

บทที่ 4 ผลการทดลอง

1. การคัดเลือกพืชท้องถิ่นที่มีคุณสมบัติในการตรวจสอบมลพิษ

พืชที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 6 ชนิด ได้แก่ พลับพลึง กระจูดทอง บัวจีน ว่านมหาลาก หอมแดง และหอมหัวใหญ่ ซึ่งใช้เป็นพืชเปรียบเทียบ คุณสมบัติของพืชที่นำมาใช้ในการทดลอง จะพิจารณาจากการเป็นพืชท้องถิ่นที่หาง่าย สามารถงอกรากได้ในน้ำ ตรวจโครโมโซมและการแบ่งเซลล์ปลายรากได้ง่าย และที่สำคัญคือ มีความไวต่อสารทดสอบ ซึ่งผลจากการศึกษาเบื้องต้น สามารถคัดเลือกพืชมาได้ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้ส่วนของลำต้นบนดินมากระตุ้นให้งอกรากในสารทดสอบ ซึ่งได้แก่ พลับพลึง และ กระจูดทอง ส่วนอีกกลุ่มหนึ่ง เป็นกลุ่มที่มีลักษณะเป็นหัว (bulb) ตำแหน่งลำต้นได้ดินเป็นส่วนที่นำมากระตุ้นให้งอกราก ได้แก่ บัวจีน ว่านมหาลาก หอมแดง และ หอมหัวใหญ่ ในการทดลองนี้ใช้สารละลายแคดเมียมคลอไรด์ เป็นสารทดสอบ เพื่อทดสอบความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมของพืช

1.1. ผลการทดสอบ genotoxicityของแคดเมียมกับพืช 6 ชนิด

ผลการศึกษาค่า mitotic index (MI) หรือค่าที่แสดงถึงอัตราการแบ่งเซลล์พบว่าโดยภาพรวมทุกพืชทดลองมีค่า MI ต่อ 1000 เซลล์ ลดลงเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาในแต่ละพืชจะเห็นว่าอัตราการแบ่งเซลล์ปลายรากของพลับพลึง กระจูดทอง และ หอมแดง มีความไวต่อการตอบสนองต่อแคดเมียมน้อยกว่า บัวจีน ว่านมหาลาก และ หอมหัวใหญ่ โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่า MI ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 0.02 และ 0.03 ppm ในพลับพลึง กระจูดทอง และ หอมแดงมีอัตราการลดลงเพียงเล็กน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น แต่สำหรับบัวจีน ว่านมหาลาก และ หอมหัวใหญ่ แม้มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำสุดคือ 0.02 ppm ค่า MI จะลดลงจากกลุ่มควบคุมประมาณ 37, 17 และ 34 ตามลำดับ และค่า MI จะลดลง โดยแปรผกผันเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของค่า MI ดังกล่าวนี้นับสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และมีการเปลี่ยนแปลงของค่า MI เป็นไปในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 2)

สำหรับค่า phase index ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระยะต่างๆ ของการแบ่งเซลล์นั้นพบว่า การแบ่งเซลล์บริเวณปลายรากของกระจูดทองและหอมแดงมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของระยะต่างๆ ของการแบ่งเซลล์ไม่ชัดเจน แต่พลับพลึง บัวจีน ว่านมหาลากและหอมหัวใหญ่ จะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จำนวนเซลล์ที่อยู่ในระยะโพรเฟส เมทาเฟส แอนาเฟสและเทโลเฟส ลดลงทุกระยะขณะเดียวกันจะเห็นว่าจำนวนเซลล์ในระยะอินเทอร์เฟสมีค่าเพิ่มขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในลักษณะเดียวกันทุกความเข้มข้นของแคดเมียม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ค่า Mitotic Index ของพืช 6 ชนิดเมื่อได้รับ CdCl₂ ความเข้มข้น 0.00, 0.02, 0.03, 0.06 และ 0.09 ppm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พักฟื้นราก 48 ชั่วโมง

ชนิดพืช CdCl ₂ (ppm)	Mitotic index (MI) / 1000 เซลล์					
	พลับพลึง	กระดุมทอง	บัวจีน	ว่านมหาลาก	หอมแดง	หอมหัวใหญ่
0.0	53.40±6.18 ^b	83.0±4.39 ^{abcd}	86.20±3.62 ^c	69.80±3.33 ^b	132.40±4.44 ^c	71.00±3.09 ^c
0.02	37.60±4.24 ^a	95.0±3.67 ^{cd}	48.40±4.03 ^b	52.80±6.15 ^a	135.60±17.46 ^c	37.00±4.39 ^{ab}
0.03	41.20±2.43 ^{ab}	67.8±11.91 ^{ab}	37.20±2.37 ^a	52.40±4.05 ^a	146.40±7.70 ^c	37.20±6.89 ^{ab}
0.06	41.40±2.56 ^{ab}	67.0±0.29 ^a	42.40±3.41 ^{ab}	48.20±3.12 ^a	47.00±1.09 ^b	41.40±3.41 ^b
0.09	47.40±3.81 ^{ab}	0.00±0.00 ^a	43.60±3.21 ^{ab}	46.80±4.97 ^a	0.00±0.00 ^a	25.80±1.59 ^a

^{a-d} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (*p*<0.05)

ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

ผลการศึกษาค่า mitotic aberration (MA) ในพืชทดลอง 6 ชนิด (ตารางที่ 4) พบว่า MA ของทุกพืชมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสารละลายแคดเมียม แม้ในความเข้มข้นต่ำสุด คือ 0.02 ppm ก็ยังพบค่า MA มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงความผิดปกติของโครโมโซมและความผิดปกติของนิวเคลียสเกิดมากขึ้นในพืชทุกชนิดยกเว้น บัวจีน ซึ่งเป็นพืชชนิดที่ในกลุ่มควบคุมมีความผิดปกติของโครโมโซมและนิวเคลียสมากอยู่แล้ว เมื่อได้รับสารละลายแคดเมียมความเข้มข้นต่ำๆจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน แต่ในความเข้มข้นที่สูงขึ้นคือ 0.06 ppm จึงสามารถพบค่า MA สูงกว่ากลุ่มควบคุมได้

การแสดงค่า MA ที่ตอบสนองต่อแคดเมียมความเข้มข้นต่างๆ โดยภาพรวมจะเห็นว่าหอมหัวใหญ่จะตอบสนองได้ดีที่สุดรองลงมาได้แก่ ว่านมหาลาก สำหรับลำดับ 3 คือ พลับพลึง โดยเกณฑ์ที่พิจารณาจากค่า MA ที่เพิ่มขึ้นเป็นลำดับเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น และคุณสมบัติของเซลล์พืชนั้นยังสามารถตรวจสอบค่า MA ได้แม้ในความเข้มข้นที่สูง สำหรับบัวจีนค่า MA ไม่แสดงการเพิ่มมากขึ้นเมื่อแคดเมียมมีความเข้มข้นสูงขึ้นแต่บัวจีนก็เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่ทนต่อแคดเมียมความเข้มข้นสูงได้ดีพอๆกับหอมหัวใหญ่ ว่านมหาลากและพลับพลึง

กระดุมทองและหอมแดงมีค่า MA เพิ่มขึ้นเมื่อแคดเมียมมีความเข้มข้นสูงขึ้นแต่ที่ความเข้มข้น 0.09 ppm พืชทั้ง 2 ชนิดนี้มีความทนทานไม่มากพอที่จะมีการแบ่งเซลล์ปลายรากจึงไม่สามารถตรวจสอบได้ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ค่า Phase index ของเซลล์ปลายรากพืช 6 ชนิดที่ได้รับ CdCl₂ ความเข้มข้น 0.00, 0.02, 0.03, 0.06, และ 0.09 ppm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พักฟื้นราก 48 ชั่วโมง

Phase index (PI)						
ชนิดพืช	CdCl ₂ (ppm)	Inter	Pro	Meta	Ana	Telo
ถั้วพลึง	0.00	946.60±6.18	14.60±1.16 ^b	16.20±1.88	9.40±0.60	13.20±3.05
	0.02	962.40±4.24	9.60±0.67 ^a	13.60±2.69	6.60±0.92	7.80±1.01
	0.03	958.60±2.43	9.40±1.51 ^a	10.60±1.36	9.20±1.15	12.00±0.54
	0.06	958.60±2.65	12.60±1.91 ^{ab}	13.20±1.42	7.00±0.83	8.60±0.67
	0.09	952.60±3.81	13.40±1.96 ^{ab}	14.60±1.72	8.60±1.20	10.80±2.26
กระดุมทอง	0.00	917.00±4.39 ^{abcd}	18.80±1.66 ^{abc}	26.60±2.54 ^{bc}	5.60±0.51 ^{ab}	32.00±1.64
	0.02	905.00±3.67 ^{ab}	23.80±1.6 ^{cd}	26.00±1.05 ^{abc}	6.60±0.24 ^{bc}	38.60±3.44
	0.03	932.20±11.9 ^{bcd}	13.20±2.52 ^a	20.20±3.48 ^{ab}	6.00±0.89 ^{ab}	28.40±6.01
	0.06	933.00±2.86 ^d	13.80±1.66 ^{ab}	18.60±1.21 ^a	3.80±0.86 ^a	30.80±1.93
	0.09	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
บัวจัน	0.00	913.80±3.62	45.40±2.80 ^b	18.00±2.16 ^b	7.20±1.15	15.60±2.2 ^b
	0.02	951.60±4.03	15.20±1.82 ^a	16.00±1.92 ^b	8.20±1.93	9.00±0.70 ⁱ
	0.03	962.80±2.37	12.20±0.80 ^a	9.20±1.46 ^a	8.40±1.02	7.40±1.96 ^e
	0.06	957.60±3.41	10.60±1.80 ^a	13.40±1.72 ^{ab}	11.20±1.59	7.20±0.86 ^d
	0.09	956.40±3.21	13.40±0.50 ^a	10.80±0.73 ^a	7.80±1.82	11.60±1.56 ^{gh}
ว่านมหาฉาบ	0.00	930.20±3.33 ^a	23.80±2.35 ^b	21.60±0.50 ^c	13.20±1.15 ^b	11.20±0.58
	0.02	947.20±6.15 ^b	13.00±2.23 ^a	19.40±2.42 ^{bc}	10.00±1.30 ^{ab}	10.40±0.81
	0.03	947.60±4.05 ^b	13.40±1.96 ^a	13.00±2.30 ^a	12.00±1.58 ^{ab}	14.00±2.14
	0.06	951.80±3.12 ^b	12.20±0.86 ^a	14.00±1.51 ^{ab}	10.60±1.12 ^{ab}	11.40±1.77
	0.09	953.20±4.97 ^b	13.20±2.00 ^a	15.20±1.52 ^{ab}	9.00±0.83 ^a	9.40±1.28
หอมแดง	0.00	867.60±4.44 ^b	72.20±4.17 ^b	25.40±2.80 ^{cd}	18.00±1.58 ^c	16.80±1.39 ^{cd}
	0.02	864.40±17.46 ^b	101.80±16.33 ^c	22.20±3.73 ^c	5.60±2.83 ^b	6.00±1.70 ^{ab}
	0.03	853.60±7.69 ^b	74.00±3.59 ^b	31.60±4.05 ^d	17.00±2.09 ^c	23.80±5.86 ^d
	0.06	953.00±1.09 ^c	19.20±1.77 ^a	9.80±1.24 ^b	8.60±1.12 ^b	9.40±1.32 ^{bc}
	0.09	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
หอมหัวใหญ่	0.00	929.00±3.09 ^a	29.00±1.37 ^b	14.60±1.12 ^d	14.40±1.91 ^a	13.00±0.89 ^c
	0.02	963.00±4.39 ^b	19.60±2.78 ^a	4.00±0.94 ^{ab}	9.80±1.77 ^{ab}	3.60±0.60 ⁱ
	0.03	962.80±6.89 ^b	14.40±4.13 ^a	7.00±0.94 ^b	7.40±1.77 ^a	8.40±1.88 ^b
	0.06	958.60±3.41 ^b	16.20±1.77 ^a	9.00±1.26 ^c	8.20±1.06 ^a	8.00±1.67 ^b
	0.09	974.20±4.36 ^c	14.20±3.55 ^a	3.00±0.83 ⁱ	4.40±2.24 ^c	4.20±1.59 ^{hi}

^{cd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)
ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±SE



ชนิดของความผิดปกติที่พบมากที่สุดในพื้นที่ทดลองทั้ง 6 ชนิดได้แก่ chromosome disturb ซึ่งเกิดจากการถูกรบกวนในขณะที่มีการเคลื่อนที่ของโครโมโซมและรบกวนได้แก่การเกิด chromosome bridge ยกเว้นในหอมหัวใหญ่ที่ไม่มี chromosome bridge เกิดขึ้นเลย และหากพิจารณาจำนวนชนิดของความผิดปกติ พืชที่พบความผิดปกติในการแบ่งเซลล์แค่ 2 แบบ ได้แก่ พลัปปลิ่ง มีความผิดปกติ 3 แบบ ได้แก่ กระดุมทอง กลุ่มที่มีความผิดปกติ 4 แบบ คือ หอมหัวใหญ่และบัวจีน ส่วนว่านมหาลากและหอมแดงพบความผิดปกติถึง 5 แบบ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 Mitotic aberration ของพืช 6 ชนิด เมื่อได้รับ CdCl₂ ความเข้มข้น 0.00, 0.02, 0.03, 0.06 และ 0.09 ppm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พักฟื้นราก 48 ชั่วโมง

ชนิดพืช CdCl ₂ (ppm)	Mitotic aberration (MA) / 1000 เซลล์					
	พลัปปลิ่ง	กระดุมทอง	บัวจีน	ว่านมหาลาก	หอมแดง	หอมหัวใหญ่
0.00	0.40±0.24	3.00±0.63 ^a	4.00±1.14	0.40±0.24 ^a	2.60±1.63 ^{ab}	0.60±0.40 ^a
0.02	1.80±0.48	6.40±0.57 ^b	3.20±1.31	1.80±0.80 ^{ab}	11.60±1.69 ^d	3.20±1.46 ^{ab}
0.03	3.60±0.40	6.20±1.24 ^b	1.40±0.60	3.40±0.92 ^b	6.20±2.00 ^{bc}	4.20±0.73 ^{ab}
0.06	3.0±0.54	3.80±0.86 ^{ab}	6.00±2.75	3.40±0.92 ^b	7.60±0.92 ^{cd}	3.60±0.87 ^{ab}
0.09	2.80±0.58	0.00±0.00 ^a	1.60±0.74	4.20±2.16 ^b	0.00±0.00 ^a	7.00±2.94 ^b

^{ab} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (*p*<0.05)

ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

1.2. ผลการศึกษา genotoxic ของพืช 2 ชนิดที่คัดเลือกไว้ และหอมหัวใหญ่ ซึ่งใช้เป็นพืชเปรียบเทียบเมื่อได้รับแคดเมียม 0.06 ppm เป็นเวลา 24 และ 48 ชม.

จากผลการศึกษาในข้อ 1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารทดสอบคือ แคดเมียมในระดับความเข้มข้นที่ทำให้สามารถตรวจพบความผิดปกติได้ชัดเจนในพื้นที่ทดลองทั้ง 6 ชนิดได้แก่ ความเข้มข้น 0.06 ppm และชนิดพืชที่มีการตอบสนองต่อแคดเมียมความเข้มข้นต่างๆเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับหอมหัวใหญ่และมีความไวใกล้เคียงกัน ได้แก่ ว่านมหาลาก และบัวจีน สำหรับพลัปปลิ่งที่มีการตอบสนองของค่า MI และ MA ต่ำกว่าบัวจีน แต่ข้อด้อยของพลัปปลิ่งคือออกรากยากจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นพืชทดสอบ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงได้นำพืชทั้ง 2 ชนิดมาทดสอบกับแคดเมียม 0.06 ppm โดยให้เวลารับสารทดสอบ 24 และ 48 ชม. เปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่เพื่อการยืนยันคุณสมบัติของพืชที่คัดเลือกไว้และยืนยันระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใช้เป็น positive control สำหรับการทดลองต่อไป

ตารางที่ 5 ชนิดของ Mitotic aberration จากเซลล์ปลายรากพืช 6 ชนิด เมื่อได้รับ $CdCl_2$ ความเข้มข้น 0.00 0.02 0.03 0.06 และ 0.09 ppm เป็นเวลา 24 ชม. พักพื้นราก 48 ชม.

Mitotic aberration (MA)							
ชนิดพืช	$CdCl_2$ (ppm)	Bridge	Dist.	Lag.	Frag.	MN	Bi
พลับพลึง	0.00	0.20±0.20	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20
	0.02	0.00±0.00	1.80±0.48 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	0.03	0.20±0.20	3.20±0.37 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20	0.00±0.00
	0.06	0.00±0.00	3.00±0.54 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	0.09	0.40±0.24	2.20±0.91 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.00
กระดุมทอง	0.00	0.40±0.24	2.20±0.86 ^a	0.40±0.24	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	0.02	0.80±0.37	5.40±0.24 ^b	0.20±0.20	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	0.03	0.60±0.4	5.00±1.38 ^{ab}	0.60±0.4	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	0.06	0.40±0.24	3.40±0.68 ^{ab}	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	0.09	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
บัวจีน	0.00	1.00±0.77	1.60±0.24	0.2±0.20	0.00±0.00	1.20±0.37	0.00±0.00
	0.02	0.00±0.00	1.80±0.86	0.00±0.00	0.00±0.00	1.40±0.67	0.00±0.00
	0.03	0.00±0.00	0.80±0.86	0.00±0.00	0.00±0.00	0.60±0.40	0.00±0.00
	0.06	0.00±0.00	2.60±1.20	0.00±0.00	0.00±0.00	3.40±2.22	0.00±0.00
	0.09	0.00±0.00	1.00±0.63	0.00±0.00	0.00±0.00	0.60±0.40	0.00±0.00
ว่านมหาฉาภ	0.00	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.20±0.20	0.00±0.00	0.20±0.20 ^a
	0.02	1.00±0.44 ^c	0.40±0.24 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.40±0.40 ^a
	0.03	0.80±0.20 ^{bc}	2.00±0.54 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.60±0.40 ^{ab}
	0.06	0.00±0.00 ^a	1.40±0.50 ^{ab}	0.00±0.00	0.20±0.20	0.00±0.00	1.80±0.58 ^b
	0.09	0.20±0.20 ^{ab}	2.20±0.73 ^b	0.00±0.00	0.20±0.20	0.20±0.20	1.40±0.50 ^{ab}
หอมแดง	0.00	0.60±0.24 ^{ab}	1.20±0.73 ^{ab}	0.00±0.00	0.40±0.40	0.40±0.40 ^a	0.00±0.00 ^a
	0.02	1.80±0.48 ^b	3.40±1.56 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	4.60±2.40 ^b	1.80±0.91 ^b
	0.03	1.60±0.81 ^b	2.4±0.74 ^{ab}	0.00±0.00	0.40±0.24	1.00±0.0 ^a	0.80±0.80 ^{ab}
	0.06	0.20±0.20 ^a	6.60±1.07	0.00±0.00	0.00±0.00	0.80±0.37 ^a	0.00±0.00
	0.09	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
หอมหัวใหญ่	0.00	0.00±0.00	0.60±0.40 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a
	0.02	0.00±0.00	0.80±0.48 ^a	0.80±0.58	0.00±0.00	0.80±0.48	0.80±0.48 ^a
	0.03	0.00±0.00	3.40±0.5 ^b	0.20±0.20	0.00±0.00	0.20±0.20	0.40±0.40 ^a
	0.06	0.00±0.00	2.80±0.86 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.80±0.37	0.00±0.00 ^a
	0.09	0.00±0.00	0.80±0.58 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	1.40±0.74	4.80±2.22 ^b

^{a,b} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

ผลการศึกษาการยับยั้งการแบ่งเซลล์ (mitotic inhibition) โดยพิจารณาจากค่า MI เมื่อพืชทดลองได้รับแคดเมียม 0.06 ppm เป็นเวลา 24 และ 48 ชม. (ตารางที่ 6) พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิดมีค่า MI ลดต่ำกว่ากลุ่มควบคุมโดยให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันเมื่อได้รับแคดเมียมเป็นเวลา 24 และ 48 ชม. โดยหอมหัวใหญ่มีค่า MI ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเป็น 71.00 และ 41.40 เมื่อได้รับแคดเมียม 24 ชม. และมีค่า MI 104.40 และ 36.60 เมื่อได้รับแคดเมียม 48 ชม. ตามลำดับ เช่นเดียวกับบัวจีนมีค่า MI ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเท่ากับ 86.20 และ 42.40 เมื่อได้รับแคดเมียม 24 ชม. และ 96.60, 54.60 เมื่อได้รับแคดเมียม 48 ชม. และว่านมหาลามมีค่า MI ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเมื่อได้รับแคดเมียม 24 ชม. เท่ากับ 69.80, 48.20 และเมื่อได้รับแคดเมียม 48 ชม.จะมีค่า MI เป็น 79.20 และ 35.00 ตามลำดับ

หากพิจารณาอัตราการลดลงของค่า MI ในพืชทั้ง 3 ชนิดจะเห็นว่า หอมหัวใหญ่ มีค่า MI ลดลงจากกลุ่มควบคุมมากขึ้น เมื่อเวลาให้สารทดสอบนานขึ้นเช่นเดียวกับว่านมหาลาม โดยในหอมหัวใหญ่ ค่า MI ที่ลดลงเมื่อได้รับแคดเมียม 24 และ 48 ชม.เป็น 29.60 และ 68.00 ส่วนว่านมหาลามค่าดังกล่าวจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับหอมหัวใหญ่ คือค่า MI ลดลงจากกลุ่มควบคุม 21.60 และ 44.20 แต่สำหรับบัวจีนอัตราการลดลงของค่า MI จากกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกันระหว่างการได้รับแคดเมียม 24 และ 48 ชม. ก็มีค่า MI ลดลงเท่ากับ 43.80 และ 42.00 ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่า phase index (ตารางที่ 6) แสดงให้เห็นว่าแคดเมียมความเข้มข้น 0.06 ppm มีผลต่อการแบ่งเซลล์ของพืชทั้ง 3 ชนิดในลักษณะเดียวกัน คือ ทำให้เซลล์เข้าสู่ ระยะโพรเฟส เมทาเฟส แอานาเฟส และเทโลเฟส น้อยลงดังนั้น จำนวนเซลล์ที่อยู่ใน ระยะอินเตอร์เฟสจึงมีมากขึ้นในกลุ่มทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและ ผลปรากฏในลักษณะเดียวกันทั้งที่ได้รับสารทดสอบแคดเมียม 24 และ 48 ชม.

จากข้อมูลค่า MA (ตารางที่ 7) ซึ่งบ่งชี้ความผิดปกติในการแบ่งเซลล์ในพืช 3 ชนิดคือ บัวจีน และว่านมหาลาม เปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่เมื่อได้รับแคดเมียม 0.06 ppm เป็นเวลา 24 และ 48 ชม. พบว่าหอมหัวใหญ่และว่านมหาลามมีการตอบสนองต่อสารทดสอบที่ดีคือ แสดงค่า MA เพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างชัดเจนทั้งเมื่อได้รับสารทดสอบเป็นเวลา 24 และ 48 ชม. โดยหอมหัวใหญ่มีค่า MA เพิ่มจากกลุ่มควบคุมเท่ากับ 3 และ 1.6 เช่นเดียวกับว่านมหาลามที่มีค่า MA เพิ่มมากกว่ากลุ่มควบคุมเท่ากับ 3 และ 4.4 เมื่อได้รับแคดเมียม 24 และ 48 ชม.ตามลำดับ แต่สำหรับบัวจีน ค่า MA เพิ่มจากกลุ่มควบคุมเท่ากับ 2 เมื่อได้รับแคดเมียม 24 ชม. ส่วนที่ 48 ชม. ค่า MA ที่เพิ่มจากกลุ่มควบคุมเท่ากับ 0.00 คือไม่มีการเพิ่มขึ้นเลย

ชนิดของความผิดปกติที่พบมากในทุกพืช ได้แก่ disturb และหากพิจารณาชนิดของความผิดปกติที่พบในหอมหัวใหญ่ที่ได้รับแคดเมียม 24 และ 48 ชม.จะพบได้ 2 ชนิดคือ disturb กับ micronucleus ส่วนบัวจีนจะพบความผิดปกติ 2 ชนิดเมื่อได้รับสารแคดเมียม 24 ชม. คือ disturb และ micronucleus แต่เมื่อได้รับแคดเมียม 48 ชม. จะมีความผิดปกติ 3 ชนิดคือ มีความผิดปกติชนิด chromosome bridge เพิ่มมาอีก 1 ชนิด สำหรับว่านมหาลามจะมีชนิดของความผิดปกติเกิดขึ้นมากกว่า

หอมหัวใหญ่และบัวจีน กล่าวคือ พบความผิดปกติ 3 ชนิด ได้แก่ disturb, fragment chromosome, binucleus และ 4 ชนิด คือ disturb, chromosome bridge, micronucleus และ binucleus เมื่อได้รับ แคลเมียม 24 และ 48 ชม.ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ค่า Mitotic Index และ Phase Index ของพืช 2 ชนิดที่ได้รับคัดเลือก เปรียบเทียบกับ

หอมหัวใหญ่ เมื่อได้รับ CdCl₂ 0.06 ppm เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมงพักฟื้นราก 48 ชม.

ชนิดพืช	หอมหัวใหญ่												
เวลาทดสอบ	24 ชม.						48 ชม.						
CdCl ₂ (ppm)	Inter	Pro	Met	Ana	Telo	MI	Inter	Pro	Met	Ana	Telo	MI	
0.00	929.00	29.00	14.60	14.40	13.00	71.00	895.60	59.40	17.20	11.40	16.40	104.40	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	3.09	1.37	1.12	1.91	0.89	3.09	4.48	4.11	1.62	0.67	1.56	4.48	
0.06	958.60	16.20	9.00	8.20	8.00	41.40	963.8	9.80	10.40	8.20	7.80	36.20	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	3.41	1.77	1.26	1.06	1.67	3.41	2.03	1.39	1.02	1.11	0.58	2.03	
ค่า MI ที่ลดลง						29.60							68.00
ชนิดพืช	บัวจีน												
เวลาทดสอบ	24 ชม.						48 ชม.						
CdCl ₂ (ppm)	Inter	Pro	Met	Ana	Telo	MI	Inter	Pro	Met	Ana	Telo	MI	
0.00	913.80	45.40	18.00	7.20	15.60	86.20	903.00	44.00	19.40	12.20	21.00	96.60	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	3.62	2.8	2.16	1.15	2.20	3.62	3.90	2.98	0.92	2.00	1.14	3.90	
0.06	957.60	10.60	13.40	11.20	7.20	42.40	945.40	20.00	12.00	11.20	11.40	54.60	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	3.41	1.8	1.72	1.59	0.86	3.41	3.14	1.58	0.89	1.36	1.20	3.14	
ค่า MI ที่ลดลง						43.80							42.00
ชนิดพืช	ว่านมหาลาภ												
เวลาทดสอบ	24 ชม.						48 ชม.						
CdCl ₂ (ppm)	Inter	Pro	Met	Ana	Telo	MI	Inter	Pro	Met	Ana	Telo	MI	
0.00	930.20	23.80	21.60	13.20	11.20	69.80	920.80	22.60	22.80	16.20	17.60	79.20	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	3.33	2.35	0.56	1.15	0.58	3.33	3.92	3.12	2.08	1.39	1.5	3.92	
0.06	951.80	12.20	14.00	10.60	11.40	48.20	965.00	10.80	10.80	7.00	6.40	35.00	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	3.12	0.86	1.51	1.12	1.77	3.12	2.58	1.01	1.93	1.22	1.6	2.58	
ค่า MI ที่ลดลง						21.60							44.20

ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

ตารางที่ 7 ชนิดของ Mitotic aberration และค่า MA ของพืช 2 ชนิดที่คัดเลือกไว้เปรียบเทียบกับ
หอมหัวใหญ่ เมื่อได้รับ CdCl₂ เป็นเวลา 24 และ 48 ชม. (พักพื้นราก 48 ชั่วโมง)

ชนิดพืช		หอมหัวใหญ่													
เวลาทดสอบ		24 ชม						48 ชม.							
CdCl ₂ (ppm)	bridge	Dist	Lag	Frag	MN	Bi	MA	bridge	Dist	Lag	Frag	MN	Bi	MA	
0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.20	2.00	0.00	0.00	0.60	0.00	2.80	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20	0.44	0.00	0.00	0.60	0.00	0.66	
0.06	0.00	2.80	0.00	0.00	0.80	0.00	3.60	0.00	4.00	0.00	0.00	0.40	0.00	4.40	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0.00	0.86	0.00	0.00	0.37	0.00	0.87	0.00	1.09	0.00	0.00	0.24	0.00	1.20	
ค่า MA ที่เพิ่มขึ้น							3.0								1.60

ชนิดพืช		บัวจั้น													
เวลาทดสอบ		24 ชม.						48 ชม.							
CdCl ₂ (ppm)	bridge	Dist	Lag	Frag	MN	Bi	MA	bridge	Dist	Lag	Frag	MN	Bi.	MA	
0.00	1.00	1.60	0.20	0.00	1.20	0.00	4.00	0.60	1.40	0.40	0.00	1.80	0.00	4.20	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0.77	0.24	0.20	0.00	0.37	0.00	1.14	0.40	0.67	0.24	0.00	0.58	0.00	1.09	
0.06	0.00	2.60	0.00	0.00	3.40	0.00	6.00	0.20	3.60	0.00	0.00	0.40	0.00	4.20	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0.00	1.20	0.00	0.00	2.22	0.00	2.75	0.00	0.67	0.00	0.00	0.40	0.00	0.80	
ค่า MA ที่เพิ่มขึ้น							2.00								0.00 ± 0.00

ชนิดพืช		ว่านมหาลาก													
เวลาทดสอบ		24 ชม.						48 ชม.							
CdCl ₂ (ppm)	bridge	Dist.	Lag.	Frag	MN	Bi.	MA	bridge	Dist.	Lag	Frag	MN	Bi.	MA	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.2	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
				±0.20		±0.20	±0.24								
0.06	0.00	1.40	0.00	0.20	0.00	1.80	3.40	0.60	3.40	0.00	0.00	0.20	0.20	4.40	
		±0.5		±0.20		±0.58	±0.92					±0.4	±0.67		±0.20
ค่า MA ที่เพิ่มขึ้น							3.00								4.40

ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

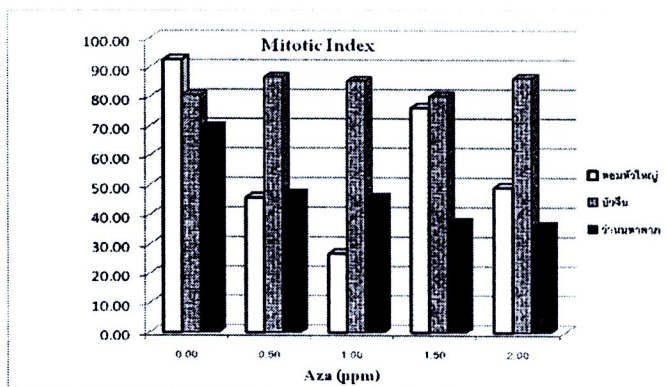
1.3. ผลการทดสอบ genotoxic ของสารสกัดสะเดากับพืช 2 ชนิดที่คัดเลือกไว้เปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่

จากข้อมูลในตารางที่ 8 ภาพที่ 4 และภาพที่ 5 เป็นผลการศึกษาค่า mitotic index (MI) และ mitotic aberration (MA) จากเซลล์รากของหอมหัวใหญ่ บัวจันและว่านมหาลากเมื่อได้รับ Azadirachtin (Aza) ความเข้มข้น 0.00 0.50 1.00 1.50 และ 2.00 ppm เป็นเวลา 24 ชม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่า MI ของหอมหัวใหญ่และว่านมหาลากลดลงจากค่า MI ของกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในเซลล์รากบัวจันไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ส่วนค่า MA บ่งชี้ว่าโดยภาพรวมพืชทั้ง 3 ชนิดจะมีความผิดปกติเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Aza สูงขึ้นโดยว่านมหาลากและบัวจันจะพบการสูงขึ้นของค่า MA แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกความเข้มข้นของ Aza แต่สำหรับในหอมหัวใหญ่ค่า MA ของกลุ่มทดลองจะแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเข้มข้นของ Aza เท่ากับ 2.00 ppm (ข้อบ่งชี้ในเชิงการค่าสำหรับสารสกัดสะเดาที่นำมาทดสอบแนะนำให้เกษตรกรใช้เพื่อกำจัดแมลงที่ความเข้มข้นของ Aza เท่ากับ 1.50 – 2.50 ppm) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หากใช้ค่า MA เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความเป็นพิษของสารสกัดสะเดา ประเภทของพืชที่สามารถนำมาทดสอบอาจเป็นว่านมหาลากหรือบัวจัน ซึ่งพบว่ามีควมไวต่อการตรวจสอบมากกว่าหอมหัวใหญ่ แต่ถ้าจะใช้ทั้ง 2 พารามิเตอร์คือทั้ง MI และ MA จะมีพืชชนิดเดียวเท่านั้นคือว่านมหาลากที่จะให้ผลการตอบสนองต่อ Aza ได้ดีเทียบเท่าหอมหัวใหญ่

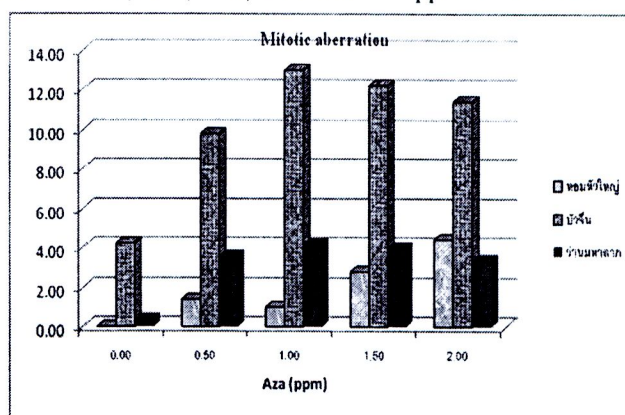
ตารางที่ 8 ค่า Mitotic index และ Mitotic aberration ของพืชที่คัดเลือกไว้ 2 ชนิด เปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่เมื่อได้รับสารสกัดสะเดาที่มี azadirachtin เข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 ppm เป็นเวลา 24 ชม. พักพื้นราก 48 ชม.

ชนิดพืช Aza(ppm)	Mitotic index			Mitotic aberration		
	หอมหัวใหญ่	บัวจัน	ว่านมหาลาก	หอมหัวใหญ่	บัวจัน	ว่านมหาลาก
Negative control 0.00	92.60±2.46 ^c	80.60±6.96	69.80±3.33 ^b	0.00±0.00 ⁱ	4.20±0.91 ⁱ	0.40±0.24 ⁱ
0.50	45.80±8.23 ^{ab}	86.80±8.26	47.20±4.99 ^a	1.40±0.74 ⁱ	9.80±0.80 ^b	3.60±0.92 ^b
1.00	26.80±13.16 ^a	85.40±4.76	45.80±2.93 ^a	1.00±0.54 ⁱ	13.00±1.64 ^b	4.20±0.58 ^b
1.50	76.20±20.04 ^b	80.20±6.7	37.40±4.66 ⁱ	2.80±0.01 ^{ab}	12.20±2.53 ^b	4.00±0.54 ^b
2.00	49.20±2.98 ^{ab}	86.40±7.93	36.20±0.37 ⁱ	4.40±1.66 ^b	11.40±1.77 ^b	3.40±0.50 ^b
Positive control CdCl ₂ 0.06 ppm	41.40±3.41	106.00±10.71	48.20±3.12	3.60±0.87	12.60±1.78	3.40±0.92

^{a,b} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (*p* < 0.05)
ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดง mitotic index ของหอมหัวใหญ่ บัวจีน และว่านมหาลาก เมื่อได้รับสารสกัด สะเดาความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 ppm เป็นเวลา 24 ชม. พักพื้นราก 48 ชม.



ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดง Mitotic aberration ในหอมหัวใหญ่ บัวจีน และว่านมหาลาก เมื่อได้รับสารสกัดสะเดาความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 ppm เป็นเวลา 24 ชม.

สำหรับค่า phase index (PI) ในตารางที่ 9 บ่งชี้ว่าผลของสารสกัดสะเดาทำให้เซลล์ปลายรากของพืชทดลอง 2 ชนิดคือ หอมหัวใหญ่ และว่านมหาลาก มีการเปลี่ยนแปลงจากระยะ อินเตอร์เฟส เพื่อเข้าสู่ระยะ โพรเฟสน้อยลง จึงส่งผลให้จำนวนเซลล์ในระยะ โพรเฟส เมทาเฟส แอานาเฟส และเทโลเฟส มีจำนวนน้อยและระยะอินเตอร์เฟสมีมากขึ้น เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมยวกันในวันบัวจีนที่ค่า PI จากกลุ่มทดลองเมื่อได้รับสารสกัดสะเดาไม่พบความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ส่วนชนิดของความผิดปกติของพืชทดลองคือ หอมหัวใหญ่ บัวจีนและว่านมหาลาก เมื่อได้รับสารสกัดสะเดาความเข้มข้นต่างๆ จะพบชนิดของความผิดปกติมากกว่าเมื่อพืชชนิดนั้นๆ ได้รับแคดเมียม 0.06 ppm ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เป็น positive control เช่นหอมหัวใหญ่พบความผิดปกติ 5 ชนิด เมื่อได้รับสารสกัดสะเดา ความผิดปกติดังกล่าวได้แก่ chromosome bridge, disturb, fragment, micronucleus และ binucleus ในขณะที่เมื่อได้รับแคดเมียม (positive control) พบความผิดปกติเพียง 2 ชนิดคือ disturb และ micronucleus

การเกิดจำนวนชนิดของความผิดปกติที่มากกว่า positive control พบได้ในลักษณะเดียวกันในบัวจีนและว่านมหาลาก กล่าวคือ ในบัวจีนจะพบความผิดปกติ 4 ชนิด เมื่อได้รับสารสกัดสะเดา ได้แก่ chromosome bridge, disturb, laggard และ micronucleus ส่วน positive control พบความผิดปกติเพียง 3

ชนิดคือ chromosome bridge, disturb และ micronucleus สำหรับว่านมหาลาเมื่อได้รับสารสกัดสะเดา พบความผิดปกติ 5 ชนิดคือ disturb, laggard, fragment, micronucleus และ binucleus ส่วน positive control พบความผิดปกติเพียง 3 ชนิดได้แก่ disturb, fragment และ binucleus (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 9 ค่า Phase index ของพืชที่คัดเลือกไว้ 2 ชนิดเปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่ เมื่อเซลล์ปลาย

รากได้รับ Azadirachtin 0.00, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 ppm และ positive control ได้แก่ CdCl₂ 0.06 ppm 24 ชม. พักพื้นราก 48 ชม.

ชนิดพืช Aza (ppm)	หอมหัวใหญ่				
	Inter	Pro	Meta	Ana	Telo
Negative control 0.0	907.40±2.46 ⁱ	45.60±4.15 ^c	15.20±1.82 ^c	9.00±1.14 ^b	22.80±2.33 ^c
0.50	954.20±8.23 ^{bc}	24.80±2.93 ^{ab}	6.40±2.15 ^a	4.80±1.39 ^{ab}	9.80±3.30 ^{ab}
1.00	973.20±13.16 ^c	13.80±5.67 ^a	5.40±2.73 ^a	2.20±1.95 ^a	5.40±2.99 ⁱ
1.50	923.80±20.04 ^{ab}	38.40±12.53 ^{bc}	12.60±3.88 ^{ab}	7.0±1.97 ^{ab}	18.20±6.31 ^{bc}
2.00	950.80±2.98 ^{bc}	23.20±1.77 ^{ab}	7.80±1.59 ^{ab}	5.40±0.87 ^{ab}	12.80±1.15 ^{abc}
Positive control CdCl ₂ 0.06 ppm	958.60±3.41	16.20±1.77	9.00±1.26	8.20±1.06	8.00±1.67
ชนิดพืช Aza (ppm)	บัวจัน				
	Inter	Pro	Meta	Ana	Telo
Negative control 0.0	919.40±6.96	37.60±3.66	19.00±1.58	7.60±1.80	16.40±1.32 ^a
0.50	913.20±8.26	34.80±5.11	19.60±4.30	6.20±1.42	26.20±1.42 ^b
1.00	914.60±4.70	41.60±5.29	17.20±1.56	9.60±1.46	17.00±2.66 ^a
1.50	919.80±6.70	37.40±2.08	16.20±2.43	8.40±0.87	18.20±3.96 ^{ab}
2.00	913.60±7.93	33.20±1.42	19.20±2.41	10.0±2.70	24.00±2.88 ^{ab}
Positive control CdCl ₂ 0.06 ppm	894.00±10.71	50.40±11.49	27.40±2.96	13.60±2.04	14.60±3.44
ชนิดพืช Aza (ppm)	ว่านมหาลา				
	Inter	Pro	Meta	Ana	Telo
Negative control 0.00	930.00	23.80±2.35 ^b	21.60±0.50 ^d	13.20±1.15 ^b	11.20±0.58 ^c
0.50	952.80	14.80±3.33 ^a	14.20±1.85 ^{bc}	7.60±1.20 ^a	10.60±1.02 ^{bc}
1.00	954.20	15.80±2.08 ^a	15.20±0.80 ^c	8.60±1.74 ^a	6.20±0.91 ^a
1.50	962.40	14.20±2.59 ^a	10.80±1.39 ^{ab}	6.20±1.24 ^a	6.20±1.01 ^a
2.00	963.80	12.00±1.78 ^a	9.20±1.15 ^a	7.00±1.09 ^a	8.00±0.83 ^{ab}
Positive control CdCl ₂ 0.06 ppm	951.8±3.12	12.20±0.86	14.00±1.51	10.60±1.12	11.40±1.77

^{ab} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$)

ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

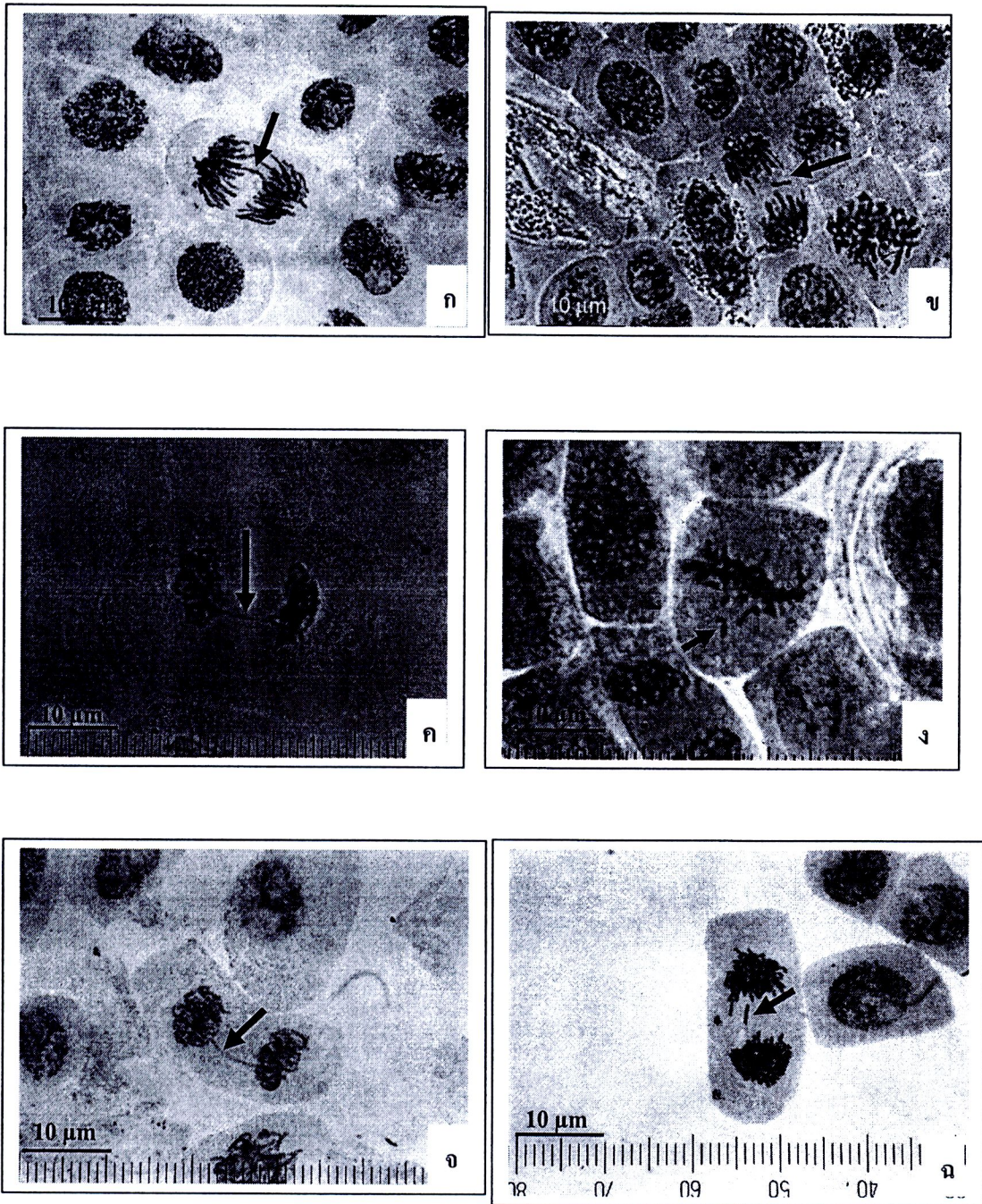
ตารางที่ 10 ชนิดของ Mitotic aberration ที่พบในการแบ่งเซลล์ปลายรากพืช 2 ชนิด ที่คัดเลือกไว้
เปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่เมื่อได้รับ Azadirachtin 0.00, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 ppm
และ positive control (CdCl₂ 0.06 ppm) 24 ชม. พักพื้นราก 48 ชม.

ชื่อพืช Aza(ppm)	หอมหัวใหญ่					
	Bridge	Disturb	Laggard	Fragment	MN	Bi
Negative control 0.00	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
0.50	0.60±0.40	0.20±0.20 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.60±0.40	0.00±0.00
1.00	0.00±0.00	0.60±0.60 ^a	0.00±0.00	0.20±0.20	0.20±0.20	0.00±0.00
1.50	0.80±0.58	1.20±0.58 ^{ab}	0.00±0.00	0.0±0.00	0.60±0.24	0.20±0.20
2.00	0.60±0.40	2.80±0.96 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.80±0.58	0.20±0.20
Positive control CdCl ₂ 0.06 ppm	0.00±0.00	2.80±0.86	0.00±0.00	0.00±0.00	0.86±0.37	0.00±0.00

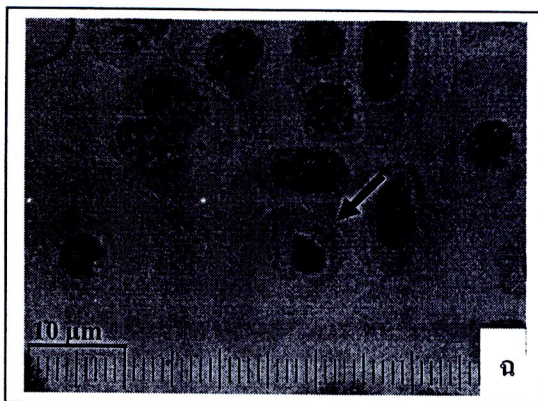
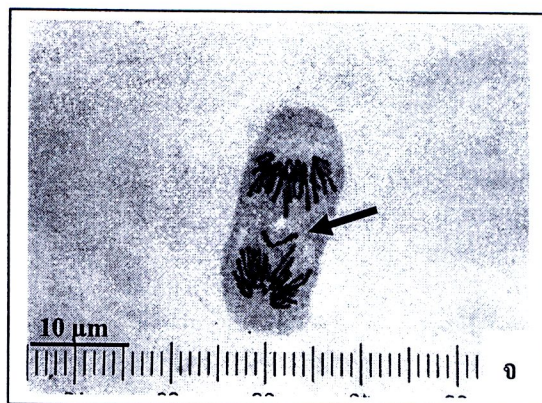
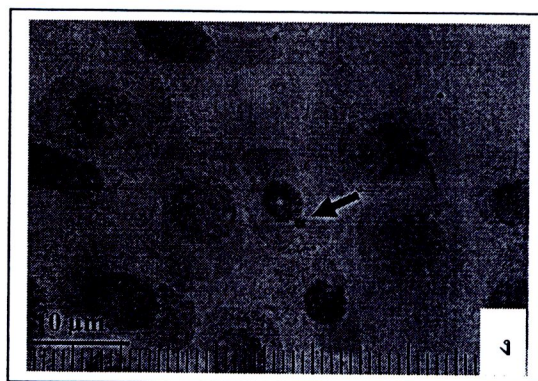
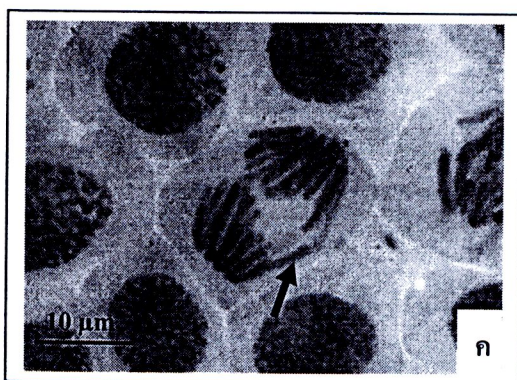
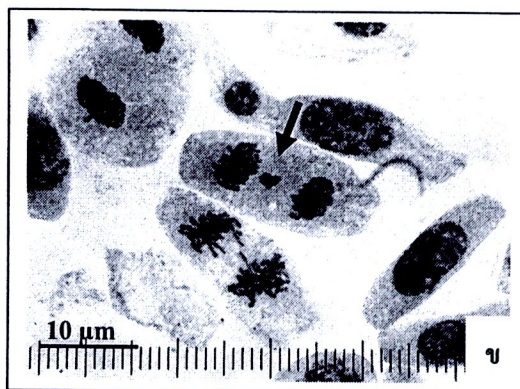
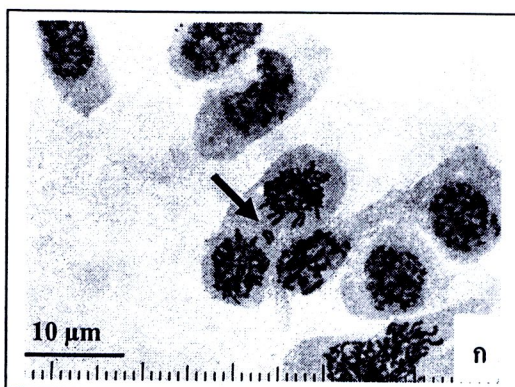
ชื่อพืช Aza(ppm)	บัวจีน					
	Bridge	Disturb	Laggard	Fragment	MN	Bi
Negative control 0.00	1.20±0.20 ^a	1.00±0.44	0.20±0.20	0.00±0.00	1.80±0.80	0.00±0.00
0.50	2.60±0.67 ^{ab}	3.00±0.63	0.00±0.00	0.00±0.00	4.20±1.28	0.00±0.00
1.00	4.80±0.96 ^b	3.40±0.97	0.00±0.00	0.00±0.00	4.80±1.39	0.00±0.00
1.50	3.80±1.15 ^{ab}	3.40±0.81	0.20±0.20	0.00±0.00	5.00±2.09	0.00±0.00
2.00	4.20±1.39 ^{ab}	2.60±0.87	0.00±0.00	0.00±0.00	4.60±1.20	0.00±0.00
Positive control CdCl ₂ 0.06 ppm	3.00±1.38	7.40±1.50	0.00±0.00	0.00±0.00	2.20±0.37	0.00±0.00

ชื่อพืช Aza(ppm)	ว่านมหาลาก					
	Bridge	Disturb	Laggard	Fragment	MN	Bi
Negative control 0.00	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.20±0.20	0.00±0.00	0.20±0.20
0.50	0.00±0.00	2.80±0.86 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20	0.60±0.40
1.00	0.00±0.00	3.60±0.40 ^b	0.00±0.00	0.20±0.20	0.20±0.20	0.20±0.20
1.50	0.00±0.00	2.80±0.37 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	1.20±0.58
2.00	0.00±0.00	3.00±0.31 ^b	0.20±0.20	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20
Positive control CdCl ₂ 0.06 ppm	0.00±0.00	1.40±0.50	0.00±0.00	0.20±0.20	0.00±0.00	1.80±0.58

ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE



ภาพที่ 4 ลักษณะความผิดปกติของสารพันธุกรรมแบบต่างๆ เมื่อได้รับสารละลายแคดเมียม 0.02- 0.09 ppm. ในพลับพลึง (ก. bridge ข. lagging chromosome) กระดุมทอง (ค. bridge ง. disturb) และบัวจัน (จ. bridge ฉ. lagging chromosome)



ภาพที่ 5 ลักษณะความผิดปกติของสารพันธุกรรมแบบต่างๆเมื่อได้รับสารละลายแคดเมียม 0.02-0.09 ppm. ในวุ้นนมหาลาภ (ก. lagging chromosome ข. micronucleus) หอมแดง (ค. anaphase bridge ง. micronucleus) และหอมหัวใหญ่ (จ. lagging chromosome ฉ. micronucleus)

2. การศึกษาการเสื่อมฤทธิ์ของสารสกัดสะเดา 111 และการทดลองภาคสนาม

พืชทดลอง ชนิดพืชที่ศึกษาเป็นพืชที่ได้รับการคัดเลือกมาจากผลการทดลองในปีที่ 1 มี 3 ชนิด คือ ว่านมหาลาภ (*E. bicolor*) บัวจีน (*Z. rosea*) และหอมหัวใหญ่ (*A. cepa*) ซึ่งใช้เป็นพืชเปรียบเทียบ

2.1 ผลการศึกษาการเสื่อมฤทธิ์ของสารสกัดสะเดา 111

2.1.1 จากการทดลองเพื่อทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสะเดา 111 ที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์ที่ความเข้มข้น 2.00 ppm และที่ทำให้เสื่อมฤทธิ์โดยให้สัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลา 3 วัน และ 7 วัน กับสารพันธุกรรมของพืช 3 ชนิด ได้แก่ ว่านมหาลาภ บัวจีน และหอมหัวใหญ่โดยใช้เวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ปรากฏผลการทดลองโดยใช้ค่า phase index (PI) mitotic index (MI) และค่า mitotic aberration (MA) เป็นตัวชี้วัดดังนี้

ตารางที่ 11 ค่า Phase index และ Mitotic index ของเซลล์ปลายรากพืช 3 ชนิดเมื่อทดสอบด้วยสารสกัดสะเดา 2.0 0ppm และสารสกัดสะเดา 2.0 ppm ที่ผ่านการตากแดด 3 วันและ 7 วัน

พืชทดสอบ	สารทดสอบ	Mitotic index				
		prophase	metaphase	anaphase	telophase	total MI
หัตหอมใหญ่	neem 2.00 ppm (positive control)	23.20±1.77 ^a	7.80±1.59 ^a	5.40±0.81 ^a	12.80±1.15 ^a	49.20±2.98 ^a
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 3 วัน)	45.60±4.15 ^b	15.20±1.82 ^b	9.00±1.14 ^b	22.80±2.33 ^b	92.60±2.46 ^b
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 7 วัน)	28.60±4.94 ^a	11.20±0.96 ^{ab}	9.60±0.92 ^b	11.20±1.65 ^a	60.60±7.44 ^a
บัวจีน	neem 2.00 ppm (positive control)	33.20±1.42 ^b	19.20±2.41 ^b	10.00±2.70	24.00±2.88 ^b	86.40±7.93 ^b
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 3 วัน)	18.80±4.49 ^a	11.40±1.50 ^a	8.20±1.46	8.00±2.12 ^a	46.40±2.89 ^a
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 7 วัน)	15.60±2.08 ^a	13.00±1.51 ^a	9.60±1.43	10.20±1.88 ^a	48.40±5.53 ^a
ว่านมหาลาภ	neem 2.00 ppm (positive control)	12.00±1.78 ^a	9.20±1.15 ^a	7.00±1.09	8.00±0.83	36.20±0.37 ^a
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 3 วัน)	17.20±1.93 ^b	11.00±0.83 ^a	9.00±2.28	9.80±1.35	47.00±3.06 ^b
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 7 วัน)	11.20±1.11 ^a	14.60±1.07 ^b	7.20±0.48	11.60±2.06	44.60±3.52 ^b

^{a,b} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

หมายเหตุ : 1. การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบเฉพาะในพืชชนิดเดียวกัน

2. ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

เมื่อพิจารณาค่า MI ของหอมหัวใหญ่แสดงผลที่ชัดเจนว่า สารสกัดสะเดาที่ผ่านการตากแดด 3 วันหรืออาจเรียกว่าเสื่อมฤทธิ์ 3 วันมีค่า MI เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม (สารสกัดสะเดา 2.00 ppm ที่ไม่เสื่อมฤทธิ์) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในทำนองเดียวกัน ที่กลุ่มทดลองเสื่อมฤทธิ์ 7 วันก็พบว่าค่า MI อยู่ในระดับสูงกว่ากลุ่มควบคุมเช่นเดียวกัน โดยค่า MI ของกลุ่มควบคุม กลุ่ม

เสื่อมฤทธิ์ 3 วันและ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 49.20, 92.60 และ 60.60 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ซึ่งผลดังกล่าวเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลค่า MI ในวุ้นมหาลาภที่กลุ่มควบคุมมีค่า MI ในระดับต่ำแต่ในกลุ่มเสื่อมฤทธิ์ 3 วันและ 7 วัน ค่า MI มีระดับสูงขึ้น คือ 36.20 ในกลุ่มควบคุมและ 47.00, 44.60 ในกลุ่มเสื่อมฤทธิ์ 3 วันและ 7 วันตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกันกับการทดลองในหอมหัวใหญ่ ส่วนค่า PI ของพืชทั้ง 2 ชนิดพบว่า ระยะ prophase และ metaphase มีสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้นในกลุ่มเสื่อมฤทธิ์มากกว่าระยะอื่นๆ สำหรับบวจินค่า MI ไม่แสดงถึงการเสื่อมฤทธิ์ของสารสกัดสะเดาเพราะให้ค่า MI ที่ตรงกันข้ามกับพืชทดลองอีก 2 ชนิด ที่กล่าวมาข้างต้น (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ค่า Mitotic aberration ของเซลล์ปลายรากพืช 3 ชนิดเมื่อทดสอบด้วยสารสกัดสะเดา

2.00 ppm และสารสกัด 2.00 ppm ที่ผ่านการตากแดด 3 วันและ 7 วัน

พืชทดสอบ	สารทดสอบ	Mitotic aberration						
		bridge	disturb	laggard	fragment	MN	Bi	Total MA
หัตหอมใหญ่	neem 2.00 ppm (positive control)	0.60±0.40	2.80±0.96 ^b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.80±0.58	0.20±0.20	4.40±1.60
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 3 วัน)	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 7 วัน)	0.60±0.60	2.60±0.74 ^b	0.00±0.00	0.20±0.20	6.80±6.30	0.00±0.00	10.20±7.40
บวจิน	neem 2.00 ppm (positive control)	4.20±1.39 ^b	2.60±2.0.87	0.00±0.00	0.00±0.00	4.60±1.20 ^b	0.00±0.00	11.40±1.77 ^b
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 3 วัน)	0.20±0.20 ^a	1.00±0.54	0.00±0.00	0.00±0.00	0.80±0.37 ^a	0.00±0.00	1.80±0.66 ^a
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 7 วัน)	0.00±0.00 ^a	1.60±0.40	0.00±0.00	0.00±0.00	0.60±0.40 ^a	0.00±0.00	2.20±0.73 ^a
วุ้นมหาลาภ	neem 2.00 ppm (positive control)	0.00±0.00	3.00±0.31	0.20±0.20	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20	3.40±0.50 ^b
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 3 วัน)	0.00±0.00	1.80±0.37	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	1.80±0.37 ^{ab}
	neem 2.00 ppm (เสื่อม 7 วัน)	0.00±0.00	1.60±0.67	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	1.60±0.67 ^a

^{ab} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$)

หมายเหตุ : 1. การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบเฉพาะในพืชชนิดเดียวกัน

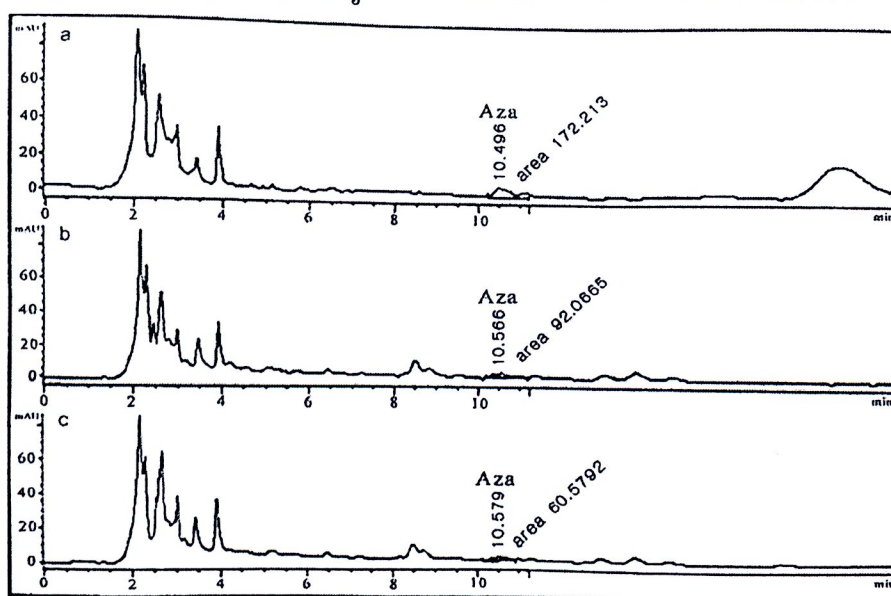
3. ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

จากผลที่แสดงค่า MA ในตารางที่ 12 จะเห็นว่า โดยภาพรวมพืชทดลองทั้ง 3 ชนิดให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน คือ กลุ่มควบคุม (สารสกัดสะเดา 2.00 ppm ที่ไม่เสื่อมฤทธิ์) มีค่าความผิดปกติของโครโมโซมและการแบ่งเซลล์ คือ ค่า MA สูงกว่ากลุ่มเสื่อมฤทธิ์ 3 วันและ 7 วัน โดยการตอบสนองพบได้ชัดเจนในพืชทดลอง 2 ชนิด ได้แก่ บวจิน และ วุ้นมหาลาภ โดยค่า MA ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสื่อมฤทธิ์ 3 วันและ 7 วัน ในบวจิน เท่ากับ 11.40, 1.80 และ 2.20 ส่วนในวุ้นมหาลาภ

มีค่าเท่ากับ 3.40, 1.80 และ 1.60 ซึ่งระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในหอมหัวใหญ่ ค่า MA แสดงการตอบสนองที่ไม่ชัดเจน และสำหรับชนิดของความผิดปกติที่พบมากทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองในพืชทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ disturb

ดังนั้นจะเห็นว่า เมื่อพิจารณาจากค่า MI และ MA ดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การเสื่อมฤทธิ์เกิดขึ้นทั้ง 2 กลุ่มทดลองคือเมื่อ สารสกัดสะเดาผ่านการตากแดด 3 วันและ 7 วัน

2.1.2 ผลการวิเคราะห์จาก HPLC (ภาพที่ 6) แสดงให้เห็นว่าสารละลายสารสกัดสะเดาที่ความเข้มข้น 2.00 ppm มีปริมาณ Aza เท่ากับ 0.00020% และเมื่อสารสกัดสะเดาความเข้มข้นดังกล่าวได้รับแสงแดดเป็นเวลา 3 วันและ 7 วัน ปริมาณ Aza ลดลง 17.89% และ 51.27% ตามลำดับ (Kwankua, 2010) จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์โดย HPLC ยืนยันว่าผลการวิเคราะห์ด้วย genotoxicity จากเซลล์ปลายรากของพืช 2 ชนิดคือ หอมหัวใหญ่ และว่านมหาลากให้ผลที่เที่ยงตรงและเชื่อถือได้



ภาพที่ 7 โครมาโตแกรมของสารสกัดสะเดาความเข้มข้น 0.00020% (w/v) เมื่อได้รับแสงแดด a. เวลา 0 วัน b. 3 วัน และ c. 7 วัน

2.2. ผลการประเมินความเป็นพิษของน้ำในแหล่งน้ำของสวนเกษตรอินทรีย์ภายหลังการฉีดพ่นสารสกัดสะเดา

การทดลองเพื่อประเมินความเป็นพิษของน้ำในแหล่งน้ำภายในสวนเกษตรอินทรีย์ ภายหลังที่เกษตรกรฉีดพ่นสารสกัดสะเดาวันแรก วันที่สอง และวันที่สาม โดยทำการตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ปลายรากของพืชทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ หอมหัวใหญ่ บัวจีน และ ว่านมหาลาก เวลาที่ทดสอบ 24 และ 48 ชั่วโมง ผลการทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 13 ค่า Phase index และ Mitotic index ในเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการทดสอบ
ความเป็นพิษจากน้ำในสวนเกษตรอินทรีย์ภายหลังการฉีดพ่นสารสกัดสะเดา

พืชทดลอง	เวลาที่ใช้ทดลอง	กลุ่มทดลอง	Phase index/Mitotic index					
			interphase	prophase	metaphase	anaphase	telophase	Total MI
หอมหัวใหญ่	24 ชม.	control *	886.60±7.75 ^b	31.60±2.37 ^a	28.60±4.53	13.80±1.15 ^a	39.40±2.54	113.40±7.75 ^a
		น้ำวันที่ 1	880.20±8.14 ^b	38.40±3.68 ^{ab}	25.20±2.20	22.00±2.00 ^{ab}	37.80±2.92	119.80±8.14 ^a
		น้ำวันที่ 2	872.00±5.71 ^b	47.00±3.91 ^b	28.40±1.74	19.40±1.56 ^{ab}	33.20±1.65	128.00±5.71 ^a
		น้ำวันที่ 3	838.00±4.48 ^a	60.00±5.41 ^c	35.00±0.54	23.00±4.49 ^b	44.00±4.18	162.00±4.48 ^b
	48 ชม.	control *	838.00±4.48 ^{ab}	60.00±5.41 ^c	35.00±0.54	23.00±4.49 ^{ab}	44.00±4.18 ^b	162.00±4.48 ^{bc}
		น้ำวันที่ 1	868.20±3.96 ^{bc}	40.40±2.96 ^{ab}	29.60±1.32	25.40±0.97 ^{ab}	36.40±1.77 ^{ab}	131.80±3.96 ^{ab}
		น้ำวันที่ 2	822.00±19.94 ^a	62.60±6.32 ^c	39.00±7.98	31.40±3.91 ^b	45.00±3.67 ^b	178.00±19.94 ^c
		น้ำวันที่ 3	880.00±9.64 ^c	45.80±4.57 ^b	27.40±3.58	19.80±1.85 ^a	26.20±3.63 ^a	119.20±9.64 ^a

^{ab} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p<0.05$)

หมายเหตุ : 1. control* น้ำประปา

2. ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

จากการประเมินอัตราการแบ่งเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ด้วยค่า MI พบว่าเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่ที่เจริญอยู่ในน้ำจากสวนเกษตรอินทรีย์ทุกกลุ่มทดลอง มีอัตราการแบ่งเซลล์ที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำประปา คือที่เวลาทดลอง 24 ชั่วโมง ค่า MI ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 113.40, 119.80, 128.00 และ 162.00 ตามลำดับ ส่วนที่เวลาทดลอง 48 ชั่วโมงพบค่า MI ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีค่าผันแปรขึ้นลงเท่ากับ 162.00 (กลุ่มควบคุม) และ 131.80, 178.00, 119.20 สำหรับกลุ่มทดลองที่เก็บน้ำมาในวันแรก วันที่สองและ วันที่สาม (ตารางที่ 13)

ส่วนพืชทดลองอีก 2 ชนิด ได้แก่ บัวจั้น และ ว่านมหาลากซึ่งให้ค่า MI ในทิศทางเดียวกับหอมหัวใหญ่ คือ กลุ่มทดลองมีแนวโน้มที่จะให้ค่า MI สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ความแตกต่างของค่า MI ดังกล่าวไม่ถึงระดับมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในว่านมหาลากทั้งการทดลองที่ 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง จะพบการสูงขึ้นของค่า MI ในกลุ่มทดลองแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14)

อนึ่งจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าพืชทั้ง 3 ชนิดตอบสนองต่อน้ำจากสวนเกษตรอินทรีย์ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีความไวต่อการตอบสนองต่อสารทดสอบที่ต่างกันไป โดยสามารถเรียงลำดับพืชทดสอบที่มีความไวต่อการทดสอบมากไปน้อยเมื่อใช้ค่า MI เป็นตัวบ่งชี้ได้เป็นลำดับ คือ ว่านมหาลาก หอมหัวใหญ่ และ บัวจั้น และนอกจากนี้ จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาจากค่า MI ยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า ยังมีพิษของสารสกัดสะเดามากพอที่จะตกค้างอยู่ในแหล่งน้ำหรือไม่ เพราะในแหล่งน้ำดังกล่าวเป็นที่รวมของปุ๋ยและแร่ธาตุในดินอื่นๆ อีกหลายชนิดที่ถูกน้ำชะล้างมาอยู่รวมกัน และแหล่งน้ำดังกล่าวเป็นแหล่งน้ำที่มีส่วนเชื่อมต่อกับสวนของเกษตรกรรายอื่นๆ ที่อาจใช้ปุ๋ยสารเคมีกำจัดแมลงและสารกำจัดวัชพืชซึ่งคาดว่าจะจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่า MI ในกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 14 ค่า Phase index และ Mitotic index ในเซลล์ราก บัวจีนและ ว่านมหาลาก เมื่อทดสอบ
ความเป็นพิษจากน้ำสวณเกษตรอินทรีย์ ภายหลังการฉีดพ่นสารสกัดสะเดา

พืชทดลอง	เวลาที่ใช้ทดลอง	กลุ่มทดลอง	Phase index/ Mitotic index					
			interphase	prophase	metaphase	anaphase	telophase	Total MI
บัวจีน	24 ชม.	control *	881.8±6.49 ^b	37.40±3.94 ^a	40.60±4.58 ^{ab}	12.20±1.28	28.00±2.96 ^{ab}	118.20±6.49 ^a
		น้ำวันที่ 1	871.40±6.69 ^{ab}	56.20±3.89 ^c	33.80±1.93 ^a	10.40±2.89	26.40±4.88 ^a	128.60±6.69 ^{ab}
		น้ำวันที่ 2	885.00±9.08 ^b	47.80±1.77 ^{abc}	30.20±3.71 ^a	7.60±0.87	29.40±4.45 ^{ab}	115.00±9.08 ^a
		น้ำวันที่ 3	867.20±6.16 ^{ab}	42.60±3.69 ^{ab}	41.80±5.07 ^{ab}	10.40±2.13	38.00±1.64 ^b	132.80±6.16 ^{ab}
	48 ชม.	control *	875.20±3.55	45.40±3.02	39.80±4.56	12.60±1.12	27.00±2.50	124.80±3.55
		น้ำวันที่ 1	871.60±6.20	47.60±4.47	45.80±4.02	7.40±1.28	33.80±2.08	128.40±6.20
		น้ำวันที่ 2	872.80±5.35	49.00±4.17	36.80±5.62	10.80±1.85	30.60±3.45	127.20±5.35
		น้ำวันที่ 3	880.60±7.12	43.20±2.93	34.20±6.28	11.00±2.04	31.00±1.51	119.40±7.14
ว่านมหาลาก	24 ชม.	control *	895.60±6.36 ^b	21.00±1.58 ^a	35.80±2.97	17.40±1.96	30.20±2.70 ^{ab}	104.40±6.36 ^a
		น้ำวันที่ 1	861.20±9.20 ^a	46.40±3.35 ^{bc}	40.00±5.34	17.80±1.59	34.60±1.46 ^{ab}	138.80±9.20 ^b
		น้ำวันที่ 2	865.80±5.42 ^a	48.40±6.40 ^c	43.20±3.39	16.20±1.46	26.60±3.60 ^a	134.20±5.42 ^b
		น้ำวันที่ 3	869.40±8.78 ^a	34.40±3.7 ^{3b}	44.40±3.14	20.40±2.49	31.40±3.09 ^{ab}	130.60±8.78 ^b
	48 ชม.	control *	897.40±3.96 ^c	25.60±3.41 ^a	35.40±2.99	15.40±0.60 ^a	26.20±2.39 ^a	102.60±3.96 ^a
		น้ำวันที่ 1	871.40±7.01 ^b	39.40±4.14 ^{ab}	45.20±3.44	14.80±1.98 ^a	29.20±2.69 ^a	128.60±7.01 ^b
		น้ำวันที่ 2	857.40±8.32 ^{ab}	57.00±4.97 ^c	38.60±2.97	16.20±2.87 ^{ab}	30.80±3.13 ^a	142.60±8.32 ^{bc}
		น้ำวันที่ 3	848.80±6.42 ^a	43.60±6.07 ^{bc}	45.60±4.33	21.60±2.20 ^b	40.40±3.09 ^b	151.20±6.42 ^c

^{ab} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$)

หมายเหตุ : 1. control* น้ำประปา

2. ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

ตารางที่ 15 Mitotic aberration ในเซลล์รากหอมหัวใหญ่เมื่อทดสอบความเป็นพิษจากน้ำในสวน
เกษตรอินทรีย์ภายหลังการฉีดพ่นสารสกัดสะเดาเวลาทดสอบ 24 และ 48 ชม.

พืชทดลอง	เวลาที่ใช้ทดลอง	กลุ่มทดลอง	Mitotic aberration						
			MN	bridge	fragment	BN	Disturb	laggard	Total MA
หอมหัวใหญ่	24 ชม.	control	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.40±0.24 ^a	0.20±0.20	0.60±0.24 ^a
		น้ำวันที่ 1	0.00±0.00	0.80±0.48	0.40±0.24 ^a	0.40±0.24	3.20±0.20 ^b	0.20±0.20	5.00±0.54 ^b
		น้ำวันที่ 2	0.00±0.00	0.20±0.20	0.20±0.20 ^a	0.60±0.24	5.20±0.58 ^c	0.00±0.00	6.20±0.86 ^b
		น้ำวันที่ 3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20 ^a	0.80±0.58	7.00±0.83 ^d	0.00±0.00	8.00±1.34 ^b
	48 ชม.	control	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20	0.80±0.58	7.00±0.83 ^b	0.00±0.00	8.00±1.34 ^b
		น้ำวันที่ 1	0.00±0.00	0.80±0.37	0.20±0.20	0.40±0.24	2.80±0.48 ^a	0.20±0.20	5.00±0.31 ^a
		น้ำวันที่ 2	0.00±0.00	0.20±0.20	0.00±0.00	0.20±0.20	5.80±0.86 ^b	0.20±0.20	6.40±0.81 ^{ab}
		น้ำวันที่ 3	0.40±0.40	0.00±0.00	0.00±0.00	0.60±0.40	6.60±5.50 ^b	0.00±0.00	7.60±0.40 ^{ab}

^{ab} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$)

ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

ตารางที่ 16 Mitotic aberration ในเซลล์รากบัวจีน และ ว่านมหาลาก เมื่อทดสอบความเป็นพิษ
ของน้ำจากสวนเกษตรอินทรีย์ภายหลังการฉีกรุ่นด้วยสารสกัดสะเดา เวลาทดสอบ 24
และ 48 ชม.

พืชทดลอง	เวลาที่ใช้ทดลอง	กลุ่มทดลอง	Mitotic aberration						
			MN	bridge	fragment	BN	Disturb	laggard	Total MA
บัวจีน	24 ชม.	control	12.40±5.14	0.20±0.20	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00 ^a	12.60±5.06
		น้ำวันที่ 1	5.00±0.54	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.40±0.24	0.00±0.00 ^a	5.40±0.50
		น้ำวันที่ 2	6.20±2.74	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.80±0.37	0.00±0.00 ^a	7.00±2.44
		น้ำวันที่ 3	5.40±1.43	0.40±0.24	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.40±0.24 ^b	6.20±1.35
	48 ชม.	control	4.80±0.86	0.20±0.20	0.20±0.20	0.60±0.40	0.20±0.20 ^a	0.00±0.00	6.00±0.83
		น้ำวันที่ 1	4.40±1.28	0.00±0.00	0.20±0.20	0.40±0.40	0.40±0.24 ^a	0.00±0.00	5.40±1.16
		น้ำวันที่ 2	4.20±1.35	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	1.40±0.40 ^b	0.00±0.00	5.60±1.02
		น้ำวันที่ 3	5.40±1.43	0.20±0.20	0.00±0.00	0.00±0.00	0.20±0.20 ^a	0.00±0.00	5.80±1.52
ว่านมหาลาก	24 ชม.	control	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.40±0.24	0.20±0.20 ^a	0.00±0.00	0.60±0.24 ^a
		น้ำวันที่ 1	0.80±0.37 ^{ab}	0.20±0.20	0.20±0.20	0.00±0.00	1.00±0.44 ^{ab}	0.00±0.00	2.20±0.86 ^{ab}
		น้ำวันที่ 2	1.40±0.50 ^b	0.00±0.00	0.40±0.24	0.00±0.00	2.20±0.37 ^b	0.00±0.00	4.00±0.54 ^b
		น้ำวันที่ 3	3.40±0.67 ^c	0.00±0.00	0.20±0.20	0.20±0.20	1.20±0.20 ^{ab}	0.00±0.00	5.00±1.04 ^b
	48 ชม.	control	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.20±0.20	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00	0.20±0.20 ^a
		น้ำวันที่ 1	0.80±0.37 ^a	0.00±0.00 ^a	0.40±0.24	0.00±0.00 ^a	2.00±0.54 ^b	0.00±0.00	3.20±0.58 ^b
		น้ำวันที่ 2	0.40±0.24 ^a	0.00±0.00 ^a	0.20±0.20	0.20±0.20 ^a	3.00±0.44 ^{bc}	0.20±0.20	4.00±0.54 ^b
		น้ำวันที่ 3	5.40±1.66 ^b	0.00±0.00 ^a	0.40±0.24	0.80±0.37 ^b	0.66±0.40 ^a	0.00±0.00	7.20±1.52 ^c

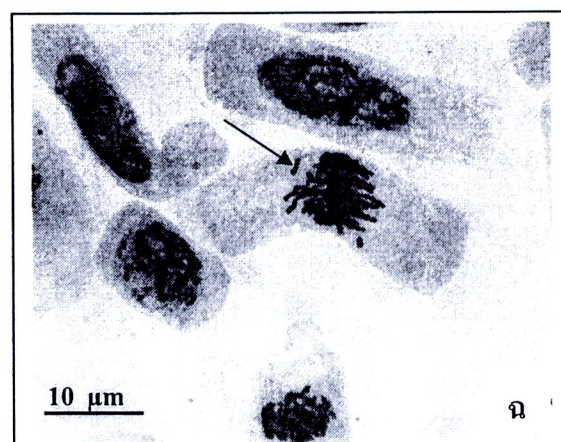
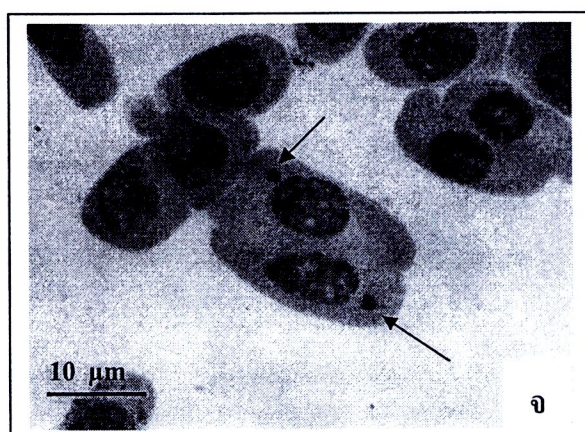
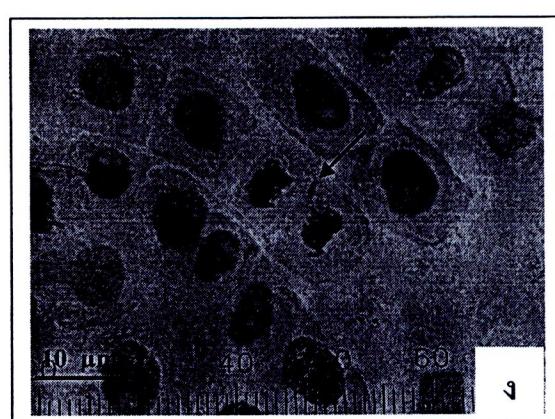
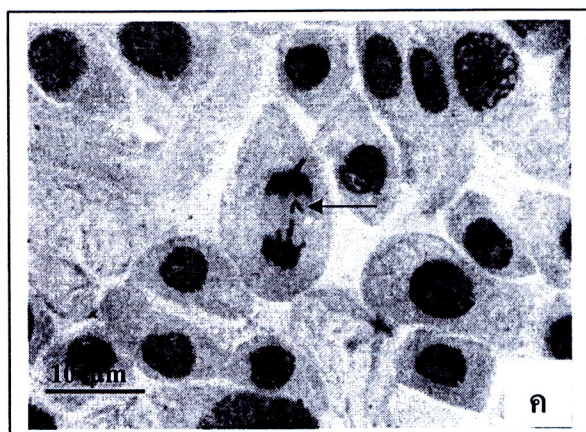
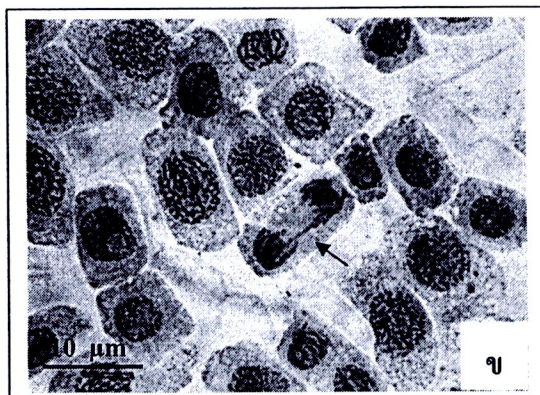
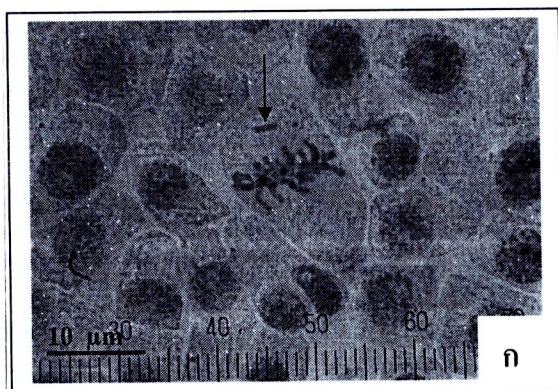
^{ab} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความถี่ที่พบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยต่อ 1000 เซลล์±SE

ผลการประเมินความผิดปกติของโครโมโซมและการแบ่งเซลล์โดยพิจารณาจากค่า MA ของเซลล์ปลายรากหอมหัวใหญ่พบว่า ที่เวลาทดลอง 24 ชั่วโมง กลุ่มทดลองทุกกลุ่มมีค่า MA เพิ่มขึ้นจากกลุ่มควบคุมเป็นลำดับ ได้แก่ 0.60 (กลุ่มควบคุม) และ 5.00, 6.20 และ 8.00 สำหรับน้ำทดลองวันที่ 1, 2 และ 3 แต่เมื่อเพิ่มเวลาทดลองเป็น 48 ชั่วโมง ค่า MA ของกลุ่มทดลองจะลดต่ำลงจากกลุ่มควบคุม ได้แก่ 8.00 ในกลุ่มควบคุมและ 5.00, 6.40 และ 7.60 ในกลุ่มทดลอง ซึ่งกรณีนี้เป็นไปได้ว่า เวลาทดลองที่ใช้ปลายรากพืชแช่ไว้ในน้ำทดสอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมงนั้น อาจจะนานเกินไปจนทำให้จุลินทรีย์ในน้ำเริ่มรบกวนการแบ่งเซลล์ ซึ่งจะเห็นว่า ค่า MI ของหอมหัวใหญ่ที่เวลาทดลอง 48 ชั่วโมงก็มีค่าลดลงเช่นกัน ดังนั้น เมื่ออัตราการแบ่งเซลล์ลดลงจึงสามารถตรวจพบความผิดปกติ คือค่า MA ได้น้อยลงด้วย เพราะความผิดปกติส่วนใหญ่ คือ disturb ซึ่งมักพบในระยะเมทาเฟส แอานาเฟส ซึ่งเป็นระยะที่มีการแบ่งเซลล์ (ตารางที่ 15)

สำหรับผลการประเมินค่า MA ในเซลล์รากบัวจีนและว่านมหาลาภ (ตารางที่ 16) พบว่าให้ผลตรงกันข้าม โดยในเซลล์รากของบัวจีนซึ่งโดยธรรมชาติมีความผิดปกติของโครโมโซมและการแบ่งเซลล์มากอยู่แล้ว โดยจะเห็นได้จากค่า MA ในกลุ่มควบคุมทั้งที่ 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง มีค่าสูงถึง 12.60 และ 6.00 ตามลำดับ และความผิดปกติที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ micronucleus ส่วนค่า MA ในกลุ่มทดลองที่เวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 5.40, 5.60 และ 5.80 ซึ่งจะเห็นว่าโดยภาพรวมเซลล์รากบัวจีนจะให้ค่า MA ลดต่ำลงจากกลุ่มควบคุม

ในว่านมหาลาภ ผลการประเมินค่า MA ชี้ให้เห็นว่ากลุ่มทดลองทุกกลุ่มมีค่า MA สูงกว่ากลุ่มควบคุมทั้งที่ใช้เวลาทดลอง 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง จะให้ผลเหมือนกัน และที่สำคัญผลของค่า MA ดังกล่าวยังเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการประเมินค่า MA ในหัวหอมใหญ่ที่เวลาทดลอง 24 ชั่วโมง คือในกลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีค่า MA แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่า MA ของว่านมหาลาภที่เวลาทดลอง 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.60 ในกลุ่มควบคุม และเท่ากับ 2.20, 4.00 และ 5.00 สำหรับน้ำทดลองวันที่ 1, 2 และ 3 ส่วนที่เวลาทดลอง 48 ชั่วโมงค่า MA จะเท่ากับ 0.20 ในกลุ่มควบคุม และ 3.20, 4.00 และ 7.20 เมื่อทดสอบในน้ำวันที่ 1, 2 และ 3 จะเห็นว่าการตอบสนองของว่านมหาลาภเมื่อใช้ค่า MA เป็นตัวชี้วัดจะให้ผลการทดลองที่สม่ำเสมอ และผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งที่ใช้เวลาทดลอง 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 7 ลักษณะความผิดปกติของสารพันธุกรรมแบบต่างๆ เมื่อได้รับพิษจากสารสกัดสะเดาความเข้มข้น 2.00 ppm. ในหอมหัวใหญ่ (ก. lagging chromosome ข. bridge ค. disturb ง. lagging chromosome) และวุ้นมหาลาภ (จ. micronucleus ฉ. disturb)

สรุปผลการทดลอง

ผลการคัดเลือกพืชท้องถิ่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการใช้ตรวจมลพิษ โดยวิธี genotoxicity testing มีเพียงชนิดเดียวคือว่านมหาลาก (*Eucrosia bicolor*) โดยพืชชนิดนี้มีคุณสมบัติในการตรวจสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกับหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa*) ซึ่งเป็นชนิดพืชที่ได้รับการยอมรับในวงกว้างว่าสามารถใช้ตรวจสอบสารเคมี และมลพิษในสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการใช้ว่านมหาลากและหอมหัวใหญ่ตรวจสอบการเสื่อมฤทธิ์ของสารสกัดสะเดาความเข้มข้น 2.00 ppm ที่ผ่านการได้รับแสงแดดพบว่าสารสกัดสะเดาเสื่อมฤทธิ์ได้เมื่อได้รับแสงแดดทั้ง 3 วัน และ 7 วันซึ่งข้อมูลนี้ได้รับการสนับสนุนจากผลการตรวจสอบสาร Azadriachtin (Aza) ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในสารสกัดสะเดา โดยเทคนิค HPLC ซึ่งพบว่าสาร Aza มีปริมาณลดลง 17.89% และ 51.27% เมื่อผ่านการได้รับแสงแดด 3 วัน และ 7 วัน ส่วนการตรวจสอบพิษของสารสกัดสะเดาภายหลังการฉีดพ่น 1, 2 และ 3 วัน จากน้ำในร่องสวนที่ทำเกษตรอินทรีย์ ผลการตรวจสอบด้วยวิธี genotoxicity testing ทั้งจากว่านมหาลากและหอมหัวใหญ่ให้ผลไม่ชัดเจนจึงไม่สามารถสรุปได้

