

บทที่ 5

สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาปริมาณโลหะหนักสังกะสีและทองแดงที่สะสมในสาหร่ายทะเลบางชนิดในบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักสังกะสีและทองแดงที่สะสมในสาหร่ายทะเลบางชนิดในแต่ละเดือน

สมมติฐานของการวิจัย

1. สาหร่ายทะเลต่างชนิดกันมีการสะสมโลหะหนักสังกะสีและทองแดงแตกต่างกัน
2. ปริมาณโลหะหนักสังกะสีและทองแดงที่สะสมในสาหร่ายทะเลบางชนิดในแต่ละเดือนแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สำรวจและกำหนดสถานที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลเพื่อนำมาวิจัย โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเล 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชลบุรี 5 สถานี (สถานีที่ 1-5) และจังหวัดระยอง 5 สถานี (สถานีที่ 6-10)

- | | |
|-------------|--------------|
| สถานีที่ 1 | อ่างศิลา |
| สถานีที่ 2 | แหลมแท่น |
| สถานีที่ 3 | หาดผาแดง |
| สถานีที่ 4 | บางเสร่ |
| สถานีที่ 5 | หาดแสมสาร |
| สถานีที่ 6 | หาดพุน |
| สถานีที่ 7 | มาบตาพุด |
| สถานีที่ 8 | หาดแหลมเจริญ |
| สถานีที่ 9 | หาดแม่รำพึง |
| สถานีที่ 10 | หาดบ้านเพ |

2. เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเล ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2543 โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายเดือนละ 1 ครั้ง การเก็บตัวอย่างสาหร่ายเก็บในช่วงน้ำลง อาศัยมาตรฐานของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ เพื่อสะดวกในการลงเก็บ ตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บมาวิเคราะห์นั้น เก็บเฉพาะที่ติดกับโขดหินหรือสิ่งยึดเกาะอื่น ๆ

3. ตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บมา แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 แช่เย็นไว้ เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองได้ทันที ส่วนที่สองนำมาคองด้วยน้ำยาคองสาหร่าย (ภาคผนวก ก) ส่วนที่สามให้นำตัวอย่างสาหร่ายที่เหลือมาอัดแห้ง ในแผงอัดแห้งเพื่อใช้เป็นหลักฐานอ้างอิง

4. เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลในแต่ละสถานี 3 จุด โดยไม่ซ้ำกัน ขณะน้ำลง

5. การวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักสังกะสี และทองแดง ด้วยเครื่อง AAS model Analyst 100 โดยใช้วิธีการของ อดอง รุทอง (2522) ซึ่งได้ดัดแปลงวิธีของ ฟอสเตอร์ (Foster, 1976) ไบรอัน และฮัมเมอร์สโตน (Bryan & Hummerstone, 1973) มีขั้นตอนดังนี้

5.1 นำสาหร่ายที่แช่เย็นไว้ล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด

5.2 นำสาหร่ายไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบทำความเย็น (freeze dry)

5.3 นำตัวอย่างสาหร่ายที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดเป็นผง เก็บไว้ในถุงพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นอีกครั้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนัก

5.4 ชั่งตัวอย่างสาหร่ายที่บดละเอียดแล้วมา 0.5000 ± 0.0005 g ใส่ porcelain crucible ที่มีความจุ 50.0 ml บ่อยสลายโดยใช้ HNO_3 10% จำนวน 5.0 ml โดยใช้ hot plate ช่วยในการย่อยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกรดแห้ง แล้วนำไปใส่ muffle furnace ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จนได้เป็นเถ้าสีขาว (ไม่มีสีดำของคาร์บอนเหลืออยู่) แล้วนำออกจาก muffle furnace เติมน้ำ HCl 10% จำนวน 5.0 ml ทิ้งไว้ใน porcelain crucible นาน 72 ชั่วโมง เพื่อให้โลหะแยกออกจากตัวอย่างแล้วนำมาทำเป็นสารละลายโดยใช้น้ำกลั่น dionized ให้ได้สารละลาย จำนวน 50.0 ml แล้วนำสารละลายมาเก็บไว้ในขวดพลาสติกชนิด High Density Polyethylene : HDPE เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณโลหะต่าง ๆ ด้วยเครื่อง AAS

6. การวิเคราะห์โลหะหนัก

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักสังกะสีและทองแดงที่มีความเข้มข้น 1000 mg/L จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักในช่วงที่จะวัดตัวอย่าง โดยเตรียมดังนี้ เช่น ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 100 ml จากสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 1000 ppm ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{สูตรคำนวณ} \quad N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad (1000 \text{ mg/L}) V_1 &= (100 \text{ mg/L}) (100 \text{ mg/L}) \\ V_1 &= \frac{(100 \text{ mg/L}) (100 \text{ ml})}{(1000 \text{ mg/L})} \\ V_1 &= 10 \text{ ml} \end{aligned}$$

การเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 100 mg/L จากสารละลายมาตรฐาน 1000 mg/L ต้องปิเปตสารละลายมาตรฐาน 1000 mg/L จำนวน 10 ml ใส่ใน volumetric flask ปริมาตร 100 ml จากนั้นปรับปริมาตรให้ 100 ml ด้วย น้ำกลั่นบริสุทธิ์ สำหรับสารละลายมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ สามารถเตรียมได้ตามตัวอย่างข้างต้น

การสร้างกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{สังกะสี} = 0.10 \ 0.30 \ 0.50 \ 1.00 \ 3.00 \ \text{mg/L}$$

$$\text{ทองแดง} = 0.00 \ 1.00 \ 3.00 \ 5.00 \ 10.00 \ \text{mg/L}$$

จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer สำหรับทำกราฟมาตรฐาน เพื่อใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด หน่วยที่ใช้เป็นไมโครกรัมต่อกรัม ดังแสดงในภาคผนวก ข

7. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 ค่าเฉลี่ย (mean) ตามวิธีของ ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2522)

7.2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ตามวิธีของ ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2522)

7.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way analysis of variance)

7.4 ถ้ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้ q-statistic ตามวิธีของนิวแมน คูลส์ เทสต์ (Newman Keul Test) (Winer, 1971, pp. 210-218)

สรุปผล

จากการศึกษาการสะสมโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในสาหร่ายทะเลบางชนิด ได้แก่ สาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria*, *Enteromorpha*, *Sargasssum* และ *Padina* บริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง รวม 10 สถานี ได้แก่ อ่างศิลา แหลมแท่น หาดผาแดง บางเสร่ หาดแสมสาร หาดพูน บาปตาพูด หาดแหลมเจริญ หาดแม่รำพึง และหาดบ้านเพ โดยใช้เครื่อง

AAS model analyst 100 ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2543 สามารถสรุปและอภิปรายผลได้ดังนี้

1. การสะสมโลหะหนักสังกะสี และทองแดงในสาหร่ายทะเลบางชนิด

1.1 การสะสมโลหะหนักสังกะสีในสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* สรุปได้ว่าบริเวณอ่างศิลา และแหลมแท่น พบสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* โดยมีปริมาณการสะสมโลหะหนักสังกะสีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.30 ± 2.52 $\mu\text{g/g}$ และ 53.22 ± 5.38 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ

1.2 การสะสมโลหะหนักทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* สรุปได้ว่าบริเวณอ่างศิลา และ แหลมแท่น พบสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* โดยมีปริมาณการสะสมโลหะหนักทองแดงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.49 ± 3.31 $\mu\text{g/g}$ และ 11.25 ± 4.15 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ

1.3 การสะสมโลหะหนักสังกะสีในสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* สรุปได้ว่า บริเวณหาดผาแดง บางเสร่ และหาดพูน พบสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* มีปริมาณการสะสมโลหะหนักสังกะสี โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 165.78 ± 3.14 $\mu\text{g/g}$ 32.84 ± 6.00 $\mu\text{g/g}$ และ 46.93 ± 2.40 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ โดยที่บริเวณหาดผาแดงมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และบางเสร่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด

1.4 การสะสมโลหะหนักทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* สรุปได้ว่า บริเวณหาดผาแดง บางเสร่ และหาดพูน พบสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* มีปริมาณการสะสมโลหะหนักสังกะสีโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 18.34 ± 4.09 $\mu\text{g/g}$ 54.53 ± 3.04 $\mu\text{g/g}$ และ 2.35 ± 1.64 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ โดยที่บริเวณบางเสร่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และหาดพูนมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด

1.5 การสะสมโลหะหนักสังกะสีในสาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* สรุปได้ว่า บริเวณหาดผาแดง และหาดบ้านเพ พบสาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* มีปริมาณการสะสมโลหะหนักสังกะสีโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 107.08 ± 3.85 $\mu\text{g/g}$ และ 77.02 ± 6.20 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ โดยมีบริเวณหาดผาแดงมีค่าเฉลี่ยของโลหะหนักสังกะสีสูงสุด

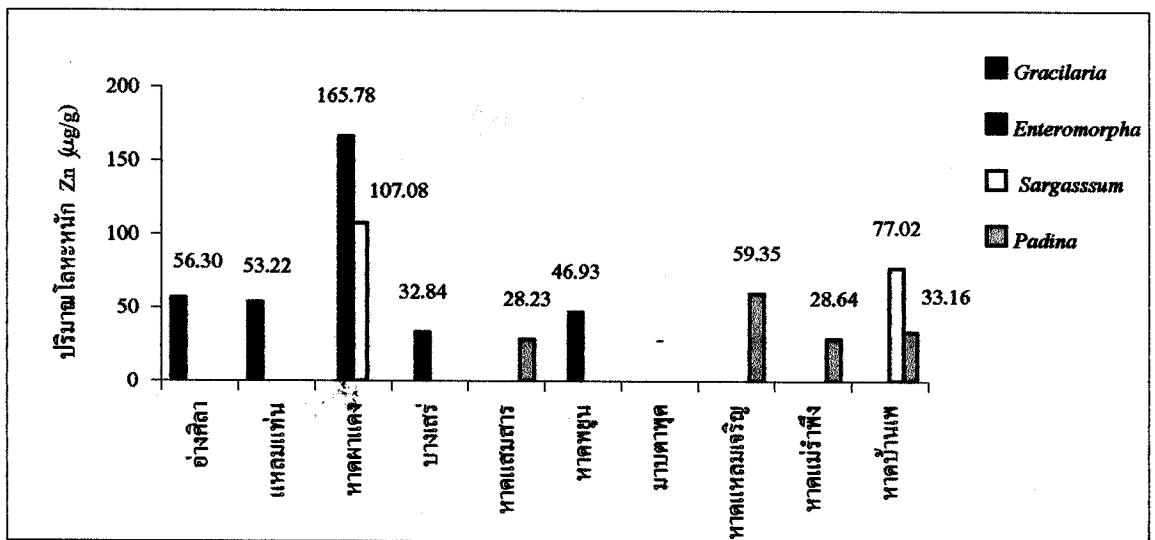
1.6 การสะสมโลหะหนักทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* สรุปได้ว่า บริเวณหาดผาแดง และหาดบ้านเพ พบสาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* มีปริมาณการสะสมโลหะหนักสังกะสีโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 17.64 ± 4.97 $\mu\text{g/g}$ และ 16.32 ± 4.48 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ โดยที่บริเวณหาดผาแดงจะมีโลหะหนักทองแดงต่ำกว่าบริเวณหาดบ้านเพ

1.7 การสะสมโลหะหนักทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* สรุปได้ว่า บริเวณหาดแสมสาร หาดแหลมเจริญ หาดแม่รำพึง และหาดบ้านเพ พบสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* มีปริมาณการสะสมโลหะหนัก สังกะสี โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 28.23 ± 1.88 $\mu\text{g/g}$ 59.35 ± 10.84 $\mu\text{g/g}$

$28.64 \pm 4.17 \mu\text{g/g}$ และ $33.16 \pm 1.77 \mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ส่วนมาบตาพุด พบสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* เช่นเดียวกัน แต่ไม่สามารถตรวจวัดค่าได้ (non-detectable) เนื่องจากค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่า detection limit (DL)

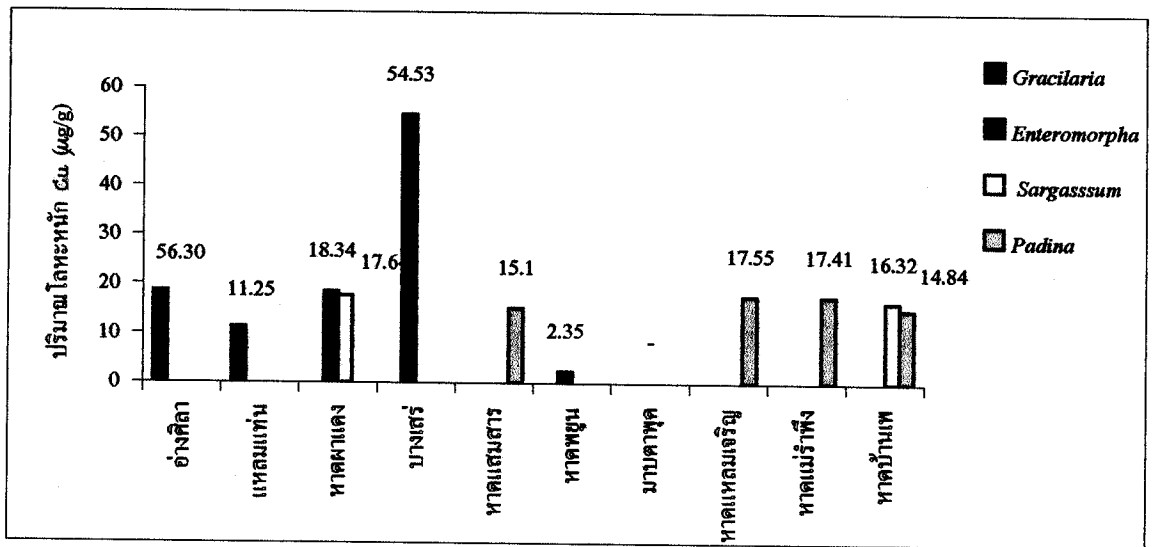
1.8 การสะสมโลหะหนักทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* สรุปได้ว่าบริเวณหาดแสมสาร หาดแหลมเจริญ หาดแม่รำพึง และหาดบ้านเพ พบสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* มีปริมาณการสะสมโลหะหนักทองแดงโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $15.10 \pm 3.56 \mu\text{g/g}$ $17.55 \pm 3.64 \mu\text{g/g}$ $17.41 \pm 6.12 \mu\text{g/g}$ และ $14.89 \pm 3.66 \mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ส่วนบริเวณมาบตาพุดนั้น พบสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* เช่นกัน แต่ไม่สามารถตรวจวัดค่าได้ (non-detectable) เนื่องจากค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่า detection limit (DL)

จากการสรุปผล สามารถนำมาแสดงได้ดังภาพที่ 17 และ 18



หมายเหตุ - แทน บริเวณที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ (ND)

ภาพที่ 17 สรุปผลปริมาณโลหะหนักสังกะสีในสาหร่ายทะเลบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง



หมายเหตุ - แทน บริเวณที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ (ND)

ภาพที่ 18 สรุปผลปริมาณโลหะหนักทองแดงในสาหร่ายทะเลบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง

2. เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในสาหร่ายทะเลบางชนิด ในแต่ละเดือน โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโลหะหนักสังกะสีและทองแดงระหว่างสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* และ *Sargassum* บริเวณหาดผาแดง และระหว่างสาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* และ *Padina* บริเวณหาดบ้านเพ สรุปได้ดังนี้

2.1 บริเวณหาดผาแดง สาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* และ *Sargassum* มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน สาหร่ายทั้ง 2 สกุลนี้ มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีในเดือนมกราคม มีนาคม และมิถุนายน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนเดือนกุมภาพันธ์ เมษายน และพฤษภาคม มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2 บริเวณหาดผาแดงระหว่างสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* และ *Sargassum* มีการสะสมโลหะหนักทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน สาหร่ายทั้ง 2 สกุล มีการสะสมโลหะหนักทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.3 บริเวณหาดบ้านเพ สาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* และ *Padina* มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือ ชนิดของ

สาหร่ายทะเลมีผลต่อการสะสมโลหะหนักสังกะสี แม้จะอยู่ในบริเวณเดียวกัน และในช่วงเวลา ระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน สาหร่ายทั้ง 2 สกุลนี้ มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่า เวลาที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักสังกะสี โดยที่ทุก ๆ เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน แต่ละเดือนมีการสะสมโลหะหนักสังกะสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.4 บริเวณหาดบ้านเพ สาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* และ *Padina* มีการสะสมโลหะหนักทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือ ชนิดของสาหร่ายมีผลต่อการสะสมโลหะหนักทองแดง แม้จะอยู่ในบริเวณเดียวกัน และตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน สาหร่ายทะเลทั้ง 2 สกุล มีการสะสมโลหะหนักทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อภิปรายผล

การสะสมโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในสาหร่ายทะเลบางชนิด

1. การสะสมโลหะหนักสังกะสีและทองแดง ในสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* บริเวณอ่างศิลา และแหลมแท่น มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่อ่างศิลามีค่าเฉลี่ยของโลหะหนักสังกะสีสูงกว่าบริเวณแหลมแท่น $3.08 \mu\text{g/g}$ ซึ่งโดยธรรมชาติของบริเวณอ่างศิลา ส่วนหนึ่งเป็นท่าเรือสินค้า ส่วนหนึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงสัตว์มีชีวิตทางเศรษฐกิจ เช่น หอยนางรม เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งค้าขายสินค้าทางทะเลและบริเวณชายฝั่งทะเลมีประชากรอยู่อย่างหนาแน่น ส่วนบริเวณแหลมแท่นส่วนใหญ่เป็นแหล่งพักผ่อน แหล่งค้าขาย ประชากรอยู่หนาแน่น เช่นเดียวกัน ดังนั้นถึงปนเปื้อนต่าง ๆ มักจะมีระดับความเข้มข้นตามชายฝั่งทะเลมากกว่า จากการศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักบางชนิดในหอยนางรมจากฟาร์มเลี้ยงหอยบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ของ เฉลิมพล กานูวงศ์ (2544) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักสังกะสี และทองแดงในด้ามล่ออ่างศิลา ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงตามระยะห่างจากฝั่งออกไป โดยปริมาณของสังกะสีและทองแดงมีแนวโน้มลดลงชัดเจนมาก และจากการศึกษาของเทอร์ไร และคณะ (Terai et al., 1995) ทำการศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี-ตราด พบค่าเฉลี่ยโลหะสังกะสีและทองแดงในดินตะกอนมีค่าเท่ากับ $23.3 \mu\text{g/g}$ และ $8.6 \mu\text{g/g}$ ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษาของ เววตา ทองระอา และคณะ (2540) บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี (เมืองใหม่-ศรีราชา) พบว่า ช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน-ธันวาคม 2535 บริเวณดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในดินตะกอน เท่ากับ $22.6 \mu\text{g/g}$ และ $12.6 \mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ช่วงระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม 2536 บริเวณดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยของโลหะสังกะสีและทองแดงในดินตะกอนเท่ากับ

19.3 $\mu\text{g/g}$ และ 9.3 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ และระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนธันวาคม 2537 พบว่า บริเวณดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในดินตะกอนเท่ากับ 24.2 $\mu\text{g/g}$ และ 7.6 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ จากการศึกษาของบุคคลดังกล่าวข้างต้น กล่าวได้ว่า ปริมาณโลหะหนักสังกะสีและทองแดงที่สะสมในสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* มีค่าสูงกว่าการสะสมในดินตะกอน

2. การสะสมโลหะหนักสังกะสีทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* บริเวณหาดผาแดง บางเสร่ และหาดพุน โดยที่บริเวณหาดผาแดงมีการสะสมโลหะหนักสังกะสีเท่ากับ $165.78 \pm 3.14 \mu\text{g/g}$ ซึ่งจากการศึกษาปริมาณของสารพิษบางชนิดจากสาหร่ายทะเลในบริเวณที่เกิดมลภาวะจังหวัดชลบุรีของ สุวิมล โสภณพินิจ และคณะ (2521) พบว่า สาหร่ายทะเลสกุล *Dictyota* บริเวณหาดผาแดงไม่มีการสะสมโลหะหนักสังกะสี ส่วนสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีมีค่าเท่ากับ 54 $\mu\text{g/g}$ นั่นคือสาหร่ายทะเลต่างชนิดกัน แม้จะอยู่ในบริเวณเดียวกัน มีการสะสมโลหะหนักแตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ และสอดคล้องกับการทดลองของ งามอาจ ชูทอง (2522) ซึ่งกล่าวว่าการสะสมโลหะหนักระหว่างสาหร่ายทะเลต่างชนิดกัน มีการสะสมโลหะหนักแตกต่างกัน กล่าวคือ สาหร่ายทะเลสกุล *Padina* และ *Dictyota* กับ *Gracilaria* มีสารสะสมโลหะหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการสะสมโลหะหนักทองแดง บริเวณบางเสร่ จะมีค่าสูงกว่าบริเวณหาดผาแดง ดังนี้คือ $54.53 \pm 3.04 \mu\text{g/g}$ และ $18.34 \pm 4.09 \mu\text{g/g}$ ตามลำดับ จากการศึกษาในอดีตที่ผ่านมาของสุวิมล โสภณพินิจ และคณะ (2521) พบว่า บริเวณหาดผาแดง สาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria* มีการสะสมโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 2 $\mu\text{g/g}$ และในสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* มีการสะสมโลหะหนักทองแดงเท่ากับ 4 $\mu\text{g/g}$ และบริเวณหาดแสมสาร สาหร่ายทะเลสกุล *Padina* และ *Sargassum* สะสมโลหะหนักทองแดง 2 $\mu\text{g/g}$ เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้ พบว่า บริเวณชายฝั่งดังกล่าวมีการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าบริเวณดังกล่าวมีการรักษาสภาพแวดล้อมชายฝั่งได้ดี

3. การสะสมโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* บริเวณหาดผาแดง มีการสะสมโลหะสังกะสีเท่ากับ $107.08 \pm 3.85 \mu\text{g/g}$ ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับสาหร่ายทะเลสกุล *Enteromorpha* ในบริเวณเดียวกัน แสดงว่า บริเวณหาดผาแดงมีการปนเปื้อนของโลหะหนักสังกะสีค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ทั้งนี้อาจมีปัจจัยด้านอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งค้าขายจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง ดังนั้น ปริมาณของเสียที่ปล่อยลงสู่ชายฝั่งจึงแตกต่างกัน จากการศึกษาของ บัตเตอร์เวิร์ด และคณะ (Butterworth et al., 1972), นิคเลสส์ และคณะ (Nickless et al., 1972) พบว่า ปริมาณของโลหะหนักในทะเลไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับฤดูกาล

ระยะเวลา รวมทั้งปริมาณของโลหะหนักที่ถูกปล่อยลงสู่ทะเล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อองอาจ ชูทอง (2522) ซึ่งพบว่า การสะสมโลหะหนักสังกะสีในสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล สำหรับน้ำทะเลนั้นมีปริมาณสังกะสีเท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล

4. การสะสมโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* พบว่า บริเวณหาดแหลมเจริญ มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีและทองแดงปริมาณสูงสุด ส่วนบริเวณ หาดแสมสาร และหาดแม่รำพึงมีปริมาณใกล้เคียงกันยกเว้น บริเวณมาบตาพุดเท่านั้น ที่ไม่สามารถตรวจวัดค่าของโลหะหนักสังกะสีและทองแดงได้ เนื่องจากค่าได้มีค่าต่ำกว่าค่า detection limit (DL) อาจมีสาเหตุมาจากช่วงของการเก็บตัวอย่างสาหร่าย ขณะนั้นบริเวณ มาบตาพุดมีการถมพื้นที่เพื่อขยายบริเวณลงไปในทะเลทำให้ระบบนิเวศบริเวณชายฝั่ง เปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้สาหร่ายทะเลสกุล *Padina* ที่อยู่บริเวณนั้นถูกทำลายตายไป พบเพียงสาหร่าย *Padina* ที่เกิดขึ้นใหม่ตามสิ่งปลูกสร้างที่ถูกถล่มไปในทะเล ดังนั้นสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* ที่มีอายุน้อย ย่อมมีปริมาณการสะสมโลหะหนักน้อยตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ไบรอัน และฮัมเมอร์สโตน (Bryan & Hummerstone, 1973) และจากการศึกษาของ วรณา โกศลวิตร (2542) ซึ่งทำการศึกษาการแพร่กระจายของโลหะหนักบางชนิด ในรูปเลไบต์ และนอน-เลไบต์ ในแท่งตะกอนดิน บริเวณชายฝั่งภาคตะวันออกในประเทศไทย (จังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง) พบว่า ปริมาณสังกะสีในแท่งตะกอนดินบริเวณมาบตาพุด มีปริมาณสังกะสี ในรูปเคลื่อนย้ายได้ง่าย นอกจากนี้พบว่า บริเวณมาบตาพุดในช่วงปี พ.ศ. 2534-2536, 2524-2528 และ 2520-2524 ไม่มีการปนเปื้อนอันเนื่องมาจากการนำเข้าโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณทั้งหมดของทองแดงในแท่งตะกอนดิน พบว่าสถานีมาบตาพุดมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด และจากการคำนวณค่าการนำเข้าโดยกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ปรากฏว่า ทองแดงไม่มีการปนเปื้อน จากการกระทำต่าง ๆ ของมนุษย์ แต่มีการนำเข้าโดยกระบวนการทางธรรมชาติเท่านั้น $0.53 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$ ส่วนงานวิจัยของ ฉลวย มุสิกะ (2544) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดใน แม่น้ำบางปะกง พบว่า ทองแดงเป็นโลหะเพียงชนิดเดียวที่มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของแม่น้ำทั่วโลก ในอดีตที่ผ่านมาของสุวิมล โสภณพิณีและคณะ (2521) พบว่า สาหร่ายทะเลสกุล *Padina* บริเวณ แสมสาร มีการสะสมโลหะหนักสังกะสีเท่ากับ $159 \mu\text{g}/\text{g}$ แต่จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าสาหร่ายทะเล สกุล *Padina* สะสมโลหะหนักสังกะสีเท่ากับ $28.23 \pm 1.88 \mu\text{g}/\text{g}$ แสดงว่า ในปัจจุบันปริมาณโลหะหนักสังกะสี บริเวณแสมสารมีการปนเปื้อนน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ ศิริวรรณ ลาภทัพบิมทอง (2544) กล่าวคือ หอยเชรฐกึ่งได้แก่ หอยแครง หอยนางรม และ หอยแมลงภู่ บริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย และทะเลอันดามัน มีปริมาณโลหะหนักลดลง

จากการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบโลหะหนักสังกะสีและทองแดงในสาหร่ายทะเลในแต่ละเดือนสามารถอภิปรายได้ว่า สาหร่ายทะเลต่างชนิดกันแม้จะอยู่ในบริเวณเดียวกัน จะมีการสะสมโลหะหนักในปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุวิมล ไสภณพินิจ และคณะ (2521) และองอาจ ชูทอง (2522) นอกจากนี้พบว่า ในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน สาหร่ายทะเลมีการสะสมโลหะหนักแตกต่างกัน แสดงว่า ระยะเวลามีส่วนสัมพันธ์ต่อการสะสมโลหะหนัก ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนัก เช่น อุณหภูมิ ซึ่งเบอร์คอน-โจนส์ และคณะ (Burdon-Jones et al., 1982) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อการสะสมโลหะหนัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ฟยุง และเจม (Fuge & James, 1973) พบว่าโลหะหนักเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลโดยจะเพิ่มสูงขึ้นในฤดูหนาวและจะต่ำลงเมื่อถึงฤดูร้อนเนื่องจากสาหร่ายมีการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์มากขึ้น ทำให้ดึงเอาโลหะหนักในน้ำไปใช้ นอกจากนี้ ซีลิจอร์ และเอ็ดเวิร์ด (Seeliger & Edwards, 1997) พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อ metabolic rate ในสาหร่ายทำให้การดูดซับโลหะลดลงได้

อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาหาปริมาณการสะสมโลหะหนักสังกะสี และทองแดงในสาหร่ายทะเลสกุล *Gracilaria*, *Enteromorpha*, *Sargassum* และ *Padina* บริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยองสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบ่งบอกถึง คุณภาพน้ำทะเลว่ามีแนวโน้มของการปนเปื้อนของโลหะหนักค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ประชาชนโดยทั่วไปควรตระหนักและช่วยกันอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติบริเวณแนวชายฝั่งทะเล ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมควรบำบัดของเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมอย่างระมัดระวัง และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรติดตามตรวจสอบ และดำเนินการอย่างเข้มงวดตลอดไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับสาหร่ายชนิดอื่นเพิ่มเติมประกอบกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ
2. ควรศึกษาการสะสมโลหะหนักชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากสังกะสีและทองแดง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการศึกษาหาปริมาณโลหะหนัก 6 ชนิด ได้แก่ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และอาร์เซนิก แต่จำเป็นต้องศึกษา เพียง 2 ชนิด คือ ทองแดง และสังกะสี โดยมีเหตุผลตามความจำเป็นเรื่องงบประมาณ ดังนั้นผู้ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับโลหะหนักต้องมียงบประมาณสนับสนุนอย่างเพียงพอ
3. ควรศึกษาการสะสมโลหะหนักกับสาหร่ายตลอดแนวชายฝั่งทะเลของประเทศไทย

4. ควรศึกษาเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักระหว่างเขตอุตสาหกรรมกับ
แหล่งท่องเที่ยว

5. ควรศึกษาเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี