

บทที่ 2

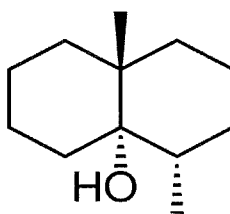
ทฤษฎี เอกสาร และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดกลิ่นโคลน geosmin ในสัตว์น้ำในช่วงที่มีชีวิต

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดหรือสัตว์น้ำกร่อยที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ บ่อยครั้งจะพบปัญหาคูณภาพผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำมีกลิ่นโคลน (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ, 2551) ซึ่งเป็นกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ส่งผลกระทบต่อ การนำสัตว์น้ำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมแปรรูป เนื่องจาก ทำให้เกิดการไม่ยอมรับของผู้บริโภค สัตว์น้ำในต่างประเทศที่เคยพบปัญหาดังกล่าว ได้แก่ ปลาบรึม ปลาหมอสี ปลาแคตปลา ปลาซัลมอน ปลาเรนโบว์เทราท์ ปลาเลคเฮอร์ริง ปลาคาร์พ หอยกาบคู่ เป็นต้น (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545 และ สมชาย หวังวิบูลย์กิจ, 2551) ส่วนปลาหมอสีเป็นปลาที่มีการศึกษาปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนจากสาร geosmin กันมาก เนื่องจากเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นิยมเลี้ยงกันมากในหลายมลรัฐทางภาคใต้ของสหรัฐอเมริกา ในบ่อเลี้ยงที่เนื้อปลามีกลิ่นโคลนราคาปลาจะต่ำกว่าปกติมาก สำหรับสัตว์น้ำในประเทศไทยที่พบว่ามี การเกิดกลิ่นโคลนบ่อยครั้ง 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) มีสมบัติทั่วไปคือ ละลายในไขมันได้ดี ไม่ชอบน้ำสูง เป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ชนิดตติยภูมิที่อิ่มตัวระเหยได้ (volatilable saturated cyclic tertiary alcohol) เป็นสารแปลกปลอมสำหรับสิ่งมีชีวิต โดยกระจายตัวและสะสมในเนื้อเยื่อที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายจะขับออกได้ยาก จึงก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำ (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545) สังเคราะห์ขึ้นโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) สกุล *Oscillatoria* sp., *Mycrocystis*

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



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

ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสาร geosmin

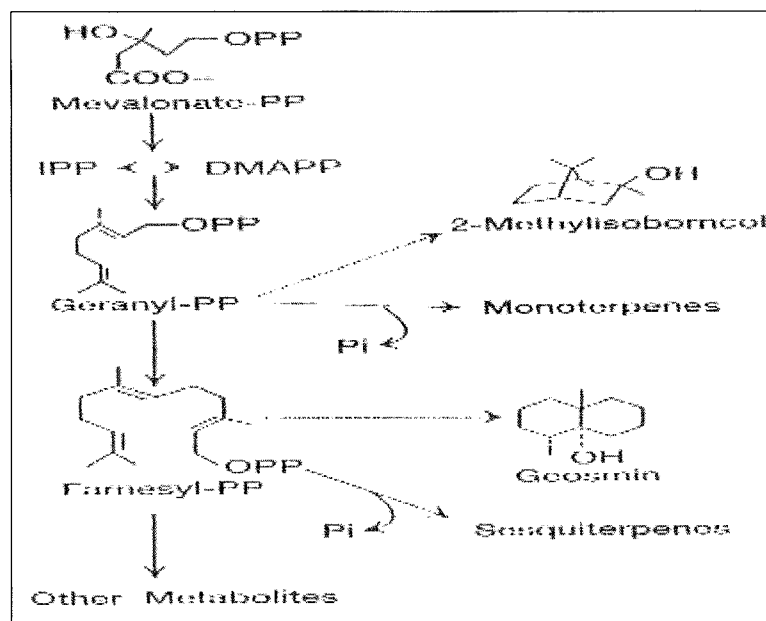
ที่มา : geosmin structure [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก
[www. commons.wikimedia.org/wiki/File:geosmin_minus...](http://www.commonswikimedia.org/wiki/File:geosmin_minus...)

2.2 สมบัติทางชีวภาพของสารที่ให้กลิ่นโคลน geosmin

สารให้กลิ่นโคลน geosmin เป็นผลิตภัณฑ์เมตาบอไลต์ ที่เรียกว่า “ secondary metabolite product” จากปฏิกิริยาเมตาบอลิซึม ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางชีวภาพในวิถีเทอร์พีน (terpene pathway) ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และขั้นตอนการเกิดโฟโตซีเรียล (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 ซึ่งในช่วงเวลาหลังฝนตกจุกคนเราสามารถตรวจจับกลิ่นนี้ได้ด้วยความเข้มข้นต่ำ (threshold) ถึง 0.1 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (0.1 ไมโครกรัม/กิโลกรัม = 0.1×10^{-6} กรัม/ลิตร) ในอากาศ และ 0.02 ไมโครกรัม/

กิโกลัมในน้ำ จากตัวกลางในวิถีเทอร์พีน (terpene pathway) เชื่อว่าสาร geosmin สร้างขึ้นจากสารประกอบฟานิลซิล – ไพโรฟอสเฟต (farnesyl – pyrophosphate) (ภาพที่ 2.2) เมื่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญเพิ่มจำนวนบริเวณพื้นผิวน้ำ และรอบข้างของบ่อเลี้ยงจะรวมตัวกันอย่างหนาแน่น (dense aggregations) ทำให้การส่องผ่านของแสงแดดลงสู่ด้านล่าง มีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิดอื่นๆ ที่ผลิตออกซิเจนในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง จึงส่งผลต่อปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนในน้ำและสัตว์น้ำ (วรวงษ์ นลินานนท์ และคณะ, มปป.) และมีรายงานว่าในพื้นที่โคลนหรือตะกอนดินและเศษซากของพืชสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่กำลังถูกย่อยสลายมีจุลินทรีย์กลุ่มแอคทีโนมัยซีต (actenomyces) อยู่เป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 2.2 วิธีการสังเคราะห์สารให้กลิ่นโคลน geosmin และ 2-MIB

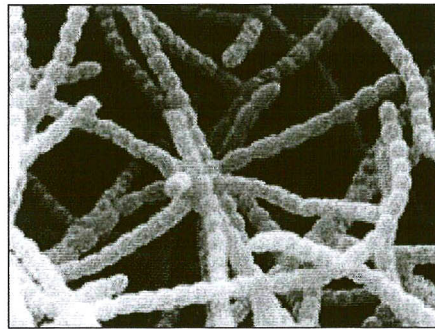
IPP = isopentenyl pyrophosphate ; Pi = inorganic phosphate

DMAPP = dimethylallyl pyrophosphate

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

จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถผลิตสาร geosmin ได้ โดยใช้สารอินทรีย์ที่ทับถมอยู่ในบ่อเลี้ยงเป็นอาหาร โดยเฉพาะสกุล *Streptomyces* sp. ซึ่งเป็นสกุลใหญ่ที่สุดของกลุ่มแบคทีเรียแอคทีโนมัยซีต

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



ภาพที่ 2.3 แบคทีเรียกลุ่มแอคทีโนมัยซีต สกุล *Streptomyces* sp.

ที่มา : *Streptomyces* sp. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

www.electron.rmutphysics.com/science-news/ind... สืบค้น

ใน www.google.com

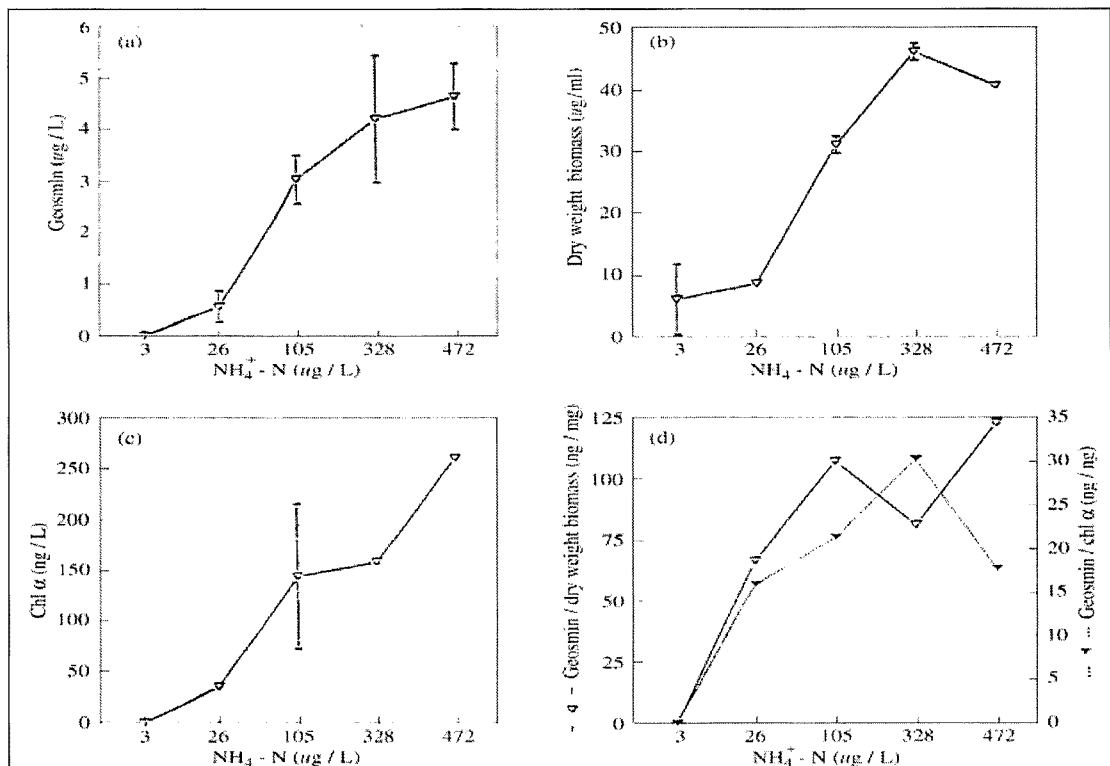
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ

ปัจจัยดังกล่าว มีดังนี้

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

สาเหตุทำให้เกิดกลิ่นโคลน (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545) ปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์ที่มีผลต่อการสร้างสารกลิ่นโคลน มีดังนี้

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



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

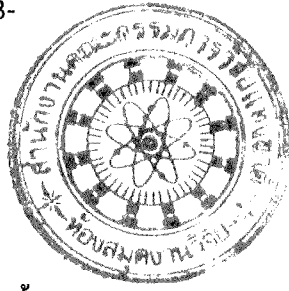
ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

ส่วนปริมาณไนเตรทจะมีผลกระทบต่อสาหร่ายสกุล *Anabaena* sp. ในการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 2.5 a) โดยมีอัตราส่วน geosmin / มวลน้ำหนักรากแห้ง และ geosmin / คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.5 d) สูงสุด เมื่อปริมาณไนเตรท เป็น 124 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนมวลน้ำหนักรากแห้ง (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 ฟอสเฟตที่อยู่ในตะกอนดินจะแตกตัว และปล่อยฟอสเฟตออกสู่แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น Saadoun และคณะ (2001) พบว่า ปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การสังเคราะห์ geosmin (ภาพที่ 2.6 a) มวลน้ำหนักรากแห้ง (ภาพที่ 2.6 b) คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.6 c) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรากแห้งสูงสุด และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.6 d) เพิ่มขึ้น และพบว่าในน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัส < 118 ppb. จะวิเคราะห์ไม่พบปริมาณ geosmin ในสาหร่าย *Anabaena* sp. (ภาพที่ 2.6 a)

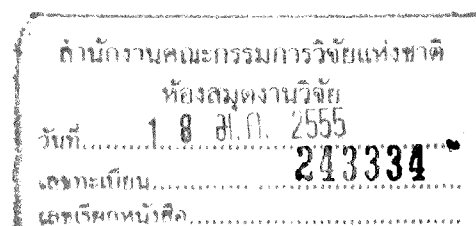
สมชาย หวังวิบูลย์กิจ (2551) ทดลองสกัดตะกอนดินบ่อเลี้ยงกุ้งและนำน้ำที่ได้จากการสกัดมาเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Oscillatoria* sp. พบว่า สาหร่ายสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้ดี เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารอินทรีย์ในน้ำที่สกัด พบว่า มีปริมาณฟอสเฟต 25 – 98 ppm. และปริมาณไนโตรเจน 65.45 ppm. ซึ่งปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์มากพอต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่าย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

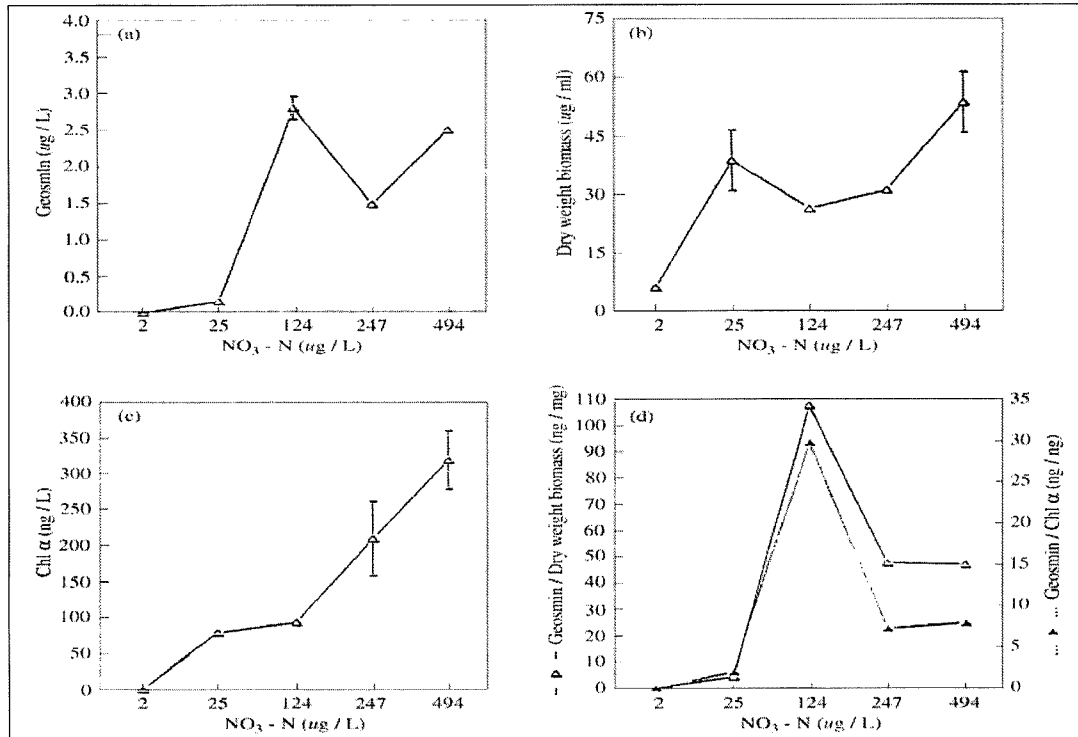
2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในสถานะที่มีอากาศอยู่น้อย ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูง มีผลไปยับยั้งการจับกับธาตุไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่าย (วรพงษ์ นลินานนท์ , 2545)



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

4. ความเค็มของน้ำ ความเค็มของน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เนื่องจาก มีผลทำให้ความสมดุลของออสโมสในเซลล์ผิดปกติและส่งผลไปยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ ลดอัตราการดึงไนโตรเจนมาใช้และการทำงานของเอนไซม์อัลคาไลน์ 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)





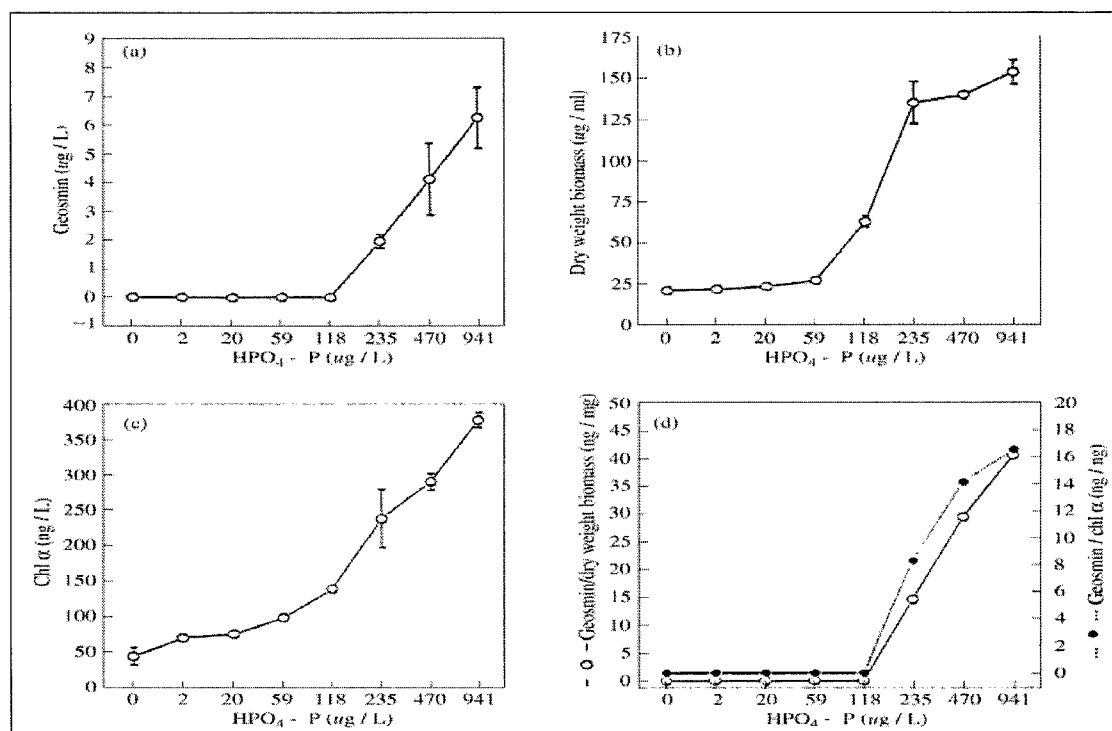
ภาพที่ 2.5 ผลของไนเตรตต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้งและ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

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

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

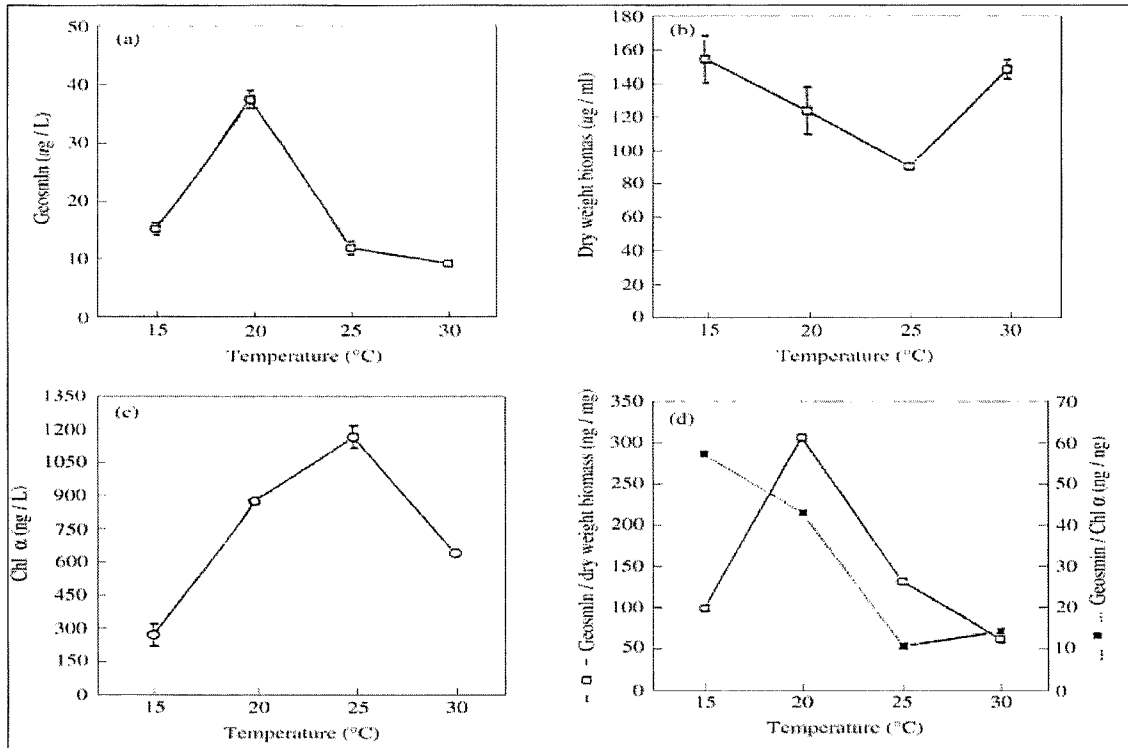
จะมีน้ำหนักรดต่ำที่สุด (ภาพที่ 2.7c) ซึ่งมีผลทำให้อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรดแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ เปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 2.7d)



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

ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

6. ความเข้มแสง แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของสาหร่าย เนื่องจากใช้ในการสังเคราะห์แสง และเร่งการแบ่งเซลล์ของสาหร่าย และมีความสัมพันธ์กับปริมาณ geosmin และคลอโรฟิลล์-เอ

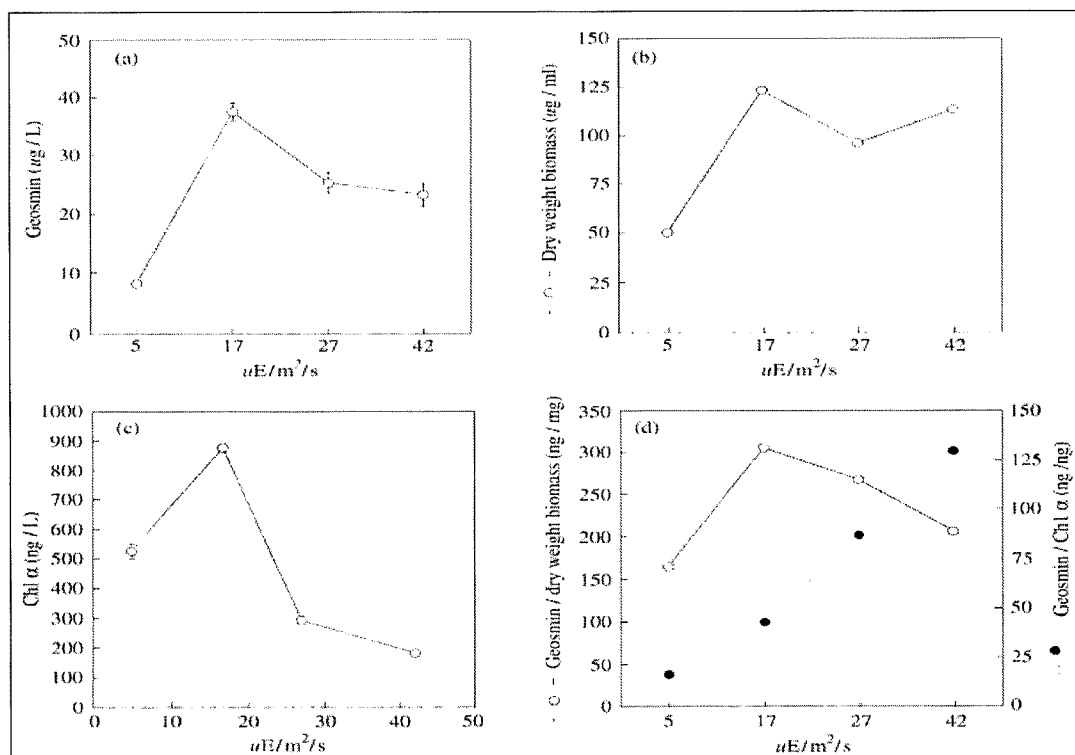


ภาพที่ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา : Saadoun และคณะ (2001)

Saadoun และคณะ(2001) พบว่า ความเข้มแสงมีผลต่อสาหร่ายสกุล *Anabaena* sp. ในการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 2.8a) มวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 2.8b) คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.8c) และอัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้งสูงสุด (ภาพที่ 2.8d) ที่ความเข้มแสง 17 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ส่วนอัตราส่วน geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 2.8d) จะมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ปัญหาคลื่นโคลนอาจเกิดขึ้น เนื่องจาก ปลากินสารประกอบคลื่นโคลนเข้าไปโดยตรง หรือมีการปนเปื้อนกับสิ่งที่ปลากิน หรือผ่านเข้าสู่ตัวปลาโดยการดูดซึมในส่วนของอวัยวะต่างๆเช่น ผ่านทางเหงือก แล้วเข้าไปที่กระแสเลือด และสะสมในเนื้อเยื่อไขมันในลำดับต่อมา ปริมาณสารประกอบที่ให้อาหารที่พบในเนื้อปลา ขึ้นกับอาหารที่ให้ในการเลี้ยงปลา ตามปกติการเลี้ยงปลาน้ำจืดนิยมใช้ปุ๋ยเพื่อสร้างอาหารธรรมชาติในบ่อ ได้แก่ มูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรีย

จากรายงานของ วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) พบว่า ปลานิลจากบ่อเลี้ยงในภาคกลางมีความเข้มข้นของสารกลีโคไลนในเนื้อที่สูงเมื่อให้อาหารสำเร็จรูปรวมกับการใช้ปุ๋ยในบ่อ



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)

โดยบ่อที่ใส่ปุ๋ยยูเรียมีผลให้ปริมาณสารกลีโคไลนในเนื้อสูงกว่าการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนบ่อที่ให้อาหารสำเร็จรูปอย่างเดียว พบว่า มีผลให้สารกลีโคไลนในเนื้อปลาดำ สาร geosmin มีกลิ่นคล้ายต้นกกหรือฟางเน่า วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) รายงานว่า ภายใต้สภาวะการดูดซึมอาหารที่เป็นกรด ที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก สาร geosmin สามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นสาร อาร์กอสมิน (argosmin) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีกลิ่น นอกจากนี้ สาร geosmin สามารถทนต่อกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน เป็นต้น และทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบ

โอโซน ต่างทับทิม (โปตัสเซียม เปอร์มันกาเนต ; KMnO_4) และคลอรีน วิธีการดังกล่าวจึงไม่สามารถลดหรือขจัดกลิ่นโคลนออกได้

Tameka (2005) ใช้สารละลายโอโซนเพื่อขจัดสารให้กลิ่นโคลน geosmin ในเนื้อปลาอุก (catfish) โดยการทดลองนี้ใช้สุ่มเนื้อปลาแต่ละชิ้นมา 20 กรัม น็อคด้วยสาร gesomin ความเข้มข้น 0 และ 10 ไมโครกรัม/กิโลกรัม จากนั้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°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 การใช้สารละลายโอโซนมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดกลิ่นโคลนของเนื้อปลาอุกแต่ละชิ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในเนื้อปลา รวมทั้งไม่ทำให้สีของเนื้อปลาเปลี่ยนแปลง ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของไขมันยังไม่กระจ่างชัดเท่าใดนัก

2.4 การดูดซึมและการสะสมสาร geosmin ในตัวปลา

การดูดซึมและการสะสมสาร geosmin ในตัวปลา เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยผ่านทางเหงือกในระหว่างการหายใจ รองลงมา คือ ผิวหนัง ถ้าใส่เล็ก และกระเพาะอาหาร ตามลำดับ โดยสารประกอบดังกล่าวเข้าไปจับกับไขมันในกระแสเลือดแล้วแพร่กระจายตามส่วนต่างๆของร่างกาย (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545) แต่กลไกการดูดซึมสารดังกล่าวยังไม่ทราบแน่ชัด Yamprayoon และ Noomhorm (2000) อ้างถึงใน วรพงษ์ นลินานนท์ (2545) ทดลองศึกษาการดูดซึมและการแพร่กระจายทางชีวภาพของสาร geosmin ในปลานิล และรายงานว่า การฟักปลานิลในน้ำที่มีสารละลาย 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 ส่วนในปลานิลที่ฟักไว้ให้ดูดซึมสารละลาย geosmin ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ก็ให้ผลที่มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน เพียงแต่น้ำที่มีความเข้มข้นของสาร geosmin สูงกว่า จะทำให้ปลานิลมีอัตราการดูดซึมสาร geosmin เข้าสู่ตัวได้รวดเร็ว

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 สารชนิดหนึ่งที่ผลิตจากออกซิเจนซึ่งมีอยู่ทั่วไปในอากาศโดยใช้พลังงานไฟฟ้า หรือรังสีอัลตราไวโอเลตเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของออกซิเจนจาก 2 อะตอม (O_2) ให้เป็น 3 อะตอม (O_3) ใน 1 โมเลกุล (ยูวันดา นะหิม , 2545)

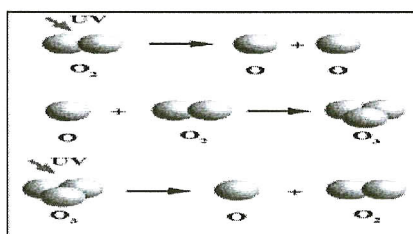
2.5.2 ประวัติการค้นพบโอโซน

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

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

2.5.3 ลักษณะเด่น การใช้ประโยชน์ และการสลายตัวของโอโซน

โอโซนเกิดขึ้นตามธรรมชาติในชั้นบรรยากาศสตราโทสเฟียร์ (stratosphere) โดยรังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet ray) ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวเป็น 2 อะตอม ก๊าซโอโซนเกิดขึ้นเมื่ออะตอมที่แตกตัวรวมกับออกซิเจนโมเลกุล (ภาพที่ 2.9) ซึ่งรวมตัวกันด้วยปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล (photochemical reaction) ทำให้เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว (Graham, 1997 อ้างถึงใน ญฐพล ฟาภิญญ, 2550) นอกจากนี้ โอโซนยังเกิดขึ้นในเวลาฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ระหว่างฝนตก ซึ่งเกิดจากกระบวนการโคโรนา ดิสชาร์จ (corona discharge) โดยมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าในอากาศสูงมาก ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวรวมกันเป็นก๊าซโอโซน

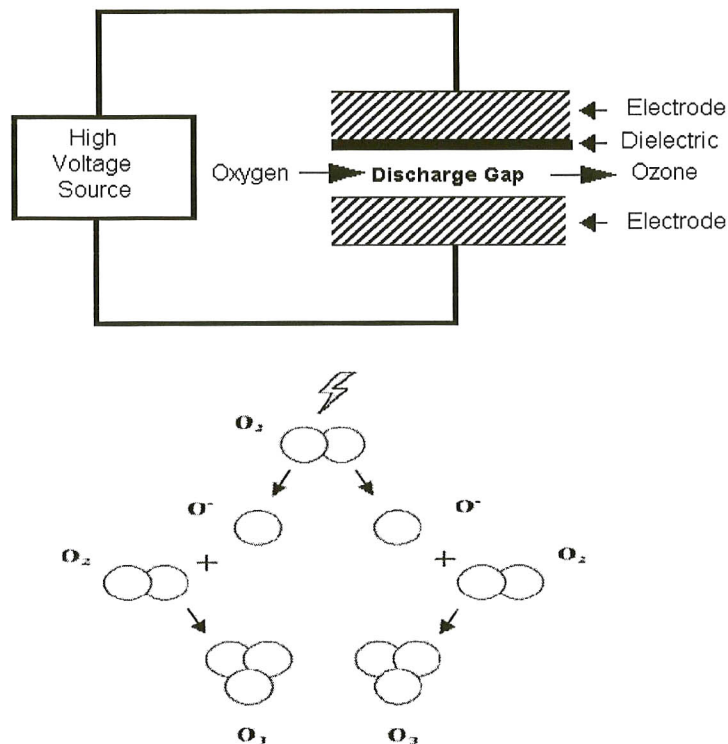


รูปที่ 2.9 ลักษณะการแตกตัวของออกซิเจนกลายเป็นเป็นก๊าซโอโซน

ที่มา : ozone [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

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

จากหลักการดังกล่าว จึงมีการพัฒนาเครื่องผลิตโอโซน (ozone generator) จำหน่ายในเชิงการค้า โดยให้ก๊าซออกซิเจนผ่านกระแสไฟฟ้าบริเวณดิสชาร์จ แกป (discharge gap) ซึ่งเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากบริเวณไดอิเล็กตริก เซอร์เฟส (dielectric surface) ทำให้ได้ก๊าซโอโซนออกมา (Kim และคณะ, 1999 อ้างถึงใน ญฐพล ฟาภิญญ, 2550) (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 ลักษณะการเกิดก๊าซโอโซนโดยปรากฏการณ์โคโรนา ดิสชาร์จ

ที่มา : ozone and corona discharge. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

www.ozonesolutions.com/Ozone_Formation.html

2.5.3.1 ลักษณะเด่นของโอโซน

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการใช้โอโซนมากขึ้นและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยโอโซนมีลักษณะเด่น ดังนี้ (ยูวันดา นะหิม , 2545)

(1) สลายตัวเร็ว เนื่องจาก ไม่คงตัว(unstable) และไม่สามารถเก็บบรรจุใส่ภาชนะใดๆ ได้ (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 (ยูวันดา นะหิม, 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 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (the United States Food and Drug Administration ; USFDA) ได้ยอมรับเป็นทางการว่าโอโซนทั้งในสถานะก๊าซและของเหลวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ต่อมา วันที่ 21 ธันวาคม 2544 กระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกาวินิจฉัยข้อกำหนดมาตรฐานด้านความปลอดภัยอาหารและการบริการตรวจสอบ หรือเรียกหน่วยงานนี้ว่า USDA FSIS (the United States Department of Agricultural's Food Safety and Inspection Service) ได้รับรองให้ใช้โอโซนผสมน้ำเย็น น้ำแข็ง สัมผัสโดยตรงกับซากเนื้อสัตว์ และซากสัตว์ปีกก่อนแช่เย็นและแช่แข็ง

นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ประโยชน์แพร่หลายกับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และระบบการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน (Dew , 2005)

2.5.3.3 การสลายตัวของโอโซน

การสลายตัวของโอโซนขึ้นกับค่า pH อุณหภูมิ และรังสีอัลตราไวโอเลต Tomiyasu และคณะ (1985) รายงานว่า ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อม (indirect reaction) และปฏิกิริยาการสลายตัวทางตรง (direct reaction) (Tomiyasu และคณะ, 1985 อ้างถึงใน ยูวันดา นะหิมี, 2545) โดยมีรายละเอียดดังนี้

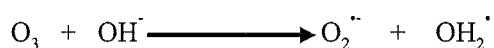
1) ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อม

ปฏิกิริยาการสลายตัวทางอ้อมจะมีการรวมตัวกับอนุมูลหรือเรดิคัล (radicals) การสลายตัวของโอโซนจะเกิดขึ้น 2 ขั้น คือ ขั้นแรก เกิดจากตัวเร่งเริ่มต้น (initiators) เช่น ไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ขั้นที่สอง เป็นการออกซิเดชันไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radicals ; $\text{OH}^\bullet$) จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ไฮดรอกซิลเรดิคัลเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารเหล่านี้

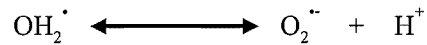
กลไกการสลายตัวของโอโซนสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วน

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

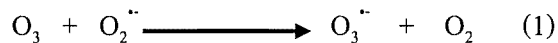
ขั้นเริ่มต้น เป็นปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกซิลไอออน และโอโซนทำให้เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัล (superoxide anion radical ; $\text{O}_2^{\bullet -}$) และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัล ($\text{OH}_2^\bullet$) ดังนี้



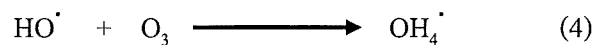
ไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัลอยู่ในสมดุลกรด-เบส (acid – base equilibrium) สามารถเปลี่ยนเป็นซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออนเรดิคัล ดังนี้



ชั้นสายโซ่ของเรดิคัล โอโซนแอนไอออนเรดิคัล ($\text{O}_3^{\cdot-}$) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโอโซนและซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัล สามารถสลายตัวเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ดังนี้



Hoigne (1982) รายงานว่า ไฮดรอกซิลเรดิคัลที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับโอโซนเกิดเป็น $\text{OH}_4^\cdot$ และสลายตัวได้ออกซิเจน และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัล ซึ่งจะให้ไฮดรอกซิลเรดิคัลด้วยตามวิถีการเกิดของปฏิกิริยา (pathway) (Hoigne, 1982 อ้างถึงใน ยูวันดา นะหิมี, 2545) ดังนี้



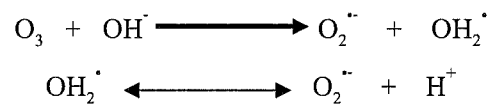
การสลายตัวของ $\text{OH}_4^\cdot$ ได้ออกซิเจนและไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัล จะเป็นปฏิกิริยาสายโซ่ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ปฏิกิริยาที่ (1) จนถึงปฏิกิริยาที่ (4) จะเปลี่ยนไฮดรอกซิลเรดิคัลเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัล และไฮโดรเปอร์ออกซิลเรดิคัลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เรียกว่า ตัวส่งเสริม (promoter) ส่วนการสลายตัวของโอโซนที่เป็นแบบจำลองของ Tomiyasu และคณะ (1985) จะไม่พบปฏิกิริยาลูกโซ่ แต่จะให้ผลคล้ายกัน

ขั้นสุดท้าย เป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัลเกิดจากโอโซน จำนวน 3 โมเลกุล ให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล 2 โมเลกุล ดังนี้

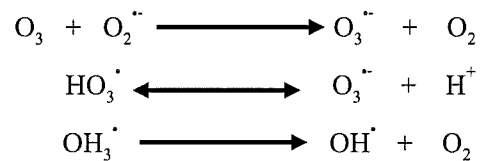


สรุปแบบปฏิกิริยาของการสลายตัวของโอโซนตามรูปแบบของ Tomiyasu และคณะ (1985) อ้างถึงใน ยูวันดา นะหิม, 2545) มีดังนี้

ขั้นเริ่มต้น



ขั้นสายโซ่ของเรดิคอล



ขั้นสุดท้าย



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 อ้างถึงในยูวันดา นะหิม, 2545)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของ initiators, promoters และ scavengers ที่สำคัญและมีผลต่อการ สลายตัวของ โอโซน

initiators	promoters	scavengers
$\text{OH}^\cdot$	humic acid	$\text{HCO}^{3-} / \text{CO}^{3-}$
$\text{O}_2\text{H}_2 / \text{HO}_2^\cdot$	ary – R <i>tert</i> – butyl alcohols (TBA)	PO_3^{4-}
Fe^{2+}	primary and secondary alcohols humic acid	ary – R <i>tert</i> – butyl alcohols (TBA)

ที่มา : Gottschalk และคณะ (2000) อ้างถึงใน ยูวันดา นะหิม (2545)

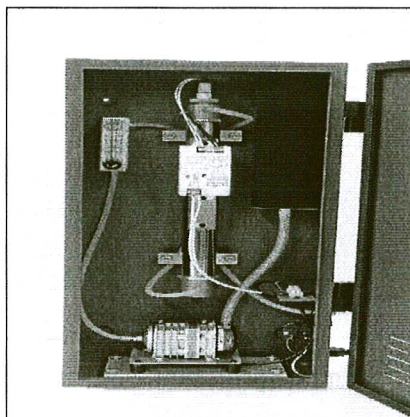
2.6 ชนิดของเครื่องผลิตโอโซน

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

2.6.1 เครื่องผลิตโอโซนโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV ozone generator)

ใช้รังสีจากหลอดอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร (ภาพที่ 2.11) จะผลิตก๊าซโอโซนความเข้มข้นต่ำ 0.01 % – 0.1 % โดยน้ำหนัก (หรือ 100 ppm–1,000 ppm) นิยมใช้กับอากาศมากกว่าใช้น้ำ เพราะถ้าใช้น้ำ การละลายจะต่ำมาก โดยเราจะให้อากาศปริมาณมากผ่านหลอดแสงอัลตราไวโอเลต ส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศแตกกระจายออกเป็นออกซิเจนอะตอม ($\text{O}^\cdot$) ที่มีความคงตัว และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่น ได้เป็นก๊าซโอโซน จากนั้น ก๊าซโอโซนจะถูกฉีดเข้าไปผสมกับน้ำ หรือไอน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาเคมีกับสาร

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

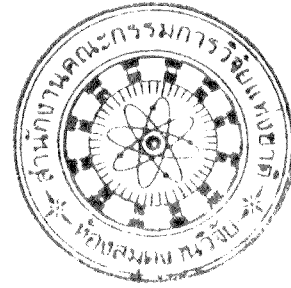


ภาพที่ 2.11 เครื่องผลิตโอโซนโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV ozone generator)

ที่มา : UV ozone generator [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.silvermedicine.org

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

เป็นการให้ก๊าซออกซิเจนแห้งและบริสุทธิ์ผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้า (electrical field) หลายพันโวลต์ 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) ที่มีความคงตัว และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่น ได้เป็นก๊าซโอโซนออกมาด้วยความเข้มข้นสูง ตั้งแต่ 1 % - 10 % โดยน้ำหนัก สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำได้อย่างดี ขนาดเครื่องมีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ (ระดับมิลลิกรัม ถึง ระดับกิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง) (Kim และคณะ, 1999, ยุวันดา นะหิ่ม, 2545 และ http://www.ozoneapplications.com/info/cd_vs_uv.htm)



2.6.3 วิธีการผสมก๊าซไอโซนกับน้ำ

ระบบการผสมไอโซนกับน้ำ มีวิธีปฏิบัติที่นิยมทำกัน 2 วิธี คือ

2.6.3.1 ระบบกระจายฟองอากาศ (aeration system)

หลักการ มีดังนี้

- (1) ใช้ปั๊มลดดันก๊าซไอโซนลงสู่น้ำผ่านหัวกระจายอากาศ
- (2) ขนาดฟองไอโซนขึ้นกับชนิดและคุณภาพของหัวกระจายอากาศ
- (3) เหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำที่น้ำมีเวลาพักอยู่ในถังเก็บเป็น

เวลานาน

ข้อดี คือ ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง

ข้อเสีย มีดังนี้

- (1) ประสิทธิภาพการผสมไอโซนต่ำ
- (2) การซ่อมบำรุงขึ้นกับคุณภาพน้ำ เพราะอาจเกิดการอุดตันที่หัว
- (3) ไม่เหมาะกับระบบผลิตน้ำที่ต้องการความต่อเนื่องในการผลิต (เวลา

กระจายฟองอากาศ

ที่น้ำพักในถังน้อย)

ข้อกำหนดในการติดตั้ง มีดังนี้

- (1) ต้องวางหัวกระจายฟองก๊าซไอโซน ณ จุดกึ่งกลางด้านล่างของถัง
- (2) ติดตั้งเครื่องผลิตไอโซนให้สูงกว่าระดับน้ำและระวางมิให้น้ำไหล

กลับเข้าสู่เครื่องได้

2.6.3.2 ระบบการฉีดผ่านหัวเวนจูรี (ventury injection system) หรือระบบดูดไอโซน

หลักการ มีดังนี้

- (1) ใช้ระบบ ventury injector เป็นตัวดูดให้ไอโซนละลายในน้ำ โดยอาศัยหลักการของการสร้างความแตกต่างของแรงดันจะเกิดสุญญากาศ ทำให้สามารถดูดก๊าซไอโซนในปริมาณที่ต้องการได้ เมื่อใช้น้ำดันผ่าน ventury injector
- (2) ขนาดฟองไอโซนจะเล็กมากให้ประสิทธิภาพสูงกว่าระบบกระจายอากาศ
- (3) เหมาะสำหรับระบบการผลิตน้ำดื่มที่ต้องการผลผลิตมากและมีความต่อเนื่อง

ข้อดี มีดังนี้

- (1) ประสิทธิภาพสูง ให้ผลลัพธ์ที่แน่นอน
- (2) ซ่อมบำรุงดูแลง่าย

ข้อเสีย คือ ราคาสูงกว่า ทั้งระบบที่ติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

ข้อกำหนดในการติดตั้ง มีดังนี้

- (1) ต้องเลือกขนาดและแรงดันของเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับขนาดของ ventury injector
- (2) เลือกขนาดของถังผสมไอโซนในเวลาที่สัมผัสกับน้ำ(contact time) ตามที่กำหนด

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 ยูวันดา นะหิม (2545) รายงานว่า การล้างเนื้อปลาด้วยน้ำที่ผสมโอโซน จะให้ค่าความสว่างและความขาวมากกว่าวิธีอื่น การเปลี่ยนแปลงสีสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของความขาว การเพิ่มของค่า L^* และการลดลงของค่า a^* จะทำให้เกิดความโปร่งแสง เนื่องจาก การสูญเสียไมโอโกลบิน (myoglobin) การฟอกสีโดยใช้โอโซนนั้น โอโซนจะเข้าทำลายโครงสร้างของพอร์ไฟริน (porphyrin) ในไมโอโกลบินและฮีโมโกลบิน แต่โอโซนจะมีผลทำให้เกิดเจลดลดลง

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

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

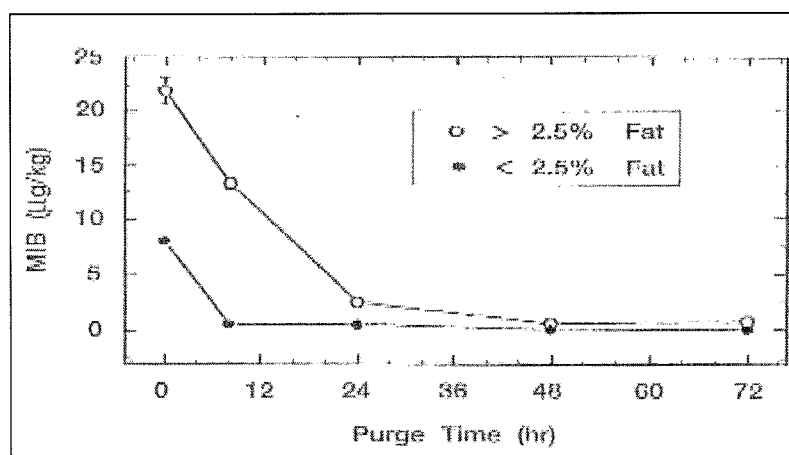
การล้างด้วยโอโซน ต้องคำนึงถึงปริมาณโอโซนที่ตกค้าง (residual ozone) อยู่ในน้ำ เพราะถ้าไม่พบปริมาณโอโซนตกค้างในน้ำก็จะมีผลในการใช้งาน ดังนั้น การใช้ระบบโอโซนต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ (ยุวันดา นะหิ่ม, 2545)

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

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดกลิ่นโคลน การปรับปรุงเนื้อสัมผัส และความขาวของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำระหว่างกระบวนการแปรรูปแบบแช่เย็นแช่แข็ง

การลดกลิ่นโคลนและการปรับปรุงความขาวของผลิตภัณฑ์แปรรูปสัตว์น้ำระหว่างกระบวนการแปรรูป ทำได้ดังนี้

2.8.1 การพักปลาก่อนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ (depuration) ทวีทรัพย์ ศรีนาถ (2542) ทดลองศึกษาพักปลาน้ำจืด ที่ระดับความเค็ม 5 ppt.(part per trillion ; กรัมต่อลิตร) ขึ้นไป อุณหภูมิ น้ำ $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 3 วัน มีผลทำให้ปริมาณสาร geosmin ในเนื้อปลาลดลงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และจากการประยุกต์ใช้เนื้อปลาที่ผ่านการขจัดกลิ่นโคลนในการผลิตลูกชิ้นปลา พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าความขาวมากกว่าลูกชิ้นปลาที่ไม่ผ่านการขจัดกลิ่นโคลน เช่นเดียวกัน Johnsen และ Dionigi (1994) อ้างถึงใน สุทรวัดน์ เบญจกุล (2548) พบว่า การขังปลาดุก (walking catfish) ในน้ำที่ปราศจากสารเมตาบอไลต์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นโคลน 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 สุทรวัดน์ เบญจกุล(2548)

2.8.2 การใช้สารละลายโอโซน โอโซนสามารถนำไปใช้ได้ทั้งสถานะก๊าซและสารละลายในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ด้วยปริมาณตามหลักการที่สอดคล้องกับระบบประกันคุณภาพ เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการผลิตที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP) (จินตนา วิบูลย์ศิริกุล, 2551) Tameka (2005) ทดลองศึกษาใช้สารละลายโอโซนเพื่อลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาดุก โดยสุ่มเนื้อปลาแล้ว 20 กรัม น็อคสาร geosmin ความเข้มข้น 0 และ 10 ไมโครกรัม/กิโลกรัม จากนั้น เก็บที่อุณหภูมิ 4°C

เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างสัมผัสก๊าซออกซิเจน และสารละลายโอโซน เป็นเวลา 0, 30 และ 60 นาที จากนั้นวิเคราะห์สาร geosmin ด้วยวิธี SPME-GC/MS พบว่า สารละลายโอโซนมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดกลิ่นโคลนของเนื้อปลาตุ๋นแก่เป็นขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในเนื้อปลา รวมทั้งไม่ทำให้สีขาของเนื้อปลาเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รังสิมา อร่ามเรือง และคณะ (2551) รายงานว่า การใช้สารละลายโอโซน ความเข้มข้น 2.0 ppm (part per million ; มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้เนื้อกุ้งแช่แข็งขาวขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

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

Mudd และคณะ (1989) อ้างถึงใน ยูวันดา นะหิม (2545) และสุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า จากการทดลองใช้โอโซนในการผลิตซูริมิ (surimi) จากเนื้อปลาแมคเคอเรล โอโซนจะออกซิไดซ์หมู่ซัลไฟดริลอิสระ (free active sulfhydryl groups) บนโมเลกุลของโปรตีน ก่อให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) นอกจากนี้ โอโซนยังสามารถออกซิไดซ์ไดซัลไฟด์และเกิดเป็นกรดซิสเตอิก (cysteic acid) หรือสามารถทำลายพันธะไดซัลไฟด์และเกิดเป็นกรดซัลโฟนิก (sulfonic acid) ส่งผลทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน นั่นคือ ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลลดลง Chen และคณะ (1997) อ้างถึงใน ยูวันดา นะหิม (2545) และสุทธวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า การใช้โอโซนเพิ่มความขาวของเนื้อปลาฮอร์สแมคเคอเรล (horse mackerel) ได้ โดยล้างเนื้อปลาด้วยโอโซนในน้ำกลั่น 1 ครั้ง ควบคุมอุณหภูมิน้ำล้าง น้อยกว่า 5 °C นาน 10 – 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มความขาวได้ เนื่องจากโอโซนเป็นสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) อย่างแรง ซึ่งสามารถทำลายโครงสร้างของพอร์ไฟริน นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกองค์ประกอบต่างๆ โดยการลอยตัวกับฟองอากาศ (bubble floatation) ดังนั้น เม็ดสีที่ละลายได้อาจถูกขจัดโดยการลอยตัวดังกล่าว ส่วนการทดลองล้างด้วยน้ำเย็นและล้างโดยใช้สารละลายต่าง

(alkaline solution) ต้องใช้เวลานาน หรือล้างหลายครั้งถึงจะเพิ่มความขาวได้ Jiang (1998) อ้างถึง ในยูวันดา นะหีม (2545) และ สุทธรวัฒน์ เบญจกุล (2549) รายงานว่า การใช้ไฮโซนในการผลิตซูริมิ สามารถเพิ่มความขาวได้ โดยทดลองล้างเนื้อปลาแมคเคอเรล ด้วยไฮโซนใน 0.04 M ซิเตรทบัฟเฟอร์ ที่ค่า pH 3.0 เป็นเวลา 30 นาที ได้ค่า L^* 53.9–62.6 รวมทั้งลดปริมาณไมโอโกลบินและปริมาณรงควัตถุทั้งหมด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยูวันดา นะหีม (2545) ที่พบว่า การล้างเนื้อปลาทูแบกเพื่อผลิตซูริมิ โดยใช้ไฮโซนใน 0.04 M ซิเตรทบัฟเฟอร์ จะให้ค่าความขาวมากกว่าการล้างโดยใช้ไฮโซนในน้ำกลั่น และเมื่อผลิตซูริมิแบบใช้ไฮโซนเทียบกับโซเดียมคาร์บอเนต การใช้ไฮโซนจะให้ค่าความขาวมากกว่าทุกขั้นตอน

2.8.3 สารละลายเถ้าใบกล้วย นฤมล อัสวเกศมณี (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 พบว่า ปลาดุกบิ๊กอุยที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญาทุกระดับความเข้มข้น ให้ผลค่าความขาวไม่แตกต่างกัน ดังนั้น หากต้องการลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลาดุกบิ๊กอุยด้วยสารละลายเถ้าใบกล้วยนางพญาแล้ว ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 5% v/v ขณะที่ วรพงษ์ นลินานนท์ และคณะ (2551) ทดลองลดกลิ่น geosmin ในเนื้อปลานิลก่อนนำมาแปรรูปโดยวิธีการแช่แข็งที่ -20°C จากปริมาณสาร geosmin เริ่มต้น 76.22 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อทดลองจะนำมาแช่เป็นชิ้นขนาด 10 กรัม แช่ล้างในสารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว่า โดยใช้สารละลาย 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า ความเข้มข้น 5% นาน 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลได้ประมาณ 90 % เหลือกลิ่นโคลนในระดับที่ยอมรับได้ คือ 3.15 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และได้รับการยอมรับด้วยคะแนนดีมาจากผู้ทดสอบในด้านกลิ่นโคลน แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นปลาจะแข็งขึ้น (ตารางที่ 2.2 – 2.3) ในขณะที่ความขาวหรือความสว่าง (L^*) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ(ตารางที่ 2.4)

2.8.4 การใช้สารละลายกรดอะซิติก วรพงษ์ นลินานนท์ และคณะ (2551) ทดลองลดกลิ่นโคลนในเนื้อปลานิลก่อนนำมาแปรรูปโดยวิธีการแช่แข็ง -20°C จากปริมาณสาร geosmin เริ่มต้น 76.22 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เมื่อทดลองจะนำมาแช่เป็นชิ้น ขนาด 10 กรัม แช่ลงในสารละลายกรดอะซิติก โดยใช้สารละลาย 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า ต้องแช่ในสารละลายเข้มข้น 8 % นาน 5 นาที จะเหลือปริมาณ geosmin 7.99 ไมโครกรัม/กิโลกรัม โดยเนื้อปลาที่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากไม่เป็นที่ยอมรับ (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 เมื่อทดลองจะนำมาแช่เป็นชิ้น ขนาด 10 กรัม แช่ลงในสารละลาย เกลือโซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ โดยใช้สารละลาย 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 140 รอบต่อนาที นาน 5 นาที พบว่า การแช่ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 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 และได้รับการยอมรับด้วยคะแนนดีมากจากผู้ทดสอบด้านกลิ่นโคลน แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นปลาจะแข็งขึ้นเหมือนกับการใช้สารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า ขณะที่การใช้สารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ต้องแช่ในสารละลายเข้มข้น 8 % นาน 5 นาที จะเหลือปริมาณสาร geosmin เท่ากับ 6.87 ไมโครกรัม/กิโลกรัม โดยเนื้อปลาแช่ มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มลงกว่าการใช้สารละลายเถ้าใบกล้วยน้ำว้า และโซเดียมคลอไรด์ (ตารางที่ 2.2-2.3) ในขณะที่ความขาวหรือความสว่าง (L^*) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2.4)

Mohsin และคณะ (1999) รายงานว่าการใช้สารละลายเถ้าใบกล้วย 5% แช่เนื้อปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus*) ที่ผ่านการแช่เป็นชิ้น นาน 5 นาที สามารถลดกลิ่นโคลนลงได้ และให้ผลดีในด้านความขาวและเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.2 ร้อยละการลดปริมาณสาร geosmin เหลือ ที่ผ่านการแช่ล้างในสารละลาย 4 ชนิด นาน 5 นาที

Conc (%)	Soaking solution							
	Acetic acid		Banana leave ash		Calcium hydroxide		Sodium chloride	
	geosmin removal (%)	average geosmin ($\mu\text{g/kg}$)	geosmin removal (%)	average geosmin ($\mu\text{g/kg}$)	geosmin removal (%)	average geosmin ($\mu\text{g/kg}$)	geosmin removal (%)	average geosmin ($\mu\text{g/kg}$)
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^{b3}	85.55	11.01 ± 0.14^{b2}	90.11	7.54 ± 0.25^{b2}
8	89.51	7.99 ± 0.13^{b4}	95.87	3.15 ± 0.08^{c3}	90.99	6.87 ± 0.07^{b2}	95.81	3.19 ± 0.04^{c2}

Average geosmin content of control sample is $99.33 \mu\text{g/kg}$.

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 และลักษณะเนื้อสัมผัสของ เนื้อปลานิล 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}	2230.6 3	7.43 ± 0.49^{a1}	2230.63	7.43 ± 0.49^{a1}	2230.63	7.43 ± 0.49^{a1}	2230.6 3
5	4.43 ± 1.27^{b1}	2208.8 7	2.71 ± 1.11^{b2}	2885.63	4.36 ± 1.11^{b1}	2510.83	2.43 ± 1.13^{b2}	2311.1 0
8	4.02 ± 1.51^{b1}	1381.7 0	2.00 ± 1.41^{c2}	5779.97	4.14 ± 1.10^{b1}	2143.06	2.29 ± 1.50^{c2}	3471.8 0

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)

2.8.6 การใช้น้ำปรุงรสมาริเนท (marination) Yamprayoon และ Noomhorm (2000) รายงานว่า ในผลิตภัณฑ์ปลาซุบน้ำมาริเนดผสมกรดอะซิติก 3 ประเภท ได้แก่ ปลาหมักทอด ปลาหมักสุก และ ปลาหมักเย็น หมักไว้ที่อุณหภูมิ 3°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสาร geosmin ลดลงเมื่อ ช่วงเวลาการหมักนานขึ้น กรดอะซิติกทำให้เนื้อปลาอ่อนนุ่ม เพราะไปกระตุ้นให้โปรตีโอไลติก เอนไซม์ (proteolytic enzymes) ย่อยสลายโปรตีนในเนื้อปลาจนเกิดการแตกตัวและปลดปล่อย กรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) ออกมาที่สามารถกลบกลิ่นโคลนได้เช่นเดียวกัน

2.8.7 กระบวนการแปรรูปอื่นๆ การรมควันปลากระป๋องและปลาเรนโบว์เทราท์ให้อยู่ในสภาพ กึ่งสุก สามารถลดกลิ่นโคลนจนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ หรือการแปรรูปปลาเรนโบว์เทราท์ ให้อยู่ในสภาพกึ่งสุกโดยใช้ไอน้ำและเติมน้ำมันพืชก่อนบรรจุกระป๋องโลหะ ก็สามารถลดกลิ่น โคลนได้ (วรพงษ์ นลินานนท์, 2545)

ตารางที่ 2.4 การประเมินค่าความขาวหรือค่าความสว่าง (lubicity; L*) ของเนือปลานิล ที่เลี้ยงในสารละลาย 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 ^{cl} ±0.10	40.25 ^{cl} ±0.09	40.17 ^{cl} ±0.10	40.25 ^{cl} ±0.09	40.17 ^{cl} ±0.10	40.25 ^{cl} ±0.09	40.17 ^{cl} ±0.10	40.25 ^{cl} ±0.09
5	57.46 ^{abl} ±0.34	58.06 ^{al} ±1.10	52.43 ^{b3} ±0.97	52.94 ^{b3} ±1.44	53.36 ^{b2} ±2.98	55.39 ^{ab2} ±0.46	46.80 ^{bc4} ±0.26	47.03 ^{bc4} ±1.70
8	60.16 ^{al} ±0.24	60.99 ^{al} ±0.17	52.32 ^{b3} ±0.20	53.06 ^{b3} ±0.71	56.94 ^{ab2} ±0.10	57.27 ^{ab2} ±0.40	43.51 ^{cl} ±2.26	46.52 ^{bc4} ±0.18

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

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

ที่มา : วรพงษ์ นลินานนท์ (2545)