Journal of Agri. Research & Extension 36(2): 1-10

การคัดเลือกวัชพืชเพื่อใช้ในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีน

Weed Selection for Phytoremediation of Fluoranthene

วราภรณ์ ฉุยฉาย[1*] และขนิษฐา สมตระกูล[2]

Waraporn Chouychai [1*] and Khanitta Somtrakoon[2]

[1]สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

[2]ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

[1]Biology Programe, Faculty of Science and Technology, Nakhonsawan Rajabhat University, Nakhonsawan, Thailand 60000

[2]Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham, Thailand 44150

*Corresponding author: waraporn.c@nsru.ac.th

Received: *November 2, 2018*

Revised: *January 15, 2019*

Accepted: *February 8, 2019*

Abstract

Using food crop in phytoremediation increased concern about pollutant biomagnification along food chain. The efficiency of weed to be used in fluoranthene phytoremediation was studied. Three weeds, *Cyperus rotundus*, *Phyllanthus niruri* and *Gomphrena celosioides*, were planted in 200 mg/kg fluoranthene-contaminated soil for 30 days, growth and fluoranthene remaining in soil were compared. The results showed that fluoranthene was not toxic to shoot growth of 3 weeds but decrease root fresh weight and dry weight of *C. rotundus* and *G. celosioides* 58-67 and 61%, respectively, when compared with plant growing in non-contaminated soil. Fluoranthene did not affected to chlorophyll content of *C. rotundus* and *G. celosioides* but decreased chlorophyll B and total chlorophyll of *P. niruri* 34.8 and 20.2%, respectively, when compared with plant growing in non-contaminated soil. However, only *C. rotundus* could decrease fluoranthene content in soil more than non-planted soil after 30 days. The fluoranthene remaining in *C. rotundus*-planted soil was 58.2% while fluoranthene remaining in non-planted soil was 62.6% but they were not different significantly. Fluoranthene was toxic to chlorophyll content of *P. niruri* but was toxic to root fresh weight and dry weight of *C. rotundus* and *G. celosioides.* The selection of weeds which were better tolerant to fluoranthene than these 3 plants should be done in the future.

Keywords: phytoremediation, polycyclic aromatic hydrocarbons, weed

บทคัดย่อ

การใช้พืชอาหารในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชก่อให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับการถ่ายทอดเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสารมลพิษ ดังนั้นจึงศึกษาประสิทธิภาพของการใช้วัชพืชเพื่อบำบัดดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีน โดยนำวัชพืช 3 ชนิดคือ แห้วหมู ลูกใต้ใบ และบานไม่รู้โรยป่า มาปลูกในดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นเวลา 30 วัน เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและปริมาณฟลูออแรนทีนที่ยังคงเหลืออยู่ในดิน โดยพบว่าฟลูออแรนทีนไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของยอดวัชพืชทั้ง 3 ชนิด แต่ส่งผลต่อน้ำหนักของรากแห้วหมูและบานไม่รู้โรยป่า โดยทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากพืชทั้งสองชนิดลดลง 58-67 และ 61% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีน ไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบแห้วหมูและบานไม่รู้โรยป่า แต่ทำให้คลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของลูกใต้ใบลดลง 34.8 และ 20.2% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน อย่างไรก็ตามมีเพียงแห้วหมูเท่านั้นที่สามารถลดปริมาณฟลูออแรนทีนในดินได้มากกว่าดินที่ไม่ปลูกพืชเมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน โดยมีปริมาณฟลูออแรนทีนที่เหลืออยู่ร้อยละ 58.2 ในขณะที่ดินไม่ปลูกพืชเหลือฟลูออแรนทีนอยู่ร้อยละ 62.6 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ฟลูออแรนทีนเป็นพิษต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของลูกใต้ใบและมีผลกระทบต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแห้วหมูและบานไม่รู้โรยป่า จึงควรคัดเลือกวัชพืชทนทานต่อความเป็นพิษของฟลูออแรนทีนได้ดีกว่าพืชทั้งสามชนิดนี้

คำสำคัญ: การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน วัชพืช

คำนำ

โพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนหรือพีเอเอช (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) เป็นสารประกอบที่ถูกผลิตขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ รวมทั้งพบเป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงถ่านหิน ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน และน้ำยารักษาสภาพเนื้อไม้ แหล่งที่มาของพีเอเอชที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีที่มาจากหลายแหล่ง ได้แก่ อุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย (Nadal *et al*., 2004) บริเวณถนนที่มีการจราจรคับคั่ง (Oanh *et al*., 2000) และการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Gadde *et al*., 2009) โดยพีเอเอชจำนวน 16 ชนิด ได้ถูกกำหนดให้เป็นสารพิษอันตรายที่ต้องรีบกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นสารมลพิษที่มีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมสูง สามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ง่าย มีฤทธิ์เป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง (Chouychai, 2011)

การปนเปื้อนพีเอเอชในดินทางการเกษตรสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกษตรกรมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องจักรกลทางการเกษตร รวมทั้งมีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรหลังฤดูกาลเก็บเกี่ยว การปนเปื้อนของพีเอเอชในดินจะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น เพิ่มระดับความเครียดออกซิเดชันในพืช ทำให้ระดับคลอโรฟิลล์ในใบลดลง รบกวนการทำงานของรากทำให้ความยาวรากสั้นลง ชีวมวลลดลง พีเอเอชยังสามารถสะสมในพืชและมีโอกาสถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารได้ เช่น ในเทียนจินทางภาคเหนือของจีน พบพีเอเอชรวมกัน 16 ชนิด ในดินทางการเกษตรปริมาณ 1.08-6.25 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และพบพีเอเอชสะสมในส่วนเหนือดินของพืชที่ปลูกในบริเวณนั้นปริมาณ 0.48-0.98 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยที่กะหล่ำดอกเป็นพืชที่สะสมได้มากที่สุด (Tao *et al*., 2004) เป็นต้น ปริมาณของฟลูออแรนทีนที่

เป็นพิษต่อพืชนั้นมีรายงานว่า ความเข้มข้นของฟลูออแรนทีนที่ส่งผลกระทบ 20% (EC20) ต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าหญ้าไรน์ *Trifolium pretense* และ *Sinapsis alba* เท่ากับ 140-650 mg/kg (Sverdrup *et al*., 2003)

การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยพีเอเอชสามารถทำได้หลายวิธี การใช้พืชเพื่อฟื้นฟูสภาพแวดล้อม (Phytoremediation) จัดเป็นวิธีการที่สามารถปรับใช้กับการปนเปื้อนพีเอเอชในดินที่มีการทำเกษตรกรรมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการปลูกพืชเพื่อบำบัดสารมลพิษมีต้นทุนในการบำบัดต่ำกว่าการใช้วิธีการทางกายภาพและเคมี ไม่ทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างทางกายภาพของดิน รวมทั้งยังลดการใช้สารเคมีอันตราย ซึ่งจะทำให้เกิดการปนเปื้อนซ้ำซ้อนของสารเคมีในดินที่มีการทำเกษตรกรรมอีกด้วย การปลูกพืชสามารถส่งเสริมการย่อยสลายพีเอเอชในดินได้โดยเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างดิน ไรโซสเฟียร์ จุลินทรีย์ และพืช ซึ่งประสิทธิภาพของปฏิสัมพันธ์นี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ (Siciliano and Germida, 1998) พืชที่มีรายงานว่าสามารถกำจัดพีเอเอชในดินได้ดีและพบได้ในประเทศไทยมักเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นพืชอาหาร เช่น ข้าวโพด (Chouychai *et al*., 2009) ถั่วพู (Somtrakoon *et al*., 2014a) ถั่วฝักยาว (Somtrakoon *et al*., 2012) กระเจี๊ยบเขียว (Somtrakoon *et al*., 2015) ถั่วอัลฟัลฟา (Wei and Pan, 2010) บวบเหลี่ยม (Somtrakoon *et al*., 2014b) และพริกชี้ฟ้า (Liste and Alexander, 2000) หรือพืชเสพติด เช่น กัญชา (Liste and Prutz, 2006) การใช้พืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชอาหารแม้จะมีข้อดีในด้านที่ดูแลและหาเมล็ดพันธุ์ได้ง่าย มีชีวมวลมาก และเจริญเติบโตได้เร็ว แต่ในอีกด้านหนึ่งก็ทำให้เกิดความกังวลในด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังนั้นการเลือกใช้พืชที่พบได้ง่าย เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศของประเทศไทย และไม่ได้เป็นพืชอาหารจึงมีความน่าสนใจมากกว่า

ในกลุ่มของพืชที่ไม่ได้ใช้เป็นพืชอาหารในประเทศไทย พบว่าวัชพืชที่กระจายพันธุ์ตามปกติในประเทศไทยเป็นกลุ่มที่น่าสนใจกลุ่มหนึ่ง โดยมีรายงานมาก่อนหน้านี้ว่าวัชพืชหลายชนิดซึ่งพบในบริเวณที่เกิดการปนเปื้อนสามารถปรับตัวให้ทนทานและสามารถกำจัดสารมลพิษนั้นๆ ได้ เช่น พืชที่พบในบริเวณที่ปนเปื้อนน้ำมันได้แก่ ไมยราบ คอนสวรรค์ และ *Gazania ripens* สามารถส่งเสริมการย่อยสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินได้ โดย *G. ripens* เป็นพืชที่ทนทานต่อความเป็นพิษของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด (Ikeura *et al*., 2016) แม้ว่าปัญหาของพืชกลุ่มนี้ คือ ปัญหาการขยายพันธุ์และความคงตัวของสายพันธุ์ รวมทั้งมีโอกาสแพร่กระจายเป็นวัชพืชในพื้นที่ที่นำเข้าไปใช้บำบัดได้ แต่ถ้าหากวัชพืชที่พบโดยทั่วไปในท้องถิ่นสามารถทนทานต่อพีเอเอช และมีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการย่อยสลายพีเอเอชย่อมมีประโยชน์ในการใช้บำบัดพีเอเอชดีกว่าการใช้พืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชอาหารหรือใช้พืชต่างถิ่น

ในจังหวัดนครสวรรค์ เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ มีการแพร่กระจายพันธุ์ของวัชพืชหลายชนิด จึงคัดเลือกวัชพืชที่พบได้บ่อยจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แห้วหมู (*Cyperus rotundus*) ลูกใต้ใบ (*Phyllanthus niruri*) และบานไม่รู้โรยป่า (*Gomphrena celosioides*) มาทดสอบความสามารถในการบำบัดฟลูออแรนทีน ซึ่งจัดเป็นโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลสูงโดยใช้การทดลองระดับกระถางทดลอง เพื่อเป็นองค์ความรู้ใหม่ในการใช้พืชฟื้นฟูดินในประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีน

ดินที่ใช้ในการทดลองเก็บจากสถานีเกษตรเขาแรด คณะเทคโนโลยีทางการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นำดินที่เก็บมาตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจนมีน้ำหนักแห้งคงที่

จากนั้นนำดินมาทำให้ปนเปื้อนฟลูออแรนทีนโดยละลายฟลูออแรนทีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) 200 มก. ในไดคลอโรมีเทนปริมาตร 50 มล. จากนั้นเทลงในดิน 200 กรัม ผสมให้เข้ากับดินอย่างทั่วถึง และใช้ไดคลอโรมีเทนล้างพีเอเอชที่ติดอยู่ที่บีกเกอร์ จำนวน 2 ครั้ง โดยเทสารละลายพีเอเอชที่ได้จากการล้างบีกเกอร์ลงในดินอีกครั้งแล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งดินไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ไดคลอโรมีเทนระเหยไป ระหว่างที่ตั้งทิ้งไว้ให้ผสมดินอย่างสม่ำเสมอ ต่อมานำดินที่เตรียมไว้มาผสมกับดินที่ไม่ปนเปื้อนอีก 800 กรัม ผสมให้เข้ากัน บรรจุดินลงในถุงพลาสติกทนร้อนก่อนบรรจุลงในกระถางเพื่อลดการรั่วไหลของน้ำขณะปลูกพืช

การเตรียมวัชพืช

คัดเลือกต้นแห้วหมู ลูกใต้ใบ และบานไม่รู้โรยป่าที่มีขนาดความสูงใกล้เคียงกันในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โดยขุดดินบริเวณที่วัชพืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตและขุดขึ้นมาทั้งราก ระวังอย่าให้รากเสียหาย แล้วจึงนำวัชพืชแต่ละชนิดมาปลูกเลี้ยงในเรือนเพาะชำเป็นเวลา 2 สัปดาห์ คัดเลือกต้นที่แข็งแรงดีและความสูงไม่แตกต่างกันไปใช้ในการทดลองต่อไป

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยย้ายวัชพืชที่คัดเลือกไว้ปลูกลงในกระถางที่บรรจุดินปนเปื้อนฟลูออแรนทีนปริมาณ 1 กิโลกรัม ลงในกระถางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว โดยปลูก 1 ต้น ต่อ 1 กระถาง สำหรับศึกษาการเจริญเติบโตของพืชนั้น แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 กรรมวิธี คือ ดินที่ไม่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีนเป็นชุดควบคุม และดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีน 200 มก./กก. แต่ละกรรมวิธีมี 5 ซ้ำ สำหรับการวัดปริมาณฟลูออแรนทีนที่เหลืออยู่ในดินนั้น แบ่งชุดทดลองออกเป็น 4 กรรมวิธี คือ ไม่ปลูกพืช ปลูกแห้วหมู ลูกใต้ใบ หรือบานไม่รู้โรยป่า แต่ละกรรมวิธีมี 5 ซ้ำเช่นเดียวกัน รดน้ำทุกวัน วันละ 10 มล. ต่อกระถาง ตลอดระยะเวลา 30 วันของการทดลองเพื่อรักษาความชื้นของดิน และสลับกระถางทดลองทุกสัปดาห์เพื่อลดความแตกต่างจากการได้รับแสงธรรมชาติ เก็บผลการทดลองโดยเก็บดินในวันเริ่มต้นและวันที่ 30 ของการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณเริ่มต้นของฟลูออแรนทีน วิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของทั้งยอดและราก รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของพืชตามวิธีของ Huang *et al*. (2004)

การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณฟลูออแรนทีนในดิน

การสกัดฟลูออแรนทีนที่เหลือในดินทำตามวิธีของ Somtrakoon *et al*. (2014b) โดยนำตัวอย่างดินแห้ง 1 กรัม บดผสมกับ Na_2SO_4 ที่ปราศจากน้ำในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นละลายฟลูออรีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) ความเข้มข้น 100 มก./ล. ในไดคลอโรมีเทนและเติมลงในดินตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร เพื่อใช้เป็น Internal standard แล้วจึงนำตัวอย่างดินมาสกัดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (บริษัท Fisher Scientific Loughborough Leicestershire ประเทศอังกฤษ) ด้วยเครื่องซอกห์เลทเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และปรับอุณหภูมิบนเตาให้ตัวทำละลายหมุนเวียนในหลอดบรรจุสารตัวอย่างให้ได้ 6 รอบต่อชั่วโมง ต่อมานำสารละลายที่สกัดได้มาระเหยแห้งด้วยเครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)

การวิเคราะห์ปริมาณฟลูออแรนทีนใช้เครื่อง GC-FID (บริษัท Shimadzu รุ่น GC-2014AFSC) สภาวะในการแยกสารใช้คะปิลารีคอลัมน์ชนิด Rtx®-5MS (บริษัท Restek) (30 เมตร x 25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร) โดยฉีดสารแบบ Split ใช้อัตราส่วนในการ Split เป็น 13.4 อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม 1.13 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้น 150°ซ. โดยคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยอัตรา 12°ซ. ต่อนาที จนอุณหภูมิคอลัมน์สูงถึง 280°ซ. และอุณหภูมิของดีเทกเตอร์เป็น 320°ซ ปริมาตรในการฉีดสารเท่ากับ 1 ไมโครลิตร

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การเจริญเติบโตของยอดและราก และปริมาณคลอโรฟิลล์แสดงด้วยค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และใช้ T-test ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธีของพืชแต่ละชนิด สำหรับปริมาณฟลูออแรนทีนที่เหลือในดิน ใช้ One-way ANOVA และ LSD's test ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธี

ผลการวิจัย

วัชพืชทั้งสามชนิดที่ย้ายมาปลูกในดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีนสามารถเจริญเติบโตได้จนครบ 30 วัน โดยมีลักษณะภายนอกไม่แตกต่างกับต้นที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน มีเพียงใบของลูกใต้ใบที่ปลูกในดินปนเปื้อนฟลูออแรนทีนที่มีสีเหลืองกว่าต้นที่เจริญเติบโตในดินที่ไม่ปนเปื้อน (Figure 1) เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของยอดและรากระหว่างต้นที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีนพบว่า ความยาวยอด น้ำหนักสดของยอด และน้ำหนักแห้งของยอดของวัชพืชทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในขณะที่ฟลูออแรนทีนมีผลต่อการเจริญเติบโตของรากโดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากแห้วหมูและบานไม่รู้โรยป่าที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนฟลูออแรนทีนน้อยกว่าต้นที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากลูกใต้ใบและความยาวรากของพืชทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (Table 1)

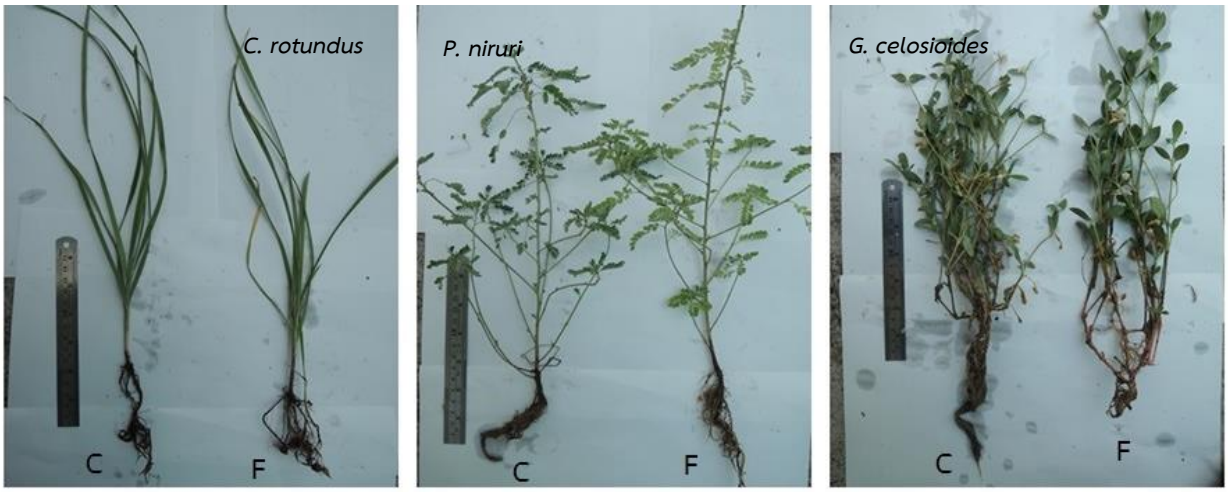

Figure 1 Growth of *C. rotundus* (left), *P. niruri* (central) and *G. celosioides* (right) in non-contaminated and 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil for 30 days
Abbrevation: C = non-contaminated soil, F= 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil

Table 1 Growth of 3 weeds in non-contaminated and 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil for 30 days

Plant	Shoot			Root		
	Length (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Length (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
C. rotundus						
C	7.3±0.2	1.4±0.1	0.34±0.03	17.1±1.3	0.9±0.2a	0.26±0.05a
F	7.5±0.4	1.4±0.2	0.34±0.06	14.0±1.2	0.3±0.0b	0.10±0.02b
P. niruri						
C	24.5±2.7	1.7±0.3	0.50±0.09	8.5±1.1	0.9±0.3	0.23±0.08
F	24.6±2.2	2.7±0.8	0.68±0.21	9.2±0.6	0.8±0.1	0.20±0.04
G. celosioides						
C	30.1±2.0	9.3±1.9	2.71±0.72	12.3±2.3	3.1±0.5a	0.99±0.21a
F	25.1±2.3	5.5±1.4	1.37±0.29	7.7±1.1	1.3±0.3b	0.38±0.08b

*Different lower case letter shown significant difference (P<0.05) between non-contaminated and 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil. Abbrevation: C = non-contaminated soil, F= 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil

Table 2 Chlorophyll content of 3 weeds in non-contaminated and 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil for 30 days

Plant	Chlorophyll a (mg/ml)	Chlorophyll b (mg/ml)	Total chlorophyll (mg/ml)
C. rotundus			
C	29.2±0.4	25.8±5.1	55.0±5.2
F	29.5±0.4	15.1±0.6	44.6±0.8
P. niruri			
C	27.8±0.1b	52.5±0.9a	80.3±0.9a
F	29.9±0.3a	34.2±2.6b	64.1±2.3b
G. celosioides			
C	29.6±0.5	35.2±4.1	64.8±3.7
F	30.5±0.2	24.6±3.0	55.1±3.1

*Different lower case letter shown significant difference (P<0.05) between non-contaminated and 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil. Abbrevation: C = non-contaminated soil, F= 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil

Table 3 Percentage of fluoranthene remaining in 200 mg/kg fluoranthene contaminated soil planted with each weed for 30 days

Plant	%Remaining of fluoranthene
Non-plant	62.6±13.8
C. rotundus	58.2±8.5
P. niruri	63.6±4.8
G. celosioides	70.4±5.2

เมื่อพิจารณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชทั้งสามชนิด พบว่าในใบแห้วหมูและใบบานไม่รู้โรยป่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในดินที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของลูกใต้ใบที่เจริญเติบโตในดินที่ปนเปื้อนฟลูออแรนทีนมากกว่าต้นที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน แต่มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยกว่าต้นที่เจริญเติบโตในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพของฟลูออแรนทีนในดิน พบว่า การปลูกพืชและไม่ปลูกพืชไม่มีผลต่อปริมาณฟลูออแรนทีนในดิน โดยมีปริมาณฟลูออแรนทีนที่เหลืออยู่อยู่ระหว่าง 58.2-70.4% ของปริมาณเริ่มต้น ภายในระยะเวลา 30 วัน

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายฟลูออแรนทีนในดินชุดที่ปลูกพืชนั้น เฉพาะการปลูกแห้วหมูเท่านั้นที่สามารถเพิ่มการย่อยสลายฟลูออแรนทีนในดินได้ โดยเกิดการย่อยสลายได้ 61.8% ภายในเวลา 30 วัน หรือคิดเป็น 93% ของดินที่ไม่ปลูกพืช ประสิทธิภาพของการปลูกแห้วหมูนี้อยู่ในระดับเดียวกับการปลูก *Lolium perenne* เป็นเวลา 365 วัน ที่สามารถลดปริมาณฟลูออแรนทีนได้คิดเป็น 98.2% ของดินที่ไม่ปลูกพืช (Rezek *et al*., 2008) แต่จัดว่ามีประสิทธิภาพน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียว กระเจี๊ยบเขียว ถั่วฝักยาว และบวบเหลี่ยม ที่สามารถลดปริมาณฟลูออแรนทีนได้คิดเป็น 21.6, 23.4, 10.4 และ 4.2% ของดินที่ไม่ปลูกพืชตามลำดับ (Somtrakoon *et al*., 2014b; 2015) นอกจากนั้นฟลูออแรนทีนยังแสดงความเป็นพิษต่อวัชพืชทั้ง 3 ชนิด โดยลูกใต้ใบนั้นใบแสดงอาการคลอโรซิส (Chlorosis) และปริมาณคลอโรฟิลล์บีในใบลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งมีโอกาสที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงในระยะยาว ส่วนบานไม่รู้โรยป่ากับแห้วหมูนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไม่ได้รับผลกระทบจากฟลูออแรนทีน แต่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งส่วนของรากเป็นส่วนที่สัมผัสกับสารมลพิษโดยตรง และมีบทบาทสำคัญทั้งในการดูดน้ำและธาตุอาหารจากดิน และหลั่งสารที่จำเป็นลงสู่ดินด้วย

หากพิจารณาในด้านการลดปริมาณฟลูออแรนทีนในดินแล้ว การปลูกลูกใต้ใบและบานไม่รู้โรยป่าไม่เพิ่มการย่อยสลายฟลูออแรนทีนในดินเลย และมีแนวโน้มการย่อยสลายลดลง อย่างไรก็ตาม ยังมีพืชอีกหลายชนิดที่มีรายงานว่าปลูกแล้วมีแนวโน้มลดการย่อยสลายฟลูออแรนทีนในดิน ได้แก่ การปลูก *Melilotus officinalis* เป็นเวลา 180 วัน (Parrish *et al*., 2005) แต่ทั้งลูกใต้ใบและบานไม่รู้โรยป่า

ยังมีผลยับยั้งการย่อยสลายฟลูออแรนทีนน้อยกว่าการปลูก *Festuca arundinacea* เป็นเวลา 180 วัน ซึ่งมีการย่อยสลายฟลูออแรนทีน 22.6% จากความเข้มข้นเริ่มต้น 16.78 มก./กก. ในขณะที่ดินไม่ปลูกพืชมีการย่อยสลายเกิดขึ้น 33.5% ที่ระยะเวลาเท่ากัน (Parrish *et al*., 2005)

อย่างไรก็ตาม ในชุดควบคุมของการทดลองนี้ ซึ่งเป็นชุดที่ไม่ปลูกพืช การย่อยสลายฟลูออแรนทีนค่อนข้างสูงและเกิดขึ้นได้เร็ว โดยย่อยสลายได้ถึง 37.4% ภายในระยะเวลา 30 วัน จากความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มก./กก. ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆ ที่การย่อยสลายฟลูออแรนทีนในดินที่ไม่ปลูกพืชถึง 68.4% ภายในระยะเวลา 1 ปี จากความเข้มข้นเริ่มต้น 103.5 มก./กก. (Rezek *et al*., 2008) และ 76% ภายในระยะเวลา 84 วัน จากความเข้มข้นเริ่มต้น 3.3 มก./กก. (Hultgren *et al*., 2010) แต่มากกว่าการย่อยสลายฟลูออแรนทีนในดินที่ไม่ปลูกพืชของงานวิจัยส่วนหนึ่งที่การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ 1.6-26.2% ภายในระยะเวลา 30 วัน จากความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./กก. (Somtrakoon *et al*., 2014b; 2015) และ 50% ภายในระยะเวลา 1 ปี จากความเข้มข้นเริ่มต้น 103.5 มก./กก. (Rezek *et al*., 2009) ทำให้การกระตุ้นการย่อยสลายด้วยการปลูกพืชไม่มีความจำเป็นในการส่งเสริมการบำบัดฟลูออแรนทีนในดินชุดนี้มากนัก และเป็นไปได้ที่ทำให้เห็นประสิทธิภาพของพืชที่ทดสอบไม่ชัดเจนพอ

แม้ว่าประสิทธิภาพในการเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพของฟลูออแรนทีนในดินที่ปลูกวัชพืชทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกัน แต่เนื่องจากการใช้วัชพืชนั้นยังมีข้อดีมากกว่าการใช้พืชอาหารหรือพืชสมุนไพรในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมกับวัชพืชชนิดอื่นหรือเลือกวัชพืชจากพื้นที่ที่เคยเกิดการปนเปื้อนมาก่อน รวมทั้งศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนพีเอเอชในระยะการทดลองที่ยาวขึ้น หรือปลูกพืชในดินที่มีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพีเอเอชตามธรรมชาติได้น้อยต่อไป ทั้งนี้เพราะการปลูกพืชสามารถส่งเสริมการย่อยสลายพีเอเอชของจุลินทรีย์ได้ทั้งโดยการกระตุ้นผ่านวิถีเมทาบอลิซึมร่วม หรือการส่งเสริมการเจริญและการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

เอกสารอ้างอิง

Chouychai, W., A. Tongkukiatkul, S. Upatham, H. Lee, P. Pokethitiyook and M. Kruatrachue. 2009. Plant-enhanced phenanthrene and pyrene biodegradation in acidic soil. **J. Environ. Biol**. 30: 139-144.

Chouychai, W. 2011. Distribution and phytotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons. **RMUTP Research J**. 5(1): 140-152. [in Thai]

Gadde, B., S. Bonnet, C. Menke and S. Garivait. 2009. Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand, and the Philippines. **Environ. Pollut.** 157: 1554-1558.

Huang, X.D., Y. El Alawi, D.M. Penrose, B.R. Glick and B.M. Greenberg. 2004. Response of three grass species to creosote during phytoremediation. **Environ. Pollut.** 130: 453-463.

Hultgren, J., L. Pizzul, M.P. Castillo, and U. Granhall. 2010. Degradation of PAH in a creosote-contaminated soil. A comparison between the effects of willows (*Salix viminalis*), wheat straw and a nonionic surfactant. **Int. J. Phytoremediat.** 12: 54-66.

Ikeura, H., Y. Kawasaki, E. Kaimi, J. Nishiwaki, K. Noborio and M. Tamaki. 2016. Screening of plants for phytoremediation of oil-contaminated soil. **Int. J. Phytoremediat**. 18: 460-466.

Liste, H. and M. Alexander. 2000. Plant-promoted pyrene degradation in soil. **Chemosphere** 40: 7-10.

Liste, H. and I. Prutz. 2006. Plant performance, dioxygenase-expressing rhizosphere bacteria, and biodegradation of weathered hydrocarbons in contaminated soil. **Chemosphere** 62: 1411-1420.

Nadal, M., M. Schuhmacher and J.L. Domingo. 2004. Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona County, Spain. **Environ. Pollut.** 132: 1-11.

Oanh, N.T.K., L.B. Reutergardh, Tr. Dung, N. Yu, W.X. Yao and H.X. Co. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the airborne particulate matter at a location 40 km north of Bangkok, Thailand. **Atmospher. Environ.** 34: 4557-4563.

Parrish, Z.D., M.K. Banks and A.P. Schwab. 2005. Effect of root death and decay on dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere of yellow sweet clover and tall fescue. **J. Environ. Qual**. 34: 207-216.

Rezek, J., C. Wiesche, M. Mackova, F. Zadrazil and T. Macek. 2008. The effect of ryegrass (*Lolium perenne*) on decrease of PAH content in long term contaminated soil. **Chemosphere** 70: 1603-1608.

Rezek, J., C. in der Wiesche, M. Mackova, F. Zadrazil and T. Macek. 2009. Biodegradation of PAHs in long-term contaminated soil cultivated with European white birch (*Betula pendula*) and red mulberry (*Morus rubra*) tree. **Int. J. Phytoremediat**. 11: 65-80.

Siciliano, S.D. and J.J. Germida. 1998. Mechanisms of Phytoremediation: biochemical and ecological interactions between plants and bacteria. **Environ. Rev**. 6: 65-79.

Somtrakoon, K., W. Wongsomsri, J. Wannarat and W. Chouychai. 2012. Phytoremediation of anthracene-contaminated soil by yard long bean and sweet corn. **Sci. Technol. Ubonratchthanee University J**. 14(4): 1-12. [in Thai]

Somtrakoon, K., W. Chouychai and H. Lee. 2014a. Comparing anthracene and fluorine degradation in anthracene and fluorene-contaminated soil by single and mixed plant cultivation. **Int. J. Phytoremediat**. 16: 415-428.

_____. 2014b. Phytoremediation of anthracene and fluoranthene-contaminated soil by *Luffa acutangula*. **Maejo Inter. J. Sci. Technol.** 8: 221-231.

_____. 2015. Removal of anthracene and fluoranthene by waxy corn, longbean and okra in lead-contaminated soil. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** 95: 407-413.

Sverdrup, L.E., P.H. Krogh, T. Nielsen, C. Kjaer and J. Stenessen. 2003. Toxicity of eight polycyclic aromatic hydrocarbons to red clover (*Trifolium pretense*) ryegrass (*Lolium perenne*) and mustard (*Sinapsis alba*). **Chemosphere** 53: 993-1003.

Tao, S., Y.H. Cui, F.L. Xu, B.G. Li, J. Cao, W.X. Liu, G. Schmitt, X.J. Wang, W.R. Shen, B.P. Qing and R. Sun. 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in agricultural soil and vegetables from Tianjin. **Sci. total Environ.** 320: 11-24.

Wei, S. and S. Pan. 2010. Phytoremediation for soils contaminated by phenanthrene and pyrene with multiple plant species. **J. Soil Sediments**. 10: 886-894.