NU Science Journal 2008; 5(2): 190 - 199

การใช้หอมหัวใหญ่ (*Allium cepa*) บัวจีน (*Zephyranthes rosea*) และว่านมหาลาภ (*Eucrosia bicolor*) ในการประเมินความเป็นพิษของแคดเมียมต่อสารพันธุกรรม

สุพรรณญิกา เส็งสาย* นงนุช กำลังแพทย์ และวิมล ขวัญเกื้อ

Assessing genotoxic effects of cadmium using *Allium cepa*, *Zephyranthes rosea* and *Eucrosia bicolor*

Supanyika Sengsai*, Nongnuch Kamlangpat and Wimol Kwankua

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

* Corresponding author, E-mail address: supan12@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของแคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) ความเข้มข้น 0.02, 0.03, 0.06 และ 0.09 ppm ต่ออัตราการแบ่งเซลล์ ความผิดปกติของนิวเคลียสและโครโมโซมในเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa* Linn.) บัวจีน (*Zephyranthes rosea* (Spreng) Lind.) และว่านมหาลาภ (*Eucrosia bicolor* Ker-Gawl) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับแคดเมียม พบว่าเซลล์ปลายรากของพืชทั้ง 3 ชนิดที่ได้รับแคดเมียมมีค่า mitotic index (MI) ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และพบว่าเฉพาะเซลล์ปลายรากของว่านมหาลาภเท่านั้นที่มีอัตราการแบ่งเซลล์ลดลงเป็นลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น จากการศึกษาความผิดปกติของนิวเคลียสและโครโมโซมพบว่าในเซลล์ปลายรากพืชทุกชนิดที่ได้รับแคดเมียมมีค่า mitotic aberration (MA) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่มีเพียงเซลล์ปลายรากว่านมหาลาภเท่านั้นที่พบความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในการทดลองนี้พบความผิดปกติของนิวเคลียสและโครโมโซมรูปแบบต่างๆ ได้แก่ lagging chromosome, chromosome bridge, chromosome fragment, disturbed chromosome, micronucleus และ binucleate cell

คำสำคัญ: แคดเมียม บัวจีน ว่านมหาลาภ ดัชนีการแบ่งเซลล์ ความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรม

Abstract

The effects of cadmium chloride ($CdCl_2$) solution at 0.02, 0.03, 0.06 and 0.09 ppm were evaluated based on mitotic index (MI) and mitotic aberration (MA) in root tip cells of *Allium cepa* Linn., *Zephyranthes rosea* (Spreng) Lind. and *Eucrosia bicolor* Ker-Gawl. It was found that the MI of Cd-treated root tip cells in all experiments were lower than in the control statistically significant ($P<0.05$). However, the MI of *E. bicolor* Ker-Gawl tended to decrease in higher concentration of cadmium significantly ($P<0.05$). The MA of treated plants were seem to be increased from the control. However, only Cd-treated root tip cells of *E. bicolor* Ker-Gawl was found to be significantly different from those of control ($P<0.05$). Many types of nucleus and chromosome aberration such as lagging chromosome, chromosome bridge, chromosome fragment, disturbed chromosome, micronucleus and binucleate cell were found in this study.

Keywords: cadmium, *Zephyranthes rosea* (Spreng) Lind., *Eucrosia bicolor* Ker-Gawl, mitotic index, gennotoxicity

บทนำ

การปนเปื้อนของสารพิษนานาชนิดในสิ่งแวดล้อมมักก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งมีชีวิตตั้งแต่จุลินทรีย์ พืช และสัตว์ต่างๆ ตลอดจนมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ สิ่งที่มนุษย์ทุกคนกังวลคือปัญหาที่เกิดจากมลพิษที่จะมีผลทำให้มนุษย์เองเกิดความผิดปกติและเกิดเป็นโรคภัยร้ายแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างถาวรที่สารพันธุกรรมซึ่งนอกจากจะส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของคนๆ นั้นแล้วยังอาจมีผลต่อเนื่องไปยังลูกหลาน ด้วยเหตุนี้นัก วิทยาศาสตร์จึงให้ความสนใจและใช้วิธีการประเมินความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตโดยตรงกันมากขึ้น สิ่งมี ชีวิตที่ถูกนำมาใช้ศึกษาความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรมมีหลายประเภท เช่น เซลล์เพาะเลี้ยงของคน ไส้เดือนดิน หนู ปลา และกบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับการจัดการสัตว์ทดลองและปัญหาด้านจริยธรรมจึงมีการนำพืชหลายชนิดมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นพิษของสารต่างๆ ตลอดจนมลพิษในสิ่งแวดล้อม พืชที่นิยมได้แก่ หอมหัวใหญ่ (*Alliium cepa*) ข้าวโพด (*Zea mays*) พืชในสกุลว่านกาบหอย (*Tradescantia* spp.) และข้าวบาเลย์ (*Horduem vulgare*) เป็นต้น (สุพรรณญิกา เส็งสาย และวิมล ขวัญเกื้อ, 2550; Grant, 1999)

การใช้พืชเป็นตัวตรวจสอบมีข้อดีหลายประการ เช่น มีค่าใช้จ่ายต่ำและใช้เวลาน้อยกว่าการใช้เซลล์สัตว์ นอกจาก นี้ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารเคมีบางชนิดต่อสารพันธุกรรมในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ยังแสดงให้เห็นว่าสารดังกล่าวทำให้เกิดความผิดปกติและมีผลไปในทิศทางเดียวกันทั้งในเซลล์ของพืชทดสอบ เซลล์สัตว์มีกระดูกสันหลังและเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความนิยมในการใช้พืชเป็นตัวตรวจสอบความเป็นพิษของสารต่างๆ เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ (Kristen, 1997; Voutsinas *et al.*, 1997)

แคดเมียม (Cd) เป็นโลหะหนักที่ถูกจำแนกว่ามีคุณสมบัติเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งในสัตว์ (Filipic and Hei, 2004) และมีรายงานว่าถูกปลดปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่า 29.19 ตันต่อปี (Sanita di Toppi and Gabbrielli, 1999) ทั้งนี้กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้กำหนดค่ามาตรฐานของแคดเมียมที่ยอมให้ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานไว้ไม่เกิน 0.03 มก./ล. เท่านั้น (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539) มีรายงานว่าแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มากเกินพอจะมีผลให้พืชเจริญเติบโตช้าลง ส่วนของยอด ใบ ช่อดอก และรากมีขนาดเล็กลง และเมื่อพิจารณาผลของแคดเมียมต่อสารพันธุกรรมพบว่าแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรมอย่างรุนแรง เนื่องจากสามารถชักนำให้เกิดความผิดปกติของโครงสร้างดีเอ็นเอได้โดยตรง หรือมีผลต่อโปรตีนที่ควบคุมการแสดงออกของยีนต่างๆ ตัวอย่างความผิดปกติของสารพันธุกรรมที่เป็นผลมาจากแคดเมียม ได้แก่ การแตกหักของดีเอ็นเอ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยโครมาทิน โครโมโซมและนิวคลีโอลัส เซลล์มีการแบ่งตัวน้อยลง หรือแบ่งตัวอย่างผิดปกติ ตลอดจนชักนำให้เกิดการตายของเซลล์ เป็นต้น (Fojtova and Kovarik, 2000; Patra *et al.*, 2004; Kaznina *et al.*, 2006; Mishra *et al.*, 2007) ทั้งนี้มีรายงานการทดลองที่ชี้ให้เห็นว่ากลไกที่ทำให้แคดเมียมมีความเป็นพิษต่อเซลล์อาจเกิดขึ้นด้วยกระบวนการเดียวกันทั้งในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ (Deckert, 2005) โดยพบว่าความเสียหายเนื่องจากสารดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืชหรือสัตว์นั้นๆ (Unyayar *et al.*, 2006)

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบความเป็นพิษของสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) ของพืช 3 ชนิด ได้แก่ บัวจีน (*Z. rosea*) ว่านมหาลาภ (*E. bicolor*) และหอมหัวใหญ่ (*A. cepa*) โดยพิจารณาจากอัตราการแบ่งเซลล์ปลายราก และปริมาณความผิดปกติของโครโมโซมและนิวเคลียสภายในเซลล์ปลายรากภายหลังได้รับสารทดสอบ ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้พืชทางเลือกชนิดอื่นที่นอกเหนือไปจากหอมหัวใหญ่ ซึ่งเป็นพืชที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบความเป็นพิษของสารปนเปื้อนกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมพืชทดลอง

นำหัวที่สมบูรณ์ของบัวจีน ว่านมหาลาภ และหอมหัวใหญ่ไปเพาะให้งอกรากในน้ำสะอาด จนรากมีความยาวประมาณ 0.5-1 ซม. จึงนำไปศึกษาโดยให้ส่วนของรากแช่ในสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) ความเข้มข้น 0.0, 0.02, 0.03, 0.06 และ 0.09 ppm เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้รากฟื้นตัวและมีการแบ่งเซลล์เพื่อใช้ในการตรวจสอบขั้นต่อไป กำหนดกลุ่มทดลองละ 3 หัว แต่ละกลุ่มทดลองศึกษาจาก 5 รากๆ ละ 1,000 เซลล์

2. การศึกษาอัตราการแบ่งเซลล์และความผิดปกติของโครโมโซม

ตัดปลายรากต้นกล้าขนาดประมาณ 1 ซม.ในช่วงเวลาที่พืชแต่ละชนิดมีอัตราการแบ่งเซลล์สูงสุด แช่ลงในน้ำยาตรึงเซลล์ Carnoy's solution เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วเปลี่ยนมาแช่ในเอธิลแอลกอฮอล์ 70% เก็บในตู้เย็น เมื่อต้องการศึกษาการแบ่งเซลล์จึงนำปลายรากดังกล่าวมาไฮโดรไลซ์ด้วย 1N HCl ที่ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเตรียมสไลด์ด้วยเทคนิค squash แล้วย้อมด้วยสีอะซีโตออร์ซีน ตรวจสอบการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและความผิดปกติของโครโมโซมรูปแบบต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 600 เท่า (15x40) โดยใช้ค่าดัชนีการแบ่งเซลล์ (Mitotic index, MI) ซึ่งคำนวณจากจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่กำลังแบ่งตัวต่อ 1,000 เซลล์ และค่าดัชนีความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ (Mitotic aberration, MA) ที่คำนวณจากจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่พบความผิดปกติของโครโมโซมและนิวเคลียสต่อ 1,000 เซลล์ เป็นเกณฑ์ในการศึกษา

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ภายใต้ช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

ผลการทดลอง

1. อัตราการแบ่งเซลล์

ผลการศึกษาอัตราการแบ่งเซลล์โดยพิจารณาจากค่า MI ในปลายรากหอมหัวใหญ่ บัวจีน และว่านมหาลาภที่ได้รับแคดเมียมความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับแคดเมียม พบว่าในเซลล์ปลายรากของพืชทั้ง 3 ชนิดที่ได้รับแคดเมียมมีค่า MI ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าลดลงมากกว่า 40% ในแต่ละการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าค่า MI มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้น ซึ่งเห็นผลการทดลองได้ชัดเจนที่สุดในว่าน

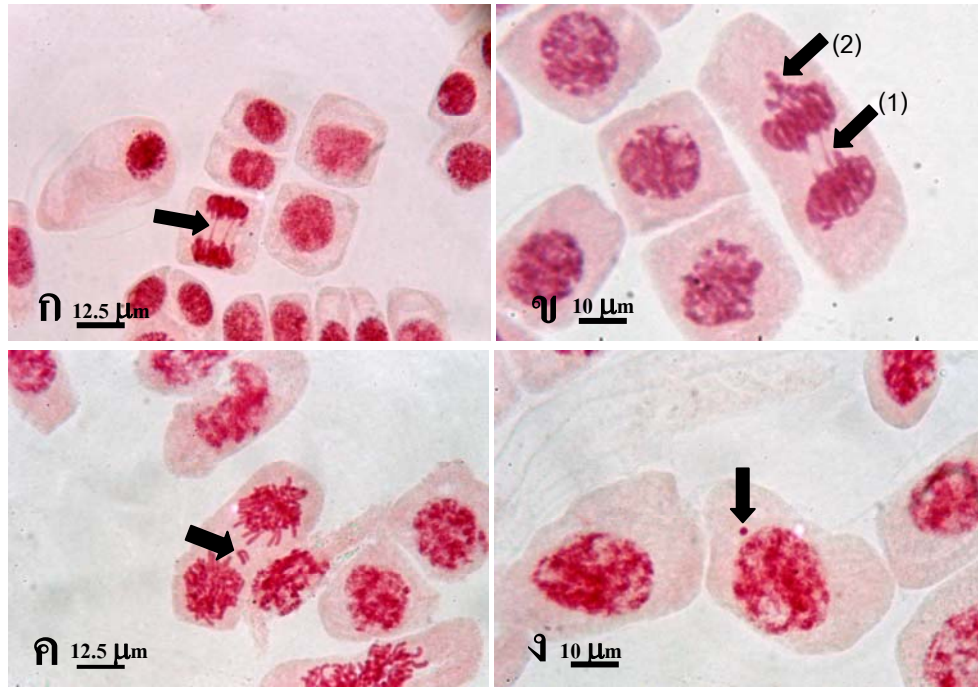
มหาลาภ เมื่อพิจารณาค่า MI ในการทดลองที่ใช้พืชชนิดเดียวกัน พบว่ามีเพียงเซลล์ปลายรากว่านมหาลาภที่ได้รับแคดเมียมความเข้มข้นต่างๆ เท่านั้นที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 33.80, 47.40, 35.00 และ 21.40 เมื่อได้รับแคดเมียมความเข้มข้น 0.02, 0.03, 0.06 และ 0.09 ppm ตามลำดับ (ตาราง 1) จะเห็นได้ว่าเซลล์ปลายรากของว่านมหาลาภที่ได้รับแคดเมียมความเข้มข้น 0.09 ppm มีค่า MI ต่ำที่สุดในการทดลอง

ตาราง 1 Mitotic index (‰MI) และ Mitotic aberration (‰MA) ในเซลล์ปลายรากของว่านมหาลาภ บัวจีนและหอมหัวใหญ่ที่ได้รับสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.00, 0.02, 0.03, 0.06 และ 0.09 ppm

พืชทดลอง	ตัวชี้วัด	ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ (ppm)				
		0	0.02	0.03	0.06	0.09
ว่านมหาลาภ	MI	79.2±3.92[d]	33.8±2.41[b]	47.4±2.1[c]	35.0±2.58[b]	21.4±7.25[a]
	I	920.8±3.92	966.2±2.41	952.6±2.11	965.0±2.58	978.6±7.25
	P	22.6±3.12	10.0±1.76	13.4±1.50	10.8±1.01	9.0±4.39
	M	22.8±2.08	10.0±1.14	11.2±0.80	10.8±1.93	4.8±1.46
	A	16.2±1.39	5.6±1.28	9.8±0.86	7.0±1.22	3.0±0.44
	T	17.6±1.50	8.2±0.66	13.0±0.54	6.4±1.60	4.6±1.50
	MA	0.0±0.00[a]	3.4±0.5[b]	3.4±1.50[b]	4.4±0.87[b]	0.4±0.40[a]
บัวจีน	MI	96.6±3.90[b]	40.6±3.72[a]	48.2±7.95[a]	54.6±3.14[a]	52.0±2.48[a]
	I	903.4±3.90	959.4±3.72	951.8±7.95	945.4±3.14	948.0±2.48
	P	44.0±2.98	15.2±1.74	20.6±3.26	20.0±1.58	22.6±2.46
	M	19.4±0.29	11.2±2.26	11.2±1.98	12.0±0.89	13.0±1.51
	A	12.0±2.00	5.4±1.69	8.4±1.80	11.2±1.36	6.6±0.67
	T	21.0±1.14	8.8±1.52	8.0±2.02	11.4±1.20	9.8±0.83
	MA	4.2±1.09[b]	2.2±0.73[a]	2.2±0.48[a]	4.2±0.80[ab]	5.4±0.60[ab]
หอมใหญ่	MI	104.4±4.48[b]	34.6±5.43[a]	34.4±6.51[a]	36.2±2.03[a]	31.6±3.52[a]
	I	895.6±4.48	929.4±3.09	965.6±6.51	963.8±2.03	968.4±3.52
	P	59.4±4.11	15.4±1.88	9.0±1.51	9.8±1.39	12.4±1.8
	M	17.2±1.62	6.6±1.88	8.6±2.06	10.4±1.20	4.6±0.50
	A	11.4±0.67	8.0±1.67	8.6±1.69	8.2±1.11	8.8±1.39
	T	16.4±1.56	4.6±0.67	8.2±2.08	7.8±0.58	5.8±0.86
	MA	2.8±0.66[a]	8.4±1.32[b]	3.4±0.74[a]	4.4±1.20[a]	5.6±0.87[ab]

[a, b, c, d] เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย DMRT ภายใต้ช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

I = interphase, P = prophase, M = metaphase, A = anaphase, T = telophase



รูป 1 ความผิดปกติของโครโมโซมและนิวเคลียส (ลูกศรชี้) รูปแบบต่างๆ ที่พบในเซลล์ปลายรากที่ได้รับสารละลาย $CdCl_2$ ความเข้มข้นต่างๆ

ก. chromosome bridge ในเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ที่ได้รับ $CdCl_2$ ความเข้มข้น 0.02 ppm

ข. chromosome bridge (1) และ disturbed telophase (2) ในเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ที่ได้รับ $CdCl_2$ ความเข้มข้น 0.02 ppm

ค. lagging chromosome ในเซลล์ปลายรากว่านมหาลาภที่ได้รับ $CdCl_2$ ความเข้มข้น 0.02 ppm

ง. micronucleus ในเซลล์ปลายรากว่านมหาลาภที่ได้รับ $CdCl_2$ ความเข้มข้น 0.06 ppm

2. ความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ โครโมโซม และนิวเคลียส

ผลการศึกษาความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ โครโมโซม และนิวเคลียส พบว่าพืชทั้งสามชนิดที่ได้รับแคดเมียมมีค่า MA สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับแคดเมียม โดย MA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้น ทั้งนี้ในว่านมหาลาภพบว่าค่า MA มีความแตกต่างทางสถิติอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตาราง 1)

เมื่อตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในเซลล์ปลายรากที่ได้รับและไม่ได้รับแคดเมียม พบความผิดปกติรูปแบบต่างๆ เช่น เซลล์ที่มีสองนิวเคลียส (binucleate cell) เซลล์ที่มีนิวเคลียสขนาดเล็กที่เรียกว่า micronucleus โครโมโซมที่หักเป็นท่อน (chromosome fragment) สะพานโครโมโซม (chromosome bridge) โครโมโซมที่เคลื่อนที่ช้ากว่าโครโมโซมอื่นๆ (lagging chromosome) และ

โครโมโซมที่มีพฤติกรรมผิดปกติขณะเกิดการแบ่งเซลล์ (disturbed chromosome) โดยพบความผิดปกติแบบ disturbed chromosome ได้มากที่สุดในพืชทดลองทุกชนิด เซลล์ที่พบความผิดปกติดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่าสูงขึ้น ตัวอย่างรูปแบบความผิดปกติที่พบแสดงในรูป 1

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความสามารถในการตรวจสอบความเป็นพิษของสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ในเซลล์ปลายรากของบัวจีนและว่านมหาลาภ โดยวิธีการเทียบเคียงผลการเกิดความผิดปกติของการแบ่งเซลล์และความผิดปกติของโครโมโซม ภายในเซลล์ภายหลังการได้รับสาร กับผลการทดลองที่พบในหอมหัวใหญ่ซึ่งเป็นพืชที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบความเป็นพิษของสารพิษชนิดต่างๆ พบว่าพืชทั้ง 2 ชนิด คือ บัวจีนและว่านมหาลาภซึ่งยังไม่เคยมีรายงานว่าถูกนำมาใช้เป็นเพื่อดัชนีสำหรับตรวจสอบความเป็นพิษของสารปนเปื้อนนั้น แสดงผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองในหอมหัวใหญ่ จึงมีแนวโน้มว่าพืชทั้ง 2 ชนิดจะสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบความเป็นพิษต่อสารพันธุกรรมของสารพิษบางชนิดได้

เมื่อพิจารณาจากค่าอัตราการแบ่งเซลล์ (MI) ในพืชสองชนิดคือ บัวจีนและว่านมหาลาภ พบว่าการลดลงของค่า MI ในเซลล์ปลายรากของพืชทั้งสองชนิดที่ได้รับแคดเมียมสามารถใช้ชี้วัดความเป็นพิษของแคดเมียมได้เช่นเดียวกับหอมหัวใหญ่ แต่การลดลงของค่า MI ในหอมหัวใหญ่และบัวจีนไม่ได้สะท้อนถึงการเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียม เนื่องจากค่า MI ที่พบในเซลล์ปลายรากของพืชทั้ง 2 ชนิดที่ได้รับแคดเมียมความเข้มข้น 0.02, 0.03, 0.06 และ 0.09 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งกรณีนี้ผลการทดลองในว่านมหาลาภจะให้ผลที่ชัดเจนกว่ากล่าวคือ เมื่อความความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นแล้วค่า MI จะลดลงเป็นลำดับ (ตาราง 1) ผลดังกล่าวนี้ชี้ให้เห็นว่าเซลล์ปลายรากของว่านมหาลาภมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแคดเมียมได้ดีกว่าเซลล์ปลายรากของหอมหัวใหญ่ และบัวจีน จึงอาจนำมาใช้เป็นดัชนีเบื้องต้นที่จะชี้วัดถึงปริมาณของแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำหรือในดินได้ (Zhang and Yang, 1994; Ma *et al.*, 1995; Unyayar *et al.*, 2006) จากการศึกษาของ Mishra และคณะ (2007) พบว่าการตอบสนองต่อการได้รับแคดเมียมความเข้มข้นที่สูงขึ้นเป็นลำดับเช่นนี้พบได้ในพืชอื่นอีกเช่น ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) สำหรับสาเหตุที่ทำให้ MI มีค่าลดลงอธิบายได้ว่าอาจเป็นเพราะแคดเมียมมีผลยับยั้งการเข้าสู่ระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ปลายราก ทำให้ตรวจพบเซลล์ที่อยู่ในระยะอินเตอร์เฟสเป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับแคดเมียม (Celik *et al.*, 2008) ผลดังกล่าวนี้พบในเซลล์ปลายรากของพืชทั้ง 3 ชนิด จึง

เป็นไปได้ว่าความเป็นพิษของแคดเมียมต่อกระบวนการแบ่งเซลล์นั้นอาจเกิดขึ้นโดยผ่านกลไกทางชีวเคมีที่คล้ายคลึงกัน

ผลการศึกษาความผิดปกติของนิวเคลียสและโครโมโซมในเซลล์ปลายรากบัวจีนและว่านมหาลาภที่ได้รับแคดเมียม พบว่า MA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นเช่นเดียวกับผลการทดลองที่พบในหอมหัวใหญ่ อย่างไรก็ตามพบว่าเฉพาะค่า MA ในเซลล์ปลายรากของว่านมหาลาภเท่านั้น ที่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ยกเว้นที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 0.09 ppm ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุดนั้น มีการตายไปของเซลล์เป็นจำนวนมากกว่าพืชชนิดอื่นจึงมีผลทำให้ค่า MA ที่ตรวจสอบได้มีน้อย ผลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงความอ่อนแอต่อการได้รับแคดเมียมในเซลล์ปลายรากของว่านมหาลาภเมื่อเปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่และบัวจีน ซึ่งอาจมีผลมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมของพืชทั้งสามชนิด (Weiss *et al.*, 2003) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาผลของแคดเมียมต่อเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่เปรียบเทียบกับเซลล์ปลายรากของถั่วปากอ้า (*Vicia faba*) โดย Unyayar และคณะ (2006) ที่พบว่าเซลล์ของหอมหัวใหญ่มีความทนทานต่อแคดเมียมมากกว่าเซลล์ของถั่วปากอ้า ถึงแม้ว่าคุณสมบัติเช่นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อพืชเนื่องจากทำให้พืชสามารถปรับตัวและอยู่รอดได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงการนำพืชนั้นมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดความเป็นพิษหรือการปนเปื้อนของสารแล้วอาจไม่เป็นผลดีต่อการศึกษา เนื่องจากไม่สะท้อนถึงผลหรือปริมาณของสารพิษที่ปนเปื้อนที่มีอยู่จริง

สำหรับรูปแบบของความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ โครโมโซมและนิวเคลียส ที่พบในเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ที่ได้รับแคดเมียม ซึ่งได้แก่ Micronucleus, chromosome bridge, chromosome fragment, lagging chromosome และ disturbed chromosome นั้น ปรากฏว่าสามารถตรวจพบรูปแบบความผิดปกติเหล่านี้ในบัวจีน และว่านมหาลาภได้เช่นเดียวกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าพืชทั้ง 3 ชนิดตอบสนองต่อการได้รับแคดเมียมไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นแนวโน้มว่าผลของแคดเมียมในการชักนำให้เกิดความผิดปกติลักษณะต่างๆ ดังกล่าวแล้วนี้อาจเกิดขึ้นโดยกระบวนการทางเคมีที่มีรูปแบบเดียวกันในพืชทั้ง 3 ชนิด

อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะสามารถตรวจพบความผิดปกติรูปแบบต่างๆ ได้เช่นเดียวกันในพืชทั้ง 3 ชนิด แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่าเซลล์ปลายรากของว่านมหาลาภที่ได้รับแคดเมียมมีการตอบสนองและได้รับความเสียหายมากกว่าบัวจีนและหอมหัวใหญ่ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าโดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างหนึ่งๆ ของพืชต่างชนิดกันภายหลังการได้รับสารเคมีชนิดเดียวกันนั้น จะเกิดขึ้นด้วยความถี่ที่ไม่เท่ากันเนื่องมาจากความแตกต่างกันทางพันธุกรรมระหว่างพืชนั้นๆ (Voutsinas *et al.*,1997) นอกจากว่านมหาลาภซึ่งพบว่ามีการตอบสนองต่อการได้รับสารพิษมากกว่าหอมหัวใหญ่ดังเช่นที่พบในการศึกษาครั้งนี้แล้ว ยังมีรายงานว่าถั่วลันเตา (*Pisum sativum*)

ก็เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีการตอบสนองต่อสารทดสอบบางชนิดมากกว่าหอมหัวใหญ่ (Grant and Owens, 2001)

จากผลการเปรียบเทียบอัตราการแบ่งเซลล์ ความผิดปกติของนิวเคลียสและโครโมโซมภายในเซลล์ภายหลังการได้รับแคดเมียมระหว่างเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ บัวจีน และว่านมหาลาภ สรุปได้ว่าทั้งบัวจีนและว่านมหาลาภสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบความเป็นพิษของสารบางชนิดได้ในแนวทางเดียวกับการใช้หอมหัวใหญ่เป็นตัวตรวจสอบตามวิธี *Allium* test โดยว่านมหาลาภมีตอบสนองต่อการได้รับแคดเมียมมากกว่าหอมหัวใหญ่และบัวจีน อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถนำว่านมหาลาภไปใช้ในการตรวจสอบความเป็นพิษของสารต่างๆ ได้กว้างขวางขึ้น จึงควรนำพืชนี้ไปทดสอบกับสารปนเปื้อนชนิดอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2539). ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม. *ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539*.

สุพรรณญิกา เส็งสาย และวิมล ขวัญเกื้อ. (2550). อีกหนึ่งทางเลือกของการประเมินความเป็นพิษ: สารพันธุกรรมพืชเป็นตัวบ่งชี้. *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, 27*(1), 104-124.

Celik, A, Unyaya, S., Ozlem Celik, F and Guzel, A. (2008). Micronucleus frequency and lipid peroxidation in *Allium sativum* root tip cells treated with gibberellic acid and cadmium. *Cell Biology and Toxicology, 24,* 159-164.

Deckert, J. (2005). Cadmium toxicity in plants: Is there any analogy to its carcinogenic effect in mammalian cells?. *BioMetals, 18,* 475-781.

Filipic, M. and Hei, T.K. (2004). Mutagenicity of cadmium in mammalian cells: implication of oxidative DNA damage. *Mutation Research, 546,* 81-91.

Fojtova, M. and Kovarik, A. (2000). Genotoxic effect of cadmium is associated with apoptotic changes in tobacco cells. *Plant, Cell and Environment, 23,* 531-537.

Grant, W.F. (1999). Higher plant assays for the detection of chromosomal aberrations and gene mutation: a brief historical background on their use for screening and monitoring environmental chemicals. *Mutation Research, 426,* 107-112.

Grant, W.F. and Owens, E.T. (2001). Chromosome aberration assays in *Pisum* for the study of environmental mutagens. *Mutation Research, 488,* 93-118.

Kaznina, N.M., Laidinen, G.F. and Titov, A.F. (2006). The effect of cadmium on shoot apical meristem of barley. *Russian Journal of Developmemtal Biology, 37*(6)*,* 371-374.

Kristen, U. (1997). Use of higher plants as screens for toxicity assessment. *Toxicology in Vtro, 11,* 181-191.

Ma, T.H., Xu, Z.D., Xu, C.G., Mcconnell, H., Rabago, E.V., Arreola, G.A. and Zhang, H. (1995). The improved *Allium/Vicia* root tip micronucleus assay for clastogeniccity of environmental pollutants. *Mutation Research, 334,* 185-195.

Mishra, K.K., Rai, U.N. and Prakash, O. (2007). Bioconcentration and phytotoxicity of Cd in *Eichhornia crassipes*. *Environmenta. Monitoring Assessment, 130,* 273-243.

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B. and Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany, 52*, 199-223.

Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany, 41*, 105-130.

Unyayar, S., Celik, A., Özlem, F. and Gozel, A. (2006). Cadmium-induced genotoxicity, cytotoxicity and lipid peroxidation in *Allium cepa* and *Vicia faba*. *Mutagenesis, 21*(1), 77-81.

Voutsinas, G., Zarani, F.E. and Kappas, A. (1997). The effect of environmental aneuploidy-inducing agents on the microtubule architecture of mitotic meristematic root cells in *Hordeum vulgare*. *Cell Biology International, 21*(7)*,* 411-418.

Weiss, P., Offenthaler, I., Ohlinger, R. and Wimmer, J. (2003). *Higher plants as accumulative bioindicator.* In B.A

Zhang, Y.X. and Yang, X.L. (1994). The toxic effects of cadmium on cell division and chromosomal morphology of *Hordeum vulgare. Mutation Research*, *312*, 121-126.