บทที่4

ผลการศึกษาและวิจารย์ผล

การศึกษาปริมาณของสารหนูในอาหารหมักจากสัตว์ทะเล แสดงผลการวิเคราะห์ได้ตามลำดับดังนี้

1. ผลศึกษา pH และปริมาณน้ำในอาหารหมัก
2. ผลศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์โดยใช้ HG-AAS ดังนี้ : Accuracy , Precision , LOD (Limit of Detection)
3. ผลของการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวม ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเล โดยใช้ HG-AAS
4. ผลของการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ และสารหนูอินทรีย์ ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเลโดยใช้ เทคนิคการสกัด และตรวจปริมาณสารหนูโดยใช้ HG-AAS
5. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหนูในกระบวนการหมักระยะต่างๆในน้ำปลา และไตปลา
6. ผลการศึกษาสารประกอบของสารหนูในอาหารหมักจากสัตว์ทะเลโดยใช้ HPLC-ICP-MS

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทั่วไปของอาหารหมัก pH และ %น้ำ

ในการศึกษานี้ เป็นการศึกษาลักษณะทั่วไปของอาหารหมักชนิดต่างๆ โดยหาปริมาณน้ำ (%) และ pH ผลจากการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ลักษณะของอาหารหมัก การหา% น้ำ และ pH ของอาหารหมัก

ตัวอย่าง	ลักษณะ	%น้ำ	pH
น้ำปลานครศรีธรรมราช	ของเหลวใสสีน้ำตาลแดง	68.90	6.0
น้ำปลาระยอง	ของเหลวใสสีน้ำตาลแดง	69.55	5.7
กะปีกุ้งระยอง	สารเปียกเนื้อละเอียดสีน้ำตาลอมแดง	47.52	7.2
กะปีกุ้งโรงงานที่ระยอง	สารเปียกเนื้อละเอียดสีน้ำตาล	44.32	7.0
กะปีกุ้งสมุทรปราการ	สารเปียกเนื้อละเอียดสีน้ำตาลแดง	46.58	7.1
กะปีกุ้งสมุทรสาคร	สารเปียกเนื้อละเอียดสีเหลือง	45.76	7.6
ไตปลานครศรีธรรมราช	ของเหลวน้ำข้นเหนียวสีตาล	59.68	5.1
ไตปลาพัทลุง	ของเหลวน้ำข้นเหนียวสีตาล	57.91	5.2
น้ำบูดูปัตตานี(สายบุรี)	ของเหลวขุ่นสีน้ำตาล	64.33	5.7
น้ำบูดูปัตตานี(แหลมโพธิ์)	ของเหลวขุ่นสีน้ำตาล	62.32	5.5
น้ำบูดูนราธิวาส	ของเหลวขุ่นสีน้ำตาล	62.81	5.1

น้ำปลามีลักษณะเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลแดง มีปริมาณน้ำ 68.9-69.5 % และ pH 5.7-6 การที่น้ำปลามีสภาพค่อนข้างเป็นกรดอ่อนๆเนื่องจากปฏิกิริยาดีอะมิเนชั่นของกรดอะมิโน โดยหลังทำปฏิกิริยาแล้วจะทำให้ปริมาณกรดเพิ่มสูงขึ้น ค่า pH จึงลดลง สายสมร(2518)

ไตปลาและน้ำบูดูมีปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 57.9-64.3 % และ pH 5.1-5.7 ซึ่งมีความเป็นกรดสูงกว่าน้ำปลาเล็กน้อย ในขณะที่กะปีส่วนใหญ่ทำจากกุ้งมีลักษณะเป็นสารเปียก(paste) มีปริมาณน้ำน้อยที่สุดคือ 44.3-47.5% และมี pH อยู่ในช่วง 7-7.6

4.2 ผลของการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารหนูโดยใช้ HG-AAS

4.2.1 ช่วงการตรวจวัดปริมาณสารหนูที่เหมาะสมโดยใช้ HG-AAS

การศึกษานี้เพื่อหาช่วงความเข้มข้นของสารหนูที่สามารถตรวจวัดได้โดยใช้ HG-AAS พบว่า ที่ความเข้มข้นจาก 0-50 ไมโครกรัมต่อลิตร(ตารางที่ 4.2) ได้กราฟเป็นเส้นตรง มีค่า R^2= 0.9978 ตามรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูกับค่าการดูดกลืนแสง (peak area)

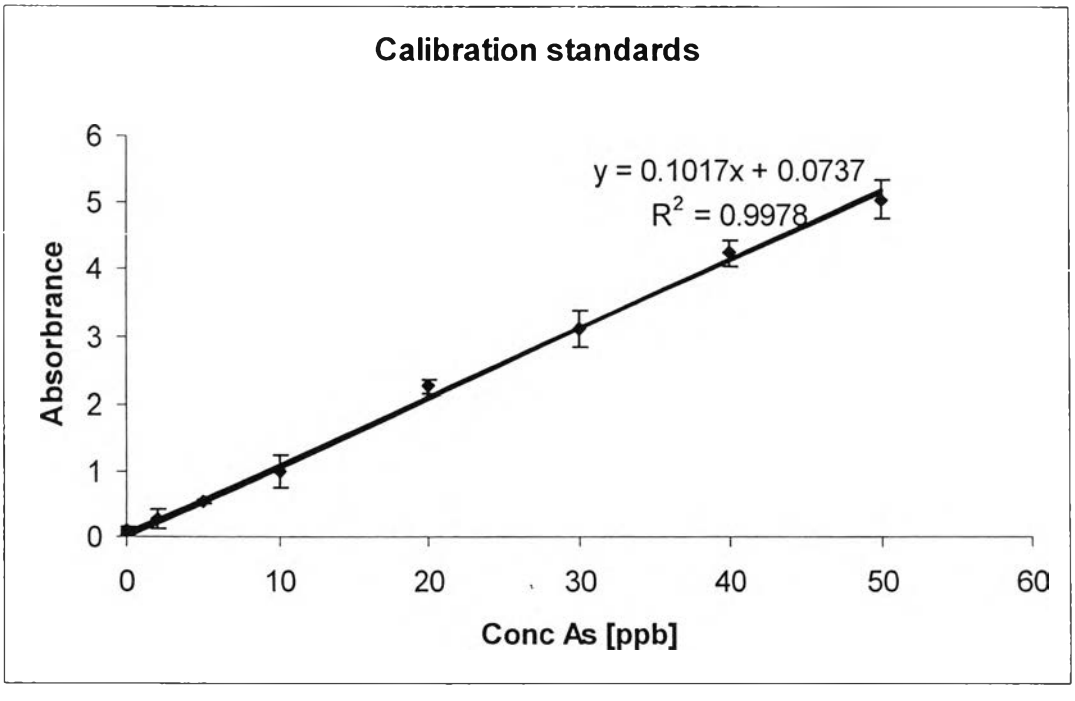
ครั้งที่	0 ppb	2 ppb	5 ppb	10 ppb	20 ppb	30 ppb	40 ppb	50 ppb	R^2
1	0.0245	0.0311	0.5270	0.5880	2.1300	2.8200	4.1400	5.1200	0.9917
2	0.1400	0.3680	0.5690	1.1100	2.3100	3.1200	4.1400	4.7800	0.9950
3	0.02366	0.3600	0.5212	1.1600	2.3740	3.5240	4.5980	5.4750	0.9977
4	0.0792	0.2080	0.5890	1.0200	2.150	2.9200	4.2200	5.0900	0.9978
5	0.1400	0.3680	0.5690	1.1100	2.310	3.1200	4.1400	4.7800	0.9950
AV	0.0814	0.2670	0.5550	0.9976	2.2548	3.1008	4.2476	5.0490	0.9978
SD	0.0579	0.1484	0.0294	0.2344	0.1082	0.2698	0.1989	0.2884	0.0024

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

ตารางที่4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ Peak area และSD (n=5)

As (ppb)	Peak area	SD
0	0.0814	0.0579
2	0.2670	0.1484
5	0.5550	0.0294
10	0.9976	0.2344
20	2.2548	0.1082
30	3.1008	0.2698
40	4.2476	0.1989
50	5.0490	0.2884

รูปที่ 4.1 แสดงสมการเส้นตรง ของความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารหนูกับค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสง (peak area) จากตารางที่ 4.3



4.2.2 Limit of Detection (LOD)

การศึกษานี้เป็นการหาความเข้มข้นต่ำสุดของสารหนูที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่อง HG-AAS ผลการวิเคราะห์โดยใช้สภาวะการศึกษาตาม 3.4.2.1 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง และวัด Peak area และนำมาหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาคูณ 3 (3SD) และนำค่าที่ได้มาคำนวณความเข้มข้นของสารหนู จะได้ค่า Limit of Detection ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่า LOD

สมการเส้นตรง	y = 0.1017x + 0.0730
การดูดกลืนของแบลงค์ (n = 5)	0.0814
SD	0.0579
3SD	0.1737
Blank + $3SD_{Blank}$	0.2551
LOD (ng/ml)	= (0.2551-0.0730)/0.1017 = 1.79

จากตารางที่ 4.4 สามารถคำนวณค่า LOD ได้ โดยนำค่า Peak area ที่คำนาณได้เท่ากับ 0.2551 มาคำนวณหาปริมาณสารหนูเทียบกับสารมาตรฐาน โดยใช้สมการ y = 0.1017x + 0.073 จากรูปที่ 4.1 จะได้ปริมาณสารหนูเท่ากับ 1.79 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นต่ำสุดของสารหนูที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่อง HG-AAS เท่ากับ 1.79 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร

4.2.3 ความแม่นยำ และความถูกต้องของสารหนูรวม

การศึกษานี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีโดยใช้ CRM DORM-2 (Dogfish muscle) (Certified Reference Material) วิเคราะห์หาสารหนูรวม พบว่าค่าความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์คิดเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ % แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 4.5 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 ค่าความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์สำหรับสารหนูรวม (%)

ซ้ำที่	ปริมาณสารหนูรวม (mg/kg)
1	19.016
2	17.540
3	17.269
ค่าเฉลี่ย	17.941
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.94
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD)	(0.94 × 100) / 17.941 = 5.23

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

การศึกษานี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่ใช้หาปริมาณสารหนูรวมโดยนำตัวอย่าง CRM DORM-2 (Dogfish muscle) ค่า certified เท่ากับ 18 ±1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มาทำการวิเคราะห์ พบว่าวิธีนี้ได้ปริมาณสารหนูรวม 17.9 ± 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ความถูกต้องสูงถึง 99.4% และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 5.23 % ซึ่งยอมรับได้ (Thompson and Lowthian., 1995) และ (Taverniers et al., 2004)

4.2.4 การศึกษาความใช้ได้ของวิธีการสกัดเพื่อแยกสารหนูอินทรีย์กับสารหนูอนินทรีย์

วิธีนี้การสกัดสารหนูอินทรีย์ทำตาม 3.4.4.4.1 โดยนำ CRM DORM-2 ซึ่งมีสารหนูรวม 18 ±1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มาทำการทดลอง และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่ได้กับงานวิจัยของผู้อื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 วิธีการหาความใช้ได้ของการสกัด DORM-2 (Dogfish muscle)

Reference	As(org) mg/kg	Methode
This is study	18.1	Extract –HG-AAS
McSheehy et al., 2003	16.6	HPLC-ICP-MS
Tanabe et al., 2002	18.4	Extract –HG-AAS
Semenova et al., 2001	17.7	HPLC-ICP-MS

ตารางนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารหนูอินทรีย์ ซึ่งในการศึกษานี้พบปริมาณสารหนูอินทรีย์ 18.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่พบสารหนูอนินทรีย์ 1.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นสารหนูอินทรีย์ 90.5% สอดคล้องกับปริมาณสารหนูอินทรีย์ที่พบสูงในอาหารทะเล (ตารางที่ 2.5) เปรียบเทียบผลที่ได้ จากการสกัดกับการทดลองเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่า วิธีการสกัดที่ใช้ นั้นสามารถนำมาใช้ศึกษาการหาสารหนูอินทรีย์ในตัวอย่างอาหารทะเลหมักได้

4.2.5 ผลการวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำ ของการสกัดสารหนู

การศึกษานี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีโดยใช้ CRM DORM-2 ในการวิเคราะห์หาสารหนูอนินทรีย์ พบว่าค่าความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ % แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 4.7 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 ค่าความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์สำหรับสารหนูอนินทรีย์ (%)

ซ้ำที่	ปริมาณสารหนูรวม (mg/kg)
1	1.966
2	1.960
3	1.957
ค่าเฉลี่ย	1.961
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0045
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD)	(0.0045 × 100) / 1.961 = 0.229

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

การศึกษานี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่ใช้หาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในอาหารหมักจากสัตว์ทะเลโดยนำตัวอย่าง CRM DORM-2 (Dogfish muscle) มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีที่ระบุไว้ใน 3.4.4.4.1 พบปริมาณสารหนูอนินทรีย์ 1.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 0.229 %

สรุป

ความเข้มข้นของสารหนูที่สามารถตรวจวัดได้โดยใช้ HG-AAS พบว่า สามารถทำการตรวจวัดได้กราฟเส้นตรงของสารหนูที่ความเข้มข้นจาก 0-50 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่า R^2= 0.9978 LOD 1.79 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่ใช้หาปริมาณสารหนูรวมในอาหารหมักจากสัตว์ทะเลโดยนำตัวอย่าง CRM DORM-2 (Dogfish muscle) ซึ่งมีสารหนูรวม 18 ±1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มาทำการวิเคราะห์ พบว่าวิธีการศึกษานี้วิเคราะห์ได้ปริมาณสารหนูรวม 17.9 ± 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือมีความถูกต้อง 99.4% และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 5.23 % การสกัดสารหนูอินทรีย์จาก CRM DORM-2 (Dogfish muscle) พบสารหนูอินทรีย์ 18.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนูอนินทรีย์ 1.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ซึ่งการสกัดที่ใช้สามารถนำมาใช้ในการแยกสารหนูอินทรีย์ออกจากสารหนูอนินทรีย์ ในอาหารทะเลได้

4.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวมในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเล โดยใช้ HG-AAS

การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเลพบสารหนูปนเปื้อนในปริมาณค่อนข้างสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารหนูในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเล (น้ำหนักเปียก)

sample	source	As(tot) wet wt mg/kg	As(org) wet wt mg/kg	As(inorg) wet wt mg/kg	% As (org)
น้ำปลา	นครศรีธรรมราช	0.34±0.08	0.27±0.04	0.07±0.01	79.4
น้ำปลา	ระยอง	0.69±0.02	0.64±0.13	0.05±0.01	92.8
กะปิกุ้ง	ระยอง	3.43±0.36	3.01±1.22	0.42±0.17	87.9
กะปิกุ้ง	โรงงานระยอง	2.05±0.13	1.67±0.09	0.38±0.02	81.5
กะปิกุ้ง	สมุทรปราการ	1.45±0.12	1.23±0.22	0.22±0.04	84.8
กะปิกุ้ง	สมุทรสาคร	1.52±0.01	1.21±0.27	0.31±0.07	79.6
น้ำบูดู	ปัตตานี(สายบุรี)	0.92±0.002	0.83± 0.09	0.09±0.01	90.2
น้ำบูดู	ปัตตานี(แหลมโพธิ์)	0.34±0.04	0.27±0.04	0.07±0.01	79.4
น้ำบูดู	นราธิวาส	1.61±0.05	1.57±0.39	0.04±0.01	97.5
ไตปลา	นครศรีธรรมราช	3.26±0.37	3.12±0.22	0.14±0.01	95.7
ไตปลา	พัทลุง	1.22±0.05	1.13±0.25	0.09± 0.02	92.6

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารหนูในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเล(น้ำหนักแห้ง)

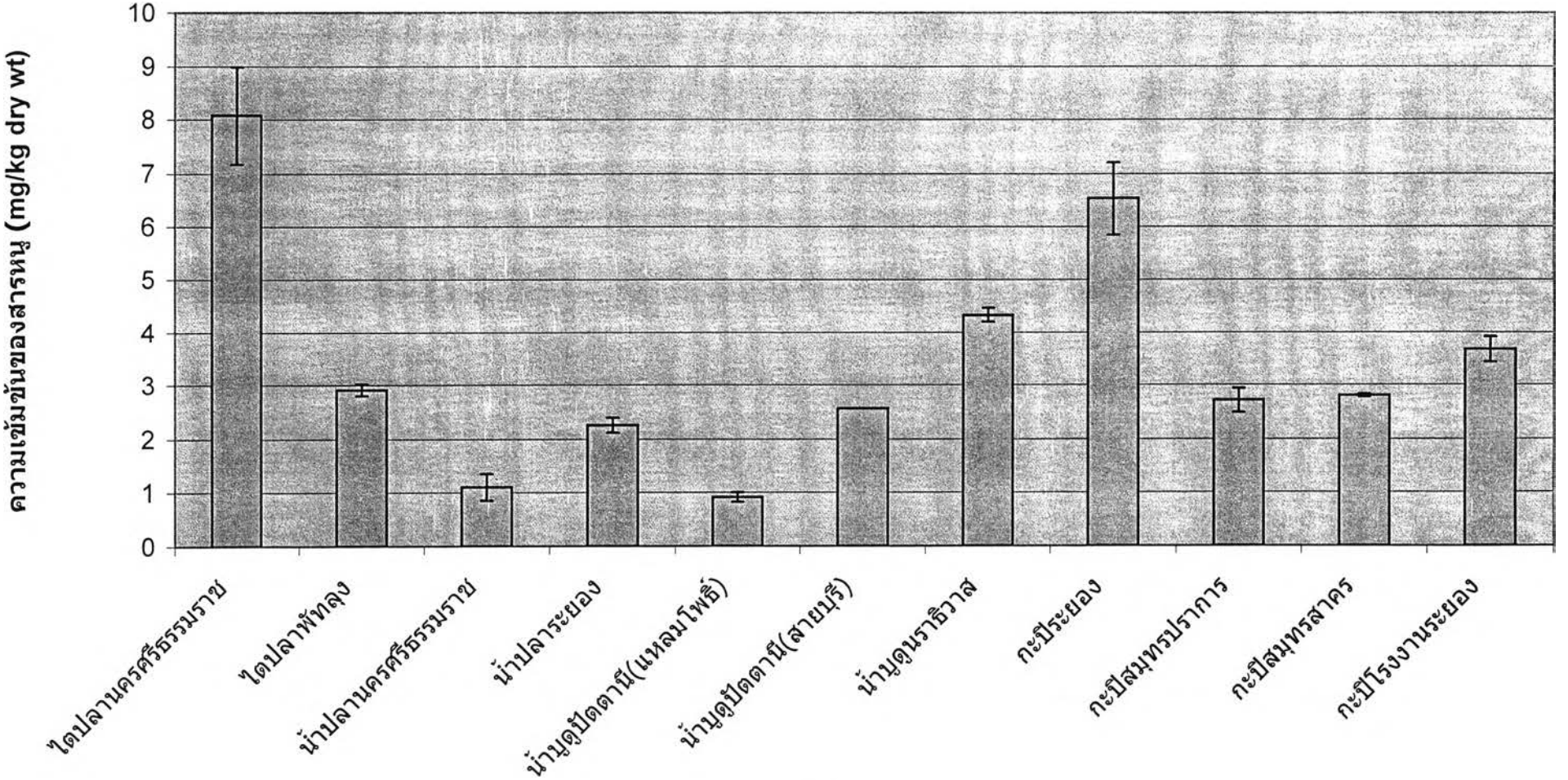
sample	source	As(tot) dry wt mg/kg	As(org) dry wt mg/kg	As(inorg) dry wt mg/kg	% As (org)
น้ำปลา	นครศรีธรรมราช	1.10±0.25	0.87±0.19	0.23±0.05	79.0
น้ำปลา	ระยอง	2.26±0.14	2.11±0.42	0.15±0.03	93.4
กะปีกุ้ง	ระยอง	6.53±0.68	5.74±2.33	0.79±0.32	87.9
กะปีกุ้ง	โรงงานระยอง	3.68±0.24	2.99±0.17	0.69±0.04	81.3
กะปีกุ้ง	สมุทรปราการ	2.71±0.22	2.3±0.39	0.41±0.07	84.9
กะปีกุ้ง	สมุทรสาคร	2.80±0.03	2.23±0.47	0.57±0.12	79.6
น้ำบูดู	ปัตตานี(สายบุรี)	2.57±0.002	2.33±0.19	0.24±0.02	90.7
น้ำบูดู	ปัตตานี(แหลมโพธิ์)	0.91±0.09	0.73±0.16	0.18±0.04	80.2
น้ำบูดู	นราธิวาส	4.33±0.13	4.21±0.70	0.12±0.02	97.2
ไตปลา	นครศรีธรรมราช	8.08±0.91	7.74±0.46	0.34±0.02	95.8
ไตปลา	พัทลุง	2.91±0.11	2.70± 0.51	0.21±0.04	92.8

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวมในตัวอย่างน้ำปลา กะปี น้ำบูดู และไตปลา ดังรูปที่ 4.2

รูปที่4.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวมในตัวอย่างน้ำปลา กะปี น้ำบูดู และไตปลา (n = 3)

รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูรวมในน้ำปลา กะปิ น้ำบูดู และไตปลา (n=3)



จากกราฟ ปริมาณสารหนูในไตปลาซึ่งทำจากเครื่องในปลา โดยใช้ปลาตัวใหญ่มีปริมาณในช่วง 2.9-8.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งพบว่ามีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในน้ำปลา และน้ำบูดู ซึ่งทำจากปลาชนิดเดียวกัน คือปลากะตัก (ปลาเล็ก) ซึ่งใช้ปลาทั้งตัวหมัก จะมีปริมาณสารหนูในช่วง 0.9-4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และสารหนูในกะปิกุ้งมีปริมาณในช่วง 2.7-6.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งพบว่ามีปริมาณค่อนข้างสูงกว่าในน้ำปลา และ น้ำบูดู แต่ต่ำกว่าไตปลา

จากการเปรียบเทียบการสะสมของสารหนูในไตปลา น้ำปลา น้ำบูดู และกะปิ พบว่าปริมาณสารหนูมีการสะสมในเครื่องใน (ปลาใหญ่) มากกว่า กุ้ง มากกว่า ปลากะตัก ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าไตปลาที่ทำจากเครื่องในปลา ที่เป็นปลาใหญ่ ประกอบด้วยตับ ไต กะเพาะและลำไส้ เป็นแหล่งสะสมสารพิษในสัตว์ ทำให้พบสารหนูในปริมาณค่อนข้างสูง ส่วนกุ้งมีลักษณะการสะสมปริมาณของสารหนูมากกว่าในปลากะตัก ทั้งนี้เนื่องจากกะปิมีลักษณะเป็นสารเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำปลาที่มีน้ำประกอบเป็นส่วนใหญ่ทำให้ปริมาณสารหนูในน้ำปลาพบต่ำกว่าในกะปิ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยโดย(Montoro et al., 2000) พบว่า กุ้งมีปริมาณการสะสมสารหนูในช่วง 1.24-102.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ค่อนข้างสูงกว่าในปลากะตัก ซึ่งมีปริมาณการสะสมสารหนูในช่วง 2.73-36.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) (Montoro et al., 2000)

เมื่อมองในภาพรวมจากแหล่งที่มาของตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ใช้ในกระบวนการหมัก พบว่าตัวอย่างที่ได้จาก แหล่งอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรปราการ มีปริมาณสารหนูค่อนข้างสูง เนื่องจาก ชายฝั่งทะเลของจังหวัดเหล่านี้ เช่น ระยอง เป็นแหล่งอุตสาหกรรมหนัก มีแหล่งนิคมขนาดใหญ่ (นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด) มีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลในจังหวัดระยอง อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในนิคมเป็น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี 42% และอุตสาหกรรมปุ๋ยสารเคมี 30% (การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย , 2543) จากตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 กิจกรรมเหล่านี้อาจส่งผลต่อระบบนิเวศน์ทางทะเลที่เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งต่างๆ

กรณีทางจังหวัดสมุทรปราการ นับเป็นจังหวัดที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) และมีอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมกลึง เชื่อมโลหะ เป็นต้น อีกทั้งยังมีเขตการประกอบอุตสาหกรรมฟอกหนัง แต่สารหนูที่ได้จากตัวอย่างกะปิกลับพบในปริมาณที่ไม่สูงมาก และค่าที่ได้ใกล้เคียงกับจังหวัดอื่นๆ ยกเว้น กะปิกุ้ง 1 ตัวอย่างที่ผลิตโดยชาวบ้านที่อาศัยบริเวณชายฝั่งทะเล มีสารหนูสูง ซึ่งกะปิกุ้งนี้ได้จากการผลิตในจังหวัดระยอง โดยแหล่งที่มานั้นมาจากเคยที่หาได้จากทะเลในแหล่งนั้น ในขณะที่กะปิกุ้งระยองอีกตัวอย่างหนึ่งเป็นตัวอย่างที่ผลิตจากโรงงานที่ทันสมัย ซึ่งอาจใช้วัตถุดิบเคยจากหลากหลายแหล่ง นอกจากนี้ระบบการผลิตกะปิกุ้งจากโรงงานขนาดใหญ่ อาจจะมีระบบการผลิตที่ถูกสุขอนามัย ทั้งนี้ควรทำการ

สำรวจระบบการผลิตจากโรงงาน เปรียบเทียบกับการผลิตแบบชาวบ้าน เพื่อหาทางช่วยเหลือให้การผลิตมีการพัฒนาที่ดีขึ้น

ตัวอย่างกะปีที่ได้จากจังหวัดสมุทรปราการมีปริมาณสารหนูใกล้เคียงกับจังหวัดสมุทรสาคร และกะปีกุ้งโรงงาน จากจังหวัดระยอง ซึ่งค่าที่ได้ควรจะเป็นค่ามาตรฐานของปริมาณสารหนูในกะปี คืออยู่ในช่วง 1.5-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) หรือ 2.7-3.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักแห้ง)

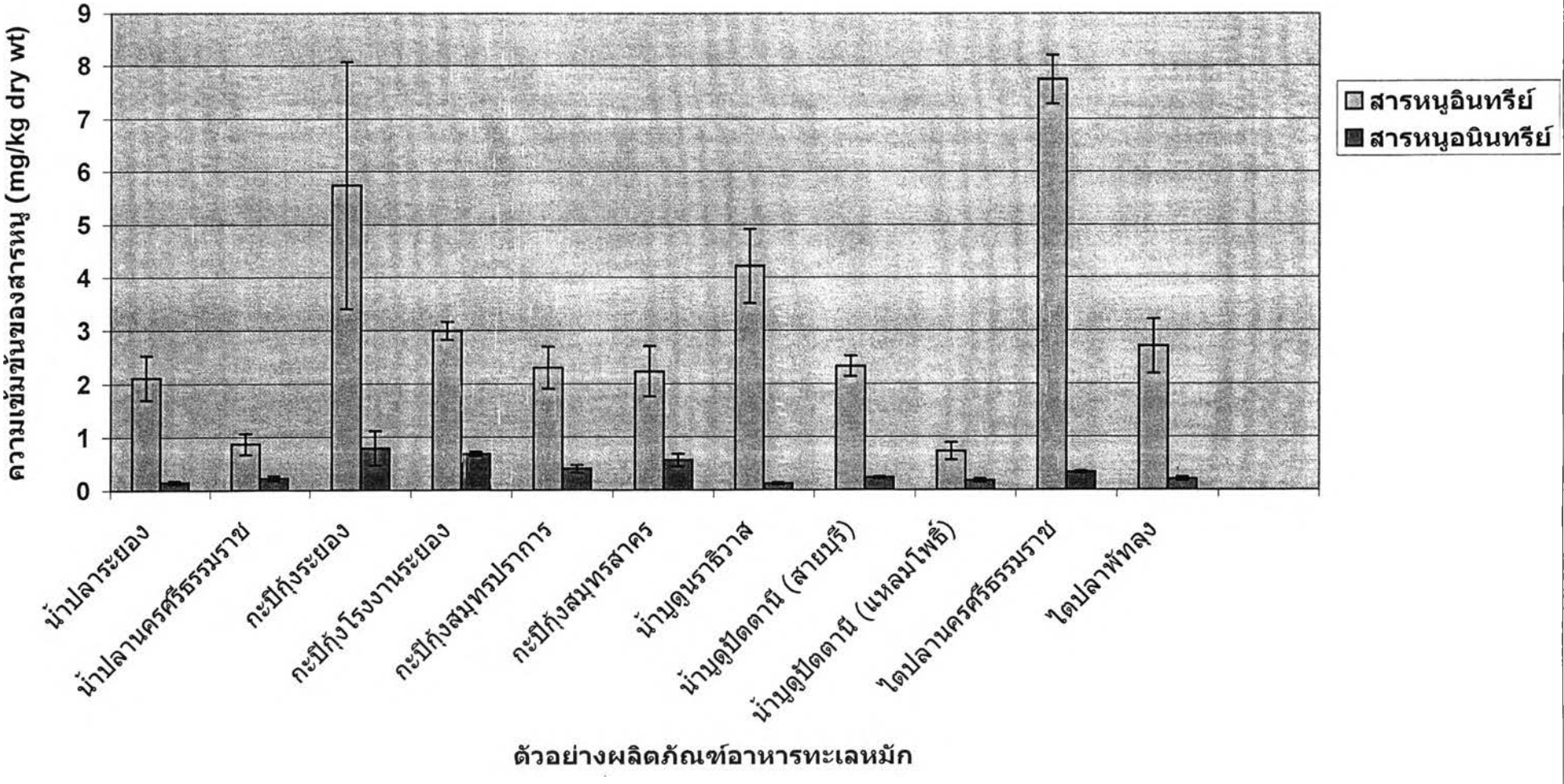
ในแหล่งพื้นที่ทั่วไป ประกอบด้วย นราธิวาส ปัตตานี นครศรีธรรมราช และพัทลุง ซึ่งมีอุตสาหกรรมน้อย และประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม แนวโน้มการสะสมปริมาณสารหนูในสัตว์ทะเลควรจะน้อยด้วย แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารหนูในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลหมักในแหล่งอุตสาหกรรม เปรียบเทียบกับแหล่งทั่วไป พบว่า ปริมาณสารหนูไม่ได้แตกต่างเด่นชัด คือ มีค่าจาก 0.3-2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) หรือ 1.0-4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ยกเว้น กะปีกุ้งในจังหวัดระยอง

ส่วนจังหวัดนครศรีธรรมราชมีปริมาณสารหนูรวมในไตปลาสูง สาเหตุอาจเนื่องมาจากจังหวัดนครศรีธรรมราช ในอดีตมีปัญหาการแพร่กระจายของสารหนู จากการทำเหมืองแร่ดีบุกเป็นระยะเวลาติดต่อกันมานานมากกว่า 50 ปี ที่อำเภอร่อนพิบูลย์ ซึ่งสารหนูที่อยู่ในรูปอาซิโนไพไรต์ (FeAsS) ในสารแร่ดีบุกบริเวณเขาสรวงจันทร์และเขาร่อนนา ปัจจุบันเหมืองแร่เหล่านี้ ได้กลายสภาพเป็นแหล่งน้ำขังตลอดปี อาจถูกชะล้างโดยน้ำฝนจากกระบวนการตามธรรมชาติ และไหลลงสู่ห้วยร่อนนา ผ่านชุมชนตำบลร่อนพิบูลย์ และไหลออกสู่ทะเลที่อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ทำให้การสะสมโลหะมากในปลาใหญ่ โดยเฉพาะเครื่องในปลา

4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ และสารหนูอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากสัตว์ทะเล โดยใช้ HG-AAS

รูปที่4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ และสารหนูอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำปลา กะปี น้ำบูดู และ ไตปลา (ข้อมูลตารางที่ 4.9)

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูอินทรีย์
และสารหนูอนินทรีย์ในตัวอย่างน้ำปลา กะปิ น้ำบูดู และไตปลา



จากผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 4.3 พบว่า ปริมาณสารหนูอินทรีย์ต่อปริมาณสารหนูรวม คิดเป็น 79-97.2% และมีสารหนูอนินทรีย์ โดยพบอยู่ในช่วง 0.1-0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งปริมาณสารหนูอนินทรีย์ การศึกษานี้พบว่าไม่แตกต่างกันมาก แม้ว่าในไตปลาที่พบปริมาณสารหนูรวมค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น แต่เมื่อพิจารณาถึงรูปสารหนูอนินทรีย์ ซึ่งเป็นรูปที่เป็นอันตรายกลับพบว่ามีสารหนูอนินทรีย์ค่อนข้างต่ำ คือ 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) จึงสรุปได้ว่าแม้ว่าสารหนูสะสมมากในเครื่องในปลาขนาดใหญ่ แต่ขบวนการเมตาบอลิซึมของปลาในธรรมชาติจะเปลี่ยนสารหนูให้อยู่ในรูปสารหนูที่ไม่เป็นอันตราย ยกเว้นถ้ามีการปนเปื้อนของสารหนูในทะเลเป็นสารหนูอนินทรีย์ที่มีปริมาณมากเกินกว่าที่ระบบนิเวศน์จะทำการเปลี่ยนรูปได้ทัน จะเกิดการสะสมในรูปของสารหนูอนินทรีย์ดังที่พบในตัวอย่างจากแหล่งอุตสาหกรรม ในการศึกษานี้พบในช่วง 0.4-0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานการยอมรับปริมาณสารหนู(ในรูปสารหนูอนินทรีย์)ที่ยอมให้มีได้สูงสุดในตัวอย่างอาหารทะเลที่กำหนดไว้เป็น 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) (British Food Manufacturing Industries Research Association , 1993) พบว่าอาหารทะเลหมักมีปริมาณสารหนูรวมคิดเป็น 0.3-3.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) หรือ 0.9-8.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และคิดเป็นสารหนูอนินทรีย์ 0.04-0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) หรือ0.1-0.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักแห้ง)

ส่วนใหญ่การตรวจวิเคราะห์จะรายงานผลในรูปสารหนูรวมเท่านั้น จากการศึกษานี้พบสารหนูรวมในอาหารทะเลหมักสูงถึง 3.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) จะทำให้ค่าการปนเปื้อนของสารหนูที่พบในอาหารประเภทนี้ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด ทั้งนี้ยังไม่มีมาตรฐานใดกำหนดค่าสารหนูที่ยอมให้มีได้ ในอาหารหมักจากทะเล เนื่องจากอาหารทะเลหมักมีการบริโภคที่จำกัดเพียงในอาเซียนเท่านั้น ดังนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ของสารหนูในอาหารหมักจากทะเลในอนาคตควรให้สอดคล้องกับปริมาณสารหนูที่พบซึ่งอาจต้องกำหนดสูงถึง 3.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก)

เมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยของผู้บริโภคอาหารทะเลหมัก ค่าประเมินโดย WHO ที่กำหนดค่าการยอมรับของสารหนูที่สามารถรับเข้าสู่ร่างกาย ต่อ 1 สัปดาห์ (Provisional Tolerable Weekly Intake , PTWI) กำหนดไว้ที่ 15 ไมโครกรัมของสารหนูอนินทรีย์ ต่อ กิโลกรัมของน้ำหนักร่างกาย เมื่อนำมาคำนวณโดยใช้อาหารทะเลหมัก ประเมินโดยใช้การบริโภคน้ำปลาเป็นตัวอย่างการคำนวณ เนื่องจากน้ำปลาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้มากเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่น โดยคนไทยบริโภคน้ำปลาประมาณ 20 มิลลิลิตรต่อวัน คิดเป็นปริมาณสารหนูที่รับเข้า โดยใช้ค่าสารหนูที่ได้

จากน้ำปลาระยอง 0.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปลี่ยนเป็นหน่วยปริมาตร (น้ำปลามีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.2) ดังนี้คิดเป็นสารหนูในน้ำปลาเป็น 0.69x1.2 = 0.828 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณสารหนูที่รับเข้าสู่ร่างกาย 0.828 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรx20มิลลิลิตร ต่อ น้ำหนักคน 60 กิโลกรัมx 7 วัน = 1.93 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อสัปดาห์ นับว่าสารหนูเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหารทะเลหมัก ต่ำกว่าค่าที่กำหนดโดย WHO มาก ดังนั้นการบริโภคอาหารทะเลหมักมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้สารหนูที่อยู่ในรูปสารหนูอินทรีย์ที่พบในอาหารทะเลเป็นส่วนใหญ่ (>70%) จะถูกขับออกทางปัสสาวะหลังจากที่เข้าสู่ร่างกาย จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ยืนยันได้ว่าการบริโภคอาหารทะเลหมักมีความปลอดภัย อย่างไรก็ตามในความเป็นจริง สารหนูที่รับเข้าสู่ร่างกายอาจมาจากแหล่งอื่นๆได้อีก โดยแหล่งที่พบมากคือ อาหารทะเล ผู้บริโภคจึงควรเลือกรับประทานอย่างถูกต้อง บริโภคอาหารทะเลสลับกับอาหารแหล่งอื่นด้วย

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาปริมาณสารหนูในอาหารหมักจากทะเลพบในช่วง 0.9-8.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) พบมากในไตปลาที่ทำจากเครื่องในปลาที่เป็นปลาใหญ่ ซึ่งเป็นแหล่งสะสมสารพิษในสัตว์ มีปริมาณสารหนูในช่วง 2.9-8.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารหนูในน้ำปลา และน้ำบูดู ซึ่งทำจากปลากะตัก(ปลาเล็ก) มีปริมาณสารหนูในช่วง 0.9-4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และสารหนูในกะปิกุ้งในช่วง 2.7-6.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงกว่าในน้ำปลา และ น้ำบูดู

มีลักษณะการสะสมปริมาณของสารหนูในกุ้งมากกว่าในปลากะตัก ทั้งนี้กะปิมีลักษณะเป็นสารเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำปลาที่มีน้ำประกอบเป็นส่วนใหญ่ทำให้ปริมาณสารหนูในน้ำปลาพบต่ำกว่าในกะปิ

เมื่อมองในภาพรวมจากแหล่งที่มาของตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ใช้ในกระบวนการหมัก พบว่าปริมาณสารหนูรวมในแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ระยอง สมุทรปราการ และ สมุทรสาคร เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพื้นที่ทั่วไป หรือแหล่งธรรมชาติห่างไกลโรงงานอุตสาหกรรม เช่น พัทลุง ปัตตานี และ นราธิวาส พบว่าปริมาณสารหนูไม่ต่างกันมาก ยกเว้นกะปิระยองตัวอย่างเดียว ที่มีปริมาณสารหนูค่อนข้างสูง ทั้งนี้ควรมีการเก็บตัวอย่างจากแหล่งอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเพื่อจะได้ข้อสรุปที่ชัดเจนถึงแหล่งที่มาของสารหนู

ปริมาณสารหนูอินทรีย์ต่อปริมาณสารหนูรวม คิดเป็น 79-97.2 % โดยพบว่าตัวอย่างที่มาจากแหล่งอุตสาหกรรมมีสารหนูอนินทรีย์ปริมาณสูง โดยพบอยู่ในช่วง 0.4-0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

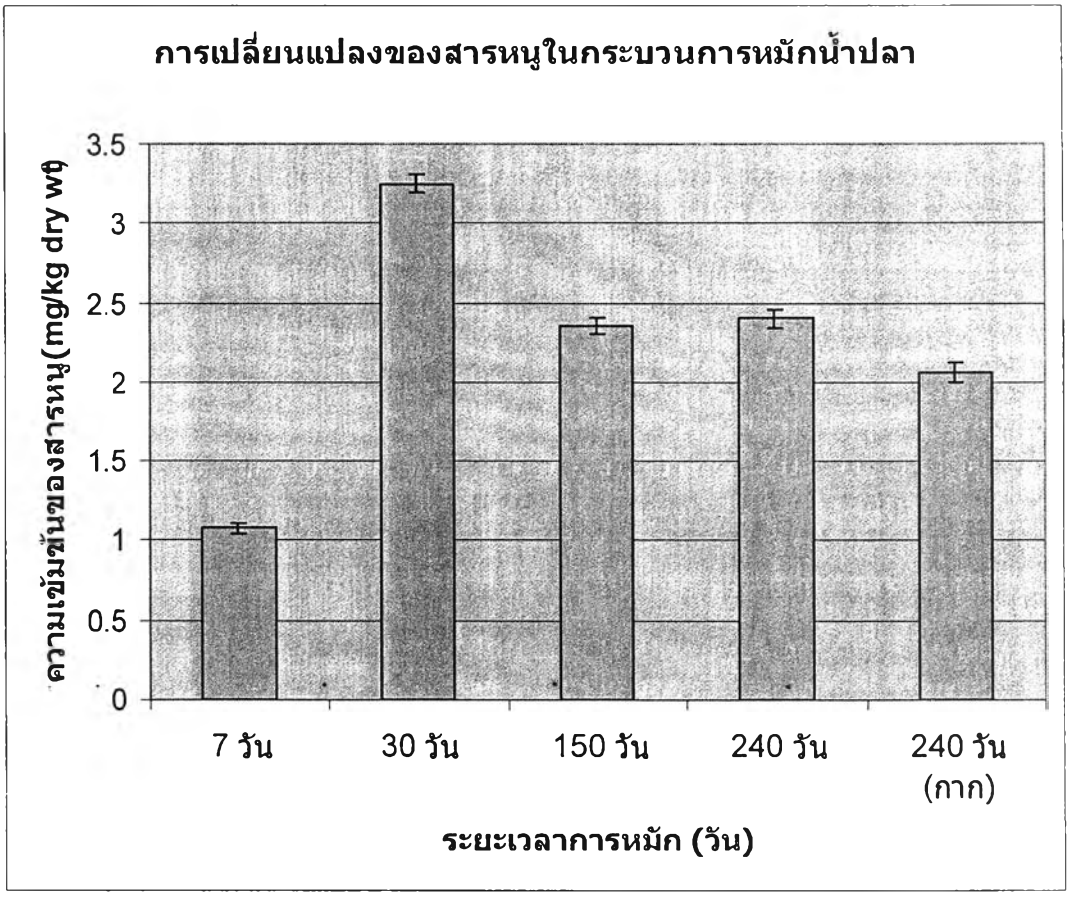
เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานการยอมรับปริมาณสารหนูอนินทรีย์ที่ยอมให้มีได้สูงสุดในตัวอย่างอาหารทะเลที่กำหนดไว้ที่ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) พบว่าอาหารทะเลหมักมีค่าสารหนูรวมคิดเป็น 0.3-3.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(น้ำหนักเปียก) หรือ สารหนูอนินทรีย์ 0.04-0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานกำหนด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

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

4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการหมักระยะต่างๆใน น้ำปลา และไตปลา

4.5.1 กระบวนการหมักระยะต่างๆในน้ำปลา

รูปที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของสารหนูรวม ในกระบวนการผลิตน้ำปลา จากตัวอย่างส่วนที่เป็นของเหลวที่ออกจากตัวปลา



ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

ผลจากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณของสารหนูในน้ำปลามีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเริ่มทำการหมัก กระบวนการหมักในธรรมชาติมีเอ็นไซม์ และจุลินทรีย์ย่อยสลาย เก็บตัวอย่างเมื่อกระบวนการหมักผ่านไป 7 วัน สารหนูจะถูกสกัดออกจากปลา พบปริมาณของสารหนูในน้ำปลา 1.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจากนั้น 30 วัน ปลาจะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการหมักในธรรมชาติ สารหนูจะถูกสกัดออกสู่ของเหลวมากขึ้นโดยพบมากที่สุดที่ 3.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นความเข้มข้นของสารหนูลดลง และค่อนข้างคงที่ ที่ 2.35-2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจ

เนื่องมาจากสารหนูบางส่วนอาจเกิดการตกตะกอนกับเกลืออยู่กับภาชนะ และเกิดสมดุลย์ของสารหนูในตัวปลากับสารหนูในน้ำปลาทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงการหมัก จาก 150-240 วัน ซึ่งเป็นในระยะที่บรรจุขวดออกจำหน่ายในท้องตลาด และตรวจพบเพียง 2.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในกากปลาพบสารหนู 2.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสารหนูมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับในน้ำปลา ซึ่งกากปลาจะนำไปตากแห้งและขายเป็นอาหารสัตว์

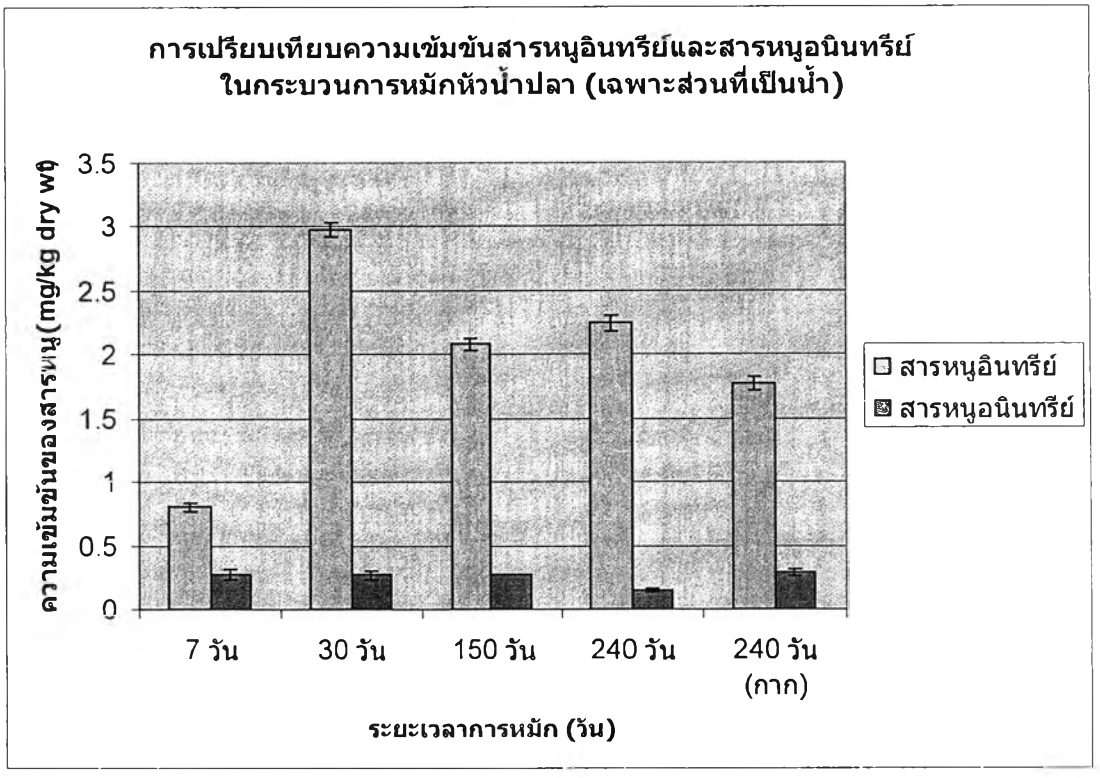
การทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 โดยนำน้ำปลาระยะ 7วัน 30วัน และ 150วัน กรองผ่านกระดาษกรอง No.42 นำส่วนใสไปย่อย(digest) หาปริมาณสารหนูรวม พบปริมาณสารหนูในช่วง 0.3-0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสารหนูนี้เป็น สารหนูที่ละลายน้ำ

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของสารหนูในกระบวนการผลิตน้ำปลา ก่อนกรองและหลังกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman

ชนิดตัวอย่าง	pH	ก่อนกรอง mg/kg (dry wt)	หลังกรอง mg/kg (dry wt)
น้ำปลา 7วัน	5.44	1.08±0.03	0.30±0.1
น้ำปลา 30 วัน	5.51	3.25±0.06	0.34 ± 0.05
น้ำปลา 150 วัน	5.43	2.35±0.06	0.33± 0.08

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

รูปที่ 4.5 ผลการหาปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำปลาส่วนใส



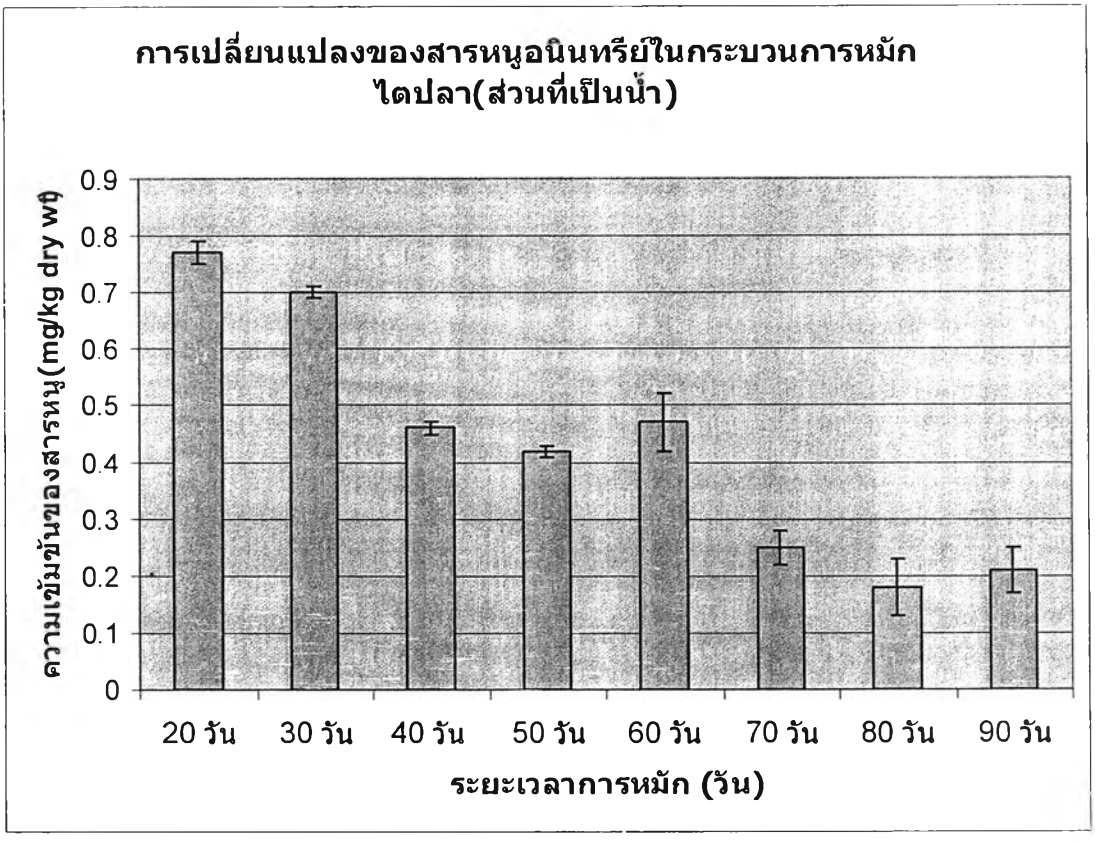
ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

ผลจากรูปที่ 4.5 เมื่อนำตัวอย่างอาหารหมักระยะต่างๆ มาทำการสกัด แยกสารหนูอนินทรีย์ออกจากสารหนูอินทรีย์ พบว่าปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในระยะต่างๆของกระบวนการหมัก มีค่าในช่วง 0.27-0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงสารหนูอินทรีย์ ทั้งนี้สารหนูอนินทรีย์มีปริมาณมากที่สุดอยู่ในกาก

4.5.2 กระบวนการหมักระยะต่างๆในไตปลา

ผลการวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์หาเฉพาะปริมาณสารหนูอนินทรีย์เท่านั้น เนื่องจากเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยการสกัดในไตปลาระยะต่างๆ(เก็บตัวอย่างเฉพาะส่วนน้ำใสที่ใช้บริโภคมาทำการสกัด)ดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของสารหนูอนินทรีย์ ในกระบวนการผลิตไตปลา (สารหนูรวม= 2.91±0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง)



ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HG-AAS

ผลจากรูปที่ 4.6 แสดงกระบวนการหมักไตปลาที่ระยะ 20 วัน ถึง 90 วัน พบว่าปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในระยะเริ่มแรกของกระบวนการหมัก มีค่าสูง เท่ากับ 0.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) แสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลาการหมักมีการเปลี่ยนแปลงของสารหนูอนินทรีย์ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจนถึงจุดๆหนึ่งจะคงที่ (ที่80-90วัน) ซึ่งจุดนี้สันนิษฐานว่า

เกิดการเมตาบอลิซึมโดยจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก อาจเปลี่ยนสารหนูอนินทรีย์ไปเป็นสารหนูอินทรีย์ หรืออาจเกิดการตกตะกอนร่วมกับเกลือเหมือนในกระบวนการหมักน้ำปลา

ระยะเวลาในกระบวนการหมักไตปลา มีผลต่อปริมาณสารหนูอนินทรีย์ ปกติการหมักไตปลาจะสามารถนำไตปลามาปรุงอาหารได้ตั้งแต่ 20 วันแรกของกระบวนการหมัก ซึ่งเป็นช่วงที่สารหนูอนินทรีย์ สูงที่สุดในกระบวนการหมัก จึงไม่ควรนำมาบริโภค ดังนั้นการหมักไตปลาเก็บไว้นานประมาณ 90 วัน และนำมาใช้บริโภคจะมีความปลอดภัยมากกว่า

4.6 การศึกษาการแยกสารประกอบของสารหนูใช้เทคนิคการแยกด้วย HPLC-ICP-MS

เทคนิคการแยกสารประกอบของสารหนูใช้ HPLC ซึ่งประกอบด้วย 2 คอลัมน์ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การแยกสารประกอบของสารหนู โดยใช้ column ต่างชนิด

column	mobile phase	As compound	retention time(sec)
Cation exchange column : Supelcucosil SCX (250 mm × 4.1 mm, 5µm)	20 mM pyridine , pH 2.5, flow rate 1.2 mL /min	As(3+)	82
		DMA	94
		TMAO	100
		MA	121
		As(5+)	150
		AsB	264
		As-SugX	630
		TMA^{+}	661
		AsC	730
		DMAE	790
Anion exchange column : Hamilton PRP X-100 (250 mm × 4.1 mm, 5µm)	30 mM H_3PO_4 , pH 6, flow rate 1.2 mL /min	As-sugX	106.7
		AsB	109.0
		DMA	127.3
		MA	283.2
		As-sugXI	342.6
		As(5+)	528.5
		As-sugXII	538.6
		As-sugXIII	1158.7

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HPLC-ICP-MS

จากผลการวิเคราะห์การหาสารประกอบของสารหนู โดย HPLC-ICP-MS โดยใช้คอลัมน์ 2 ชนิด ที่แตกต่างจากตารางที่ 4.11 พบว่า

คอลัมน์ Cationic exchange (Supelcucosil SCX) เหมาะที่จะแยกสารประกอบประเภทที่มีประจุบวกดังนี้ MA , As(5+) , AsB , SugarX , TMA^+ , AsC และ DMAE สารที่ถูกชะออกมาร่วมกันคือ As(3+) , DMA และ TMAO

คอลัมน์ Anionic exchange (Hamilton PRP X-100) เหมาะที่จะแยกสารประกอบประเภทที่มีประจุลบ ดังนี้ DMA , MA , *As-sugXI , As(5+) , As-sugXII และ As-sugXIII สารที่ถูกชะออกมาร่วมกันคือ As-sugX และ AsB เมื่อนำตัวอย่างอาหารทะเลหมักมาทำการแยกโดยใช้คอลัมน์ทั้ง 2 แล้วดูชนิดของสารประกอบ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สารประกอบของสารหนูที่พบในตัวอย่างอาหารหมัก และ CRM

ตัวอย่าง	As^{3+}	As^{5+}	MA	DMA	TMA^+	AsB	TMAO	DMAE	Sug-X	Sug-XI	Sug-XII	Sug-XIII
สารมาตรฐาน CRM												
DOLT-2 (Dogfish liver – Trace elements)			√	√		√						
DORM-2 (Dogfish muscle)			√			√						
น้ำบูดูปัตตานี						√						
กะปิปลานครศรีธรรมราช					√	√						
กะปิกุ้งระยอง			√			√						
กะปิกุ้งโรงงานที่ระยอง			√			√						
ไตปลานครศรีธรรมราช			√			√						
น้ำปลาระยอง			√			√				√		

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HPLC-ICP-MS

*As-sugXI = arsenosugar (แสดงโครงสร้างรูปที่ 2.2)

√ = ตรวจพบ

การหาสารประกอบของสารหนูโดย HPLC-ICP-MS ในตัวอย่างอาหารหมักจากสัตว์ทะเล พบว่า ประกอบด้วย AsB , TMA^+ , DMA , MA และAs-sugXI ซึ่งสารประกอบส่วนใหญ่เป็น AsB ประมาณ 70 % ทั้งนี้เมื่อนำน้ำปลาที่ผ่านการหมักในระยะต่างๆมาเปรียบเทียบดูปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบสารหนู ตามที่แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างน้ำปลาระยะต่างๆ

As compounds	AsB (ng/g)	As-sugXI (ng/g)
น้ำปลา 7 วัน	330.9	214.0
น้ำปลา 30 วัน	634.9	524.8
น้ำปลา 150 วัน	340.7	193.6
น้ำปลา 240 วัน (กรอง)	1492.5	-
น้ำปลา 240 วัน(กาก)	1541.9	140.2

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วย HPLC-ICP-MS

พบว่า เมื่อกระบวนการหมักเกิดขึ้นสารหนูในตัวปลาจะออกมา และพบในรูป AsB และ As-sugXI เมื่อผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 30 วัน ปริมาณสารหนู AsB และ As-sugXI มีค่าใกล้เคียงกัน จากนั้น As-sugXI จะเริ่มลดลง ในขณะที่ AsB จะค่อยๆเพิ่มขึ้น เป็นไปได้ว่ากระบวนการหมักน้ำปลาที่มีจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้องสามารถเปลี่ยน As-sugXI เป็น AsB