บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพความสดเบื้องต้นของเนื้อปลาสวายโมง (*Pangasius* sp.) แช่แข็งทางด้านเคมีและประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

จากการประเมินคุณภาพความสดปลาสวายโมงแช่แข็ง ด้วยวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า เนื้อปลาสวายโมงอยู่ในสภาพความสดปกติทั้งในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ในขณะที่คุณภาพความสดด้านความเป็นกรด-ด่าง และค่าปริมาณด่างที่ระเหยได้ทั้งหมด(total volatile base nitrogen; TVB-N) พบว่า มีค่าเป็น pH 5.98±0.01 และ 4.85±0.05 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ถือว่าปลาสวายโมงที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณภาพดีมาก ซึ่งตรงกับการรายงานของ Lannelongue และคณะ (1982) รายงานว่า ปลาสดที่มีคุณภาพดีควรมีค่า TVB-N น้อยกว่า 12 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ (2551) ที่พบว่า ค่า TVB-N ของปลาสวายโมงที่เก็บรักษาในน้ำแข็งนาน 19 วัน โดยวันแรกมีค่า TVB-N เฉลี่ยเท่ากับ 8.7 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 g และวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 g ซึ่งยังจัดว่าปลาสวายโมงที่เก็บรักษาในสภาพน้ำแข็งก็ยังคงมีคุณภาพดีตามการรายงานของ Lannelongue และคณะ (1982)

ตารางที่ 4.1 การประเมินคุณภาพความสดเบื้องต้นของเนื้อปลาสวายโมงแช่แข็งทางด้านเคมีและทางประสาทสัมผัส

คุณภาพความสด	ผลการประเมิน
1. สี (color)	ปกติ
2. กลิ่น (odor)	ปกติ
3. รสชาติ (taste)	ปกติ
4. เนื้อสัมผัส (texture)	ปกติ
5. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.98±0.01
6. TVB – N (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ 100 กรัม)	4.85±0.05

2. **องค์ประกอบทางเคมี และค่าพลังงานของเนื้อปลาสวายโมง**

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของเนื้อปลาสวายโมง พบว่า ปริมาณร้อยละของน้ำหนักเปียก (wet basis) ของปริมาณความชื้น (78.56) โปรตีน (15.10) ไขมัน (4.16) คาร์โบไฮเดรต (1.05) และ เถ้า (1.13) ซึ่งสามารถคิดเป็นค่าพลังงานทั้งหมด 102 กิโลแคลอรี/100 กรัม และพลังงานจากไขมัน 37.0 กิโลแคลอรี/100 กรัม (ตารางที่ 4.2)

ปริมาณโปรตีนที่พบในปลาสวายโมงที่ใช้ในการทดลองนี้ใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนในปลาสวายโมงที่วิเคราะห์โดย สุญาณีพร (2551) คือ 15.21% รวมทั้ง ใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนในปลาน้ำจืดทั่วไป ได้แก่ 14.6% ในปลาสวาย, 16% ในปลาดุกอุย, 17.5% ในปลาช่อน (สุญาณีพร และคณะ, มปป.)

ส่วนปริมาณไขมันในปลาสวายโมงมีปริมาณใกล้เคียงกับปลาช่อน (3.3%) และให้ผลใกล้เคียงกับ สุญาณีพร และคณะ (มปป.) คือ 3.55% แต่มีปริมาณน้อยกว่าปลาสวาย (16.5%) และปลาดุกอุย (14.7%) (สุญาณีพร และคณะ, มปป.)

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate analysis) ในเนื้อปลาสวายโมงแช่แข็ง

รายการวิเคราะห์	ปริมาณ*
1. พลังงานทั้งหมด	102.0±0.05 กิโลแคลอรี/100 กรัม
2. พลังงานจากไขมัน	37.0 ±0.04 กิโลแคลอรี/100 กรัม
3. คาร์โบไฮเดรต	1.05±0.04 กรัม/100 กรัม
4. โปรตีน	15.10±0.02 กรัม/100 กรัม
5. ไขมัน	4.16 ±0.03 กรัม/100 กรัม
6. เถ้า	1.13 ±0.06 กรัม/100 กรัม)
7. ความชื้น	78.56±0.05 กรัม/100 กรัม

*limit of detection $<$ 0.01 g/100g

3. การวิเคราะห์ลิพิดกลุ่ม omega fatty acids และ fatty acid compositions ของเนื้อปลาสวายโมงแช่แข็ง

จากผลวิเคราะห์ลิพิดกลุ่ม omega fatty acids (ตารางที่ 4.3) พบว่า เนื้อปลาสวายโมงมีปริมาณกรดไขมัน omega-3 , omega-6 และ omega-9 ในปริมาณสูงมาก คือ 173.29 830.79 และ 2,535.53 มิลลิกรัม/100 กรัมของเนื้อปลา ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดไขมันที่อิ่มตัว (saturated fatty acids) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acids) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids) และปริมาณกรดไขมันทั้งหมด(total fatty acids) เท่ากับ 2.81, 3.70, 2.67, 1.03 , และ 6.83 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ และปริมาณ fatty acid compositions อื่นๆ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ omega fatty acids ของเนื้อปลาสวายโมงแช่แข็ง

รายการวิเคราะห์	ปริมาณ* (มิลลิกรัม/ 100 กรัม)
1. omega-9	2,535.53±0.03
2. omega-6	830.79±0.02
3. omega-3	173.29±0.01

*limit of detection < 0.01 g/100g

4. ศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของสารละลายโอโซน หรือเถ้าใบกล้วย หรือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีต่อการลดกลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

4.1 ผลการฝึกฝนผู้ทดสอบให้รับรู้กลิ่นโคลน geosmin (threshold sensitivity) โดยใช้ทดสอบให้คะแนนแบบ scoring test

ผู้วิจัยฝึกฝนผู้ทดสอบประเมินทางประสาทสัมผัสกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาสวายโมงที่ผ่านการฉีด-แช่ในสารละลาย geosmin ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อลิตร จากผู้ทดสอบ 15 คน ให้คะแนนแบบ scoring test พบว่า ผู้ทดสอบที่ฝึกฝน ให้คะแนนเฉลี่ย 7.67 ⊥ 0.90 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนที่ไวต่อกลิ่นโคลน geosmin ในระดับค่อนข้างมาก (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์ lipid profiles ของเนื้อปลาสวายโมงแช่แข็ง

การวิเคราะห์ lipid profiles (limit of detection < 0.01 g/100g)	ปริมาณ (กรัม/100 กรัม)
1. saturated fatty acids	2.81±0.001
1.1 pentadecanoic acid (C15 : 0)	1.89±±0.003
1.2 stearic acid (C18 : 0)	0.63±0.006
1.3 myristic acid (C14 : 0)	0.22±0.08
1.4 arachidic acid (C20 : 0)	0.03±0.005
1.5 lauric acid (C12 : 0)	0.02±0.09
1.6 heptadecanoic acid (C17 : 0)	0.01±0.005
1.7 pentadecanoic acid (C15 : 0)	0.01±0.006
2. monounsaturated fatty acids	2.67±0.001
2.1 *cis* - 9 - oleic acid (C18 : 1n9c)	2.52±0.008
2.2 palmitoleic acid (C16 : 1n7)	0.12±0.007
2.3 nervonic acid (C24 : 1n9)	0.02±0.001
2.4 *cis* - 10-heptadecanoic acid (C17 : 1n10)	0.01±0.002
2.5 *cis* - 11-eicosenoic acid (C20 : 1n11)	0.01±0.02
3. polyunsaturated fatty acids	1.03±0.001
3.1 *cis* - 9,12 - linoleic acid (C18 :2n6)	0.69±0.003
3.2 4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid (C22 : 6n3)	0.07±0.003
3.3 arachidonic acid (C20 : 4n6)	0.06±0.001
3.4 *cis* – 5,8,11,14,17 – eicosapentaenoic acid (C20 : 5n3)	0.06±0.001
3.5 γ - linolenic acid (C18 : 3n6)	0.04±0.004
3.6 α - linolenic acid (C18 : 3n3)	0.04±0.001
3.4 *cis* – 8,11,14 – eicosadiennoic acid(C20 : 3n6)	0.04±0.006
3.7 *cis* – 11,14 – eicosadienoic acid (C20 : 2)	0.02±0.001
4. total unsaturated fatty acids	3.70±0.008
5. total fatty acids	6.51±0.001
6.trans fatty acids	0.00

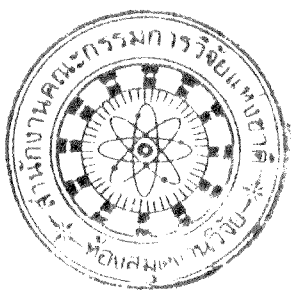
ตารางที่ 4.5 คะแนนประเมินการฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้มีความไวต่อการรับรู้สารให้กลิ่นโคลน geosmin โดยให้คะแนนแบบ scoring test

จำนวนผู้ทดสอบ (คน)	**ระดับคะแนนประเมิน**
15	7.67 $\pm$0.90 (มีกลิ่นโคลนค่อนข้างมาก)

หมายเหตุ
- คะแนน 0 – 2 หมายถึง ไม่มีกลิ่นโคลน geosmin
- คะแนน 3 – 4 หมายถึง มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
- คะแนน 5 – 6 หมายถึง มีกลิ่นโคลนปานกลาง
- คะแนน 7 – 8 หมายถึง มีกลิ่นโคลนค่อนข้างมาก
- คะแนน 9 – 10 หมายถึง มีกลิ่นโคลนมากที่สุด

4.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการลดกลิ่นโคลน geosmin ด้วยผู้ทดสอบที่ให้คะแนนแบบ scoring test

วางแผนการทดลองแบบวัดค่าซ้ำ (Repeated Measure Design ; RMD) สำหรับการประเมินคุณภาพกลิ่นโคลน geosmin และความขาว ด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 15 คน ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนแบบ scoring test ทั้งนี้ ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนให้คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม (ไม่ได้รับ treatment) เป็น 7.93 $\pm$ 1.10 (มีกลิ่นโคลนค่อนข้างมาก) และคะแนนเฉลี่ยแต่ละสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.6) เป็นดังนี้



ตารางที่ 4.6 Levene's statistic ของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโคลน geosmin ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆโดยให้คะแนนแบบ scoring test

สิ่งทดลอง (treatments ; Trt)	ระดับคะแนนประเมิน	Levene 's statistic*
1	2.10 ± 1.10	**2.07**
2	2.33 ± 1.63	**2.40**
3	2.67 ± 1.50	**2.66**
4	2.20 ± 1.42	**2.20**
5	2.27 ± 1.58	**2.26**
6	2.20 ± 1.15	**2.13**
7	4.27 ± 1.44	**4.27**
8	1.73 ± 0.80	**1.73**
9	1.67 ± 1.11	**1.67**
10 (control treatment)	7.93 ± 1.10	-

หมายเหตุ : 1. *วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ แบบ homogeneity of variance ตามวิธีการของเลเวน (Levene 's method) ($p > 0.05$)

2. สิ่งทดลอง ดังตารางข้างต้นแสดง ดังนี้

Trt 1 หมายถึง ก๊าซโอโซน 200 มิลลิกรัม

Trt 2 หมายถึง ก๊าซโอโซน 200 มิลลิกรัม+ เถ้าใบกล้วย 3% + NaCl 5%

Trt 3 หมายถึง ก๊าซโอโซน 200 มิลลิกรัม+ เถ้าใบกล้วย 5% + NaCl 3%

Trt 4 หมายถึง ก๊าซโอโซน 400 มิลลิกรัม+ เถ้าใบกล้วย 5%

Trt 5 หมายถึง เถ้าใบกล้วย 3%

Trt 6 หมายถึง เถ้าใบกล้วย 5% + NaCl 5%

Trt 7 หมายถึง NaCl 3%

Trt 8 หมายถึง ก๊าซโอโซน 400 มิลลิกรัม+ เถ้าใบกล้วย 3% + NaCl 3%

Trt 9 หมายถึง ก๊าซโอโซน 400 มิลลิกรัม+ เถ้าใบกล้วย 3%

Trt 10 หมายถึง control treatment

ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของแต่ละสิ่งทดลอง ด้วยวิธีทางสถิติ Levene Statistic (ตารางที่ 4.6) พบว่า ความแปรปรวนของแต่ละสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อทำการวิเคราะห์ ว่าแต่ละสิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันหรือไม่ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) การวิเคราะห์รายคู่ด้วยวิธีทางสถิติ Duncan new multiple range test พบว่า ตัวอย่างที่ได้รับสิ่งทดลองที่ 7 (NaCl 3%) ลดกลิ่นโคลน geosmin ได้น้อยกว่าการใช้สิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่สิ่งทดลองอื่น ๆ ที่เหลือ ไม่มีความแตกต่างกันในการลดกลิ่นโคลน เมื่อวิเคราะห์จากการประเมินคุณภาพกลิ่นโคลน geosmin จากผู้ประเมินทางประสาทสัมผัส

แสดงให้เห็นว่า การใช้สิ่งทดลองอื่น ๆ ได้แก่ การใช้เถ้าใบกล้วย 3% , การใช้เถ้าใบกล้วย 5% ร่วมกับ sodium chloride 5% นั้นดีพอๆ กับ การใช้ สารละลายโอโซน 200 มิลลิกรัม หรือ การใช้ร่วมกันทั้ง 3 ปัจจัย ไม่ว่าระดับไหนก็ตาม ดังนั้น เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส จึงกล่าวได้ว่าเราสามารถใช้เถ้าใบกล้วย หรือ ใช้เถ้าใบกล้วย ร่วมกับ NaCl เพื่อลดกลิ่นโคลนแทนการใช้สารละลายโอโซนได้

4.3 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยรวม ด้วยผู้ทดสอบที่ให้คะแนนแบบ Hedonic scale 9 points

จากผลการทดลองให้คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ที่ผ่านการแช่ในสารละลายแต่ละสิ่งทดลอง และผ่านการทำให้สุกด้วยไมโครเวฟ ให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 15 คน ให้คะแนนแบบ hedonic scale–9– points พบว่า ทั้ง 9 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p>0.05$) แต่ได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการแช่ในสารละลาย) ในด้านกลิ่น กลิ่นรสและความชอบรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง และผ่านการทำให้สุก โดยผู้ทดสอบให้คะแนนแบบ hedonic scale–9–points

สิ่งทดลอง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1	7.87±0.02 ^{b}	7.94±0.01^{b}	7.92±0.05^{b}	7.87±0.05^{b}	7.95±0.05^{b}
2	7.87±0.07^{b}	7.67±0.05^{b}	7.81±0.07^{b}	7.67±0.06^{b}	8.0±0.02 ^{b}
3	8.20±0.06^{b}	7.93±0.02 ^{b}	7.74±0.01^{b}	7.67±0.06^{b}	8.0±0.07^{b}
4	7.93±0.01^{b}	7.93±0.08^{b}	7.90±0.06^{b}	7.73±0.07^{b}	7.87±0.07^{b}
5	7.80±0.06^{b}	7.60±0.07^{b}	7.93±0.05^{b}	7.87±0.01^{b}	7.87±0.02 ^{b}
6	7.93±0.01^{b}	7.60±0.03^{b}	8.0±0.02 ^{b}	7.67±0.05^{b}	8.0±0.07^{b}
7	7.73±0.06^{b}	7.87±0.06^{b}	7.80±0.01^{b}	8.0±0.06^{b}	8.0±0.02^{b}
8	7.87±0.01^{b}	7.87±0.04^{b}	8.0±0.02 ^{b}	7.93±0.08^{b}	8.10±0.07^{b}
9	7.86±0.02^{b}	7.68±0.01^{b}	7.87±0.01^{b}	7.87±0.01^{b}	7.93±0.05^{b}
10 (control treatment)	7.53±0.09^{b}	2.27±0.06^{a}	2.20±0.05^{a}	7.47±0.05^{b}	2.0±0.02 ^{a}

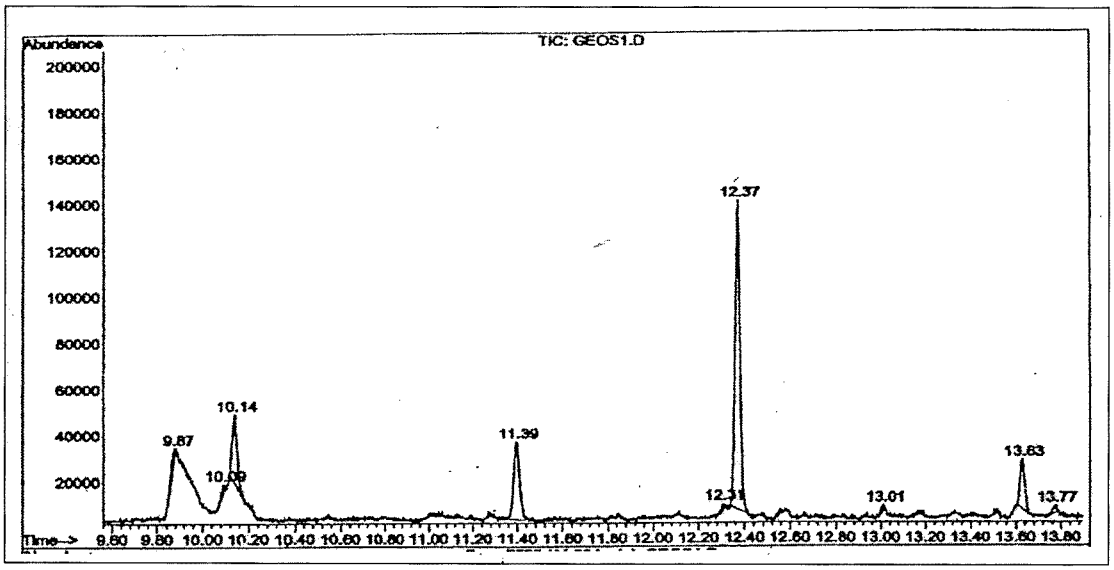
หมายเหตุ : a, b,... ตัวอักษรที่กำกับตัวเลขในแนวตั้งต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4 ผลการศึกษาปริมาณสารให้กลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

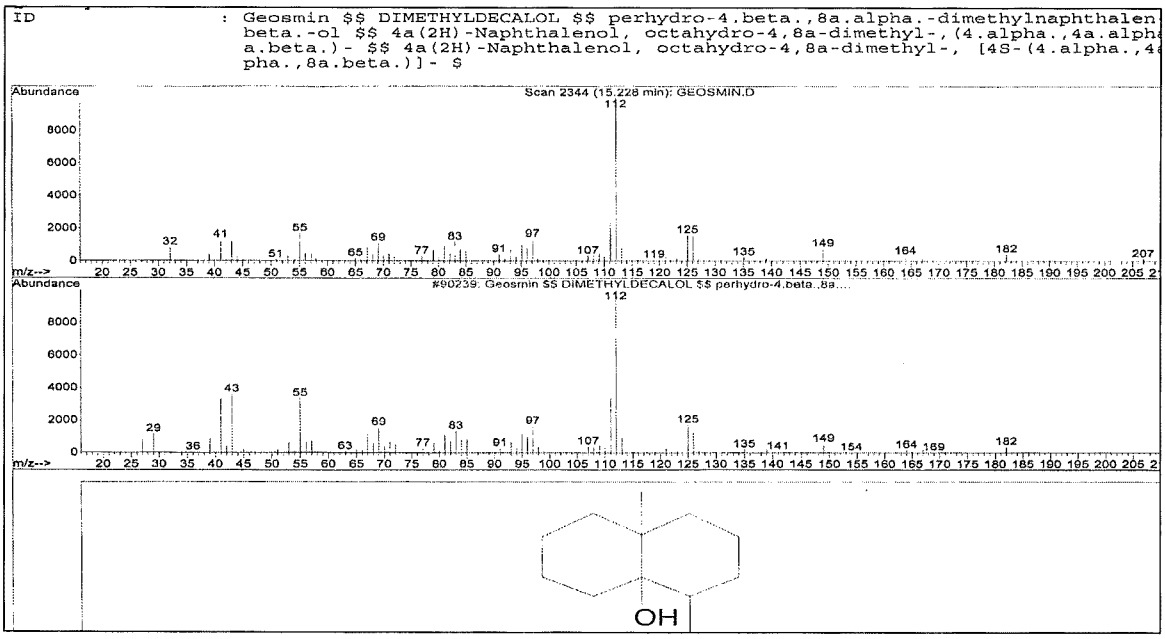
4.4.1 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน geosmin และการสร้างกราฟมาตรฐาน

ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟีและแมสสเปกโตรสโกปี (solid phase micro-extraction /gas chromatography-mass spectroscopy ; SPME–GC/MS) ตามวิธีการของ สมชาย หวังวิบูลย์กิจ (2551) จะได้ chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน geosmin (ภาพที่ 4.1) มีค่า mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน m/z = 112 (ภาพที่ 4.2) และได้ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับ

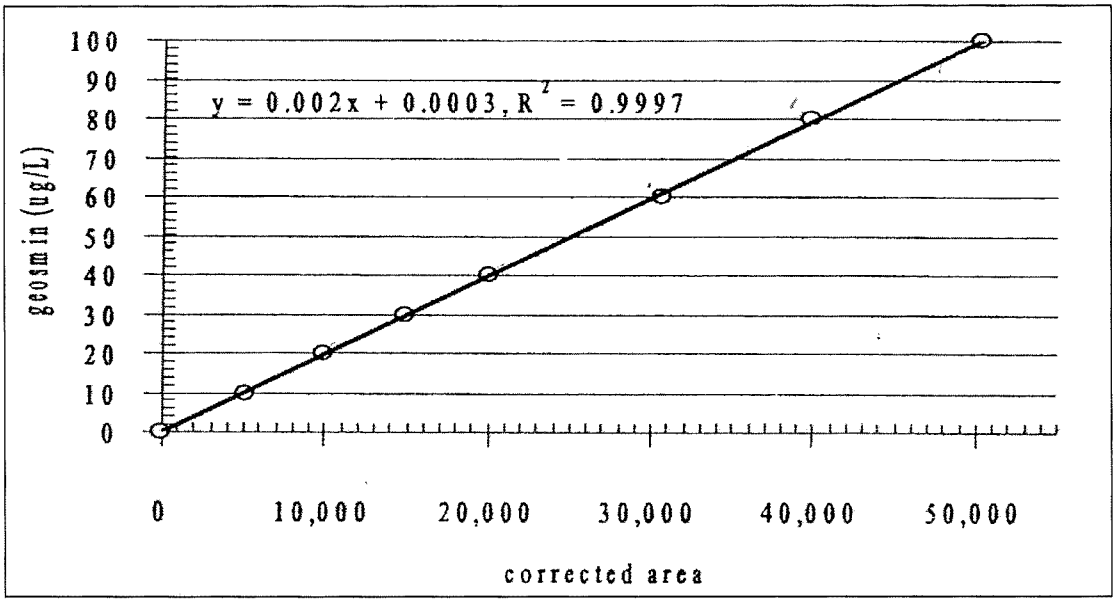
ปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME-GC/MS โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้น corrected area (x) กับ ปริมาณ geosmin คือ y = 0.002x + 0.0003 (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.1 chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME–GC/MS
ที่มา : สมชาย หวังวิบูลย์กิจ (2551)



ภาพที่ 4.2 mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน m/z = 112

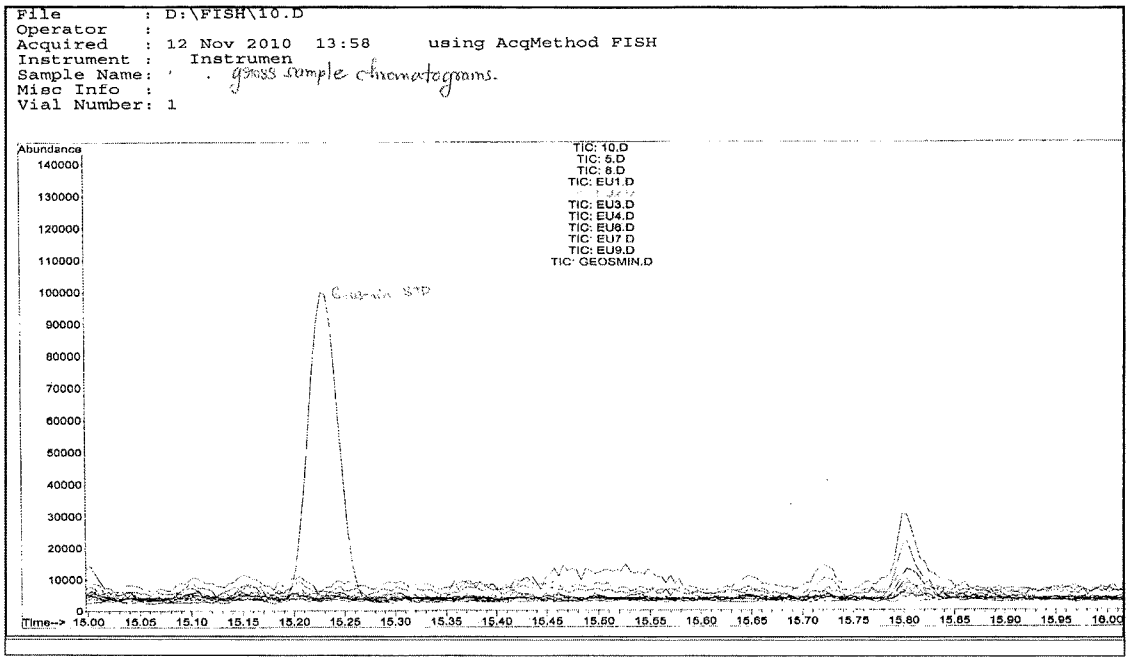


ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME–GC/MS

4.4.2 ผลวิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ในเนื้อเยื่อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

นำตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงแล่ ที่ผ่านการแช่-ล้างในสารละลายต่างๆทั้ง 9 สิ่งทดลอง วิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin พบว่า ทั้ง 9 สิ่งทดลอง (ยกเว้นสิ่งทดลองควบคุม) ตรวจไม่พบปริมาณสาร geosmin ในเชิงปริมาณ (ภาพที่ 4.4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ให้คะแนนแบบ hedonic scale 9 points ด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับรวมในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก (ตารางที่ 4.7) ในขณะที่การประเมินให้คะแนนแบบ scoring test พบว่า ทุกสิ่งทดลอง ผู้ทดสอบให้ระดับคะแนน เท่ากับ 2 (ไม่พบกลิ่นโคลน geosmin) ยกเว้น สิ่งทดลองที่ 7 (NaCl 3%) มีระดับคะแนน 4.27 (มีกลิ่นโคลน geosmin เพียงเล็กน้อย) แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME–GC/MS กลับตรวจไม่พบปริมาณสาร geosmin (ภาพภาคผนวกที่ 1.9) และทั้ง 9 สิ่งทดลอง เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติแบบ homogeneity of variance ตามวิธีการของเลเวน (Levene's method) พบว่า ทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสาร geosmin มีสมบัติละลายได้ดีในส่วนไขมัน (lipophilic capacity) (Robertson และคณะ, 2004) ในเนื้อเยื่อด้านท้องปลา ทำให้อาจไม่สามารถ

ตรวจพบสารดังกล่าวได้ Mohsin และคณะ (1999) รายงานว่า การใช้สารละลายเถ้าใบกล้วย 5% ล้างเนื้อปลาหมอเทศ(*Oreochromis mossambicus*) ที่ผ่านการแล่เป็นชิ้น นาน 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลนลงได้ และให้ผลดีในด้านความขาวและเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน Tameka (2005) ศึกษาใช้สารละลายโอโซนเพื่อลดกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาดุก โดยสุ่มเนื้อปลาแล่ 20 กรัม ฉีดสาร geosmin ความเข้มข้น 0 และ 10 ไมโครกรัม/กิโลกรัม จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C นานไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างสัมผัสก๊าซออกซิเจน และสารละลายโอโซนเป็นเวลา 0, 30 และ 60 นาที จากนั้น วิเคราะห์สาร geosmin ด้วยวิธีเครื่อง SPME - GC/MS พบว่าสารละลายโอโซนมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาดุกแล่อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกันกับการทดลองของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) ที่ศึกษาลดกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลานิลก่อนนำมาแปรรูปโดยวิธีการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20^{o}C จากปริมาณสาร geosmin เริ่มต้น 76.22 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อทดลองจะนำมาแล่เป็นชิ้น ขนาด 10 กรัม แช่ล้างในสารละลาย เกลือโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า การแช่ล้างในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 5% และ 8% v/v นาน 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาที่ถูกชักนำให้มีการดูดซึมสารจีออสมินมาแล้ว สามารถลดกลิ่นโคลนลงได้ประมาณ 90.11 % และ95.81 % ตามลำดับ เหลือกลิ่นโคลนในระดับที่ยอมรับได้ คือ 7.54 และ 3.19 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และได้รับการยอมรับด้วยคะแนนดีมากจากผู้ทดสอบในด้านกลิ่นโคลน



ภาพที่ 4.4 chromatogram ของสาร geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME–GC/MS ในตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงแล่ที่ผ่านการแช่ล้างด้วยสารลาย ทั้ง 9 สิ่งทดลอง

4.5 ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านความขาว (whiteness)

การทดลองจะรายงานผลวิจัยเฉพาะค่าความสว่าง (lightness ; L) และค่าความขาว (whiteness ; W) เท่านั้น เนื่องจาก เนื้อปลาสวายโมงเป็นปลาเศรษฐกิจของไทยที่มีเนื้อสีขาว ดังนั้น ผู้วิจัยจะติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าสีดังกล่าว

จากการทดลองเมื่อนำเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งมาผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆทั้ง 9 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.5) พบว่า เนื้อปลาสวายโมงที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี t - like statistic ทั้งค่า L และ W (ตารางที่ 4.9) ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของนฤมล อัศวเกศมณี (2550) ที่ศึกษาวัดค่าความขาวของเนื้อปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) ด้วยสารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญา ที่ระดับความเข้มข้น 0% 5% 10% และ 15% ปริมาตร/ปริมาตร พบว่า ปลาดุกบิ๊กอุยที่ผ่านการแช่-ล้าง ด้วยสารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญาทุกระดับความเข้มข้น ให้ค่าความขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนั้น พบว่า มีแนวโน้มที่จะทำให้เนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งมีความขาวเพิ่มขึ้นสูงสุดและต่ำสุด คือ เมื่อนำมาผ่านการแช่-ล้างสารละลายโอโซน 400 มิลลิกรัม ร่วมกับ เถ้าใบกล้วย 5% และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) เนื่องจาก โอโซนเป็นสารออกซิไดซิงอย่างแรง (potential oxidizing agent) จึงสามารถลดกลิ่นโคลน geosmin ได้ (Chen และคณะ, 1997) ซึ่งสอดล้องกับงานวิจัยของ Tameka (2005) ทดลองศึกษาใช้สารละลายโอโซนเพื่อปรับปรุงความขาวเนื้อปลาดุก โดยสุ่มเนื้อปลาแล่ 20 กรัม สัมผัสก๊าซออกซิเจน และสารละลายโอโซน เป็นเวลา 0, 30 และ 60 นาที พบว่า สารละลายโอโซนมีประสิทธิภาพสูงสุดทำให้สีขาวของเนื้อปลาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อปลาสูญเสียไมโอโกลบิน (myoglobin) การฟอกสีโดยใช้โอโซนนั้น โอโซนจะเข้าทำลายโครงสร้างของพอร์ไฟริน (porphyrin) ในไมโอโกลบินและฮีโมโกลบินทำให้เนื้อปลาขาวขึ้น (Chen และคณะ (1997) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545)) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รังสิมา อร่ามเรือง และคณะ (2551) ที่รายงานว่า การใช้สารละลายโอโซนความเข้มข้น 2.0 ppm ทำให้เนื้อกุ้งแช่แข็งขาวขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.8 คุณภาพด้านสี L a^* b^* และค่าความขาว (whiteness) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

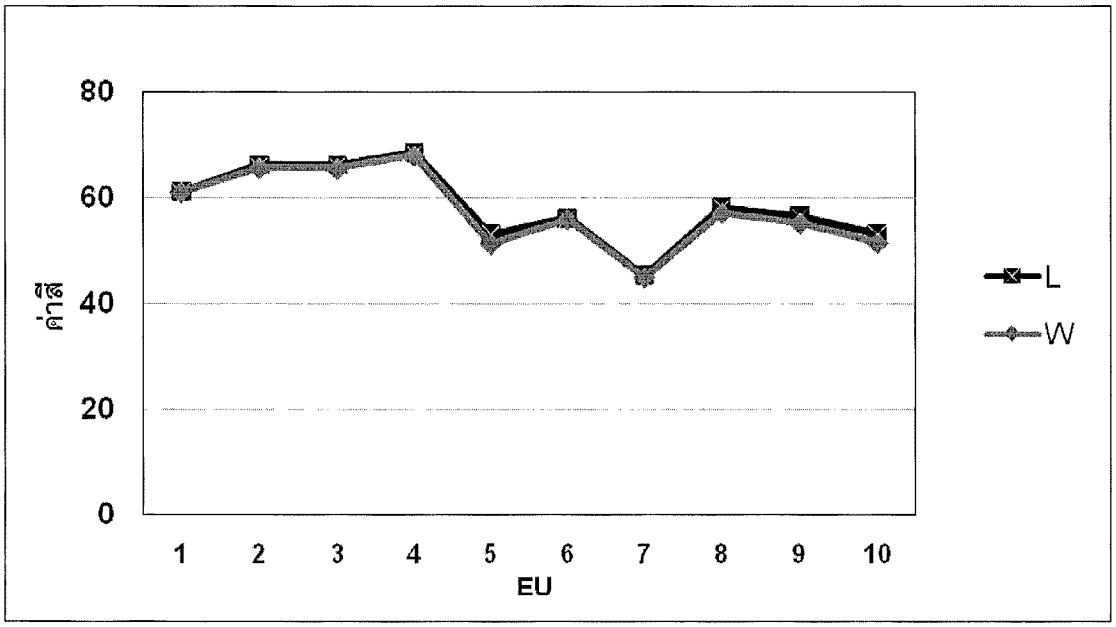
สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านสี			
	L^{ns} (lightness)	a^{*ns} (redness)	b^{*ns} (yellowness)	W^{ns} (whiteness)
1	61.16 ± 0.93	-1.18 ± 0.13	0.13 ± 0.30	61.14 ± 0.93
2	66.16 ± 0.29	-1.94 ± 0.02	6.21 ± 0.18	65.73 ± 0.15
3	66.16 ± 0.29	-1.92 ± 0.30	5.54 ± 0.41	65.65 ± 0.23
4	68.58 ± 1.02	-1.92 ± 0.03	5.12 ± 0.11	68.10 ± 1.02
5	53.09 ± 0.41	0.08 ± 0.02	0.40 ± 0.54	51.34 ± 3.43
6	56.07 ± 0.51	-1.10 ± 0.14	0.63 ± 0.04	56.05 ± 0.50
7	45.26 ± 1.55	-1.06 ± 0.16	4.65 ± 0.04	45.04 ± 0.50
8	58.25 ± 1.11	-1.18 ± 0.10	3.27 ± 0.35	57.24 ±1.05
9	56.49 ± 0.77	-1.01 ± 0.14	2.73 ± 0.35	55.26 ± 0.75
10 (ไม่ผ่านสิ่งทดลอง)	53.26 ± 0.55	-0.75 ± 0.01	2.05 ± 0.03	51.59 ± 0.54

หมายเหตุ : **ns** ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่า t – like statistic ตามวิธีการของ เลนท์ (Lenth's method) สำหรับการ วิเคราะห์คุณภาพด้านความสว่าง (L) และความขาว (W) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

Trt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t - like statistic ของ L^*	**0.700**	**0.757**	**0.757**	**0.785**	**0.608**	**0.642**	**0.518**	**0.667**	**0.647**
t - like statistic ของ W^*	**0.712**	**0.766**	**0.765**	**0.793**	**0.598**	**0.653**	**0.525**	**0.667**	**0.644**

* no significant effect at level 0.05



ภาพที่ 4.5 ค่า L – W profiles ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

งานวิจัยนี้ ได้ติดตามค่า pH ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ เพื่อศึกษาว่าค่า pH ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับตัวควบคุม นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เป็นค่าบ่งชี้การเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในกล้ามเนื้อปลาหลังจากละลายน้ำแข็ง

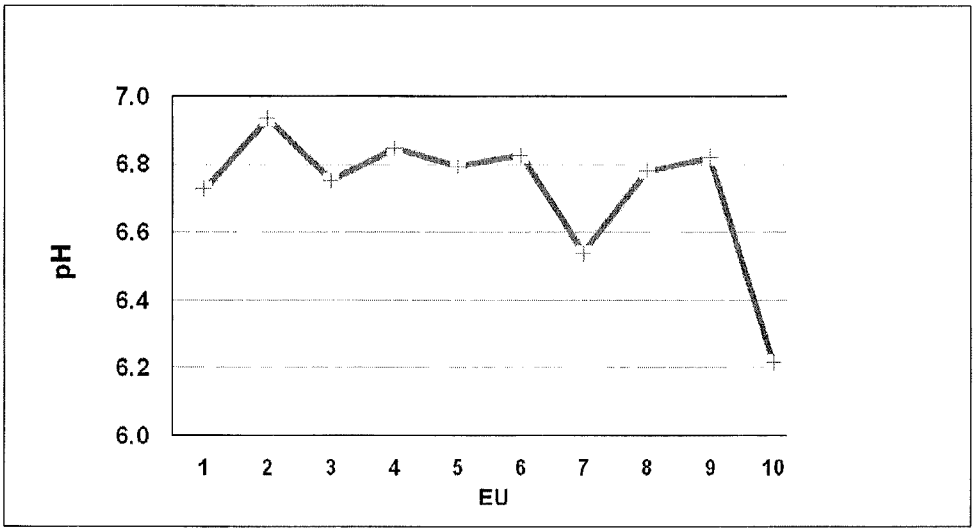
ซึ่งงานวิจัยนี้ผู้วิจัยแช่แข็งเนื้อปลาสวายโมงแล่-ละลายน้ำแข็งซ้ำ (freeze-thaw cycles) จำนวน 2 รอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ (2551) รายงานว่า การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลาแล่ในสภาพดิบ ผู้ทดสอบไม่ยอมรับตัวอย่างไม่เกินรอบที่ 2 จากผลการทดลองใน ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.6 พบว่า เนื้อปลาสวายโมงที่ผ่านการแช่ในสารละลายทั้ง 9 สิ่งทดลองไม่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ t-like statistic พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยพบว่า มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.54 ถึง 6.93 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการละลายน้ำแข็งซ้ำในรอบที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ (2551) รายงานว่า ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนรอบของการแช่แข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำเพิ่มขึ้น

โดยปกติการเปลี่ยนแปลง pH จะเกิดจากหลายสาเหตุนั่นคือ เมื่อสัตว์น้ำตายลง pH มีค่าลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการไกลโคไลซิสซึ่งก่อให้เกิดกรดแลกติก ทั้งนี้ปริมาณกรดแลกติกที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณไกลโคเจนที่สะสมก่อนตาย รวมทั้งการปฏิบัติต่อสัตว์น้ำ ส่วนการเพิ่มขึ้นของ pH อาจมีสาเหตุมาจากเนื้อปลาเกิดการย่อยสลายตัวเองโดยเอนไซม์ ทำให้โปรตีนเสียสภาพหรือเกิดการแตกตัวของโปรตีน เกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจนและสารประเภทเอมีนที่มีฤทธิ์เป็นด่างออกมาอย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลง pH ของปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ฤดูกาล, ลักษณะการจับ, ชนิดของปลา และปัจจัยอื่น ๆ (Huss, 1988 อ้างถึงใน สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551)

ตารางที่ 4.10 ค่า t – like statistic ตามวิธีการของ เลนท์ (Lenth's method) สำหรับพารามิเตอร์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

สิ่งทดลอง (experimental units ; EU)	**pH***	**t - like statistic**
1	6.73 ± 0.13	**0.661**
2	6.93 ± 0.08	**0.681**
3	6.75 ± 0.10	**0.663**
4	6.85 ± 0.07	**0.673**
5	6.79 ± 0.19	**0.667**
6	6.83 ± 0.12	**0.671**
7	6.54 ± 0.05	**0.642**
8	6.78 ± 0.10	**0.670**
9	6.82 ± 0.26	**0.670**
10 (control treatment)	6.23 ± 0.03	-

*No siginicant effects.



ภาพที่ 4.6 ความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

4.7 ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

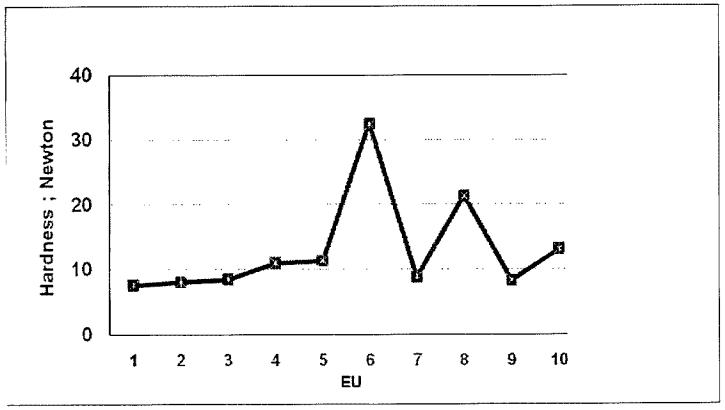
การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture profile analysis ; TPA) หรือ วัดการเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างเถ้าใบกล้วย 5% และ NaCl 5% หรือสิ่งทดลองที่ 6 ให้ค่าความแข็งหรือกระด้าง (hardness) และค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี t-like statistic ตามวิธีการของ เลนท์ (Lenth's method) แสดงดังตารางที่ 4.11 หรือภาพที่ 4.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ค่าความแข็งกระด้าง(hardness) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่ที่ผ่านการแช่-ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างเถ้าใบกล้วย 5% และ NaCl 5% มีค่ามากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ นั่นแสดงว่า ปริมาณแรงที่ต้องการใช้กดเนื้อปลาลงไประหว่างฟันที่เคี้ยวครั้งแรก มีผลออกมาให้ความแน่นแข็งหรือความกระด้างค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลทำให้ค่าความเกาะติดกันสูงก่อนที่จะถูกตัดขาดจากกันด้วยการกด อาจเกิดจากปริมาณเกลือที่เติมจะช่วยค่า ionic strength ในชิ้นปลาแล่ แล้วละลายเอา myofibrillar proteins ออกมาภายนอก ซึ่งจะช่วยในการรวมตัว (binding) โครงสร้างของ musculature ให้แข็งแรงขึ้น จึงวัดค่า hardness, cohesiveness ได้สูงกว่า treatment อื่นๆ (นินนาท ชินประหัษฐ์, 2554) โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) ศึกษาค่าเนื้อสัมผัสของเนื้อปลานิลแล่ เมื่อทดลองจะนำมาแล่เป็นชิ้น ขนาด 10 กรัม แช่ล้างในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเถ้าใบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลาย 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า การแช่ล้างในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และเถ้าใบกล้วย ความเข้มข้น 5% และ 8% v/v ทำให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นปลาที่แข็ง (hardness) โดยที่ ความเข้มข้นปริมาณ 8% จะมีค่าความแข็งกระด้างมากกว่า แต่ในขณะที่งานวิจัยนี้ กลับพบว่า สิ่งทดลองดังกล่าว (อิทธิพลร่วมระหว่างเถ้าใบกล้วย 5% และ NaCl 5%) ผู้ทดสอบให้การยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆ เมื่อประเมินด้วยแบบทดสอบที่ให้คะแนนแบบ hedonic scale 9 point (ตารางที่ 4.7)

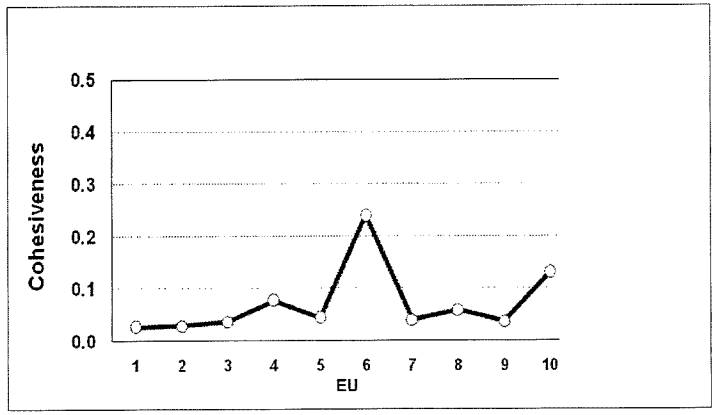
ตารางที่ 4.11 ค่า t - like statistic ลักษณะทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่เย็น ที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

สิ่งทดลอง	hardness (นิวตัน)	t - like statistic hardness	cohesiveness	t - like statistic cohesiveness	springiness (มิลลิเมตร)	t-like statistic springiness	fracture force (กิโลกรัม.แรง)	t - like statistic fracture force
1	7.59±0.30	**0.568**	0.027±0.002	**0.467**	0.736±0.03	**0.536**	0.502±0.002	0.667
2	8.06±0.03	**0.604**	0.029±0.001	**0.502**	0.916±0.04	**0.667**	0.496±0.002	0.656
3	8.520±0.05	**0.634**	0.039±0.002	**0.641**	1.13±0.02	**0.815**	0.501±0.001	0.665
4	10.97±1.18	**0.822**	0.077±0.01	**1.333**	1.30±0.15	**0.946**	0.500±0.002	0.201
5	11.33±2.69	**0.849**	0.044±0.01	**0.762**	0.780±0.18	**0.568**	0.904±0.66	0.669
6	32.460±1.96	**2.432***	0.239±0.34	**4.138***	0.822±0.002	**0.598**	0.504±0.007	0.664
7	8.8976±0.58	**0.666**	0.040±0.004	**0.693**	0.997±0.19	**0.726**	0.500±0.002	0.696
8	21.278±1.51	**1.594**	0.0593±0.009	**1.027**	1.17±0.11	**0.852**	0.524±0.03	0.671
9	8.2982±0.19	**0.622**	0.037±0.002	**0.641**	0.854±0.21	**0.622**	0.505±0.005	1.699
10 (control)	13.12±1.41	-	0.130±0.019	-	1.86±0.03	-	1.28±0.26	-

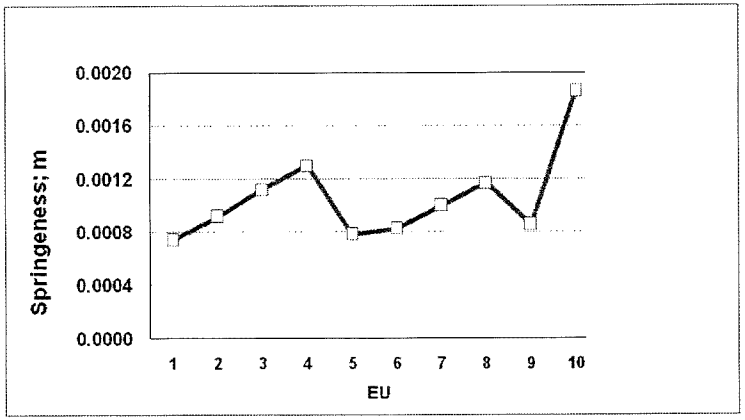
* represent the significant effect.



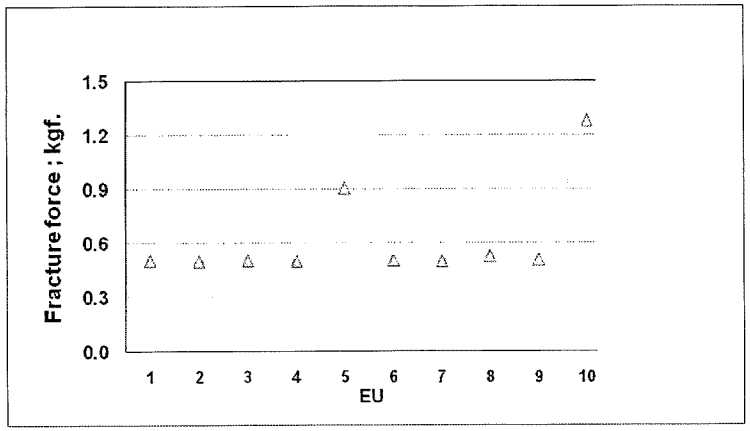
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.7 การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (ก) hardness (ข) cohesiveness (ค) springiness และ (ง) fracture force ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่าง