http://journal.rmutp.ac.th/

ความเป็นพิษร่วมของเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิดและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็ก

ขนิษฐา สมตระกูล[1*] และ วราภรณ์ ฉุยฉาย[2]

[1] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000

รับบทความ 18 ธันวาคม 2560; ตอบรับบทความ 5 เมษายน 2561

บทคัดย่อ

การใช้งานสารคีเลตเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (อีดีทีเอ) และสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์มีปริมาณสูงขึ้น ทำให้สารทั้งสองชนิดนี้มีโอกาสปนเปื้อนร่วมกันในแหล่งน้ำมากขึ้น จึงได้ศึกษาความเป็นพิษต่อพืชร่วมกันของอีดีทีเอ (ที่ความเข้มข้น 0 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ 3 ชนิด คือไทรทอนเอ็กซ์-100 ทวีน 80 (ที่ความเข้มข้น 0 – 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์) และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (ที่ความเข้มข้น 0 – 2 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์) ต่อการเจริญเติบโตของแหน 2 ชนิดคือแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กเป็นเวลา 3 วัน ผลการศึกษาพบว่าความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของแหนทั้งสองชนิดเกิดจากสารลดแรงตึงผิวเป็นหลัก ในขณะที่อีดีทีเอไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของแหนทั้งสองชนิด โดยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็นพิษต่อแหนทั้งสองชนิดมากที่สุดซึ่งแสดงผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกชนิด ไทรทอนเอ็กซ์ 100 เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของแหนเป็ดเล็กและน้ำหนักของแหนเป็ดใหญ่เท่านั้น และทวีน 80 เป็นพิษน้อยที่สุด โดยส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กเท่านั้น แนวโน้มส่วนใหญ่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอีดีทีเอกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ ดังนั้นการปนเปื้อนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากกว่าการปนเปื้อนร่วมกับอีดีทีเอ

คำสำคัญ : ความเป็นพิษต่อพืช; สารลดแรงตึงผิว; แหนเป็ด; เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 0755 7771, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: khanitta.s@msu.ac.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

Co-Phytotoxicity of Ethylenediaminetetraacetic Acid and Synthetic Surfactants on *Spirodela polyrrhiza* and *Lemna perpusilla*

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

[1] Faculty of Science, Mahasarakham University
Khamriang, Kantarawichai, Mahasarakham, 44150

[2] Faculty of Science and Technology, Nakhonsawan Rajabhat University
Nakhonsawantok, Mueang, Nakhonsawan, 60000

Received 18 December 2017; Accepted 5 April 2018

Abstract

Using of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and synthetic surfactant increase the chemical contamination in water. The co-phytotoxicity of EDTA (0 – 20 mg/l) and 3 synthetic surfactants; Triton X-100 (0-10 x CMC), Tween 80 (0-10 x CMC) and sodium dodecyl sulfate (SDS) (0-2 x CMC) on the growth of 2 duckweeds, *Spirodela polyrrhiza* and *Lemma perpusilla*, were studied for 3 days. The results showed that the surfactant were phytotoxic on the growth of both plants while EDTA was not. SDS was the most toxic to plant especially on all chlorophyll content. Triton X-100 was only toxic to the growth of *L. perpusilla* and weight of *S. polyrrhiza*. Tween 80 was less or the least toxic to both plants. This surfactant only decreased chlorophyll a and total chlorophyll content of *S. polyrrhiza* and *L. perpusilla*. There was not any interaction between EDTA and surfactant on most toxicity tests. With these results, synthetic surfactant contamination should be more concerned than co-contamination with EDTA.

Keywords: Phytotoxicity; Surfactant; Duckweed; Ethylenediaminetetraacetic Acid

** Corresponding Author. Tel.: +668 0755 7771, E-mail Address: khanitta.s@msu.ac.th*

1. บทนำ

สารคีเลต (Chelating Agent) เป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการจับกับแร่ธาตุที่มีประจุบวกแล้วทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สารคีเลตถูกผลิตขึ้นใช้งานในระดับอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยชนิดของสารคีเลตที่ได้รับความนิยมในการใช้งานคือเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิดหรืออีดีทีเอ (EDTA) อีดีทีเอมักถูกผลิตขึ้นใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาดเพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมและแมกนีเซียม [1] ใช้เป็นตัวดูดซับโลหะในการบำบัดน้ำเสีย [2] ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษเพื่อจับกับโลหะและลดการผลิตไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ [1] ใช้ในการทำเกษตรกรรมเพื่อช่วยเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารของพืช [3] นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและอาหารเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย [4]

การใช้งานอีดีทีเอในปริมาณมากทั้งระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือนทำให้อีดีทีเอมีโอกาสปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำได้โดยจะถูกปลดปล่อยออกมาภายหลังการใช้งานผ่านน้ำทิ้งและทำให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำได้ [5] การย่อยสลายอีดีทีเอในสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนจริงเกิดขึ้นได้ยาก อีดีทีเอจึงมีความคงทนในสิ่งแวดล้อม [4] โดยความคงทนในสิ่งแวดล้อมของอีดีทีเอเป็นการเพิ่มโอกาสให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสสัมผัสกับอีดีทีเอมากขึ้นและอาจส่งผลเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตตามมา ความเป็นพิษของอีดีทีเอมักพบรายงานในมนุษย์และสัตว์ โดยอีดีทีเอมีความสามารถก่อการกลายในระดับต่ำ และไม่มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง [3, 6] สำหรับความเป็นพิษของอีดีทีเอต่อพืชมักให้ความสนใจไปในกรณีที่ อีดีทีเอช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้าสู่เซลล์สิ่งมีชีวิตของโลหะ และทำให้โลหะเป็นพิษต่อพืชมากขึ้น [7, 8] สำหรับการศึกษาความเป็นพิษของอีดีทีเอิสระต่อพืชมีรายงานการศึกษาในอดีตพบว่าอีดีทีเอสามารถลดอัตราการคายน้ำของพืช [9] ลดการเจริญเติบโตของพืช รบกวนสมดุลแร่ธาตุในเซลล์พืช และรบกวนเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์พืช เป็นต้น [10]

อย่างไรก็ตามการศึกษาส่วนใหญ่เน้นศึกษาความเป็นพิษของอีดีทีเอกับโลหะหรืออีดีทีเออิสระเท่านั้น ทั้งที่อีดีทีเอมีโอกาสปนเปื้อนร่วมกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ได้โดยสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ถูกผลิตขึ้นใช้งานในอุตสาหกรรมที่มีลักษณะเดียวกับอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานอีดีทีเอ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเคมีภัณฑ์ทางการเกษตร ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด และใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น [11] นอกจากนี้ยังมีการใช้งานสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการช่วยกำจัดคราบน้ำมันหรือสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมด้วย [12] การที่สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ได้ถูกผลิตและมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก ภายหลังการใช้งานสารลดแรงตึงผิวมักมีแหล่งสะสมอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียและอาจแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่น้ำผิวดินหรือจากการนำกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้กับที่ดิน [13]

ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่เลือกนำมาประเมินความเป็นพิษร่วมกับอีดีทีเอในการศึกษานี้ ได้แก่ ไทรทอนเอ็กซ์-100 (Triton X-100) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodiumdodecylsulfate) และทวีน 80 (Tween 80) โดยสารลดแรงตึงผิวเหล่านี้มีรายงานความเป็นพิษต่อพืชหลายชนิด เช่น หอมหัวใหญ่ [14] ข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) [15] หรือพืชน้ำเช่น *Azolla filiculoides* [16] โดยในบรรดาสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ทั้งสามชนิดที่เลือกทดสอบมีเพียงทวีน 80 ที่แสดงความเป็นพิษต่อพืชต่ำที่สุด [17, 18, 19] ถึงแม้จะพบรายงานความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวต่อพืช แต่สารลดแรงตึงผิวยังคงถูกผลิตขึ้นใช้งานทั่วโลก โดยมีการคาดการณ์ว่าอัตราการใช้งานสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ทั่วโลกจะเติบโตขึ้นในอัตราร้อยละ 3 ต่อปี [20] ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวจึงมีโอกาสปลดปล่อยออก

สู่สิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาความเป็นพิษร่วมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด หรือการศึกษาความเป็นพิษร่วมกันระหว่างสารในกลุ่มคีเลตกับสารลดแรงตึงผิวมีข้อมูลจำกัด และถึงแม้ว่าสารลดแรงตึงผิวบางชนิดจะมีรายงานความเป็นพิษต่อพืชต่ำ แต่ก็ไม่สามารถคาดเดาผลที่จะเกิดกับพืชได้เมื่อปนเปื้อนร่วมกับสารในกลุ่มคีเลต ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ศึกษาความเป็นพิษร่วมกันระหว่างอีดีทีเอซึ่งเป็นสารคีเลตกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ ไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และทวีน 80 ต่อพืชน้ำ ได้แก่ แหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กซึ่งเป็นพืชที่พบแพร่กระจายทั่วไปในแหล่งน้ำจืดและมีโอกาสสัมผัสกับสารคีเลตและสารลดแรงตึงผิวที่ปนเปื้อนร่วมกันในแหล่งน้ำได้ ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการบ่งบอกระดับความเสี่ยงของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมให้ตระหนักถึงการปนเปื้อนและการบำบัดสารมลพิษดังกล่าวก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การทดสอบความเป็นพิษของสารคีเลตและสารลดแรงตึงผิวต่อพืชน้ำ

การประเมินความเป็นพิษร่วมกันระหว่างสารคีเลตโซเดียมอีดีทีเอ (Fluka ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) และสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ 3 ชนิด ได้แก่ ไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต หรือทวีน 80 ต่อ แหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กทำโดยทดสอบในน้ำที่จำลองให้ปนเปื้อนด้วยโซเดียมอีดีทีเอและไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต หรือโซเดียมอีดีทีเอและทวีน 80 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD มี 2 ปัจจัย 4x3 ระดับ ประกอบด้วยระดับของโซเดียมอีดีทีเอ 4 ระดับ คือ 0, 0.2, 2 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด 3 ระดับ โดยไทรทอนเอ็กซ์-100 และทวีน 80 ศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 0, 1 และ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ ส่วนโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 0, 1 และ 2 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ แต่ละทรีทเมนต์จะทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ ทั้งนี้ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ของไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และทวีน 80 เป็น 0.22, 6 และ 0.012 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ น้ำที่ทำให้ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างโซเดียมอีดีทีเอและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์บรรจุในถ้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร การทดสอบความเป็นพิษต่อแหนเป็ดใหญ่ทำโดยเติมแหนเป็ดใหญ่ลงไปถ้วยละ 4 ต้น โดยแยกชุดกันสำหรับวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และวัดปริมาณน้ำหนัก ส่วนแหนเป็ดเล็กเติมลงไปถาดละ 0.2 กรัม และแยกชุดกันระหว่างชุดทดลองที่นำมาวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และวัดปริมาณน้ำหนัก ทำการทดลองทั้งสิ้น 3 วัน จากนั้นเก็บผลการทดลองโดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Huang et al. [21] โดยแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กที่ใช้ในการทดลองเก็บจากสระน้ำธรรมชาติและนำมาอนุบาลในเรือนเพาะชำเป็นเวลา 1 เดือน ก่อนทำการทดลอง

2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์แสดงด้วยค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และใช้ Two-way ANOVA ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีทเมนต์ จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย LSD's test ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับคือน้อยกว่า 0.05

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะเห็นว่าการปนเปื้อนของไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังหรือร่วมกับ EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดใหญ่ โดยมีแนวโน้มทำให้

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดใหญ่ลดลงเหลือเพียง 0.06 และ 0.006 กรัมในสภาวะที่มีการปนเปื้อนของไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังในแหล่งน้ำที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ ในขณะที่ไทรทอนเอ็กซ์-100 ที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของแหนเป็ดใหญ่ไม่ว่าแหนเป็ดใหญ่จะได้รับไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังหรือได้รับร่วมกับโซเดียมอีดีทีเอ นอกจากนี้พบว่าการได้รับโซเดียมอีดีทีเอเพียงลำพังไม่ส่งผลต่อทั้งน้ำหนักสดหรือน้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของแหนเป็ดใหญ่ การปนเปื้อนร่วมกันของไทรทอนเอ็กซ์-100 และโซเดียมอีดีทีเอทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ต่อน้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหนเป็ดใหญ่

ตารางที่ 1 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและไทรทอนเอ็กซ์-100 ต่อแหนเป็ดใหญ่

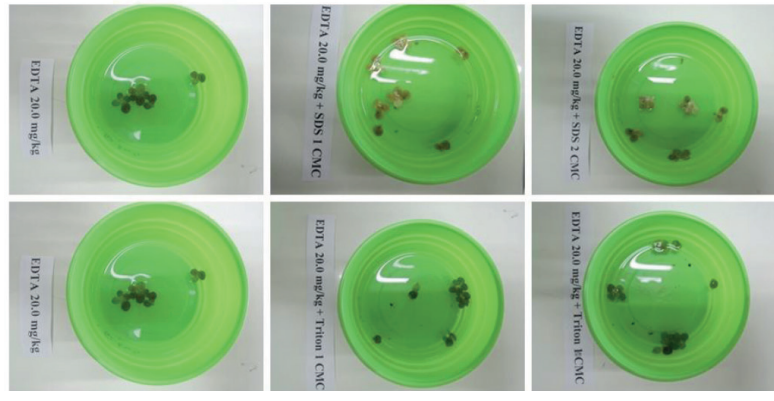
ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.14 ± 0.01a	0.009 ± 0.000a	4.6 ± 0.4a	1.6 ± 0.3a	6.2 ± 0.3a
Triton X-100 (1xCMC)	0.08 ± 0.01b	0.009 ± 0.001a	4.4 ± 0.4a	1.0 ± 0.2a	5.4 ± 0.4a
Triton X-100 (10xCMC)	0.06 ± 0.01b	0.006 ± 0.001b	4.5 ± 0.4a	1.4 ± 0.3a	5.9 ± 0.3a
EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.15 ± 0.05a	0.007 ± 0.001b	5.2 ± 0.7a	1.3 ± 0.5a	6.3 ± 0.5a
Triton X-100 (1xCMC)	0.12 ± 0.01ab	0.009 ± 0.000a	5.0 ± 0.6a	1.6 ± 0.6a	6.5 ± 0.5a
Triton X-100 (10xCMC)	0.07 ± 0.01b	0.007 ± 0.001b	4.3 ± 0.2a	1.2 ± 0.2a	5.6 ± 0.2a
EDTA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.10 ± 0.02a	0.008 ± 0.001a	4.7 ± 0.3a	1.2 ± 0.3a	5.9 ± 0.4a
Triton X-100 (1xCMC)	0.09 ± 0.01a	0.007 ± 0.000a	5.5 ± 0.8a	2.4 ± 1.1a	7.4 ± 0.8a
Triton X-100 (10xCMC)	0.08 ± 0.01a	0.007 ± 0.001a	4.8 ± 0.7a	1.5 ± 0.5a	6.3 ± 0.5a
EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.08 ± 0.01a	0.009 ± 0.001a	5.2 ± 1.2a	2.3 ± 1.3a	6.3 ± 0.7a
Triton X-100 (1xCMC)	0.09 ± 0.01a	0.007 ± 0.000b	4.7 ± 0.3a	1.4 ± 0.3a	6.0 ± 0.1a
Triton X-100 (10xCMC)	0.06 ± 0.00a	0.006 ± 0.00b	6.0 ± 0.5a	2.0 ± 0.3a	8.0 ± 0.5a
Triton X-100	**	**	ns	ns	ns
EDTA	ns	ns	ns	ns	ns
Triton X-100 * EDTA	ns	**	ns	ns	**

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; ** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางที่ 2 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตต่อแหนเป็ดใหญ่

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No SDS	0.14 ± 0.01b	0.009 ± 0.000a	4.6 ± 0.4a	1.6 ± 0.3a	6.2 ± 0.3a
SDS (1xCMC)	0.21 ± 0.02a	0.010 ± 0.001a	2.5 ± 0.3b	0.8 ± 0.2a	3.1 ± 0.1c
SDS (2xCMC)	0.15 ± 0.02ab	0.010 ± 0.001a	3.4 ± 0.4ab	0.7 ± 0.3a	4.1 ± 0.2b
EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No SDS	0.15 ± 0.05a	0.007 ± 0.001b	5.2 ± 0.7a	1.3 ± 0.5a	6.3 ± 0.5a
SDS (1xCMC)	0.12 ± 0.01a	0.011 ± 0.000a	2.7 ± 0.2b	0.5 ± 0.1a	3.2 ± 0.2b
SDS (2xCMC)	0.15 ± 0.02a	0.009 ± 0.001a	2.9 ± 0.1b	0.4 ± 0.1a	3.4 ± 0.1b
EDTA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No SDS	0.10 ± 0.02a	0.008 ± 0.001b	4.7 ± 0.3a	1.2 ± 0.3a	5.9 ± 0.4a
SDS (1xCMC)	0.13 ± 0.01a	0.011 ± 0.001a	2.6 ± 0.4b	0.7 ± 0.1a	3.1 ± 0.3b
SDS (2xCMC)	0.14 ± 0.01a	0.011 ± 0.001a	2.9 ± 0.4b	0.6 ± 0.2a	3.3 ± 0.3b
EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No SDS	0.08 ± 0.01b	0.009 ± 0.001a	5.2 ± 1.2a	2.3 ± 1.3a	6.3 ± 0.7a
SDS (1xCMC)	0.20 ± 0.05a	0.009 ± 0.001a	2.7 ± 0.1b	0.4 ± 0.0b	3.1 ± 0.2b
SDS (2xCMC)	0.19 ± 0.02a	0.011 ± 0.001a	2.4 ± 0.3b	0.3 ± 0.2b	2.6 ± 0.2b
SDS	**	**	**	**	**
EDTA	ns	ns	ns	ns	ns
SDS * EDTA	*	ns	ns	ns	ns

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; ** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)



รูปที่ 1 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่ในสารละลาย EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไทรทอนเอ็กซ์ 100 หรือโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต เป็นเวลา 3 วัน

ตารางที่ 3 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและทวีน 80 ต่อแหนเป็ดใหญ่

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อ					
ลิตรNo Tween 80	0.14 ± 0.01a	0.009 ± 0.000a	4.6 ± 0.4a	1.6 ± 0.3a	6.2 ± 0.3a
Tween 80 (1xCMC)	0.11 ± 0.03a	0.007 ± 0.001a	2.8 ± 0.2b	1.4 ± 0.2a	4.2 ± 0.3b
Tween 80 (10xCMC)	0.11 ± 0.02a	0.007 ± 0.000a	3.0 ± 0.3b	1.5 ± 0.3a	4.5 ± 0.2b
EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Tween	0.15 ± 0.05a	0.007 ± 0.001a	5.2 ± 0.7a	1.3 ± 0.5a	6.3 ± 0.5a
Tween 80 (1xCMC)	0.14 ± 0.03a	0.006 ± 0.001a	3.9 ± 0.4a	1.7 ± 0.3a	5.6 ± 0.4a
Tween 80 (10xCMC)	0.11 ± 0.03a	0.008 ± 0.001a	3.9 ± 0.2a	1.8 ± 0.1a	5.7 ± 0.1a
EDTA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Tween 80	0.10 ± 0.02a	0.008 ± 0.001a	4.7 ± 0.3a	1.2 ± 0.3a	5.9 ± 0.4a
Tween (1xCMC)	0.11 ± 0.05a	0.007 ± 0.001a	2.6 ± 0.4b	1.3 ± 0.4a	3.9 ± 0.4b
Tween (10xCMC)	0.13 ± 0.03a	0.008 ± 0.001a	3.5 ± 0.4ab	1.7 ± 0.4a	5.2 ± 0.2a
EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Tween 80	0.08 ± 0.01a	0.009 ± 0.001a	5.2 ± 1.2a	2.3 ± 1.3a	6.3 ± 0.7a
Tween 80 (1xCMC)	0.14 ± 0.03a	0.008 ± 0.004a	2.8 ± 0.6b	1.3 ± 0.3a	4.2 ± 0.8b
Tween 80 (10xCMC)	0.10 ± 0.02a	0.007 ± 0.000a	3.2 ± 0.4b	1.6 ± 0.4a	4.8 ± 0.2b
Tween 80	ns	ns	**	ns	**
EDTA	ns	ns	ns	ns	*
Tween 80 * EDTA	ns	ns	ns	ns	ns

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จาก EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ระหว่างทรีทเมนต์ที่ได้รับสารลดแรงตึงผิวระดับเดียวกัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; * = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ในทำนองเดียวกันผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตทำให้การเจริญเติบโตของแหนเป็ดใหญ่ที่ศึกษาทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหนเป็ดใหญ่ลดลง ทั้งนี้ใบของแหนเป็ดใหญ่ที่สัมผัสกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตจะซีดลงชัดเจนหลังจากเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และเมื่อครบ 3 วัน ใบจะมีลักษณะลื่นเป็นมันมากกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่ได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่พบในสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น (รูปที่ 1) การได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตร่วมกับโซเดียมอีดีทีเอทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ต่อน้ำหนักสดของแหนเป็ดใหญ่เท่านั้น ในขณะที่การได้รับทวีน 80 เพียงลำพังหรือได้รับร่วมกับโซเดียมอีดีทีเอไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์บีของแหนเป็ดใหญ่ มีเพียงคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่านั้นที่มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างทวีน 80 และโซเดียมอีดีทีเอ

ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อทั้งน้ำหนักและปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกชนิดของแหนเป็ดใหญ่ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

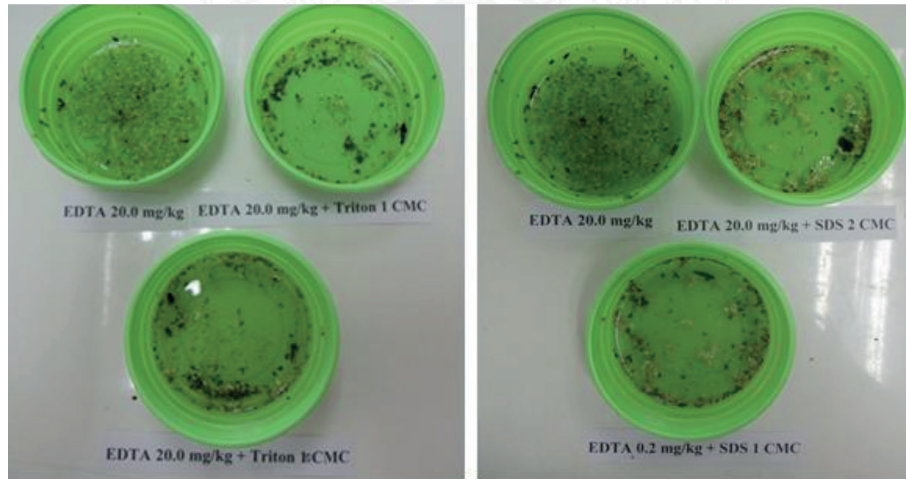
การปนเปื้อนของโซเดียมอีดีทีเอและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ทั้งสามชนิดมีแนวโน้มเป็นพิษต่อแหนเป็ดเล็กมากกว่าแหนเป็ดใหญ่ การปนเปื้อนโซเดียมอีดีทีเอในน้ำ 0.2 – 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่ส่งผลต่อทั้งน้ำหนัก และปริมาณคลอโรฟิลล์ในแหนเป็ดเล็ก แต่การปนเปื้อนไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังและการปนเปื้อนร่วมกับโซเดียมอีดีทีเอทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในแหนเป็ดเล็กมีแนวโน้มลดลง ตัวอย่างเช่น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดเล็กเหลือเพียง 0.11 และ 0.004 กรัม ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเหลือเพียง 1.4, 1.2 และ 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ โดยพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างไทรทอนเอ็กซ์-100 และโซเดียมอีดีทีเอต่อน้ำหนักสดและคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ ใบแหนเป็ดเล็กที่สัมผัสกับไทรทอนเอ็กซ์-100 จมลงในน้ำหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง และมีสีเขียวคล้ำมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสารลดแรงตึงผิว โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 (รูปที่ 2)

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตทำให้น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหนเป็ดเล็กลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกันทั้งในสภาวะที่มีโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเพียงลำพังหรือร่วมกับโซเดียมอีดีทีเอ โดยน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดเล็กในสภาวะที่ได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเพียงลำพังที่ระดับความเข้มข้น 1-2 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์มีค่าเพียง 0.004 - 0.06 กรัม ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหนเป็ดเล็กมีค่าเพียง 5.1-5.5, 1.4-1.8 และ 6.5-7.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 5 นอกจากนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตและโซเดียมอีดีทีเอต่อน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดเล็กและทำให้ใบซีดขาวและลื่นเป็นมันเช่นเดียวกับแหนเป็ดใหญ่

ตารางที่ 4 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและไทรทอนเอ็กซ์-100 ต่อแหนเป็ดเล็ก

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตรNo					
Triton X-100	0.12 ± 0.01b	0.009 ± 0.001a	11.3 ± 0.7a	4.8 ± 0.7a	16.1 ± 0.4a
Triton X-100 (1xCMC)	0.19 ± 0.01a	0.006 ± 0.000b	5.7 ± 0.5b	3.4 ± 0.3a	9.2 ± 0.5b
Triton X-100 (1xCMC)	0.11 ± 0.02b	0.004 ± 0.001c	1.4 ± 0.2c	1.2 ± 0.2b	2.6 ± 0.2c
EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.15 ± 0.01a	0.010 ± 0.001a	10.7 ± 0.9a	4.1 ± 1.0a	14.8 ± 0.7a
Triton X-100 (1xCMC)	0.16 ± 0.03a	0.005 ± 0.001b	4.6 ± 1.0b	2.9 ± 1.0a	7.6 ± 0.6b
Triton X-100 (10xCMC)	0.12 ± 0.02a	0.005 ± 0.000b	1.2 ± 0.2c	1.1 ± 0.3b	2.4 ± 0.3c
EDTA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.13 ± 0.02a	0.011 ± 0.002a	12.5 ± 1.5a	5.4 ± 1.6a	17.9 ± 0.9a
Triton X-100 (1xCMC)	0.11 ± 0.02a	0.004 ± 0.001b	2.6 ± 0.5b	1.9 ± 0.6b	4.4 ± 0.3b
Triton X-100 (10xCMC)	0.16 ± 0.01a	0.005 ± 0.000b	1.6 ± 0.1b	1.4 ± 0.1b	3.1 ± 0.1b
EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.12 ± 0.01b	0.009 ± 0.001a	12.1 ± 1.4a	5.0 ± 1.2a	17.1 ± 0.9a
Triton X-100 (1xCMC)	0.20 ± 0.03a	0.004 ± 0.001b	3.7 ± 0.2b	2.5 ± 0.2b	6.2 ± 0.1b
Triton X-100 (10xCMC)	0.11 ± 0.01b	0.004 ± 0.000b	2.1 ± 0.9b	1.1 ± 0.2b	2.9 ± 0.6c
Triton X-100	**	**	**	**	**
EDTA	ns	ns	ns	ns	ns
Triton X-100 * EDTA	**	ns	ns	ns	**

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; ** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)



รูปที่ 2 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดเล็กในสารละลาย EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไทรทอนเอ็กซ์-100 หรือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต เป็นเวลา 3 วัน

ตารางที่ 5 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตต่อแหนเป็ดเล็ก

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตรNo					
SDS	0.12 ± 0.01a	0.009 ± 0.001a	11.3 ± 0.7a	4.8 ± 0.7a	16.1 ± 0.4a
SDS (1xCMC)	0.09 ± 0.01a	0.004 ± 0.000c	5.1 ± 0.5b	1.4 ± 0.4b	6.5 ± 0.2b
SDS (2xCMC)	0.12 ± 0.01a	0.006 ± 0.001b	5.5 ± 0.3b	1.8 ± 0.3b	7.3 ± 0.1b
EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No SDS	0.15 ± 0.01a	0.010 ± 0.001a	10.7 ± 0.9a*	4.1 ± 1.0a	14.8 ± 0.7a
SDS (1xCMC)	0.11 ± 0.01a	0.005 ± 0.000c	6.2 ± 0.6b*	1.9 ± 0.3a	8.1 ± 0.4b
SDS (2xCMC)	0.13 ± 0.02a	0.007 ± 0.001b	5.0 ± 0.8b	2.6 ± 0.5a	6.9 ± 0.6b
EDTA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No SDS	0.13 ± 0.02a	0.011 ± 0.002a	12.5 ± 1.5a*	5.4 ± 1.6a	17.9 ± 0.9a
SDS (1xCMC)	0.14 ± 0.02a*	0.007 ± 0.001b	6.8 ± 0.9b*	2.0 ± 0.7b	8.9 ± 0.6b
SDS (2xCMC)	0.17 ± 0.03a	0.008 ± 0.01ab	6.9 ± 0.5b	2.0 ± 0.2b	8.9 ± 0.4b
EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No SDS	0.12 ± 0.01a	0.009 ± 0.001a	12.1 ± 1.4a	5.0 ± 1.2a	17.1 ± 0.9a
SDS (1xCMC)	0.15 ± 0.02a*	0.010 ± 0.001a	7.1 ± 0.5b*	1.9 ± 0.3b	8.9 ± 0.6b
SDS (2xCMC)	0.16 ± 0.01a	0.006 ± 0.000b	7.7 ± 0.6b*	2.3 ± 0.6b	10.0 ± 0.6b
SDS	ns	**	**	**	*
EDTA	*	**	**	ns	**
SDS * EDTA	ns	**	ns	ns	ns

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จาก EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ระหว่างทรีทเมนต์ที่ได้รับสารลดแรงตึงผิวระดับเดียวกัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; * = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$); ** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางที่ 6 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและทวีน 80 ต่อแหนเป็ดเล็ก

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อ					
ลิตร	0.12 ± 0.01a	0.009 ± 0.001a	11.3 ± 0.7a	4.8 ± 0.7a	16.1 ± 0.4a
No Tween 80	0.08 ± 0.02a	0.019 ± 0.005a	4.2 ± 0.5b	1.8 ± 0.5b	6.0 ± 0.4b
Tween 80 (1xCMC)	0.08 ± 0.03a	0.019 ± 0.006a	5.2 ± 0.8b	2.4 ± 0.6ab	7.6 ± 0.8b
Tween 80 (10xCMC)					
EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อ					
ลิตร	0.15 ± 0.01a	0.010 ± 0.001a	10.7 ± 0.9a	4.1 ± 1.0a	14.8 ± 0.7a
No Tween 80	0.10 ± 0.05a	0.016 ± 0.008a	4.5 ± 1.0b	2.4 ± 0.4a	6.2 ± 0.9b
Tween 80 (1xCMC)	0.08 ± 0.03a	0.019 ± 0.006a	5.1 ± 1.1b	2.2 ± 1.2a	7.3 ± 0.8b
Tween 80 (10xCMC)					
EDTA 2.0 มิลลิกรัมต่อ					
ลิตร	0.13 ± 0.02a	0.011 ± 0.002a	12.5 ± 1.5a	5.4 ± 1.6a	17.9 ± 0.9a
No Tween 80	0.12 ± 0.02a	0.017 ± 0.006a	5.9 ± 0.7b	2.5 ± 0.4b	8.4 ± 0.8b*
Tween 80 (1xCMC)	0.11 ± 0.02a	0.018 ± 0.004a	5.4 ± 0.7b	2.3 ± 0.6b	7.6 ± 0.9b
Tween 80 (10xCMC)					
EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Tween 80	0.12 ± 0.01a	0.009 ± 0.001a	12.1 ± 1.4a	5.0 ± 1.2a	17.1 ± 0.9a
Tween 80 (1xCMC)	0.10 ± 0.02a	0.016 ± 0.03a	5.1 ± 0.7c	2.4 ± 0.4b	7.4 ± 0.9c
Tween 80 (10xCMC)	0.16 ± 0.02a	0.018 ± 0.002a	8.3 ± 0.6b	3.6 ± 0.4ab	11.9 ± 0.9b*
Tween 80	n s n		s *	* *	* **
EDTA	n s n		s n	s n	s **
Tween 80 * EDTA	n s n		s n	s n	s *

อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) จาก EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ระหว่างทรีทเมนต์ที่ได้รับสารลดแรงตึงผิวระดับเดียวกัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; * = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.005); ** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ส่วนผลการทดลองในตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของทวีน 80 ทั้งเพียงลำพังและปนเปื้อนร่วมกับโซเดียมอีดีทีเอลดปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหนเป็ดเล็กเท่านั้น แต่ไม่ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหนเป็ดเล็กแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหนเป็ดเล็กเป็น 5.2, 2,4 และ 7.6 มิลลิกรัมต่อลิตรในสภาวะที่ได้รับทวีน 80 เพียงลำพังที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ โดยพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างทวีน 80 และโซเดียมอีดีทีเอต่อคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหนเป็ดเล็ก

จากผลการทดลองทั้งหมดทำให้เห็นแนวโน้มว่าโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตแสดงความเป็นพิษสูงสุดต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็ก ส่วนไทรทอนเอ็กซ์-100 มีความเป็นพิษต่อพืชน้ำทั้งสองชนิดในระดับที่รองลงมา

และทวีน 80 แสดงความเป็นพิษต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กต่ำที่สุด ความเป็นพิษที่แตกต่างกันนี้อาจเกิดจากความแตกต่างทางด้านโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบจะเป็นพิษมากกว่าสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ [22] โดยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่เป็นพิษมากที่สุดเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ ส่วนไทรทอนเอ็กซ์-100 และทวีน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ ทั้งนี้กลไกความเป็นพิษของสารในกลุ่มสารลดแรงตึงผิวมักเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติความเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ องค์ประกอบต่างๆ ภายในไซโทพลาสซึมของเซลล์รั่วไหลและทำให้เซลล์แตกได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วย [23] ตัวอย่างรายงานความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษานี้ เช่น โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตสามารถยับยั้งการเจริญของต้นกล้าข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) ทำให้ระดับของเอนไซม์กลูทาไทโอนรีดักเตส ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ และปริมาณโพรลีนในยอดและรากของต้นกล้าข้าวสาลีเปลี่ยนแปลง [15] รวมทั้งยังชักนำให้ *Azolla filiculoides* เกิดความเครียดโดยการผลิต เอทิลีนเพิ่มขึ้นได้ [16] ในขณะที่ไทรทอนเอ็กซ์-100 สามารถยับยั้งการเจริญของรากหอมหัวใหญ่ได้ [14] เป็นต้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่าทวีน 80 แสดงความเป็นพิษต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยอื่นๆ ที่รายงานว่าทวีน 80 เป็นพิษต่อพืชต่ำเช่นกัน โดยทวีน 80 ไม่ยับยั้งการงอกของถั่วอัลฟัลฟา (*Medicago sativa*) ไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วอัลฟัลฟา และมีแนวโน้มทำให้ชีวมวลของถั่วอัลฟัลฟาเพิ่มขึ้น [17] นอกจากนี้ทวีน 80 ที่ระดับความเข้มข้น 500-2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยังไม่ส่งผลต่อการเจริญของหญ้าไรน์ (*Lolium multiflorum*) และถั่วเรดโคลเวอร์ (*Trifolium pretense*) อีกด้วย [18] โดยสาเหตุที่ทวีน 80 ส่งผลเพิ่มชีวมวลของพืชได้คาดว่าเกิดจากสารลดแรงตึงผิวไปเพิ่มคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้พืชสามารถนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้มากขึ้น [19] และถึงแม้ว่าโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตจะเป็นพิษต่อพืชแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กที่เลือกใช้เป็นพืชทดสอบในการศึกษานี้ก็ตาม แต่กลับพบรายงานว่าพืชน้ำชนิดอื่นๆ เช่น *Potamogeton crispus* L มีแนวโน้มทนทานต่อความเป็นพิษของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตได้ [24]

ในการศึกษานี้ยังพบว่าการปนเปื้อนของอีดีทีเอเพียงลำพังมักไม่แสดงความเป็นพิษต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็ก โดยจากรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าความเป็นพิษของอีดีทีเอส่วนใหญ่มักเกิดจากการที่ อีดีทีเอเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะที่เป็นพิษ แล้วทำให้โลหะที่เป็นพิษเคลื่อนย้ายสู่เซลล์พืชได้มากขึ้นจึงเป็นอันตรายต่อพืช [7] โดยอีดีทีเอมักส่งผลเสียต่อพืชทางอ้อม เช่น การปนเปื้อนของอีดีทีเอในน้ำจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุอาหารที่มีประจุ 2+ เช่น Zn, Cu, Fe and Mn ซึ่งทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้ถูกลำเลียงเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ลดลง เป็นต้น [25]

นอกจากนี้การปนเปื้อนร่วมกันของสารคีเลตโซเดียมอีดีทีเอกับไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมอีดีทีเอกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และโซเดียมอีดีทีเอกับทวีน 80 มีแนวโน้มไม่เสริมฤทธิ์กันหรือทำให้ความเป็นพิษของสารชนิดใดชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อปนเปื้อนร่วมกัน แต่ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเกิดจากพิษของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์เพียงอย่างเดียว โดยแหนเป็ดใหญ่มีความทนทานต่อสารคีเลตโซเดียมอีดีทีหรือสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์เมื่อปนเปื้อนในแหล่งน้ำเพียงลำพังหรือปนเปื้อนร่วมกันมากกว่าแหนเป็ดเล็ก ทั้งนี้อาจเพราะแหนเป็ดเล็กเป็นพืชน้ำที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวเซลล์ต่อปริมาตรมีสูง ดังนั้นโอกาสที่แหนเป็ดเล็กจะสัมผัสกับสารมลพิษที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำจึงมีมากกว่าและอาจเป็นเหตุให้แสดงอาการเป็นพิษได้มากกว่าแหนเป็ดใหญ่

4. สรุป

การปนเปื้อนร่วมกันระหว่างสารคีเลตโซเดียม อีดีทีเอและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์แต่ละชนิด ได้แก่ ไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และทวีน 80 ไม่ส่งผลให้ความเป็นพิษต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ความเป็นพิษต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กมักเกิดจากความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมากกว่า โดยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตมีแนวโน้มเป็นพิษมากที่สุด รองลงมาคือไทรทอนเอ็กซ์-100 และทวีน 80 มีแนวโน้มมีความเป็นพิษต่ำที่สุดต่อแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็ก

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2561

6. เอกสารอ้างอิง

[1] C.G. Van Ginkel, K.L. Vandenbroucke and C.A. Stroo, “Biological removal of EDTA in concentional activated-sludge plants operated under alkaline conditions,” *Bioresource Technology*, vol. 59, pp. 151-155, Feb. 1997.

[2] Y. Huang and A.A. Keller, “EDTA functional magnetic nanoparticle sorbents for cadmium and lead contaminated water treatment,” *Water Research*, vol. 80, pp. 159-168, Sep. 2015.

[3] E. Bloem, S. Haneklaus, R. Haensch and E. Schnug, “EDTA application on agriculture soils affects microelement uptake of plants,” *Science of the Total Environment*, vol. 577, pp. 166-173, Jan. 2017.

[4] C. Oviedo and J. Rodríguez, “EDTA: The chelating agent under environmental scrutiny,” *Química Nova*, vol. 26, pp. 901-905, Nov. 2003.

[5] F.G. Kari and W. Giger, “Speciation and fate of ethylenediaminetetraacetate (EDTA) in municipal wastewater treatment,” *Water Research*, vol. 30, pp. 122-134, Jan. 1996.

[6] R. Lanigan and T. Yamarik, “Final report on the safety assessment of EDTA, calcium disodium EDTA, diammonium DETA, dipotassium EDTA, disodium EDTA, TEA-EDTA, tetrasodium EDTA, trisodium EDTA, HEDTA and trisodium HEDTA,” *International Journal Toxicology*, vol. 21, pp. 95-142, Oct. 2002.

[7] O. Barrutia, C. Garbisu, J. Hernández-Allica, J.I. García-Plazaola and J.M. Becerril, “Diifereces in EDTA-assisted metal phytoextraxtion between matallicolous and non-metallicolous accessions of Rumex acetosa L.,” *Environmental Pollution*, vol. 158, pp. 1710-1715, May. 2010.

[8] J. Hernández-Allica, C. Garbisu, O. Barrutia and J.M. Becerril, “EDTA-induced heavy metal accumulation and phytotoxicity of cardoon plants,” *Environmental and Experimental Botany*, vol. 60, pp. 26-32, May. 2007.

[9] A.D. Vassil Y. Kapulnik I. Raskin and D.E. Salt, “The role of EDTA in lead transport and accumulation by *Indian mustard*,”

Plant Physiology, vol. 117, pp. 447-453, Jun. 1998.

[10] S.E. Meers, M. Qadir, P. de Caritat, F.M.G. Tack, G.D. Laing and M.H. Zia, "EDTA-assisted Pd phytoextraction," *Chemosphere*, vol. 74, pp. 1279-1291, Mar. 2009.

[11] M.J. Scott and M.N. Jones, "The biodegradation of surfactants in the environment," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, vol. 1508, pp. 235-251, Nov. 2000.

[12] E. Lowry, M. Sedghi and L. Goual, "Molecular simulations of NAPL removal from mineral surfaces using microemulsions and surfactants," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 506, pp. 485-494, Oct. 2016.

[13] G.-G. Ying, "Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment," *Environment International*, vol. 32, pp. 417-431, Apr. 2016.

[14] D. Feruzan, Y. Gülden, A. Halide, Ö Fatmanur and L. Sinem, "Phytotoxic effects of nonionic surfactant octylphenol series (Triton X-100, Triton X-114, Triton X-405) on onion," *Asian Journal of Chemistry*, vol. 24, pp. 5746-5748, Dec. 2012.

[15] G. Chang, Q. Zhang, L. Zhang, Y. Lü and T. Gao, "Effect of sodium dodecyl sulfate on wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings," *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 34, pp. 1142-1147, Feb. 2015.

[16] C. Forni, R. Braglia, F.J.M. Harren and S.M. Cristescu, "Stress response of duckweed (*Lemna minor* L.) and water velvet (*Azolla filiculoides* Lam.) to anionic surfactant sodium-dodecyl-sulphate (SDS)," *Aquatic Toxicology*, vol. 110-111, pp. 107-113, Apr. 2012.

[17] A.C. Agnello, D. Huguenot, E.D. van Hullebusch and G. Esposito, "Phytotoxicity of citric acid and Tween® for potential use as soil amendments in enhanced phytoremediation," *International Journal of Phytoremediation*, vol. 17, pp. 669-677, Jan. 2015.

[18] Y. Gao, W. Ling and M.H. Wong, "Plant-accelerated dissipation of phenanthrene and pyrene from water in the presence of nonionic surfactant," *Chemosphere*, vol. 63, pp. 1560-1567, Jun. 2006.

[19] M. Cheng, G. Zeng, D. Huang, C. Yang, C. Lai, C. Zhang and Y. Liu, "Advantage and challenges of Tween 80 surfactant-enhanced technologies for the remediation of soils contaminated with hydrophobic organic compounds," *Chemical Engineering Journal*, vol. 314, pp. 98-113, Apr. 2017.

[20] H.I.S. Markit. (2015). Specialty chemicals update program surfactants. [Online]. Available: https://www.ihs.com/products.chemical-surfactants-scup.html

[21] X.-D. Huang, Y. El-Alawi, D.M. Penrose, B.R. Glick and B.M. Greenberg, "Response

of three grass species to creosote during phytoremediation," *Environmental Pollution*, vol. 130, pp. 453-463, Aug. 2004.

[22] M. Lechuga, M. Fernández-Serrano, E. Jurado, J. Núñez-Olea and F. Ríos, "Acute toxicity of anionic and non-ionic surfactants to aquatic organisms," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 125, pp. 1-8, 2016.

[23] M.M. Singer and R.S. Tjeerdema, "Fate and effects of surfactant sodium dodecyl sulfate," *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 133, pp. 95-149, 1993.

[24] E.A. Solomonova and S.A. Ostroumov, "Tolerance of an aquatic macrophyte Potamogeton crispus L. to sodium dodecyl sulphate," *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, vol. 62, pp. 176-170, Dec. 2007.

[25] W. Geebelen, J. Vangronsveld, D.C. Adriano, L.C. van Poucke and H. Clijsters, "Effects of Pb-EDTA and EDTA on oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*," *Physiologia Plantarum*, vol. 115, pp. 377-384, Jul. 2002.