

นิพนธ์ต้นฉบับ

การทำลายไขพยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูลด้วยวัสดุนำความร้อนและพาราโบลิกรวมแสง
จากพลังงานแสงอาทิตย์ฤทธิรงค์ จังโกฏี^{(1)*}, พัชรญา ใจภักดี⁽²⁾, สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์⁽³⁾, พฤษัช ตัญญูรัตน⁽¹⁾, Anthony Charles Kuster⁽⁴⁾

วันที่ได้รับต้นฉบับ: 3 เมษายน 2562

วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 1 ธันวาคม 2562

* ผู้รับผิดชอบบทความ

(E-mail: rittirong@kku.ac.th)

(1) อาจารย์ สาขาวิชานาฏยศาสตร์และวัฒนธรรม

อาชีวอนามัยและความปลอดภัย

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

(2) นักศึกษาปริญญาเอก Dong-A University,

Seonghak Campus, Hadan-dong,

Saha-gu, Busan, South Korea

(3) ผู้ช่วยศาสตราจารย์

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

(4) อาจารย์ชาวต่างชาติ คณะสาธารณสุขศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

การศึกษาการทำลายไขพยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูลด้วยแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อ (1) ศึกษาประสิทธิภาพในการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่น้ำ และสู่สิ่งปฏิกูลของชุดทดลองที่แตกต่างกัน 3 ชุดทดลอง คือ ชุดทดลองต้นแบบ ชุดทดลองทาสีดำ และชุดทดลองทาสีดำกับพาราโบลิกรวมแสง โดยแต่ละชุดทดลองศึกษาวัสดุที่ต่างกัน 4 ชนิด คือ PVC เหล็ก สแตนเลส และอะลูมิเนียม และ (2) ศึกษาประสิทธิภาพในการทำลายไขพยาธิใบไม้ตับในชุดทดลองที่แตกต่างกัน เก็บข้อมูลระหว่าง เดือนกรกฎาคม 2560 – มกราคม 2561 บันทึกอุณหภูมิในชุดทดลองทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09.00-17.00 น. พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลอุณหภูมิในอากาศ ความชื้นในอากาศ และความเข้มแสง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่ชุดทดลองที่มีน้ำเป็นตัวกลาง พบว่าชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงมีประสิทธิภาพในการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์และเพิ่มอุณหภูมิได้สูงสุดที่ 80 °C โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 39.8±13.2 °C ส่วนผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่ชุดทดลองที่มีสิ่งปฏิกูลเป็นตัวกลาง พบว่า ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงมีประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชุดทดลองได้สูงสุดที่ 71°C ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 44.40±7.03°C เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำความร้อนของชุดทดลองทั้ง 3 ชุดทดลองโดยใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis ANOVA พบว่าในทุก ๆ ชุดทดลองวัสดุต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการนำความร้อนที่แตกต่างกัน และพบว่าชุดทดลองที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดคือชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสง (p<0.001)

สำหรับผลการศึกษาประสิทธิภาพในการทำลายไขพยาธิใบไม้ตับในชุดทดลองที่แตกต่างกัน พบว่า ชุดทดลองทาสีดำทอเหล็กมีประสิทธิภาพในการทำลายไขพยาธิใบไม้ตับได้ทั้งหมดเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิมากกว่า 45°C ต่อเนื่องสะสมเป็นระยะเวลา มากกว่า 33 ชั่วโมง รองลงมาคือชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงทาสีดำที่มีประสิทธิภาพในการทำลายไขพยาธิใบไม้ตับได้ทั้งหมดเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิมากกว่า 45°C ต่อเนื่องสะสมเป็นระยะเวลา มากกว่า 39 ชั่วโมง จึงสามารถสรุปได้ว่าชุดทดลองในการศึกษาในครั้งนี้มีศักยภาพในการทำลายไขพยาธิใบไม้ตับ และมีศักยภาพในการลดระยะเวลาการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้ โดยเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการเลือกชุดทดลองเพื่อนำไปขยายผลในการศึกษาต่อไป ผู้วิจัยเสนอให้เลือกชุดทดลองทาสีดำทอเหล็ก ซึ่งมีราคาถูก มีความคงทน และสามารถทำลายไขพยาธิใบไม้ตับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไขพยาธิใบไม้ตับ, สิ่งปฏิกูล, แสงอาทิตย์

Original Article

Inactivation of Liver Fluke Eggs In Human Excreta by Heating Energy from Sunlight with Various Materials and a Parabolic Reflector

Rittirong Junggoth^{(1)*}, Patchareeya Jaipakdee⁽²⁾, Somsak Pitaksanurat⁽³⁾, Puek Tantriratna⁽¹⁾,
Anthony Charles Kuster⁽⁴⁾

Received Date: April 3, 2019

Accepted Date: December 1, 2019

Abstract

The study of Inactivation of Liver Fluke Eggs in Human Excreta by Heating Energy from Sunlight aimed to (1) study the efficiency of heat conduction from the sun to water and human excreta of three different experimental sets: unpainted prototype set, painted black set and painted black with a parabolic reflector set. Each set had four types of materials. The four types of materials are PVC, iron, stainless steel, and aluminum and (2) study the liver fluke eggs inactivation efficiency of the three different experimental sets. The data collection was conducted from July 2017– January 2018 by recording the temperature of the experimental sets in every 1 hour from 9.00 a.m.-5.00 p.m. and also recording the ambient temperature, ambient humidity, and light intensity.

The result showed that the highest efficiency of heat conduction from the sun to water was found in the experimental set of painted black iron pipe with a parabolic reflector. It could absorb radiation from the sun and increased the water temperature to a maximum of 80°C with an average temperature of 39.8±13.2°C. While the highest efficiency of heat conduction from the sun to human excreta was found in the experimental set of painted black aluminum pipe with a parabolic reflector which could increase the human excreta temperature to a maximum of 71°C with the average temperature of 44.40±7.03°C. When comparing the heat conductivity of four types of materials in three different experimental sets by using ANOVA Kruskal-Wallis, it showed that the different materials had a different heat conductivity. The highest temperature was identified in painted black with a parabolic reflector set ($P<0.001$).

The result of the inactivation efficiency of liver fluke eggs in human excreta with the temperatures of over 45 °C showed that the highest efficiency material was the painted black iron pipe, followed by the painted black stainless steel with a parabolic reflector which could inactivate all liver fluke eggs when the cumulative hours of the mentioned temperature was more than 33 and 39, respectively. Therefore, it could be concluded that the experiments in this study are effective for the inactivation of liver fluke eggs and have a high potential to reduce the duration of human excreta treatment. For further study, the black painted steel is proposed to be an alternative material for human excreta treatment, because the price isn't too high, durable and has effectively inactivation of liver fluke eggs.

Keywords: Liver Fluke Egg, Excreta, Sunlight

* Corresponding author

(E-mail: rittirong@kku.ac.th)

(1) Lecturer, Department of

Environmental Health

Occupational Health and Safety,

Faculty of Public Health,

Khon Kaen University

(2) Ph.D. student, Dong-A University,

Seonghak Campus, Hadan-dong,

Saha-gu, Busan, South Korea

(3) Assistant Professor,

Faculty of Public Health,

Khon Kaen University

(4) International Lecturer,

Faculty of Public Health,

Khon Kaen University

บทนำ

การทิ้งสิ่งปฏิกูลที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญและเร่งด่วน เนื่องจากเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโรคจากปรสิตหลายชนิด เช่น โรคพยาธิติต โรคพยาธิใบไม้ตับ โรคเท้าช้าง โดยตัวเต็มวัยและไข่ของพยาธิจะปนมากับสิ่งปฏิกูลและปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมหากมีการกำจัดที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล

จากข้อมูลของกรมอนามัย (2557) พบว่ามีการลักลอบทิ้งสิ่งปฏิกูลในที่หรือทางสาธารณะ หรือในพื้นที่สวนหรือในลำคลองขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจำนวน 366 แห่ง จากทั้งหมด 1,965 แห่ง (ร้อยละ 18.71) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อโรคที่อาจมีผลต่อสุขภาพของประชาชนได้ เนื่องจากในสิ่งปฏิกูลมีพยาธิต่าง ๆ ปนอยู่หลายชนิด เช่นเดียวกับในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่มีปัญหาเรื่องการลักลอบทิ้งสิ่งปฏิกูลในที่กำจัดขยะมูลฝอย ป่า หรือพื้นที่ว่างเปล่า (วีระศักดิ์ สืบเสาะ, 2551) ดังนั้นการจัดระบบสุขาภิบาลสิ่งปฏิกูลที่ดีจะช่วยลดการปนเปื้อนของไข่พยาธิและเชื้อโรคต่าง ๆ สู่สิ่งแวดล้อม อันจะเป็นการหยุดวงจรการปนเปื้อนเชื้อปรสิตในสิ่งแวดล้อม

พยาธิใบไม้ตับเป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญของการเกิดโรคมะเร็งท่อน้ำดีโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่มีพฤติกรรมการบริโภคปลาน้ำจืดจำพวกปลาตะเพียนที่ติดเชื้อพยาธิ *Opisthorchis viverrini* โดยไม่ผ่านการปรุงสุก เช่น ปลาส้มดิบ ปลาร้าดิบ เป็นต้น (ธิดารัตน์, 2559) โดยมีความชุกของการเกิดโรคพยาธิใบไม้ตับมากที่สุด เท่ากับ 51.6 ต่อประชากรแสนคนในปี 2554 และมีแนวโน้มการเกิดโรคมะเร็งท่อน้ำดีเพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์

กระทรวงสาธารณสุข, 2554) สาเหตุการปนเปื้อนพยาธิใบไม้ตับในปลาน้ำจืด มีผลมาจากการไม่มีระบบการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลทำให้เพิ่มโอกาสในการปนเปื้อนของไข่พยาธิลงสู่สิ่งแวดล้อม

ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันคือระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลตามแนวพระราชดำริ ที่เป็นระบบหมักแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) ร่วมกับลานทรายกรอง ผลพลอยได้คือตะกอนที่ได้สามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ปลอดจากเชื้อโรคระบบ

ทางเดินอาหารและไขพยาธิ (กรมอนามัย, 2557) แต่ยังมีข้อจำกัดด้านระยะเวลาของระบบบำบัดแบบหมักไร้อากาศที่ต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 28 วันเพื่อทำลายเชื้อโรค พยาธิและไข่พยาธิที่ปะปนมากับสิ่งปฏิกูล (Niwaigaba, C.B., 2009; กรมอนามัย, 2557) ทำให้มีขนาดใหญ่และใช้งบประมาณในการก่อสร้างสูง ในส่วนของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบลานทรายกรองมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ และใช้ระยะเวลาการบำบัดสิ่งปฏิกูลนาน 17 วันขึ้นไป (ไฉไล ช่างคำ & ไกรวัลย์ มัธฐา, 2558)

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดไข่พยาธิ คือ อุณหภูมิและความชื้น โดยจากการศึกษาของ Morishita et al. (1972) ที่ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตายของไข่พยาธิใส่เดือนที่เป็นพยาธิที่มีความทนทานมากที่สุดเมื่อเทียบกับไข่พยาธิชนิดอื่น พบว่า ที่อุณหภูมิมากกว่า 60°C ไข่พยาธิใส่เดือนจะตายภายในเวลา 5 วินาที ส่วนปัจจัยด้านความชื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 90 จะตายภายในเวลา 90 วัน และที่ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 20 ไข่พยาธิจะตายภายใน 1 วัน และหากได้รับแสงแดดโดยตรงเป็นเวลา 2 วันไข่พยาธิจะตายทั้งหมด แต่ถ้าใช้น้ำปนอยู่กับอุจจาระจะยังคงมีชีวิตอยู่

ประเทศไทยมีศักยภาพในการรับรังสีจากดวงอาทิตย์สูงเนื่องจากอยู่ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m² -day โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m² -day (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2542). ทั้งนี้ ประกอบ สุรพัฒน์วรรณ & อธิภัทร หล่มบุญเรือง (2554) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ช่วยในการรวบรวมรังสีแบบรางพลาโบลาที่ใช้หลักการสะท้อนแสงและใช้ตัวดูดซับความร้อนเพื่อนำของไหลที่มีความร้อนไปใช้ประโยชน์โดยทดสอบในสภาพมีแสงแดดพบว่าระบบสามารถสร้างพลังงานความร้อนได้เฉลี่ย 4,180 กิโลจูล ในช่วงการทดสอบ 5 ชั่วโมง เวลา 10.00-15.00 น. อุณหภูมิของน้ำที่ได้อยู่ระหว่าง 35-60°C นอกจากนี้ความเข้มแสงมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำภายในระบบ โดยที่ความเข้มแสง 1,290.75 W/m² สามารถทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงสุดที่ประมาณ 78 °C ที่อัตราการไหล 0.0083 kg/s (รุ่งทวี ผดากาล และสุรัชย์ รดาตาร, 2552)

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูลโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ของวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง ได้แก่ อะลูมิเนียม สแตนเลส เหล็ก และ PVC ร่วมกับใช้หลักการสะท้อนแสงและรวมแสงเพื่อให้ได้พลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้นและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิที่ปนมากับสิ่งปฏิกูล

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาการนำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สู่น้ำและสู่สิ่งปฏิกูลของชุดทดลองที่แตกต่างกัน 3 ชุดทดลอง คือ ชุดทดลองต้นแบบ ชุดทดลองทาสีดำ และชุดทดลองทาสีดำกับพาราโบลิกรวมแสง โดยแต่ละชุดทดลองศึกษาวัสดุที่ต่างชนิดกัน 4 ชนิด คือ PVC เหล็ก สแตนเลส และ อะลูมิเนียม

2. ศึกษาประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูลของชุดทดลองที่แตกต่างกัน 3 ชุดทดลอง คือ ชุดทดลองต้นแบบ ชุดทดลองทาสีดำ และชุดทดลองทาสีดำกับพาราโบลิกรวมแสง โดยแต่ละชุดทดลองศึกษาวัสดุที่ต่างชนิดกัน 4 ชนิด คือ PVC เหล็ก สแตนเลส และ อะลูมิเนียม

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการกำจัดไข่พยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูลด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ศึกษาในชุดทดลองที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ชุดทดลองต้นแบบ ชุดทาสีดำ และชุดทดลองทาสีดำกับพาราโบลิกรวมแสง ทุกชุดทดลองประกอบด้วยวัสดุที่ต่างชนิดกัน 4 ชนิด คือ PVC เหล็ก สแตนเลส และ อะลูมิเนียม เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ขนาด ยาว 1 เมตร เจาะรูสำหรับบรรจุสิ่งปฏิกูลและจุดสำหรับวัดอุณหภูมิ (ภาพที่ 1)

การศึกษาการนำความร้อนของชุดทดลองสู่น้ำ
โดยนำน้ำมาบรรจุในชุดทดลอง ติดตามอุณหภูมิ ของชุดทดลองทุกๆ 1 ชั่วโมง และจดบันทึกสภาพแวดล้อมอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ ความเข้มแสง และร้อยละปริมาณการปกคลุมของเมฆเป็นเวลา 15 วัน เพื่อหาประสิทธิภาพการนำความร้อนของชุดทดลอง

การศึกษาการนำความร้อนของชุดทดลองสู่สิ่งปฏิกูล
โดยนำสิ่งปฏิกูลมาบรรจุในชุดทดลอง ติดตามอุณหภูมิ ของชุดทดลองทุกๆ 1 ชั่วโมง และจดบันทึก

สภาพแวดล้อมอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ ความเข้มแสง และร้อยละปริมาณการปกคลุมของเมฆเป็นเวลา 30 วัน เพื่อหาประสิทธิภาพการนำความร้อนของชุดทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูล
โดยนำตัวอย่างไข่พยาธิใบไม้ตับจากตับหนูทดลองที่มีเชื้อจากห้องทดลองภาควิชาปรสิตวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภายใต้ความดูแลของศาสตราจารย์ ดร. ธีรรัตน์ บุญมาศ โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไข่พยาธิใบไม้ตับดังนี้

- นำตับของหนูที่ถูก infected พยาธิใบไม้ตับที่แช่ในน้ำเกลือมาบดเพื่อแยกตัวพยาธิใบไม้ตับออกจากตับ
- นำตัวเต็มวัยพยาธิใบไม้ตับมารีดเอาไข่ โดยตัดบริเวณส่วนปลายของลำตัว

- รวบรวมไข่พยาธิใบไม้ตับที่สมบูรณ์ใส่ลงในหลอดทดลองพลาสติกฝาเกลียว

- ใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างไข่พยาธิใบไม้ตับปริมาณ 50 ไมโครลิตรเพื่อตรวจนับปริมาณไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยคำนวณเทียบหาปริมาณไข่ทั้งหมดที่ได้ต่อปริมาณน้ำ

- คำนวณหาปริมาณไข่พยาธิใบไม้ตับที่จะใช้ต่อหนึ่งหน่วยทดลองโดยนำปริมาณไข่ทั้งหมดหารด้วยจำนวนหน่วยทดลองทั้งหมดที่ศึกษา

- เพิ่มปริมาณน้ำเกลือตามจำนวนตัวอย่างที่ต้องการ แล้วถ่ายตัวอย่างไข่พยาธิใบไม้ตับลงในหลอด Eppendorf Tube จำนวน 120 ตัวอย่าง ละ ประมาณ 25 ฟอง จากนั้นบรรจุหลอด Eppendorf Tube ลงในชุดทดลอง

ทำการบันทึกอุณหภูมิสิ่งปฏิกูลภายในวัสดุที่ศึกษาจำนวน 3 จุด เก็บตัวอย่างไข่พยาธิ 1 หลอด Eppendorf Tube จากทุกวัสดุที่ศึกษาของทุกชุดทดลองแบบวันเว้นวัน เป็นเวลา 20 วัน เพื่อนำมาตรวจการรอดชีวิตของไข่พยาธิใบไม้ตับด้วยวิธี Formal Ether Sedimentation technique และสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พิจารณาการถูกทำลายของไข่พยาธิจากการเปิดของฝาไข่ (hatching eggs) หรือการเสียรูปของเปลือกไข่ที่ยังพบไมราซีเดียอยู่ภายในไข่ (egg shell deformation) ดังภาพที่ 2 นำจำนวนไข่พยาธิใบไม้ตับที่รอดชีวิตหารด้วยจำนวนไข่พยาธิทั้งหมดที่พบเพื่อหาอัตราการรอดของไข่พยาธิใบไม้ตับ หลังจากการตรวจวิเคราะห์การ

รอดชีวิตนำตัวอย่างทั้งหมดมาฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ 121°C เป็นเวลา 15 นาที

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละในการนำเสนอผลการทดลองของอุณหภูมิและประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับ ใช้สถิติเชิงอนุมานคือ Kruskal-Wallis ANOVA ด้วยโปรแกรม STATA 10 ในการหาความแตกต่างของประสิทธิภาพในการนำความร้อนของชุดทดลองทั้ง 3 ชุด และ วัดอุณหภูมิความร้อน ทั้ง 4 ชนิด

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่ น้ำ พบว่า ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงแบบท่อเหล็กสามารถดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์และเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชุดทดลองได้สูงสุดที่ 80°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 39.8±13.2°C เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุท่อเหล็กในชุดทดลองต้นแบบ ชุดทดลองทาสีดำ และชุดทดลองพาราโบลิค พบว่า มีช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22-80°C และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 34.8±7.6, 35.1±7.5 และ 39.8±13.2°C ตามลำดับ ซึ่งในวันที่ชุดทดลองมีอุณหภูมิสูงสุด มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดเท่ากับ 40°C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 36.7±3.6°C ความเข้มของแสงอาทิตย์เฉลี่ย 8,712.2±1,335.2 Lux ร้อยละความชื้นเฉลี่ย 65.2±4.8 ทำให้ชุดทดลองแบบพาราโบลิกรวมแสงแบบท่อเหล็กมีอุณหภูมิเฉลี่ยของวันสูงถึง 69.6±13.8°C เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำความร้อนสู่ น้ำของวัสดุทั้ง 4 ชนิด โดยใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis ANOVA พบว่าในทุกๆ ชุดทดลอง วัสดุต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการนำความร้อนที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบจากวัสดุชนิดเดียวกันในชุดทดลองที่ต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดคือ ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสง ($p<0.001$)

ผลการศึกษาการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่ สิ่งปลูก พบว่า ชุดทดลองพาราโบลิคท่ออะลูมิเนียมทาสีดำมีประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชุดทดลองได้สูงสุดที่ 71°C ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 44.40±

7.03 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุอะลูมิเนียมในชุดทดลองต้นแบบ ชุดทดลองทาสีดำ และชุดทดลองพาราโบลิค พบว่ามีช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-71°C มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 36.43±4.58 42.23±5.47 และ 44.40±7.03°C ตามลำดับ ในวันที่ชุดทดลองมีอุณหภูมิสูงสุด มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด เท่ากับ 46.7°C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 34.1±7.4°C ความเข้มของแสงอาทิตย์เฉลี่ย 6,150.0±3,445.1 Lux ร้อยละความชื้นเฉลี่ย 40.1±10.0 ทำให้ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงแบบท่ออะลูมิเนียมมีอุณหภูมิเฉลี่ยของวันสูงถึง 56.3±7.5°C เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำความร้อนสู่ สิ่งปลูกของวัสดุทั้ง 4 ชนิดโดยใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis ANOVA พบว่าในทุกชุดทดลอง วัสดุต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการนำความร้อนที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบจากวัสดุชนิดเดียวกันในชุดทดลองที่ต่างกันพบว่าชุดทดลองที่มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดคือ ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสง ($p<0.001$)

รายละเอียดข้อมูลการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่ น้ำและสู่ สิ่งปลูก แสดงดังตารางที่ 1

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับในสิ่งปลูก

จากการศึกษาประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับระหว่างเดือน ธันวาคม 2560 – มกราคม 2561 เป็นเวลา 20 วัน พบว่าชุดทดลองทาสีดำท่อเหล็กมีประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับได้ทั้งหมด เมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิมากกว่า 45°C ต่อเนื่องสะสมเป็นระยะเวลามากกว่า 33 ชั่วโมง รองลงมาคือชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงท่ออะลูมิเนียมที่มีประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับได้ทั้งหมด เมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิมากกว่า 45°C ต่อเนื่องสะสมเป็นระยะเวลามากกว่า 39 ชั่วโมง และชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงท่อเหล็กมีประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สิ่งปลูกและสามารถทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับได้ทั้งหมดเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนอุณหภูมิมากกว่า 45°C ต่อเนื่องสะสมเป็นระยะเวลามากกว่า 42 ชั่วโมง ทั้งนี้โดยปกติในฤดูร้อนไข่พยาธิใบไม้ตับจะใช้เวลาประมาณ 21 วันในการพัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะ miracidia ส่วนในฤดูใบไม้ผลิหรือใบไม้ร่วงไข่พยาธิใบไม้ตับจะอยู่ได้ถึง

90 วันก่อนจะพักตัว (Boray, 2007) รายละเอียดประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูลของแต่ละชุดทดลองแสดงดังตารางที่ 2

บทสรุปและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่น้ำ พบว่า ชุดทดลองแบบพาราโบลิกรวมแสงแบบท่อเหล็กสามารถดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์และเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชุดทดลองได้สูงสุดที่ 80°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ $39.8 \pm 13.2^{\circ}\text{C}$ ส่วนผลการศึกษาการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์สู่สิ่งปฏิกูล พบว่า ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงท่ออะลูมิเนียมทาสีดำมีประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชุดทดลองได้สูงสุดที่ 71°C ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 44.40 ± 7.03 โดยปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของชุดทดลองคือความเข้มแสง เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิของชุดทดลองเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งการศึกษานี้มีค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง 1,044-34,300 Lux หรือประมาณ 48.33-1,587.96 W/m^2 เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของรุ่งทวี ผดากาล & สุรัชย์ รดาดาร (2552) ที่ทำการศึกษาค้นคว้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนที่ความเข้มแสง 1,290.75 W/m^2 ในช่วงการทดสอบ 5 ชั่วโมง เวลา 10.00-15.00 น. สามารถทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงสุดที่ประมาณ 78°C ที่อัตราการไหล 0.0083 kg/s พบว่าการศึกษาค้นคว้านี้มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าเล็กน้อยทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่า นอกจากนี้จากการศึกษาของประกอบ

สุรวัฒนาวรรณ & อธิภัทร หล้าบุญเรือง (2554) ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ช่วยในการรวบรวมรังสีแบบรางพาราโบลาที่ใช้หลักการสะท้อนแสงและใช้ตัวดูดซับความร้อนเพื่อนำของไหลที่มีความร้อนไปใช้ประโยชน์ พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ได้อยู่ระหว่าง $35-60^{\circ}\text{C}$ ซึ่งในการศึกษาค้นคว้านี้มีอุณหภูมิสูงสุดสูงที่สูงกว่าแม้ว่าช่วงเวลาที่ศึกษาจะอยู่ในช่วงของฤดูฝนและฤดูหนาว ทั้งนี้ประเทศไทยมีศักยภาพในการรับรังสีจากดวงอาทิตย์สูงเนื่องจากอยู่ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรโดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำความร้อนวัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ PVC เหล็ก สแตนเลส และอะลูมิเนียม โดยใช้สถิติทดสอบ Kruskal-Wallis ANOVA พบว่าในทุกๆ ชุดทดลองวัสดุต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการนำความร้อนที่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบจากวัสดุชนิดเดียวกันในชุดทดลองที่ต่างกัน พบว่าชุดทดลองที่มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดคือ ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสง ($p < 0.001$)

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับในชุดทดลองที่แตกต่าง พบว่า ชุดทดลองทาสีดำท่อเหล็กมีประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับได้ทั้งหมดเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิมากกว่า 45°C ต่อเนื่องสะสมเป็นระยะเวลามากกว่า 33 ชั่วโมง รองลงมาคือชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสงท่ออะลูมิเนียมทาสีดำที่มีประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับได้ทั้งหมด เมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิมากกว่า 45°C ต่อเนื่องสะสมเป็นระยะเวลามากกว่า 39 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิ $40-45^{\circ}\text{C}$ มีศักยภาพทำให้ไข่พยาธิใบไม้ตับอยู่ในสภาพที่ถูกทำลาย (Echaubard et al., 2017; Gantzer et al., 2001; Maya et al., 2012) จึงสามารถสรุปได้ว่าชุดทดลองในการศึกษาในครั้งนี้มีศักยภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับโดยเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการเลือกชุดทดลองเพื่อนำไปขยายผลในการศึกษาต่อไป ผู้วิจัยเสนอให้เลือกชุดทดลองทาสีดำท่อเหล็ก ซึ่งมีราคาถูก มีความคงทน และสามารถทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะหรือการนำไปใช้ประโยชน์

1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1.1 เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในเวลากลางวัน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ ควรเพิ่มแหล่งให้พลังงานในตอนกลางคืน เช่น ระบบการให้ความร้อนจากไฟฟ้า หรือ ระบบการให้ความร้อนจากแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์เพื่อลดระยะเวลาในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับ

1.2 จากทดลองพบว่าในวันที่มีอุณหภูมิสูงสิ่งปฏิกูลภายในชุดทดลองจะเกิดการขยายตัวทำให้เมื่อทำการตรวจวัดอุณหภูมิจะมีสิ่งปฏิกูลไหลออกจากชุดทดลอง ดังนั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรออกแบบชุดทดลองที่สามารถวัดอุณหภูมิได้โดยไม่ต้องเปิดปิดชุดทดลองซึ่งจะส่งผลให้ชุดทดลองเป็นสภาวะไร้อากาศแบบสมบูรณ์ และอาจทำให้ประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับในสิ่งปฏิกูลสูงขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 เนื่องจากความเข้มแสงในช่วงวันมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยใช้เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่องด้วย Data logger เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีขึ้น

2.2 ควรศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบลานทรายกรองด้วยระบบท่อเหล็กทาสีดำรวบรวมความร้อนจากแสงอาทิตย์

2.3 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุทดลองที่ต่างชนิดกันในช่วงฤดูร้อน (กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม) ที่มีแดดจัดเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพสูงสุดของชุดทดลอง

2.4 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุทดลองที่ต่างชนิดกันในการทำลายเชื้อโรค และพยาธิชนิดอื่นๆ ที่พบในสิ่งปฏิกูลและเป็นปัญหาสาธารณสุขที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยขอนแก่นผ่านโครงการแก้ไขปัญหาโรคพยาธิใบไม้ตับและมะเร็งท่อน้ำดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สภาวิจัยแห่งชาติผ่านโครงการวิจัยท้าทายไทย: ประเทศไทยไร้พยาธิใบไม้ตับ สถาบันวิจัยมะเร็งท่อน้ำดีและมูลนิธิมะเร็งท่อน้ำดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2542). **แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์**. ค้นเมื่อ ธันวาคม 2559, จาก http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=80%3A2010-05-03-10-23-13&catid=52&Itemid=68&lang=th
- กรมอนามัย. (2557). **รายงานสถานการณ์อนามัยสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย**. นนทบุรี: กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- ไฉไล ช่างดำ, & ไกรวัลย์ มัธฐา. (2558). ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อทรายกรองต่อการกำจัดไข่พยาธิ. **วารสารศูนย์อนามัยที่ 7 อุบลราชธานี**, 4(1), 26-35.
- จิตรรัตน์ บุญมาศ. (2559). ปลาร้า ปลาซ้่ม ปลอดภัย ปลอดพยาธิ ปราศจากมะเร็งท่อน้ำดี ได้อย่างไร? **วารสารโครงการ CASCAP โครงการแก้ไขปัญหาโรคพยาธิใบไม้ตับและมะเร็งท่อน้ำดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**, 2(6), 8-12.
- ประกอบ สุวัฒนารธรรม, & จีรภัทร หลิมบุญเรือง. (2554). **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการออกแบบ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา**. ค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก http://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-16/16%20-%2012.pdf
- รุ่งทวี ผดากาล, & สุรัชย์ รดาการ. (2552). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน. **วิศวกรรมสาร มก.**, 22(70), 96-109.
- วีระศักดิ์ สืบเสาะ. (2551). **การจัดการสิ่งปฏิกูลของเทศบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. (2554). **รายงานสถิติโรค**. ค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก http://social.nesdb.go.th/SocialStat/StatReport_Final.aspx?reportid=219&template=2R1C&yearlype=M&subcatid=15
- Echaubard, P., León, T., Suwanatrai, K., Chaiyos, J., Kim, C. S., Mallory, F. F., et al. (2017). Experimental and modelling investigations of *Opisthorchis viverrini* miracidia transmission over time and across temperatures: implications for control. **International Journal for Parasitology**, 47(5), 257-270.
- Gantzer, C., Gaspard, P., Galvez, L., Huyard, A., Dumouthier, N., & Schwartzbrod, J. (2001). Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. **Water Research**, 35(16), 3763-3770.
- Boray, J. C. (2007). Liver fluke disease in sheep and cattle. **Primefacts**, 446, 1-10.
- Morishita, K., Komiya, Y., & Matsubayashi, H. (1972). **Process of medical parasitology in Japan**. Tokyo: Megureo Paraitological Museum.

-
- Niwagaba, C. B. (2009). **Treatment technologies for human faeces and urine**. Retrieved October 25, 2017, from http://pub.epsilon.slu.se/2177/1/niwagaba_c_091123.pdf
- Shuval, H. I., Gunnerson, C. G., & Julins, D. S. (1981). **Night-soil composting: Propriate technology for water supply and sanitation volume 10**. Washington, DC: World Bank.
- World Health Organization [WHO]. (2002). **Sanitation**. Retrieved October 25, 2017, from http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/em2002chap8.pdf
- World Health Organization [WHO]. (2016). **Soil-transmitted helminth infection**. Retrieved October 25, 2017, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs366/en/>

ตารางที่ 1

[illegible]

ตารางที่ 2 อุณหภูมิและประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับของชุดทดลอง

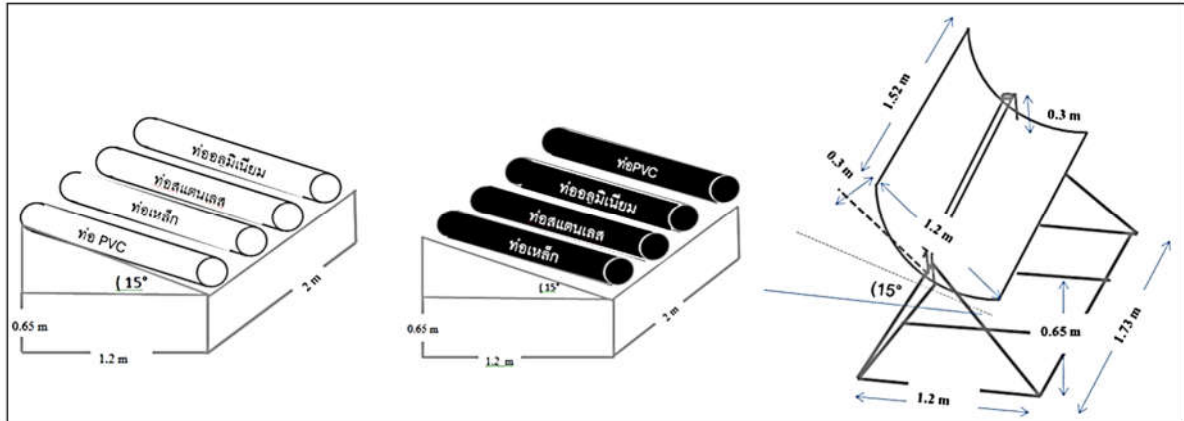
ที่	วันที่ตรวจ	ระยะเวลา แสง	ความ เข้ม แสง	อุณหภูมิหลอด ทดลอง	อุณหภูมิเฉลี่ย				อุณหภูมิสูงสุด				ระยะเวลาที่มีอุณหภูมิ มากกว่า 45 °C (hr)				ประสิทธิภาพการทำลายไข่ พยาธิใบไม้ตับ (ร้อยละ)			
					PVC	เหล็ก	อลูมิเนียม	อะลูมิเนียม	PVC	เหล็ก	อลูมิเนียม	อะลูมิเนียม	PVC	เหล็ก	อลูมิเนียม	อะลูมิเนียม	PVC	เหล็ก	อลูมิเนียม	อะลูมิเนียม
1	29 ธ.ค.60	50	5874	42	35	37	37	35	37	39	39	37	0	0	0	0				
					39	40	40	40	40	40	40	41	0	0	0	0				
					41	43	41	43	43	43	43	45	1	4	1	3				
2	30 ธ.ค.60	50	8391	43	39	45	42	38	41	47	44	40	0	5	2	0	0	0	0	0
					44	45	44	45	46	47	46	47	5	6	6	5	0	0	0	0
					49	47	47	52	51	49	49	54	8	11	8	10	0	0	0	0
3	31 ธ.ค.60	50	9120	36	39	44	39	38	40	45	40	39	0	11	2	0				
					41	43	43	44	42	44	44	46	5	9	6	11				
					48	48	48	50	55	53	55	56	12	17	14	16				
4	1 ม.ค.61	40	8689	42	35	38	37	36	37	39	38	38	0	11	2	0	0	17	11.1	14.3
					38	42	42	41	40	45	45	44	5	12	8	13	10	17	8.3	11.1
					39	40	39	39	41	43	42	41	12	17	14	16	0	11	16.7	16.7
5	2 ม.ค. 61	70	5381	42	35	39	37	34	37	41	38	35	0	11	2	0				
					39	40	40	40	40	42	40	41	5	12	8	13				
					41	43	41	43	43	45	43	45	13	21	15	19				
6	3 ม.ค. 61	40	5313	42	37	41	38	35	38	43	39	37	4	13	2	0	11.1	50	33.3	25
					40	41	40	42	40	42	40	41	5	12	8	15	25	60	58.3	87.5
					38	39	39	41	43	45	43	45	13	21	15	20	75	38	66.7	70
7	4 ม.ค. 61	30	5663	43	40	44	41	39	43	47	43	42	5	17	3	0				
					42	45	42	44	42	44	43	44	8	16	11	18				
					41	42	42	44	44	45	44	47	16	25	19	25				

ตารางที่ 2 อุณหภูมิและประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับของชุดทดลอง (ต่อ)

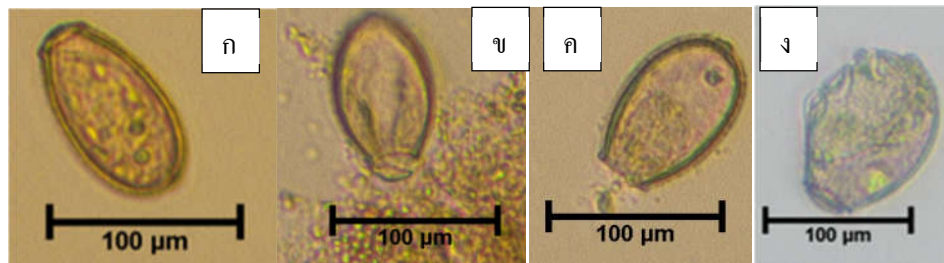
ที่	วันที่ตรวจ	ระยะเวลาสัมผัสกับแสง	ความเข้มแสง	อุณหภูมิในตู้	ลักษณะชุดทดลอง	อุณหภูมิเฉลี่ย				อุณหภูมิสูงสุด				ระยะเวลาที่อุณหภูมิมากกว่า 45 °C (hr)				ประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับ (ร้อยละ)			
						PVC	เหล็ก	สแตนเลส	อุณหภูมิเฉลี่ย	PVC	เหล็ก	สแตนเลส	อุณหภูมิเฉลี่ย	PVC	เหล็ก	สแตนเลส	อุณหภูมิเฉลี่ย	PVC	เหล็ก	สแตนเลส	อุณหภูมิเฉลี่ย
8	5 ม.ค.61	40	5747	31	44	38	45	40	38	44	47	44	42	5	23	3	0	25	80	42.9	77.8
						41	42	43	45	44	50	47	49	9	21	16	22	90	100	100	100
						45	49	46	48	52	51	51	55	20	30	24	30	88.9	100	85.7	80
9	6 ม.ค.61	40	5670	30	44	39	40	39	39	40	47	42	40	5	23	3	1				
						41	43	42	43	44	46	47	47	11	24	18	25				
						42	42	43	43	54	63	55	55	23	33	28	34				
10	7 ม.ค.61	90	6677	30	44	35	38	37	35	38	43	44	42	5	23	3	1	33.3	67	60	91.7
						37	38	38	40	42	43	42	44	11	24	18	26	87.5	91	91.7	80
						37	39	38	40	41	44	45	47	23	34	29	35	83.3	92	100	100
11	8 ม.ค.61	30	7503	30	45	38	44	40	39	41	46	42	42	6	28	3	2				
						41	44	43	45	43	46	45	48	14	30	20	31				
						44	46	44	46	48	51	50	50	28	39	34	39				
12	9 ม.ค.61	5	7769	30	47	41	43	41	41	45	46	44	45	7	30	4	4	30	67	66.7	80
						41	43	43	43	45	46	46	46	15	33	23	35	83.3	91	75	81.8
						42	44	43	44	51	54	51	52	31	42	37	43	76.9	92	90	77.8
13	10 ม.ค.61	90	8391	31	47	28	29	29	28	32	33	33	32	7	30	4	4				
						28	31	30	31	33	37	36	37	15	33	23	35				
						32	33	32	33	39	40	38	41	31	42	37	43				
14	11 ม.ค.61	60	8539	31	47	28	31	29	26	30	33	32	29	7	30	4	4	45.5	90	80	88.9
						31	32	30	31	34	34	33	33	15	33	23	35	87.5	100	100	100
						30	31	30	32	35	36	35	37	31	42	37	43	75	100	100	91.7

ตารางที่ 2 อุณหภูมิและประสิทธิภาพการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับของชุดทดลอง

ที่	วันที่ตรวจ	จำนวนปลา	ความเข้มแสง	แผ่นอะครีลิกใส	แผ่นอะครีลิกดำ	ลักษณะชุดทดลอง	อุณหภูมิเฉลี่ย				อุณหภูมิสูงสุด				ระยะเวลาที่มีอุณหภูมิมากกว่า 45 °C (hr)				ประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิใบไม้ตับ (ร้อยละ)			
							PVC	พลาสติก	ตะกั่ว	อุณหภูมิเฉลี่ย	PVC	พลาสติก	ตะกั่ว	อุณหภูมิสูงสุด	PVC	พลาสติก	ตะกั่ว	อุณหภูมิสูงสุด	PVC	พลาสติก	ตะกั่ว	อุณหภูมิเฉลี่ย
15	12 ม.ค.61	70	8660	31	48	ชุดทดลองตันแบบ	31	35	31	31	33	36	34	34	7	30	4	4				
							34	37	34	36	37	39	36	37	15	33	23	35				
							32	34	35	36	39	41	41	42	31	42	37	43				
16	13 ม.ค.61	70	8787	31	48	ชุดทดลองตันแบบ	32	37	33	31	35	40	37	34	7	30	4	4	50	100	100	80
							36	38	35	37	38	40	39	40	15	33	23	35	100	100	100	100
							34	36	36	38	42	43	44	46	31	43	39	44	83.3	100	92.3	100
17	14 ม.ค.61	50	8886	31	47	ชุดทดลองตันแบบ	32	37	33	31	35	43	37	34	7	30	4	4				
							38	37	37	38	39	40	39	41	15	33	23	35				
							37	39	39	41	41	43	44	43	31	43	39	44				
18	15 ม.ค.61	50	8689	32	47	ชุดทดลองตันแบบ	30	34	33	31	36	40	40	40	7	30	4	4	66.7	90	100	87.5
							34	35	36	35	42	40	43	41	15	33	23	35	83.3	100	100	100
							35	35	36	36	42	40	42	40	31	43	39	44	100	100	100	100
19	16 ม.ค.61	40	9383	31	45	ชุดทดลองตันแบบ	35	37	37	36	41	45	45	42	7	32	5	4				
							38	39	39	40	45	44	45	44	17	35	24	36				
							42	40	42	43	52	45	52	54	33	45	41	47				
20	17 ม.ค.61	40	9189	31	47	ชุดทดลองตันแบบ	35	39	34	34	38	41	36	36	7	32	5	4	83.3	100	100	88.9
							39	41	40	41	40	42	41	42	17	35	24	36	87.5	100	100	100
							35	36	35	37	40	37	38	40	33	45	41	47	90.9	100	100	100



ภาพที่ 1 ภาพชุดทดลอง (ก) ชุดทดลองต้นแบบ (ข) ชุดทดลองทาสีดำ (ค) ชุดทดลองพาราโบลิกรวมแสง (ดัดแปลงจาก ประกอบ สุวัฒน์วรรณ & อธิภัทร หลิมบุญเรือง, 2554)



(ก) ไข่พยาธิใบไม้ตับที่ยังมีชีวิตอยู่ (ข) และ (ค) ไข่พยาธิใบไม้ตับที่มีการเปิดของฝาไข่ (hatching eggs)
(ง) ไข่พยาธิใบไม้ตับที่มีการเสียรูปของเปลือกไข่และยังพบไมราซีเดียอยู่ภายในไข่ (eggshell deformation)

ภาพที่ 2 ภาพไข่พยาธิใบไม้ตับ