



ผลของฝนกรดและปุ๋ยที่มีต่อการดูดซึมสารรังสี ^{134}Cs และ ^{60}Co โดยหญ้าขน

ประไพพิศ ชัยรัตนมโนกร นฤมล วิเชอร์ ฮาร์วีย์ และ อรพิน เกิดชูชื่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กทมฯ 10140

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาผลของฝนกรดและปุ๋ยโปแตสเซียมต่อการดูดซึมสารรังสี ^{134}Cs และ ^{60}Co โดยหญ้าขน (*Purpurascens* sp.) จากดินเหนียวที่ได้รับการปนเปื้อนสารรังสี เป็นการทดลองในเรือนเพาะชำ ปลูกหญ้าขนในกระถาง ทั้งกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยและไม่ใช้ปุ๋ยโปแตสเซียม ใช้ฝนกรดสังเคราะห์ pH 4 5 และ 6 ทุกวัน เก็บตัวอย่างหญ้าขนและดินในวันที่ 15 30 และ 45 ตามลำดับ เพื่อหาค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ในส่วนต้น (TF_{SP}) เหง้า (TF_{SRh}) และ ราก (TF_{SR}) พบว่าความเป็นกรดของฝน มีผลต่อค่า TF_{SP} และ TF_{SRh} ของ ^{134}Cs เฉพาะในหญ้าขนอายุน้อย ส่วนปุ๋ยส่งผลต่อค่า TF_{SP} ของ ^{134}Cs เท่านั้น โดยการใช้ปุ๋ยทำให้ค่า TF_{SP} มีค่าลดลง และผลจะชัดเจนมากขึ้นตามอายุของหญ้าขน สำหรับค่า TF ของ ^{134}Cs และ ^{60}Co ในส่วนต่างๆของหญ้าขนเรียงลำดับดังนี้ : $\text{TF}_{\text{SR}} > \text{TF}_{\text{SRh}} > \text{TF}_{\text{SP}}$ และเมื่อเปรียบเทียบค่า TF ของสารรังสีทั้งสองในส่วนต่างๆ พบว่า ค่า $\text{TF}_{\text{SP}} : ^{134}\text{Cs} > ^{60}\text{Co}$ ในขณะที่ ค่า TF_{SRh} และ $\text{TF}_{\text{SR}} : ^{134}\text{Cs} < ^{60}\text{Co}$

Effects of Acid Rain and Fertiliser on Root Uptake ^{134}Cs and ^{60}Co by Paragrass

P. Chairattanamanoorn, N. W. Harvey, and O. Kerdchoechuen

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Pracha Utid Road, Tongkru, Bangkok 10140

ABSTRACT

Effects of acid rain and potassium fertiliser on root uptake of ^{134}Cs and ^{60}Co are presented in this paper. Paragrass (*Purpurascens* sp.) was grown in clay soil homogeneously contaminated with the radionuclides, and kept in a greenhouse for 45 days. Plants in both fertilised and non-fertilised treatments were irrigated daily with a fixed pH solutions of 4, 5 or 6. Every 15 days plant and soil samples were harvested, and analysed to determine the Soil-to-Plant Transfer Factors (TF) of the shoots (TF_{SP}), rhizomes (TF_{SRh}), and roots (TF_{SR}). The results show that acid rain had an influence on the TF_{SP} and TF_{SRh} values of young plants. Application of K-fertiliser decreased the TF_{SP} of ^{134}Cs . The effect increased with ontogeny. TF values of ^{134}Cs and ^{60}Co were in the order of: $\text{TF}_{\text{SR}} > \text{TF}_{\text{SRh}} > \text{TF}_{\text{SP}}$. When compared the two radionuclides in each part, it was found that, for TF_{SR} and TF_{SRh} : $^{60}\text{Co} > ^{134}\text{Cs}$, for TF_{SP} : $^{134}\text{Cs} > ^{60}\text{Co}$.

1. บทนำ

พืชที่มีอยู่ตามธรรมชาติอาจได้รับสารรังสีซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ในรูปของฝุ่นกัมมันตรังสี(fallout) ทั้งที่เป็นฝุ่นตก (dry deposition) และที่ละลายในน้ำฝน(wet deposition) ที่ตกลงบนพื้นผิวของส่วนที่อยู่เหนือผิวดินของพืช หรือพืชอาจได้รับสารรังสี โดยรากดูดซึมสารรังสีที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน และเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่างๆของพืช จากการวิจัยในประเทศเยอรมันนี้ พบว่าสารรังสีซีเซียมที่พืชได้รับ ประมาณ 50 % มาจากการ ดูดซึมจากดินผ่านระบบราก [1] มนุษย์สามารถได้รับสารรังสี โดยการบริโภคพืชที่ปนเปื้อน หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่บริโภคพืชเหล่านี้ ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการถ่ายทอดภายในห่วงโซ่อาหาร

สัดส่วนสารรังสีที่เคลื่อนย้ายจากดินไปสู่พืช เป็นดัชนีบอกปริมาณการถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหารของสารรังสี อาจประเมินได้จากค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$TF = \frac{\text{ปริมาณสารรังสีที่มีอยู่ในพืช (Bq g}^{-1}\text{)}}{\text{ปริมาณสารรังสีที่มีอยู่ในดิน (Bq g}^{-1}\text{) ที่พืชเจริญเติบโต}}$$

การศึกษาการดูดซึมสารรังสีโดยรากพืช ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง [2,3,4,5] และได้รับความสนใจมากขึ้น หลังจากอุบัติเหตุการระเบิดของโรงไฟฟ้าพลังงานปรมาณูที่เชอร์โนบิล [6,7] ซึ่งทำให้สิ่งแวดล้อมถูกปนเปื้อนด้วยฝุ่นกัมมันตรังสีในระดับมหภาค ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารรังสีที่ศึกษากันอยู่ ได้แก่ ปริมาณของ clay minerals ปริมาณประจุบวก ชนิดต่างๆในดิน รวมถึงการให้ปุ๋ย และชนิดพืช เป็นต้น [8,9]

ขณะนี้ในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น มีการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน จากขบวนการเผาไหม้และขบวนการอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ทำให้ฝนกรดเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความรุนแรงสูงขึ้น พร้อมกันนั้นในด้านเกษตรกรรม ยังดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการปศุสัตว์ ซึ่งมีการใช้หญ้าขนเป็นองค์ประกอบหนึ่งของอาหารสัตว์ เช่น โค และ กระบือ โดยเกษตรกรจะใช้ปุ๋ยในการปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตหญ้าขน ดังนั้นวัตถุประสงค์หนึ่งของงานวิจัยนี้ เพื่อหาผลกระทบของฝนกรดและการใช้ปุ๋ย ที่มีต่อการเคลื่อนย้ายสารรังสีจากดินสู่ต้นหญ้าขน และเลือกใช้สารรังสีซีเซียมและสารรังสีโคบอลต์ เป็นตัวแทนของสารรังสี เนื่องจาก fission products ส่วนใหญ่เป็นสารรังสีซีเซียม และ สารรังสีโคบอลต์ เป็น active products ที่มีใช้กันมากในด้านการแพทย์ เนื่องจากในประเทศไทยมีการศึกษาการเคลื่อนย้ายสารรังสีจากดินที่ปนเปื้อนมาสู่พืช ค่อนข้างน้อย การศึกษานี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานข้อมูลหนึ่งในการจัดการที่ดินที่ปนเปื้อน และการประเมินสารรังสีที่จะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เก็บหน้าดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร (ซม.) บริเวณรอบศูนย์นิวเคลียร์ใหม่ ในรัศมี 1 กิโลเมตร อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ทำการคัดแยกเศษใบไม้และรากออก และวิเคราะห์คุณสมบัติดินเริ่มต้น ดังตารางที่ 1 พบว่า ดินนี้มีคุณสมบัติเป็นดินเหนียว ซึ่งเป็นดินกรด และมีสารอินทรีย์ ประมาณ 2 % จากนั้นเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติเหมาะสมในการปลูกหญ้า จึงปรับปรุงคุณภาพดินโดยเติมปุ๋ยยูเรีย 30 gcm^{-2} ผสมสารละลายสารรังสี ^{134}Cs และ ^{60}Co ในดิน ให้ homogeneous ในอัตรา 20 Bqg^{-1} และ 18 Bqg^{-1} ตามลำดับ ซึ่งสารรังสีที่ใส่อยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ โดยเตรียมที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.)

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (3x2 factorial) มี 2 ปัจจัย (factor) ได้แก่ ฝนกรดสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากกรดซัลฟูริก 3 ระดับ คือ pH 4 5 และ 6 และการใช้ปุ๋ย โดยในแต่ละระดับของฝนกรด แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือกลุ่มที่ไม่ใช้ปุ๋ยไปแคสเซียม และกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยไปแคสเซียม (19 gcm^{-2}) และทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ

ปลูกหญ้าขนในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ที่บรรจุดินสูง 15 ซม. ($\sim 0.01 \text{ m}^3$) จำนวน 36 กระถาง ภายในโรงเพาะชำ รดฝนกรดที่ pH ต่างๆ ตามแผนการทดลองข้างต้นทุกวัน ในอัตรา 500 ml/วัน เก็บเกี่ยวหญ้าขนในวันที่ 15 30 และ 45 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารรังสีในส่วนต่างๆ (ต้น เหง้า และ ราก) ในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้ง ทำการตัดต้นหญ้าส่วนเหนือผิวดิน 2 ซม. (ต้น) ส่วนที่อยู่ระหว่างเหนือผิวดิน 2 ซม. และได้ผิวดิน 2 ซม. (เหง้า) และส่วนราก หลังจากนั้นล้างส่วนเหง้าและรากด้วยน้ำประปาให้สะอาด อบส่วนต่างๆของหญ้าขนที่อุณหภูมิ $85 \pm 2^\circ\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่ ประมาณ 48 ชั่วโมง ปั่นให้ตัวอย่างหญ้ามี่ขนาดเล็กแล้ว พร้อมกันนั้นทำการอบดินที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร วัด total activity ในดิน และส่วนต่างๆของหญ้าด้วยเครื่อง Gamma spectrometer โดยหัววัด Ge(Tl) ที่ระดับความคลาดเคลื่อนในการวัด ไม่เกิน 10 % และ ใช้ Least Significant difference (LSD) ในการวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3. ผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาผลของฝนกรดและปุ๋ยไปแคสเซียมที่มีต่อการดูดซึมสารรังสี ^{134}Cs และ ^{60}Co ด้วยหญ้าขน โดยพิจารณาจากค่า Soil-To-Plant Transfer Factor (TF) ในส่วนต้น (TF_{sp}) เหง้า (TF_{SRh}) และราก (TF_{SR}) เป็นดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติดินที่ใช้ในการทดลอง

รายการ	mean±SD
1. Moisture content (%)	29.09±4.19
2. Bulk density (g cm ⁻³)	1.64±0.27
3. Soil pH	
3.1 by H ₂ O	5.13±0.03
3.2 by KCl	4.18±0.03
4. Soil texture (%)	
4.1 sand	5
4.2 silt	32
4.3 clay	63
5. Organic matter (%)	2.08±0.04
6. Cation exchange capacity (meq/100 g of soil)	29.67±0.60
7. Total exchangeable base (meq/100 g of soil)	
7.1 Na ⁺	0.90±0.06
7.2 K ⁺	0.57±0.01
7.3 Ca ²⁺	14.60±0.75
7.4 Mg ²⁺	7.99±0.19

3.1 ผลของฝนกรดที่มีต่อการดูดซึมสารรังสี ¹³⁴Cs และ ⁶⁰Co

a) ¹³⁴Cs

จากการศึกษาพบว่าความเป็นกรดของฝนสังเคราะห์ ไม่มีผลต่อค่า TF_{SR} ในทุกช่วงอายุที่ศึกษา แต่ความเป็นกรดของฝนมีผลให้ ค่า TF_{SP} และ TF_{SRh} ของหญ้าขนเฉพาะอายุ 30 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่ pH 5 มีผลให้ TF_{SP} และ TF_{SRh} ลดลงกว่าที่ระดับ pH 4 และ pH 6 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า TF_{SR} มีแนวโน้มลดลง แต่ TF_{SRh} และ TF_{SP} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อหญ้าขนมีอายุมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสารรังสี ¹³⁴Cs มีการเคลื่อนย้ายจากรากขึ้นไปสู่ส่วนต้น (ตารางที่ 2)

b) ^{60}Co

จากตารางที่ 3 พบว่าความเป็นกรดของฝนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ต่อค่า TF ในส่วนต่างๆของหญ้าชน ทุกช่วงอายุที่ศึกษา

3.2 ผลของการใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมที่มีต่อการดูดซึมสารรังสี ^{134}Cs และ ^{60}Co

a) ^{134}Cs

การใช้ปุ๋ยโปแตสเซียม มีผลเฉพาะค่า TF_{SP} ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4) ในวันที่ 30 และ 45 วัน โดยเมื่อใช้ปุ๋ย ค่า TF มีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่ใช้ปุ๋ย ซึ่งจะเห็นความแตกต่างนี้ได้ชัดเจนในต้น และจะเห็นชัดเจนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการปลูกนานขึ้น

b) ^{60}Co

จากตารางที่ 5 การใช้ปุ๋ย ไม่มีผลต่อค่า TF ในทุกส่วนของหญ้าชน ตลอดช่วงเวลาของการศึกษา

3.3 ผลของฝนกรดและการใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมที่มีต่อการดูดซึมสารรังสี ^{134}Cs และ ^{60}Co

จากผลการทดลองข้อ 3.1 และ 3.2 เป็นการพิจารณาเฉพาะปัจจัยของฝนกรด และการใช้ปุ๋ย แต่แผนการทดลองปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยร่วมที่ใช้ในการศึกษา หัวข้อนี้จึงนำเสนอผลกระทบร่วม (interaction) ของปัจจัยทั้งสอง

a) ^{134}Cs

จากตารางที่ 6 พบว่า ในวันที่ 15 และ 30 ฝนกรดและปัจจัยการใช้ปุ๋ยมีผลต่อค่า TF_{SP} อย่างมีนัยสำคัญ คือ ที่ pH 4 และ 5 ปัจจัยการใช้ปุ๋ยไม่ส่งผลต่อค่า TF_{SP} แต่ที่ pH 6 ปัจจัยการใช้ปุ๋ยทำให้ค่า TF_{SP} มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า TF_{SP} ที่มีการใช้ปุ๋ยมีค่าน้อยกว่าค่า TF_{SP} ที่ไม่ใช้ปุ๋ย ซึ่งที่ pH 6 ร่วมกับการไม่ใช้ปุ๋ย ให้ค่า TF_{SP} ค่าสูงสุดคือ 0.042 และ 0.146 ในวันที่ 15 และ 30 แต่ค่า TF_{SRH} และ TF_{SR} ฝนกรดและการใช้ปุ๋ย ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่าง

สำหรับหญ้าชนอายุ 45 วัน พบว่า ฝนกรดและปัจจัยการใช้ปุ๋ย ไม่ส่งผลต่อค่า TF_{SRH} เมื่อเปรียบเทียบค่า TF_{SP} ระหว่างหญ้าชนที่ใช้ปุ๋ยและไม่ใช้ปุ๋ย พบว่า มีความแตกต่างที่ pH 5 และ 6 ซึ่งที่ระดับ pH 6 และไม่มีการใช้ปุ๋ย ทำให้ค่า TF_{SP} มีค่าสูงสุด (0.11) ส่วนค่า TF_{SR} ความแตกต่างของการใช้ปุ๋ยและไม่ใช้ปุ๋ย ปรากฏที่ pH 4 โดยที่ pH 4 และไม่มีการใช้ปุ๋ย มีค่า TF_{SR} สูงสุด (0.285) ซึ่งรายละเอียดเชิงภาพ แสดงในรูปที่ 1-3

b) ^{60}Co

สำหรับหญ้าชนอายุ 15 วัน พบว่าฝนกรดและการใช้ปุ๋ยไม่ส่งผลต่อค่า TF ในส่วนต่างๆของหญ้าชน แต่ที่อายุ 30 และ 45 วัน ฝนกรดและปุ๋ยมีผลเฉพาะที่ราก (TF_{SR}) ซึ่งแสดงในตารางที่ 7

โดยพบว่า ที่ pH 4 ปัจจัยการใช้ปุ๋ย ทำให้ค่า TF_{SR} มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหญ้าขนอายุ 30 วัน ฝนกรดสังเคราะห์ที่ pH 4 และไม่ใช้ปุ๋ย จะให้ค่า TF_{SR} สูงสุด คือ 0.889 ส่วนที่อายุ 45 วัน ฝนกรดสังเคราะห์ที่ pH 5 และไม่มีการใช้ปุ๋ย จะให้ค่า TF_{SR} คือ 0.586 ดังรูปที่ 3

3.4 การกระจายตัวของสารรังสี ^{134}Cs และ ^{60}Co

จากตารางที่ 2-7 ในสภาวะการปลูกเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่า TF ของ ^{134}Cs และ ^{60}Co ในแต่ละส่วนของหญ้าขน พบว่า ในใบ ค่า TF_{SP} ของ ^{134}Cs มีค่ามากกว่าค่า TF_{SP} ของ ^{60}Co สำหรับในเหง้าและในรากค่า TF_{SRh} และ TF_{SR} ของ ^{134}Cs มีค่าน้อยกว่าค่า TF_{SRh} และ TF_{SR} ของ ^{60}Co เมื่อพิจารณาปริมาณการสะสมของสารรังสีแต่ละตัวในส่วนต่างๆของหญ้าขน พบว่า สารรังสีทั้งสองมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน ดังนี้ ค่า $TF_{SR} >$ ค่า $TF_{SRh} >$ ค่า TF_{SP}

4.วิจารณ์และสรุปผล

ความเป็นกรดของฝนสังเคราะห์มีผลเฉพาะค่า TF_{SP} และ TF_{SRh} ของ ^{134}Cs เมื่อพืชอายุน้อย ผลการทดลองนี้อาจอธิบายได้จากสมมติฐานที่ว่า ^{134}Cs เป็น analog ของ ธาตุโปแตสเซียม (K) และพบว่าที่ ช่วง pH 5-6 เป็นช่วงที่พืชสามารถดูดซึม K จากสารละลายดินได้มาก [12] จึงอาจเป็นไปได้ว่า พืชสามารถดูดซึม ^{134}Cs จากสารละลายดินได้ดีในช่วง pH ดังกล่าวเช่นกัน และเนื่องจาก ^{134}Cs สามารถเคลื่อนย้ายไปสู่ใบได้ดี และพบว่าดินอ่อนของพืชตระกูลหญ้ามีการดูดซึมสารรังสีได้มากกว่าพืชต้นแก่ [13] จึงทำให้ในดินอ่อนที่ได้รับฝนกรดที่ pH ดังกล่าว มีค่า TF_{SP} และ TF_{SRh} สูงสำหรับ ^{60}Co พบว่าความเป็นกรดของฝนไม่มีผลค่า TF ของ ^{60}Co ในทุกส่วนของหญ้าขน ตลอดช่วงการศึกษา ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า ปริมาณสารรังสี ^{60}Co ที่ปนเปื้อนในดินอาจไม่ถูกตรึงไว้ที่อนุภาคดินเท่าที่ควร ปริมาณ ^{60}Co ในสารละลายดินมีเพียงพอต่อการดูดซึมของ หญ้าขน อนุมูล H^+ จากฝนกรดที่ให้แก่ดิน ไม่ใช่ปัจจัยในการเพิ่ม ^{60}Co ในสารละลายดิน จึงไม่ทำให้ค่า TF ของ ^{60}Co เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเป็นกรดของฝน อย่างไรก็ตามในการสรุปประเมินผลควรคำนึงถึงระดับความแปรปรวนของข้อมูลด้วย เนื่องจากค่าเฉลี่ยที่ได้มีความแปรปรวนพอสมควร

อิทธิพลของปุ๋ยโปแตสเซียม จะส่งผลต่อค่า TF_{SP} ของ ^{134}Cs เท่านั้น โดยปุ๋ยทำให้ค่า TF_{SP} ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ [10] ถึงแม้ว่า ^{134}Cs เป็นธาตุ analog ของ K และเชื่อว่าธาตุทั้งสองน่าจะมีความพฤติกรรมใกล้เคียงกัน แต่พืชก็มีความสามารถแยกแยะธาตุทั้งสองได้ พบว่าเมื่อมี K อยู่ในสารละลายดินมากขึ้น พืชเลือกดูดซึม K มากกว่า ^{134}Cs เนื่องจาก K เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นของพืช ซึ่งการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของหญ้าขน ในการเลือกดูดซึม K^+ ในสัดส่วนที่มากกว่า ^{134}Cs เมื่อมีการใช้ปุ๋ย

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณ ^{134}Cs และ ^{60}Co ในส่วนต่าง ๆ ของพืช จะเห็นว่า ที่สภาวะการปลูกเดียวกัน ในดิน ค่า TF_{SP} ของ ^{134}Cs มีค่ามากกว่าค่า TF_{SP} ของ ^{60}Co ในขณะที่ในเหง้าและรากค่า TF_{SRh} และ TF_{SR} ของ ^{134}Cs มีค่าน้อยกว่าค่า TF_{SRh} และ TF_{SR} ของ ^{60}Co ส่วนปริมาณการสะสมของสารรังสีแต่ละตัวในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าชน พบว่า ค่า $\text{TF}_{\text{SR}} > \text{ค่า TF}_{\text{SRh}} > \text{ค่า TF}_{\text{SP}}$ ทั้งนี้ อาจอธิบายได้ว่ารากต้องการ ^{60}Co มากกว่า ^{134}Cs เพื่อช่วยในขบวนการ N_2 fixation ในรากของพืช [11] ในขณะที่ ^{134}Cs เคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนใบได้ดี [9]

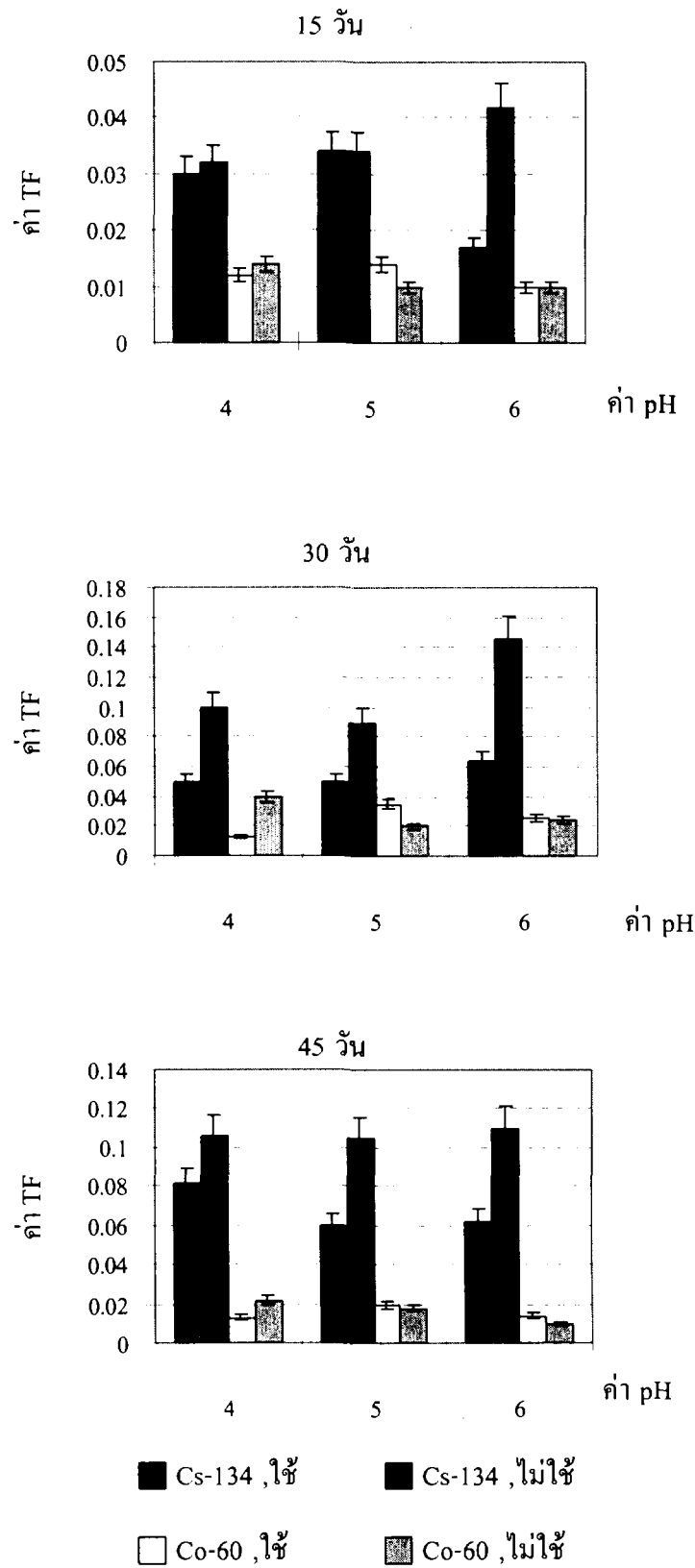
กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพรศรี พลพงษ์ คุณฟูเกียรติ สีนาคม คุณไพรัช ศรีโยธา คุณรัชชัย อธิพิพนธกร เจ้าหน้าที่กองการวัดกัมมันตภาพรังสี และ เจ้าหน้าที่กองขจัดกากกัมมันตรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

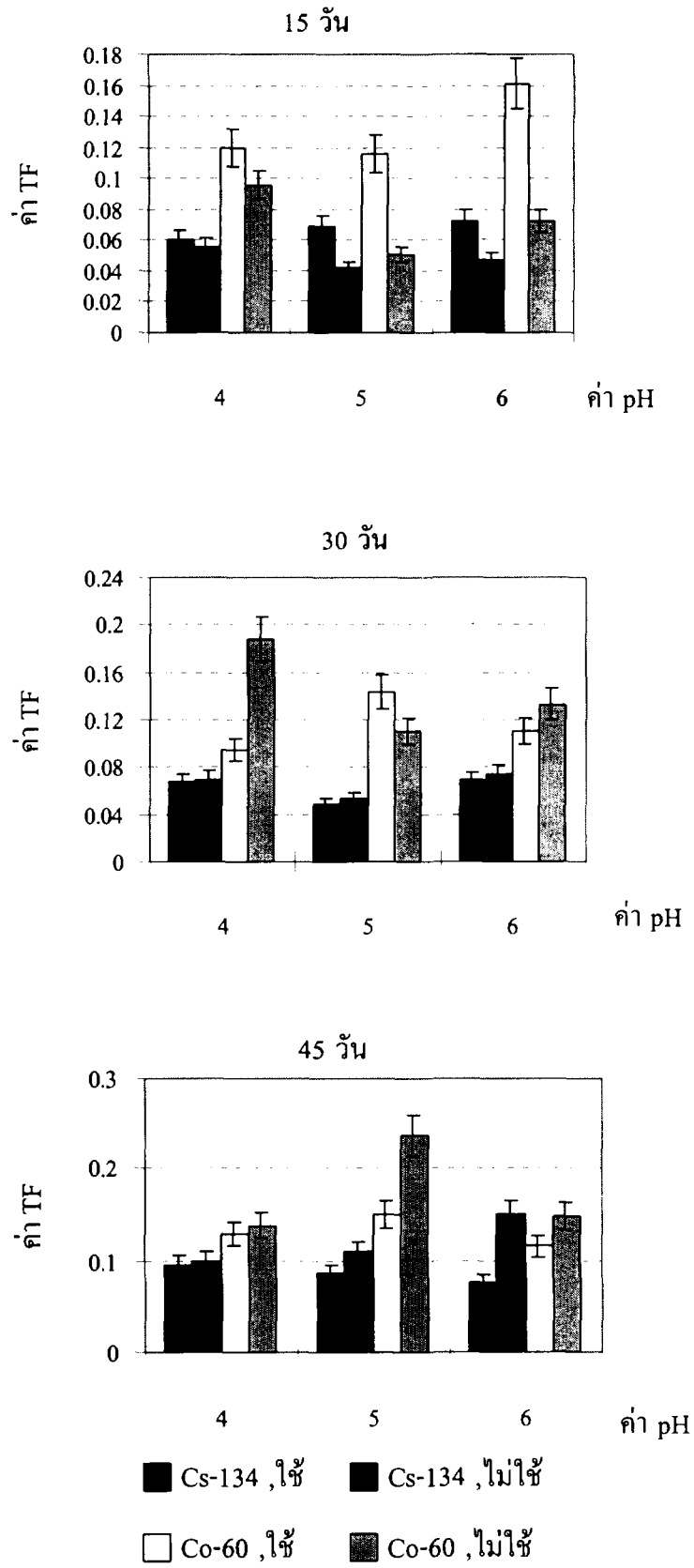
เอกสารอ้างอิง

1. Schuttelkopf, H., 1998, "Determination of radionuclides in environmental samples: Behaviour of radioiodine, radiocesium and plutonium", IAEA Interregional Training Course, pp.12-21.
2. Harvey, N.W., Shaw, G., Bell, N.J.B., 1997, "Influence of plant roots upon the mobility of radionuclides in soil, with respect to location of contamination below the surface", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol.226 (1-2), pp.159-173.
3. Bai-nai, T., Muramatsu, Y., Yoshida, S., Yanagisawa, Y., 1996, "Studies on the transfer of Cs, Sr, Co, Mn and Zn from soil to plants and from medium to mushrooms by using radiotracer," NUCLEAR CROSS-OVER RESERACH International Workshop Proceedings, Improvement of Environmental Transfer Models and Parameters, Japan, pp. 181-190.
4. Rudge, S.A., Johnson, M.S., Leah, R.T., Jones, S.R., 1993, "Biological transport of radiocaesium in a semi-natural grassland ecosystem. 1. Soils, Vegetation and Invertebrates", Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 19, pp 173-198.
5. Malm, J., Rantavaara, A., Uusi-Rauva, A. and Paakkola, O., 1991, "Uptake of caesium-137 from peat and compost mould by vegetable in a greenhouse experiment", Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 14, pp.123-133.

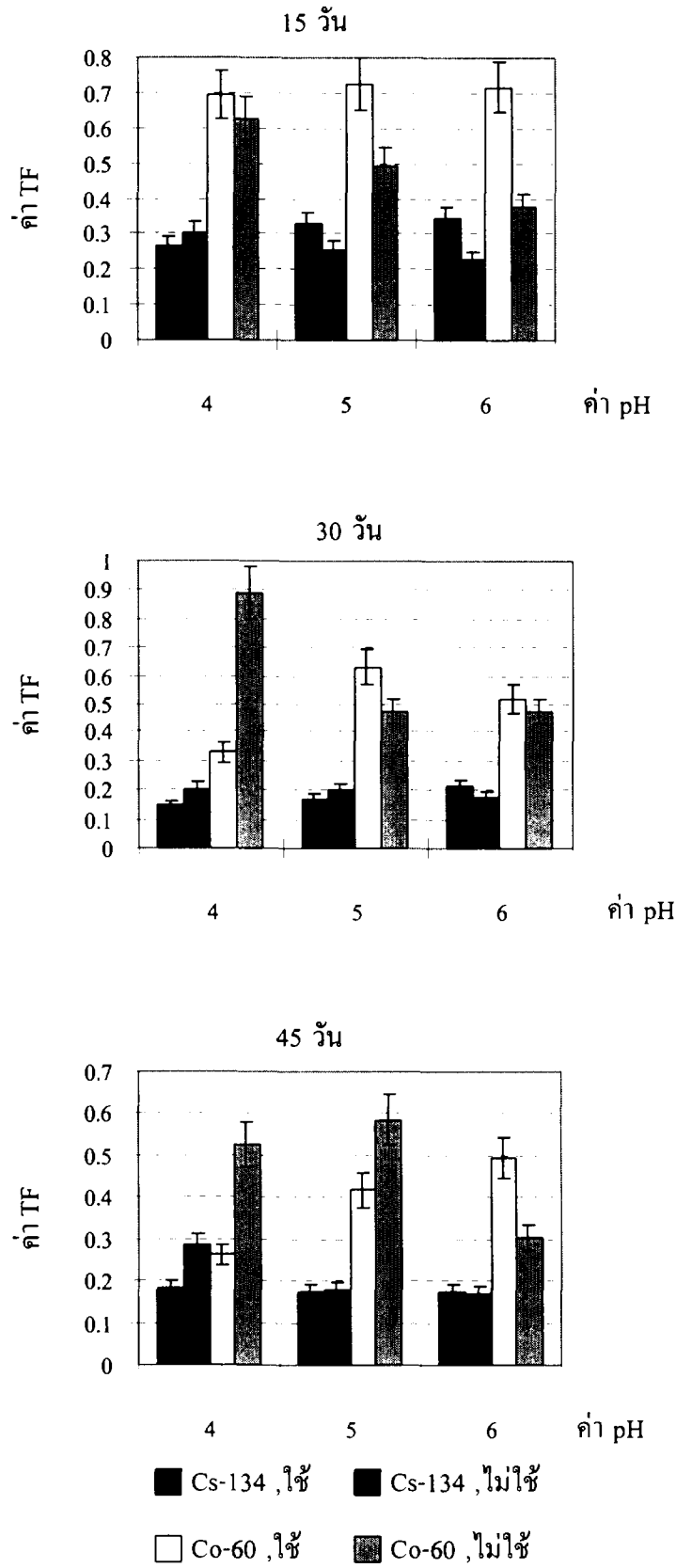
6. Fesenko, S.V., Colgan, P.A., Sanzharova, N.I., Lissianski, K.B., Vazquez, C., Guardans, R., 1997, "The dynamics of the transfer of caesium-137 to animal fodder in areas of Russia affected by the Chernobyl accident and doses resulting from the consumption of milk and milk products", Radiation Protection Dosimetry, Vol 69, N0.4, Nuclear Technology Publishing, pp.289-298.
7. Salbu, B., Oughton, D.H., Ratnikov, A.V., Zhitareva, T.L., Kruglov, S.V., Petrov, K.V., Grebenshakikova, N.V., Firsakova, S.K., Aztasheva, N.P., Loshchilov, N.V., Hovel, K., and Strand P., 1994, "The mobility of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in agricultural soils in the Ukraine, Belarus and Russia 1991", Journal of Health Physics Society, Vol. 67 (5), pp. 518-528.
8. Roca, M.C., and Vallejo, V.R., 1995, "Effect of soil potassium and calcium on caesium and strontium uptake by plant roots", Journal of Environmental Radioactivity, Vol.28, pp.141-159.
9. Nisbet, A.F., Shaw, G., 1994, "Summary of a 5-year lysimeter study on the time dependent transfer of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ^{239,240}Pu and ²⁴¹Am to crops from three contrasting soil types: 1. transfer to the edible portion", Journal of Environmental Radioactivity, Vol.23, pp.1-17.
10. Nishita, H., Wallace, A., and Romney, E.M., 1978, "Radionuclide uptake by plants", University of California, US.
11. Marschner, H., 1995, "Mineral nutrition of higher plants", 2nd ed., Academic Press Inc., UK.
12. สมชาย องคประเสริฐ, 2531, ปฐพีเบื้องต้น, ภาควิชาดินและปุ๋ย, คณะผลิตภัณฑการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.
13. Suvormmongkhol, N., 1996, "Uptake of radionuclides by wheat roots with respect to location below the surface", PhD.thesis, Imperial College, University of London, UK.



รูปที่ 1 แสดงค่า TF_{sp} ของ ¹³⁴Cs และ ⁶⁰Co ในหญ้าขน ที่อายุต่างๆ (mean ± SD)



รูปที่ 2 แสดงค่า TF_{SRh} ของ ¹³⁴Cs และ ⁶⁰Co ในหญ้าขน ที่อายุต่างๆ (mean ± SD)



รูปที่ 3 แสดงค่า TF_{SR} ของ ¹³⁴Cs และ ⁶⁰Co ในหญ้าขน ที่อายุต่างๆ (mean ± SD)

ตารางที่ 2 ค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ของ ^{134}Cs ในหญ้าขน ที่ได้รับอิทธิพลของฝนกรด

pH	15 วัน			30 วัน			45 วัน		
	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก
4	0.031 ± 0.001^a	0.058 ± 0.014^a	0.283 ± 0.075^a	0.075 ± 0.034^{ab}	0.069 ± 0.004^a	0.177 ± 0.058^a	0.093 ± 0.016^a	0.098 ± 0.025^a	0.235 ± 0.068^a
5	0.034 ± 0.006^a	0.056 ± 0.008^a	0.290 ± 0.115^a	0.070 ± 0.025^b	0.051 ± 0.010^b	0.185 ± 0.024^a	0.083 ± 0.028^a	0.099 ± 0.037^a	0.176 ± 0.026^a
6	0.029 ± 0.016^a	0.060 ± 0.000^a	0.286 ± 0.071^a	0.105 ± 0.052^a	0.072 ± 0.026^a	0.194 ± 0.025^a	0.086 ± 0.029^a	0.112 ± 0.061^a	0.173 ± 0.012^a

ตารางที่ 3 ค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ของ ^{60}Co ในหญ้าขน ที่ได้รับอิทธิพลของฝนกรด

pH	15 วัน			30 วัน			45 วัน		
	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก
4	0.013 ± 0.007^a	0.108 ± 0.039^a	0.660 ± 0.077^a	0.026 ± 0.018^a	0.142 ± 0.070^a	0.608 ± 0.393^a	0.018 ± 0.007^a	0.133 ± 0.029^a	0.393 ± 0.173^a
5	0.012 ± 0.004^a	0.084 ± 0.050^a	0.611 ± 0.254^a	0.027 ± 0.017^a	0.128 ± 0.059^a	0.554 ± 0.127^a	0.019 ± 0.003^a	0.193 ± 0.092^a	0.502 ± 0.099^a
6	0.010 ± 0.004^a	0.117 ± 0.060^a	0.547 ± 0.197^a	0.024 ± 0.004^a	0.122 ± 0.049^a	0.496 ± 0.089^a	0.012 ± 0.005^a	0.132 ± 0.044^a	0.398 ± 0.131^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n=4) ที่มีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย DMRT

ตารางที่ 4 ค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ของ ^{134}Cs ในหญ้าขน ที่ได้รับอิทธิพลของปุ๋ย

ปุ๋ย	15 วัน			30 วัน			45 วัน		
	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก
ใช้	0.027 ± 0.008^a	0.067 ± 0.016^a	0.311 ± 0.104^a	0.054 ± 0.013^b	0.062 ± 0.020^a	0.178 ± 0.041^a	0.068 ± 0.012^b	0.087 ± 0.031^a	0.178 ± 0.025^a
ไม่ใช้	0.036 ± 0.008^a	0.049 ± 0.008^a	0.261 ± 0.044^a	0.112 ± 0.033^a	0.066 ± 0.017^a	0.193 ± 0.031^a	0.107 ± 0.011^a	0.120 ± 0.043^a	0.211 ± 0.063^a

ตารางที่ 5 ค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ของ ^{60}Co ในหญ้าขน ที่ได้รับอิทธิพลของปุ๋ย

ปุ๋ย	15 วัน			30 วัน			45 วัน		
	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก
ใช้	0.012 ± 0.004^a	0.133 ± 0.049^a	$0.713^a \pm 0.163$	0.024 ± 0.015^a	0.116 ± 0.054^a	0.492 ± 0.168^a	0.016 ± 0.005^a	0.132 ± 0.064^a	0.391 ± 0.128^a
ไม่ใช้	0.011 ± 0.006^a	0.073 ± 0.022^a	$0.500^a \pm 0.130$	0.028 ± 0.012^a	0.144 ± 0.057^a	0.612 ± 0.275^a	0.017 ± 0.006^a	0.174 ± 0.059^a	0.472 ± 0.141^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n=6) ที่มีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย DMRT

ตารางที่ 6 ค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ของ ^{134}Cs ในหญ้าขน ที่ได้รับอิทธิพลของฝนกรด และการใช้ปุ๋ย

pH	ปุ๋ย	15 วัน			30 วัน			45 วัน		
		ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก
4	ใช้	0.030±0.002 ^{ab}	0.060±0.023 ^a	0.264±0.115 ^a	0.050±0.019 ^b	0.068±0.000 ^a	0.150±0.058 ^a	0.081±0.000 ^{bc}	0.096±0.010 ^a	0.184±0.052 ^b
	ไม่ใช้	0.032±0.001 ^{ab}	0.056±0.002 ^a	0.302±0.044 ^a	0.100±0.024 ^{ab}	0.070±0.008 ^a	0.204±0.062 ^a	0.106±0.012 ^{ab}	0.100±0.042 ^a	0.285±0.034 ^a
5	ใช้	0.034±0.001 ^{ab}	0.069±0.017 ^a	0.326±0.184 ^a	0.050±0.011 ^b	0.049±0.014 ^a	0.170±0.028 ^a	0.060±0.010 ^c	0.087±0.047 ^a	0.173±0.003 ^b
	ไม่ใช้	0.034±0.011 ^{ab}	0.042±0.001 ^a	0.253±0.017 ^a	0.090±0.012 ^{ab}	0.053±0.010 ^a	0.200±0.001 ^a	0.105±0.017 ^{ab}	0.110±0.037 ^a	0.179±0.044 ^b
6	ใช้	0.017±0.003 ^b	0.072±0.018 ^a	0.344±0.015 ^a	0.064±0.012 ^b	0.069±0.037 ^a	0.212±0.016 ^a	0.062±0.009 ^c	0.076±0.049 ^a	0.176±0.015 ^b
	ไม่ใช้	0.042±0.011 ^a	0.047±0.010 ^a	0.228±0.037 ^a	0.146±0.034 ^a	0.074±0.028 ^a	0.175±0.014 ^a	0.110±0.011 ^a	0.149±0.058 ^a	0.170±0.014 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n=2) ที่มีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย DMRT

ตารางที่ 7 ค่า Soil-to-Plant Transfer Factor (TF) ของ ^{60}Co ในหญ้าขน ที่ได้รับอิทธิพลของฝนกรด และ การใช้ปุ๋ย

pH	ปุ๋ย	15 วัน			30 วัน			45 วัน		
		ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก	ต้น	เหง้า	ราก
4	ใช้	0.012±0.006 ^a	0.120±0.063 ^a	0.693±0.018 ^a	0.013±0.003 ^a	0.095±0.051 ^a	0.328±0.145 ^b	0.013±0.001 ^a	0.128±0.004 ^a	0.261±0.093 ^c
	ไม่ใช้	0.014±0.010 ^a	0.096±0.003 ^a	0.627±0.114 ^a	0.040±0.016 ^a	0.188±0.057 ^a	0.889±0.357 ^a	0.022±0.007 ^a	0.138±0.049 ^a	0.525±0.105 ^{ab}
5	ใช้	0.014±0.006 ^a	0.116±0.053 ^a	0.727±0.363 ^a	0.035±0.025 ^a	0.144±0.096 ^a	0.633±0.113 ^{ab}	0.020±0.004 ^a	0.150±0.120 ^a	0.418±0.040 ^{abc}
	ไม่ใช้	0.010±0.001 ^a	0.051±0.018 ^a	0.495±0.093 ^a	0.020±0.006 ^a	0.111±0.013 ^a	0.474±0.103 ^{ab}	0.018±0.002 ^a	0.237±0.058 ^a	0.586±0.009 ^a
6	ใช้	0.010±0.003 ^a	0.161±0.052 ^a	0.717±0.020 ^a	0.025±0.004 ^a	0.110±0.023 ^a	0.517±0.107 ^{ab}	0.014±0.008 ^a	0.116±0.070 ^a	0.493±0.126 ^{ab}
	ไม่ใช้	0.010±0.006 ^a	0.073±0.013 ^a	0.378±0.025 ^a	0.024±0.006 ^a	0.133±0.079 ^a	0.475±0.102 ^{ab}	0.010±0.001 ^a	0.148±0.006 ^a	0.304±0.018 ^{bc}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (n=2) ที่มีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย DMRT