

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

## ความเป็นพิษร่วมของเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิดและ สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ต่อแหวนเปิดใหญ่และแหวนเปิดเล็ก

ชนิษฐา สมตระกูล<sup>1\*</sup> และ วราภรณ์ ฉุยฉาย<sup>2</sup>

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์  
ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000

รับบทความ 18 ธันวาคม 2560; ตอรับบทความ 5 เมษายน 2561

### บทคัดย่อ

การใช้งานสารคีเลตเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (อีดีทีเอ) และสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่มีปริมาณสูงขึ้น ทำให้สารทั้งสองชนิดนี้มีโอกาสปนเปื้อนร่วมกันในแหล่งน้ำมากขึ้น จึงได้ศึกษาความเป็นพิษต่อพีชร่วมกันของอีดีทีเอ (ที่ความเข้มข้น 0 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ 3 ชนิด คือ ไทรทอนเอ็กซ์-100 ทวิน 80 (ที่ความเข้มข้น 0 – 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์) และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (ที่ความเข้มข้น 0 – 2 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์) ต่อการเจริญเติบโตของแหวน 2 ชนิดคือแหวนเปิดใหญ่และแหวนเปิดเล็กเป็นเวลา 3 วัน ผลการศึกษาพบว่าความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของแหวนทั้งสองชนิดเกิดจากสารลดแรงตึงผิวเป็นหลัก ในขณะที่อีดีทีเอไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของแหวนทั้งสองชนิด โดยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็นพิษต่อแหวนทั้งสองชนิดมากที่สุดซึ่งแสดงผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกชนิด ไทรทอนเอ็กซ์ 100 เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของแหวนเปิดเล็กและน้ำหนักของแหวนเปิดใหญ่นั้น และทวิน 80 เป็นพิษน้อยที่สุด โดยส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหวนเปิดใหญ่และแหวนเปิดเล็กเท่านั้น แนวโน้มส่วนใหญ่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอีดีทีเอกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ ดังนั้นการปนเปื้อนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากกว่าการปนเปื้อนร่วมกับอีดีทีเอ

**คำสำคัญ :** ความเป็นพิษต่อพีช; สารลดแรงตึงผิว; แหวนเปิด; เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 0755 7771, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: [khanitta.s@msu.ac.th](mailto: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<sup>1\*</sup> and Waraporn Chouychai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Science, Mahasarakham University

Khamriang, Kantarawichai, Mahasarakham, 44150

<sup>2</sup> 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 *Lemna 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](mailto:khanitta.s@msu.ac.th)

## 1. บทนำ

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

การใช้งานอีดีทีเอในปริมาณมากทั้งระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือนทำให้อีดีทีเอมีโอกาสปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำได้โดยจะถูกปลดปล่อยออกมาภายหลังการใช้งานผ่านน้ำทิ้งและทำให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำได้ [5] การย่อยสลายอีดีทีเอในสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนจริงเกิดขึ้นได้ยาก อีดีทีเอจึงมีความคงทนในสิ่งแวดล้อม [4] โดยความคงทนในสิ่งแวดล้อมของอีดีทีเอเป็นการเพิ่มโอกาสให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสสัมผัสกับอีดีทีเอมากขึ้นและอาจส่งผลเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตตามมา ความเป็นพิษของอีดีทีเอมักพบรายงานในมนุษย์และสัตว์ โดยอีดีทีเอมีความสามารถก่อการกลายในระดับต่ำ และไม่มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง [3, 6] สำหรับความเป็นพิษของอีดีทีเอต่อพืชมักให้ความสนใจไปในกรณีนี้ อีดีทีเอช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้าสู่เซลล์สิ่งมีชีวิตของโลหะ และทำให้โลหะเป็นพิษต่อพืชมากขึ้น [7, 8] สำหรับการศึกษาความเป็นพิษของอีดีทีเออิสระต่อพืชมีรายงานการศึกษาในอดีตพบว่าอีดีทีเอสามารถลดอัตราการคายน้ำของพืช [9] ลดการเจริญ

เติบโตของพืช รบกวนสมดุลแร่ธาตุในเซลล์พืช และรบกวนเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์พืช เป็นต้น [10]

อย่างไรก็ตามการศึกษาส่วนใหญ่เน้นศึกษาความเป็นพิษของอีดีทีเอกับโลหะหรืออีดีทีเออิสระเท่านั้น ทั้งที่อีดีทีเอมีโอกาสปนเปื้อนร่วมกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ได้ โดยสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ถูกผลิตขึ้นใช้งานในอุตสาหกรรมที่มีลักษณะเดียวกับอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานอีดีทีเอ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเคมีภัณฑ์ทางการเกษตร ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด และใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น [11] นอกจากนี้ยังมีการใช้งานสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการช่วยกำจัดคราบไขมันหรือสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมด้วย [12] การที่สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ได้ถูกผลิตและมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก ภายหลังการใช้งานสารลดแรงตึงผิว มักมีแหล่งสะสมอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียและอาจแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่น้ำผิวดินหรือจากการนำกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้กับที่ดิน [13]

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

สู่สิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้ จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาความเป็นพิษร่วมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด หรือ การศึกษาความเป็นพิษร่วมกันระหว่างสารในกลุ่ม คีเลตกับสารลดแรงตึงผิวมีข้อมูลจำกัด และถึงแม้ว่า สารลดแรงตึงผิวบางชนิดจะมีรายงานความเป็นพิษ ต่อพืชต่ำ แต่ก็ไม่สามารถคาดเดาผลที่จะเกิดกับพืชได้ เมื่อปนเปื้อนร่วมกับสารในกลุ่มคีเลต ดังนั้นการศึกษานี้ จึงได้ศึกษาความเป็นพิษร่วมกันระหว่างอีดีทีเอซึ่งเป็น สารคีเลตกับสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ ไทรทอน เอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และทวิน 80 ต่อพืช น้ำ ได้แก่ แหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กซึ่งเป็นพืชที่ พบแพร่กระจายทั่วไปในแหล่งน้ำจืดและมีโอกาสสัมผัส กับสารคีเลตและสารลดแรงตึงผิวที่ปนเปื้อนร่วมกันใน แหล่งน้ำได้ ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการบ่งบอก ระดับความเสี่ยงของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมให้ตระหนัก ถึงการปนเปื้อนและการบำบัดสารมลพิษดังกล่าวก่อน ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การทดสอบความเป็นพิษของสารคีเลต และสารลดแรงตึงผิวต่อพืชน้ำ

การประเมินความเป็นพิษร่วมกันระหว่างสาร คีเลตโซเดียมอีดีทีเอ (Fluka ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) และสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ 3 ชนิด ได้แก่ ไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต หรือทวิน 80 ต่อ แหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กทำโดยทดสอบใน น้ำที่จำลองให้ปนเปื้อนด้วยโซเดียมอีดีทีเอและไทรทอน เอ็กซ์-100 โซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต หรือโซเดียมอีดีทีเอและทวิน 80 ที่ระดับความเข้มข้น ต่างๆ กัน โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD มี 2 ปัจจัย  $4 \times 3$  ระดับ ประกอบด้วยระดับของ โซเดียมอีดีทีเอ 4 ระดับ คือ 0, 0.2, 2 และ 20 มิลลิกรัม ต่อลิตร และระดับสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด 3 ระดับ โดยไทรทอนเอ็กซ์-100 และทวิน 80 ศึกษาที่ระดับ

ความเข้มข้น 0, 1 และ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤต ของการเกิดไมเซลล์ ส่วนโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตศึกษา ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1 และ 2 เท่าของความเข้มข้น วิกฤตของการเกิดไมเซลล์ แต่ละทริทเมนต์จะทำการ ทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ ทั้งนี้ความเข้มข้นวิกฤตของการ เกิดไมเซลล์ของไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิล ซัลเฟต และทวิน 80 เป็น 0.22, 6 และ 0.012 มิลลิ- โมลาร์ ตามลำดับ น้ำที่ทำให้ปนเปื้อนร่วมกันระหว่าง โซเดียมอีดีทีเอและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์บรรจุ ในถ้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร การทดสอบความเป็นพิษต่อแหนเป็ดใหญ่ทำโดยเติม แหนเป็ดใหญ่ลงไปถ้วยละ 4 ต้น แยกชุดกันสำหรับ วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และวัดปริมาณน้ำหนักรวม ส่วน แหนเป็ดเล็กเติมลงไปภาดละ 0.2 กรัม แยกชุดกัน ระหว่างชุดทดลองที่นำมาวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และ วัดปริมาณน้ำหนักรวม ทำการทดลองทั้งสิ้น 3 วัน จากนั้น เก็บผลการทดลองโดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักรวมและ น้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Huang et al. [21] โดยแหนเป็ดใหญ่และแหนเป็ดเล็กที่ใช้ใน การทดลองเก็บจากสระน้ำธรรมชาติและนำมาอนุบาล ในเรือนเพาะชำเป็นเวลา 1 เดือน ก่อนทำการทดลอง

### 2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณ คลอโรฟิลล์แสดงด้วยค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐาน และใช้ Two-way ANOVA ในการทดสอบ ความแตกต่างทางสถิติระหว่างทริทเมนต์ จากนั้น วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย LSD's test ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับคือน้อยกว่า 0.05

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะเห็นว่าการ ปนเปื้อนของไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังหรือรวม กับ EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรส่งผลต่อน้ำหนักสดและ น้ำหนักแห้งของแหนเป็ดใหญ่ โดยมีแนวโน้มทำให้

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหวนเปิดใหญ่ลดลงเหลือเพียง 0.06 และ 0.006 กรัมในสภาวะที่มีการปนเปื้อนของไตรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังในแหล่งน้ำที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ ในขณะที่ไตรทอนเอ็กซ์-100 ที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของแหวนเปิดใหญ่ไม่ว่าแหวนเปิดใหญ่จะได้รับ

ไตรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังหรือได้รับร่วมกับโซเดียมอิตีทีเอ นอกจากนี้พบว่า การได้รับโซเดียมอิตีทีเอเพียงลำพังไม่ส่งผลต่อทั้งน้ำหนักสดหรือน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของแหวนเปิดใหญ่ การปนเปื้อนร่วมกันของไตรทอนเอ็กซ์-100 และโซเดียมอิตีทีเอทำให้เกิดปฏิกิริยสัมพันธ์ต่อน้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหวนเปิดใหญ่

ตารางที่ 1 ความเป็นพิษของโซเดียมอิตีทีเอและไตรทอนเอ็กซ์-100 ต่อแหวนเปิดใหญ่

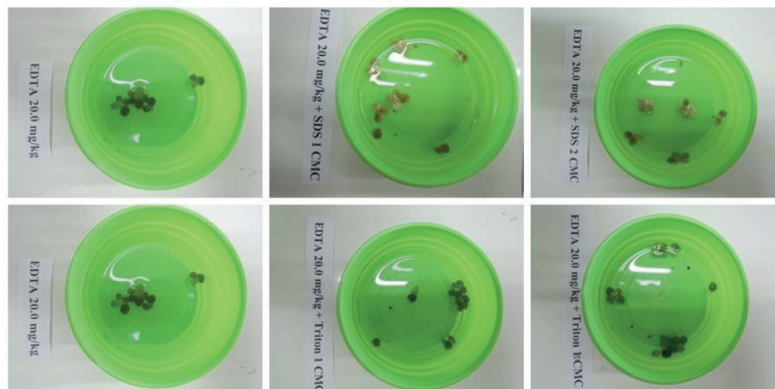
ทริทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
No Triton X-100	0.14 ± 0.01a	0.009 ± 0.000a	4.6 ± 0.4a	1.6 ± 0.3a	6.2 ± 0.3a
Triton X-100 (1xCMC)	0.08 ± 0.01b	0.009 ± 0.001a	4.4 ± 0.4a	1.0 ± 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 ( $P < 0.05$ ) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; \*\* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางที่ 2 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตต่อแหวนเป็ดใหญ่

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 (1×CMC)	0.21 ± 0.02a	0.010 ± 0.001a	2.5 ± 0.3b	0.8 ± 0.2a	3.1 ± 0.1c
SDS (2×CMC)	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 (1×CMC)	0.12 ± 0.01a	0.011 ± 0.000a	2.7 ± 0.2b	0.5 ± 0.1a	3.2 ± 0.2b
SDS (2×CMC)	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 (1×CMC)	0.13 ± 0.01a	0.011 ± 0.001a	2.6 ± 0.4b	0.7 ± 0.1a	3.1 ± 0.3b
SDS (2×CMC)	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 (1×CMC)	0.20 ± 0.05a	0.009 ± 0.001a	2.7 ± 0.1b	0.4 ± 0.0b	3.1 ± 0.2b
SDS (2×CMC)	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 การเจริญเติบโตของแหวนเป็ดใหญ่ในสารละลาย EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับทรือนเอ็กซ์ 100 หรือโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต เป็นเวลา 3 วัน

ตารางที่ 3 ความเป็นพิษของโซเดียมอิตีทีเอและทวิน 80 ต่อแห่นเปิดใหญ่

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
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 ( $P < 0.05$ ) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน \* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) จาก EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ระหว่างทรีทเมนต์ที่ได้รับสารลดแรงตึงผิวระดับเดียวกัน ตัวอย่าง: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; \* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) \*\* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ในทำนองเดียวกันผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตทำให้การเจริญเติบโตของแห่นเปิดใหญ่ที่ศึกษาทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแห่นเปิดใหญ่ลดลง ทั้งนี้ใบของแห่นเปิดใหญ่ที่สัมผัสกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตจะซีดลงชัดเจนหลังจากเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และเมื่อครบ 3 วัน ใบจะมีลักษณะลื่นเป็นมันมากกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่ได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่พบในสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น (รูปที่ 1) การได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตร่วมกับโซเดียมอิตีทีเอทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ต่อน้ำหนักสดของแห่นเปิดใหญ่เท่านั้น ในขณะที่การได้รับทวิน 80 เพียงลำพังหรือได้รับร่วมกับโซเดียมอิตีทีเอไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์บีของแห่นเปิดใหญ่ มีเพียงคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่านั้นที่มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างทวิน 80 และโซเดียมอิตีทีเอ



ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อทั้งน้ำหนักและปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกชนิดของแหวนเปิดใหญ่ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

การปนเปื้อนของโซเดียมอิตีทีเอและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ทั้งสามชนิดมีแนวโน้มเป็นพิษต่อแหวนเปิดเล็กมากกว่าแหวนเปิดใหญ่ การปนเปื้อนโซเดียมอิตีทีเอในน้ำ 0.2 – 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่ส่งผลต่อทั้งน้ำหนัก และปริมาณคลอโรฟิลล์ในแหวนเปิดเล็ก แต่การปนเปื้อนไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังและการปนเปื้อนร่วมกับโซเดียมอิตีทีเอทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในแหวนเปิดเล็กมีแนวโน้มลดลง ตัวอย่างเช่น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหวนเปิดเล็กเหลือเพียง 0.11 และ 0.004 กรัม ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเหลือเพียง 1.4, 1.2 และ 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับไทรทอนเอ็กซ์-100 เพียงลำพังที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ โดยพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างไทรทอนเอ็กซ์-100 และโซเดียมอิตีทีเอต่อน้ำหนักสดและคลอโรฟิลล์

ทั้งหมด (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ใบแหวนเปิดเล็กที่สัมผัสกับไทรทอนเอ็กซ์-100 จมลงในน้ำหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง และมีสีเขียวคล้ำมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสารลดแรงตึงผิว โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 (รูปที่ 2)

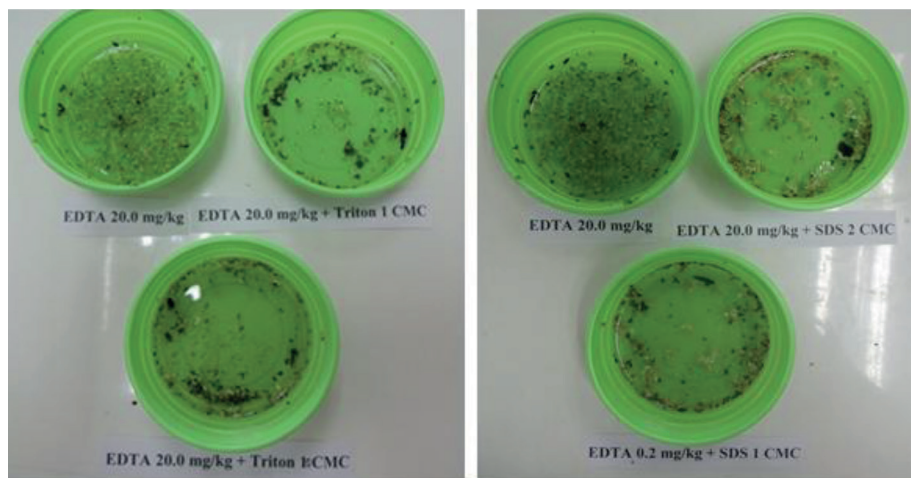
โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตทำให้น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหวนเปิดเล็กลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกันทั้งในสถานะที่มีโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเพียงลำพังหรือร่วมกับโซเดียมอิตีทีเอ โดยน้ำหนักแห้งของแหวนเปิดเล็กในสถานะที่ได้รับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเพียงลำพังที่ระดับความเข้มข้น 1-2 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์มีค่าเพียง 0.004 - 0.06 กรัม ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหวนเปิดเล็กมีค่าเพียง 5.1-5.5, 1.4-1.8 และ 6.5-7.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 5 นอกจากนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตและโซเดียมอิตีทีเอต่อน้ำหนักแห้งของแหวนเปิดเล็กและทำให้ใบซีดขาวและสิ้นเป็นมันเช่นเดียวกับแหวนเปิดใหญ่



ตารางที่ 4 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและไทรทอนเอ็กซ์-100 ต่อเห็บเปิดเล็ก

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร No					
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 ( $P < 0.05$ ) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำลายที่ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากัน ตัวย่อ: ns = ไม่มีนัยสำคัญ; \*\* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )



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

ตารางที่ 5 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตต่อแห่นเป็ดเล็ก

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร No					
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 ความเป็นพิษของโซเดียมอีดีทีเอและทวิน 80 ต่อแหวนเปิดเล็ก

ทรีทเมนต์	น้ำหนัก (กรัม)		คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร					
EDTA 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	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 มิลลิกรัมต่อลิตร					
EDTA 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	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 มิลลิกรัมต่อลิตร					
EDTA 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	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					
EDTA 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.12 ± 0.01a	0.009 ± 0.001a	12.1 ± 1.4a	5.0 ± 1.2a	17.1 ± 0.9a
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 ( $P < 0.05$ ) ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำลายที่ระดับความเข้มข้นของ 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 แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของทวิน 80 ทั้งเพียงลำพังและปนเปื้อนร่วมกับโซเดียมอีดีทีเอลดปริมาณคลอโรฟิลล์ของแหวนเปิดเล็กเท่านั้น แต่ไม่ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของแหวนเปิดเล็กแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหวนเปิดเล็กเป็น 5.2, 2.4 และ 7.6 มิลลิกรัมต่อลิตรในสภาวะที่ได้รับทวิน 80 เพียงลำพัง

ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าของความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ โดยพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างทวิน 80 และโซเดียมอีดีทีเอต่อคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของแหวนเปิดเล็ก

จากผลการทดลองทั้งหมดทำให้เห็นแนวโน้มว่าโซเดียมโอดีเดซิลซัลเฟตแสดงความเป็นพิษสูงสุดต่อแหวนเปิดใหญ่และแหวนเปิดเล็ก ส่วนไทรทอนเอ็กซ์-100 มีความเป็นพิษต่อพืชน้ำทิ้งสองชนิดในระดับที่รองลงมา

และทวิน 80 แสดงความเป็นพิษต่อแห่นเปิดใหญ่และแห่นเปิดเล็กต่ำที่สุด ความเป็นพิษที่แตกต่างกันนี้อาจเกิดจากความแตกต่างทางด้านโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบจะเป็นพิษมากกว่าสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ [22] โดยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่เป็นพิษมากที่สุดเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ ส่วนไทรทอนเอ็กซ์-100 และทวิน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ ทั้งนี้กลไกความเป็นพิษของสารในกลุ่มสารลดแรงตึงผิวมักเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติความเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ องค์ประกอบต่างๆ ภายในไซโทพลาสซึมของเซลล์รั่วไหล และทำให้เซลล์แตกได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วย [23] ตัวอย่างรายงานความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษานี้ เช่น โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตสามารถยับยั้งการเจริญของต้นกล้าข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) ทำให้ระดับของเอนไซม์กลูตาไทโอนรีดักเตส ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ และปริมาณโปรตีนในยอดและรากของต้นกล้าข้าวสาลีเปลี่ยนแปลง [15] รวมทั้งยังชักนำให้ *Azolla filiculoides* เกิดความเครียดโดยการผลิต เอทิลีนเพิ่มขึ้นได้ [16] ในขณะที่ไทรทอนเอ็กซ์-100 สามารถยับยั้งการเจริญของรากหอมหัวใหญ่ได้ [14] เป็นต้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่าทวิน 80 แสดงความเป็นพิษต่อแห่นเปิดใหญ่และแห่นเปิดเล็กต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยอื่นๆ ที่รายงานว่าทวิน 80 เป็นพิษต่อพืชต่ำเช่นกัน โดยทวิน 80 ไม่ยับยั้งการงอกของถั่วอัลฟาลฟา (*Medicago sativa*) ไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วอัลฟาลฟา และมีแนวโน้มทำให้ชีวมวลของถั่วอัลฟาลฟาเพิ่มขึ้น [17] นอกจากนี้ทวิน 80 ที่ระดับความเข้มข้น 500-2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยังไม่ส่งผลต่อการเจริญของหญ้าไรรัน (*Lolium multiflorum*) และถั่วเรดโคลเวอร์ (*Trifolium pretense*) อีกด้วย [18] โดยสาเหตุที่ทวิน 80 ส่งผลเพิ่มชีวมวลของพืชได้คาดว่าเกิดจากสารลด

แรงตึงผิวไปเพิ่มคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้พืชสามารถนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้มากขึ้น [19] และถึงแม้ว่าโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตจะเป็นพิษต่อพืชแห่นเปิดใหญ่และแห่นเปิดเล็กที่เลือกใช้ เป็นพืชทดสอบในการศึกษานี้ก็ตาม แต่กลับพบรายงานว่าพืชน้ำชนิดอื่นๆ เช่น *Potamogeton crispus* L. มีแนวโน้มทนทานต่อความเป็นพิษของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตได้ [24]

ในการศึกษานี้ยังพบว่าการปนเปื้อนของอิตีทีโอเพียงลำพังมักไม่แสดงความเป็นพิษต่อแห่นเปิดใหญ่และแห่นเปิดเล็ก โดยจากรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าความเป็นพิษของอิตีทีโอส่วนใหญ่มักเกิดจากการที่ อิตีทีโอเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะที่เป็นพิษ แล้วทำให้โลหะที่เป็นพิษเคลื่อนย้ายสู่เซลล์พืชได้มากขึ้นจึงเป็นอันตรายต่อพืช [7] โดยอิตีทีโอมักส่งผลเสียต่อพืชทางอ้อม เช่น การปนเปื้อนของอิตีทีโอในน้ำจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุอาหารที่มีประจุ 2+ เช่น Zn, Cu, Fe and Mn ซึ่งทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้ถูกทำลายเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ลดลง เป็นต้น [25]

นอกจากนี้การปนเปื้อนร่วมกันของสารเคเลโตโซเดียมอิตีทีโอกับไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมอิตีทีโอกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และโซเดียมอิตีทีโอกับทวิน 80 มีแนวโน้มไม่เสริมฤทธิ์กันหรือทำให้ความเป็นพิษของสารชนิดใดชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อปนเปื้อนร่วมกัน แต่ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเกิดจากพิษของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์เพียงอย่างเดียว โดยแห่นเปิดใหญ่มีความทนทานต่อสารเคเลโตโซเดียมอิตีทีโอหรือสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์เมื่อปนเปื้อนในแหล่งน้ำเพียงลำพังหรือปนเปื้อนร่วมกันมากกว่าแห่นเปิดเล็ก ทั้งนี้ อาจเพราะแห่นเปิดเล็กเป็นพืชน้ำที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวเซลล์ต่อปริมาตรมีสูง ดังนั้นโอกาสที่แห่นเปิดเล็กจะสัมผัสกับสารมลพิษที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำจึงมีมากกว่าและอาจเป็นเหตุให้แสดงอาการเป็นพิษได้มากกว่าแห่นเปิดใหญ่

#### 4. สรุป

การปนเปื้อนร่วมกันระหว่างสารคีเลตโซเดียม อีดีเอและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์แต่ละชนิด ได้แก่ ไทรทอนเอ็กซ์-100 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และทวิน 80 ไม่ส่งผลให้ความเป็นพิษต่อแห่นเป็ดใหญ่และแห่นเป็ดเล็กเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ความเป็นพิษต่อแห่นเป็ดใหญ่และแห่นเป็ดเล็กมักเกิดจากความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมากกว่า โดยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตมีแนวโน้มเป็นพิษมากที่สุด รองลงมาคือไทรทอนเอ็กซ์-100 และทวิน 80 มีแนวโน้มมีความเป็นพิษต่ำที่สุดต่อแห่นเป็ดใหญ่และแห่นเป็ดเล็ก

#### 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 conventional 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," *Quimica 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, "Diferences in EDTA-assisted metal phytoextraction between metallophilous and non-metallophilous 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. Gül den, 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.