บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

ปริมาณการสะสมโลหะหนักในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

ปริมาณการสะสมปรอทในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

1. ปริมาณการสะสมปรอทในพะยูน พะยูนทั้ง 9 ตัว มีปริมาณการสะสมปรอทในเนื้อเยื่ออวัยวะส่วนต่าง ๆ อยู่ในช่วง 0.001 – 3.102 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และเนื่องจากยังไม่เคยมีการศึกษาการสะสมโลหะหนักในพะยูน ในประเทศไทยมาก่อน จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบระดับการสะสมปรอทในพะยูนในประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยในต่างประเทศ ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมปรอทในพะยูน และพบว่าระดับการสะสมปรอทที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาของ มิยาซากิ และคณะ (Miyazaki et al., 1979) ที่ทำการศึกษาระดับการสะสมของโลหะหนักในกล้ามเนื้อของพะยูนเพศเมีย 2 ตัวที่พบจากเกาะสุลาเวสี (sulawesi island) ประเทศอินโดนีเซีย โดยพบว่ามีระดับการสะสมปรอทในพะยูนทั้ง 2 ตัว อยู่ในช่วง 0.002 – 0.005 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และจากการศึกษาของ (Parry & Munksgaards, 1992 cited in Haynes & Johnson, 2000) พบว่า ปริมาณการสะสมของปรอทในอวัยวะต่าง ๆ ของพะยูน คือ ตับ ไต และกล้ามเนื้อ มีค่าเท่ากับ < 0.03, < 0.03 และ < 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมปรอทที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ กับการศึกษาของ เคมเปอร์ และคณะ (Kemper et al., 1994) พบว่ามีค่าต่ำกว่า โดยได้ทำการศึกษาการสะสมปรอทในตับ ของพะยูนจากประเทศออสเตรเลีย และพบว่ามีระดับการสะสมปรอทสูงถึง 65.8 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

2. ปริมาณการสะสมปรอทในโลมา ปริมาณการสะสมปรอทในโลมาทั้ง 11 ตัว ที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.060 – 81.137 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาจากหลาย ๆ คน พบว่า ปริมาณการสะสมปรอทในโลมาปากขวด (bottlenose dolphin) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าต่ำกว่า ในหลาย ๆ งานวิจัย เช่น เบค และคณะ (Beck et al., 1997) ทำการศึกษาปริมาณการสะสมปรอทในตับของโลมาปากขวด จำนวน 34 ตัว จากชายฝั่ง South Carolina พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง < 0.5 – 146.5 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่พบในโลมาปากขวดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ และจากการศึกษาของ ลอร์ และคณะ (Law et al., 1991) พบว่าปริมาณการสะสมปรอทในตับ ของโลมาปากขวดที่พบจาก British Isles

จำนวน 2 ตัว มีค่าเท่ากับ 20 -21 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งสูงกว่าที่พบในโลมาปากขวดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมปรอทในโลมาหัวบาตรหลังเรียบ (finless porpoise) กับ Dall porpoise ที่ใช้ในการศึกษาของ ฟูจิซึ และคณะ (Fujise et al., 1988) โดยพบ Dall porpoise เกยตื้นจากทางตะวันตกเฉียงใต้ของแปซิฟิก พบว่า ปริมาณการสะสมปรอทในอวัยวะ ต่าง ๆ ของ Dall porpoise ทั้ง 3 ตัว มีค่าอยู่ในช่วง 0.71 – 6.38 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งถือว่ามีค่าสูงกว่าค่าที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้ และ จากการศึกษาของ (Arima & Nagakura, 1979 cited in Simmonds et al., 1999) พบว่า ค่าปรอทในกล้ามเนื้อ ของ โลมาหัวบาตรหลังเรียบที่พบจากประเทศญี่ปุ่น มีค่าเท่ากับ 0.16 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก แต่เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ ไม่มีชิ้นส่วน ของกล้ามเนื้อจึงไม่สามารถเปรียบเทียบได้ ส่วน Parsons (1999) ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนัก ในเนื้อเยื่อของโลมา Indopacific Humpback และ Finless Porpoise จากประเทศฮ่องกง พบว่า ปริมาณปรอทในตับ ไต และผิวหนังและชั้นไขมัน มีค่า < 0.37 – 385, < 0.57 - < 0.9 และ < 0.5 - <0.9 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

โลมาลายจุด (spotted dolphin) ที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงกลาง ๆ เมื่อเทียบกับการศึกษาของ แอนดริว และคณะ (Andre et al., 1990) ที่ทำการศึกษาปริมาณปรอทในโลมาลายจุด โดยพบว่าค่าสูงสุดของการสะสมปรอทที่พบในตับ เท่ากับ 62.7 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้

โลมาลายแถบ (stripped dolphin) ที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณการสะสมปรอทต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการศึกษาของ ไอทาโน และคณะ (Itano et al., 1984) ที่ทำการศึกษาหาปริมาณปรอทและซีลีเนียม ในโลมาลายแถบทั้ง 15 ตัว ที่พบจากชายฝั่งประเทศญี่ปุ่น โดยพบว่า ค่าปรอทพบสูงที่สุดที่ตับ มีค่าเท่ากับ 205 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งถือว่า มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ (Arima & Nagakura, 1979 cited in Simmond et al., 1999) ได้ทำการศึกษาปริมาณปรอทในกล้ามเนื้อของโลมาลายแถบจากประเทศญี่ปุ่น พบว่า มีค่าเท่ากับ 4.93 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้ (2.357 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก) แต่เมื่อเทียบกับการศึกษาของ ลอร์ และคณะ (Law et al., 1991) พบว่าปริมาณปรอทในตับ ของ โลมาลายแถบที่พบจาก British Isles จำนวน 2 ตัว มีค่าเท่ากับ 10 – 11 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้

โลมากระโดด (spinner dolphin) ที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้ มีปริมาณการสะสมปรอทสูงกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษาของ แกสคิน และคณะ (Gaskin et al., 1974) ที่ทำการศึกษาปริมาณ

ปรอทที่สะสมในโลมากระโดด และพบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.87 – 13.0 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก

3. ปริมาณการสะสมปรอทในวาฬ ปริมาณการสะสมปรอทในวาฬทั้ง 7 ตัว ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 – 756.061 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก โดยพบว่า วาฬที่มีปริมาณการสะสมปรอทสูงที่สุด คือ วาฬรหัส END 113 ซึ่งเป็นวาฬเพชฌฆาตดำ โดยพบสูงสุดที่ ตับ ซึ่งค่าที่พบคือ 756.061 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งถือว่า มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยในลักษณะเดียวกัน ที่พบว่า ระดับสูงสุดของปรอทในตับของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่สามารถทนได้ อยู่ในช่วง 100 – 400 ไมโครกรัมต่อกรัม (Wageman & Muir, 1984; Morris et al., 1989) ซึ่งค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ ถือว่าสูงมาก เกินระดับดังกล่าว และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ระดับการสะสมปรอทในวาฬจากทั้งสองพื้นที่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$ และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ หลาย ๆ คนพบว่าค่าที่พบจากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่า เช่น Caurant and Amiard (1995) ทำการศึกษาปริมาณปรอทในกล้ามเนื้อและตับ ของ pilot whale จากทางตะวันออกเฉียงเหนือ ของ แอตแลนติก พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 1.69 – 213 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งค่าปรอทที่พบสูงที่สุด พบในตับ ของ Pilot whale ที่เป็นตัวเต็มวัย และจากการศึกษาของ โฮสบีค และคณะ (Holsbeek et al., 1999) ที่ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนักออร์กาโนคลอรีนและ PAH ใน Sperm whale จาก ทางตอนใต้ของทะเลเหนือ จำนวน 7 ตัว พบว่า ระดับการสะสมปรอทในกล้ามเนื้อ ไต และตับ มีค่าอยู่ในช่วง 2.7 – 132 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าปรอทที่พบสูงสุด พบที่ ตับ และค่าปรอทพบต่ำสุดที่ กล้ามเนื้อ

4. ปริมาณการสะสมแคดเมียมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

4.1 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในพะยูน จากผลการศึกษาพบว่า พะยูนที่พบจากการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูงถึง 770.284 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูงมาก และเนื่องจากยังไม่เคยมีการศึกษาการสะสมโลหะหนักในพะยูนในประเทศไทยมาก่อน จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบระดับการสะสมแคดเมียมในพะยูนในประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยในต่างประเทศ ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมแคดเมียมในพะยูน และพบว่า ระดับการสะสมแคดเมียมที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่า ค่าที่ได้จากการศึกษาของ มิยาซากิ และคณะ (Miyazaki et al., 1979) ที่ทำการศึกษาระดับการสะสมของโลหะหนักในกล้ามเนื้อของพะยูนเพศเมีย 2 ตัว ที่พบจากเกาะสุลาเวสี ประเทศอินโดนีเซีย โดยพบว่ามีระดับการสะสมแคดเมียมอยู่ในช่วง 0.031 – 0.120 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และจากการศึกษาของ (Parry & Munksgaards, 1992 cited in Haynes & Johnson, 2000) พบว่า ปริมาณการสะสมของแคดเมียมในอวัยวะต่าง ๆ ของพะยูน คือ ตับ, ไต และกล้ามเนื้อ มีค่าเท่ากับ 12.6, 116

และ < 0.6 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่พบว่ามีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการศึกษาของ เดนทัล และคณะ (Denton et al., 1980) ที่ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนัก ในพะยูน โดยพบว่า ในอวัยวะต่าง ๆ ของพะยูน คือ ตับ ไต และกล้ามเนื้อ มีระดับ แคดเมียมเท่ากับ < 0.1 – 58.8, 0.2 – 309 และ < 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

4.2 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในโลมา จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการสะสมแคดเมียมในโลมาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีระดับการสะสมต่ำกว่าค่าสูงสุดที่พบในพะยูนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เช่นกันและเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในหลาย ๆ งานวิจัย เช่น โฮสบีค และคณะ (Holsbeek et al., 1999) ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในโลมาที่พบเกยตื้นจากชายฝั่งแอตแลนติก ประเทศฝรั่งเศส พบว่า ปริมาณแคดเมียมในไตของโลมาลายแถบซึ่งเป็นตัวเต็มวัยมีค่าสูงถึง 140 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่พบจากการศึกษาครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอายุ กับปริมาณแคดเมียม โรดิทิ และคณะ (Roditi et al., 2003) ได้ทำการศึกษาระดับการสะสมโลหะหนักในโลมาปากขวดและโลมาลายแถบจากชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศอิสราเอล พบว่า ระดับแคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 – 30 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และพบว่า โลมาลายแถบมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในไต สูงกว่าโลมาปากขวด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ อย่างไรก็ตามข้อมูลจำนวนตัวของโลมาลายแถบและโลมาปากขวดที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ มีเพียงชนิดละ 1 ตัวเท่านั้น และนอกจากนี้ โรดิทิ และคณะ (Roditi et al., 2003) ยังพบอีกว่าในตัวที่มีอายุมากกว่าหรือ มีความยาวมากกว่า จะมีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูงกว่า ตัวที่มีอายุน้อยกว่า หรือ มีความยาวสั้นกว่า

4.3 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในวาฬ ปริมาณการสะสมแคดเมียมในวาฬทั้ง 7 ตัว ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 – 5863.99 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก โดยพบว่าวาฬที่มีปริมาณการสะสมแคดเมียม สูงที่สุด คือ วาฬรหัส END 187 ซึ่งเป็นวาฬนำร่องครีบสั้น โดยพบสูงสุดที่ ตับ ซึ่งค่าที่พบคือ 5863.99 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ถือว่าสูงมากผิดปกติ แต่เนื่องจากในการวิเคราะห์ ซ้ำที่ได้มีค่าใกล้กัน จึงน่าจะมีสาเหตุการปนเปื้อนแคดเมียมมาจากการเก็บรักษาตัวอย่าง หรือสาเหตุที่ไม่ทราบแน่นอน และเนื่องจากปริมาณตัวอย่างที่มีอยู่มีจำนวนน้อยมากจึงไม่เพียงพอสำหรับการทำซ้ำอีกครั้งเพื่อตรวจสอบความแน่นอน อย่างไรก็ตามปริมาณการสะสมแคดเมียมที่พบจากการศึกษาครั้งนี้ มีแนวโน้มสอดคล้องกับการศึกษาของ Caurant and Amiard (1995) ที่กล่าวว่า วาฬในกลุ่มวาฬนำร่อง หรือ *Globicephalas* sp. มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมได้ดี และอาหารหลักของวาฬชนิดนี้ก็คือ หมึก ซึ่งถือว่า เป็นสัตว์ที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมได้เป็นอย่างดี (Honda & Tatsukawa, 1980) จึงทำให้ค่าปริมาณการสะสมแคดเมียมในวาฬชนิดนี้ มีค่าสูงมาก โดยเฉพาะค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ถือว่าสูงผิดปกติ จึงทำ

การตัดค่าออก ดังนั้นค่าการสะสมแคดเมียมในวาฬจึงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001 – 0.360 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก

5. ปริมาณการสะสมตะกั่วในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

5.1 ปริมาณการสะสมตะกั่วในพะยูน จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการสะสมตะกั่วในพะยูนอยู่ในช่วง 0.049 – 8.429 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และพบว่าพะยูนที่มีปริมาณการสะสมของตะกั่วสูงที่สุด คือ พะยูนเพศเมียจากฝั่งทะเลอ่าวไทย รหัส DU 078 และเนื่องจากยังไม่เคยมีการศึกษาการสะสมโลหะหนักในพะยูน ในประเทศไทยมาก่อน จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบระดับการสะสมตะกั่วในพะยูนในประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยในต่างประเทศ ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมตะกั่วในพะยูน และพบว่า ระดับการสะสมตะกั่วที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่า ค่าที่ได้จากการศึกษาของ มิยาซากิ และคณะ (Miyazaki et al., 1979) ที่ทำการศึกษาระดับการสะสมของโลหะหนักในกล้ามเนื้อของพะยูนเพศเมีย 2 ตัวที่พบจากเกาะสุลาเวสี ประเทศอินโดนีเซีย โดยพบว่ามีระดับการสะสมตะกั่วอยู่ในช่วง 0.20 – 0.25 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และจากการศึกษาของ (Parry & Munksgaards, 1992 cited in Haynes & Johnson, 2000) พบว่า ปริมาณการสะสมของตะกั่ว ในอวัยวะต่าง ๆ ของพะยูน คือ ตับ ไต และกล้ามเนื้อ มีค่าเท่ากับ 0.36, 0.18 และ 0.13 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับการศึกษาของ เดนทัล และคณะ (Denton et al., 1980) ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนักในพะยูน โดยพบว่า ในอวัยวะต่าง ๆ ของพะยูน คือ ตับ ไต และกล้ามเนื้อ มีระดับ ตะกั่วเท่ากับ <0.1 – <0.3, < 0.1 – < 0.3 และ <0.3 – <0.5 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ เคมเปอร์ และคณะ (Kemper et al., 1994) ได้ทำการศึกษาระดับตะกั่วในพะยูน พบว่าในตับ ไต กล้ามเนื้อและหนังและชั้นไขมัน มีระดับการสะสมตะกั่วเท่ากับ 0.05 – 0.25 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้

5.2 ปริมาณการสะสมตะกั่วในโลมา ปริมาณการสะสมตะกั่วในโลมาทั้ง 11 ตัว ที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.011 – 0.261 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งโลมาทั้ง 11 ตัว พบว่า มีการสะสมตะกั่วสูงที่สุด ในอวัยวะที่แตกต่างกันไป คือ ไต ตับ ปอด กล้ามเนื้อหัวใจ และผิวหนังและชั้นไขมัน อย่างไรก็ตาม ค่าที่พบจากการศึกษาในครั้งนี้มีระดับที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ เช่น การศึกษาของ คาร์เดลลิไคโอ และคณะ (Cardellichio et al., 2000) ที่ทำการศึกษาการแพร่กระจายโลหะหนักในโลมาลายแถบ พบว่า ระดับตะกั่วในโลมาลายแถบ จากประเทศอิตาลีมีค่าอยู่ในช่วง 0.01 – 2.19 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และจากการศึกษาของ คาร์โวลโฮ และคณะ(Carvalho et al., 2002) ที่ทำการศึกษาหาปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของ *Tursiops truncatus* และ *Delphinus delphis* โดยพบว่า มีระดับการสะสมตะกั่วอยู่

ในช่วง < 1 – 5.3 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง โดยทำการศึกษาใน กล้ามเนื้อ ไขมัน ผิวหนัง และตับ ซึ่งค่าสูงสุดที่พบคือ พบที่ผิวหนัง (skin)

5.3 ปริมาณการสะสมตะกั่วในวาฬ ปริมาณการสะสมตะกั่วในวาฬทั้ง 7 ตัว ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 0.003 – 0.198 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก โดยพบว่า วาฬที่มีปริมาณการสะสมตะกั่วสูงที่สุด คือวาฬรหัส END 083 ซึ่งเป็นวาฬเพชฌฆาตดำ โดยพบสูงสุดที่ตับ และเป็นวาฬเพศเมีย แต่ยังมีค่าต่ำกว่าที่พบปนเปื้อนในพะยูน และโลมา ที่พบจากการศึกษาเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่จะพบตะกั่วปนเปื้อนในปริมาณสูงในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล นั้น มักจะต้องพบจากบริเวณที่สัตว์เหล่านั้นอยู่อาศัยซึ่งต้องมีการปนเปื้อนตะกั่วในปริมาณสูงด้วย เช่น จากแหล่งอุตสาหกรรม หรือ ใกล้แหล่งที่อยู่อาศัยของมนุษย์ (anthropogenic) (Kemper et al., 1994; Law et al., 1991) ซึ่งวาฬ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นวาฬที่มีการดำรงชีวิตในบริเวณที่ห่างฝั่งออกไป จึงมีโอกาสได้รับการสะสมของตะกั่วจากบริเวณชายฝั่งน้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น เช่น พะยูนที่มีบริเวณที่อยู่อาศัยใกล้ฝั่งมากกว่า

6. ปริมาณการสะสมสังกะสีในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

6.1 ปริมาณการสะสมสังกะสีในพะยูน พะยูนทั้ง 9 ตัว มีปริมาณการสะสมสังกะสีอยู่ในช่วง 3.667 – 159.49 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และเนื่องจากยังไม่เคยมีการศึกษาการสะสมโลหะหนักในพะยูน ในประเทศไทยมาก่อน จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบระดับการสะสมสังกะสีในพะยูนในประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยในต่างประเทศ ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมสังกะสีในพะยูน และพบว่า ระดับการสะสมสังกะสีที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาของ มิยาซากิ และคณะ (Miyazaki et al., 1979) ที่ทำการศึกษาระดับการสะสมของโลหะหนักในกล้ามเนื้อของพะยูนเพศเมีย 2 ตัวที่พบจากเกาะสุลาเวสี (sulawesi island) ประเทศอินโดนีเซีย โดยพบว่ามีระดับการสะสมสังกะสีอยู่ในช่วง 14.8 – 29.5 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก และจากการศึกษาของ (Parry & Munksgaards, 1992 cited in Haynes & Johnson, 2000) พบว่า ปริมาณการสะสมของสังกะสีในอวัยวะต่าง ๆ ของพะยูน คือ ตับ, ไต และกล้ามเนื้อมีค่าเท่ากับ 1234, 160 และ 82 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับการศึกษาของ เดนทัล และคณะ (Denton et al., 1980) ที่ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนักในพะยูน โดยพบว่า ในอวัยวะต่าง ๆ ของพะยูน คือ ตับ ไต และกล้ามเนื้อ มีระดับ สังกะสีเท่ากับ 219 – 4183, 74.4 – 278 และ 32 - 113 ไมโครกรัม ต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

6.2 ปริมาณการสะสมสังกะสีในโลมา จากผลการศึกษาพบว่า โลมาที่มีปริมาณการสะสมสังกะสีสูงที่สุดคือ โลมาหัวบาตรหลังเรียบ ซึ่งโลมาทั้ง 11 ตัว พบว่า มีการสะสมสังกะสีสูงที่สุด ที่หลาย ๆ อวัยวะเช่น ผิวหนังและชั้นไขมัน, ตับ และไต แต่พบว่า ผิวหนังและชั้นไขมัน

มีระดับการสะสมสังกะสีสูงที่สุดแตกต่างจากอวัยวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ฟูจิซึ และคณะ (Fujise et al., 1988) ที่พบว่า สังกะสีมีมีการสะสมสูงที่ ผิวหนังและชั้นไขมัน และ กระดูก ใน Dall's porpoise ที่พบเกยตื้นจากทางตะวันตกเฉียงเหนือของแปซิฟิค และเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษา ในครั้งนี้ กับงานวิจัยอื่น ๆ เช่น คาร์เดลลิไคโอ และคณะ (Cardellichio et al., 2000) ทำการศึกษาการแพร่กระจายโลหะหนักในโลมาลายแถบจากประเทศอิตาลี พบว่า มีระดับการสะสมสังกะสีอยู่ในช่วงที่ไม่สูงมาก ดังนั้น สังกะสีจะมีความเป็นพิษก็ต่อเมื่ออยู่ในระดับที่สูงมาก ๆ และเนื่องจากสังกะสีเป็นโลหะหนักที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ จึงถูกกำหนดการทำงานโดย กลไก homeostatic ลอร์ และคณะ (Law et al., 1991)

6.3 ปริมาณการสะสมสังกะสีในวาฬ ปริมาณการสะสมสังกะสีในวาฬทั้ง 7 ตัว ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 2.281 – 177.35 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก โดยแบ่งเป็นวาฬทั้งหมด 5 ชนิด คือ วาฬหัวทุยเล็ก วาฬนำร่องครีบสั้น และวาฬบรูด้า ซึ่งพบจากฝั่งทะเลอ่าวไทย ส่วนวาฬที่พบจากฝั่งทะเลอันดามัน คือ วาฬบรูด้า วาฬหัวทุย และวาฬเพชฌฆาตดำ โดยพบว่า วาฬที่มีปริมาณการสะสมสังกะสีสูงที่สุด คือ วาฬรหัส END 083 ซึ่งเป็นวาฬเพชฌฆาตดำ โดยพบสูงสุดที่ตับ ซึ่งค่าที่พบคือ 177.35 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งค่าที่พบจากการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณต่ำกว่าที่พบจากการศึกษาของ โฮสบีค และคณะ (Holsbeek et al., 1999) ที่ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนัก, ออร์กาโนคลอรีน และPAHs ในกล้ามเนื้อ ตับ และไต ของ Sperm whales ที่พบเกยตื้นจากทะเลเหนือ โดยพบว่า มีระดับการสะสมสังกะสี อยู่ในช่วง 44 – 199 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง โดยระดับการสะสมสังกะสีสูงสุดพบที่กล้ามเนื้อ ในขณะที่ค่าที่พบสูงสุดจากการศึกษาครั้งนี้ พบสะสมที่ตับ

การสะสมโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

1. การสะสมปรอทในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล จากผลการศึกษาพบว่า ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแต่ละชนิด ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ พะยูน โลมาและวาฬ มีอวัยวะที่มีการสะสมปรอทสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือตับ ($P < 0.01$) และอวัยวะที่มีการสะสมรองลงมา คือไต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เคมเปอร์ และคณะ (Kemper et al., 1994) ที่ทำการรวบรวมเอกสารเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักและออร์กาโนคลอรีน ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล โดยพบว่า ในพะยูนที่ทำการศึกษาจากประเทศ ออสเตรเลีย มีระดับการสะสมปรอทสูงที่สุดที่ตับ นอกจากนี้ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับหลาย ๆ งานวิจัยที่พบว่า ระดับการสะสมปรอท

ในโลมาและวาฬ พบสูงที่สุดที่ตับ (Itano et al., 1984; Monaci et al., 1998; Cardellichio et al., 2000; Roditi et al., 2003)

ไม่เพียงแต่พะยูน โลมาและวาฬเท่านั้นที่มีระดับการสะสมปรอทสูงที่ตับ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลชนิดอื่น ๆ ก็เช่นกัน จากหลาย ๆ งานวิจัยเช่น โจอิริส และคณะ (Joiris et al., 2001) ได้ทำการศึกษาระดับการสะสมปรอทใน Cetacean ขนาดเล็ก คือ Sea Harbour Porpoise *(Phocoena phocoena relicta)* โดยพบว่า ระดับการสะสมปรอทพบสูงสัตว์ในตับ โดยในตัวเต็มวัย พบระดับการสะสมปรอทถึง 35 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ ไฮวารินเอน และคณะ (Hyvarinen et al., 1998) ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของปรอทใน Saimaa Ringed Seal *(Phoca hispida saimensis)* ในหลาย ๆ อวัยวะ พบว่า ระดับการสะสมปรอทในตับมีความสัมพันธ์กับอายุ โดยในตัวเต็มวัยที่มีอายุจะมีระดับการสะสมสูงที่สุดที่ตับ และระดับการสะสมปรอทสูงกว่าตัวอ่อน (wean pups)

การที่ปรอท มักจะพบสูงที่สุดที่ตับ และไต ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล เนื่องจากตับและไต เป็นอวัยวะในการลดพิษ (detoxification organ) (Fujise et al., 1988) ซึ่งค่าสูงสุดของปรอทที่ ตับของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะทนได้ อยู่ในช่วง 100 – 400 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก (Wagemann & Muir., 1984) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ที่พบในตับของวาฬเพชฌฆาตดำ (false killer whale) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เอนโด และคณะ (Endo et al., 2001) กล่าวถึงการสะสมปรอทในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลว่า ปรอทมักจะสะสมอยู่ที่อวัยวะภายใน โดยเฉพาะในตับและอยู่ในรูป ปรอทอนินทรีย์ (inorganic mercury) นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปรอทและซีลีเนียมในอวัยวะภายในของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

การที่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลมีการสะสมปรอทในปริมาณที่สูงมาก ดังนั้น น่าจะมีกลไกบางอย่างที่ช่วยในการลดความเป็นพิษของปรอทที่สะสมในร่างกาย จากการศึกษาของ คัวแรนท์ และคณะ (Caurant et al., 1996) พบว่า การจับตัวกันระหว่าง ปรอทและซีลีเนียม (Hg – Se complex) จะเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการลดความเป็นพิษ (detoxification process) หลังจาก กระบวนการเปลี่ยนรูปของ ปรอทอินทรีย์ (demethylation of M-Hg) ซึ่งโดยปรอทและซีลีเนียมจะรวมตัวกันเป็นสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และไม่เป็นพิษ ซึ่งในที่นี้ก็คือ การเปลี่ยนรูปจากสารปรอทอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษสูง เป็นปรอทอนินทรีย์ที่มีความเป็นพิษต่ำนั่นเอง ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นที่ ตับ และไต ซึ่งเป็นอวัยวะหลัก ในการลดความเป็นพิษ (detoxification organ) และเก็บสะสม (storage organ) นอกจากนี้ ยังมีกลไกการลดพิษอีกอย่างหนึ่งคือ การจับตัวกันระหว่างปรอทกับโปรตีนที่ชื่อ Metallothioneins (MTs) แต่จากการศึกษาของ ดาส และคณะ (Das et al., 2000) พบว่า ปรอทที่พบในตับและในไตของสัตว์เลี้ยงลูก

ด้วยนมในทะเลนั้น มีเป็นส่วนน้อยเท่านั้นที่จับตัวกันกับโปรตีน Metallothioneins อาจเนื่องมาจากปรอทที่อยู่ในรูปปรอทอินทรีย์ (methyl mercury) จะรวมตัวกันได้ดีกับ หมู่ซัลไฮดริลด์ (sulhydryl group) ในโปรตีน Metallothioneins แต่เนื่องจากปรอทที่พบในตับจะอยู่ในรูป ปรอทอนินทรีย์ (Endo et al., 2001) ทำให้การจับตัวกันระหว่างปรอทอนินทรีย์กับโปรตีน Metallothioneins เกิดได้ไม่ดีเท่าการจับตัวกันระหว่าง ปรอทอินทรีย์กับโปรตีน Metallothioneins

ส่วนอวัยวะอื่น ๆ เช่น ปอด หนังและชั้นไขมัน กล้ามเนื้อ ฯลฯ พบว่า ระดับการสะสมปรอทในอวัยวะเหล่านี้ ไม่ค่อยมีความแตกต่างกันในสัตว์แต่ละตัว และอวัยวะที่มักจะพบว่ามีระดับการสะสมปรอทต่ำ ในทั้งพะยูน โลมาและวาฬ คือ ผิวหนังและชั้นไขมัน กล้ามเนื้อ ปอด เป็นต้น การที่เป็นเช่นนี้ อาจเกี่ยวข้องกับรูปแบบของปรอทที่สะสมในอวัยวะเหล่านี้ สัมพรรคภาพ (affinity) ของสารปรอทต่ออวัยวะเป้าหมาย เป็นต้น และเนื่องจากอวัยวะเหล่านี้ไม่ใช่อวัยวะหลักในการสะสมปรอท จึงทำให้พบปรอทในปริมาณที่ต่ำ

1. การสะสมแคดเมียมในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล จากผลการศึกษาทั้งในพะยูน และวาฬ พบว่า อวัยวะที่มีการสะสมแคดเมียมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) คือ ตับ โดยค่าที่ในตับของวาฬถือว่าสูงผิดปกติ ในขณะที่โลมามีระดับการสะสมแคดเมียมสูงที่สุดที่ไต ส่วนอวัยวะอื่น ๆ ไม่พบระดับการสะสมแคดเมียมในระดับที่สูง แต่อย่างไรก็ตาม ในวาฬที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ก็มีระดับการสะสมแคดเมียมไม่สูงมากนัก ยกเว้นในตับของ วาฬนำร่องครีบสั้น (END 187) ที่สูงผิดปกติ การที่แคดเมียมมีระดับการสะสมสูงที่สุดที่ไต และตับ สอดคล้องกับหลายการศึกษา ที่พบว่า ไต เป็นอวัยวะที่มีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูงที่สุด (Marcovecchio et al., 1994; Kemper et al., 1994) พบว่าไต เป็นอวัยวะหลักของการสะสมแคดเมียมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Denton et al.,1980; Monaci et al., 1998) สำหรับในมนุษย์มีการประมาณว่า ระดับแคดเมียมในไตที่สามารถทำอันตรายต่อร่างกาย คือ 200 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก ไฟรเบิร์ค และคณะ (Friberg et al., 1974) แต่ที่พบจากการศึกษาครั้งนี้ มีค่า 168.70 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก ซึ่งเป็นไปได้ว่าค่าแคดเมียมที่สูงในระดับนี้ เป็นสาเหตุหนึ่งให้พะยูนตายได้ และอีกสาเหตุที่ทำให้แคดเมียมมีการสะสมมากที่ไต ซึ่งภายในไตประกอบไปด้วยส่วนของ Cortex และ Medulla และเนื่องจาก สังกะสีและแคดเมียมมีลักษณะเด่น ที่ชอบสะสมที่ส่วนของ cortex ของไต (Kidney Cortex) ยู และคณะ (Yoo et al., 2002) จากการศึกษาของ โฮลบีค และคณะ (Holdbeek et al., 1999) ที่ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนักใน Sperm whales ที่พบเกยตื้นจากทะเลเหนือ พบว่า แคดเมียมมีการรวมตัวกับ เมทัลโลไทโอนีน 5 – 20 % ในตับ และ 21 – 66 % ไต นอกจากนี้ การที่พบแคดเมียมมีการสะสมสูงที่อวัยวะคือ ไต ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล ในระดับที่สูง สิ่งมีชีวิตจะต้องมีกลไกในการเก็บสะสมและลดพิษของแคดเมียม ซึ่งกลไก

อย่างหนึ่งก็คือ การรวมตัวกับโปรตีน เมทัลโลไทโอนีน (metallothioneins, MTs) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการลดความเป็นพิษ (Monaci et.al., 1998) ซึ่งการเหนี่ยวนำให้เกิดการสังเคราะห์เมทัลโลไทโอนีนเป็นกระบวนการลดพิษที่สำคัญในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล โดยการรวมตัวของโลหะกับโปรตีนชนิดนี้จะช่วยลดการเคลื่อนย้าย (mobility) ของโลหะในสิ่งมีชีวิตได้ และทำให้เกิดกลไกในการปกป้องสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Cardellichio et al., 2000)

2. การสะสมตะกั่วในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล จากการศึกษาพบว่าตะกั่วที่พบสะสมอยู่ในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก และพบระดับสะสมต่างกันไปในแต่ละอวัยวะเช่น หนังและชั้นไขมัน, ปอด, ตับ, ไต สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่าการสะสมตะกั่วในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลอยู่ในระดับที่ต่ำ (Holdbeeks et al., 1999; Carvalho et al., 2002) อาจเนื่องมาจากอวัยวะที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ใช่อวัยวะหลักในการสะสมตะกั่ว เนื่องมาจากลักษณะการสะสมของตะกั่วที่มีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า Bone seeker เนื่องจากเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะมุ่งไปสะสมในกระดูก (แก้ว กังสดาลอำไพ, 2537) โดยพบว่า ประมาณ 90 % ของตะกั่วจะพบสะสมอยู่ในกระดูก เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนกันเกิดขึ้นระหว่างของเหลวที่อยู่รอบนอกกระดูกกับผิวของกระดูกคือบริเวณที่เรียกว่า ผลึกไฮดรอกซี อะพาไทท์ (hydroxyapatite crystal) เช่น ตะกั่ว (Pb^{2+}) และสตรอนเทียม (Sr^{2+}) จะแลกเปลี่ยนแคลเซียม (Ca^{2+}) ของผลึกนี้ เป็นต้น (แก้ว กังสดาลอำไพ, 2537) แต่อย่างไรก็ตาม การที่พบตะกั่วมีการสะสมอยู่ในระดับไม่สูงมากนัก แต่ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลแต่ละชนิดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ กลับพบว่า มีบางตัวที่พบว่าระดับการสะสมตะกั่วในแต่ละอวัยวะมีการพบสูงที่สุดใน หนังและชั้นไขมัน (blubber) ทั้งที่ในโลหะชนิดอื่น พบว่ามีการสะสมต่ำมากในหนังและชั้นไขมัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Parson (1999) ที่ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนักในอวัยวะของ โลมาจากประเทศฮ่องกง ที่พบว่า มีการสะสมตะกั่วในระดับที่สูงในหนังและชั้นไขมัน (blubber) โดยให้ความเห็นว่า เป็นไปได้ที่ตะกั่วอาจจะชอบที่อยู่ในรูปที่รวมตัวกับสารอินทรีย์ (organically-bound form) นอกจากนี้ คาร์วาลโฮ (Carvalho et al., 2002) ซึ่งพบว่าตะกั่วมีระดับการสะสมสูงที่ผิวหนัง (Skin) เช่นเดียวกัน กล่าวว่า เนื่องจากที่ ผิวหนังมีการสะสมของแคลเซียมสูง ซึ่งพิจารณาได้ว่า สัมพรรคภาพ (affinity) ของธาตุทั้งสอง คือ Pb^{2+} และ Ca^{2+} มีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้น จึงเป็นไปได้ที่ ตะกั่ว (Pb^{2+}) สามารถแทนที่ Ca^{2+} และทำให้ปริมาณตะกั่วพบสูงสุดที่ผิวหนัง เช่นเดียวกับแคลเซียม ซึ่งการแทนที่นี้สามารถทำให้เกิดการทำงานและโครงสร้างของอวัยวะที่ผิดปกติไป นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าในการศึกษาครั้งนี้จะพบตะกั่วในระดับที่ไม่สูงมากนักแต่เนื่องจากตะกั่วไม่ใช่ธาตุที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เมื่อเข้าสู่ร่างกายย่อมทำให้การทำงานของร่างกายผิดปกติ เช่น ตะกั่วจะไปยับยั้งการสังเคราะห์ฮีม (heme) ในเม็ดเลือดแดง โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฮีม เช่น

∞-aminolevulinic acid dehydratase (ALAD) และตะกั่วจะรบกวนการสังเคราะห์โปรตีนโกลบิน โดยตะกั่วจะเข้าไปจับกับหมู่ไทออลในโมเลกุลของเอนไซม์ ทำให้เป็นสาเหตุของการเกิดโรคโลหิตจาง (Walker et al., 2001)

3. การสะสมสังกะสีในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล จากการศึกษาพบว่า ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีการสะสม สังกะสี สูงที่อวัยวะคือ ตับ , หนังและชั้นไขมัน แต่อย่างไรก็ตามในอวัยวะอื่น ๆ ก็พบว่ามีการสะสมสังกะสีในระดับสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าที่พบในการศึกษาครั้งนี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Law et al. (1997) ที่กล่าวว่าระดับความเข้มข้นของสังกะสีในตับของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลอยู่ในช่วง 20 -100 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก นอกจากนี้การที่พบว่ามีการสะสมสังกะสีในระดับที่สูงในหนังและชั้นไขมันก็สอดคล้องกับการศึกษาของ Parsons (1999) และ (Carvalho et al., 2002)

จากผลการศึกษาที่พบว่า ปริมาณสังกะสีที่สะสมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลมีค่าสูง สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจาก สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นในสิ่งมีชีวิตซึ่งมีผลต่อการทำงานในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจึงทำให้พบว่ามีการสะสมสังกะสีอยู่ในเกือบทุกอวัยวะมากน้อยต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีของพะยูน ที่พบว่ามีระดับการสะสมสังกะสีค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจาก การดูดซับของสังกะสีในลำไส้ของพะยูนที่มีความเป็นไปได้ว่าอาจมีผลมาจากระดับของทองแดงในหญ้าทะเล ซึ่งเป็นอาหารของพะยูน โดย ปริมาณสังกะสีที่สูงผิดปกติจะเกิดขึ้นได้ ถ้า ระดับทองแดงในอาหารต่ำ เนื่องจากเกิดการแข่งขันระหว่างโลหะหนักในการจับตัวกับโปรตีนภายในลำไส้ ซึ่งสังกะสีและแคดเมียม มีปฏิกริยาต่อต้านกันกับ ทองแดง (Denton et al., 1980) นอกจากนี้อีกสาเหตุหนึ่งที่พบว่า สังกะสีมีปริมาณการสะสมมากที่ตับ เนื่องจากสังกะสีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิด เช่น carbonic anhydrase, carboxy peptides และ dehydrogenase ซึ่งพบได้ในตับ และเรตินา จึงมีผลทำให้อวัยวะเหล่านี้มีสังกะสีอยู่มากกว่าส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย (Robert, 1989)

การเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลที่พบจากฝั่งทะเลอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน

จากผลการศึกษาพบว่า สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลที่พบเกยตื้นจากฝั่งทะเลอ่าวไทยส่วนใหญ่มีระดับการสะสมโลหะหนักในปริมาณที่สูงกว่าฝั่งทะเลอันดามัน ซึ่งความแตกต่างกันนี้มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่น ในกรณีของโลมาและวาฬ คือโลมาที่พบจากฝั่งทะเลอ่าวไทยมีปริมาณการสะสมปรอท แคดเมียมและตะกั่ว ต่ำกว่า โลมาที่พบจากฝั่งทะเลอันดามันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$ ยกเว้นสำหรับแคดเมียมที่ $P < 0.05$) ส่วนวาฬที่พบจากฝั่งอันดามันมีปริมาณ

การสะสมปรอท, แคดเมียม, ตะกั่วและสังกะสีในปริมาณที่สูงกว่าวาฬที่พบจากฝั่งอ่าวไทย อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างระหว่างชนิดของโลมาและวาฬที่พบ ซึ่งโยงไปถึงลักษณะการกินอาหาร ที่อยู่อาศัย ขนาด อายุ และเพศ เป็นต้น ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป และที่สำคัญ จำนวนตัวอย่างโลมาที่พบจากฝั่งทะเลอ่าวไทย พบเพียง 2 ตัว และมีแต่เพศผู้เท่านั้น ในขณะที่ฝั่งทะเลอันดามัน พบถึง 9 ตัว ส่วนจำนวนตัวอย่างวาฬที่พบจากฝั่งอ่าวไทย พบ 3 ตัว และวาฬที่พบจากฝั่งอันดามัน พบ 4 ตัว และชนิดของวาฬโลมาที่พบก็แตกต่างกันอีกด้วย

ในกรณีของ พะยูนที่พบจากฝั่งอ่าวไทย มีปริมาณการสะสมปรอท แคดเมียม และตะกั่วสูงกว่าฝั่งอันดามันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งการที่พบว่า พะยูนจากฝั่งทะเลอ่าวไทยมีระดับการสะสมโลหะหนักสูงกว่าพะยูนที่พบจากฝั่งทะเลอันดามัน อาจเนื่องมาจาก สิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัย และอาหาร โดย บริเวณอ่าวไทย เป็นแหล่งที่ มีการปล่อยมลสารลงสู่ทะเล มีแหล่งนิคมอุตสาหกรรม เช่น ที่ จังหวัดระยอง อำเภอมาบตาพุด ซึ่งน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะมีปริมาณการปล่อยน้ำเสีย และมีโลหะหนักอื่น ๆ เช่น ปรอทปนเปื้อน และยังมีแท่นขุดเจาะน้ำมันหลายแห่ง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก๊าซธรรมชาติบางแหล่งในโลกพบว่ามีไอของปรอท และสารประกอบเจือปนมาด้วย เช่น ที่โปแลนด์ รัสเซีย อัลจีเรีย และอินโดนีเซีย เป็นต้น โดยเฉพาะก๊าซธรรมชาติในแหล่งอรุณ ประเทศอินโดนีเซีย พบว่ามีปริมาณสูงถึง 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มารยาท วีรวิกรม, 2541) ซึ่งในกระบวนการผลิตอาจมีความเป็นไปได้ที่จะมีการรั่วไหลของปรอท ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิต สอดคล้องกับการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ ที่ทำการตรวจวัดปรอทในน้ำทะเลบริเวณนอกฝั่งทะเลกลางอ่าวไทย ในปี 2538 – 2541 พบว่ามีปริมาณปรอทรวมอยู่ในช่วง $< 0.01 – 0.69$ ไมโครกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)
ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยทำให้เป็นเช่นนั้น ในขณะที่ทะเลอันดามันซึ่งเป็นทะเลเปิด จึงมีแหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนน้อยกว่า

การสะสมโลหะหนักผ่านทางห่วงโซ่อาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล

1. การสะสมปรอทผ่านทางห่วงโซ่อาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า รูปแบบการสะสมโลหะหนักผ่านทางห่วงโซ่อาหารเห็นได้ชัดเจนใน ปรอท สอดคล้องกับการศึกษาของ (David & Philip, 1992) ที่พบว่าปรอทสามารถสะสมผ่านทางห่วงโซ่อาหารและจะมีความเป็นพิษสูงขึ้น (biomagnification) ในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระดับการกินที่สูงขึ้นไป และจากการศึกษาของ โรดิทิ และคณะ (Roditi et al., 2003) ทำการศึกษาระดับของโลหะหนักในโลมาปากขวด และโลมาลายแถบ จากประเทศอิสราเอล พบว่า ระดับปรอทพบสะสมสูงที่สุดในตับ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอายุ และพบว่า ปรอทมีความสามารถในการสะสมทาง

ชีวภาพ (bioaccumulation) และเพิ่มขยายทางชีวภาพตามห่วงโซ่อาหาร (biomagnification) และสูงขึ้นตามอายุ (Andre et al., 1990; Roditi et al., 2003)

นอกจากนี้อาหารที่พะยูนกิน ซึ่งก็คือ หญ้าทะเล ก็เป็นปัจจัยหนึ่งในการสะสมปรอทผ่านทางห่วงโซ่อาหารสู่พะยูน จากการศึกษาของ ณวนาฎ ศุขสุนทร (2547) พบว่า ระดับการสะสมปรอทในหญ้าทะเล 3 ชนิด คือ *Enhalus acroides, Cymodocea serrulata* และ *Halophila ovalis* ซึ่งเก็บจากอำเภอสัตหีบ จังหวัดระยอง โดยพบว่า มีระดับการสะสมปรอทอยู่ในช่วง 0.015 – 0.07 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง แต่ยังไม่มีรายงานการศึกษาในลักษณะเดียวกันในฝั่งทะเลอันดามัน พะยูนจะกินหญ้าทะเลประมาณ 10 % ของน้ำหนักตัว (กาญจนา อดุลยานุโกศล, 2545) ดังนั้น ถ้าหญ้าทะเล มีระดับปรอท 0.015 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง หรือ ประมาณ 0.3 นาโนกรัม ต่อกรัม น้ำหนักเปียก และถ้าพะยูนที่มีขนาด ประมาณ 180 กิโลกรัม กินหญ้าทะเลเข้าไปจะได้รับปรอทผ่านทางการกินประมาณ 1.95 มิลลิกรัมต่อปี ซึ่งพะยูนที่มีความยาวประมาณ 200 เซนติเมตร จะมีอายุโดยประมาณ 3 – 5 ปี แอดดูยานุโคโซล และคณะ (Adulyanukosol et al., 1998) จะได้รับปรอทประมาณ 0.05 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งค่าที่ประมาณได้นี้ มีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณการสะสมปรอทในพะยูน รหัส DU 098 และ DU 060

ระดับการสะสมปรอทในพะยูนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะการสะสมที่พบสูงกว่าในเพศเมีย สูงกว่า เพศผู้ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) และในพะยูนที่มีอายุมากกว่า ซึ่งแสดง โดยน้ำหนัก และความยาวที่มากกว่า จะมีระดับการสะสมปรอทสูงกว่า พะยูนที่มีอายุน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Parsons (1999) ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของโลมา Indopacific Humpback และ Finless Porpoise จากประเทศฮ่องกง พบว่า ปริมาณปรอทพบสูงสุดในตับ (906 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) ของตัวอย่างที่มีอายุมากที่สุด (ความยาวมากกว่า 250 เซนติเมตร) และจากการศึกษาของ อิทาโน และคณะ (Itano et al., 1984) ที่ทำการศึกษาหาปริมาณสารปรอทใน *Stenella coeruleoalba* ที่มีทั้งโลมาวัยอ่อน และตัวเต็มวัยในประเทศญี่ปุ่น พบว่า ระดับการสะสมของปรอทในอวัยวะต่าง ๆ คือ ตับ ไต ม้ามและกล้ามเนื้อมีปริมาณต่างกัน โดยในตับ ของวัยอ่อน พบว่ามีระดับการสะสมสูงที่สุด คือ 5.81 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในขณะที่ ตัวเต็มวัยมีระดับการสะสมปรอทเท่ากับ 205 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และ Itano และ คณะ พบว่า ระดับการสะสมของปรอทในอวัยวะต่าง ๆ จะเพิ่มขึ้นตามอายุ และค่าจะคงที่เมื่ออายุประมาณ 20 – 25 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ แอนดริว และคณะ(Andre et al., 1990) ที่กล่าวว่า การสะสมของโลหะหนักมีผลมาจากอายุ ความยาว น้ำหนัก เพศ และบริเวณที่สัตว์อยู่อาศัย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้ ที่เพศเมียมีระดับการสะสมปรอทสูงกว่าเพศผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณเดียวกัน และในพะยูนที่มีน้ำหนัก

และความยาวมากกว่า เช่น DU 088 (235 เซนติเมตร, 228 กิโลกรัม) มีปริมาณการสะสมปรอทสูงกว่าพะยูนที่มีน้ำหนักและความยาวน้อยกว่า เช่น พะยูน รหัส DU 098 (214 เซนติเมตร, 180 กิโลกรัม)

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ ที่พบปริมาณปรอทในวาฬกลุ่ม Toothed whale มีค่าสูงมาก ในขณะที่วาฬในกลุ่ม Baleen whale ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ คือ วาฬบรูด้า มีระดับการสะสม ปรอทในดับต่ำกว่ามาก โดยเมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่า วาฬในกลุ่มบาลีนเวล ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ คือวาฬบรูด้า มีระดับการสะสมปรอทต่ำกว่า วาฬในกลุ่มทูธเวล ซึ่งคือ วาฬอีก 5 ตัวที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และเนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับระดับการสะสมโลหะหนักในวาฬกลุ่ม baleen whale มีอยู่น้อยมาก จึงทำให้มีข้อมูลในการเปรียบเทียบน้อย โดยพบว่า เคมเปอร์ และคณะ (Kemper et al., 1994) ทำการศึกษาการสะสมปรอทใน Pygmy right whale ซึ่งเป็นวาฬในกลุ่มในกลุ่ม baleen whale มีค่าเท่ากับ 0.05 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบในวาฬบรูด้า และ แซนพีรา และคณะ (Sanpera et al., 1991) ทำการศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของปรอทใน North Atlantic Fin whales จำนวน 36 ตัว โดยทำการศึกษาในกล้ามเนื้อ ตับ และไต พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 263 – 5416 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

จากผลการศึกษาการสะสมปรอทในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลทั้ง 3 ชนิด พบว่า วาฬจะมีระดับการสะสมปรอทสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) รองลงมาคือ โลมา และพะยูน จะมีระดับการสะสมปรอทต่ำที่สุด และในเพศเมียจะมีการสะสมปรอทสูงกว่า เพศผู้ และในตัวที่มีอายุมากกว่าจะมีการสะสมปรอทสูงกว่าตัวที่อายุน้อยกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะ ความแตกต่างของชนิดของสัตว์ อายุ ระดับการปนเปื้อนของปรอทในที่อยู่อาศัยและอาหาร เช่น พะยูน ถึงแม้จะเป็นผู้บริโภคลำดับสูงสุดที่กินหญ้าทะเลเป็นอาหาร แต่มีห่วงโซ่อาหารที่สั้นกว่า ของโลมาและวาฬที่เป็นผู้บริโภคลำดับสูงสุดเช่นกันแต่มีลักษณะห่วงโซ่อาหารที่ยาวกว่า เนื่องจากอาหารของโลมาและวาฬเป็นพวกปลาผิวน้ำ, หมึก มอร์ริส และคณะ (Morris et al., 1989) และปรอทมีลักษณะที่เพิ่มขยายทางชีวภาพ (biomagnification) ดังนั้น เมื่อมาถึงผู้บริโภคลำดับสูงสุด ซึ่งก็คือสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลเหล่านี้ ก็จะทำให้มีการสะสมปรอทในปริมาณที่สูงกว่าผู้บริโภคลำดับล่าง ๆ ของห่วงโซ่อาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ แซนพีร่า และคณะ (Sanpera et al., 1993) ที่ทำการศึกษาระดับของปรอทในเนื้อเยื่อของ กลุ่ม Baleen whale หรือ วาฬที่ใช้แผงกรองในการดักจับอาหาร กับกลุ่มวาฬที่มีฟัน (tooth whale) และพบว่า ความแตกต่างของปริมาณปรอท ในวาฬทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน เนื่องจาก วาฬในกลุ่มที่มีฟัน มีลักษณะการกินอาหารที่ซับซ้อนมากกว่า กลุ่มบาลีนเวล หรือวาฬที่ใช้แผงกรองในการกินอาหาร ซึ่งกินเฉพาะ สัตว์น้ำขนาดเล็ก และ เคยเท่านั้น

นอกจากนี้ โฟรเดลโล และคณะ (Frodello et al., 2000) กล่าวว่า การกินอาหาร ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล มีผลเกี่ยวข้องกับระดับของโลหะหนักที่สูงในตับ และโดยทั่วไป เมื่อ โลหะที่เป็นพิษ เช่น ปรอท เข้าสู่ร่างกาย ก็จะถูกขนส่งโดยระบบเลือด ไปสู่อวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ซึ่งตับและไต เป็นอวัยวะหลักของการเมตาบอลิซึม ลดความเป็นพิษ และเก็บสะสม ดังนั้นโลหะเช่น ปรอท ก็จะถูกขนส่งไปที่อวัยวะเหล่านี้ (Walker et al., 2001; Augier et al., 1993)

2. การสะสมแคดเมียมผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ส่วนการสะสมแคดเมียม ผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ในการศึกษาครั้งนี้มีรูปแบบการสะสมไม่ชัดเจนนักในกรณีของ การเป็น Biomagnification ของแคดเมียมในโลมา เช่น แคดเมียมที่พบสะสมสูงในพะยูน ซึ่งมีลำดับการกินอาหารที่สั้นกว่าโลมาและวาฬ แต่กลับพบว่า โลมา มีระดับการสะสมแคดเมียมต่ำกว่า พะยูน ส่วนวาฬมีระดับการสะสมแคดเมียมสูงกว่าโลมาและพะยูน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการสะสมแคดเมียมของวาฬที่พบสูงสุดในครั้งนี้ สูงเกินผิดปกติ

นอกจากนี้ การสะสมแคดเมียมผ่านทางห่วงโซ่อาหารแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการสะสมแคดเมียมคือ ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ กับปริมาณแคดเมียม โดย โรดิทิ และคณะ (Roditi et al., 2003) ได้ทำการศึกษาระดับการสะสมโลหะหนักในโลมาปากขวดและโลมาลายแถบจากชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศอิสราเอล พบว่า ระดับแคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 – 30 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งพบว่า โลมาลายแถบมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในไตสูงกว่าโลมาปากขวด และในตัวที่มีอายุมากกว่าหรือ มีความยาวมากกว่า จะมีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูงกว่า ตัวที่มีอายุน้อยกว่า หรือ มีความยาวสั้นกว่า

การสะสมของโลหะหนักในโลมา มีความสัมพันธ์กับ อายุ ความยาว น้ำหนัก เพศ และบริเวณทะเลที่อยู่อาศัย (Andre et al., 1990; Itano et al., 1984; Cardellichio et al., 2000) โดย Andre et al., (1991) กล่าวว่า ความยาวของโลมาลายแถบจะเพิ่มขึ้นจนอายุ 12 ปี แต่ปริมาณโลหะหนักจะสะสมเพิ่มขึ้นในร่างกายที่มีความยาวคงที่ สอดคล้องกับการศึกษาของ โมนาคิ และคณะ (Monaci et al., 1998) ที่กล่าวว่า ระดับของแคดเมียมในโลมามีผลมาจากอาหารซึ่งผันแปรตามสิ่งแวดล้อมและความสามารถในการสะสมแคดเมียมของสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารชนิดนั้น ๆ เช่น หมึก ซึ่งเป็นอาหารสำคัญของโลมา และมีความสามารถในการสะสมแคดเมียมได้ดี (Honda et al., 1983) และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการสะสมแคดเมียมในโลมาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดอื่น ๆ (Caurant and Amiard., 1995; Sanpera et al., 1993) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ บัสทามานท์ และคณะ (Bustamante et al., 1998) ที่ทำการศึกษาพบว่า หมึก เป็นตัวถ่ายทอดแคดเมียมสู่ผู้บริโภคลำดับสูงสุดในทะเล และหมึกสามารถสะสมแคดเมียมในร่างกายและมีผลให้พบว่า สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น นกทะเล โลมา และวาฬ มีปริมาณการสะสมแคดเมียมอยู่ในระดับ

ที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ คัวแรนท์ และคณะ (Caurant et al., 1995) ที่กล่าวว่า วาฬในกลุ่มวาฬนำร่อง หรือ *Globicephalas sp.* มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมได้ดี และอาหารหลักของวาฬชนิดนี้ก็คือ หมึก ซึ่งถือว่า เป็นสัตว์ที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมได้เป็นอย่างดี (Honda & Tatsukawa, 1983) จึงทำให้ค่าปริมาณการสะสมแคดเมียมในวาฬชนิดนี้ มีค่าสูงมาก โดยเฉพาะค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

จากผลการศึกษาการสะสมแคดเมียมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้ง 3 ชนิด พบว่า วาฬและพะยูนมีแนวโน้มการสะสมแคดเมียมในปริมาณที่สูง และโลมามีปริมาณการสะสมแคดเมียมไม่สูงมากนัก เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่า พะยูนและวาฬมีระดับการสะสมแคดเมียมสูงกว่าโลมาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อาหารที่สัตว์เหล่านี้กิน ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น เช่น วาฬ ซึ่งมีอาหารหลักคือ หมึก โดยเฉพาะวาฬในกลุ่ม วาฬนำร่อง หรือ *Globicephalas sp.* และหมึก เป็นสัตว์ที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมได้ดี แต่ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่ม Baleen whale กับ Toothed whale ก็พบว่า มีเฉพาะวาฬในกลุ่มวาฬนำร่อง ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Toothed whale เท่านั้นที่มีระดับการสะสมแคดเมียมสูง ส่วนวาฬบรูด้าที่อยู่ในกลุ่ม Baleen whale กลับพบว่ามีระดับการสะสมแคดเมียมต่ำมากเนื่องจากอาหารของวาฬ บรูด้า คือ เคย (krills) ไม่ใช้หมึก นอกจากนี้ ในกรณีของพะยูน ที่มีระดับการสะสมแคดเมียมสูง อาจเนื่องมาจากอาหารที่กินเข้าไปคือ หญ้าทะเลมีการสะสมแคดเมียมในระดับหนึ่งและสามารถถูกถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหารสู่พะยูน

3. การสะสมตะกั่วผ่านทางห่วงโซ่อาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล จากผลการศึกษาในครั้งนี้ รูปแบบการสะสมตะกั่วผ่านทางห่วงโซ่อาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากปริมาณการสะสมตะกั่วในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในครั้งนี้ มีปริมาณที่ใกล้เคียงกันและไม่สูงมากนักแต่จะมีพบสูงที่พะยูนจากฝั่งทะเลอ่าวไทย ซึ่งสอดคล้องกับหลาย ๆ การศึกษาที่ระดับตะกั่วในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลมีค่าไม่สูงมากนัก (Beck, 1997; Parsons, 1999) และ Law et al. (1991) กล่าวว่า ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต ระดับตะกั่วที่สูงขึ้นในสิ่งมีชีวิตน่าจะเกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตชนิดนั้นอาศัยอยู่ใกล้กับแหล่งที่มีการปล่อยมลสารจากกิจกรรมของมนุษย์ และจากการผลการศึกษาน่าจะมีความเป็นไปได้ว่า แหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลที่ใช้ใน การศึกษาครั้งนี้ ยังมีปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมไม่สูงมากนัก ทำให้ปริมาณตะกั่วที่พบ มีค่าไม่สูงมากนักด้วย ยกเว้น DU 078 ที่เป็นพะยูนที่มาจากฝั่งอ่าวไทย คือ จังหวัดชุมพร และจากการศึกษาของ Parsons (1999) พบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างอายุ และระดับการสะสมของตะกั่ว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ฮอนด้า และคณะ (Honda et al., 1983) ที่ทำการศึกษาในโลมาลายแถบพบว่าปริมาณการสะสม ของตะกั่วจะเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็วในลูกโลมา ซึ่งเป็นไปได้ว่า มีการส่งผ่านตะกั่วจากแม่สู่ลูกในระหว่างช่วงเวลาการให้นม แต่จากผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้ โลมาที่เป็นเพศเมียมีระดับการสะสมตะกั่วไม่สูงมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบกับโลมาเพศผู้ พบว่า โลมาเพศผู้มีระดับการสะสมตะกั่วที่สูงกว่าโลมาเพศเมีย แต่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติกลับไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทั้งสองเพศ ($P = 0.368$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากชนิดของโลมา ลักษณะการดำรงชีวิต เช่น อาศัยอยู่บริเวณใกล้ชายฝั่ง หรือ นอกฝั่งออกไป ลักษณะการกินอาหาร และที่สำคัญจำนวนข้อมูลมีน้อยเกินไป เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ มีตัวอย่าง โลมาที่เป็นเพศเมียเพียงแค่ 2 ตัว เท่านั้น

วาฬที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าการสะสมตะกั่วต่ำกว่าที่พบปนเปื้อนในพะยูน และโลมาที่พบจากการศึกษาเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่จะพบตะกั่วปนเปื้อนในปริมาณสูงในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล นั้น มักจะต้องพบจากบริเวณที่สัตว์เหล่านั้นอยู่อาศัยซึ่งต้องมีการปนเปื้อนตะกั่วในปริมาณสูงด้วย เช่น จากแหล่งอุตสาหกรรม หรือ ใกล้แหล่งที่อยู่อาศัยของมนุษย์ (anthropogenic) (Kemper et al., 1994; Law et al., 1991) ซึ่งวาฬที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นวาฬที่มีการดำรงชีวิตในบริเวณที่ห่างฝั่งออกไป จึงมีโอกาสได้รับการสะสมของตะกั่วจากบริเวณชายฝั่งน้อยกว่าสัตว์ชนิดอื่น เช่น พะยูนที่มีบริเวณที่อยู่อาศัยใกล้ฝั่งมากกว่า

4. การสะสมสังกะสีผ่านทางห่วงโซ่อาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล จากผลการศึกษา พบว่ารูปแบบการสะสมสังกะสีผ่านทางห่วงโซ่อาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลไม่ชัดเจนนัก ระดับการสะสมสังกะสีในพะยูน อยู่ในระดับที่สูงการที่พบว่าปริมาณสังกะสีที่สะสมในพะยูนมีค่าสูง สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจาก สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นในสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีผลต่อการทำงานในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตามการดูดซับของสังกะสีในลำไส้ของพะยูนมีความเป็นไปได้ว่าอาจมีผลมาจากระดับของทองแดงในหญ้าทะเลซึ่งเป็นอาหารของพะยูนโดยปริมาณสังกะสีที่สูงผิดปกติจะเกิดขึ้นได้ ถ้า ระดับทองแดงในอาหารต่ำ เนื่องจากเกิดการแข่งขันระหว่างโลหะหนักในการจับตัวกับโปรตีนภายในลำไส้ ซึ่งสังกะสีและแคดเมียม มีปฏิกริยาต่อต้านกันกับ ทองแดงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ณวนาฏ ศุขสุนทร (2547) ที่ทำการศึกษา ระดับการสะสมโลหะหนักในหญ้าทะเล 3 ชนิด คือ *Enhalus acroides, Cymodocea serrulata* และ *Halophila ovalis* ซึ่งเก็บจากอำเภอสัตหีบ จังหวัดระยอง พบว่า ระดับการสะสมทองแดง มีค่าอยู่ในช่วง 0.37 – 4.82 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่ระดับ การสะสมสังกะสีในพะยูนจากฝั่งทะเลอ่าวไทย มีค่าสูงเนื่องจาก ปริมาณการสะสมทองแดงใน หญ้าทะเลซึ่งเป็นอาหารของหญ้าทะเลมีค่าไม่สูงมากนัก และจากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสีในพะยูนที่พบจากทั้ง 2 พื้นที่ มีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการศึกษาการสะสมสังกะสีในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้ง 3 ชนิด พบว่า ระดับการสะสมสังกะสีในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้ง 3 ชนิด อยู่ในช่วงใกล้กัน โดยพะยูนมีการสะสมสังกะสีในปริมาณที่สูงใกล้กัน ทั้ง 9 ตัว ส่วนวาฬและโลมามีปริมาณการสะสมสังกะสีไม่สูงมากนัก แต่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่าปริมาณการสะสมสังกะสีของพะยูน และวาฬ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างวาฬกับโลมา ($P = 0.099$) อาจเป็นไปได้ว่า เนื่องจากสังกะสี จัดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย รูปแบบและปริมาณการสะสมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเลจึงมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่อย่างไรก็ตามไม่พบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสีเพิ่มขึ้นตามอายุของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ มาร์โคเวคไคโอ และคณะ (Marcovecchio et al., 1994) ที่พบว่า การสะสมสังกะสีไม่มีความสัมพันธ์กับอายุของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล และรูปแบบการเพิ่มขยายทางชีวภาพของสังกะสีผ่านทางห่วงโซ่อาหารก็ไม่ชัดเจน

สรุปผลการศึกษา

1. ตับและไตเป็นอวัยวะหลักของพะยูน, โลมาและวาฬในการสะสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด คือ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี
2. วาฬมีการสะสมปรอทและสังกะสีสูงที่สุด
3. พะยูนมีการสะสมแคดเมียมและตะกั่วสูงที่สุด
4. ระดับการสะสมโลหะหนักในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้ง 3 ชนิด ที่พบสูงสุดในการศึกษาครั้งนี้ คือ แคดเมียม ปรอท สังกะสี และตะกั่ว ตามลำดับ
5. ปริมาณการสะสมปรอทที่พบในฝั่งอันดามัน สูงกว่า ฝั่งอ่าวไทย
6. ปริมาณการสะสมแคดเมียมและตะกั่ว ที่พบในฝั่งอันดามัน สูงกว่า ฝั่งอ่าวไทย
7. ปริมาณการสะสมสังกะสีที่พบในฝั่งอ่าวไทยและฝั่งอันดามันไม่มีความแตกต่างกัน