

ความเป็นพิษของฟลูออแรนทีนและฟีแนนทรีนที่ปนเปื้อนในดินต่อการเจริญของพืชเศรษฐกิจระยะต้นกล้า

## Phytotoxicity of Fluoranthene and Phenanthrene Contaminants in Soil on Crop Seedling Growth

ชนิษฐา สมตระกูล<sup>1\*</sup> ดวงอนงค์ ผลาผล<sup>1</sup> จำปี ไชยเมืองคุณ<sup>1</sup> และวารภรณ์ จุฑฉาย<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ศึกษาความเป็นพิษของฟีแนนทรีนและฟลูออแรนทีนต่อการเจริญระยะต้นกล้าของพืช 3 ชนิดคือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 ข้าวฟ่าง และผักบุ้ง ผลปรากฏว่า สารทั้งสองชนิดไม่เป็นพิษต่อร้อยละการงอกของพืชทั้งสามชนิด ฟีแนนทรีนไม่มีผลต่อความยาวยอดและรากของพืชทุกชนิด ยกเว้นสามารถลดความยาวยอดของผักบุ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ฟลูออแรนทีนไม่มีผลต่อความยาวยอดและรากของข้าวเหนียว แต่จะลดความยาวยอดของข้าวฟ่างและผักบุ้ง และกระตุ้นความยาวรากของผักบุ้งที่ความเข้มข้นต่ำ ฟีแนนทรีนทำให้น้ำหนักสดของข้าวฟ่างและผักบุ้งลดลง และลดการสะสมน้ำในเนื้อเยื่อส่วนฟลูออแรนทีนมีแนวโน้มเพิ่มการสะสมน้ำในเนื้อเยื่อของข้าวฟ่างและผักบุ้งเล็กน้อยและไม่มีผลต่อน้ำหนักสดของพืชทุกชนิด ไม่มีสารมลพิษชนิดใดส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของพืช

คำสำคัญ : พอลิไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน, การทดสอบความเป็นพิษ, การเจริญระยะต้นกล้า

### Abstract

Phytotoxicity of phenanthrene and fluoranthene on 3 plant seedlings growth, sticky rice, sorghum, and water morning glory, were studied. The result showed that both of pollutants did not affect to percent of seed germination of all plants. Phenanthrene did not decrease shoot and root length of all plants, excepted shoot length of water morning glory. Fluoranthene did not affect shoot and root length of sticky rice but decreased shoot length of sorghum and water morning glory and increased root length of water morning glory at 2 – 20 mg/kg. Phenanthrene decreased fresh weight of sorghum and water morning glory and decreased

<sup>1</sup> ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

<sup>2</sup> สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์

\* ผู้ติดต่อประสานงาน: ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ skhanitta@hotmail.com

water accumulation in plant tissue. Fluoranthene trended to slightly increased water accumulation in plant tissue of sorghum and water morning glory but there were no effect on plant fresh weight. None pollutant was affected to plant dry weight.

**Keywords : Polycyclic aromatic hydrocarbons, Toxicity testing, Seedling growth**

## บทนำ

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอเอช) เป็นสารมลพิษอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นสารก่อมะเร็งและก่อกลายพันธุ์ พีเอเอชที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีรายงานว่า เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดรวมทั้งสัตว์พืช และจุลินทรีย์ (Sverdrup et al., 2007)

การปนเปื้อนของสารพีเอเอชในประเทศไทยเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น การอับปางของเรือบรรทุกน้ำมัน การรั่วไหลจากแท่นขุดเจาะน้ำมัน การถูกชะจากยางมะตอยที่ใช้ทำถนน เป็นต้น (Reynoso-Cuevas et al., 2008) ดังนั้นสารในกลุ่มพีเอเอชจึงมีโอกาที่จะปนเปื้อนลงสู่ดิน และน้ำบริเวณที่มีการทำเกษตรกรรมได้เนื่องจากพีเอเอชมีความเป็นพิษต่อพืชในระดับสรีรวิทยาได้ เช่น พีเอเอชรบกวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยขัดขวางการขนส่งอิเล็กตรอนระหว่างระบบการสังเคราะห์ด้วยแสง รบกวนการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือรบกวนการขนส่งน้ำและสารอาหารเข้าสู่เซลล์พืช เป็นต้น (วราภรณ์, 2554; Cheema et al., 2009; Huang et al., 2004 และ McCann, 2000b) ดังนั้น การปนเปื้อนของพีเอเอชในดินจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชที่มีประโยชน์และส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในที่สุด

ฟลูออแรนทีนและฟีแนนทรีนจัดเป็น PAHs ที่มีความเป็นพิษต่อพืชหลายชนิด ในการศึกษาของ Witting และคณะพบว่าฟีแนนทรีนที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมส่งผลยับยั้งการเจริญที่ปลายยอดของ *Populus nigra* L. cv. Loenen ฟลูออแรนทีนยับยั้งการเจริญของยอดได้เช่นกัน (Witting et al., 2003) นอกจากนี้ ฟลูออแรนทีนไพรีน ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีส่งผลต่อต่อพัฒนาการของรากของ *Lemna gibba* L. G3.1 ได้ (Ren et al., 1996) แต่รายงานการศึกษาความเป็นพิษของสาร

กลุ่มนี้กับพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยยังมีน้อย ทั้งที่มีโอกาสที่พืชเศรษฐกิจหลายชนิดจะสัมผัสกับ PAHs ทั้งที่มาจากการทำเกษตรกรรมใกล้แหล่งคมนาคมหรือแหล่งฝังกลบขยะอุตสาหกรรม รวมทั้งการสะสมของสารมลพิษจากอากาศลงสู่ดิน การศึกษาความเป็นพิษของพีเอเอชต่อพืชเศรษฐกิจที่เพาะปลูกในประเทศไทยจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อทราบถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นและใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการทำเกษตรกรรมที่ปลอดภัยต่อการศึกษานี้เลือกใช้ข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข.6 ข้าวฟ่าง และผักบุ้ง ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่เพาะปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยใช้การเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของพืชเป็นดัชนีในการประเมิน เพราะเป็นช่วงที่พืชอ่อนแอและจะตอบสนองต่อสารมลพิษได้ชัดเจน (Chouychai et al., 2007)

## วิธีการศึกษา

### เมล็ดพันธุ์พืช

เมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 (*Oryza sativa* var. *glutinosa* cv. RD6) ได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกรใน อ.โพธารอง จ.ราชบุรี ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) ได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกรใน อ.เมือง จ.นครสวรรค์ และผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica*) เป็นเมล็ดพันธุ์ทางการค้าของบริษัทเจียไต่ ประเทศไทย จำกัด

### คุณสมบัติของดินที่ไม่มีประวัติการปนเปื้อนฟลูออแรนทีนและฟีแนนทรีน

เก็บดินที่ไม่มีประวัติการปนเปื้อนด้วยฟลูออแรนทีนและฟีแนนทรีนจากวัดป่าแก้ว ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม นำดินมา

ผึ่งให้แห้งแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูพรุน 2 มิลลิเมตร วิเคราะห์ปริมาณฟลูออแรนทีนและฟิแนนทรีนที่ตกค้างในดินด้วย GC-MS เพื่อยืนยันการไม่ปนเปื้อนสารกลุ่มฟิเอเอซมาก่อน วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ณ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น ดินที่ใช้มี %sand 10.23 %silt 15.33 % clay 74.44 ฟิเอช 8.11 ความนำไฟฟ้า 109.5  $\mu\text{s}/\text{cm}$  อินทรีย์วัตถุ 2.40% ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.29% ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ 58.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน

### การเตรียมดินที่ปนเปื้อนด้วยฟลูออแรนทีนและฟิแนนทรีน

เตรียมดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีน (ความบริสุทธิ์ 99% บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา) และฟิแนนทรีน (ความบริสุทธิ์ 98% บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยละลายสารทั้งสองในอะซิโตนให้มีความเข้มข้นสุดท้ายของสารทั้งสองในดินเป็น 0, 2, 20 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ทั้งดินที่ปนเปื้อน ฟลูออแรนทีนและฟิแนนทรีนไว้ในตู้ควันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยไปให้หมด หลังจากนั้นแบ่งดิน 50 กรัมใส่ลงในภาชนะพลาสติกที่มีความจุ 120 มิลลิลิตร โดยดินที่ไม่ถูกทำให้ปนเปื้อนด้วยฟลูออแรนทีนหรือฟิแนนทรีนใช้เป็นดินในการทดลองชุดควบคุมและปรับความชื้นของดินให้เป็น 65 เปอร์เซ็นต์ก่อนการทดลอง

### การทดสอบความเป็นพิษต่อพืช

การทดสอบความเป็นพิษดัดแปลงจากวิธีของ Kirk et al. (2002) โดยแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว ข้าวฟ่าง และผักบุ้งจีนในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วเพาะในถาดพลาสติกที่มีดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีนและฟิแนนทรีนในแต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 10 เมล็ด (ทดลองทั้งหมดสามซ้ำ) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ได้รับแสงธรรมชาติ รดน้ำทุกวันเพื่อรักษา

ความชื้นในดินให้คงที่ เมื่อครบกำหนดเวลา 10 วัน วัดร้อยละการงอก ความยาวราก ความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าทั้งต้น คำนวณดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าโดยใช้สูตร [( ความยาวยอด + ความยาวราก) x (ร้อยละการงอก/10)] (Ajithkumar et al., 1998) ชุดควบคุมทำเช่นเดียวกัน

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วย One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย Turkey's test

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การคัดเลือกพืชที่ทนทานต่อสารฟลูออแรนทีนและฟิแนนทรีน โดยเลือกใช้พืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในท้องถิ่นจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียว ข้าวฟ่าง และผักบุ้งจีน โดยปลูกพืชทั้งสี่ชนิดในดินที่ปนเปื้อนสารฟลูออแรนทีนและฟิแนนทรีนที่ระดับความเข้มข้น 0, 2, 20 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ผลการศึกษาพบว่าความเป็นพิษของฟิเอเอซทั้งสองต่อพืชทดสอบมีความแตกต่างกัน ดังนี้

### ความเป็นพิษต่อร้อยละการงอกและดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า

ฟลูออแรนทีนและฟิแนนทรีนทุกระดับความเข้มข้น ได้แก่ 2, 20 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ไม่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวเหนียว ข้าวฟ่าง และผักบุ้งจีน ผลการทดลองดังตารางที่ 1 และ 2 โดยพืชทดสอบทั้งสี่ชนิดมีร้อยละการงอกไม่แตกต่างไปจากการทดลองในชุดควบคุม ( $P < 0.05$ ) การที่ฟิแนนทรีนและฟลูออแรนทีนไม่มีผลต่อร้อยละการงอกของเมล็ดนี้สอดคล้องการศึกษาของ Smith และคณะซึ่งพบว่าการปลูกหญ้า *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* และ *Festuca rubra* ในดินที่ปนเปื้อนด้วยฟิเอเอซผสมระหว่างแนฟทาลีน ฟลูออรีน อะซีแนฟทีน ฟิแนนทรีน แอนทราซีน ฟลูออแรนทีนและไพรีน หรือดินที่ปนเปื้อนด้วย

ถ่านหินพบว่า พีเอเอชที่ปนเปื้อนในดินทั้งสองสภาวะ ไม่ส่งผลให้ร้อยละการงอกของของหญ้าทั้งสาม แตกต่างไปจากการทดลองในชุดควบคุมเมื่อผ่านไป 10 วัน (Smith et al., 2006) ในขณะที่การศึกษาของ Sverdrup และคณะรายงานเช่นกันว่าเฉพาะความเข้มข้นที่สูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นไปจึงจะทำให้ร้อยละการงอกของหญ้าไรน์ (*Lolium perenne*) ลดลง 50% (Sverdrup et al., 2003)

สารมลพิษที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดนั้น มักเป็นสารที่สามารถระเหยได้ ละลายน้ำได้ดี ถ้าเป็นตัวทำละลายอินทรีย์จะเป็นตัวทำละลายที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เบนซีน โทลูอีน ไซลีน และสไตรีน (Henner et al., 1999) เนื่องจากขั้นตอนที่สำคัญของการงอกคือ การดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดเพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนตัว และรากแรกเกิด (radicle) สามารถแทงผ่านออกมาได้ ในขณะที่พีแชนทริน และฟลูออแรนทีน จัดเป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อย และดูดซับไว้กับอนุภาคของดินได้ดี ดังนั้น ต้นกล้าจะได้สัมผัสกับสารมลพิษนี้มาก เมื่องอกออกมา และสัมผัสกับดิน จึงทำให้ความเป็นพิษต่อร้อยละการงอกของสารกลุ่มนี้ต่ำ ดังนั้น จึงไม่สามารถใช้ร้อยละการงอกประเมินความเป็นพิษของสารกลุ่มนี้เพียงอย่างเดียวได้ ต้องพิจารณาการเจริญระยะแรกของต้นกล้าประกอบด้วย

ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าเป็นการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้าโดยพิจารณาว่ามึรหว่างร้อยละการงอกและลักษณะการเจริญ

ของต้นกล้าหลังจากงอก โดยต้นกล้าที่แข็งแรงนั้น นอกจากจะงอกได้มากแล้ว จะต้องเจริญเติบโตได้ดีหลังจากงอกด้วย และจะบ่งชี้ความเป็นพิษของสารพิษได้ไวกว่าร้อยละการงอก เช่น ร้อยละการงอกของมะเขือเทศในดินที่ปนเปื้อน 3-คลอโรเบนโซเอท 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลดลงเพียง 10% แต่ดัชนีความแข็งแรงลดลง 50% (Ajithkumar et al., 1998) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าผลของดัชนีความแข็งแรงไม่ต่างจากร้อยละการงอกมากนัก แสดงถึงความ เป็นพิษที่ต่ำต่อการงอกและการเพิ่มความยาวของพืช ในช่วงความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบ โดยความเป็นพิษของพีแชนทริน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะลดดัชนีความแข็งแรงของผักบุ้งอย่างชัดเจนกว่า การลดร้อยละการงอก

#### ความเป็นพิษต่อความยาวยอดและความยาวราก

ฟลูออแรนทีนไม่ทำให้ความยาวยอดของข้าวเหนียว แตกต่างไปจากการทดลองในชุดควบคุม ( $P < 0.05$ ) ในขณะที่ความเข้มข้นในระดับต่ำของฟลูออแรนทีนคือ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของดินกระตุ้นให้ความยาวยอดของข้าวฟ่างและผักบุ้งเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของฟลูออแรนทีนขึ้นไปเป็น 20 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของดินจะให้ความยาวยอดของทั้งข้าวฟ่างและผักบุ้งค่อยๆลดลงจนมาอยู่ในระดับเดียวกับชุดควบคุม (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** : ร้อยละการงอก ความยาวยอด ความยาวรากและน้ำหนักของพืชที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

ความเข้มข้น (mg/kg)	ร้อยละการงอก	ความยาวยอด (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า	พืชทั้งต้น		
					น้ำหนักสด (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักสด
ข้าวเหนียว							
0	100 ± 0.0	11.91 ± 1.93 a	10.68 ± 2.43 a	225.9231	0.09 ± 0.012 a	0.02 ± 0.003 a	0.253521
2	86.7 ± 11.5	11.32 ± 2.96 a	10.64 ± 3.33 a	190.2667	0.09 ± 0.14 a	0.02 ± 0.003 a	0.233333
20	93.3 ± 5.8	11.36 ± 1.80 a	8.78 ± 2.86 a	188.0667	0.09 ± 0.015 a	0.02 × 0.005 a	0.247394
200	96.7 ± 5.8	12.04 ± 3.39 a	8.81 ± 2.42 a	201.5128	0.09 ± 0.014 a	0.02 ± 0.004 a	0.262445
ข้าวฟ่าง							
0	30 ± 10	7.43 ± 3.259 bc	11.71 ± 6.62 a	57.42857	0.10 ± 0.049 a	0.02 ± 0.004 a	0.194989
2	53.3 ± 20.8	11.14 ± 1.19 a	12.86 ± 3.65 a	128.0085	0.15 ± 0.051 a	0.02 ± 0.007 a	0.148954
20	36.7 ± 25.2	9.63 ± 2.69 ab	8.26 ± 3.37 a	65.59841	0.12 ± 0.047 a	0.02 ± 0.008 a	0.184739
200	33.3 ± 22.5	8.1 ± 2.00 bc	9.64 ± 3.05 a	59.14286	0.14 ± 0.042 a	0.02 ± 0.004 a	0.166516
ผักบุ้ง							
0	100 ± 0 a	5.3 ± 1.58 b	6.95 ± 1.38 ab	122.4667	0.29 ± 0.076 a	0.03 ± 0.015 a	0.099344
2	76.7 ± 40.4 a	7.28 ± 1.31 a	7.86 ± 1.28 a	116.0562	0.29 ± 0.087 a	0.02 ± 0.010 a	0.089202
20	76.7 ± 40.4 a	5.86 ± 1.39 ab	8.04 ± 1.02 a	106.5144	0.30 ± 0.104 a	0.02 ± 0.010 a	0.081133
200	56.7 ± 37.8 a	4.77 ± 2.08 b	5.91 ± 1.256 b	60.51754	0.23 ± 0.060 a	0.02 ± 0.004 a	0.072682

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันของพืชแต่ละชนิดแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

พีแนนทรีนที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่เป็นพิษต่อความยาวยอดของข้าวเหนียว และข้าวฟ่าง โดยความยาวยอดของพืชทั้งสองไม่ต่างไปจากการทดลองในชุดควบคุม ( $P < 0.05$ ) และพบการกระตุ้นความยาวยอดที่ความเข้มข้นต่ำของพืชทั้งสองชนิด ส่วนพีแนนทรีนที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินจะทำให้ความยาวยอดของผักบุ้งจึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเหลือเพียง 7.2 เซนติเมตร โดยไม่พบการกระตุ้นความยาวยอดที่ความเข้มข้นต่ำ (ตารางที่ 2)

ฟลูออแรนทีนและพีแนนทรีนต่อความยาวรากของข้าวเหนียวและข้าวฟ่างไม่ทำให้ความยาวรากของพืชทั้งสองแตกต่างไปจากการทดลองในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แต่พีแนนทรีนแสดงการกระตุ้นความยาวรากของข้าวเหนียวที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบในข้าวฟ่าง ส่วนฟลูออแรนทีนแสดงการกระตุ้นความยาวรากของข้าวฟ่างที่ความเข้มข้น

0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบในข้าวเหนียว ในขณะที่ผักบุ้งนั้น เมื่อได้รับฟลูออแรนทีน 2 และ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความยาวรากของผักบุ้งจะเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม และจะลดลงเมื่อมีฟลูออแรนทีนเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งของดินเหลือเพียง 5.9 เซนติเมตร ซึ่งต่างจากการได้รับฟลูออแรนทีนความเข้มข้นต่ำแต่ไม่ต่างจากชุดควบคุม พีแนนทรีน 2 – 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ความยาวรากของผักบุ้งเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความยาวรากของผักบุ้งจะลดลงจากชุดควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ความเข้มข้นในระดับต่ำของฟลูออแรนทีนกระตุ้นความยาวยอดของพืชได้นั้นอาจเนื่องมาจากพืชมีการปรับตัวโดยรักษาสมดุลความเสียหายของเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายไปจากฟลูออแรนทีนโดยการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ขึ้นมาทดแทน ซึ่งพบได้ทั้งที่ยอดและราก นอกจากนั้น อาจเกิดจากการที่โครงสร้าง

ของพีเอเอชมีความคล้ายคลึงกับฮอร์โมนพืชกลุ่ม ออกซินและจิบเบอเรลลิน ทำให้สารกลุ่มนี้อาจเข้าไป รบกวนสมดุลของฮอร์โมนในเนื้อเยื่อพืชได้ การที่สาร มลพิษความเข้มข้นต่ำแสดงผลคล้ายฮอร์โมนนี้เรียกว่า ปฏิกิริยา Hormesis (McCan et al., 2000a) โดยในการศึกษาของ McCann พบว่าระดับความ เข้มข้นของครีโอสโตที่ต่ำกว่า 13.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกระตุ้นให้ความยาวยอดของ *Myriophyllum spicatum* L. เพิ่มขึ้นได้ โดยความยาวยอดที่ เพิ่มขึ้นไม่ได้เป็นดัชนีบ่งบอกว่าพืชแข็งแรงขึ้น เสมอไปเนื่องจากโครงสร้างของสารกลุ่มอะโรมาติก ในครีโอสโตที่มีโครงสร้างคล้ายฮอร์โมนพืชออกฤทธิ์ กระตุ้นการเจริญที่ปลายยอดได้ (McCan et al., 2000)

#### ความเป็นพิษต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสด

ฟลูออแรนทีนไม่เป็นพิษต่อทั้งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของพืชทดสอบทั้งสามชนิด โดยข้าวเหนียว ข้าวฟ่าง และผักบุ้งมีค่าน้ำหนักสด น้ำหนักและน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างไปจากการ ทดลองในชุดควบคุม ข้าวฟ่างและผักบุ้งสะสมน้ำ มากขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของฟลูออแรนทีน เป็น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน

พีแนนทรินที่ทุกระดับความเข้มข้น ได้แก่ 2, 20 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ของดินไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของ ข้าวเหนียวแตกต่างไปจากการทดลองในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ตารางที่ 2) พีแนนทรินที่ทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบไม่ส่งผล ต่อน้ำหนักแห้งของข้าวฟ่างและผักบุ้งเช่นกัน แต่ส่งผล ต่อน้ำหนักสดโดยเมื่อความเข้มข้นของพีแนนทริน เป็น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดินมี แนวโน้มให้น้ำหนักสดของข้าวฟ่างและผักบุ้งลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

พีแนนทรินและฟลูออแรนทีนโดยทั่วไป จะมีผลต่อน้ำหนักสดของพืชเมื่อมีความเข้มข้น ในดินสูง ตัวอย่างเช่นการศึกษาของ Sverdrup และคณะพบว่าฟลูออแรนทีนที่ระดับความเข้มข้น 1 - 760 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน ไม่ทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสด ของหญ้าไรน์ แตกต่างไปจากชุดควบคุม เมื่อความ เข้มข้นของพีแนนทรินและฟลูออแรนทีนเป็น 760 - 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของ ดินจึงจะให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของ หญ้าไรน์ลดลงมากกว่า 50% (Sverdrup et al., 2003) ในขณะที่ Ren และคณะรายงานว่า ฟลูออแรนทีน ทั้งในรูปปกติและฟลูออแรนทีนที่ถูกเปลี่ยนแปลง โครงสร้างด้วยแสงส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อน้ำหนักสด ของยอดของ *Brassica napus* เช่นกัน แต่ส่งผลให้ น้ำหนักสดของรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฟลูออแรนทีนที่ถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างด้วย แสงยูวีบีเป็นพิษต่อน้ำหนักสดของพืชมากกว่า ฟลูออแรนทีนปกติ (Ren et al., 1996)

ความเข้มข้นที่สูงขึ้นของพีแนนทรินทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของพืช ทั้งสามชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงการ สะสมน้ำในเนื้อเยื่อลดลง ในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของฟลูออแรนทีนที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วน ระหว่างน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของข้าวฟ่างและ ข้าวเหนียวลดลง ซึ่งแสดงถึงการสะสมน้ำในเนื้อเยื่อ เพิ่มขึ้น การสะสมน้ำที่เพิ่มขึ้นของพืชที่สัมผัสกับ ฟลูออแรนทีนนี้ ส่วนหนึ่งอาจเกี่ยวข้องกับสารที่เคยมี รายงานว่าฟลูออแรนทีนกระตุ้นให้เนื้อเยื่อตัวลันเตา สร้างกรดแอบไซซิกเพิ่มขึ้นได้ (Vanova et al., 2009) กรดแอบไซซิกนี้เป็นฮอร์โมนที่ทำให้ปากใบปิด จึงน่าจะเป็นสาเหตุให้การสะสมน้ำในเนื้อเยื่อของ พืชสูงขึ้น ทั้งนี้ ความเป็นพิษของพีแนนทริน และ ฟลูออแรนทีนต่อสมดุลของฮอร์โมนพืชภายในเนื้อเยื่อ จึงเป็นจุดที่ควรศึกษาวิจัยต่อไป

**ตารางที่ 2 :** ร้อยละการงอก ความยาวยอด ความยาวรากและน้ำหนักของพืชที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนพีแนทรีนความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

ความเข้มข้น (mg/kg)	ร้อยละการงอก	ความยาวยอด (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า	พืชทั้งต้น		
					น้ำหนักสด (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักสด
ข้าวเหนียว							
0	40 ± 10.0a	10.1 ± 3.30a	8.8 ± 3.60a	75.56727	0.10 ± 0.03 A	0.02 ± 0.00 A	0.224365
2	26.7 ± 15.3a	12.7 ± 1.84a	11.7 ± 4.33A	63.82381	0.11 ± 0.02 A	0.02 ± 0.00 A	0.224467
20	26.7 ± 5.8a	10.32.93a	7.8 ± 5.60A	47.51111	0.09 ± 0.03 A	0.03 ± 0.00 A	0.278497
200	36.87 ± 15.3a	8.35 × 3.60a	7.7 ± 4.58A	58.88667	0.090.02A	0.02 ± 0.00 A	0.25625
ข้าวฟ่าง							
0	73.3 ± 5.8a	15.7 ± 3.47a	17.9 ± 4.89A	246.6058	0.22 ± 0.06 AB	0.03 ± 0.01 A	0.139664
2	46.7 ± 15.3a	16.2 ± 2.49a	17.0 ± 6.68A	155.1846	0.24 ± 0.06 A	0.03 × 0.01 A	0.148773
20	43.3 ± 20.8a	12.7 ± 3.80a	15.9 ± 4.63A	124.2728	0.16 ± 0.07 B	0.03 ± 0.02 A	0.189784
200	53.3 ± 11.5a	13.54 ± 3.40a	15.7 ± 6.58A	154.9587	0.14 ± 0.06 B	0.02 ± 0.01 A	0.17285
ผักบุ้ง							
0	73.3 ± 46.2a	9.2 ± 1.34a	6.9 ± 2.43 A	117.48417	0.02 ± 0.01 A	0.02 ± 0.01 A	0.090374
2	83.3 ± 28.9a	9.0 ± 1.13a	7.4 ± 2.21 A	137.4078	0.030.01A	0.03 ± 0.01 A	0.102252
20	86.7 ± 23.1a	8.3 ± 1.20ab	7.5 ± 1.73 A	136.7038	0.02 ± 0.01 A	0.02 ± 0.01 A	0.097566
200	63.3 ± 32.1a	7.2 ± 1.59b	4.7 ± 2.4B	75.4	0.02 ± 0.01 A	0.02 ± 0.01 A	0.095876

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันของพืชแต่ละชนิดแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

## สรุป

พีเอเอชทั้งสองชนิดไม่เป็นพิษต่อการงอกของข้าวเหนียว ข้าวฟ่างและผักบุ้ง แต่ที่ความเข้มข้นต่ำจะกระตุ้นความยาวยอดและความยาวรากของพืชทดสอบให้เพิ่มขึ้นได้ และจะลดลง เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น พีแนทรีนทำให้น้ำหนักสดของข้าวฟ่างและผักบุ้งลดลง และลดการสะสมน้ำในเนื้อเยื่อส่วนฟลูออแรนทีนมีแนวโน้มเพิ่มการสะสมน้ำในเนื้อเยื่อของข้าวฟ่างและผักบุ้งเล็กน้อยและไม่มีผลต่อน้ำหนักสดของพืชทุกชนิด

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2554 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ Prof. Dr. Hung Lee, School of Environmental Science, University of Guelph ประเทศแคนาดา ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย

## บรรณานุกรม

- วารสารณ์ ulyuly. 2554. การแพร่กระจายและความเป็นพิษต่อพืชของโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน. วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 5 (1), 140 -152
- Ajithkumar, P. V., Gangadhara, K. P., Manilal, P., and Kunhi, A. A. M. (1998). Soil inoculation with *Pseudomonas aeruginosa* 3MT eliminates the inhibitory effect of 3-chloro- and 4-chlorobenzoate on tomato seed germination. **Soil Biology and Biochemistry**. 30(8/9). 1053-1059.
- Cheema S. A., Khan, M. I., Tang, X., Zhang, C., Shen, C., Malik, Z., Ali, S., Yang, J., Shen, K., and Chen, Y. (2009). Enhancement of phenanthrene and pyrene degradation in rhizosphere of tall fescue (*Festuca arundinaceae*). **Journal of Hazardous Materials**. 166. 1226-1231.
- Chouychai, W., Thongkukiatkul A., Upatham, S., Lee, H., Pokethitiyook, P., and Kruatrachue, M. (2007). Phytotoxicity assay of crop plants to phenanthrene and pyrene contaminants in acidic soil. **Environmental Toxicology** 22: 597-604
- Henner, P., Schiavon, M., Drulle, V., and Lichtfouse, E. (1999). Phytotoxicity of ancient gaswork soils. Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. **Organic Geochemistry**. 30. 963-969.
- Huang, X. D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R., and Greenberg, B. M. (2004). Response of three grass species to creosote during phytoremediation. **Environmental Pollution**. 130. 453-363.
- McCann, J. H., Greenberg, B. M., and Solomon, K. P. (2000a). The effect of creosote on the growth of an axenic culture of *Myriophyllum spicatum* L. **Aquatic Toxicology**. 50. 265-274.
- McCann, J. H. and Solomon, K. R. (2000b). The effect of creosote on membrane ion leakage in *Myriophyllum spicatum* L. **Aquatic Toxicology**. 50. 275-284.
- Ren, L., Zeiler, L. F., Dixon, G., Greenberg, B. M. (1996). Photoinduced effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on *Brassica napus* (Canola) during germination and early seedling development. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 33. 73-80.
- Reynoso-Cuevas, L., Gallegos-Martínez, M. E., Cruz-Sosa, F., and Gutiérrez-Rojas, M. (2008). In vitro evaluation of germination and growth of five plant species on medium supplemented with hydrocarbons associated with contaminated soils. **Bioresources Technology**. 99. 6379-6385.
- Smith, M. J., Flowers, T. H., Duncan, H. J., and Alder, J. (2006). Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on germination and subsequent growth of grasses and legumes in freshly contaminated soil and soil with aged PAHs residues. **Environmental Pollution**. 141. 519-525.
- Sverdrup, L. E., Krogh, P. H., Nielsen, T., Kjaer, C., Stenersen, J. (2003). Toxicity of eight polycyclic aromatic compounds to red clover (*Trifolium pratense*), ryegrass (*Lolium perenne*), and mustard (*Sinapsis alba*). **Chemosphere**. 53. 993-1003.
- Vanova, L., Kummerova, M., Klems, M., and Zezulka, S. (2009). Fluoranthene influences endogenous abscisic acid level and primary photosynthetic processes in pea (*Pisum sativum* L.) plants in vitro. **Plant Growth Regulation**. 57, 39 - 47
- Witting, R., Ballach, H. J., and Kuhn, A. (2003). Exposure of the roots of *Populus nigra* L. cv. Loenen to PAHs and its effect on growth and water balance. **Environmental Science and Pollution Research**. 10(4). 235-244.