มูลนิธิโครงการหลวง

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์/ประจำปี 2554

โครงการวิจัยเลขที่ 3055 - 3907

คุณภาพซากและเนื้อของปลาสเตอร์เจียนที่ผลิตโดยมูลนิธิโครงการหลวง

Carcass and Meat Quality of Sturgeon (*Huso huso*) Produced by Royal Project Foundation

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

คุณหญิง ดร. โกมุท อุ่นศรีส่ง	**ที่ปรึกษา**
รศ. ดร. สัญชัย จตุรสิทธา	**หัวหน้าโครงการ**
ดร. ประสาน พรโสภิณ	**ผู้ร่วมโครงการ**
นาย อมรินทร์ เดชานุวัติ	**ผู้ร่วมโครงการ**

ภาควิชาสัตวศาสตร์ และสัตว์น้ำ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

ตุลาคม 2554

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะซาก เนื้อและองค์ประกอบของกรดไขมันของปลาสเตอร์เจียนที่ผลิตโดยมูลนิธิโครงการหลวง จำนวน 24 ตัว วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยมีปัจจัยในการทดลอง คือ ระดับของน้ำหนักตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำหนัก 3, 4 และ 5 กิโลกรัม (กลุ่มละ 8 ตัว) ฆ่าและชำแหละปลา และเก็บตัวอย่างเนื้อปลาเพื่อวิเคราะห์คุณภาพซาก และเนื้อ จากการศึกษาพบว่า พบว่า ปลากลุ่มที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม มีน้ำหนักซากเย็นและน้ำหนักซากอุ่นมากที่สุด ($P<0.001$) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์อวัยวะส่วนอื่นๆ ในปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์เนื้อจะเพิ่มตามน้ำหนักตัว สำหรับเปอร์เซ็นต์อวัยวะภายในนั้นพบว่าปลากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์มากที่สุด ส่งผลให้ค่าดัชนีเครื่องในสูง สำหรับการศึกษาคุณภาพเนื้อนั้นพบว่า ปลาในกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ($P<0.01$) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น และไขมันในปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกันกับค่า pH ในปลาทั้ง 3 กลุ่มที่ไม่แตกต่างกัน สำหรับค่าสีพบว่า ปลาในกลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมก็มีค่าความเป็นสีแดง (a*) ในเนื้อมากที่สุด ($P<0.05$) แต่ไม่ต่างจากกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าปลาที่มีน้ำหนักมาก ค่าการสูญเสียน้ำจะลดลง สำหรับปริมาณคอลลาเจนในเนื้อนั้น พบว่า ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ และปริมาณคอลลาเจนรวมในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีค่าสูงที่สุด ($P<0.05$) ส่งผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมที่มีค่าแรงตัดผ่านน้อยที่สุด ($P<0.05$) สอดคล้องกับค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดเนื้อ สำหรับคะแนนการตรวจชิมพบว่ากลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมมีคะแนนรสชาติและกลิ่นเนื้อสูงที่สุด ส่งผลให้คะแนนความพึงพอใจโดยรวมสูงกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.05$) สำหรับผลของระยะเวลาในการเก็บรักษานั้นพบว่า ระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นมีผลให้ค่าการหืนในเนื้อเพิ่มมากขึ้นในปลาทั้ง 3 กลุ่ม เช่นเดียวกับค่าไตรเมทิลเอมีน ส่วนคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันนั้นพบว่า กลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิ่มตัว C 16:0 ต่ำกว่ากลุ่มอื่นแต่มีกรดไขมันอิ่มตัวอื่น ๆ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะเดียวกันก็มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว C 24:1 n-9 สูงกว่าด้วย ($P<0.05$) ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว C 14:1 และ C 15:1 นั้นพบว่า กลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับกรดไขมัน DHA และ EPA รวมทั้งสัดส่วนของ PUFA:SFA และ n-6:n-3 ในปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์ประมาณ 9.2-9.5%, 5.0-5.2%, 0.47-0.49 และ 0.22-0.25 ตามลำดับ ซึ่งโดยสรุปแล้วปลาสเตอร์เจียนที่ผลิตโดยมูลนิธิโครงการหลวงที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีคุณภาพดีที่สุด

ABSTRACT

This experiment was conducted to investigate carcass and meat characteristics as well as fatty acid composition of cultured sturgeon produced by Royal Project Foundation. This experiment was designed as a completely randomized design. A total of 24 male fish subdivided into three groups of 8 fish based on different slaughter weight by randomly follow; 3.0, 4.0 and 5.0 kg. Fish were slaughtered and analyzed carcass and meat quality. The result showed that fish at 5 kg of BW group had the highest hot and chilled carcass weight ($p<0.001$) while the other body composition were not differ significantly. However there was a tendency that fillet yield increased by body weight. For meat quality, protein percentage of fish at 4 and 5 kg of BW groups as higher than 3 kg of BW group ($P<0.01$) but no differ significantly in moisture and fat percentage. For meat color, fillet color of fish at 4 kg of BW was found the reddest (a*) ($P<0.05$) but not differ to 5 kg BW. Mean value of water holding capacity were not differ among 3 groups but there was a tendency that water loss decreased in the higher weight group. Soluble and total collagen content of fish at 5 kg BW group were higher than the other groups ($P<0.05$) that related to lower in maximum shear force value and also in lower energy in this group ($P<0.05$). For sensory analysis, fish at 4 kg of BW group was higher in flavor, odor and also overall acceptability score ($P<0.05$). The effect of storage time, TBARs and TMA content in fish increased with period of storage. The fatty acid composition, fish at 4 kg of BW group found in lower percentage of C 16:0 but higher in the other SFA ($P<0.05$), likewise to C 24:1 n-9 than the other group ($P<0.05$). The highest percentage of C 14:1+C 15:1 was found at 4 and 5 kg of BW group ($P<0.05$). There were not significantly in percentage of DHA and EPA also in the ratio of PUFA:SFA and n-6:n-3 ratios of 3 groups of fish that were in the range 9.2-9.5%, 5.0-5.2%, 0.47-0.49 and 0.22-0.25 respectively. In conclusion, sturgeon at 5 kg of BW weight produced by Royal Project Foundation had suitable meat quality for consumption.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
สารบัญ	iii
สารบัญตาราง	vii
สารบัญภาพ	viii
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
2.1 ปลาสเตอร์เจียน (sturgeon)	3
2.2 คุณภาพซาก (carcass quality)	5
2.3 คุณภาพเนื้อ (meat quality)	7
2.3.1 ความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ (pH value)	7
2.3.2 ค่าสีของเนื้อ (meat color)	8
2.3.3 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)	9
2.3.4 การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation)	10
2.3.5 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Blazler shear force)	10
2.3.6 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory analysis)	11
2.3.7 ส่วนประกอบคอลลาเจน (collagen cntent)	12
2.3.8 ค่าการหืนของเนื้อ (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)	13
2.3.9 ส่วนประกอบไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine :TMA content)	14
2.3.10 ส่วนประกอบคอเลสเตอรอล (cholesterol content)	15
3.3.11 ส่วนประกอบไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride content)	16
3.3.12 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	17
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	17
3.2 สารเคมี	19
3.3 การทดลอง	21
3.3.1 สัตว์ทดลอง	21
3.3.2 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ	21
3.4 การศึกษาคุณภาพซาก (carcass quality)	22
3.4.1 ความยาวซาก (carcass length)	22
3.4.2 เปอร์เซ็นต์ซาก (dressing percentage)	22
3.5 การศึกษาคุณภาพเนื้อ (meat quality)	24
3.5.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ (muscle pH measurement)	24
3.5.2 การประเมินค่าสีของเนื้อ (meat color measurement)	24
3.5.3 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)	24
3.5.3.1 การวิเคราะห์หาความชื้น (moisture analysis)	25
3.5.3.2 การวิเคราะห์หาโปรตีน (protein analysis)	25
3.5.3.3 การวิเคราะห์หาไขมัน (ether extract analysis)	26
3.5.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity)	27
3.5.4.1 การสูญเสียน้ำจากการทำละลายน้ำแข็ง (thawing loss)	27
3.5.4.2 การสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหาร (boiling loss)	27
3.5.4.3 การสูญเสียน้ำจากการปิ้งย่าง (grilling loss)	28
3.5.5 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Blazler shear force)	28
3.5.6 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory analysis)	28
3.5.7 การวิเคราะห์หาปริมาณคอลลาเจน (collagen content)	28
3.5.8 การวิเคราะห์หาค่าการหืนของเนื้อ (TBARS analysis)	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.9 การวิเคราะห์ไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine : TMA analysis)	30
3.5.10 การวิเคราะห์ส่วนประกอบคอเลสเตอรอล (cholesterol analysis)	31
3.5.11 การวิเคราะห์ส่วนประกอบไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride analysis)	32
3.5.12 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง	35
4.1 คุณภาพซาก (carcass quality)	35
4.1.1 เปอร์เซ็นต์ลักษณะซาก (body composition percentage)	35
4.1.2 ความยาวซาก (carcass length)	37
4.2 คุณภาพเนื้อ (meat quality)	38
4.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ (pH value)	38
4.2.2 ค่าสีของเนื้อ (meat color)	38
4.2.3 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)	39
4.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity)	39
4.2.5 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force value)	40
4.2.6 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory evaluation)	40
4.2.7 ส่วนประกอบคอลลาเจน (collagen content)	41
4.2.8 ค่าการหืนของเนื้อ (TBARS)	42
4.2.9 ค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อ (trimethylamine content)	43
4.2.10 ส่วนประกอบคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ (cholesterol and triglyceride content)	44
4.2.11 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)	44
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง	46
5.1 คุณภาพซาก (carcass quality)	46
5.1.1 เปอร์เซ็นต์ลักษณะซาก (body composition percentage)	46
5.2 คุณภาพเนื้อ (meat quality)	47
5.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ (pH value)	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 ค่าสีของเนื้อ (meat color)	47
5.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (chemical composition)	48
5.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity)	49
5.2.5 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force value)	50
5.2.6 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory evaluation)	50
5.2.7 ส่วนประกอบคอลลาเจน (collagen content)	51
5.2.8 ค่าการหืนของเนื้อ (TBARS)	51
5.2.9 ค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อ (trimethylamine content)	52
5.2.10 ส่วนประกอบคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ (cholesterol and triglyceride content)	53
5.2.11 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)	53
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	55
เอกสารอ้างอิง	56

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3-1 Composition and characteristics of experimental diet 21
4-1 Body composition percentage of sturgeon at different slaughter weight 36
4-2 Biometric data of sturgeon at different slaughter weight 37
4-3 pH value of sturgeon at different slaughter weight 38
4-4 Meat color of fillet of sturgeon at different slaughter weight 39
4-5 Chemical composition of sturgeon at different at slaughter weight 39
4-6 Water holding capacity of sturgeon at different slaughter weight 40
4-7 Warner-Blatzler Shear Force of sturgeon at different slaughter weight 40
4-8 Sensory analysis of sturgeon at different slaughter weight 41
4-9 Collagen content of sturgeon at different slaughter weight 42
4-10 Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS; mg malondialdehyde/kg fillet) of sturgeon at different slaughter weight 43
4-11 Trimethylamine (mg/100 g fillet) content of sturgeon at different slaughter weight 43
4-12 Cholesterol and triglyceride content of sturgeon at different slaughter weight 44
4-13 Fatty acid composition of sturgeon meat of sturgeon at different slaughter weight 44

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2-1 Sturgeon fish fed by Royal Project Foundation 3
2-2 Morphology of sturgeon 4
2-3 Fillets of sturgeon for analyzing meat quality 6
2-4 pH measurement of sturgeon at 45 min and 24 hr post mortem 8
2-5 Color measurement of sturgeon fillet at 48 hr post mortem 9
2-6 Warner Blatzler Shear Force Device 12
2-7 Spectrophotometer for analyzing the absorbance of sample 16

อักษรย่อและสัญลักษณ์

a*	redness (red-green index)
ALA	alpha linolenic acid
b*	yellowness (yellow-blue index)
°C	degree celsius
DHA	docosahexaenoic acid
EPA	eicosapentaenoic acid
g	gram
g	gravity
GC	gas chromatography
J	joule
kg	kilogram
L*	lightness
M	mole
mg	milligram
mM	millimole
ml	milliliter
mm	millimeter
MUFA	monounsaturated fatty acid
N	Newton
N	normal
n-3	omega 3
n-6	omega 6
nm	nanometer
pm.	post mortem
P/S	polyunsaturated : saturated fatty acid
PUFA	polyunsaturated fatty acid
SAS	Statistical Analysis system

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

SFA	saturated fatty acid
TBARS	thiobarbituric acid reactive substances
TMA	trimethylamine
UFA	unsaturated fatty acid
WHC	water holding capacity

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันประชากรของโลก กำลังประสบกับปัญหาด้านสุขภาพมากขึ้น เนื่องจากพฤติกรรมการดำเนินชีวิตที่เต็มไปด้วยการแข่งขัน มีความเร่งรีบ ขาดการดูแลสุขภาพ และมีความเครียดสูง รวมทั้งพฤติกรรมการบริโภคอาหารแบบตะวันตกจำพวกแป้ง ที่ให้พลังงานสูง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรค เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardio vascular diseases; CVD) โรคความดันโลหิตสูง และโรคมะเร็ง เป็นต้น ในหลายประเทศจึงมีการพัฒนาอุตสาหกรรม การผลิตอาหารมากขึ้น โดยให้ความสำคัญกับผู้บริโภคเป็นหลัก และหาวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งอาหารที่มีคุณภาพและเป็นประโยชน์กับผู้บริโภคมากขึ้น การให้ความสนใจในการบริโภคเนื้อปลา จึงเข้ามามีบทบาทในการบริโภคเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาสเตอร์เจียน ซึ่งจัดเป็นอาหารที่ให้โปรตีนสูง ไขมันต่ำ และยังมีกรดไขมันที่จำเป็นบางตัวที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า 3

สำหรับการเลี้ยงปลาสเตอร์เจียนในประเทศไทยนั้น ในปี 2548 กรมประมงมีการนำเข้าไข่ปลาสเตอร์เจียนจากประเทศรัสเซียมาทดลองฟักที่ศูนย์วิจัยประมงน้ำจืดดอยอินทนนท์จำนวนหนึ่ง ซึ่งปรากฏว่ามีอัตรารอดมาได้ถึง 90% และผลจากการทดลองเลี้ยงพบว่าปลาสามารถเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศบนดอยอินทนนท์ เนื่องจากปลาชนิดนี้อาศัยอยู่ในสภาพพื้นที่ที่มีอากาศหนาวไม่เกิน 20°C (ประสาน, 2551)

เนื่องจากองค์ความรู้ทางด้านคุณภาพของเนื้อปลาสเตอร์เจียนสำหรับในประเทศไทยนั้นยังคงมีอยู่น้อยมาก ยังคงขาดการศึกษาอย่างจริงจัง เพื่อที่จะนำองค์ความรู้ที่ได้นี้ไปใช้พัฒนากระบวนการผลิตเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตได้ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาผลของน้ำหนักตัวปลา ต่อคุณภาพเนื้อและคุณภาพไขมันของเนื้อปลาสเตอร์เจียนที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลในการทำตลาดหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคต่อไป

ในขณะนี้ยังไม่มีการศึกษาในด้านคุณภาพเพื่อการบริโภคเนื้อปลาสเตอร์เจียนจากการเลี้ยงบริเวณที่สูงของประเทศไทย ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการนำเนื้อของปลาสเตอร์เจียนมาวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพเนื้อและไขมัน โดยคาดหวังว่าข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมผลิตเชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังให้ข้อมูลเชิงคุณภาพกับผู้บริโภค ที่เลือกบริโภคเนื้อที่มีคุณค่าต่อสุขภาพ รวมทั้งเป็นการสร้างรายได้ของมูลนิธิโครงการหลวงอีกด้วย ซึ่งมูลนิธิโครงการหลวงสามารถเพิ่มผลผลิตที่มีตลาดรองรับมากยิ่งขึ้น ตลอดจนเป็นการเปิดตลาดกับผู้บริโภคที่นิยมบริโภคเนื้อปลาสเตอร์เจียนที่มีรสชาติดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเนื้อปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงในสภาพการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ จากมูลนิธิโครงการหลวง ดอยอินทนนท์ จ. เชียงใหม่ ที่มีน้ำหนักต่างๆ กัน 3 ช่วงคือ 3, 4 และ 5 กิโลกรัม เพื่อศึกษาคุณภาพทางด้าน

1. คุณภาพซากทางด้านน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซาก ความยาวซาก เป็นต้น
2. คุณภาพเนื้อ และความสามารถในการอุ้มน้ำ การตรวจชิม รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี
3. คุณภาพไขมัน องค์ประกอบของกรดไขมัน ปริมาณคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอร์ไรด์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงข้อมูลคุณภาพซาก เนื้อ และไขมันในเนื้อปลาสเตอร์เจียน ที่เลี้ยงโดยมูลนิธิโครงการหลวงดอยอินทนนท์ ในสภาพท้องที่ภาคเหนือเชิงพาณิชย์ จากศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ ที่น้ำหนักต่างๆกันคือ 3, 4 และ 5 กิโลกรัม เพื่อเป็นแนวทางการยอมรับคุณภาพเนื้อของปลาสเตอร์เจียนน้ำหนักต่างๆ กัน โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมก้า 3 ชนิด EPA และ DHA ใช้เป็นแนวทางส่งเสริมการขายปลาสเตอร์เจียน ให้ได้คุณภาพสำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ปลาสเตอร์เจียน (sturgeon)

สเตอร์เจียน เป็นชื่อสามัญที่ใช้เรียกปลา 26 สปีชีส์ในสกุล Acipenseridae ประกอบด้วย *genera* *Acipenser*, *Huso*, *Scaphirhynchus* และ *Pseudoscaphirhynchus*

ปลาสเตอร์เจียนขาว (beluga sturgeon) หรือยูโรเปี้ยนสเตอร์เจียน (*Huso huso*) เป็นปลาสองน้ำในตระกูลปลาสเตอร์เจียน (Acipenceridae) ในลำดับ Acipenseriformes ถิ่นดั้งเดิมพบในบริเวณลุ่มน้ำทะเลแคสเปี้ยน และทะเลดำ อาศัยอยู่ได้ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และทะเล เมื่อยังเล็กจะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืด ทะเลสาบหรือตามปากแม่น้ำ แต่เมื่อโตขึ้นจะว่ายอพยพลงสู่ทะเลใหญ่ และเมื่อถึงฤดูวางไข่ก็จะว่ายกลับมาวางไข่ในแหล่งน้ำจืด ปลาเพศเมียสามารถผลิตไข่ ที่เรียกว่า ไข่ปลาคาเวียร์ ซึ่งเป็นอาหารที่มีราคาสูงมาก ปลาสเตอร์เจียนหากินตามพื้นน้ำ โดยอาหารได้แก่ สัตว์น้ำขนาดเล็กต่าง ๆ คำว่า เบลูก้า (beluga) เป็นคำจากภาษารัสเซียนแปลว่า “ขาว” จึงเรียกว่า ปลาสเตอร์เจียนขาว

Figure 2-1 Sturgeon fish fed by Royal Project Foundation

ปลาสเตอร์เจียนขาวเป็นปลาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดระหว่างสายพันธุ์ปลาสเตอร์เจียนทั้งหมด สามารถยาวได้ถึง 6 เมตร และหนักกว่า 1ตัน (Berg, 1948) Khodorevskaya and Novikova (1995) รายงานว่า ความยาวเฉลี่ยของปลาเพศผู้ที่ยังไม่สมบูรณ์พันธุ์ประมาณ 2.25 เมตร และเพศเมีย 2.6 เมตร ปลาที่มีอายุมากสุดที่มีรายงานไว้ คือ 118 ปี (Babushkin et al.,1964, cited in Pirogovskii et al., 1989) เพศผู้เข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ที่อายุ 10 ถึง 16 ปี ในขณะที่เพศเมีย 14 ถึง 20 ปี ขนาดตัวที่วางไข่ครั้งแรกเฉลี่ย 2 เมตร และน้ำหนัก 50 กิโลกรัม (Hochleithner and Gessner, 1999)โดยปลาตัวเมีย 1 ตัว จะให้ไข่ 1 ปี และเว้นอีก 2 ปี จึงจะให้ไข่อีก แม่ปลา 1 ตัวจะให้ไข่ 15% ของน้ำหนักตัวปลา เป็นไข่ปลาที่มีรสชาติอร่อยและแพงมาก ปัจจุบันไข่ปลาสเตอร์เจียนจะนิยมบริโภคมากที่สุดทั้งในรัสเซีย ยุโรป และอเมริกา ซึ่งอิตาลีเป็นประเทศแรกที่ถนอมไข่ปลาสเตอร์เจียนเพื่อเก็บได้นาน จึงเรียกเป็นภาษาอิตาลีว่า ไข่คาร์เวียร์ (ประสาน, 2551)

ปัจจุบันปลาสเตอร์เจียนขาว ที่ถูกจับได้มีขนาดความยาว 142 ถึง 328 เซนติเมตร และน้ำหนักตั้งแต่ 19 ถึง 264 กิโลกรัม โดยปกติแล้วปลาเพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ประมาณ 20% สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาสเตอร์เจียนนั้น พบว่าปลาสามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 23°C ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 26°C และอัตราการให้อาหารที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 23 °C คือ 2 ถึง 2.5% และ 26°C คือ 2.5 ถึง 3% ของน้ำหนักตัวต่อวัน (Hung *et al*., 1993)

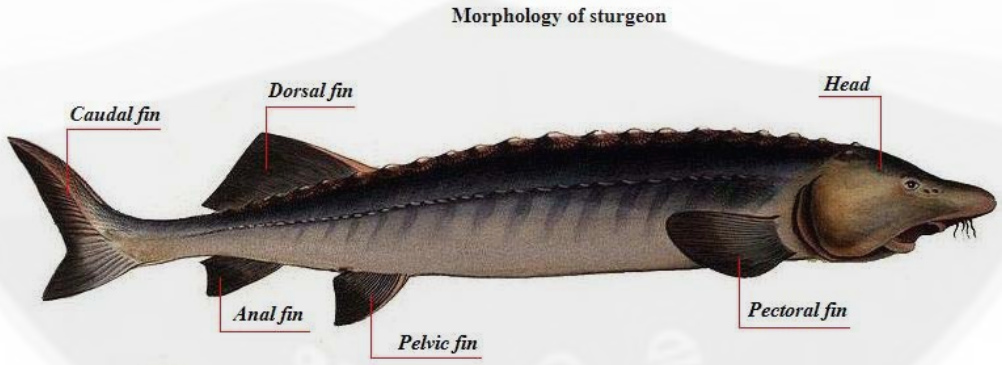

Figure 2-2 Morphology of sturgeon

การจำแนกอนุกรมวิธานของปลาสเตอร์เจียนขาวจัดอยู่ใน

Kingdom : Animalia
Phylum : Chordata
Class : Actinopterygii
Order : Acipenseriformes
Family : Acipenseridae
Genus : *Huso*
Species : *H. huso*

สำหรับการบริโภคเนื้อนั้น ผู้บริโภคหรือผู้ผลิตจะให้ความสำคัญในการพิจารณาคุณภาพเนื้อจากลักษณะที่เป็นองค์ประกอบโดยรวม เช่น คุณสมบัติการตรวจชิม รวมถึงรูปลักษณ์และคุณภาพ เช่น ลักษณะที่ปรากฏ ไขมันแทรก ความแข็ง กลิ่น สี ความนุ่ม ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และ กรดไขมัน อีกทั้งยังให้ความสำคัญถึงองค์ประกอบของกรดไขมันและคุณค่าทางอาหารของเนื้ออีกด้วย

2.2 คุณภาพซาก (carcass quality)

คุณภาพซาก หมายถึง ลักษณะร่วมกันของคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ ปริมาณเนื้อแดง ไขมัน และกระดูก เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกในเชิงปริมาณที่มีผลต่อคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความนิยมจากผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพซากมีดังนี้ (สัญชัย, 2550)

1. ตัวของสัตว์ หมายถึง สภาพทั่ว ๆ ไปของสัตว์ก่อนนำมาฆ่าเพื่อใช้เป็นอาหาร เช่น ลักษณะทางพันธุกรรม ลักษณะเฉพาะตัวของสัตว์เอง และการจัดการเลี้ยงดู
2. ส่วนประกอบของซากที่บริโภคได้ (edible meat) หมายถึง ส่วนประกอบของซากที่นำไปใช้เพื่อการบริโภคโดยเฉพาะเนื้อแดง เนื่องจากชิ้นส่วนซากที่ให้ปริมาณเนื้อแดงสูง จัดเป็นซากที่มีคุณภาพสูงด้วย
3. ความน่ารับประทาน (palatability) หมายถึง การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อสัตว์นั้น ๆ โดยพิจารณาจากลักษณะภายนอกของซาก เช่น สีตรงกับลักษณะของสัตว์นั้น ๆ ลักษณะรูปทรงของกล้ามเนื้อดี ไม่เละ
4. ความรู้สึกจากการบริโภค (eatability) ความรู้สึกนี้จะเกิดได้จากหลังเคี้ยวเนื้อ โดยพิจารณาจากความนุ่ม รสชาติ กลิ่น ความชุ่มฉ่ำ และความพอใจของผู้บริโภค

สำหรับการทดลองนี้ค่าดัชนีที่ใช้วัดคุณภาพซาก ได้แก่ น้ำหนักซากอุ่น (hot carcass weight) น้ำหนักซากเย็น (chill carcass weight) เปอร์เซ็นต์เนื้อ (flesh percentage) เปอร์เซ็นต์อวัยวะภายนอก (external organ percentage) เปอร์เซ็นต์อวัยวะภายใน (internal organ percentage) ค่าดัชนีของเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (VSI; viscero-somatic index) และค่าดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัว (HSI; hepato-somatic index)

โดยทั่วไปคุณภาพซากของปลาจะแตกต่างกันไปตามชนิด และสายพันธุ์ของปลา รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่ปลาอาศัยอยู่ จากรายงานของ Chapman *et al.* (2005) ที่ทำการศึกษาคุณภาพซากของปลาสเตอร์เจียนสายพันธุ์รัสเซียน เปรียบเทียบกับสายพันธุ์ไซบีเรียนแล้วพบว่า ขนาดของเนื้อสัน (fillet) ของสายพันธุ์รัสเซียนมีขนาดที่เล็กกว่าสายพันธุ์ไซบีเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 26 และ 32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Elpida *et al.* (2007) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ 2 สายพันธุ์คือ *Huso huso* (beluga sturgeon) และ *Acipenser stellatus* (stellate stuegeon) พบว่าในสายพันธุ์ stellate stuegeon จะมีขนาดของเนื้อสันที่ใหญ่กว่า beluga sturgeon อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือมีค่าเท่ากับ 38 และ 29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาที่แตกต่างกันยังสามารถทำให้คุณภาพซากของปลาแตกต่างกันด้วย ดังเช่นในการทดลองของ Sener *et al.* (2005) ที่ทำการเสริมน้ำมันชนิดต่างๆลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาแล้วพบว่า ในกลุ่มการทดลองที่ได้รับการเสริมน้ำมันดอกทานตะวัน ในปริมาณ 10% ของอาหารนั้นจะทำให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด และมีน้ำหนักตัวมากที่สุดอีกด้วย

Figure 2-3 Fillets of sturgeon for analyzing meat quality

สำหรับค่าดัชนีของเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (VSI; viscero-somatic index) เป็นค่าที่แสดงถึงผลทางเศรษฐกิจที่แสดงปริมาณของส่วนเหลือที่ต้องทิ้งจากกระบวนการตัดแต่งปลา (by-product) เนื่องจากเครื่องในเป็นส่วนที่บริโภคไม่ได้ ค่า VSI ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต (Chaiyapechara *et al*., 2003) และค่าดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัว (HSI; hepato-somatic index) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงสุขภาพ และการสะสมอาหารของปลา และปัญหาด้านโภชนะด้วย (รุ่งกานต์ และคณะ, 2547; Mihelakakis *et al*., 2001) โดยขนาดของตับจะสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและน้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการสะสมโภชนะในตับเพิ่มขึ้น

2.3 คุณภาพเนื้อ

หมายถึง ระดับความพึงพอใจโดยรวมที่ผู้บริโภคได้รับจากเนื้อ ซึ่งสามารถวัดได้จากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สี ความสามารถในการอุ้มน้ำ องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ เป็นต้น

2.3.1 ความเป็นกรด - ด่างของเนื้อ (pH value)

โดยปกติกล้ามเนื้อสัตว์ขณะมีชีวิตมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 7.2 หลังจากที่สัตว์ตาย กล้ามเนื้อจะมีค่า pH ลดลงเหลือ 6.0 (สัญชัย, 2550) เมื่อสัตว์ยังมีชีวิตอยู่ จะมีการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) และลำเลียงออกซิเจนผ่านกระแสโลหิตไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย กล้ามเนื้อจึงได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ หลังจากที่สัตว์ตายจะไม่มีการส่งออกซิเจนผ่านกระแสโลหิตไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ดังนั้นกล้ามเนื้อจึงขาดออกซิเจน แต่ร่างกายสัตว์ยังคงมีการผลิตพลังงานต่อไป ซึ่งจะผลิตพลังงานโดยการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เหมือนกับกรณีที่กล้ามเนื้อทำงานหนักเกินไปในขณะยังมีชีวิตอยู่ ซึ่งเป็นกลไกการจัดหาพลังงานให้กับกล้ามเนื้อเพื่อพยายามคงการมีชีวิตไว้ โดยเหตุการณ์นี้จะเป็นไปชั่วระยะหนึ่งเท่านั้นแล้วก็จะหมดไป ในสัตว์มีชีวิตกรดแลคติกซึ่งเป็นผลิตผลที่ได้จากการผลิตพลังงานจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อและทำให้กล้ามเนื้อเมื่อยล้านั้นต่อมาจะถูกส่งไปยังตับ และตับก็จะสังเคราะห์ให้กลายเป็นกลูโคสและไกลโคเจนก่อนที่จะถูกนำมาใช้อีกครั้งหนึ่ง แต่ในสัตว์ที่ตายแล้วกรดแลคติกจะสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อเป็นสาเหตุให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อลดต่ำลง ส่วนค่า pH สุดท้ายจะเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของไกลโคเจนที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อขณะกำลังฆ่า สัญชัย (2550) รายงานว่า กระบวนการฆ่ามีผลต่อการลดลงของปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ โดยส่งผลให้ค่า pH สุดท้ายลดลง กล้ามเนื้อมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อค่าสีและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

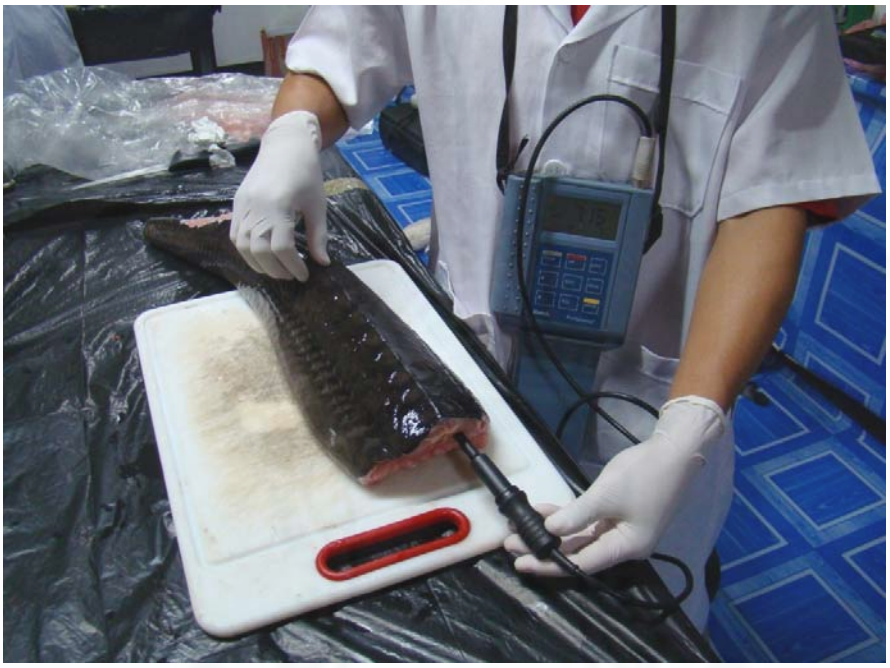

Figure2-4 pH measurement of sturgeon at 24 hr post mortem

โดยทั่วไปแล้ว ค่า pH ของปลามีค่าประมาณ 6.6-6.7 แต่ในปลาบางชนิด มีค่า pH น้อยกว่า 6.0 ได้แก่ ปลาทูน่า และปลาจาระเม็ด (Korhonen *et al*., 1990) สำหรับค่า pH เริ่มต้นของเนื้อปลาสเตอร์เจียนจะมีค่าประมาณ 7.0-7.1 และจะมีค่าลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่มากขึ้น (Elipida *et al*., 2007)

2.3.2 สี (Color)

สีของเนื้อมีความสำคัญต่อการยอมรับได้ของเนื้อ การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในเนื้อมีความสัมพันธ์กับสารสีไมโอโกลบินและฮีโมโกลบินที่อยู่ในเนื้อ สารสีในกล้ามเนื้อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสี (สัญชัย, 2553)

ภายหลังจากสัตว์ตายค่า pH จะลดลงจาก 7.2 เป็น 6.2 ขณะที่อุณหภูมิซากมีค่าระหว่าง 37-40 °C (Le Bihan-Duval, 2004) และเมื่อค่า pH ต่ำลงเนื้อจะมีสีอ่อนลง (lighter meat) พบมากในเนื้อที่เป็น PSE (pale, soft and exudative) (Fletcher, 1999) มีรายงานว่าในเนื้อปลาสเตอร์เจียนสายพันธุ์ไซบีเรียนจะมีเนื้อที่มีสีขาวมากกว่าสายพันธุ์ลูกผสมทางการค้าซึ่งจะแสดงให้เห็นในค่าความเป็นสีแดงจะมีค่าน้อยกว่าคือมีค่าเท่ากับ 0.87 และ 5.69 ตามลำดับ และยังมีค่าความสว่างของเนื้อมากกว่าสายพันธุ์ลูกผสมอีกด้วย

(Jankowska *et al*., 2002) สำหรับการศึกษาของ Oliveira *et al*. (2004) นั้นพบว่าเนื้อปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเทร้าต์ (trout diet) นั้นมีสีเนื้อเป็นสีเหลืองมาก ในขณะที่เนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาดุก (catfish diet) และ bass diet มีสีชมพูอ่อน

Figure 2-5 Color measurement of sturgeon fillet at 48 hr post mortem

2.3.3 องค์ประกอบทางเคมี

สารประกอบอินทรีย์หลัก 3 ชนิดในเนื้อที่มีความสำคัญต่อการบริโภค ได้แก่ ความชื้น โปรตีน และไขมัน ซึ่งปัจจัยที่มีบทบาทต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาสเตอร์เจียนมีมากมายเช่น พันธุกรรม อาหาร และสภาพแวดล้อม ซึ่งอาหารเป็นปัจจัยหลักที่มีบทบาทต่อการสะสมไขมันในร่างกายของปลาสเตอร์เจียน จากการทดลองของ Sener *et al*. (2006) ที่พบว่ากลุ่มการทดลองที่ให้อาหารที่มีปริมาณไขมันและโปรตีนที่สูงจะมีปริมาณไขมันในเนื้อมากกว่าในทุกกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีนต่ำและมีปริมาณไขมันต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 4.91 และ 3.14% ตามลำดับ และในการทดลองของ Jankowska *et al*. (2002) ที่รายงานว่า สายพันธุ์ของปลาที่แตกต่างกันส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปลานั้นแตกต่างไปด้วย คือ ปลาสายพันธุ์ลูกผสมทางการค้าจะมีปริมาณไขมันในเนื้อที่ต่ำกว่าในสายพันธ์ไซบีเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือมีค่าเท่ากับ 6.4 และ 9.5% และยังมีปริมาณโปรตีนที่มากกว่าอีกด้วย (15.2 และ 14.3%) และปลาสเตอร์เจียนสายพันธุ์ stellate sturgeon ซึ่งจะมีขนาดที่ใหญ่กว่า

ในสายพันธุ์ beluga sturgeon ตามธรรมชาตินั้นก็จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไปด้วย โดยสายพันธุ์ beluga sturgeon จะมีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยกว่าปลาสายพันธุ์ stellate sturgeon

2.3.4 การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสเป็นวิธีการประเมินโดยให้ผู้ทดสอบชิมตัดสินคุณภาพด้านความเหนียว ความนุ่ม กลิ่น รสชาติ ความชุ่มฉ่ำ และความพอใจโดยรวม เป็นต้น โดยให้คะแนนตามลักษณะที่พิจารณาได้ การสูญเสียน้ำจะลดคุณค่าทางโภชนะของอาหารและทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลงและรสชาติด้อยลง (Pelicano *et al*., 2003) โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.3.4.1 ความนุ่มของเนื้อ (tenderness)

ความนุ่มของเนื้อเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความน่ารับประทาน (palatability) (เยาวลักษณ์, 2536) โดยเนื้อที่ความนุ่มย่อมง่ายต่อการกัดหรือเคี้ยวให้ความรู้สึกอ่อนนุ่มเมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่อบริเวณแก้มและลิ้น และเนื้อจะยุ่ยละเอียดเมื่อเคี้ยวไประยะหนึ่งแล้ว เนื้อที่มีความนุ่มจะทำให้ผู้บริโภคเกิดความพอใจและสามารถบริโภคเนื้อได้มาก ตรงกันข้ามกับเนื้อที่มีความเหนียว (อุมาพร, 2546)

2.3.4.2 ความชุ่มฉ่ำ (juiciness)

ความชุ่มฉ่ำของเนื้อเป็นผลมาจากการที่กล้ามเนื้อมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ เพราะน้ำในเนื้อช่วยหล่อลื่นขณะทำการเคี้ยวก่อนที่จะกลืน นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นต่อมน้ำลายให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความรู้สึกชุ่มลำคอ ซึ่งความชุ่มฉ่ำของเนื้อสามารถประเมินได้จากการตรวจชิมตัวอย่างขณะที่บดเคี้ยวอยู่ในปากทำให้รู้สึกว่าเนื้อไม่แห้งและร่วน นอกจากนี้ไขมันที่แทรกอยู่ในเนื้อทำให้เนื้อชุ่มฉ่ำ และยังส่งผลให้เนื้อนุ่มขึ้น ส่วนมากได้จากเนื้อสัตว์อายุน้อยถือว่าเป็นเนื้อที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จะมีระดับคะแนนการตรวจชิมสูงด้วย (สัญชัย, 2550)

2.3.4.3 กลิ่นและรสชาติ (flavor)

ความรู้สึกของรสชาติและกลิ่นของเนื้อสัตว์ที่บริโภคนั้นนับเป็นความรู้สึกที่ยากในการแยกแยะออกจากกัน แต่ในทางสรีรวิทยาแล้วความรู้สึกในรสชาติเป็นผลสืบเนื่องมาจากความรู้สึกรับรู้พื้นฐาน 4 ชนิด คือ รสเค็ม หวาน เปรี้ยว และขม โดยเส้นประสาทที่ผิวของลิ้น ส่วนกลิ่นนั้นรับรู้ได้โดยการถูกกระตุ้นของปลายประสาทในโพรงจมูกด้วยสารระเหยได้จากเนื้อ ความรู้สึกรวมจึงกลายเป็นการรับรู้รส (taste) และกลิ่น (smell) นั่นเอง ส่วนประกอบของเนื้อที่ทำให้เกิดรสชาติ ได้แก่ สารประกอบในเนื้อ ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบรส กลิ่น ได้แก่ พวกอินโนซินโมโนฟอสเฟต (Inosine monophosphate, IMP) และไฮโปซานติน (hyposantine) และเนื่องจากสารประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นผลิตผลจากการแปรสภาพของพลังงาน ATP ดังนั้นจึงน่าจะเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กล้ามเนื้อที่ทำงานหนักของ

ร่างกาย เช่น ขาหลัง ขาหน้า และเนื้อจากสัตว์ป่า มีกลิ่นรสแรงกว่าเนื้อจากส่วนอื่นหรือสัตว์เลี้ยงโดยทั่วๆ ไป ส่วนรสชาติของเนื้อนั้นเกิดจากสารให้รสของโปรตีนในเนื้อ ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนและสารเปบไทด์ในเนื้อ (สัญชัย, 2550)

2.3.5 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity; WHC)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของเนื้อสด เป็นความสามารถของเนื้อในการเก็บน้ำทั้งหมดหรือบางส่วนไว้ในเนื้อ ปัจจัยที่มีผลต่อค่า WHC ได้แก่ pH ซึ่งจะลดลงจาก 7.0 ในกล้ามเนื้อสัตว์ และลดลงเหลือประมาณ 5.5 ในเนื้อ นอกจากนี้ได้แก่ ชนิดของกล้ามเนื้อ และชนิดของสัตว์ซึ่งมีผลต่อความแปรปรวนของตำแหน่ง และโครงสร้างของเนื้อ (Pearson and Dutson, 1999) การวัดค่า WHC โดยการวัดปริมาณน้ำไหลออกจากเนื้อ เมื่อนำเนื้อไปหาค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษา (drip loss) คือภายใน 24 ชั่วโมง อาจจะมีปริมาณน้ำที่ไหลออกมาจากชิ้นเนื้อประมาณ 3% ส่วนการสูญเสียน้ำขณะประกอบอาหาร (cooking loss) มีค่าประมาณ 25-35% ซึ่งการวัดความสามารถในการอุ้มน้ำจะใช้ในการประเมินความชุ่มฉ่ำและคุณภาพของเนื้อได้ (Honikel and Hamm, 1999) Suárez *et al*. (2005) กล่าวว่ากล้ามเนื้อของปลามีการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้นระหว่างชั่วโมงแรก ๆ ของการเก็บรักษา และจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาได้ 10 ชั่วโมงจนกระทั่ง 72 ชั่วโมงการสูญเสียน้ำจะค่อย ๆ ลดลง

2.3.6 ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ (Warner Blatzler shear force value)

การวัดความเหนียวนุ่มของเนื้อนอกจากวัดเวยการตรวจชิมแล้ว สามารถวัดได้จากเครื่องวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner Blatzler Shear Force Device) ที่มีหัวตัดแบบต่าง ๆ โดยการนำเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกโดยวิธีการต้ม ย่าง หรืออบ ให้มีอุณหภูมิใจกลางเนื้อ (core temperature) 70 °C สำหรับเนื้อปลาและเนื้อโค 72 °C สำหรับเนื้อสุกร และ 80°C สำหรับเนื้อไก่ ซึ่งอุณหภูมิใจกลางจะถูกควบคุมด้วยเครื่อง thermocouple จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และซับเนื้อให้แห้ง จากนั้นเจาะด้วยหัวเจาะกลวง (Core) เนื้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร และนำไปวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ บันทึกค่าแรงที่ได้หน่วยนิวตัน (Newton) และพลังงาน (Joule)

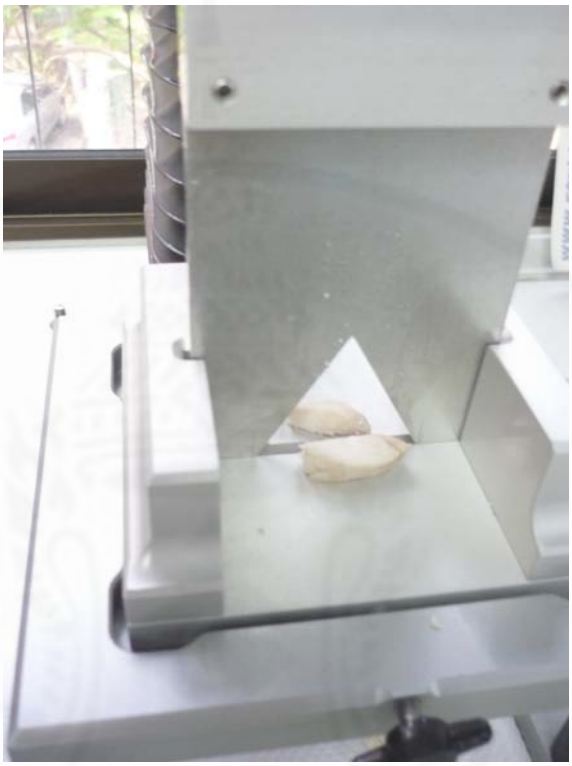

Figure 2-6 Warner Blatzler Shear Force Device

2.3.7 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory analysis)

การประเมินคุณภาพด้านเป็นวิธีการประเมินโดยให้ผู้ทดสอบชิมตัดสินคุณภาพด้านความเหนียว ความนุ่ม กลิ่น รสชาติ ความชุ่มฉ่ำ และความพอใจโดยรวม เป็นต้น โดยให้คะแนนตามลักษณะที่พิจารณาได้ การสูญเสียน้ำจะลดคุณค่าทางโภชนะของอาหารและทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลงและรสชาติด้อยลง (Pelicano *et al*., 2003) โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.3.7.1 ความนุ่มของเนื้อ (tenderness)

ความนุ่มของเนื้อเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความน่ารับประทาน (palatability) (เยาวลักษณ์, 2536) โดยเนื้อที่ความนุ่มย่อมง่ายต่อการกัดหรือเคี้ยวให้ความรู้สึกอ่อนนุ่มเมื่อสัมผัสกับเนื้อเยื่อบริเวณแก้มและลิ้น และเนื้อจะยุ่ยละเอียดเมื่อเคี้ยวไประยะหนึ่งแล้ว เนื้อที่มีความนุ่มจะทำให้ผู้บริโภคเกิดความพอใจและสามารถบริโภคเนื้อได้มาก ตรงกันข้ามกับเนื้อที่มีความเหนียว

2.3.7.2 ความชุ่มฉ่ำ (juiciness)

ความชุ่มฉ่ำของเนื้อเป็นผลมาจากการที่กล้ามเนื้อมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ เพราะน้ำในเนื้อช่วยหล่อลื่นขณะทำการเคี้ยวก่อนที่จะกลืน นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นต่อมน้ำลายให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความรู้สึกชุ่มลำคอ ซึ่งความชุ่มฉ่ำของเนื้อสามารถประเมินได้จากการตรวจชิมตัวอย่างขณะที่บดเคี้ยวอยู่ในปากทำให้รู้สึกว่าเนื้อไม่แห้งและร่วน นอกจากนี้ไขมันที่แทรกอยู่ในเนื้อทำให้เนื้อชุ่มฉ่ำ และยังส่งผลให้เนื้อนุ่มขึ้น ส่วนมากได้จากเนื้อสัตว์อายุน้อยถือว่าเป็นเนื้อที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จะมีระดับคะแนนการตรวจชิมสูงด้วย (สัญชัย, 2550)

2.3.7.3 กลิ่นและรสชาติ (flavor)

ความรู้สึกของรสชาติและกลิ่นของเนื้อสัตว์ที่บริโภคนั้นนับเป็นความรู้สึกที่ยากในการแยกแยะออกจากกัน แต่ในทางสรีรวิทยาแล้วความรู้สึกในรสชาติเป็นผลสืบเนื่องมาจากความรู้สึกรับรู้พื้นฐาน 4 ชนิด คือ รสเค็ม หวาน เปรี้ยว และขม โดยเส้นประสาทที่ผิวของลิ้น ส่วนกลิ่นนั้นรับรู้ได้โดยการถูกกระตุ้นของปลายประสาทในโพรงจมูกด้วยสารระเหยได้จากเนื้อ ความรู้สึกรวมจึงกลายเป็นการรับรู้รส (taste) และกลิ่น (smell) นั่นเอง ส่วนประกอบของเนื้อที่ทำให้เกิดรสชาติ ได้แก่ สารประกอบในเนื้อ ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบรส กลิ่น ได้แก่ พวกอินโนซินโมโนฟอสเฟต (Inosine monophosphate, IMP) และไฮโปซานติน (hyposantine) และเนื่องจากสารประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นผลิตผลจากการแปรสภาพของพลังงาน ATP ดังนั้นจึงน่าจะเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กล้ามเนื้อที่ทำงานหนักของร่างกาย เช่น ขาหลัง ขาหน้า และเนื้อจากสัตว์ป่า มีกลิ่นรสแรงกว่าเนื้อจากส่วนอื่นหรือสัตว์เลี้ยงโดยทั่วๆ ไป ส่วนรสชาติของเนื้อนั้นเกิดจากสารให้รสของโปรตีนในเนื้อ ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนและสารเปบไทด์ในเนื้อ (สัญชัย, 2550)

2.3.7.4 ความพึงพอใจโดยรวม (overall acceptability)

เป็นการประเมินความพอใจและการยอมรับรวมกันทั้งสามอย่างจากการตรวจชิมเนื้อ คือ ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และรสชาติ ผู้ตรวจชิมให้คะแนนประเมินความพึงพอใจจากการตรวจชิมตัวอย่างเนื้อ และตัดสินคุณภาพการบริโภคและลักษณะของเนื้อ ซึ่งเนื้อสัตว์แต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะและมีความแตกต่างกันไป (สัญชัย, 2550)

2.3.8 ปริมาณคอลลาเจน

คอลลาเจนเป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อ คุณภาพของคอลลาเจนมีความสัมพันธ์กับความเหนียวนุ่มของเนื้อสัตว์ เช่น ในขณะที่สัตว์ยังอายุน้อย ภายในโมเลกุลคอลลาเจนจะมีปริมาณของ intermolecular crosslink ซึ่งก็คือตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลของคอลลาเจนแต่ละโมเลกุลเข้า

ด้วยกันอยู่ต่ำมาก ขณะนั้นเนื้อจะนุ่ม แต่เมื่อสัตว์อายุมากขึ้นจนผ่านพ้นอายุหนุ่มสาวไปแล้วนั้น ปริมาณ intermolecular crosslink จะสูงมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เนื้อเหนียวขึ้นไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่สูงขึ้นด้วย (สัญชัย, 2551)

ชนิดของที่มีปริมาณคอลลาเจนน้อย เช่น sardine (*Sardinops melanostictus*), brook masu salmon (*Oncorhynclus masou masou*), argentine (*Glossanodon semifasciatus*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) และ house mackerel (*Trachurus japonicus*) ซึ่งปลาทั้งหมดนี้มีเนื้อนุ่ม (Masniyom *et al*., 2005) ซึ่งจากการทดลองของ Badiani *et al*. (1996) ที่ทำการหาปริมาณคอลลาเจนในเนื้อของปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการค้า นั้นพบว่า ปริมาณคอลลาเจนรวมทั้งหมดมีค่าประมาณ 0.99-1.39 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม (เฉลี่ย 1.22%) และมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้อยู่เท่ากับ 61.95-71.25% ของปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด (เฉลี่ย 68%)

2.3.9 การหืนของเนื้อ (thiobarbituric acid reactive substance; TBARS)

การหืน (rancidity) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ (นิธิยา, 2549) ดังนี้

1. Lipolysis เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเตอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ด้วยเอนไซม์ไลเปส (lipase) ความร้อน กรด ด่าง หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ ก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า lypolysis หรือ lipolytix rancidity หรือ hydrolytic rancidity ทำให้มีกลิ่นเหม็นหืนมาก เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

2. Oxidative rancidity เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา autoxidation ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนด้วยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่ด้วย การที่โลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่ว จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนั้น ความร้อนและแสงก็มีจะผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย การหืนด้วยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายวิตามินต่างๆ ที่ละลายในไขมันอีกด้วย

3. Ketonic rancidity เป็นการเกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน (ketone)

การหืนของไขมันส่งผลทางลบต่อสี กลิ่น รสชาติ รวมทั้งอายุการเก็บรักษาของเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อสุขภาพผู้บริโภคอีกด้วย (Wood *et al*., 2003) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการหืนของไขมันในเนื้อ ได้แก่ ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ความเข้มข้นของออกซิเจน อุณหภูมิ

พื้นที่ผิว ความชื้น แร่ธาตุหรือโลหะบางชนิด แสง รวมทั้งรังสีต่าง ๆ โดย ค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ที่วัดได้ สามารถบ่งชี้ถึงการหืนของไขมันในเนื้อปลาสด (Choubert *et al.*, 2006) ซึ่งเป็นวิธีการเบื้องต้นเพื่อใช้ประเมินการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยกลุ่มสารประกอบพวกอัลดีไฮด์ของไขมัน ปฏิกิริยาระหว่างกรดไทโอบาร์บิทิวริก (thiobarbituric acid) กับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde) จะได้เป็นสารสีแดงซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร ซึ่งความเข้มของสีจะแปรผันโดยตรงกับการหืนของไขมัน

2.3.10 ไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine :TMA content)

สารประกอบจำนวนมากในเนื้อปลาที่ส่งผลต่อการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลา และเป็นที่รู้จักกันดี คือ ไตรเมทิลเอมีน (TMA) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นคาวและเหม็นเน่า จึงใช้เป็นตัวชี้วัดการเกิดการเน่าเสียของเนื้อปลา โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (TMAO) เป็นไตรเมทิลเอมีน (Grigorakis *et al*., 2003)

ไตรเมทิลเอมีนเป็นสารประกอบพวก non-protein nitrogen ที่มีคุณสมบัติเป็นเบสที่สามารถระเหยได้ทั้งหมด ปริมาณความเข้มข้นของ TMAO จะแปรผันตามชนิดของสัตว์น้ำ อายุ ขนาด เวลา แหล่งที่จับ บริเวณกล้ามเนื้อ รวมทั้งขั้นตอนการเก็บรักษา เป็นต้น

เนื้อปลาสดประกอบด้วยไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ ระหว่าง 0.2-2.0% หลังจากที่ตายแล้ว จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในเนื้อจะใช้ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายภายใต้สภาพไร้อากาศที่ส่งผลให้เกิดไตรเมทิลเอมีน ทำให้เกิดเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (กลิ่นคาวและเหม็นเน่า) รวมทั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างและสีของกล้ามเนื้อ (Aina *et al*., 2010) โดยแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเน่าเสียในเนื้อปลา ได้แก่ Acenotobacteria, Acetomonas, Altromonas, Clostridium, Cyanobacterium, Aspergillus เป็นต้น สำหรับเนื้อปลาที่สด และยังมีคุณภาพดีจะมีค่าไตรเมทิลเอมีนน้อยกว่า 1.5 mg TMA-N/100g เนื้อ แต่ถ้ามีปริมาณสูงถึง 10-15 mg TMA-N/100g เนื้อ จะเป็นลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับ เนื่องจากมีกลิ่นเหม็นเน่าและมีกลิ่นคาวปลาอย่างรุนแรง (Huss, 1998) ซึ่งหากผู้บริโภครับประทานเนื้อปลาที่มีสารก่อพิษเช่น ไตรเมทิลเอมีนในระดับหนึ่งแล้ว อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายเช่น ท้องร่วง เป็นตะคริวที่ท้อง มีไข้ คลื่นไส้ อาเจียน และอาหารเป็นพิษ (Gaman, 1981)

2.3.11 ส่วนประกอบคอเลสเตอรอล (cholesterol content)

คอเลสเตอรอลที่อยู่ในเนื้อเยื่อทั่ว ๆ ไปหรือในไลโปโปรตีน (lipoprotein) ในเลือดอาจอยู่ในรูปคอเลสเตอรอลอิสระ (free cholesterol) หรือจับอยู่กับกรดไขมันโซ่ยาวเป็นคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ (cholesterol ester) ซึ่งคอเลสเตอรอลในร่างกายได้มาจากอาหารหรือสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์ส่วนใหญ่ใน

ร่างกายโดยเฉพาะเซลล์ตับและลำไส้ สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล ได้แก่ acetyl CoA ที่ได้มาจากกระบวนการเมตาบอลิสม (metabolism) ของกลูโคส กรดไขมัน และกรดอะมิโน คอเลสเตอรอลในร่างกายประมาณ 80% สังเคราะห์จากตับ และอีกประมาณ 20% ได้รับจากอาหาร โดยคอเลสเตอรอลในร่างกายทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ เป็นสารตั้งต้นเกลือน้ำดี (bile salt) และสเตียรอยด์ฮอร์โมน (steroid hormone) เนื่องจากคอเลสเตอรอลไม่ละลายน้ำ การพาไปในกระแสเลือดต้องอาศัยไลโปโปรตีน (lipoprotein) หากคอเลสเตอรอลในเลือดสูง ก็เป็นปัจจัยที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (สมทรง, 2536)

Badiani *et al*. (1996) ที่ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อของปลาสเตอร์เจียนที่ให้อาหารทางการค้า พบว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อปลานั้นจะมีค่าประมาณ 52-77 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม

Figure 2-7 Spectrophotometer for analyzing the absorbance of sample

2.3.12 ส่วนประกอบไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride content)

ไตรกลีเซอไรด์ หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งเซลล์สามารถนำไปใช้เป็นสารปฐมภูมิ (primary substance) โดยเกือบทั้งหมดจะถูกเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ในกระแสเลือดจะรวมอยู่กับโปรตีนในรูปของ chylomycron และ very low density lipoprotein (VLDL) ไลโปโปรตีนทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นตัวพาไตรกลีเซอไรด์ไปให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ โดย chylomycron จะทำหน้าที่ในการพา ไตรกลีเซอไรด์จากการย่อย และการดูดซึมไขมันที่ลำไส้ ส่วน VLDL จะทำหน้าที่ในการพาไตรกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากตับ (สมทรง, 2542)

2.3.13 กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นองค์ประกอบของไขมันในเนื้อ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นและอายุการเก็บรักษา โดยเนื้อที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณสูงจะส่งผลให้เนื้อมีกลิ่นที่ผิดปกติและอายุการเก็บรักษาสั้น แต่การบริโภคกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด (Wood *et al*., 2003) จากการศึกษาของ Sener *et al.* (2005) พบว่า องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อของปลาสเตอร์เจียน สายพันธุ์รัสเซียน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากผลของอาหารที่ใช้เลี้ยงที่ต่างกัน จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อให้อาหารเสริมด้วยน้ำมันปลา ซึ่งอุดมไปด้วยกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 จะทำให้ในเนื้อปลามีกรดไขมันโอเมก้า 3 มากกว่าในกลุ่มการทดลองที่ไม่ได้รับการเสริม และในกลุ่มการทดลองที่เสริมน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลืองที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 มากจะส่งผลให้ในเนื้อปลาจะมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 มากเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับการทดลองของ Oliveira e*t al*. (2006) ที่ทำการทดลองเปรียบเทียบองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อปลาสเตอร์เจียนจากอ่าวเม็กซิโก ซึ่งนำมาเลี้ยงด้วยอาหารปลาชนิดต่างๆกันพบว่า องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อปลาจะมีองค์ประกอบและสัดส่วนที่เหมือนกับในอาหารที่ใช้เลี้ยงปลา โดยในกลุ่มการทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาดุกซึ่งจะมีปริมาณกรดไขมันชนิด polyunsaturated fatty acids (PUFA) มากกว่า monounsaturated fatty acid (MUFA) ก็จะทำให้องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อปลากลุ่มการทดลองนี้มี PUFA มากกว่าในกลุ่มการทดลองอื่นๆ และในการทดลองของ Jankowska *et al*. (2002) ที่ทำการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อปลาพันธุ์ลูกผสมทางการค้า (ผสมระหว่าง Siberian sturgeon และ green sturgeon) และสายพันธุ์ไซบีเรียน พบว่า องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids) ในเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 25.84 และ 23.93% ตามลำดับ เช่นเดียวกับกรดไขมันชนิด MUFA คือมีค่าเท่ากับ 55.59 และ 46.15% ตามลำดับ แต่ในกรดไขมันชนิด PUFA ในเนื้อปลาลูกผสมทางการค้าจะมีค่ามากกว่าในสายพันธุ์ไซบีเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (28.01 และ 20.47%) และเป็นที่น่าสนใจว่าในปลาสายพันธุ์ลูกผสมทางการค้านั้นจะมีปริมาณกรดไขมันชนิด EPA และ DHA มากกว่าในสายพันธุ์ไซบีเรียนอย่างมีนัยสำคัญ และยังมีสัดส่วนของ โอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เท่ากับ 4.2 ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในเนื้อสัตว์ ที่มีผลทำให้ป้องกันโรคหัวใจในมนุษย์ได้อีกด้วย

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

ชื่ออุปกรณ์และเครื่องมือ	โมเดล	บริษัท	ประเทศ
1. Beaker 50 ml	No. 1000	Pyrex	USA
2. Beaker 100 ml	No. 1000	Pyrex	USA
3. Beaker 500 ml	No. 1000	Pyrex	USA
4. Centrifuge	Magafuge 1.0	Heraeus	Germany
5. Column	DB-Wax	J&W	USA
6. Desicator	GL 32	Glaswerk Wertheim	Germany
7. Distillation flask	-	Durun	Germany
8. Fat extraction thimble	No. 2800258	Whatman	England
9. Freezer	FC-27 Sharp		Thailand
10. Gas chromatography	GC-2010	Shimadzu	Japan
11. Hot plate thermolyne	Cimaree 3	Northern chemical	Thailand
12. Texture analyzer	TA-XT2i/50	Stable Micro Systems	England
13. Kjeldahl extraction	-	Gerhardt	Germany
14. Kjeldahl flask	-	Gerhardt	Germany
15. Minolta chroma meter	CR-300	Minolta camera CO.,Ltd.	Japan
16. Oven	DEV	Heraeus	Germany
17. pH meter	191	Knick	Germany
18. Round bottom 100 ml	-	Glaswerk Wertheim	Germany
19. Round bottom 250 ml	-	Durun	Germany
20. Soxhlet extraction	-	Gerhardt	Germany
21. Spectrophotometer	4001/4	Thermo Specronic	USA
22. Titration	NW 2.5 mm	Brand	Germany
23. Tube No.13 x 100 mm	-	Pyrex	Germany
24. Volumetric flask 50 ml	-	SCHOTT	Germany

25. Volumetric flask 100 ml	-	SCHOTT	Germany
26. Volumetric flask 1000 ml	-	SCHOTT	Germany
27. Vortex mixer	G-560 E	Scientific industries,Inc	USA
28. Water bath	-	W. krannich	Germany
29. Whatman No. 1,14	-	Whatman	England
30. Refrigerator	SJ-N72U	Sharp	Thailand

3.2 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	**เกรด**	**บริษัท**
1. 1-propanol	Analytical reagent	Fisher
2. 2,2,4 trimethyl pentane	Analytical reagent	Lab-scan
3. 2-propanol	Analytical reagent	Lab-scan
4. 4-dimethylaminobenzaldehyde	Analytical reagent	Merck
5. absolute alcohol	Analytical reagent	Liquoe Distillery organization
6. acetic acid	Analytical reagent	Merck
7. acetylacetone	Analytical reagent	Laboratory Rasayan
8. ammonium acetate	Analytical reagent	Fisher
9. ammonium hydroxide	Analytical reagent	J.T.Baker
10. anhydrous sulfate	Analytical reagent	Merck
11. anti-foaming agent	Analytical reagent	Fluka
12. boric acid	Analytical reagent	Merck
13. boron trifluoride in methanol 20%	Analytical reagent	Lab-scan
14. chloramine-T-reagent	Analytical reagent	Merck
15. chloroform	Analytical reagent	Lab-scan
16. conc. sulfuric acid	Analytical reagent	Merck
17. dicholormethane	Commercial grade	BSB General group,Ltd.
18. distilled water	-	-
19. ferric chloride hydrate	Analytical reagent	Fisher
20. formaldehyde 20%	Analytical reagent	Lab-scan

21. glacial acetic acid	Analytical reagent	Merck
22. hydrochloric acid	Analytical reagent	Merck
23. magnesium carbonate	Analytical reagent	Himedia Laboratories Put. Ltd.
24. methanol	Analytical reagent	Merck
25. n-heptane 95 %	Analytical reagent	Lab-scan
26. perchloric acid	Analytical reagent	Merck
27. petroleum ether	Analytical reagent	Lab-scan
28. picric acid	Analytical reagent	-
29. potassium carbonate	Analytical reagent	QRec
30. potassium hydroxide	Analytical reagent	Merck
31. selenium reagent mixture	Analytical reagent	Merck
32. sodium chloride	Analytical reagent	Merck
33. sodium hydroxide	Analytical reagent	Merck
34. sodium metaperiodate	Analytical reagent	Merck
35. sodium methylate	Analytical reagent	Fluka
36. sodium sulfate anhydrous	Analytical reagent	Fisher
37. sulfuric acid	Aalytical reagent	Fisher
38. toluene	Analytical reagent	Lab-scan
39. thiobarbituric acid	Analytical reagent	Fluka
40. trichloroacetic acid	Analytical reagent	Merck

3.3 การทดลอง

3.3.1 สัตว์ทดลอง

นำปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงในสภาพการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ จากมูลนิธิโครงการหลวงดอยอินทนนท์ จำนวน 24 ตัว โดยการสุ่มจับจากบ่อเลี้ยงปลา บ่อละเท่าๆกัน ทำการศึกษาโดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามน้ำหนักตัว ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ปลาสเตอร์เจียนที่มีน้ำหนัก 3 กิโลกรัม จำนวน 8 ตัว

กลุ่มที่ 2 ปลาสเตอร์เจียนที่มีน้ำหนัก 4 กิโลกรัม จำนวน 8 ตัว

กลุ่มที่ 3 ปลาสเตอร์เจียนที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม จำนวน 8 ตัว

ข้อมูลการเลี้ยงทั่วไป

เลี้ยงปลาสเตอร์เจียนในบ่อปูนซีเมนต์ขนาด 50 เมตร พื้นที่การเลี้ยง 5 ตัวต่อตารางเมตร (ปลาเล็ก) และ 2 ตัวต่อตารางเมตร (ปลาโต) โดยมีน้ำไหลผ่านเข้าและออกตลอดเวลา ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (OD) ประมาณ 5-8 ppm และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำตลอดปีไม่เกิน 24 °C

อาหารและการให้อาหาร

ใช้สูตรอาหารปลาเทร้าต์ในการเลี้ยงปลาตามประเภทของปลา คือ ปลาพ่อแม่พันธุ์ให้อาหารวันละ 0.7% ของน้ำหนักตัวต่อวัน และปลาเล็กที่อายุน้อยให้อาหารประมาณ 3-5% ของน้ำหนักตัวต่อวัน โดยจะแบ่งการให้อาหารออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ เช้าและเย็น ในปริมาณที่เท่า ๆ กัน

Table 3-1 Composition and characteristics of experimental diet

Chemical composition	%
Dry matter	91.89
Crude protein	43.43
Ether extract	13.45
Ash	12.57
Crude fiber	0.60

3.3.2 การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วางแผนการทดลองในการศึกษาคุณภาพเนื้อปลาสเตอร์เจียนแบบ CRD (Completed Randomized Design) โดยมีปัจจัยในการทดลอง คือ น้ำหนัก (ที่ระดับ 3, 4 และ 5 กิโลกรัม ตามลำดับ) ข้อมูลที่ได้จากการ

ทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SAS version 8.12 (SAS, 2001)

3.4 การศึกษาคุณภาพซาก

3.4.1 ความยาวซาก วัดความยาวทั้งตัวจากปลายจมูกถึงปลายหาง ความยาวหัว หาง และครีบส่วนต่างๆ (หน่วยเป็นเซนติเมตร)

3.4.2 เปอร์เซ็นต์ซาก

เมื่อเลี้ยงปลาได้ตามน้ำหนักที่กำหนดแล้ว คือ ที่น้ำหนัก 3, 4 และ 5 กิโลกรัม ทำการชั่งน้ำหนักมีชีวิตของปลา โดยชั่งน้ำหนักของปลาก่อนฆ่า จากนั้นทำการฆ่าและชำแหละปลาที่โรงฆ่าและชำแหละปลาของหน่วยประมง มูลนิธิโครงการหลวงดอยอินทนนท์ ตามวิธีการของ Oliveira *et al*., 2005 ดังนี้

1. ตัดเส้นเลือดตรงบริเวณเหงือก และบริเวณใกล้หางเพื่อเอาเลือดออก
2. แช่ปลาในถังน้ำเย็นที่บรรจุน้ำแข็งเพื่อทำให้ปลาสลบ ทิ้งไว้ประมาณ 20-30 นาที
3. นำปลาออกมาชั่งน้ำหนักหลังจากเอาเลือดออก
4. วัดความยาวซากและส่วนต่าง ๆ จากนั้นทำการตัดแต่งแยกเป็น ส่วนหัว ส่วนลำตัว ส่วนหาง ครีบส่วนต่าง ๆ อวัยวะภายใน และอวัยวะเพศ จดบันทึกน้ำหนักซากอุ่นและชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ซากอุ่นและอวัยวะ
5. แช่เย็นซากที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการชั่งน้ำหนักซาก แล้วนำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ซากเย็น
6. จากนั้นทำการแช่เย็นเนื้อที่อุณหภูมิ 4 °C ต่อจนครบ 48 ชั่วโมง ทำการตัดแต่งซากโดยทำการผ่าครึ่งปลา ลอกแผ่นหนังและเลาะกระดูกสันหลังออกจากเนื้อปลา (flesh) บันทึกน้ำหนักของเนื้อ กระดูก และหนัง เพื่อนำไปคำนวณน้ำหนักส่วนต่าง ๆ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซากเย็น

สูตรการคำนวณเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์อวัยวะภายนอก (ภายใน)} = \frac{\text{น้ำหนักอวัยวะ}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100\ \%$$

น้ำหนักซากอุ่น (hot carcass weight) คือน้ำหนักซากส่วนลำตัวที่แยกน้ำหนักหัว ครีบ หาง เครื่องใน และอวัยวะเพศออก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซากจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น} = \frac{\text{น้ำหนักซากเย็น}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100\ \%$$

น้ำหนักซากเย็น (chilled carcass weight) คือน้ำหนักซากที่วัดหลังจากแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซาก จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซาก} = \frac{\text{น้ำหนักซากเย็น}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100\ \%$$

น้ำหนักเนื้อปลา (flesh) คือน้ำหนักเนื้อปลาหลังจากผ่านการแช่เย็น 48 ชั่วโมง และตัดแต่งซาก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เนื้อ จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อ}}{\text{น้ำหนักซากเย็น}} \times 100\ \%$$

เนื้อที่ทำการตัดแต่งแล้วจะถูกเก็บในถุงพลาสติกผนึกแบบสุญญากาศ โดยแบ่งเนื้อออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกสำหรับนำไปบดเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คอลลาเจน กรดไขมันและค่าการหืน (TBARS) ส่วนที่สองนำไปวัดคุณภาพด้านการตรวจชิมและค่าแรงตัดผ่าน (shear force) และส่วนสุดท้าย (ส่วนหาง) เก็บเป็นส่วนเหลือ (rest) ซึ่งจะทำการเก็บรักษาเนื้อทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

สำหรับค่าดัชนีของเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (VSI; viscero-somatic index) สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักเครื่องในทั้งหมดรวมหัวใจ และอวัยวะเพศเทียบกับน้ำหนักมีชีวิตคูณด้วย 100 และค่าดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัว (HSI; hepato-somatic index) สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของตับเทียบกับน้ำหนักมีชีวิตคูณด้วย 100 ดังสูตร

$$\text{ค่าดัชนีของเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (VSI)} = \frac{(\text{น้ำหนักอวัยวะภายใน} + \text{อวัยวะเพศ} + \text{หัวใจ})}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

$$\text{ค่าดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัว (HSI)} = \frac{\text{น้ำหนักของตับ}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

3.5 การศึกษาคุณภาพเนื้อ

เก็บตัวอย่างเนื้อปลาหลังจากนำซากไปแช่เย็นที่ 4 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงแล้ว และทำการตัดแต่งเสร็จแล้ว เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ ซึ่งประกอบด้วย

3.5.1 ค่าความเป็นกรด - ด่างของเนื้อ (pH measurement)

การวัดค่า pH จะวัดในชั่วโมงแรกที่สัตว์ตาย โดยใช้เป็นดัชนีทางอ้อมของอัตราการเกิด glycolysis ในซากปลาสเตอร์เจียน โดยที่ $pH_1 < 5.8$ ปกติจะใช้เป็นค่าวิกฤตที่ส่งผลให้เกิด PSE ได้ ส่วนค่า pH สุดท้ายวัดที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า

ทำการวัด และบันทึกค่าความเป็นกรดด่างของกล้ามเนื้อที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายด้วยเครื่อง pH-meter (Model 191, Knick, D-Berlin)โดยใช้ pH electrode แทงเข้าไปในเนื้อปลาสเตอร์เจียนลึกประมาณ 0.5 ซม. (สัญชัย, 2553)

3.5.2 การประเมินค่าสีของเนื้อ (color measurement)

การประเมินค่าสีของเนื้อปลาสเตอร์เจียน ใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter (Model CR-400, Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan) ทำการวัดค่าสีบริเวณกล้ามเนื้อปลา โดยวางเนื้อสันในภาชนะเปิดเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และเกิดสี จะทำการประเมินค่าสีของเนื้อเป็นค่า L* ค่าความสว่าง (lightness) a* ค่าความเป็นสีแดง (redness) และ b* ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) (Ray *et al*., 1977)

3.5.3 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)

นำเนื้อปลาในแต่ละกลุ่มการทดลอง มาบดเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน และไขมัน ของเนื้อปลาตามวิธีของ AOAC (1995)

3.5.3.1 การวิเคราะห์หาความชื้น (moisture analysis)

วิธีการ

1. นำถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างวิเคราะห์หาความชื้น (weighting bottle) ที่ล้างสะอาด และเช็ดให้แห้งแล้ว นำไปอบในตู้อบ (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากถ้วย จากนั้นนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น (dessicator) ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งและจด บันทึกน้ำหนักถ้วย
2. ชั่งตัวอย่างเนื้อที่บดละเอียดแล้ว 2 กรัม ใส่ในถ้วยที่อบแล้ว บันทึกน้ำหนักรวมทั้งหมด และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 4 ชั่วโมง
3. นำถ้วยออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งและจดบันทึก ซึ่งน้ำหนักที่หายไป คือ ปริมาณความชื้น และสารที่ระเหยได้ทั้งหมด

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{Moisture percentage} = \frac{A - B}{C} \times 100\ \%$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

B = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.5.3.2 การวิเคราะห์หาโปรตีน (protein analysis)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างเนื้อที่บดแล้ว 0.5 กรัม แล้วนำใส่ใน kjeldahl flask
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา (K_2SO_4 : $CuSO_4$; 20 : 1) จำนวน 2 กรัม จากนั้นเติม conc. sulfuric acid 15 มิลลิลิตร
3. นำ kjeldahl flask เข้าเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 420 °C นาน 4 ชั่วโมง จนได้สารละลายสีเขียวใส ทิ้งให้เย็น และเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. ตวงสารละลาย 4 % boric acid 40 มิลลิลิตร ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติม screen methylred indicator
5. นำ kjeldahl flask ต่อเข้าเครื่องกลั่น แล้วนำขวด erlenmeyer flask ที่ใส่สารละลาย 4 % boric acid 40 มิลลิลิตร ต่อเข้าอีกปลายของ condenser ของเครื่องกลั่นโดยให้ปลายท่อจุ่มสารละลาย

6. เติม 40 % sodium hydroxide จำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ขวด kjeldahl flask นำ kjeldahl flask ต่อเข้ากับเครื่องกลั่น กลั่นจนได้สารละลายใน erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร
7. นำสารที่กลั่นได้มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน 0.1 HCl โดยไทเทรตจนสารละลายจากสีเขียวเป็นสีม่วงอมเทา บันทึกปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรต

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีน

$$\text{Protein percentage} = \frac{(A - B) \times C \times E \times 0.014}{D} \times 100\ \%$$

เมื่อ A = จำนวนปริมาณสารละลายมาตรฐาน HCl 0.1 N ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = จำนวนปริมาณสารละลายมาตรฐาน HCl 0.1 N ที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

C = ความเข้มข้น (N) ของสารละลายมาตรฐาน HCl

D = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

E = Kjeldahl factor (6.25)

3.5.3.3 การวิเคราะห์หาไขมัน (ether extract analysis)

วิธีการ

1. นำขวดสกัดไขมัน (round bottom) ที่ล้างสะอาดและเช็ดให้แห้งแล้ว อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำขวดออกมาใส่ในโถดูดความชื้น (dessicator) ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งและจดบันทึกน้ำหนักขวด
2. ชั่งตัวอย่างเนื้อปลาที่บดแล้ว 2 กรัม ใส่ใน thimble ablundum ที่แห้งและสะอาด
3. นำ thimble ablundum ใส่ลงใน sample containers แล้วต่อกับ holding clips ของเครื่องสกัดไขมันแบบ soxhlet extraction
4. ใส่ dichloromethane ลงในขวดสกัดไขมันที่บันทึกน้ำหนักไว้แล้ว ต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน และเปิดน้ำให้ไหลผ่าน condenser ตลอดเวลา
5. เปิดเครื่องสกัดไขมันโดยใช้ความร้อนสกัดนาน 16 ชั่วโมง ด้วยอัตราการกลั่น 2-3 หยดต่อนาที

6. นำ sample container ออกแล้วนำ reclaiming tube ใส่แทนที่ ให้ความร้อน dichloromethane จะถูกกลั่นและเก็บใน reclaiming tube ส่วนไขมันที่ได้จะอยู่ในขวดสกัดไขมัน
7. นำขวดสกัดไขมันที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 30 นาที จากนั้นนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น (dessicator) ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งและจดบันทึกน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นภายหลังการสกัดคือ น้ำหนักของไขมันในเนื้อ

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน

$$\text{Fat percentage} = \frac{A - B}{C} \times 100\ \%$$

เมื่อ A = น้ำหนักขวดสกัดไขมัน + น้ำหนักไขมันที่อบแล้ว

B = น้ำหนักขวดสกัดไขมัน

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.5.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity) (สัญชัย, 2553)

3.5.4.1 การสูญเสียน้ำจากการทำละลาย (thawing loss)

นำเนื้อปลาที่ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (Wt_1) แล้วเก็บในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ (vacuum) จากนั้นเก็บในตู้แช่แข็ง อุณหภูมิ -18 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป จากนั้นนำชิ้นเนื้อมาทำละลายน้ำแข็ง (thawing) ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นเนื้อออกจากถุง ซับน้ำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก (Wt_2) คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากการทำละลาย จากสูตร

$$\text{Thawing loss (\%)} = \frac{(Wt_1 - Wt_2) \times 100}{Wt_1}$$

3.5.4.2 การสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหาร (boiling loss)

นำเนื้อปลาที่ผ่านการทำละลายแล้ว ชั่งน้ำหนัก (Wb_1) เก็บในถุงปิดผนึก ต้มให้อุณหภูมิใจกลางเนื้ออยู่ที่ 70 °C ซึ่งอุณหภูมิใจกลางจะถูกควบคุมด้วยเครื่อง thermocouple ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำชิ้นเนื้อออกจากถุง ซับน้ำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก (Wb_2) คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหาร จากสูตร

$$\text{Boiling loss (\%)} = \frac{(Wb_1 - Wb_2) \times 100}{Wb_2}$$

3.5.4.3 การสูญเสียน้ำขณะปิ้งย่าง (grilling loss)

นำเนื้อปลาที่ผ่านการทำละลายแล้ว ทำการชั่งน้ำหนัก (Wg_1) นำชิ้นเนื้อมาห่อด้วยฟอยด์สองชั้น และย่างในหม้ออบ (convection oven) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จนได้อุณหภูมิใจกลางเนื้อประมาณ 70 °C และนำออกจากเตาย่าง ทำการชั่งน้ำหนัก (Wg_2) คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำขณะปิ้งย่างจากสูตร

$$\text{Grilling loss (\%)} = \frac{(Wg_1 - Wg_2) \times 100}{Wg_1}$$

3.5.5 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (warner - Blazler shear force)

นำเนื้อปลาที่ต้มสุกจากการหาค่าสูญเสียน้ำขณะประกอบอาหาร (cooking loss) ที่อุณหภูมิ 70 °C จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และซับเนื้อให้แห้ง ตัดชิ้นเนื้อขนาด 1.5 เซนติเมตร ทำการวัดค่าแรงตัดผ่านด้วยเครื่อง Texture analyzer (TA-XT2i/50, UK) วัดด้วยความเร็ว 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ด้วยความหนา 3 มิลลิเมตร ตัดด้วยใบมีดทำมุม 73 องศา โดยแปลผลเป็นค่าแรงตัดผ่านสูงสุด (maximum force, N) และค่าพลังงาน (energy, J)

3.5.6 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory evaluation)

การประเมินค่าการตรวจชิมจะทำการประเมินในผู้ตรวจชิมซึ่งได้ทำการคัดเลือกมาจากนักศึกษาและคณาจารย์ภาควิชาสัตวศาสตร์ โดยให้ชิมเนื้อปลาสเตอร์เจียน ซึ่งเนื้อจะถูกนำมาห่อด้วยฟอยล์และอบจนมีอุณหภูมิใจกลางเนื้อ 70 °C ซึ่งอุณหภูมิใจกลางจะถูกควบคุมด้วย thermocouple จากนั้นจะทำการตัดชิ้นเนื้อให้มีขนาด 1.5 x 1.5 เซนติเมตร และทำการประเมินคะแนนเกี่ยวกับระดับคุณสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ ความนุ่ม (tenderness) ความชุ่มฉ่ำ (juiciness) รสชาติ (flavor) กลิ่นคาวปลา (fishy) กลิ่นไม่พึงประสงค์ (off flavor) และความพึงพอใจโดยรวม (overall acceptability) ซึ่งระดับของการให้คะแนนจะถูกแบ่งออกเป็น 9 ระดับตั้งแต่ 1 คือ น้อยที่สุด ไปจนถึงระดับ 9 คือ มากที่สุด ตามลักษณะของคุณสมบัตินั้น ๆ

3.5.7 การวิเคราะห์หาปริมาณคอลลาเจน (collagen content)

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณคอลลาเจนที่ละลาย และละลายไม่ได้ในเนื้อ (soluble and insoluble collagen analysis) (Hill, 1969) มีวิธีการดังนี้

ขั้นตอนการแยก (Hill, 1969)

1. ชั่งตัวอย่างเนื้อปลาที่บดแล้ว 4 กรัม ใส่ในหลอด Homogenize ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ใส่ strength ringer solution 8 มิลลิลิตร
3. ทำการบดละเอียด (homogenize) ที่ระดับความเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที
4. ต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 77 °C นาน 70 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น 1 ชั่วโมง
5. ปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 5,200 g นาน 26 นาที
6. แยกส่วน supernatant (ส่วนใส) ใส่ลงใน erlenmeyer flask และส่วน residue ใส่ลงใน erlenmeyer flask เช่นเดียวกัน

ขั้นตอนการย่อย (AOAC, 1996)

1. เติมกรด sulfuric acid 7 N ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 1 °C นาน 16 ชั่วโมง
2. นำตัวอย่างที่ได้จากการย่อยกรองผ่านกระดาษกรองใส่ใน volumetric flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำกลั่น

ขั้นตอนการทำสี (AOAC, 1996)

1. ปิเปตสารละลายที่ได้ในขั้นตอนแรก 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร ตัวอย่างละ 2 หลอด และทำ blank โดยการเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติม oxidant solution 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 ± 2 นาที
3. เติม color reagent หลอดละ 1 มิลลิลิตร เขย่าทันที และปิดฝาหลอดให้สนิท
4. ต้มใน water bath อุณหภูมิ 60 ± 0.5 °C เป็นเวลา 15 นาที
5. ทำหลอดให้เย็นโดยการเปิดน้ำให้ไหลผ่าน 3 นาที
6. ทำหลอดให้แห้งโดยการเช็ดหรือตั้งทิ้งไว้
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 558 ± 2 นาโนเมตร

สมการ standard curve $h = (y-0.0255)/0.0778$

H (กรัม/100 กรัม) $= (2.5 \times h)/mv$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

h = ความเข้มข้นของ hydroxyproline (ไมโครกรัม/2 มิลลิกรัม)

H = ปริมาณ hydroxyproline (กรัม/100 กรัม)

m = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

v = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ดูดมาทำละลาย (มิลลิลิตร)

ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ = H ของคอลลาเจนที่ละลายได้ x 7.52

ปริมาณคอลลาเจนที่ไม่ละลาย = H ของคอลลาเจนที่ไม่ละลาย x 7.25

3.5.8 ค่าการหืนของเนื้อ (Thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) (Rossell, 1994)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเนื้อที่บดละเอียดแล้ว 10 กรัม เติมน้ำกลั่นลงไป 70 มิลลิลิตร
2. ปั่นในเครื่องปั่น (blender) ประมาณ 15 วินาที
3. เทใส่ใน distillation flask แล้วล้าง blender ด้วยน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลาย 4 M HCl 2.5 มิลลิลิตร
5. เติม anti-foming agent 1-2 หยด และหินกันระเบิด 2-3 เม็ด
6. ต่อเข้ากับชุดกลั่น กลั่นจนได้ของเหลวประมาณ 50 มิลลิลิตร
7. ปิเปตสารละลายที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย TBA ลงไป 5 มิลลิลิตร
8. นำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 35 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร
10. คำนวณหาค่า TBA number จากสูตร

หมายเหตุ : หลอด blank ใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร และสารละลาย TBA 5 มิลลิลิตร

สูตรการคำนวณหาค่า TBA number

TBA number (mg malondialdehyde/kg sample) = 7.8 x O.D.

เมื่อ O.D. = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

3.5.9 การวิเคราะห์ปริมาณไตรเมทิลเอมีน (Trimethylamine : TMA analysis) (AOAC, 1995)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างเนื้อปลา 100 กรัม เติม 7.5% trichloroacetic acid (TCA) 200 มิลลิลิตร
2. นำไปปั่นละเอียด (homogenize) ที่ความเร็วสูง นาน 1 นาที
3. ปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 4000 rpm นาน 15 นาที
4. ปิเปตส่วนที่กรองได้ 4 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง

5. เติม HCHO 1 มิลลิลิตร toluene 10 มิลลิลิตร และสารละลาย K_2CO_3 3 มิลลิลิตร
6. เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex mixture ตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นของ toluene
7. ปิเปตชั้นของ toluene ประมาณ 7-9 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุ anhydrous Na_2SO_4 0.1 กรัม ปิดฝาและเขย่าสารละลายอีกครั้ง เพื่อเป็นการทำให้น้ำแห้ง
8. ปิเปตชั้นของ toluene 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติม 2 %picric acid 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

สูตรในการคำนวณหาปริมาณไตรเมทิลเอมีนในเนื้อ

Mg TMA-N/100 g = (A/B) x mg TMA-N/ml standard solution x ml standard solution x 300

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน

3.5.10 การวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอล (cholesterol analysis) (Chaudhry, 2004)

วิธีการ

1. ทำการสกัดไขมัน ตามวิธีของ AOAC (1995)
2. นำไขมันที่สกัดได้มาละลายด้วย isopropanol ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
3. ดูดไขมันจากข้อ 2 ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด centrifuge tube
4. เติม ferric chloride 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที
5. นำไปปั่นเหวี่ยงจนได้สารละลายใส
6. ดูดสารละลายส่วนใสมา 5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองอีกชุดหนึ่ง
7. เติม conc. H_2SO_4 3 มิลลิลิตร
8. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

สูตรในการคำนวนหาปริมาณคอเลสเตอรอล

$$\text{Total cholesterol (mg/100 g of sample)} = \frac{\text{O.D. sample x A x B x 100}}{\text{O.D. standard x C}}$$

เมื่อ A = ปริมาณ isopropanol (มิลลิลิตร) ที่ใช้ละลายไขมัน

B = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

O.D. sample = ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

O.D. standard = ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน

3.5.11 การวิเคราะห์หาปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride analysis) (Bigg et al., 1975)

วิธีการ

1. ทำการสกัดไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (1995)
2. นำไขมันที่สกัดได้จากเนื้อมาละลายด้วย isopropanol ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
3. ดูดสารละลายจากข้อ 2 ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร
4. เติม n-heptane 2 มิลลิลิตร
5. เติม isopropanol 3.5 มิลลิลิตร
6. เติม sulfuric acid 40 mM 1 มิลลิลิตร
7. ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixture ประมาณ 20 วินาที ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จนแยกชั้น
8. เตรียมหลอดทดลองอีกหนึ่งชุด เติม sodium alkoxide 2 มิลลิลิตร
9. ดูดสารละลายที่แยกชั้นในส่วนบนของข้อ 7 จำนวน 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่เตรียมไว้
10. เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปใส่ตู้อบอุณหภูมิ 60 °C นาน 5 นาที
11. เติม sodium periodate 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
12. เติม acetyl acetone 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำเข้าตู้อบอุณหภูมิ 60 °C นาน 20 นาที
13. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร หมายเหตุ

หมายเหตุ : หลอด blank เติมสารละลายทุกอย่างยกเว้นตัวอย่าง

สูตรในการคำนวณหาปริมาณไตรกลีเซอไรด์

$$\text{Total triglyceride (g/100 of sample)} = \frac{\text{A x O.D. sample x B x 100}}{\text{O.D. standard x C x 1000}}$$

เมื่อ A = ปริมาณ isopropanol (มิลลิลิตร) ที่ใช้ละลายไขมัน

B = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

O.D. sample = ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

O.D. standard = ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายไตรกลีเซอไรด์มาตรฐาน

3.5.12 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)

ขั้นตอนที่ 1 การสกัดไขมันจากตัวอย่าง (Folch *et al*., 1957)

1. ชั่งตัวอย่างเนื้อที่บดแล้ว 5 กรัม ลงในขวดก้นกลม (round bottom flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติม chloroform : methanol (2:1) 60 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วเขย่าอย่างแรงเพื่อให้เกิดการสกัดที่สมบูรณ์
3. กรองด้วย buchner funnel ผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 ลงใน flask นำกากที่ได้มาสกัดต่อด้วย chloroform : methanol (2:1) 60 มิลลิลิตร อีกครั้ง
4. รวมสารละลายที่กรองได้ใส่ใน separate flask เติมน้ำกลั่น 12 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น
5. เก็บสารละลายชั้นล่างลงใน flask ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไประเหยแห้งด้วย water bath ที่อุณหภูมิ 70 °C
6. ชั่งน้ำหนักไขมันหลังจากระเหยแห้ง แล้วละลายด้วย chloroform ปรับความเข้มข้นให้เป็น 30 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (น้ำหนักไขมัน x 33.33)

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียม fatty acid methyl ester (FAME) (Morrison and smith, 1964)

1. ดูดสารละลายที่สกัดได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดก้นกลม (round bottom flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ระเหยให้แห้งด้วยกระแสไนโตรเจน
3. เติมสารละลาย 0.5 M NaOH ใน methanol 4 มิลลิลิตร เขย่า 30 วินาที
4. reflux จนได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ประมาณ 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น
5. เติม 20 % boron-trifluoride ใน methanol 5 มิลลิลิตร เขย่า 30 วินาที แล้ว reflux ต่ออีก 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
6. เทสารละลายที่ได้ลงในหลอดทดลองขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย NaCl อิ่มตัว 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
7. เติม iso-octane (2,2,4-trimethylpentane) 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex mixture 30 วินาที ทิ้งไว้ให้แยกชั้น

8. เก็บสารละลายชั้นบน 1 มิลลิลิตร ใส่ใน vial ที่มี sodium sulfate anhydrous ปริมาณเท่าปลายช้อนตักสาร แล้วปิด vial ให้สนิทเก็บในตู้เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง chromatography (GC)

1. ดูดสารละลาย FAME ที่เตรียมไว้ 1 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง GC (GC-2010, Shimadzu, Japan) ควบคุมด้วยโปรแกรม GC-Solution
2. คำนวณปริมาณกรดไขมันแต่ละตัวจากสมการ

   mg of fatty acid/100 g of sample = [(area of fatty acid in sample/area of fatty acid in standard) x concentration of fatty acid in standard (mg/ml) x iso-octane (ml) x chloroform (ml) x 100]/sample weight (g)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพซาก (carcass quality)

4.1.1 เปอร์เซ็นต์ลักษณะซาก (body composition percentage)

ส่วนประกอบของลักษณะซากที่ประเมินโดยการชั่งน้ำหนักซาก ดังแสดงใน Table 4-1 ซึ่งพบว่ากลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีน้ำหนักซากอุ่นมากที่สุด คือ 3.00 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม (2.41 กิโลกรัม) และ 3 กิโลกรัม (1.95 กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.001$) ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักซากเย็น คือ กลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม จะมีน้ำหนักซากเย็นมากที่สุด คือ 2.94 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่ม 4 กิโลกรัม (2.35 กิโลกรัม) และกลุ่ม 3 กิโลกรัม (1.91 กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.001$)

สำหรับเปอร์เซ็นต์อวัยวะของปลา (body composition percentage) ที่ประเมินผลโดยการชั่งน้ำหนักอวัยวะส่วนต่าง ๆ เทียบกับน้ำหนักมีชีวิต พบว่าเปอร์เซ็นต์เนื้อ (flesh) กระดูก (bone) หนัง (skin) ซึ่งคำนวณเปรียบเทียบจากน้ำหนักซากเย็นไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติในทั้ง 3 กลุ่มน้ำหนัก เช่นเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์อวัยวะภายนอก (external organ percentage) ได้แก่ หัว (head) หาง (caudal fin) ครีบ (ส่วน pectoral, pelvic, anal และ dorsal fin) รวมทั้งเปอร์เซ็นต์อวัยวะภายใน (internal organ percentage) ได้แก่ เลือด (blood) เหงือก (gill) หัวใจ (heart) ตับ (liver) และอวัยวะเพศ (gonad) ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติในปลาสเตอร์เจียนทั้ง 3 กลุ่ม ในขณะที่เปอร์เซ็นต์เครื่องใน (viscera) ของปลาสเตอร์เจียนในกลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม มากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) คือมีค่าเท่ากับ 6.24, 4.97 และ 4.59% ตามลำดับ

สำหรับดัชนีของเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (VSI; viscero-somatic index) ของปลาสเตอร์เจียนที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัม ตามลำดับ ($P<0.01$) ส่วนดัชนีของตับต่อน้ำหนักตัว (HSI; hepato-somatic index) ของปลาสเตอร์เจียนในทั้ง 3 กลุ่มน้ำหนัก ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ

Table 4-1 Body composition percentage of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Whole body weight, kg	3.22	4.08	4.98		
Hot carcass weight, kg	1.95[c]	2.41[b]	3.00[a]	0.013	<0.001
Chilled carcass weight, kg	1.91[c]	2.35[b]	2.94[a]	0.012	<0.001
Flesh, %	57.32	58.45	60.36	1.862	0.146
Bone, %	17.05	19.56	17.47	2.009	0.298
Skinned, %	19.42	19.99	20.62	5.004	0.904
External organ (%)					
Pectoral fin	2.29	2.12	2.20	0.065	0.843
Pelvic fin	0.654	0.543	0.562	0.007	0.466
Anal fin	0.252	0.283	0.281	0.001	0.571
Dorsal fin	0.432	0.456	0.455	0.004	0.920
Caudal fin	1.61	1.60	1.62	0.013	0.987
Internal organ (%)					
Blood	3.61	3.12	3.26	0.943	0.746
Gill	2.77	2.77	2.89	0.010	0.504
Viscera	6.24[a]	4.97[b]	4.59[b]	0.170	0.004
Heart	0.154	0.142	0.145	0.0002	0.722
Gonad	4.02	4.30	3.78	0.322	0.725
Liver	1.73	1.62	1.60	0.027	0.746
VSI[1]	10.4[x]	8.92[xy]	8.31[y]	0.586	0.054
HSI[2]	1.73	1.56	1.51	0.030	0.509

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.01).

[x, y] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

VSI[1] (viscero-somatic index) = (weight of all viscera including gonads and heart/body weight)*100

HSI[2] (hepato-somatic index) = (weight of liver/body weight)*100

4.1.2 ความยาวซาก (carcass length)

ความยาวซากประเมินผลโดยการวัดความยาวของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาพบว่า ความยาวทั้งตัว (total length) ของปลากลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีความยาวมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 3 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) สอดคล้องกับความยาวของส่วนหัว (head length) ความหนาของลำตัว (thickness) ความยาวหาง (caudal fin) และความยาวครีบส่วนต่าง ๆ (ครีบส่วน pectoral, anal และ dorsal) ของปลาสเตอร์เจียนที่น้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ กลุ่ม 4 และ 3 กิโลกรัมตามลำดับ ($P<0.01$) ส่วนความยาวของครีบส่วน pelvic พบว่า กลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) รองลงมาคือ กลุ่ม 4 และ 3 กิโลกรัมตามลำดับ (7.88, 7.85 และ 6.81 เซนติเมตร) ในขณะที่ความลึก (depth) ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงใน Table 4-2

Table 4-2 Biometric data of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Total length (cm)	92.8^{c}	98.7^{b}	105.7^{a}	1.682	<0.001
Head length (cm)	17.9^{b}	19.4^{ab}	21.0^{a}	0.464	0.002
Depth (cm)	9.04	9.95	9.91	0.325	0.276
Thickness (cm)	8.61^{b}	9.26^{b}	10.3^{a}	0.048	<0.001
Fins (cm)					
Pectoral fin	10.4^{b}	11.4^{ab}	11.8^{a}	0.100	0.003
Pelvic fin	6.81^{y}	7.75^{x}	7.88^{x}	0.132	0.028
Anal fin	7.75^{b}	8.19^{ab}	8.88^{a}	0.103	0.012
Dorsal fin	7.56^{b}	8.38^{ab}	8.81^{a}	0.070	0.001
Caudal fin	19.8^{b}	21.2^{ab}	22.2^{a}	0.399	0.006

$^{a, b}$ Mean within the same row with different superscripts differ significantly ($P<0.01$).

$^{x, y}$ Mean within the same row with different superscripts differ significantly ($P<0.05$).

4.2 คุณภาพเนื้อ (meat quality)

คุณภาพเนื้อเป็นปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเพื่อการตัดสินใจซื้อเนื้อหรือผลิตภัณฑ์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อนั้นเริ่มตั้งแต่กระบวนการเลี้ยงเช่น การให้อาหาร การจัดการสิ่งแวดล้อม ไปจนถึงกระบวนการฆ่า การชำแหละ และการเก็บรักษาเนื้อ ซึ่งตัวชี้วัดที่ใช้ทดสอบคุณภาพของเนื้อ ได้แก่

4.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ (pH value)

โดยปกติกล้ามเนื้อสัตว์ขณะมีชีวิตมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 7.2 หลังจากที่สัตว์ตายกล้ามเนื้อจะมีค่า pH ลดลงเหลือ 6.0 (สัญชัย, 2550) จากการวัดค่า pH ของเนื้อปลาหลังจากการฆ่า 45 นาที และ 24 ชั่วโมง บริเวณกล้ามเนื้อของปลาสเตอร์เจียนดังแสดงใน Table 4-3 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปลาในทั้ง 3 กลุ่มน้ำหนักที่ต่างกัน ทั้งใน pH ที่วัดที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย

Table 4-3 pH value of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
pH_i (45 min pm.[1])	7.44	7.43	7.35	0.003	0.340
pH_u (24 h pm.)	6.96	6.94	6.84	0.002	0.085

[1]pm. = post mortem

4.2.2 ค่าสีของเนื้อ (meat color)

สีของเนื้อประเมินออกมาเป็นค่าความสว่าง (lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) จากการวัดค่าสีของเนื้อดังแสดงใน Table 4-4 พบว่า ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อสันปลาทั้ง 3 กลุ่มน้ำหนัก ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดงนั้นพบว่า กลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 3.57 รองลงมาคือกลุ่มน้ำหนัก 5 และ 3 กิโลกรัม (3.18 และ 2.38) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Table 4-4 Meat color of fillet of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Lightness (L*)	53.45	53.69	55.18	1.434	0.182
Redness (a*)	2.38[b]	3.57[a]	3.18[ab]	0.319	0.040
Yellowness (b*)	5.33	6.97	6.17	0.900	0.130

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (chemical composition)

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ วัดได้จากการหาค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้น (moisture) โปรตีน(protein) และไขมัน (fat) ในเนื้อสัตว์ จากผลการทดลองใน Table 4-5 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นและไขมันของเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนเปอร์เซ็นต์โปรตีนนั้นพบว่า เนื้อปลากลุ่มที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 21.45% รองลงมาคือกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 3 กิโลกรัมตามลำดับ (20.80 และ 19.51%) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

Table 4-5 Chemical composition of sturgeon at different at slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Chemical composition (%)					
Moisture	74.6	75.55	74.81	0.541	0.383
Protein	19.51[b]	20.80[a]	21.45[a]	0.244	<0.001
Fat	3.45	3.56	3.43	0.245	0.958

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.01).

4.2.4 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity)

การประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อนั้น สามารถวัดได้จาก ค่าการสูญเสียของน้ำขณะเก็บ (drip loss) ค่าการสูญเสียน้ำจากการทำละลายน้ำแข็ง (thawing loss) ค่าการสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหาร (boiling loss) และค่าการสูญเสียน้ำจากการปิ้งย่าง (grilling loss) ดังแสดงในแสดงใน Table 4-6 ซึ่งจากการทดลองไม่พบค่าความแตกต่างกันทางสถิติของเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง (P>0.05)

Table 4-6 Water holding capacity of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Thawing loss, %	9.830	7.490	9.470	5.717	0.654
Boiling loss, %	22.88	18.53	16.89	5.005	0.061
Grilling loss, %	16.58	18.99	15.20	4.637	0.286

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.5 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force value)

ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ เป็นค่าที่ใช้วัดความนุ่มของเนื้อ โดยทำการตัดเนื้อที่ต้มที่มีอุณหภูมิใจกลางเนื้ออยู่ที่ 70 °C ซึ่งค่าที่วัดออกมาเป็นค่าแรงตัดผ่านสูงสุด (maximum force, N) และค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดเนื้อ (work, J) จากผลการทดลองดังแสดงใน Table 4 - 7 พบว่าค่าแรงตัดผ่านของเนื้อปลาในกลุ่มน้ำหนัก 3 และ 4 กิโลกรัม มีค่าสูงกว่ากลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) คือมีค่าเท่ากับ 7.772, 7.641 และ 6.845 นิวตัน ตามลำดับ สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดเนื้อพบว่า กลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือเท่ากับ 0.277 จูล รองลงมาคือกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม และ 3 กิโลกรัม (0.239 และ 0.205 จูล ตามลำดับ)

Table 4-7 Warner-Blatzler Shear Force of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Shear force value					
Max. force (N)	7.77[a]	7.64[a]	6.84[b]	0.243	0.026
Work (J)	0.24[ab]	0.27[a]	0.22[b]	0.0004	0.019

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.6 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory evaluation)

การประเมินด้านการตรวจชิมประกอบด้วย ความนุ่ม (tenderness) ความชุ่มฉ่ำ (juiciness) รสชาติ (flavor) กลิ่นปลา (fishy) กลิ่นไม่พึงประสงค์ (off odor) และความพึงพอใจโดยรวม (overall acceptability) โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 9 ซึ่งหมายถึง น้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุด จากผลการทดลองดังแสดงใน Table

4-8 พบว่ารสชาติและกลิ่นของปลาในกลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม มีคะแนนมากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 และ 4 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ในขณะที่คะแนนความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ กลิ่นไม่พึงประสงค์ และความพึงพอใจโดยรวมในปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Table 4-8 Sensory analysis of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Tenderness	6.90	7.12	6.86	0.063	0.120
Juiciness	5.87	6.00	5.82	0.151	0.682
Flavor	5.88[b]	6.26[a]	6.02[ab]	0.091	0.037
Fish odor	4.53[b]	5.20[a]	5.06[b]	0.194	0.030
Off flavor	2.01	2.06	2.26	0.104	0.320
Overall acceptability	6.48[b]	6.86[a]	6.66[ab]	0.067	0.030

[x, y] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.7 ส่วนประกอบคอลลาเจน (collagen content)

ปริมาณคอลลาเจน เป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการตัดสินความนุ่มเหนียวของเนื้อ โดยเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้อยู่สูงจะมีความนุ่มมากกว่า จากผลจากการทดลองดังแสดงใน Table 4-9 พบว่าเนื้อปลาสเตอร์เจียนกลุ่มที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม จะมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้อยู่สูงที่สุดคือ เท่ากับ 0.60กรัม/100 กรัมเนื้อสันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) รองลงมาคือ กลุ่มน้ำหนัก 4 และ 3 กิโลกรัม คือมีค่าเท่ากับ 0.52 และ 0.50 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณคอลลาเจนที่ไม่ละลายในเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่ม สำหรับปริมาณคอลลาเจนรวมนั้น พบว่าปลากลุ่มที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม มีปริมาณคอลลาเจนรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) คือเท่ากับ 1.22 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม รองลงมาคือ กลุ่มน้ำหนัก 3 และ 4 กิโลกรัม คือ 1.09 และ 1.06 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ตามลำดับ

Table 4-9 Collagen content of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Collagen content (g/100 g fillet)					
Soluble collagen	0.498[b]	0.518[b]	0.600[a]	0.001	0.007
Insoluble collagen	0.58	0.542	0.623	0.003	0.236
Total collagen	1.09[xy]	1.06[y]	1.22[x]	0.005	0.050

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.01).

[x, y] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.8 ค่าการหืนของเนื้อ (thiobarbituric acid number reactive substance; TBARS)

ค่า TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances) เป็นค่าที่ใช้วัดการเกิดการหืนของเนื้อ ซึ่งสามารถหาได้จากการตรวจวัดสารประกอบ malondialdehyde (MDA) ในเนื้อที่สามารถทำปฏิกิริยากับ thiobarbituric acid (TBA) ได้เป็นสารประกอบสีแดง จากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 538 นาโนเมตร โดยทำการทดลองกับเนื้อปลาที่เก็บในสภาพแช่แข็ง (-20 °C) ซึ่งนำมาทำละลายน้ำแข็งและบดแล้วเก็บรักษาเนื้อไว้ที่อุณหภูมิ 3-4 °C เป็นระยะเวลา 7 วัน ทำการหาค่าการหืนในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของการเก็บรักษาเนื้อ จาก Table 4-6 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จะมีผลทำให้ค่าการหืนเพิ่มสูงขึ้นในทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง และเมื่อพิจารณาในแต่ละวันพบว่าวันที่ 0 ค่าการหืนของเนื้อสันปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในวันที่ 1 เนื้อปลากลุ่มที่มีน้ำหนัก 3.0 กิโลกรัมมีค่าการหืนสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) สำหรับวันที่ 3, 5 และ 7 ในการเก็บรักษาเนื้อปลานั้น ไม่พบค่าความแตกต่างกันทางสถิติของค่าการหืนในเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง (Table 4-10)

Table 4-10 Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS; mg malondialdehyde/kg fillet) of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Day 0	2.62	1.91	2.27	0.207	0.139
Day 1	3.89[a]	2.92[b]	2.69[b]	0.359	0.028
Day 3	5.71	4.90	4.98	0.634	0.362
Day 5	7.11	6.27	6.06	0.698	0.237
Day 7	6.79	6.69	6.62	0.681	0.967

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.9 ค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อ (trimethylamine content)

จากตารางพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จะมีผลทำให้ค่าไตรเมทิลเอมีนเพิ่มสูงขึ้นในทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง และหากพิจารณาในแต่ละวันพบว่าวันที่ 1 นั้นค่าไตรเมทิลเอมีนของเนื้อปลากลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ค่าไตรเมทิลเอมีนของกลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) สำหรับวันที่ 0, 3 และ 5 ในการเก็บรักษาเนื้อปลานั้น ไม่พบค่าความแตกต่างกันทางสถิติของค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง (Table 4-11)

Table 4-11 Trimethylamine (mg/100 g fillet) content of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Body weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Day 0	0.458	0.548	0.654	0.020	0.342
Day 1	2.037[b]	2.394[a]	2.491[a]	0.028	0.016
Day 3	2.498	2.718	2.558	0.020	0.230
Day 5	2.712	2.884	2.777	0.018	0.398
Day 7	2.943[c]	3.536[a]	3.160[b]	0.013	<0.001

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.10 ส่วนประกอบคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ (cholesterol and triglyceride content)

จากผลการทดลองดังแสดงใน Table 4-12 ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งปริมาณคอเลสเตอรอลในการทดลองนี้อยู่ในช่วงประมาณ 75 ถึง 79 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม

Table 4-12 Cholesterol and triglyceride content of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Weight (kg)			SEM	P-Value
	3.0	4.0	5.0		
Cholesterol (mg/100 g)	78.67	75.14	79.18	47.94	0.772
Triglyceride (g/100 g)	0.569	0.655	0.580	0.013	0.570

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

4.2.11 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)

จากตารางแสดงให้เห็นว่าในกรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากที่สุดในเนื้อ คือ C 16:0 มีประมาณ 22-23% ถัดมาคือ C 18:0, C 14:0, C 17:0, C 22:0, C 15:0 และ C 13:0 ตามลำดับ โดยกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีกรดไขมัน C 15:0, C 18:0 และ C 22:0 มากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม แต่มี C 16:0 และ C 17:0 น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) สำหรับกรดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวนั้นพบว่า C 18:1 n-9c มีเปอร์เซ็นต์มากที่สุดประมาณ 37-38% ในขณะที่กรดไขมันตัวอื่น ๆ พบในปริมาณน้อยตั้งแต่ 0.1-1% โดยปลาสเตอร์เจียนในกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C 14:1 รวมกับ C 15:1 และ C 24:1 n-9 สูงกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่กรดไขมันตัวอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติในปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง (Table 4-13)

Table 4-13 Fatty acid composition of sturgeon meat of sturgeon at different slaughter weight

Criteria	Weight (kg)			SEM	P-value
	3.0	4.0	5.0		
C 13:0	0.42	0.46	0.51	0.005	0.446
C 14:0	5.11	5.05	5.23	0.437	0.965
C 15:0	0.45^{b}	0.54^{ab}	0.68^{a}	0.006	0.016
C 16:0	23.39^{a}	21.97^{b}	22.18^{b}	0.269	0.012
C 17:0	2.31^{ab}	3.02^{a}	1.19^{b}	0.400	0.013

Criteria	Weight (kg)			SEM	P-value
	3.0	4.0	5.0		
C 18:0	6.56[b]	7.40[a]	7.53[a]	0.181	0.038
C 22:0	1.64[b]	2.10[a]	2.02[a]	0.019	0.002
C 14:1+15:1	0.74[b]	0.91[a]	0.98[a]	0.009	0.038
C 16:1	0.66	0.64	0.72	0.009	0.249
C 17:1	0.54	0.62	0.56	0.006	0.584
C 18:1 n-9c	38.55	37.21	37.45	1.285	0.417
C 18:1 n-9t	0.21	0.27	0.22	0.001	0.286
C 20:1 n-9	0.97	0.97	1.10	0.022	0.571
C 22:1 n-9	0.17	0.17	0.14	0.001	0.578
C 24:1 n-9	0.48[b]	0.67[a]	0.51[b]	0.007	0.044
C 18:3 n-3 ALA	0.70	0.89	0.86	0.009	0.907
C 20:5 n-3 EPA	5.07	5.24	5.02	0.305	0.919
C 22:6 n-3 DHA	9.22	9.65	9.61	0.164	0.483
C 18:2 n-6	1.79	1.89	1.88	0.003	0.810
C 18:3 n-6	0.92	0.89	0.83	0.003	0.281
C 20:2 n-6	0.33	0.38	0.25	0.007	0.408
C 22:2 n-6	0.56	0.63	0.52	0.004	0.190
Total SFA	36.71	36.42	38.63	2.124	0.216
Total MUFA	41.73	40.80	41.54	2.124	0.216
Total PUFA	17.22	17.76	18.77	1.328	0.346
Total n-3 PUFA	13.94	14.64	18.77	1.328	0.346
Total n-6 PUFA	3.39	3.15	3.35	0.058	0.514
PUFA:SFA	0.47	0.48	0.49	0.001	0.897
n-6:n-3	0.25	0.22	0.22	0.0005	0.217

[a, b] Mean within the same row with different superscripts differ significantly ($P<0.05$).

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 คุณภาพซาก (carcass quality)

5.1.1 เปอร์เซ็นต์ลักษณะซาก (body composition percentage)

น้ำหนักมีชีวิตที่แตกต่างกันของปลาสเตอร์เจียนทั้ง 3 กลุ่มส่งผลให้น้ำหนักซากอุ่นของปลาทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีน้ำหนักซากอุ่นมากที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม และ 3 กิโลกรัมตามลำดับ สอดคล้องกับน้ำหนักซากซึ่งกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมจะมีน้ำหนักซากเย็นมากที่สุด รองลงมาคือ กลุ่ม 4 กิโลกรัม และกลุ่ม 3 กิโลกรัมตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปลาสเตอร์เจียนทั้ง 3 กลุ่มเป็นพันธุ์ เพศ เลี้ยงในสภาพแวดล้อมแบบเดียวกัน คือให้อาหารชนิดเดียวกัน (อาหารปลาเทร้าต์) ปริมาณเท่ากัน สภาพน้ำ อุณหภูมิเดียวกัน จึงมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์อวัยวะส่วนต่างๆ ไม่แตกต่างกัน สำหรับเปอร์เซ็นต์เนื้อที่เป็นส่วนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในทั้ง 3 กลุ่มนั้นถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าที่แสดงออกมาบ่งชี้ว่าปลาที่มีน้ำหนักมากจะมีเปอร์เซ็นต์เนื้อที่มากด้วย อาจเนื่องมาจากกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อที่เพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักหรืออายุ สอดคล้องกับรายงานของ Oliveira *et al*. (2005) ที่ทำการศึกษาลักษณะของซากและองค์ประกอบทางเคมีของปลาสเตอร์เจียน (*Acipenser oxyrynchus desotoi*) ในอ่าวเม็กซิโกที่ระดับน้ำหนักต่าง ๆ พบว่า ปลาในกลุ่มที่มีน้ำหนัก 3.68 กิโลกรัมมีแนวโน้มที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อสันมากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3.17, 2.68, 2.64 และ 1.79 กิโลกรัม สำหรับ Paleari *et al*. (1997) รายงานว่าปลาสเตอร์เจียนกลุ่มที่มีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม มีสัดส่วนของน้ำหนักต่อความยาวของลำตัวมากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม (0.6 และ 0.5 ตามลำดับ) ในขณะที่รายงานของ Price *et al*. (1989) พบว่า ปลาสเตอร์เจียนขาว (*Ancipenser transmontanus*) ที่มีน้ำหนักในช่วง 0.9-3.0 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์เนื้อสันอยู่ในช่วงระหว่าง 32-50% สำหรับค่าดัชนีของเครื่องในต่อน้ำหนักตัว (VSI) ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเครื่องในเป็นส่วนที่บริโภคไม่ได้ ค่า VSI ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต จากการทดลองปลาในกลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์เครื่องในมากที่สุด ($P<0.05$) จึงมีผลทำให้ค่า VSI ในปลากลุ่มนี้มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าปลากลุ่มนี้มีสัดส่วนของส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการตัดแต่งปลามากกว่ากลุ่มอื่น จากรายงานของ Elpida *et al*. (2007) ที่ศึกษาเปรียบเทียบในปลาสเตอร์เจียน 2 สายพันธุ์ที่อายุ 1 ปีพบว่า ปลา stellate sturgeon ที่มีน้ำหนักประมาณ 650 กรัม มีเปอร์เซ็นต์ของเครื่องในเฉลี่ย 7.3% ในขณะที่ปลา beluga sturgeon น้ำหนักประมาณ 200 กรัม มีเปอร์เซ็นต์เครื่องในเฉลี่ย 10.8% ในขณะที่ Oliveira *et al*. (2005) รายงานว่า เปอร์เซ็นต์ของหัวรวมกับเครื่องในปลาเพิ่มขึ้นตามน้ำหนัก สำหรับความยาวซากนั้นจากการทดลองพบว่าปลาในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีความยาวของลำตัวมากที่สุด เนื่องจากปลากลุ่มนี้มีขนาดตัวและการเจริญเติบโตที่มากกว่านั่นเอง จากการศึกษาของ Paleari *et al*. (1997) รายงาน

ว่า ปลาสเตอร์เจียนในกลุ่มน้ำหนัก 10 กิโลกรัม มีความยาวซากมากกว่าปลาในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม (119 และ 103 เซนติเมตร ตามลำดับ) สอดคล้องกับรายงานของ Ciolac and Patriche (2005) ซึ่งพบว่า ปลาสเตอร์เจียนที่มีอายุมาก มีน้ำหนัก และความยาวของลำตัวมากตามไปด้วยทั้งในสายพันธุ์ stellate และ beluga

5.2 คุณภาพเนื้อ (meat quality)

5.2.1 ความเป็นกรดด่างของเนื้อ (pH value)

โดยปกติกล้ามเนื้อสัตว์ขณะมีชีวิตมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 7.2 หลังจากที่สัตว์ตาย กล้ามเนื้อจะมีค่า pH ลดลงเหลือ 6.0 (สัญชัย, 2550) แต่อย่างไรก็ตาม อาจขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ชนิดสัตว์ การให้อาหาร และอุณหภูมิในการเก็บรักษา (Pacheco-Arguilar *et al*., 2000) จากผลการวัดค่า pH หลังจากการฆ่า 45 นาที และ 24 ชั่วโมงบริเวณกล้ามเนื้อของปลาสเตอร์เจียน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปลาในทั้ง 3 กลุ่ม ทั้งในการวัด pH ที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย โดย pH อยู่ในช่วงประมาณ 7.35-7.44 และ 6.84-6.96 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการตั้งแต่การจับ ขนส่ง และฆ่า อยู่ในสภาวะเดียวกัน จึงไม่มีผลทำให้สัตว์เกิดความเครียดก่อนตาย ซึ่งสภาวะก่อนสัตว์ตาย และความเครียดจะเป็นผลทำให้เร่งการลดลงของค่า pH เพราะมีการผลิตกรดแลคติกสูงขึ้นในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ซึ่ง Elpida *et al*. (2007) ทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาปลาสเตอร์เจียน stellate และ beluga ในสภาพแช่เย็นเป็นระยะเวลา 15 วันต่อคุณภาพของปลาพบว่า pH เริ่มต้นของปลาอยู่ที่ประมาณ 7.05 และลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา และ pH ในวันสุดท้ายมีค่าประมาณ 6.65

5.2.2 ค่าสีของเนื้อ (meat color)

สีของกล้ามเนื้อเป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคใช้ตัดสินใจในการเลือกซื้อเนื้อมาบริโภค มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ชนิดกล้ามเนื้อ ชนิดสัตว์ อาหารที่ใช้เลี้ยง การจัดการสัตว์ก่อนฆ่า รูปแบบการเก็บรักษา เป็นต้น โดยสีแดงเกิดจากองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน และไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อ ซึ่งไมโอโกลบินเป็นโปรตีนหลักในซาร์โคพลาสซึม และเป็นแหล่งของเม็ดสีหลักในเนื้อ (สัญชัย, 2553) สีของเนื้อประเมินออกมาเป็นค่าความสว่าง (lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) จากการทดลองวัดค่าสีของเนื้อพบว่า ค่า L* และ b* ของเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติเนื่องจากปริมาณไขมันที่ไม่แตกต่างกันในทั้ง 3 กลุ่ม ในขณะที่ค่า a* พบว่าปลาในกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีค่าความเป็นสีแดง (a* value) มากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม แสดงให้เห็นถึงปริมาณของเม็ดสีไมโอโกลบินในเนื้อที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุ และน้ำหนักของสัตว์ นอกจากนี้ปัจจัยอื่นที่

ส่งผลต่อค่าสีของเนื้อ ได้แก่ สายพันธุ์ของปลา และอาหาร เป็นต้น จากการศึกษาของ Jankowska *et al.* (2002) พบว่าในเนื้อปลาสเตอร์เจียนสายพันธุ์ไซบีเรียนจะมีเนื้อที่มีสีขาวมากกว่าสายพันธุ์ผสมทางการค้า ซึ่งแสดงให้เห็นในค่าความเป็นสีแดงจะมีค่าน้อยกว่า และยังมีค่าความสว่างของเนื้อมากกว่าสายพันธุ์ผสมอีกด้วย นอกจากนี้จากการทดลองของ Oliveira *et al*. (2004) นั้นพบว่าเนื้อปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเทร้าต์ (trout diet) นั้นมีสีเนื้อเป็นสีเหลืองมาก เนื่องจากในอาหารปลาเทร้าต์มีส่วนประกอบของรำข้าวโพด (corn gluten) ซึ่งมี zanthophylls เป็นองค์ประกอบทำให้เกิดเป็นสีเหลืองในเนื้อเยื่อไขมัน (Skonberg *et al*., 1998) ในขณะที่เนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาดุก (catfish diet) และอาหารปลากะพง (bass diet) มีสีชมพูอ่อน นอกจากนี้ Kolman *et al*. (2005) รายงานผลของการเสริมวิตามินเอ (เบต้า แคโรทีน) ต่อค่าสีเนื้อในปลาสเตอร์เจียนลูกผสม 2 สายพันธุ์ทำให้ค่าสีในเนื้อในปลาทั้ง 2 สายพันธุ์แตกต่างกัน คือ ปลาลูกผสมไซบีเรียน x กรีนสเตอร์เจียน มีค่าความสว่างและความเป็นสีแดงลดลงจากกลุ่มที่ไม่เสริม ในขณะที่ปลาลูกผสมไซบีเรียน x รัสเซียนสเตอร์เจียนมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นจากกลุ่มที่ไม่เสริม

5.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (chemical composition)

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ วัดได้จากการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (moisture) โปรตีน (protein) และไขมัน (fat) สัตว์มีอายุมากขึ้นจะมีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น ผันแปรกับปริมาณความชื้นและโปรตีนในเนื้อ โดยไขมันในเนื้อเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีความแปรปรวนมากที่สุด จากผลการทดลองไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ความชื้นและไขมันของเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่ม อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงที่ไม่แตกต่างกันส่งผลต่อกระบวนการเมตาบอลิสมของสัตว์ในระดับที่ไม่ต่างกันมาก จึงยังไม่มีการสะสมของระดับไขมันที่แตกต่างกัน สำหรับเปอร์เซ็นต์โปรตีนนั้นพบว่า เนื้อปลากลุ่มที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม สอดคล้องกับรายงานของ Paleari *et al*. (1997) ที่ศึกษาลักษณะของเนื้อปลาสเตอร์เจียนขาว (*Acipenser transmontanus*) ที่ระดับน้ำหนัก 5 และ 10 กิโลกรัม ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ความชื้นและโปรตีน ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ไขมันนั้นกลุ่มน้ำหนัก 10 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่ากลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (3.36 และ 2.54 ตามลำดับ) เนื่องจากปลากลุ่มที่มีน้ำหนักมากกว่ามีอายุมากกว่าด้วย จึงมีการสะสมของไขมันในกล้ามเนื้อมาก จากรายงานของ Keanari *et al*. (2009) พบว่าปลาสเตอร์เจียนที่อายุมากขึ้นซึ่งมีน้ำหนักมากขึ้นตามอายุ มีเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่โปรตีนและไขมันนั้นเพิ่มขึ้นตามอายุ นอกจากนี้มีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลา ได้แก่ อาหาร และสายพันธุ์ปลา เป็นต้น จาก

รายงานของ Sener *et al*. (2006) พบว่าปลาในกลุ่มที่ให้อาหารที่มีปริมาณไขมัน และโปรตีนสูงจะมีปริมาณไขมันในเนื้อมากกว่าในทุกกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีนต่ำ และมีปริมาณไขมันต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 4.91 และ 3.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับรายงานของ Jankowska *et al.* (2002) พบว่าสายพันธุ์ของปลามีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปลา คือ ปลาสายพันธุ์ลูกผสมทางการค้าจะมีปริมาณไขมันในเนื้อที่ต่ำกว่าในสายพันธุ์ไซบีเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 6.40 และ 9.50% นอกจากนี้ยังมีปริมาณโปรตีนที่มากกว่าอีกด้วย (15.20 และ 14.30%) ในขณะที่ Chapman *et al*. (2005) รายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของปลารัสเชียน และไซบีเรียนสเตอร์เจียนนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 70-76% โปรตีน 17-19% ไขมัน 5-10% และเถ้า 1-2%

5.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity; WHC)

WHC มีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างของกล้ามเนื้อ ซึ่งมีผลอย่างมากจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนในกล้ามเนื้อ การหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ และการกระจายตัวของน้ำทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (Schnepf, 1989) น้ำในเนื้อส่วนใหญ่จะถูกกักเก็บไว้ใน myofibril ในช่องว่างระหว่าง thick filament (myosin) และ thin filament (actin) และบางส่วนเก็บไว้ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Offer *et al*., 1989) การประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อนั้น สามารถวัดได้จากค่าการสูญเสียน้ำจากการทำละลายน้ำแข็ง (thawing loss) ค่าการสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหาร (boiling loss) และค่าการสูญเสียน้ำจากการปิ้งย่าง (grilling loss) ซึ่งจากการทดลองไม่พบค่าความแตกต่างกันทางสถิติของเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง โดยค่าการสูญเสียน้ำจากการทำละลายน้ำแข็งนั้นอยู่ในช่วงประมาณ 7.5-9.8% ค่าการสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหาร 16.9-22.9% และค่าการสูญเสียน้ำจากการปิ้งย่าง 15.2-19.0% ซึ่งจากผลการทดลองมีแนวโน้มว่าปลาสเตอร์เจียนในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าปลาในกลุ่มอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปลาในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากกว่า จึงมีปริมาณเนื้อที่กักเก็บไว้ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่มากกว่า จากการทดลองของ Wedekind *et al*. (2002) รายงานว่าค่าความสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหารในปลาลูกผสมทั้ง 3 สายพันธุ์แตกต่างกันโดยลูกผสม *Huso huso* x *A. ruthenus* x *A. gueldenstaedti* มีค่าการสูญเสียน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือ *Huso huso* x *A. ruthenus* ในขณะที่ลูกผสม *A. baeri* x *A. ruthenus* มีค่าการสูญเสียน้ำต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 30.9, 28.7 และ 26.7% ตามลำดับ Suárez *et al*. (2005) กล่าวว่ากล้ามเนื้อของปลามีการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้นระหว่างชั่วโมงแรก ๆ ของการเก็บรักษา และจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาได้ 10 ชั่วโมงจนกระทั่ง 72 ชั่วโมง การสูญเสียน้ำจะค่อย ๆ ลดลง

5.2.5 ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ (shear force value)

ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อเป็นค่าที่ใช้วัดความนุ่มของเนื้อ โดยทำการตัดเนื้อที่ต้มที่มีอุณหภูมิใจกลางเนื้ออยู่ที่ 70 °C ซึ่งค่าที่วัดออกมาเป็นค่าแรงตัดผ่านสูงสุด (maximum force, N) และค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดเนื้อ (work, J) จากผลการทดลองดังแสดงใน Table 4-3 พบว่าค่าแรงตัดผ่านของเนื้อปลาในกลุ่มน้ำหนัก 3 และ 4 กิโลกรัม มีค่าสูงกว่ากลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 7.77, 7.64 และ 6.84 นิวตัน ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงกว่า จึงมีผลทำให้เนื้อนุ่มกว่า นอกจากนี้อาจเนื่องมาจาก pH ของปลาในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมต่ำกว่าในปลาทั้ง 2 กลุ่มด้วย สอดคล้องกับค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดเนื้อพบว่า กลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือเท่ากับ 0.266 จูล รองลงมาคือกลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม (0.242 และ 0.219 จูล ตามลำดับ) จากการทดลองของ Roth *et al*. (2007) ไม่พบความแตกต่างของค่าแรงตัดผ่านในเนื้อปลาฮาลิบัทในระยะสมบูรณ์พันธุ์ (น้ำหนักมาก) และระยะก่อนสมบูรณ์พันธุ์ (น้ำหนักน้อย) Bjornevik *et al*. (2004) รายงานว่าค่าแรงตัดผ่านในเนื้อปลาแซลมอนเพิ่มขึ้นตามขนาดของปลา แต่แปรผันตามฤดูกาล ค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณคอลลาเจน ระยะเวลาในการเก็บรักษาเนื้อ ระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นมีผลทำให้ค่าแรงตัดผ่านในเนื้อปลาลดลง นอกจากนี้ยังมีผลของฤดูกาลในการเก็บตัวอย่าง และตำแหน่งของกล้ามเนื้อ ในขณะที่ความยาวของลำตัวปลาไม่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่าน (Espe *et al*., 2004)

5.2.6 การประเมินด้านการตรวจชิม (sensory analysis)

สำหรับการประเมินด้านการตรวจชิมประกอบด้วยความนุ่ม (tenderness) ความชุ่มฉ่ำ (juiciness) รสชาติ (flavor) กลิ่นปลา (fish odor) กลิ่นไม่พึงประสงค์ (off odor) และความพึงพอใจโดยรวม (overall acceptability) โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1 (น้อยที่สุด) ไปจนถึง 9 (มากที่สุด) จากผลการทดลองดังแสดงใน Table 3 พบว่ารสชาติและกลิ่นของปลาในกลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัม มีคะแนนมากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 และ 5 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ส่งผลให้คะแนนความพึงพอใจโดยรวมของปลาในกลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมสูงตามไปด้วย ในขณะที่คะแนนความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ และกลิ่นไม่พึงประสงค์ในปลาทั้ง 3 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องมาจาก กลิ่นและรสชาติของเนื้อนั้นเกิดจากสารให้รสของโปรตีนในเนื้อ ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโน และสารเปบไทด์ในเนื้อ (สัญชัย, 2550) โดยในกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีสัดส่วนของโปรตีนที่สูงกว่า จึงอาจมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ให้รสชาติมากกว่า ทำให้คะแนนตรวจชิมสูงตามไปด้วย จากรายงานของ Oliveira *et al*. (2004) พบว่าปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่แตกต่างกันส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ เนื้อปลา

ที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาดุก (catfish diet) มีคะแนนความพึงพอใจสูงที่สุด รองลงมาคือ เนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารปลากะพง (bass diet) และอาหารปลาเทร้าต์ (trout diet) มีคะแนนความพึงพอใจน้อยที่สุด

5.2.7 ส่วนประกอบคอลลาเจน (collagen content)

เนื้อปลาสเตอร์เจียนกลุ่มที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้อยู่สูงที่สุดคือ เท่ากับ 0.60 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือ กลุ่มน้ำหนัก 4 และ 3 กิโลกรัมตามลำดับ คือมีค่าเท่ากับ 0.52 และ 0.50 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ($P<0.01$) ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณคอลลาเจนที่ไม่ละลาย สำหรับปริมาณคอลลาเจนรวมนั้น พบว่าปลากลุ่มที่มีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม มีปริมาณคอลลาเจนรวมมากที่สุด คือเท่ากับ 1.22 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม รองลงมาคือ กลุ่มน้ำหนัก 3 และ 4 กิโลกรัม คือ 1.09 และ 1.06 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ($P<0.05$) เนื่องจากคอลลาเจนเป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งเพิ่มขึ้นตามอายุของสัตว์ ดังนั้นปลาในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมจึงมีปริมาณคอลลาเจนรวมสูงกว่ากลุ่มอื่น จากการทดลองของ Badiani *et al.* (1996) ที่รายงานปริมาณคอลลาเจนในเนื้อของปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการค้าพบว่า ปริมาณคอลลาเจนรวมทั้งหมดมีค่าประมาณ 0.99-1.39 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม (เฉลี่ย 1.22%) และมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้อยู่เท่ากับ 61.95-71.25% ของปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด (เฉลี่ย 68%) ปริมาณคอลลาเจนนอกจากสัมพันธ์กับอายุ และน้ำหนักของสัตว์แล้วยังสัมพันธ์กับระยะเวลาหลังจากที่สัตว์ตาย ซึ่ง Suárez *et al.* (2005) พบว่าปริมาณคอลลาเจนในเนื้อปลาจาน (sea bream) ลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยคอลลาเจนที่ละลายได้ในกรดลดลงในช่วงแรกหลังสัตว์ตาย ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับช่วงสิ้นสุดการเกิด rigor mortis และคอลลาเจนที่ละลายได้ในเปปซินเพิ่มขึ้น ในขณะที่คอลลาเจนที่ไม่ละลายได้ลดลงในช่วง 96 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย

5.2.8 ค่าการหืนของเนื้อ (thiobarbituric acid reactive substances;TBARS)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการหืนของไขมันในเนื้อ ได้แก่ ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมัน ความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ พื้นที่ผิว ความชื้น แร่ธาตุ หรือโลหะบางชนิด แสง รวมทั้งรังสีต่าง ๆ จากการทดลอง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น จะมีผลทำให้ค่าการหืนเพิ่มสูงขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง และเมื่อพิจารณาในแต่ละวันพบว่า วันที่ 0 ค่าความหืนเนื้อสันปลาในทุกกลุ่มน้ำหนัก ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในวันที่ 1 เนื้อปลากลุ่มที่มีน้ำหนัก 3.0 กิโลกรัมมีค่าความหืนสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาลอนไดอัลดีไฮด์ และสารประกอบอื่น ๆ ในเนื้อปลา เช่น เอมีน นิวคลิโอไทด์ กรดนิวคลิอิก โปรตีน ฟอสโฟลิปิด และสารประกอบอัลดีไฮด์อื่น ๆ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

(Auburg, 1993) สำหรับวันที่ 3, 5 และ 7 ในการเก็บรักษาเนื้อปลานั้น ไม่พบค่าความแตกต่างกันทางสถิติของเนื้อปลาที่มีน้ำหนักต่างกันทั้ง 3 กลุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไขมันในเนื้อในปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทำให้ค่าการหืนในแต่ละวันไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการทดลองของ Kashiri *et al.* (2011) ที่เสริมสารละลายเกลือโซเดียม (sodium acetate, lactate และ citrate) ในเนื้อปลาสเตอร์เจียนพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้นทำให้ค่าการหืนของเนื้อเพิ่มมากขึ้นทั้งในกลุ่มที่เสริม และไม่เสริมสารละลายเกลือ และพบว่ากลุ่มที่เสริมสารละลายเกลือจะมีค่าการหืนต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มที่เสริมสารละลายเกลือ sodium acetate มีผลทำให้ค่าการหืนในเนื้อต่ำกว่าทุกกลุ่มด้วย สำหรับการทดลองของ Sarah *et al.* (2010) ที่ทำการศึกษาถึงผลของการใช้สารสกัดจากชาเขียว และหัวหอมต่ออัตราการหืนในเนื้อปลาสเตอร์เจียนพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อที่ยาวนานขึ้นทำให้ค่า การหืนของเนื้อเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ (จากวันที่ 0 ถึงวันที่ 8) และการใช้สารสกัดที่ 5% ช่วยชะลอการเกิดการหืนในเนื้อได้ดีกว่าที่ 2.5 และ 1% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสารสกัดจากชาเขียวมีประสิทธิภาพดีกว่าสารสกัดจากหัวหอม

5.2.9 ส่วนประกอบไตรเมทิลเอมีน (trimethylamine; TMA content)

จากตารางพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จะมีผลทำให้ค่าไตรเมทิลเอมีนเพิ่มสูงขึ้นในทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง และหากพิจารณาในแต่ละวันพบว่าวันที่ 1 นั้นค่าไตรเมทิลเอมีนของเนื้อปลากลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ค่าไตรเมทิลเอมีนของกลุ่มน้ำหนัก 4 กิโลกรัมมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณขององค์ประกอบไขมันในปลากลุ่มนี้สูงกว่ากลุ่มอื่น นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากผลของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวปลา ในปลากลุ่มที่มีน้ำหนักมากกว่าอาจมีการสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ในตัวมากกว่าด้วย สำหรับวันที่ 0, 3 และ 5 ในการเก็บรักษาเนื้อปลานั้น ไม่พบค่าความแตกต่างกันทางสถิติของค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ผลที่ได้บ่งชี้ว่าการเก็บรักษาเนื้อปลาสเตอร์เจียนที่ระดับอุณหภูมิ 3-4 °C เป็นระยะเวลา 7 วันนั้น ปริมาณการเน่าเสียที่เกิดจากค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ของผู้บริโภค โดยค่า TMA ในวันสุดท้ายอยู่ในระดับประมาณ 2.9-3.5 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ซึ่งจากการทดลองของ Sengör *et al*. (2010) รายงานว่าเนื้อปลาสเตอร์เจียนดิบมีค่าไตรเมทิลเอมีนประมาณ 0.55 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัมในขณะที่เนื้อปลาที่ผ่านการรมควันมีค่าไตรเมทิลเอมีนสูงกกว่ามาก คือประมาณ 2.63 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม ซึ่ง Sikorski *et al*. (1990) รายงานว่าระดับปฏิเสธของผู้บริโภคในเนื้ออยู่ที่ประมาณ 5-10 มิลลิกรัมต่อเนื้อ 100 กรัม และจากการทดลองของ Aina *et al*. (2010) พบว่าค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อปลาแต่ละชนิดแตกต่างกัน และจะเพิ่ม

สูงขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้นจากชั่วโมงแรกจนถึงชั่วโมงที่ 12 โดยปลาฮาลิบัท (halibut) มีค่าไตรเมทิลเอมีนสูงที่สุด รองลงมาคือ ปลาโคลน (mudfish) และปลานิล (tilapia) มีค่าต่ำที่สุด

5.2.10 ส่วนประกอบคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ (cholesterol and triglyceride content)

จากผลการทดลองดังแสดงใน Table 2 ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเนื้อปลาทั้ง 3 กลุ่ม ทั้งนี้อาจเนื่องจากคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์นั้นเป็นส่วนประกอบของไขมัน ซึ่งปริมาณไขมันในปลาทั้ง 3 กลุ่มมีเปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกันนั่นเอง โดยปริมาณคอเลสเตอรอลในการทดลองนี้อยู่ในช่วงประมาณ 75 ถึง 79 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม และไตรกลีเซอไรด์ในช่วงประมาณ 0.57-0.66 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม สอดคล้องกับรายงานของ Badiani *et al*. (1996) ที่ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อของปลาสเตอร์เจียน 3 สายพันธุ์ (*A. transmontanus*, *A. naccarii* และ *A. baeri*) ที่ให้อาหารทางการค้า พบว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในเนื้อปลานั้นจะมีค่าประมาณ 52-77 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม (เฉลี่ย 66 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม) ในขณะที่ Mitranescu *et al*. (2010) รายงานว่าปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดปลาสเตอร์เจียนเพศผู้และเมียแตกต่างกัน โดยเพศผู้มีคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 100 และ 450 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ และในเพศเมียประมาณ 92 และ 375 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ผลของการเสริมสารอาหารมีผลต่อ ปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ จากการทดลองของ Tatina *et al*. (2010) รายงานว่า การเสริมวิตามินอีในระดับที่เหมาะสมทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงขึ้น และลดลงเมื่อระดับวิตามินอีเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเสริมวิตามินซีในระดับการทดลองนี้ไม่มีผลต่อระดับคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ สำหรับปลาชนิดอื่น ๆ มีปริมาณคอเลสเตอรอลที่แตกต่างกันไป เช่น ในปลาแซลมอน (salmon) มีคอเลสเตอรอลประมาณ 73 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ปลาแม็คเคอเรล (mackerel) 70 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม และปลาทูน่า (tuna) 46 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ในขณะที่ไข่ปลาแซลมอนนั้นมีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงถึง 400 มิลลิกรัมต่อไข่ 100 กรัม (Wrolstad *et al*., 2005)

5.2.11 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition)

กรดไขมันในเนื้อปลาสเตอร์เจียน ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งแบ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) แบ่งย่อยได้เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนชนิด n-3 และ n-6 จากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างขององค์ประกอบกรดไขมันในปลาทั้ง 3 กลุ่มน้ำหนัก โดยกรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากที่สุดในเนื้อ คือ C 16:0 มีประมาณ 22-23%

โดยกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีกรดไขมัน C 15:0, C 18:0 และ C 22:0 มากกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัม แต่มี C 16:0 และ C 17:0 น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับกรดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวนั้นพบว่า C 18:1 n-9c มีเปอร์เซ็นต์มากที่สุดประมาณ 37-38% โดยปลาสเตอร์เจียนในกลุ่มน้ำหนัก 4 และ 5 กิโลกรัมมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C 14:1 รวมกับ C 15:1 และ C 24:1 n-9 สูงกว่ากลุ่มน้ำหนัก 3 กิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนชนิด n-3 นั้นพบว่า กรดไขมัน C22:6 n-3 (DHA) ในเนื้อปลามีเปอร์เซ็นต์ประมาณ 9.2-9.5% และ C 20:3 n-5 (EPA) มีประมาณ 5.0-5.2% ปริมาณของ PUFA:SFA ซึ่งสัมพันธ์กับเนื้ออายุการเก็บรักษาของเนื้อนั้น จากการทดลองพบว่ามีประมาณ 0.47-0.49 ในขณะที่ n-6:n-3 พบว่าอยู่ที่ประมาณ 0.22-0.25 ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในเนื้อสัตว์ที่มีผลทำให้ป้องกันโรคหัวใจในมนุษย์ได้อีกด้วย จากการศึกษาของ Paleari *et al.* (1997) รายงานว่าปลาสเตอร์เจียนที่มีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม มีองค์ประกอบของไขมันมากกว่าในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบของไขมันที่เพิ่มตามน้ำหนักตัว ทั้งนี้เนื่องจากปลาในกลุ่มน้ำหนัก 10 กิโลกรัมมีปริมาณไขมันในเนื้อมากกว่าปลาในกลุ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม นอกจากปัจจัยน้ำหนักแล้ว ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อองค์ประกอบของไขมันในเนื้อได้แก่ อาหาร และสายพันธุ์ปลา เป็นต้น จากการทดลองของ Sener *et al.*(2005) พบว่า อาหารที่ใช้เลี้ยงที่ต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อของปลาสเตอร์เจียนสายพันธุ์รัสเซียน เมื่อให้อาหารเสริมด้วยน้ำมันปลา ซึ่งอุดมไปด้วยกรดไขมันชนิดโอเมก้า 3 จะทำให้ในเนื้อปลามีกรดไขมันโอเมก้า 3 มากกว่าในกลุ่มการทดลองที่ไม่ได้รับการเสริม และในกลุ่มการทดลองที่เสริมน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลืองที่มีกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 มากจะส่งผลให้ในเนื้อปลาจะมีกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 มากเช่นเดียวกัน และในการทดลองเรื่องของสายพันธุ์ของ Jankowska *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อปลาพันธุ์ลูกผสมทางการค้า (ระหว่าง Siberian sturgeon x green sturgeon) เทียบกับสายพันธุ์ไซบีเรียน พบว่า องค์ประกอบของกรดไขมัน SFA ในเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับกรดไขมันชนิด MUFA แต่ในกรดไขมันชนิด PUFA ในเนื้อปลาลูกผสมทางการค้าจะมีค่ามากกว่าในสายพันธุ์ไซบีเรียน และเป็นที่น่าสนใจว่าในปลาสายพันธุ์ลูกผสมทางการค้านั้นจะมีปริมาณกรดไขมันชนิด EPA และ DHA มากกว่าในสายพันธุ์ไซบีเรียนอย่างมีนัยสำคัญ และยังมีสัดส่วนของ โอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เท่ากับ 4.2 ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในเนื้อสัตว์ ที่มีผลทำให้ป้องกันโรคหัวใจในมนุษย์ได้อีกด้วย

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคุณภาพซากและเนื้อปลาสเตอร์เจียนที่เลี้ยงโดยงานวิจัยประมงบนที่สูง ศูนย์วิจัยประมงน้ำจืดเชียงใหม่ สถานีวิจัยโครงการหลวงดอยอินทนนท์ มูลนิธิโครงการหลวง พบว่าคุณภาพซากของปลาสเตอร์เจียนจะมีน้ำหนักซาก ความยาวซาก และอวัยวะส่วนต่างๆ ผันแปรไปตามน้ำหนักของปลา ไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ซาก แต่มีแนวโน้มว่าปลาที่มีน้ำหนักมากกว่าจะมีเปอร์เซ็นต์ซากมากกว่าปลาที่มีน้ำหนักน้อย และดัชนีเครื่องในต่อน้ำหนักตัวในปลาที่น้ำหนักน้อยมากกว่าปลาที่น้ำหนักมากกว่าด้วย แต่สำหรับค่าดัชนีตับต่อน้ำหนักตัวไม่มีความแตกต่างกันในทั้ง 3 กลุ่ม

ปลาสเตอร์เจียนที่น้ำหนักตัว 5 กิโลกรัม มีคุณภาพเนื้อ และไขมันดีที่สุด จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปลากลุ่มดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูง และมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูง ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อในกลุ่มนี้มีค่าต่ำสุด มีคะแนนการตรวจชิมเนื้อปลาในกลุ่มนี้มีคะแนนของรสชาติ กลิ่น และความพึงพอใจโดยรวมสูง และมีแนวโน้มว่าปลาในกลุ่มนี้จะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่ากลุ่มอื่น ในขณะที่ปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษาปลานั้นพบว่า ค่าความหืนของเนื้อปลาจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อ แต่ไม่ต่างกันในทั้ง 3 เช่นเดียวกันกับค่าไตรเมทิลเอมีนในเนื้อที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา สำหรับคุณภาพของไขมันพบว่าเนื้อปลากลุ่มนี้มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวบางตัวสูงกว่ากลุ่มอื่น ในขณะที่ปริมาณกรดไขมัน EPA และ DHA รวมทั้งสัดส่วนของ n-6/n-3 นั้นไม่แตกต่างกันในปลาทั้ง 3 กลุ่ม ดังนั้นการบริโภคเนื้อปลาที่ระดับของน้ำหนักดังกล่าวจะได้เนื้อปลาที่มีคุณภาพดี และมีประโยชน์ต่อสุขภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภค และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทดลองนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการบริโภคเนื้อปลา และงานวิจัยต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ประสาน พรโสพิณ. 2551. การเลี้ยงปลาสเตอร์เจียน: ข่าวเกษตร ศูนย์รวมข่าวสารการเกษตร. http://news.enterfarm.com. 20 พฤศจิกายน 2551.

รุ่งกานต์ กล้าหาญ, อรพินท์ จินตสถาพร, ประทักษ์ ตาบทิพย์วรรณ, ส่งศรี มหาสวัสดิ์ และ ศรีน้อย ชุ่มคำ. 2547. การใช้ใบ เถาและหัวกวาวเครือขาวในอาหารปลานิล. หน้า 37-44. ใน: การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 504 น.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2536. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. สหมิตรออฟเซต, กรุงเทพฯ. 133 น.

สมทรง เลขะกุล. 2542. แมแทบอลิสมของไลปิด. ชีวเคมี คณะแพทย์ศาสตร์ศิริราชพยาบาล. บริษัทธรรมสาร จำกัด. กรุงเทพฯ. น. 305-351.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2550. การจัดการเนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์มิ่งเมือง. เชียงใหม่. 171 น.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2553. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์มิ่งเมือง. เชียงใหม่. 367 น.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Analytical Chemists. AOAC, Washington, D.C., USA.

AOAC. 1996. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, VA.

Aina, V.O., M.S Hauwa Haruna and A. Zaka. 2010. Comparative determination of trimethylamine in fresh fish (halibut, mudfish and tilapia). *J. Fish. Aqua. Sci*. 4: 44-46.

Auburg, S.P. 1993. Interaction of malondialdehyde with biological molecules-new trends about reactivity and significance: Review. *Inter.J. Food Sci. Technol*. 28: 323-335.

Badianii, A., P. Anfiossi, L. Fiorentini, P.P. Gatta, M. Manfredini, N. Nanni, S. Stipa and B. Tolomelli. 1996. Nutritional composition of cultured sturgeon (*Acipenser spp.*). *J. Food Comp. Anal*. 9: 171-190.

Bigg, H.G., J.M. Erikson and W.R. Moorehead. 1975. Annual colorimetric assay of triglycerides in serum. *Clin. Chem*. 21: 437-441.

Billard, R. and G. Lecointre. 2001. Biology and conservation of sturgeon and paddlefish. Reviews in Fish Biology and Fisheries 10, 355-392.

Bjornevik, M., M. Espe, C. Beattie, R. Nortvedt and A. Kiessling. 2004. Temporal variation in muscle fibre area, gaping, texture, colour and collagen in triploid and diploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *J. Sci. Food Agri*. 84: 530-540.

Chaiyapechara, S., M.T. Casten, R.W. Hardy and F.M. Dong. 2003. Fish performance, fillet characteristics and health assessment index of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing adequate and high concentrations of lipid and vitamin E. *Aquaculture*. 219: 715-738.

Chapman, F.A., E.C. Douglas and D.M. Richard. 2005. Processing yield for meat of Russian and Siberian sturgeons cultured in Florida, USA. *J. Aqua. Food Prod. Technol*. 14(1): 29-37.

Chaudhry, K. 2004. Medical Laboratory Techniques. Medical books, http://careermakers.tripod.com/medilab/chapter5.htm.

Choubert, G., M.M. Mendes-Pinto and R. Morais. 2006. Pigmenting efficacy of astaxanthin fed to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: Effect of dietary astaxanthin and lipid sources. *Aquaculture*. 257: 429-436.

Ciolac, A. and N. Patriche. 2005. Biological aspects of main marine migratory sturgeons in Romanian Danube river. *Appl. Ecol. Food Environ. Res*. 3(2): 101-106.

Elpida, P., T. Marilena and I. Aurelia. 2007. Quality assessment of fresh and refrigerated culture sturgeon meat. *Zootehnie si Biotehnologii*. Vol. 40: 433-442.

Espe, M., K. Ruohonenb, M. Bjørnevikc, L. Frøylanda, R. Nortvedt and A. Kiesslingc. 2004. Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in farmed salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquacultur*e. 240: 489-504.

Fletcher, D.L. 1999a. Poultry meat color. In *Poultry Meat Science* (ed. R.I. Richardson and G.G. Mead), CABI Publishing, USA. pp. 159-175.

Folch, J., M. Lee and G.H.S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem*. 226: 497-509.

Grigorakis, K., K.D.A. Taylor and M.N. Alexis. 2003. Organoleptic and volatile aroma compounds comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*): sensory differences and possible chemical basis. *Aquaculture*. 225: 109-119.

Hill, F. 1969. The solubility of intramuscular collagen in meat animal of various ages. *J. Food Sci*. 31: 1161-166.

Honikel, K.O. and R. Hamm. 1999. Measurement of water-holding capacity and juiciness. *In*: Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products. Eds. A.M. Pearson and T.R. Dutson. Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, Maryland. USA, pp.125-161.

Hung, S.S.O., T. Storebakken, Y. Cui, L. Tian and O. Einen. 1997. High energy diets for White sturgeon (*Acipenser transmontanus* Richardson). *Aquac. Nutri*. 3: 281-286.

Jankowska, B., A. Kwiatkowska, R. Kolman and B. Szczepkowska. 2002. A comparison of certain characteristics of meat of the Siberian sturgeon (*Acipenser Baeri Brandt*). EJPAU, Fisheries 5(1), http://www.ejpau.media.pl/volume5/issue1/fisheries/art-01.html.

Johansson, L., A. Kiessling, K.H. Kiessling and L. Berglund. 2000. Effect of altered ration levels on sensory characteristic, lipid content and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Qual. Prefer*. 11: 247-254.

Jonsson, A., M. Meili, A.K. Bergstrom and M. Jansson. 2001. Whole-lake mineralization of allochthonous and autochthonous organic carbon in a large humic lake (Ortrasket, N. Sweden). *Limnol. Oceanogr*. 46: 1691-1700.

Kashiri, H., S. Haghparast and B. Shabanpour. 2011. Effects of sodium salt solution (sodium acetate, lactate and citrate) on physicochemical and sensory characteristics of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) fillets under refrigerated storage. *J. Agri. Sci. Technol*. 13: 89-98.

Kenari, A.A., J.M. Regenstein, S.V. Hosseini, M. Rezaei, R.Tahergorabi, R.M. Nazari, M. Mogaddasi and S.A. Kaboli. 2009. Amino acid and fatty acid composition of cultured beluga (*Huso huso*) of different Ages. *J. Aqua. Food Prod. Technol*. 18: 245-265.

Kolman, R., M. Szczepkowski, B. Jankowska, A. Kwiatkowska and N. Sidorov. 2005. The impact of vitaton on the rearing of parameters and meat quality of sturgeon hybrids. *Arch. Pol. Fish* 13(2): 259-266

Korhonen, R.W., T.C. Lanier and F. Giesbrecht. 1990. An evaluation of simple methods for following rigor development in fish. *J. Food Sci*. 55: 346-348.

Kris-Etherton, P.M., W.S. Harris and L.J. Appel. 2003. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids and cardiovascular disease. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 23: 20-31.

Lawless, H.T. and H. Heymann. 1998. Sensory Evaluation of Food: Principles and Practises, Chapman and Hall, New York. 819 p.

Le Bihan-Duval, E. 2004. Genetic variability within and between breeds of poultry technological meat quality. *J. World Poult. Sci.* 60: 331-340.

Masniyom, P., S. Benjakul and W. Visessanguan. 2005. Collagen changes in refrigerated sea bass muscle treated with pyrophosphate and stored in modified-atmosphere packaging. *Eur. Food Res. Technol*. 220: 22-325.

Mihelakakis, A., T. Yoshimatsu and C. Tsolkas. 2001. Effect of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of red porgy fingerlings; preliminary results. *Aqua. Nutri*. 9: 237-245.

Mitranescu, E., F. Furnaris, L.Tudor, A. Crasnojan, A. Orasanu, D. Mitranescu and V. Simion. 2010. The blood biochemical profile as an objective welfare indicator in a sturgeon farm. *Vet. Med*. 67(1): 133-136.

Offer, G., P. Knight, R. Jeacocke, R. Almond, T. Cousins and J. Elsey. 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat product. *J. Food Microstruct*. 8: 151-170.

Oliveira, A.C.M., S.F. O'keefe, M.O. Balaban, C.A. Sims and K.M. Portier. 2004. Influence of commercial diets of cultured Gulf of Mexico sturgeon (*Ancipenser oxyrinchus desotoi*). *J. Food Sci*. 69.

Oliveira, A.C.M., S.F. O'keefe and M.O. Balaban. 2005. Fillet yields and proximate composition of cultured Gulf of Mexico sturgeon (*Ancipenser oxyrinchus desotoi*). *J. Aqua. Food Prod. Technol*. 14(1).

Oliveira, A.C.M., M.O. Balaban and S.F. O'keefe. 2006. Composition and consumer attribute analysis of smoked fillets of Gulf sturgeon (*Ancipenser oxyrinchus desotoi*) fed different commercial diets. *J. Aqua. Food Prod. Technol*. 15(3): 33-48.

Pacheco-Aguilar, R., M.E. Lugo-Sánchez and M.R. Robles-Burgueño. 2000. Postmortem biochemical and functional characteristic of Monterey sardine muscle stored at 0 °C. *J. Food Sci*. 65: 40-47.

Paleari, M.A., G. Beretta, P. Grimaldi and F. Vaini. 1997. Composition of muscle tissue of farmed white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) with particular reference to lipidic content. *J. Appl. Ichthyol*. 13: 63-66.

Pearson, A.M. and T.R. Dutson. 1999. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, New York. 505 p.

Pelicano, E.R.L., P.A. de Souza, H.B.A. de Souza, A. Oba, E.A. Norkus, L.M. Kodawara and T.M.A. de Lima. 2003. Effect of different probiotics on broiler carcass and meat quality. *Brazil. J. Poult. Sci*. 5(3): 207-214.

Price, R.J., S.S.O. Hung, F.S. Conte and E.M. Strange. 1989. Processing yields and proximate composition of cultured White sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *J. Food Sci*. 54(1): 216-217.

Rossell, J.B. 1994. Measurement of rancidity, *In*: Rancidity in Foods. J.C. Allen and R.J. Hamilton. (eds.) Chapman and Hall, London. England. pp. 22-53.

Roth, B., M.D. Jenssen, T.M. Jonassen, A. Foss and A. Imsland. 2007. Change in flesh quality associated with early maturation of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aqua. Res.* 38: 757-763.

Sarah, H., K. Hadiseh, A. Gholamhossein and S.Bahareh. 2010. Effect of green tea (*Camellia sinenses*) extract and onion (*Allium cepa*) juice on lipid degradation and sensory acceptance of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) fillets. *Inter. Food Res. J*. 17: 751-761.

Schnepf, M. 1989. Protein-water interaction. In: Water and Food Quality. Hardman T.M. (ed.). Elsevier Applied Science, London. pp. 135-168.

Sengör, G.F.U., D.U. Alakavuk, S.Y. Tosun and S. Ulusoy. 2010. The chemical and sensory quality of smoked sturgeon (*Huso huso*): a case study. *J. Aqua. Food Prod. Technol*. 19: 310-317.

Sener, E., M. Yildiz and E. Savas. 2006. Effect of vegetable protein and oil supplementation on growth performance and body composition of Russian sturgeon juveniles (*Acipenser Queldenstaedtii Brandt*, 1833). *Turk. J. Fish Aqua. Sci.* 6: 23-27.

Sikorski, Z. E., A. Kolakowska, and J. R. Burt. 1990. Post harvest biochemical and microbial changes. In: Seafood: Resources, Nutritional Composition and Preservation. Sikorski, Z. E. (Ed.). Boca Raton, FL: CRC Press, Inc. pp. 70-71.

Skonberg, D.I, R.W. Hardy, F.T. Barrow and F.M. Dong. 1998. Color and flavor analysis of fillets from arm raised rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low phosphorous feeds containing corn and wheat gluten. *Aquaculture*. 166: 269-77.

Sleat, R. and J.P. Robinson. 1984. A review: The bacteriology of anaerobic degradation of aromatic compounds. *J. Applied. Bacteriol*. 57(2): 381-394.

Suárez, M.D., M. Abad, T. Ruiz-cara, J.D. Estrada and M. García-Gallego. 2005. Changes in muscle collagen content during *post mortem* storage of farmed sea bream (*Sparus aurata*): influence on textural properties. *Aquac. Nutri*. 13: 315-325.

Tatina, M., M. Bahmani, M. Soltani, B. Abtahi and M. Gharibkhani. 2010. Effect of different levels of dietary vitamins C and E on some of hematological and biochemical parameters of starlet (*Acipenser ruthenus*). *J. Fish. Aqua*. Sci. 5(1): 1-11.

Wood, J.D., R.I. Richardson, G.P. Nute, A.V. Fisher, M.M. Campo, E. Kasapidou, P.R. Sheard and M. Enser. 2003. Effect of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Sci*. 66: 21-32.

Wedekind, M. 2002. Chemical composition and processability of farmed sturgeon hybrids with special emphasis on Bester. *Inter. Rev. Hydrobiol*. 87(5-6): 621-627.

Wrolstad, E.R., E.A. Terry, E.D. Eric, H.P. Michael, S.R. David, J.S. Steven, F.S. Charles, M.S. Denise and S. Peter. 2005. Handbook of Food Analytical Chemistry, John Willey and Sons, Inc., New Jersey. pp. 453-466.