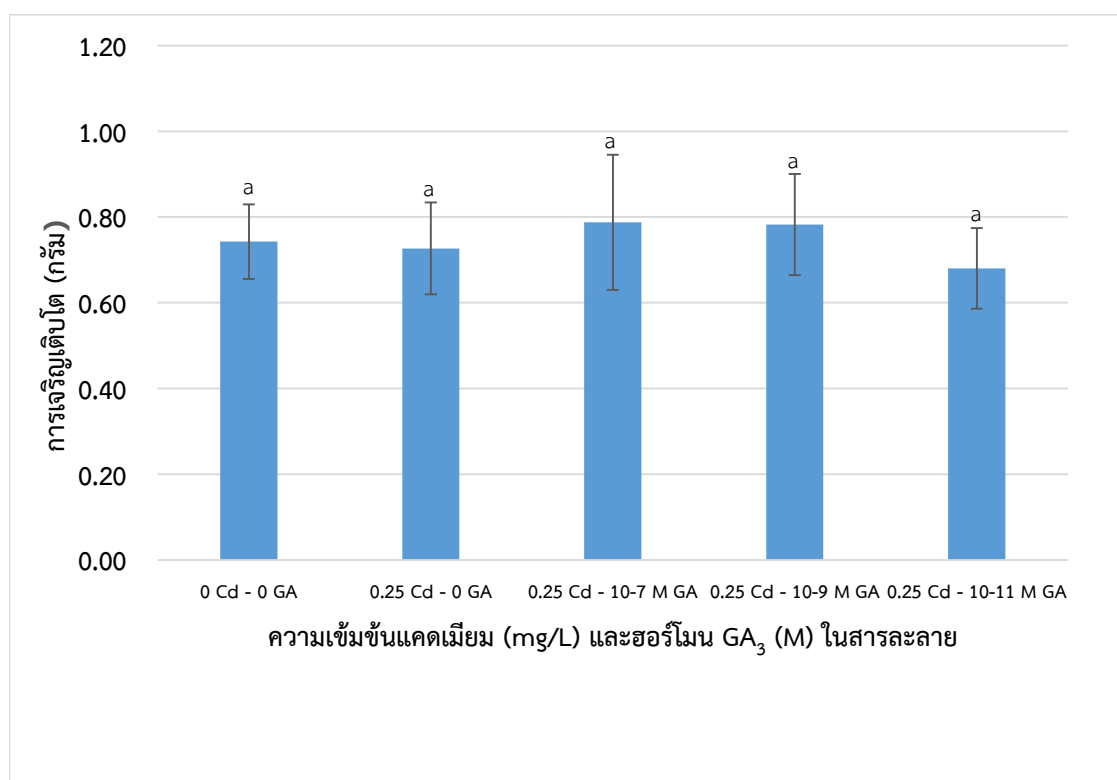
การทดลอง Cd (mg/L) - GA <sub>3</sub> (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Cd - 0 GA <sub>3</sub>	0.74 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.53 ± 0.31	0.86 ± 0.16	3.39 ± 0.20
0.25 Cd - 0 GA <sub>3</sub>	0.73 ± 0.11 <sup>a</sup>	3.53 ± 1.02	1.01 ± 0.15	4.28 ± 0.92
0.25 Cd - 10 <sup>-7</sup> M GA <sub>3</sub>	0.79 ± 0.16 <sup>a</sup>	4.01 ± 0.35	1.14 ± 0.33	5.15 ± 0.68
0.25 Cd - 10 <sup>-9</sup> M GA <sub>3</sub>	0.78 ± 0.12 <sup>a</sup>	4.57 ± 0.20	1.16 ± 0.31	5.73 ± 0.45
0.25 Cd - 10 <sup>-11</sup> M GA <sub>3</sub>	0.68 ± 0.09 <sup>a</sup>	5.62 ± 0.64	1.45 ± 0.28	7.07 ± 0.90

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ GA<sub>3</sub>

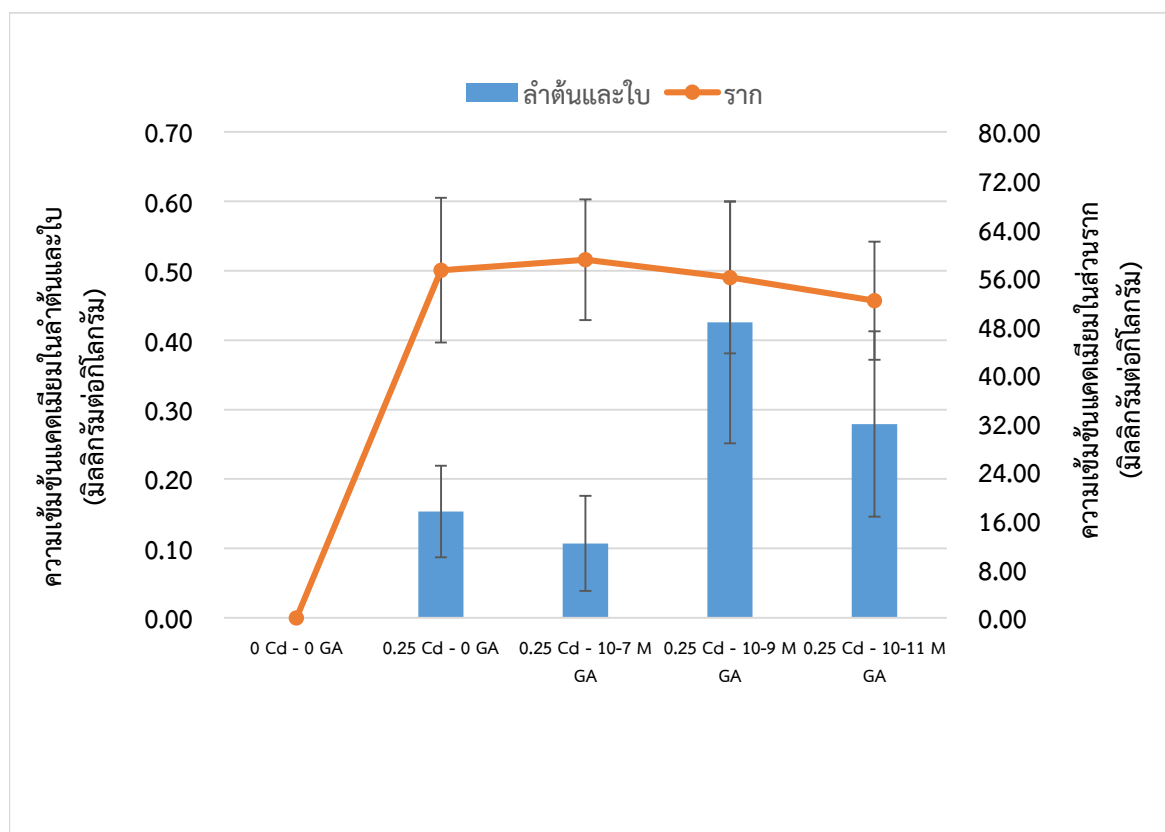


ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นแคดเมียมในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Cd (mg/L) - GA <sub>3</sub> (M)	ความเข้มข้นแคดเมียมในพืช (มิลลิกรัมตอกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Cd - 0 GA <sub>3</sub>	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
0.25 Cd - 0 GA <sub>3</sub>	0.15 ± 0.07	57.25 ± 11.89	57.40 ± 11.84	73.31 ± 6.60
0.25 Cd - 10 <sup>-7</sup> M GA <sub>3</sub>	0.11 ± 0.07	58.97 ± 9.93	59.08 ± 9.95	72.80 ± 6.80
0.25 Cd - 10 <sup>-9</sup> M GA <sub>3</sub>	0.43 ± 0.17	56.05 ± 12.50	56.47 ± 12.46	77.26 ± 11.17
0.25 Cd - 10 <sup>-11</sup> M GA <sub>3</sub>	0.28 ± 0.13	52.22 ± 9.75	52.50 ± 9.84	90.69 ± 6.41

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.4 ผลของ กรดอินโดล-3-อะซีติก (Indole-3-acetic acid) หรือ IAA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวาทิบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีโดยไม่เติมฮอร์โมนพืช IAA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10 และ ภาพที่ 4.10

ราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA ลดลงในสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช IAA (ตารางที่ 4.10 และ ภาพที่ 4.10)

ปริมาณสังกะสีที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.11

ผลการทดลองพบว่า การสะสมของสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มีฮอร์โมนพืช IAA มีภาพรวมไม่แตกต่างจากพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ IAA (ตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.11)

ตารางที่ 4.10 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

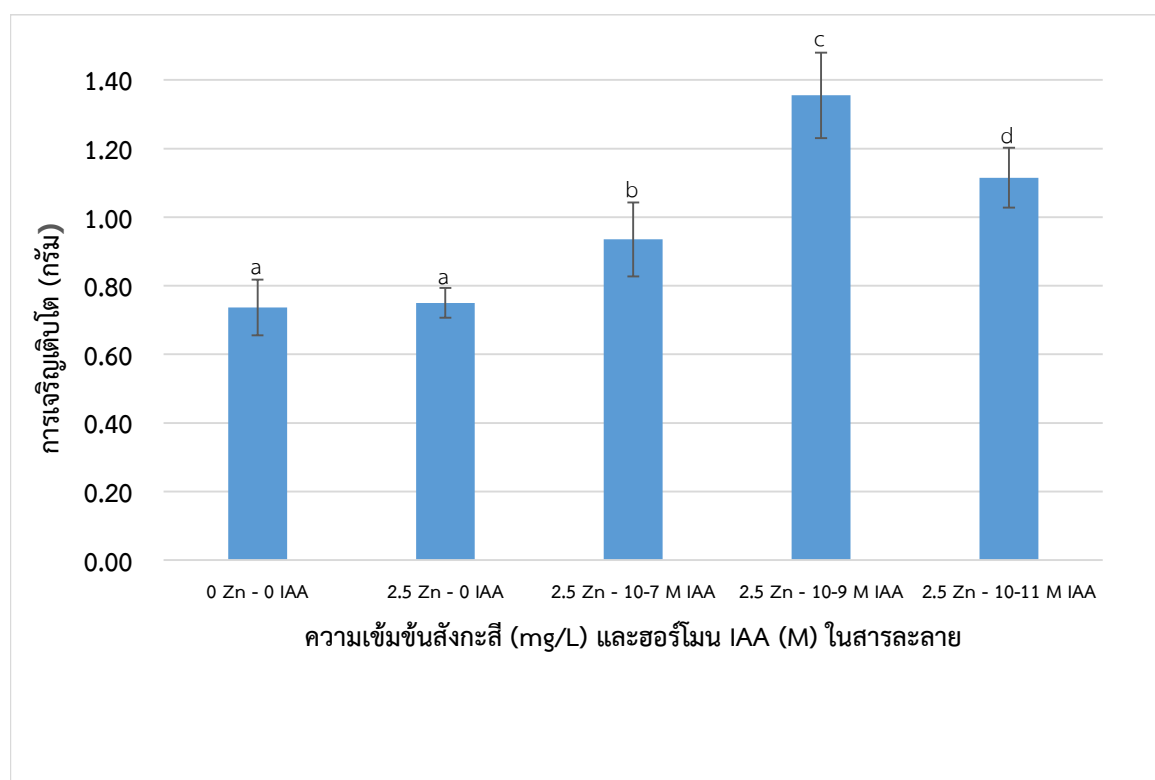
การทดลอง Zn (mg/L) - IAA (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Zn - 0 IAA	0.74 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.12 ± 0.78	0.60 ± 0.16	2.63 ± 1.07
2.5 Zn - 0 IAA	0.75 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.40 ± 0.47	0.85 ± 0.27	3.92 ± 0.13
2.5 Zn - 10 <sup>-7</sup> M IAA	0.94 ± 0.11 <sup>b</sup>	3.80 ± 1.03	0.98 ± 0.18	4.79 ± 1.14
2.5 Zn - 10 <sup>-9</sup> M IAA	1.36 ± 0.12 <sup>c</sup>	5.02 ± 0.31	1.32 ± 0.32	6.34 ± 0.18
2.5 Zn - 10 <sup>-11</sup> M IAA	1.12 ± 0.09 <sup>d</sup>	5.65 ± 1.02	1.69 ± 0.33	7.34 ± 1.31

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ IAA

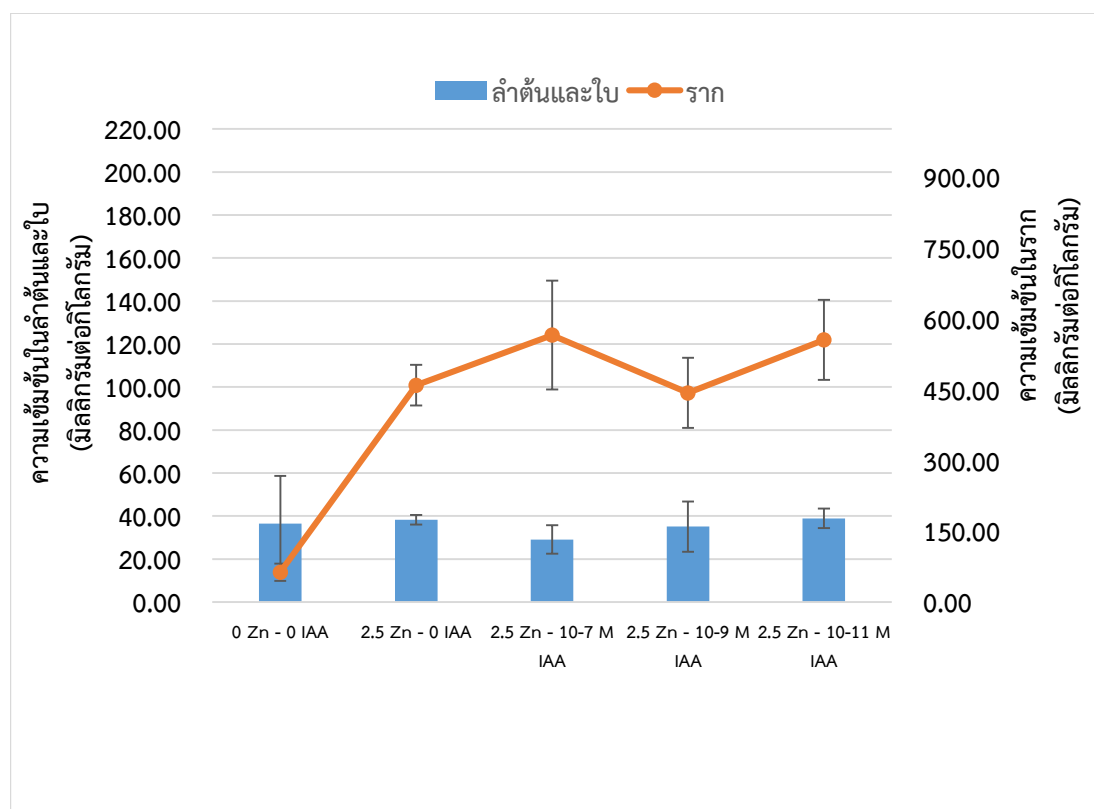


ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นสังกะสีในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Zn (mg/L) - IAA (M)	ความเข้มข้นสังกะสีในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Zn - 0 IAA	36.45 ± 22.24	62.99 ± 17.99	99.45 ± 39.25	15.25 ± 3.67
2.5 Zn - 0 IAA	38.27 ± 2.26	458.37 ± 42.95	496.64 ± 40.78	53.42 ± 3.81
2.5 Zn - 10 <sup>-7</sup> M IAA	29.10 ± 6.58	564.40 ± 114.73	593.50 ± 120.10	56.68 ± 10.49
2.5 Zn - 10 <sup>-9</sup> M IAA	35.07 ± 11.65	442.25 ± 73.97	477.32 ± 67.43	77.73 ± 3.96
2.5 Zn - 10 <sup>-11</sup> M IAA	38.89 ± 4.53	554.12 ± 84.74	593.02 ± 88.82	75.82 ± 10.80

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการสะสมสังกะสีในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.5 ผลของฮอร์โมนพืช Naphthalene acetic acid หรือ NAA ต่อการเจริญเติบโต และการสะสมโลหะหนักของราชวาทิบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วย สารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช NAA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12 และ ภาพที่ 4.12

ราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้น  $10^{-9}$  M มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช NAA (ตารางที่ 4.12 และ ภาพที่ 4.12)

ปริมาณสังกะสีที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.13

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากเพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มีฮอร์โมนพืช NAA ยกเว้นในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มีฮอร์โมนพืช NAA  $10^{-11}$  M พบว่าการสะสมของสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากลดลงเมื่อเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ NAA (ตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.13)

ตารางที่ 4.12 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

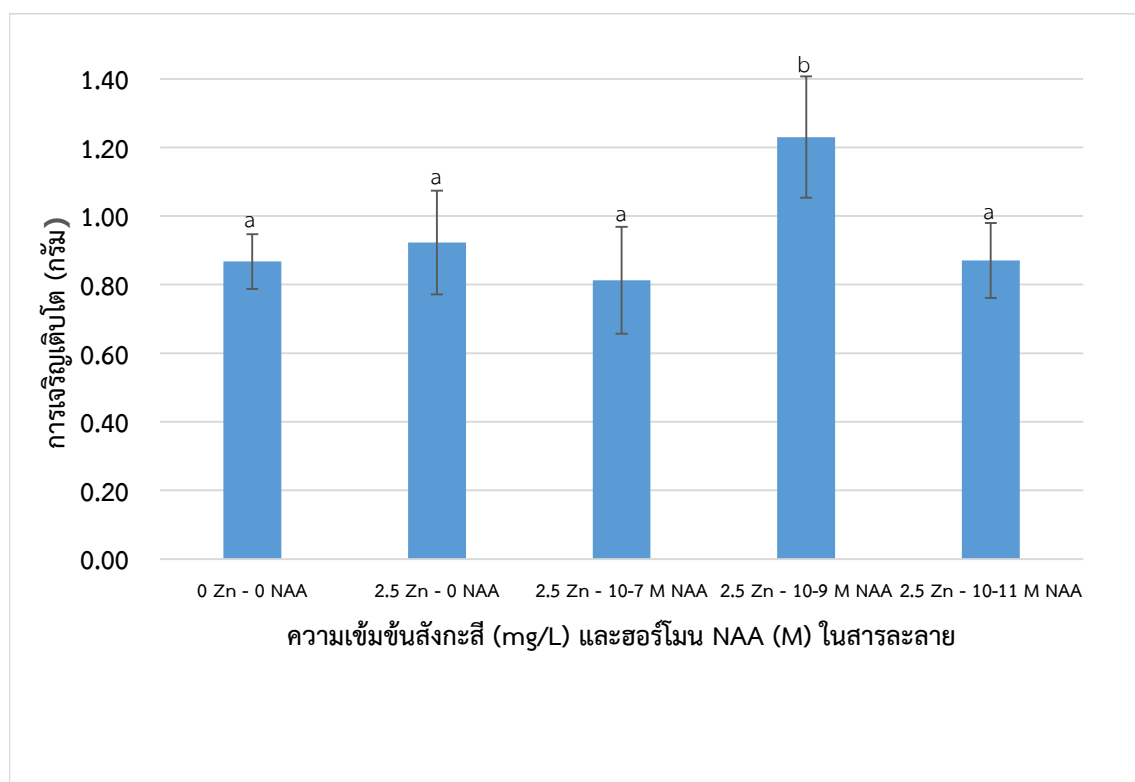
การทดลอง Zn (mg/L) - NAA (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Zn - 0 NAA	0.87 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.97 ± 0.55	0.51 ± 0.20	3.48 ± 0.70
2.5 Zn - 0 NAA	0.92 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.39 ± 0.44	0.89 ± 0.08	4.28 ± 0.46
2.5 Zn - 10 <sup>-7</sup> M NAA	0.81 ± 0.16 <sup>a</sup>	4.17 ± 0.29	0.89 ± 0.06	5.07 ± 0.24
2.5 Zn - 10 <sup>-9</sup> M NAA	1.23 ± 0.18 <sup>b</sup>	5.30 ± 0.43	0.97 ± 0.31	6.27 ± 0.16
2.5 Zn - 10 <sup>-11</sup> M NAA	0.87 ± 0.11 <sup>a</sup>	5.60 ± 0.80	1.46 ± 0.28	7.07 ± 1.00

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ NAA

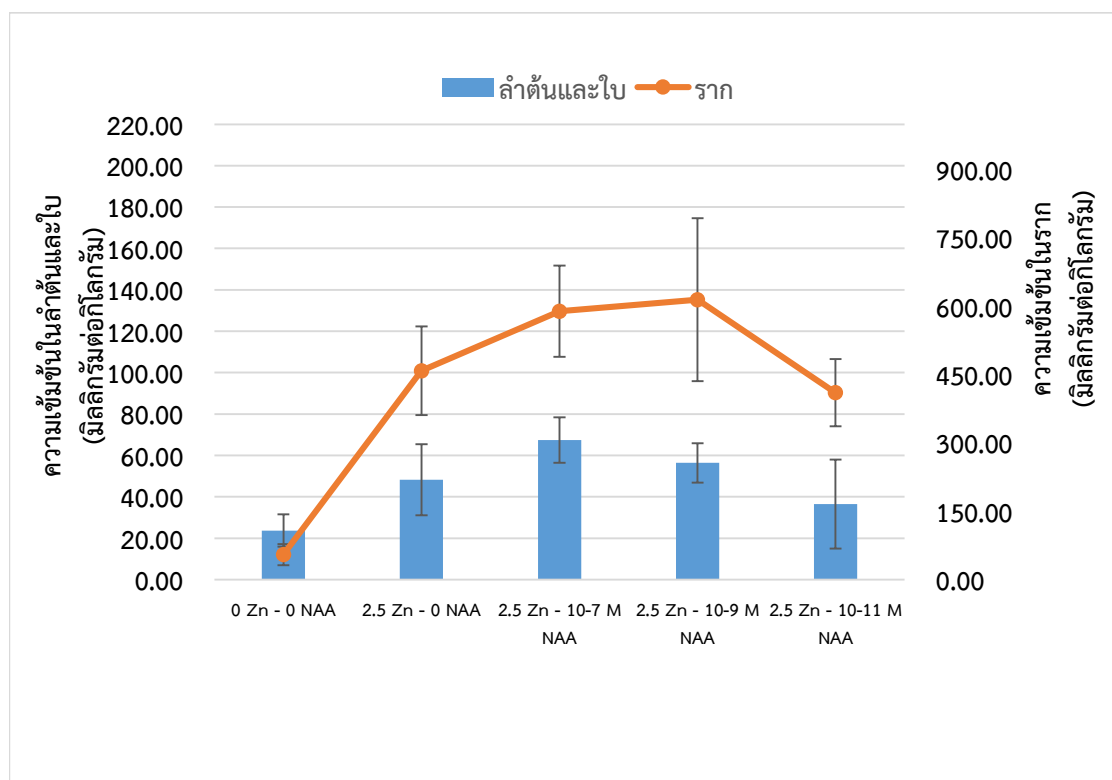


ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นสังกะสีในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Zn (mg/L) - NAA (M)	ความเข้มข้นสังกะสีในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Zn - 0 NAA	23.68 ± 7.80	54.78 ± 23.32	78.46 ± 29.93	17.37 ± 2.65
2.5 Zn - 0 NAA	48.20 ± 17.15	458.49 ± 97.26	506.69 ± 112.97	62.91 ± 11.78
2.5 Zn - 10 <sup>-7</sup> M NAA	67.40 ± 10.99	589.36 ± 100.35	656.76 ± 105.75	76.96 ± 2.49
2.5 Zn - 10 <sup>-9</sup> M NAA	56.36 ± 9.48	614.54 ± 178.87	670.90 ± 183.65	76.16 ± 6.74
2.5 Zn - 10 <sup>-11</sup> M NAA	36.55 ± 21.50	410.37 ± 74.05	446.92 ± 86.72	72.16 ± 4.58

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงการสะสมสังกะสีในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.6 ผลของฮอร์โมนพืช Gibberellic acid ( $GA_3$ ) ต่อการเจริญเติบโตและการสะสม โลหะหนักของราชวาทิบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหาร พืชที่มีโลหะหนักสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช  $GA_3$  เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.14 และ ภาพที่ 4.14

ราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช  $GA_3$  (ตารางที่ 4.14 และ ภาพที่ 4.14)

ปริมาณสังกะสีที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.15

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของสังกะสีในส่วนรากเพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มีฮอร์โมนพืช  $GA_3$   $10^{-9}$  M และยังพบอีกว่าการสะสมสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) ในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มีฮอร์โมนพืชความเข้มข้นนี้ไม่แตกต่างจากพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ  $GA_3$  (ตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.15)

ตารางที่ 4.14 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

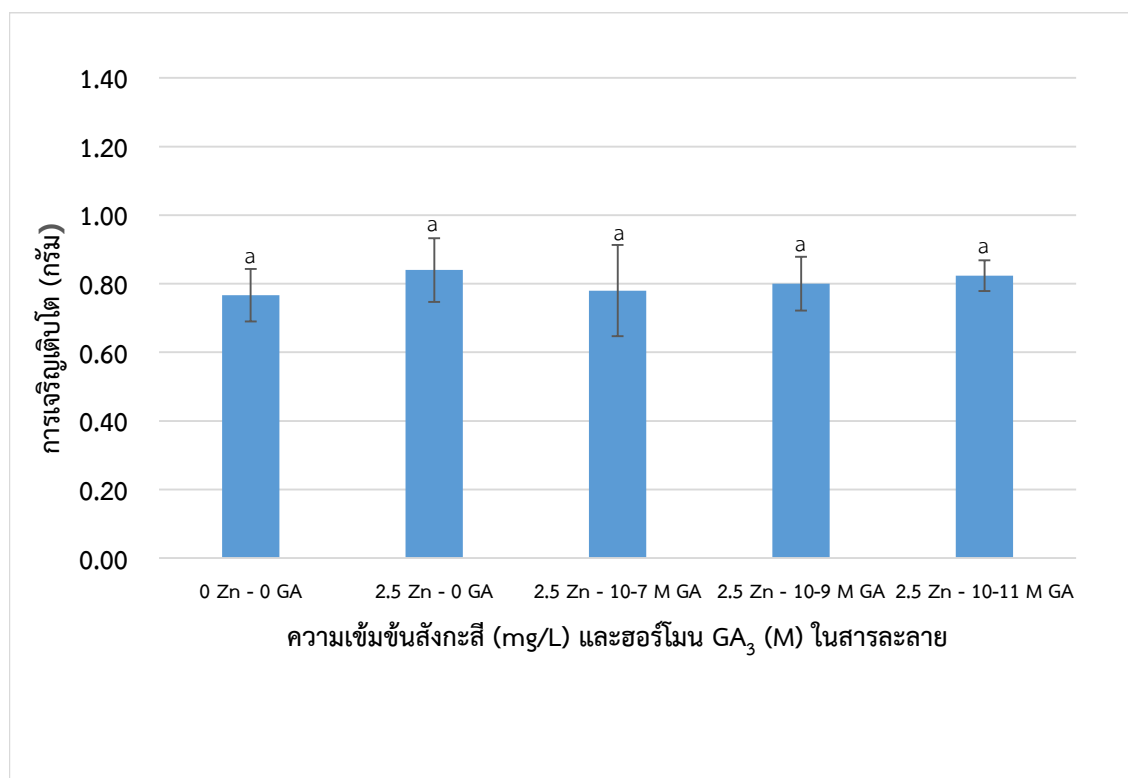
การทดลอง Zn (mg/L) - GA <sub>3</sub> (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Zn - 0 GA <sub>3</sub>	0.77 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.57 ± 0.44	0.47 ± 0.19	3.25 ± 0.44
2.5 Zn - 0 GA <sub>3</sub>	0.84 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.66 ± 0.33	1.29 ± 0.37	4.95 ± 0.59
2.5 Zn - 10 <sup>-7</sup> M GA <sub>3</sub>	0.78 ± 0.13 <sup>a</sup>	3.65 ± 0.48	0.81 ± 0.10	4.45 ± 0.54
2.5 Zn - 10 <sup>-9</sup> M GA <sub>3</sub>	0.80 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.35 ± 0.32	0.88 ± 0.08	5.23 ± 0.35
2.5 Zn - 10 <sup>-11</sup> M GA <sub>3</sub>	0.82 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.14 ± 0.55	1.25 ± 0.39	7.34 ± 1.12

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ GA<sub>3</sub>

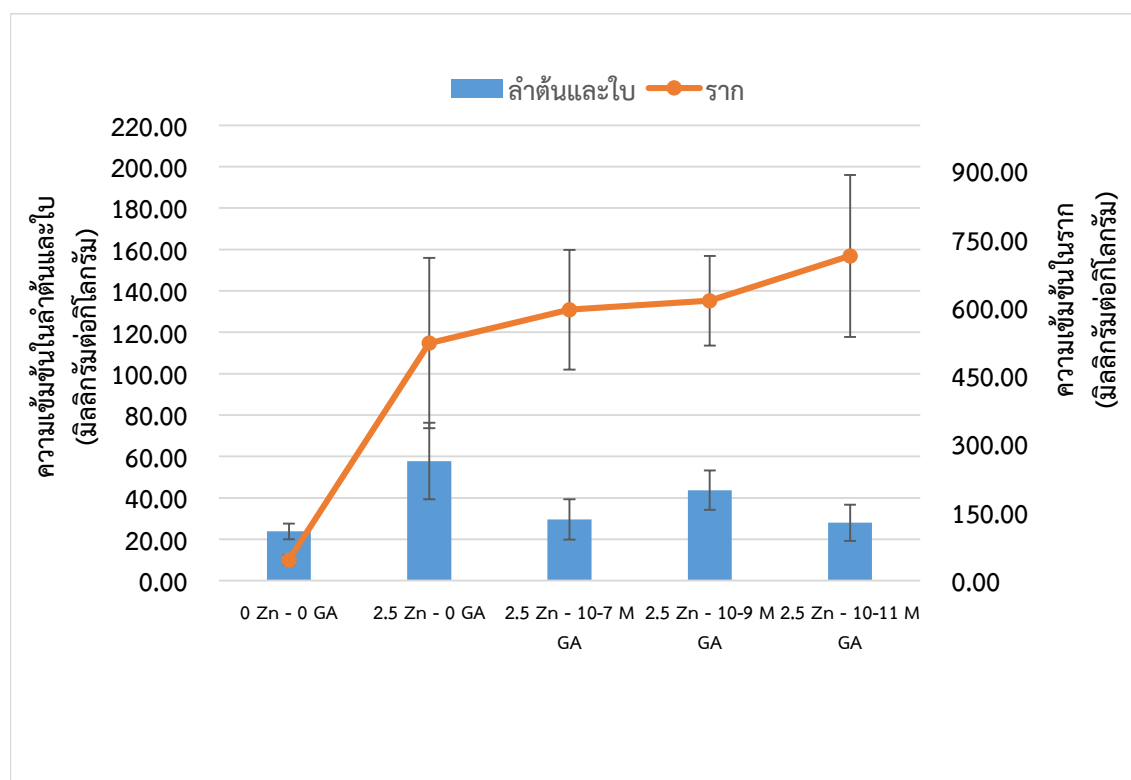


ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นสังกะสีในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Zn (mg/L) – GA <sub>3</sub> (M)	ความเข้มข้นสังกะสีในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Zn - 0 GA <sub>3</sub>	23.80 ± 3.83	45.24 ± 10.81	69.04 ± 14.63	38.43 ± 4.57
2.5 Zn - 0 GA <sub>3</sub>	57.78 ± 18.52	521.53 ± 187.03	579.30 ± 201.34	60.41 ± 13.93
2.5 Zn - 10 <sup>-7</sup> M GA <sub>3</sub>	29.58 ± 9.71	594.94 ± 131.25	624.52 ± 138.43	64.69 ± 5.99
2.5 Zn - 10 <sup>-9</sup> M GA <sub>3</sub>	43.69 ± 9.51	614.73 ± 98.47	658.42 ± 105.49	69.36 ± 10.27
2.5 Zn - 10 <sup>-11</sup> M GA <sub>3</sub>	27.98 ± 8.71	713.14 ± 177.77	741.12 ± 182.11	70.76 ± 11.16

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงการสะสมสังกะสีในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.7 ผลของ กรดอินโดล-3-อะซีติก (Indole-3-acetic acid) หรือ IAA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวาทิบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วโดยไม่เติมฮอร์โมนพืช IAA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.16 และ ภาพที่ 4.16

ราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช IAA (ตารางที่ 4.16 และ ภาพที่ 4.16)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.17

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) ของราชวาทิเพิ่มขึ้น ในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่มีฮอร์โมนพืช IAA  $10^{-9}$  M เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่ไม่ได้รับ IAA (ตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.17)

ตารางที่ 4.16 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

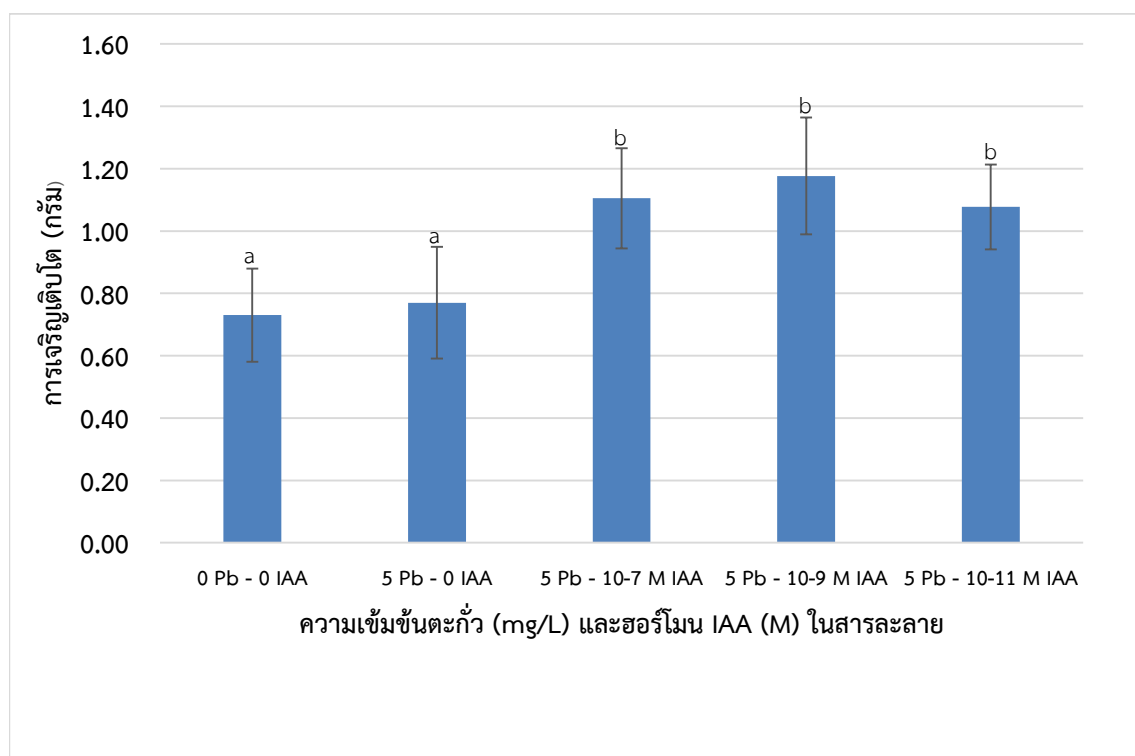
การทดลอง Pb (mg/L) - IAA (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Pb - 0 IAA	0.73 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.09 ± 0.86	0.75 ± 0.09	3.84 ± 0.79
5 Pb - 0 IAA	0.77 ± 0.18 <sup>a</sup>	4.05 ± 0.88	0.94 ± 0.17	4.98 ± 0.81
5 Pb - 10 <sup>-7</sup> M IAA	1.11 ± 0.16 <sup>b</sup>	4.26 ± 0.54	0.97 ± 0.33	5.23 ± 0.76
5 Pb - 10 <sup>-9</sup> M IAA	1.18 ± 0.19 <sup>b</sup>	4.06 ± 0.20	1.01 ± 0.32	5.21 ± 0.28
5 Pb - 10 <sup>-11</sup> M IAA	1.08 ± 0.14 <sup>b</sup>	5.20 ± 0.63	1.14 ± 0.17	6.34 ± 0.56

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ IAA

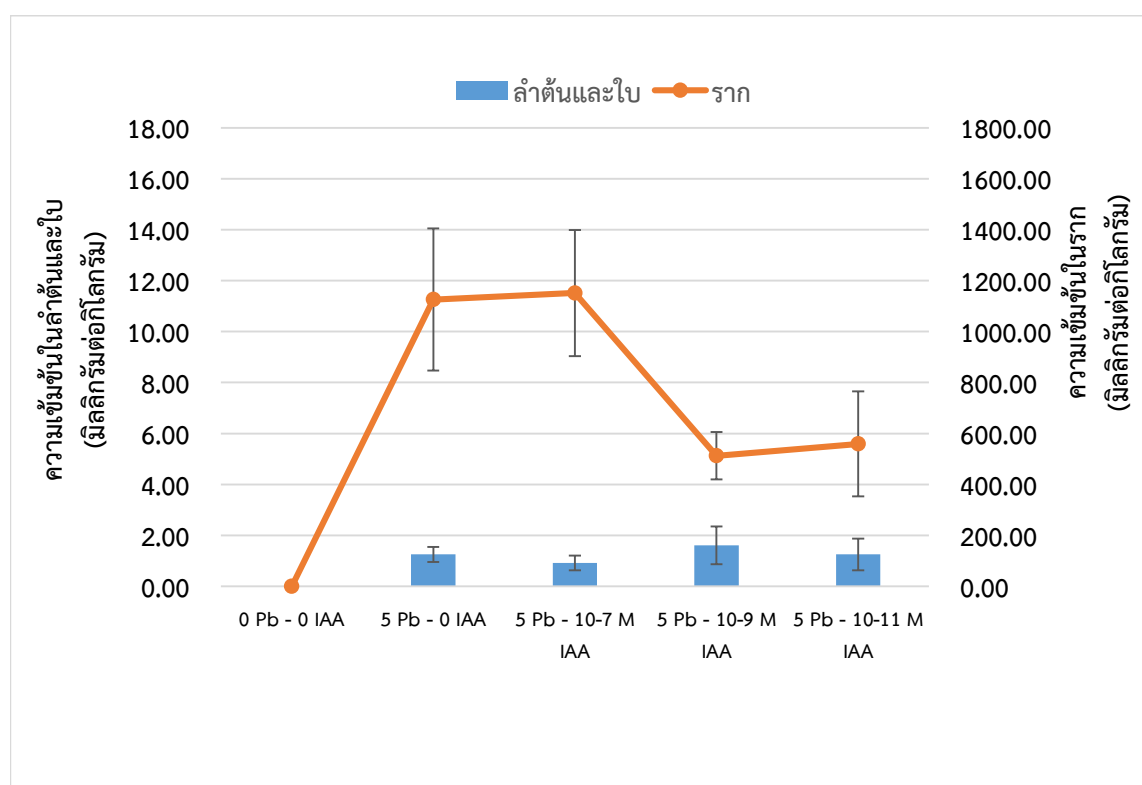


ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ ฮอร์โมน IAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.17 ความเข้มข้นตะกั่วในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Pb (mg/L) - IAA (M)	ความเข้มข้นตะกั่วในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Pb - 0 IAA	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
5 Pb - 0 IAA	1.25 ± 0.30	1125.84 ± 278.81	1127.09 ± 278.96	95.86 ± 2.91
5 Pb - 10 <sup>-7</sup> M IAA	0.92 ± 0.29	1151.54 ± 247.52	1152.46 ± 247.34	91.98 ± 2.49
5 Pb - 10 <sup>-9</sup> M IAA	1.60 ± 0.74	512.47 ± 92.88	514.07 ± 92.93	77.30 ± 3.63
5 Pb - 10 <sup>-11</sup> M IAA	1.25 ± 0.62	558.87 ± 206.05	560.12 ± 206.37	71.06 ± 5.50

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงการสะสมตะกั่วในส่วนลำต้นและใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน IAA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.8 ผลของฮอร์โมนพืช Naphthalene acetic acid หรือ NAA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวาทีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชวาทีบ้านที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทีบ้านที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วโดยไม่เติมฮอร์โมนพืช NAA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.18 และ ภาพที่ 4.18

ราชวาทีบ้านที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช NAA (ตารางที่ 4.18 และ ภาพที่ 4.18)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทีบ้านที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.19

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทีบ้านเพิ่มขึ้น ในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่มีฮอร์โมนพืช NAA  $10^{-9}$  M เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่ไม่ได้รับ NAA (ตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.19)

ภาพที่ 4.18 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

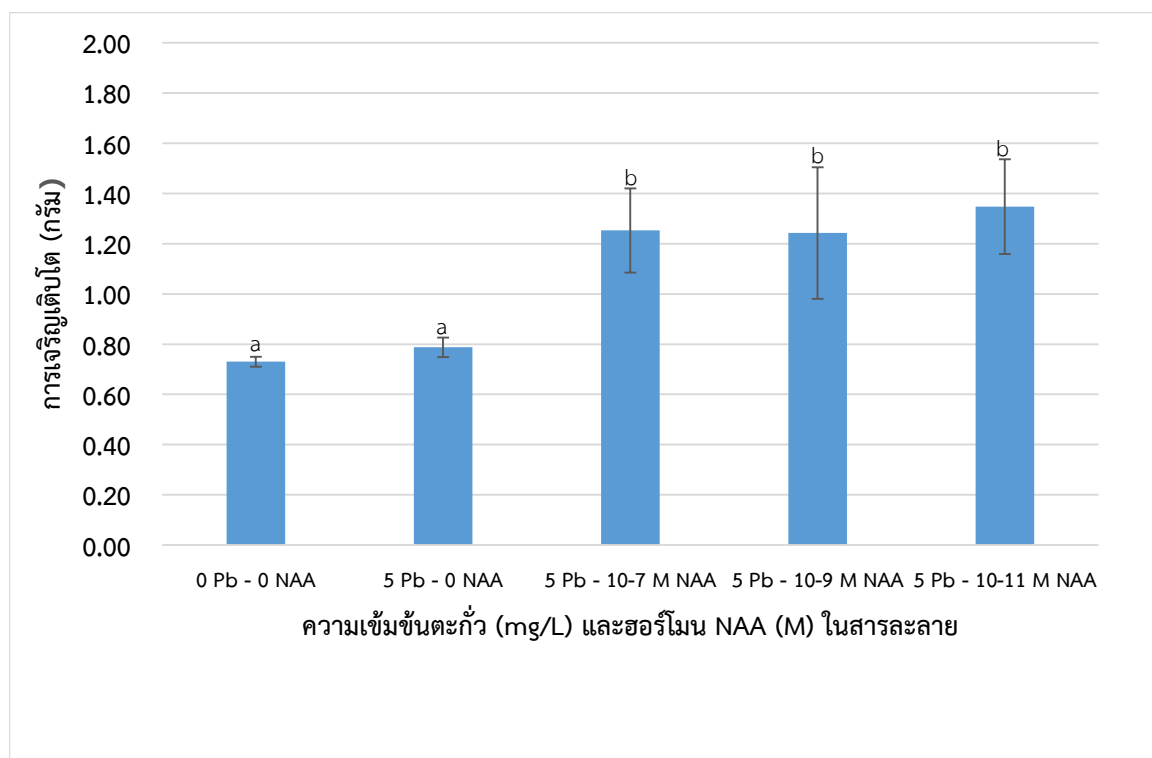
การทดลอง Pb (mg/L) - NAA (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Pb - 0 NAA	0.73 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.15 ± 0.62	0.81 ± 0.10	4.95 ± 0.78
5 Pb - 0 NAA	0.79 ± 0.04 <sup>a</sup>	4.95 ± 0.25	1.18 ± 0.16	6.13 ± 0.33
5 Pb - 10 <sup>-7</sup> M NAA	1.25 ± 0.17 <sup>b</sup>	4.45 ± 0.40	1.34 ± 0.47	5.79 ± 0.31
5 Pb - 10 <sup>-9</sup> M NAA	1.24 ± 0.26 <sup>b</sup>	4.13 ± 1.01	0.90 ± 0.13	5.03 ± 1.10
5 Pb - 10 <sup>-11</sup> M NAA	1.35 ± 0.19 <sup>b</sup>	5.66 ± 1.08	1.20 ± 0.24	6.86 ± 1.19

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ NAA

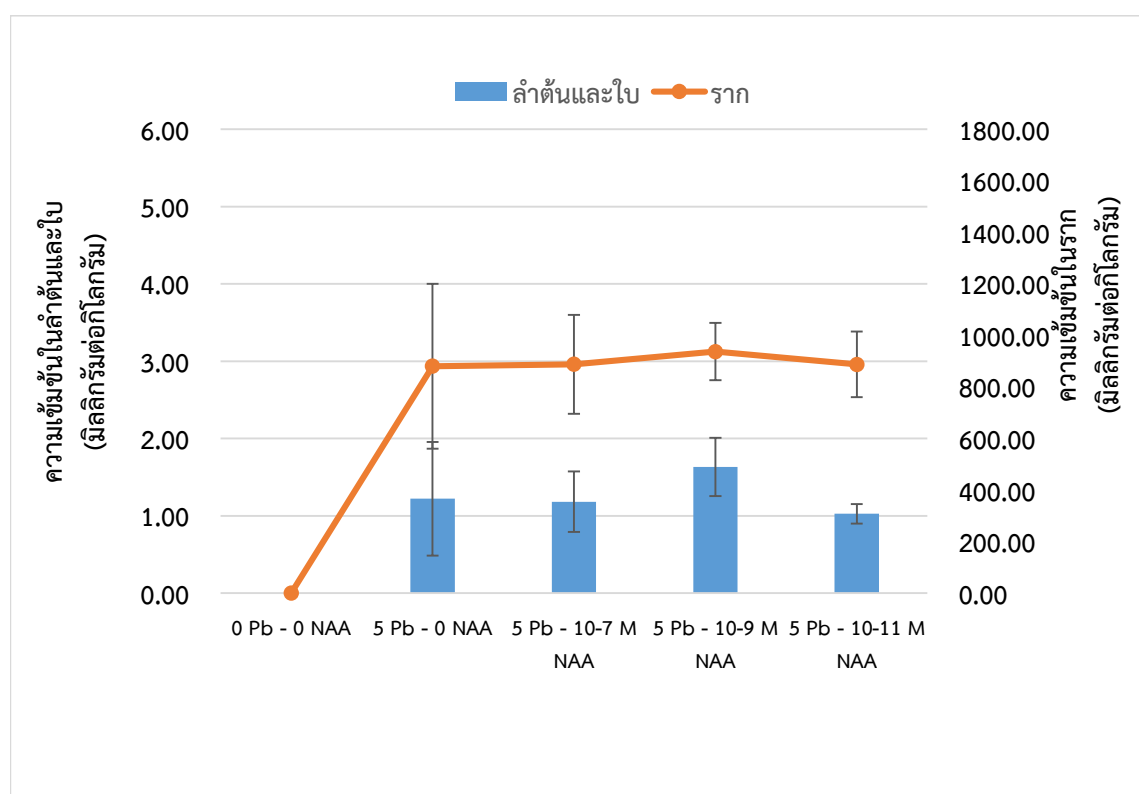


ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ ฮอร์โมน NAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.19 ความเข้มข้นตะกั่วในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Pb (mg/L) - NAA (M)	ความเข้มข้นตะกั่วในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Pb - 0 NAA	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
5 Pb - 0 NAA	1.22 ± 0.74	880.60 ± 319.64	881.82 ± 319.28	88.72 ± 2.33
5 Pb - 10 <sup>-7</sup> M NAA	1.18 ± 0.39	888.03 ± 192.24	889.21 ± 192.42	96.67 ± 1.59
5 Pb - 10 <sup>-9</sup> M NAA	1.63 ± 0.38	937.50 ± 111.57	939.13 ± 111.50	94.77 ± 1.74
5 Pb - 10 <sup>-11</sup> M NAA	1.03 ± 0.13	887.88 ± 127.80	888.91 ± 127.90	96.24 ± 2.24

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการสะสมตะกั่วในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน NAA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.2.9 ผลของฮอร์โมนพืช Gibberellic acid ( $GA_3$ ) ต่อการเจริญเติบโตและการสะสม โลหะหนักของราชวาทิบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหาร พืชที่มีโลหะหนักตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช  $GA_3$  เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.20 และ ภาพที่ 4.20

ราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมฮอร์โมนพืช  $GA_3$  (ตารางที่ 4.20 และ ภาพที่ 4.20)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวาทิที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ( $10^{-7}$ ,  $10^{-9}$ , และ  $10^{-11}$  M) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.21

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และในส่วนรากของราชวาทิในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มีฮอร์โมนพืช  $GA_3$   $10^{-9}$  M ไม่แตกต่างจากพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ  $GA_3$  ในขณะที่การสะสมสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และในส่วนรากในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มีฮอร์โมนพืช  $GA_3$  ความเข้มข้นอื่นๆลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ  $GA_3$  (ตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.21)

ตารางที่ 4.20 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

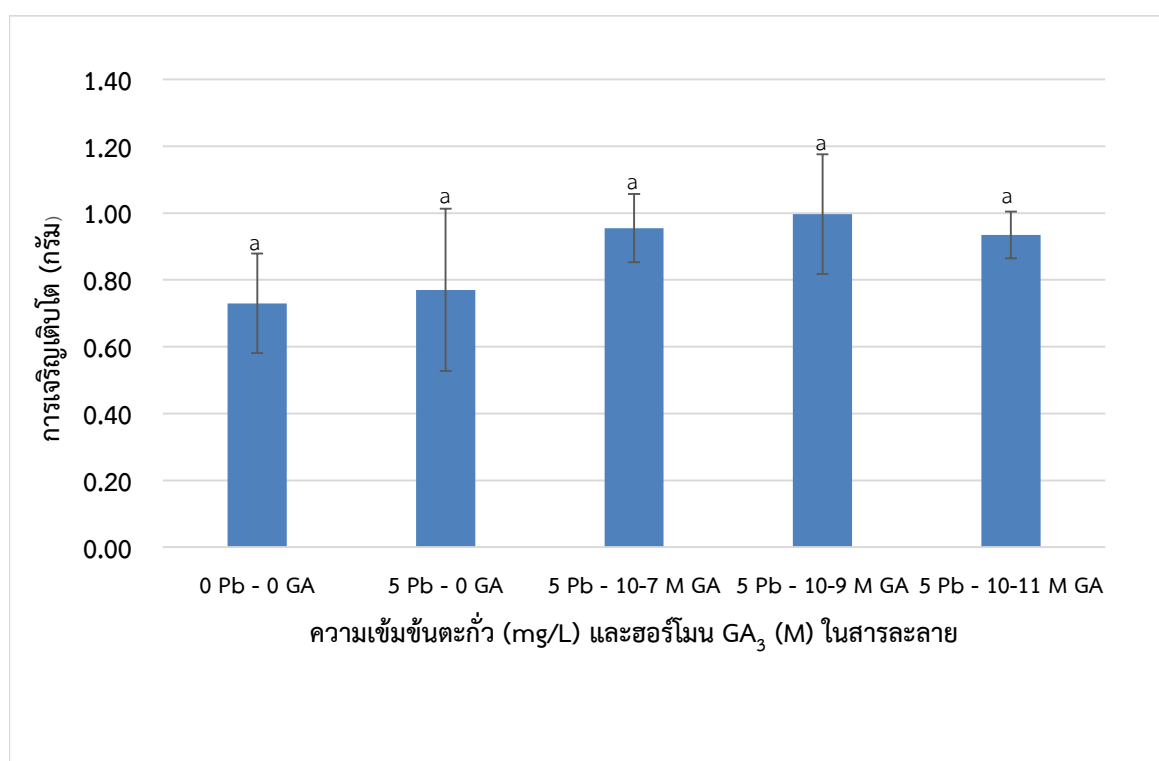
การทดลอง Pb (mg/L) - GA (M)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Pb - 0 GA <sub>3</sub>	0.73 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.09 ± 0.86	0.75 ± 0.09	3.84 ± 0.79
5 Pb - 0 GA <sub>3</sub>	0.77 ± 0.24 <sup>a</sup>	4.85 ± 0.83	0.97 ± 0.16	6.22 ± 0.67
5 Pb - 10 <sup>-7</sup> M GA <sub>3</sub>	0.96 ± 0.10 <sup>a</sup>	5.53 ± 0.91	1.24 ± 0.25	6.76 ± 1.12
5 Pb - 10 <sup>-9</sup> M GA <sub>3</sub>	1.00 ± 0.18 <sup>a</sup>	5.57 ± 0.85	1.16 ± 0.53	6.93 ± 1.57
5 Pb - 10 <sup>-11</sup> M GA <sub>3</sub>	0.94 ± 0.07 <sup>a</sup>	6.71 ± 1.36	1.33 ± 0.12	8.04 ± 1.38

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ GA<sub>3</sub>

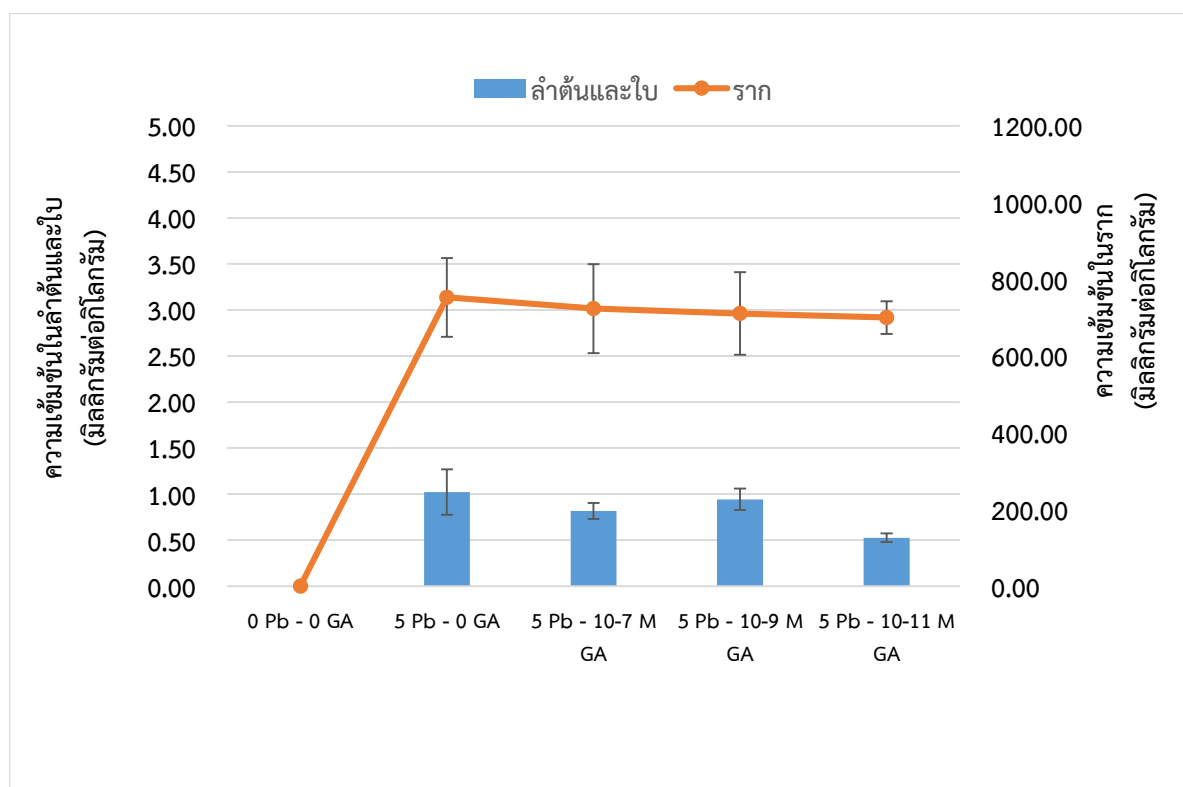


ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ ฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.21 ความเข้มข้นตะกั่วในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง	ความเข้มข้นตะกั่วในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Pb - 0 GA <sub>3</sub>	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
5 Pb - 0 GA <sub>3</sub>	1.02 ± 0.25	752.83 ± 102.41	753.85 ± 102.26	85.14 ± 4.60
5 Pb - 10 <sup>-7</sup> M GA <sub>3</sub>	0.82 ± 0.09	723.79 ± 116.01	724.61 ± 116.03	88.25 ± 6.12
5 Pb - 10 <sup>-9</sup> M GA <sub>3</sub>	0.94 ± 0.12	710.87 ± 107.53	711.82 ± 107.44	92.12 ± 3.59
5 Pb - 10 <sup>-11</sup> M GA <sub>3</sub>	0.53 ± 0.05	700.21 ± 42.57	700.74 ± 42.57	95.22 ± 4.43

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงการสะสมตะกั่วในส่วนลำต้นและใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฮอร์โมน GA<sub>3</sub> ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

4.3 ผลของสารคีเลต (EDTA, EDDS และ Citric acid) ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชาวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนัก (แคดเมียม, สังกะสี, และตะกั่ว)

4.3.1 ผลของสารคีเลต EDTA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชาวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนัก แคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ ซึ่งเติมแคดเมียมโดยไม่เติมสารคีเลต EDTA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.22 และ ภาพที่ 4.22

ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต EDTA (ตารางที่ 4.22 และ ภาพที่ 4.22)

ปริมาณแคดเมียมที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.23 และภาพที่ 4.23

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของแคดเมียมในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ EDTA เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม ในขณะที่การสะสมของแคดเมียมในส่วนรากมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ EDTA เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่ไม่ได้รับ EDTA (ตารางที่ 4.23 และภาพที่ 4.23)

ตารางที่ 4.22 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมแคดเมียม (ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

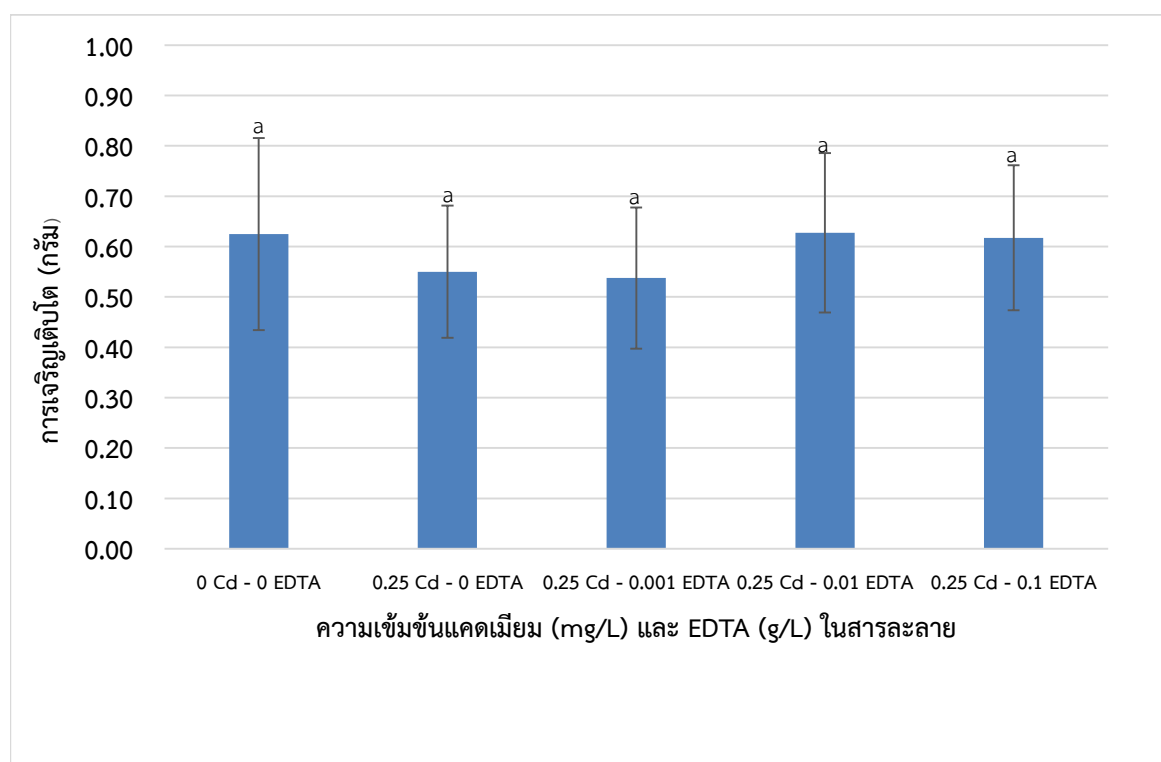
การทดลอง Cd (mg/L) - EDTA (g/L)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Cd - 0 EDTA	0.63 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.46 ± 0.28	0.69 ± 0.21	2.15 ± 0.19
0.25 Cd - 0 EDTA	0.55 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.24 ± 0.17	0.54 ± 0.09	1.77 ± 0.20
0.25 Cd - 0.001 EDTA	0.54 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.90 ± 0.06	0.89 ± 0.13	2.79 ± 0.17
0.25 Cd - 0.01 EDTA	0.63 ± 0.16 <sup>a</sup>	1.24 ± 0.25	0.56 ± 0.08	1.80 ± 0.32
0.25 Cd - 0.1 EDTA	0.62 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.07 ± 0.26	0.44 ± 0.14	1.52 ± 0.39

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ EDTA

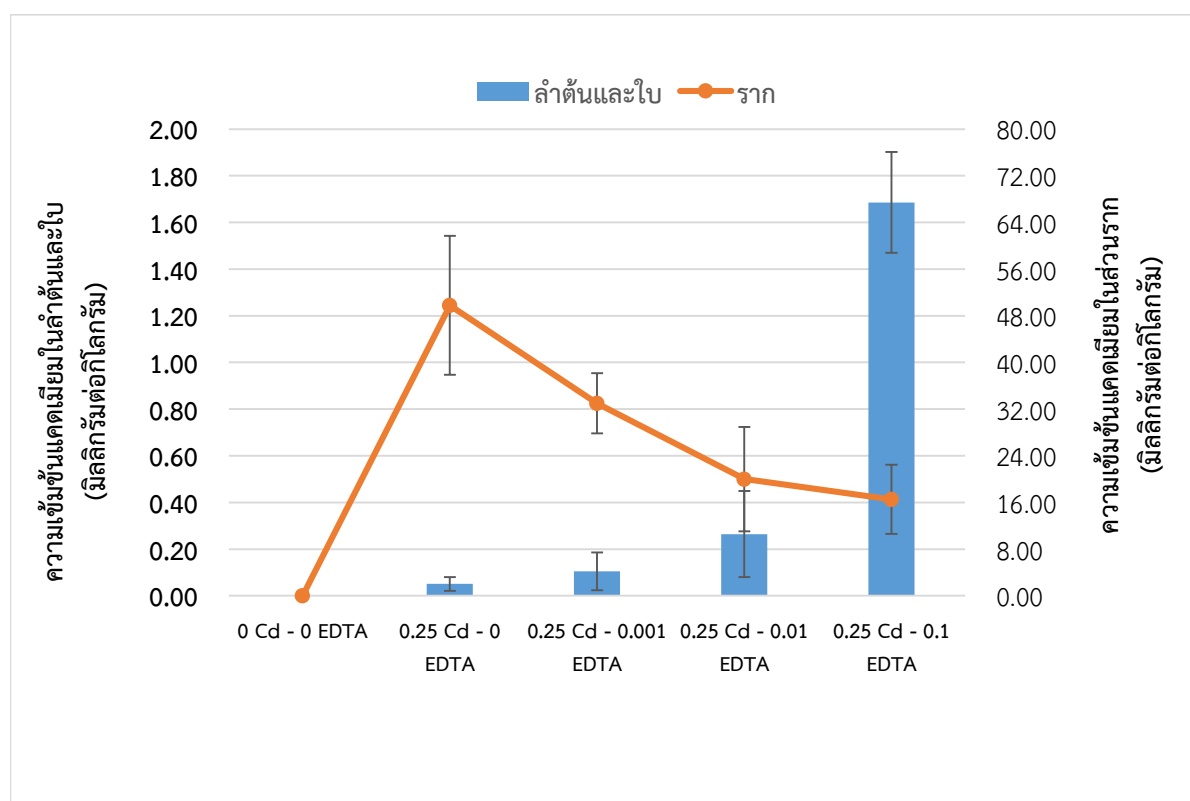


ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.23 ความเข้มข้นแคดเมียมในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Cd (mg/L) - EDTA (g/L)	ความเข้มข้นแคดเมียมในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Cd - 0 EDTA	0.00 ± 0.02	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.02	N/A
0.25 Cd - 0 EDTA	0.05 ± 0.03	49.79 ± 11.92	49.84 ± 11.94	59.59 ± 16.26
0.25 Cd - 0.001 EDTA	0.10 ± 0.08	33.00 ± 5.14	33.10 ± 5.13	56.43 ± 2.61
0.25 Cd - 0.01 EDTA	0.26 ± 0.18	20.00 ± 8.95	20.26 ± 8.93	16.62 ± 7.35
0.25 Cd - 0.1 EDTA	1.69 ± 0.22	16.54 ± 5.92	18.22 ± 5.78	13.70 ± 4.22

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.2 ผลของสารคีเลต EDDS ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชาวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักแคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ ซึ่งเติมแคดเมียมโดยไม่เติมสารคีเลต EDDS เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.24 และ ภาพที่ 4.24

ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต EDDS (ตารางที่ 4.24 และ ภาพที่ 4.24)

ปริมาณแคดเมียมที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.25 และภาพที่ 4.25

ผลการทดลองพบว่า การสะสมของแคดเมียมในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) เพิ่มขึ้น เมื่อเติมสารคีเลต EDDS ในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม ในขณะที่การสะสมของแคดเมียมในส่วนรากมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ EDDS เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่ไม่ได้รับ EDDS อย่างไรก็ตาม ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในรากลดลงอย่างมากเมื่อพืชได้รับสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่มี EDDS เข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.25 และภาพที่ 4.25)

ตารางที่ 4.24 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมแคดเมียม (ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

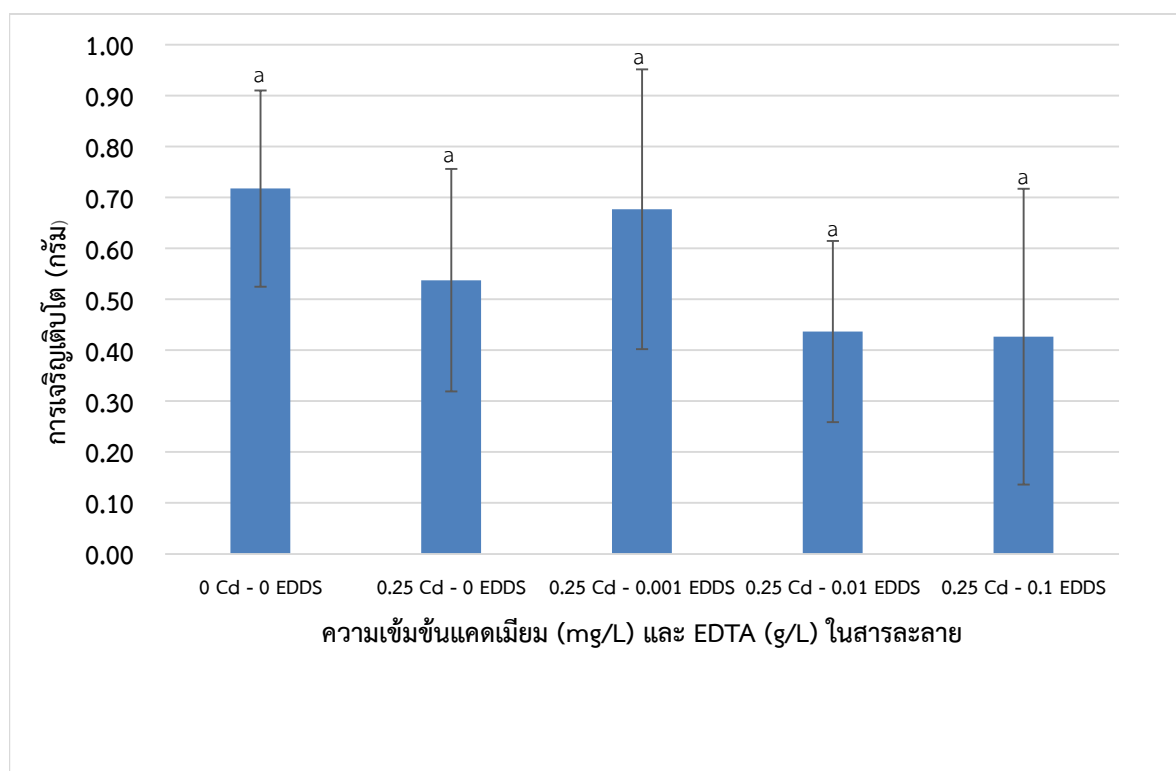
การทดลอง Cd (mg/L) - EDDS (g/L)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Cd - 0 EDDS	0.72 ± 0.19 <sup>a</sup>	2.13 ± 0.17	0.55 ± 0.13	2.69 ± 0.29
0.25 Cd - 0 EDDS	0.54 ± 0.22 <sup>a</sup>	2.59 ± 0.48	0.80 ± 0.20	3.39 ± 0.34
0.25 Cd - 0.001 EDDS	0.68 ± 0.27 <sup>a</sup>	3.06 ± 0.25	0.84 ± 0.09	3.79 ± 0.21
0.25 Cd - 0.01 EDDS	0.44 ± 0.18 <sup>a</sup>	3.46 ± 0.41	1.00 ± 0.17	4.30 ± 0.56
0.25 Cd - 0.1 EDDS	0.43 ± 0.29 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.25	0.93 ± 0.15	3.32 ± 0.26

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ EDDS

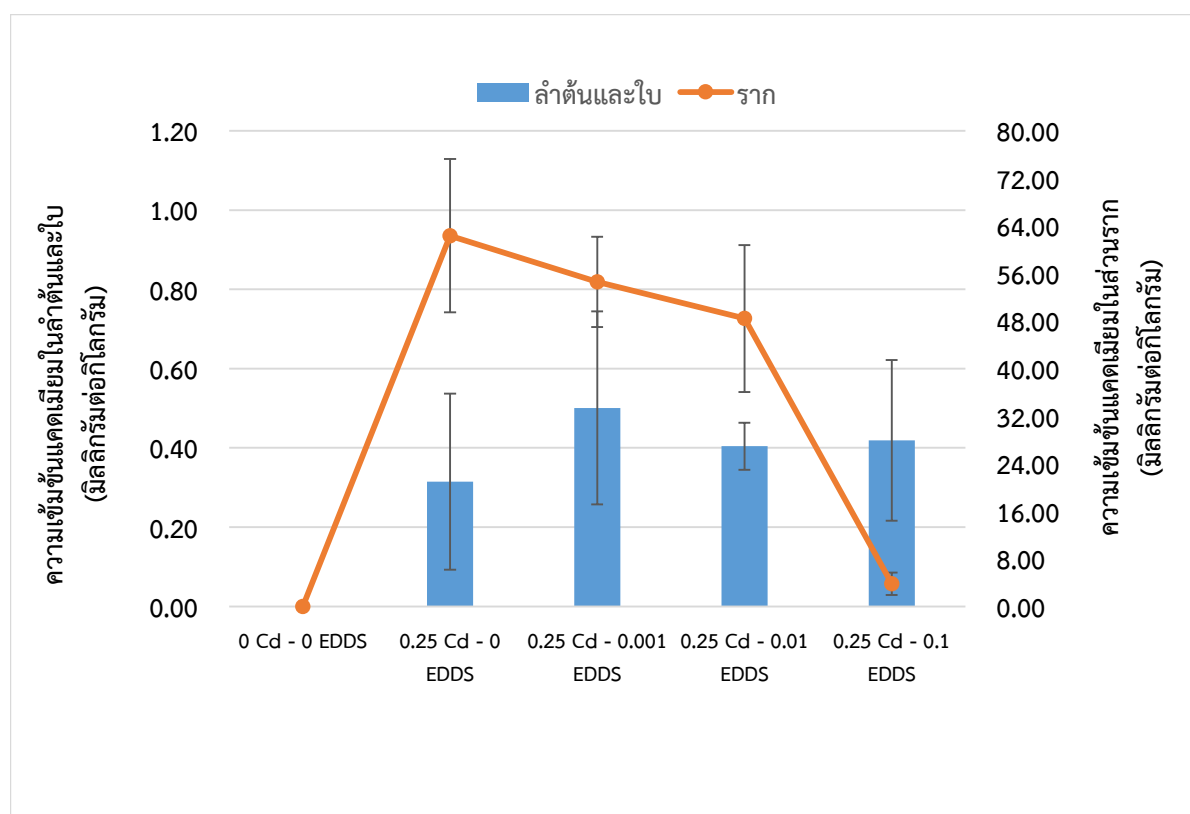


ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.25 ความเข้มข้นแคดเมียมในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Cd (mg/L) - EDDS (g/L)	ความเข้มข้นแคดเมียมในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Cd - 0 EDDS	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
0.25 Cd - 0 EDDS	0.31 ± 0.22	62.35 ± 12.90	62.67 ± 13.02	83.74 ± 4.06
0.25 Cd - 0.001 EDDS	0.50 ± 0.24	54.58 ± 7.61	55.08 ± 7.79	85.93 ± 4.24
0.25 Cd - 0.01 EDDS	0.40 ± 0.06	48.42 ± 12.37	48.82 ± 12.41	83.17 ± 10.70
0.25 Cd - 0.1 EDDS	0.42 ± 0.20	3.79 ± 1.87	4.21 ± 2.05	78.28 ± 20.63

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.3 ผลของสารคีเลต Citric acid ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักแคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมโดยไม่เติมสารคีเลต Citric acid เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.26 และ ภาพที่ 4.26

ราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้น 0.001 และ 0.01 กรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต Citric acid (ตารางที่ 4.26 และ ภาพที่ 4.26)

ปริมาณแคดเมียมที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.27 และภาพที่ 4.27

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของแคดเมียมในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีลดลงเมื่อเติมสารคีเลต Citric acid ในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียมที่ไม่ได้รับ Citric acid (ตารางที่ 4.27 และภาพที่ 4.27)

ตารางที่ 4.26 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมแคดเมียม (ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และกรดซิตริก (CA) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

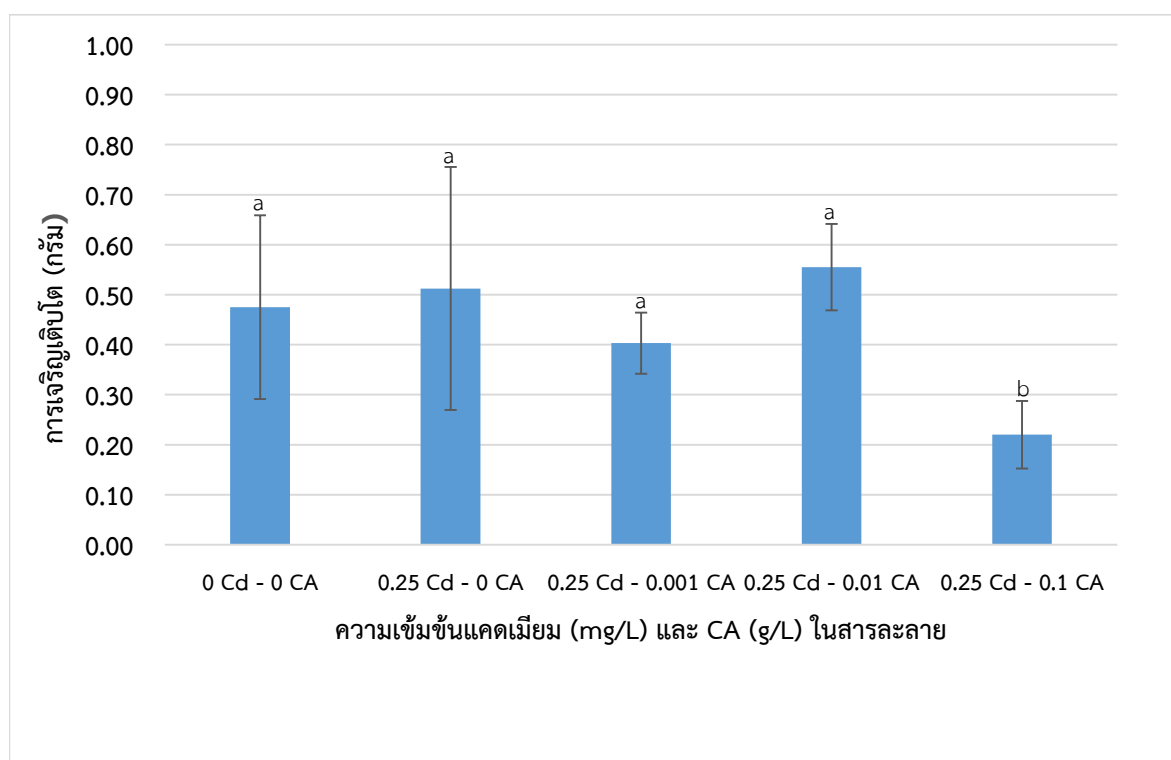
การทดลอง Cd (mg/L) - CA (g/L)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Cd - 0 CA	0.48 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.01 ± 0.56	0.48 ± 0.13	2.49 ± 0.61
0.25 Cd - 0 CA	0.51 ± 0.24 <sup>a</sup>	2.67 ± 0.34	0.66 ± 0.12	3.33 ± 0.31
0.25 Cd - 0.001 CA	0.40 ± 0.06 <sup>a</sup>	3.68 ± 0.90	0.97 ± 0.05	4.64 ± 0.87
0.25 Cd - 0.01 CA	0.56 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.03 ± 0.52	0.82 ± 0.07	3.85 ± 0.48
0.25 Cd - 0.1 CA	0.22 ± 0.07 <sup>b</sup>	3.94 ± 1.64	0.95 ± 0.20	4.89 ± 1.70

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ CA

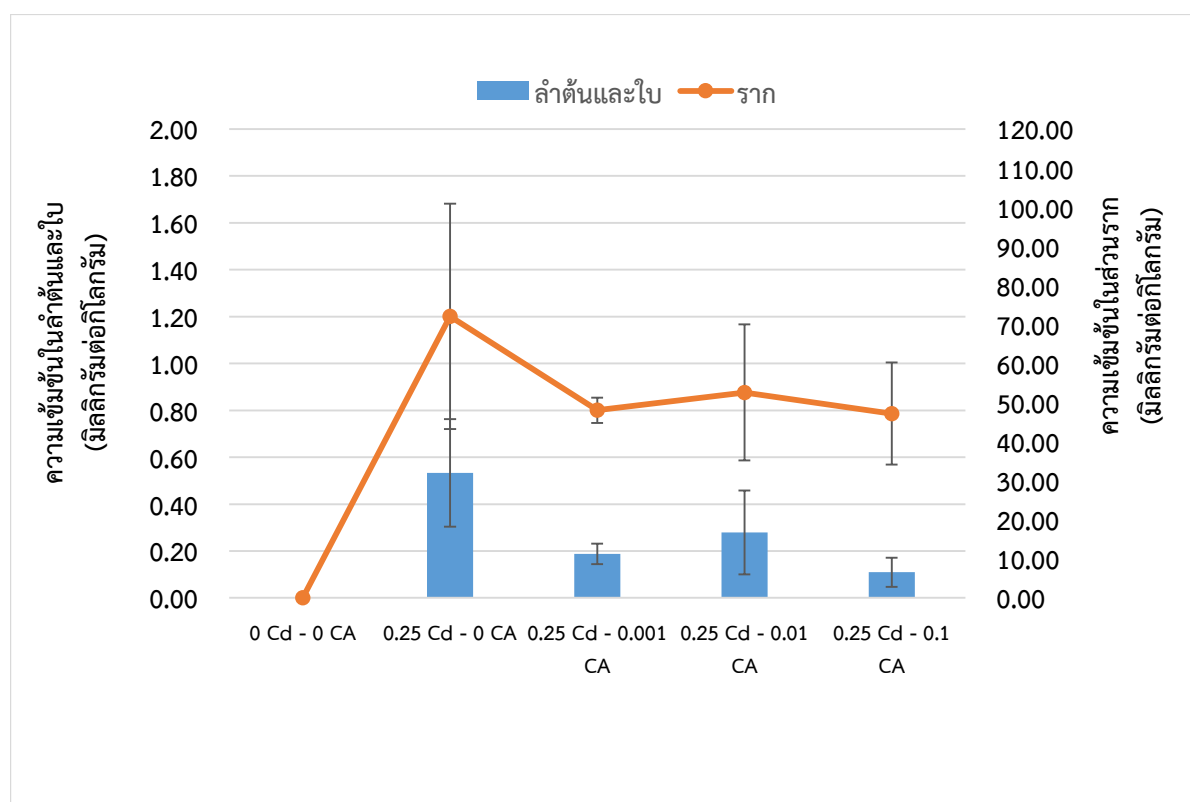


ภาพที่ 4.26 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และกรดซิตริก (CA) ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.27 ความเข้มข้นแคดเมียมในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และกรดซิตริก (CA) ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Cd (mg/L) - CA (g/L)	ความเข้มข้นแคดเมียมในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Cd - 0 CA	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
0.25 Cd - 0 CA	0.53 ± 0.23	72.07 ± 28.86	72.61 ± 29.08	72.29 ± 10.18
0.25 Cd - 0.001 CA	0.19 ± 0.04	48.03 ± 3.22	48.22 ± 3.26	94.51 ± 3.07
0.25 Cd - 0.01 CA	0.28 ± 0.18	52.60 ± 17.38	52.88 ± 17.55	92.02 ± 3.29
0.25 Cd - 0.1 CA	0.11 ± 0.06	47.19 ± 13.08	47.30 ± 13.09	91.51 ± 5.98

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.27 กราฟแสดงการสะสมแคดเมียมในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิตริก (CA) ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.4 ผลของสารคีเลต EDTA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชาวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ ซึ่งเติมสังกะสีโดยไม่เติมสารคีเลต EDTA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.28 และ ภาพที่ 4.28

ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต EDTA (ตารางที่ 4.28 และ ภาพที่ 4.28)

ปริมาณสังกะสีที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.29 และภาพที่ 4.29

ผลการทดลองพบว่า การสะสมของสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) ลดลงเล็กน้อยเมื่อเติมสารคีเลต EDTA ในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี และการสะสมของสังกะสีในส่วนรากมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ EDTA เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ EDTA อย่างไรก็ตาม ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่สะสมในรากลดลงอย่างมากเมื่อพืชได้รับสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มี EDTA เข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.29 และภาพที่ 4.29)

ตารางที่ 4.28 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมสังกะสี (ความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

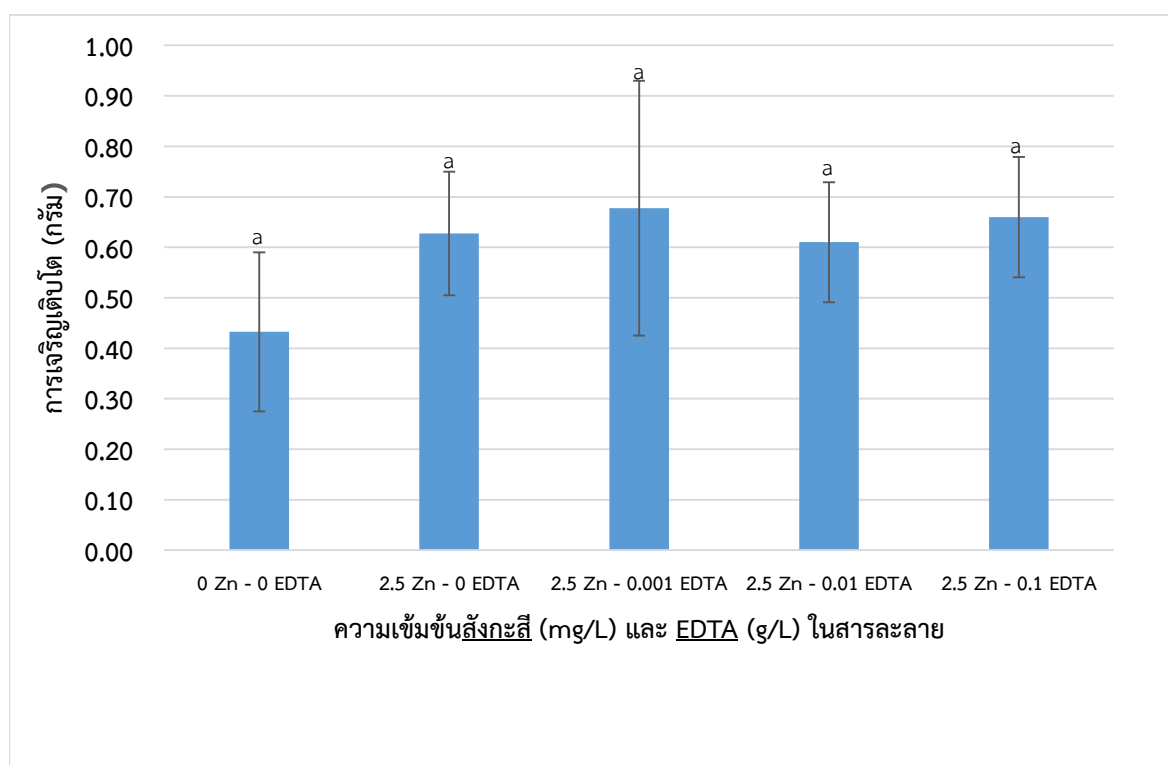
การทดลอง Zn (mg/L) - EDTA (g/L)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Zn - 0 EDTA	0.43 ± 0.16 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.21	0.56 ± 0.12	2.23 ± 0.21
2.5 Zn - 0 EDTA	0.63 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.23 ± 0.34	0.62 ± 0.16	2.85 ± 0.41
2.5 Zn - 0.001 EDTA	0.68 ± 0.25 <sup>a</sup>	3.37 ± 0.43	1.02 ± 0.14	4.39 ± 0.53
2.5 Zn - 0.01 EDTA	0.61 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.79 ± 0.28	0.87 ± 0.18	3.66 ± 0.16
2.5 Zn - 0.1 EDTA	0.66 ± 0.12 <sup>a</sup>	3.26 ± 0.30	1.40 ± 0.23	4.65 ± 0.10

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ EDTA

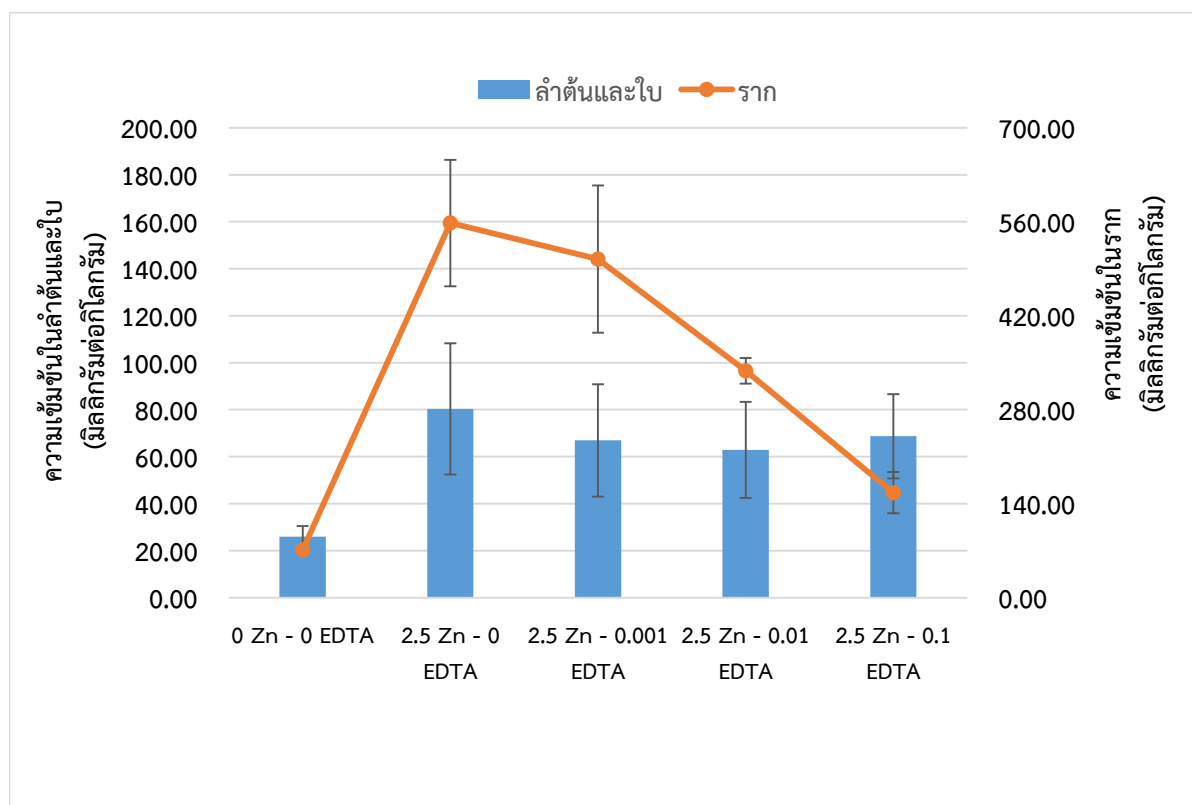


ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.29 ความเข้มข้นสังกะสีในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Zn (mg/L) - EDTA (g/L)	ความเข้มข้นสังกะสีในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Zn - 0 EDTA	25.99 ± 4.47	71.42 ± 4.81	97.41 ± 6.56	60.71 ± 4.24
2.5 Zn - 0 EDTA	80.30 ± 27.93	558.19 ± 94.23	638.49 ± 108.66	60.45 ± 14.84
2.5 Zn - 0.001 EDTA	66.93 ± 23.92	504.47 ± 109.66	571.40 ± 104.93	68.85 ± 5.04
2.5 Zn - 0.01 EDTA	62.89 ± 20.40	337.91 ± 19.02	400.80 ± 34.64	23.40 ± 10.74
2.5 Zn - 0.1 EDTA	68.69 ± 17.91	156.35 ± 30.85	225.03 ± 40.23	18.74 ± 7.83

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.29 กราฟแสดงการสะสมสังกะสีในส่วนลำต้นและใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.5 ผลของสารคีเลต EDDS ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชาวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ ซึ่งเติมสังกะสีโดยไม่เติมสารคีเลต EDDS เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.30 และ ภาพที่ 4.30

ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้น 0.001 และ 0.01 กรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต EDDS (ตารางที่ 4.30 และ ภาพที่ 4.30)

ปริมาณสังกะสีที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.31 และภาพที่ 4.31

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) ลดลงเมื่อความเข้มข้นของ EDDS เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี และการสะสมของสังกะสีในส่วนรากมีแนวโน้มลดลงเช่นกันเมื่อความเข้มข้นของ EDDS เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ EDDS อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่สะสมในรากลดลงอย่างมากเมื่อพืชได้รับสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่มี EDDS เข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.31 และภาพที่ 4.31)

ตารางที่ 4.30 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมสังกะสี (ความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

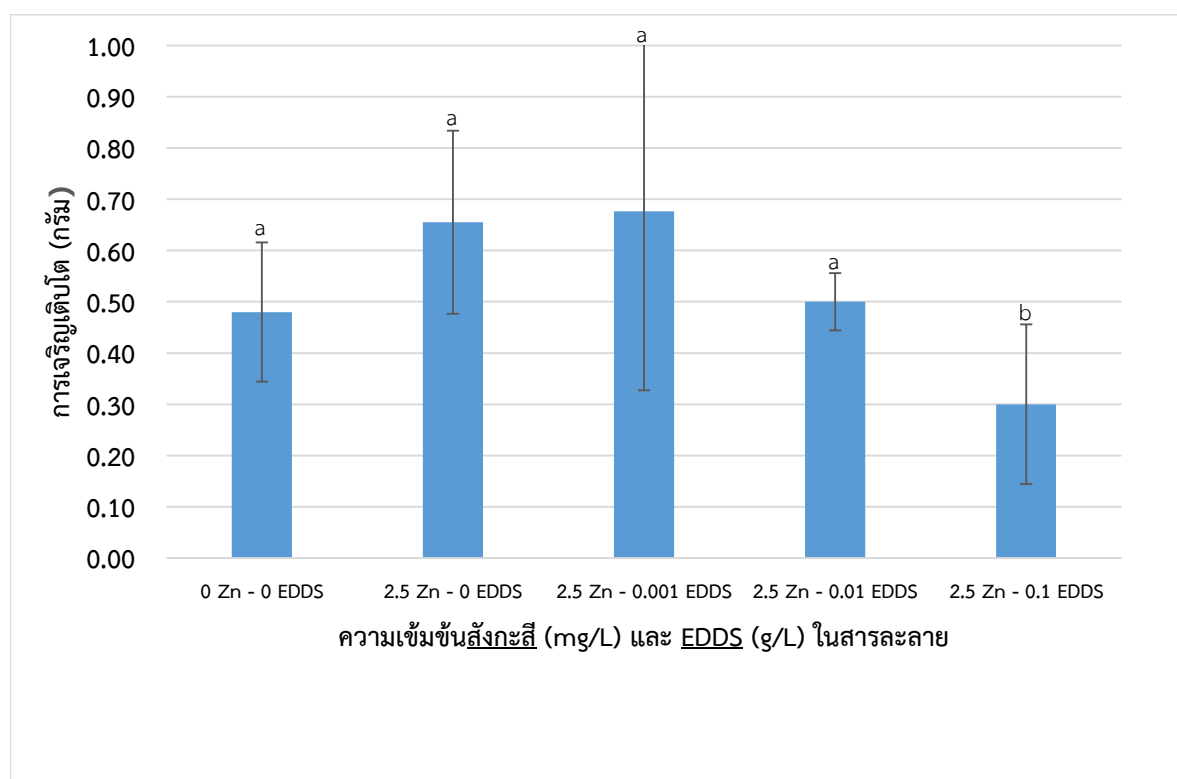
การทดลอง Zn (mg/L) - EDDS (g/L)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Zn - 0 EDDS	0.48 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.80 ± 0.51	0.48 ± 0.05	2.28 ± 0.47
2.5 Zn - 0 EDDS	0.66 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.07	0.69 ± 0.04	2.99 ± 0.06
2.5 Zn - 0.001 EDDS	0.68 ± 0.35 <sup>a</sup>	3.32 ± 0.10	0.82 ± 0.12	4.15 ± 0.12
2.5 Zn - 0.01 EDDS	0.50 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.97 ± 0.46	0.86 ± 0.23	3.83 ± 0.56
2.5 Zn - 0.1 EDDS	0.30 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.93 ± 0.28	0.71 ± 0.27	2.64 ± 0.49

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ EDDS

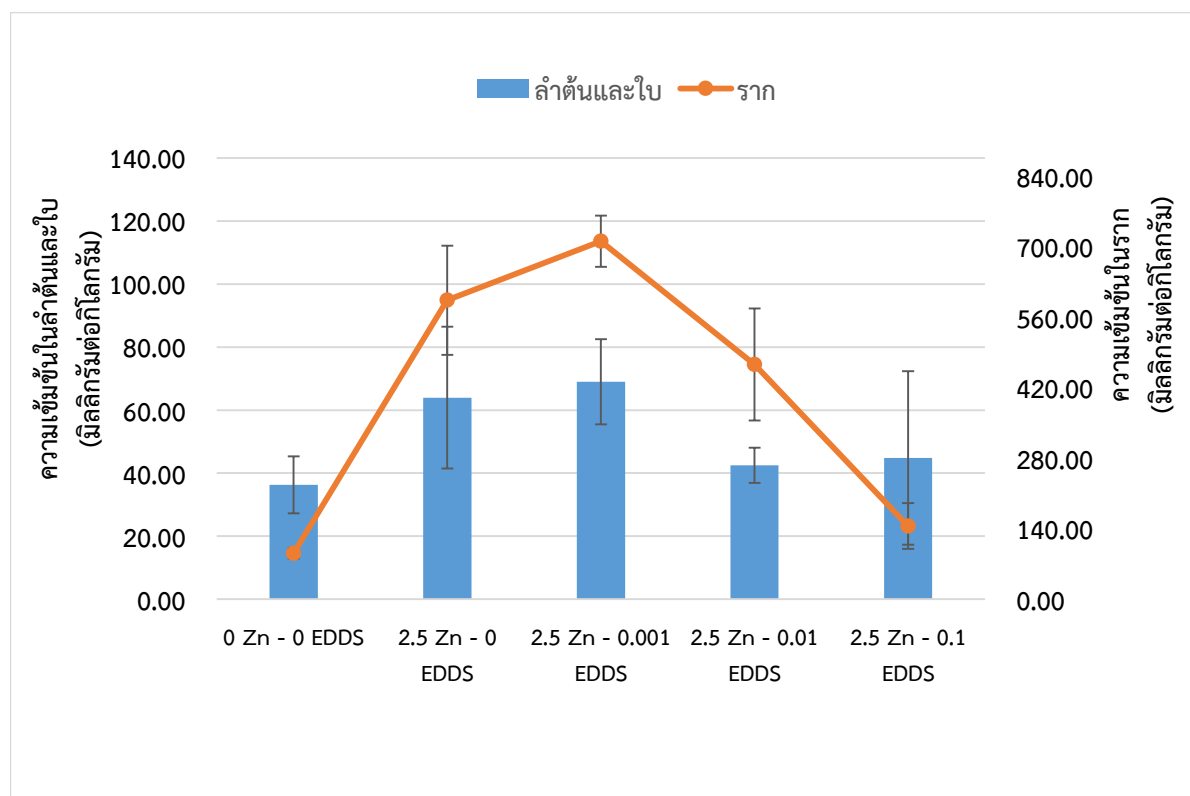


ภาพที่ 4.30 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.31 ความเข้มข้นสังกะสีในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Zn (mg/L) - EDDS (g/L)	ความเข้มข้นสังกะสีในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Zn - 0 EDDS	36.30 ± 9.07	91.43 ± 10.55	127.73 ± 17.09	32.99 ± 7.85
2.5 Zn - 0 EDDS	63.94 ± 22.50	594.49 ± 108.50	658.44 ± 114.30	58.33 ± 8.47
2.5 Zn - 0.001 EDDS	68.98 ± 13.51	711.52 ± 50.80	780.50 ± 40.81	73.51 ± 8.48
2.5 Zn - 0.01 EDDS	42.45 ± 5.58	466.42 ± 111.39	508.87 ± 116.03	54.87 ± 5.72
2.5 Zn - 0.1 EDDS	44.81 ± 27.51	145.46 ± 45.43	190.28 ± 42.49	29.71 ± 15.88

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.31 กราฟแสดงการสะสมสังกะสีในส่วนลำต้นและใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.3 ผลของสารคีเลต Citric acid ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ ซึ่งเติมสังกะสีโดยไม่เติมสารคีเลต Citric acid เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.32 และ ภาพที่ 4.32

ราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต Citric acid (ตารางที่ 4.32 และ ภาพที่ 4.32)

ปริมาณสังกะสีที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.33 และภาพที่ 4.33

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของสังกะสีในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีลดลงเมื่อเติมสารคีเลต Citric acid ในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสีที่ไม่ได้รับ Citric acid (ตารางที่ 4.33 และภาพที่ 4.33)

ตารางที่ 4.32 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมสังกะสี (ความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิตริก (CA) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

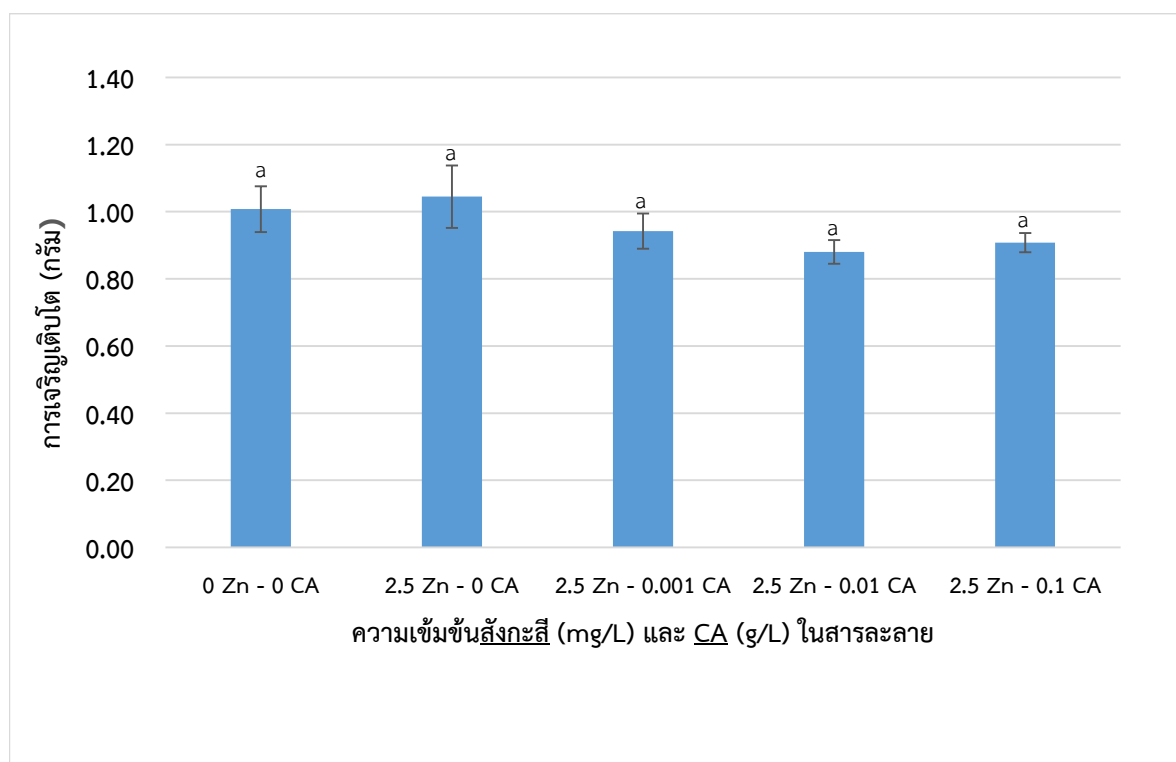
การทดลอง Zn (mg/L) - CA (g/L)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Zn - 0 CA	1.01 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.72 ± 0.46	0.66 ± 0.12	3.39 ± 0.49
2.5 Zn - 0 CA	1.05 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.67 ± 0.51	0.65 ± 0.21	4.31 ± 0.50
2.5 Zn - 0.001 CA	0.94 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.26 ± 0.79	1.26 ± 0.30	5.52 ± 0.76
2.5 Zn - 0.01 CA	0.88 ± 0.04 <sup>a</sup>	4.41 ± 0.44	1.16 ± 0.36	5.57 ± 0.59
2.5 Zn - 0.1 CA	0.91 ± 0.03 <sup>a</sup>	5.09 ± 0.86	1.13 ± 0.12	6.21 ± 0.88

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ CA

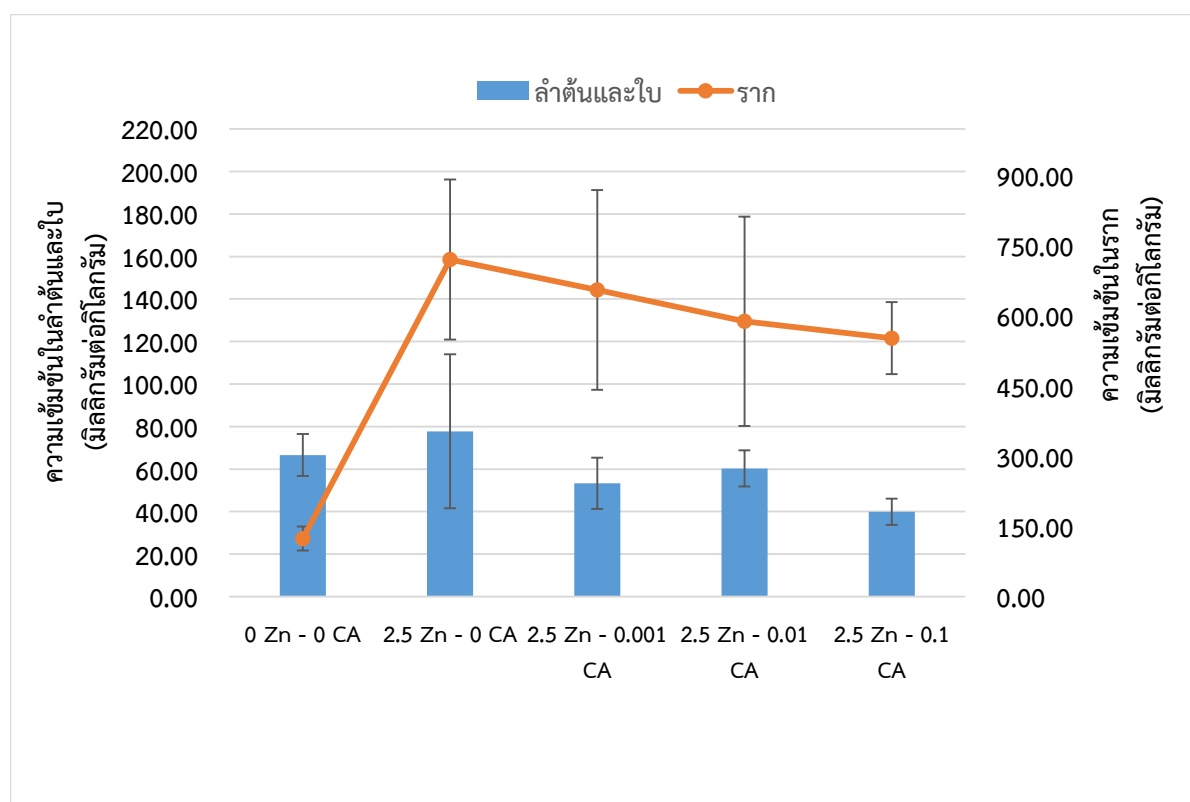


ภาพที่ 4.32 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิตริก (CA) ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.33 ความเข้มข้นสังกะสีในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิตริก (CA) ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Zn (mg/L) - CA (g/L)	ความเข้มข้นสังกะสีในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Zn - 0 CA	66.64 ± 9.80	124.01 ± 25.68	190.65 ± 35.17	29.69 ± 13.25
2.5 Zn - 0 CA	77.76 ± 36.22	720.73 ± 171.04	798.49 ± 205.91	68.38 ± 11.41
2.5 Zn - 0.001 CA	53.34 ± 12.10	655.64 ± 213.62	708.98 ± 206.95	79.40 ± 5.21
2.5 Zn - 0.01 CA	60.31 ± 8.49	588.67 ± 223.90	648.98 ± 221.61	77.13 ± 5.08
2.5 Zn - 0.1 CA	39.92 ± 6.16	552.64 ± 76.95	592.56 ± 81.23	78.13 ± 4.87

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.33 กราฟแสดงการสะสมสังกะสีในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิตริก (CA) ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.7 ผลของสารคีเลต EDTA ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชาวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วโดยไม่เติมสารคีเลต EDTA เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.34 และ ภาพที่ 4.34

ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต EDTA (ตารางที่ 4.34 และ ภาพที่ 4.34)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDTA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.35 และภาพที่ 4.35

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ EDTA เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว ในขณะที่การสะสมของตะกั่วในส่วนรากลดลงเมื่อความเข้มข้นของ EDTA เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่ไม่ได้รับ EDTA (ตารางที่ 4.35 และภาพที่ 4.35)

ตารางที่ 4.34 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

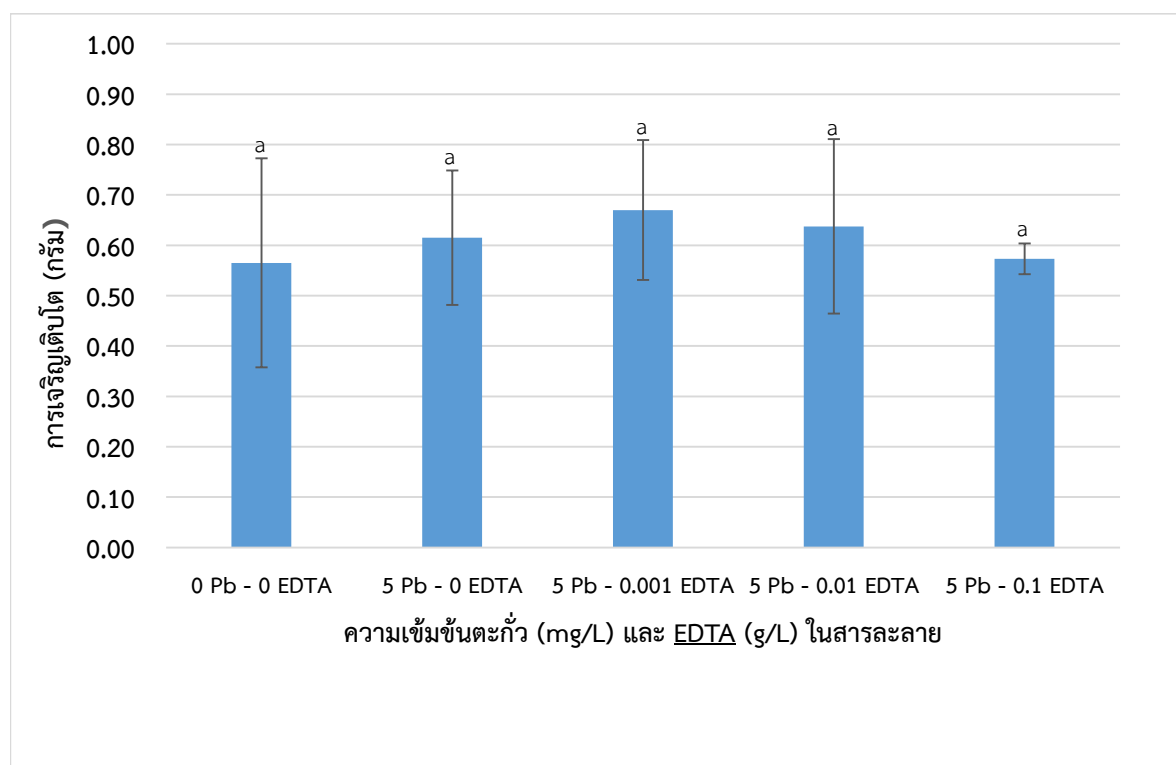
การทดลอง Pb (mg/L) - EDTA (g/L)	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Pb - 0 EDTA	0.57 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.83 ± 0.70	0.58 ± 0.14	3.41 ± 0.63
5 Pb - 0 EDTA	0.62 ± 0.13 <sup>a</sup>	3.82 ± 0.45	0.97 ± 0.16	4.79 ± 0.44
5 Pb - 0.001 EDTA	0.67 ± 0.14 <sup>a</sup>	7.20 ± 1.27	2.05 ± 0.74	9.25 ± 1.92
5 Pb - 0.01 EDTA	0.64 ± 0.17 <sup>a</sup>	4.37 ± 0.37	0.99 ± 0.21	5.36 ± 0.33
5 Pb - 0.1 EDTA	0.57 ± 0.03 <sup>a</sup>	5.46 ± 0.53	1.40 ± 0.41	6.86 ± 0.91

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ EDTA

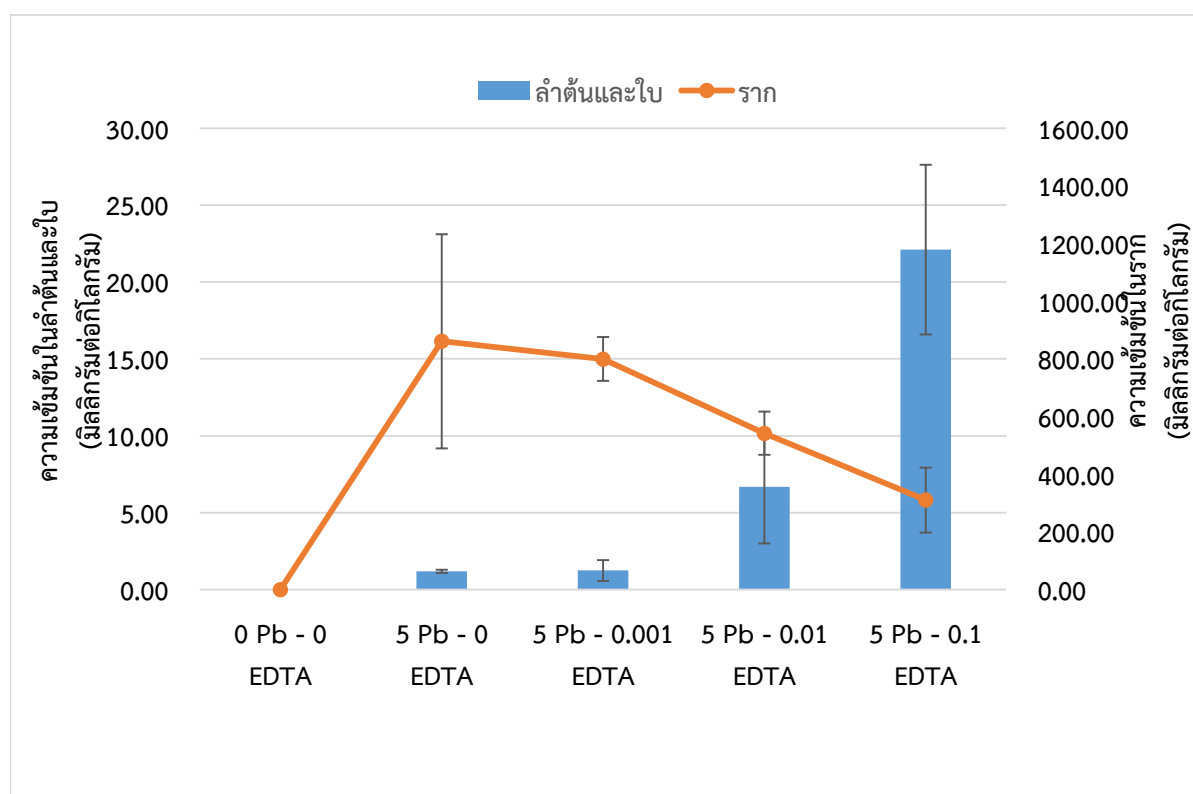


ภาพที่ 4.34 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.35 ความเข้มข้นตะกั่วในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Pb (mg/L) - EDTA (g/L)	ความเข้มข้นตะกั่วในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Pb - 0 EDTA	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
5 Pb - 0 EDTA	1.19 ± 0.10	860.92 ± 371.38	862.10 ± 371.46	93.44 ± 6.68
5 Pb - 0.001 EDTA	1.24 ± 0.68	799.79 ± 76.10	801.03 ± 76.06	99.56 ± 0.98
5 Pb - 0.01 EDTA	6.68 ± 3.68	542.10 ± 74.60	548.78 ± 72.91	41.37 ± 8.72
5 Pb - 0.1 EDTA	22.11 ± 5.52	310.36 ± 112.63	332.47 ± 113.94	39.80 ± 5.03

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงการสะสมตะกั่วในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDTA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.8 ผลของสารคีเลต EDDS ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชาวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วโดยไม่เติมสารคีเลต EDDS เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.36 และ ภาพที่ 4.36

ราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้น 0.001 และ 0.01 กรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต EDDS (ตารางที่ 4.36 และ ภาพที่ 4.36)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชาวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต EDDS ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.37 และภาพที่ 4.37

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) เพิ่มขึ้น เมื่อเติม EDDS ที่ระดับความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตร ในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว จากนั้นพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนยอดลดลง เมื่อยังเพิ่มความเข้มข้นของ EDDS ในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว นอกจากนั้นพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนรากมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ EDDS เพิ่มขึ้น ในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่ไม่ได้รับ EDDS (ตารางที่ 4.37 และภาพที่ 4.37)

ตารางที่ 4.36 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

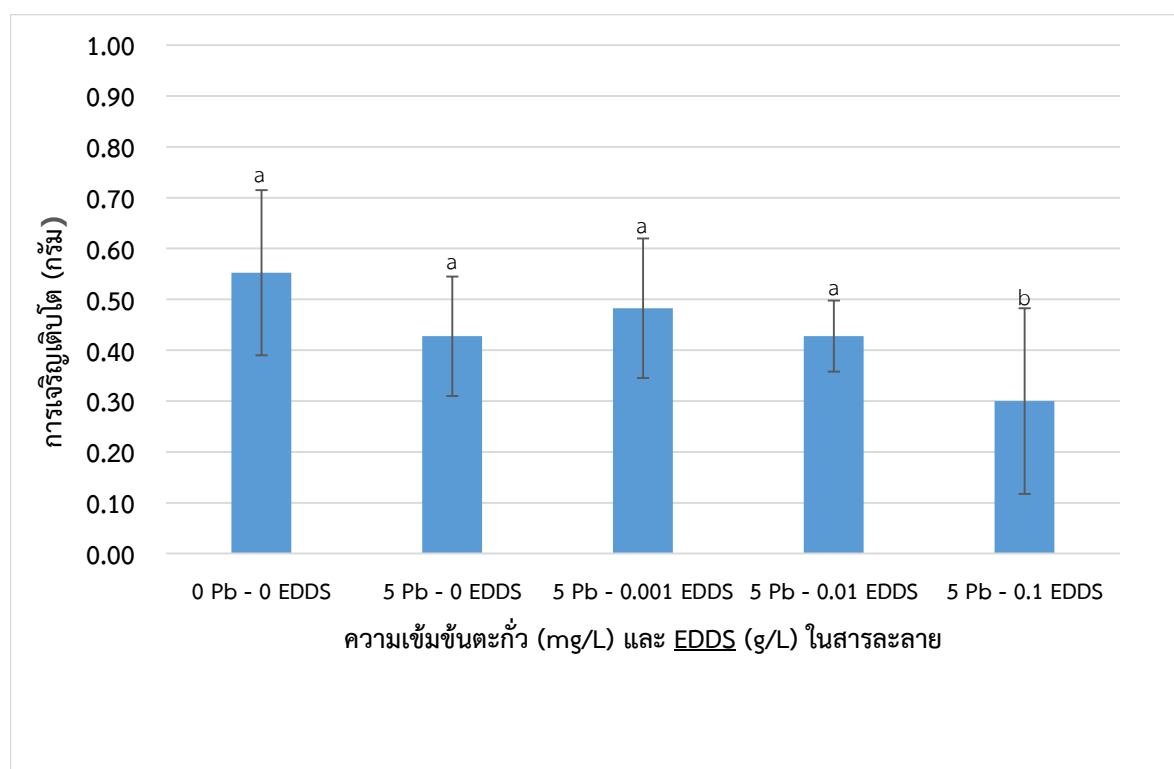
การทดลอง Pb (mg/L) - EDDS (g/L)	การเจริญเติบโต* กรัม	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Pb - 0 EDDS	0.55 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.27	0.61 ± 0.14	2.95 ± 0.23
5 Pb - 0 EDDS	0.43 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.81 ± 0.25	0.85 ± 0.10	3.66 ± 0.29
5 Pb - 0.001 EDDS	0.48 ± 0.14 <sup>a</sup>	4.28 ± 1.55	1.02 ± 0.06	5.30 ± 1.58
5 Pb - 0.01 EDDS	0.43 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.20 ± 0.47	0.88 ± 0.15	4.08 ± 0.55
5 Pb - 0.1 EDDS	0.30 ± 0.18 <sup>b</sup>	3.78 ± 1.64	0.99 ± 0.26	4.77 ± 1.87

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ EDDS

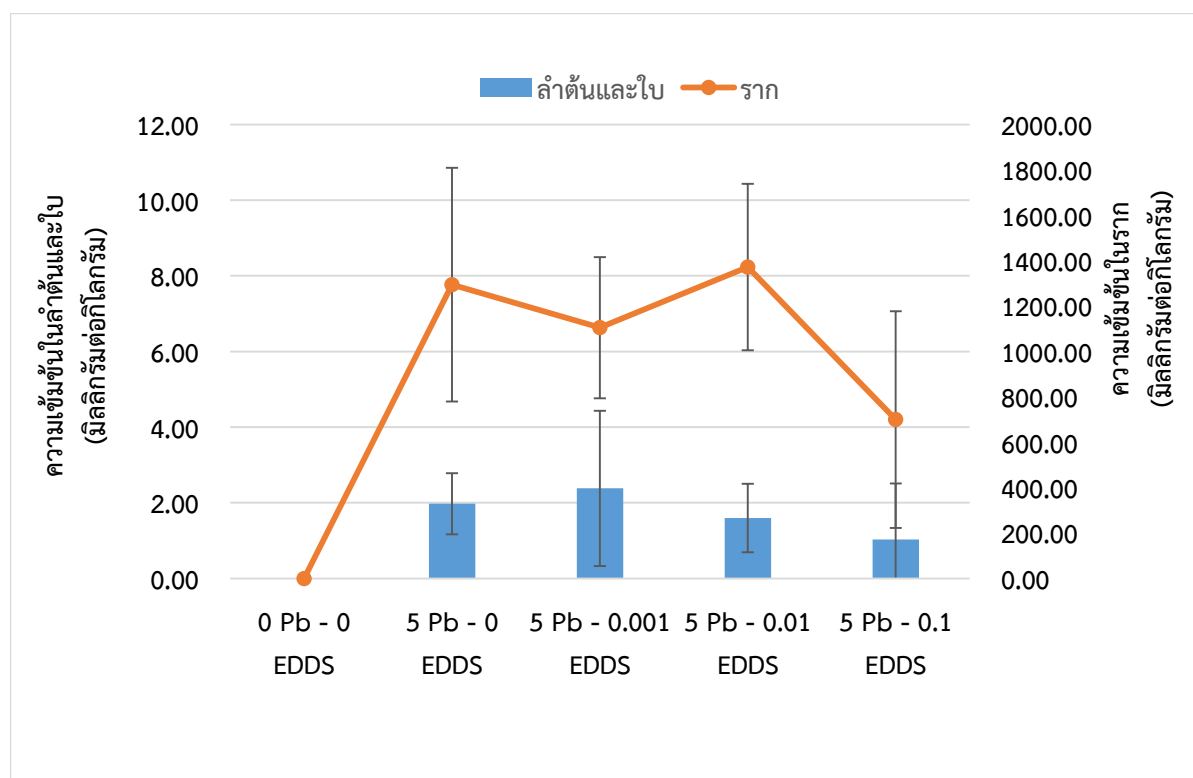


ภาพที่ 4.36 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.37 ความเข้มข้นตะกั่วในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง	ความเข้มข้นตะกั่วในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
Pb (mg/L) - EDDS (g/L)				
0 Pb - 0 EDDS	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
5 Pb - 0 EDDS	1.97 ± 0.81	1294.11 ± 515.31	1296.09 ± 515.12	77.98 ± 6.87
5 Pb - 0.001 EDDS	2.38 ± 2.05	1104.90 ± 311.17	1107.28 ± 312.86	88.20 ± 8.72
5 Pb - 0.01 EDDS	1.60 ± 0.91	1371.71 ± 367.18	1373.31 ± 367.43	96.14 ± 2.47
5 Pb - 0.1 EDDS	1.03 ± 1.48	700.04 ± 477.25	701.07 ± 478.15	88.16 ± 3.01

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงการสะสมตะกั่วในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ EDDS ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.3.9 ผลของสารคีเลต Citric acid ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น โดยมีการเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ ซึ่งเติมตะกั่วโดยไม่เติมสารคีเลต Citric acid เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองดังตารางที่ 4.38 และ ภาพที่ 4.38

ราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารคีเลต Citric acid (ตารางที่ 4.38 และ ภาพที่ 4.38)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (0.001, 0.01, และ 0.1 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.39 และภาพที่ 4.39

ผลการทดลองพบว่า การสะสมของตะกั่วในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) ลดลงเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของ Citric acid เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว และพบว่า การสะสมของตะกั่วในส่วนรากก็ลดลงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของ Citric acid เพิ่มขึ้นในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว เมื่อเปรียบเทียบกับพืชในสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่วที่ไม่ได้รับ Citric acid (ตารางที่ 4.39 และภาพที่ 4.39)

ตารางที่ 4.38 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซिटริก (CA) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

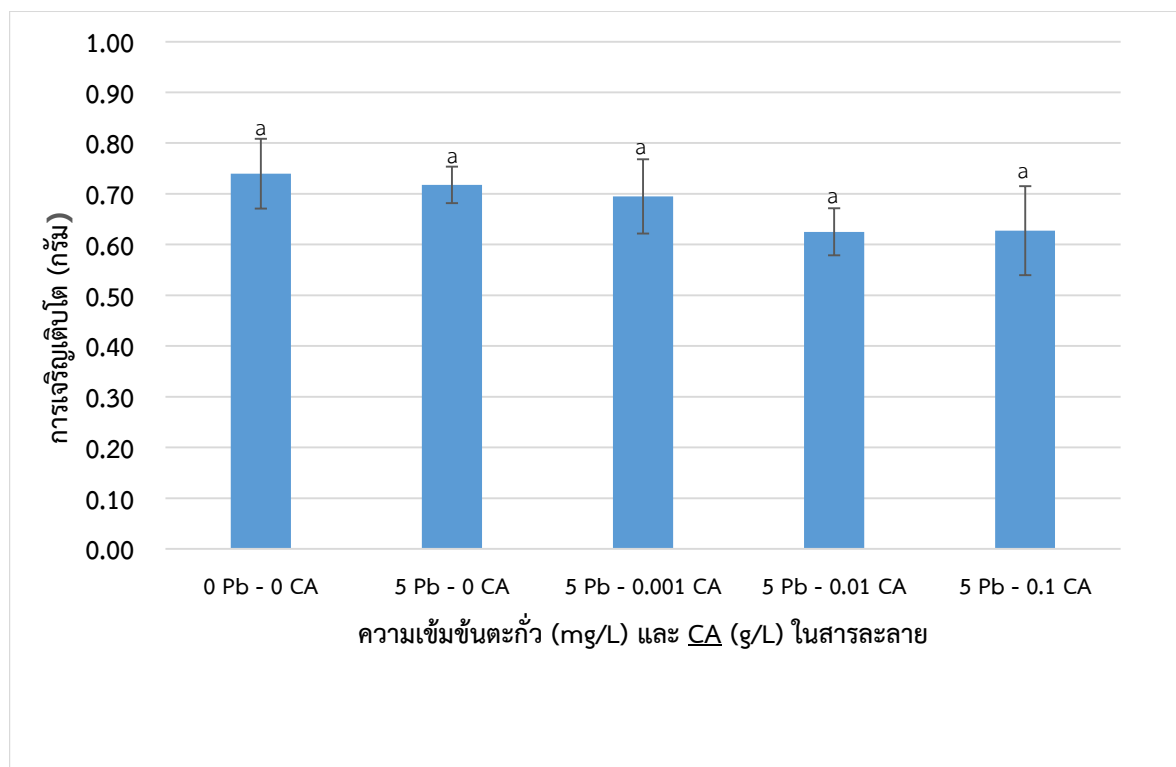
การทดลอง Pb (mg/L) - CA (g/L)	การเจริญเติบโต* กรัม	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
0 Pb - 0 CA	0.74 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.54 ± 0.54	0.61 ± 0.08	3.16 ± 0.52
5 Pb - 0 CA	0.72 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.26 ± 0.44	0.85 ± 0.36	4.11 ± 0.73
5 Pb - 0.001 CA	0.70 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.84 ± 0.64	0.83 ± 0.16	4.67 ± 0.54
5 Pb - 0.01 CA	0.63 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.81 ± 0.60	0.94 ± 0.18	4.75 ± 0.76
5 Pb - 0.1 CA	0.63 ± 0.09 <sup>a</sup>	5.14 ± 1.34	1.33 ± 0.41	6.47 ± 1.73

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ 1) ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ CA

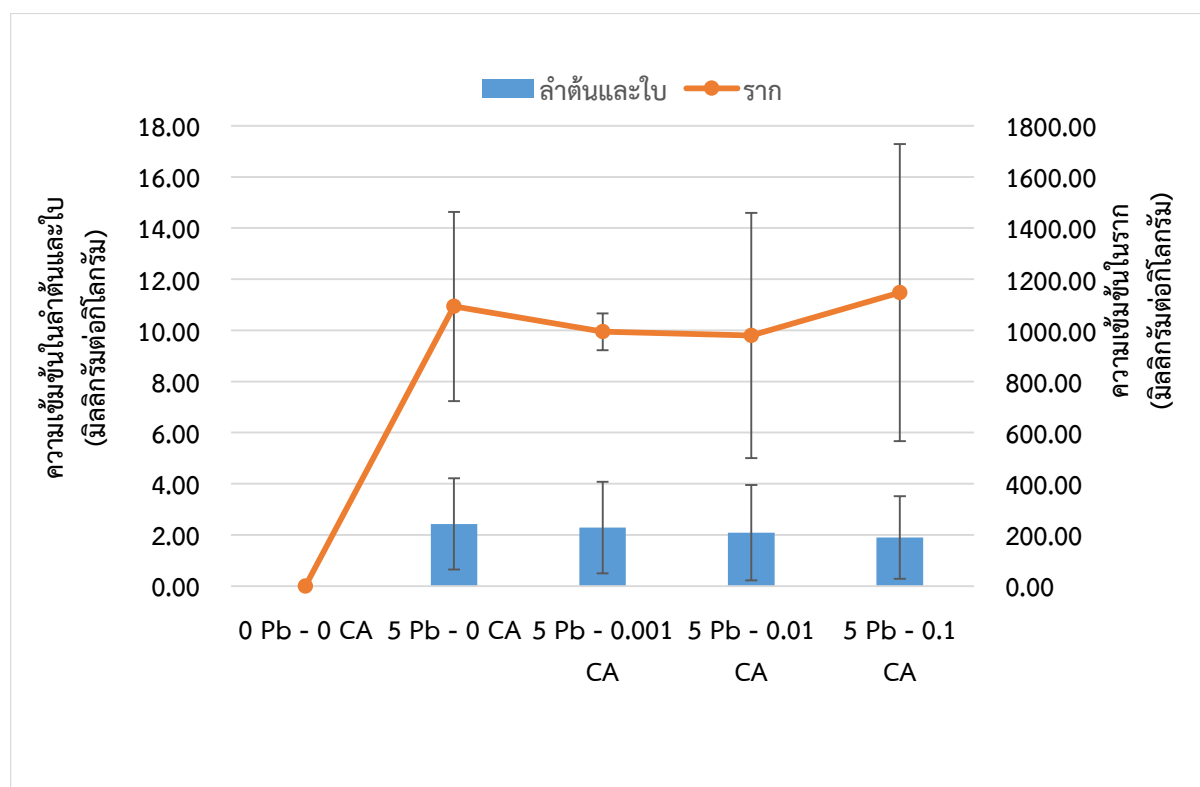


ภาพที่ 4.38 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิทริก (CA) ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.39 ความเข้มข้นตะกั่วในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเต็มตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิตริก (CA) ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Pb (mg/L) - CA (g/L)	ความเข้มข้นตะกั่วในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
0 Pb - 0 CA	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	N/A
5 Pb - 0 CA	2.43 ± 1.78	1093.50 ± 369.69	1095.93 ± 368.57	94.66 ± 3.10
5 Pb - 0.001 CA	2.29 ± 1.79	994.39 ± 71.89	996.68 ± 71.06	94.96 ± 2.57
5 Pb - 0.01 CA	2.09 ± 1.86	979.93 ± 480.05	982.02 ± 479.06	94.08 ± 3.21
5 Pb - 0.1 CA	1.90 ± 1.61	1147.55 ± 580.84	1149.45 ± 581.74	94.42 ± 4.09

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.39 กราฟแสดงการสะสมตะกั่วในส่วนลำต้นและใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเต็มตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ กรดซิตริก (CA) ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 14 วัน

4.4 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนพืชและสารคีเลต ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนัก (แคดเมียม, สังกะสี, และตะกั่ว)

4.4.1 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนพืชและสารคีเลต ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักแคดเมียม

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตรร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น ผลการทดลองดังตารางที่ 4.40 และภาพที่ 4.40

ในภาพรวมพบว่าราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ นั้นมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชกลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมและสารคีเลตชนิดอื่นร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ (ตารางที่ 4.40 และภาพที่ 4.40)

ปริมาณแคดเมียมที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมแคดเมียม 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตรร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.41 และภาพที่ 4.41

ผลการทดลองพบว่าภาพรวมการสะสมของแคดเมียมในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากมีการสะสมดีที่สุดในพืชกลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมและสารคีเลต Citric acid ร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพืชกลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมแคดเมียมและสารคีเลตต่างชนิดกันในขณะที่ฮอร์โมนพืชที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน (ตารางที่ 4.41 และภาพที่ 4.41)

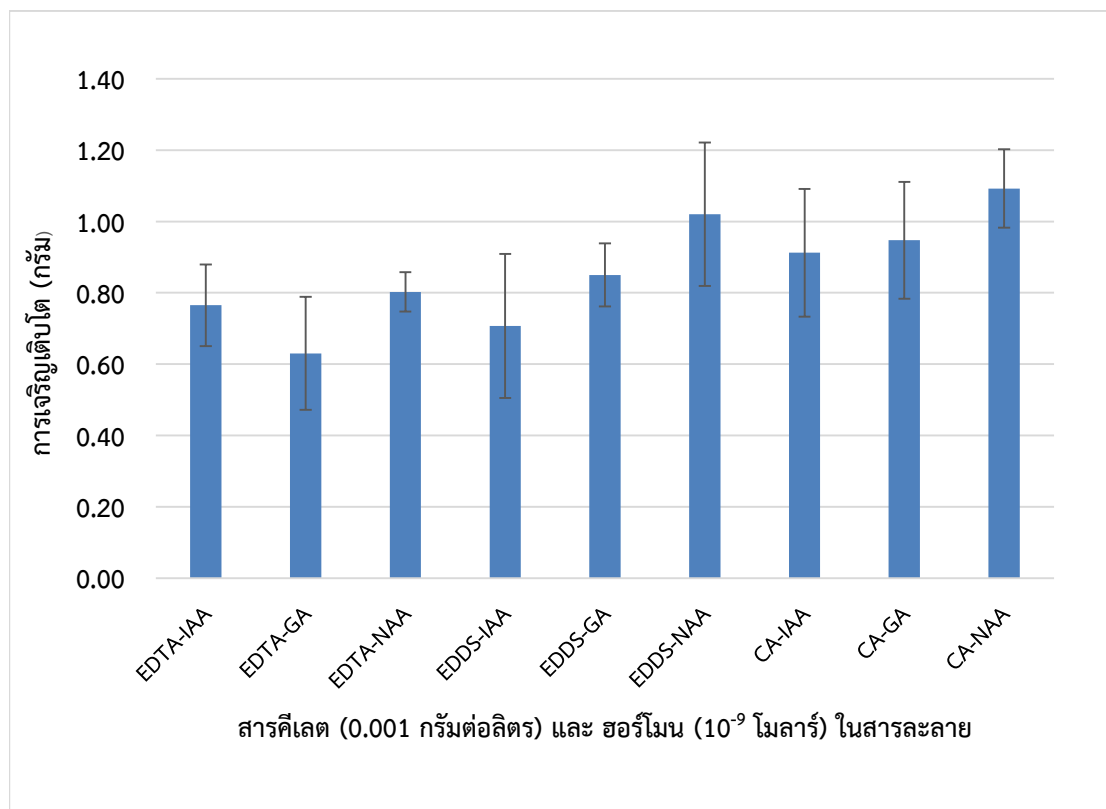
ตารางที่ 4.40 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตรร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Chelates - Hormones	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
EDTA-IAA	0.77 ± 0.11	3.36 ± 0.57	0.76 ± 0.20	4.12 ± 0.42
EDTA-GA <sub>3</sub>	0.63 ± 0.16	4.58 ± 0.92	1.07 ± 0.21	5.65 ± 0.82
EDTA-NAA	0.80 ± 0.06	5.97 ± 0.86	1.61 ± 0.22	7.58 ± 0.98
EDDS-IAA	0.71 ± 0.20	4.00 ± 0.65	0.99 ± 0.09	4.99 ± 0.57
EDDS-GA <sub>3</sub>	0.85 ± 0.09	5.33 ± 0.63	1.24 ± 0.16	6.56 ± 0.65
EDDS-NAA	1.02 ± 0.20	6.09 ± 1.56	1.71 ± 0.32	7.80 ± 1.61
CA-IAA	0.91 ± 0.18	5.06 ± 0.58	1.28 ± 0.27	6.34 ± 0.72
CA-GA <sub>3</sub>	0.95 ± 0.16	5.36 ± 1.03	1.22 ± 0.29	6.58 ± 1.24
CA-NAA	1.09 ± 0.11	7.89 ± 0.55	2.00 ± 0.41	9.89 ± 0.80

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

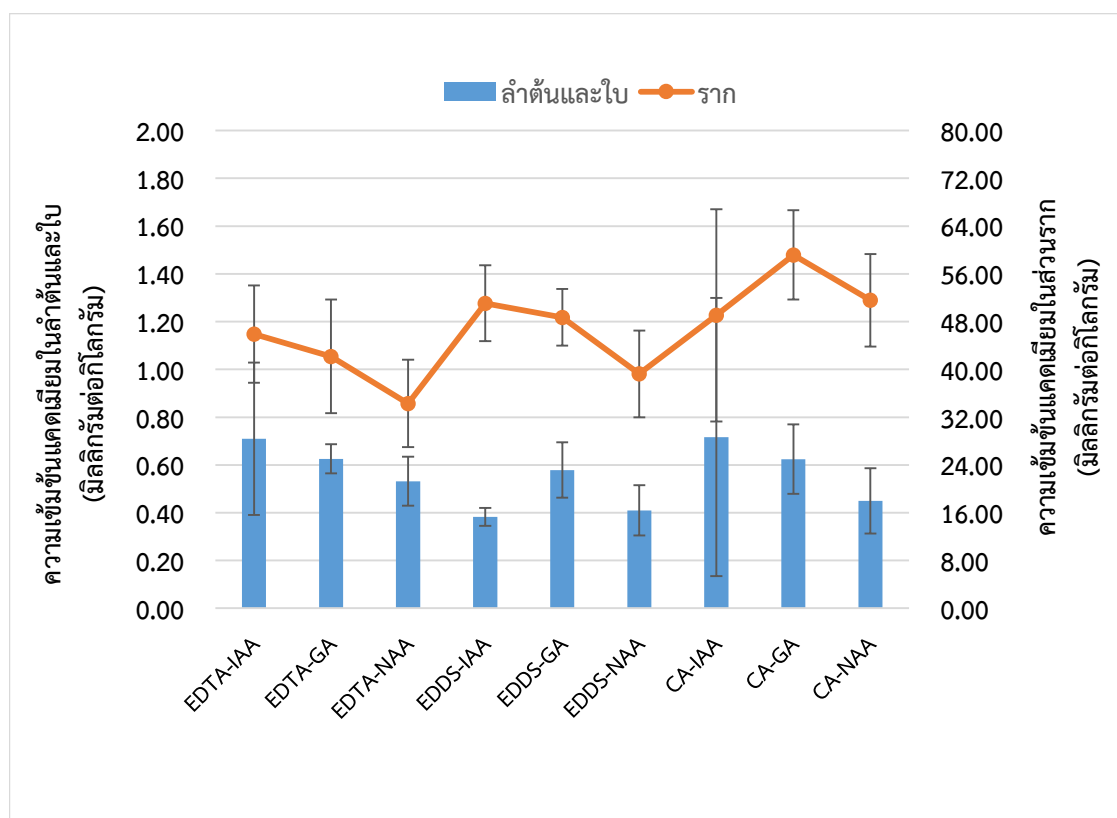


ภาพที่ 4.40 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอโมนชนิดต่าง (10<sup>-9</sup> โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.41 ความเข้มข้นแคดเมียมในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคดเมียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Chelates - Hormones	ความเข้มข้นแคดเมียมในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
EDTA-IAA	0.71 ± 0.32	45.92 ± 8.15	46.63 ± 8.35	44.31 ± 2.22
EDTA-GA <sub>3</sub>	0.63 ± 0.06	42.18 ± 9.51	42.80 ± 9.54	58.42 ± 10.69
EDTA-NAA	0.53 ± 0.10	34.30 ± 7.33	34.83 ± 7.35	58.88 ± 11.66
EDDS-IAA	0.38 ± 0.04	51.08 ± 6.37	51.46 ± 6.36	68.29 ± 6.62
EDDS-GA <sub>3</sub>	0.58 ± 0.12	48.72 ± 4.76	49.30 ± 4.74	78.68 ± 7.17
EDDS-NAA	0.41 ± 0.10	39.26 ± 7.27	39.67 ± 7.33	75.40 ± 3.79
CA-IAA	0.72 ± 0.58	49.05 ± 17.77	49.77 ± 18.18	78.52 ± 3.69
CA-GA <sub>3</sub>	0.62 ± 0.15	59.18 ± 7.49	59.80 ± 7.64	77.14 ± 3.33
CA-NAA	0.45 ± 0.14	51.57 ± 7.77	52.02 ± 7.79	88.10 ± 8.45

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.41 กราฟแสดงการสะสมแคลเซียมในส่วนลำต้นและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมแคลเซียม (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.4.2 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนพืชและสารคีเลต ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักสังกะสี

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตรร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น ผลการทดลองดังตารางที่ 4.42 และภาพที่ 4.42

ในภาพรวมพบว่าราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลตชนิดต่างๆ ร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ นั้นมีการเจริญเติบโตไม่ต่างกัน (ตารางที่ 4.42 และภาพที่ 4.42) เมื่อพิจารณาสารคีเลตต่างชนิดกันในขณะที่ฮอร์โมนพืชที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน

ปริมาณสังกะสีที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมสังกะสี 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตรร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.43 และภาพที่ 4.43

ผลการทดลองพบว่าภาพรวมการสะสมของสังกะสีในส่วนรากมีการสะสมดีที่สุดในพื้นที่กลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีและสารคีเลต Citric acid ร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่กลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีและสารคีเลตชนิดอื่นร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ ส่วนการสะสมของสังกะสีในส่วนยอดในพื้นที่นั้น พื้นที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีและสารคีเลต EDDS ร่วมกับฮอร์โมนพืช IAA และสารคีเลต EDDS ร่วมกับฮอร์โมนพืช GA<sub>3</sub> มีการสะสมสังกะสีได้ดีที่สุด ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่กลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมสังกะสีและสารคีเลตต่างชนิดกันในขณะที่ฮอร์โมนพืชที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน (ตารางที่ 4.43 และภาพที่ 4.43)

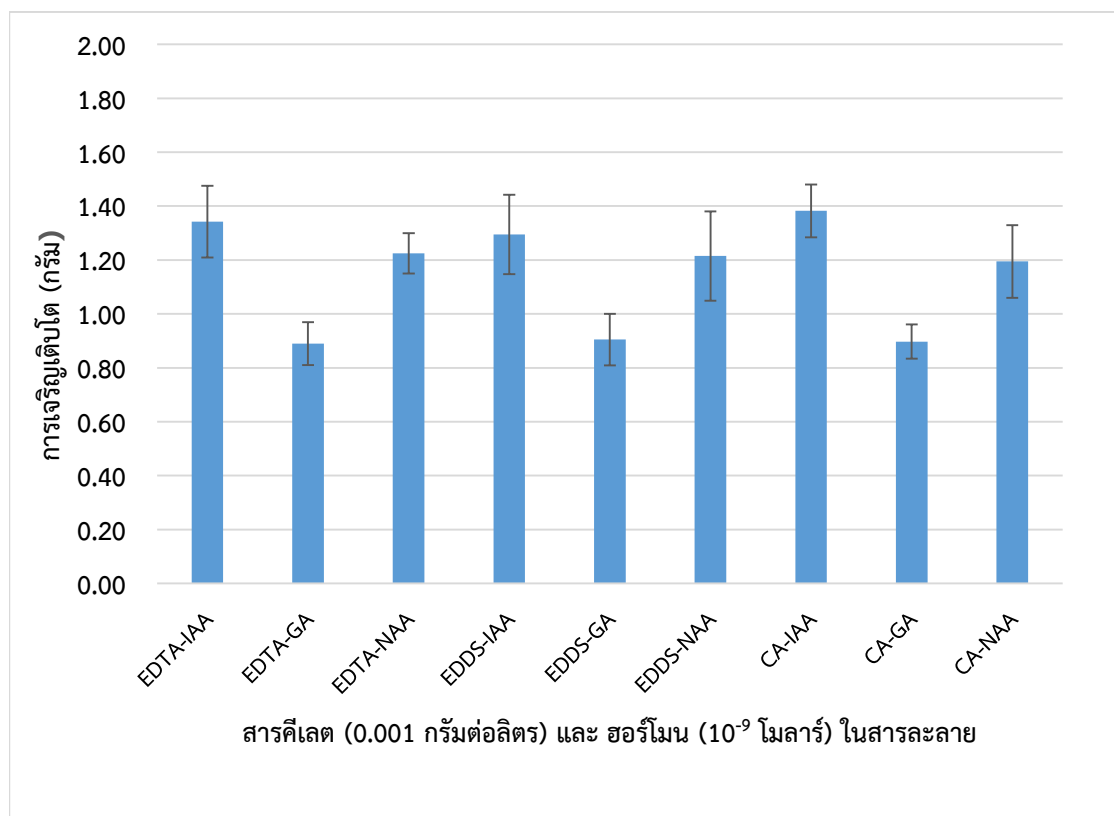
ตารางที่ 4.42 การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตร ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Chelates - Hormones	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
EDTA-IAA	1.34 ± 0.13	5.68 ± 0.75	2.20 ± 0.66	7.88 ± 1.23
EDTA-GA <sub>3</sub>	0.89 ± 0.08	4.73 ± 0.37	1.44 ± 0.13	6.17 ± 0.43
EDTA-NAA	1.23 ± 0.08	3.60 ± 0.31	0.70 ± 0.11	4.30 ± 0.37
EDDS-IAA	1.30 ± 0.15	4.51 ± 0.14	1.10 ± 0.05	5.61 ± 0.13
EDDS-GA <sub>3</sub>	0.90 ± 0.10	3.20 ± 0.54	0.71 ± 0.18	3.91 ± 0.71
EDDS-NAA	1.22 ± 0.17	4.95 ± 0.32	1.29 ± 0.24	6.24 ± 0.17
CA-IAA	1.38 ± 0.10	5.58 ± 0.33	1.42 ± 0.18	7.00 ± 0.41
CA-GA <sub>3</sub>	0.90 ± 0.06	4.07 ± 0.26	1.12 ± 0.26	5.19 ± 0.08
CA-NAA	1.20 ± 0.13	3.69 ± 0.36	0.82 ± 0.06	4.51 ± 0.33

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

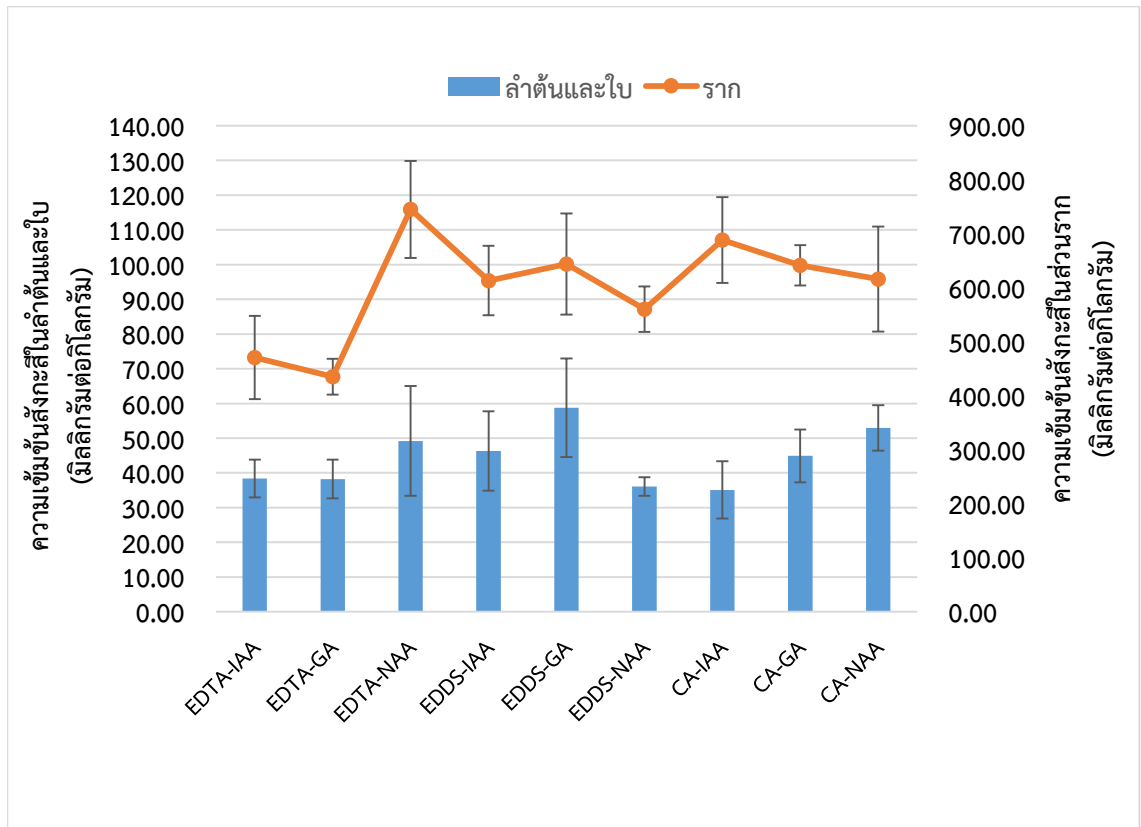


ภาพที่ 4.42 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารเคมีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอริโมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

**ตารางที่ 4.43** ความเข้มข้นสังกะสีในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Chelates - Hormones	ความเข้มข้นสังกะสีในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
EDTA-IAA	38.37 ± 5.47	470.65 ± 76.90	509.02 ± 77.45	84.29 ± 4.53
EDTA-GA <sub>3</sub>	38.22 ± 5.58	435.06 ± 33.12	473.28 ± 37.91	79.81 ± 4.68
EDTA-NAA	49.19 ± 15.81	744.83 ± 89.76	794.02 ± 79.12	71.89 ± 9.19
EDDS-IAA	46.33 ± 11.43	613.18 ± 64.15	659.51 ± 52.96	80.91 ± 2.17
EDDS-GA <sub>3</sub>	58.76 ± 14.18	643.81 ± 93.36	702.57 ± 99.14	70.49 ± 7.49
EDDS-NAA	36.09 ± 2.65	560.37 ± 42.20	596.45 ± 40.64	81.26 ± 4.89
CA-IAA	35.10 ± 8.25	688.23 ± 79.25	723.33 ± 80.72	83.91 ± 7.40
CA-GA <sub>3</sub>	44.92 ± 7.60	641.42 ± 37.54	686.34 ± 40.92	81.88 ± 4.15
CA-NAA	52.96 ± 6.55	615.96 ± 97.20	668.92 ± 96.74	78.00 ± 4.91

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.43 กราฟแสดงการสะสมสังกะสีในส่วนลำต้นและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเต็มสังกะสี (2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

#### 4.4.3 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนพืชและสารคีเลต ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของราชวดีบ้าน (*Buddleja paniculata*) ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีโลหะหนักตะกั่ว

การเจริญเติบโตของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตรร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน ถูกแสดงด้วยค่าเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักสดเมื่อสิ้นสุดการทดลองและก่อนเริ่มต้นการทดลอง น้ำหนักแห้งส่วนของลำต้นและใบ ราก และทั้งหมด ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้น ผลการทดลองดังตารางที่ 4.44 และภาพที่ 4.44

ในภาพรวมพบว่าราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลต Citric acid ร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ นั้นมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชกลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วและสารคีเลตชนิดอื่นร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ (ตารางที่ 4.44 และภาพที่ 4.44)

ปริมาณตะกั่วที่ถูกสะสมไว้ในส่วนยอด (ลำต้นและใบ) และส่วนรากของราชวดีที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุ (Hoagland's solution) ซึ่งเติมตะกั่ว 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตรร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน แสดงดังตารางที่ 4.45 และภาพที่ 4.45

ผลการทดลองพบว่าการสะสมของตะกั่วในส่วนยอดในพืชนั้น พืชที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วและสารคีเลต EDTA ร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ มีการสะสมตะกั่วได้ดีที่สุด ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพืชกลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วและสารคีเลตต่างชนิดกันในขณะที่ฮอร์โมนพืชที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน ในส่วนการสะสมของตะกั่วในส่วนรากพบว่าพืชกลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วและสารคีเลต Citric acid ร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดต่างๆ มีการสะสมตะกั่วในรากได้ดีที่สุด ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพืชกลุ่มที่เพาะเลี้ยงด้วยสารละลายแร่ธาตุซึ่งเติมตะกั่วและสารคีเลตต่างชนิดกันในขณะที่ฮอร์โมนพืชที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน (ตารางที่ 4.45 และภาพที่ 4.45)

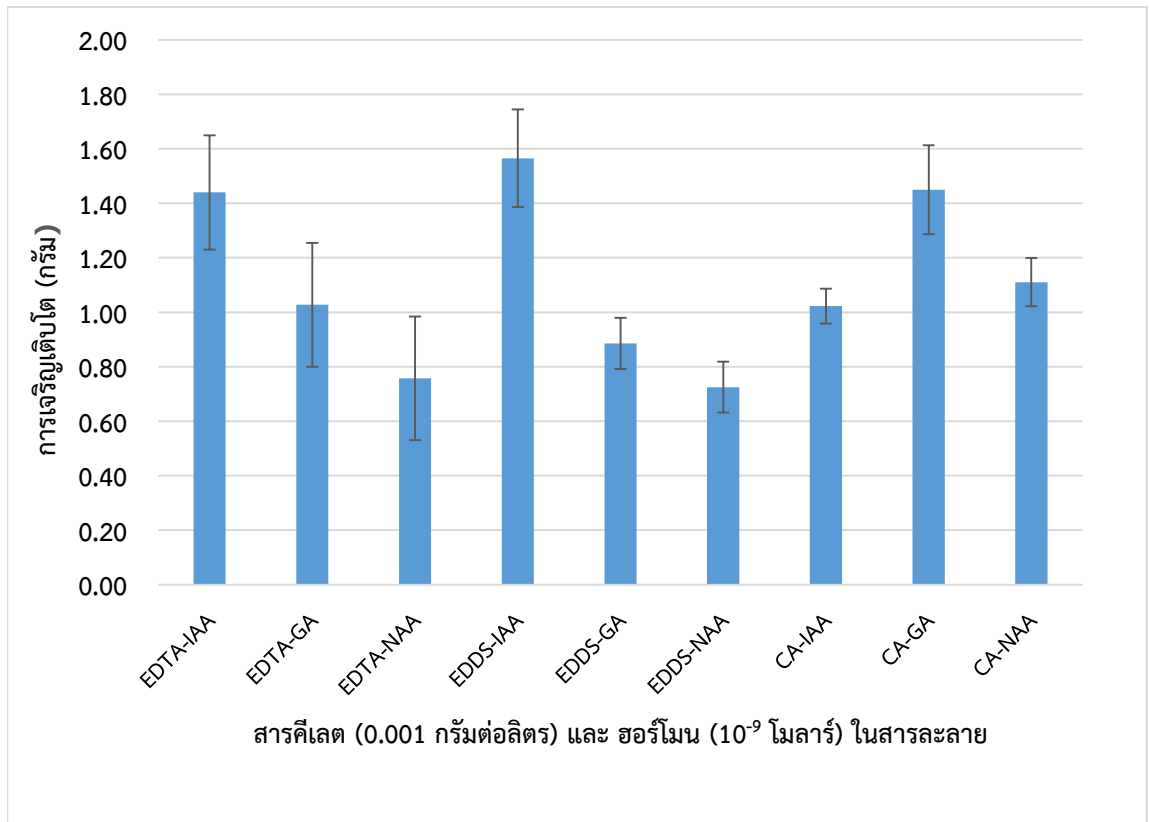
**ตารางที่ 4.44** การเจริญเติบโตของพืช (ผลต่างน้ำหนักสดหลังและก่อนการทดลอง) และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุที่เติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (EDTA, EDDS, CA) ความเข้มข้น 0.001 กรัมต่อลิตร ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ (IAA, GA<sub>3</sub>, NAA) ความเข้มข้น 10<sup>-9</sup> โมลาร์ เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Chelates - Hormones	การเจริญเติบโต* (กรัม)	น้ำหนักแห้ง** (กรัม)		
		ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด
EDTA-IAA	1.44 ± 0.21	3.03 ± 0.22	0.75 ± 0.16	3.79 ± 0.25
EDTA-GA <sub>3</sub>	1.03 ± 0.23	3.49 ± 0.35	0.91 ± 0.22	4.41 ± 0.55
EDTA-NAA	0.76 ± 0.23	4.35 ± 0.56	1.23 ± 0.38	5.58 ± 0.32
EDDS-IAA	1.57 ± 0.18	3.99 ± 0.36	0.89 ± 0.16	4.87 ± 0.33
EDDS-GA <sub>3</sub>	0.89 ± 0.09	5.33 ± 1.74	1.58 ± 0.58	6.91 ± 2.26
EDDS-NAA	0.73 ± 0.09	3.24 ± 0.13	0.94 ± 0.13	4.18 ± 0.25
CA-IAA	1.02 ± 0.06	2.71 ± 0.24	0.57 ± 0.12	3.28 ± 0.34
CA-GA <sub>3</sub>	1.45 ± 0.16	2.85 ± 0.77	0.68 ± 0.15	3.53 ± 0.87
CA-NAA	1.11 ± 0.09	4.49 ± 2.45	1.16 ± 0.56	6.50 ± 3.01

\*การเจริญเติบโต (กรัม) = น้ำหนักสดของพืชหลังการทดลอง - น้ำหนักสดของพืชก่อนการทดลอง

\*\*น้ำหนักแห้ง (กรัม) = น้ำหนักแห้งของพืชหลังการทดลอง

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

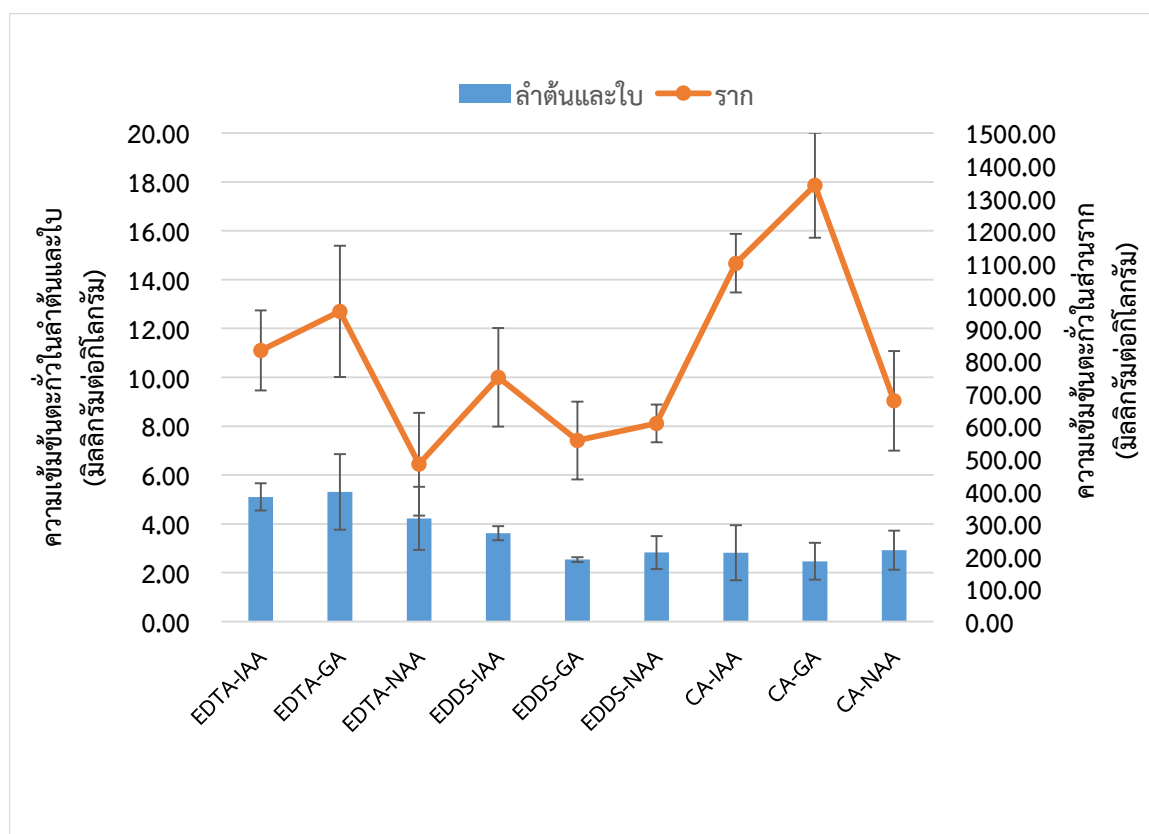


ภาพที่ 4.44 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอริโมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 4.45 ความเข้มข้นตะกั่วในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน

การทดลอง Chelates - Hormones	ความเข้มข้นตะกั่วในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			Removal Efficiency (%)
	ลำต้นและใบ	ราก	ทั้งหมด	
EDTA-IAA	5.10 ± 0.56	832.83 ± 123.06	837.93 ± 122.59	63.87 ± 2.39
EDTA-GA	5.31 ± 1.55	952.56 ± 201.74	957.87 ± 202.71	54.85 ± 9.28
EDTA-NAA	4.22 ± 1.29	483.09 ± 157.97	487.32 ± 158.23	58.60 ± 3.18
EDDS-IAA	3.61 ± 0.29	749.82 ± 151.15	753.43 ± 151.18	79.02 ± 2.24
EDDS-GA	2.54 ± 0.10	555.94 ± 119.24	558.47 ± 119.15	84.10 ± 3.36
EDDS-NAA	2.82 ± 0.67	608.38 ± 57.80	611.20 ± 57.23	80.01 ± 1.36
CA-IAA	2.82 ± 1.13	1100.37 ± 89.80	1103.19 ± 89.82	79.87 ± 6.82
CA-GA	2.47 ± 0.76	1340.11 ± 161.03	1342.58 ± 160.56	86.46 ± 2.45
CA-NAA	2.92 ± 0.80	677.88 ± 152.66	680.80 ± 152.40	70.83 ± 5.74

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.45 กราฟแสดงการสะสมตะกั่วในส่วนลำต้นใบและรากของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายแร่ธาตุเติมตะกั่ว (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารคีเลตชนิดต่างๆ (0.001 กรัมต่อลิตร) ร่วมกับฮอร์โมนชนิดต่างๆ ( $10^{-9}$  โมลาร์) เป็นเวลา 14 วัน