บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ใช้ หาค่าน้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน และได้วิเคราะห์ปริมาณของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของพืชทั้ง 3 ชนิด

4.1 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในงานวิจัย

เมื่อนำดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตามวิธีการทดลองในตารางที่ 3.1 พบว่าดินที่ใช้มีคุณสมบัติดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์	ลักษณะสมบัติของดิน
1. ลักษณะเนื้อดิน (soil texture)	30.8 : 30.0 : 39.2 (clay loam)
2. ปริมาณน้ำในดิน (soil water content)	27.2 %
3. ความเป็นกรดด่างของดิน (pH)	6.29
4. ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (cation exchange capacity)	21.19 me / 100 g
5. ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content)	1.04 %
6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	0.105 %
7. ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus)	780 mg/kg
8. ปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)	3260 mg/kg
9. ปริมาณทองแดงทั้งหมด (total copper)	28.1 mg/kg

1) ลักษณะเนื้อดิน (soil texture)

ดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีอัตราส่วนของ sand : silt : clay เป็น 30.8 : 30.0 : 39.2 เมื่อนำมาเทียบกับสามเหลี่ยมประเภทของเนื้อดินพบว่าเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) ซึ่งตามปกติแล้ว clay loam เป็นดินที่มีอนุภาคของดินเหนียว (clay) ประมาณ 27-40% สำหรับดินประเภท clay loam นั้นจะมีสภาพดินที่เป็นก้อน เมื่อแห้งจะแข็ง เมื่อไปทำการทุบให้แตกออกจะพบว่าส่วนที่แตกออกจะมีสภาพเป็นก้อนดินที่มีขนาดเล็กลง เมื่อดินเปียกหรือชื้นจะสามารถบี้ให้เป็นแผ่นบางๆ ได้ แต่ก็จะแตกออกเป็นชิ้นได้เมื่อปล่อยให้ยาวออกไปเพียงเล็กน้อย เมื่อนำทดสอบการกำด้วยฝ่ามือจะเกิดเป็นก้อนดินซึ่งจะไม่แตกออกด้วยการกระทบด้วยนิ้วมือแรงๆ หรือเมื่อนำมาบีบนวดด้วยมือ ดินจะจับตัวเป็นก้อนดินที่เหนียวและแน่นมากยิ่งขึ้นแทนที่จะแตกสลายออก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) โดยที่ดินที่มีลักษณะเนื้อดิน clay loam เช่นนี้จะมีการดูดซับอนุภาคทองแดงและธาตุอาหารต่างๆ ที่มีประจุบวกได้ดีเนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคของดินเหนียวทำให้

มีความอุดมสมบูรณ์สูง แต่มีการถ่ายเทอากาศไม่ดี อุ้มน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะแก่การหายใจและการแพร่ขยายของรากพืช (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) แต่ในงานวิจัยในครั้งนี้มีการควบคุมปริมาณของน้ำที่ใช้ในการรดน้ำต้นไม้อย่างเหมาะสม เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในดินและไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของทองแดงที่ใช้ในการทดลองออกสู่นอกระบบได้

2) ปริมาณน้ำในดิน (soil water content)

ปริมาณน้ำในดินนั้นเป็นการวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน โดยน้ำที่ไหลผ่านช่องดินจะถูกดูดยึดน้ำเอาไว้ตามช่องว่างหรือเคลือบเป็นฟิลม์รอบอนุภาค สำหรับงานวิจัยนี้วัดปริมาณของน้ำในดินด้วยการวัดเป็นระดับความชื้น (water content) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณของน้ำกับปริมาณของดินที่น้ำนั้นบรรจุอยู่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยดินที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้มีระดับความชื้นของดินเท่ากับ 27.2 % โดยมวลซึ่งเป็นระดับความชื้นปานกลางในดิน เป็นระดับที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ และไม่มากจนเกินไป

3) ความเป็นกรดด่างของดิน (pH)

ความเป็นกรดด่างของดินนั้นบ่งบอกถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ของดินโดยพิจารณาจากปริมาณของ hydrogen ion (H^+) และ hydroxyl ion (OH^-) ในสารละลายดิน (soil solution) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ซึ่งดินที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้มีค่าความเป็นกรดด่างของดินอยู่ที่ 6.29 เป็นดินที่มีความเป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid) ซึ่งอยู่ช่วง pH 6-7 ที่มีความเป็นประโยชน์ของธาตุต่างๆ อยู่ในระดับเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืชโดยทั่วไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยที่ค่าความเป็นกรดด่างของดินอยู่ที่ 6.29 นั้นทองแดงจะอยู่ในรูปที่สามารถละลายได้ (ในสภาพ pH ตั้งแต่ 6.5 ขึ้นไปทองแดงจะอยู่ในรูปที่ละลายได้น้อย) สามารถเกิดเป็นคีเลตที่มีความคงทน (ในสภาพที่ไม่มีธาตุเหล็กในปริมาณสูง) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้งานได้ง่าย (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

4) ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (cation exchange capacity)

ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงเป็นอย่างมากสำหรับงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกันระหว่างโลหะหนักและดิน เนื่องจากความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินนั้นแสดงถึงปริมาณของแคตไอออนทั้งหมดที่ดินหรือคอลลอยด์นั้นสามารถที่จะดูดยึดเอาไว้ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นั่นก็คือ ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินจะแสดงถึงปริมาณของแคตไอออนที่ถูกดูดอยู่ที่ผิวของ clay micelle ซึ่งเป็นอำนาจในการดูดยึดสารอาหารต่างๆ รวมถึงธาตุพิษที่เป็นแคตไอออนเอาไว้ในดิน สำหรับความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่า 21.19 me / 100 g ซึ่งเป็นค่าปกติของดินที่มีลักษณะเนื้อดินเป็น clay loam (ตามปกติค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินสามารถประเมินอย่างคร่าวๆ ได้โดยคิดจากปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่ได้จากสามเหลี่ยมประเภทของเนื้อดินมาคูณกับ 0.5 และรวมกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินคูณด้วย 2.0 จะได้ค่าโดยประมาณ

ของความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินของดินทั่วๆ ไป) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยที่ดินปกติทั่วไปจะมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินอยู่ระหว่าง 0.5-50 me / 100 g ซึ่งความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่า 21.19 me / 100 g นับว่าเป็นค่าในระดับที่สูงสำหรับดินปกติทั่วไป (ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินอยู่ระหว่าง 20-30 me / 100 g ถือว่ามีค่าสูง) (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) การที่ดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินอยู่ในระดับสูงนี้ทำให้ความเป็นพิษของทองแดงในดินแสดงออกมาลดลงเนื่องจากทองแดงบางส่วนถูกดินดูดยึดไว้ จึงทำให้โอกาสรอดของพืชที่ใช้ในงานวิจัยมีสูงขึ้น

5) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน หมายถึง อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน มีต้นกำเนิดมาจากซากพืช ซากสัตว์ รวมทั้งอินทรียสารที่รากพืชปลดปล่อยออกมาทางราก (root exudates) และที่จุลินทรีย์ดินสังเคราะห์ขึ้นมา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุในดินนั้นได้แสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินนั่นเอง ซึ่งดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินอยู่ที่ 1.04 % เป็นดินที่มีความสมบูรณ์น้อย แต่อีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในแง่ของการดูดซับทองแดงของดิน ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากๆ จะมีความสามารถดูดซับทองแดงไว้ได้มาก โดยที่ทองแดงจะถูกดูดโดยสารอินทรีย์กลุ่มซัลไฮดริล (sulhydryl group) ที่อยู่รวมกับสารประกอบอินทรีย์ที่มีความสามารถในการดูดยึดทองแดงไว้ได้ จึงทำให้พืชไม่สามารถดูดดึงทองแดงที่ถูกดูดซับเหล่านี้ไปใช้ได้โดยง่าย (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2537 อ้างถึงใน มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ดังนั้นการที่ดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อยจึงทำให้ทองแดงส่วนใหญ่ที่อยู่ในสารละลายดิน และอาจมีผลให้พืชสามารถดูดดึงทองแดงไปสะสมได้มากขึ้นด้วย

6) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)

ไนโตรเจนนับว่าเป็นธาตุอาหารหลัก (macronutrient) สำหรับการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากไนโตรเจนนี้เป็นองค์ประกอบของโปรตีนซึ่งเป็นสารที่พืชต้องใช้ในการเจริญเติบโตสร้างกรดอะมิโนต่างๆ ขึ้นมา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนั้นปริมาณของไนโตรเจนในดินจึงมีความสำคัญอย่างมาก หากมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชอาจทำให้พืชแคระแกรน ยับยั้งอัตราการเจริญเติบโต จนมีผลต่องานวิจัยได้ สำหรับดินที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.105 % ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับพืชที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ (ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินที่ใช้ในการเกษตรตามปกติจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.06 ถึง 0.5 %) (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, 2542) ฉะนั้นในงานวิจัยนี้หากพืชมีการเจริญเติบโตที่มีลักษณะผิดแปลกไปจากปกติก็น่าจะสันนิษฐานสาเหตุได้ว่าเกิดจากผลของโลหะหนักหรือสาเหตุอื่นๆ นอกจากนี้การที่ดินมีปริมาณไนโตรเจนในปริมาณน้อย แต่มี

ปริมาณของฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงกว่ามากจะช่วยให้พืชที่ใช้ในงานวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมทองแดงมากขึ้นด้วย (Wu et al., 2004)

7) ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นเป็นฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารละลายดินที่เป็นแอนไอออนของกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ซึ่งเมื่ออยู่ในสภาพของแอนไอออนจะมีทั้งหมด 3 รูปแบบเปลี่ยนรูปไปตามค่า pH ของดิน กล่าวคือ เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 6.8 จะอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ ซึ่งรูปนี้จะเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายที่สุด เมื่อ pH อยู่ระหว่าง 6.8-7.2 จะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ยากกว่าในรูปแรก และเมื่อ pH สูงกว่า 7.2 จะอยู่ในรูป PO_4^{3-} ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ยากที่สุด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) สำหรับดินที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้มี pH 6.29 ทำให้ฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ ซึ่งรูปนี้จะเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายที่สุด นอกจากนี้ดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 780 mg/kg ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก (ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่า 17 ถือว่ามีค่าสูงมากไม่ควรใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมอีก) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ต้องมีการเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสในดินก็สามารถปลูกพืชได้โดยไม่ต้องเกรงว่าจะเกิดภาวะการขาดฟอสฟอรัสขึ้นระหว่างทำการวิจัย

8) ปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

โปแตสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นอยู่ในรูป K^+ (soluble K^+) แต่ในงานวิจัยต่างๆ นิยมวัดปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) เนื่องจากปริมาณของโปแตสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มีในปริมาณที่น้อยกว่าโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มาก จึงนิยมใช้ปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในการประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของโปแตสเซียมในดินแทน สำหรับดินในงานวิจัยครั้งนี้มีปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ 3260 mg/kg ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก (ปริมาณโปแตสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ 125 ถือว่ามีค่าสูงมากไม่ควรใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมอีก) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ต้องมีการเพิ่มธาตุโปแตสเซียมในดินก็สามารถปลูกพืชได้โดยไม่ต้องเกรงว่าจะเกิดภาวะการขาดโปแตสเซียมขึ้นระหว่างทำการวิจัย

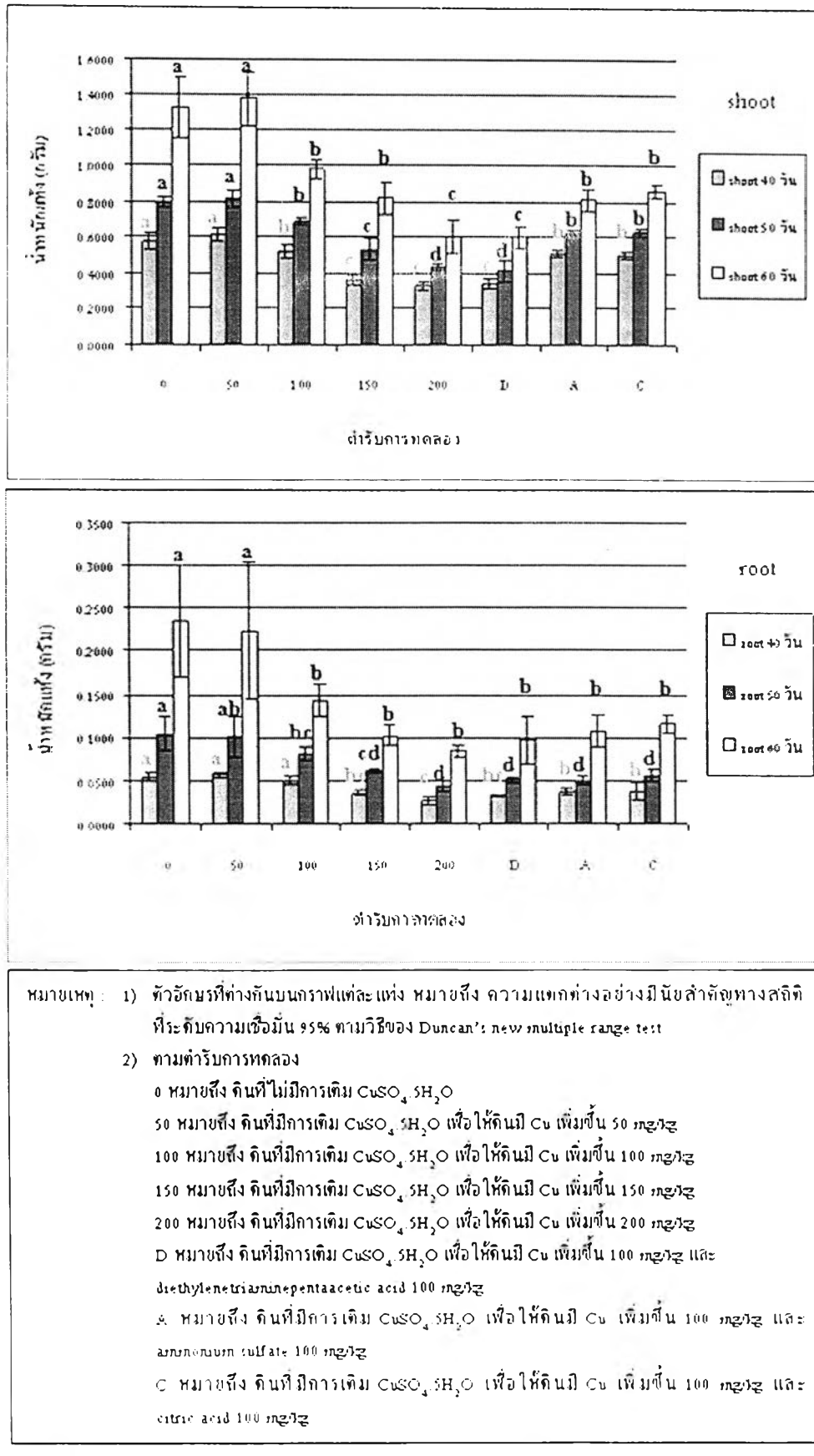
9) ปริมาณทองแดง (total copper)

ปริมาณทองแดงในดินที่ใช้ในงานวิจัยมีค่า 28.1 mg/kg ซึ่งเป็นระดับของทองแดงในดินทั่วๆ ไป (ปริมาณของทองแดงในดินโดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 9 ถึง 29 mg/kg) (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) แสดงให้เห็นว่าดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้แม้ว่าจะนำมาจากพื้นที่ที่เคยเป็นฟาร์มเลี้ยงหมูมาก่อน แต่ก็ไม่มีการปนเปื้อนของทองแดงเกิดขึ้น จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องด้วยสามารถเติมทองแดงเพื่อปรับสภาพให้เหมือนสภาวะปนเปื้อนจริง

ได้ดีเพราะดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินที่มีการปนเปื้อนของทองแดงในพื้นที่จริงมาก

4.2 น้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ

น้ำหนักแห้งของพืชทั้ง 3 ชนิดนั้นได้แบ่งเป็นน้ำหนักของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนราก โดยจะทำการวัดน้ำหนักแห้งของพืชแต่ละชนิดทั้งหมด 3 ครั้งโดยจะทำการชั่งน้ำหนักแห้งของพืชที่มีระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันตามลำดับ ซึ่งข้อมูลน้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตามตำรับการทดลอง

0 หมายถึง ดินที่ไม่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

50 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 50 mg/kg

100 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg

150 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 150 mg/kg

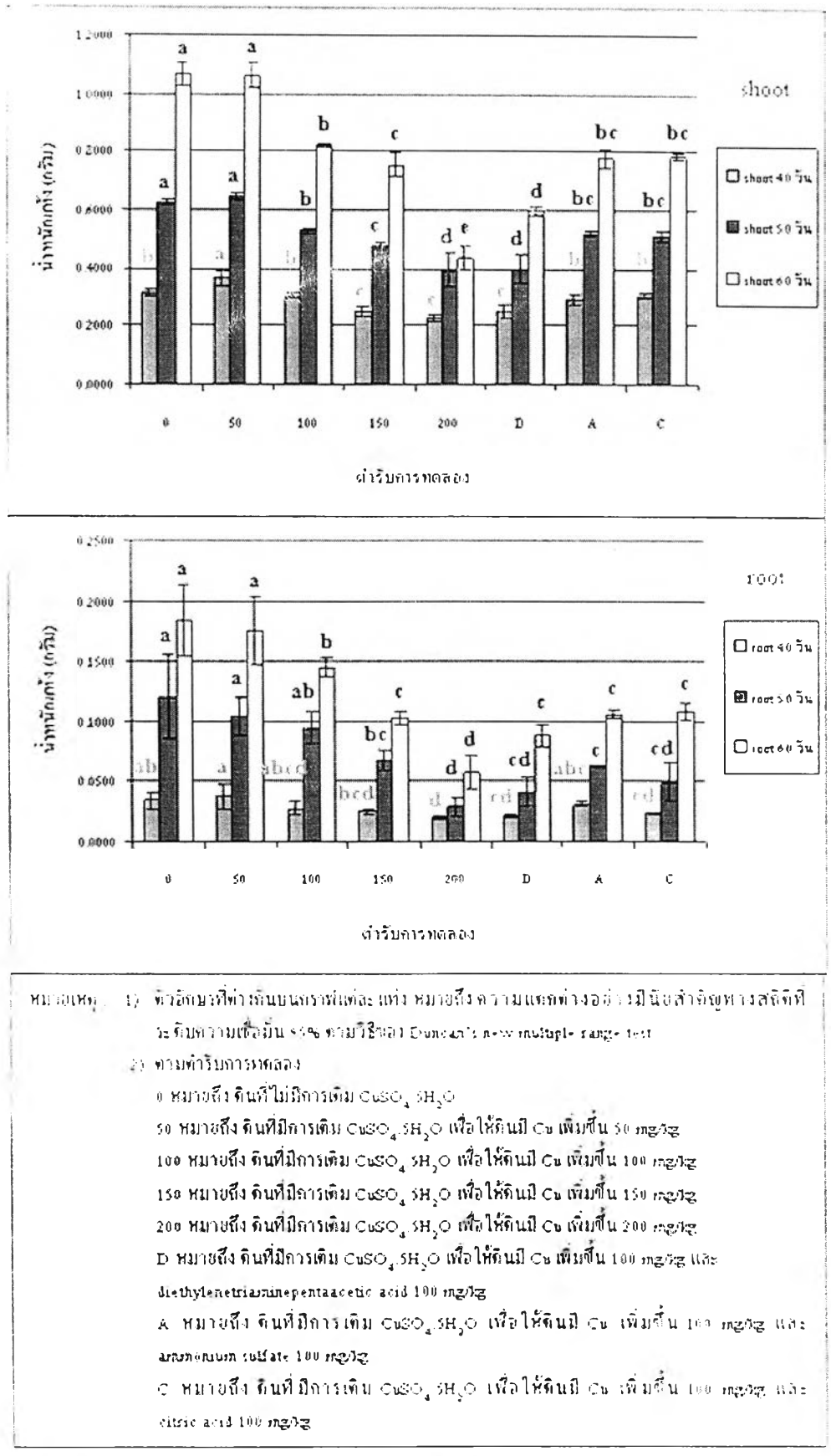
200 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 200 mg/kg

D หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ diethylenetriaminepentaacetic acid 100 mg/kg

A หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ ammonium sulfate 100 mg/kg

C หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ citric acid 100 mg/kg

รูปที่ 4.1 น้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลีในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (กรัม)



หมายเหตุ 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตามตำรับการทดลอง

0 หมายถึง ดินที่ไม่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

50 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 50 mg/kg

100 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg

150 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 150 mg/kg

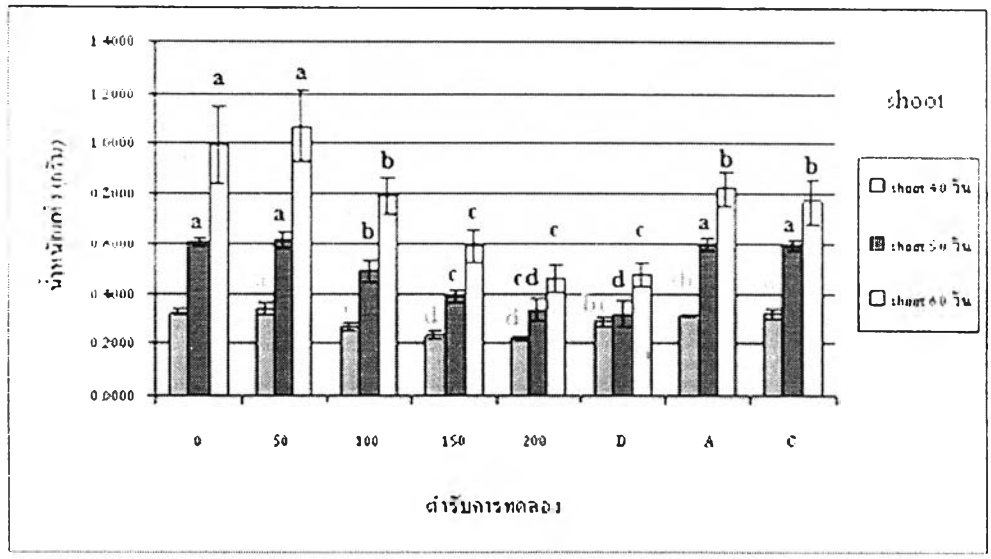
200 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 200 mg/kg

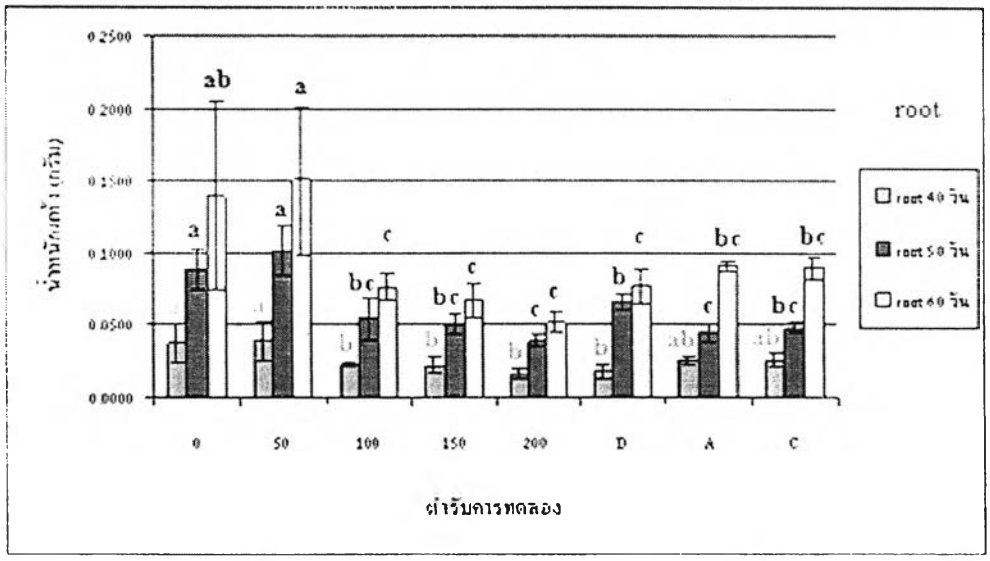
D หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ diethylenetriaminepentaacetic acid 100 mg/kg

A หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ ammonium sulfate 100 mg/kg

C หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ citric acid 100 mg/kg

รูปที่ 4.2 น้ำหนักแห้งของต้อยติ่งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (กรัม)





หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแห่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) ตามตำรับการทดลอง

0 หมายถึง ดินที่ไม่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$

50 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 50 mg/kg

100 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg

150 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 150 mg/kg

200 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 200 mg/kg

D หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ diethylenetriaminepentaacetic acid 100 mg/kg

A หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ ammonium sulfate 100 mg/kg

C หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4.5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ citric acid 100 mg/kg

รูปที่ 4.3 น้ำหนักแห้งของไมยราบในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (กรัม)

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ จะพบว่า น้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลีทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากที่ทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวมีค่ามากกว่าน้ำหนักแห้งของต้อยติ่งและไมยราบอย่างเห็นได้ชัด ด้วยคุณสมบัติที่ผักกาดเขียวปลีมีน้ำหนักแห้งในปริมาณที่สูงและสามารถเก็บเกี่ยวได้ง่ายทำให้ผักกาดเขียวปลีมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับต้อยติ่ง และไมยราบในงานวิจัยนี้ (Salt et al., 1994) สำหรับน้ำหนักแห้งของต้อยติ่งและไมยราบนั้นมีค่าใกล้เคียงกันแต่จะแตกต่างกันไปตามตำรับการทดลองและระยะเวลาเก็บเกี่ยว (รูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3)

น้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบมีค่ามากกว่าน้ำหนักแห้งของส่วนรากมาก และน้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินกับน้ำหนักแห้งของส่วนรากไม่มีอัตราส่วนที่ชัดเจน ขึ้นอยู่กับพืชแต่ละต้น ไม่สามารถอัตราส่วนที่แน่นอนของน้ำหนักของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของพืชในงานวิจัยนี้ได้ (รูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3)

เมื่อความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้นพบว่าน้ำหนักของพืชทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าลดลง ยกเว้นในตำรับที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg ลงในดิน (รูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3) ซึ่งมีความเข้มข้นของทองแดงในดินประมาณ 80 mg/kg ซึ่งเป็นระดับที่เริ่มแสดงอาการความเป็นพิษของทองแดงในพืช (สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) แต่พืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้กลับไม่แสดงอาการความเป็นพิษแถมยังมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าพืชในงานวิจัยนี้สามารถทนต่อทองแดงในระดับความเข้มข้นนี้ได้และยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg อีกด้วย สำหรับการที่ความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นกลับส่งผลให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลงนั้นพบเช่นเดียวกับในการทดลองในผักกาดเขียวปลี 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Brassica juncea*, *Brassica rapa* และ *Brassica napus* ที่ระดับความเข้มข้นของทองแดงสูงขึ้นพบว่ามีผลทำให้น้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนรากซึ่งพิษของทองแดงมีผลต่อการขยายตัวในแนวยาวของรากพืช (Ebbs and Kochian, 1997)

สำหรับน้ำหนักแห้งของพืชที่ได้รับการเติมตัวคีเลตเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของพืชที่ไม่ได้รับการเติมตัวคีเลตพบว่า พืชที่ได้รับการเติมตัวคีเลตส่วนใหญ่จะมีน้ำหนักแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (ภาคผนวก ตารางที่ ก-1 ก-2 และ ก-3) แสดงให้เห็นว่าตัวคีเลตมีผลต่อน้ำหนักของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ โดยที่ DTPA มีผลทำให้ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของพืชทั้ง 3 ชนิดมีน้ำหนักแห้งน้อยลง สำหรับ ammonium sulfate และ citric acid มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าน้อยลง แต่ในไมยราบกลับพบว่า ammonium sulfate และ citric acid มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบมีค่ามากขึ้น

จากข้อมูลข้างต้น DTPA มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับตัวคีเลตสังเคราะห์ EDTA (etylenediamine-N, N′-tetraacetate) ที่มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของ

brown mustard (*Brassica juncea*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Ultra Jr. et al., 2005) สำหรับการเติม citric acid พบว่าไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของ *Elsholtzia splendens* (copper hyperaccumulator) แต่ใน *Trifolium repens* (non-accumulator) พบว่า citric acid มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของ *Trifolium repens* ลดลง (Chen et al., 2006) ซึ่งให้ผลแตกต่างจากต้อยติ่งและไมยราบในงานวิจัยนี้

ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันพบว่า น้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบมีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาเก็บเกี่ยว โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (ภาคผนวก ตารางที่ ก-1 ก-2 และ ก-3) แสดงให้เห็นว่าพืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถเจริญเติบโตได้แม้ว่าจะได้รับความเป็นพิษจากทองแดงในดินก็ตาม

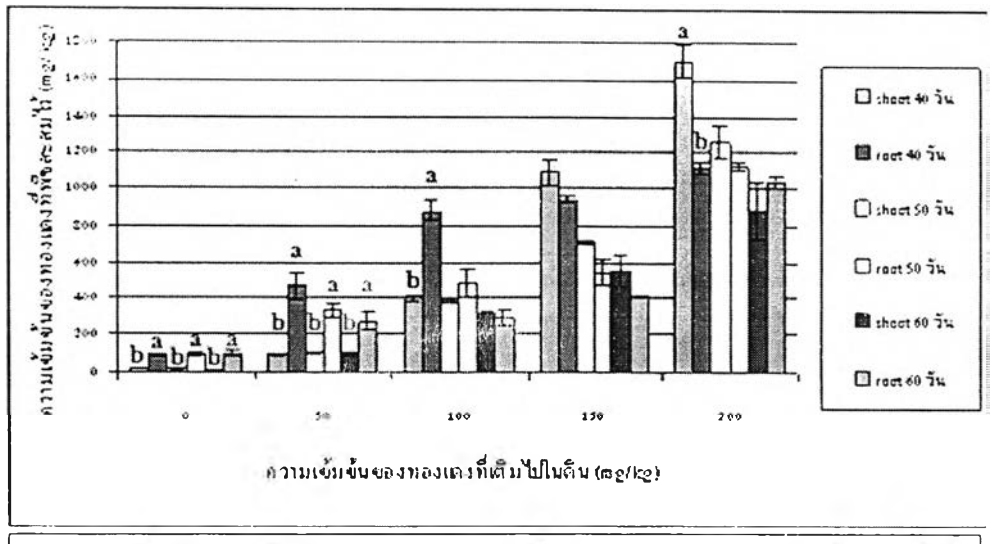
จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า น้ำหนักแห้งของพืชแต่ละชนิด แต่ละส่วน แต่ละตำรับการทดลอง และแต่ละเวลาการเก็บเกี่ยวนั้นแตกต่างกัน แต่ในสภาวะที่ใกล้เคียงกันจะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน จึงสามารถกล่าวได้ว่า ทั้งชนิดของพืช ส่วนของพืช ตำรับการทดลอง และระยะเวลาเก็บเกี่ยวมีผลต่อน้ำหนักของพืชที่ใช้ในการวิจัยนี้ทั้งสิ้น

4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นและปริมาณของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ

ความเข้มข้นและปริมาณของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) นั้นมีส่วนสำคัญในการพิจารณาความสามารถของพืชว่ามีความเหมาะสมในการทำ phytoremediation เพียงไร นอกจากนี้ความเข้มข้นและปริมาณของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากนั้นสามารถใช้ในการจำแนกความสามารถของการบำบัดทองแดงในพืชแต่ละชนิดอีกด้วย

4.3.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

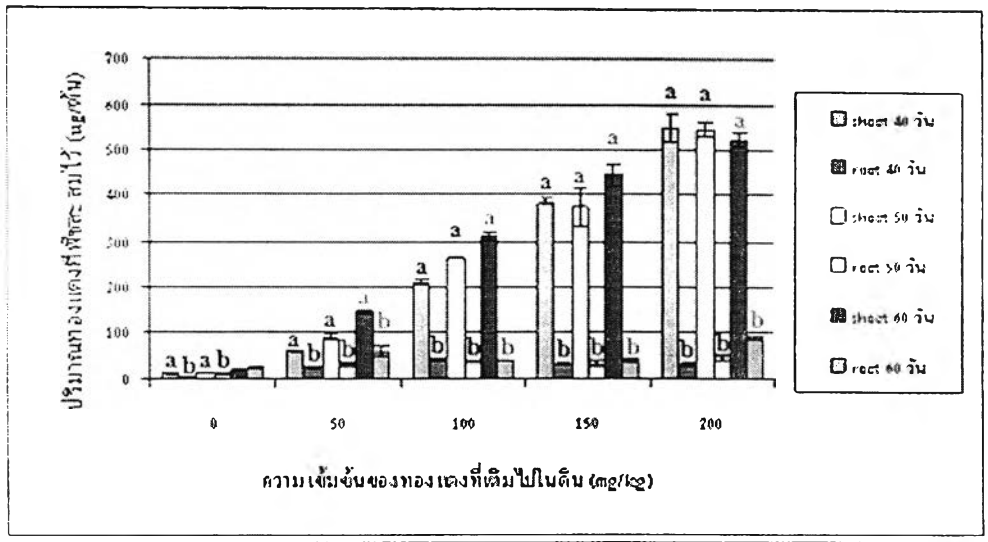
ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นตั้งแต่ 0 ถึง 100 mg/kg จะมีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน โดยที่พบว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 50 mg/kg ที่ทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวและในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันมีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 และ 200 mg/kg นั้นพบว่ามีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากกว่าส่วนราก โดยที่พบว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันมีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากกว่าในส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 4.4)

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีสูงสุดนั้นพบในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ซึ่งมีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันโดยมีความเข้มข้นของทองแดง 1,700 mg/kg และในส่วนรากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันโดยมีความเข้มข้นของทองแดง 1,120 mg/kg (ภาคผนวก ตารางที่ ก-4) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ *Elsholtzia splendens* ที่เป็น copper hyperaccumulator เช่นเดียวกับผักกาดเขียวปลี โดยทำการปลูก *Elsholtzia splendens* ในสารละลาย hydroponics (การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน) ที่มีทองแดง 500 และ 1,000 μM พบว่ามีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือ

พื้นดิน 1.133 และ 3.417 μg/g ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Ming, Yang, and Römheld, 2002) ซึ่งถึงแม้ว่าความเข้มข้นของทองแดงที่เติมในพืชของทั้งสองการทดลองไม่เท่ากัน แต่ก็แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีนั้นมีการสะสมในปริมาณที่สูง กล่าวคือความเข้มข้นของทองแดงสะสมมากกว่า 1,000 mg/kg แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของการเป็น copper hyperaccumulator (Asensi et al., 1999; Malaisse et al., 1978; Reeves, and Baker, 2000) นอกจากนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีนั้นมีความเข้มข้นของมากกว่าในส่วนราก แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของผักกาดเขียวปลีที่ในสภาวะความเข้มข้นของทองแดงในดินเป็นปกติจะมีการเก็บสะสมทองแดงไว้ที่ส่วนราก แต่จะมีการเก็บสะสมทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเมื่ออยู่ในภาวะที่มีความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นภายในดินจนผิดปกติ ซึ่งสมบัติของการขนย้ายทองแดงจากส่วนรากไปสู่ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินได้เป็นอย่างดีนั้นก็เป็นลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของ hyperaccumulator นั่นเอง (Cunningham, 1995 cited in Brennan and Shelley, 1999)

4.3.2 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี

ปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 4.5 ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (µg/ต้น)

ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีปริมาณมากกว่าปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในทุกๆ ความเข้มข้นและทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว ยกเว้นที่ความเข้มข้นของทองแดงที่เติมลงไปในดิน 0 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันเท่านั้นที่ปริมาณทองแดงของผักกาดเขียวปลีในส่วนรากมีมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน นอกจากนี้ยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของปริมาณทองแดงระหว่างส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันอีกด้วย (รูปที่ 4.5)

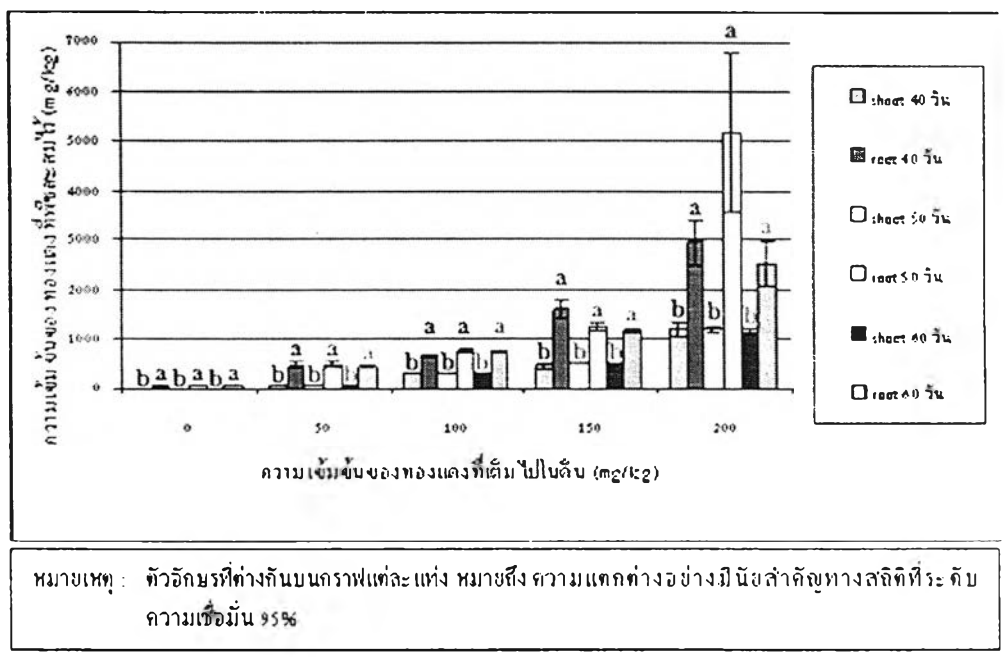
สำหรับปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่มีปริมาณมากที่สุดมีปริมาณ 552 µg/ต้น และปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่มีปริมาณมากที่สุดมีปริมาณ 86.4 µg/ต้น (ตารางที่ ก-7) ซึ่งพบปริมาณทองแดงมากที่สุดในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีแนวโน้มปริมาณมากกว่าในส่วนราก ต่างจากความเข้มข้นของทองแดงที่พบว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 และ 100 mg/kg มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีน้ำหนักมากกว่าส่วนรากของผักกาดเขียวปลีมาก ถึงแม้ว่าความเข้มข้น

ของทองแดงในส่วนรากจะมีมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องของปริมาณทองแดงที่สะสมได้แล้วอาจจะให้ผลที่แตกต่างกันได้ในกรณีที่น้ำหนักแห้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากแตกต่างกันมากอย่างเช่นในงานวิจัยนี้

4.3.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของต้อยติ่ง

ความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6



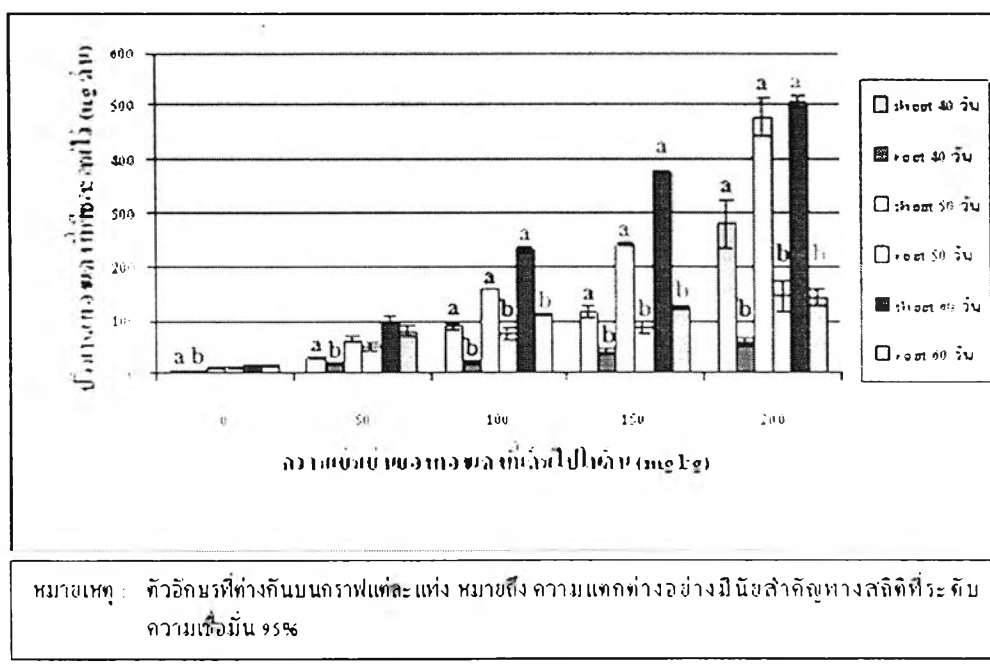
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

ความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในต้อยติ่งจะมีความเข้มข้นในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินในทุกๆ หน่วยทดลองทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว โดยพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งมีความเข้มข้นมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 4.6) ดังนั้นในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นตั้งแต่ 0 ถึง 200 mg/kg ต้อยติ่งจะมีการสะสมทองแดงไว้ในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเสมอ

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในต้อยติ่งได้ความเข้มข้นสูงสุดนั้นพบในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ซึ่งมีการสะสมทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันโดยมีความเข้มข้นของทองแดง 1,220 mg/kg และในส่วนรากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันโดยมีความเข้มข้นของทองแดง 5,180 mg/kg (ภาคผนวก ตารางที่ ก-5) ซึ่งปริมาณทองแดงที่มากกว่า 1,000 mg/kg ในทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนราก แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของการเป็น copper hyperaccumulator (Asensi et al., 1999; Malaisse et al., 1978; Reeves, and Baker, 2000) ของต้อยติ่ง หากพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติในด้านความเข้มข้นของทองแดงในพืช

4.3.4 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของต้อยติ่ง

ปริมาณทองแดงในต้อยติ่งที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 4.7 ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (µg/ต้น)

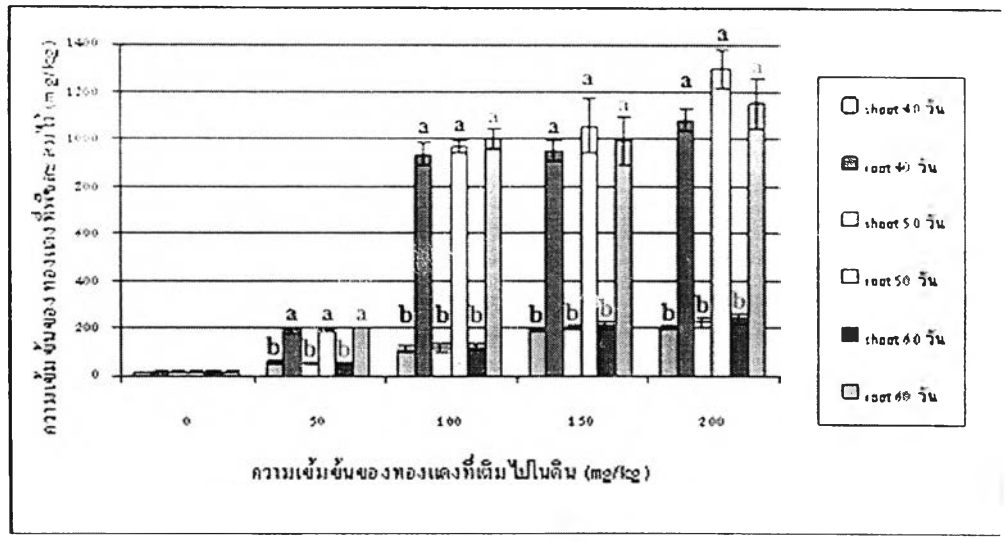
ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งมีแนวโน้มมากกว่าปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่ง โดยพบว่าต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 50 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันและต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg ที่ทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งมีปริมาณมากกว่าในส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 4.7)

สำหรับปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่มีปริมาณมากที่สุดมีปริมาณ 505 μg/ต้น และปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่มีปริมาณมากที่สุดมีค่า 145 μg/ต้น (ตารางที่ ก-8) ซึ่งพบปริมาณทองแดงมากที่สุดในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg เช่นเดียวกับผักกาดเขียวปลี

ปริมาณทองแดงในต้อยติ่งให้ผลตรงกันข้ามกับผลของความเข้มข้นของทองแดง กล่าวคือ ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งจะมีปริมาณมากกว่าในส่วนราก (รูปที่ 4.7) แต่ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากจะมีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (รูปที่ 4.6)

4.3.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของไมยราบ

ความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

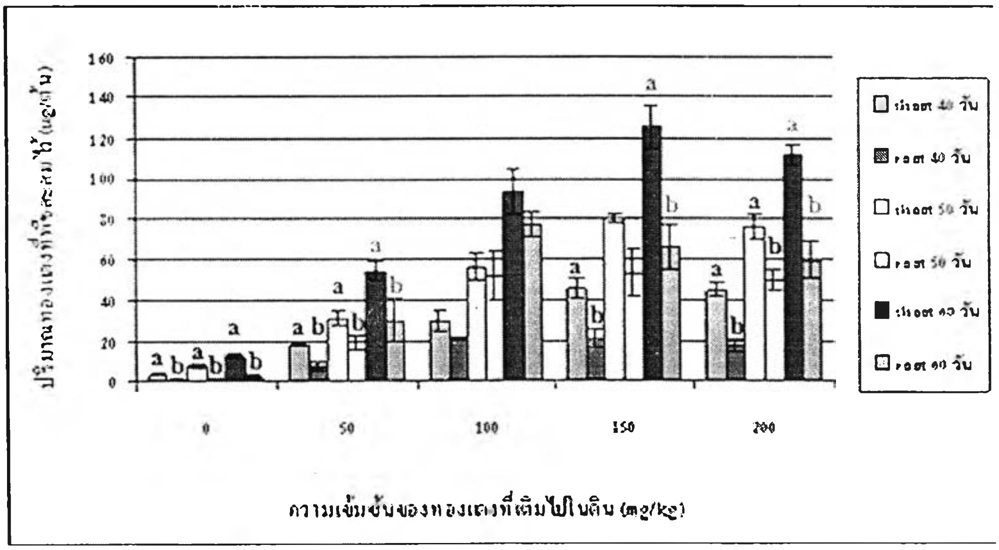
ความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนราก แต่ในหน่วยการทดลองที่เหลือทั้งหมดพบว่า ความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบนั้นมีความเข้มข้นในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน โดยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 4.8)

จากผลการทดลองพบว่าในดินที่มีการเติมทองแดง 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน ไมยราบจะมีการสะสมทองแดงในรากได้มากที่สุด คือ 1300 mg/kg แต่ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันจะมีการสะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากที่สุด คือ 243 mg/kg (ภาคผนวก ตารางที่ ก-6)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินกับส่วนรากของพืชที่ใช้ในการทดลองส่วนใหญ่พบว่า มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับในพืชยืนต้นที่มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (Rosselli, Keller, and Boschi, 2003) นอกจากนี้ยังพบว่าในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของทองแดงแตกต่างกันอย่างมากอย่าง Catalonia (เมืองทางตะวันออกเฉียงเหนือของสเปน) กล่าวคือ มีความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในดินอยู่ระหว่าง 30-18,500 µg/g พืชส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินอีกด้วย (Poschenrieder et al., 2001)

4.3.6 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของไมยราบ

ปริมาณทองแดงในไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.9



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 4.9 ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (µg/ต้น)

ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบมีปริมาณมากกว่าปริมาณทองแดงในส่วนรากของไมยราบทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว ทุกๆ ความเข้มข้นของทองแดงที่เติมลงไปในดิน โดยพบว่าต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 60 วันและไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 และ 200 mg/kg ที่ทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบมีปริมาณมากกว่าในส่วนรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 4.9)

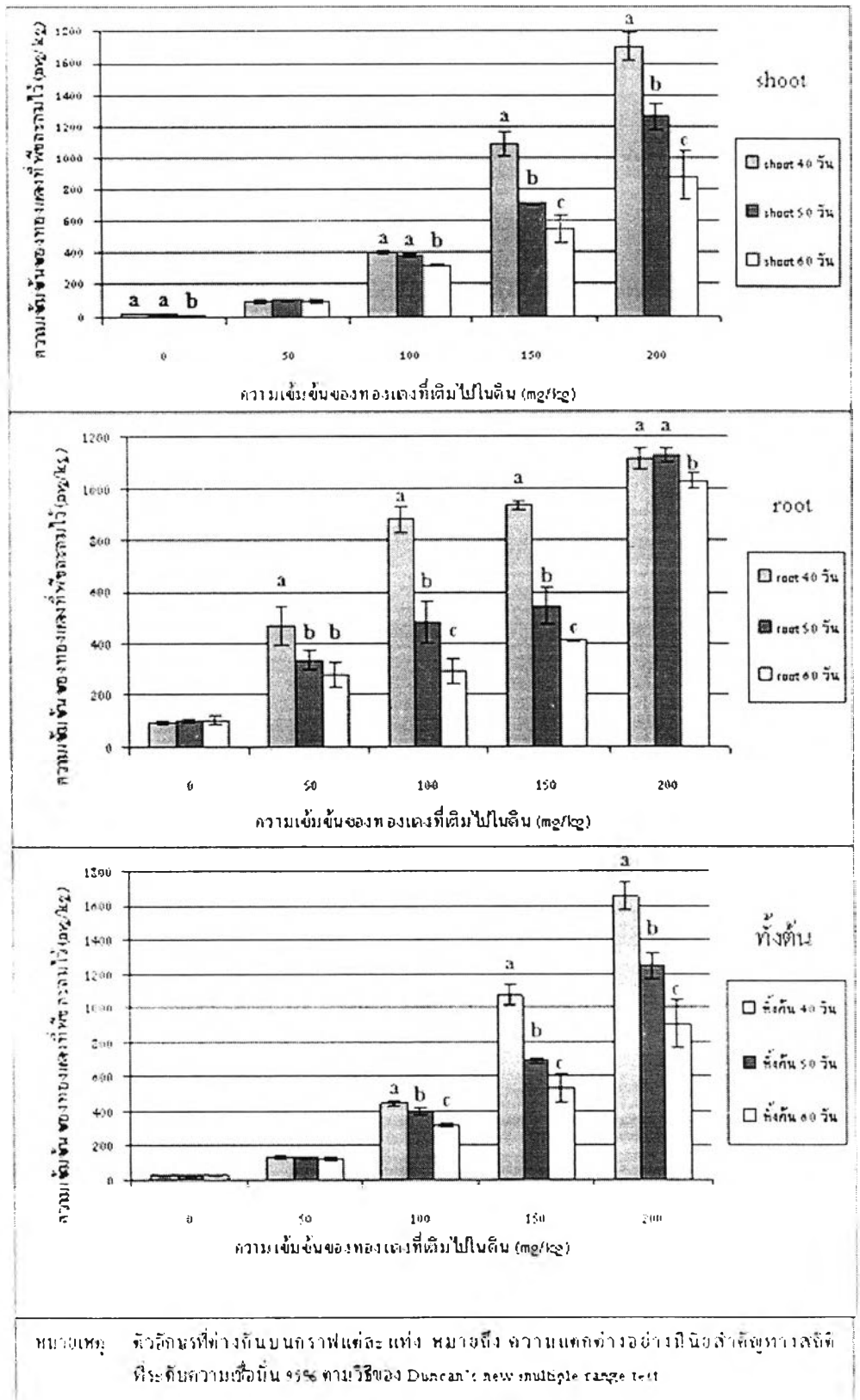
สำหรับปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบที่มีปริมาณมากที่สุดมีปริมาณ 125 μg/ต้น ซึ่งพบปริมาณทองแดงมากที่สุดในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg และปริมาณทองแดงในส่วนรากของไมยราบที่มีปริมาณมากที่สุดมีค่า 76.9 μg/ต้น ซึ่งพบปริมาณทองแดงมากที่สุดในส่วนรากของไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg (ตารางที่ ก-9) จะเห็นว่าปริมาณทองแดงที่ไมยราบสะสมได้มากที่สุดไม่ได้อยู่ในสภาวะที่ไมยราบได้รับความเข้มข้นของทองแดงสูงสุด ซึ่งให้ผลต่างจากผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่ง

4.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นและปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ในการทำ phytoremediation นั้นระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในพื้นที่จริง เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาเก็บเกี่ยวสามารถคำนวณปริมาณการสะสมโลหะหนักที่พืชจะสะสมไว้ได้พอสังเขป เพื่อใช้ในการพิจารณาระยะเวลาของการทำ phytoremediation ในพื้นที่นั้นๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ศึกษาอัตราการสะสมโลหะหนักในพืชได้อีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่ 40 50 และ 60 วันตามลำดับ

4.4.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น แสดงในรูปที่ 4.10



หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 100 mg/kg อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 และ 200 mg/kg มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.10 shoot)

ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในรากของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 และ 150 mg/kg มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.10 root)

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 50 mg/kg ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.10 ทั้งต้น)

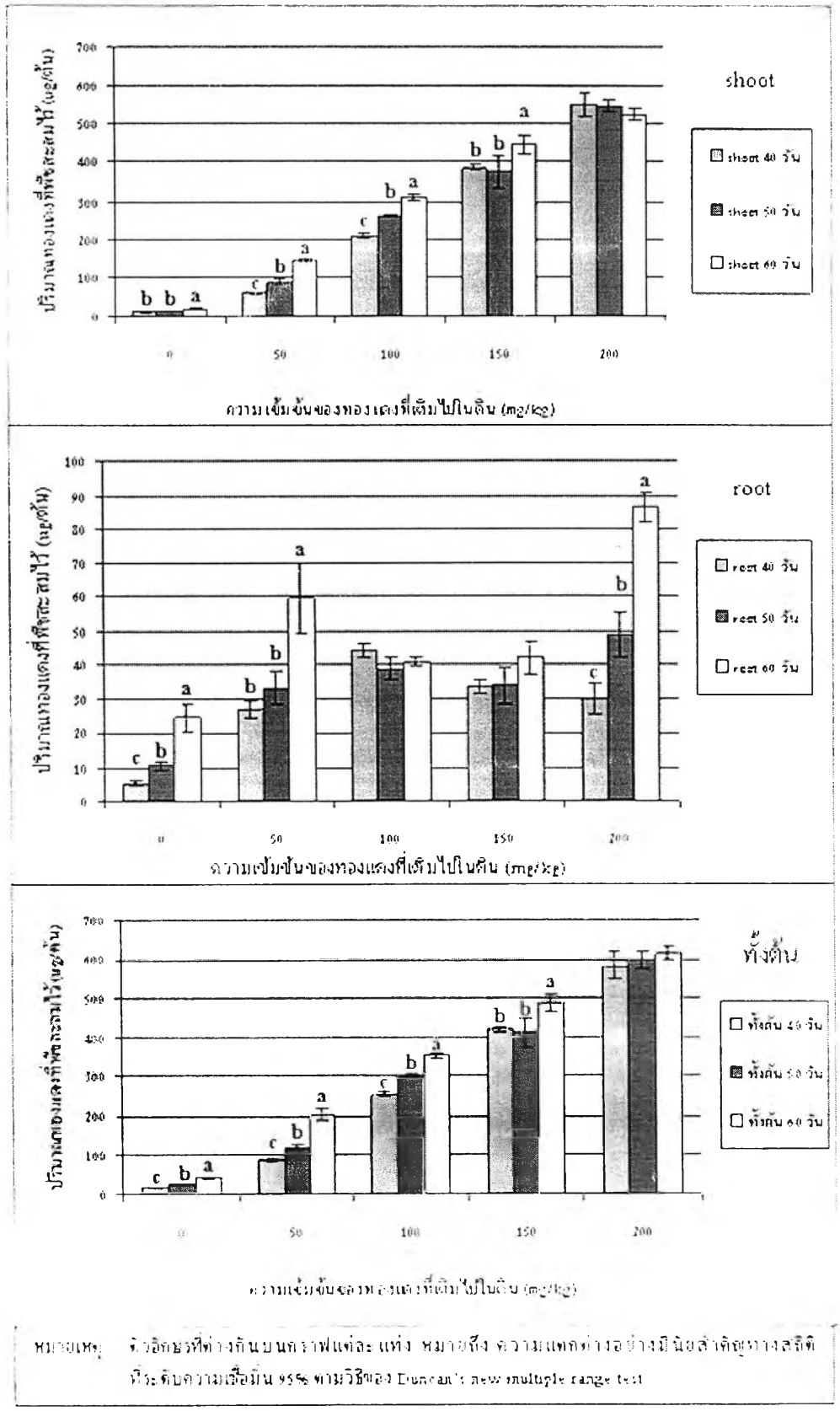
จากผลการทดลองจะเห็นว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของผักกาดเขียวปลี รวมถึงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันในเกือบทุกความเข้มข้นมีค่าสูงสุด และมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันตามลำดับ (รูปที่ 4.10) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดดึงและสะสมทองแดงในผักกาดเขียวปลีจะแสดงออกในช่วงแรกที่ได้รับทองแดงและความสามารถนี้จะค่อยๆ ลดลงเมื่อผักกาดเขียวปลีเจริญเติบโตจนเข้าสู่ระยะเวลาเจริญวัย ซึ่งผลการทดลองในครั้งนี้ให้ผลเหมือนกับการทดลองของ Wang และคณะ (2004) ที่พบว่าผักกาดเขียวปลีจะมีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากใน

ช่วงแรกที่ได้รับความเข้มข้นของสารละลายทองแดง และความเข้มข้นของทองแดงในรากจะค่อยๆ ลดลงในเวลาต่อมา

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงมากที่สุดที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน เมื่อเทียบกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วัน ซึ่งให้ผลแตกต่างจากพืชอื่นๆ เนื่องจากพืชปกติโดยทั่วไปในระยะเจริญเติบโตไปจนถึงระยะก่อนออกดอกจะมีการดูดดึงและเคลื่อนย้ายทองแดงในปริมาณคงที่ (Jones, 1998)

4.4.2 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ปริมาณทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (µg/ต้น)

ตารางที่ 4.2 สมการเชิงเส้นของปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg

ความเข้มข้นทองแดงที่เติมในดิน	ส่วนของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
0 mg/kg	shoot	y = 3.70x + 7.38	0.98
50 mg/kg	shoot	y = 40.73x + 15.51	0.96
100 mg/kg	shoot	y = 50.90x + 159.82	0.99
150 mg/kg	shoot	y = 30.13x + 342.40	0.63
200 mg/kg	shoot	y = -13.51x + 569.18	0.85
0 mg/kg	root	y = 9.58x – 5.70	0.94
50 mg/kg	root	y = 16.29x + 7.10	0.89
100 mg/kg	root	y = -1.71x + 44.56	0.37
150 mg/kg	root	y = 4.32x + 27.62	0.80
200 mg/kg	root	y = 28.31x – 1.63	0.96
0 mg/kg	ทั้งต้น	y = 13.29x + 1.68	0.95
50 mg/kg	ทั้งต้น	y = 57.03x + 22.61	0.94
100 mg/kg	ทั้งต้น	y = 49.18x + 204.39	0.99
150 mg/kg	ทั้งต้น	y = 34.45x + 370.02	0.66
200 mg/kg	ทั้งต้น	y = 14.80x + 567.56	0.99

ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 และ 100 mg/kg และพบว่าปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมีปริมาณใกล้เคียงกันและมีปริมาณน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 150 mg/kg สำหรับส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.11 shoot) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่า ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของ

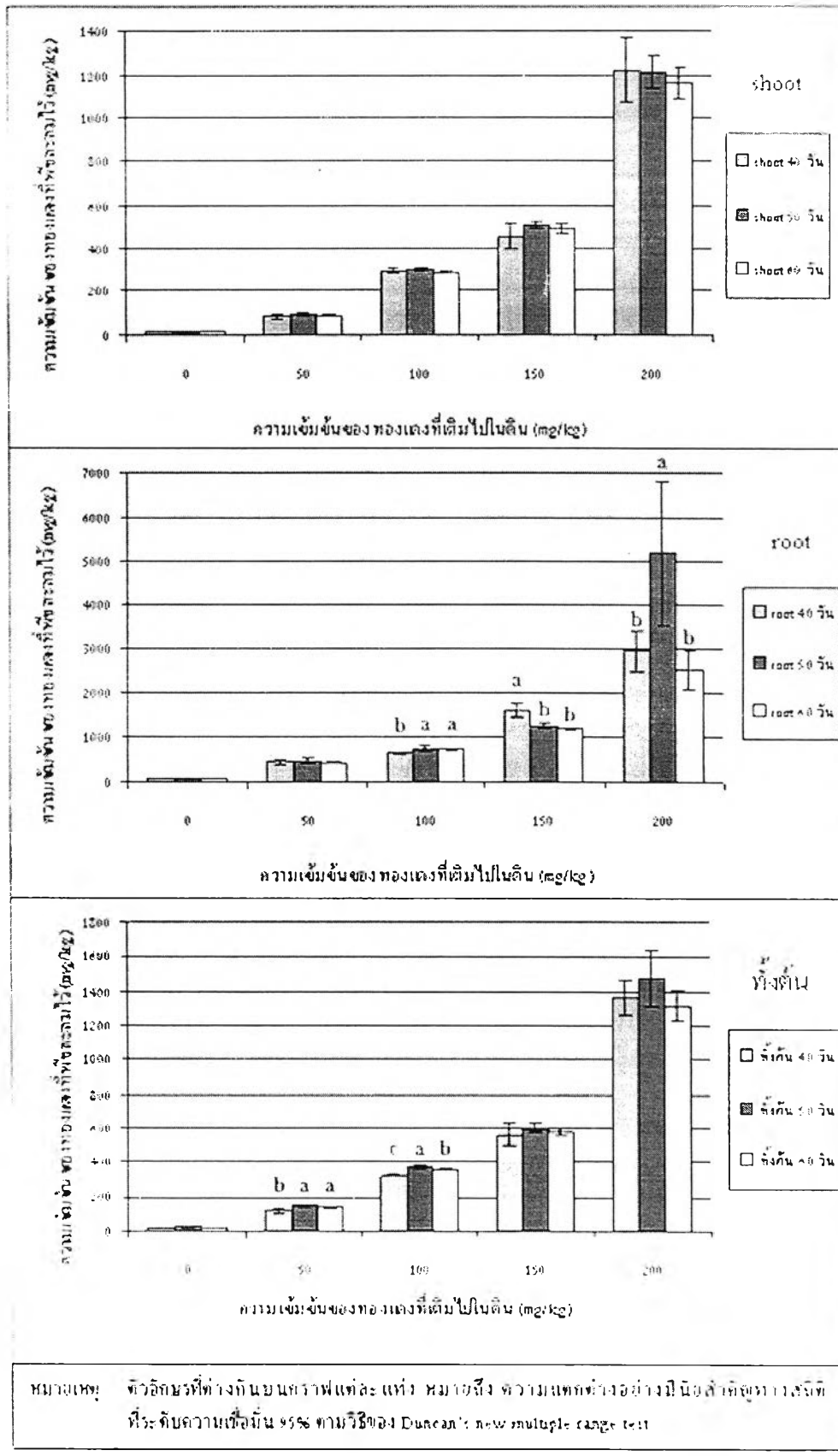
ผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.2)

ปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 200 mg/kg และพบว่าปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมีปริมาณใกล้เคียงกันและมีปริมาณน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg สำหรับส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 และ 150 mg/kg ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.11 root) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กัน พบว่า ส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.2)

ปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 และ 100 mg/kg และพบว่าปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมีปริมาณใกล้เคียงกันและมีมีปริมาณน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg สำหรับผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.11 ทั้งต้น) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่าผักกาดเขียวปลีทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.2)

4.4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น แสดงในรูปที่ 4.12



หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้น ของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในแต่ละตำรับการทดลองนั้นมีปริมาณใกล้เคียงกัน และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.12 shoot)

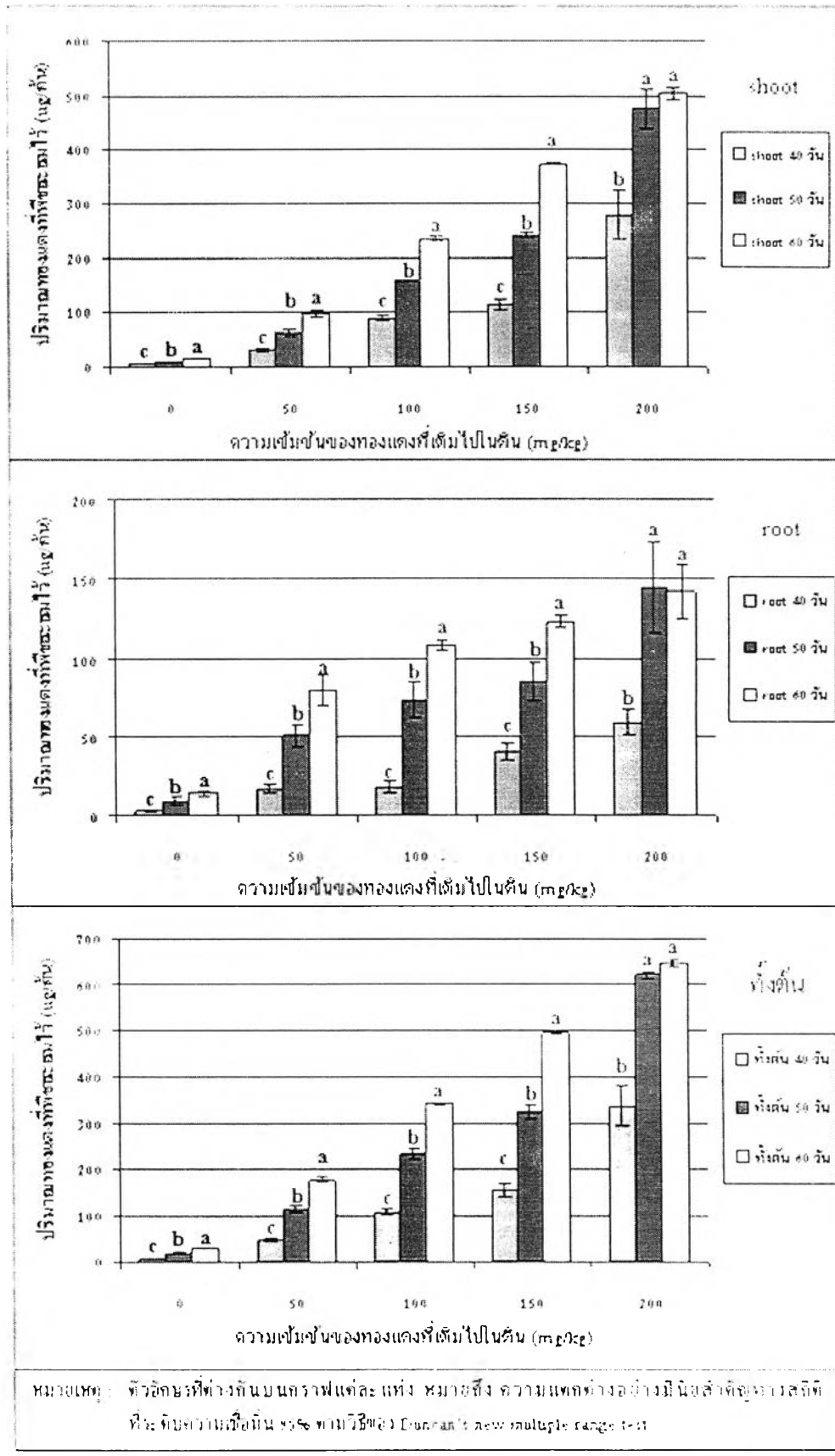
ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 50 mg/kg นั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg นั้นแสดงผลทางสถิติต่างกัน โดยต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg พบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมีปริมาณน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg พบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมีความเข้มข้นมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg พบว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันนั้นมีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวอื่นๆ โดยมีความเข้มข้นของทองแดง 5180 mg/kg (รูปที่ 4.12 root) อย่างไรก็ตามจากข้อมูลทั้ง 5 ตำรับการทดลองจะพบว่าสำหรับในส่วนรากของต้อยติ่งจะไม่มีความสอดคล้องกันของระยะเวลาเก็บเกี่ยวและความเข้มข้นของทองแดง

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 150 และ 200 mg/kg นั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg นั้นความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันมีค่าน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg พบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.12 ทั้งต้น) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันนั้นไม่มีความสอดคล้องกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองเลย

จากข้อมูลข้างต้นอาจสรุปได้ว่าระยะเวลาเก็บเกี่ยวนั้นไม่มีผลต่อความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนรากหรือแม้แต่ทั้งต้นก็ตาม ซึ่งให้ผลเหมือนกับ *Elsholtzia splendens* (copper hyperaccumulator) ที่พบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในระยะเจริญเติบโตจนถึงก่อนระยะออกดอกจะมีความเข้มข้นของทองแดงคงที่ (Jiang, Yang, and He, 2004) ที่เป็นทั้งนี้เนื่องจากในระยะที่พืชมีการออกดอกหรือมีการออกผล พืชจะลดการดูดดึงและเคลื่อนย้ายธาตุทองแดง เหล็ก โมลิบดินัม และสังกะสี (Jones, 1998) ทำให้ความเข้มข้นของทองแดงในพืชก่อนระยะออกดอกมีความเข้มข้นคงที่นั่นเอง

4.4.4 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ปริมาณทองแดงในต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น แสดงในรูปที่ 4.13



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

รูปที่ 4.13 ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (µg/ต้น)

ตารางที่ 4.3 สมการเชิงเส้นของปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg

ความเข้มข้นทองแดงที่เติมในดิน	ส่วนของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
0 mg/kg	shoot	y = 5.24x - 0.22	0.99
50 mg/kg	shoot	y = 33.95x – 3.29	0.99
100 mg/kg	shoot	y = 72.19x + 16.16	0.99
150 mg/kg	shoot	y = 129.56x – 16.18	0.99
200 mg/kg	shoot	y = 113.03x – 193.84	0.85
0 mg/kg	root	y = 5.95x – 2.77	0.98
50 mg/kg	root	y = 31.44x – 13.28	0.99
100 mg/kg	root	y = 45.02x – 22.85	0.98
150 mg/kg	root	y = 41.23x + 0.62	0.99
200 mg/kg	root	y = 41.33x + 32.84	0.73
0 mg/kg	ทั้งต้น	y = 11.186x – 2.99	0.99
50 mg/kg	ทั้งต้น	y = 65.39x – 16.57	0.99
100 mg/kg	ทั้งต้น	y = 117.21x – 6.69	0.99
150 mg/kg	ทั้งต้น	y = 170.21x – 15.56	1.00
200 mg/kg	ทั้งต้น	y = 154.36x + 226.68	0.81

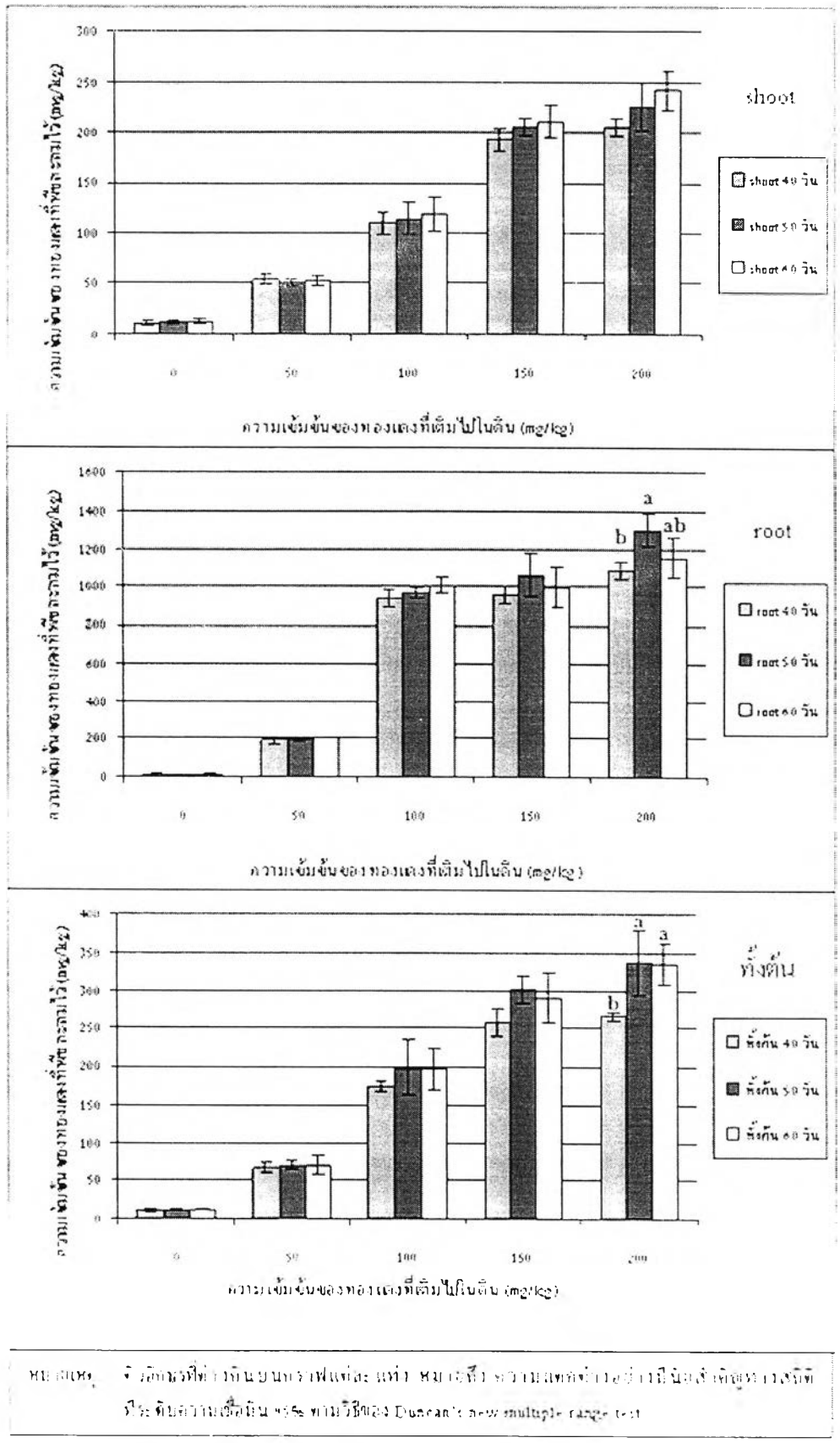
ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 และ 150 mg/kg สำหรับปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมีปริมาณใกล้เคียงกันและมีมีปริมาณน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg (รูปที่ 4.13 shoot) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่า ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.3)

ปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 และ 150 mg/kg สำหรับปริมาณทองแดงในส่วนรากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมีปริมาณใกล้เคียงกันและมีมีปริมาณน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg (รูปที่ 4.13 root) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่า ส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.3)

ปริมาณทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 และ 150 mg/kg สำหรับปริมาณทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันมีปริมาณใกล้เคียงกันและมีมีปริมาณน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg (รูปที่ 4.13 ทั้งต้น) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่า ต้อยติ่งทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.3)

4.4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

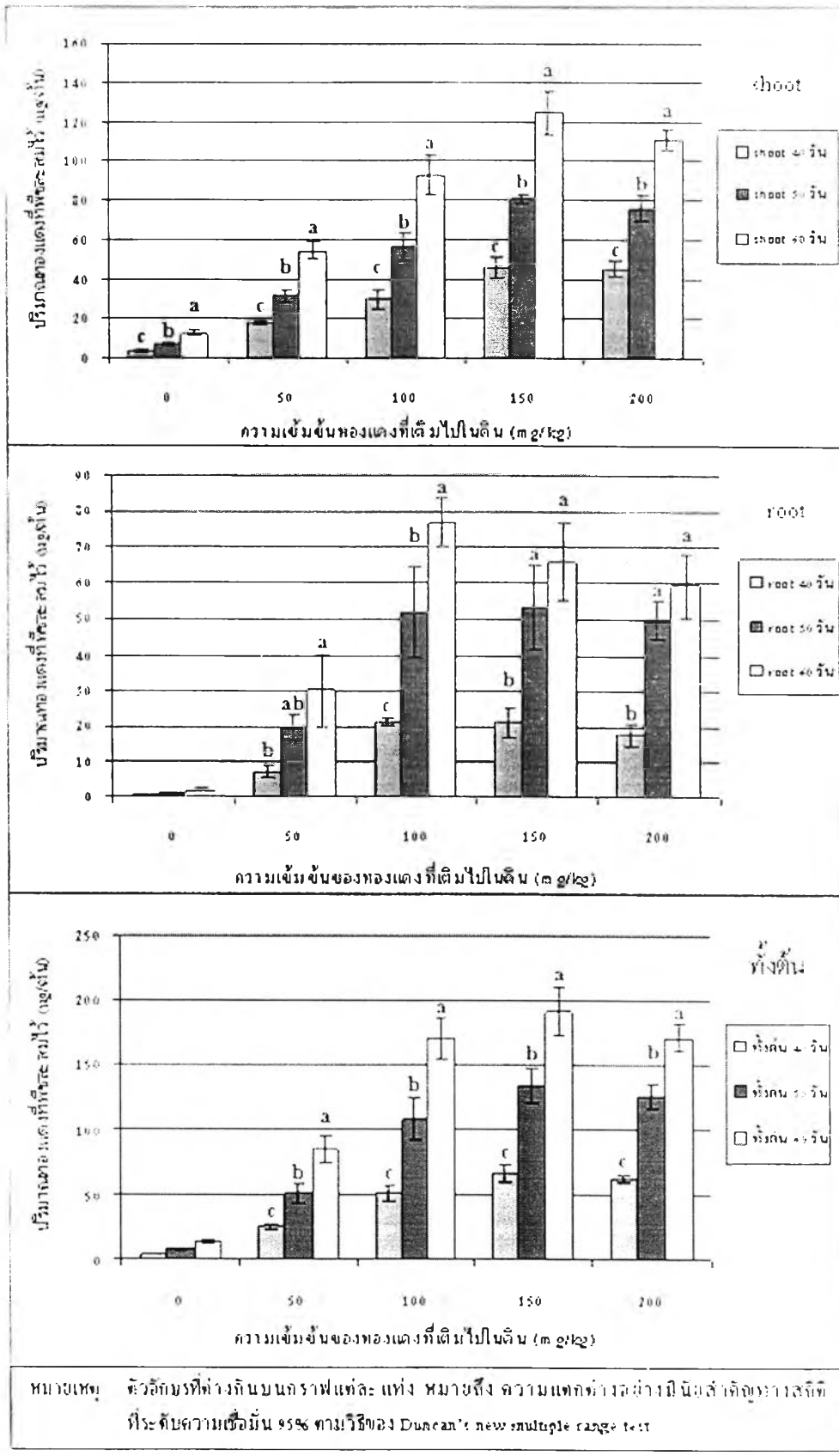
ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในแต่ละตำรับการทดลองนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บเกี่ยวมากขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.14 shoot)

ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากและในไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 และ 150 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg พบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันมีค่าใกล้เคียงกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันมีค่าน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.14 root และ 4.14 ทั้งต้น)

จากข้อมูลข้างต้นอาจสรุปได้ว่าระยะเวลาเก็บเกี่ยวนั้นไม่มีผลต่อความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากเช่นเดียวกับต้อยติ่ง เนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ไมยราบยังไม่เข้าสู่ระยะออกดอก ดังนั้นความเข้มข้นของทองแดงจึงคงที่เช่นเดียวกับต้อยติ่ง (Jones, 1998)

4.4.6 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ปริมาณทองแดงในไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น แสดงในรูปที่ 4.15



หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละ แท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

รูปที่ 4.15 ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของไมยราบ ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

ตารางที่ 4.4 สมการเชิงเส้นของปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ส่วนราก (root) และทั้งต้นของไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg

ความเข้มข้นทองแดงที่เติมในดิน	ส่วนของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
0 mg/kg	shoot	y = 4.46x - 1.07	0.99
50 mg/kg	shoot	y = 18.25x – 1.93	0.97
100 mg/kg	shoot	y = 31.70x – 3.74	0.99
150 mg/kg	shoot	y = 39.78x + 4.21	0.99
200 mg/kg	shoot	y = 32.97x + 11.41	0.99
0 mg/kg	root	y = 0.65x – 0.15	1.00
50 mg/kg	root	y = 11.44x – 3.89	0.99
100 mg/kg	root	y = 27.83x – 5.61	0.99
150 mg/kg	root	y = 22.57x + 1.79	0.94
200 mg/kg	root	y = 20.92x + 0.64	0.91
0 mg/kg	ทั้งต้น	y = 5.11x – 1.22	0.99
50 mg/kg	ทั้งต้น	y = 29.69x – 5.82	0.99
100 mg/kg	ทั้งต้น	y = 59.53x – 9.35	0.99
150 mg/kg	ทั้งต้น	y = 62.34x + 5.99	0.99
200 mg/kg	ทั้งต้น	y = 53.89x + 12.06	0.99

ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg (รูปที่ 4.15 shoot) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่า ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.4)

ปริมาณทองแดงในส่วนรากของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg และพบว่าปริมาณทองแดงในส่วนรากของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันมีปริมาณใกล้เคียงกัน

และมีมีปริมาณมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 และ 200 mg/kg สำหรับส่วนรากของไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.15 root) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในส่วนรากของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่า ส่วนรากของไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.4)

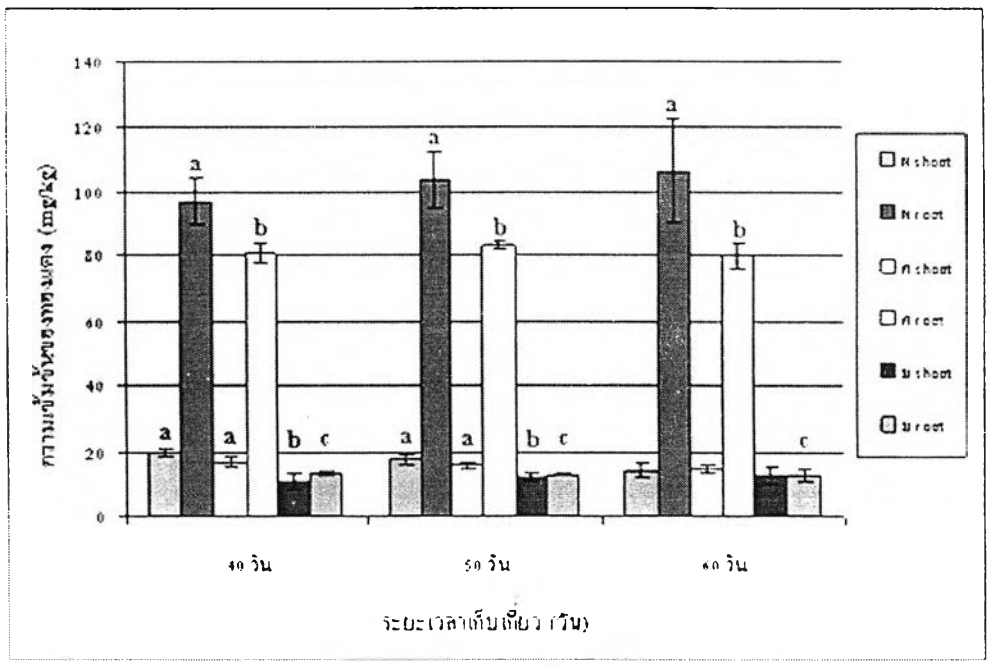
ปริมาณทองแดงในไมยราบทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 100 150 และ 200 mg/kg สำหรับไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.15 ทั้งต้น) และเมื่อมาเปรียบเทียบสมการปริมาณทองแดงในไมยราบทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างๆ กันพบว่า ไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg มีอัตราการสะสมทองแดงได้ในปริมาณสูงที่สุด (ตารางที่ 4.4)

4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระดับความเข้มข้นของทองแดงในดินแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของทองแดงในดินเป็นปัจจัยสำคัญของการทำ Phytoremediation เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นของโลหะหนักได้ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักในดินแตกต่างกัน พืชก็จะมีการดูดดึงโลหะหนักเข้าไปในพืชต่างกันด้วย ดังนั้นความเข้มข้นของโลหะหนักจึงแสดงถึงความสามารถในการบำบัดโลหะหนักของพืชแต่ละชนิดในระดับความเข้มข้นของโลหะหนักต่างกัน โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้เติมทองแดงลงไปเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในดิน 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ตามลำดับ

4.5.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 mg/kg

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่งและไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดินความเข้มข้น 0 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

ผ shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี

ผ root หมายถึง ส่วนรากของผักกาดเขียวปลี

ท shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง

ท root หมายถึง ส่วนรากของต้อยติ่ง

ม shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ

ม root หมายถึง ส่วนรากของไมยราบ

รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดิน 0 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

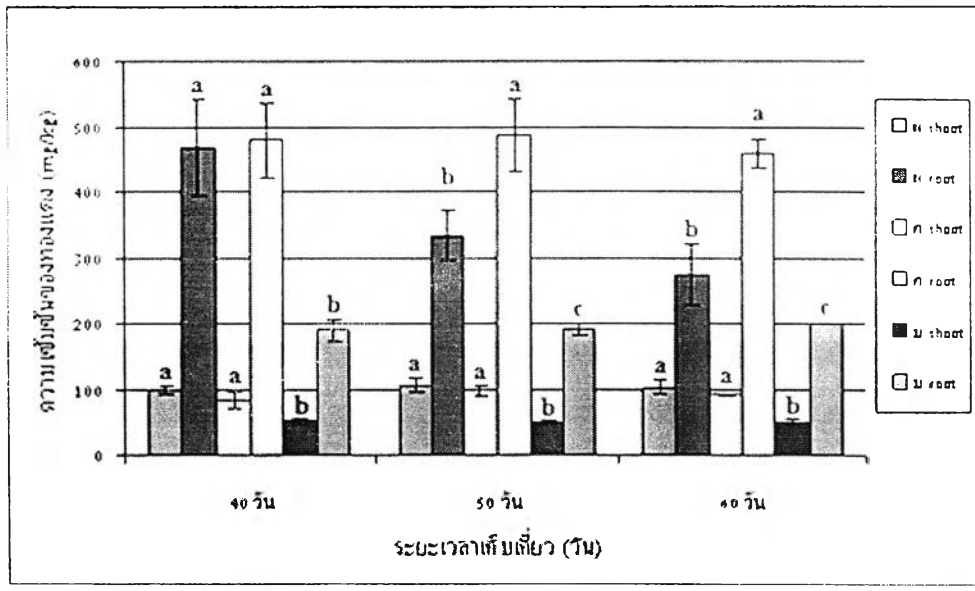
ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test โดยที่ผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงมากที่สุดในทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว รองลงมาเป็นส่วนรากของต้อยติ่ง และส่วนรากของไมยราบมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมอยู่น้อยที่สุดตามลำดับ สำหรับในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกับไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ของความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิด (รูปที่ 4.16) จากข้อความข้างต้นแสดงให้เห็นว่าในสภาวะปกติที่ไม่มีการเติมทองแดงลงในดิน ทองแดงมีความเข้มข้นในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบในระดับที่สูงกว่าความเข้มข้นในสารละลายดินอยู่แล้ว และในสภาวะปกติผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงสูงกว่าต้อยติ่งและไมยราบ

สำหรับในพืชอื่นๆ ที่ปลูกในดินที่มีระดับความเข้มข้นของทองแดงปกติพบว่า ในส่วนรากของพืชตระกูลถั่ว (alfalfa) ฟักทอง (field pumpkin) และข้าวบาร์เลย์ (barley) มีการสะสมความเข้มข้นของทองแดง 35.81 25.74 และ 15.92 mg/kg ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ (Sekara et al., 2005) ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าพืชอื่นๆ มาก แต่สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของไมยราบมีค่าใกล้เคียงกับพืชชนิดอื่นที่กล่าวมาในข้างต้น

4.5.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่มีการเติมทองแดงในดิน 50 mg/kg

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่งและไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดินความเข้มข้น 50 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.17



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

ผ shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี

ผ root หมายถึง ส่วนรากของผักกาดเขียวปลี

ต shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง

ต root หมายถึง ส่วนรากของต้อยติ่ง

ม shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ

ม root หมายถึง ส่วนรากของไมยราบ

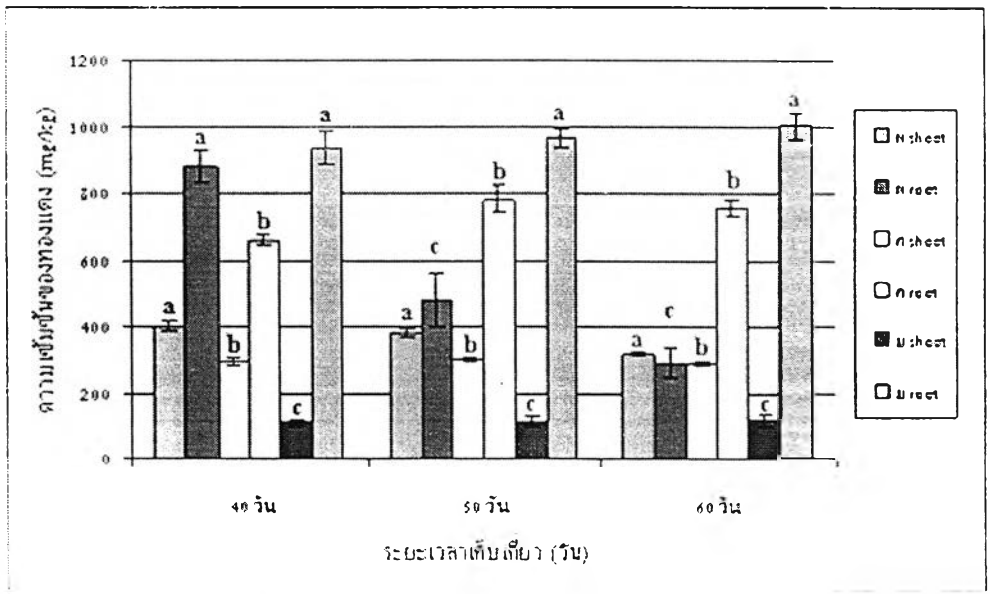
รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดิน 50 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งมีความเข้มข้นมากที่สุดในทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีนั้นมีค่าเป็นอันดับสอง และความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของไมยราบมีค่าน้อยที่สุด โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่ามากกว่าไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีความเข้มข้นของทองแดงใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.17) ดังนั้นใน

สภาวะที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 mg/kg ลงไปในดิน ต้อยติ่งจะมีความเข้มข้นของทองแดงไว้ได้มากกว่าผักกาดเขียวปลีและไมยราบ

4.5.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่มีการเติมทองแดงในดิน 100 mg/kg

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่งและไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดินความเข้มข้น 100 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.18



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

ผ shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี

ผ root หมายถึง ส่วนรากของผักกาดเขียวปลี

ต shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง

ต root หมายถึง ส่วนรากของต้อยติ่ง

ม shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ

ม root หมายถึง ส่วนรากของไมยราบ

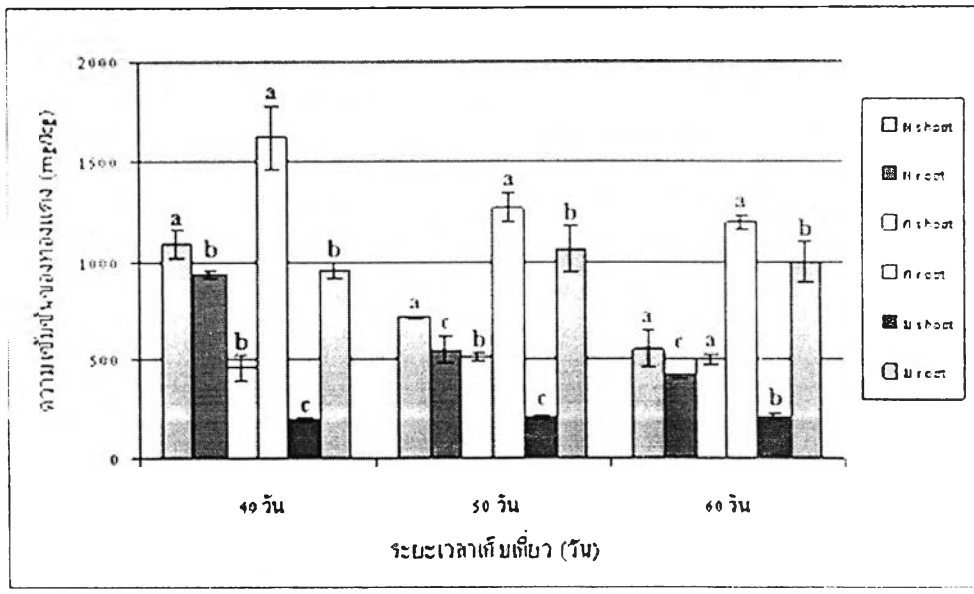
รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดิน 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test โดยที่ผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงมากที่สุดในทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และไมยราบมีความเข้มข้นของทองแดงน้อยที่สุดตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ให้ผลตรงกันข้ามกับในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน กล่าวคือ ไมยราบมีความเข้มข้นของทองแดงมากที่สุดในทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงน้อยที่สุดตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันของผักกาดเขียวปลีและไมยราบมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าต้อยติ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.18)

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของไมยราบมากที่สุด แต่กลับมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าไมยราบจะมีความสามารถดูดดึงทองแดงจากสารละลายดินได้ที่ระดับความเข้มข้นประมาณ 100 mg/kg แต่ก็ไม่มีความสามารถที่จะขนย้ายทองแดงจากส่วนรากไปสู่ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินได้มากเท่าที่ควร จึงอาจจะกล่าวได้ว่า ไมยราบขาดคุณสมบัติของ hyperaccumulator ในข้อที่ไม่มีความสามารถในการขนย้ายโลหะหนักจากส่วนรากสู่ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (Cunningham, 1995 cited in Brennan and Shelley, 1999)

4.5.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่มีการเติมทองแดงในดิน 150 mg/kg

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่งและไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดินความเข้มข้น 150 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.19



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

ผ shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี

ผ root หมายถึง ส่วนรากของผักกาดเขียวปลี

ท shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง

ท root หมายถึง ส่วนรากของต้อยติ่ง

ม shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ

ม root หมายถึง ส่วนรากของไมยราบ

รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดิน 150 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

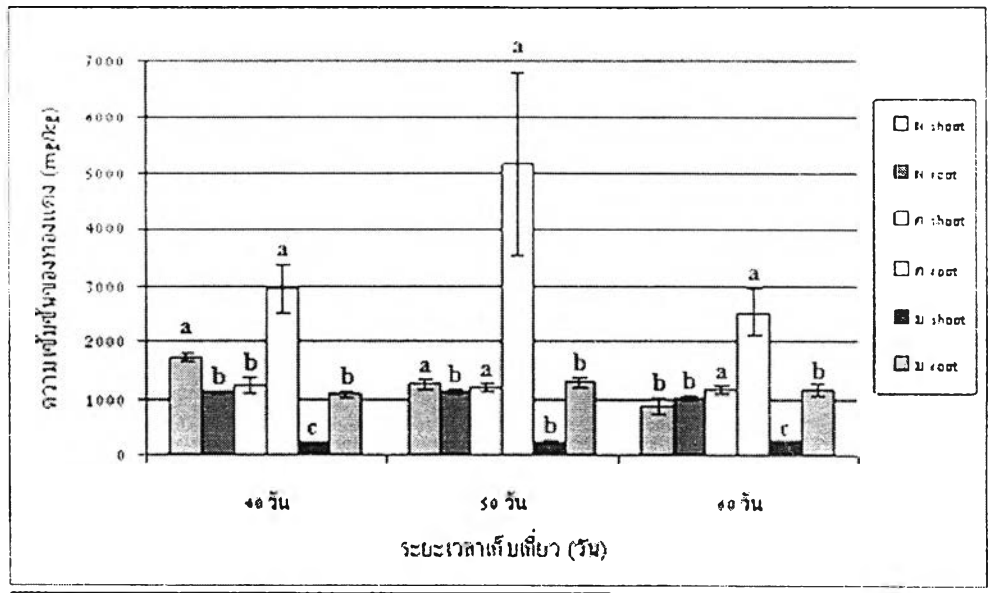
ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีค่ามากที่สุด โดยที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วัน ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีค่ามากกว่าต้อยติ่งและไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ส่วนที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินใกล้เคียงกันและมากกว่าในไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับในส่วนรากความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งมีค่ามากที่สุด โดยที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งมีค่ามากกว่าไมยราบและผักกาดเขียวปลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ส่วนที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าน้อย

กว่าต้อยติ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.19)

จากข้อมูลข้างต้น ผักกาดเขียวปลีในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg พบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของทองแดง กล่าวคือ มีความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อความเข้มข้นในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากกว่าในส่วนราก (Cunningham, 1995 cited in Brennan and Shelley, 1999) แสดงให้เห็นถึงสมบัติของการเป็น hyperaccumulator ของผักกาดเขียวปลี (McIntyre, 2003) แต่สำหรับในต้อยติ่งและไมยราบพบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในรากยังคงมีมากกว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน

4.5.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่มีการเติมทองแดงในดิน 200 mg/kg

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่งและไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดินความเข้มข้น 200 mg/kg ทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) และส่วนราก (root) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

ผ shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี

ผ root หมายถึง ส่วนรากของผักกาดเขียวปลี

ท shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง

ท root หมายถึง ส่วนรากของต้อยติ่ง

ม shoot หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ

ม root หมายถึง ส่วนรากของไมยราบ

รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่มีการเติมทองแดงในดิน 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (mg/kg)

ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวมีความเข้มข้นของมากที่สุด โดยมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบที่มีความเข้มข้นของทองแดงใกล้เคียงกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่างกันให้ผลทางสถิติต่างกัน กล่าวคือ ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันพบว่า ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีมีมากกว่าต้อยติ่งและไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันแต่มีค่ามากกว่าไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วัน ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีและไมยราบมีค่าใกล้เคียงกันแต่มีค่าน้อยกว่าต้อยติ่ง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.20)

ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถของส่วนรากของต้อยติ่งที่สามารถสะสมทองแดงไว้ได้แม้ว่าความเข้มข้นของทองแดงในดินจะมีอยู่ในระดับที่สูงมากก็ตาม สำหรับไมยราบที่มีความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อน้อยกว่าผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่ง แสดงให้เห็นว่าในระดับความเข้มข้นของทองแดงในดินตั้งแต่ 150 mg/kg ขึ้นไปไมยราบจะมีความเข้มข้นของทองแดงน้อยกว่าผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่ง สำหรับในผักกาดเขียวปลีมีการสะสมทองแดงความเข้มข้นสูงกว่าในสารละลายดินทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากแต่ก็มีความเข้มข้นของทองแดงน้อยกว่าในส่วนรากของต้อยติ่งอยู่ดี

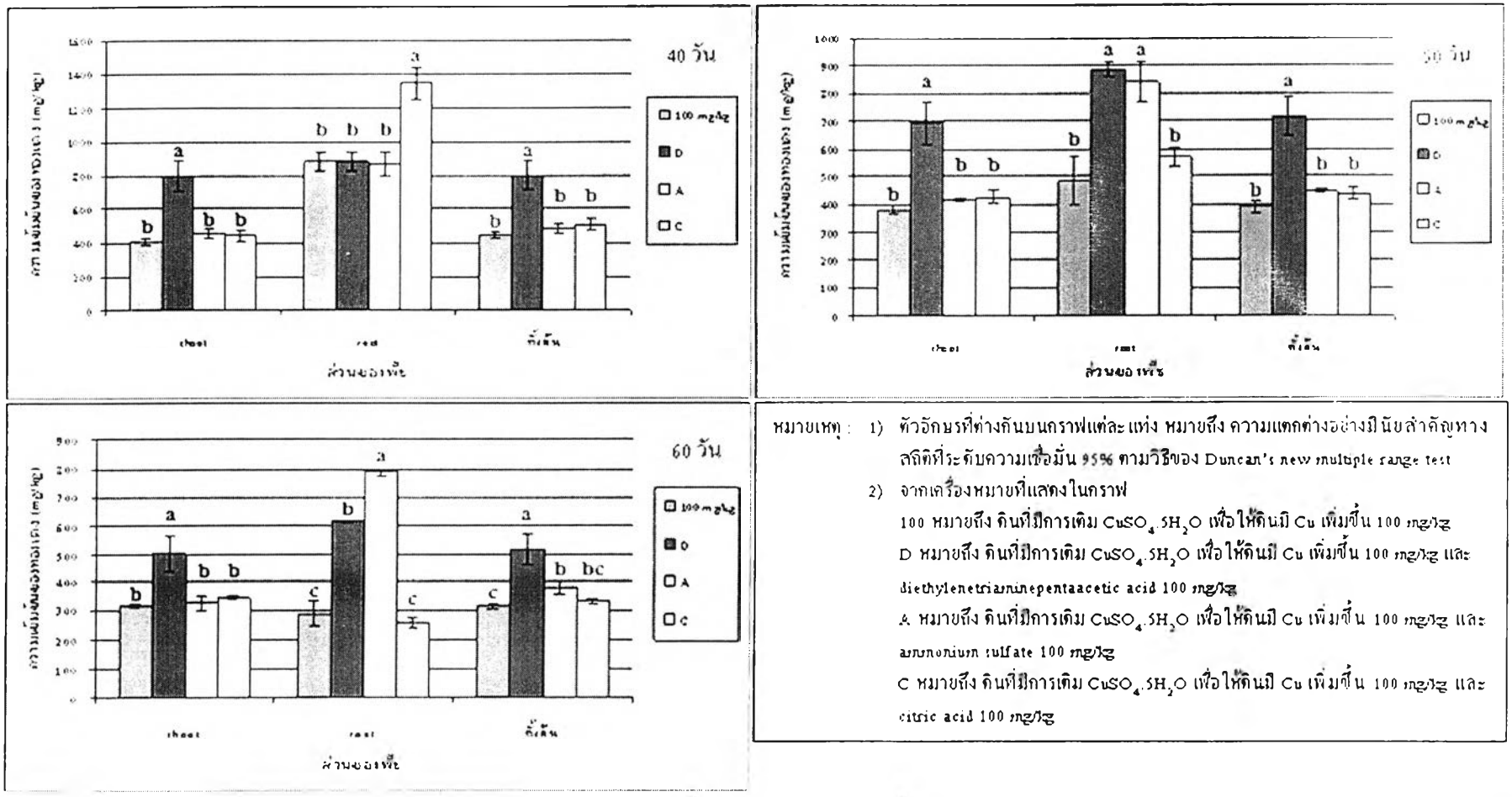
สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งที่พบความเข้มข้นของทองแดงมากกว่า 1,000 mg/kg แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของการเป็น copper hyperaccumulator (Asensi et al. 1999; Malaisse et al., 1978; Reeves, and Baker, 2000) หากพิจารณาเพียงเฉพาะคุณสมบัติในด้านความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อพืชเพียงอย่างเดียว

4.6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ได้รับการเติมสารปรับปรุงดินต่างชนิดกัน

การเติมตัวคีเลตในการทำ phytoremediation นั้นก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินให้ดีขึ้น โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวคีเลต 3 ชนิด ได้แก่ DTPA (diethylenetriaminepentaacetic acid), ammonium sulfate และ citric acid เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของตัวคีเลตทั้ง 3 ชนิดกับสภาวะที่ไม่มีการเติมตัวคีเลตลงไปในดินที่มีการเติมความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้น 100 mg/kg

4.6.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดง 100 mg/kg ในดิน

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น ที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น ที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดง 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน ผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม DTPA มีความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้งต้นและในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากกว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในส่วนรากพบความเข้มข้นของทองแดงสูงสุดในผักกาดเขียวปลีที่มีการเติม citric acid ลงไปในดิน (รูปที่ 4.21 shoot) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน ผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม DTPA มีความเข้มข้นของทองแดงทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและผักกาดเขียวปลีทั้งต้นมีความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อมากกว่าในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ยกเว้นแต่ส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม ammonium sulfate เท่านั้นที่มีความเข้มข้นของทองแดงใกล้เคียงกับความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม DTPA (รูปที่ 4.21 root) และที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วัน ผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม ammonium sulfate มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตอื่น สำหรับในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินพบว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม DTPA มีความเข้มข้นของทองแดงสะสมสูงสุดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นก็ยังพบว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม DTPA มีความเข้มข้นของทองแดงสูงสุดเช่นกัน (รูป 4.21 ทั้งต้น)

จากข้อมูลข้างต้นจะสังเกตได้ว่า ผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม DTPA นั้นจะมีความเข้มข้นของทองแดงสม่ำเสมอกว่าผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า DTPA มีความคงตัวมีความสามารถที่จะเป็นตัวคีเลตที่ถาวรได้มากกว่าตัวคีเลตอื่นๆ ที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ โดยเฉพาะในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกโดยการมีการเติม DTPA จะมีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าผักกาดเขียวปลีที่ไม่มีการเติมตัวคีเลต ซึ่งให้ผลคล้ายกับ EDTA ที่สนับสนุนการดูดดึงทองแดงจากส่วนรากมายังส่วนยอด (Luo, Shen, and Li, 2005) สำหรับผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม citric acid นั้นพบว่าจะมีความเข้มข้นของทองแดงสูงในช่วงแรกๆ เนื่องมาจาก citric acid นั้นเป็นสารที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะถูกพืชดูดดึงไปใช้ในช่วงแรกจนหมดแล้ว ทำให้เมื่อเวลาผ่านไปเมื่อ citric acid หมดลงความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีจึงลดลงตามไปด้วย ส่วนผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม ammonium sulfate นั้นน่าจะให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับใน citric acid เนื่องจากเป็นสารที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้เป็นสารอาหารได้เช่นเดียวกับ citric acid แต่กลับพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติม ammonium sulfate นั้นจะมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันในทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยว จึงยังไม่สามารถระบุได้อย่าง

แน่ชัดว่า ammonium sulfate นั้นมีความเสถียรในดินมากน้อยเพียงใดต้องดูผลของพืชชนิดอื่นเพื่อทำการสรุปต่อไป

สำหรับในผักกาดเขียวปลีสามารถสรุปได้ว่าตัวคีเลตทั้ง 3 ชนิดนั้นมีผลความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีเมื่อเทียบกับผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่ไม่มีการเติมตัวคีเลตลงไป โดยสารที่มีประสิทธิภาพในการทำให้ผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงมากที่สุดก็คือ DTPA เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีทั้งต้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองการเติมตัวคีเลต EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) citric acid oxalic acid และ malic acid ในผักกาดเขียวปลีให้ผลใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ความเข้มข้นของทองแดงจะมีมากที่สุดในผักกาดเขียวปลีที่มีการเติม EDTA สำหรับในผักกาดเขียวปลีที่มีการเติม citric acid และ oxalic acid นั้นมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมในลำดับรองลงมา ส่วนผักกาดเขียวปลีที่มีการเติม malic acid พบว่ามีการความเข้มข้นของทองแดงในปริมาณน้อยที่สุด (Wu et al., 2003) โดยที่ EDTA สามารถเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีจากทองแดงในรูป water-extractable และรูปที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้ แต่ citric acid และ malic acid สามารถเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีเฉพาะในรูป water-extractable เท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่า EDTA ทำให้ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย (Wu, Luo, and Huang, 2001)

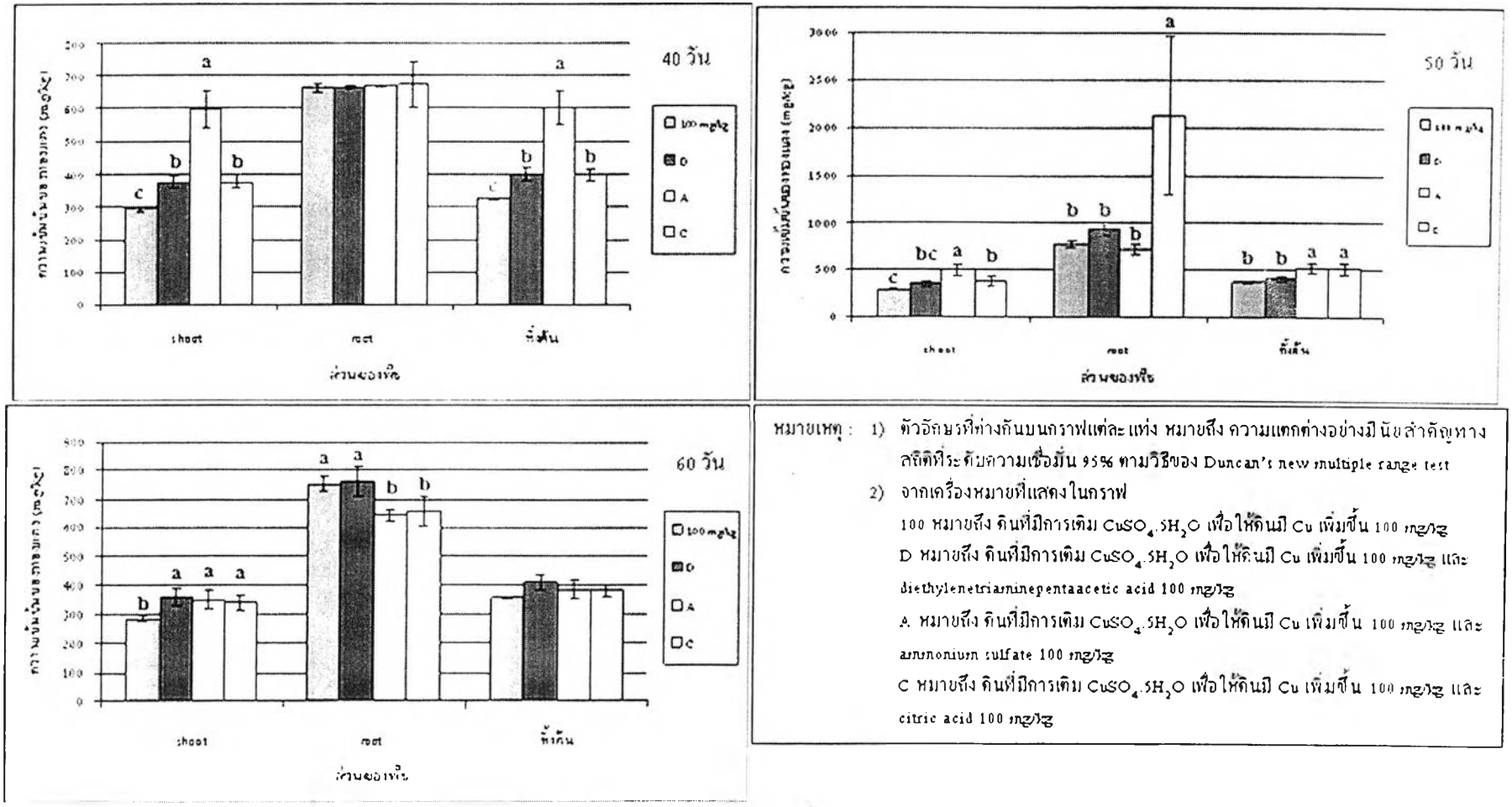
จากการทดลองของ Clistenes, Amarasiriwardena และ Xing (2006) ที่ทำการเปรียบเทียบผลของกรดอินทรีย์และตัวคีเลตสังเคราะห์ 6 ชนิด ได้แก่ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), diethylenediaminepentacetic acid (DTPA), oxalic acid, citric acid, vanillic acid และ gallic acid โดยใช้ผักกาดเขียวปลี (*Brassica juncea*) ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิด ซึ่งมี $CdCO_3$, $C_2H_2O_8Pb$, $ZnCO_3$, $CuCO_3.Cu(OH)_2$ และ $NiCO_3$ ความเข้มข้น 50, 500, 300, 200 และ 200 mg/kg ในดิน 1 kg ตามลำดับ สำหรับตัวคีเลตทั้ง 6 ชนิดที่ใช้ความเข้มข้น 10 mmol/kg ซึ่งพบว่า ในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมจากมากไปน้อยจะเป็น EDTA > citric acid = DTPA > oxalic acid = gallic acid = vanillic acid = control ตามลำดับ และในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมจากมากไปน้อยจะเป็น gallic acid $\geq$ DTPA = oxalic acid = citric acid > vanillic acid = control ซึ่งผลการทดลองนี้เกิดขึ้นที่ระยะเวลา 1 วันหลังจากเติมตัวคีเลต โดยที่ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมีค่ามากที่สุด 476.9 μg/g และส่วนราก 324.5 μg/g ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของทองแดงของผักกาดเขียวปลีในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนรากของผักกาดเขียวปลีในงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่า นอกจากนี้ผลของตัวคีเลตในงานวิจัยนี้ยังให้ผลแตกต่างกับงานทดลองของ Clistenes, Amarasiriwardena และ

Xing (2006) ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากในการทดลองของ Clistenes, Amarasiriwardena และ Xing (2006) ดินที่ใช้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิด นอกจากนี้ระยะเวลาเก็บเกี่ยวก็ยังแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดผลการทดลองต่างกัน

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสกัดทองแดงจากดินของสารต่างๆ พบว่าความสามารถของตัวสกัดโดยเรียงลำดับจากตัวสกัดที่ดีสามารถเรียงลำดับได้เป็น TEA-DTPA > Mehlich-3 > Mehlich-1 > 0.02 M $SrCl_2$ > 0.1 M HCl > 1.0 M NH_4NO_3 > 0.01 M $CaCl_2$ > 0.1 M $NaNO_3$ > 0.01 M $Ca(NO_3)_2$ ซึ่งแสดงให้เห็นความสามารถในการแยกทองแดงออกมาจากเนื้อดินให้อยู่ในสารละลายดินของ DTPA (Khan, Bolan, and Mackay, 2005) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้ง่าย สำหรับ EDTA และ citric acid นั้นก็เป็นตัวสกัดที่ดีในการทำ soil washing ของทองแดงเช่นกัน (Peters, 1999) ดังนั้นการเติม citric acid ลงไปในดินจึงสามารถเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายดินเช่นกัน ส่วน ammonium sulfate พบว่าสามารถใช้เป็นสารปรับปรุงดินในการเพิ่มปริมาณโมลิบดินัม (Mo) ในการทำ soil extraction ได้ถึง 30-110% แต่สำหรับผลของ ammonium sulfate ต่อความเข้มข้นของทองแดงไม่พบการรายงานในการทดลองนี้ (Neunhäuserer, Berreck, and Insam, 2001)

4.6.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดง 100 mg/kg ในดิน

ความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น ที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น ที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดง 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน ต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติม ammonium sulfate มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งต้นมากกว่าต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับในส่วนรากไม่พบความแตกต่างกันของความเข้มข้นของทองแดง (รูปที่ 4.22 shoot) ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน ต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติม citric acid มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากมากกว่าต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินพบว่าต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติม ammonium sulfate มีความเข้มข้นของทองแดงสะสมสูงสุด สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งที่มีการเติม ammonium sulfate และ citric acid มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งที่ปลูกโดยไม่ใส่ตัวคีเลตและต้อยติ่งที่ปลูกโดยเติม DTPA (รูปที่ 4.22 root) และที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วัน ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่มีการเติมตัวคีเลตจะมีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าต้อยติ่งที่ไม่มีการเติมตัวคีเลตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกโดยไม่ใช้ตัวคีเลตกับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกโดยเติม DTPA มีมากกว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกโดยเติม ammonium sulfate และ citric acid อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 4.22 ทั้งต้น)

ตามปกติ ammonium sulfate เมื่อละลายในน้ำจะมีปฏิกิริยาเป็นกลาง แต่เมื่อใส่ลงไปในดินจะทำให้ดินเป็นกรด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งเมื่อดินมีสภาพเป็นกรดทองแดงจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้งานได้ดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนั้นความเข้มข้นของทองแดงที่เพิ่มขึ้นในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันจึงน่าจะเป็นผลมาจากการเติม ammonium sulfate นั่นเอง

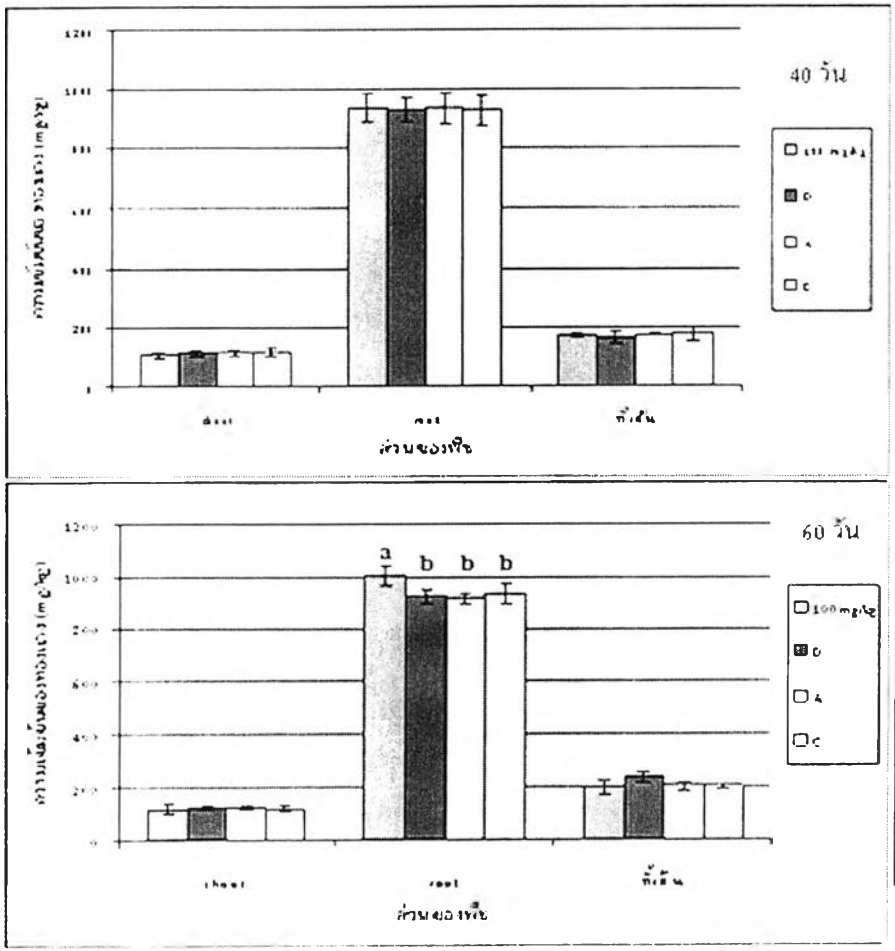
Chen และคณะ (2006) ทำการศึกษาผลของการเติมตัวคีเลตกับปริมาณของจุลินทรีย์บริเวณรากพืชที่เป็น copper hyperaccumulator (*Elsholtzia splendens*) และพืชที่ไม่เป็น accumulator (*Trifolium repens*) พบว่า การเติม citric acid ไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่บริเวณรากของพืช นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม citric acid มีผลทำให้ extractable Cu ทั้งในดินที่มีการปลูกพืชและดินที่ไม่มีการปลูกพืชมีความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า citric acid มีความสามารถรวมตัวกับทองแดงเป็นคีเลตที่อยู่ในรูปละลายน้ำที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้ง่าย (Bineyev, 1982) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในรูปที่ 4.22 root ที่มีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเติม citric acid ลงไป

ในดินนั่นเอง สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือดินของต้อยติ่งที่มีการเติม citric acid ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยนั้นให้ผลต่างจากการทดลองของ Jiang และ Yang (2004) ที่พบว่าการเติม citric acid ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของ *Elsholtzia splendens*

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าผลของตัวคีเลตต่อความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งมีการแสดงออกมาต่างกันตามชนิดของตัวคีเลตนั้น โดยที่ ammonium sulfate จะกระตุ้นความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน citric acid จะกระตุ้นความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน สำหรับ DTPA จะกระตุ้นความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งเล็กน้อย

4.6.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดง 100 mg/kg ในดิน

ความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.23



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

100 หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg

D หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ diethylenetriaminepentaacetic acid 100 mg/kg

A หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ ammonium sulfate 100 mg/kg

C หมายถึง ดินที่มีการเติม $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ เพื่อให้ดินมี Cu เพิ่มขึ้น 100 mg/kg และ citric acid 100 mg/kg

รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้น ที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดง 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ส่วนราก และทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมตัวคีเลตและทองแดง 100 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันส่วนใหญ่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.23) ยกเว้นแต่ความเข้มข้นของทองแดงไมยราบทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันและส่วนรากของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันเท่านั้นที่พบความแตกต่าง โดยพบว่าในไมยราบทั้งต้นที่ปลูกโดยเติม DTPA ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันมีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าการใส่และไม่ใส่ตัวคีเลตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.23 root) และพบว่าส่วนรากของไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันที่ปลูกโดยไม่ใช้ตัวคีเลตมีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าการใส่ตัวคีเลตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.23 ทั้งต้น) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติมตัวคีเลตลงไปในดินไม่มีผลต่อการดูดดึงและความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบเลย นอกจากนี้ในบางระยะเวลาเก็บเกี่ยวความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบที่มีการเติมตัวคีเลตกลับมีความเข้มข้นน้อยกว่าความเข้มข้นของทองแดงของไมยราบที่ไม่มีการเติมตัวคีเลตเสียอีก ฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมตัวคีเลตต่างๆ ไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบเลย

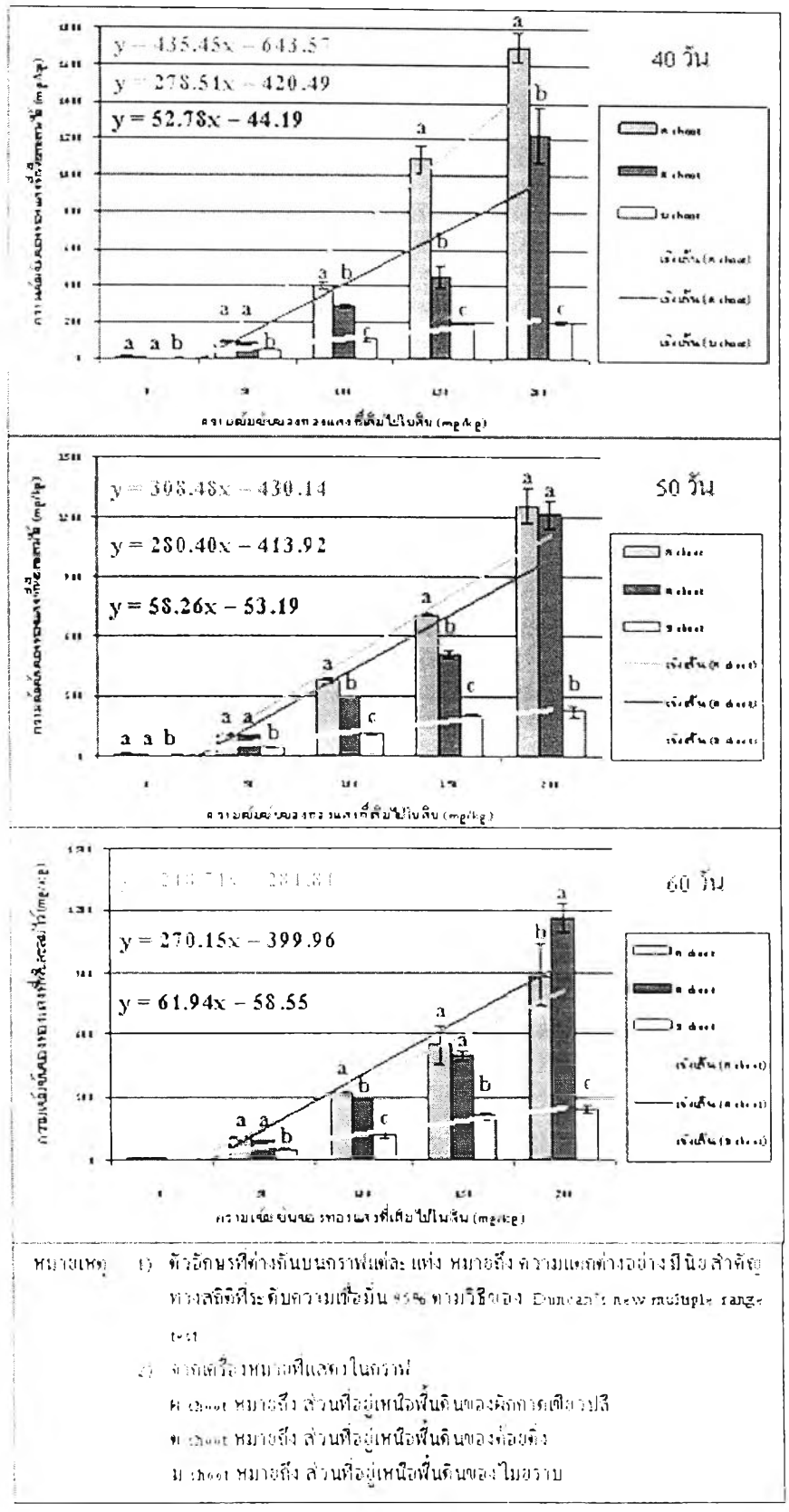
อย่างไรก็ตาม การที่พบว่าตัวคีเลตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่มีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบ ไม่ได้หมายความว่าตัวคีเลตที่ใช้นี้ไม่มีความสามารถที่จะเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในไมยราบได้เลย เนื่องจากที่สภาพของดินที่ต่างกัน ความสามารถของตัวคีเลตก็จะแสดงออกมาต่างกัน ดังเช่นในการทดลองของ Inoue Saeki และ Chikushi (2003) ที่ปลูกผักกาดเขียวปลี (*Brassica juncea*) โดยเติมตัวคีเลต EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) ในดินที่เป็นดินจากแกรนิตที่ย่อยสลาย (Regosol) และดินจากเถ้าภูเขาไฟ (Andosol) พบว่า ผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินจากแกรนิตที่ย่อยสลายมีความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้น แต่ในผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินจากเถ้าภูเขาไฟไม่มีการเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี แสดงให้เห็นว่าดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันมีผลทำให้ตัวคีเลตมีการทำงานแตกต่างกัน

4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสะสมทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ

หัวใจสำคัญของการของทำ phytoremediation นั้นก็คือ การเลือกวิธีการที่ทำให้สารปนเปื้อนมีความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อมน้อยลง สำหรับในงานวิจัยนี้ ความเข้มข้นและปริมาณของทองแดงที่พืชแต่ละชนิดสามารถสะสมได้ถือเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณาว่าพืชชนิดใดที่เหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดทองแดงที่มีการปนเปื้อนลงในดินได้ โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาความเข้มข้นและปริมาณของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของพืชทั้ง 3 ชนิด ความเข้มข้นและปริมาณของทองแดงในส่วนราก (root) ของพืชทั้ง 3 ชนิด และความเข้มข้นและปริมาณของทองแดงในพืชทั้งต้นในพืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg

4.7.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ

ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ตารางที่ 4.5 สมการเชิงเส้นความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	ชนิดของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
40 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 435.45x – 643.57	0.92
40 วัน	ต้อยติ่ง	y = 278.51x – 420.49	0.83
40 วัน	ไมยราบ	y = 52.78x – 44.19	0.97
50 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 308.48x – 430.14	0.93
50 วัน	ต้อยติ่ง	y = 280.40x – 413.92	0.86
50 วัน	ไมยราบ	y = 58.26x – 53.19	0.97
60 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 218.71x – 281.81	0.96
60 วัน	ต้อยติ่ง	y = 270.15x – 399.96	0.86
60 วัน	ไมยราบ	y = 61.94x – 58.55	0.98

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีค่าสูงที่สุดในทุกๆ ระดับความเข้มข้นของทองแดงที่เติมลงไปในดิน รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และไมยราบ ตามลำดับ โดยพบว่าสภาวะที่ดินได้รับการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 50 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันโดยมากกว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในสภาวะที่ดินได้รับการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.24 40 วัน) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี y = 435.45x – 643.57 (r^2 = 0.92) เทียบกับสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง y = 278.51x – 420.49 (r^2 = 0.83) และสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ y = 52.78x – 44.19 (r^2 = 0.97) (ตารางที่ 4.5) โดยพิจารณาจากค่าความชันของกราฟจะพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในดินที่เติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg จะพบว่า ผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และสุดท้ายเป็นไมยราบตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บ

เกี่ยว 40 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับต้อยติ่งและไมยราบในสภาวะที่ความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้น

ต่อมาที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันผลการทดลองยังเป็นไปในแนวทางเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก กล่าวคือ พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีค่าสูงที่สุดในทุกๆ ระดับความเข้มข้นของทองแดงที่เติมลงไปในดิน รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และไมยราบ ตามลำดับเช่นเดียวกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน แต่ที่แตกต่างจากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันเล็กน้อย ก็คือ สภาวะที่ดินได้รับการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 และ 200 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันโดยมากกว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในสภาวะที่ดินได้รับการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 และ 150 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.24 50 วัน) แต่นัยสำคัญโดยรวมยังคงให้ผลเหมือนกันกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน คือ ความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากที่สุดยังคงเป็นผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบตามลำดับ

สำหรับสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันมีสมการเป็น $y = 308.48x - 430.14$ ($r^2 = 0.93$) มีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง $y = 280.40x - 413.92$ ($r^2 = 0.86$) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ $y = 58.26x - 53.19$ ($r^2 = 0.97$) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่เติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และไมยราบตามลำดับ แต่ถ้าสังเกตค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีกับค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง จะพบว่ามีค่าใกล้กันมากขึ้นกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินต้อยติ่งว่ามีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินผักกาดเขียวปลี จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับต้อยติ่งและไมยราบในสภาวะที่ความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือ

พื้นดินของต้อยติ่งมีใกล้เคียงกับอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของมากขึ้น

สุดท้ายที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันพบความแตกต่างของข้อมูลจากที่ระยะเวลา 40 และ 50 วัน กล่าวคือ จะพบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีจะมีค่ามากที่สุดในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 และ 150 mg/kg เท่านั้น แต่ความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งจะมีค่ามากที่สุดในดินที่มีการเติมทองแดง 200 mg/kg โดยเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ทางสถิติพบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 และ 150 mg/kg พบว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 และ 200 mg/kg พบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test โดยที่ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg ผักกาดเขียวปลีมีความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และไมยราบ ตามลำดับ และในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ต้อยติ่งมีความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากที่สุด รองลงมาเป็นผักกาดเขียวปลี และไมยราบ ตามลำดับ (รูปที่ 4.24 50 วัน) จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งมีค่าสูงขึ้นจนมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีแล้ว

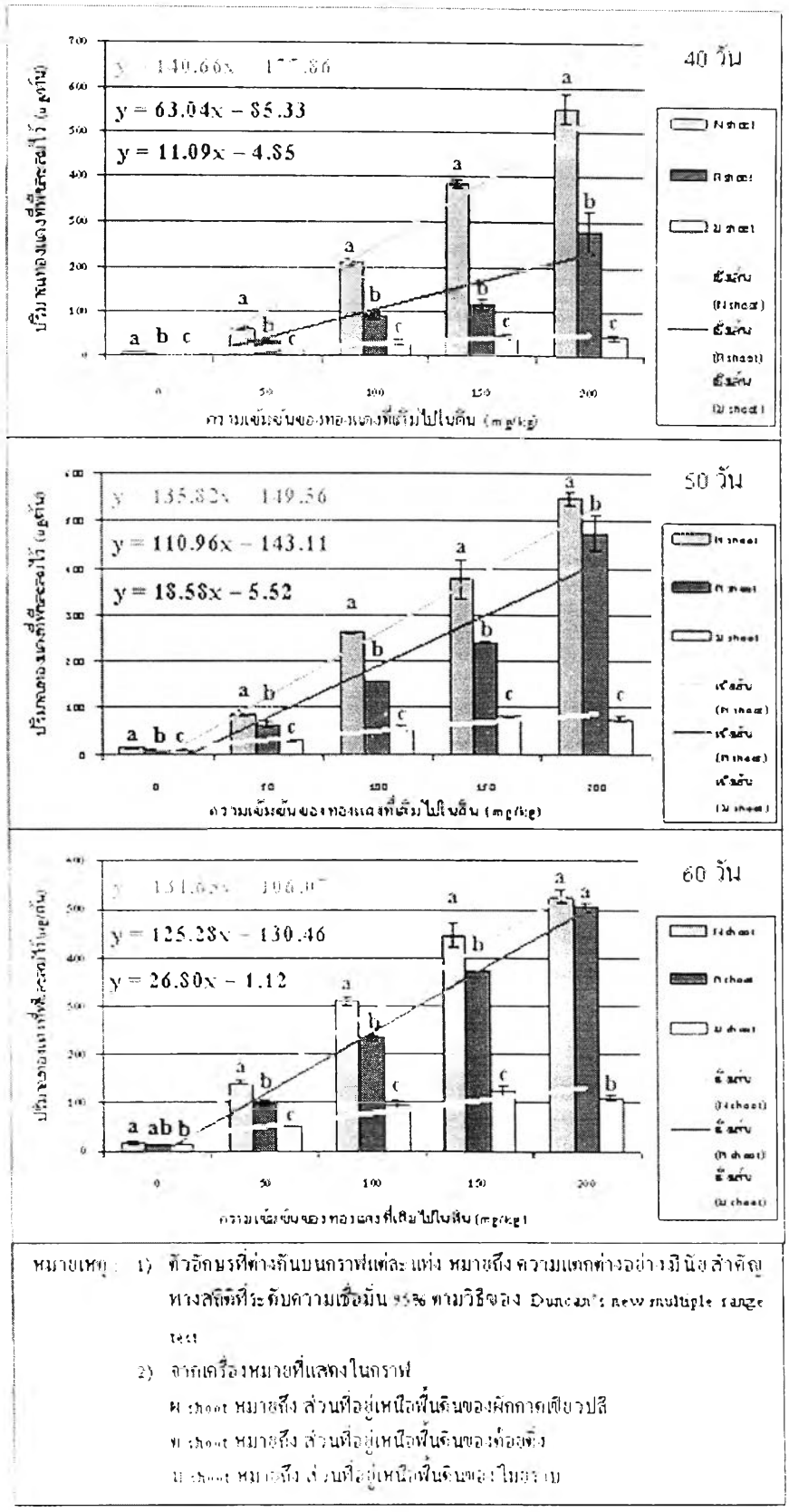
เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันมีสมการเป็น $y = 270.15x - 399.96$ ($r^2 = 0.86$) มีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี $y = 218.71x - 281.81$ ($r^2 = 0.96$) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ $y = 61.94x - 58.55$ ($r^2 = 0.98$) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่เติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นผักกาดเขียวปลี และไมยราบตามลำดับ จะเห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งนั้นมีค่าสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีแล้ว และเมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน (รูปที่

4.12 shoot) พบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test นั่นแสดงให้เห็นถึงความต่อเนื่องของการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง

จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วัน ผักกาดเขียวปลีมีการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากที่สุด โดยที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 และ 50 วันนี้สำหรับผักกาดเขียวปลีเป็นช่วงในระยะที่ผักกาดเขียวปลีกำลังเจริญเติบโตอยู่ (ไฉน ยอดเพชร, 2542) ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการดูดดึงสารอาหารจากดินไปใช้จำนวนมาก อัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงจึงมีปริมาณสูงในช่วงเวลานี้ แต่ต่อมาที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วัน ต้อยติ่งมีปริมาณการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากที่สุด และเมื่อพิจารณาการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ระยะเวลา 40 และ 50 วันด้วยแล้ว มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่งมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันเป็นระยะที่ต้อยติ่งยังไม่มีการออกดอก อัตราการดูดดึงและสะสมทองแดงจึงคงที่ (Jones, 1998) ซึ่งไมยราบก็เช่นกันพบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันก็มีค่าใกล้เคียงกันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.14 shoot) ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าพืชที่เป็นวัชพืชจะมีอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินคงที่เสมอในระยะเจริญเติบโต

4.7.2 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ

ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ตารางที่ 4.6 สมการเชิงเส้นปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (shoot) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	ชนิดของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
40 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 140.66x – 177.86	0.97
40 วัน	ต้อยติ่ง	y = 63.04x – 85.33	0.86
40 วัน	ไมยราบ	y = 11.09x – 4.85	0.94
50 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 135.82x – 149.56	0.99
50 วัน	ต้อยติ่ง	y = 110.96x – 143.11	0.92
50 วัน	ไมยราบ	y = 18.58x – 5.52	0.91
60 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 131.65x – 106.07	0.99
60 วัน	ต้อยติ่ง	y = 125.28x – 130.46	0.99
60 วัน	ไมยราบ	y = 26.80x – 1.12	0.86

เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน พบว่า ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีปริมาณมากที่สุดในทุกๆ ระดับความเข้มข้นของทองแดงที่เติมลงไปในดิน รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และไมยราบ ตามลำดับ โดยพบความแตกต่างของปริมาณทองแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.25 40 วัน) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี y = 140.66x – 177.86 (r^2 = 0.97) เทียบกับสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง y = 63.04x – 85.33 (r^2 = 0.86) และสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ y = 11.09x – 4.85 (r^2 = 0.94) (ตารางที่ 4.6) โดยพิจารณาจากค่าความชันของกราฟจะพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg จะพบว่า ผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และสุดท้ายเป็นไมยราบตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับต้อยติ่งและไมยราบในสภาวะที่ความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้น

ต่อมาที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันผลการทดลองยังเป็นไปในแนวทางเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก กล่าวคือ ปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีปริมาณมากที่สุดในทุกๆ ระดับความเข้มข้นของทองแดงที่เติมลงไปในดิน รองลงมาเป็นต้อยติ่ง

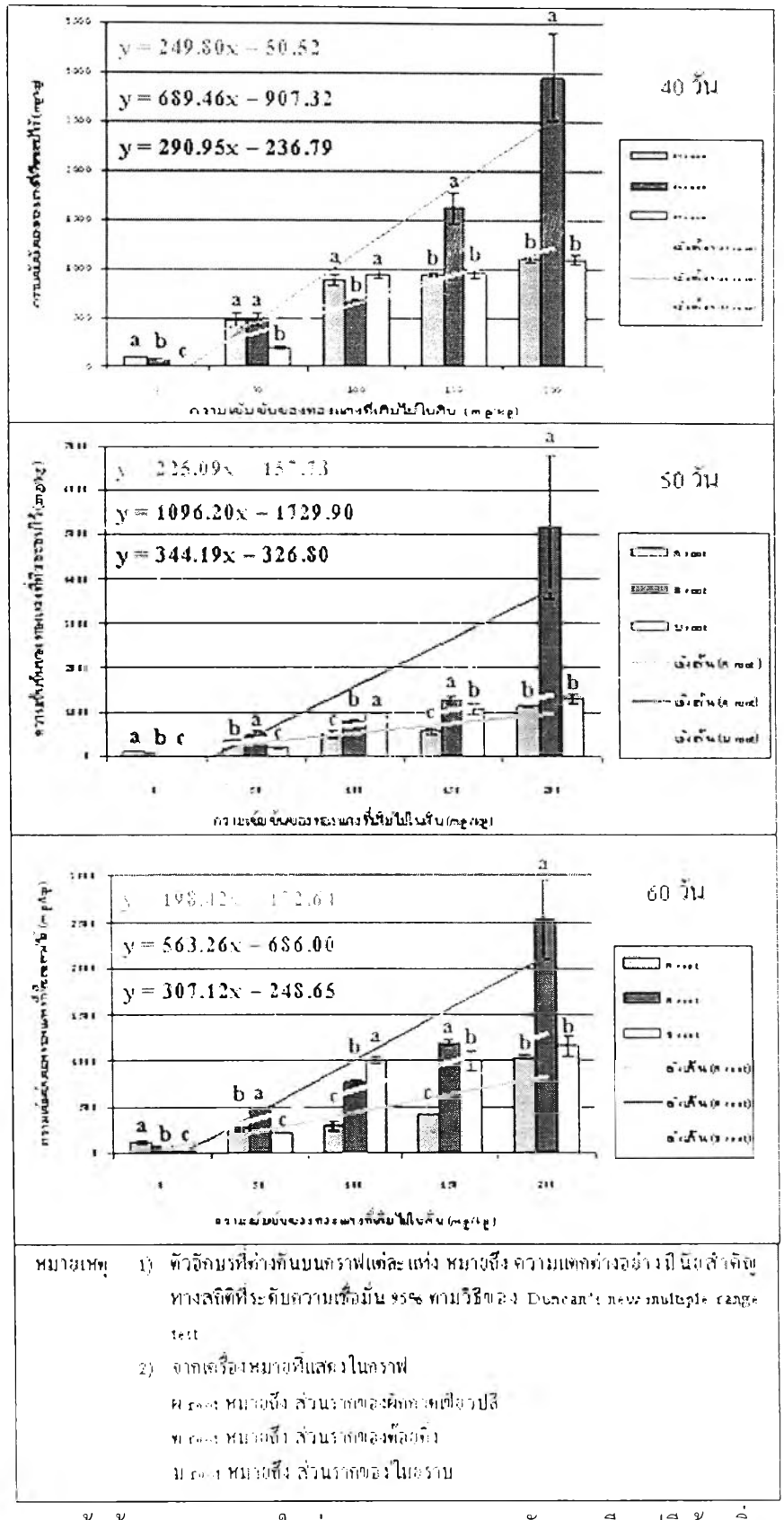
และไมยราบ ตามลำดับ โดยพบความแตกต่างของปริมาณทองแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.25 50 วัน) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี $y = 135.82x - 149.56$ ($r^2 = 0.99$) เทียบกับสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง $y = 110.96x - 143.11$ ($r^2 = 0.92$) และสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ $y = 18.58x - 5.52$ ($r^2 = 0.91$) (ตารางที่ 4.6) โดยพิจารณาจากค่าความชันของกราฟจะพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg จะพบว่าผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และสุดท้ายเป็นไมยราบตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับต้อยติ่งและไมยราบในสภาวะที่ความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน

สุดท้ายที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันพบว่าปริมาณทองแดงที่สะสมในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 100 และ 150 mg/kg มีปริมาณทองแดงมากที่สุดรองลงมาเป็นต้อยติ่งและไมยราบตามลำดับ ตามลำดับ โดยพบความแตกต่างของปริมาณทองแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg พบว่าปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีมีปริมาณมากที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับในต้อยติ่ง และปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบมีปริมาณน้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับต้อยติ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg พบว่าปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.25 60 วัน) สำหรับการพิจารณาสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของผักกาดเขียวปลี $y = 131.65x - 106.07$ ($r^2 = 0.99$) เทียบกับสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้อยติ่ง $y = 125.28x - 130.46$ ($r^2 = 0.99$) และสมการเชิงเส้นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของไมยราบ $y = 26.80x - 1.12$ ($r^2 = 0.86$) (ตารางที่ 4.6) โดยพิจารณาจากค่าความชันของกราฟจะพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณทองแดงในพืชทั้ง 3 ชนิดที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg จะพบว่า ผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และสุดท้ายเป็นไมยราบตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินผักกาดเขียวปลีมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับต้อยติ่งและไมยราบในสภาวะที่ความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน ผักกาดเขียวปลีมีการสะสมปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่ง และไมยราบ โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวมากขึ้นต้อยติ่งมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินใกล้เคียงกับผักกาดเขียวปลีมากขึ้นเรื่อยๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผักกาดเขียวปลีมีระยะเจริญเติบโตอยู่ในช่วงถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วัน ซึ่งหลังจากนั้นจะเข้าสู่ระยะออกดอก (ไฉน ยอดเพชร. 2542) ซึ่งสำหรับต้อยติ่งที่มีระยะออกดอกหลังจากระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันจึงยังมีอัตราการเคลื่อนย้ายทองแดงได้อยู่ ทำให้อัตราการดูดดึงทองแดงของต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการดูดดึงทองแดงของผักกาดเขียวปลีที่มีค่าลดลงนั่นเอง

4.7.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ

ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.26



หมายเหตุ 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

ผ root หมายถึง ส่วนรากของผักกาดเขียวปลี

พ root หมายถึง ส่วนรากของพ้อยติ่ง

ม root หมายถึง ส่วนรากของไมยราบ

รูปที่ 4.26 ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ตารางที่ 4.7 สมการเชิงเส้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	ชนิดของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
40 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 249.80x – 50.52	0.92
40 วัน	ต้อยติ่ง	y = 689.46x – 907.32	0.89
40 วัน	ไมยราบ	y = 290.95x – 236.79	0.86
50 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 225.09x – 157.73	0.88
50 วัน	ต้อยติ่ง	y = 1096.20x – 1729.90	0.70
50 วัน	ไมยราบ	y = 344.19x – 326.80	0.92
60 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 198.42x – 172.64	0.77
60 วัน	ต้อยติ่ง	y = 563.26x – 686.00	0.89
60 วัน	ไมยราบ	y = 307.12x – 248.65	0.86

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 50 mg/kg มีความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีมีค่ามากกว่าต้อยติ่งและไมยราบ แต่ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test โดยที่ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 และ 200 mg/kg มีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.26 40 วัน) จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg จะมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันและจะมีการสะสมความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg ตามลำดับ แต่สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งในช่วงแรกจะมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมใกล้เคียงกับผักกาดเขียวปลี แต่เริ่มความเข้มข้นของทองแดงสะสมมากกว่าในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg และมีการสะสมความเข้มข้นมากที่สุดในส่วนรากของต้อยติ่งที่

ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ซึ่งมีค่าสูงถึง 2960 mg/kg (ภาคผนวก ตารางที่ ก-5)

หากพิจารณาสมการเชิงเส้นของส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันมีสมการเป็น $y = 689.46x - 907.32$ ($r^2 = 0.89$) มีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของไมยราบ $y = 290.95x - 236.79$ ($r^2 = 0.86$) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของผักกาดเขียวปลี $y = 249.80x - 50.52$ ($r^2 = 0.92$) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) แสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นไมยราบ และผักกาดเขียวปลีตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.26 (40 วัน) จะพบว่าอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 และ 100 mg/kg และเพิ่มขึ้นอย่างมากในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 150 และ 200 mg/kg ในขณะที่ส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่เติมทองแดง 0 และ 50 mg/kg ก็มีการสะสมทองแดงใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่เติมทองแดง 100 150 และ 200 mg/kg กลับพบว่ามีการสะสมความเข้มข้นของทองแดงใกล้เคียงกับในส่วนรากของไมยราบ ทำให้ความชันของกราฟของผักกาดเขียวปลีมีความชันน้อยกว่าในไมยราบ นั่นแสดงให้เห็นว่า อัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของไมยราบมีค่าสูงกว่าอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี เมื่อความเข้มข้นของทองแดงในดินที่ปลูกมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 0 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีมีค่ามากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 50 150 และ 200 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งจะมีค่ามากที่สุดโดยมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบมาก โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และสำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 100 mg/kg ยังคงพบว่า ในส่วนรากของไมยราบมีการสะสมความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าต้อยติ่งและผักกาดเขียวปลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.26 50 วัน) ซึ่งบ่งชี้ว่าในส่วนรากของต้อยติ่งมีการสะสมความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบมากนั่นเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg พบว่ามีความเข้มข้นของทองแดงถึง 5180 mg/kg (ภาคผนวก ตารางที่ ก-5)

เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันมีสมการเป็น y = 1096.20x – 1729.90 (r^2 = 0.70) มีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของไมยราบ y = 344.19x – 326.80 (r^2 = 0.92) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของผักกาดเขียวปลี y = 225.09x – 157.73 (r^2 = 0.88) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) แสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของพืชที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ในต้อยติ่งยังคงมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นไมยราบ และผักกาดเขียวปลี เหมือนกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน โดยที่ค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของต้อยติ่งมีค่าสูงถึง 1096.20 แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงเมื่อความเข้มข้นของทองแดงในดินที่ปลูกมีค่าสูงขึ้นของส่วนรากของต้อยติ่งมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 และ 200 mg/kg นั้นพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (ภาคผนวก ตารางที่ ก-5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งในช่วงนี้มีค่าแตกต่างกันอย่างมาก

ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 50 150 และ 200 mg/kg ในส่วนรากของต้อยติ่งยังคงมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมมากกว่าในส่วนรากของไมยราบและผักกาดเขียวปลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test เช่นเดียวกับดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 100 mg/kg พบว่าในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg และไมยราบมีความเข้มข้นของทองแดงที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg พบว่ามีความเข้มข้นของทองแดงมากที่สุดโดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test กับพืชอีก 2 ชนิด (รูปที่ 4.26 60 วัน) สำหรับความเข้มข้นของทองแดงที่มีความเข้มข้นสูงสุดในส่วนรากที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันนั้นอยู่ในต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg โดยมีความเข้มข้น 2530 mg/kg (ภาคผนวก ตารางที่ ก-5)

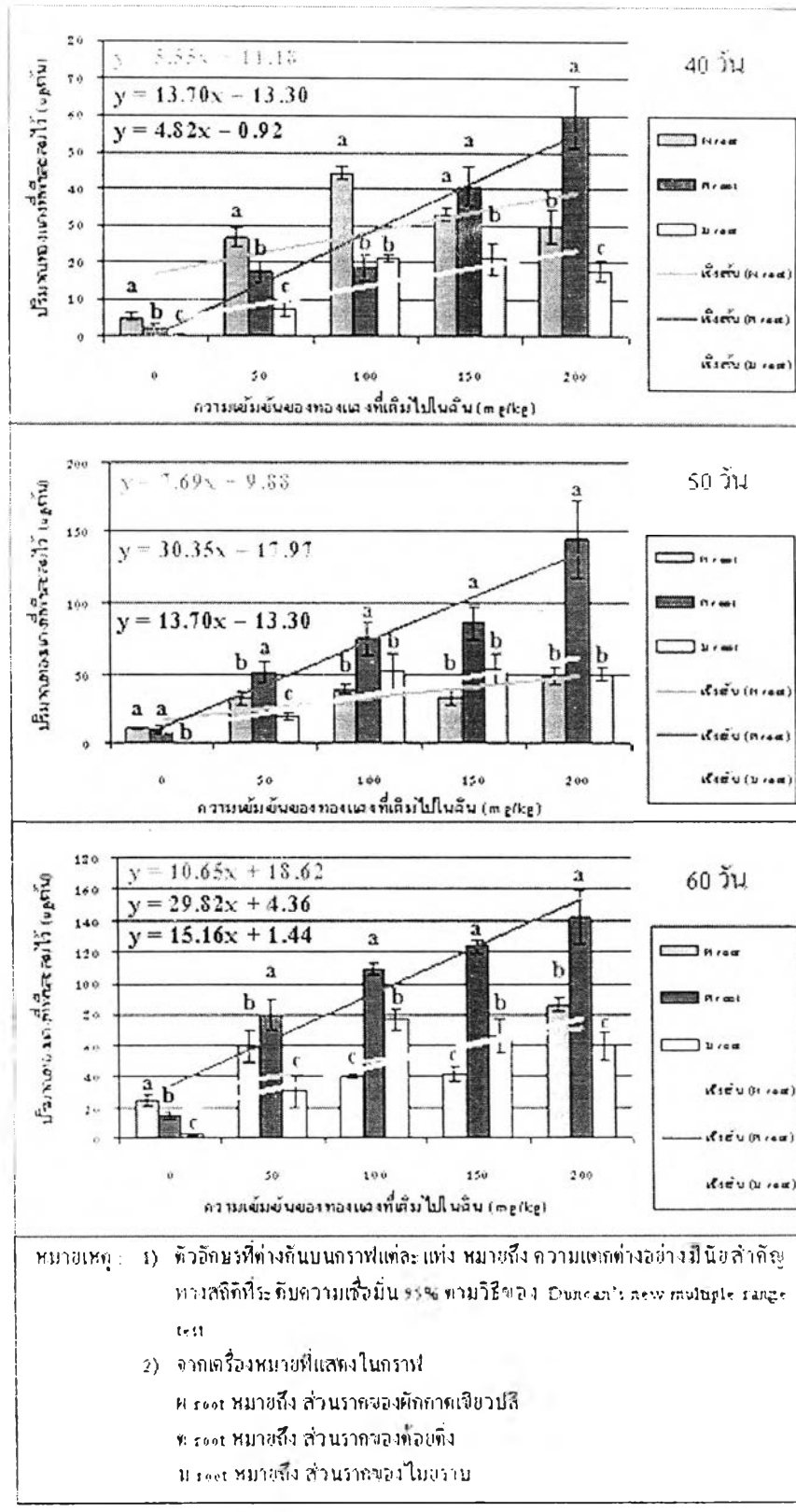
สำหรับสมการเชิงเส้นของส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันมีสมการเป็น y = 563.26x – 686.00 (r^2 = 0.89) ซึ่งมีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของไมยราบ y = 307.12x – 248.65 (r^2 = 0.86) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของผักกาดเขียวปลี y = 198.42x – 172.64 (r^2 = 0.77) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของพืชที่ปลูกในดินที่เติม

ทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ในต้อยติ่งยังคงมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นไมยราบ และผักกาดเขียวปลี ซึ่งให้ผลเหมือนกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน และ 50 วันนั่นเอง

จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่า ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 mg/kg ในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีจะมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมมากกว่าในส่วนรากของต้อยติ่งและไมยราบ ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg ในส่วนรากของไมยราบจะมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมมากกว่าในส่วนรากของต้อยติ่งและผักกาดเขียวปลี และในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 150 และ 200 mg/kg ในส่วนรากของต้อยติ่งจะมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมมากกว่าในส่วนรากของไมยราบและผักกาดเขียวปลี แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในระดับความเข้มข้นต่างกันในดินในพืชทั้ง 3 ชนิดนั้นมีความต่างกัน

4.7.4 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ

ปริมาณของทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27



หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test

2) จากเครื่องหมายที่แสดงในกราฟ

ผ root หมายถึง ส่วนรากของผักกาดเขียวปลี

ต root หมายถึง ส่วนรากของต้อยติ่ง

ม root หมายถึง ส่วนรากของไมยราบ

รูปที่ 4.27 ปริมาณของทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ตารางที่ 4.8 สมการเชิงเส้นของปริมาณทองแดงในส่วนราก (root) ของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	ชนิดของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
40 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 5.55x + 11.18	0.38
40 วัน	ต้อยติ่ง	y = 13.70x – 13.30	0.94
40 วัน	ไมยราบ	y = 4.82x – 0.92	0.68
50 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 7.69x + 9.88	0.76
50 วัน	ต้อยติ่ง	y = 30.35x – 17.97	0.95
50 วัน	ไมยราบ	y = 13.70x – 13.30	0.78
60 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 10.65x + 18.62	0.51
60 วัน	ต้อยติ่ง	y = 29.82x + 4.36	0.90
60 วัน	ไมยราบ	y = 15.16x + 1.44	0.61

เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 50 mg/kg มีปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีมีค่ามากกว่าต้อยติ่งและไมยราบตามลำดับโดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ของปริมาณทองแดง ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg มีปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งมีค่ามากกว่าผักกาดเขียวปลีและไมยราบตามลำดับโดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ของปริมาณทองแดง ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 mg/kg มีปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งและไมยราบมีค่าใกล้เคียงกันและน้อยกว่าผักกาดเขียวปลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg มีปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันและมากกว่าไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.27 40 วัน)

เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันมีสมการเป็น y = 13.70x – 13.30 (r^2 = 0.94) มีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของผักกาดเขียวปลี y = 5.55x + 11.18 (r^2 = 0.38) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของไมยราบ y = 4.82x – 0.92 (r^2 = 0.68) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่า อัตรา

การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นผักกาดเขียวปลี และไมยราบตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.27 (40 วัน) จะพบว่าอัตราการสะสมปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในขณะที่ ปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไม่แน่นอน

สำหรับปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 100 150 และ 200 mg/kg ปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและไมยราบมีค่าใกล้เคียงกันและมีปริมาณน้อยกว่าต้อยติ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 0 mg/kg ปริมาณทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันและมีปริมาณมากกว่าต้อยติ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 50 mg/kg ปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นผักกาดเขียวปลีและไมยราบตามลำดับ โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ของปริมาณทองแดงในส่วนราก (รูปที่ 4.27 50 วัน)

เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันมีสมการเป็น $y = 30.35x - 17.97$ ($r^2 = 0.95$) มีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของไมยราบ $y = 13.70x - 13.30$ ($r^2 = 0.78$) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของผักกาดเขียวปลี $y = 7.69x + 9.88$ ($r^2 = 0.76$) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของการสะสมปริมาณทองแดงในส่วนรากของพืชที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ในต้อยติ่งยังคงมีค่ามากที่สุด แต่ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันนี้ปริมาณทองแดงในส่วนรากของไมยราบมีแนวโน้มสูงกว่าต้อยติ่งเมื่อความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้น

ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบ พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 0 mg/kg ในส่วนรากของผักกาดเขียวปลีมีปริมาณทองแดงมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่งและไมยราบ โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 100 และ 150 mg/kg ในส่วนรากของต้อยติ่งมีปริมาณทองแดงมากที่สุด รองลงมาเป็นไมยราบและผักกาดเขียวปลี โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 50 และ 200 mg/kg ในส่วนรากของ

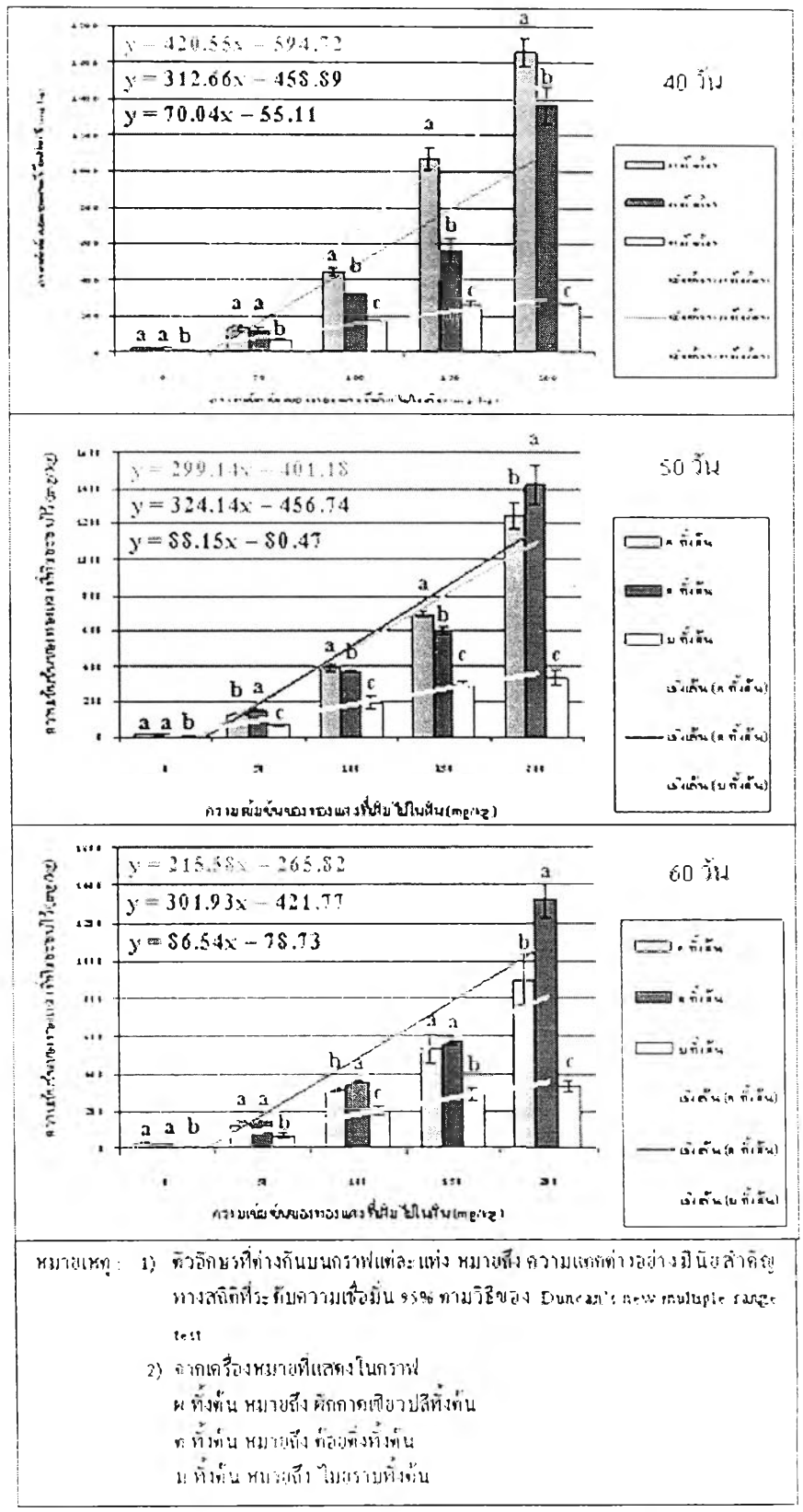
ต้อยติ่งมีปริมาณทองแดงมากที่สุด รองลงมาเป็นผักกาดเขียวปลีและไมยราบ โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.27 60 วัน)

สำหรับสมการเชิงเส้นของส่วนรากของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันมีสมการเป็น $y = 29.82x + 4.36$ ($r^2 = 0.90$) ซึ่งมีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของไมยราบ $y = 15.16x + 1.44$ ($r^2 = 0.61$) และค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของส่วนรากของผักกาดเขียวปลี $y = 10.65x + 18.62$ ($r^2 = 0.51$) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในส่วนรากของพืชที่ปลูกในดินที่เติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ในต้อยติ่งยังคงมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นไมยราบ และผักกาดเขียวปลี

จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่า ปริมาณทองแดงในส่วนรากของต้อยติ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้น ต่างจากปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีและไมยราบที่มีแนวโน้มไม่ชัดเจนเมื่อความเข้มข้นของทองแดงในดินเพิ่มขึ้น

4.7.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้น

ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ตารางที่ 4.9 สมการเชิงเส้นของความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	ชนิดของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
40 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 420.55x – 594.72	0.93
40 วัน	ต้อยติ่ง	y = 312.66x – 458.89	0.85
40 วัน	ไมยราบ	y = 70.04x – 55.11	0.95
50 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 299.14x – 401.18	0.93
50 วัน	ต้อยติ่ง	y = 324.14x – 456.74	0.86
50 วัน	ไมยราบ	y = 88.15x – 80.47	0.97
60 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 215.58x – 265.82	0.95
60 วัน	ต้อยติ่ง	y = 301.93x – 421.77	0.87
60 วัน	ไมยราบ	y = 86.54x – 78.73	0.98

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้นของ 0 และ 50 mg/kg ในผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งทั้งต้นมีความเข้มข้นของทองแดงใกล้เคียงกันและมากกว่าในไมยราบทั้งต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg พบว่าความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นมีความเข้มข้นมากกว่าในต้อยติ่งและไมยราบทั้งต้นตามลำดับ โดยพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ของความเข้มข้นของทองแดงในพืชทั้งต้นที่ปลูกในดินมีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 150 และ 200 mg/kg ด้วย (รูปที่ 4.28 40 วัน) แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นมีความเข้มข้นมากที่สุด สำหรับต้อยติ่งมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมในพืชทั้งต้นเป็นอันดับสอง และไมยราบมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมในพืชทั้งต้นเป็นอันดับสุดท้ายเมื่อเทียบกับผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่ง

หากพิจารณาสมการเชิงเส้นของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน โดยมีสมการเป็น y = 420.55x – 594.72 (r^2 = 0.93) จะพบว่ามีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของต้อยติ่ง y = 312.66x – 458.89 (r^2 = 0.85) และสมการเชิงเส้นของไมยราบ y = 70.04x – 55.11 (r^2 = 0.95) (ตารางที่ 4.9) แสดงให้เห็นถึงอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงของผักกาดเขียวปลีนั้นมีมากกว่าต้อยติ่งและไมยราบทั้งต้น ตามลำดับ ซึ่งผลของความเข้มข้นของ

ทองแดงและอัตราการสะสมทองแดงในพืชทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันนั้นเป็นไปในทางเดียวกัน

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 และ 100 mg/kg ความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งทั้งต้นมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าในไมยราบทั้งต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test แต่ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 และ 200 mg/kg พบว่าความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นมีค่ามากที่สุดรองลงมาเป็นผักกาดเขียวปลีและไมยราบตามลำดับ โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ของความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 และ 200 mg/kg ด้วย สำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 mg/kg กลับพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่งและไมยราบทั้งต้น ตามลำดับ (รูปที่ 4.28 50 วัน) ผลการทดลองที่ระยะเก็บเกี่ยว 50 วันนี้ให้ผลโดยรวมแตกต่างกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันโดยพบว่าส่วนใหญ่ความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นมีความเข้มข้นมากที่สุด สำหรับต้อยติ่งมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมในพืชทั้งต้นเป็นอันดับสอง และไมยราบมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมในพืชทั้งต้นเป็นอันดับสุดท้ายเมื่อเทียบกับผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่ง แต่กลับพบว่าในต้อยติ่งทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 50 และ 200 mg/kg กลับมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมในพืชทั้งต้นมากกว่าในผักกาดเขียวปลี

เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันโดยมีสมการเป็น $y = 324.14x - 456.74$ ($r^2 = 0.86$) จะพบว่ามีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของผักกาดเขียวปลี $y = 299.14x - 401.18$ ($r^2 = 0.93$) และสมการเชิงเส้นของไมยราบ $y = 88.15x - 80.47$ ($r^2 = 0.97$) (ตารางที่ 4.9) แสดงให้เห็นถึงอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงของต้อยติ่งนั้นมีมากกว่าผักกาดเขียวปลีและไมยราบทั้งต้น ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากค่าความชันของต้อยติ่งและผักกาดเขียวปลีมีค่าแตกต่างกันยังไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากกราฟที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันที่ค่าความชันของพืชทั้งสองมีต่างกันมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากค่าความชันของผักกาดเขียวปลีมีค่าลดลงมากแสดงให้เห็นความเข้มข้นของทองแดงลดลงจนมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นในที่สุด

สุดท้ายที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้น พบว่าผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 และ 150 mg/kg จะมีความเข้มข้นของทองแดงสะสมใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าในไมยราบทั้งต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ

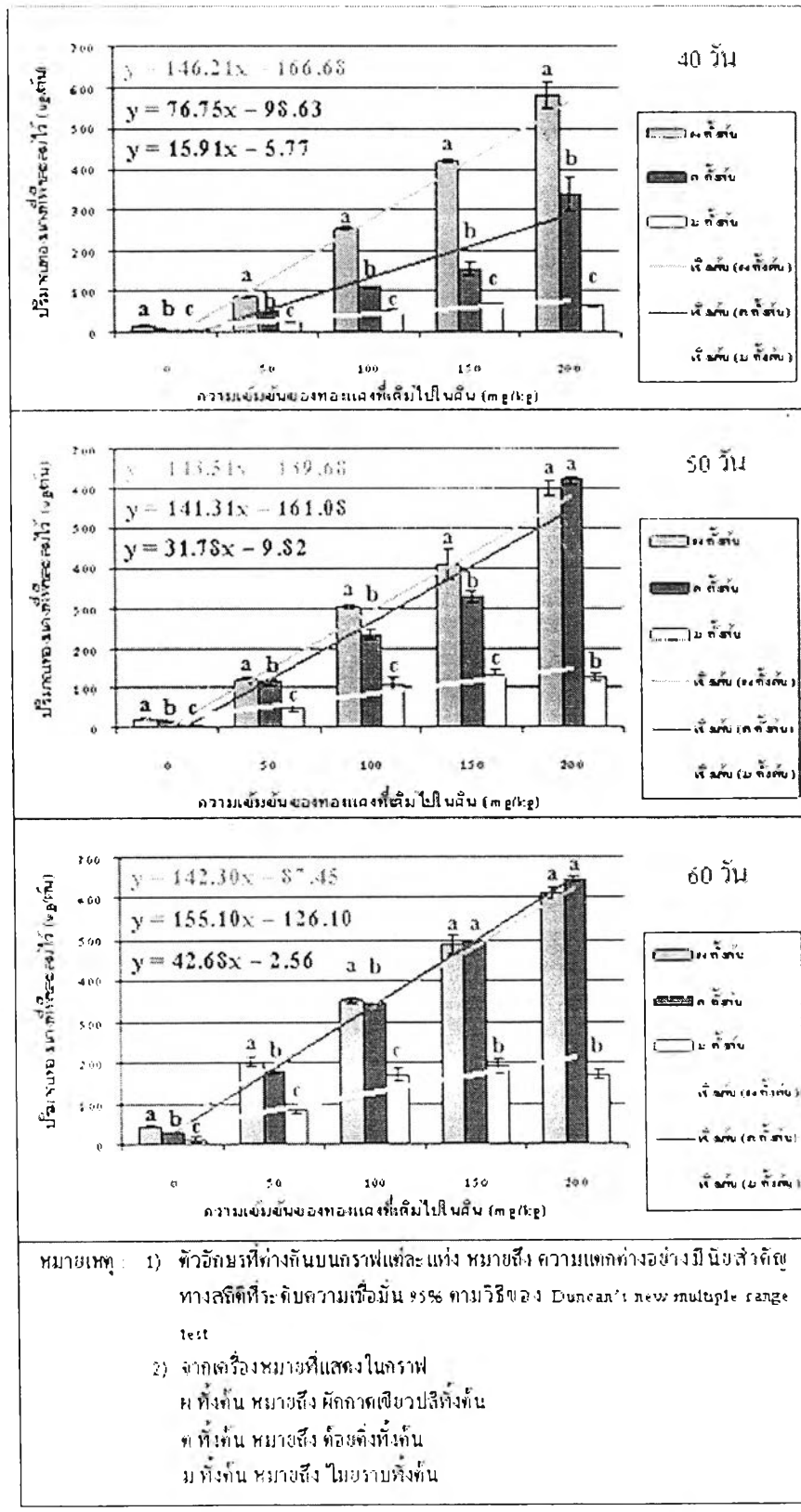
Duncan's new multiple range test แต่ในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 100 และ 200 mg/kg พบว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในต้อยติ่งทั้งต้นมีค่ามากกว่าผักกาดเขียวปลีและไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 28 60 วัน) ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่าความเข้มข้นของทองแดงที่สะสมในต้อยติ่งทั้งต้นมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นผักกาดเขียวปลี และสุดท้ายเป็นไมยราบ ตามลำดับ

และเมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันโดยมีสมการเป็น $y = 301.93x - 421.77$ ($r^2 = 0.87$) จะพบว่ามีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของผักกาดเขียวปลี $y = 215.58x - 265.82$ ($r^2 = 0.95$) และสมการเชิงเส้นของไมยราบ $y = 86.54x - 78.73$ ($r^2 = 0.98$) (ตารางที่ 4.9) แสดงให้เห็นถึงอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงของต้อยติ่งนั้นมีมากกว่าผักกาดเขียวปลีและไมยราบทั้งต้น ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความชันของต้อยติ่งและผักกาดเขียวปลีจะพบว่ามีค่าต่างกันมากกว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน สำหรับค่าความชันของต้อยติ่งมีต้อยติ่งมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวแสดงให้เห็นถึงอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงที่ต่อเนื่องของต้อยติ่งทั้งต้น

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันผักกาดเขียวปลีจะสามารถสะสมความเข้มข้นของทองแดงได้ดีกว่าต้อยติ่งและไมยราบ แต่ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 และ 60 วันจะพบว่าต้อยติ่งจะสามารถสะสมความเข้มข้นของทองแดงได้มากกว่าผักกาดเขียวปลีและไมยราบ และมีอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงคงที่กว่าพืชชนิดอื่น แสดงให้เห็นว่าการสะสมความเข้มข้นของทองแดงในผักกาดเขียวปลีจะได้ผลดีในช่วงระยะเวลาหลังจากการเติมทองแดงได้ไม่นาน แต่สำหรับในต้อยติ่งและไมยราบนั้นจะมีการสะสมความเข้มข้นของทองแดงคงที่กว่าถึงแม้ว่าจะเติมทองแดงไปในระยะเวลานานแล้วก็ตาม

4.7.6 การเปรียบเทียบปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้น

ปริมาณของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ60 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ปริมาณของทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ตารางที่ 4.10 สมการเชิงเส้นของปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ปลูกในดินที่มีการเติมทองแดง 0 50 100 150 และ 200 mg/kg ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วัน

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	ชนิดของพืช	สมการเชิงเส้น	ค่า r^2 ของสมการ
40 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 146.21x – 166.68	0.98
40 วัน	ต้อยติ่ง	y = 76.75x – 98.63	0.89
40 วัน	ไมยราบ	y = 15.91x – 5.77	0.89
50 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 143.51x – 139.68	0.99
50 วัน	ต้อยติ่ง	y = 141.31x – 161.08	0.93
50 วัน	ไมยราบ	y = 31.78x – 9.82	0.87
60 วัน	ผักกาดเขียวปลี	y = 142.30x – 87.45	0.99
60 วัน	ต้อยติ่ง	y = 155.10x – 126.10	0.99
60 วัน	ไมยราบ	y = 42.68x – 2.56	0.78

เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วัน พบว่าในทุกๆ ตำรับการทดลองปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นจะมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่งและไมยราบ โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test ของปริมาณทองแดง (รูปที่ 4.29 40 วัน) แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นมีปริมาณมากที่สุด สำหรับต้อยติ่งมีปริมาณทองแดงสะสมในพืชทั้งต้นเป็นอันดับสอง และไมยราบมีปริมาณทองแดงสะสมในพืชทั้งต้นเป็นอันดับสุดท้ายเมื่อเทียบกับผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่ง

หากพิจารณาสมการเชิงเส้นของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันโดยมีสมการเป็น y = 146.21x – 166.68 (r^2 = 0.98) จะพบว่ามีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของต้อยติ่ง y = 76.75x – 98.63 (r^2 = 0.89) และสมการเชิงเส้นของไมยราบ y = 15.91x – 5.77 (r^2 = 0.89) (ตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นถึงอัตราการสะสมปริมาณทองแดงของผักกาดเขียวปลีนั้นมีมากกว่าต้อยติ่งและไมยราบทั้งต้น ตามลำดับ ซึ่งผลของความเข้มข้นของทองแดงในดินและอัตราการสะสมปริมาณทองแดงในพืชทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันนั้นเป็นไปในทางเดียวกัน

สำหรับปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้นที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วัน พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 100 และ 150 mg/kg ปริมาณทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่งและไมยราบตามลำดับ โดยพบ

ความแตกต่างของปริมาณทองแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 200 mg/kg ปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งทั้งต้นมีค่าใกล้เคียงกันและมากกว่าไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 4.29 50 วัน)

เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของผักกาดเขียวปลีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 50 วันโดยมีสมการเป็น $y = 143.51x - 139.68$ ($r^2 = 0.99$) จะพบว่ามีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของต้อยติ่ง $y = 141.31x - 161.08$ ($r^2 = 0.93$) และสมการเชิงเส้นของไมยราบ $y = 31.78x - 9.82$ ($r^2 = 0.87$) (ตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นถึงอัตราการสะสมปริมาณทองแดงของผักกาดเขียวปลีนั้นมีมากกว่าต้อยติ่งและไมยราบทั้งต้น ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากค่าความชันของผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากกราฟที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันที่ค่าความชันของพืชทั้งสองมีต่างกันมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากค่าความชันของผักกาดเขียวปลีมีค่าลดลงมากแสดงให้เห็นความเข้มข้นของทองแดงลดลงจนมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของทองแดงในต้อยติ่งทั้งต้นในที่สุด

สุดท้ายที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันเมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลี ต้อยติ่ง และไมยราบทั้งต้น พบว่าในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 0 50 และ 100 mg/kg ปริมาณทองแดงที่สะสมในผักกาดเขียวปลีมากที่สุด รองลงมาเป็นต้อยติ่งและไมยราบตามลำดับ โดยพบความแตกต่างของปริมาณทองแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test สำหรับในดินที่มีการเติมทองแดงความเข้มข้น 150 และ 200 mg/kg ปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีและต้อยติ่งทั้งต้นมีค่าใกล้เคียงกันและมากกว่าไมยราบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test (รูปที่ 29 60 วัน)

เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นของต้อยติ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 60 วันโดยมีสมการเป็น $y = 155.10x - 126.10$ ($r^2 = 0.99$) จะพบว่ามีค่าความชันมากกว่าค่าความชันจากสมการเชิงเส้นของผักกาดเขียวปลี $y = 142.30x - 87.45$ ($r^2 = 0.99$) และสมการเชิงเส้นของไมยราบ $y = 42.68x - 2.56$ ($r^2 = 0.78$) (ตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นถึงอัตราการสะสมความเข้มข้นของทองแดงของต้อยติ่งนั้นมีมากกว่าผักกาดเขียวปลีและไมยราบทั้งต้น ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าความชันของปริมาณทองแดงที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 50 วันแล้วจะพบว่าค่าความชันของผักกาดเขียวปลีมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 50 และ 60 วันนั้นปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีทั้งต้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ เมื่อความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายดินเพิ่มขึ้น สำหรับต้อยติ่งและไมยราบนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าความชันจะพบว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

เพิ่มขึ้น ค่าความชันก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แสดงว่ามีแนวโน้มที่ว่าที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวมากกว่า 60 วัน ทั้งด้อยติ่งและไมยราบมีแนวโน้มที่จะยังสามารถสะสมปริมาณของทองแดงต่อไปได้อีก

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า ในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว 40 วันผักกาดเขียวปลีจะมีอัตราการสะสมปริมาณทองแดงได้มากกว่าพืชที่ใช้ในการทดลองอีก 2 ชนิด แต่ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวมากขึ้นทั้งด้อยติ่งและไมยราบมีแนวโน้มที่จะสามารถสะสมปริมาณทองแดงได้ต่อไปในขณะที่อัตราการสะสมปริมาณทองแดงในผักกาดเขียวปลีมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการสะสมปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นในระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่มากกว่า 60 วัน