ผลของอะลูมิเนียมซัลเฟตต่อการสะสมของแคดเมียมในข้าว

*วรารัตน์ คำหวาน[1] นรินทร์ บุญตานนท์[1] เบญจภรณ์ ประภักดี[1]
อัจฉราพร ขำโสภา[1] และกนกพร บุญศิริชัย[2]
[1]คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 999 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา
อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 โทรศัพท์ : 0-2849-6000 อีเมล : khamvarn@hotmail.com
[2]สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 9/9 ม. 7 ต.ทรายมูล อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
โทร 037 392901-6 โทรสาร 037 392913

บทคัดย่อ

ศึกษาการสะสมของแคดเมียมในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และสุพรรณบุรี 60 เมื่อได้รับอะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนสำหรับยับยั้งการสะสมของแคดเมียมในข้าว โดยใช้วิธีปลูกแบบ hydroponics ในอาหารที่เติมแคดเมียมไนเตรต 4 ppm หรือเติมแคดเมียมไนเตรทร่วมกับอะลูมิเนียมซัลเฟต 4 ppm นำตัวอย่าง ราก ลำต้นและใบ และเมล็ดข้าวไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมด้วยเทคนิค atomic absorption spectroscopy และ inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy พบว่าเมื่อไม่เติมอะลูมิเนียมซัลเฟต ข้าวปทุมธานี 1 และสุพรรณบุรี 60 สะสมแคดเมียมในปริมาณ 24.71 ± 3.14 ppm และ 34.43 ± 4.51 ppm ของน้ำหนักแห้งทั้งต้นตามลำดับ เมื่อเติมอะลูมิเนียมซัลเฟต พบการสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้นจากเดิมคือ 40.66 ± 2.47 ppm และ 62.94 ± 10.69 ppm ตามลำดับ การเติมสารตกตะกอนชนิดอะลูมิเนียมซัลเฟตในวัสดุปลูกจึงไม่สามารถยับยั้งการสะสมแคดเมียมในต้นข้าว แต่ก่อให้เกิดการสะสมของแคดเมียมในปริมาณที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในส่วนเหนือดินและเมล็ด ผลการทดลองนี้จะเป็นพื้นฐานสำหรับการวิจัยเพื่อการจัดการพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งปนเปื้อนด้วยแคดเมียมและอะลูมิเนียมในอนาคต

คำสำคัญ : แคดเมียม การสะสมโลหะหนัก ข้าว

Effects of Aluminium Sulfate on Cadmium Accumulation in Rice

*Vararas Khamvarn[1], Narin Boontanon[1], Benjaphorn Prapagdee[1],
Acharaporn Kumsopa[1] and Kanokporn Boonsirichai[2]
[1]Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, 999 Phutthamonthon 4 Road, Salaya,
Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170, Tel : 66 (0) 2849-6230, E-mail: khamvarn@hotmail.com.
[2]Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), 9/9 Mu 7, Sai Mun, Ongkharak,
Nakhon Nayok 26120, Tel. 037 392901-6, Fax. 037 392913.

Abstract

Cadmium accumulation in Pathum Thani 1 and Suphan Buri 60 rice cultivars was investigated upon treatment with aluminium sulfate as a precipitant. Rice was grown hydroponically in a medium containing 4 ppm cadmium nitrate with or without 4 ppm aluminium sulfate. Root, stem with leaves and grain samples were

collected and analyzed for cadmium content using atomic absorption spectroscopy and inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy. Without the addition of aluminium sulfate, Pathum Thani 1 and Suphan Buri 60 accumulated 24.71 ± 3.14 ppm and 34.43 ± 4.51 ppm (dry weight of whole plant) of cadmium, respectively. With aluminium sulfate, cadmium accumulation increased to 40.66 ± 2.47 ppm and 62.94 ± 10.69 ppm, respectively. The addition of aluminium sulfate to the planting medium did not reduce cadmium accumulation but caused the rice to accumulate more cadmium especially in the shoots and grains. This observation might serve as the basis for future research on the management of agricultural areas that are contaminated with cadmium and aluminium.

Keywords: cadmium, heavy metal accumulation, rice

1.บทนำ

การปนเปื้อนแคดเมียมเป็นปัญหาสำคัญสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ใกล้อุตสาหกรรมขนาดใหญ่[1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ห้วยแม่ตาว อ.แม่สอด จ.ตาก[2,3] ซึ่งพบการปนเปื้อนในพื้นที่ปลูกข้าวถึง 13,200 ไร่[4] ในปี 2544 – 2546 การปนเปื้อนในแปลงนามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน European Comission ที่ 3 mg/kg ถึง 72 เท่า[2] และ กว่าร้อยละ 80 ของตัวอย่างข้าวมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าค่ามาตรฐานของญี่ปุ่นที่ 1 mg/kg เป็นเหตุให้เกษตรกรต้องลดพื้นที่ปลูกข้าวไปแล้วกว่า 7,000 ไร่[4]

แคดเมียมมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ การบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียมติดต่อกันเป็นระยะเวลานานก่อให้เกิดกระดูกพรุนและภาวะไตวาย หรือโรคอิไตอิไต[2] การกำจัดแคดเมียมในพื้นที่ปลูกข้าวจึงเป็นสิ่งที่ต้องจัดการเร่งด่วน สำหรับอุตสาหกรรมที่ปล่อยน้ำเสียปนเปื้อนด้วยแคดเมียม การตกตะกอนด้วยสารเคมีและการแยกด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นการบำบัดที่ใช้โดยทั่วไป[1] หากต้องนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณการปนเปื้อนในดิน การตกตะกอนด้วยสารเคมีน่าจะเป็นวิธีที่สะดวกและเป็นไปได้

$Al_2(SO_4)_3$ เป็นสารที่ใช้ตกตะกอนโลหะหนักในการบำบัดน้ำเสีย[5] ก่อให้เกิดคอลลอยด์ของ hydroxyl polymer ของอะลูมิเนียมซึ่งสามารถเกิด complex กับแคดเมียมได้[6] งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการลดปริมาณแคดเมียมในสารละลายน้ำ และทดสอบสมมติฐานในการยับยั้งการสะสมของแคดเมียมในข้าว ด้วยการตกตะกอนแคดเมียมในวัสดุปลูกด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเพาะเลี้ยงข้าว

เพาะเลี้ยงข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี 60 ในระบบ hydroponics ซึ่งบรรจุอาหารเหลวปริมาตร 20 ลิตร ประกอบด้วย NH_4NO_3 91.4 mg/L KH_2PO_4 39.75 mg/L K_2SO_4 71.4 mg/L

$CaCl_2.2H_2O$ 88.6 mg/L $MgSO_4.7H_2O$ 324 mg/L $FeSO_4.7H_2O$ 69.8 mg/L $MnCl_2.4H_2O$ 1.5 mg/L $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 0.074 mg/L H_3BO_3 0.934 mg/L $CuSo_4.5H_2O$ 0.031 mg/L $FeSO_4.7H_2O$ 7.7 mg/L citric acid monohydrate 11.9 mg/L วางแผนการทดลองแบบ completely randomized block design ทำการทดลองสามซ้ำโดยเติม $Cd(NO_3)_2$ และ $Al_2(SO_4)_3$ ในปริมาณที่เทียบเท่ากับแคดเมียมหรืออะลูมิเนียม 0 – 10 ppm ปรับ pH เป็น 6.0

2.2 การตรวจวัดปริมาณแคดเมียม

ราก ส่วนเหนือดิน และเมล็ดข้าวถูกอบแห้งที่ 70 °C นำไปบดละเอียดและย่อยตัวอย่าง 0.5 g ใน HNO_3 : H_2O_2 4 : 1 ด้วยไมโครเวฟ กรองและปรับปริมาตรเป็น 50 ml ด้วยน้ำกลั่น ประเมินปริมาณ Cd ด้วย atomic absorption spectroscopy ที่มหาวิทยาลัยมหิดล และด้วย inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

2.3 การวิเคราะห์สถิติ

วิเคราะห์สถิติด้วยวิธี t-test และ ANOVA ตามด้วย Tukey's honestly significant different test โดยใช้โปรแกรม GraphPad Prism v.5.04 ค่า *p* value ที่ต่ำกว่า 0.05 ถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของแคดเมียมไนแทรตและอะลูมิเนียมซัลเฟตต่อการเจริญของข้าว

เมื่อปลูกข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี 60 ในอาหารที่เติมแคดเมียมความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปของ $Cd(NO_3)_2$ หรือเติมแคดเมียมร่วมกับ $Al_2(SO_4)_3$ ในอัตราส่วน 1 : 1 (Cd : Al w/w) พบว่าแคดเมียมมีผลทำให้ความสูงของต้นและความยาวของรากลดลง (Fig. 1) และ $Al_2(SO_4)_3$ ไม่มีผลต่อการตอบสนองต่อแคดเมียมของต้นและรากของข้าวทั้งสองพันธุ์ โดยในภาพรวมข้าวสุพรรณบุรี 60 มีความทนทานต่อแคดเมียมสูงกว่าข้าวปทุมธานี 1 อย่างมีนัยสำคัญ (paired t-test)

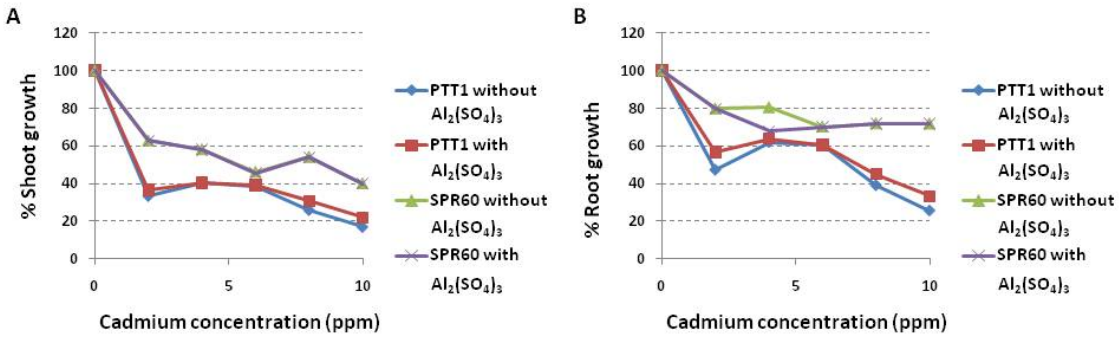

Fig. 1 Growth of rice shoot (A) and root (B) in response to Cd with or without $Al_2(SO_4)_3$ (Cd : Al = 1:1 w/w). Two rice cultivars were investigated: Pathum Thani 1 (PTT1) and Suphan Buri 60 (SPR60).

จากข้อมูลที่ได้ จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 4 ppm ในรูปของ $Cd(NO_3)_2$ และ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ความเข้มข้นเทียบเท่ากับอะลูมิเนียม 4 ppm สำหรับทดสอบการสะสมของแคดเมียมในข้าว เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนทางสิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อการเจริญของข้าวในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการทดลอง

3.2 ผลของอะลูมิเนียมซัลเฟตต่อการตกตะกอนแคดเมียม

เมื่อทดสอบความสามารถของ $Al_2(SO_4)_3$ ในการทำให้แคดเมียมตกตะกอน โดยเติม $Al_2(SO_4)_3$ เทียบเท่ากับอะลูมิเนียม 4 ppm ในสารละลายน้ำของ $Cd(NO_3)_2$ ความเข้มข้นเทียบเท่ากับแคดเมียม 4 ppm แล้วกวนทิ้งไว้ พบว่าเกิดตะกอนสีขาว เมื่อเก็บตัวอย่างสารละลายมาวัดปริมาณแคดเมียม พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่าลดลงตามเวลาที่ผ่านไป (Fig.2) ในขณะที่สารละลาย $Cd(NO_3)_2$ ที่ไม่เติม $Al_2(SO_4)_3$ ไม่พบตะกอนดังกล่าว แสดงว่า $Al_2(SO_4)_3$ มีผลทำให้แคดเมียมตกตะกอนได้จริง

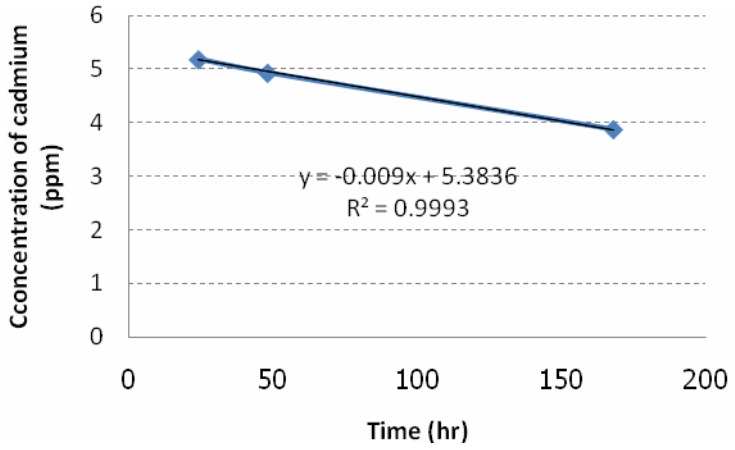

Fig. 2 The ability of $Al_2(SO_4)_3$ as a precipitant of Cd in aqueous solution over time, measured as the concentration of cadmium remaining in the solution.

3.3 ผลของอะลูมิเนียมซัลเฟตต่อการสะสมแคดเมียมในข้าว

เมื่อเพาะเลี้ยงข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี 60 ในอาหารเหลวที่ประกอบด้วยแคดเมียม 4 ppm เป็นเวลา 120 วัน พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์สะสมแคดเมียมสูงที่สุดในส่วนรากทั้งเชิงปริมาณและความเข้มข้น (Table 1 และ 2) และยังพบการสะสมในส่วนลำต้นและใบ และในเมล็ดข้าว แต่น้อยกว่าการสะสมในรากทั้งเชิงปริมาณและความเข้มข้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Liu และคณะ[7] โดยข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี 60 มีการสะสมแคดเมียมเฉลี่ยทั้งต้น 24.71 ± 3.14 mg/kg และ 34.43 ± 4.51 mg/kg ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อเพาะเลี้ยงข้าวทั้งสองพันธุ์ในอาหารเหลวที่ประกอบด้วยแคดเมียม 4 ppm และ $Al_2(SO_4)_3$ เทียบเท่ากับอะลูมิเนียม 4 ppm ตรวจพบการสะสมของแคดเมียมในราก ลำต้นและใบ และในเมล็ด เช่นกัน โดยข้าวปทุมธานี 1 และข้าว

สุพรรณบุรี 60 มีการสะสมแคดเมียมเฉลี่ยทั้งต้น 40.66 ± 2.47 mg/kg และ 62.94 ± 10.69 mg/kg ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเมื่อไม่เติม $Al_2(SO_4)_3$ อย่างมีนัยสำคัญ (one-tailed t-test) แสดงว่าการเติม $Al_2(SO_4)_3$ ในอาหารเพาะเลี้ยงมีผลทำให้ข้าวดูดซึมแคดเมียมไปสะสมไว้ในเนื้อเยื่อได้มากขึ้น ซึ่งผิดไปจากสมมติฐานที่ตั้งไว้

Table 1 Distribution of cadmium among different parts of the rice plant

	Cd distribution (% whole plant)			
Cultivar	PTT1		SPR60	
Treatment	$Cd(NO_3)_2$	$Al_2(SO_4)_3$	$Cd(NO_3)_2$	$Al_2(SO_4)_3$
Root	72.89	44.41	57.22	71.41
Shoot	22.43	50.92	42.48	24.50
Grains	4.68	4.60	0.31	4.09

PTT1 = Pathum Thani 1; SPR60 = Suphan Buri 60

เมื่อประเมินการสะสมของแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่า $Al_2(SO_4)_3$ ไม่มีผลต่อการสะสมของแคดเมียมในรากของข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี 60 อย่างมีนัยสำคัญ (Table 2) แต่มีผลต่อการสะสมของแคดเมียมในเมล็ดข้าวของทั้งสองพันธุ์ โดยพบการสะสมในเมล็ดข้าวที่ได้รับแคดเมียมควบคู่กับ $Al_2(SO_4)_3$ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และถึงแม้ข้าวสุพรรณบุรี 60 จะมีแนวโน้มการสะสมแคดเมียมเฉลี่ยทั้งต้นสูงกว่าข้าวปทุมธานี 1 แต่เมล็ดของข้าวสุพรรณบุรี 60 กลับมีการสะสมของแคดเมียมในความเข้มข้นที่ต่ำกว่าเมล็ดของข้าวปทุมธานี 1 ดังนั้นหากจำเป็นต้องปลูกข้าวในพื้นที่ที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม ข้าวสุพรรณบุรี 60 จึงน่าจะปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากกว่าข้าวปทุมธานี 1

Table 2 Cadmium accumulation in different parts of the rice plant

	Cd accumulation (mg/kg dry weight)[$]			
Cultivar	PTT1[@]		SPR60[@]	
Treatment	$Cd(NO_3)_2$	$Al_2(SO_4)_3$	$Cd(NO_3)_2$	$Al_2(SO_4)_3$
Whole plant	24.71 ± 3.14^{a}	40.66 ± 2.47^{a}	34.43 ± 4.51^{a}	62.94 ± 10.69
Roots	284.10 ± 41.08^{a}	242.70 ± 29.8^{a}	247.90 ± 35.11^{a}	179.10 ± 32.10^{a}
Shoots	6.17 ± 0.73^{a}	23.40 ± 3.29^{b}	15.67 ± 3.45^{a}	21.23 ± 3.67^{b}
Grains	15.33 ± 0.81^{a}	43.43 ± 1.48^{b}	4.00 ± 1.10^{c}	26.40 ± 2.93^{d}

[$]Mean ± S.E. are reported. Data marked with different letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$) by one-way ANOVA; [@]PTT1 = Pathum Thani 1, and SPR60 = Suphan Buri 60.

ข้อมูลความเข้มข้นของแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของข้าว (Table 2) แสดงว่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้นเมื่อดูจากค่าเฉลี่ยของทั้งต้นหลังจากได้รับ $Cd(NO_3)_2$ ร่วมกับ $Al_2(SO_4)_3$ ไม่ได้เกิดจากการเพิ่มการสะสมในราก แต่เกิดจากการเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากรากไปสะสมไว้ในส่วนเหนือดินและในเมล็ดเพิ่มมากขึ้น และแสดงว่าค่าการสะสมของแคดเมียมในรากที่วัดได้น่าจะอยู่ในช่วงสูงสุดที่เนื้อเยื่อรากสามารถรับได้ภายใต้สภาวะการเจริญนี้ ความสามารถของพืชในการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากรากไปยังส่วนเหนือดินเป็นปัจจัยหนึ่งในการคัดเลือกพืชบำบัดหรือคัดเลือกสารเพื่อกระตุ้นการดูดซับโลหะหนักโดยพืชบำบัด[8] จึงอาจเป็นไปได้ว่า $Al_2(SO_4)_3$ มีสมบัติเป็นสารกระตุ้นให้ข้าวสามารถดูดซับแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นโดยกระตุ้นการการเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากรากไปยังส่วนเหนือดิน

3.4 สมมติฐานการเพิ่มการสะสมของแคดเมียมในข้าว

ผลการทดลองระบุว่า $Al_2(SO_4)_3$ ภายใต้สภาวะการปลูกข้าวแบบ hydroponics ไม่สามารถยับยั้งการสะสมของแคดเมียมในต้นข้าวได้ โดยพบการสะสมของแคดเมียมเพิ่มขึ้นกว่าเมื่อไม่เติม $Al_2(SO_4)_3$ ในวัสดุปลูก ถึงแม้ในการทดลองจะไม่ได้วัดปริมาณแคดเมียมที่คงเหลือในอาหารเพาะเลี้ยงข้าว แต่พบการตกตะกอนสีขาวเช่นเดียวกันกับที่พบในสารละลายน้ำที่ประกอบด้วย $Cd(NO_3)_2$ และ $Al_2(SO_4)_3$ เท่านั้น จึงคาดว่าแคดเมียมบางส่วนในอาหารเพาะเลี้ยงน่าจะเกิดการตกตะกอนด้วยเช่นกัน

สาเหตุที่ $Al_2(SO_4)_3$ ทำให้ข้าวดูดซึมแคดเมียมได้ดีขึ้นอาจเป็นเพราะอะลูมิเนียมไปกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ micro-environment รอบ ๆ ราก Yang และคณะ[9] รายงานว่าอะลูมิเนียมมีผลกระตุ้นให้รากของพืชตระกูลส้ม (*Citrus*) หลั่ง malate และ citrate anions ออกมามากขึ้น ถึงแม้กรดอินทรีย์เหล่านี้จะสามารถ chelate และตรึง Al^{3+} ไว้ในวัสดุปลูกได้[10] รายงานจาก Huang และคณะ[11] ได้กล่าวถึงความสามารถของกรด citric ในการกระตุ้นการสะสมของโลหะหนักชนิดอื่นในพืช จึงเป็นไปได้ว่าการเติม $Al_2(SO_4)_3$ ในอาหารเพาะเลี้ยงในงานวิจัยนี้ กระตุ้นให้รากข้าวหลั่งกรดอินทรีย์ดังกล่าว ทำให้ micro-environment รอบ ๆ รากข้าวมีภาวะความเป็นกรดสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ของสารละลาย และ $Cd(NO_3)_2$ ที่ใช้เป็นแหล่งของแคดเมียมในงานวิจัยนี้สามารถละลายน้ำได้ดีในสภาวะกรด สภาพกรดอ่อนรอบ ๆ รากข้าวนี้อาจส่งผลให้ bioavailability ของแคดเมียมในสารละลายมีค่าสูงขึ้น ทำให้ข้าวสามารถดูดซับแคดเมียมได้มากขึ้นเมื่ออาหารเพาะเลี้ยงประกอบด้วยแคดเมียมและอะลูมิเนียมในปริมาณที่พอเหมาะ ซึ่งมีงานวิจัยที่สนับสนุนสมมติฐานนี้โดย Nigam และคณะ[12] ซึ่งระบุถึงความสามารถของกรดอินทรีย์บางชนิดในการเพิ่ม plant availability ของแคดเมียม

4. สรุป

เมื่อใช้ $Al_2(SO_4)_3$ ซึ่งเป็นสารที่ใช้ตกตะกอนโลหะหนักในการบำบัดน้ำเสียมาตกตะกอนแคดเมียมจากสารละลาย $Cd(NO_3)_2$ พบว่าสามารถตกตะกอนแคดเมียมได้จริง แต่เมื่อนำ $Al_2(SO_4)_3$ ปริมาณเทียบเท่ากับอะลูมิเนียม 4 ppm มาเติมในอาหารเพาะเลี้ยงข้าวในระบบ hydroponics ร่วมกับ $Cd(NO_3)_2$ ในปริมาณเทียบเท่ากับแคดเมียม 4 ppm พบว่า $Al_2(SO_4)_3$ ไม่สามารถลดปริมาณการสะสมแคดเมียมในข้าวได้เมื่อเปรียบเทียบกับการเติม $Cd(NO_3)_2$ เพียงอย่างเดียว และยังมีผลให้ข้าวสะสมแคดเมียมเพิ่มจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ โดยรากมีการสะสมสูงกว่าส่วนเหนือดินและเมล็ด และกลไกที่ทำให้ข้าวสะสมแคดเมียมได้เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากอะลูมิเนียมช่วยกระตุ้นให้รากข้าวหลั่งกรดอินทรีย์ที่มีผลเพิ่ม bioavailability ของแคดเมียมในอาหารเพาะเลี้ยง และเกิดจากการเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากรากไปสู่ส่วนลำต้นและใบ และเมล็ดข้าว และหากจำเป็นต้องเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม ข้าวสุพรรณบุรี 60 น่าจะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากกว่าข้าวปทุมธานี 1

5. เอกสารอ้างอิง

1. พรพรรณ พนาปวุฒิกุล, 2549. โลหะหนัก : ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม. ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. http://www.chemtrak.org.
2. ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา กระทรวงสาธารณสุข. การปนเปื้อนของสารแคดเมียม อ. แม่สอด จ.ตาก. http://webdb.dmsc.moph.go.th.
3. ข่าวสิ่งแวดล้อม. มูลนิธิโลกสีเขียว, 12 พฤศจิกายน 2553. แคดเมียมที่แม่ตาว หนังม้วนเดิมที่ยังไม่ได้แก้ไข. http://www.greenworld.or.th/greenworld/local/993.
4. ข่าวเกษตร, หนังสือพิมพ์คมชัดลึก, 6 มกราคม 2553. ก.เกษตรฯเร่งแผนพัฒนาลุ่มน้ำตาวแก้สารแคดเมียม. http://www.komchadluek.net.
5. Wikipedia. Aluminium sulfate. http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_sulfate.
6. Nylund, E., 2003. Cadmium uptake in willow (*Salix viminalis* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to plant growth and Cd concentration in soil solution. Msc Thesis, Department of Soil Sciences, Division of Environmental Physics, Swedish University of Agricultural Science.
7. Liu, J., Qian, M., Cai, G., Yang, J., Zhu, Q., 2007. Uptake and translocation of Cd in different rice cultivars and the relation with Cd accumulation in rice grain. J. Hazardous Materials 143, 443–447.

8. Li, J.T., Liao, B., Zhu, R., Dai, Z.Y., Lan, C.Y., Shu, W.S., 2011. Characteristics of Cd uptake, translocation and accumulation in a novel Cd-accumulating tree, star fruit (*Averrhoa carambola* L., Oxalidaceae). Envir. Exp. Bot. 71, 352-358.
9. Yang, L.T., Jiang, H.X., Tang, N., Chen, L.S., 2011. Mechanisms of aluminum-tolerance in two species of citrus: Secretion of organic acid anions and immobilization of aluminum by phosphorus in root. Plant Science 180, 521–530.
10. Ma, J.F., Ryan, P.R., Delhaize, E., 2001. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. Trends in Plant Science 6, 273-278.
11. Huang, J.W.W., Blaylock, M.J., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., 1998.
12. Nigam, R., Srivastava, S., Prakash, S., Srivastava M.M. 2002. Plant availability of cadmium in presence of organic acids: an interactive aspect. J. Environ Biol. 23, 175-180.