

วิจารณ์ผล

1. ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารที่ใช้ทดลองต่อกิ้งกูดำ

ในการศึกษาครั้งนี้สารทดลองที่ใช้ ได้แก่ น้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) และสารมาตรฐานที่ใช้คือ Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการเปรียบเทียบการทดลองเรื่องความเป็นพิษของน้ำมันและสารเคมีจัดการน้ำมันในแต่ละแหล่งว่าอยู่ในสถานะเงื่อนไขเดียวกันหรือไม่ จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ต่อกิ้งกูดำระยะ P10 มีค่าเท่ากับ 148.967, 34.637 7.560 และ 5.982 ppm ตามลำดับ สำหรับกิ้งกูดำระยะ P30 มีค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 206.724, 40.708 14.142 และ 11.448 ppm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ (ดังแสดงในตารางที่ 6) ปรากฏว่า ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่า LC_{50} สูงกว่า การศึกษาของ สมควร (2545) ที่ศึกษาผลน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) ต่อกิ้งกูดำอายุประมาณ 1 เดือน ทดลองที่ระดับความเค็ม 15 ppt มีค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 47.80 และ 40.31 ppm ตามลำดับ เนื่องมาจากระดับความเค็มของน้ำอุณหภูมิในการทดลองแตกต่างกัน น้ำมันและสัตว์ที่ใช้ทดลองมาจากแหล่งที่ต่างกัน ส่งผลให้ผลการศึกษาที่ได้มีความแตกต่างกันตามไปด้วย

จากผลการศึกษาที่ได้ แสดงให้เห็นว่าความเป็นพิษของน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีความเป็นพิษมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) ตามลำดับ และน้ำมันทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเป็นพิษน้อยกว่าสารมาตรฐานที่ใช้คือ SDS โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำมันมากขึ้น อัตราการตายสะสมของกิ้งกูดำระยะ P10 และ P30 ก็จะมีมากขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกันในทุกชุดการทดลอง และกิ้งกูดำระยะ P10 มีความทนทานต่อความเป็นพิษของสารที่ใช้ทดลองต่ำกว่ากิ้งกูดำระยะ P30 สอดคล้องกับการศึกษาของ สมควร (2545) กล่าวคือ ในสถานะการทดลองเดียวกัน ความเป็นพิษต่อกิ้งกูดำของน้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) สูงกว่าความเป็นพิษของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกัน โดยน้ำมันดีเซล ประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอนที่มีแขนตรง (N - Paraffin Hydrocarbons) ไอโซพาราฟิน และพาราฟินแบบกิ่ง (Isoparaffin and Branched Paraffin) ไโซโคลพาราฟิน หรือแนฟทีน (Cycloparaffins or Napthalene) และอะโรมาติก 2 วงแหวน พวกแนฟทาลิน (Napthalene) ส่วนในน้ำมันเตามีไฮโดรคาร์บอนที่

สำคัญ ได้แก่ อะโรมาติกที่มีหลายๆ วงแหวนติดกัน (Polynuclear Aromatic) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของ Asphathene ในกากน้ำมัน สารประกอบกำมะถัน เช่น Mercaptans, Thiophenes และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะพวกวานาเดียม และนิกเกิลปนอยู่ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลซับซ้อนประกอบด้วยวงแหวนแนฟทีน หรือวงแหวนอะโรมาติก และในน้ำมันหล่อลื่นมีโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นโซ่ยาวต่ออยู่กับสารที่เป็นระบบวงแหวนหรือส่วนกิ่งสั้น สารประกอบส่วนใหญ่เป็นพาราฟิน แนฟทีนที่ประกอบด้วยวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่พาราฟิน สำหรับสารประกอบแบบอะโรมาติกที่มีในน้ำมันหล่อลื่นนั้นปกติจะมีวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่ยาวของพาราฟิน (ปราโมทย์, 2537) ซึ่งแนวโน้มความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนั้นสูงขึ้น ดังนั้น อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เช่น เบนซีนและโทลูอีน จะมีความเป็นพิษสูงสุดและละลายน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ไซโคลอัลเคน (Cycloalkane) โอลิฟิน (Olefins) และอัลเคน (Alkane) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ ตามลำดับ (Neff *et al.*, 1976; Kornberg, 1981) (ดังแสดงในตารางผนวกที่ จ1)

ในการเตรียมสารทดลองนั้น เตรียมโดยนำน้ำมันและน้ำทะเลมาผสมกัน กวนด้วยเครื่อง Homogenizer ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Anderson *et al.* (1974) เพื่อดูส่วนที่ละลายน้ำของน้ำมันที่อยู่ด้านล่างมาใช้ทดลอง จากการสังเกตของผู้ศึกษา พบว่า น้ำมันดีเซล เมื่อนำมากวนแล้วจะผสมกับน้ำทะเลได้เป็นอย่างดี สามารถแยกชั้นระหว่างน้ำมันและน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำได้อย่างชัดเจน สำหรับน้ำมันเตาเมื่อนำมากวนแล้วจะมีความหนืดมากขึ้น น้ำมันจับตัวเป็นก้อน ติดกับภาชนะได้ง่าย ส่วนน้ำมันหล่อลื่น ก่อนนำมาผสมกับน้ำทะเลจะมีสีเหลืองใส แต่หลังจากมีการกวนแล้ว มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเป็นชั้นหนา มีสีขาวขุ่น และมีน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำได้น้อย ซึ่งเมื่อนำมาหาปริมาณความเข้มข้นของน้ำมัน วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรเมตรี พบว่า น้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันน้อยที่สุด

คุณภาพน้ำในการทดลอง ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนและหลังการทดลอง ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 ppt ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่มีผลต่อการตายของกุ้งกุลาดำ อุณหภูมิที่ใช้ทดลองเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (ดังตารางผนวกที่ จ1-จ4) เนื่องจากคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ คือ ความเค็มอยู่ในช่วง 28 - 32 ppt อุณหภูมิ 28 - 32 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำอยู่ในช่วง 7.8 - 8.3 แอมโมเนีย ไม่

เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และในไตรท์ ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (สถานีวิจัยประมงศรีราชา คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546) สำหรับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงทุกระดับความเข้มข้นของสารทดลอง รวมทั้งชุดควบคุม แต่อยู่ในช่วงที่ไม่มีผลต่อการตายของกุ้งกุลาดำเช่นกัน เพราะปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำตลอดการทดลองมีค่าไม่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (บรรจง, 2530) สอดคล้องกับการทดลองของ Steven and Puglist (1980) พบว่า หลังจากเติมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำลงไปในการทดลอง มีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง และค่าอินทรีย์สารในน้ำเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้น เนื่องจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การแตกตัวของอินทรีย์สารในน้ำเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากปริมาณของสิ่งขับถ่ายที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทดลอง ซึ่งกุ้งกุลาดำในชุดควบคุมไม่มีการตายเกิดขึ้น ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติของน้ำในการทดลองศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันในครั้งนี้ไม่มีผลต่อการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงที่กุ้งกุลาดำที่ใช้เป็นสัตว์ทดลองสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

ในการทดลองความเป็นพิษของน้ำมันต่อกุ้งกุลาดำครั้งนี้ มีการแบ่งกันแยกกุ้งไว้ห้องละ 1 ตัว สำหรับกุ้งกุลาดำระยะ P30 เพื่อป้องกันการกินกันเองขณะลอกคราบ เมื่อกุ้งกุลาดำระยะ P10 และ P30 สัมผัสกับสารที่ใช้ทดลองจะมีความไวต่อการตอบสนอง โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงๆ จากการสังเกตของผู้ศึกษาพบว่า กุ้งจะว่ายวนเวียนไปมาอย่างรวดเร็วรอบๆ ภาชนะทดลอง ต่อมาจะว่ายขึ้นและติดตัวขึ้นมามากจากภาชนะหรือติดด้านข้างภาชนะ จึงต้องมีแผ่นกั้นด้านบนของภาชนะทดลอง เพื่อป้องกันความผิดพลาดของผลการศึกษาที่ได้ หลังจากนั้นกุ้งจะเริ่มเลียการทรงตัว มีการว่ายน้ำผิดปกติ ค่อยๆ ซ้ำลง ไม่มีการเคลื่อนไหว หุคนิ่งและตายในที่สุด

2. ระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย (Safety level)

ค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ ต่อกุ้งกุลาดำ คำนวณตามวิธีการของ Sprague (1971) จากสูตร ค่าของระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย = $0.1 \times LC_{50}$ ที่ 48 ชั่วโมง สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดลองหาค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แต่ในการหาระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยจะใช้ค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง เนื่องจากมีการกำหนดว่า เมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมันหรือสารเคมีจัดคราบน้ำมันลงสู่ทะเลต้องมีการควบคุมให้ได้ภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

3. ความเป็นพิษเรื้อรังของสารที่ใช้ทดลองต่อกิ้งกูดำ

ในการศึกษาความเป็นพิษเรื้อรังในครั้งนี้ของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ต่อกิ้งกูดำระยะ P10 และ P30 ใช้ระดับความเข้มข้น 1/4, 1/3 และ 1/2 ของ LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งค่าระดับความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองก็ยังมีค่ามากกว่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย (Safety level) ที่คำนวณตามวิธีการของ Sprague (1971) ดำเนินการทดลองการตอบสนองทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการลอกคราบ อัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการดูดซึม อัตราการหายใจ อัตราการขับถ่าย และอัตราการเจริญเติบโตของกิ้งกูดำระยะ P10 และ P30 เมื่อสัมผัสกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด

อัตราการลอกคราบ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อกิ้งกูดำสัมผัสกับน้ำมันที่ใช้ทดลองตามระดับความเข้มข้นต่างๆ มีผลทำให้ระยะเวลาการลอกคราบนานออกไปเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยกิ้งกูดำที่มีขนาดเล็ก และมีอายุน้อยกว่าจะมีระยะเวลาของวงจรการลอกคราบสั้นกว่ากิ้งกูดำที่มีขนาดใหญ่และอายุมากกว่า สอดคล้องกับ Skinner (1986) ที่กล่าวว่า สัตว์จำพวกครัสเตเชียนหลายชนิด มีระยะเวลาของวงจรการลอกคราบสั้นเมื่ออายุน้อย และระยะเวลาของวงจรการลอกคราบนี้นี้จะยาวขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น

ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ จิราภรณ์ (2533) พบว่า ช่วงระยะเวลาในวงจรการลอกคราบของกิ้งกูดำเพิ่มขึ้นตามขนาดของกิ้ง โดยกิ้งกูดำในระยะ P20 – P25 ซึ่งมีขนาด 0.5 นิ้ว มีระยะเวลาในวงจรการลอกคราบเฉลี่ย 2.6 วัน ระยะกิ้งมีขนาดความยาว 1.5 – 1.7 นิ้ว ระยะวงจรการลอกคราบเฉลี่ย 5.2 วัน กิ้งขนาดความยาว 3 – 4 นิ้ว ระยะเวลาของวงจรการลอกคราบเฉลี่ย 14.8 วัน กิ้งขนาดความยาว 4.4 – 4.8 นิ้ว ระยะเวลาของวงจรการลอกคราบเฉลี่ย 20.4 วัน และกิ้งขนาดความยาว 5.15 – 5.80 นิ้ว ระยะของวงจรการลอกคราบเฉลี่ย 26 วัน

และมีความสอดคล้องกับ Percy (1978) ศึกษาผลกระทบของน้ำมันดิบต่อการลอกคราบในระยะ Juvenile ของ Isopod crustaceans (*Mesidotea entomon*) พบว่า น้ำมันดิบมีผลทำให้ระยะเวลาการลอกคราบนานออกไปเมื่อเทียบกับภาวะปกติ และความเข้มข้นที่ต่ำกว่าความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism)

อัตราการกินอาหาร และประสิทธิภาพการดูดซึม

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของน้ำมันมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับอัตราการกินอาหาร และประสิทธิภาพการดูดซึม โดยเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการกินอาหาร และประสิทธิภาพการดูดซึมลดลง และกึ่งกลางค่าระยะ P10 มีอัตราการกินอาหาร และประสิทธิภาพการดูดซึมต่ำกว่ากึ่งกลางค่าระยะ P30 สอดคล้องกับ Stickle *et al.* (1987) ที่พบว่า ผลของน้ำมันดิบ Cook Inlet ต่อกุ้ง *Pandalus borealis* มีผลให้อัตราการกินอาหารของกุ้งลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันดิบ Cook Inlet ในส่วนที่ละลายน้ำสูงขึ้น เช่นเดียวกับในกุ้ง Grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) (Wang and Stickle, 1987)

ผลของน้ำมันเตาในส่วนที่ละลายน้ำต่อ Plank tonic shrimp (*Lucifer faxoni*) Lee *et al.* (1978) รายงานว่า ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง อัตราการหายใจลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ WSF เป็นร้อยละ 30 และเมื่อได้รับสารพิษจะเกิดความเครียดเป็นพิษมาก มีผลต่ออัตราการกินอาหารอย่างฉับพลัน แต่เมื่อได้รับพิษน้อยลงจะทำให้อัตราการกินอาหารช้าลง และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ และในระยะเวลา 4 วัน ศึกษาเอนไซม์จากกล้ามเนื้อ ตับ สมอง และเหงือก ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอนไซม์

อัตราการหายใจ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการหายใจของกุ้งกุลาดำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับ วรวรรณ (2542) เมื่อทดสอบกับน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ อัตราการหายใจของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อความเข้มข้นของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการหายใจลดลง และ Anderson *et al.* (1974) พบว่า น้ำมันดิบ South Louisiana และน้ำมันเตาเกรด B ในส่วนที่ละลายน้ำ ทำให้อัตราการบริโภคออกซิเจนของกุ้ง *Penaeus aztecus* ระยะ Post larva ลดลงโดยเฉพาะที่ความเข้มข้นต่ำๆ ส่วนความเข้มข้นของน้ำมันระดับปานกลาง กุ้งโดยทั่วไปจะมีอัตราการหายใจใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของน้ำมันร้อยละ 30 - 70 มีผลต่ออัตราการหายใจของกุ้งขนาดใหญ่ และสูงกว่ากลุ่มควบคุม

Tatem (1977) พบว่า ความเข้มข้นไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันเตาเกรด 2 มีค่าเท่ากับ 3.0 ppm มีผลทำให้กุ้ง *Palaemonetes pugio* มีอัตราการหายใจลดลงจากระดับปกติที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง และ

48 ชั่วโมง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน อัตราการหายใจจะปรับตัวเข้าสู่ระดับปกติ Edwards (1978) รายงานว่า น้ำมันในส่วนที่ละลายน้ำอาจจะไปจับที่เหงือกของกุ้ง และเพิ่มการรบกวนระบบการแลกเปลี่ยนออกซิเจน นอกจากนี้อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรูปที่ละลายน้ำ และในรูปที่มีพิษมาก มีอิทธิพลต่อระบบหายใจ โดยทำให้เกิดระบบเซลล์เม็ดเลือดและลดแรงดึงดูดของเซลล์ที่ออกซิเจนผ่านจนถึงเนื้อเยื่อ

อัตราการจับถ่าย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการจับถ่ายของกุ้งกุลาดำระยะ P10 และระยะ P30 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆของทุกชุดการทดลอง มีอัตราการจับถ่ายสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีน้ำมันผสมอยู่ แต่อัตราการจับถ่ายจะไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ วรวรรณ (2542) กล่าวว่า เมื่อทดสอบกับน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ อัตราการจับถ่ายของกุ้งกุลาดำวัยรุ่น ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของน้ำมัน แต่เมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น อัตราการจับถ่ายจะเพิ่มขึ้น และค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกัน

อัตราการเจริญเติบโต

เมื่อเกิดการปนเปื้อนน้ำมันลงสู่สิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตจำนวนมากจะได้รับผลกระทบเกิดภาวะความเครียด (Stress) การตอบสนองทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตมีความผิดปกติ ตัวแปรที่นำมาศึกษาอัตราการเจริญเติบโตใช้ Scope for Growth (SFG) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงความสมดุลของพลังงานระหว่างการนำพลังงานเข้าสู่ร่างกาย (อัตราการกินอาหารและประสิทธิภาพการดูดซึม) และการใช้พลังงาน (อัตราการหายใจและการขับถ่าย) เป็นการนำมาประเมินค่าคุณภาพของสิ่งแวดล้อม และทดสอบความเป็นพิษเมื่อมีการปนเปื้อนสารพิษลงสู่สิ่งแวดล้อม

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำระยะ P10 และ P30 ลดลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น และต่ำกว่าชุดควบคุม การหาอัตราการเจริญเติบโตในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ วรวรรณ (2542) กล่าวว่าในสภาวะที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันดิบคูไบต่อกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) มีค่า LC_{50} เท่ากับ 81.548 ppm อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำเมื่อสัมผัสกับน้ำมันมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดที่ความเค็ม 14 ppt มีค่าเท่ากับ 0.157 J/hr และอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อระยะเวลาที่สัมผัสกับ

น้ำมันนํานขึ้น ค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจและการขับถ่ายของกุ้งมากกว่าค่าพลังงานที่ได้มาจากอาหาร แสดงให้เห็นว่ากุ้งมีการนำพลังงานมาใช้ในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกายมากกว่าในการเจริญเติบโต

Edwards (1978) รายงานว่า ความเป็นพิษของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำต่อกุ้ง *Crangon crangon* ทำให้การหายใจ และอัตราการเจริญเติบโตลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น แต่อัตราการตายเพิ่มขึ้นและมีจำนวนกุ้งตายมากที่สุดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส

วรวรรณ (2542) กล่าวว่า ข้อดีของการใช้ Scope for Growth (SFG) มาใช้ในการตรวจสอบสิ่งมีชีวิตทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่

1. SFG มีความไวต่อการกระตุ้นและปริมาณความเครียดของสิ่งมีชีวิตที่ตอบสนองต่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อม
2. SFG เป็นดัชนีชี้วัดของการแบ่งเซลล์ และขบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตที่จะตอบสนองโดยทันที
3. SFG มีประสิทธิภาพทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม

ปัจจัยที่ทำให้ผลการศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันมีความแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเตรียมสารทดลอง สารทดลองที่นำมาศึกษาเป็นน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำ จึงมีวิธีการเตรียมสารทดลองที่แตกต่างกัน เช่น ใช้เครื่อง Homogenizer หรือใช้เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer) หรือใช้เครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง มนัส (2522) ศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันเบนซินต่อกุ้งแชบ๊วยขาว (*Penaeus merguensis*) เตรียมน้ำมันที่ใช้ทดลองโดยนำน้ำมันใส่ลงในน้ำทะเลแล้วกวนด้วยเครื่องกวนอย่างช้าๆ เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งไว้ 20 นาที จึงนำมาใช้เป็นสารตั้งต้น ซึ่งมีความแตกต่างกับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากครั้งนี้ใช้เฉพาะน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำที่อยู่ด้านล่างนั้น และระยะเวลาที่ใช้มีความแตกต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันที่ใช้เป็นความเข้มข้นตั้งต้นที่นำมาทดลองมีความแตกต่างกันไปด้วย

2. การหาปริมาณความเข้มข้นของน้ำมัน การศึกษาครั้งนี้หาปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตรี (Fluorescence spectrometry) ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนต่ำ นอกจากนี้ยังมีวิธีการวิเคราะห์อื่นที่แตกต่างกันออกไป เช่น วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอุลตราไวโอเลตแอมซอพซันสเปกโตรเมตรี (UV Absorption spectrometry) เป็นเทคนิคที่ใช้หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน โดยการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสง UV (ที่ความยาวคลื่น 256 นาโนเมตร) เทคนิคนี้เหมาะใช้กับตัวอย่างที่มีสารไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดแอมซอพซันสเปกโตรโฟโตเมตรี (IR Absorption spectrophotometry) เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงช่วงอินฟราเรดของสารตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน เทคนิคนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนต่ำๆ (จุมพล, 2548)

3. วิธีการศึกษาทดลอง การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องทดลองแบบชีววิเคราะห์ระบบน้ำนิ่ง (Static bioassay) ไม่ได้ใช้การทดลองแบบมีการให้อากาศ หรือแบบระบบหมุนเวียน

4. ชนิดและขนาดสัตว์ที่ใช้ทดลอง เพราะสัตว์ที่ต่างชนิดกัน มีขนาดแตกต่างกัน ย่อมที่จะมีความทนทานต่อสารพิษได้แตกต่างกัน

5. คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลอง เช่น อุณหภูมิ ความเค็มของน้ำ วรวรรณ (2542) พบว่า ค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ของน้ำมันดิบดูไบที่มีต่อกุ้งกุลาดำที่ความเค็ม 14, 21, 28 และ 35 ppt เท่ากับ 81.548, 13.555, 40.651 และ 80.054 ไมโครกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า ความเป็นพิษของน้ำมันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเค็มของน้ำที่ใช้ทดลอง

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

จากการศึกษาผลของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของกิ้งกูดดำ (*Penaeus monodon*) ระยะ Post larva 10 (P10) และ Post larva 30 (P30) สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ต่อกิ้งกูดดำระยะ P10 มีค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 148.967, 34.637 และ 7.560 ppm ตามลำดับ
2. ความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ต่อกิ้งกูดดำระยะ P30 มีค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 206.724, 40.708 และ 14.142 ppm ตามลำดับ
3. ค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย (Safety level) ของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ต่อกิ้งกูดดำระยะ P10 มีค่า เท่ากับ 21.537, 7.479 และ 1.508 ppm ตามลำดับ
4. ค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย (Safety level) ของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ต่อกิ้งกูดดำระยะ P30 มีค่า เท่ากับ 27.360, 9.658 และ 2.243 ppm ตามลำดับ
5. ระดับความเข้มข้นของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีผลทำให้ระยะเวลาการลอกคราบนานออกไปกว่าปกติ โดยกิ้งกูดดำระยะ P10 มีระยะเวลาของวงจรการลอกคราบสั้นกว่ากิ้งกูดดำระยะ P30

6. ระดับความเข้มข้นของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีผลทำให้อัตราการกินอาหารและประสิทธิภาพการดูดซึมของกึ่งกลาดำระยะ P10 และ P30 ลดลง

7. อัตราการหายใจของกึ่งกลาดำระยะ P10 และ P30 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีค่าใกล้เคียงกัน

8. ความเข้มข้นของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีผลทำให้อัตราการขับถ่ายของกึ่งกลาดำระยะ P10 และ P30 สูงกว่าปกติ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของน้ำมันที่เพิ่มขึ้น

9. ความเข้มข้นของน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต (Scope for Growth: SFG) ของกึ่งกลาดำระยะ P10 และ P30 ซึ่งทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าปกติ

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาความเป็นพิษของน้ำมัน ควรศึกษาเพิ่มเติมกับสิ่งมีชีวิตหลายๆ ชนิด ที่เป็นตัวแทนของผู้ผลิต (Producer) และผู้บริโภค (Consumer) ระดับต่างๆ ตามลำดับขั้นของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศวิทยา ในสภาวะแวดล้อมแตกต่างกันไป เพื่อศึกษาความทนทานของสัตว์แต่ละชนิด การสะสมและการถ่ายทอดสารพิษไปยังห่วงโซ่อาหาร เมื่อมีการรั่วไหลหรือปนเปื้อนของน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ

2. ควรมีการสนับสนุนให้มีการศึกษาในเรื่องผลกระทบของน้ำมันเมื่อเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ และรวบรวมข้อมูลไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของแหล่งน้ำสำหรับประเทศไทย เพื่อเป็นประโยชน์ในการควบคุม และป้องกันมลภาวะทางน้ำอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมัน