รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

อิทธิพลของสารละลายโอโซน เถ้าใบกล้วย และโซเดียมคลอไรด์ ที่มีผลต่อการลดกลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

EFFECT OF OZONE, BANANA LEAF ASH, SODIUM CHLORIDE SOLUTION ON REDUCING EARTHY-GEOSMIN ODOUR AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF FROZEN THAI PANGA FISH (*Pangasius* sp.) Fillets.

โดย

ปิยะวิทย์ ทิพรส

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายงานการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2554

ชื่อเรื่อง : อิทธิพลของสารละลายโอโซน เถ้าใบกล้วย และโซเดียมคลอไรด์ ที่มีผลต่อการลดกลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

ผู้วิจัย : นายปิยะวิทย์ ทิพรส **สถาบัน :** มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปีที่พิมพ์ : 2554 **สถานที่พิมพ์ :** มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

จำนวนหน้างานวิจัย : 107 **หน้า**

คำสำคัญ : ปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง กลิ่นโคลนจีออสมิน โอโซน เถ้าใบกล้วย โซเดียมคลอไรด์

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทคัดย่อ

ปลาสวายโมง (Thai panga fish) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pangasius* sp. เป็นปลาลูกผสมที่เกิดจากการผสมพันธุระหว่างแม่พันธุ์ปลาสวาย (*Pangasiusnodon hypophthalmus*) กับพ่อพันธุ์ปลาโมง (*Pangasius bocourti*) ได้รับการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและสนับสนุนให้เป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจชนิดใหม่ของไทย และประสบกับปัญหาเนื้อปลามีกลิ่นดิน กลิ่นโคลน ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีสาเหตุหลักจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบสารละลายโอโซน หรือ เถ้าใบกล้วย หรือ NaCl ที่มีต่อการลดกลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ **ขั้นตอนแรก** วิเคราะห์ความสด และองค์ประกอบทางเคมีกายภาพด้วยการแล่ปลาสวายโมงแบบแล่แผ่นตลอดลำตัว (single fillets) หลังการแช่แข็ง–ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิไม่เกิน 15°C (frozen-thawed cycle) 1 รอบ พบว่า มีคุณภาพความสดปกติ (ทดสอบทางประสาทสัมผัส) ค่าความขาว (51.59) ความแข็ง (13.12 นิวตัน) การยึดเกาะกันของเนื้อเยื่อ (0.130) pH (5.98) TVB-N (4.85 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัม) พลังงานทั้งหมด (102 กิโลแคลอรี/กรัม) พลังงานจากไขมัน (37 กิโลแคลอรี/กรัม) โปรตีน (15.1%) ไขมัน (4.16%) เถ้า (1.13%) ความชื้น (78.56%) คาร์โบไฮเดรต (1.05%) กรดไขมันทั้งหมด (6.83%) กรดไขมันชนิดทรานส์ (0%) โอเมกา-3 (173.29 มิลลิกรัม/100 กรัม) โอเมกา-6 (830.79 มิลลิกรัม/100 กรัม) และโอเมกา-9 (2,535.53 มิลลิกรัม/100 กรัม) **ขั้นตอนที่สอง** ฉีดสารละลายกลิ่นโคลน geosmin มาตรฐาน ความเข้มข้น 200 นาโนกรัม/ลิตร เข้าไปในชิ้นปลาแล่ น้ำหนัก 180 ± 0.5 กรัม หลายๆจุดแบบสุ่ม

โดยเฉพาะเนื้อติดมันส่วนท้อง จากนั้น นำมาสัมผัสกับสารละลายโอโซน (200 และ 400 มิลลิกรัม) เถ้าใบกล้วย (3% และ 5%) และ NaCl (3% และ 5%) โดยน้ำหนัก/ปริมาตร กวนสารละลายเป็นระยะและสัมผัสนาน 5 นาที ล้างน้ำสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ เก็บเข้าถุงพอลิเอทิลีนแบบซิพล็อค แช่แข็งที่อุณหภูมิ -21°C นานไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง ละลายน้ำแข็งด้วยอุณหภูมิไม่เกิน 15°C รอบที่ 2 วางแผนการทดลองแบบ 3^{3-1} Unrepeated Factorial in Completely Randomized Design สำหรับการวิเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin ด้วยวิธี SPME-GC/MS และสมบัติทางเคมีกายภาพ และวางแผนการทดลองแบบวัดค่าซ้ำ (Repeated Measure Design) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้การทดสอบระดับนัยสำคัญของสมมติฐาน 2 วิธี คือ Graphical Method (Normal Plot) และ Lenth's Method จากผลการทดลอง ทั้ง 9 สิ่งทดลอง (treatments) (pH ช่วง 6.54 - 6.93) พบว่า ตรวจไม่พบสารให้กลิ่นโคลน geosmin ในชิ้นปลาสวายโมงแล่ ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่ให้คะแนนแบบ scoring test พบว่า ทุกอิทธิพลร่วมไม่มีกลิ่นโคลน geosmin ($p>0.05$) เมื่อผ่านการทำให้สุกด้วยไมโครเวฟ ยกเว้น เนื้อปลาสวายโมงแล่ที่สัมผัสสารละลาย NaCl 3% มีคะแนนกลิ่นโคลนระดับเล็กน้อย (4.27) ขณะที่การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านสีขาว กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ให้คะแนนแบบ hedonic scale -9- points พบว่า ทุกสิ่งทดลองร่วมผู้ทดสอบให้การยอมรับระดับปานกลางถึงชอบมาก ($p<0.05$) และทุกสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันในด้านความขาว ($p>0.05$) ส่วนค่าเนื้อสัมผัส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างเถ้าใบกล้วย 5% และ NaCl 5% ให้ค่า hardness และ cohesiveness มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

Title : Effect of ozone, banana leaf ash , sodium chloride solutions on reducing earthy-geosmin off-flavour and physico-chemical properties of frozen thai panga (*Pangasius* sp.) fish fillets.

Researcher : Piyavit Thipbharos **Institution :** Dhurakij Pundit University

Year of Publication : 2011 **Publisher :** Dhurakij Pundit University

Sources : Dhurakij Pundit University **No. of page :** 107 **pages**

Keyword : Frozen thai panga fish fillet, Ozone, Banana leaf ash, NaCl , Geosmin

Copy right : Dhurakij Pundit University

Abstract

Thai Panga fish (*Pangasius* sp.) is a hybrid catfish between *Pangasiusnodon hypophthalmus* and *Pangasius bocourti* . This fish is promoted as new economic freshwater fish in Thailand. Earthy–geosmin (GSM) taints caused by the microbial and blue-green algaes metabolites, Geosmin caused to quality of freshwater Thai Panga fish including to unacceptability from consumers. The purpose of this study is to compare analysis the effects of ozone, banana leaf ash or sodium chloride solutions on reducing GSM off-flavor , quality acceptance and physico-chemical properties of Thai Panga fish fillets after one frozen-thawed cycle. The preliminary study should that the freshness of fish are accepted by assessors for appearance, colour, odour, taste and texture . Physical and proximate chemical evaluations was presented as followed, total energy (102 kCal/100g), fat energy (37 kCal/100g), carbohydrate (1.05%), protein (15.10%), fat (4.16%), ash (1.13%), moisture (78.56%), total fatty acids (6.83%), *trans* -fatty acid (0%), Omega-3 (173.29 mg/100g), Omega-6 (830.79 mg/100g), Omega-9 (2535.53 mg/100g), pH 5.98 , TVB-N (4.85 mg-N/100g), whiteness (51.59) hardness (13.12 Newton) and cohesiveness (0.13). The second parts, Thai Panga fillet samples were defrosted (second cycles) at temperature less than 15°C . The fish were fillet from head towards the bottom of the fish (single fillets) to ensure that the fatty tissue of the fish (where off-flavors (GSM) are almost likely to deposit) still attachted. Sub-samples (180g ± 0.5 pieces) of Thai Panga fillets were spiked in several spots with a syringe just underneath the skin with 200 ng/L of the standard GSM solution. It was then placed

into a PE-plastic Ziploc bag and frozen for at least 12 hours at -21°C before analysis. After Thai Panga fish fillets was exposed to ozonated water (200 or 400 mg), banana leaf ash (3% or 5% w/v) or sodium chloride (3% or 5% w/v) solutions for contact times of 5 min with circulation, all treated samples including the control sample were analyse for GSM by SPME-GC/MS analysis . Experimental designs were 3^{3-1} treatment combinations unreplicated factorial in completely randomized design for physico-chemical analysis and repeated measure design for sensory evaluation. For an unrepeated experimental method of testing effect significance are referred to two principal methods, the graphical method, namely normal or half normal plots, and the Lenth's method with pseudo standard error served as a robust estimator of standard deviation of treatment effects. All samples were performed in triplicates. The results showed that using nine – treatment effects (pH 6.54 - 6.93) no detection of the GSM content by SPME-GC/MS in all sample which corresponding to the scoring test by assessors that all interaction treatment effects could not be detected the GSM off-flavour when cooked by microwave except the fish fillets contacted with 3% NaCl which had slightly GSM off-flavour (4.27). In addition, the 9-points hedonic scale sensory evaluation by trained assessors presented that all treatment and /or interaction effects were fairly to very good acceptable. Likewise, all treatment and interaction effects showed no significantly differences in whiteness the most hardness and cohesiveness measured by texture analyser were found in treatment with 5% banana leaf ash and 5% NaCl.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ และขอขอบพระคุณ อธิการบดี รองอธิการบดีทุกฝ่าย ที่สนับสนุนให้ทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร ที่ปรึกษารองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและวิทยบริการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแนวทางในการทำวิจัย แก้ไขและให้ข้อเสนอแนะงานวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปัทมา ระตะนะอาพร ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาช่วยตรวจแก้ไขเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ ที่ปรึกษาภาควิชาวิทยาศาสตร์ และคณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนให้ทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณสถานีประมงน้ำจืด จังหวัดนครพนม ภายใต้สังกัดกรมประมง ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ให้เข้าศึกษาข้อมูลที่เป็นประโยชน์ เกี่ยวกับปลาสวายโมง และแหล่งเพาะเลี้ยงปลาสวายโมง เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ธิฏิรัตน์ ทิพรส และ ด.ช. ศรัณยสุฐ เมฆบัณฑิตกุล ภรรยาและลูกที่คอยเป็นกำลังใจ สนับสนุน และเป็นแรงผลักดันให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดีเสมอมา

ท้ายที่สุดประโยชน์อันเนื่องมาจากงานวิจัย จะพึงมีเพียงใด คุณงามความดีนั้นขอมอบแด่บิดา มารดา ทั้งฝ่ายผู้วิจัยและภรรยา รวมทั้งบุญคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสทธิ์ประสาทวิชาความรู้จนถึงปัจจุบัน

ผู้วิจัย

ตุลาคม 2554

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
กิตติกรรมประกาศ		จ
สารบัญ		(1)
สารบัญตาราง		(3)
สารบัญภาพ		(5)
บทที่ 1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	นิยามศัพท์เฉพาะ	3
	สมมติฐานการวิจัย	4
	ขอบเขตของการวิจัย	4
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย	39
	ประชากร	39
	กลุ่มตัวอย่าง	42
	วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย	42
	วิธีการดำเนินงานวิจัย	45
	การวางแผนการทดลอง	50
	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	53

บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์ผลวิจัย 54

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 73
สรุปผลการวิจัย 73
ข้อเสนอแนะ 74

บรรณานุกรม 75
ภาคผนวก 79
1. วิเคราะห์ปริมาณสารให้กลิ่นโคลน geosmin โดยใช้เทคนิคโซลิด เฟส ไมโคร เอ็กแทรกชัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี / แมสสเปรกโตสโกปี 80
2. การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า เพื่อใช้ในการแช่-ล้างเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง 90
3. การวัดค่าสี และความขาว 95
4. การวัดเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง 97
5. แบบฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนแบบ scoring test ด้านกลิ่นโคลนในเนื้อปลาสวายโมงแล่เป็นชิ้น 99
6. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนแบบ scoring test ด้านกลิ่นโคลน geosminในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ 100
7. แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนแบบ Hedonic Scale -9-Pointsด้านเฉพาะกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ 101
8. ภาพวัสดุอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลองบางส่วน 103

ประวัติผู้วิจัย 105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของ initiators, promotors และ scavengers ที่สำคัญ และมีผลต่อการสลายตัวของโอโซน	26
2.2	ร้อยละการลดปริมาณสาร geosmin เฉลี่ย ที่ผ่านการแช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิด นาน 5 นาที	36
2.3	การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโคลน และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลานิล ที่แช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิด ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	36
2.4	การประเมินค่าความขาวหรือค่าความสว่าง (Lubicity; L*) ของเนื้อปลานิล ที่แช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิด ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	38
3.1	การวางแผนการทดลอง 3^{3-1} treatment combinations ที่ใช้ในการหา significant effects	51
4.1	การวิเคราะห์คุณภาพความสดเบื้องต้นของเนื้อปลาสวายโมง (*Pangasius* sp.) แช่แข็งทางด้านเคมีและทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)	54
4.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate analysis) ในเนื้อปลาสวายโมง(*Pangasius* sp.) แช่แข็ง	55
4.3	ผลการวิเคราะห์ Omega fatty acids ของเนื้อปลาสวายโมง (*Pangasius* sp.)แช่แข็ง	56
4.4	ผลวิเคราะห์ lipid profiles ของเนื้อปลาสวายโมงแช่แข็ง	57
4.5	คะแนนประเมินการฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้มีความไวต่อการรับรู้สารให้กลิ่นโคลน geosmin โดยใช้ทดสอบให้คะแนนแบบ scoring test	58
4.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโคลน geosmin ของตัวอย่าง เนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ โดยวิธี scoring test	59
4.7	คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง และผ่านการปรุงสุก โดยผู้ทดสอบให้คะแนนแบบ hedonic scale – 9 – points	61

4.8 คุณภาพด้านสี L a^* b^* และค่าความขาว (whiteness) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ 66

4.9 ค่า t – like statistic ตามวิธีการของ เลนท์ (Lenth's method) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ ด้านความสว่าง (L) และความขาว (W) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ 67

4.10 ค่า t – like statistic ตามวิธีการของ เลนท์ (Lenth's method) สำหรับพารามิเตอร์ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย ต่างๆ 69

4.11 คุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ 71

ตารางภาคผนวกที่

1.1 certificate of analysis ของสารให้กลิ่นโคลน geosmin มาตรฐาน 83

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2 .1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของสาร geosmin	8
2.2	วิถีการสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin และ 2-MIB	9
2.3	แบคทีเรียกลุ่มแอคทีโนมัยซีส สกุล *Streptomyces* sp.	10
2.4	ผลของแอมโมเนียต่อ(a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์ เอ (d) อัตรส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin /คลอโรฟิลล์ - เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.	11
2.5	ผลของไนเตรทต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตรส่วน geosmin / มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.	14
2.6	ผลของฟอสเฟตต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ(d) อัตราส่วน geosmin / มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin / คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.	15
2.7	ผลของอุณหภูมิต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ(d) อัตราส่วน geosmin / มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin / คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.	16
2.8	ผลของความเข้มแสงต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin / มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin / คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.	17
2.9	ลักษณะการแตกตัวของออกซิเจนกลายเป็นเป็นก๊าซโอโซน	20
2.10	ลักษณะการเกิดก๊าซโอโซนโดยปรากฏการณ์โคโรนา ดิสชาร์จ	21
2.11	เครื่องผลิตโอโซนโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลท (UV ozone generator)	27
2.12	ผลของการพักปลาดุกก่อนการแปรรูป (depuration) ต่อปริมาณสาร MIB	32
3.1	ผู้ใหญ่บ้านตำบลอาจสามารถ สาธิตการจับปลาสวายโมง ในกระชังที่ เพาะเลี้ยงในแม่น้ำโขง ในเขตพื้นที่ตำบลอาจสามารถ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม	40
3.2	ปลาสวายโมง (*Pangasius* sp.)ที่ใช้ในการทดลอง	40

3.3	ตัวอย่างปลาสวายโมง (*Pangasius* sp.) สด ที่ใช้ในการทดลอง และวิธีการแช่แข็ง	41
3.4	วิธีแล่ปลาสวายโมงแบบแล่แผ่น (single fillet)	41
3.5	เนื้อปลาสวายโมงแล่เก็บในถุงพลาสติกแบบ zip lock	47
3.6	การแช่-ฉีด สารละลายgeosminมาตรฐาน เข้าเนื้อเยื่อปลาสวายโมงแล่	50
3.7	ขั้นตอนการนำเนื้อปลาสวายโมงแล่ผ่านการลดกลิ่นโคลน geosmin ด้วยสารละลาย 9 treatment effects	51
4.1	chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME-GC/MS	62
4.2	mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน m/z = 112	62
4.3	แสดงความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME-GC/MS	63
4.4	chromatogram ของสาร geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS- SPME ในตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงแล่ที่ผ่านการแช่ล้างด้วยสารลาย ทั้ง 9 สิ่งทดลอง	65
4.5	ค่า L – W profiles ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆทั้ง 10 treatment effects	67
4.6	ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ	69
4.7	การวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (ก) hardness (ข) cohesiveness (ค) springiness และ (ง) fracture force ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ	72

ภาพภาคผนวกที่

1.1	ชุดอุปกรณ์ GC/MS และ ถังแก๊สฮีเลียมบริสุทธิ์	82
1.2	ความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับปริมาณสาร geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME-GC/MS	84
1.3	SPME - GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวาย โมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลของ	

	สารละลายโอโซน 200 มิลลิกรัม	85
1.4	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 200 มิลลิกรัม+ เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3%+ NaCl 5%	85
1.5	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 200 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3% + NaCl 5%	86
1.6	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวาย โมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 400 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 5%	86
1.7	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลของสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3%	87
1.8	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวาย โมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลาย เถ้าใบกล้วยน้ำว้า5% + NaCl 5%	87
1.9	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวาย โมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลาย NaCl 3%	88
1.10	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 400 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3% + NaCl 3%	88
1.11	SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 400 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3%	89
2.1	ขั้นตอนการอบแห้งใบกล้วยน้ำว้า	92
2.2	ขั้นตอนการเผาใบกล้วยน้ำว้าและการเตรียมเถ้าใบกล้วยน้ำว้าแบบหยาบ	93
2.3	ขั้นตอนการเตรียมเถ้าใบกล้วยน้ำว้าผงพร้อมใช้งาน	94

2.4	ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า	94
3.1	การวัดค่าสี และความขาว ด้วยเครื่องวัดสี	96
4.1	การวัดเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง	98
8.1	ตู้แช่แข็งที่ใช้ตลอดการทดลอง ยี่ห้อ SANYO รุ่น ควบคุมอุณหภูมิแช่แข็ง ได้ต่ำสุด -40 องศาเซลเซียส	103
8.2	micropipette syringe และ เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลแบบปลายแหลม ที่ใช้ในการทดลอง	103
8.3	ไมโครเวฟ (ยี่ห้อ SUMSUNG รุ่น combi CE1160) ที่ใช้ในการให้ความร้อน เนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง กำลังไฟ 450 วัตต์	104
8.4	เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ inoLab pH 720 รุ่น WTW	104

DPU

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการประชุมวิชาการของโครงการศูนย์ประสานความร่วมมือเพื่อการพัฒนาศักยภาพอุตสาหกรรมอาหารและอาหารไทยสู่ครัวโลก เมื่อวันที่ 29 มิถุนายน 2550 จัดโดยสถาบันอาหารแห่งชาติ กรมประมง สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) และจังหวัดนครพนม พร้อมกันนี้ได้มีหนังสือเชิญหัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และผู้วิจัยในฐานะผู้ติดตาม เป็นตัวแทนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ เข้าร่วมประชุมวิชาการในวันดังกล่าว โดยมีผู้อำนวยการสถาบันอาหารเป็นประธานในที่ประชุม ได้บอกหัวข้อและแนวโน้มงานวิจัยเร่งด่วนในระเบียบวาระการประชุม เรื่อง ปัญหาเนื้อปลามีสีคล้ำ และเกิดกลิ่นดิน กลิ่นโคลน (earthy/musty off-flavours) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่เย็นแช่แข็งที่จำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ ส่งผลให้เกิดปัญหาระยะยาว เนื่องจากผู้บริโภคปฏิเสธและไม่ยอมรับคุณภาพปลาสวายโมงแล่แช่เย็นแช่แข็ง

ปลาสวายโมง (Thai panga fish) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pangasius* sp. นิยมเลี้ยงกันในแถบลุ่มแม่น้ำโขง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นปลาลูกผสมที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างแม่พันธุ์ปลาสวาย (*Pangasiusnodon hypophthalmus*) กับพ่อพันธุ์ปลาโมง (*Pangasius bocourti*) เป็นปลาน้ำจืดที่ได้รับการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและการสนับสนุนให้เป็นปลาเศรษฐกิจชนิดใหม่ของไทยเพื่อการส่งออก (สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ 2551) เนื้อมีสีขาว อวบ และรสชาติดี และเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ เพื่อทดแทนปลาฮาลิบัท (Halibut) ซึ่งมีคุณลักษณะของเนื้อสีขาวเหมือนกับปลาสวายโมง และสามารถส่งออกขายแล้ว เช่น กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต ญี่ปุ่น เป็นต้น (นิรนาม, 2550) ปัจจุบันประเทศคู่แข่งที่ส่งออกปลาสวายโมงแล่แช่เย็นแช่แข็ง คือ เวียตนาม ในขณะที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการเลี้ยงปลาสวายโมงมากกว่า เนื่องจากมีความพร้อมทางด้านทรัพยากร และมีผู้เชี่ยวชาญด้านการประมง และเห็นว่าแม่น้ำโขงเป็นแม่น้ำที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะเลี้ยงปลาสวายโมง ซึ่งส่วนใหญ่ผู้บริโภคจะนำไปทำเป็นสเต็กเนื้อปลาสวายโมง (กรุงเทพธุรกิจ, 2548) แต่ก็ยังประสบกับปัญหาเนื้อปลามีกลิ่นดินกลิ่นโคลนเมื่อนำมา

DPU

แปรรูป ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคไม่พึงปรารถนาและทำให้สินค้าต้องถูกปฏิเสธ ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้ ฝ่ายประกันคุณภาพกลาง บริษัท ซีพี เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด ดำเนินการธุรกิจแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาน้ำจืดแล่แช่เย็นหรือแช่แข็งเพื่อจำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ ได้โทรศัพท์ติดต่อขอคำแนะนำและส่ง e-mail รายละเอียดมาหาผู้วิจัยโดยตรง ได้เล่าถึงปัญหาการเกิดกลิ่นดินกลิ่นโคลนในผลิตภัณฑ์แปรรูปปลาน้ำจืดแล่แช่เย็นแช่แข็งที่ส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น ส่งผลให้ลูกค้าปฏิเสธสินค้า รวมทั้งการตรวจสอบสารให้กลิ่นโคลน ลูกค้าประเทศญี่ปุ่นต้องการให้ตรวจควบคู่กันระหว่าง electronic nose กับ SPME-GC/MS เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์สารให้กลิ่นโคลนในเชิงปริมาณด้วย (ฝ่ายประกันคุณภาพกลาง บริษัท ซีพี เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด, 2553) จะเห็นได้ว่าปัญหาการเกิดกลิ่นดินกลิ่นโคลน เป็นปัญหาสำคัญระดับชาติและนานาชาติ ที่ต้องทำการวิจัยศึกษาหาวิธีการป้องกัน แก้ไขเพื่อลดและ/หรือขจัดในช่วงกระบวนการแปรรูป เมื่อปลามาถึงที่จุดรับวัตถุดิบ อีกทั้งยังเป็นการลดการสูญเสียวัตถุดิบและพลังงาน เมื่อมาถึงโรงงานแปรรูป ทั้งนี้งานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ เพื่อหาทางป้องกันไม่ให้สัตว์น้ำจืดมีกลิ่นโคลนในช่วงการเพาะเลี้ยงเมื่อตอนที่มีชีวิต แต่บางครั้งเกษตรกร หรือผู้เพาะเลี้ยงยังขาดความรู้ความเข้าใจต้นเหตุของการเกิดกลิ่นดินกลิ่นโคลน ทำให้เนื้อสัตว์น้ำจืดเกิดการปนเปื้อนสารให้กลิ่นโคลนมาส่งถึงโรงงานแปรรูปอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้คาดหวังว่าจะสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในวงกว้าง เพื่อการแก้ปัญหากลิ่นดิน กลิ่นโคลนในช่วงกระบวนการแปรรูปในไลน์การผลิต ให้กับผู้ประกอบการทั้งระดับวิสาหกิจชุมชน ธุรกิจการบริการอาหาร และธุรกิจอุตสาหกรรมอาหาร SMEs ที่ทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ให้มีขีดความสามารถเพิ่มการแข่งขันกับต่างประเทศภายใต้ประชาคมอาเซียน (ASEAN economic community) ที่จะมาถึงในปี พ.ศ. 2558 อีกด้วย

1.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพเบื้องต้น และวิเคราะห์ fatty acid composition profile ของเนื้อปลาสวายโมง
2. เพื่อเปรียบเทียบสารละลายโอโซน หรือโซเดียมคลอไรด์ หรือเถ้าใบกล้วย ที่มีต่อการลดกลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง
3. เพื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่มีต่อการยอมรับของผู้ทดสอบ

DPU

1.3 **นิยามศัพท์เฉพาะ**

นิยามศัพท์เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ ได้แก่

ปลาสวายโมงแล่ (Thai panga fish fillet) หมายถึง ชิ้นเนื้อปลาสวายโมงที่แล่ตามยาวขนานกับกระดูกสันหลังของลำตัวโดยมีรูปร่างและขนาดไม่แน่นอน และมีหนัง (ดัดแปลง มกอช. 7014-2548)

ปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง (quick frozen thai panga fish fillet) หมายถึง ชิ้นเนื้อปลาสวายโมงแล่ที่ทำจากปลาสวายโมงชนิด (species) เดียวกัน นำมาตัดแต่งเพื่อให้สะดวกต่อการทดลองและการบรรจุ แล้วจึงนำไปเข้ากระบวนการแช่แข็ง (ดัดแปลง มกอช. 7014-2548)

ความขาว (whiteness) หมายถึง คุณภาพการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อสีของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ค่านี้ได้จากวิธีการคำนวณ (ภาคผนวก 3)

กลิ่นโคลน (earthy odours) หมายถึง กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ (off–flavor) ที่สำคัญที่พบในสัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการนำสัตว์น้ำมาใช้ประโยชน์และอุตสาหกรรมประมงอย่างมาก เนื่องจาก ทำให้เกิดการไม่ยอมรับของผู้บริโภค (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545)

สารละลายโอโซน หมายถึง สารละลายโอโซนที่ได้จากการผลิตด้วยเครื่องโอโซนแบบแพร่กระจายฟองอากาศ

สารละลายเถ้าใบกล้วย หมายถึง การนำใบกล้วยน้ำว้ามาผ่านการทำความสะอาด ลดขนาดเป็นผง นำไปเผาแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจนเป็นเถ้าแล้วผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่กำหนด

สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (เกรดอาหาร) หมายถึง การนำเกลือแกงผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วนที่กำหนด

geosmin (geosmin หรือ trans–1,10-dimethyl-trans-decalin-ol) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่ให้กลิ่นโคลนชนิดหนึ่ง มีกลิ่นคล้ายต้นกกหรือฟางเน่า (Form และ Horlyck (1984) อ้างถึงใน วรพงษ์ นลินานนท์, 2545)

2-เอ็มไอบี (2-methyl isoborneol ; MIB) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่ให้กลิ่นโคลนชนิดหนึ่ง ถ้ามีความเข้มข้นมากกว่า 10 ppm จะให้กลิ่นคล้ายการบูร(camphor) ซึ่งเมื่อนำมาเจือจางจะมีกลิ่นโคลน (Form และ Horlyck ,1984 อ้างถึงใน วรพงษ์ นลินานนท์ ,2545) และงานวิจัยนี้ศึกษาแต่เฉพาะสารให้กลิ่นโคลน geosmin เนื่องจากไม่ค่อยพบ MIB ในผลิตภัณฑ์ประมงน้ำจืด

การแช่แข็งแบบเร็ว หมายถึง (quick freezing) หมายถึง การทำเยือกแข็ง โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการทำให้ผ่านอุณหภูมิของการเกิดผลึกน้ำแข็งมากที่สุดอย่างรวดเร็ว กระบวนการทำ

DPU

เยือกแข็งที่อยู่ในสภาพเยือกแข็งอย่างสมบูรณ์ อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์จะต้องถึง -18 ^{O}C หรือต่ำกว่า (ดัดแปลง มกอช. 7014-2548)

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. สารละลายโอโซน หรือ เถ้าใบกล้วย หรือเกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถใช้ลดกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง
2. ผู้บริโภคให้การยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการใช้สารละลายโอโซน หรือ เถ้าใบกล้วย หรือ เกลือโซเดียมคลอไรด์
3. สารละลายโอโซน หรือเถ้าใบกล้วย หรือโซเดียมคลอไรด์ ทำให้สมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.5 **ขอบเขตของการวิจัย**

ขอบเขตของการวิจัย มีดังนี้

1. **เปรียบเทียบสารละลายโอโซน หรือเถ้าใบกล้วย หรือเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีต่อการลดกลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง**

การทดลองใช้เนื้อปลาสวายโมง ที่ไม่มีชีวิต มีขนาด ความยาว และน้ำหนักที่กำหนดสำหรับการแปรรูปเพื่อการส่งออก ได้จากแหล่งประมงน้ำจืดแถบลุ่มแม่น้ำโขง ตำบลอาจสามารถ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและแปรรูปปลาสวายโมง ตำบลอาจสามารถ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม เนื่องจาก เป็นแหล่งที่เพาะเลี้ยงและแปรรูปที่สำคัญภายใต้การดูแลของสถานีประมงน้ำจืด จังหวัดนครพนม กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และผู้ว่าราชการจังหวัดนครพนม

การทดลองจะนำเนื้อปลาสวายโมงวิเคราะห์คุณภาพความสด สมบัติทางเคมีกายภาพเบื้องต้น และ fatty acid profiles จากนั้น นำชิ้นปลาที่ผ่านการฉีดด้วยสาร geosmin มาตรฐาน 200 นาโนกรัม/

DPU

ลิตร มาแช่-ล้างในสารละลายทั้ง 9 สิ่งทดลอง (treatment effects) เปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม จากนั้นเก็บในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนแบบมีซิพ (zip lock-PE) เข้าตู้แช่แข็ง อุณหภูมิเก็บรักษาตลอดการทดลอง -21°C

2. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง หลังผ่านการแช่-ล้างในสารละลายแต่ละสิ่งทดลอง

นำตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงที่ผ่านการแช่-ล้างในข้อ 1. วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (ปริมาณสารให้กลิ่นโคลน geosmin ด้วยวิธี SPME-GC/MS และค่าความเป็นกรด-ด่าง) ลักษณะทางกายภาพ (วัดสี ความขาว เนื้อสัมผัส) ซึ่งแต่ละตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ทุกครั้ง จะต้องนำชิ้นปลาแล่ที่ผ่านการแช่แข็ง ละลายน้ำแข็ง (frozen-thawed cycles) ไม่เกิน 2 รอบ สำหรับตัวอย่างดิบ และไม่เกิน 4 รอบ สำหรับตัวอย่างสุก (ดัดแปลง สุญาณีพร ตุลพงศ์รักษ์, 2551) ด้วยระบบการหมุนเวียนในน้ำสะอาด อุณหภูมิไม่เกิน 15 ^{O}C เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ $\leq$ 4 ^{O}C ในตู้เย็น ก่อนการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

3. ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน

ทดลองโดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน ให้คะแนนเฉพาะการรับรู้กลิ่นโคลน geosmin แบบ scoring test ในช่วงแรก จากนั้น ให้คะแนนความชอบปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง แบบ hedonic scale -9- points ในช่วงที่สองทำให้สุกโดยนำชิ้นปลาสวายโมงแล่เข้าเตาไมโครเวฟ กำลังไฟ 450 วัตต์ นาน 5 นาที ก่อนให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

DPU

1.6 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดกลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพจากเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง
2. ผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ที่ได้รับสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวยังคงมีคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางด้านเคมี และลักษณะทางกายภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ
3. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการแก้ปัญหาด้านความขาวและการลดกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาสวายโมง และผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำอื่นๆ ที่ผ่านการแปรรูปแช่เย็นแช่แข็งเพื่อการส่งออกต่อไป

DPU

บทที่ 2
ทฤษฎี เอกสาร และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

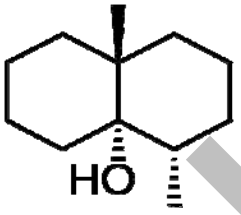
2.1 การเกิดกลิ่นโคลน geosmin ในสัตว์น้ำในช่วงที่มีชีวิต

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดหรือสัตว์น้ำกร่อยที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ บ่อยครั้งจะพบปัญหาคุณภาพผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำมีกลิ่นโคลน (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ, 2551) ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ส่งผลกระทบต่อการนำสัตว์น้ำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมแปรรูป เนื่องจาก ทำให้เกิดการไม่ยอมรับของผู้บริโภค สัตว์น้ำในต่างประเทศที่เคยพบปัญหาดังกล่าว ได้แก่ ปลาบรีม ปลากดอเมริกัน ปลาดุก ปลาซัลมอน ปลาเรนโบว์ เทราท์ ปลาเลค เฮอร์ริ่ง ปลาคาร์พ หอยกาบคู่ เป็นต้น (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545 และ สมชาย หวังวิบูลย์กิจ, 2551) ส่วนปลากดอเมริกันเป็นปลาที่มีการศึกษาปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนจากสาร geosmin กันมาก เนื่องจากเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นิยมเลี้ยงกันมากในหลายมลรัฐทางภาคใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในบ่อเลี้ยงที่เนื้อปลามีกลิ่นโคลนราคาปลาจะต่ำกว่าปกติมาก สำหรับสัตว์น้ำในประเทศไทยที่พบว่ามีการเกิดกลิ่นโคลนบ่อยครั้ง เช่น ปลาสวาย (*Pangasius sutchi*) ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) และกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ที่เลี้ยงในน้ำจืด ส่วนกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และกุ้งขาวแวนนาไม(*Litopenaeus vannamei*) ที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ, 2551) ก็พบปัญหานี้เช่นกัน

สารประกอบที่ให้กลิ่นโคลนมีหลายชนิด แต่ที่ทราบชนิดและลักษณะของกลิ่นที่เกิดขึ้นแน่นอนนั้น เกิดจากสารประกอบหลัก 2 ชนิดที่สะสมในสัตว์น้ำ คือ geosmin และ MIB แต่สาเหตุหลักของกลิ่นโคลนมักเกิดจากสาร geosmin ที่ผลิตจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรีย ส่วน MIB ถูกผลิตขึ้นจากสาหร่ายสกุล *Lyngbya* sp. เป็นหลัก (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545) โครงสร้างของสาร geosmin ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล(-OH group) (ภาพที่ 2.1) มีสมบัติทั่วไป คือ ละลายในไขมันได้ดี ไม่ชอบน้ำสูง เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิที่อิ่มตัวระเหยได้ (volatilable saturated cyclic tertiary alcohol) เป็นสารแปลกปลอมสำหรับสิ่งมีชีวิต โดยกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะขจัดออกได้ยาก จึงก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำ (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545) สังเคราะห์ขึ้นโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue–green algae) สกุล *Oscillatoria* sp., *Mycrocystis*

DPU

sp., *Anabaena* sp., *Lyngbya* sp., *Aphanizomenon* sp., *Symploca* sp., *และ Phromidium* sp. และแบคทีเรียสกุล *Actinomyces* sp. *Streptomyces* sp. *Fossombronia* sp., *Actinomadura* sp. และ *Nocardia* sp. (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ , 2551)



(geosmin : trans - 1,10 – dimethyl – trans – 9 – dicalol ; $C_{12}H_{20}O$)

ภาพที่ 2 .1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสาร geosmin

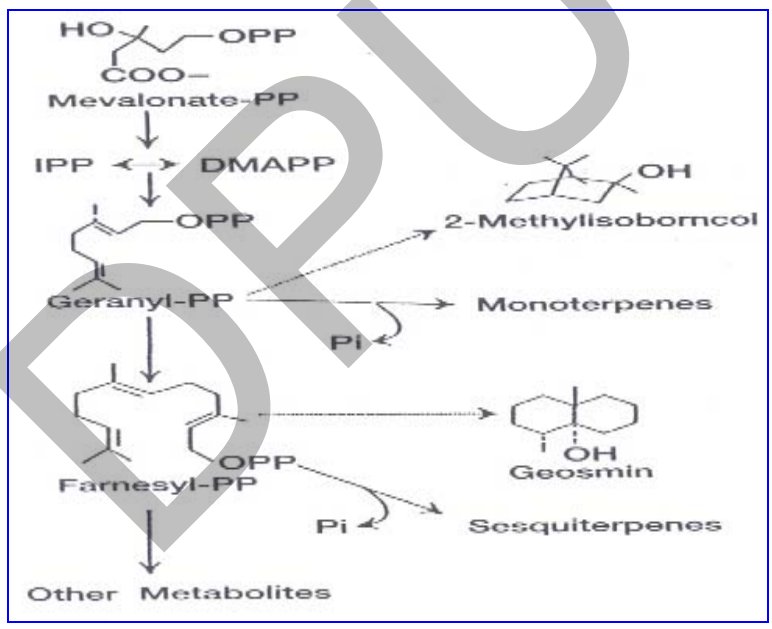
ที่มา : geosmin structure [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www. commons.wikimedia.org/wiki/File:geosmin_minus...

2.2 **สมบัติทางชีวภาพของสารที่ให้กลิ่นโคลน geosmin**

สารให้กลิ่นโคลน geosmin เป็นผลิตภัณฑ์เมตาบอไลท์ ที่เรียกว่า“ secondary metabolite product” จากปฏิกิริยาเมตาบอลิซึม ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในวิถีเทอร์พีน(terpene pathway) ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และขั้นตอนการเกิดโฟโตเซียล (phototial) ของคลอโรฟิลล์-เอ (chlorophyll-a) ดังนั้น สาร geosmin จึงเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ ด้วยเหตุนี้ เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่ายที่จำกัด สาร geosmin จึงถูกสะสมเพิ่มขึ้น แต่ก็พบว่า สัดส่วนของ geosmin กับคลอโรฟิลล์-เอ นั้นจะมีความแปรผันไม่แน่นอน

“geosmin” มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ ge ที่แปลว่า "โลก" และ osme ที่แปลว่า "กลิ่น" ได้รับการค้นพบและตั้งชื่อในปี ค.ศ. 1965 โดย N. N. Gerber และ H. A. Lechevalier ซึ่งในช่วงเวลาหลังฝนตกจมูกคนเราสามารถตรวจจับกลิ่นนี้ได้ที่ความเข้มข้นต่ำ (threshold) ถึง 0.1 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (0.1 ไมโครกรัม/กิโลกรัม = 0.1 x 10^{-6} กรัม/ลิตร)ในอากาศ และ 0.02 ไมโครกรัม/

กิโลกรัมในน้ำ จากตัวกลางในวิถีเทอร์พีน (terpene pathway) เชื่อว่าสาร geosmin สร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิซิล – ไพโรฟอสเฟต (farnesyl – pyrophosphate) (ภาพที่ 2.2) เมื่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญเพิ่มจำนวนบริเวณพื้นผิวน้ำ และรอบข้างของบ่อเลี้ยงจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น (dense aggregations) ทำให้การส่องผ่านของแสงแดดลงสู่น้ำลดลง มีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิดอื่นๆที่ผลิตออกซิเจนในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง จึงส่งผลต่อปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนในน้ำและสัตว์น้ำ (วรพงษ์ นลินานนท์ และคณะ, มปป.) และมีรายงานว่าในพื้นที่โคลนหรือตะกอนดินและเศษซากของพืชสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่กำลังถูกย่อยสลายมีจุลินทรีย์กลุ่มแอคทิโนมัยซีส (actenomyces) อยู่เป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 2.2 วิถีการสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin และ 2-MIB

IPP = isopentenyl pyrophosphate ; Pi = inorganic phosphate

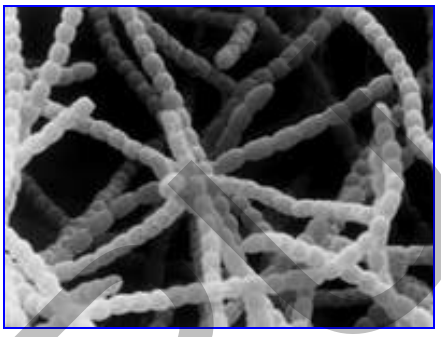
DMAPP = dimethylallyl pyrophosphate

ที่มา : Johnsen และ Dionigi (1994) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2548)

จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถผลิตสาร geosmin ได้ โดยใช้สารอินทรีย์ที่ทับถมอยู่ในบ่อเลี้ยงเป็นอาหาร โดยเฉพาะสกุล *Streptomyces* sp. ซึ่งเป็นสกุลใหญ่ที่สุดของกลุ่มแบคทีเรียแอคทีโนมัยซีส

DPU

(ภาพที่ 2.3) ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในผลิตภัณฑ์ประมงน้ำจืดมากที่สุด (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์ในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ความเค็มของน้ำ อุณหภูมิของน้ำที่สัตว์น้ำอาศัย ความเข้มแสง (Saadoun *et al*., 2001) และ ปริมาณไขมันในตัวสัตว์น้ำ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)



ภาพที่ 2.3 แบคทีเรียกลุ่มแอคทีโนมัยซีส สกุล *Streptomyces* sp.
ที่มา : *Streptomyces* sp. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.electron.rmutphysics.com/science-news/ind... สืบค้นใน www.google.com

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ

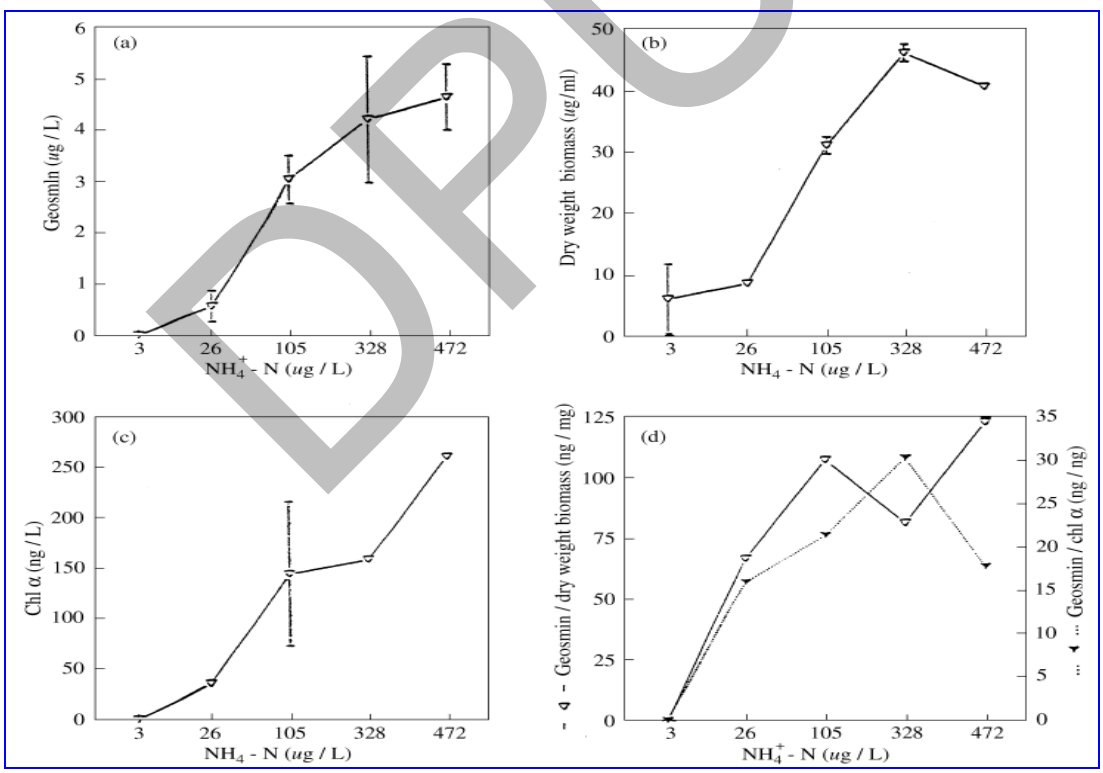
ปัจจัยดังกล่าว มีดังนี้

1. **ปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์ในน้ำ** ในสภาวะที่ธาตุอาหารอินทรีย์ในน้ำสูงมาก (eutrophic water condition) จากการให้อาหารมากเกินพอแก่สัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง ทำให้มีอาหารตกค้างอยู่มาก และในสภาวะการเพาะเลี้ยงปลาที่มีความหนาแน่นเกินไป หรือมีระบบการจัดการไม่ดี ทำให้มีการสะสมของธาตุอาหารอินทรีย์โดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจน และของตะกอนดินมากที่พื้นก้นบ่อ ซึ่งเหมาะสมแก่การเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและจุลินทรีย์ที่เป็น

DPU

สาเหตุทำให้เกิดกลิ่นโคลน (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545) ปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์ที่มีผลต่อการสร้างสารกลิ่นโคลน มีดังนี้

1.1 **ไนโตรเจน** ปริมาณไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสาร gesomin ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Saadoun และคณะ(2001) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในรูปแบบของสารประกอบแอมโมเนียมีผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 2.4 a) มวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 2.4 b) คลอโรฟิลล์ - เอ (ภาพที่ 2.4 c) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้งสูงสุด และ geosmin/คลอโรฟิลล์ - เอ (ภาพที่ 2.4 d) ของสาหร่าย *Anabaena* sp. โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.4 ผลของแอมโมเนียต่อ(a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์ เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin /คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

DPU

ส่วนปริมาณไนเตรทจะมีผลกระทบต่อสาหร่ายสกุล *Anabaena* sp. ในการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 2.5 a) โดยมีอัตราส่วน geosmin / มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin / คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.5 d) สูงสุด เมื่อปริมาณไนเตรท เป็น 124 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนมวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 2.5 b) และคลอโรฟิลล์ - เอ (ภาพที่ 2.5 c) มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนเตรท

1.2 **ปริมาณฟอสฟอรัส** (total phosphate ; TP) และ soluble reactive phosphate (SRP) พบว่า ในช่วงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว จะทำให้ค่า pH ของน้ำ $>$ 9.0 และเป็นผลทำให้ปริมาณฟอสเฟตในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ฟอสเฟตที่อยู่ในตะกอนดินจะแตกตัวและปล่อยฟอสเฟตออกสู่แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น Saadoun และคณะ (2001) พบว่า ปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การสังเคราะห์ geosmin (ภาพที่ 2.6 a) มวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 2.6 b) คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.6 c) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้งสูงสุด และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.6 d) เพิ่มขึ้น และพบว่าในน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัส $<$ 118 ppb. จะวิเคราะห์ไม่พบปริมาณ geosmin ในสาหร่าย *Anabaena* sp. (ภาพที่ 2.6 a)

สมชาย หวังวิบูลย์กิจ (2551) ทดลองสกัดตะกอนดินบ่อเลี้ยงกุ้งและนำน้ำที่ได้จากการสกัดมาเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Oscillatoria* sp. พบว่า สาหร่ายสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้ดี เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารอินทรีย์ในน้ำที่สกัด พบว่า มีปริมาณฟอสเฟต 25 – 98 ppm. และปริมาณไนโตรเจน 65.45 ppm. ซึ่งปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์มากพอต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ดังนั้น การที่จะลดปัญหาดังกล่าวต้องมีการจัดการระบบน้ำที่จะใช้ทำการเพาะเลี้ยงให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพอย่างเหมาะสมและถูกต้อง (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545)

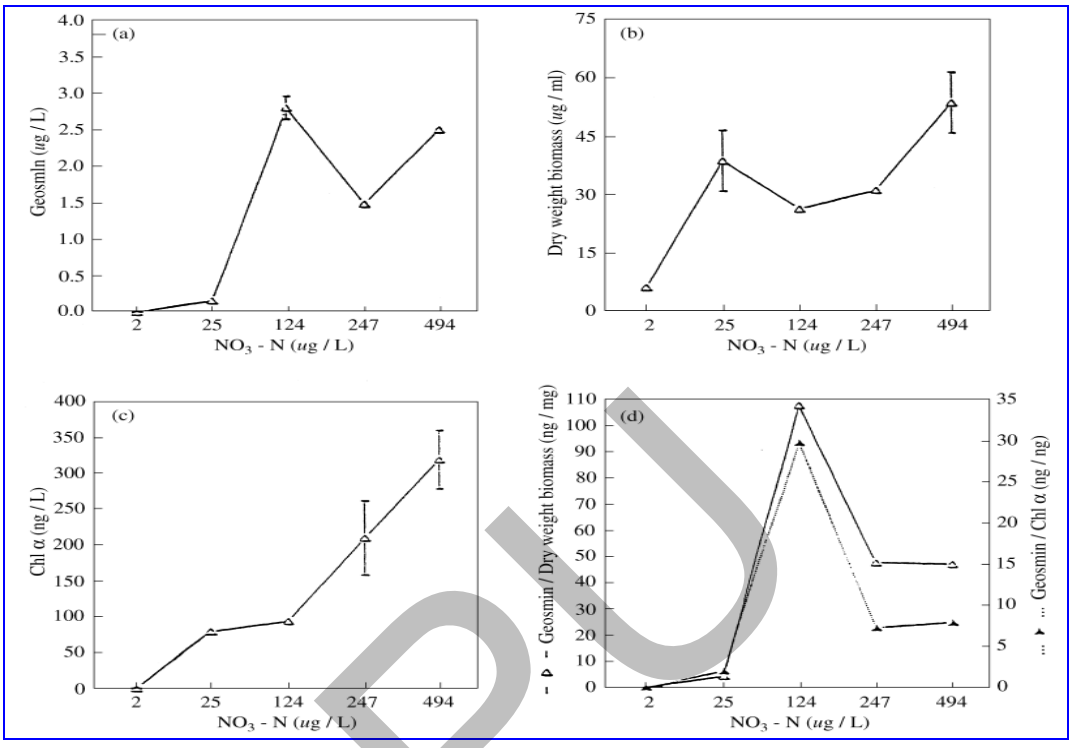
2. **ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ** สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในสภาวะที่มีอากาศอยู่น้อย ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูง มีผลไปยับยั้งการจับกับธาตุไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่าย (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545)

DPU

3. **ชนิดและปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน** มีผลโดยตรงต่อปริมาณสาร MIB และ geosmin ในน้ำ ถ้าในบ่อเลี้ยงปลามีสาหร่ายสกุล *Anabaena* sp. และ *Oscillatoria* sp. จำนวนมาก พบว่า ความเข้มข้นของ geosmin ในน้ำจะสูงด้วยเช่นกัน (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545)

4. **ความเค็มของน้ำ** ความเค็มของน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เนื่องจาก มีผลทำให้ความสมดุลของอิออนภายในเซลล์ผิดปกติและส่งผลไปยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ ลดอัตราการดึงไนโตรเจนมาใช้และการทำงานของเอนไซม์ อัลคาไลน์ ฟอสฟาเทส (alkaline phosphatase) รวมทั้งลดการเกิด nitrogenase activity ในสาหร่าย *Anabaena azollae* นอกจากนี้ เกลือโปตัสเซียม ความเข้มข้น 5 มิลลิโมล สามารถยับยั้งการเจริญเพิ่มจำนวนของ *Microcystis* sp. ได้ (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ, 2551) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั่วไปสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่า 10 ppt ในช่วงฤดูฝน น้ำในบ่อเลี้ยงมักมีความเค็มต่ำ ซึ่งเป็นการส่งเสริมและเอื้ออำนวยต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่าย (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545)

DPU



ภาพที่ 2.5 ผลของไนเตรทต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้งและ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

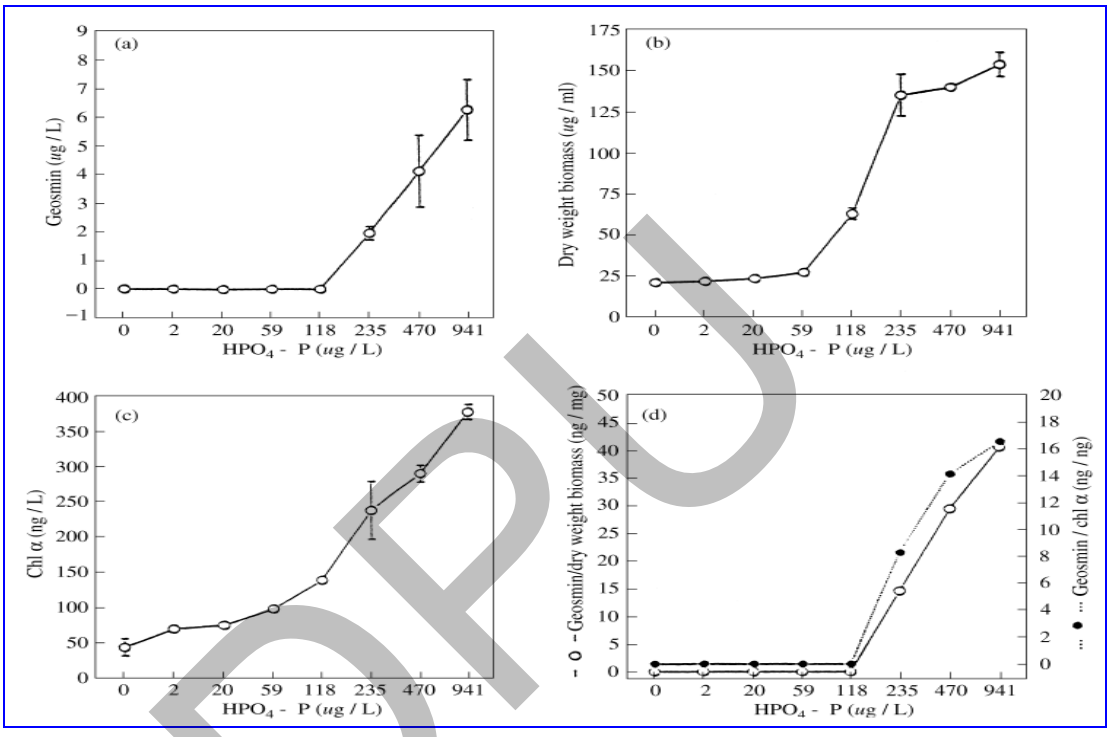
ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

5. **อุณหภูมิของน้ำ** อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่ช่วยเร่งการแบ่งเซลล์ของสาหร่าย (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ , 2551) สาหร่ายสกุล *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., และ *Microcystis* sp. สามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในน้ำที่มีอุณหภูมิช่วง $25^{O}C$–$35^{O}C$ (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545)

Saadoun และคณะ (2001) ได้แยกสาหร่ายสกุล *Anabaena* sp. จากแหล่งน้ำมาเลี้ยงในอาหารเหลวดัดแปรที่ชื่อว่า modified BG-11 ทดลองเลี้ยงที่ความเข้มแสง 17 $uE/m^2/s$ แต่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่า ที่อุณหภูมิ $20^{O}C$ สาหร่ายสกุล *Anabaena* sp. จะมีการสังเคราะห์สาร geosmin สูงสุด (ภาพที่ 2.7a) และที่อุณหภูมิ $25^{O}C$ จะสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.7b) แต่มวลน้ำหนักแห้ง

DPU

จะมีน้ำหนักต่ำที่สุด (ภาพที่ 2.7c) ซึ่งมีผลทำให้อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ เปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 2.7d)

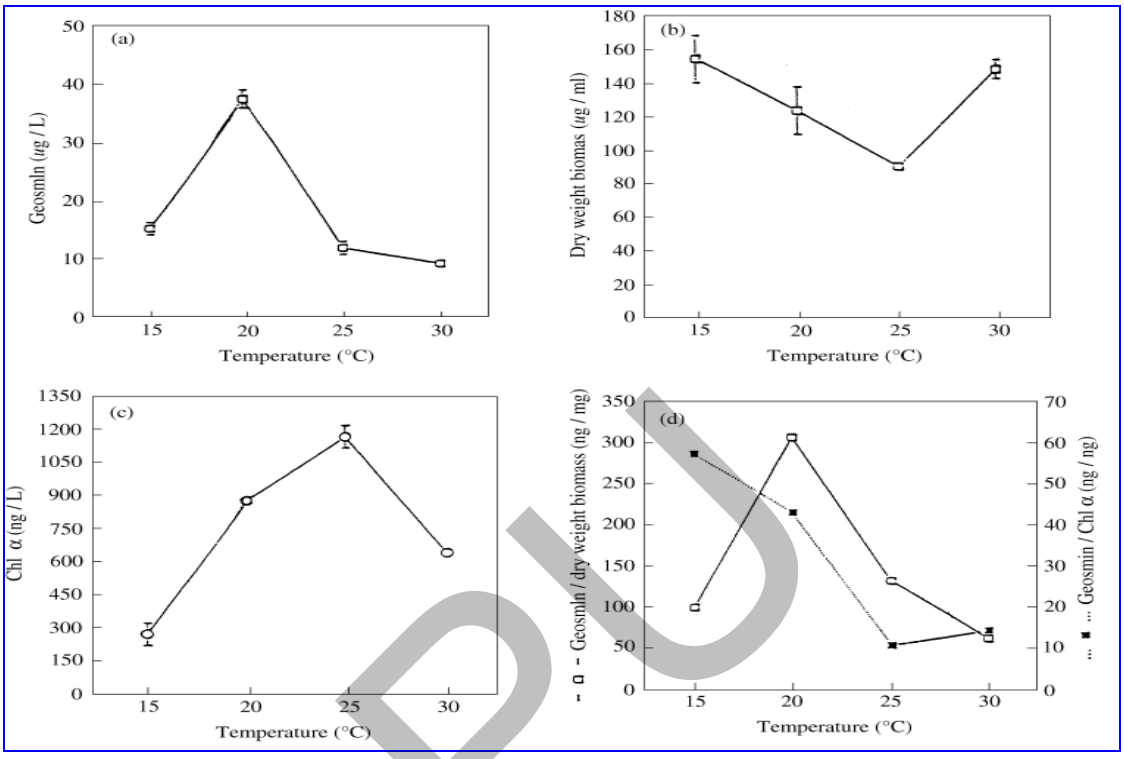


ภาพที่ 2.6 ผลของฟอสเฟตต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

6. **ความเข้มแสง** แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่าย เนื่องจากใช้ในการสังเคราะห์แสง และเร่งการแบ่งเซลล์ของสาหร่าย และมีความสัมพันธ์กับปริมาณ geosmin และคลอโรฟิลล์-เอ

DPU



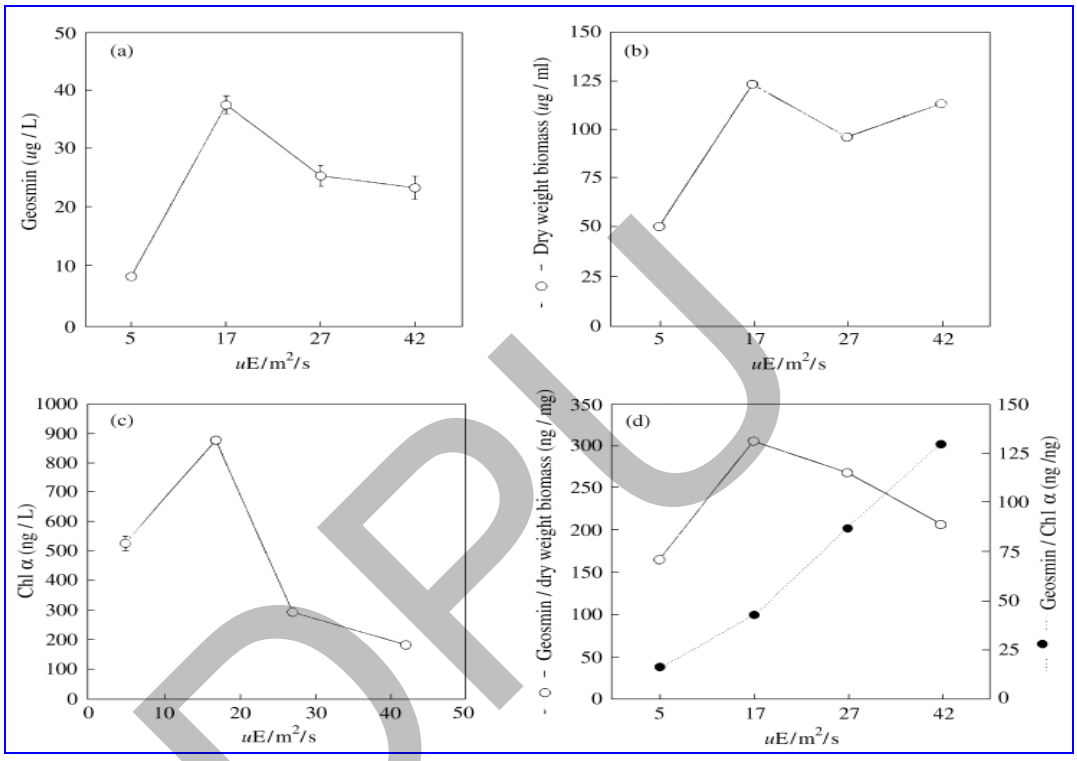
ภาพที่ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

Saadoun และคณะ(2001) พบว่า ความเข้มแสงมีผลต่อสาหร่ายสกุล *Anabaena* sp. ในการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 2.8a) มวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 2.8b) คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.8 c) และอัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้งสูงสุด (ภาพที่ 2.8d) ที่ความเข้มแสง 17 uE/m^2/s ส่วนอัตราส่วน geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.8d) จะมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นแสงเพิ่มขึ้น ปัญหากลิ่นโคลนอาจเกิดขึ้น เนื่องจาก ปลากินสารประกอบกลิ่นโคลนเข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆเช่น ผ่านทางเหงือก แล้วเข้าไปที่กระแสเลือด และสะสมในเนื้อเยื่อไขมันในลำดับต่อมา ปริมาณสารประกอบที่ให้กลิ่นโคลนที่พบในเนื้อปลา ขึ้นกับอาหารที่ให้ในการเลี้ยงปลา ตามปกติการเลี้ยงปลาน้ำจืดนิยมใช้ปุ๋ยเพื่อสร้างอาหารธรรมชาติในบ่อ ได้แก่ มูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรีย

DPU

จากรายงานของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) พบว่า ปลานิลจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารกลิ่นโคลนในเนื้อที่สูงเมื่อใช้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อ



ภาพที่ 2.8 ผลของความเข้มแสงต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ(d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

โดยบ่อที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีผลให้ปริมาณสารกลิ่นโคลนในเนื้อสูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียว พบว่า มีผลให้สารกลิ่นโคลนในเนื้อปลาต่ำ สาร geosmin มีกลิ่นคล้ายต้นกกหรือฟางเน่า วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) รายงานว่า ภายใต้สภาวะการดูดซึมอาหารที่เป็นกรด ที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก สาร geosmin สามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นสาร อาร์กอสมิน (argosmin) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีกลิ่น นอกจากนี้ สาร geosmin สามารถทนต่อกระบวนการแปรรูปโดยการใช้ความร้อน เป็นต้น และทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบ

DPU

โอโซน ด่างทับทิม (โปตัสเซียม เปอร์มังกาเนต ; $KMnO_4$) และคลอรีน วิธีการดังกล่าวจึงไม่สามารถลดหรือขจัดกลิ่นโคลนออกได้

Tameka (2005) ใช้สารละลายโอโซนเพื่อขจัดสารให้กลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาดุก (catfish) โดยการทดลองนี้ใช้สุ่มเนื้อปลาแล่เป็นชิ้นมา 20 กรัม ฉีดด้วยสาร gesomin ความเข้มข้น 0 และ 10 ไมโครกรัม/กิโลกรัม จากนั้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4^{O}C$ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างสัมผัสก๊าซออกซิเจน และสารละลายโอโซน เป็นเวลา 0, 30 และ 60 นาที นำตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี solid phase micro–extraction gas chromatography/mass spectrometry (SPME-GC/MS) พบว่า การใช้สารละลายโอโซนมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดกลิ่นโคลนของเนื้อปลาดุกแล่เป็นชิ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในเนื้อปลา รวมทั้งไม่ทำให้สีของเนื้อปลาเปลี่ยนแปลง ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของไขมันยังไม่กระจ่างชัดเท่าใดนัก

2.4 การดูดซึมและการสะสมสาร geosmin ในตัวปลา

การดูดซึมและการสะสมสาร geosmin ในตัวปลา เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยผ่านทางเหงือกในระหว่างการหายใจ รองลงมา คือ ผิวหนัง ลำไส้เล็ก และกระเพาะอาหาร ตามลำดับ โดยสารประกอบดังกล่าวเข้าไปจับกับไขมันในกระแสเลือดแล้วแพร่กระจายตามส่วนต่างๆของร่างกาย (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545) แต่กลไกการดูดซึมสารดังกล่าวยังไม่ทราบแน่ชัด Yamprayoon และ Noomhorm (2000) อ้างถึงใน วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) ทดลองศึกษาการดูดซึมและการแพร่กระจายทางชีวภาพของสาร geosmin ในปลานิล และรายงานว่า การพักปลานิลในน้ำที่มีสารละลาย geosmin ความเข้มข้น 5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ปลานิลจะค่อยๆดูดซึมสาร geosmin เข้าสู่ตัวมากขึ้น ตั้งแต่เวลา 0 ชั่วโมง จนถึง 72 ชั่วโมง โดยมีการแพร่กระจายของสาร geosmin ไปยังส่วนต่างๆของร่างกายปลา ดังนี้คือ ส่วนลำไส้สามารถดูดซึมสาร geosmin ได้สูงสุด คือ 274.4 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่ส่วนท้อง ผิวหนัง และเนื้อ จะดูดซึมสาร geosmin ได้ 185.7, 172.3 , และ 101.2 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนในปลานิลที่พักไว้ให้ดูดซึมสารละลาย geosmin ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ก็ให้ผลที่มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน เพียงแต่น้ำที่มีความเข้มข้นของสาร geosmin สูงกว่า จะทำให้ปลานิลมีอัตราการดูดซึมสาร geosmin เข้าสู่ตัวได้รวดเร็ว

DPU

กว่า วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) รายงานว่า อัตราการดูดซึมสาร geosmin ที่เหงือก ผิวหนัง ลำไส้เล็ก และกระเพาะอาหารของปลาเรนโบว์เทราท์ (*Salmo gairdneri*) น้ำหนัก 300 กรัม โดยนำตัวอย่างปลา แช่ในสารละลาย geosmin เพื่อศึกษาอัตราการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก และฉีดเข้าไปในช่องท้องเพื่อศึกษาอัตราการดูดซึมที่กระเพาะอาหาร ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่ช่วงเวลาต่างๆ พบว่า อัตราการดูดซึมสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนจะเกิดขึ้นสูงสุดที่เหงือก (10 นาที) รองลงมา คือ ผิวหนัง (1.5 ชั่วโมง) ลำไส้เล็ก (4 ชั่วโมง) และกระเพาะอาหาร (7 ชั่วโมง) ตามลำดับ เมื่อปลากินอาหารเข้าไป กรดในกระเพาะอาหารสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของสาร geosmin ให้เป็น argosmin ที่ไม่มีกลิ่น แต่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดังกล่าว ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ดังนั้น จึงตรวจพบสาร geosmin ได้ในกระเพาะอาหารแต่มีความเข้มข้นน้อยกว่าที่พบในลำไส้เล็ก

2.5 **โอโซน : สมบัติทางเคมีกายภาพและการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความขาวผลิตภัณฑ์เนื้อปลา**

2.5.1 **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโอโซน**

โอโซน คือ สารชนิดหนึ่งที่ผลิตจากออกซิเจนซึ่งมีอยู่ทั่วไปในอากาศโดยใช้พลังงานไฟฟ้าหรือรังสีอัลตราไวโอเลทเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของออกซิเจนจาก 2 อะตอม (O_2) ให้เป็น 3 อะตอม (O_3) ใน 1 โมเลกุล (ยุวันดา นะหีม , 2545)

2.5.2 **ประวัติการค้นพบโอโซน**

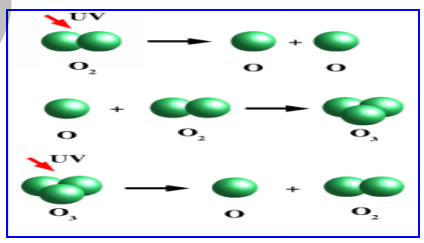
โอโซนถูกพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2383 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อว่า C.F.Schonbein ต่อมา ปี พ.ศ. 2431 ได้ทำการจดลิขสิทธิ์ให้ชื่อว่าก๊าซโอโซน (O_3)ที่มีสมบัติที่เรียกว่า “deodorize sewer gases” โอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีมากที่อุณหภูมิต่ำ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรูปที่เป็นสารละลายโอโซน ที่มีสมบัติเป็นสารฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (polluted water disinfectant) ต่อมาในปี พ.ศ. 2434 ได้รับการยอมรับว่าเป็นเป็นสารฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (bactericidal agent) อีกประมาณ 2 ปี ต่อมา ชาวฮอลแลนด์ได้ผลิตโอโซนในเชิงการค้า เพื่อบำบัดน้ำเสียและน้ำดีใช้ในประเทศ และในปี พ.ศ. 2443 มีการใช้โอโซนกันอย่างกว้างขวางในทวีปยุโรป โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2545 ประเทศ

DPU

เยอรมนีได้ผลิตโอโซนเพื่อใช้บำบัดน้ำดื่มน้ำใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (Graham , 1997) ในปี พ.ศ. 2483 มีการใช้โอโซนอย่างกว้างขวางในประเทศสหรัฐอเมริกาอย่างต่อเนื่อง และต่อมา ในปี พ.ศ. 2523 มีรายงานว่า มีการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำดื่มน้ำใช้ใน 5 โรงงานในประเทศสหรัฐอเมริกา และในปี พ.ศ. 2530 มีการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำดื่มน้ำใช้ในโรงงาน เพิ่มมากกว่า 200 โรงงาน (Kaminski และ Prendiville, 1996 ; Graham , 1997)

2.5.3 **ลักษณะเด่น การใช้ประโยชน์ และการสลายตัวของโอโซน**

โอโซนเกิดขึ้นตามธรรมชาติในชั้นบรรยากาศสตราโทสเฟียร์ (stratosphere) โดยรังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolate ray) ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวเป็น 2 อะตอม ก๊าซโอโซนเกิดขึ้นเมื่ออะตอมที่แตกตัวรวมกับออกซิเจนโมเลกุล (ภาพที่ 2.9) ซึ่งรวมตัวกันด้วยปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอล (photochemical reaction) ทำให้เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว (Graham, 1997 อ้างถึงใน ณัฐพล ฟ้าภิญโญ, 2550) นอกจากนี้ โอโซนยังเกิดขึ้นในเวลาฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ระหว่างฝนตก ซึ่งเกิดจากกระบวนการโคโรนา ดิสชาร์จ (corona discharge) โดยมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าในอากาศสูงมาก ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวรวมกันเป็นก๊าซโอโซน



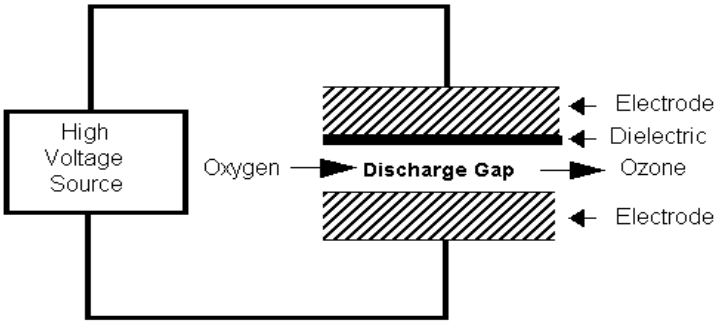
รูปที่ 2.9 ลักษณะการแตกตัวของออกซิเจนกลายเป็นเป็นก๊าซโอโซน

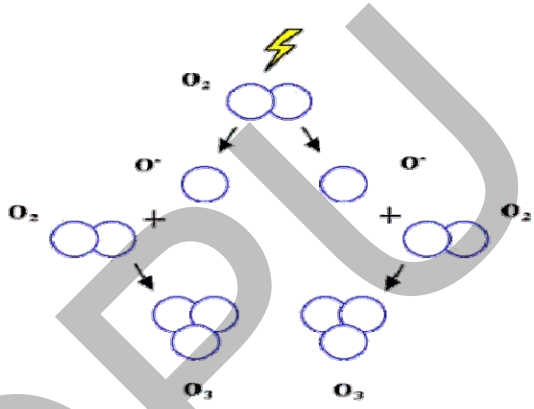
ที่มา : ozone [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

www.ozone.meteo.be/meteo/view/en/1547746-Formatio

จากหลักการดังกล่าว จึงมีการพัฒนาเครื่องผลิตโอโซน (ozone generator) จำหน่ายในเชิงการค้า โดยให้ก๊าซออกซิเจนผ่านกระแสไฟฟ้าบริเวณดิสชาร์จ แกป (discharge gap) ซึ่งเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากบริเวณไดอิเลกตริก เซอร์เฟส (dielectric surface) ทำให้ได้ก๊าซโอโซนออกมา (Kim และคณะ, 1999 อ้างถึงใน ณัฐพล ฟ้าภิญโญ, 2550) (ภาพที่ 2.10)

DPU





ภาพที่ 2.10 ลักษณะการเกิดก๊าซโอโซนโดยปรากฏการณ์โคโรนา ดิสชาร์จ

ที่มา : ozone and corona discharge. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.ozonesolutions.com/Ozone_Formation.html

DPU

2.5.3.1 **ลักษณะเด่นของโอโซน**

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการใช้โอโซนมากขึ้นและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยโอโซนมีลักษณะเด่น ดังนี้ (ยุวันดา นะหีม , 2545)

(1) สลายตัวเร็ว เนื่องจาก ไม่คงตัว(unstable) และไม่สามารถเก็บบรรจุใส่ภาชนะใดๆได้ (ยกเว้นการเก็บในสภาวะอุณหภูมิต่ำหรือน้ำแข็ง) การสลายตัวจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้น

(2) มีกลิ่นคล้ายกลิ่นฝนตกใหม่ๆ และถ้ามีความเข้มข้นสูงจะมีกลิ่นฉุน

(3) สถานะทั่วไปเป็นก๊าซ

(4) มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่รุนแรงมาก(potential bactericidal disinfection) ทั้งในน้ำและอากาศ

(5) เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความรุนแรงมาก (potential oxidizing agent) จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้

2.5.3.2 **การใช้ประโยชน์โอโซนในอุตสาหกรรมอาหาร**

ปัจจุบันมีการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น (ยุวันดา นะหีม, 2545) ดังนี้

(1) ทำลายสารพิษ หรือสารชีวพิษ

(2) ใช้เป็นสารออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์(oxidation of organic compounds)

(3) ทำลายเซลล์จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค

(4) ลดกลิ่นไม่พึงประสงค์

(5) กำจัดสีหรือฟอกสี

ในปี พ.ศ. 2540 ดร. ดี เกรแฮม (Dr. Dee Graham) เป็นผู้รับรองให้ใช้โอโซนเป็นสารทำความสะอาด (disinfectant หรือ sanitizer) เครื่องมือ เครื่องจักร และบริเวณพื้นผิวในโรงงานแปรรูปอาหารและเป็นผู้ผลักดันให้โอโซนผ่านการรับรองจากกระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกา (the United States Department of Agricultural ; USDA) ด้วยข้อกำหนดมาตรฐานที่ว่า “โดยทั่วไปถือว่าปลอดภัย” (GRAS ; Generally Recognized as Safe) (Graham, 1997) จนกระทั่งเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2544 สำนักงานคณะกรรมอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (the United States Food and Drug Administration ; USFDA)ได้ยอมรับเป็นทางการว่าโอโซนทั้งในสถานะก๊าซและของเหลวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ต่อมา วันที่ 21 ธันวาคม 2544 กระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกาว่าด้วยข้อกำหนดมาตรฐานด้านความปลอดภัยอาหารและการบริการตรวจสอบ หรือเรียกหน่วยงานนี้ว่า USDA FSIS (the United States Department of Agricultural’s Food Safety and Inspection Service) ได้รับรองให้ใช้โอโซนผสมน้ำเย็น น้ำแข็ง สัมผัสโดยตรงกับซากเนื้อสัตว์ และซากสัตว์ปีกก่อนแช่เย็นและแช่แข็ง

DPU

นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ประโยชน์แพร่หลายกับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และระบบการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน (Dew , 2005)

2.5.3.3 **การสลายตัวของโอโซน**

การสลายตัวของโอโซนขึ้นกับค่า pH อุณหภูมิ และรังสีอัลตร้าไวโอเลต Tomiyasu และคณะ (1985) รายงานว่า ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อม (indirect reaction) และปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรง (direct reaction) (Tomiyasu และคณะ, 1985 อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม, 2545) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อม

ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อมจะมีการรวมตัวกับอนุมูลหรือเรดิคอล (radicals) การสลายตัวของโอโซนจะเกิดขึ้น 2 ขั้น คือ ขั้นแรก เกิดจากตัวเร่งเริ่มต้น (initiators) เช่น ไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ขั้นที่สอง เป็นการออกซิเดชันไฮดรอกซิลเรดิคอล (hydroxyl radicals ; $OH^{\bullet}$) จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ไฮดรอกซิลเรดิคอลเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารเหล่านี้

กลไกการสลายตัวของโอโซนสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วน

(1) ขั้นเริ่มต้น (initiation)
(2) ขั้นการเกิดสายโซ่ของเรดิคอล (radical chain)
(3) ขั้นสุดท้าย (termination step)

ขั้นเริ่มต้น เป็นปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกซิลไอออน และโอโซนทำให้เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออนเรดิคอล (superoxide anion radical ; $O_2^{\bullet-}$) และไฮโดรเปอรอกซิลเรดิคอล ; $OH_2^{\bullet}$) ดังนี้

$$O_3 + OH^- \longrightarrow O_2^{\bullet-} + OH_2^{\bullet}$$

DPU

ไฮโดรเปอรอกซิลเรดิคอลอยู่ในสมดุลกรด-เบส (acid – base equilibrium) สามารถเปลี่ยนเป็นซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออนเรดิคอล ดังนี้

$$OH_2^{\bullet} \longleftrightarrow O_2^{\bullet -} + H^+$$

ขั้นสายโซ่ของเรดิคอล โอโซนแอนไอออนเรดิคอล ($O_3^{\bullet -}$) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโอโซนและซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคอล สามารถสลายตัวเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคอล ดังนี้

$$O_3 + O_2^{\bullet -} \longrightarrow O_3^{\bullet -} + O_2 \quad (1)$$

$$HO_3^{\bullet} \longleftrightarrow O_3^{\bullet -} + H^+ \quad (2)$$

$$OH_3^{\bullet} \longrightarrow OH^{\bullet} + O_2 \quad (3)$$

Hoigne (1982) รายงานว่า ไฮดรอกซิลเรดิคอลที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับโอโซนเกิดเป็น $OH_4^{\bullet}$ และสลายตัวได้ ออกซิเจน และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคอล ซึ่งจะให้ไฮดรอกซิลเรดิคอลด้วยตามวิถีการเกิดของปฏิกิริยา (pathway) (Hoigne , 1982 อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม, 2545) ดังนี้

$$HO^{\bullet} + O_3 \longrightarrow OH_4^{\bullet} \quad (4)$$

$$OH_4^{\bullet} \longrightarrow O_2^{\bullet -} + HO_2^{\bullet} \quad (5)$$

การสลายตัวของ $OH_4^{\bullet}$ ได้ออกซิเจนและไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคอล จะเป็นปฏิกิริยาสายโซ่ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ปฏิกิริยาที่ (1) จนถึงปฏิกิริยาที่ (4) จะเปลี่ยนไฮดรอกซิลเรดิคอลเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคอล และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคอลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เรียกว่า ตัวส่งเสริม (promoter) ส่วนการสลายตัวของโอโซนที่เป็นแบบจำลองของ Tomiyasu และคณะ (1985) จะไม่พบปฏิกิริยาลูกโซ่ แต่จะให้ผลคล้ายกัน

ขั้นสุดท้าย เป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเรดิคอล ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคอลเกิดจากโอโซน จำนวน 3 โมเลกุล ให้ไฮดรอกซิลเรดิคอล 2 โมเลกุล ดังนี้

DPU

$$3O_3 + OH^- + H^+ \longrightarrow 2OH^\bullet + 4O_2$$

สรุปแบบปฏิกิริยาของการสลายตัวของโอโซนตามรูปแบบของ Tomiyasu และคณะ (1985) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม, 2545) มีดังนี้

ขั้นเริ่มต้น

$$O_3 + OH^- \longrightarrow O_2^{\bullet-} + OH_2^\bullet$$

$$OH_2^\bullet \longleftrightarrow O_2^{\bullet-} + H^+$$

ขั้นสายโซ่ของเรดิคอล

$$O_3 + O_2^{\bullet-} \longrightarrow O_3^{\bullet-} + O_2$$

$$HO_3^\bullet \longleftrightarrow O_3^{\bullet-} + H^+$$

$$OH_3^\bullet \longrightarrow OH^\bullet + O_2$$

ขั้นสุดท้าย

$$3O_3 + OH^- + H^+ \longrightarrow 2OH^\bullet + 4O_2$$

2) **ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรง**

ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรงจะเกิดขึ้น ถ้าในน้ำไม่มี initiate chain reaction (initiators) หรือ termination chain reaction เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือความเข้มข้นของสารตัวจับที่ช่วยให้เกิดกลไกปฏิกิริยาออกซิเดชัน(scavengers mechanism of oxidation)เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.1) ส่งผลให้ปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรงมีความสำคัญหรือเกิดมากขึ้น (Gottschalk และคณะ, 2000 อ้างถึงในยุวันดา นะหีม, 2545)

DPU

ตารางที่ 2.1 ชนิดของ initiators, promotors และ scavengers ที่สำคัญและมีผลต่อการสลายตัวของโอโซน

initiators	promotors	scavengers
OH^-	humic acid	HCO^{3-} / CO^{3-}
O_2H_2 / HO_2^-	ary – R	PO_3^{4-}
	tert –butyl alcohols (TBA)	
Fe^{2+}	primary and secondary alcohols humic acid	
		ary – R
		tert – butyl alcohols (TBA)

ที่มา : Gottschalk และคณะ (2000) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545)

2.6 **ชนิดของเครื่องผลิตโอโซน**

เครื่องผลิตโอโซนแบ่งตามหลักการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของออกซิเจน จาก 2 อะตอม ให้เป็น 3 อะตอม ใน 1 โมเลกุล ซึ่งจะทำให้ได้ก๊าซที่มีลักษณะแตกต่างกับก๊าซออกซิเจนโดยสิ้นเชิง ที่เรียกว่า ก๊าซโอโซน หรือกล่าวได้ว่า โอโซน คือ “ออกซิเจนที่มีพลัง (active oxygen) และสามารถแบ่งได้เป็น 2 หลักการ ดังนี้ (ยุวันดา นะหีม, 2545)

2.6.1 **เครื่องผลิตโอโซนโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลท** (UV ozone generator)

ใช้รังสีจากหลอดอัลตราไวโอเลทที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร (ภาพที่ 2.11) จะผลิตก๊าซโอโซนความเข้มข้นต่ำ 0.01 % – 0.1 % โดยน้ำหนัก (หรือ 100 ppm–1,000 ppm) นิยมใช้กับอากาศมากกว่าใช้กับน้ำ เพราะถ้าใช้กับน้ำ การละลายจะต่ำมาก โดยเราจะให้อากาศปริมาณมากผ่านหลอดแสงอัลตราไวโอเลท ส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศแตกกระจายออกเป็นออกซิเจนอะตอม (O^-) ที่มีความคงตัว และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่น ได้เป็นก๊าซโอโซน จากนั้น ก๊าซโอโซนจะถูกฉีดเข้าไปผสมกับน้ำ หรือไอน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาเคมีกับสาร

DPU

แปลกปลอมต่างๆ เช่นสารประกอบอินทรีย์ อนินทรีย์ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในน้ำ โดยโอโซนจะเข้าทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ทันที เป็นผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์และเซลล์สูญเสียไป (ozone solutions, Inc. อ้างถึงใน http://www.ozoneapplications.com/info/cd_vs_uv.htm และ ยุวันดา นะหีม, 2545)

ภาพที่ 2.11 เครื่องผลิตโอโซนโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลท (UV ozone generator)
ที่มา : UV ozone generator [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.silvermedicine.org

2.6.2 **หลักการทางพลังงานไฟฟ้า ที่เรียกว่าปรากฏการณ์ โคโรนา ดิสชาร์จ** (corona discharge phenomena ; CD ozone)

เป็นการให้ก๊าซออกซิเจนแห้งและบริสุทธิ์ผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้า (electrical field) หลายพันโวลท์ ทั้งชนิดความถี่ต่ำ (50 Hz–100 Hz) ความถี่ปานกลาง(100 Hz–1,000 Hz) และความถี่สูง (1,000 Hz ขึ้นไป) ที่บริเวณ discharge gap ซึ่งเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่บริเวณ dielectric surface ณ สนามไฟฟ้าแห่งนี้มีผลให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศแตกกระจายออกเป็นออกซิเจนอะตอม ($O^{\cdot}$) ที่มีความคงตัว และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่น ได้เป็นก๊าซโอโซนออกมาด้วยความเข้มข้นสูง ตั้งแต่ 1 % - 10 % โดยน้ำหนัก สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำได้อย่างดี ขนาดเครื่องมีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ (ระดับมิลลิกรัม ถึง ระดับกิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง) (Kim และคณะ, 1999, ยุวันดา นะหีม, 2545 และ http://www.ozoneapplications.com/info/cd_vs_uv.htm)

DPU

2.6.3 **วิธีการผสมก๊าซโอโซนกับน้ำ**

ระบบการผสมโอโซนกับน้ำ มีวิธีปฏิบัติที่นิยมทำกัน 2 วิธี คือ

2.6.3.1 **ระบบกระจายฟองอากาศ (aeration system)**

หลักการ มีดังนี้

(1) ใช้ปั๊มลมดันก๊าซโอโซนลงสู่น้ำผ่านหัวกระจายอากาศ

(2) ขนาดฟองโอโซนขึ้นกับชนิดและคุณภาพของหัวกระจายอากาศ

(3) เหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำที่น้ำมีเวลาพักอยู่ในถังเก็บเป็นเวลานาน

ข้อดี คือ ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง

ข้อเสีย มีดังนี้

(1) ประสิทธิภาพการผสมโอโซนต่ำ

(2) การซ่อมบำรุงขึ้นกับคุณภาพน้ำ เพราะอาจเกิดการอุดตันที่หัวกระจายฟองอากาศ

(3) ไม่เหมาะกับระบบผลิตน้ำที่ต้องการความต่อเนื่องในการผลิต (เวลาที่น้ำพักในถังน้อย)

ข้อกำหนดในการติดตั้ง มีดังนี้

(1) ต้องวางหัวกระจายฟองก๊าซโอโซน ณ จุดกึ่งกลางด้านล่างของถัง

(2) ติดตั้งเครื่องผลิตโอโซนให้สูงกว่าระดับน้ำและระวังมิให้น้ำไหลกลับเข้าสู่เครื่องได้

DPU

2.6.3.2 **ระบบการฉีดผ่านหัวเวนทูรี (ventury injection system) หรือระบบดูดโอโซน**

หลักการ มีดังนี้

(1) ใช้ระบบ ventury injector เป็นตัวดูดให้โอโซนละลายในน้ำ โดยอาศัยหลักการของการสร้างความแตกต่างของแรงดันจะเกิดสุญญากาศ ทำให้สามารถดูดก๊าซโอโซนในปริมาณที่ต้องการได้ เมื่อใช้น้ำดันผ่าน ventury injector

(2) ขนาดฟองโอโซนจะเล็กมากให้ประสิทธิภาพสูงกว่าระบบกระจายอากาศ

(3) เหมาะสำหรับระบบการผลิตน้ำดื่มที่ต้องการผลผลิตมากและมีความต่อเนื่อง

ข้อดี มีดังนี้

(1) ประสิทธิภาพสูง ให้ผลลัพธ์ที่แน่นอน

(2) ซ่อมบำรุงดูแลง่าย

ข้อเสีย คือ ราคาสูงกว่า ทั้งระบบที่ติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

ข้อกำหนดในการติดตั้ง มีดังนี้

(1) ต้องเลือกขนาดและแรงดันของเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับขนาดของ ventury injector

(2) เลือกขนาดของถังผสมโอโซนในเวลาที่สัมผัสกับน้ำ(contact time) ตามที่กำหนด

DPU

2.7 กลไกการทำงานของโอโซนในการเพิ่มความขาว (whiteness)

ความขาวเป็นดัชนีเฉพาะของเนื้อปลาอย่างหนึ่ง สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{whiteness} = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

ค่า L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าระหว่าง 0(สีดำ) – 100 (สีขาว)

ค่า a^* หากมี ค่าบวก (+) แสดงค่าสีแดง และค่าลบ (-) แสดงค่าสีเขียว

ค่า b^* หากมี ค่าบวก (+) แสดงค่าสีเหลือง และค่าลบ (-) แสดงค่าสีน้ำเงิน

Chen และคณะ (1997) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545) รายงานว่า การล้างเนื้อปลาด้วยน้ำที่ผสมโอโซน จะให้ค่าความสว่างและความขาวมากกว่าวิธีอื่น การเปลี่ยนแปลงสีสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของความขาว การเพิ่มของค่า L^* และการลดลงของค่า a^* จะทำให้เกิดความโปร่งแสง เนื่องจาก การสูญเสียไมโอโกลบิน (myoglobin) การฟอกสีโดยใช้โอโซนนั้น โอโซนจะเข้าทำลายโครงสร้างของพอร์ไฟริน (porphyrin) ในไมโอโกลบินและฮีโมโกลบิน แต่โอโซนจะมีผลทำให้การเกิดเจลลดลง

Mudd และคณะ (1989) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545) และสุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า จากการทดลองใช้โอโซนในการผลิตซูริมิ (surimi) จากปลาแมคเคอเรล โอโซนจะออกซิไดซ์หมู่ซัลไฟไฮดริลอิสระ (free active sulfhydryl groups) บนโมเลกุลของโปรตีน ก่อให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) นอกจากนี้ โอโซนยังสามารถออกซิไดซ์ไดซัลไฟด์และเกิดเป็นกรดซีสเตอิก (cysteic acid) หรือสามารถทำลายพันธะไดซัลไฟด์และเกิดเป็นกรดซัลโฟนิก (sulfonic acid) ส่งผลทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน นั่นคือ ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลลดลง Chen และคณะ (1997) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545) และสุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า การใช้โอโซนเพิ่มความขาวของเนื้อปลาฮอร์สแมคเคอเรล (horse mackerel) โดยล้างเนื้อปลาด้วยโอโซนในน้ำกลั่น 1 ครั้ง ควบคุมอุณหภูมิน้ำล้าง ต่ำกว่า $5^{O}C$ ใช้เวลา 10 – 20 นาที สามารถเพิ่มความขาวได้ ทั้งนี้ เนื่องจากโอโซนเป็นสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) อย่างแรง ซึ่งสามารถทำลายโครงสร้างของพอร์ไฟริน (porphyrin) นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการ

DPU

แยกองค์ประกอบต่างๆ โดยการลอยตัวออกไปกับฟองอากาศ (bubble floatation) ดังนั้น เม็ดสีที่ละลายได้อาจถูกขจัดโดยการลอยตัวดังกล่าว ส่วนการทดลองล้างด้วยน้ำเย็นและการล้างโดยใช้สารละลายด่าง (alkaline solution) ต้องใช้เวลานาน หรือล้างหลายครั้งถึงจะเพิ่มความขาวได้ (ยุวันดา นะหีม (2545) และ สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า การใช้โอโซนในการผลิตซูริมิสามารถเพิ่มความขาวได้ โดยทดลองล้างเนื้อปลาแมคเคอเรลด้วยโอโซนใน 0.04 M ซิเตรทบัฟเฟอร์ ที่ค่า pH 3.0 นาน 30 นาที ได้ค่าความขาว 51.7–60.1 และค่า L^* 53.9–62.6 รวมทั้งลดปริมาณไมโอโกลบินและปริมาณรงควัตถุทั้งหมด

การล้างโดยใช้โอโซน ต้องคำนึงถึงปริมาณโอโซนที่ตกค้าง (residual ozone) อยู่ในน้ำ เพราะถ้าไม่พบปริมาณโอโซนตกค้างในน้ำก็จะไม่มีผลในการใช้งาน ดังนั้น การใช้ระบบโอโซนต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ (ยุวันดา นะหีม, 2545)

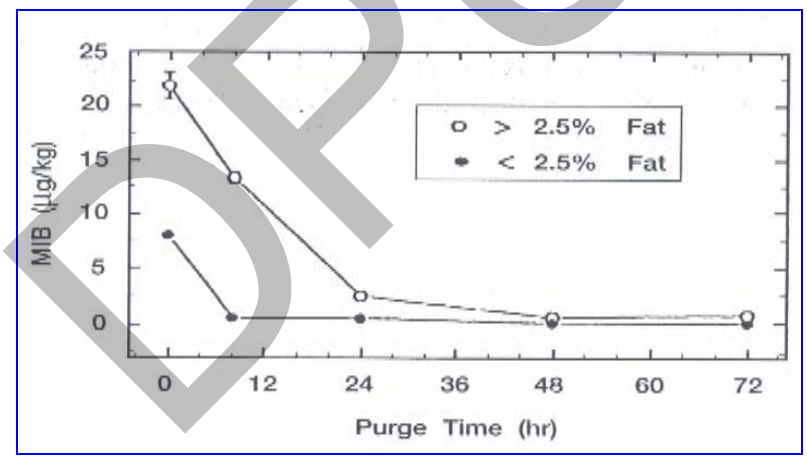
1. ปริมาณโอโซนที่เครื่องผลิตโอโซนผลิตได้ ต้องมีปริมาณเพียงพอในการใช้งาน
2. ความเข้มข้นที่เครื่องผลิตโอโซนผลิตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับอากาศที่ใช้ในการผลิต ความเข้มข้นต้องสูงเพียงพอ
3. ปริมาณโอโซนที่ตกค้างในน้ำ จะเป็นตัวทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสิ่งปนเปื้อนในน้ำ ฉะนั้นโอโซนที่ละลายน้ำต้องมีความเข้มข้นเพียงพอ
4. ระบบผสมโอโซนกับน้ำ เนื่องจาก โอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตโอโซนจะอยู่ในสถานะก๊าซซึ่งต่างสถานะกับน้ำ จึงจำเป็นต้องมีระบบผสมที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้โอโซนละลายน้ำได้ดี

2.8 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดกลิ่นโคลน การปรับปรุงเนื้อสัมผัส และความขาวของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำระหว่างกระบวนการแปรรูปแบบแช่เย็นแช่แข็ง**

การลดกลิ่นโคลนและการปรับปรุงความขาวของผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำระหว่างกระบวนการแปรรูป ทำได้ดังนี้

DPU

2.8.1 **การพักปลาก่อนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ (depuration)** ทวีทรัพย์ ศรีนาค (2542) ทดลองศึกษาพักปลาน้ำจืด ที่ระดับความเค็ม 5 ppt.(part per trillion ; กรัมต่อลิตร) ขึ้นไป อุณหภูมิน้ำ 24±2^{O}C นาน 3 วัน มีผลทำให้ปริมาณสาร geosmin ในเนื้อปลาต่ำลงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และจากการประยุกต์ใช้เนื้อปลาที่ผ่านการขจัดกลิ่นโคลนในการผลิตลูกชิ้นปลา พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าความขาวมากกว่าลูกชิ้นปลาที่ไม่ผ่านการขจัดกลิ่นโคลน เช่นเดียวกัน Johnsen และ Dionigi (1994) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2548) พบว่า การขังปลาดุก (walking catfish) ในน้ำที่ปราศจากสารเมตาบอไลท์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นโคลน ก่อนการแปรรูป สามารถลดสาร MIB ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในเวลา 8 ชั่วโมง และให้กลิ่นรสที่ดีขึ้นเมื่อขังไว้นาน 24 ชั่วโมง โดยปลาที่มีไขมันต่ำสามารถลดกลิ่นโคลนได้เร็วกว่าปลาที่มีไขมันสูง (ภาพที่ 2.12)



ภาพที่ 2.12 ผลของการพักปลาดุก(depuration) ก่อนการแปรรูป ต่อปริมาณสาร MIB
ที่มา : Johnsen และ Lloyd (1992) อ้างถึงใน สุทธวัฒน์ เบญจกุล(2548)

2.8.2 **การใช้สารละลายโอโซน** โอโซนสามารถนำไปใช้ได้ทั้งสถานะก๊าซและสารละลายในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ด้วยปริมาณตามหลักการที่สอดคล้องกับระบบประกันคุณภาพ เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการผลิตที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP) (จินตนา วิบูลย์ศิริกุล, 2551) Tameka (2005) ทดลองศึกษาใช้สารละลายโอโซนเพื่อลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาดุก โดยสุ่มเนื้อปลาแล่ 20 กรัม ฉีดสาร geosmin ความเข้มข้น 0 และ 10 ไมโครกรัม/กิโลกรัม จากนั้น เก็บที่อุณหภูมิ 4°C

DPU

เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างสัมผัสก๊าซออกซิเจน และสารละลายโอโซน เป็นเวลา 0, 30 และ 60 นาที จากนั้นวิเคราะห์สารgeosmin ด้วยวิธี SPME-GC/MS พบว่า สารละลายโอโซนมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดกลิ่นโคลนของเนื้อปลาดุกแล่เป็นชิ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในเนื้อปลา รวมทั้งไม่ทำให้สีขาวของเนื้อปลาเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รังสิมา อร่ามเรือง และคณะ (2551) รายงานว่า การใช้สารละลายโอโซนความเข้มข้น 2.0 ppm (part per million ; มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้เนื้อกุ้งแช่แข็งขาวขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Chen และคณะ (1997) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545) รายงานว่า การล้างเนื้อปลาด้วยน้ำที่ผสมโอโซน จะให้ค่าความขาวมากกว่าวิธีอื่น การเปลี่ยนแปลงสีสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของความขาว การเพิ่มค่าความขาวหรือความสว่าง (L^*) และการลดลงของค่าสีแดง (a^*) จะทำให้เกิดความโปร่งแสง เนื่องจาก การสูญเสียไมโอโกลบิน (myoglobin) การฟอกสีโดยใช้โอโซนนั้น โอโซนจะเข้าทำลายโครงสร้างของพอร์ไฟริน (porphyrin) ในไมโอโกลบินและฮีโมโกลบิน และโอโซนจะมีผลต่อการเกิดเจล

Mudd และคณะ (1989) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545) และสุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า จากการทดลองใช้โอโซนในการผลิตซูริมิ (surimi) จากเนื้อปลาแมคเคอเรล โอโซนจะออกซิไดซ์หมู่ซัลไฟดริลอิสระ (free active sulfhydryl groups) บนโมเลกุลของโปรตีน ก่อให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) นอกจากนี้ โอโซนยังสามารถออกซิไดซ์ไดซัลไฟด์และเกิดเป็นกรดซีสเตอิก (cysteic acid) หรือสามารถทำลายพันธะไดซัลไฟด์และเกิดเป็นกรดซัลโฟนิก (sulfonic acid) ส่งผลทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน นั่นคือ ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลลดลง Chen และคณะ (1997) อ้างถึงใน ยุวันดา นะหีม (2545) และสุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า การใช้โอโซนเพิ่มความขาวของเนื้อปลาฮอร์สแมคเคอเรล (horse mackerel) ได้โดยล้างเนื้อปลาด้วยใช้โอโซนในน้ำกลั่น 1 ครั้ง ควบคุมอุณหภูมิน้ำล้าง น้อยกว่า 5 $^{\circ}$C นาน 10 – 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มความขาวได้ เนื่องจากโอโซนเป็นสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) อย่างแรง ซึ่งสามารถทำลายโครงสร้างของพอร์ไฟริน นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกองค์ประกอบต่างๆ โดยการลอยตัวกับฟองอากาศ (bubble floatation) ดังนั้น เม็ดสีที่ละลายได้อาจถูกขจัดโดยการลอยตัวดังกล่าว ส่วนการทดลองล้างด้วยน้ำเย็นและล้างโดยใช้สารละลายด่าง

DPU

(alkaline solution) ต้องใช้เวลานาน หรือล้างหลายครั้งถึงจะเพิ่มความขาวได้ Jiang (1998) อ้างถึงในยุวันดา นะหีม (2545) และ สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า การใช้โอโซนในการผลิตซูริมิสามารถเพิ่มความขาวได้ โดยทดลองล้างเนื้อปลาแมคเคอเรล ด้วยโอโซนใน 0.04 M ซิเตรทบัฟเฟอร์ ที่ค่า pH 3.0 เป็นเวลา 30 นาที ได้ค่า L^* 53.9–62.6 รวมทั้งลดปริมาณไมโอโกลบินและปริมาณรงควัตถุทั้งหมด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุวันดา นะหีม (2545) ที่พบว่า การล้างเนื้อปลาทูแขกเพื่อผลิตซูริมิ โดยใช้โอโซนใน 0.04 M ซิเตรทบัฟเฟอร์ จะให้ค่าความขาวมากกว่าการล้างโดยใช้โอโซนในน้ำกลั่น และเมื่อผลิตซูริมิแบบใช้โอโซนเทียบกับโซเดียมคาร์บอเนต การใช้โอโซนจะให้ค่าความขาวมากกว่าทุกขั้นตอน

2.8.3 **สารละลายเถ้าใบกล้วย** นฤมล อัศวเกศมณี (2550) ทดลองศึกษาเพื่อลดกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) ด้วยสารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญา ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0% 5% 10% และ 15% v/v จากนั้น นำชิ้นปลาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี consumer test/ acceptance test และวัดค่าความขาวของชิ้นปลา พบว่า ปลาดุกบิ๊กอุยที่ผ่านการแช่สารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญา ที่ 0% และ 5% v/v มีค่าความชอบรวมที่ผู้บริโภคยอมรับได้ แต่ที่ความเข้มข้น 5% v/v มีแนวโน้มยอมรับกลิ่นรส ความแน่นเนื้อค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่ระดับอื่นๆ สำหรับการศึกษาค่าความขาว พบว่าปลาดุกบิ๊กอุยที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญาทุกระดับความเข้มข้น ให้ผลค่าความขาวไม่แตกต่างกัน ดังนั้น หากต้องการลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาดุกบิ๊กอุยด้วยสารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญาแล้ว ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 5% v/v ขณะที่ วรพงษ์ นลินานนท์ และคณะ (2551) ทดลองลดกลิ่น geosminในเนื้อปลานิลก่อนนำมาแปรรูปโดยวิธีการแช่แข็งที่ -20°C จากปริมาณสาร geosmin เริ่มต้น 76.22 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อทดลองจะนำมาแล่เป็นชิ้นขนาด 10 กรัม แช่ล้างในสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า โดยใช้สารละลาย 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า ความเข้มข้น 5% นาน 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลได้ประมาณ 90 % เหลือกลิ่นโคลนในระดับที่ยอมรับได้ คือ 3.15 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และได้รับการยอมรับด้วยคะแนนดีมากจากผู้ทดสอบในด้านกลิ่นโคลน แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นปลาจะแข็งขึ้น (ตารางที่ 2.2 – 2.3) ในขณะที่ความขาวหรือความสว่าง (L*) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ(ตารางที่ 2.4)

DPU

2.8.4 **การใช้สารละลายกรดอะซิติก** วรพงษ์ นลินานนท์ และคณะ (2551) ทดลองลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลก่อนนำมาแปรรูปโดยวิธีการแช่แข็ง -20°C จากปริมาณสาร geosmin เริ่มต้น 76.22 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อทดลองจะนำมาแล่เป็นชิ้น ขนาด 10 กรัม แช่ล้างในสารละลายกรดอะซิติก โดยใช้สารละลาย 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า ต้องแช่ในสารละลายเข้มข้น 8 % นาน 5 นาที จะเหลือปริมาณ geosmin 7.99 ไมโครกรัม/กิโลกรัม โดยเนื้อปลามีเนื้อสัมผัสที่นิ่มมากไม่เป็นที่ยอมรับ (ตารางที่ 2.2 – 2.3) ในขณะที่ความขาวหรือความสว่าง (L*) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2.4)

2.8.5 **การใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์** วรพงษ์ นลินานนท์ และคณะ (2551) ทดลองศึกษาลดกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลานิลก่อนนำมาแปรรูปโดยวิธีการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C จากปริมาณสาร geosmin เริ่มต้น 76.22 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อทดลองจะนำมาแล่เป็นชิ้น ขนาด 10 กรัม แช่ล้างในสารละลาย เกลือโซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ โดยใช้สารละลาย 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า การแช่ล้างในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 5% และ 8% v/v นาน 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาที่ถูกชักนำให้มีการดูดซึมสาร geosmin มาแล้วลงได้ ประมาณ 90.11 % และ 95.81% ตามลำดับ เหลือกลิ่นโคลน geosmin ในระดับที่ยอมรับได้ คือ 7.54 และ 3.19 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับเช่นเดียวกัน และได้รับการยอมรับด้วยคะแนนดีมาก จากผู้ทดสอบด้านกลิ่นโคลน แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นปลาจะแข็งขึ้นเหมือนกับการใช้สารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า ขณะที่การใช้สารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ต้องแช่ในสารละลายเข้มข้น 8 % นาน 5 นาที จะเหลือปริมาณสาร geosmin เท่ากับ 6.87 ไมโครกรัม/กิโลกรัม โดยเนื้อปลาแล่ มีเนื้อสัมผัสที่นิ่มลงกว่าการใช้สารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า และโซเดียมคลอไรด์ (ตารางที่ 2.2-2.3) ในขณะที่ความขาวหรือความสว่าง (L*) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2.4)

Mohsin และคณะ (1999) รายงานว่าการใช้สารละลายเถ้าใบกล้วย 5% ล้างเนื้อปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus*) ที่ผ่านการแล่เป็นชิ้น นาน 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลนลงได้ และให้ผลดีในด้านความขาวและเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน

DPU

ตารางที่ 2.2 ร้อยละการลดปริมาณสาร geosmin เฉลี่ย ที่ผ่านการแช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิด นาน 5 นาที

Conc. (%)	Soaking solution							
	Acetic acid		Banana leave ash		Calcium hydroxide		Sodium chloride	
	geosmin removal (%)	average geosmin (μg/kg)	geosmin removal (%)	average geosmin (μg/kg)	geosmin removal (%)	average geosmin (μg/kg)	geosmin removal (%)	average geosmin (μg/kg)
0	23.27	76.22± 0.21[a1]	23.27	76.22± 0.21[a1]	23.27	76.22± 0.21[a1]	23.27	76.22± 0.21[a1]
5	83.68	12.44± 0.13[b1]	89.95	7.66± 0.14[bc3]	85.55	11.01± 0.14[b2]	90.11	7.54± 0.25[bc3]
8	89.51	7.99± 0.13[bc1]	95.87	3.15±0.08[c3]	90.99	6.87± 0.07[bc2]	95.81	3.19±0.04[c3]

Average geosmin content of control sample is 99.33 μg/kg.

Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

Values in the same row followed by different numbers are significantly different ($p \leq 0.05$).

ที่มา : วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)

ตารางที่ 2.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโคลน และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อปลานิล ที่แช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิด ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

Conc. (%)	Off odor score / maximum force (gram)							
	Acetic acid		Banana leave ash		Calcium hydroxide		Sodium chloride	
	Off odor score	Max. force	Off odor score	Max. force	Off odor score	Max. force	Off odor score	Max. force
0	7.43±0.49[a1]	2230.63	7.43±0.49[a1]	2230.63	7.43±0.49[a1]	2230.63	7.43±0.49[a1]	2230.63
5	4.43±1.27[b1]	2208.87	2.71± 1.11[bc2]	2885.63	4.36±1.11[b1]	2510.83	2.43±1.13[bc2]	2311.10
8	4.02± 1.51[bc1]	1381.70	2.00±1.41[c2]	5779.97	4.14±1.10[b1]	2143.06	2.29±1.50[c2]	3471.80

Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

Values in the same row followed by different numbers are significantly different ($p \leq 0.05$)

ที่มา : วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)

DPU

2.8.6 **การใช้น้ำปรุงรสมาริเนท (marination)** Yamprayoon และ Noomhorm (2000) รายงานว่า ในผลิตภัณฑ์ปลาซุปน้ำมาริเนดผสมกรดอะซิติก 3 ประเภท ได้แก่ ปลาหมักทอด ปลาหมักสุก และปลาหมักเย็น หมักไว้ที่อุณหภูมิ 3°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสาร geosmin ลดลงเมื่อช่วงเวลาการหมักนานขึ้น กรดอะซิติกทำให้เนื้อปลาอ่อนนุ่ม เพราะไปกระตุ้นให้โพรทีโอไลติกเอนไซม์ (proteolytic enzymes) ย่อยสลายโปรตีนในเนื้อปลาจนเกิดการแตกตัวและปลดปล่อยกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) ออกมาที่สามารถกลบกลิ่นโคลนได้เช่นเดียวกัน

2.8.7 **กระบวนการแปรรูป อื่นๆ** การรมควันปลากดอเมริกันและปลาเรนโบว์เทราท์ให้อยู่ในภาพกึ่งสุก สามารถลดกลิ่นโคลนจนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ หรือการแปรรูปปลาเรนโบว์เทราท์ให้อยู่ในสภาพกึ่งสุกโดยใช้ไอน้ำและเติมน้ำมันพืชก่อนบรรจุกระป๋องโลหะ ก็สามารถลดกลิ่นโคลนได้ (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545)

DPU

ตารางที่ 2.4 การประเมินค่าความขาวหรือค่าความสว่าง (lubicity; L*) ของเนื้อปลานิล ที่แช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิด ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

Conc. (%)	whiteness as lubicity ; L*							
	acetic acid		banana leaf ash		calcium chloride		sodium chloride	
	5 min	10 min	5 min	10 min	5 min	10 min	5min	10 min
0	$40.17^{el}\pm0.10$	$40.25^{el}\pm0.09$	$40.17^{el}\pm0.10$	$40.25^{el}\pm0.09$	$40.17^{el}\pm0.10$	$40.25^{el}\pm0.09$	$40.17^{el}\pm0.10$	$40.25^{el}\pm0.09$
5	$57.46^{abl}\pm0.34$	$58.06^{al}\pm1.10$	$52.43^{b3}\pm0.97$	$52.94^{b3}\pm1.44$	$53.36^{b2}\pm2.98$	$55.39^{ab2}\pm0.46$	$46.80^{bc4}\pm0.26$	$47.03^{bc4}\pm1.70$
8	$60.16^{al}\pm0.24$	$60.99^{al}\pm0.17$	$52.32^{b3}\pm0.20$	$53.06^{b3}\pm0.71$	$56.94^{ab2}\pm0.10$	$57.27^{ab2}\pm0.40$	$43.51^{c4}\pm2.26$	$46.52^{bc4}\pm0.18$

Value in the same column followed by different letters are significantly different ($p\leq0.05$)

Value in the same row followed by different letters are significantly different ($p\leq0.05$)

ที่มา : วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)

DPU

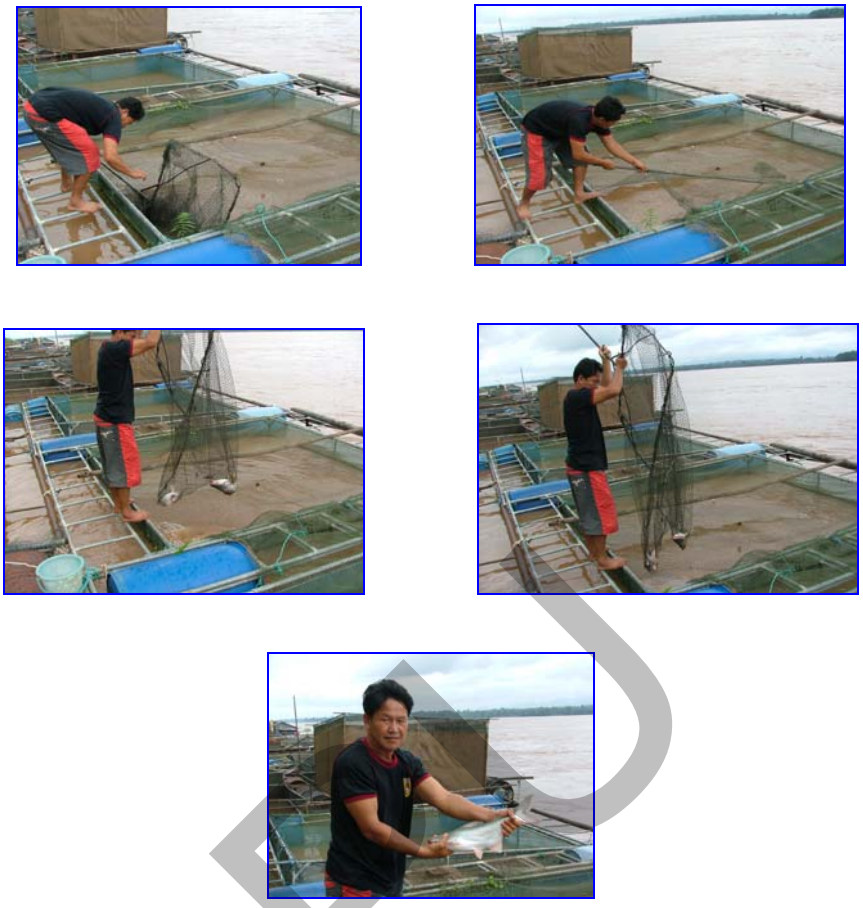
บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้ ผู้วิจัยศึกษาเฉพาะเนื้อปลาสวายโมง (Thai panga) ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pangasius* sp. ผ่านการเพาะเลี้ยงในกระชังแม่น้ำโขง (ภาพที่ 3.1) ในพื้นที่ตำบลอาจสามารถ อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม ซึ่งเป็นโครงการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและแปรรูปปลาสวายโมงภายใต้การสนับสนุนจากสถานีประมงน้ำจืด จังหวัดนครพนม ร่วมกับผู้ว่าราชการจังหวัดนครพนม อายุปลาประมาณ 2-3 ปี น้ำหนักอยู่ในช่วง 1.0 – 1.5 กิโลกรัม/ตัว และถือว่าเนื้อปลาสวายโมงแล่เป็นชิ้นที่ได้จากแต่ละกระชังไม่มีความแตกต่างกัน (homogeneity) ใช้การประเมินทางประสาทสัมผัสตามเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าอาหารและเกษตรแห่งชาติ (มกอช.) ฉบับ 7001-2547 เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพความสดเบื้องต้น

1. ประชากร (Population)

นำปลาสวายโมงที่ไม่มีชีวิตหลังจากจับได้ประมาณ 12 ชั่วโมง จำนวน 40 ตัว น้ำหนักอยู่ในช่วง 1.0–1.5 กิโลกรัม/ตัว ความยาวเฉลี่ย 40-45 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.2) มาตัดหัว ควักไส้ ล้างเศษเลือด ตัดครีบ และตัดหางเก็บในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene ; LDPE) แช่แข็งแบบเร็ว ที่อุณหภูมิ -40 ^{O}C เก็บรักษาต่อในสภาพแช่แข็ง อุณหภูมิ -21 ^{O}C (ภาพที่ 3.3) ทั้งก่อนและช่วงการทดลอง จากนั้น แล่เป็นชิ้นตามความยาวของลำตัว (single fillet) (ภาพที่ 3.4) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -21 ^{O}C

DPU



ภาพที่ 3.1 ผู้ใหญ่บ้านตำบลอาจสามารถ สาธิตการจับปลาสวายโมง ในกระชังที่เพาะเลี้ยงในแม่น้ำโขง ในเขตพื้นที่ตำบลอาจสามารถ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม

ภาพที่ 3.2 ปลาสวายโมงที่ใช้ในการวิจัย

DPU

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างปลาสวายโมงสดที่ใช้ในการวิจัยและวิธีการแช่แข็ง

(ก) ปลาสวายโมงถูกขนส่งมาจาก จังหวัดนครพนม โดยรถประจำทาง

(ข) ปลาสวายโมงสด หลังจากนำออกจากกล่องโฟม

(ค) การแช่แข็งปลาสวายโมงแบบเร็ว ช่วงการทดลอง

(ง) ตู้แช่แข็งปลาสวายโมง ที่สามารถแช่แข็งแบบเร็ว -40 ^{O}C และเก็บรักษาชิ้นเนื้อปลาแล่ -21 ^{O}C ตลอดการทดลอง

DPU

ภาพที่ 3.4 วิธีแล่ปลาสวายโมงแบบแล่แผ่น (single fillet)

2. กลุ่มตัวอย่าง (sampling unit)

เนื้อปลาสวายโมงแล่เป็นชิ้นที่ตกเป็นตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย (simple random sampling ; SRS) (ภาพที่ 3.1) จากโครงการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและแปรรูปปลาสวายโมง จากกระชังที่เพาะเลี้ยงในแม่น้ำโขง ตำบลอาจสามารถ อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม ได้รับการสนับสนุนจากสถานีประมงน้ำจืด จังหวัดนครพนม ร่วมกับผู้ว่าราชการจังหวัดนครพนม

3. วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

3.1 **วัตถุดิบ**

3.1.1 ปลาสวายโมง ที่เพาะเลี้ยงในกระชังแม่น้ำโขง อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม น้ำหนักอยู่ในช่วง 1.0 – 1.50 กิโลกรัม/ตัว ความยาวเฉลี่ย 40 – 45 เซนติเมตร ราคากิโลกรัมละ 100 บาท

3.1.2 ใบกล้วยน้ำว้าสด ซื้อจากตลาดสดทั่วไป

3.1.3 เกลือแกง หรือ เกลือโซเดียมคลอไรด์ (เกรดอาหาร)

3.1.4 น้ำแข็งบด

3.2 **วัสดุอุปกรณ์**

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเนื้อปลาสวายโมง โซเดียมคลอไรด์ และเถ้าใบกล้วย

3.2.1 เครื่องผลิตก๊าซโอโซน ยี่ห้อ Metrology รุ่น Favour

3.2.2 ตู้แช่แข็ง ควบคุมอุณหภูมิ -40°C และ -21°C ยี่ห้อ SANYO รุ่น MDF-U5411 maximum temperature -40°C , refrigerant R-404(A) (ภาพภาคผนวกที่ 8.1)

3.2.3 ตู้แช่เย็นแบบลมหมุนเวียน ควบคุมอุณหภูมิ ไม่เกิน 4°C

DPU

3.2.4 ถุงพลาสติก LDPE (ถุงเย็น อากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้) ตรา aro ขนาด 10 นิ้ว × 15 นิ้ว ผลิตโดยบริษัท โครโนแบลช จำกัด

3.2.5 ถุงพลาสติกชนิด PE แบบ zip lock ขนาด 7 นิ้ว × 8 นิ้ว ผลิตโดยบริษัท ไทยกรีพเทค จำกัด

3.2.6 เทอร์โมมิเตอร์แบบปลายแหลม (digital penetrate thermometer) ยี่ห้อ Ebro รุ่น TTX 100 ช่วงการวัด -50°C ถึง -350 °C ผลิตในประเทศเยอรมนี

3.2.7 ตู้อบเถ้าใบกล้วยความร้อนสูง muffle furnace ยี่ห้อ Vecstar furnaces รุ่น ECF- 3 maximum temperature 1,100 °C

3.2.8 ตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer) ผลิตโดย บริษัท FNB Machinery and Solution จำกัด

3.2.9 เครื่องชั่งดิจิทอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius adventurer รุ่นCF224S maximum capacity 3,100 กรัม

3.2.10 เครื่องชั่งดิจิทอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ AHAUS รุ่น ARC 120

3.2.11 ถ้วยกระเบื้องครูซิเบิล พร้อมฝาปิด ยี่ห้อ HCT 101/35 DIN

3.2.12 กระดาษกรอง Whatman No. 1

3.2.13 micropipette ขนาด 2 ไมโครลิตร ยี่ห้อ Biohit รุ่น praline

3.2.14 กล่องโฟมพร้อมฝาปิด ซื้อจากห้างสรรพสินค้า เทสโก โลตัส จังหวัดนครพนม

3.2.15 เตาแก๊สและอุปกรณ์เครื่องครัวอื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลอง

3.3 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี มีดังนี้

3.3.1 สารละลายเคมี สำหรับวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) ได้แก่ สารละลาย calibrate pH 7.0 และ pH 4.0

3.3.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ inoLab pH 720 รุ่น WTW

3.3.3 สารละลายมาตรฐานgeosmin ยี่ห้อ Aldrich product G5908 Lot BCBB1829 นำเข้าจากบริษัท SIGMA-ALDRICH ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.3.4 เข็มฉีดยา ขนาด 1 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Terumo® syringe with needle (0.33 mm ×13 mm)

3.3.5 เตาไมโครเวฟ ยี่ห้อ Samsung รุ่น CE1160 (ภาพภาคผนวกที่ 8.3)

DPU

3.3.6 เครื่องแก้วที่จำเป็นสำหรับการทดลอง

3.3.7 เครื่องครัวสแตนเลสที่จำเป็นสำหรับการทดลอง

3.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

อุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ มีดังนี้

3.4.1 เครื่องวัดสี ระบบ CIE Hunter L*a*b* ยี่ห้อ Hunter Lab พร้อมโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PC ประมวลผล รุ่น MiniScan XE plus (ภาพภาคผนวกที่ 3.1)

3.4.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ใช้โหมดผลิตภัณฑ์ปลา ยี่ห้อ LLOYD รุ่น CF2430 พร้อมคอมพิวเตอร์ PC ประมวลผลวิเคราะห์ (ภาพภาคผนวกที่ 3.1)

3.4.3 เทอร์โมมิเตอร์แบบปลายแหลม (digital penetrate thermometer) ยี่ห้อ Ebro รุ่น TTX 100 ช่วงการวัด -50°C ถึง -350 °C ผลิตในประเทศเยอรมนี

3.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin มีดังนี้

3.5.1 เครื่อง GC/MS (gas chromatography/mass spectrometry) (agilent technologies 6890 N network GC system/agilent technologies 5973 network mass selective detector (ภาพภาคผนวก 1.1)

3.5.2 column HP-5 (30 m×0.25 mm ID.×0.25 ไมโครเมตร)

3.5.3 column SPME (solid phase micro-extraction) 57330–u

3.5.4 SPME fiber divinylbenzene/carboxenpolydimethylsiloxane (DVB/CPDMS) Supelco 57550–u

3.5.5 สารละลายมาตรฐาน geosmin (trans-1,10–dimethyl–trans–9–decalol) ของ Sigma – Aldrich (certificate of analysis ; COA อธิบายในตารางภาคผนวก 1.1)

DPU

3.6 **อุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส**

อุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส มีดังนี้

3.6.1 จาน ชาม กระดาษทิชชู และแก้วน้ำสีใสหรือสีขาว

3.6.2 แบบทดสอบให้คะแนนแบบ scoring test และ Hedonic scale -9- points

3.6.3 น้ำดื่ม

3.6.4 เตาอบไมโครเวฟ ยี่ห้อ Samsung รุ่น CE1160

3.6.5 เทอร์โมมิเตอร์ดิจิทอลแบบปลายแหลม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ebro รุ่น TTX 100 ช่วงการวัด -50°C ถึง -350°C ผลิตในประเทศเยอรมนี

3.7 **อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ มีดังนี้

3.7.1 คอมพิวเตอร์ PC หรือคอมพิวเตอร์โน้ตบุคพร้อมโปรแกรมซอฟท์แวร์วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.7.2 เครื่องพริ้นเตอร์รายงานผล

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้แบ่งขั้นตอนทดลอง ดังนี้

4.1 **เตรียมเนื้อปลาสวายโมงสด (flesh)**

4.1.1 ปลาสวายโมง ซื้อจากเกษตรกรที่เลี้ยงในโครงการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงและแปรรูปปลาสวายโมง ตำบลอาจสามารถ อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม

4.1.2 บรรจุปลาสวายโมงทั้งตัว ในถุงพลาสติก LDPE หรือ ถุงเย็น ขนาด 12″×18″ เรียงปลาสลับกับน้ำแข็ง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เป็นชั้นๆ พร้อมโรยเกลือแกงผสม ผนึก

DPU

กล่องโฟมให้สนิท ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร (processing room laboratory) อาคาร 11 ฝั่งตรงข้ามมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ โดยรถประจำทาง จากสถานีขนส่ง อำเภอเมือง นครพนม–หมอชิตใหม่ กรุงเทพฯ ใช้เวลาการขนส่งประมาณ 12 ชั่วโมง (ภาพที่ 3.3 ก.)

4.1.3 เมื่อถึงห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร ฉีกถุงเดิม ล้างทำความสะอาดปลาในน้ำเย็น บรรจุถุงใหม่ ทำการแช่แข็ง (flash freezing) ที่อุณหภูมิ -40 ^{O}C นาน ประมาณ 2 เดือน จากนั้น เก็บรักษาในสภาพแช่แข็ง (ภาพที่ 3.3 ค - ง) ที่อุณหภูมิ -21 ^{O}C ทั้งในช่วงก่อน และระหว่างการทดลอง

4.2 **แล่ปลาสวายโมงและเตรียมเนื้อปลาแล่แช่แข็งซ้ำ**

การแล่ปลาสวายโมงเป็นชิ้น ดัดแปลงวิธีการของ มอก. 616-2529 ปลาแล่เยือกแข็ง และ สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ (2551) ดังนี้

4.2.1 นำปลาสวายโมงที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่แข็ง (-21°C) ล้างน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10°C–15°C

4.2.2 แล่เนื้อปลาด้วยมีดคมจากตัวปลา โดยวิธีการแล่แบบ single fillet

4.2.3 ล้างเนื้อปลาด้วยน้ำเย็น ควบคุมอุณหภูมิของชิ้นปลาไม่เกิน 15°C

4.2.4 พักชิ้นปลาบนตะแกรง นาน 5 นาที (ภาพที่ 3.4) จากนั้น บรรจุชิ้นปลาลงในถุงเย็น PE แบบ zip lock เข้าแช่แข็งรอบที่ 2 (ภาพที่ 3.5)

DPU

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงแล่บรรจุถุง PE แบบ zip lock ที่ใช้ในการทดลอง

4.3 วิเคราะห์ความสด และสมบัติทางเคมีกายภาพเบื้องต้น

ปลาสวายโมงหลังละลายน้ำแข็ง นำมาประเมินความสดและสมบัติทางเคมีกายภาพเบื้องต้น วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการ บริษัท เซ้าท์อิสต์ เอเชี่ยน ลาบอราทอรี่ย์ จำกัด (ซีล) ดังนี้

4.3.1 **ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)**

คุณภาพความสดโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏทั่วไป ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส

4.3.2 **วิเคราะห์สมบัติทางเคมี**

จากการตรวจเอกสาร พบว่า สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ (2551) ได้รายงานวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเนื้อปลาสวายโมงสดที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความคิดวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นซ้ำอีกครั้ง เพื่อยืนยันผล นอกจากนี้ ยังได้วิเคราะห์ lipid profiles หรือ fatty acid compositions เพิ่มเติม โดยนำตัวอย่างปลาสวายโมงสด ส่งตรวจวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ บริษัท เซ้าท์อิสต์ เอเชี่ยน ลาบอราทอรี่ย์ จำกัด (ซีล) ดังนี้

1. ค่าพลังงาน (calories) ตามวิธีของ AOAC international (1993), chapter 6
2. ค่าพลังงานจากไขมัน (calories from fat)

ตามวิธีของ AOAC international (1993) , chapter 6

DPU

3. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ AOAC international (1993), chapter 1
4. ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC. (2005), 940.25
5. ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC. (2005), 960.39
6. ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC. (2005), 960.39
7. ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC. (2005), 940.25
8. โอเมกา–3 ตามวิธีของ AOAC. (2005) , 996.06
9. โอเมกา–6 ตามวิธีของ AOAC. (2005), 996.06
10. โอเมกา–9 ตามวิธีของ AOAC. (2005), 996.06
11. องค์ประกอบที่เป็นกรดไขมันแต่ละชนิด (fatty acid compositions) ตามวิธีการของ AOAC. (2005) 996.06
12. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter
13. ปริมาณด่างที่ระเหยทั้งหมดในภาพสารประกอบไนโตรเจน (total volatile base – nitrogen ; TVB-N) ตามวิธีการของ Conway microdiffusion

4.3.3 **วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ**

นำตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงสด ที่ผ่านการละลายน้ำแข็ง วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ดังนี้

9.3.1 ค่าสี $L^*a^*b^*$ วัดด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter) ระบบ CIE Hunter L*a*b* ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Miniscan XE plus ดังภาคผนวกที่ 3

9.3.2 ค่าความขาว (whiteness ; W) ตามสูตรวิธีการคำนวณ ดังภาคผนวกที่ 3

9.3.3 ค่าเนื้อสัมผัส (texture) วัดด้วยเครื่อง texture analyser ยี่ห้อ LLOY รุ่น CF2430 โดยใช้วิธีวัดเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ (TPA) และบันทึกค่า hardness (Newton), cohesiveness, springiness (mm) และ fracture force (kgf) ดังภาคผนวกที่ 4

4.4 **เตรียมสารละลายเถ้าใบกล้วยและโซเดียมคลอไรด์**

การเตรียมสารละลายเถ้าใบกล้วยและโซเดียมคลอไรด์ อธิบายใน ดังภาคผนวกที่ 2

DPU

4.5 **ฝึกฝนผู้ทดสอบให้รับรู้กลิ่นโคลน geosmin (threshold sensitivity)**

ให้ผู้ทดสอบ จำนวน 15 คน ซึ่งเป็นครูปฏิบัติการ และนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ทำการทดสอบประเมินความแม่นยำ ด้วยการทดสอบจุดเริ่มรับรู้สึกของสารให้กลิ่นโคลน geosmin ของผู้ทดสอบแต่ละคน โดยการให้คะแนนแบบ scoring test ตามวิธีการของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)

4.6 **เปรียบเทียบอิทธิพลของสารละลายโอโซน หรือเถ้าใบกล้วย หรือโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการลดสารให้กลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง**

4.6.1 **เตรียมสารละลายกลิ่นโคลน geosmin มาตรฐาน และฉีดสารละลาย geosmin เข้าเนื้อเยื่อปลา**

ผู้วิจัยเลือกใช้ความเข้มข้นสาร geosmin มาตรฐาน ปริมาณ 200 นาโนกรัม/ลิตร สำหรับแช่และฉีดเข้าเนื้อเยื่อชิ้นปลาแล่ ทั้งนี้ Robertson และคณะ (2004) รายงานว่า ความเข้มข้นของสารละลายกลิ่นโคลน geosmin ปริมาณ 200 นาโนกรัม/ลิตร ให้ความเข้มข้นแรงที่สุด (glossly tainted) และ พบว่า สารละลาย geosmin ความเข้มข้นดังกล่าวสามารถเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อปลาเท่ากับ 6.25 ± 0.75 ไมโครกรัม/กิโลกรัม

(1) **คำนวณความเข้มข้นของสาร geosmin ที่ต้องฉีดเข้าเนื้อเยื่อปลาสวายโมง**

จากสารในขวด vial มี geosmin มาตรฐาน อยู่ 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ของ methanol เก็บที่อุณหภูมิ -21°C สามารถคำนวณได้ดังนี้

นั่นคือ น้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ต้องใช้สาร geosmin 200 นาโนกรัม

ถ้าใช้ น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ต้องใช้สาร geosmin เท่ากับ 20 นาโนกรัม (หรือ 0.02 ไมโครกรัม)

ดังนั้น ต้องการสาร geosmin 2 มิลลิกรัม ต้องดูดสารละลายมา 1 มิลลิลิตร

ถ้า ต้องการสาร geosmin ปริมาณ 0.02 ไมโครกรัม ต้องดูดสารละลายมา $\frac{200\ \text{ng} \times 100\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}}$

เท่ากับ 0.01×10^{-3} มิลลิลิตร หรือเท่ากับ 0.01 ไมโครลิตร

DPU

เพราะฉะนั้น ต้องดูดสารละลาย geosmin มาตรฐานมา 0.01 ไมโครลิตร ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วค่อยฉีดเข้าไปในเนื้อเยื่อปลาสวายโมง พร้อมควบคุมอุณหภูมิสารละลายไม่เกิน 15 ^{O}C ตลอดเวลา (ภาพที่ 3.6) การเตรียมสารละลายกลิ่นโคลน geosmin และแช่–ฉีดสารละลาย geosmin เข้าเนื้อเยื่อปลา (เน้นตรงส่วนไขมันใต้ท้องมากเป็นพิเศษ) แช่นานประมาณ 30 นาที

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.6 (ก) การแช่-ฉีด สารละลาย geosmin มาตรฐาน เข้าเนื้อเยื่อปลาสวายโมงแล่

(ข) ควบคุมอุณหภูมิชิ้นปลาแล่ ไม่เกิน 15°C

4.6.2 **การวางแผนทดลอง**

การวางแผนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมของสารละลายโอโซน หรือเถ้าใบกล้วย หรือเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีผลต่อการลดสารให้กลิ่นโคลน geosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

เริ่มจาก นำเนื้อปลาสวายโมงแล่ น้ำหนัก 60 กรัม สัมผัสกับสารละลายแต่ละสิ่งทดลอง (ตารางที่ 3.1) ดังนี้คือ

1. ก๊าซโอโซน 2 ระดับ คือ 200 และ 400 มิลลิกรัม
2. เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 2 ระดับ คือ 3.0% และ 5.0% โดย น้ำหนัก/ปริมาตร
3. โซเดียมคลอไรด์ 2 ระดับ คือ 3.0% และ 5% โดยน้ำหนัก/ปริมาตร

วางแผนการทดลองแบบ 3^{3-1} Unrepeated Factorial Design ให้ตัวอย่างสัมผัสกับสารละลายแต่ละสิ่งทดลอง นานประมาณ 5 นาที (ภาพที่ 3.7) จากนั้น ล้างน้ำสะอาด และเก็บรักษาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -21 ^{O}C เพื่อรอวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

DPU

ตารางที่ 3.1 การวางแผนการทดลอง 3^{3-1} Unrepeated Factorial Design ที่ใช้ในการหา significant treatment combination effects

treatments	treatment combination effects		
	ก๊าซโอโซน (มิลลิกรัม)	เถ้าใบกล้วย (% w/v)	โซเดียมคลอไรด์ (% w/v)
1	200	-	-
2	200	3	5
3	200	5	3
4	400	5	-
5	-	3	-
6	-	5	5
7	-	-	3
8	400	3	3
9	400	3	-
10	ไม่ได้รับสิ่งทดลอง (control treatments)		

ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการนำเนื้อปลาสวายโมงแล่ผ่านการลดกลิ่นโคลน geosmin ด้วยสารละลาย 9 สิ่งทดลอง (ตาราง 3.1)

DPU

4.6.3 **วิเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin**

การวิเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin ด้วยวิธี solid phase micro extraction gas chromatography/mass spectrophotometry (SPME-GC/MS) ตามวิธีวิเคราะห์ของ สมชาย หวังวิบูลย์กิจ (2551) แสดงในภาคผนวก 1 (วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

4.6.4 **วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อปลาสวายโมงแล่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ**

ตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงแล่ที่ผ่านการแช่-ล้างในสารละลาย 9 สิ่งทดลอง วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ดังนี้

(1) ค่าสี L^* a^* b^* วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) ระบบ CIE Hunter L*a*b* ยี่ห้อ HunterLab รุ่น Miniscan XE plus

(2) ค่าความขาว (whiteness) ตามสูตรวิธีการคำนวณ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 3

(3) ค่าเนื้อสัมผัส (texture) วัดด้วยเครื่อง texture analyser ยี่ห้อ LLOY รุ่น CF2430 ใช้วิธีวัดแบบเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ (TPA) และบันทึก ค่า hardness (N), cohesiveness, springiness (mm) และ fracture force (kgf) ดังแสดงในภาคผนวกที่ 4

(4) ค่า pH วัดโดยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ inoLab pH 720 รุ่น WTW

4.6.5 **ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส**

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 15 คน โดยใช้แบบทดสอบ scoring test สำหรับการประเมินด้านกลิ่นโคลน geosmin ดัดแปลงตามวิธีของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยให้คะแนนความชอบแบบ hedonic scale – 9 - points ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

DPU

12.6 **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

งานวิจัยวางแผนการทดลองแบบ 3^{3-1} Unrepeated Factorial Design สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยข้อมูลทางเคมีกายภาพ (ปริมาณสารให้กลิ่นโคลน geosmin และค่า pH) ลักษณะทางกายภาพ (ค่าสี L a^* b^* ความขาว และค่าเนื้อสัมผัส) ส่วนการประเมินผลทางประสาทสัมผัส (ให้คะแนนแบบ scoring test และ hedonic scale - 9 -points) วางแผนการทดลองแบบวัดค่าซ้ำ (Repeated Measure Design)

ใช้การทดสอบระดับนัยสำคัญของสมมติฐาน 2 วิธี คือ Graphical method (normal plot) และ Lenth's method (กรณีที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน pseudo standard error served as a robust estimator of standard deviation)

ค่าวิกฤตของวิธี Lenth's method ได้มาจากวิธีของ Ye และ Hamada (2000)

DPU

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

DPU

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

DPU

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)

DPU

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

DPU

ตารางที่ 4.5 คะแนนประเมินการฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้มีความไวต่อการรับรู้สารให้กลิ่นโคลน geosmin โดยให้คะแนนแบบ scoring test

จำนวนผู้ทดสอบ (คน)	**ระดับคะแนนประเมิน**
15	7.67 ±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 ± 1.10 (มีกลิ่นโคลนค่อนข้างมาก) และคะแนนเฉลี่ยแต่ละสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.6) เป็นดังนี้

DPU

ตารางที่ 4.6 Levene's statistic ของคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโคลน geosmin ของเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ โดยให้คะแนนแบบ 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

DPU

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)

DPU

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}

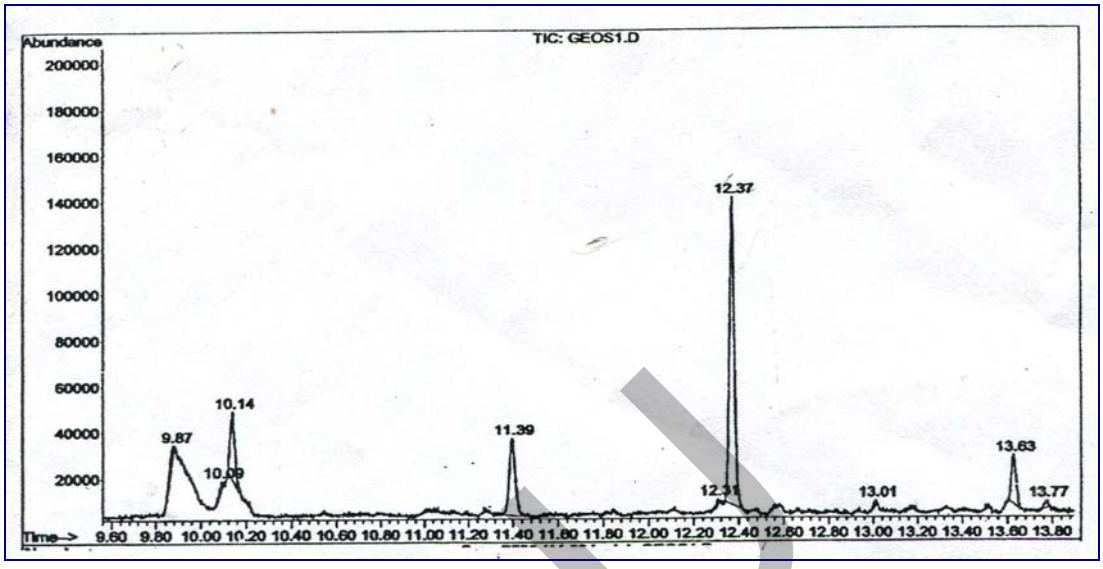
หมายเหตุ : a, b,… ตัวอักษรที่กำกับตัวเลขในแนวตั้งต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

DPU

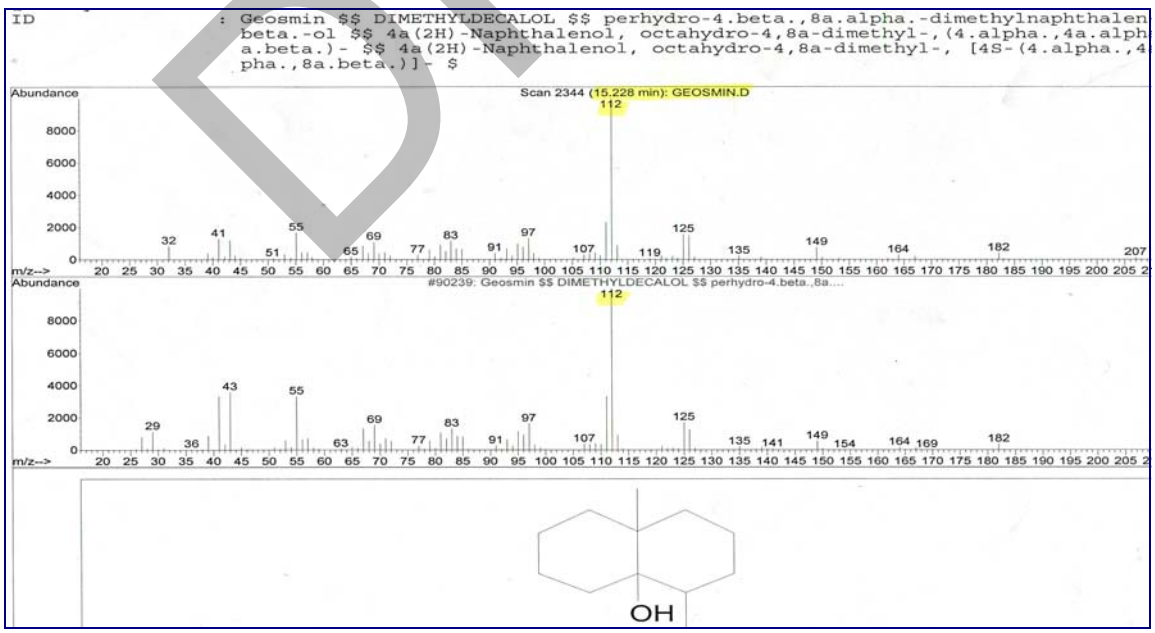
4.4 ผลการศึกษาปริมาณสารให้กลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

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)

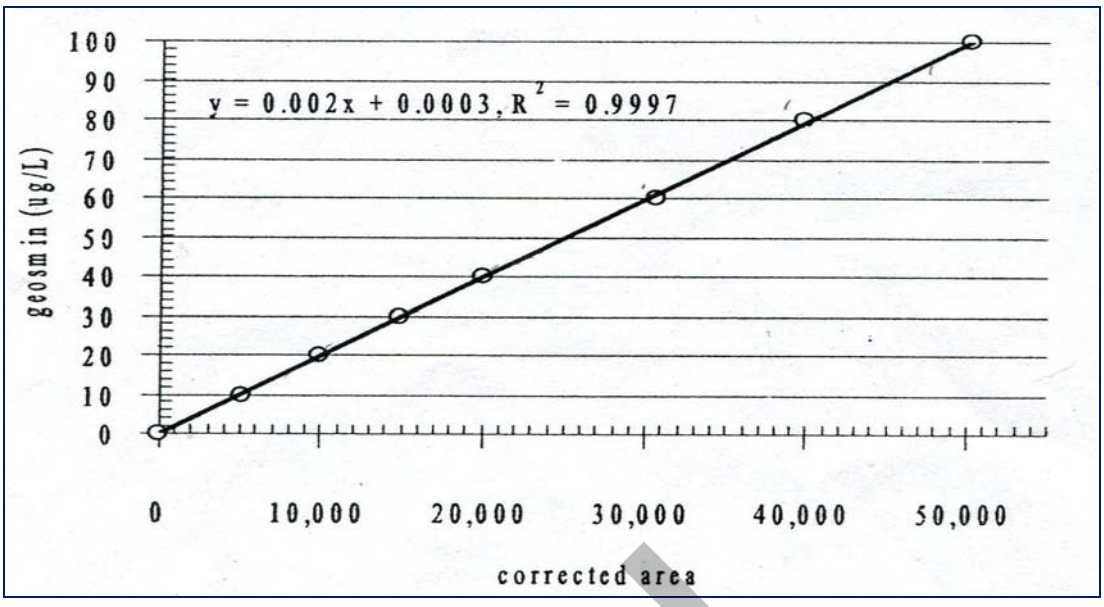


ภาพที่ 4.1 chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME–GC/MS
ที่มา : สมชาย หวังวิบูลย์กิจ (2551)



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

DPU



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

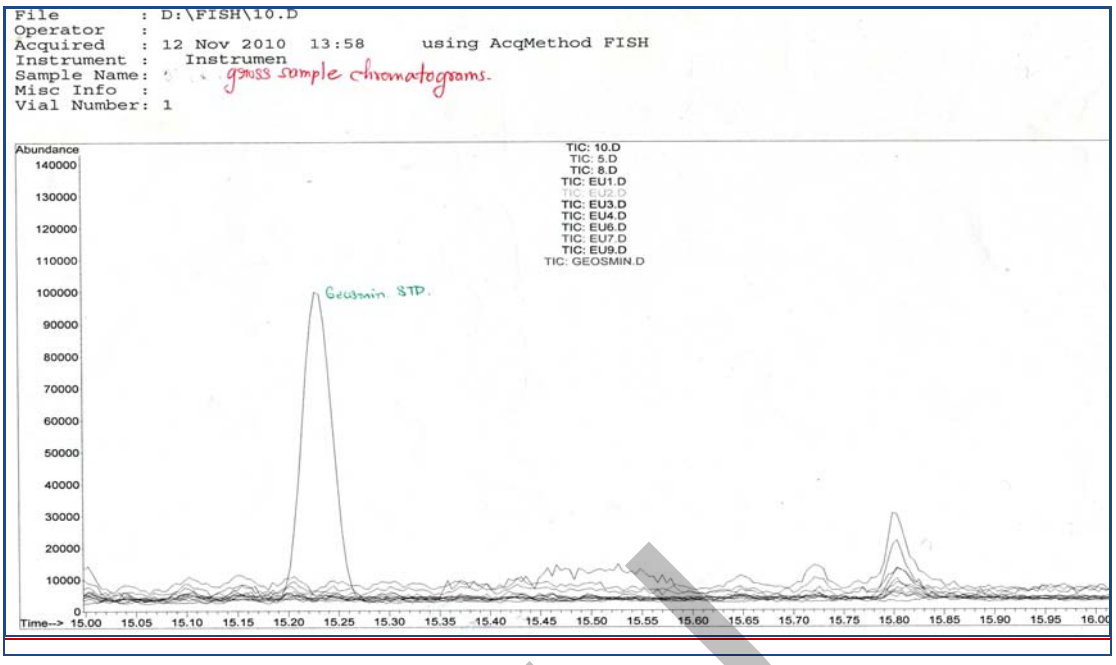
4.4.2 **ผลวิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ในเนื้อเยื่อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง**

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

DPU

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°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 สามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาที่ถูกชักนำให้มีการดูดซึมสารจืออสมินมาแล้ว สามารถลดกลิ่นโคลนลงได้ประมาณ 90.11 % และ95.81 % ตามลำดับ เหลือกลิ่นโคลนในระดับที่ยอมรับได้ คือ 7.54 และ 3.19 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และได้รับการยอมรับด้วยคะแนนดีมากจากผู้ทดสอบในด้านกลิ่นโคลน

DPU



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

DPU

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) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ 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

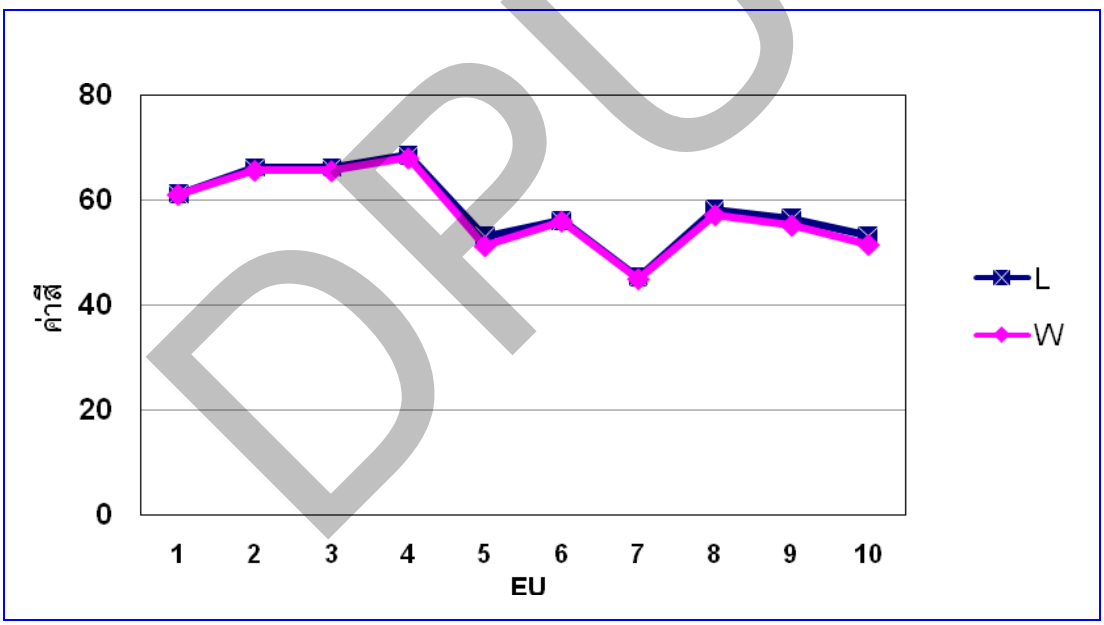
หมายเหตุ : **ns** ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

DPU

ตารางที่ 4.9 ค่า t – like statistic ตามวิธีการของ เลนท์ (Lenth's method) สำหรับการ วิ เ ค ร า ะ ห์ คุณภาพด้านความสว่าง (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

DPU

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

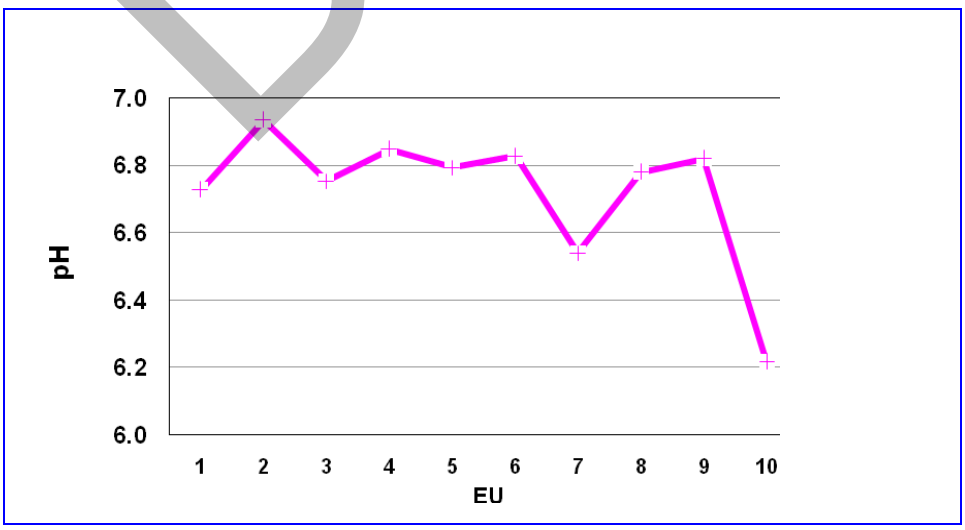
โดยปกติการเปลี่ยนแปลง pH จะเกิดจากหลายสาเหตุนั่นคือ เมื่อสัตว์น้ำตายลง pH มีค่าลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการไกลโคไลซิสซึ่งก่อให้เกิดกรดแลกติก ทั้งนี้ปริมาณกรดแลกติกที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณไกลโคเจนที่สะสมก่อนตาย รวมทั้งการปฏิบัติต่อสัตว์น้ำ ส่วนการเพิ่มขึ้นของ pH อาจมีสาเหตุมาจากเนื้อปลาเกิดการย่อยสลายตัวเองโดยเอนไซม์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

DPU

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

DPU

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)

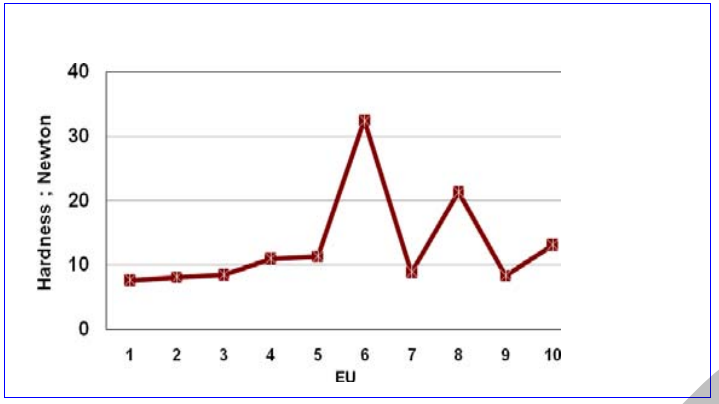
DPU

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

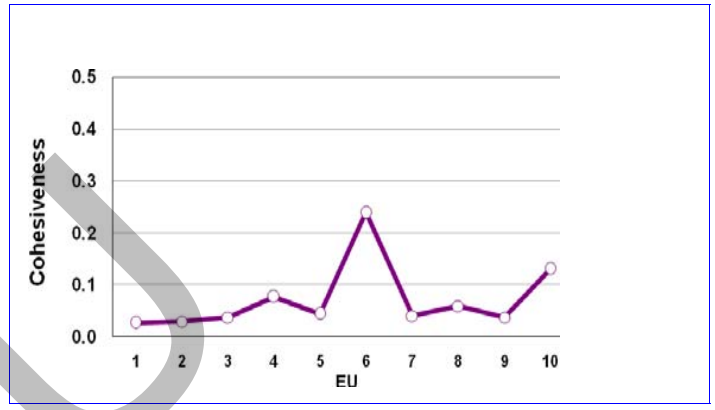
สิ่งทดลอง	hardness (นิวตัน)	t - like statistic hardness	cohesiveness	t - like statistic cohesiveness	springiness (มิลลิเมตร)	t-like statistic springiness	fracture force (กิโลกรัม.แรง)	t - like statistic fracture force
1	7.59±0.30	**0.568**	0.027±0.002	**0.467**	0.736±0.03	**0.536**	0.502±0.002	0.667
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.

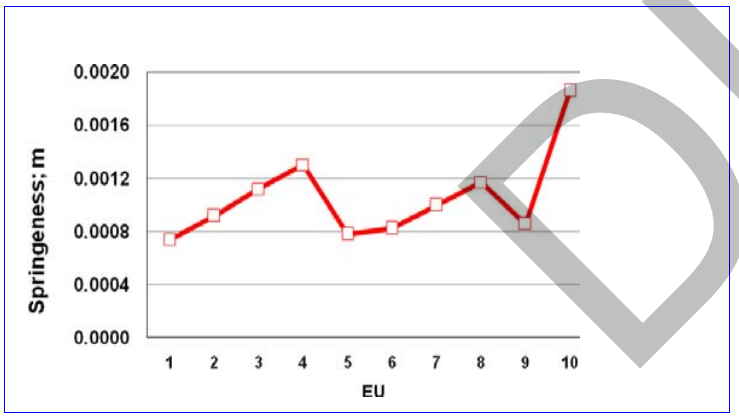
DPU



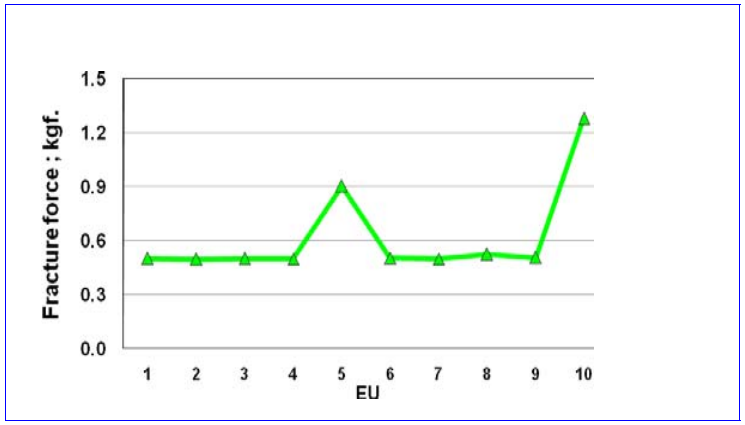
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

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

DPU

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบสารละลายโอโซน หรือโซเดียมคลอไรด์ หรือเถ้าใบกล้วย ที่มีต่อการลดกลิ่นโคลนgeosmin และสมบัติทางเคมีกายภาพของปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง และเพื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่มีต่อการยอมรับของผู้ทดสอบ วางแผนการทดลองแบบ 3^{3-1} Unrepeated Factorial in Completely Randomized Design สำหรับการวิเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin ด้วยวิธี SPME-GC/MS และสมบัติทางเคมีกายภาพ วางแผนการทดลองแบบวัดค่าซ้ำ (Repeated Measure Design) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้การทดสอบระดับนัยสำคัญของสมมติฐาน 2 วิธี คือ Graphical Method (Normal Plot) และ Lenth's Method (กรณีที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน pseudo standard error served as a robust estimator of standard deviation) จากผลการวิจัย พบว่า

1. ปลาสวายโมง มีคุณภาพความสดปกติโดยทดสอบทางประสาทสัมผัส ค่าความขาว (51.59) ความแข็ง (13.12 นิวตัน) การยึดเกาะกันของเนื้อเยื่อ (0.130) pH (5.98) TVB-N (4.85 มิลลิกรัมไนโตรเจน/100 กรัม) พลังงานทั้งหมด (102.0 กิโลแคลอรี/กรัม) พลังงานจากไขมัน (37 กิโลแคลอรี/กรัม) โปรตีน (15.1%) ไขมัน (4.16%) เถ้า (1.13%) ความชื้น (78.56%) คาร์โบไฮเดรต (1.05%) กรดไขมันทั้งหมด (6.83%) กรดไขมันชนิดทรานส์ (0%) โอเมกา-3 (173.29 มิลลิกรัม/100 กรัม) โอเมกา-6 (830.79 มิลลิกรัม/100 กรัม) และ โอเมกา-9 (2,535.53 มิลลิกรัม/100 กรัม)

2. จากผลการทดลอง ทั้ง 9 treatments (pH ช่วง 6.54 - 6.93) พบว่า ตรวจไม่พบปริมาณสารให้กลิ่นโคลน geosmin ในชิ้นปลาสวายโมงแล่ ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่ให้คะแนนแบบ scoring test พบว่า ทุก treatments ไม่มีกลิ่นโคลน geosmin ($p>0.05$) เมื่อผ่านการทำให้สุกด้วยวิธีไมโครเวฟ ยกเว้น เนื้อปลาแล่ที่สัมผัสสารละลาย NaCl 3% มีกลิ่นโคลนระดับเล็กน้อย (4.27) ขณะที่การประเมินทางประสาทสัมผัสด้าน สีขาว กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ให้คะแนนแบบ Hedonic scale -9- points พบว่า ทุก treatments ผู้ทดสอบให้การยอมรับระดับปานกลางถึงชอบมาก ($p<0.05$) และทุก treatments ไม่แตกต่างกันในด้านความขาว ($p>0.05$) ส่วนค่าเนื้อสัมผัส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างเถ้าใบกล้วย 5% และ NaCl 5% ให้ค่า hardness และ cohesiveness มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

DPU

ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าจะต่อยอดงานวิจัยครั้งต่อไป ควรวัดปริมาณหรืองความเข้มข้นเถ้าใบกล้วย เกลือโซเดียมคลอไรด์ และปริมาณโอโซนอิสระที่ตกค้าง (residual ozone) หลังการแช่ล้างปลาสวายโมงในแต่ละเวลาและความเข้มข้น

2. ถึงแม้ว่าการวิจัยนี้ เถ้าใบกล้วยน้ำว้า หรือ เกลือโซเดียมคลอไรด์ สามารถลดกลิ่นโคลน gesominได้และมีราคาถูก เราควรพัฒนาต่อไปให้เหมาะสมมากขึ้นสำหรับเกษตรกร วิสาหกิจชุมชน หรือธุรกิจอาหาร SME เช่น ใช้เป็นทางเลือกและจัดการการป้องกันกลิ่นดิน กลิ่นโคลน ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำจืดอื่นๆที่มีปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อทดแทนการใช้สารละลายโอโซนประสิทธิภาพสูงในการลดกลิ่นโคลน geosmin แต่มีราคาเครื่องค่อนข้างแพง และอาจมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการติดตั้งที่ไลน์กระบวนการผลิต

3. ควรมีการศึกษาถึงกลไกทางเคมีในเชิงลึกสำหรับการขจัดหรือการลดกลิ่นโคลน geosmin ด้วยสารละลายโอโซน หรือ เถ้าใบกล้วยน้ำว้า หรือ โซเดียมคลอไรด์

DPU

บรรณานุกรม

กรุงเทพธุรกิจ. (2548). **สถาบันอาหารปั้นแบรนด์ "โขงฟิช" ทุ่ม 50 ล้านวิจัยปลาเผาะส่งออก.** หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ ฉบับวันที่ 11 มิถุนายน 2548.

โครงการศูนย์ประสานความร่วมมือเพื่อการพัฒนาศักยภาพอุตสาหกรรมอาหารและอาหารไทยสู่โลกระหว่างสถาบันอาหาร สวทช. และมหาวิทยาลัย. (2551). **ปลาสวายโมง**. ห้องประชุม VIP ชั้น 2 อาคารส่งเสริมการส่งออก วันที่ 29 มิถุนายน 2550, หน้า 45 – 46.

จินตนา วิบูลย์ศิริกุล. (ก.ค.- ธ.ค. 2551). **การใช้โอโซนในอุตสาหกรรมอาหาร ทางเลือกเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์**. วารสารราชภัฏเพชรบุรี. 6(1) : หน้า 1-7.

ณัฐพล ฟ้าภิญโญ. (2550). วิทยานิพนธ์. **คุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาปูนิ่ม(*Scylla serrata* Forskäl) โดยใช้โอโซน กรดแอซีติก กรดแล็กติก กรดแอสคอร์บิก และการเก็บรักษาภายใต้สภาะปรับบรรยากาศ**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทวีทรัพย์ ศรีนาค. (2542) . **การกำจัดกลิ่นโคลนในปลานิล**. วารสารควาฟาร์มิ่ง. 5 : หน้า 30 – 36.

นฤมล อัศวเกศมณี. (2550). การกำจัดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาดุกบิ๊กอุย โดยใช้สารละลายเถ้าจากใบกล้ายนางพญา (*Musa* sp.) ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน. **วารสารเกษตรศาสตร์.** 3(5) : หน้า 15 – 26.

นิรนาม. (2550) . **ปลาเผาะ.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http:// www. google.com.

นิรนาม. (มปป.). **เจ้ามัจฉาฟาร์ม เพาะพันธุ์ปลาเผาะลูกผสม ฟันธงเนื้อขาว 100 %.**[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http:// www. google.com.

ฝ่ายประกันคุณภาพกลาง บริษัท ซีพี เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด. (มปป.) . **สัมภาษณ์ปัญหากลิ่นดิน กลิ่นโคลนในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำจืด. จดหมายอิเลกทรอนิกส์ (e-mail).** (เอกสารอัดสำเนา).

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2547). **มกอช. 7001 – 2547 เรื่อง ปลานิล.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.acfs.go.th/datakm/standard/standard_list_std.html.

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2548). **มกอช. 7014 – 2548 เรื่อง ปลาแล่เยือกแข็ง**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.acfs.go.th/standard/download/plaice.pdf.

รังสิมา อร่ามเรือง, วรารี แก้วน่วม, อรุณศรี ลีจีรจำเนียร และมะนะชัย ธรรมลักษมี. (มปป.). **การลดปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนในกุ้งแช่เยือกแข็งโดยการล้างด้วยน้ำโอโซน**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http:// www. google.com.

DPU

วรพงษ์ นลินานนท์. (2545). **การกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิล**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรพงษ์ นลินานนท์, มยุรี จัยวัฒน์, นงนุช รักสกุลไทย และจิราวรรณ แย้มประยูร. (มปป.). **การกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิล**.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http:// www. google.com.

ยุวันดา นะหีม. (2545). **อิทธิพลของโอโซน ไข่ขาวผง และซีสเตอีนต่อคุณภาพเจลของซูริมิที่ทำจากปลาทูแขก(*Decapterus maruadsi*) แช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2529). **มอก. 616 – 2529 เรื่อง ปลาสดแล่เยือกแข็ง**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก . http://app.tisi.go.th/standard/cat_thai.html.

สุญาณีพร ตุลยพงศ์รักษ์ , ปัทมา ระตะนะอาพร และ จิราภรณ์ รุ่งเลิศเกรียงไกร. (2551). **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของปลาสวายโมงที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http:// www. google.com.

สถาบันอาหาร. (2549). **สถาบันอาหารเดินหน้าโครงการพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจตัวใหม่ของไทยเพื่อการส่งออก(ปลาสวายโมง)**. โครงการพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจ .[ออนไลน์] เข้าถึงได้ http://nfi.or.th/nfi/fish/Main.htm.

สมชาย หวังวิบูลย์กิจ. (2551). **ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria sp.* และ *Microcystis* sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในบ่อเลี้ยง**. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาภาควิชาชีววิทยาประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2549) . การปรับปรุงสีของซูริมิจากปลาที่มีไขมันสูง. **ซูริมิ : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาบด**. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 65.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. (2548) .สารให้กลิ่นโคลน. **เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ** : กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 98.

Box G, and Meyer, R. (2005) An analysis for unreplicated fractional factorials. **Technometrics**. 28 : pp.11–18.

Chen, H. H., Chiu., E. M. , and Huang. J. R..(1997). Color and gel forming properties of horse mackerel(*Trachurus japonicus*) as related to washing conditions. **J. Food Sci**. 62 : pp. 985 -991.

DPU

Dew, T. L. (2005). **Ozone Degradation of Off – Flavors in Catfish**. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of The Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. In The Department of Food Science. p. 69 .

Form, J. , and Horlyck, V. (1984). Site of Uptake of Geosmin a Cause of Earthy – Flavor in Rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Can. J. Fish Aquat. Sci**. 41 : pp.1224 – 1226.

Graham, D. M. (1997). Use of Ozone for Food Processing. **Food Technology**, 51(6) : pp.72 – 75.

Gottschalk, J. A., Libra, M. A, and Saupe, K. M. (2000). **Ozonation of Water and Waste Water**. Weinheim. New York. p.189 .

Huss, H.H. (1988). **Fresh Fish-Quality and Quality Changes**. FAO Fisheries Series no. 29. FAO/ DANIDA Training Programme on Fish Technology and Quality Control, Rome. p.132.

Jiang, S. T., Wang, Y. T. , and Chen, H. C. (1998). Lysosomal enzyme effects on the post mortem changes in tilapia (*Tilapia nilotica x T. aurea*) muscle myofibrils. **J. Food Sci**. : pp. 277 – 279.

Johnsen, P.B., and Lloyd, S. W. (1992). Influence of fat content on uptake and depuration of the off-flavors 2 methylisoborneol by channel catfish(*Ictalurus punctatus*). **Can.J. Aquat. Sci**. 49 : pp.2406 – 2411.

Johnsen , P. B., and Dionigi, C. P. (1994). **Physiological approaches to the management of off-flavors in farm-raised channel catfish, Ictalurus punctatus**. *In* : Recent developments in *catfish aquaculture.* The Harworth Press, Inc. pp.140 – 160.

Kaminski, J. C., and Prendiville, P. W. (1996). **Milwaukee's Ozone Upgrade**. Civil Engineering, September : pp.62 – 67.

Kim, J. G.,Yousef, A.E., and Daves,S.(1999). Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods. **J. of Food Protectio**n. 62 : pp.1071 – 1087.

LaShon Dew, T. (2005). **Ozone degradation of off-flavors in catfish**. A Thesis submitted to the graduate faculty of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. pp. 1- 67.

Lannelongue et. al. (1982). [online] available : http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2940/6/238170_ch3.pdf.

DPU

Lenth R. (1989). Quick and easy analysis of unreplicated factorials. **Technometrics**. 31: pp. 469–473.

Mudd, J. B., Leavith, L., Ongun A., and McManas, T.T. (1989). Reaction of ozone with amino acid and protein. **Atoms Environ**. 23 : pp.669 – 674.

Mohsin, M., Bakar and Selamat, J. (1999).The effect on colour , texture and sensory attributes achieved by washing black tilapia fresh with banana leaf ash solution. Inter. **J. Food. Sci**. and Tech. 34 : pp.359 – 363.

Ozone. (2008). [online] available:http://www.ozoneapplications.com/info/cd_vs_uv.htm) (December 20, 2008).

Ozone. (2008). [online] available : http://www.ozonesolutions.com/Ozone_Formation.html . (December 5, 2008).

Ozone. (2008). [online] available : http:// ozone.meteo.be/meteo/view/en/1547746-Formatio. (October 18, 2008).

Robertson, R. F., Jauncey, K., Beveridge, M. C. M., and Lawton, L. A. (2004) : Depuration rates and the sensory threshold concentration of geosmin responsible for earthy-musty taint in rainbow trout, *Onchorhyncush mykiss.* **J. Aquaculture**. 245: pp.89-99.

Saadoun, I. M. K., Schrader, K. S., and Blevins, W. T. (2001). Environmental and Nutritional Factors Affecting geosmin Synthesis by *Anabaena* sp.**Water Research**. 35(5) : pp.1209 – 1218.

Tameka LaShon Dew. (2005). **Ozone Degradation of Off – Flavors in Catfish**. A Thesis M.S. in the Department of Food Science. p. 69 .

Tomiyasu, H. H., Fukutomi, and Godon, G. (1985). Kinetics and Mechanisms of Ozone Decomposition in Basic Aqueous Solutions. **Inorganic Chem**. 24 : pp.2962 – 2985.

Yamprayoon, J., and Noomhorm, A. (2000). Geosmin and Off – Flavor in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **J. of Aquatic Product Tech**. 9 (2) : pp.29 - 41.

Ye K, and Hamada, M.(2000). Critical values of the Lenth's method for unreplicated factorial designs. **Journal of Quality Technology**. 32: pp.57–66

DPU

ภาคผนวก

DPU

ภาคผนวกที่ 1

วิเคราะห์ปริมาณสารให้กลิ่นโคลน geosmin โดยใช้เทคนิคโซลิด เฟส ไมโคร เอ็กแทรกชัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี / แมสสเปรกโตสโกปี (solid phase micro-extraction /gas chromatography-mass spectroscopy ; SPME – GC/MS)

1. วิเคราะห์สาร geosmin ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง ตามวิธีของ สมชาย หวังวิบูลย์กิจ (2551) วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.1 **วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี**

- สารละลายมาตรฐาน geosmin (sigma)

  รายละเอียด Certificate of analysis ของสารให้กลิ่นโคลน geosminมาตรฐาน แสดงใน ตารางภาคผนวกที่ 1.1
- โซเดียมคลอไรด์ (เกรดวิเคราะห์)
- เมทานอล (เกรดวิเคราะห์)
- deionized water
- เครื่อง gas chromatograph / mass spectrophotometry พร้อมคอมพิวเตอร์ ประมวลผลวิเคราะห์ แสดงดัง ภาพภาคผนวกที่ 1.1 (ก)
- ถังแก๊สฮีเลียมบริสุทธิ์ แสดงดัง ภาพภาคผนวกที่ 1.1(ข)
- column SPME (solid phase micro-extraction) supelco 57330-u USA
- SPME fiber divinylbenzen/carboxen/polydimethyl siloxane supelco 57550-u USA
- Micropipette
- ขวดแก้ว vial สีชา พร้อมฝาที่มี septum
- เครื่องบดละเอียดตัวอย่าง
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง

DPU

1.2 **เตรียมกราฟและสมการความเข้มข้นมาตรฐานของ geosmin โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph / mass spectrophotometry** ดังนี้

- นำสารละลายมาตรฐาน geosmin (sigma) ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่มี methanol เป็นตัวทำละลาย
- เตรียมสารละลายมาตรฐาน geosmin ให้ได้ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัม/ลิตร เจือจางด้วย deionized water ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน geosmin 0, 10,20, 30,40, 60, 80, และ 100 ไมโครกรัม/ลิตร
- ใช้ micropipette ดูดสารละลายมาตรฐาน geosmin แต่ละความเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้ว vial สีชา ขนาดปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาที่มี septum
- ก่อนการวิเคราะห์เติมโซเดียมคลอไรด์(เกรดวิเคราะห์) 5 กรัม นำไปสกัดด้วย column SPME (solid phase micro-extraction) supelco 57330-u USA โดยใช้ SPME fiber divinylbenzen/carboxen / polydimethyl siloxane supelco 57550-u USA ที่อุณหภูมิ 60 ^{O}C เป็นเวลา 30 นาที พร้อมทั้งกวนสารละลายตลอดเวลาการสกัด
- นำก๊าซที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ทันที ด้วยเครื่อง GC/MS Agilent technologies 6890N network GC system/ Agilent technologies 5973 network mass selective detector โดยใช้ column HP-5 (30m × 0.25mm ID × 0.25 μm)
- ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นในการวิเคราะห์ที่ อุณหภูมิ 40 ^{O}C เป็นเวลา 6.13 นาที เพิ่มอุณหภูมิ เป็น 200 ^{O}C โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20 ^{O}C / นาที หลังจากนั้น เพิ่มอุณหภูมิเป็น 250 ^{O}C โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 10 ^{O}C / นาที
- นำค่าข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปสร้างกราฟและคำนวณหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน geosmin กับ corrected area เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณ geosmin ในตัวอย่างที่วิเคราะห์

1.3 **วิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph / mass spectrophotometry**

- นำเนื้อปลาสวายโมงที่สุ่มมาจากการทดลอง และเก็บรักษาแช่แข็งก่อนนำมาวิเคราะห์

DPU

- ชั่งน้ำหนักเนื้อปลาสวายโมงแล่ 10 กรัม บดให้ละเอียด เติม methanol 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย deionized water ให้ได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้ว vial สีชา ขนาดปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาที่มี septum
- ก่อนการวิเคราะห์เติม NaCl 5 กรัม และนำไปสกัดด้วย column SPME
- วิเคราะห์ปริมาณสารด้วยเครื่องgaschromatograph/mass spectrophotometry ตามวิธีการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน geosmin นำข้อมูลที่วิเคราะห์ไปคำนวณปริมาณ geosmin โดยเปรียบเทียบกับกราฟและสมการความเข้มข้นมาตรฐานของ geosmin (ภาพภาคผนวกที่ 1.2)

(ก)

(ข)

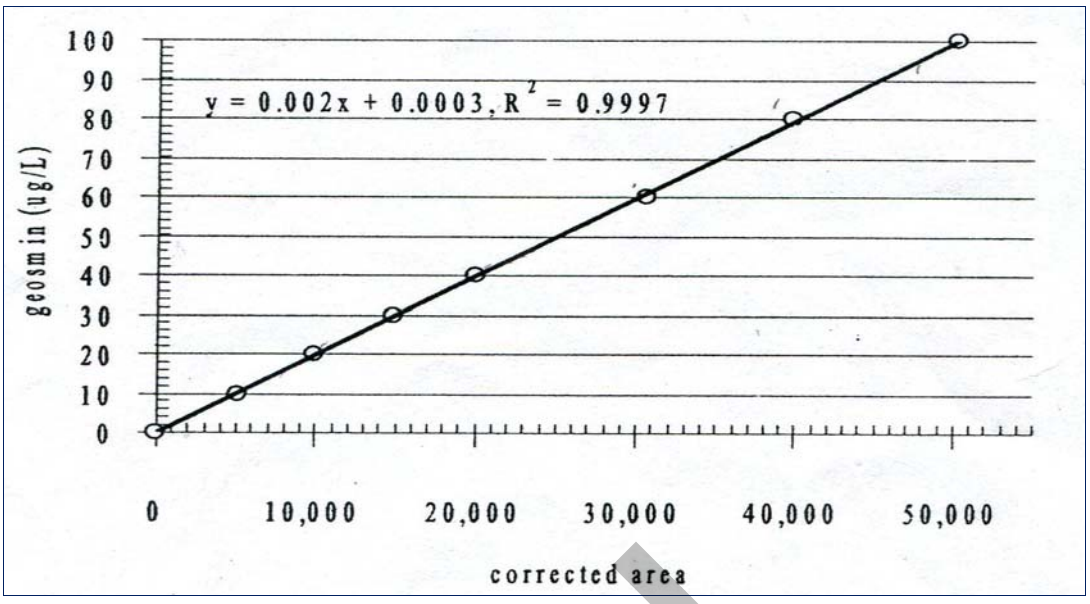
ภาพภาคผนวกที่ 1.1 (ก) ชุดอุปกรณ์ GC/MS และ (ข) ถังแก๊สฮีเลียมบริสุทธิ์

DPU

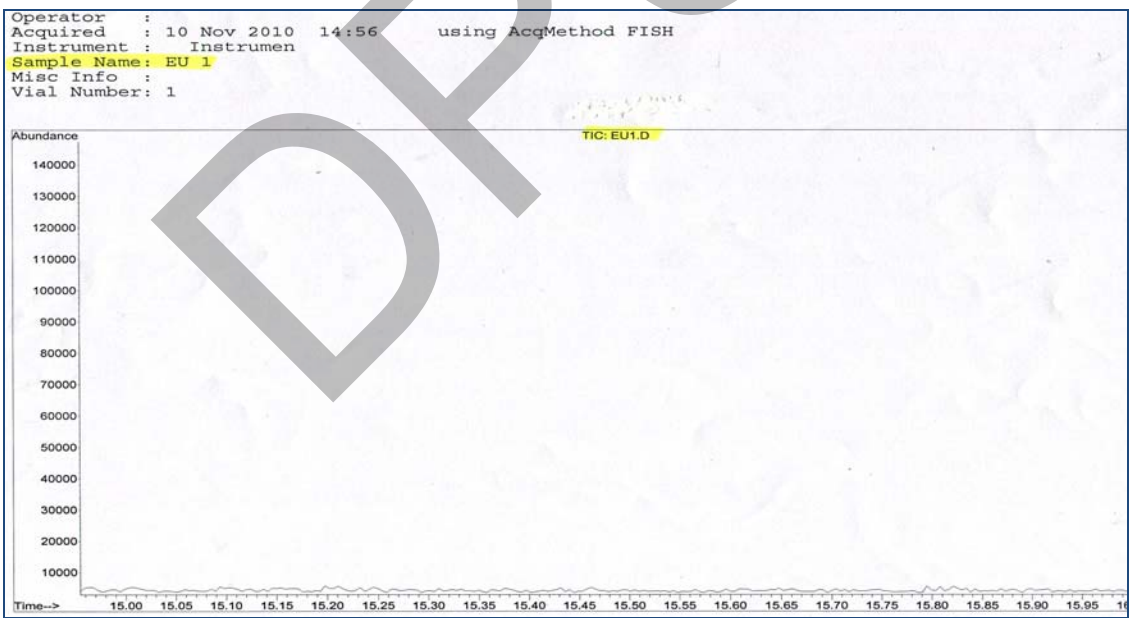
ตารางภาคผนวกที่ 1.1 certificate of analysis (COA) ของสารให้กลิ่นโคลน geosmin มาตรฐาน

Product name	(±) – geosmin ; ≥ 97%	
Product number	G5908	
Product brand	Aldrich	
Molecular formula	$C_{12}H_{22}O$	
Molecular mass	182.30	
CAS number	16423-19-1	
TEST	SPECIFICATION	LOT BCBB1829 RESULTS
Appearance (color)	colorless	colorless
Appearance (form)	Clear liquid	Clear liquid
Purity (GC AREA%)	97% (minimum)	97.1%
GC (method)	--	Dimethylpolysiloxane (30 M × 0.32MM×0.25μM), NEAT
Proton NMR spectrum	Conforms to structure	conforms
remarks	--	2 mg/Ml in methanol
QC release date	27/October/2009	--
Recommentded retest date	September/2015	--

DPU

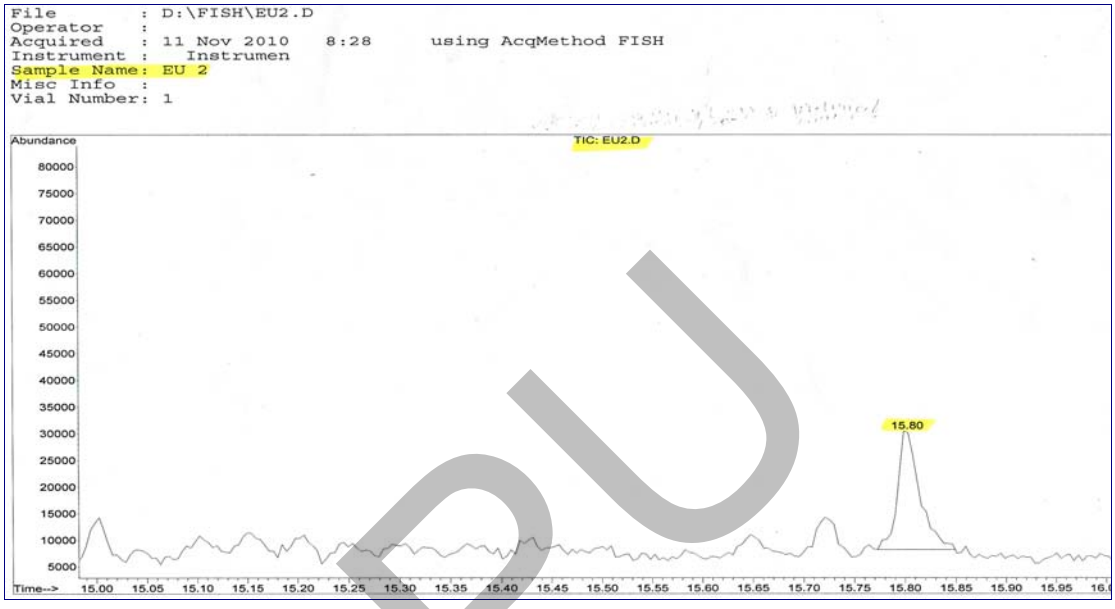


ภาพภาคผนวกที่ 1.2 ความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับปริมาณสาร geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SPME-GC/MS



DPU

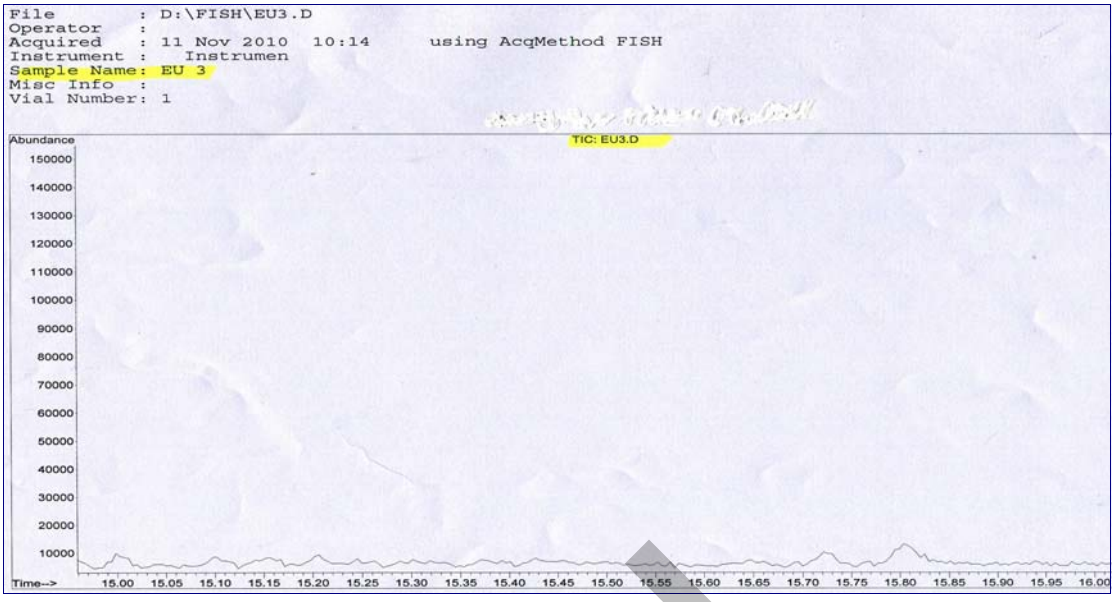
ภาพภาคผนวกที่ 1.3 SPME - GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลของสารละลายโอโซน 200 มิลลิกรัม



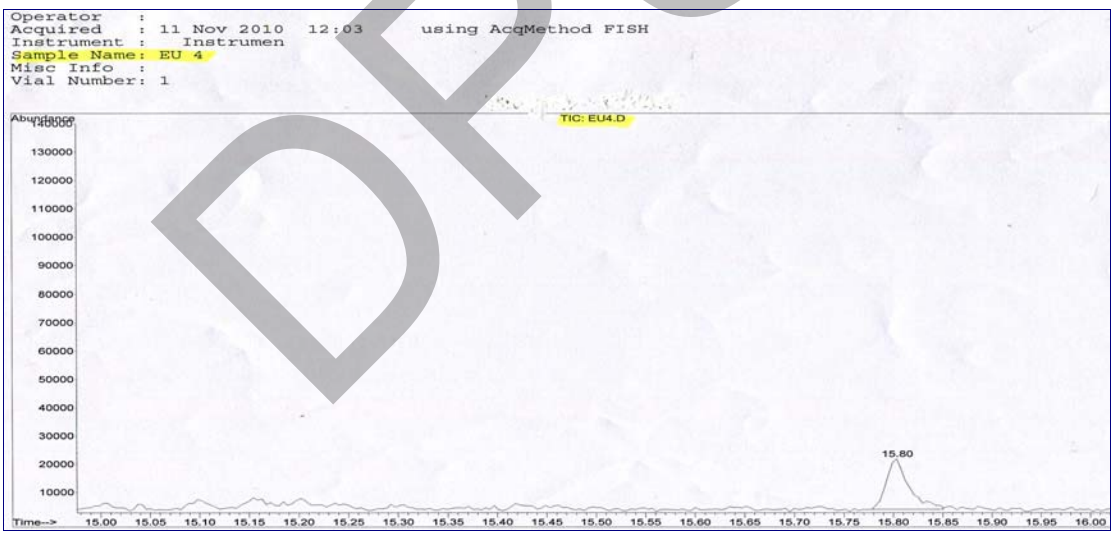
ภาพภาคผนวกที่ 1.4 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 200 มิลลิกรัม+ เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3%+ NaCl 5%

หมายเหตุ : ณ เวลาที่ 15.80 ไม่ใช่สาร geosmin

DPU



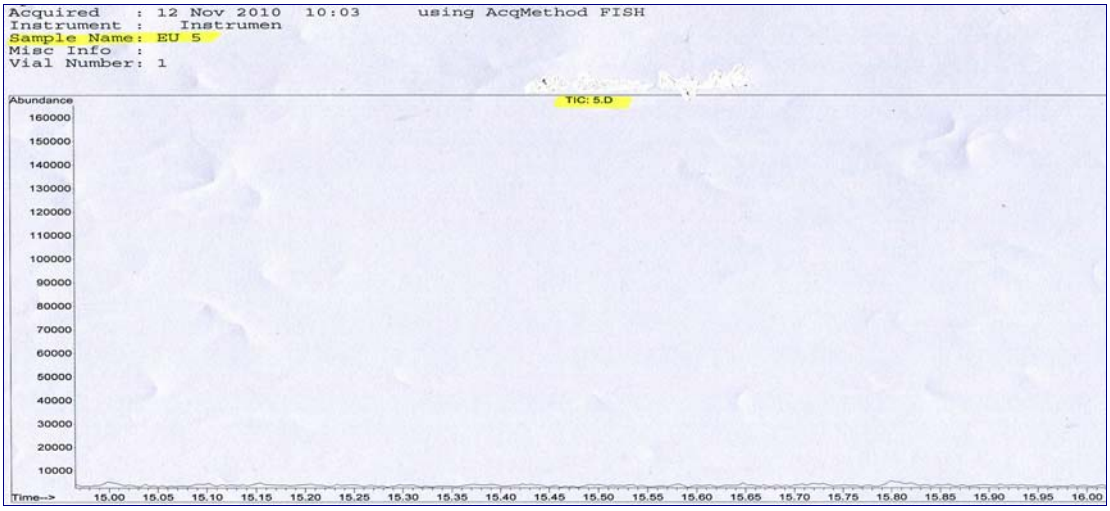
ภาพภาคผนวกที่ 1.5 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 200 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3% + NaCl 5%



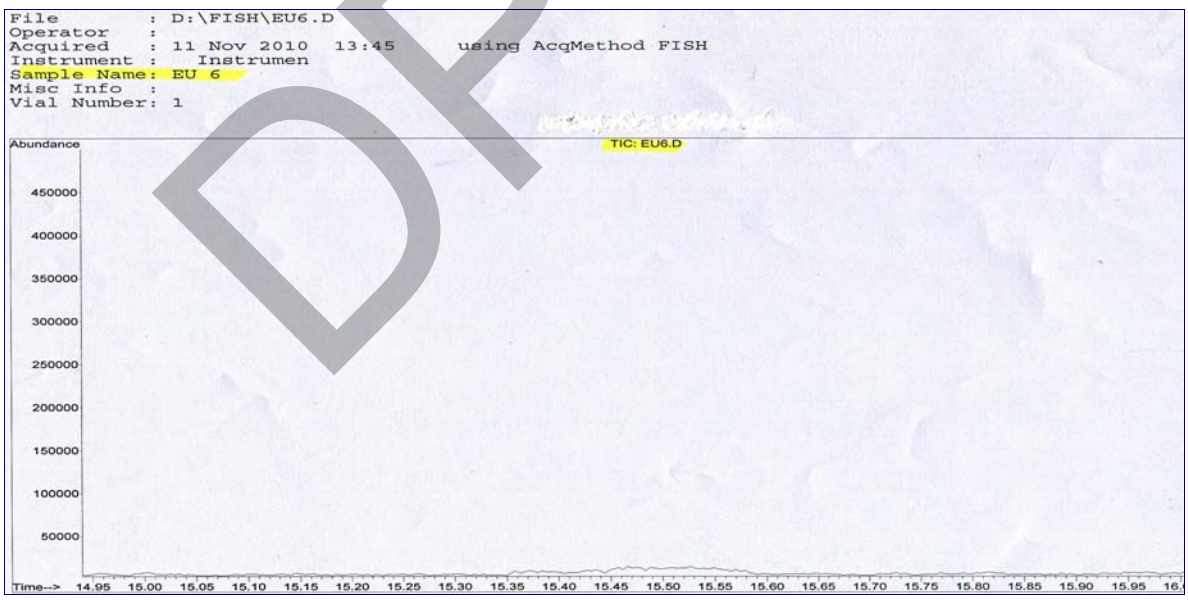
ภาพภาคผนวกที่ 1.6 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 400 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 5%

หมายเหตุ : ณ เวลาที่ 15.80 ไม่ใช่สาร geosmin

DPU

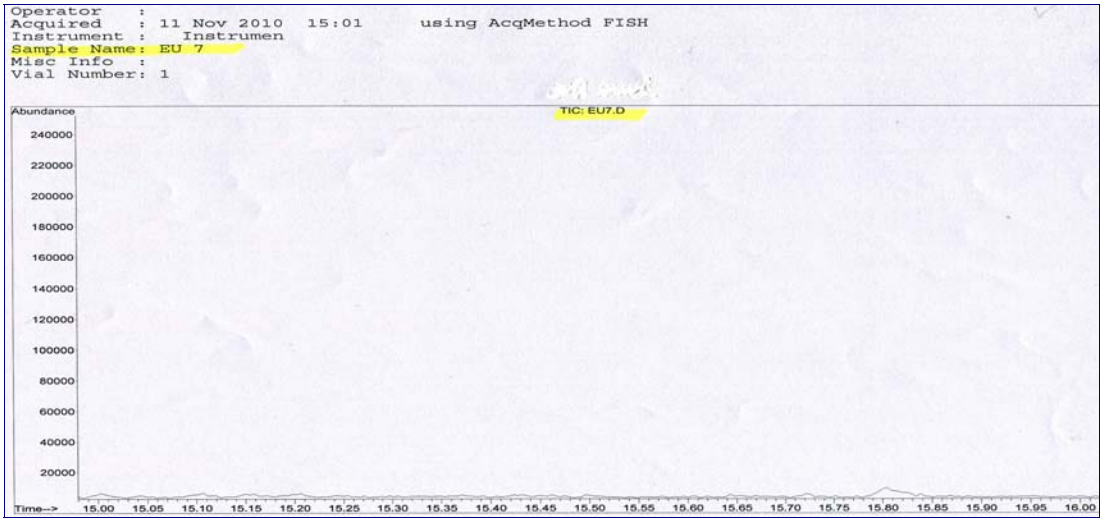


ภาพภาคผนวกที่ 1.7 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลของสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3%

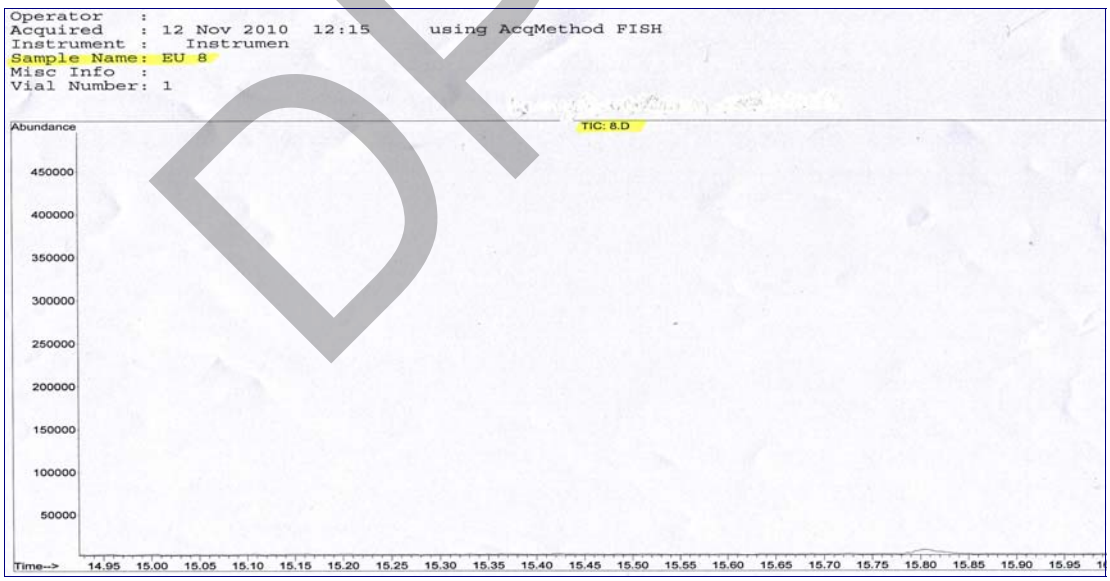


ภาพภาคผนวกที่ 1.8 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลาย เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 5% + NaCl 5%

DPU

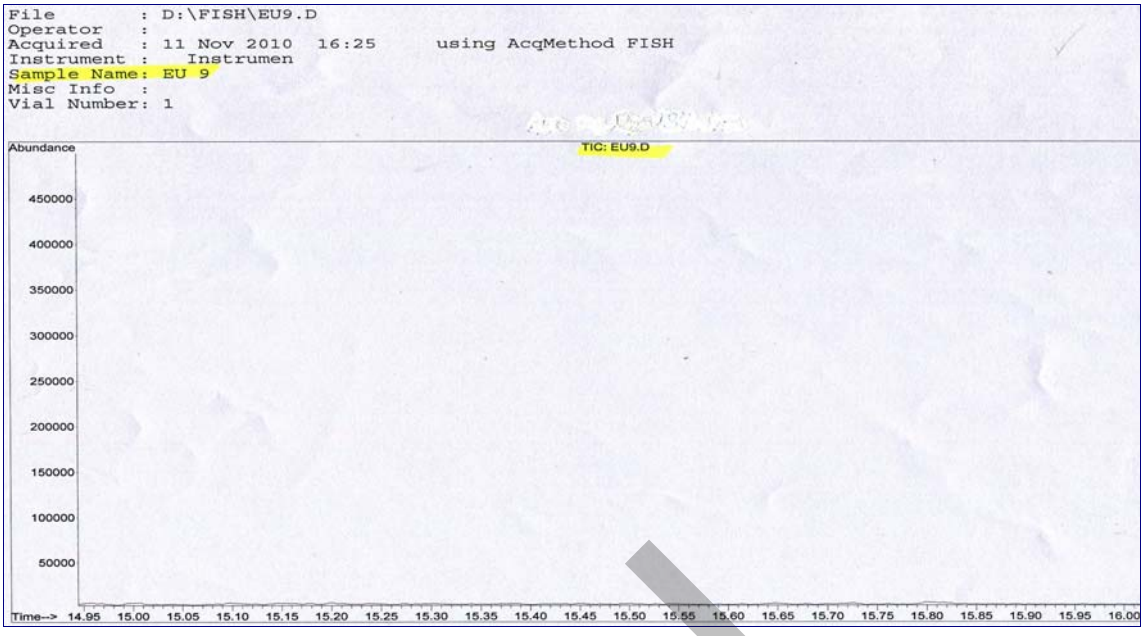


ภาพภาคผนวกที่ 1.9 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลาย NaCl 3%



ภาพภาคผนวกที่ 1.10 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 400 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3% + NaCl 3%

DPU



ภาพภาคผนวกที่ 1.11 SPME-GC/MS chromatogram ของสาร geosmin (ตรวจไม่พบ) ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ล้างด้วยอิทธิพลร่วมระหว่างสารละลายโอโซน 400 มิลลิกรัม + เถ้าใบกล้วยน้ำว้า 3%

DPU

ภาคผนวกที่ 2

การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า เพื่อใช้ในการแช่-ล้างเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

1. การเตรียมสารละลายเกลือแกง ความเข้มข้น 3% และ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

1.1 นำเกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ (เกรดอาหาร) 3 กรัม และ 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จนหมด

1.2 วัดพีเอชของสารละลาย ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท

2. การเตรียมสารละลายเถ้าจากใบกล้วยน้ำว้า ความเข้มข้น 3% และ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ดัดแปลงตามวิธีการ ของ วรพงษ์ นลินานนท์, 2545 : หน้า 63. ดังนี้คือ ใช้น้ำคุณภาพน้ำดื่ม แทนน้ำกลั่นที่ใช้ในการละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า

2.1 นำใบกล้วยน้ำว้าสด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80°C

2.2 นำไปเผาไล่ควันด้วยเตาไฟ เก็บเถ้าที่ได้ใส่ในถ้วยครูซิเบิล (crucible) แล้วเผาซ้ำในเตาเผา (buffer furnace) ที่อุณหภูมิ 500 ^{O}C นาน 3 ชั่วโมง

2.3 นำเถ้าที่ได้ 3 กรัม และ 5 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

2.4 กรองเอาเฉพาะส่วนใสด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

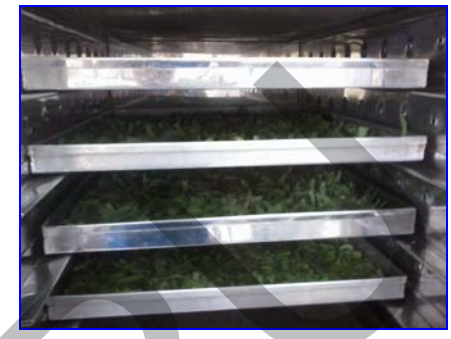
2.5 วัด pH และอุณหภูมิสารละลายเถ้าใบกล้วยที่ได้

(แสดงเพิ่มเติม ในภาพภาคผนวกที่ 2.1 – 2.4 หน้าถัดไป)

DPU

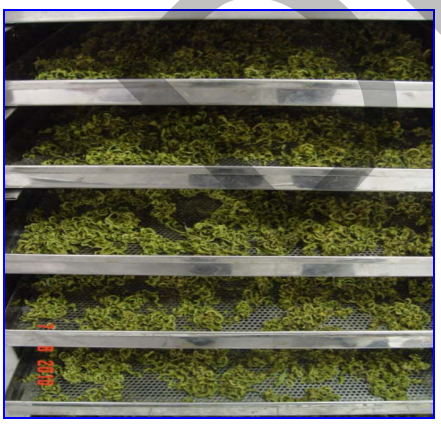
ใบกล้วยน้ำว้าสดแก่จัด จากนั้น หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ กระจายลงในถาดพร้อมสำหรับอบแห้ง

⇓



เข้าตู้อบแห้งแบบถาด อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส นานประมาณ 6 ชั่วโมง

⇓



ได้ใบกล้วยหลังอบแห้ง เก็บเข้าถุงกันความชื้น ปิดให้สนิทเพื่อป้องกันอากาศและความชื้น

ภาพภาคผนวกที่ 2.1 ขั้นตอนการอบแห้งใบกล้วยน้ำว้า

ที่มา : ดัดแปลงวิธีการของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)

DPU

นำใบกล้วยน้ำว้าหลังอบ มาเผาไล่ควันด้วยเปลวไฟให้ทั่วถึง

⇓

เผาจนได้ใบกล้วยดำแบบหยาบ

⇓

ให้ความร้อนซ้ำด้วยเตาแก๊ส พร้อมกับกวนไปเรื่อยจนหมดเขม่า

(สังเกตเถ้าดำเปลี่ยนเป็นสีเทาขาว)

ภาพภาคผนวกที่ 2.2 ขั้นตอนการเผาใบกล้วยน้ำว้าและการเตรียมเถ้าใบกล้วยน้ำว้าแบบหยาบ

ที่มา : ดัดแปลงวิธีการของ วรพงษ์ นลินานนท์(2545)

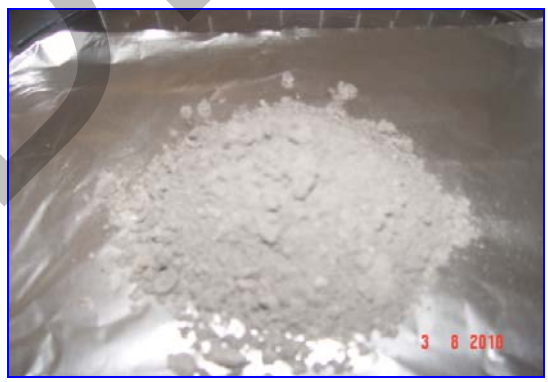
DPU

เถ้าใบกล้วยน้ำว้าแบบหยาบ หลังเผาไล่ควันจนหมด บรรจุลงในถ้วยครูซิเบิล (crucible bowl)

⇓

เผาซ้ำอีกครั้งในเตาเผา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

⇓

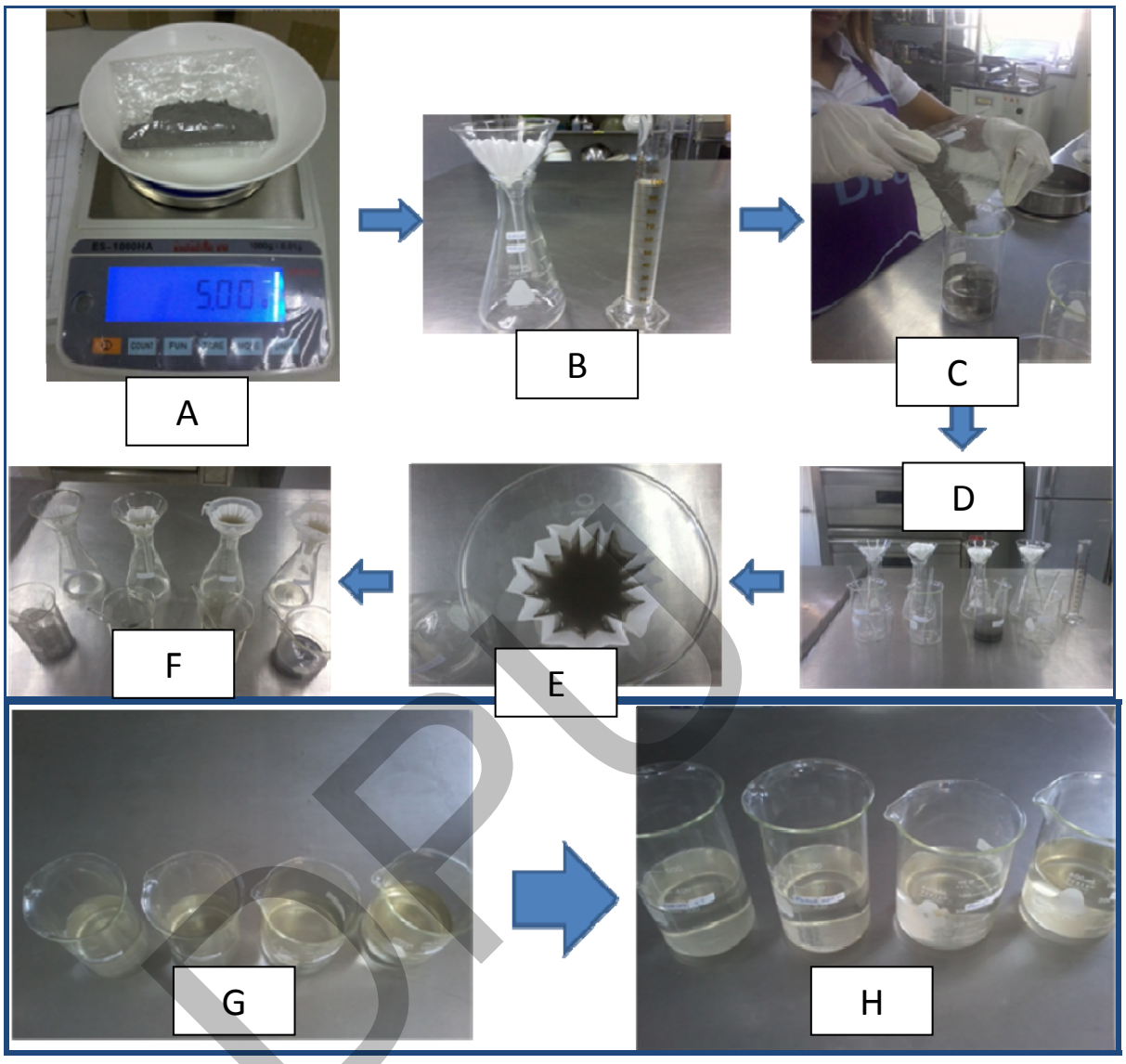


เถ้าใบกล้วยน้ำว้าที่ได้ จากนั้น บรรจุในภาชนะที่แห้ง สะอาด และปิดฝาให้แน่น

ภาพภาคผนวกที่ 2.3 ขั้นตอนการเตรียมเถ้าใบกล้วยน้ำว้าผงพร้อมใช้งาน

ที่มา : ดัดแปลงวิธีการของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)

DPU



A ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของเถ้าใบกล้วยน้ำว้า

B – F กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

G ได้สารละลายไม่ใสมาก

H กรองซ้ำอีก จนได้สารละลายใสพร้อมใช้งาน

ภาพภาคผนวกที่ 2.4 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า

ที่มา: ดัดแปลงวิธีการของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)

DPU

ภาคผนวกที่ 3

การวัดค่าสี และความขาว

3.1 **เครื่องมือและอุปกรณ์**

เครื่องวัดค่าสีระบบ Hunter Lab ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan XE plus

(ภาพผนวกที่ 3.1 หน้าถัดไป)

3.2 **การเตรียมตัวอย่าง**

3.2.1 นำตัวเนื้อปลาสวายโมงแล่ เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 3×3 ตารางเซนติเมตร หนาประมาณ 1 เซนติเมตร ใส่ถ้วยจนไม่เหลือช่องว่างที่ก้นถ้วย (ภาพผนวกที่ 3.1 หน้าถัดไป)

3.3 **วิธีการ**

2.3.1 เปิดเครื่อง

2.3.2 standardize เครื่องโดยใช้ standard white plate และ standard black plate

2.3.3 วัดค่าตัวอย่างอ้างอิง และกำหนดค่าต่างๆ ของตัวอย่าง อ่านค่า L* a* และ b*

3.4 **การคำนวณหาค่าความขาว (whiteness)**

$$\text{whiteness} = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

ค่า L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าระหว่าง 0(สีดำ) – 100 (สีขาว)

ค่า a^* คือ ค่าบวก (+) แสดงค่าสีแดง ค่า a^* คือ ค่าลบ (-) แสดงค่าสีเขียว

ค่า b^* คือ ค่าบวก (+) แสดงค่าสีเหลือง ค่า b^* คือ ค่าลบ (-) แสดงค่าสีน้ำเงิน

DPU

ภาพภาคผนวกที่ 3.1 การวัดค่าสี และความขาว ด้วยเครื่องวัดสี

DPU

ภาคผนวกที่ 4

การวัดเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

4.1 อุปกรณ์

เครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ LLOYD plus รุ่น CF2430

4.2 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างปลาสวายโมง แล่แบบ single fillet แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนติดกับหัว ส่วนตรงกลาง และส่วนหาง

4.3 วิธีการ

4.3.1 เปิดเครื่อง texture analyzer

4.3.2 เปิดคอมพิวเตอร์ และเปิด console

4.3.3 กดปุ่ม insert new test

4.3.4 เลือก test type เป็น food กด next

4.3.5 เลือก texture profile analysis setup กด finish

4.3.6 ลากกรอบ texture profile analysis setup ออกมาไว้ด้านข้าง ดับเบิลคลิกในกรอบ texture profile analysis setup และกรอกชื่อตัวอย่าง

4.3.7 คลิกขวา กด advance และกรอกข้อมูลในกรอบ advance ดังนี้ แล้วกด OK

- test speed 50 mm/min
- trigger 0.1 kgf
- samples compressed by 10%

4.3.8 ต่อ probe (ใช้หัวโพรบแบบ blade ที่มีความกว้าง 5.5 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร) เข้ากับ load cell

4.3.9 กด console ให้เป็นศูนย์

4.3.10 กดปุ่ม start และกด OK รอให้เครื่องวัดระยะให้เสร็จ

4.3.11 วางตัวอย่าง กด OK

DPU

4.3.12 อ่านค่า hardness (N), cohesiveness, springiness (m) และ fracture force (kgf) ดังแสดงวิธีการวัดใน ภาพภาคผนวกที่ 4.1

ภาพภาคผนวกที่ 4.1 การวัดเนื้อสัมผัสเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง

DRAFT

ภาคผนวกที่ 5

แบบฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนแบบ scoring test ด้านกลิ่นโคลนในเนื้อปลาสวายโมงแล่เป็นชิ้น

ชื่อผู้ทดสอบ……ว/ด/ป…….

คำชี้แจง : การฝึกฝนเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโคลนในเนื้อปลาสวายโมง (*Pangasius* sp.) แล่เป็นชิ้น ผู้ทดสอบจะต้องทำตามขั้นตอน 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ดมกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานของกลิ่นโคลน geosmin มาตรฐานจากขวด vial
2. ดมกลิ่นโคลนตัวอย่างมาตรฐานของเนื้อปลาที่ไม่มีกลิ่นโคลนจริง
3. ดมกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานของเนื้อปลาที่มีกลิ่นโคลน geosmin จริง

โดยในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ผู้ทดสอบไม่ต้องมีการให้คะแนน

คะแนนความเข้มของกลิ่นโคลน มีดังนี้

คะแนน 0-2 หมายถึงไม่มีกลิ่นโคลน

คะแนน 3-4 หมายถึงมีกลิ่นโคลนเล็กน้อย

คะแนน 5-6 หมายถึงมีกลิ่นโคลนปานกลาง

คะแนน 7-8 หมายถึงมีกลิ่นโคลนค่อนข้างมาก

คะแนน 9-10 หมายถึงมีกลิ่นโคลนมากที่สุด

เมื่อดมกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานจากขวด vial เสร็จแล้ว ให้พักจมูกสักครู่ก่อนจะทดสอบตัวอย่างจริง ระหว่างนี้จะไม่กลับมาดมกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานจากขวด vial และตัวอย่างเนื้อปลาที่มีไม่มีกลิ่นโคลนอีก แล้วให้คะแนนความเข้มตามลักษณะกลิ่น

ความเข้มของกลิ่นตัวอย่างเนื้อปลาสวายโมงที่มีกลิ่นโคลน ……..……..คะแนน

ข้อเสนอแนะ

……

……

……

DPU

ภาคผนวกที่ 6

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนแบบ scoring test ด้านกลิ่นโคลน geosminในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

ชื่อผู้ทดสอบ…….ว/ด/ป……..…….

คำชี้แจง : การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นโคลนในเนื้อปลาสวายโมงแล่เป็นชิ้น ผู้ทดสอบจะต้องดมกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานก่อนการทำดมกลิ่นตัวอย่างที่มีกลิ่นโคลนจริงหลังจากผ่านการ treatment แล้ว โดยที่คะแนนความเข้มของกลิ่นโคลน มีดังนี้

คะแนน 0 - 2 หมายถึงไม่มีกลิ่นโคลน
คะแนน 3 - 4 หมายถึงมีกลิ่นโคลนเล็กน้อย
คะแนน 5 - 6 หมายถึงมีกลิ่นโคลนปานกลาง
คะแนน 7 - 8 หมายถึงมีกลิ่นโคลนค่อนข้างมาก
คะแนน 9 -10 หมายถึงมีกลิ่นโคลนมากที่สุด

เมื่อดมกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานเสร็จแล้ว ให้พักจมูกสักครู่ก่อนจะทดสอบตัวอย่างจริง ระหว่างนี้จะไม่กลับมาดมกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานอีก แล้วให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มตามลักษณะกลิ่น

รหัสตัวอย่าง	……	……	……	……	……	……	……	……	……
คะแนน									

ข้อเสนอแนะ

……

…….....……...……

……

DPU

ภาคผนวกที่ 7

แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนแบบ Hedonic Scale -9-Points ด้านเฉพาะกลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็งที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันเดือนปี.....

คำชี้แจง : โปรดอ่านคำอธิบายความหมายและคำอธิบายของแต่ละคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสต่อไปนี้ หลังจากนั้น กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ให้ดื่มน้ำสะอาดและพักจมูกระหว่างดมตัวอย่างถัดไป จากนั้น บันทึกคะแนนการประเมินแต่ละคุณลักษณะลงในช่องว่างในตารางที่กำหนดให้ (หน้าถัดไป)

คะแนนการประเมินผล

9	=	ชอบมากที่สุด	4	=	ไม่ชอบเล็กน้อย
8	=	ชอบมาก	3	=	ไม่ชอบปานกลาง
7	=	ชอบปานกลาง	2	=	ไม่ชอบมาก
6	=	ชอบเล็กน้อย	1	=	ไม่ชอบมากที่สุด
5	=	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ			

รายละเอียดเพิ่มเติม (ดัดแปลงจาก มกอช. 7014 – 2548 เรื่อง ปลาแล่เยือกแข็ง)

กลิ่น	หมายถึง	ไม่มีกลิ่นโคลน geosmin ไม่มีกลิ่นอับ ไม่มีกลิ่นคาว
กลิ่นรส	หมายถึง	กลิ่นตามธรรมชาติของปลา ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม กลิ่นหมักกลิ่นหืน
สี	หมายถึง	เนื้อสีขาวนวลไม่คล้ำ เป็นเงา
เนื้อสัมผัส	หมายถึง	นุ่ม เนื้อแน่น ไม่แห้งแข็งกระด้าง ไม่เหนียวติดกัน ไม่ฉ่ำและไม่เป็นเจลเยิ้ม

DPU

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่กำหนด	คะแนนประเมินทางประสาทสัมผัส									
	รหัสตัวอย่าง									
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1. สี (color)										
2. กลิ่น (odor)										
3. กลิ่นรส (flavor)										
4. เนื้อสัมผัส (texture)										
5. ความชอบรวม (overall acceptance)										

ข้อเสนอแนะ .....

DPU

ภาคผนวกที่ 8

ภาพวัสดุอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลองบางส่วน

ภาพภาคผนวกที่ 8.1 ตู้แช่แข็งที่ใช้ตลอดการทดลอง ยี่ห้อ SANYO รุ่น ควบคุมอุณหภูมิแช่แข็งได้ต่ำสุด -40 องศาเซลเซียส

ภาพภาคผนวกที่ 8.2 micropipette syringe และ เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลแบบปลายแหลม ที่ใช้ในการทดลอง

DPU

ภาพภาคผนวกที่ 8.3 ไมโครเวฟ (ยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น combi CE1160) ที่ใช้ในการให้ความร้อนเนื้อปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง กำลังไฟ 450 วัตต์

ภาพผนวกที่ 8.4 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ inoLab pH 720 รุ่น WTW

DPU

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อภาษาไทย นายปิยะวิทย์ ทิพรส

ชื่อภาษาอังกฤษ MR. PIYAVIT THIPBHAROS

วันเดือนปีเกิด 11 มีนาคม 2516 ปีฉลู

ภูมิลำเนาเกิด 22 หมู่ที่ 2 บ้านคกเลาเหนือ ตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย 42110

ที่อยู่ปัจจุบัน 88/190 หมู่บ้านเฟื่องสุข 3 หมู่ที่ 5 ถนนกาญจนาภิเษก – วงแหวนตะวันตก ซอยวัดศรีเขตนันทาราม (ร.ร.สารสาสน์วิเทศบางบัวทอง) ตำบลลำโพ อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110

คุณวุฒิปริญญาตรี

วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรและอุตสาหกรรม
สถาบันราชภัฏจันทรเกษม

คุณวุฒิปริญญาโท

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.)
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งงานปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ โทรศัพท์ 02 – 954 - 7300 – 29 ติดต่อภายใน 458 โทรศัพท์มือถือ 089 – 812 – 8727
โทรสาร 02 – 954 - 7911

E-mail address : piyavit.thi@dpu.ac.th ; piyavit11@hotmail.com

DPU

ประวัติการได้รับทุนวิจัย และ/หรือทุนนำเสนอผลงานวิจัย

1. ปิยะวิทย์ ทิพรส. 2553. "*Comparisons of Effects for Reducing Geosmin Tainted Off-Flavor and Physical Qualities in Frozen Thai Panga (Pangasius* sp.*) Fish Fillets"* ในงานการประชุมนานาชาติ Proceedings of the 6th IMT-GT Conference on Mathematics, Statistics, and Its Applications (ICMSA 2010) วันที่ 3 – 4 พฤษจิกายน 2553 โรงแรม แกรนด์ ซีซัน ประเทศมาเลเซีย
2. ปิยะวิทย์ ทิพรส และ ญาณี จินดามัง. 2552. *ตัวของสารสีแอนโทไซยานินจากกากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง (Hibiseus sabbariffa* Linn.*) ในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน*. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (Industrial and Research Projects for Undergraduate Students) หรือ IRPUS
3. ปิยะวิทย์ ทิพรส. 2551. *อิทธิพลของสารละลายโอโซน เถ้าใบกล้วย และโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการลดกลิ่นโคลนจืออสมิน และเพิ่มความขาวของปลาสวายโมงแล่แช่แข็ง*. ทุนส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
4. เรืองศรี ชีพเป็นสุข สุชาดา ไม้สนธิ์ และปิยะวิทย์ ทิพรส. 2547. *การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และกระบวนการผลิตน้ำพริกแจ่วบองในเคหะชุมชนร่มเกล้า โซน 9 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร*. ทุนจากฝ่ายพัฒนาชุมชนเข้มแข็ง สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สกว.)
5. ปิยะวิทย์ ทิพรส. 2544. *การใช้มอลโทเดกซ์ทรินร่วมกับซูโครสเพื่อขจัดน้ำออกจากเนื้อเยื่อสับปะรดด้วยวิธีออสโมซีส*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ทุนสนับสนุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

1. ปิยะวิทย์ ทิพรส. 2552. *ความคงตัวของสารสีแอนโทไซยานิน จากกากกลีบกระเจี๊ยบแดง (Hibiseus sabbariffa* Linn.*) ในผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูน* ในหนังสือรวบรวมผลงานโครงการที่ได้รับทุนโครงการ IRPUS ประจำปี 2552 ISBN 978-974-456-713-0.
2. ปิยะวิทย์ ทิพรส. 2553. "*Comparisons of Effects for Reducing Geosmin Tainted Off-Flavor and Physical Qualities in Frozen Thai Panga (Pangasius* sp.*) Fish Fillets"* Proceedings of

DPU

the 6th IMT-GT Conference on Mathematics, Statistics, and Its Applications (ICMSA 2010) วันที่ 3 – 4 พฤษจิกายน 2553 โรงแรม แกรนด์ ซีซัน ประเทศมาเลเซีย

3. เรืองศรี ชีพเป็นสุข สุชาดา ไม้สนธิ์ และปิยะวิทย์ ทิพรส. 2547. *การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และกระบวนการผลิตน้ำพริกแจ่วบอง ในเคหะชุมชนร่มเกล้า โซน 9 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร* วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.

DPU