บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการศึกษาการหาชนิดของสารหนูในตัวอย่างอาหารหมักจากสัตว์ทะเล มีดังนี้

1. ผลศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการตรวจวัดสารหนูด้วย HG-AAS

Calibration range ของสารหนูที่สามารถตรวจวัดได้โดยใช้HG-AAS ที่มีความเข้มข้นจาก 0-50 ไมโครกรัมต่อลิตร วิธีนี้สามารถวิเคราะห์สารหนูที่ได้กราฟเป็นเส้นตรง มีค่า R^2= 0.9978 Limit of Detection (LOD) ของสารหนูที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่อง HG-AAS เท่ากับ 1.79 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความถูกต้องของวิธีที่ใช้หาปริมาณสารหนูรวมโดยนำตัวอย่าง CRM DORM-2 (Dogfish muscle) ค่า certified สารหนูเท่ากับ 18 ±1.1 mg/kg มาทำการวิเคราะห์ได้ปริมาณสารหนูรวม โดยใช้การย่อยด้วยกรด HNO_3 และวัดปริมาณสารหนูด้วย HG-AAS ตรวจพบสารหนู 17.9 ± 0.9 mg/kg ความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 5.23 % คิดเป็นสารหนูอินทรีย์ 90.5%

2. ผลของการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวม ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเลโดยใช้ HG-AAS

จากวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารหนูในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย พบว่า

การศึกษาปริมาณสารหนูในอาหารหมักจากทะเลพบในช่วง 0.9-8.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยเป็นน้ำปลา 1.1-2.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) กะปิกุ้ง 2.7-6.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ไตปลา 2.9-8.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) น้ำบูดู 0.9-4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) พบมากในไตปลาที่ทำจากเครื่องในปลาที่เป็นปลาใหญ่ ซึ่งเป็นแหล่งสะสมสารพิษในสัตว์ ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในน้ำปลา และน้ำบูดู

มีการสะสมปริมาณของสารหนูในกุ้งมากกว่าในปลากะตัก ทั้งนี้เพราะกะปิมีลักษณะเป็นสารเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำปลาที่มีน้ำประกอบเป็นส่วนใหญ่ทำให้ปริมาณสารหนูในน้ำปลาพบต่ำกว่าในกะปิ

จากวัตถุประสงค์เพื่อใช้อาหารทะเลเป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนของสารหนูในทะเล พบว่า

เมื่อมองในภาพรวมจากแหล่งที่มาของตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ใช้ในกระบวนการหมัก พบว่าปริมาณสารหนูรวมในแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ระยอง สมุทรปราการ และ สมุทรสาคร เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพื้นที่ทั่วไป หรือแหล่งธรรมชาติห่างไกลโรงงานอุตสาหกรรม เช่น พัทลุง ปัตตานี และ นราธิวาส พบว่าปริมาณสารหนูไม่ต่างกันมาก ยกเว้นกะปิระยองตัวอย่างเดียว ที่มีปริมาณสารหนูค่อนข้างสูง เนื่องจาก ชายฝั่งทะเลของจังหวัดระยอง เป็นแหล่งอุตสาหกรรมหนัก ส่วนจังหวัดนครศรีธรรมราชมีปริมาณสารหนูรวมในไตปลาสูง สาเหตุอาจเนื่องมาจากจังหวัดนครศรีธรรมราช ในอดีตมีปัญหาการแพร่กระจายของสารหนู จากการทำเหมืองแร่ดีบุก ทำให้การสะสมโลหะมากจากสัตว์ทะเลที่อยู่ในแหล่งนั้น ซึ่งที่กล่าวมาข้างต้นเป็นแค่การสัณนิษฐาน แต่ไม่สามารถใช้อาหารทะเล เช่น ปลา เป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนของสารหนูในทะเลได้ เนื่องจากพบว่าปลาอาศัยไม่เป็นหลักแหล่ง เคลื่อนที่ตลอดเวลา ดังนั้น ถ้าจะใช้อาหารทะเลเป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนของสารหนูในทะเล ควรใช้สัตว์ทะเล เช่น หอย เพราะในทางนิเวศวิทยาของหอยจะอาศัยอยู่ในบริเวณที่จำกัด กินอาหารที่อยู่ในชั้นหน้าดิน ซึ่งอาจเป็นแหล่งสะสมของโลหะหนัก จึงสามารถระบุได้ว่า มีปริมาณสารหนูในพื้นที่ทะเลแหล่งนั้นจริง

3. ผลของการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ และสารหนูอินทรีย์ ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเลโดยใช้ เทคนิคการสกัด และตรวจปริมาณสารหนูโดยใช้ HG-AAS

จากวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูที่เป็นอันตราย และสารหนูที่ไม่เป็นอันตราย พบว่า

ปริมาณสารหนูที่ไม่เป็นอันตราย(สารหนูอินทรีย์)ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเล พบอยู่ในช่วง 0.9-7.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) คิดเป็น 79-97.2 % ของสารหนูทั้งหมด และปริมาณสารหนูอันตราย(สารหนูอนินทรีย์) พบอยู่ในช่วง 0.1-0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยพบว่าตัวอย่างที่มาจากแหล่งอุตสาหกรรมมีสารหนูอนินทรีย์ปริมาณสูง โดยพบอยู่ในช่วง 0.4-0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

ซึ่งสารประกอบของสารหนูที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก ประกอบด้วย AsB , TMA^+ , DMA , MA และAs-sugXI ซึ่งสารประกอบส่วนใหญ่เป็น AsB ซึ่งไม่เป็นอันตราย และสารหนูอินทรีย์รูปที่อันตรายพบส่วนน้อย เช่น TMA^+ , DMA , MA ส่วนสารหนูอนินทรีย์พบมีปริมาณน้อย

มากๆ จนไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีนี้ จึงสามารถทำให้สรุปได้ว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคอาหารทะเลหมัก

เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานการยอมรับปริมาณสารหนูอนินทรีย์ที่ยอมให้มีได้สูงสุดในตัวอย่างอาหารทะเลที่กำหนดไว้ที่ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) พบว่าอาหารทะเลหมักมีค่าสารหนูรวมคิดเป็น 0.3-3.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) หรือ สารหนูอนินทรีย์ 0.04-0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ซึ่งถ้าพิจารณาสารหนูรวม พบว่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนด แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะรูปสารหนูอนินทรีย์ พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ความปลอดภัยของผู้บริโภคอาหารทะเลหมัก เมื่อนำมาคำนวณโดยใช้ การบริโภคน้ำปลาเป็นตัวอย่าง พบว่าปริมาณสารหนูที่รับเข้าสู่ร่างกายโดยการบริโภคน้ำปลาคิดเป็น 1.93 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อสัปดาห์ นับว่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ที่ 15 ไมโครกรัมของสารหนูอนินทรีย์ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักร่างกายต่อสัปดาห์ที่กำหนดโดย WHO มาก ดังนั้นการบริโภคอาหารทะเลหมักมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้สารหนูที่อยู่ในรูปสารหนูอินทรีย์ที่พบในอาหารทะเลเป็นส่วนใหญ่ (>70%) จะถูกขับออกทางปัสสาวะหลังจากที่เข้าสู่ร่างกาย จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ยืนยันได้ว่าการบริโภคอาหารทะเลหมักมีความปลอดภัย

4. ผลการเปลี่ยนแปลงของสารหนูรวม ในกระบวนการผลิตน้ำปลา (จากตัวอย่างส่วนที่เป็นของเหลวที่ออกจากตัวปลา).

ปริมาณของสารหนูในน้ำปลา 7 วันแรก สารหนูจะถูกสกัดออกจากปลาน้อยกว่าระยะอื่นๆ หลังจากนั้น 30 วัน ปลาจะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการหมักในธรรมชาติ สารหนูจะถูกสกัดออกสู่ของเหลวมากขึ้นโดยพบมากที่สุดที่ 3.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นความเข้มข้นลดลง และค่อนข้างคงที่ ที่ 2.35-2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเนื่องมาจากสารหนูบางส่วนเกิดการตกตะกอนกับเกลืออยู่กับภาชนะ และเกิดสมดุลย์ของสารหนูในตัวปลากับสารหนูในน้ำปลาทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงการหมัก จาก 150-240 วัน ซึ่งเป็นในระยะที่บรรจุขวดออกจำหน่ายในท้องตลาด และตรวจพบเพียง 2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในกากปลาพบสารหนู 2.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งกากปลาจะนำไปตากแห้งและขายเป็นอาหารสัตว์

เมื่อนำน้ำปลาระยะ 7วัน 30วัน และ 150วัน กรองผ่านกระดาษกรอง นำส่วนใสไปย่อย (digest) หาปริมาณสารหนูรวม พบปริมาณสารหนูในช่วง 0.3-0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสารหนูนี้เป็น สารหนูที่ละลายน้ำ

5. ผลการหาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำปลา(เฉพาะส่วนที่เป็นน้ำใส)

ปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในระยะต่างๆของกระบวนการหมัก มีค่าในช่วง 0.27-0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และสารหนูอนินทรีย์มีปริมาณมากที่สุดอยู่ในน้ำปลาระยะ240 วัน(ส่วนกาก)พบว่าสารหนูอนินทรีย์ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระยะอื่นๆ แสดงว่าสารหนูอนินทรีย์มีแนวโน้มจะเหลืออยู่ในกากปลามากกว่า

6. การเปลี่ยนแปลงของสารหนูอนินทรีย์ ในกระบวนการผลิตไตปลา(เก็บตัวอย่างเฉพาะส่วนน้ำที่ใช้บริโภคมาทำการสกัด)

กระบวนการหมักไตปลาที่ระยะ 20 วัน ถึง 90 วัน พบว่าปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในระยะเริ่มแรกของกระบวนการหมัก มีค่าสูง เท่ากับ 0.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) สารหนูอนินทรีย์ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจนถึงจุดๆหนึ่งจะคงที่ (ที่80-90วัน) ซึ่งจุดนี้สัณนิษฐานว่าเกิดการเมตาบอลิซึมโดยจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก อาจเปลี่ยนสารหนูอนินทรีย์ไปเป็นสารหนูอินทรีย์ หรืออาจเกิดการตกตะกอนร่วมกับเกลือเหมือนในกระบวนการหมักน้ำปลา

ระยะเวลาในกระบวนการหมักไตปลา มีผลต่อปริมาณสารหนูอนินทรีย์ ปกติการหมักไตปลาจะสามารถนำไตปลามาปรุงอาหารได้ตั้งแต่ 20 วันแรกของกระบวนการหมัก ซึ่งเป็นช่วงที่สารหนูอนินทรีย์ สูงที่สุดในกระบวนการหมัก จึงไม่ควรนำมาบริโภค ดังนั้นการหมักไตปลาเก็บไว้นานขึ้น และนำมาใช้บริโภคจะมีความปลอดภัยมากกว่า

7. ผลการศึกษาการแยกสารประกอบของสารหนูในอาหารหมักจากสัตว์ทะเลโดยใช้เทคนิคการแยกด้วยโครมาโตกราฟี

การหาสารประกอบของสารหนูโดย HPLC-ICP-MS ในตัวอย่างอาหารหมักจากสัตว์ทะเล พบว่า ประกอบด้วย AsB , TMA^+ , DMA , MA และAs-sugXI ซึ่งสารประกอบส่วนใหญ่เป็น AsB เมื่อนำน้ำปลาที่ผ่านการหมักในระยะต่างๆมาเปรียบเทียบดูปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบสารหนู พบว่า As-sugXI จะเริ่มลดลง ในขณะที่ AsB จะค่อยๆเพิ่มขึ้น เป็นไปได้ว่ากระบวนการหมักน้ำปลาที่มีจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้องสามารถเปลี่ยน As-sugXI เป็น AsB

5.2 ข้อเสนอแนะ

- สามารถนำข้อมูลพื้นฐานไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเล เช่น น้ำปลา น้ำบูดู และไตปลา ให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยปรับปรุงระบบการกรอง ระยะเวลาในการหมัก

- ควรรวบรวมข้อมูลพื้นฐานการปนเปื้อนสารหนูอินทรีย์ และสารหนูอนินทรีย์โลหะหนักอื่น เช่น Cd , Pb จากอาหารหมักหลายแหล่งเพื่อให้เป็นข้อมูลของประเทศ

- วิธีในการปรุงอาหาร ไม่ควรปรุงที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส โดยวิธี อบ ทอด ย่าง อาจจะทำให้สารหนูอินทรีย์ ซึ่งอยู่ในรูป AsB ส่วนใหญ่ในอาหารทะเล เปลี่ยนรูปไปเป็น สารหนูอินทรีย์ที่อันตรายได้ คือ TMAO และ TMA^{+} อย่างไรก็ตามในความเป็นจริง สารหนูที่รับเข้าสู่ร่างกายอาจมาจากแหล่งอื่นๆได้อีก โดยแหล่งที่พบมากคือ อาหารทะเล ผู้บริโภคจึงควรเลือกรับประทานอย่างถูกต้อง บริโภคอาหารทะเลสลับกับอาหารแหล่งอื่นด้วย

- ประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูของร่างกายมนุษย์ พบว่า สารหนูที่อยู่ในรูปสารหนูอินทรีย์ที่พบในอาหารทะเลเป็นส่วนใหญ่ (>70%) จะถูกขับออกทางปัสสาวะหลังจากที่เข้าสู่ร่างกาย จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ยืนยันได้ว่าการบริโภคอาหารทะเลหมักมีความปลอดภัย