

คุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาปูนิ่ม (*Scylla serrata* Forskäl)

โดยใช้โอโซน กรดแอซติก กรดแล็กติก กรดแอสคอร์บิก

และการเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ

Quality and Shelf-Life Extension of Soft Shell Crab (*Scylla serrata* Forskäl)

by Ozone, Acetic Acid, Lactic Acid, Ascorbic Acid

and Storage under Modified Atmosphere Packaging

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีนโยบายและแนวโน้มกำหนดมาตรการเร่งการส่งออกเพื่อนำรายได้เข้าประเทศ สินค้าที่สำคัญประเภทหนึ่ง คือ สินค้าประมง ได้แก่ สัตว์น้ำชนิดต่างๆ เช่น กุ้ง ปู ปลา เป็นต้น โดยพบว่าถึงแม้สินค้าประมงมีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับที่ 3 รองจากสินค้าอุตสาหกรรมและสินค้าเกษตร โดยรัฐบาลเร่งสนับสนุนการส่งออกสินค้าประมงถึงแม้จะมีมูลค่าเป็นรองก็ตาม แต่เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตสูง เพราะมีภูมิประเทศอยู่ติดชายฝั่งทะเล และมีอุตสาหกรรมต่อเนื่องรองรับอยู่มาก ประกอบกับสัดส่วนมูลค่าเพิ่มหรือกำไรที่ได้อยู่ในประเทศมีมากกว่าสินค้าอื่น

ปูทะเลจัดเป็นสินค้าประมงประเภทสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีราคาสูง รสชาติดี จากสถิติการส่งออกปูในรูปแบบต่างๆ ในระหว่างปี 2542 - 2546 (กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ, 2547) พบว่าประเทศไทยทำการส่งออกปูแช่เย็นจนแข็ง มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ปูชนิดอื่นๆ โดยส่งไปยังประเทศญี่ปุ่นมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สหรัฐอเมริกา และไต้หวัน ตามลำดับ (ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2544) และในปัจจุบันมีความพยายามที่จะนำเอาเทคโนโลยีและเทคนิคต่างๆ มาทดลองค้นคว้าและวิจัยเพื่อให้ได้ปูทะเลที่มีลักษณะกระดองนิ่ม หรือที่เรียกว่า “ปูนิ่ม” เพื่อสามารถบริโภคได้ทั้งตัว มีรสชาติสด สะอาด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของสัตว์น้ำดังกล่าว เนื่องจากมีราคาสูงกว่าเนื้อปู และกำลังได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน สหรัฐอเมริกา เกาหลี และจีน เป็นต้น (ศศิณูช, 2545) ประเทศไทยเริ่มมีการเลี้ยงปูนิ่มตั้งแต่ปี 2530 เป็นต้นมา แหล่งเลี้ยงปูนิ่มหลักมีอยู่ 2 แหล่ง คือ ภาคใต้ที่ระนอง และภาคตะวันออก

ที่ตราและจันทบุรี แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยสามารถเป็นแหล่งสำคัญในการเลี้ยงปูน้ำจืดเพื่อการส่งออก โดยเฉพาะในปี 2539 ความนิยมในการเลี้ยงเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ราคาปูสูงขึ้นถึง 200-300 บาทแต่การเก็บรักษาโดยส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมแช่แข็งปูน้ำจืดเนื่องจากสามารถเก็บรักษาได้นาน แต่มีผลทำให้ลักษณะกระดองและเนื้อสัมผัสของปูเปลี่ยนแปลงภายหลังการละลาย และในบางครั้งผู้บริโภคไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นปูกระดองแข็งหรือปูน้ำจืด

การล้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการแปรรูปสัตว์น้ำ ตั้งแต่ขั้นตอนการจับเพื่อล้างสิ่งสกปรกและลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ติดมา เมื่อถึงโรงงานจะต้องล้างที่จุดรับวัตถุดิบอีกครั้งหนึ่ง โดยทั่วไปนอกจากจะใช้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วยังมีการเติมสารเคมีที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำโดยนิยมใช้สารประกอบคลอรีนมากที่สุด แต่การใช้สารประกอบคลอรีนอาจประสบปัญหาเนื่องจากน้ำที่ใช้มีสารแขวนลอยหรือสารประกอบอินทรีย์ ทำให้คลอรีนเสียคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ ในขณะเดียวกันคลอรีนมีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ระคายเคืองผิว และอาจเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นแนวทางอย่างหนึ่งที่จะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์และลดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพ จึงเป็นสิ่งจูงใจที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา โดยการเปรียบเทียบการใช้กรดแอซิดิก กรดแล็กติก กรดแอสคอร์บิกและโอโซนในการแช่วัตถุดิบเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ นอกจากนี้การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศจัดเป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญอีกด้านหนึ่ง โดยเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้ การศึกษาการเก็บรักษาปูน้ำจืดในการทดลองครั้งนี้จะศึกษาการเก็บรักษาปูน้ำจืดในสภาวะปรับบรรยากาศ โดยศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน สภาวะสุญญากาศ ต่อการยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าการเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาชนิด ความเข้มข้นของสารและเวลาที่ใช้ในการแช่ปูนี้มที่เหมาะสม
2. เพื่อศึกษาสภาวะการบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บรักษานูนี้ม โดยเปรียบเทียบการบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ
3. เพื่อศึกษาผลรวมของสารละลายและสภาวะการบรรจุที่คัดเลือกได้ในการยืดอายุการเก็บรักษานูนี้มแช่เย็นและการยอมรับรวม

การตรวจเอกสาร

ปูทะเล

ปูทะเล เป็นทรัพยากรทางทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศและจังหวัดแถบชายทะเล เนื่องจากปูทะเลมีรสชาติดี นิยมบริโภคทั้งชาวไทยและต่างประเทศ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จัดเป็นสัตว์น้ำที่อยู่ในกลุ่มครัสเตเชีย (crustacea) เช่นเดียวกับกุ้งและกั้ง มีการเจริญและเติบโตโดยการลอกคราบ เป็นสัตว์ที่มีกระดองแข็ง ภายหลังการลอกคราบจะมีขนาดใหญ่กว่าเดิม มีการลอกคราบได้ทั้งปีและตลอดชีวิต ช่วงระยะเวลาในการลอกคราบขึ้นกับอายุและขนาดของปูทะเล ลักษณะปูทะเลดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะปูทะเล

ที่มา : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ม.ป.ป.)

ปัจจุบันปูทะเลที่จับได้ตามธรรมชาติทางฝั่งอ่าวไทยและอันดามันมีปริมาณลดลง และขนาดของปูที่จับได้โดยเฉลี่ยมีขนาดเล็กลง แสดงให้เห็นว่าทรัพยากรปูทะเลมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง ปูทะเลที่พบโดยส่วนใหญ่เป็นปูทะเลในสกุล *Scylla* พบทั่วโลกและเป็นที่ยอมรับ ในปัจจุบันพบประมาณ 5 ชนิด คือ *S. serrata* Forskäl *S. tranquebaricus* Fabricius *S. oceanica* Dana *S. paramamosian* Estampador และ *S. olivacea* Herbst ในขณะที่การจำแนกชนิดของปูทะเลของประเทศไทยอยู่ประมาณ 3-4 สายพันธุ์ ชูชาติ และ บุรณ (2522) ได้จำแนกปูทะเลที่พบในน่านน้ำไทยออกเป็นสามกลุ่ม คือ ปูดำ ปูเขียว และปูขาว

สุรินทร์ (2520) แบ่งปูทะเลของไทยออกเป็นสามกลุ่มคือ ปูดำ หรือปูแดง (*S. serrata*) ปูเขียว หรือปูทองโหลง (*S. serrata oceanica*) ปูขาวหรือปูทองกลาง (*S. serrata pelagica*) ปูขาวหรือปูทองกลาง (*S. serrata pelagica*) ในขณะที่ใช้ลักษณะสัณฐานภายนอกของปูทะเล โดยวิเคราะห์ตามหลักเกณฑ์ของ Estampador and Dulogio พบว่า ปูทะเลในน่านน้ำทะเลไทย มีสามชนิด คือ ปูดำหรือปูแดง (*S. serrata* Forskal) ปูเขียวหรือปูทองโหลงหรือปูลาย (*S. tranquebaricus* Fabricius) และปูขาวหรือปูทองกลาง (*S. oceanica* Dana) (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, ม.ป.ป.)

ปูทะเลมีถิ่นที่อยู่อาศัยแตกต่างกันไปตามชนิด และขนาด เช่น ปูดำชอบอาศัยอยู่ในรู ปูขาว และปูเขียว ชอบหมกตัวอาศัยอยู่ในทราย หรือในโคลนตมตามทะเล ชายฝั่งที่มีหญ้าทะเล ในป่าแสม โกงกางและในแหล่งน้ำกร่อย นอกจากนี้สามารถพบปูทะเลตามป่าชายเลนและปากแม่น้ำที่มีน้ำทะเลท่วมถึง บริเวณชายฝั่งทะเลทั้งบริเวณอ่าวไทยและอันดามัน โดยอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด ส่วนอ่าวไทยตอนใน ได้แก่ สมุทรปราการ สมุทรสงคราม และอ่าวไทยฝั่งตะวันตก มีหูกชุมที่จังหวัดชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ นครศรีธรรมราช สงขลา ตรัง ส่วนฝั่งอันดามันมีหูกชุมที่จังหวัดระนอง กระบี่ สตูล (ชลธิ์, 2539)

ปูแดง ปูดำ

ปูแดงหรือปูดำ (*Scylla serrata* Forskal) มีกระดองสีน้ำตาลปนเขียวหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดขาวหม่นเล็กน้อย บริเวณปากมีสีฟ้า-เขียว ครึ่งบนด้านหน้าของก้ามไม่มีจุดสี ในขณะที่ครึ่งล่างด้านหน้าของก้ามมีสีน้ำตาล น้ำตาลแดงหรือแดง ขาวายน้ำสีน้ำตาลอมเขียว มีลายร่างแหไม่ชัดเจน หนามคู่กลางที่ขอบกระดองระหว่างช่องตามีลักษณะมนปลาย มีฐานกว้างหรือครึ่งวงกลม มีร่างกายแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว (head) อก (thorax) และท้อง (abdomen) ส่วนหัวและอกจะติดรวมกันเรียกว่า cephalothorax มีกระดอง (carapace) หุ้มอยู่ตอนบน กระดองมีรูปร่างรี เป็นรูปไข่ ด้านข้างกระดองเป็นรอยหยักคล้ายฟันเลื่อย เป็นหนามแหลม และบริเวณเบ้าตามีหนามแหลมอีก 4 หนาม ปูทะเลมีตาด้านหน้า 1 คู่ ซึ่งเป็นตาประกอบ ก้านตาวาว สามารถชูและพับอยู่ในเบ้าตาได้ มีขา 5 คู่ ขาคู่แรกอยู่ด้านหน้าสุด มีขนาดใหญ่เรียกว่า “ก้าม” (chela) ปลายสุดของขาเดินคู่ที่ 2-4 มีลักษณะปลายแหลม เรียกว่า “ขาเดิน” (walking leg) ส่วนขาคู่ที่ 5 เรียกว่า “ขาพาย” (paddle) มีหน้าที่ช่วยในการว่ายน้ำ เมื่อโตเต็มวัย ปูเพศผู้จะมีก้ามใหญ่ จับปั้งเรียวยาว แคบ ตัวเมียมีก้ามเล็ก จับปั้งกว้างเป็นรูปครึ่งวงกลมจนเต็มหน้าอก ปลายมนกลม ใช้สำหรับการอุ้มไข่หลังการผสมพันธุ์ (มานิช และบุญส่ง, 2512)

เมื่อเปิดกระดองปู จะพบว่าภายในกระดองมีเยื่อบาง ๆ กรูอยู่ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ทำหน้าที่เก็บความชื้น ในเพศเมียเมื่อสืบพันธุ์ บริเวณดังกล่าวจะเป็นที่เก็บไข่ (egg mass) ที่สร้างขึ้นที่ลำตัว ภายในมีเหงือก (gill) อยู่สองข้างลำตัว มีลักษณะคล้ายขนนก ทำหน้าที่ช่วยการหายใจ นอกจากนี้ยังพบระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาท ระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบขับถ่าย และระบบสืบพันธุ์ ในเลือดปูมีสาร hemocyanin ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจะทำให้เลือดมีสีน้ำเงินอ่อนๆ (Green, 1961)

ปูแดงหรือปูดำ สามารถพบได้บริเวณป่าแสม โกงกาง และป่าริมทะเล ในจังหวัด ฉะเชิงเทรา จันทบุรี ตราด ชลบุรี ระยอง สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี นราธิวาส ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรังและสตูล ในขณะที่ในต่างประเทศพบแพร่กระจายทั่วไปในป่าชายเลน ตั้งแต่ชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของแอฟริกา อินโด-แปซิฟิก มัลดีฟ ฟิจิ ศรีลังกา อินเดีย บังกลาเทศ พม่า ไทย เขมร เวียดนาม มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ออสเตรเลีย จีน และญี่ปุ่น (บรรจง และบุญรัตน์, 2545)

ความสัมพันธ์ระหว่างกระดองและน้ำหนัก

ความสัมพันธ์ระหว่างกระดองและน้ำหนัก พบว่าปูที่มีอายุเท่ากัน ปูเพศผู้จะมีน้ำหนักมากกว่าปูเพศเมีย โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกับความกว้างของกระดอง สามารถนำไปใช้เป็นดัชนีบอกขนาดของปูในวัยเจริญพันธุ์ได้ เนื่องจากก้ามซึ่งเป็นลักษณะเด่นของปูเพศผู้มีการพัฒนาให้มีขนาดใหญ่กว่าปูเพศเมีย เช่น ปูขนาด 9-10 เซนติเมตร ปูเพศผู้จะมีน้ำหนักประมาณ 150-320 กรัม ในขณะที่ปูเพศเมียจะมีน้ำหนักประมาณ 135-235 กรัม (บรรจง และบุญรัตน์, 2545) ขนาดของปูที่เริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของปู และวิธีในการประเมิน จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างกระดองและน้ำหนักสามารถใช้เป็นดัชนีบอกขนาดของปูทะเลวัยเจริญพันธุ์ได้ และขนาดของปูดำหรือปูแดงที่เริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของปูและวิธีที่ใช้ประเมิน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างกระดองและน้ำหนัก

ความกว้างของ กระดอง (เซนติเมตร)	ปูเพศผู้		ปูเพศเมีย	
	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก:ความกว้าง	น้ำหนัก (กรัม)	น้ำหนัก:ความกว้าง
1.0	0.1	0.10	0.6	0.60
2.0	1.0	0.50	3.3	1.65
3.0	3.9	1.30	9.3	3.10
4.0	10.4	2.60	19.5	4.88
5.0	22.0	4.40	34.5	6.90
6.0	40.7	6.78	55.0	9.17
7.0	68.4	9.77	81.6	11.66
8.0	107.3	13.41	114.8	14.35
9.0	159.6	17.73	155.2	17.24
10.0	227.7	22.77	203.2	20.32
11.0	321.9	29.26	259.4	23.58
12.0	420.9	35.08	324.1	27.01
13.0	551.2	42.40	397.8	30.60
14.0	707.2	50.51	480.9	34.35
15.0	892.7	59.51	573.8	38.25
16.0	1,109.8	69.36	676.9	42.31
17.0	1,361.1	80.06	790.5	46.50

ที่มา : ชลธี (2539)

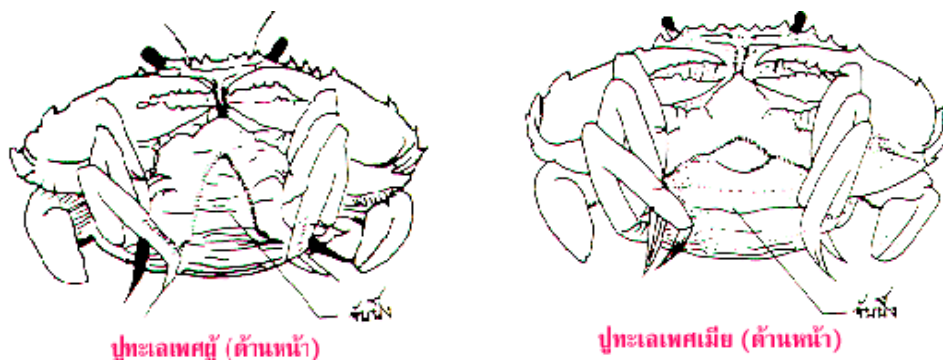
ตารางที่ 2 ขนาดของปูดำหรือปูแดงที่เริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์

วิธีที่ใช้กำหนดขนาดของปูที่เริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์	ความกว้างของกระดอง (เซนติเมตร)
1. ลักษณะของจับปิ้งปูเพศเมีย	9.4-13.4
2. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของจับปิ้งกับความกว้างของกระดอง	9.0-9.9
3. ความกว้างของจับปิ้งปล้องที่ 5 กับความกว้างระหว่างฐานของขาเดินคู่ที่ 5	8.9-11.0
4. การพัฒนารังไข่	8.4-11.5
	8.2-12.6
5. ความสัมพันธ์ระหว่างกระดองและน้ำหนัก	9.0-11.0
ค่าเฉลี่ย	8.8-11.5

ที่มา : บรรจง และบุญรัตน์ (2545)

เพศ การผสมพันธุ์ และการวางไข่

ลักษณะเพศของปูจะมีความเด่นชัดเมื่อปูโตเต็มวัย โดยปูเพศผู้จะมีก้ามใหญ่ ส่วนท้องประกอบด้วยปล้อง 6 ปล้อง ปล้องที่ 3 4 และ 5 เชื่อมต่อกับปล้องที่ 1 มีลักษณะแคบเล็ก ปล้องที่ 6 มีฐานกว้างปลายเรียวแคบ พับติดกับอกเรียกว่า “จับปิ้ง” ในขณะที่เพศเมียมีก้ามเล็ก จับปิ้งจะมีลักษณะเล็กเรียว และจะขยายกว้างเป็นรูปครึ่งวงกลมจนเกือบเต็มอก ปลายมนกลม (ภาพที่ 2) มีขนละเอียดบริเวณขอบปล้องเพื่อทำหน้าที่ในการอุ้มไข่ เมื่อโตเต็มวัย



ภาพที่ 2 ความแตกต่างระหว่างปูทะเลเพศผู้และเพศเมียโดยอาศัยลักษณะที่แตกต่างบริเวณส่วนท้อง
ที่มา : กรมประมง (2541)

ในฤดูผสมพันธุ์ ปูเพศเมียมีพฤติกรรมก้าวร้าว แสดงอาการปกป้องเมื่อปูเพศผู้เข้าใกล้ เมื่อได้โอกาสปูเพศผู้จะขึ้นคร่อมและใช้ปลายขาเดินคู่ที่ 2-4 (perciopods) พยุงปูเพศเมียไว้ ในเวลากลางวันปูเพศผู้จะเกาะหลังปูเพศเมียตลอดเวลา แต่ปูจะแยกออกจากกันในตอนเย็นใกล้ค่ำ การจับคู่ในลักษณะเช่นนี้จะทำติดต่อกันประมาณ 3-4 วัน จนกระทั่งปูเพศเมียลอกคราบ เมื่อปูเพศเมียหลุดจากคราบ ปูเพศผู้จะจับปูเพศเมียหงายกลับเอาด้านท้องขึ้น และสอดตัวเข้าไประหว่างระหว่างจับปิ้งของปูตัวเมีย เพื่อสอดอวัยวะสืบพันธุ์ (gonopod) เข้าไปในรูเปิดของปูเพศเมีย (gonopore) ได้จับปิ้ง (ภาพที่ 3) โดยมีหนามที่โคนขาเดินคู่ที่สามของปูเพศผู้ทำหน้าที่ช่วยยึดหน้าท้องของปูทั้งสองให้แนบสนิท ระยะเวลาในการผสมพันธุ์ตั้งแต่ปูเพศเมียลอกคราบจนได้รับน้ำเชื้อใช้เวลาประมาณ 12-15 ชั่วโมง ปูเพศเมียจะกลับอยู่ในท่าปกติ ปูเพศผู้ยังคงเกาะหลังปูเพศเมียอีกประมาณ 2-3 วัน จนกระดองของปูเพศเมียแข็งจึงแยกออก ปูที่ได้รับน้ำเชื้อแล้วจะเรียกว่า “ปูแม่หม้าย หรือปูกระแซง” ซึ่งจะไม่มีการลอกคราบอีกจนกว่าไข่จะฟักเป็นตัว ไข่เมื่อได้รับการผสมกับเชื้อตัวผู้จะถูกส่งไปเก็บไว้ในบริเวณหน้าอก ระยะนี้เรียกว่า “ปูไข่นอกกระดอง” (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการผสมพันธุ์ของปูทะเล

ที่มา : ชลธิ (2539)

เมื่อปุ๋ยเคมีได้รับน้ำเชื้อจากตัวผู้แล้วรังไข่จะพัฒนาเป็นไข่สมบูรณ์ภายใน 40-60 วัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเค็มของน้ำ ความสมบูรณ์ของอาหาร และคุณภาพของน้ำ การพัฒนาของรังไข่สามารถแบ่งได้ 4 ระยะ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, ม.ป.ป.)

ระยะที่ 1 (under development stage) รังไข่มีลักษณะเป็นเส้นยาวแบน 2 เส้น แทรกอยู่ในช่องว่างภายในลำตัวตามขอบกระดูกด้านหน้า ระยะนี้รังไข่มีขนาด 1/6 ของช่องว่างภายในลำตัว มีลักษณะสีขาว โปร่งใส

ระยะที่ 2 (early development stage) รังไข่ขยายใหญ่ขึ้นประมาณร้อยละ 10-20 ของช่องว่างภายในลำตัว มีรอยหยัก สีครีมหรือสีเหลืองอ่อน หรือสีชมพู

ระยะที่ 3 (nearly ripe stage) รังไข่ขยายตัวออกไปตามช่องว่างภายในลำตัว คลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 20-75 ของช่องว่างภายในลำตัว มีสีเหลืองหรือสีชมพู

ระยะที่ 4 (ripe stage) รังไข่มีความสมบูรณ์เต็มที่ ไข่แน่นเต็มช่องว่างภายในลำตัว ผิวมันวาว มองจากด้านบนรูปร่างคล้ายสมอ ไข่แยกเป็นเม็ด ระยะนี้ไข่มีสีส้มเหลืองถึงส้มแดง

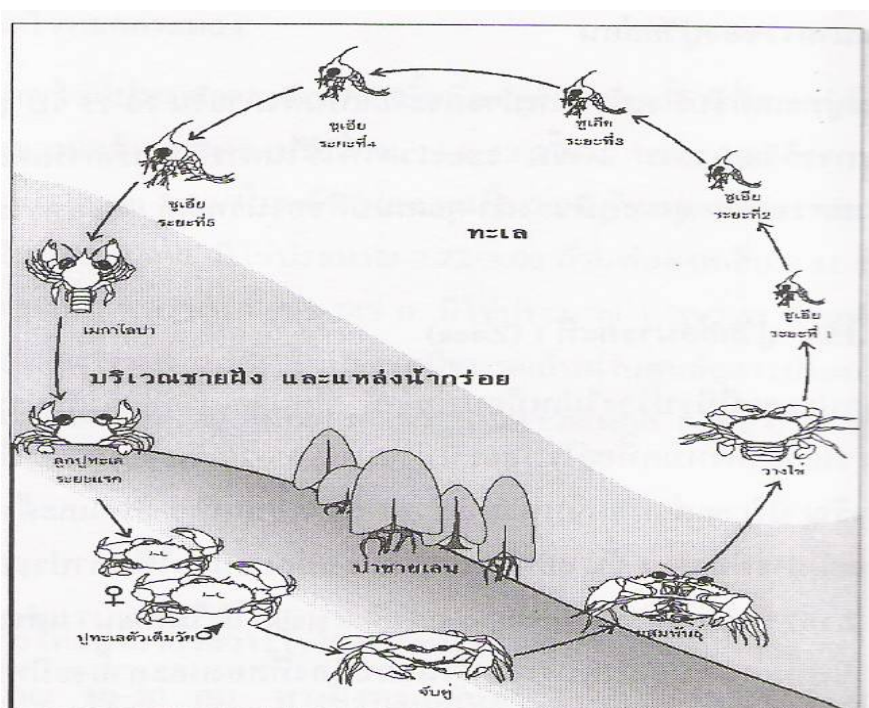
การวางไข่ของปูเพศเมีย พบว่าทางภาคใต้ฝั่งตะวันออก ปูจะวางไข่ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ และช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคม ส่วนทางฝั่งทะเลอันดามันปูจะวางไข่ในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม

ภายหลังการวางไข่ปูเพศเมียจะกลับไปดำรงชีวิตในป่าชายเลน หรือในพื้นที่ดินชายฝั่งที่อยู่อาศัยและสามารถมีไข่นอกกระดองครั้งที่สองและสามได้โดยไม่จำเป็นต้องผสมกับปูเพศผู้อีก แต่ปริมาณไข่ครั้งที่สองและที่สามจะมีปริมาณน้อยกว่าการได้รับการผสมจากตัวผู้ แม่ปูหนึ่งตัวจะมีไข่ประมาณ 1.7-2.5 ล้านฟอง โดยขึ้นอยู่กับขนาด อายุ และความสมบูรณ์ของปู (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, ม.ป.ป.)

วงจรชีวิตและวิวัฒนาการ

โดยทั่วไปแม่ปูจะวางไข่ที่ระดับน้ำลึกประมาณ 20-30 เมตร ห่างจากฝั่งประมาณ 30-50 กิโลเมตร ทางฝั่งอันดามันพบว่าปูเพศเมียจะวางไข่ที่ระดับน้ำลึกประมาณ 90-200 เมตร ห่างจากฝั่งเป็นระยะทางถึง 80 กิโลเมตร หลังจากฟักเป็นตัวแล้วลูกปูจะลอยไปตามกระแสน้ำและคลื่นลม เมื่อเข้าสู่ระยะซูเลีย (zoea) ในระยะที่ 4 ลูกปูเริ่มว่ายน้ำได้ ซึ่งจะเปลี่ยนพฤติกรรมการกินอาหาร จากรอให้อาหารลอยมาเป็นว่ายน้ำหาอาหารกิน ระยะนี้ลูกปูจะเปลี่ยนสภาวะสามารถหากินตามพื้นดิน เข้าอาศัยตามแหล่งน้ำกร่อยและตามป่าชายเลน

ไข่นูทะเลจะฟักเป็นตัวภายใน 10-15 วัน ลูกปูวัยอ่อนมีขั้นตอนการวิวัฒนาการแต่ละระยะผันแปรไปตามความเค็ม อุณหภูมิของน้ำ คุณสมบัติของน้ำทะเลและความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, ม.ป.ป.) โดยทั่วไปวงจรชีวิตและวิวัฒนาการของปูประกอบด้วย 2 ระยะ ดังภาพที่ 4 คือ



ภาพที่ 4 วงจรชีวิตและวิวัฒนาการของปู

ที่มา : ชลธิ (2539)

ระยะที่ 1 ซูเอีย (zoea) ระยะนี้ลูกปูมีรูปร่างไม่เหมือนพ่อแม่ มีขนาดลำตัวประมาณ 1.2-3.5 เซนติเมตร รวมเวลาทั้งหมดที่อยู่ในระยะนี้ประมาณ 10-12 วัน ว่ายน้ำว่ายน้ำยังไม่เจริญ บริเวณส่วนอกมีหนามที่ส่วนหลัง 1 อัน กริ 1 อัน และด้านข้าง 2 อัน ระยะนี้ลูกปูจะมีพัฒนาการ 5 ชั้นลอกคราบ 5 ครั้ง

ระยะที่ 2 เมกาโลปา (megalopa) ระยะนี้ลูกปูมีขนาดยาวประมาณ 4.5 เซนติเมตร ว่ายน้ำ (pleopods) ทั้ง 5 คู่เริ่มทำงาน ก้ามพัฒนาดิ เค้นซัด เปลือกที่คลุมส่วนหัวรวมทั้งกริยาวประมาณ 2.3 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.6 เซนติเมตร หลังจากอยู่ในระยะนี้ประมาณ 5-7 วัน จะลอกคราบเป็นลูกปูที่มีรูปร่างเหมือนพ่อแม่

การลอกคราบ

ปูจะมีขนาดใหญ่ขึ้นก็ต่อเมื่อมีการลอกคราบ การลอกคราบของปูเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เกิดขึ้นติดต่อกันตลอดเวลา เริ่มจากการสะสมอาหารที่จำเป็นสำหรับการลอกคราบ โดยเฉพาะแคลเซียม ซึ่งในช่วงนี้จะพบแคลเซียมในเลือดสูงกว่าปกติ เนื่องจากมีแคลเซียมบางส่วนถูกดึงมาจากเปลือกเก่า เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ทันทีที่มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง (Brown *et al.*, 1991) ระยะเวลาในการลอกคราบของปูทะเลขึ้นอยู่กับอายุและขนาดของปู ปูขนาดกระดองกว้างประมาณ 4.8-7.5 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก ๆ 4 วัน และขนาดประมาณ 11.3-14.3 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก ๆ 8 วัน การเพิ่มขนาดหลังลอกคราบแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับขนาด และอายุของปู ปูขนาด 3-3.5 เซนติเมตร เมื่อปูลอกคราบจะมีขนาดโตกว่าเดิมประมาณร้อยละ 50 ในขณะที่ปูขนาด 14-15 เซนติเมตร จะมีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณร้อยละ 27.2 โดยปกติปูจะลอกคราบในช่วงน้ำขึ้นน้ำลงเต็มทีในช่วงระหว่างขึ้น 15 ค่ำ และแรม 3 ค่ำ ปูส่วนใหญ่จะลอกคราบในเวลากลางคืน และเมื่อปูจะลอกคราบ ความดันภายในตัวปูจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อถึงระดับหนึ่งจะดันเปลือกเก่าให้แตกออกตามรอยประสาน ปูจะใช้หลังดันกระดองด้านบนให้รอยต่อระหว่างส่วนหัวและอกกับท้องเผยออก จากนั้นจะดันตัวออกโดยมีขาคู่หลังหรือกรรเชียงออกมา ก่อน เมื่อร่างกายส่วนนั้นได้ปรับสภาวะเข้ากับสภาวะแวดล้อมภายนอกแล้ว ปูจึงถอดอวัยวะส่วนอื่นๆ ตามออกมา โดยมีก้ามเป็นร่างกายสุดท้าย ระยะเวลาในการที่ปูลอกคราบจนกระทั่งกระดองใหม่มีความแข็ง ใช้เวลาประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นปูเริ่มสะสมอาหารไว้เพื่อการลอกคราบครั้งต่อไป ปัจจัยที่มีผลต่อการลอกคราบของปูได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความเค็ม ระบบฮอร์โมนใน

ร่างกาย และความสมบูรณ์ของร่างกาย ลักษณะการลอกคราบและภายหลังการลอกคราบของปู
แสดงดังภาพที่ 5 และ 6



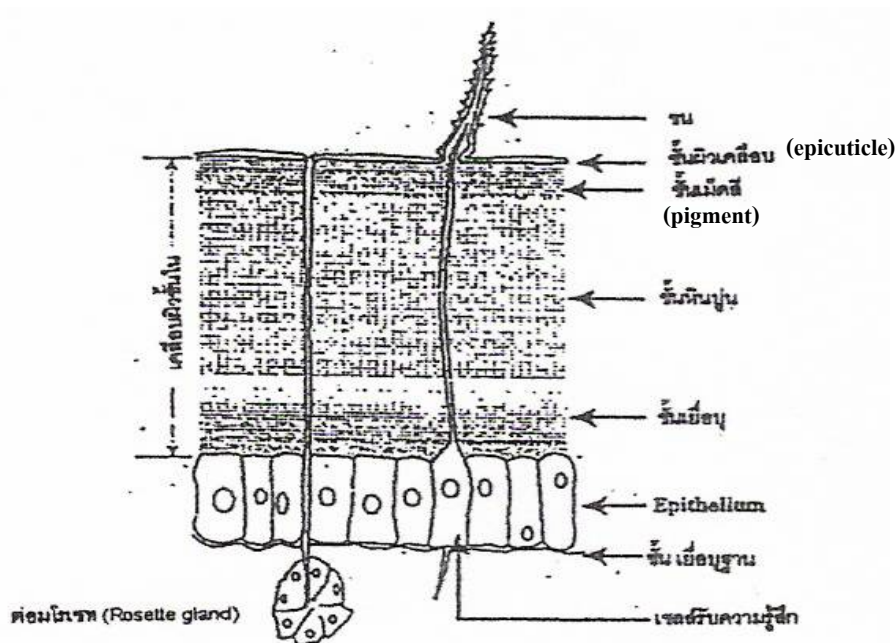
ภาพที่ 5 การลอกคราบของปูทะเล



ภาพที่ 6 ลักษณะปูทะเลภายหลังการลอกคราบ

โครงสร้างของกระดองปูสามารถแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ (ภาพที่ 7) ดังนี้ (บรรจงและบุญรัตน์, 2545)

1. ผิวชั้นนอก (epidermis) เป็นชั้นที่มีเซลล์ขนาดใหญ่ ภายในเซลล์ประกอบด้วยรงควัตถุ (chromatophore) ทำให้เซลล์มีสี ผิวชั้นนอกตั้งอยู่บนเยื่อฐาน (basement membrane)
2. เคลือบผิวชั้นใน (endocuticle) ชั้นนี้ประกอบด้วยชั้นย่อย 3 ชั้น โดยมีชั้นเม็ดสี (pigmental layer) อยู่บนสุดติดกับชั้นเคลือบผิว และชั้นเยื่อ (membranous membrane) อยู่ล่างสุดติดกับเซลล์ epithelium โดยมีชั้นหินปูน (calcified layer) อยู่ระหว่างกลาง
3. ชั้นเคลือบผิว (epicuticle) เป็นเปลือกที่อยู่ชั้นนอกสุด ประกอบด้วยไลโปโปรตีน (lipoprotein)



ภาพที่ 7 ลักษณะโครงสร้างของเปลือกปูทะเล

ที่มา : ชลธิ์ (2539)

การลอกคราบของปู สามารถแบ่งออกเป็นระยะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้
(Waterman, 1977)

1. ระยะ A (ระยะลอกคราบใหม่; stage A)

กระดองใหม่นิ่ม เทียบกับ ลื่น ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสีและชั้นเยื่อต่างๆจะติดเป็นชั้นเดียวกัน ระยะนี้ปูจะไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณร้อยละ 1.5 ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลอกคราบ และสามารถแบ่งออกเป็นสองระยะย่อยคือ

1.1 ระยะ A-1 (newly molt) กระดองนิ่มมาก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ขายังไม่แข็ง เคลื่อนที่ไม่ได้ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 0.5 ของช่วงการลอกคราบ

1.2 ระยะ A-2 (soft) กระดองเริ่มแข็งน้ำหนักตัวคงที่ น้ำหนัสดูดซึมเข้าตัว น้ำในตัวประมาณร้อยละ 86 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 1 ของช่วงการลอกคราบ

2. ระยะ B (ระยะหลังการลอกคราบ; post molt หรือ recently molt)

ระยะหลังการลอกคราบ เป็นระยะที่เปลือกใหม่เริ่มแข็ง (paper shell) ปูยังไม่กินอาหาร และโครงสร้างเริ่มแข็ง ชั้นเม็ดสีเริ่มมีการถอยกลับ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 8 ของช่วงการลอกคราบ สามารถแบ่งออกเป็นสองระยะย่อยคือ

2.1 ระยะ B-1 ชั้นหินปูนของเคลือบชั้นในเริ่มมีการพัฒนา ขาแข็งขึ้น น้ำในตัวมีประมาณร้อยละ 85 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 3 ของช่วงการลอกคราบ

2.2 ระยะ B-2 ชั้นเม็ดสีมีการถอยกลับ ในขณะที่ชั้นหินปูนเริ่มพัฒนากว้างขึ้น ขาและเปลือกเริ่มแข็ง น้ำในตัวมีประมาณร้อยละ 83 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 5 ของช่วงการลอกคราบ

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการลอกคราบและอัตราการเจริญเติบโตของปูทะเล

คราบที่	อายุหลังฟัก เป็นตัว (วัน)	ระยะเวลาลอก คราบ (วัน)	ความกว้างของกระดอง (ชม.)			ขนาดที่เพิ่ม	
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ชม.	%
1	30	7	3.3	3.6	3.4	-	-
2	34	4	4.8	5.3	5.1	1.7	50.0
3	38	4	6.0	7.5	6.8	1.7	33.3
4	44	6	8.0	10.3	9.2	2.4	35.2
5	52	8	11.3	13.6	12.1	2.9	31.5
6	60	8	13.9	14.9	15.4	3.3	27.2
7	71	11	15.8	19.5	18.6	3.2	20.8
8	82	11	19.8	25.8	23.5	4.9	26.3
9	97	15	26.0	32.9	29.4	5.9	25.1
10	113	16	32.6	42.7	36.1	6.7	22.8
11	135	22	40.7	48.4	43.3	7.2	19.9
12	165	30	45.0	57.3	51.0	7.7	17.8
13	195	30	53.4	66.5	60.1	9.1	17.8
14	231	36	62.5	80.6	70.8	10.7	17.8
15	281	50	75.6	97.6	85.4	14.7	17.8
16	338	57	89.8	114.2	99.7	14.6	16.7
17	415	77	97.3	110.8	106.0	6.3	6.3
18	523	108	107.0	119.5	113.3	7.3	6.9

ที่มา : Ong and Sin (1966)

3. ระยะ C (ระยะระหว่างการลอกคราบ; inter molt)

กระดองปูมีความแข็งแรงเต็มที่ ผิวชั้นนอกของเปลือกสมบูรณ์ ชั้นเมือสียกลับไปยังบริเวณฐานปลายสุดของขน (sactae) เก่า ผิวชั้นนอกมีการหดกลับ ถ้าเอามือกดเปลือกจะแตกง่าย ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 66 ของช่วงการลอกคราบ สามารถแบ่งออกเป็นสี่ระยะคือ

3.1 ระยะ C-1 ปูเริ่มกินอาหาร ชั้นเมือสีกว้าง ขาต่างๆ มีความแข็งแรงเกือบปกติ ในตัวมีน้ำประมาณร้อยละ 80 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 8 ของช่วงการลอกคราบ

3.2 ระยะ C-2 ชั้นเมือสีกว้างมากขึ้น ขาต่างๆ แข็ง เปราะง่าย น้ำในตัวมีประมาณร้อยละ 76 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 13 ของช่วงการลอกคราบ

3.3 ระยะ C-3 ชั้นเมือสีกว้างมากกว่าระยะ C-2 น้ำในตัวมีประมาณร้อยละ 68 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 15 ของช่วงการลอกคราบ

3.4 ระยะ C-4 เป็นระยะสุดท้าย การพัฒนาของชั้นเมือสีสมบูรณ์ ระยะนี้ปูกินอาหารได้ปกติ มีการเคลื่อนไหวว่องไว ปราดเปรียว คุ้ย และเริ่มมีการสะสมสารอินทรีย์ต่างๆ ที่จำเป็นในการลอกคราบ น้ำในตัวมีประมาณร้อยละ 61 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 30 ของช่วงการลอกคราบ

4. ระยะ D (ระยะก่อนลอกคราบ; pre molt)

กระดองปูมีความแข็งแรงเต็มที่ เปลือกมีความสมบูรณ์ มีการสะสมอินทรีย์สารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการลอกคราบ เช่น แคลเซียม เพื่อใช้ในการลอกคราบครั้งต่อไป ปูเริ่มกินอาหารน้อยลง เคลื่อนไหวช้า ปริมาณน้ำในตัวประมาณร้อยละ 50-60 ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 24 ของช่วงการลอกคราบ สามารถแบ่งเป็นสี่ระยะย่อยคือ

4.1 ระยะ D-1 พบว่าผิวหนังนอกของเปลือกใหม่เริ่มพัฒนา เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเก่า ทำให้เกิดชั้นของเปลือกใหม่ขนานไปกับเปลือกเก่า เปลือกที่สร้างใหม่ใส ปริมาณน้ำในตัวคงที่ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 15 ของช่วงการลอกคราบ

4.2 ระยะ D-2 ช่องว่างระหว่างเปลือกใหม่และเปลือกเก่ากว้าง ขนบนชั้นเคลือบผิวอันใหม่เริ่มพัฒนาเป็นเส้นขนเล็กๆ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 5 ของช่วงการลอกคราบ

4.3 ระยะ D-3 เปลือกใหม่มีการพัฒนาสมบูรณ์ เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเก่า เกิดช่องว่างระหว่างเปลือกใหม่เห็นได้ชัดเจน กระจกมีความแข็งแรงมาก เปราะและแตกง่าย ปุ่หยุดกินอาหาร เคลื่อนไหวช้า ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 3 ของช่วงการลอกคราบ

4.4 ระยะ D-4 รอยต่อต่างๆ ตามเปลือกเริ่มแตก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 1 ของช่วงการลอกคราบ

5. ระยะ E (ระยะลอกคราบ; molting)

ปูสลัดกระดองเก่าทิ้ง น้ำถูกดึงเข้าตัวอย่างรวดเร็ว ไม่เคลื่อนที่ ไม่กินอาหาร เป็นระยะที่ปูมีความอ่อนแอมากที่สุด อาจถูกสัตว์อื่นทำร้ายหรือกินเป็นอาหารได้ง่าย ระยะนี้ใช้เวลาประมาณร้อยละ 0.5 ของช่วงการลอกคราบ ระยะเวลาในการลอกคราบของปูจะเพิ่มมากขึ้นตามอายุของปูทะเล นอกจากนี้ บรรจงและบุญรัตน์ (2545) รายงานว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการลอกคราบของปู ได้แก่ ระดับฮอร์โมนที่ควบคุมการลอกคราบ และฮอร์โมนที่เร่งในการลอกคราบ เกษตรกรจะกระตุ้นให้ต่อมที่ผลิตฮอร์โมนดังกล่าวทำงานด้วยวิธีตัดก้ามและขาว่ายน้ำ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงความเค็มและอุณหภูมิของน้ำ อาหารที่ใช้เลี้ยง แสง และอุณหภูมิก็มีผลต่อการลอกคราบของปู

การเลี้ยงปูนึ่งและการจัดการฟาร์มปูนึ่ง

การเลี้ยงปูนึ่ง

ปูนึ่ง หมายถึง ปูที่ลอกคราบเสร็จสิ้นไม่นาน กระดองปูยังไม่มีความแข็ง ช่วงนี้ปูยังไม่สามารถกินอาหารและป้องกันตนเองได้ หลังจากผ่านการลอกคราบมา 3 วัน ปูจึงแข็งแรง ช่วงระยะเวลาในการลอกคราบไม่เกิน 2-4 ชั่วโมง ปูยังมีกระดองนุ่มสามารถนำไปปรุงอาหารได้ ถ้าระยะเกิน 4 ชั่วโมง ปูจะมีกระดองแข็งกลายเป็นปูธรรมดา ไม่มีเนื้อ เรียกว่า “ปูโพรก” ไม่นิยมรับประทาน แต่ถ้าลอกคราบไปแล้วประมาณ 7-15 วัน ปูจะมีเนื้อแน่นเหมือนกับปูทั่วไป ปูนึ่งมีความพิเศษคือ มีความสะอาดในทุกส่วน เนื่องจากคราบเก่าถูกลอกออกไปหมด อวัยวะทุกส่วนขยายตัวก่อนการลอกคราบ 2 วัน กระเพาะอาหารว่างเปล่า ไม่มีเศษอาหารในช่องท้อง (วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีระนอง, ม.ป.ป.)

จังหวัดที่มีการเลี้ยงปูนึ่ง ได้แก่ จังหวัดตราด สมุทรปราการ ชุมพร ระนองและสตูล ขนาดของปูที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงปูนึ่งควรมีความกว้างกระดองประมาณ 5-6 เซนติเมตร (ประมาณ 15-18 ตัว/ กิโลกรัม) เมื่อปูลอกคราบจะได้ปูขนาด 8-9 เซนติเมตร (ประมาณ 10-12 ตัว/ กิโลกรัม) ปูที่ใช้ในการลอกคราบควรเป็นปูเพศผู้ที่อยู่ในระยะลอกคราบที่ 3 ถ้าเป็นปูในระยะที่ 2 หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า “ปูโพรก” นั้น ต้องเลี้ยงให้เป็นปูแน่นเสียก่อน ถ้าเป็นปูตัวเมียควรเป็นปูที่มีขนาดจับปิ้งอยู่ในขั้นที่ 1-3 เพราะปูในระยะนี้ลอกคราบเร็ว

การทำฟาร์มปูนึ่งในปัจจุบันตามเอกสารเผยแพร่ของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีระนอง (ม.ป.ป.) มีการเลี้ยงปูนึ่ง 3 แบบ คือ

1. การเลี้ยงในบ่อดิน โดยบ่อที่เลี้ยงต้องมีการกั้นด้วยกระเบื้องหรือไม้ไผ่ เพื่อป้องกันการหนีของปู หว่านอาหารพวกปลาสดวันละมื้อในช่วงเช้า มีประตูน้ำเข้า-ออก เมื่อน้ำลงจะรวบรวมปูที่ลอกคราบ การเลี้ยงด้วยวิธีนี้ปูนึ่งจะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีการปนเปื้อนของโคลน และต้องอาศัยการขึ้นลงของน้ำทะเล และที่สำคัญถ้าเลี้ยงปูหนาแน่นมาก ปูจะมีการกินกันเอง

2. การเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ การเลี้ยงด้วยวิธีนี้มีความสะดวกในการดูแลบ่อเลี้ยง สามารถทำได้ง่าย โดยใช้อิฐบล็อก 3-4 แถว ความสูงประมาณ 0.5-1 เมตร ดินทุนต่ำ ใช้น้ำที่ความสูงไม่เกิน 50 เซนติเมตร ควรปล่อยปูให้มีขนาดเดียวกันเพื่อป้องกันการกัดกันเอง ควรมีหลังคาคลุม เพื่อสะดวกในการควบคุมความเค็ม อุณหภูมิ แสง และการรบกวนจากภายนอก ตรวจสอบการลอกคราบทุก 4 ชั่วโมง หากไม่ตรวจสอบปูที่ลอกคราบจะถูกปูตัวที่แข็งแรงกว่ากิน เกษตรกรจึงแก้ไขโดยตัดก้ามปูและขาให้เหลือแต่ขาพาย ปัญหาที่ตามมาคือ ปูจะเครียด และตาย ประมาณร้อยละ 10-20 น้ำหนักของปูหลังการลอกคราบจะลดลงกว่าปูมีระยะครบ ประมาณร้อยละ 20-25 และราคาของปูที่มีอวัยวะไม่ครบจะต่ำกว่าที่มีอวัยวะสมบูรณ์

3. การเลี้ยงในตะกร้าพลาสติก (กระชัง) การเลี้ยงแบบนี้จะใช้ต้นทุนสูงกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากการใช้ตะกร้า 1 ตะกร้าเลี้ยงปู 1 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 8 และ 9 มีความสะดวกในการดูแล และปูนี้ที่ได้มีคุณภาพสูง มีราคาสูงเนื่องจากมีอวัยวะครบสมบูรณ์ เป็นที่ต้องการในประเทศ การเลี้ยงในตะกร้าจะเลี้ยงในแหล่งน้ำบริเวณป่าชายเลน แหล่งน้ำกร่อย หรือที่ดินบริเวณชายฝั่ง ที่กำลังคลื่นลม กระแสน้ำไม่แรงนัก ตะกร้าจะวางอยู่บนแพ ไม่มีท่อนลอยที่สามารถลอยขึ้นลงตามระดับน้ำ ตะกร้าทำด้วยพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนขนาด 30 X 45 X 20 เซนติเมตร มีฝาปิดเปิดได้ สำหรับให้อาหารและป้องกันปูหนี สำหรับขั้นตอนการจัดการฟาร์มปูนี้ในลักษณะการเลี้ยงในตะกร้าพลาสติก และการบรรจุหีบห่อ แสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 8 การเลี้ยงปูน้ำจืดในลักษณะการเลี้ยงในตะกร้าพลาสติก



ภาพที่ 9 ลักษณะตะกร้าพลาสติกที่ใช้ในการเลี้ยงปูน้ำจืด



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการจัดการฟาร์มปูน้ำจืดเลี้ยงในตะกร้าพลาสติกและการบรรจุหีบห่อ

การจัดการฟาร์มปุนีในลักษณะการเลี้ยงในตะกร้าพลาสติกและการบรรจุหีบห่อ

ขั้นตอนการจัดการฟาร์มปุนีในลักษณะการเลี้ยงในตะกร้าพลาสติกและการบรรจุหีบห่อ เริ่มตั้งแต่เกษตรกรจะรับปุ๋ยมะคองแข็ง นำมาเลี้ยงในตะกร้าพลาสติก โดยปุ๋ 1 ตัวต่อตะกร้า 1 ใบ ตะกร้าจะวางอยู่บนแพไม่มีท่อนลอยที่สามารถลอยขึ้นลงตามระดับน้ำ ให้อาหารวันละ 1 ครั้ง ตรวจสอบการลอกคราบทุกๆ 2-3 ชั่วโมง ถ้าสังเกตว่าปูหยุดกินอาหารแสดงว่าจวนจะลอกคราบ ภายหลังปูลอกคราบแล้ว 6 ชั่วโมง กระดองจะเริ่มแข็งไม่สามารถนำไปทำเป็นปุนีได้ ปูส่วนใหญ่ลอกคราบเวลากลางคืน ระยะเวลาในการลอกคราบจนติดตัวออกจากคราบเก่าใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที ดังนั้นควรตรวจสอบการลอกคราบของปูทะเลทุกๆ 4 ชั่วโมง (วันละ 6 ครั้ง) เมื่อปูลอกคราบจะนำไปแช่น้ำจืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทำความสะอาดและคายความเค็มออก (บรรจง, 2545) บางครั้งมีการฆ่าเชื้อด้วยโอโซน ก่อนที่จะนำไปบรรจุในกล่องพลาสติก กล่องหนึ่งจะบรรจุปูประมาณ 1-2 ตัว แล้วแต่ขนาด จากนั้นนำไปแช่ที่ตู้แช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป (บรรจง, 2545)

ปุนีได้รับความนิยมบริโภคทั่วไป ทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีแนวโน้มทางการตลาดที่ดีในอนาคต เพราะการรับประทานปุนีได้คุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง โดยเฉพาะแคลเซียม การใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงที่ีจะช่วยให้สินค้ามีคุณภาพที่ดี สามารถส่งออกไปขายยังตลาดต่างประเทศได้ ลักษณะผลิตภัณฑ์มีทั้งแบบปรุงสำเร็จ ขายตามร้านอาหารและแบบบรรจุแช่แข็งจำหน่ายตามซูเปอร์มาเก็ตทั่วไป

การบริโภคปุนีกำลังเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากเริ่มรู้จักแพร่หลายมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา ทำให้ยอดจำหน่ายเพิ่มมากขึ้นทุกปี ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ เนื่องจากมีพื้นที่อยู่ติดทะเล และค่าแรงยังต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ปัจจุบันผู้รับซื้อเพื่อส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศยังไม่สามารถผลิตได้เพียงพอกับยอดสั่งซื้อจากต่างประเทศ เนื่องจากฟาร์มปุนีในประเทศยังมีไม่มาก และคุณภาพการผลิตยังไม่ได้มาตรฐาน HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) (ศศิณัฐ, 2545)

การล้างส้วน้ำ

ขั้นตอนการล้างเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการแปรรูปส้วน้ำแช่เยือกแข็ง ตั้งแต่จับส้วน้ำขึ้นมาจากน้ำจะมีการล้าง เพื่อล้างสิ่งสกปรกและลดจุลินทรีย์ที่ติดมา เมื่อถึงโรงงานจะต้องล้างที่จุดรับวัตถุดิบอีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นจุดสำคัญ โดยจุดประสงค์หลักในการล้างเพื่อลดอุณหภูมิและลดปริมาณจุลินทรีย์ ดังนั้นน้ำที่ใช้ล้างส้วน้ำจึงมีความสำคัญ โดยทั่วไปนอกจากจะใช้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วยังต้องมีการเติมสารเคมีที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้ สารเคมีที่เติมมีทั้งที่เป็นตัวฆ่าหรือยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย หรือลด ค่าความเป็นกรด-เบส ให้ต่ำลง เช่น สารประกอบคลอรีน ซึ่งมีการนำมาใช้มากที่สุด (Ward and Baj, 1988) เนื่องจากสามารถกำจัดแบคทีเรียได้หลายชนิด ไม่มีสี ราคาถูกแต่มีข้อจำกัดในเรื่องกลิ่นตกค้าง (Xu, 1999) โดยความเข้มข้นที่ใช้งานจะมีความแตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ของการใช้งาน

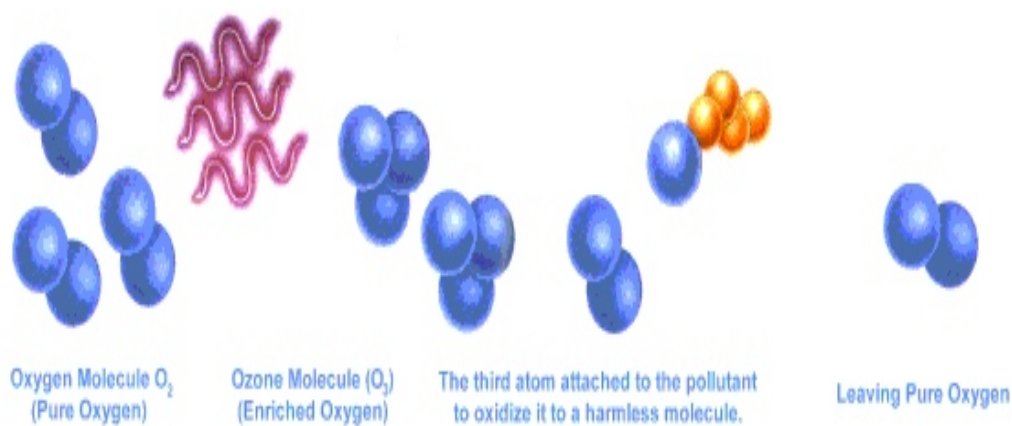
ในการใช้คลอรีนและสารประกอบไฮโปคลอไรต์นั้น อาจประสบปัญหาหลายอย่างได้ เช่น หากในน้ำที่ใช้มีสารแขวนลอยจะห่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ไม่ให้ถูกทำลายโดยคลอรีน นอกจากนี้สารอินทรีย์ยังทำปฏิกิริยากับคลอรีนทำให้เสียคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็นพวก คลอรามิน ทำให้คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อลดลง

Condie (1986) พบว่าการใช้คลอรีนในน้ำดื่มทำให้เกิดสาร trihalomethane (THM) มากขึ้น นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่ไปรวมตัวกับคลอรีนคือ กรดฮิวมิก (humic acid) และกรดฟุลวิก (fulvic acid) ซึ่งทำให้เกิดสารประกอบพวก chlorinated organic ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogens) ซึ่งสอดคล้องกับ Environmental and Health Organization ที่ยืนยันว่าการใช้สารประกอบคลอรีนอาจสร้างสาร trihalomethane (Graham, 1997) หรือ chloro-organic compounds (Restaino *et al.*, 1995) นอกจากนี้คลอรีนมีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ระคายเคืองผิว ดังนั้นการนำโอโซนมาใช้ในการล้างจึงน่าเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน (Graham, 1997) เนื่องจากโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าคลอรีนถึงร้อยละ 52 โดยทำลายเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียและไวรัส โอโซนสามารถสลายตัวได้ง่ายให้อะตอมของออกซิเจน ทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งหรือสารก่อการกลายพันธุ์ (สิริพร, 2543; Xu, 1999)

โอโซนและการประยุกต์ใช้งาน

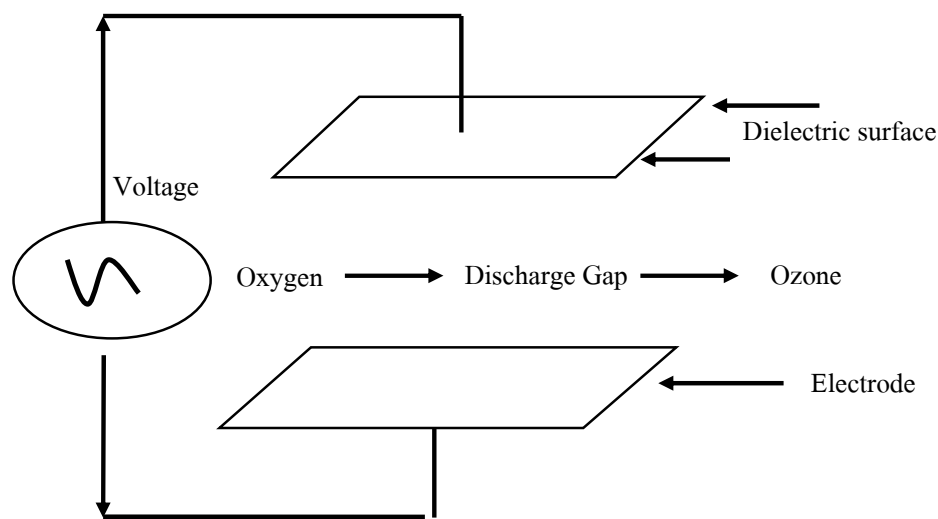
ลักษณะและความสำคัญของโอโซน

โอโซนเกิดขึ้นตามธรรมชาติในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ออกซิเจนแตกตัวเป็น 2 อะตอม ก๊าซโอโซนเกิดขึ้นเมื่ออะตอมที่แตกตัวรวมกับออกซิเจนโมเลกุล (ภาพที่ 11) ซึ่งต่อกันด้วยปฏิกิริยา photochemical ทำให้เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว (Graham, 1997) นอกจากนี้โอโซนเกิดในเวลาที่มีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่าระหว่างฝนตก ซึ่งเกิดจากกระบวนการโคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge) โดยมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าในอากาศที่สูงมาก ทำให้ออกซิเจนแตกตัวรวมเป็นก๊าซโอโซน ดังนั้นจากหลักการดังกล่าวจึงมีการพัฒนาเครื่องโอโซนออกมาจำหน่าย โดยให้ออกซิเจนผ่านกระแสไฟฟ้า บริเวณ discharge gap ซึ่งเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากบริเวณ dielectric surface ทำให้ได้ก๊าซโอโซนออกมา ดังภาพที่ 12 (Kim *et al.*, 1999)

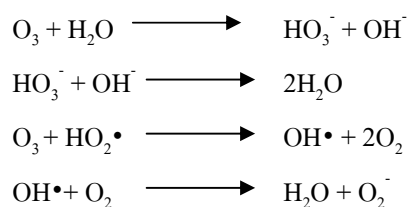


ภาพที่ 11 ลักษณะการแตกตัวของออกซิเจนกลายเป็นโอโซน

ที่มา : Ozone Solutions, Inc (2004a)



ภาพที่ 12 ลักษณะการเกิดก๊าซโอโซนโดยปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จ
ที่มา : Kim *et al.* (1999)



เมื่อโอโซนในน้ำสลายตัวเกิดอนุมูลอิสระคือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (HO_2) ไฮดรอกซิล ($\text{OH}^\bullet$) และซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สูงมาก สามารถทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น กลีเซอรอล โลหะ สารประกอบอินทรีย์ ไฮโดรเจน และไฮดรอกไซด์ในน้ำ (Kim *et al.*, 1999)

โอโซนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในขั้นตอนการล้างและการกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เมื่อเปรียบเทียบค่าออกซิเดชันโพเทนเชียล กับสารเคมีที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าโอโซนมีค่าออกซิเดชันโพเทนเชียลสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นๆ นอกจากนี้พบว่าโอโซนสามารถสลายตัวได้เร็ว ไม่มีสารตกค้าง มีครึ่งชีวิต (half-life) ที่สั้นขึ้นอยู่กับสถานะของอุณหภูมิของตัวกลาง (ตารางที่ 4, 5 และ 6)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกับครึ่งชีวิตของโอโซนในรูปก๊าซโอโซน

Temp ($^{\circ}$ C)	Half life
-50	3 เดือน
-35	18 วัน
-25	8 วัน
20	3 วัน
120	1.5 ชั่วโมง
250	1.5 วินาที

ที่มา : Ozone Solutions, Inc (2004b)

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบ oxidizing potential ระหว่างโอโซนกับสารเคมีชนิดอื่นๆ

Oxidizing Potential	Oxidizing Potential
Ozone	2.07
Hydrogen peroxide	1.77
Permanganate	1.67
Chlorine dioxide	1.57
Hypochlorous acid	1.49
Chlorine Gas	1.36
Hypobromous acid	1.33
Oxygen	1.23
Bromine	1.09
Hypoiodous acid	0.99
Hypochlorite	0.94
Chlorine	0.76
Iodine	0.54

ที่มา : Ozone Solutions, Inc (2004b)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกับครึ่งชีวิตของโอโซนในรูปน้ำโอโซนที่สภาวะความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 7

Temp ($^{\circ}$ C)	Half-life
15	30 min
20	20 min
25	15 min
30	12 min
35	8 min

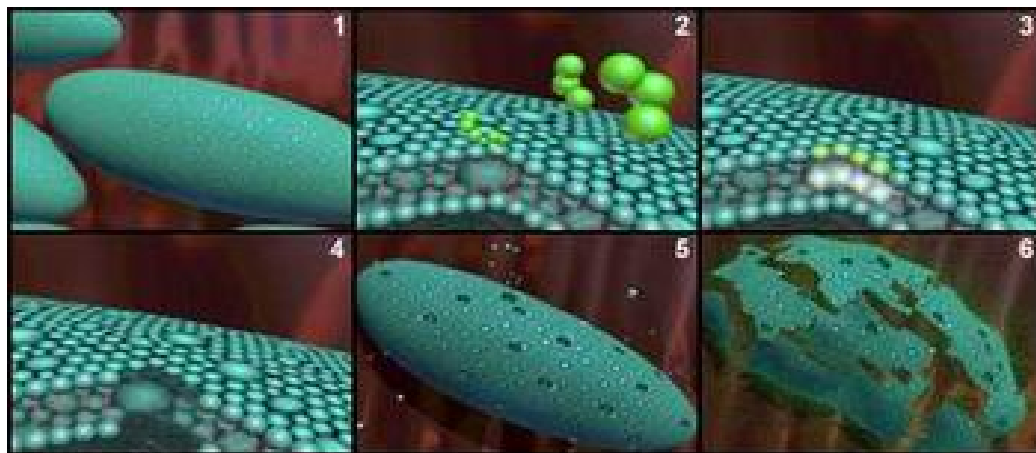
ที่มา : Ozone Solutions, Inc (2004b)

กลไกการทำงานของโอโซนในการยับยั้งจุลินทรีย์

โอโซนสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ *Escherichia coli*, *E.coli* O157: H7, *Pseudomonas fluorescens*, *Salmonella* Typhimurium, *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* รวมทั้งยีสต์และสปอร์เชื้อรา เช่น *Aspergillus niger* (Restaino *et al.*, 1995; Byun *et al.*, 1998; Moore *et al.*, 2000) ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของโอโซนขึ้นกับความเข้มข้น ระยะเวลาที่สัมผัสกับจุลินทรีย์ และสภาวะที่เป็นกรดของมีเดียจะช่วยให้โอโซนฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีขึ้น (Kim and Yousef, 2000)

ลักษณะการทำลายจุลินทรีย์ของโอโซน ประกอบด้วย (Moore *et al.*, 2000)

1. ผนังเซลล์ บริเวณดังกล่าวเป็นส่วนแรกที่โอโซนเข้าทำปฏิกิริยา ทำให้ผนังเซลล์แตกของเหลวภายในเซลล์ไหลออกมา ซึ่งเกิดจากกระบวนการ lysis (Dave *et al.*, 1998) ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ผลของการใช้โอโซนต่อเซลล์จุลินทรีย์

ที่มา : Ozone Solutions, Inc (2004c)

2. บริเวณสปอร์ จากรายงานของ Foegeding (1985) พบว่าโปรตีนที่เคลือบสปอร์และชั้นนอกของสปอร์ *Bacillus cereus* ถูกกำจัดออกไปอย่างรวดเร็ว

3. เอนไซม์ โอโซนมีผลต่อเอนไซม์โดยโอโซนทำลายเอนไซม์ได้ดีกว่าคลอรีน การทำลายเอนไซม์ของโอโซนพบว่าทำลายเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) และรบกวนระบบการหายใจของจุลินทรีย์

4. กรดนิวคลีอิก พบว่าโอโซนจะเข้าทำลายในส่วน plasmid DNA

นอกจากนี้ปริมาณโอโซนที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์มีความแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ (ตารางที่ 7) เช่น *Vibrio cholera* ถูกทำลายได้อย่างรวดเร็วในขณะที่ *Bacillus cereus* ในรูป vegetative cell สามารถทำลายได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปของสปอร์

ตารางที่ 7 ปริมาณของโอโซนในการทำลายเชื้อรา แบคทีเรียและไวรัส

Pathogens	Dosage
<i>Aspergillus niger</i>	Destroyed by 1.5 to 2.0 ppm
<i>Bacillus cereus</i>	99% destruction after 5 min at 0.12 ppm
<i>B.cereus (spore)</i>	99% destruction after 5 min at 2.3 ppm
<i>B.subtilis</i>	90% reduction at 0.10 ppm for 33 min
<i>Clostridium botulinum</i>	0.4 to 0.5 ppm threshold value
<i>E.coli</i>	99.99% destruction at 0.25 ppm for 1.6 min
<i>Salmonella</i> Typhimurium	99.99% destruction at 0.25 ppm for 1.67 min in water
<i>Staphylococcus</i> spp.	Destroyed by 0.51 to 2.0 ppm
<i>Vibrio cholerae</i>	Very susceptible
<i>Hepatitis A virus</i>	99.5% reduction at 0.25 ppm for 2 sec in a phosphate buffer

ที่มา : Ozone Solution Inc (2004b)

ดังนั้น โอโซนจึงเป็นสารฆ่าเชื้อในกระบวนการผลิตอาหารที่มีความปลอดภัยกว่าสารอื่น จัดเป็น generally recognized as safe (GRAS) เนื่องจากเป็นสารต้านจุลินทรีย์ชนิดรุนแรง มีอำนาจทะลุทะลวงสูง เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว เพราะมีค่าออกซิเดชันโพเทนเชียลสูง ลดเวลาในการสัมผัสกับพื้นผิว มีครึ่งชีวิตสั้นเพียง 20 นาที สลายตัวง่ายให้อะตอมของออกซิเจน ไม่มีลักษณะเป็นสารก่อมะเร็งหรือสารก่อการกลายพันธุ์ (Kim *et al.*, 1999; Xu, 1999) พบว่าน้ำโอโซนสามารถลดการปนเปื้อนในผัก ผลไม้ เนื้อแกะ และสัตว์ปีก น้ำโอโซนมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค การเน่าเสีย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคทางเดินอาหาร (Moore *et al.*, 2000)

ในอดีตการนำโอโซนมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารยังถูกจำกัดขอบเขต ใช้เพียงในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น โดยนำมาใช้ในการกำจัดโลหะ อาทิเช่น เหล็ก แมงกานีส กำจัดสี และกลิ่น ในน้ำดื่ม และในปี 1992 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug Administration) ได้กำหนดให้โอโซนเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้งาน (GRAS) และสามารถนำมาใช้ล้างทำความสะอาดวัตถุดิบได้

ในผลิตภัณฑ์ประมงพบว่าการนำโอโซนมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัส จากรายงานของ Haraguchi *et al.* (1969) ศึกษาผลของโอโซนต่อการถนอมปลาสด โดยแช่ปลาในน้ำที่ประกอบด้วยร้อยละ 3 ของโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับโอโซน ความเข้มข้น 0.6 พีพีเอ็ม นาน 30-60 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ 2 ถึง 3 logs cycle และเมื่อใช้ก๊าซโอโซนในห้องเย็นทุก 2 วันพบว่าอายุการเก็บรักษาปลาเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 20 ถึง 60

Coudrains and Starck (1988) ใช้ก๊าซโอโซน 10 ถึง 15 พีพีเอ็มในห้องเย็นเก็บปลาเทราต์ และผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำนาน 4 ถึง 6 นาที ปรากฏว่าสามารถกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

Dondo *et al.* (1992) พบว่าโอโซนสามารถลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาปลาในห้องเย็นได้นานขึ้น ในขณะเดียวกัน โอโซนช่วยปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาโดยสามารถลดปริมาณ trimethylamine ในเนื้อปลาลงได้

การใช้กรดในผลิตภัณฑ์อาหาร

การแช่หรือล้างสัตว์น้ำด้วยสารละลายกรด โดยเฉพาะกรดอินทรีย์มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ โดยกรดอินทรีย์มีสมบัติในการยับยั้ง หรือทำลายจุลินทรีย์ กรดอินทรีย์เป็นกรดอ่อนจึงไม่มีการแตกตัว และสามารถซึมผ่านผนังเซลล์จุลินทรีย์ โดยการแพร่แล้วเกิดการแตกตัว และลดค่าความเป็นกรด-เบสภายในเซลล์ ส่งผลต่อการลดเมแทบอลิซึมของเซลล์ กรดอินทรีย์โดยส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 5.5 (สุทรวัดน์, 2548)

กรดแอซิติก (Acetic acid)

กรดแอซิติกหรือที่รู้จักกันในรูปน้ำส้มสายชู นอกจากจะเป็นสารให้กลิ่นรสแล้ว ยังมีคุณสมบัติช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารได้ด้วย การใช้กรดแอซิติกในอุตสาหกรรมอาหาร นิยมใช้ในรูปแบบของกรดน้ำส้มสายชู และในรูปแบบของเกลือแอซิเตต เช่น แคลเซียมแอซิเตต โซเดียมแอซิเตต โพแทสเซียมแอซิเตต และโซเดียมไดแอซิเตต เป็นต้น (ศิวาพร, 2546)

กรดแอซิติกเป็นของเหลวใส ไม่มีสี สามารถรวมตัวกับน้ำ แอลกอฮอล์ และกลีเซอรินได้ดี มีกลิ่นฉุน แคลเซียมแอซิเตตเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ดี ส่วนโซเดียมแอซิเตตแอนไฮดรัส เป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ดีเช่นกัน ในขณะที่โซเดียมไดแอซิเตต เป็นผลึกสีขาวที่ละลายน้ำได้ดี และมีกลิ่นกรดแอซิติก

กรดแอซิติกหรือน้ำส้มสายชุนิยมใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ หลายชนิด เช่น ในน้ำสลัด ผักดองต่างๆ ซอสต่างๆ ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องบางชนิด การเติมกรดแอซิติกลงในไส้กรอกจะช่วยให้ความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น ในผลิตภัณฑ์ประมงมีการนำกรดแอซิติกมาใช้เป็นส่วนประกอบ เช่น marinated fish (ศิวาพร, 2546) จะเห็นได้ว่ากรดแอซิติก นอกจากจะใช้เป็นวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสแล้ว ยังช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย

ในผลิตภัณฑ์เนื้อและผลิตภัณฑ์ปลา กรดแอซิติกนอกจากจะช่วยทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและอาหารเน่าเสียแล้วยังช่วยยับยั้งการเจริญและการสร้างสปอร์ของ *Clostridium botulinum* (Ito et al., 1976) ในอุตสาหกรรมไก่สดมีการนำกรดแอซิติกมาใช้น้ำที่ใช้ล้างสามารถลดปริมาณของ *Salmonella* Newport, *Salmonella* Typhimurium และ *Campylobacter jejuni* ลงได้ 5-10 เท่า (Okrend et al., 1986)

ประสิทธิภาพของกรดแอซิดิกในการยับยั้งการเจริญหรือทำลายจุลินทรีย์จะสูงที่ความเป็นกรด-เบสของอาหารต่ำๆ และสามารถยับยั้งการเจริญหรือทำลายแบคทีเรียได้มากกว่ายีสต์และเชื้อรา และยับยั้ง *Bacillus* spp. และแบคทีเรียแกรมลบได้มากกว่า Lactic acid bacteria, *Clostridium* และแบคทีเรียแกรมบวก กรดแอซิดิกสามารถยับยั้งการเจริญและทำลายจุลินทรีย์ได้โดยการแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ และทำให้ผนังเซลล์เกิดการแปรสภาวะหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ และทำให้โปรตีนในเซลล์เกิดการเสียสภาวะ (ศิวาพร, 2546)

Branen *et al.* (1989) ศึกษาความสามารถของกรดแอซิดิกในการเป็นสารต้านจุลินทรีย์ที่ความเป็นกรด-เบส 4 , 5 และ 6 พบว่าที่ความเป็นกรด-เบส 6 กรดแอซิดิกสามารถยับยั้ง *Bacillus*, *Clostridium* และแบคทีเรียแกรมลบได้มากกว่า lactic acid bacteria ยีสต์ รา และแบคทีเรียแกรมบวก แต่เมื่อความเป็นกรด-เบส ลดลงเหลือ 5.0 พบว่าแบคทีเรียแกรมบวกจะถูกยับยั้งมากกว่า lactic acid bacteria ยีสต์ และรา และที่ความเป็นกรด-เบส 4.0 ความเข้มข้นของกรดแอซิดิกที่ต้องการในการยับยั้งจะลดลง

ในสหรัฐอเมริกา กรดแอซิดิกจัดอยู่ใน GRAS มีคุณสมบัติในการละลายไขมัน Dickson (1992) รายงานว่าการใช้กรดแอซิดิกเข้มข้นร้อยละ 2 ในเนื้อที่มีไขมันสูงจะช่วยลดจำนวน *Salmonella* Typhimurium แต่ไม่มีผลในเนื้อที่มีไขมันต่ำ และกรดสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ร้อยละ 90 ในขณะที่ Anderson (1984) พบว่ากรดแอซิดิกสามารถซึมผ่านผนังกันเซลล์และซึมเข้าสู่เซลล์ภายใน ทำให้โปรตีนที่อยู่ภายในเซลล์เกิดการเสียสภาวะ โดยพบว่าความเข้มข้นร้อยละ 1-3 สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในลำไส้ได้

Ponce De Leon *et al.* (1993) ได้ทดลองหาความเป็นไปได้ในการใช้กรดอินทรีย์ในการควบคุมแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในปลาโดยใช้กรดแอซิดิกและกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02-0.05 และจุลินทรีย์ *Pseudomonas* sp. และ *Moraxella* sp. พบว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดถูกยับยั้งได้โดยกรดทั้งสองชนิด โดยที่กรดแอซิดิกมีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์มากกว่ากรดซิตริก

Benja-arporn *et al.* (1993) ทดลองยีสต์อายุการเก็บรักษาอาหารทะเลด้วยกรดแอซิดิกโดยจุ่มตัวอย่างลงในกรดแอซิดิกความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 2 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส นาน 36 วัน สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นร้อยละ 1 2.5 และ 5 เมื่อพิจารณาปริมาณ Trimethylamine (TMA) พบว่าตัวอย่างที่ไม่จุ่มกรดแอซิดิก ระดับของ TMA เพิ่มขึ้นถึง 45 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม เมื่อพิจารณาการทดสอบทาง

ประสาทสัมผัสพบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 5 นาน 7 นาทีไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมโดยพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในตัวอย่างแต่ผู้บริโภครยังยอมรับได้

กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)

กรดแอสคอร์บิกเป็นกรดที่พบทั่วไปในพืช โดยเฉพาะพืชตระกูลส้ม มีลักษณะเป็นผลึก ละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ในสภาวะที่มีอากาศและแสงจะถูกออกซิไดซ์ อย่างรวดเร็ว และปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วถ้ามีด่าง เหล็ก และทองแดงเป็นตัวเร่ง แต่เมื่ออยู่ในรูปเกลือ โซเดียมจะมีความคงตัวมากกว่า (สิวาพร, 2546)

กรดแอสคอร์บิกมีการใช้ในอาหาร โดยใช้เป็นวัตถุกันเสีย และวัตถุกันหืน เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกจะทำให้ความเป็นกรด-เบสของอาหารลดลง ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ นอกจากนี้ในกรณีที่มีการใช้วัตถุกันเสียในอาหาร กรดแอสคอร์บิกจะช่วยเสริมฤทธิ์ของวัตถุกันเสีย เนื่องจากเมื่อความเป็นกรด-เบสของอาหารลดลง วัตถุกันเสียที่ใช้จะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว ทำให้วัตถุกันเสียมีประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจากวัตถุกันเสียที่เป็นกรด จะมีประสิทธิภาพดีในรูปที่ไม่แตกตัว (สิวาพร, 2546)

Tompkin and Christiansen (1979) ทดลองใช้โซเดียมไอโซแอสคอร์เบต ร้อยละ 0.02 ผสมกับโซเดียมไนไตรต์ 50 มิลลิกรัม พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ *Clostridium botulinum* ได้ใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไนไตรต์ 156 มิลลิกรัม เพียงอย่างเดียว และจากการศึกษาของ Robert *et al.* (1981) ทดลองใช้ไอโซแอสคอร์เบตในผลิตภัณฑ์เนื้อ พบว่าสามารถลดปริมาณสารพิษที่สร้างโดย *C. botulinum* ได้อย่างมีนัยสำคัญ

กรดแล็กติก (Lactic acid)

กรดแล็กติก เป็นกรดที่นำมาใช้ในอาหาร พบตามธรรมชาติในนมเปรี้ยว กะหล่ำปลีดอง ผักดองชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังพบในเลือดและกล้ามเนื้อของสัตว์ โดยทั่วไปกรดแล็กติกมีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ง่าย เป็นของเหลวข้น มีกลิ่นกรด นิยมใช้เพื่อควบคุมความเป็นกรด-เบส ของอาหาร หรือช่วยเพิ่มกลิ่นรสของอาหาร ใช้เป็นวัตถุกันเสียที่สามารถยับยั้งการเจริญและทำลายจุลินทรีย์ได้หลายชนิด และสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้อย่างดีที่ค่าความเป็นกรด-เบส 5 แต่ไม่มีผลต่อการเจริญของยีสต์และรา กรดแล็กติกจัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีคุณสมบัติในการเป็นวัตถุกันเสียที่สำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารหมักต่างๆ โดยสร้างจากแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria) (Gardner and Flett, 1952)

กรดแล็กติกเป็นกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในอาหารทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารหมักดองและอาหารต่าง ๆ เพื่อเป็นตัวให้กลิ่นรส และมีผลทางด้านการถนอมอาหาร ปริมาณกรดแล็กติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีทั้งที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักและกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี การใช้กรดแล็กติกในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ มีการใช้เพื่อลดการปนเปื้อนในเนื้อวัว เป็ด ไก่ และซากหมูในโรงฆ่าสัตว์จะสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์พวก *Salmonella* spp. ได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยคลอรีน

กรดแล็กติกในทางการค้า มี 3 ประเภท คือ (Smulders, 1995)

1. Pure dry form เป็นกรดแล็กติกบริสุทธิ์ (2-hydroxy propionic acid) ลักษณะเป็นผงสีขาว มีจุดหลอมเหลว 18 องศาเซลเซียส ถึง 26 องศาเซลเซียส โดยปกติจะอยู่ในรูปสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่างๆกัน

2. Edible grade เป็นกรดแล็กติกที่ใช้กับอาหาร ลักษณะเป็นของเหลวสีค่อนข้างเหลือง มีความเข้มข้นร้อยละ 50 ถึง 86

3. Pharmaceutical grade เป็นกรดแล็กติกที่ใช้ทางการแพทย์ มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีความเข้มข้นร้อยละ 80 ถึง 90

การใช้กรดแลกติกในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ได้รับการยอมรับมากขึ้น เนื่องจากเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ และได้รับการรับรองความปลอดภัยในการใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้กรดแลกติกมีคุณสมบัติที่สามารถละลายน้ำได้ มีรสชาติแต่ไม่ลบหรือกลบกลิ่นรสอื่นๆ เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความเป็นพิษต่ำ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ไม่มีสารตกค้าง และมีผลในการทำลายและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Snijders, 1985)

กรดแลกติกมีผลในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทันทีและชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทนกรด การทำงานของกรดแลกติกเริ่มจากกรดแลกติกจะรวมตัวกับน้ำบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร และซึมเข้าไปในเซลล์ จากนั้นรวมกับเซลล์เป็นเวลา 10-60 นาที แล้วแยกออกมา การเข้าไปรวมตัวกับเซลล์จะทำให้เซลล์มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Eklund, 1989) เกิดกระบวนการทางเคมียับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Ingram, 1988)

Ingram (1988) รายงานว่า การจุ่มเนื้อปลาในสารละลายกรดแลกติกสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ดี โดยการนำเนื้อปลาจุ่มในสารละลายกรดแลกติกความเข้มข้น 1.77 และ 2.55% (v/v) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อปลากลุ่มที่ไม่ใช้สารละลายกรดแลกติก

Kim (1995) รายงานว่าการนำเนื้อปลาจุ่มในสารละลายกรดแลกติกความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 ร่วมกับเชื้อแบคทีเรียแลกติกความเข้มข้นร้อยละ 2 นาน 1-5 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่ามีการลดลงของแบคทีเรียแกรมลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และสามารถเก็บเนื้อปลาได้นานถึง 9 วัน นอกจากนี้เนื้อปลาที่จุ่มในสารละลายกรดแลกติกร่วมกับเชื้อแบคทีเรียแลกติกจะให้ผลในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบได้ดีกว่าการใช้สารละลายกรดแลกติกอย่างเดียว ถึงแม้ว่ากรดแลกติกจะสามารถควบคุมแบคทีเรียแกรมลบได้เป็นอย่างดี แต่กลับพบว่ากลิ่นของเนื้อปลาที่จุ่มในสารละลายกรดแลกติกความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และถ้าใช้สารละลายกรดแลกติกความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 3 กับเนื้อปลา พบว่ากรดจะย่อยกล้ามเนื้อของปลา

การบรรจุแบบสภาวะปรับบรรยากาศ

การบรรจุแบบสภาวะปรับบรรยากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) หมายถึง การปรับองค์ประกอบบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ให้แตกต่างจากองค์ประกอบของบรรยากาศปกติ โดยปรับองค์ประกอบของบรรยากาศเฉพาะตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษาเท่านั้น (Wolfe, 1980) โดยทั่วไปในการปรับบรรยากาศนิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไนโตรเจน (N₂) และ ออกซิเจน (O₂) เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกัน เพื่อยับยั้งและชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ การเก็บรักษา สัตว์น้ำภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศมีบทบาทสำคัญเพิ่มขึ้นในการยืดอายุการเก็บสัตว์น้ำ การบรรจุแบบสภาวะปรับบรรยากาศสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การบรรจุแบบสุญญากาศ การบรรจุแบบปรับสภาพอากาศโดยการเติมส่วนผสมของก๊าซ การใช้สารดูดซับออกซิเจน หรือสารที่ปลดปล่อย ไอของเอทานอล (Ashie *et al.*, 1996)

ข้อดีและข้อเสียของการประยุกต์ใช้การบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ และความแตกต่างของการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ แสดงดังในตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 ข้อดีและข้อเสียของการประยุกต์การบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ

Advantages	Disadvantages
Increased shelf life	Initial high cost of packaging equipment,
Increased market area	film, etc.
Reduction in production and storage costs	Discoloration of meat pigments
Reduction in use of inhibitors	Leakage
Improved presentation	Fermentation and swelling
Fresh appearance	Potential growth of organisms of public health
Clear view of product	significance
Easy separation of slices	

ที่มา: Smith *et al* (1988)

ตารางที่ 9 ความแตกต่างของการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ

Terminologies	Description
Modified Atmosphere Packaging (MAP)	Replacement of air with a single gas or a mixture of gases. No further control over initial composition.
Controlled Atmosphere Packaging (CAP) or Controlled Atmosphere Storage (CAS)	Proportion and type of gas mixture is controlled over the whole period of storage.
Equilibrium Modified Atmosphere (EMA) packaging	Used for fresh fruit and vegetables. Pack is flushed with gas or sealed without modification. Permeability of packaging and respiration of product results in an equilibrium modified atmosphere.
Vacuum Packaging (VP)	Product sealed in low gas permeability pack after part evacuation of pack results in atmosphere during storage due to altered metabolism of product and microbial flora and gas permeation.
Vacuum Skin Packaging	Used for delicate products. Softened film placed over product and vacuum applied.

ที่มา: Smith (1993)

ก๊าซที่นิยมใช้ในสภาวะปรับบรรยากาศ

ก๊าซที่นิยมนำมาใช้ในสภาวะปรับบรรยากาศส่วนใหญ่ ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่ก๊าซบางชนิดอาจมีการนำมาใช้งานร่วมด้วย อาทิ เช่น ก๊าซไนตรัส และไนตริกออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, อีเทน และคลอรีน เป็นต้น แต่ทั้งนี้การนำไปใช้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัย การยอมรับของผู้บริโภค กฎหมายที่เกี่ยวข้อง และราคา (Church, 1994)

ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นำมาใช้ในสภาวะปรับบรรยากาศในสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ และความต้องการของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหาร และการยอมรับของผู้บริโภค แต่แนวทางอันหนึ่งจะคำนึงถึงความปลอดภัย จากจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจากก๊าซที่นำมาใช้ และความคงตัวของสี ในตัวผลิตภัณฑ์

1.1 ก๊าซออกซิเจน

โดยทั่วไปก๊าซออกซิเจน มีผลต่ออาหาร โดยเฉพาะไมโอโกลบินที่เป็นรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ซึ่งออกซิเจนมีผลต่อสีแดงของเนื้อสัตว์ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุร้อยละ 80 แต่พบว่าก๊าซออกซิเจนมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ และมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเหม็นหืน แต่ในขณะเดียวกันการบรรจุอาหารในสภาวะปรับบรรยากาศโดยให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนร้อยละ 5-10 สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ โดยเฉพาะ *C. botulinum* ที่เป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษได้

1.2 ก๊าซไนโตรเจน

ก๊าซไนโตรเจนจัดเป็นก๊าซเฉื่อย ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการยุบตัว (collapse) ของภาชนะบรรจุอาหารบางชนิด เช่น การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่บรรจุด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูง จะพบปัญหาการยุบตัวของผลิตภัณฑ์เนื่องจาก

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายได้ในไขมันของเนื้อสัตว์ ส่งผลให้เกิดการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นก๊าซไนโตรเจนสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนมีคุณสมบัติละลายในน้ำและไขมันได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จัดเป็นก๊าซชนิดหนึ่งที่มีสมบัติในการละลายทั้งในน้ำและในไขมัน นอกจากนี้มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์โดยเพิ่มระยะ lag phase และ generation phase ในช่วงการเจริญของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับปัจจัยของความเข้มข้นของก๊าซ อุณหภูมิในการเก็บรักษา และปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น (Reddy *et al*, 1992)

Genigeorgis (1985) เสนอว่าการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ เนื่องจาก การดูดซับก๊าซบริเวณผิวของอาหาร แล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิก ซึ่งมีผลทำให้สภาวะความเป็นกรด-เบสของอาหารลดลง

Farber (1991) สรุปปัจจัยในด้านการยับยั้งจุลินทรีย์โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังนี้

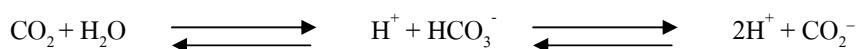
1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงหน้าที่ของเซลล์เมมเบรน รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนและการดูดซึมเข้าออกของสารอาหาร
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลโดยตรงในการยับยั้งระบบการทำงานของเอนไซม์หรือลดอัตราเร่งของปฏิกิริยาทางเอนไซม์
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการแลกเปลี่ยนสารเข้าออกของเมมเบรน ส่งผลต่อความเป็นกรด-เบสภายในเซลล์ของจุลินทรีย์
4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโปรตีนของจุลินทรีย์

Bank *et al.* (1980) ทดลองเก็บปลาเทราต์ (trout) และปลาครอกเกอร์ ในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความดัน 15 ปอนด์ต่อลูกบาศก์นิ้วที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ในปลา จุลินทรีย์ที่พบในปลาเทราต์ ได้แก่ แบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Pseudomonas*, *Alteromonas* และ *Flavobacterium* นอกจากนี้ยังพบ โคลิฟอร์มและ *Micrococcus* ในปลาครอกเกอร์อีกด้วย ในระหว่างการเก็บปลาทั้งสองชนิดในสภาวะปรับบรรยากาศพบว่าแบคทีเรีย *Pseudomonas* และ *Alteromonas* มีจำนวนลดลง ในขณะที่เดียวกันสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ *Lactobacillus* เพิ่มมากขึ้นซึ่งมีข้อดีที่แบคทีเรียที่ผลิตกรดแล็กติกเจริญได้ในสภาวะดังกล่าว ทำให้อาหารมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง

Parkin and Brown (1982) ศึกษาประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร สรุปได้ดังนี้

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดความเป็นกรด-เบส ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ความเป็นกรด-เบส ภายในเซลล์มีอิทธิพลต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าความเป็นกรด-เบส ภายนอกเซลล์ โดยความเป็นกรด-เบส ภายในเซลล์มีผลต่อปฏิกิริยาสำคัญของเอนไซม์หลายชนิดซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จากการศึกษาการเจริญของ *Pseudomonas aeruginosa* พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ดังกล่าว โดยทำให้ความเป็นกรด-เบส ภายในเซลล์ลดลง (King and Nagel, 1967)

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดคาร์บอนิก เนื่องจากการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในส่วนน้ำของอาหารมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีสมบัติละลายในน้ำได้ดี บางส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำจะเกิดการไฮเดรชัน (hydration) เป็นกรดคาร์บอนิก (Sear and Eisenberg, 1961) ดังนี้



จากการศึกษาของ Sears and Eisenberg (1961) พบว่า HCO_3^- มีผลต่อเมมเบรน โดย HCO_3^- จะลดแรงตึงผิวของเมมเบรนและทำให้เกิดการสูญเสีย HCO_3^- ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเมมเบรนเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลให้สารไอออนิกซึมผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้นทำให้สูญเสียสารไอออนิก ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ จึงมีผลในการยับยั้งการเจริญและการสร้างเมมเบรนของจุลินทรีย์ด้วย

3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อความต่างศักย์ของเมมเบรนของจุลินทรีย์ ในสถานะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้เนื้อเยื่อมีความเป็นกรด-เบส ภายในลดลง ทำให้สภาวะภายในเซลล์เป็นกรดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของเนื้อเยื่อและคุณสมบัติการซึมผ่านของเมมเบรน และหลังจากนั้นความเป็นกรด-เบส ภายในจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเพื่อกลับคืนสู่ความเป็นกรด-เบส เริ่มต้น ซึ่งค่อนข้างเป็นเบสมากกว่า จากการทดลองของ Aickin and Thomas (1975) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสภายในเนื้อเยื่อของปูในสถานะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าเมื่อนำเนื้อเยื่อใส่ในสารละลายที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ กรด-เบส ภายในลดลง ค่าความต่างศักย์ของเมมเบรนลดลงอีกด้วย และเมื่อนำออกจากสภาวะนั้นสู่สภาวะเดิมที่ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ค่าความต่างศักย์ของเมมเบรนกลับสู่สภาวะเดิม ในขณะที่ความเป็นกรด-เบส ภายนอกเนื้อเยื่อยังคงมีค่าคงที่

4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อความสมดุลของเอนไซม์ในกลุ่ม decarboxylase ของจุลินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็น metabolic regulator ของเซลล์ จากการศึกษากอง King and Nagel (1967) พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์โดยตรง โดยเฉพาะกระบวนการเมตาบอลิซึมของ *Pseudomonas aeruginosa* พบว่าในระหว่างการเจริญของแบคทีเรีย ปฏิกิริยาของเอนไซม์ isocitrate dehydrogenase และ malate dehydrogenase ลดลง ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม decarboxylating enzyme การเปลี่ยนแปลงความสมดุลของเอนไซม์เหล่านี้มีผลต่อการเจริญและกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ด้วย

ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีที่เกิดจากการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีดังนี้

1. ความเป็นกรด-เบส (pH)

โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลง ที่เกิดจากกรดคาร์บอนิก มีผลต่อความเป็นกรด-เบส ของผลิตภัณฑ์ประมง (Cutting, 1953) แต่อย่างไรก็ตาม Barnett *et al.* (1978) พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสเล็กน้อยในปลาซาลมอน ที่เก็บรักษาโดยการบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 90

Tiffiney and Mills (1982) พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็ว และมีผลทำให้ความเป็นกรด-เบส ลดลงในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษา ในขณะที่ Fey and Regenstein (1982) พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส ของการเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเริ่มต้นจะลดลง และจะเพิ่มขึ้น และพบว่าภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 27 วัน ค่าความเป็นกรด-เบสจะมีค่าเท่ากับช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา

2. การเปลี่ยนแปลงของสี (Color)

การเปลี่ยนแปลงของสีเป็นปัจจัยหนึ่งในการเก็บรักษาเนื้อแดง ซึ่งเกิดจากการเก็บรักษาด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของเมทิลไมโอโกลบิน (methyemyoglobin) โดยทั่วไปกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำประกอบด้วยไมโอโกลบิน (myoglobin) ในปริมาณเล็กน้อย ดังนั้นปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสีจึงมีเพียงเล็กน้อย แต่ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะการฟอกสีมากกว่าหากมีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 ในการเก็บรักษาปลาสด ดังนั้น Goodfellow (1982) พบว่าการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณเพียงร้อยละ 25 หรือน้อยกว่าในการเก็บรักษาปลาสดสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้

3. การสูญเสียน้ำหนัก (Drip loss)

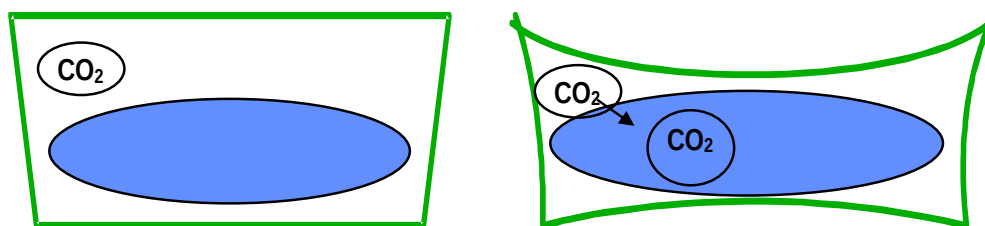
การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดการไหลเอ่อของน้ำ (exudates หรือ drip) ซึ่งอาจแก้ไขโดยการลดหรือจำกัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือวางสัตว์น้ำบนแผ่นรองที่มีสมบัติในการซับน้ำภายในภาชนะบรรจุ (สุทธวัฒน์, 2548)

Fey and Regenstein (1982) พบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักใน red hake, Chinook และ sockeye salmon ในการเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศที่ประกอบด้วย CO_2 ร้อยละ 60 O_2 ร้อยละ 21 และ N_2 ร้อยละ 19 เมื่อเปรียบเทียบกับในการเก็บรักษาในสภาวะปกติ

Tiffney and Mills (1982) พบว่าการบรรจุในสภาวะ CO_2 ร้อยละ 100 มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและพบว่าการบรรจุด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูงและเก็บรักษาที่ 0 องศาเซลเซียสมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส

4. การยุบตัวของภาชนะบรรจุ (Pack collapse)

โดยทั่วไปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายในน้ำได้ดี ซึ่งคุณสมบัติการละลายน้ำที่ดีมีผลทำให้ภาชนะบรรจุมีการยุบตัวลงดังภาพที่ 14 การแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการลดสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลง และใช้ก๊าซไนโตรเจนเข้ามาช่วยในการบรรจุ



ภาพที่ 14 ลักษณะการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ภายหลังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าแทนที่ในผลิตภัณฑ์

อัตราส่วนต่างๆของก๊าซสำหรับอาหารต่างๆ อายุการเก็บรักษาอาหารในสภาวะปรับบรรยากาศ และปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศในตารางที่ 10, 11 และ 12

ตารางที่ 10 อัตราส่วนต่างๆของก๊าซสำหรับอาหารต่างๆ

ชนิดของอาหาร	สภาวะปรับบรรยากาศ
White fish	40% CO ₂ : 30% O ₂ : 30% N ₂
Fatty fish	40-60% CO ₂ : 40-60% N ₂
Bacon	20-35% CO ₂ : 65-80% N ₂
Cooked poultry	30% CO ₂ : 70% N ₂
Poultry	100% CO ₂ 20-30% CO ₂ : 70-75% N ₂ 20-40% CO ₂ : 60-80% O ₂ 60-75% CO ₂ : 5-10% O ₂ : 20% N ₂
Cured meat	20-50% CO ₂ : 50-80% N ₂
Fresh meat	30% CO ₂ : 30% O ₂ : 40% N ₂ , 15-40% CO ₂ : 60-85% O ₂
Pasta (with meat)	50-80% CO ₂ : 20-80% N ₂
Cheese	0-70% CO ₂ : 0-30% N ₂
Bakery	100% N ₂ , 100% CO ₂ , 20-70% CO ₂ : 20-80% N ₂
Fruit/Vegetables	3-8% CO ₂ : 2-5% O ₂ : 87-95% N ₂
Pasta	100% N ₂

ที่มา : Farber (1991); Church (1994)

ตารางที่ 11 อายุการเก็บรักษาอาหารในสภาวะปรับบรรยากาศ

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ (°ซ)	บรรยากาศ			อายุ (วัน)
		CO ₂	O ₂	N ₂	
เนื้อ	4	20	80	-	>15
หมู	4	100	-	-	>24
ไก่	1.5	50-80	-	-	>23
ปลาเทราต์	1.7	80	-	20	>20
เนื้อปู	1.7	80	20	-	>25
แซนด์วิชทะเล	4	30	-	70	30
แฮมเบอร์เกอร์	4	20	-	80	30
บรอกโคลี	4	10	-	90	21

ที่มา : ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (2542)

ตารางที่ 12 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศ

ปัจจัยภายใน	ปัจจัยภายนอก
Aw	Temperature control at all stages
pH	Hygienic processing including implementation of
Microbial flora:	HACCP procedures
(a) initial	Raw material quality
(b) after processing	Finished product, i.e. combination of ingredients in
(c) developing	package
Available nutrients	Time prior to packaging
Concentration and type of preservative agent	Initial and final gas composition
Redox potential	Relative permeability of packaging film to gases
Presence of naturally occurring anti-microbial compounds	Gas to product ratio
	Gas purity
Presence of spores	Pack design, e.g. circulation of gases

ที่มา: Church (1994)

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ประมงในสภาวะปรับบรรยากาศ

การเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาปลาสดและผลิตภัณฑ์ประมง ซึ่งโดยทั่วไปการบรรจุผลิตภัณฑ์ประมงในสภาวะที่มีอากาศมักพบการเจริญของ จุลินทรีย์แกรมลบ จุลินทรีย์ที่ชอบความเย็น อาทิเช่น *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* และ *Moraxella* spp. (Ashie *et al.*, 1996) และแม้จะเก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะมีการเสื่อมเสียภายใน 7-10 วันของการเก็บรักษา (Eklund, 1993) ซึ่งการเจริญของ จุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถยับยั้งได้ด้วยการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ

การบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศสามารถชะลอการเหม็นหืนจากปฏิกิริยาของ ออกซิเจน ใน white fish, crustacean และผลิตภัณฑ์จำพวก shellfish นิยมบรรจุด้วยก๊าซผสมของ CO₂ ร้อยละ 35-45 O₂ ร้อยละ 25-35 และ N₂ ร้อยละ 25-35 ในขณะที่ปลาที่มีไขมันสูงจะบรรจุด้วย ก๊าซผสมร้อยละ 35-45 ของ CO₂ และ ร้อยละ 55-65 ของ N₂ เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเหม็นหืน (Campdon Technical Manual, 1992)

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ประมงภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสด และมีคุณภาพ จะต้องคำนึงถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ประมง ปริมาณไขมัน ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น อัตราส่วนผสมของก๊าซที่บรรจุ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงหลัก สุขาภิบาล

การเลือกภาชนะบรรจุสำหรับสภาวะปรับบรรยากาศ

การเลือกภาชนะบรรจุสำหรับสภาวะปรับบรรยากาศ ดังตารางที่ 13 จะใช้ฟิล์มพลาสติก ซึ่งจะมีฟิล์มพลาสติกหลายชนิดที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุแบบปรับบรรยากาศ มยรี (2533) กล่าวว่า ฟิล์มพลาสติก หมายถึงฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวหรือหลายชั้นซึ่งทำจากพลาสติกชนิดเดียวกันหรือต่างชนิด หรืออาจเป็นพลาสติกกับวัสดุอื่น เช่น กระดาษ อะลูมิเนียม เป็นต้น โดยกรรมวิธีการผลิต ฟิล์มหลายชั้นสามารถทำได้โดยวิธีประกบที่เรียกว่า lamination หรือรีดร่วม (coextrusion) หรือการ เคลือบผิว ซึ่งพลาสติกที่นิยมใช้กันมากในบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีดังนี้

ตารางที่ 13 ปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเลือกฟิล์มในการบรรจุอาหาร

Properties	Description
Barrier properties	Permeability to various gases Water vapor transmission rate
Machine capability	Capacity for trouble-free operation e.g. resistance to tearing, possibility to be heat-formed
Sealing reliability	Ability to seal to itself and to the container
Anti-fog properties	Good product visibility
Special characteristics	Possibility of heating product without removing from packaging. Easy-peel seals for convenient opening

ที่มา: Smith (1993)

ฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่มีการใช้กันเป็นปริมาณมากที่สุด และกว้างขวาง ไม่ว่าผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีชนิดและคุณภาพหลายระดับโดยแบ่งตามความหนาแน่นและลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลคือ

HDPE (high density polyethylene) มีความหนาแน่น 0.941-0.959 กรัม/ ลูกบาศก์ เซนติเมตร

MDPE (medium density polyethylene) มีความหนาแน่น 0.926-0.940 กรัม/ ลูกบาศก์ เซนติเมตร

LDPE (low density polyethylene) มีความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัม/ ลูกบาศก์ เซนติเมตร

LLDPE (linear low density polyethylene) มีความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัม/ ลูกบาศก์ เซนติเมตร

คุณสมบัติโดยทั่วไปมีความเหนียวสูง ทนทานต่อสารเคมีจำพวกกรดและเบสได้ดี กันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่กันการซึมผ่านของก๊าซและไขมันได้ต่ำ มีความปลอดภัยสามารถใช้กับอาหารและยาได้ สามารถนำไปใช้เป็นถุงบรรจุอาหาร หรือบรรจุสินค้าอื่นๆ ได้ และยังสามารถใช้ร่วมกับวัสดุอื่น เช่น พลาสติกต่างชนิด อะลูมิเนียม ในลักษณะการรีดร่วม หรือการประกบ เพื่อเสริมคุณสมบัติการใช้งาน

ฟิล์มพลาสติกชนิด พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกับพอลิเอทิลีน ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ที่รู้จักกันมี 2 ชนิดคือ OPP (oriented polypropylene) ผลิตโดยวิธีเป่าทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวกันทั้งสองทิศทาง และ CPP (cast polypropylene) ผลิตโดยกรรมวิธีหล่อ คุณสมบัติโดยทั่วไปมีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี กันการซึมผ่านไอน้ำดี สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 135-150 องศาเซลเซียส ส่วนฟิล์มชนิด OPP ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้เนื่องจากเกิดการหดตัวของฟิล์ม การใช้งานสามารถนำไปบรรจุอาหารสำเร็จรูป เช่น ขนมห้าง ลูกกวาด เป็นต้น ใช้ร่วมกับวัสดุอื่น เช่น พลาสติกต่างชนิด กระดาษ อะลูมิเนียม ในลักษณะการประกบ หรือรีดร่วม เพื่อเสริมคุณสมบัติการใช้งาน

ฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งในกลุ่มไวนิล (vinyl) ซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวาง ในกรณีที่ต้องการให้ฟิล์มมีคุณสมบัติยืดหยุ่นและอ่อนตัวต้องเติมสารพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณมากกว่าร้อยละ 25 ลงไปในกระบวนการผลิต เนื่องจากพอลิไวนิลคลอไรด์ มีลักษณะแตกต่างไปจากพลาสติกชนิดอื่น คือสามารถใช้ผสมกับสารเติมแต่งอื่นๆ ได้มากมาย จึงทำให้สามารถปรับฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ให้มีคุณสมบัติต่างๆตามความต้องการได้ สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส นิยมนำมาใช้ผลิตถุงพลาสติกบรรจุผักและผลไม้สด เพื่อให้ไอน้ำผ่านเข้าออกได้

ฟิล์มพลาสติกพอลิสไตรีน (polystyrene, PS) เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งในกลุ่มสไตรีน เนื่องจากมีลักษณะเด่นในด้านความใส มีความสามารถในการพิมพ์ และยังใช้กับเครื่องจักรที่ต้องการความเร็วสูงในการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถดูดซึมน้ำได้ต่ำทำให้ไม่ก่อปัญหาในการเปลี่ยนแปลงขนาด การใช้งานสามารถนำไปทำถุงพลาสติกบรรจุผลไม้สด ห่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้เป็นวัสดุสำหรับเคลือบด้วยไอออลูมิเนียมได้ดี

ฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต (polyester, PET) เป็นพลาสติกที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของเอทิลีนไกลคอลและไดเมทิลเทอร์ฟทาเลต ที่นิยมใช้ มักผ่านกระบวนการจัดเรียงโมเลกุลทั้ง 2 ทิศทาง มีคุณสมบัติโปร่งใส มีความเหนียวสูง สามารถกันการซึมผ่านไอน้ำ และก๊าซได้ดี นิยมใช้งานสำหรับห่ออาหารประเภทเนื้อที่ปรุงสุกแล้ว และทำถุงบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็ง นอกจากนี้นำไปใช้เป็นวัสดุหลักในการเคลือบ หรือประกบกับพลาสติกชนิดอื่น หรือกระดาษ สำหรับทำถุงที่ต้องการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น ถุงที่ต้มได้ หรือถุงที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 ปูนิ้ม (*Scylla serata* Forskäl) จาก Andaman Soft Shell Crab อำเภอเมือง จังหวัดระนอง มีน้ำหนักตัวขนาด 200 – 220 กรัม

1.2 ถุงพลาสติกชนิด copolymer (polyethylene (PE)/ polyvinylidene chloride (PVDC)/ polyethylene polymer/ nylon) โดยมีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 15 cc/ m²/ day ที่ 25 องศาเซลเซียส ขนาด 180 x 280 มิลลิเมตร (บริษัท Hevel จำกัด)

1.3 น้ำแข็งชนิดที่รับประทานได้

2. สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

2.1 Standard Plate Count (บริษัท Merck จำกัด)

2.2 Peptone (บริษัท Merck จำกัด)

2.3 Tryptic soy agar (TSA) (บริษัท Merck จำกัด)

2.4 De Man, Rogasa and Sharp agar (MRS) (บริษัท Merck จำกัด)

2.5 กรดแอซีติก

2.6 กรดแล็กติก

2.7 กรดแอสคอร์บิก

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

3.1 เครื่องครัว

3.2 เทอร์โมมิเตอร์ ชนิดปรอท

3.3 อ่างสำหรับแช่และล้างวัตถุดิบ

3.4 เครื่องผลิตน้ำไอโซน (Triple science รุ่น OZ-3020)

3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) (Jeol รุ่น JSM-5410 LV)

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

4.1 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบทางเคมี

4.1.1 เครื่องชั่งละเอียด (Presica 240A)

4.1.2 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (Jenway 3020)

4.1.3 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ต่างๆ

4.2 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบทางจุลินทรีย์

4.2.1 ตู้บ่มเชื้อ (Memmert 600)

4.2.2 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Omron Y222)

4.2.3 ตู้อบลมร้อน (Memmert 854)

4.2.4 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็น

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุ

5.1 เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ และบรรจุแบบผสมก๊าซ (Multivac A300)

5.2 Gas mixing unit (Multivac 100-3 MEV)

5.3 Food Package Analyzer (Servomex Series 14000)

5.4 เครื่องปิดผนึกความร้อน (Hand Sealer NT-300)

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

คัดเลือกปูน้ำจืดที่มีน้ำหนัก 200-220 กรัม/ ตัว จากฟาร์ม Andaman Soft Shell Crab จังหวัดระนอง ควบด้วยน้ำแข็ง (hypothermia) บรรจุกล่องโฟม ขนส่งทางอากาศโดยมีระยะเวลาในการขนส่งไม่เกิน 8 ชั่วโมง เมื่อถึงห้องปฏิบัติการดำเนินการแช่ปูน้ำจืดในสารละลายและวิธีการตามข้อ 2 ทันที

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสารต่างๆในการแช่วัตถุดิบ

2.1 การทดลองการทดสอบประสิทธิภาพในการแช่วัตถุดิบ

2.1.1 แช่ปูน้ำจืดในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่ที่ 10, 15 และ 20 นาที ในถังพลาสติก ขนาดความจุ 50 ลิตร โดยประกอบด้วยอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำแข็งในอัตราส่วน 2 : 1 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ปูน้ำจืด ได้แก่ กรดแอซิดิก กรดแล็กติก กรดแอสคอร์บิก และน้ำไอโซน และระยะเวลาในการแช่ ตามระดับปัจจัยและวิธีการดังแสดงในตารางที่ 14, 15, 16 และ 17 เตรียมน้ำไอโซนโดยผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าเครื่องไอโซน OZ-3020 กำหนดกระแสไฟฟ้าที่ 60 Hz มีแรงดันออกซิเจน 55.2 kPa ลงในน้ำที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.1.2 ภายหลังการแช่ปูน้ำจืดในสารละลายต่าง ๆ สะเด็ดน้ำนาน 15 นาที จึงบรรจุปูน้ำจืดในถุง polyethylene (PE)/ polyvinylidene chloride (PVDC)/ polyethylene polymer/ nylon ปิดผนึกด้วยเครื่อง Hand Sealer NT-300 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.1.3 สุ่มตัวอย่างในแต่ละสิ่งทดลองทุกวัน ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) บันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงจนสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำตาม International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF, 1986) โดยกำหนดเกณฑ์ให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดใน

ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำไม่เกิน 7 log CFU/g ประเมินความสดและลักษณะปรากฏ (ภาคผนวก ค1 และ ค2) ที่เปลี่ยนแปลงไปจนผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ ถือว่าสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา

2.1.4 ศึกษาโครงสร้างภายนอกและภายในภายหลังการแช่สารละลายชนิดต่าง ๆ ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อดูลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 14 ระดับปัจจัยสำหรับการแช่วัตถุดิบโดยกรดแอซีติก (Benja-arporn *et al.*, 1993)

ปัจจัย	ระดับ		
ความเข้มข้นของกรดแอซีติก (ร้อยละ)	0.1	0.2	0.3
เวลาในการล้าง (นาที)	10	15	20

ตารางที่ 15 ระดับปัจจัยสำหรับการแช่วัตถุดิบโดยกรดแล็กติก (Adam and Hall, 1988)

ปัจจัย	ระดับ		
ความเข้มข้นของกรดแล็กติก (ร้อยละ)	1.0	1.5	2.0
เวลาในการล้าง (นาที)	10	15	20

ตารางที่ 16 ระดับปัจจัยสำหรับการแช่วัตถุดิบโดยกรดแอสคอร์บิก Robert *et al.* (1981)

ปัจจัย	ระดับ		
ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)	0.5	0.75	1.0
เวลาในการล้าง (นาที)	10	15	20

ตารางที่ 17 ระดับปัจจัยสำหรับการแช่วัตถุดิบโดยน้ำไอโซน (Kim and Yousef, 2000)

ปัจจัย	ระดับ		
ความเข้มข้นของน้ำไอโซน (พีพีเอ็ม)	0.5	0.75	1.0
เวลาในการล้าง (นาที)	10	15	20

2.2 นำข้อมูลการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ได้จากการล้างปูนึ่งในสารละลายมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3. การศึกษาสถานะการบรรจุที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยเปรียบเทียบลักษณะการบรรจุ 3 แบบ คือ ในสถานะบรรยากาศปกติ ในสถานะปรับบรรยากาศ และในสถานะสุญญากาศ

3.1 คัดเลือกปูนึ่งที่มีน้ำหนัก 200-220 กรัม/ ตัว จากฟาร์ม Andaman Soft Shell Crab จังหวัดระนอง กลบด้วยน้ำแข็ง (hypothermia) บรรจุในกล่องโฟม ขนส่งทางอากาศ โดยมีระยะเวลาในการขนส่งไม่เกิน 8 ชั่วโมง เมื่อถึงห้องปฏิบัติการดำเนินการแช่ปูนึ่งในน้ำเย็น (ชุดควบคุม) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาที่ดีที่สุดจากข้อ 2.1 สะเด็ดน้ำ 15 นาที

3.2 บรรจุปูนึ่งในถุงพลาสติก polyethylene (PE)/ Polyvinylidene (PVDC)/ Polyethylene Polymer/ Nylon ปรับสภาวะบรรยากาศภายในถุง โดยใช้เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศและเครื่องผสมก๊าซ ปิดผนึกด้วยเครื่อง (Multivac) ปรับสภาวะบรรยากาศ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% และก๊าซไนโตรเจน 40 %

ชุดการทดลองที่ 2 เก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% และก๊าซไนโตรเจน 20 %

ชุดการทดลองที่ 3 เก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum)

ชุดควบคุม เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ (Air)

3.3 ภายหลังการบรรจุเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างในแต่ละสิ่งทดลองประเมินลักษณะปรากฏที่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา วิเคราะห์สัดส่วนของก๊าซในภาชนะบรรจุและตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยถ้าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐานประเมินความสดและหรือลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับถือว่าสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา นำข้อมูล

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

4. การทดสอบของการใช้สารละลายที่คัดเลือกเพื่อใช้ในการแช่ป่นเนื้อ ร่วมกับการศึกษาสถานะการเก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ

4.1 แช่ป่นเนื้อโดยใช้ชนิดของสารละลายและเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2 และนำมาบรรจุในสถานะการเก็บรักษาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3 เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.2 วิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา โดยวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด แบคทีเรียเล็ก ดิก แบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ และแบคทีเรียไซโครโทรฟัส ตามวิธี A.O.A.C. (1990) (ภาคผนวก ก)

4.3 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซภายในภาชนะบรรจุ (Head space) โดยใช้ Food Package Analyzer (Servomex รุ่น Series 14000) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบส (pH) ตามวิธี A.O.A.C (1995) ปริมาณการสูญเสียน้ำ (%Drip loss) ตามวิธีของ Lee (1990) (ภาคผนวก ก)

4.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) กลุ่มตัวอย่างป่นเนื้อที่เก็บในสภาวะต่างๆ นึ่งด้วยไอน้ำนาน 5 นาที แล้วประเมินคุณภาพทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ในการชิม ใช้ผู้ทดสอบระดับห้องปฏิบัติการซึ่งได้รับการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยใช้ผู้ชิมชุดเดียวกันตลอดการทดลอง ระบบการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale (คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) กำหนดให้คะแนนต่ำกว่า 5 เป็นคะแนนที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ คะแนนที่ได้จากการประเมินนำไปหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 9.0

5. สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพฯ

2. ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

3. ห้องปฏิบัติการโปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏ
สวนดุสิต กรุงเทพฯ

ระยะเวลาทำการวิจัย

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม 2546 ถึง กันยายน 2549

ผลและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาลักษณะปรากฏ และประสิทธิภาพการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดจากการแช่ปูนี๋มในสารละลายกรดแอซิดิก กรดแล็กติก กรดแอสคอร์บิก และน้ำไอโซน เปรียบเทียบกับการแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10, 15 และ 20 นาที

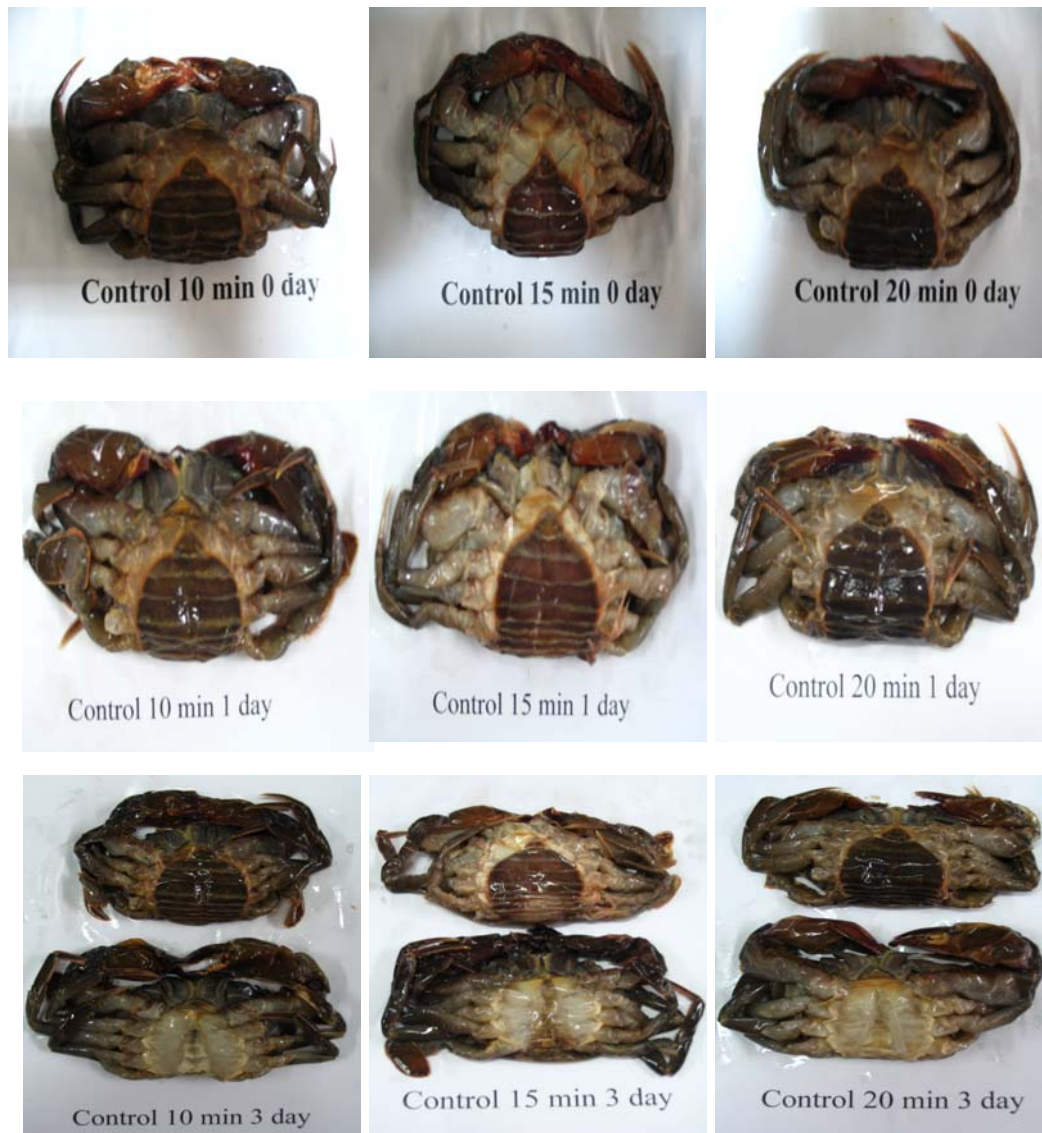
1.1 ผลการศึกษาลักษณะปรากฏและประสิทธิภาพการลดปริมาณจุลินทรีย์จากการแช่ปูนี๋มในน้ำเย็น เปรียบเทียบการแช่ในสารละลายกรดแอซิดิก โดยศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ปูนี๋มในสารละลาย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองภายหลังการแช่ปูนี๋มในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10, 15 และ 20 นาที เปรียบเทียบกับการแช่ปูนี๋มในสารละลายกรดแอซิดิก ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 นาน 10, 15 และ 20 นาที ดังภาพที่ 15 และ 16 พบว่าภายหลังการแช่ปูนี๋มในน้ำเย็นที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 10, 15 และ 20 นาที เมื่อพิจารณาความสดและลักษณะปรากฏตามวิธีของกองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ (2547) พบว่า กระจกปูนี๋มมีสีเขียวปนจิม้าปนน้ำตาล อวัยวะครบ ก้ามปูเป็นสีน้ำตาล เนื้อสัมผัสบริเวณขาแน่น กระจกระหว่างท้องกับหลังแน่น ฝาปิดหน้าท้องกับหลังแน่น ฝาปิดหน้าท้องปิดสนิท กลิ่นสด สีสันบริเวณด้านท้องมีสีน้ำตาลปนเหลือง สีสันบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจิม้าปนน้ำตาล การยึดติดกันของเนื้อและกระจกพบว่าบริเวณขายึดติดแน่นกับตัว ฝาปิดหน้าออกปิดแน่น เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน ปูนี๋มที่แช่น้ำเย็นนาน 10 และ 15 นาที มีการสูญเสีย (drip loss) ออกมาในภาชนะบรรจุ ลักษณะกระจกมีสีเขียวจิม้า อวัยวะครบ เนื้อสัมผัสบริเวณจับปิ้งนิ่มและ มีกลิ่นแอมโมเนียจนถึงกลิ่นเหม็น สีสันบริเวณด้านท้องบางส่วนเป็นสีเทา สีสันบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจิม้าปนน้ำตาล ขาเดินและก้ามเริ่มเปื่อย นิ่ม หลุดง่ายเมื่อดึง จับปิ้งเป็นสีเหลือง หลุดง่าย ไม่ยึดติดกับกระจก ทำให้ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับ จึงสิ้นสุดการเก็บรักษา ในขณะที่ปูนี๋มที่แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที สามารถเก็บรักษาต่อไปได้

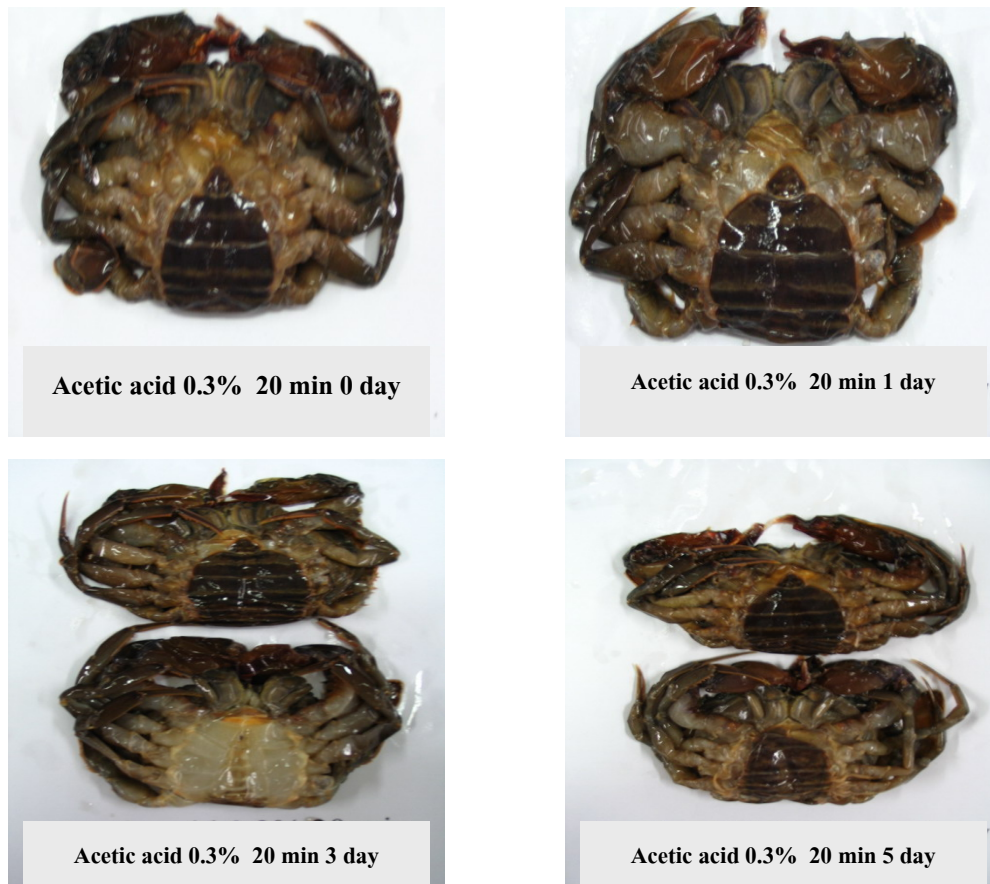
วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ปูนี๋มที่แช่น้ำเย็นนาน 20 นาที กระจกมีลักษณะซิด ก้านดานิ่ม อวัยวะครบ เนื้อบางส่วนเน่า เนื้อและ มีกลิ่นเหม็น สีสันบริเวณด้านหน้ามีสีขาวเทาใส สีสันบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจิม้า ปนน้ำตาล ขาเดินและก้ามเปื่อยนิ่มหลุดง่าย จับปิ้งมีสีเหลือง หลุดง่าย ไม่ยึดติดกับกระจก กระจกปูนี๋มมีความด้านมากและ มีลักษณะคล้ายกระดาษ (paper shell) พบปริมาณน้ำ

ในภาชนะบรรจุค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาในวันที่ 1 ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้นการแช่ปูนีมน้ำเย็น 20 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 3 วัน

เมื่อพิจารณาการแช่ปูนีมน้ำในสารละลายกรดแอซีติกโดยพิจารณาความสดและลักษณะปรากฏ พบว่าปูนีมนี้อ่อนนุ่ม ชุ่ม และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่นานขึ้น พบสีแดงเกิดขึ้นบริเวณส่วนท้องและจับปิ้ง นอกจากนี้พบกลิ่นเปรี้ยวของกรดแอซีติกตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาต่อไปปรากฏว่า เนื้อปูนีมนี้อ่อนนุ่มมาก และชุ่มบริเวณท้องและจับปิ้งมีสีแดงคล้ำมากขึ้น เนื้อบางส่วนเน่า กระดองขานิ่ม ชีตติดกันอย่างหลวม ๆ กับตัว ฝาปิดท้องปิดไม่สนิทและนํ้า พบน้ำลักษณะสีขาวภายในภาชนะบรรจุ และมีกลิ่นเหม็น ขาดินและก้ามเปื่อยนิ่ม หลุดง่าย จับปิ้งไม่ยึดติดกับกระดอง ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับจึงสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาในวันที่ 5



ภาพที่ 15 ลักษณะปรากฏของปูน้ำที่แช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 0, 1 และ 3 วัน



ภาพที่ 16 ลักษณะปรากฏของปูน้ำจืดที่แช่ในสารละลายกรดแอซีติกอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 0, 1, 3 และ 5 วัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยพิจารณาจากข้อกำหนด มาตรฐานของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำตาม International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF, 1986) กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ไม่เกิน 7 log CFU/g พบว่าภายหลังการแช่ปูน้ำจืดในน้ำเย็นและสารละลายกรดแอซีติก ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.21-5.53 log CFU/g โดย พบว่าการแช่ปูน้ำจืดในสารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้นร้อยละ 0.3 นาน 20 นาที ให้ประสิทธิภาพ ในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีที่สุด และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมดในทุกตัวอย่างมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บ ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะปรากฏที่ เกิดขึ้น โดยปูน้ำจืดที่มีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนสูงสุด คือ ปูน้ำจืดที่แช่ในสารละลายกรดแอซีติก เข้มข้นร้อยละ 0.3 เวลา 20 นาที การที่กรดแอซีติกสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ เกิดจากส่วน

ที่ชอบไขมัน (lipophilic) ของกรดอยู่ในรูปโมเลกุลที่ไม่แตกตัวและซึมผ่านเข้าไปในพลาสมาเมมเบรน (plasma membrane) ของจุลินทรีย์ที่มีค่าความเป็นกรด-เบส ค่อนข้างเป็นกลาง (ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 7) ซึ่งมีค่าสูงกว่าไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ดังนั้นเมื่อกรดอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวเข้าไปจะเกิดภาวะแตกตัวในรูปของโปรตอน (proton) และคอนจูเกต เบส (conjugated base) และมีผลในการทำลายออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริเลชัน ฟอรัม (oxidative phosphorylation form) ของระบบการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport system) รวมไปถึงการยับยั้งระบบขนส่งโมเลกุลสาร (substrate molecule) เข้าสู่เซลล์ ซึ่งผลในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญโดยกรดจะขึ้นกับค่าคงที่ของการแตกตัวของกรด (Adam and Hall, 1988) นอกจากนี้การลดลงของค่าความเป็นกรด-เบสของไซโตพลาสซึมส่งผลให้ไปยับยั้งการสังเคราะห์สาร โมเลกุลขนาดใหญ่หลายชนิด เช่น ส่วนประกอบของผนังเซลล์ คีเอนเอ ไขมัน โปรตีน และอาร์เอ็นเอ (Waldroup, 1994)

ตารางที่ 18 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปูน้ำจืดแช่ในน้ำเย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายกรดแอซิกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)												
วัน	น้ำเย็น			Acetic acid 0.1%			Acetic acid 0.2%			Acetic acid 0.3%		
	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
0	5.53 ^a ±0.01	5.52 ^b ±0.01	5.50 ^c ±0.01	5.39 ^d ±0.01	4.27 ^e ±0.02	4.18 ^f ±0.01	4.14 ^g ±0.02	3.77 ^h ±0.01	3.62 ⁱ ±0.00	3.54 ^j ±0.00	3.44 ^k ±0.01	3.21 ^l ±0.01
1	6.29 ^a ±0.01	6.25 ^b ±0.01	6.12 ^c ±0.01	5.48 ^d ±0.02	4.86 ^e ±0.01	4.74 ^f ±0.01	4.72 ^g ±0.02	4.69 ^h ±0.01	4.67 ⁱ ±0.02	4.59 ^j ±0.02	4.58 ^k ±0.02	4.42 ^l ±0.02
3	6.43 ^a ±0.01	6.39 ^b ±0.00	6.27 ^c ±0.02	6.23 ^d ±0.01	5.92 ^e ±0.01	5.83 ^f ±0.01	5.68 ^g ±0.02	5.65 ^h ±0.01	5.58 ⁱ ±0.01	5.51 ^j ±0.00	5.48 ^k ±0.00	5.41 ^l ±0.02
5				6.68 ^a ±0.01	6.66 ^b ±0.01	6.53 ^c ±0.01	6.49 ^d ±0.02	6.47 ^e ±0.02	6.44 ^f ±0.02	6.38 ^g ±0.02	6.23 ^h ±0.01	6.21 ⁱ ±0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

1.2 ผลการศึกษาลักษณะปรากฏและประสิทธิภาพการลดปริมาณจุลินทรีย์จากการแช่ปุนีมน้ำเย็น เปรียบเทียบการแช่ในสารละลายกรดแล็กติก โดยศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏและความสดของปุนีมภายหลังการแช่กรดแล็กติก ตั้งแต่วันที่ 1, 3, 5 และ 7 พบว่า การแช่ปุนีมน้ำในสารละลายกรดแล็กติกทุกระดับความเข้มข้น มีผลทำให้ปุนีมมีสีแดงบริเวณท้อง จับปั้ง และก้าม (ภาพที่ 17) และมีน้ำสีขาวปรากฏในภาชนะบรรจุ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการแช่ปุนีมน้ำในสารละลายกรดแอซิก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยพบกลิ่นแอมโมเนียและเกิดการเน่าเสีย ตัวปุนีมมีลักษณะอ่อนนุ่มมาก เนื้อละเอียดและก้ามนุ่ม หลุดง่าย จับปั้งหลุดง่ายไม่ยึดติดกับกระดูกรวมถึงเกิดสีน้ำตาลแดงบริเวณใต้ท้องอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่วันแรกของการแช่ในสารละลาย ซึ่งแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของกรดแล็กติก อาจเนื่องจากกรดแล็กติกซึมผ่านเข้าสู่ชั้นเนื้อเยื่อของปุนีมและทำปฏิกิริยากับโปรตีนและเกิดการเสียสภาวะของลิโปโปรตีนและซาโครพลาสมิกโปรตีน ตกตะกอนออกมา และเมื่อเก็บนาน 9 วัน พบว่าปุนีมที่ผ่านการแช่กรดแล็กติกทุกความเข้มข้นและทุกระยะเวลาในการแช่ มีกลิ่นเหม็นและเกิดการเน่าเสีย ตัวปุนีมมีลักษณะอ่อนนุ่มมาก มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น จูซาร์ตัน (2526) กล่าวว่า สาเหตุดังกล่าวเกิดเนื่องจากกรดแล็กติกทำให้เนื้อสัตว์มีสภาพเป็นกรดมากขึ้น มีผลทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (sacropasmic protein) สูญเสียคุณสมบัติบางประการ โดยจะมีการตกตะกอนของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibrillar protein) ทำให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และมีน้ำซึมออกมาที่บริเวณผิวหนัง และลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้นจากการศึกษาสามารถเก็บรักษาปุนีมได้นานเพียง 7 วัน จึงสิ้นสุดการเก็บรักษา



ภาพที่ 17 ลักษณะปรากฏของปูนิ่มที่แช่ในสารละลายกรดแล็กติกอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 วัน

เมื่อพิจารณาการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าภายหลังการเก็บรักษาปุ๋ยมัที่แช่ในสารละลายกรดแล็กติกความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 นาน 10, 15 และ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณจุลินทรีย์มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 19 โดยการแช่ปุ๋ยมัด้วยกรดแล็กติกความเข้มข้นร้อยละ 2.0 นาน 20 นาที ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์มากที่สุด เนื่องจากกรดแล็กติกมีผลต่อการปรับตัวของจุลินทรีย์ที่ติดมากับปุ๋ยมั ทำให้ระยะเวลาในการปรับตัวของจุลินทรีย์นานขึ้น โดยกรดแล็กติกอาจไปรบกวนเมแทบอลิซึม (Smulder, 1995) และไปแข่งขันการทำงานกับ Co-enzyme ทำให้เอนไซม์กลุ่มที่มี S-S ไม่สามารถทำงานได้ และหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะสร้างพลังงานของเซลล์ (Wyss, 1948) แต่เนื่องจากปุ๋ยมัที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแล็กติกเข้มข้นร้อยละ 2 นาน 20 นาทีทำให้ปุ๋ยมัมีสีแดงบริเวณท้องจับปั้ง และก้าม เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มมาก พบกลิ่นเปรี้ยวในระหว่างการเก็บรักษา ลักษณะปรากฏที่พบไม่เป็นที่ยอมรับตั้งแต่วันเริ่มต้นของการเก็บรักษา

ตารางที่ 19 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปูน้ำจืดแช่ในน้ำเย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายกรดแอซิติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)											
	น้ำเย็น			Acetic acid 0.1%			Acetic acid 0.2%			Acetic acid 0.3%		
	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
0	5.53 ^a $\pm$ 0.01	5.52 ^b $\pm$ 0.01	5.50 ^c $\pm$ 0.01	5.49 ^c $\pm$ 0.01	4.47 ^d $\pm$ 0.02	4.21 ^e $\pm$ 0.01	4.14 ^f $\pm$ 0.02	3.97 ^g $\pm$ 0.01	3.85 ^h $\pm$ 0.00	3.76 ⁱ $\pm$ 0.00	3.66 ^j $\pm$ 0.01	3.44 ^k $\pm$ 0.01
1	6.29 ^a $\pm$ 0.01	6.25 ^b $\pm$ 0.01	6.12 ^c $\pm$ 0.01	5.33 ^d $\pm$ 0.02	4.91 ^e $\pm$ 0.01	4.76 ^f $\pm$ 0.01	4.68 ^g $\pm$ 0.02	4.53 ^h $\pm$ 0.01	4.42 ⁱ $\pm$ 0.02	4.38 ^j $\pm$ 0.02	4.34 ^j $\pm$ 0.02	4.12 ^k $\pm$ 0.02
3	6.43 ^a $\pm$ 0.01	6.39 ^b $\pm$ 0.00	6.27 ^c $\pm$ 0.02	5.58 ^d $\pm$ 0.01	5.42 ^e $\pm$ 0.01	5.31 ^f $\pm$ 0.01	4.99 ^g $\pm$ 0.02	4.92 ^h $\pm$ 0.00	4.87 ⁱ $\pm$ 0.01	4.81 ^j $\pm$ 0.00	4.76 ^k $\pm$ 0.01	4.50 ^l $\pm$ 0.02
5				6.52 ^a $\pm$ 0.01	6.46 ^b $\pm$ 0.01	6.31 ^c $\pm$ 0.01	5.26 ^d $\pm$ 0.02	4.98 ^e $\pm$ 0.02	4.80 ^f $\pm$ 0.02	4.95 ^g $\pm$ 0.02	4.93 ^h $\pm$ 0.01	4.83 ⁱ $\pm$ 0.01
							6.00 ^a $\pm$ 0.02	5.96 ^b $\pm$ 0.02	5.65 ^c $\pm$ 0.03	5.59 ^d $\pm$ 0.02	5.31 ^e $\pm$ 0.02	4.99 ^f $\pm$ 0.02

หมายเหตุ ^{a,b,c...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

1.3 ผลการศึกษาการลักษณะปรากฏและประสิทธิภาพการลดปริมาณจุลินทรีย์จากการแช่ปูนีมน้ำเย็น เปรียบเทียบการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก โดยศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การศึกษาลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและลักษณะปรากฏ จากการแช่ปูนีมน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 0.75 และ 1.0 นาน 10, 15 และ 20 นาที โดยศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 18 และตารางที่ 20

วันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของการแช่ปูนีมน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.75 และ 1.0 เวลา 10, 15 และ 20 นาที เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดลงของจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าจุลินทรีย์มีแนวโน้มลดลงในทุกสภาวะของการแช่ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 20 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด

วันที่ 1 ของการเก็บรักษา พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่วันที่ 3 และวันที่ 5 ของการเก็บรักษา พบว่า การใช้สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 20 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดี แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาในการแช่ปูนานขึ้น มีผลให้คุณสมบัติบางอย่างของปูนีมน้ำเย็นมีการเปลี่ยนแปลง โดยเกิดสีแดงบริเวณก้นและใต้ท้องของปูนีม เนื้อสัมผัสของปูนีมน้ำเย็นมีลักษณะอ่อนนุ่มและยุบ มีกลิ่นเปรี้ยวในระหว่างเก็บรักษา ในขณะที่การใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 0.75 เป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที ลักษณะของปูนีมยังมีลักษณะที่ดีและไม่พบกลิ่นผิดปกติจึงทำการเก็บรักษาต่อไป



ภาพที่ 18 ลักษณะปรากฏของปูนิ้มที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 วัน

วันที่ 7 ของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาความสดและลักษณะปรากฏ ของการแช่สารละลาย กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 0.75 นาน 10 15 และ 20 นาที เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส พบว่าปูนิ่มมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มมากและชุ่ม เนื้อบางส่วนเน่า และมี กลิ่นเหม็น ขาดินและ ก้ามเปื่อย หลุดง่าย จับปิ้งหลุดง่ายไม่ยึดติดกับกระดอง ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับจึงสิ้นสุด อายุการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการแช่ปูนิ่มในสารละลายกรดแอสคอร์บิก โดยศึกษาความเข้มข้นและระยะเวลา พบว่า การแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.75 นาน 20 นาที ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์และลักษณะปรากฏได้ดีที่สุด โดยมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 7 วัน

การแช่ปูนิ่มในสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า กรดแอสคอร์บิกมี ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ จุลินทรีย์ เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกจะช่วยปรับสภาพความเป็น กรด-เบสของอาหารลดลงทำให้มีสถานะเป็นกรดมีผลทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (ศิวาพร, 2546)

ตารางที่ 20 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปุ๋ยมัที่แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)											
	น้ำเย็น			Acetic acid 0.1%			Acetic acid 0.2%			Acetic acid 0.3%		
	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
0	5.53 ^a $\pm$ 0.01	5.52 ^b $\pm$ 0.01	5.50 ^c $\pm$ 0.01	5.45 ^d $\pm$ 0.01	5.32 ^e $\pm$ 0.02	5.21 ^f $\pm$ 0.01	4.92 ^g $\pm$ 0.02	4.21 ^h $\pm$ 0.01	4.10 ⁱ $\pm$ 0.00	4.04 ^j $\pm$ 0.00	3.98 ^k $\pm$ 0.01	3.84 ^l $\pm$ 0.01
1	6.29 ^a $\pm$ 0.01	6.25 ^b $\pm$ 0.01	6.12 ^c $\pm$ 0.01	5.51 ^d $\pm$ 0.02	5.36 ^e $\pm$ 0.01	5.29 ^f $\pm$ 0.01	4.96 ^g $\pm$ 0.02	4.33 ^h $\pm$ 0.01	4.21 ⁱ $\pm$ 0.02	4.11 ^j $\pm$ 0.02	4.08 ^k $\pm$ 0.02	3.95 ^l $\pm$ 0.02
3	6.43 ^a $\pm$ 0.01	6.39 ^b $\pm$ 0.00	6.27 ^c $\pm$ 0.02	5.60 ^d $\pm$ 0.01	5.39 ^e $\pm$ 0.01	5.31 ^f $\pm$ 0.01	5.09 ^g $\pm$ 0.02	4.27 ^h $\pm$ 0.01	4.20 ⁱ $\pm$ 0.01	4.17 ^j $\pm$ 0.00	4.12 ^k $\pm$ 0.00	4.06 ^l $\pm$ 0.02
5				5.82 ^a $\pm$ 0.01	5.56 ^b $\pm$ 0.01	5.50 ^c $\pm$ 0.01	5.24 ^d $\pm$ 0.02	4.69 ^e $\pm$ 0.02	4.65 ^f $\pm$ 0.02	4.61 ^g $\pm$ 0.02	4.52 ^h $\pm$ 0.01	4.33 ⁱ $\pm$ 0.01
7				6.22 ^a $\pm$ 0.01	6.15 ^b $\pm$ 0.02	6.11 ^c $\pm$ 0.01	6.00 ^d $\pm$ 0.02	5.84 ^e $\pm$ 0.02	5.73 ^f $\pm$ 0.02	5.54 ^g $\pm$ 0.03	5.24 ^h $\pm$ 0.02	5.06 ⁱ $\pm$ 0.02

หมายเหตุ ^{a,b,c...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

การแช่ปูน้ในสารละลายกรดแอซิดิก กรดแลกติกและกรดแอสคอร์บิก ก่อนการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ มีผลเนื่องจากกรดจะลดค่าความเป็นกรด-เบสของอาหาร จะไปยั้งระยะพักตัวของจุลินทรีย์ (lag phase) ให้ยาวขึ้นและส่งผลให้จุลินทรีย์ตายลง เวลาในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรด ระยะเวลาในการสัมผัส และความ สามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของอาหาร (Wang, 1992) โดยกรดที่แตกตัวจะให้โปรตอน จึงมีแนวโน้มที่ทำให้ภายในเซลล์มีสภาวะเป็นกรดและทำให้เกิดปฏิกิริยาโรคพิษขึ้นภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้น จุลินทรีย์จะพยายามรักษาสภาวะความเป็นกรด-เบส ที่เป็นกลางไว้โดยขับโปรตอนออกไปจากเซลล์ ซึ่งกลไกนี้มีผลทำให้เซลล์เจริญช้าลง เนื่องจากต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งขับโปรตอนออกไป ยิ่งถ้าภายนอกเซลล์มีค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำมากเท่าใด เซลล์ก็ยิ่งทำงานหนักมากขึ้นเท่านั้น เพราะถ้าค่าความเป็นกรด-เบส ภายในเซลล์ลดลงถึงจุดหนึ่ง การเจริญของเซลล์ก็จะหยุดชะงัก และถ้าเซลล์ซ่อมแซมสภาวะให้กับสู่สภาวะเดิมไม่ได้ เซลล์จะตาย (สุมณฑา, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับ ชัยณรงค์ (2529) ที่กล่าวว่าเมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ลดลง 1.0 จะมีผลให้ประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น 10 เท่าตัว นอกจากนี้การที่ค่าความเป็นกรด-เบสลดลงเป็นการช่วยขยายระยะเวลาในช่วงระยะพัก (lag phase) ให้นานออกไป จึงทำให้กรดมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Wouthuis and Smulders, 1985) และการที่ปูน้มีกรดสีแดงบริเวณท้องและจับปิ้งอาจเนื่องจากกรดทำปฏิกิริยากับกระดองของปูบริเวณเคลือบผิวชั้นในที่มียอดประกอบของเม็ดสี (pigment layer) และบริเวณผิวชั้นนอก (epidermis) ที่ประกอบด้วยรงควัตถุ (chromatophore) (บรรจง และบุญรัตน์, 2545) นอกจากนี้ จุฑารัตน์ (2536) กล่าวว่ากรดทำให้เนื้อสัตว์มีสภาพเป็นกรดมากขึ้น มีผลทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (sarcoplasmic protein) สูญเสียคุณสมบัติบางประการ โดยจะมีการตกตะกอนของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibrillar protein) ทำให้เนื้อสัตว์มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และมีน้ำเยิ้มออกมาที่บริเวณผิวหนังของเนื้อปูน้ จึงมีการสูญเสียน้ำมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่สารละลายกรด

1.4 ผลการศึกษาการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและลักษณะปรากฏจากการแช่ป้อนในน้ำเย็น เปรียบเทียบการแช่ในน้ำไอโซน โดยศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การศึกษาขั้นตอนนี้จะคัดเลือกระดับความเข้มข้นของไอโซนจาก 3 ระดับความเข้มข้นคือ 0.5, 0.75 และ 1.0 พีพีเอ็ม และ 3 ระยะเวลาในการแช่ป้อน คือ 10, 15 และ 20 นาที เพื่อหาความเข้มข้นของไอโซนและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการแช่ป้อน โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏ (ภาพที่ 19) และคุณภาพทางจุลชีววิทยาของป้อนระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 21) จากการศึกษาพบว่าภายหลังการแช่ป้อนในน้ำไอโซนจะมีลักษณะปรากฏและคุณภาพทางจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา กล่าวคือ ที่ระดับความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ มีแนวโน้มในการลดปริมาณจุลินทรีย์ลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการแช่ป้อนในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดดีที่สุดที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแช่ป้อนในทุกสภาวะ และเมื่อพิจารณาความสดพบว่ากระดองมีสีเขียวจืดมีน้ำตาล อวัยวะครบ เนื้อสัมผัสบริเวณขาแน่น กระดองระหว่างท้องกับหลังแน่น ฝาปิดหน้าท้องปิดสนิท กลิ่นสด สัมผัสบริเวณด้านหน้ามีสีขาวขุ่น สีน้ำตาลปนเหลือง สัมผัสบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจืดมีน้ำตาล การยึดติดกันของเนื้อและกระดองพบว่า บริเวณขายึดติดแน่นกับตัว ฝาปิดหน้าอกปิดแน่น

ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาพิจารณาความสดของป้อนของการแช่ป้อนในน้ำเย็น พบว่ากระดองมีลักษณะชัดเจน ก้านตานั้น อวัยวะครบ เนื้อบางส่วนเน่า เนื้อและ มีกลิ่นแอมโมเนียจนถึงกลิ่นเหม็นอย่างชัดเจน สัมผัสบริเวณด้านหน้าเป็นสีขาวเทาใส สัมผัสบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจืดมีน้ำตาล การยึดติดกันของเนื้อและกระดอง พบว่าขาเดินและก้ามเปื่อย นิ่ม หลุดง่ายเมื่อดึง จับปิ้งเป็นสีเหลืองและหลุดง่าย ไม่ยึดติดกับกระดอง มีน้ำออกมาจากลำตัว มีกลิ่นเน่าเหม็น และเน่ามาก โดยพบว่าแช่ป้อนในน้ำเย็น 20 นาที มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด 3 วัน ในขณะที่การแช่ป้อนในน้ำไอโซนที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ากระดองมีสีเขียวจืด อวัยวะครบ เนื้อสัมผัสบริเวณจับปิ้งเริ่มนิ่ม กลิ่นสด บริเวณจับปิ้งมีกลิ่นโคลน สัมผัสบริเวณด้านหน้ามีสีขาวขุ่น คล้ายน้ำมันปาล์ม สีน้ำตาล สัมผัสบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจืดมีน้ำตาล วันที่ 5 ของการเก็บรักษา การยึดติดกันของเนื้อและกระดองพบว่าบริเวณขานิ่มและห้อยลง เมื่อยกขึ้นจะอ่อน ไม่แข็งแรง และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น 7 วัน พบว่าเนื้อสัมผัสบริเวณจับปิ้งนิ่มและ กระดองบริเวณฝาปิดอกนิ่มจนถึงนิ่มมาก วันที่ 9 ของการเก็บรักษาพบกลิ่นแอมโมเนีย สัมผัสบริเวณท้องมีสีขาวขุ่นปนน้ำตาล สัมผัสบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจืดมีน้ำตาล การยึดติดกันของเนื้อและกระดอง พบว่ากระดองขานิ่ม ยึดติดกัน

อย่างหลวม ๆ กับตัว ฝาปิดต้องปิดไม่สนิท และน้ำมัน ดังนั้นการแช่น้ำมันในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาทีให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาดีที่สุดนาน 9 วัน โดยกระดองปูน้ำมันมีลักษณะซีดลง ก้านตานั้น อวัยวะครบ เนื้อบางส่วนเน่า เนื้อและ สิบบริเวณด้านท้องมีสีขาวเทาใส สิบบริเวณด้านหลังมีสีเขียวขี้ม้าปนน้ำตาล การยัดติดกันของเนื้อและกระดอง พบว่าขาเดินและก้ามเปื่อย นิ่ม หลุดง่ายเมื่อดึง จับปิ้งเป็นสีเหลืองและหลุดง่าย ไม่ยัดติดกับกระดอง มีกลิ่นเหม็น



Ozone 1.0 ppm 20 min 0 day



Ozone 1.0 ppm 20 min 1 day



Ozone 1.0 ppm 20 min 3 day



Ozone 1.0 ppm 20 min 5 day



Ozone 1.0 ppm 20 min 7 day



Ozone 1.0 ppm 20 min 9 day

ภาพที่ 19 ลักษณะปรากฏของปูนิ่มที่แช่ในน้ำโอโซนอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 9 วัน

ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนขึ้นกับความเข้มข้น ระยะเวลาที่สัมผัสกับจุลินทรีย์ โดยโอโซนจะทำลายจุลินทรีย์บริเวณผนังเซลล์เป็นส่วนแรกทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์แตกออก (cell lysis) ในขณะที่สารประกอบจำพวกลิโปโปรตีน (lipoprotein) และลิโปพอลิแซ็กคาไรด์ (lipopolysaccharide) ของแบคทีเรียแกรมลบเป็นตำแหน่งที่จะถูกทำลายโดยโอโซน และมีผลต่อเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้เซลล์แตก โอโซนมีผลต่อเอนไซม์ของจุลินทรีย์ การทำลายเอนไซม์ของโอโซนพบว่าจะทำลายเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) และรบกวนระบบการหายใจของจุลินทรีย์ นอกจากนี้โอโซนจะเข้าทำลายในส่วน plasmid DNA และลดคุณสมบัติ transforming และลดปฏิกิริยา transcription ซึ่งเกิดจากโอโซนสลายตัวในน้ำเกิดอนุมูลอิสระคือไฮดรอกซีโรซิด (HO_2) ไฮดรอกซิล (OH) และซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สูงมาก สามารถทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น กลิ่นของโลหะ สารประกอบอินทรีย์ ไฮโดรเจน และไฮดรอกไซด์ในน้ำ (Kim *et al.*, 1999)

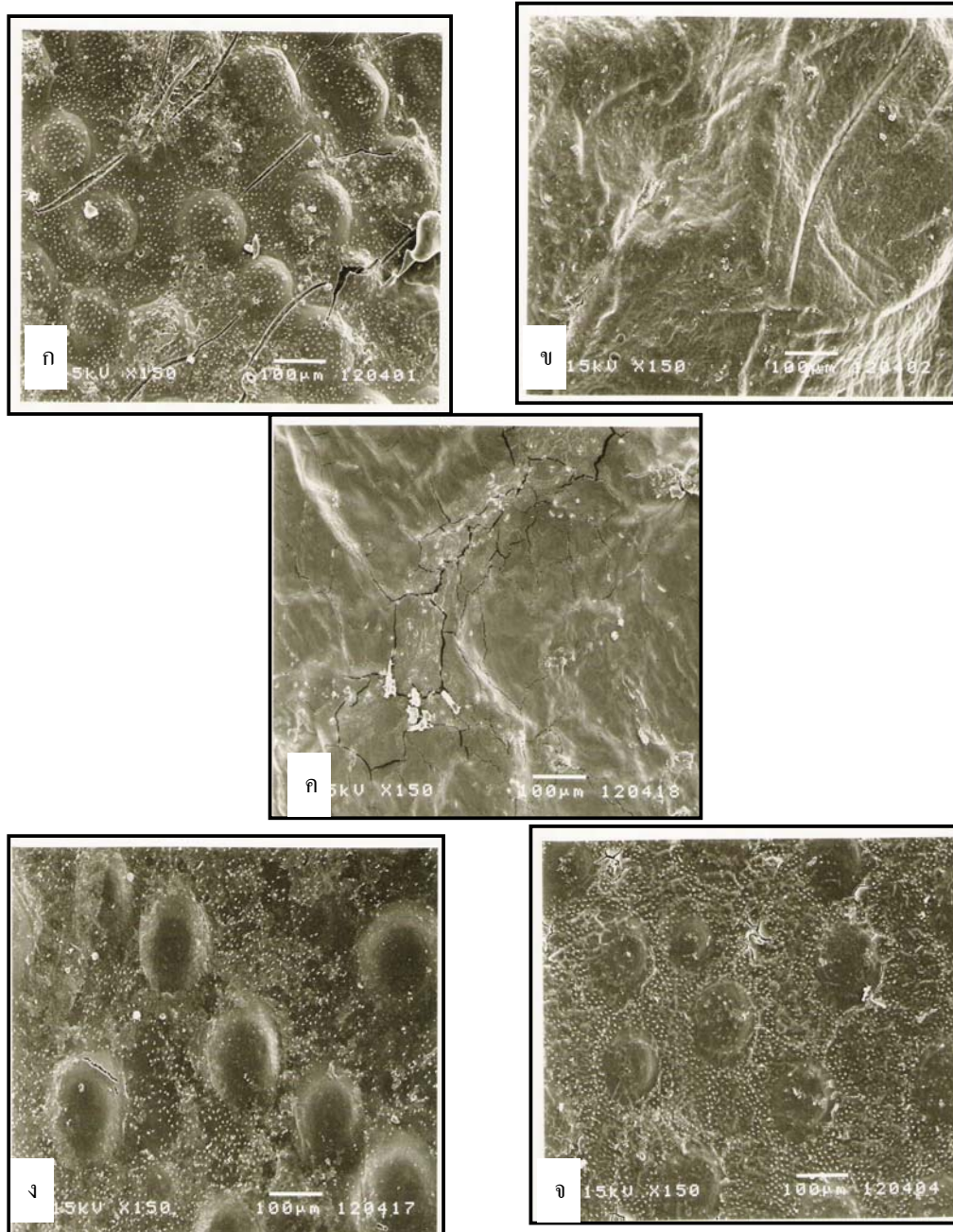
ตารางที่ 21 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปุ๋ยมั่มที่แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการแช่น้ำไอโซน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)											
	น้ำเย็น			Acetic acid 0.1%			Acetic acid 0.2%			Acetic acid 0.3%		
	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
0	5.53 ^a $\pm$ 0.01	5.52 ^b $\pm$ 0.01	5.50 ^c $\pm$ 0.01	4.34 ^d $\pm$ 0.05	4.26 ^e $\pm$ 0.01	4.24 ^f $\pm$ 0.00	4.19 ^g $\pm$ 0.00	4.17 ^h $\pm$ 0.01	4.13 ⁱ $\pm$ 0.00	3.98 ^j $\pm$ 0.01	3.87 ^k $\pm$ 0.01	3.42 ^l $\pm$ 0.01
1	6.29 ^a $\pm$ 0.01	6.25 ^b $\pm$ 0.01	6.12 ^c $\pm$ 0.01	4.41 ^d $\pm$ 0.00	4.37 ^e $\pm$ 0.01	4.35 ^f $\pm$ 0.01	4.21 ^g $\pm$ 0.01	4.19 ^h $\pm$ 0.00	4.17 ⁱ $\pm$ 0.00	4.13 ^j $\pm$ 0.01	4.09 ^k $\pm$ 0.01	3.65 ^l $\pm$ 0.01
3	6.43 ^a $\pm$ 0.01	6.39 ^b $\pm$ 0.00	6.27 ^c $\pm$ 0.02	4.48 ^d $\pm$ 0.02	4.41 ^e $\pm$ 0.01	4.37 ^f $\pm$ 0.04	4.37 ^g $\pm$ 0.02	4.31 ^h $\pm$ 0.03	4.21 ⁱ $\pm$ 0.01	4.16 ^j $\pm$ 0.01	4.15 ^k $\pm$ 0.01	3.97 ^l $\pm$ 0.01
5				4.66 ^a $\pm$ 0.02	4.61 ^b $\pm$ 0.02	4.59 ^c $\pm$ 0.01	4.51 ^d $\pm$ 0.01	4.47 ^e $\pm$ 0.01	4.42 ^f $\pm$ 0.02	4.39 ^g $\pm$ 0.02	4.35 ^h $\pm$ 0.02	4.19 ⁱ $\pm$ 0.01
7				5.14 ^a $\pm$ 0.01	4.93 ^b $\pm$ 0.02	4.80 ^c $\pm$ 0.02	4.82 ^d $\pm$ 0.01	4.77 ^e $\pm$ 0.01	4.75 ^f $\pm$ 0.01	4.73 ^g $\pm$ 0.01	4.68 ^h $\pm$ 0.01	4.53 ⁱ $\pm$ 0.02
9				5.59 ^a $\pm$ 0.02	5.47 ^b $\pm$ 0.00	5.43 ^c $\pm$ 0.02	5.43 ^d $\pm$ 0.01	5.38 ^e $\pm$ 0.01	5.24 ^f $\pm$ 0.03	5.16 ^g $\pm$ 0.01	5.12 ^h $\pm$ 0.01	5.07 ⁱ $\pm$ 0.04

หมายเหตุ ^{a,b,c...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

1.5 ผลการศึกษาลักษณะ โครงสร้างของปู่นิมที่ผ่านการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และสารละลายกรดแอซีติก กรดแกล์กติก กรดแอสคอร์บิก และน้ำไอโซน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

เมื่อศึกษาลักษณะ โครงสร้างภายนอกและภายในของปู่นิมที่ผ่านการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และสารละลายกรดแอซีติก กรดแกล์กติก กรดแอสคอร์บิก และน้ำไอโซน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยใช้ Scanning electron microscope (SEM) เพื่อดูลักษณะการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของเปลือกชั้นนอก (outer layer) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น ได้แก่ epicuticle, exocuticle และ endocuticle จากภาพที่ 20 และ 21 พบว่า การแช่ปู่นิมในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ลักษณะ โครงสร้างบริเวณผิวหนังชั้นนอก (epidermis) ซึ่งเป็นชั้นที่มีเซลล์ขนาดใหญ่ ยังคงประกอบด้วยรงควัตถุ (chromatophore) และมีเคลือบผิวชั้นใน (endocuticle) ติดกับชั้นดังกล่าว โดยบริเวณดังกล่าวมีแร่ธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่บริเวณผิวเคลือบ (cuticle) ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีร่างแหไคติน-โปรตีน (chitin-protein complex) เป็น ส่วนประกอบหลัก (Pratoomchart, *et al.*, 2002) ในขณะที่ปู่นิมที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอซีติก ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 นาน 20 นาที ปู่นิมที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแกล์กติกความเข้มข้นร้อยละ 2.0 นาน 20 นาที และการแช่ปู่นิมในสารละลายกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 1.0 นาน 20 นาที จะเกิดการ สลายตัวของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์สารในบริเวณร่างแหบริเวณผิวเคลือบ ซึ่งสอดคล้อง กับ Pratoomchart *et al.* (2003) กล่าวว่าความเป็นกรดของสารละลายมีผลต่อการสูญเสียสภาพ โปรตีน ทำให้เกิดการตกตะกอนของซาร์โคพลาสมิกโปรตีน ดังภาพที่ 21 ในขณะที่ปู่นิมที่ผ่านการ แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที ลักษณะ โครงสร้างของเปลือกชั้นนอกและ เส้นใยร่างแหโปรตีน ยังคงลักษณะคล้ายคลึงกับเปลือกชั้นนอกของการแช่ปู่นิมในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที



ภาพที่ 20 ลักษณะ โครงสร้างบริเวณผิวนอกของปูนั้มจากกล้อง SEM กำลังขยาย150 x

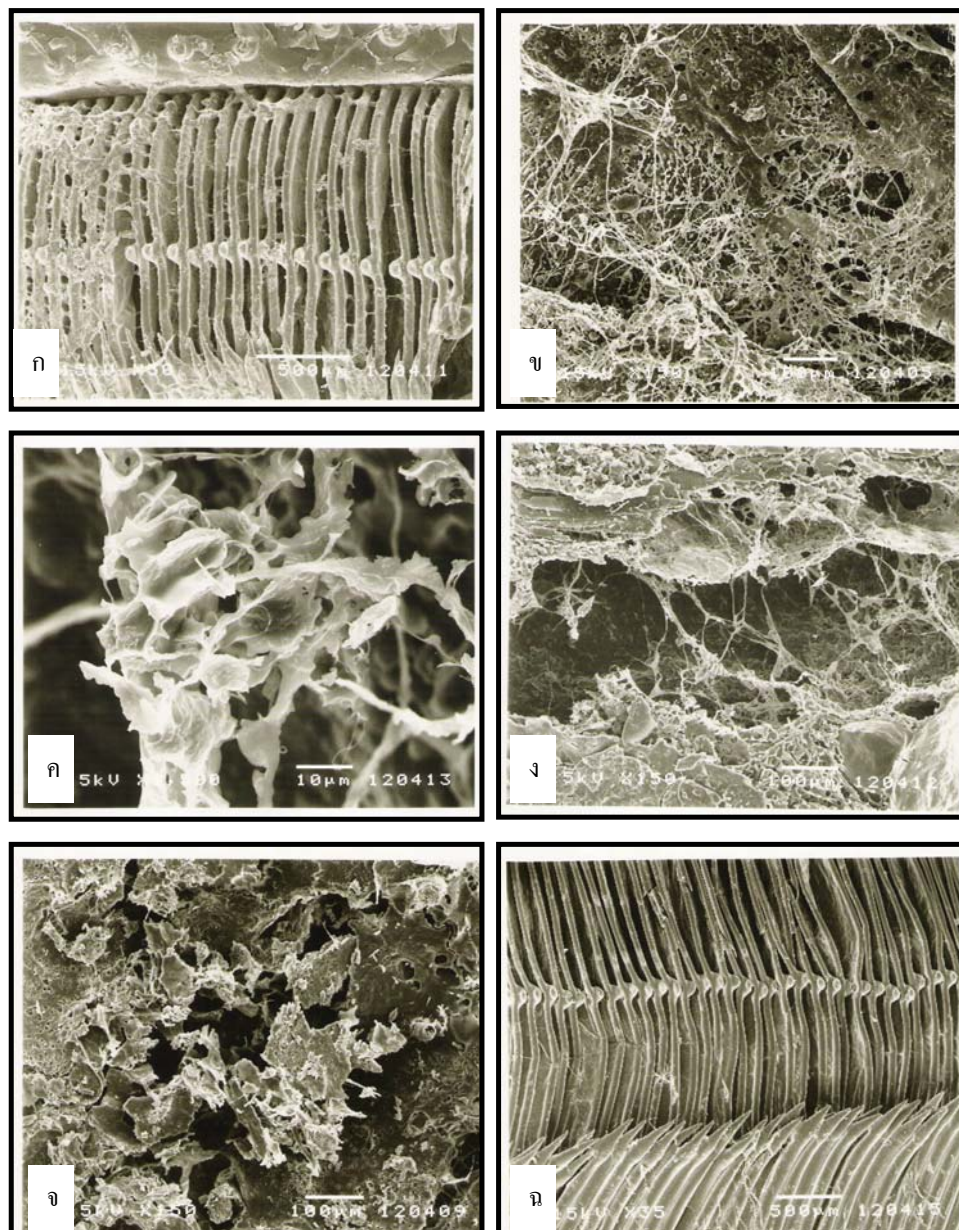
ก ปูนั้มที่ผ่านการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

ข ปูนั้มที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 0.3 นาน 20 นาที

ค ปูนั้มที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 2.0 นาน 20 นาที

ง ปูนั้มที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 20 นาที

จ ปูนั้มที่ผ่านการแช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที



ภาพที่ 21 ลักษณะโครงสร้างบริเวณผิวชั้นในของพูนีมจากกล้อง SEM กำลังขยาย 150 x

ก พูนีมที่ผ่านการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

ข พูนีมที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 0.3 นาน 20 นาที

ค พูนีมที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 0.3 นาน 20 นาที กำลังขยาย 500 เท่า

ง พูนีมที่ผ่านการแช่กรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 2.0 นาน 20 นาที

จ พูนีมที่ผ่านการแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 20 นาที

ฉ พูนีมที่ผ่านการแช่น้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที

2. ผลการศึกษาหาอัตราส่วนของก๊าซที่เหมาะสมในการเก็บรักษาปูนึ่ง

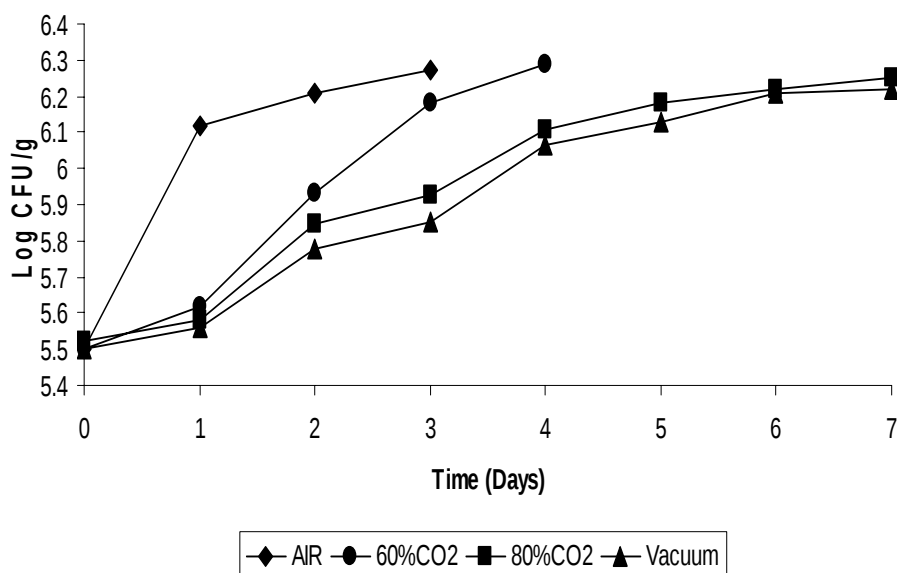
2.1 ผลของการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและลักษณะปรากฏในระหว่างการเก็บรักษาปูนึ่ง

จากการบรรจุปูนึ่งภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนในอัตราส่วนต่างๆ กันคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 สภาวะสุญญากาศ และสภาวะบรรยากาศปกติ (อากาศ) โดยบรรจุในถุงพลาสติกชนิด copolymer ของ polyethylene (PE)/ polyvinylidene chloride (PVDC)/ polyethylene polymer/ nylon ดังภาพที่ 22 นำมาวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้คุณภาพปูนึ่งที่ทำการเก็บรักษา และหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาปูนึ่ง



ภาพที่ 22 ลักษณะการบรรจุปูนึ่งในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศ

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปู๋นึ่งที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 23 (ภาคผนวก ง1) ปรากฏว่าในวันเริ่มต้นปู๋นึ่งมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.50 log CFU/g



ภาพที่ 23 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปู๋นึ่งที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เมื่อเก็บรักษานานขึ้นพบว่าปู๋นึ่งที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติเนื้อสัมผัสบริเวณจับปิ้งเริ่มนิ่ม เริ่มพบกลิ่นแอมโมเนีย สิบบริเวณด้านท้องมีสีขาวขุ่น ปนน้ำตาล สิบบริเวณด้านหลังมีสีเขียวขี้ม้า ปนน้ำตาล การยึดติดกันของเนื้อและกระดูก พบว่าบริเวณขาจะนิ่ม และห้อยลง เมื่อยกขึ้นจะอ่อนไม่แข็งแรง ฝาปิดท้องไม่สนิทและนิ่ม และเมื่อเก็บรักษาไว้ 3 วัน ปู๋นึ่งที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติ กระดองลักษณะซิด ก้านตานิ่ม เนื้อเละถึงเน่า มีกลิ่นเหม็น สิบบริเวณด้านท้องมีสีขาวขุ่น บางส่วน สิบบริเวณด้านหลังมีสีเขียวขี้ม้าปนน้ำตาล การยึดติดกันของเนื้อและกระดูก พบว่าขาเดิน

และก้ามเปื่อย นุ่ม หลุดง่ายเมื่อดึง จับปิ้งเป็นสีเหลืองและหลุดง่าย ไม่ยึดติดกับกระดอง และมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา

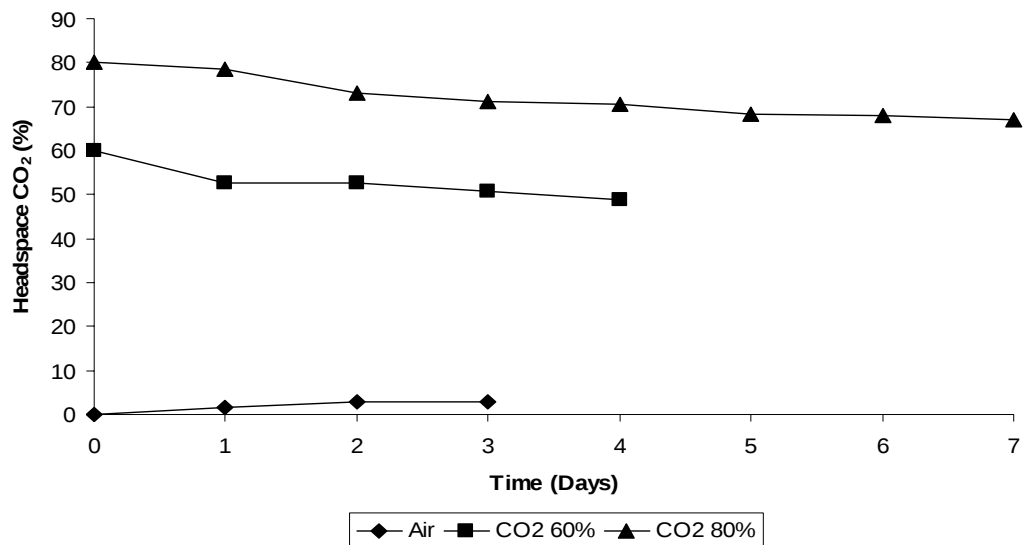
ในขณะที่ตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศยังคงความสด กลิ่นสด แต่เมื่อทำการเก็บรักษาต่อไปอีกเป็นเวลาต่อไป พบว่าปูน้ำจืดที่เก็บรักษาในสภาวะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 กระดองมีลักษณะซีดลง ก้านตานุ่ม เนื้อบางส่วนเน่า เริ่มมีกลิ่นแอมโมเนียจนถึงกลิ่นเน่า การยึดติดกันของเนื้อและกระดอง พบว่าขาเดินและก้ามเริ่มเปื่อย นุ่ม หลุดง่ายเมื่อดึง จับปิ้งเป็นสีเหลืองและหลุดง่าย ไม่ยึดติดกับกระดอง สิบบริเวณด้านหน้ามีสีขาว ขุ่นถึงซีด บางส่วนเป็นสีขาวเทาใส สิบบริเวณด้านหลังมีสีเขียวขี้ม้าปนน้ำตาล จึงสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา จากผลการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่าจุลินทรีย์จะถูกยับยั้งการเจริญเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gill and Tan (1980) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์มากขึ้น นอกจากนี้ Smith (1993) กล่าวว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 20 หรือปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 1 สามารถยับยั้งการและเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ได้

ภายหลังวันที่ 4 ของการเก็บรักษาพบว่าเนื้อสัมผัสบริเวณจับปิ้งเริ่มนุ่ม กระดองบริเวณฝาปิดอกนุ่มจนถึงนุ่มมาก มีกลิ่นโคลนจนถึงกลิ่นแอมโมเนีย สิบบริเวณด้านหน้ามีสีขาวขุ่นปนน้ำตาล สิบบริเวณด้านหลังมีสีเขียวขี้ม้าปนน้ำตาล กระดองขานุ่ม ยึดติดกันอย่างหลวม ๆ กับตัว ฝาปิดท้องปิดไม่สนิทและนุ่ม และหลุดง่าย

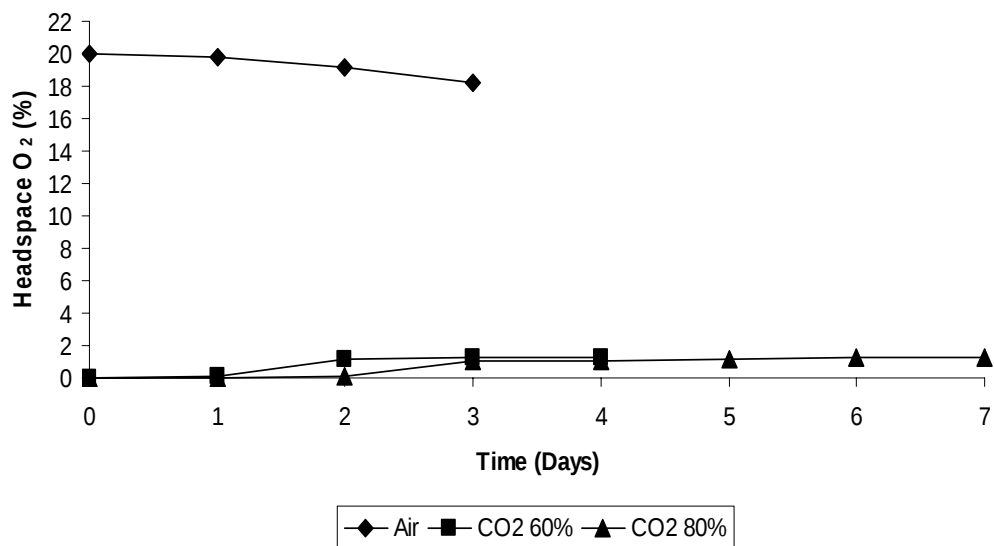
จากการทดลองพอสรุปได้ว่าการบรรจุปูน้ำจืดในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด นาน 7 วัน โดยภายหลังวันที่ 7 ของการเก็บรักษา กระดองมีสีซีด ก้านตานุ่ม เนื้อและ เน่า เริ่มมีกลิ่นแอมโมเนียจนถึงมีกลิ่นเน่าเสีย สิบบริเวณด้านหน้ามีสีขาวขุ่นบางส่วนเป็นสีขาวเทาใส สิบบริเวณด้านหลังมีสีเขียวขี้ม้าปนน้ำตาล การยึดติดกันของเนื้อและกระดอง พบว่าขาเดินและก้ามเปื่อย นุ่ม หลุดง่าย จับปิ้ง ไม่ยึดติดกับกระดอง

2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของบรรยากาศในระหว่างการเก็บรักษาปุ๋ยม

ปุ๋ยมที่บรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และ ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 บรรจุในสภาวะสุญญากาศ และสภาวะบรรยากาศปกติ บรรจุในถุงพลาสติกที่มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ปริมาณก๊าซออกซิเจนในการเก็บรักษาปุ๋ยมในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศ เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 24 และ 25 เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ ปรากฏว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรกของการเก็บรักษา ปุ๋ยมที่บรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และ สภาวะสุญญากาศ ถุงพลาสติกจะหดรูปในช่วง 2-3 วันแรกของการเก็บรักษา และไม่สามารถวัด ปริมาณการเปลี่ยนแปลงก๊าซได้เนื่องจากการหดของภาชนะบรรจุ ส่วนสภาวะปรับบรรยากาศ ด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 นั้นถุงพลาสติกมีการหด รูปปานกลาง และสภาวะบรรยากาศปกติในถุงพลาสติกยังคงมีลักษณะคงเดิม เมื่อเก็บรักษาเป็น เวลานานขึ้น พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปรับบรรยากาศจะลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่การบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติมีแนวโน้มที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เพียงเล็กน้อย การลดลงของปริมาณออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากการเจริญและจากเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศและกลุ่ม facultative aerobe (Smith *et al.*, 1986) นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ ดังนั้นปริมาณก๊าซในช่องว่างภายในบรรจุภัณฑ์จะลดลง โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับ ได้ประมาณร้อยละ 30 ของความสามารถในการละลายสูงสุด (สุทธวัฒน์, 2548)



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บรักษาปูนิ่ม ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศ เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในการเก็บรักษาปูนิ่ม ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศ เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

3. ผลการแช่ป่นในสารที่เหมาะสมร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ

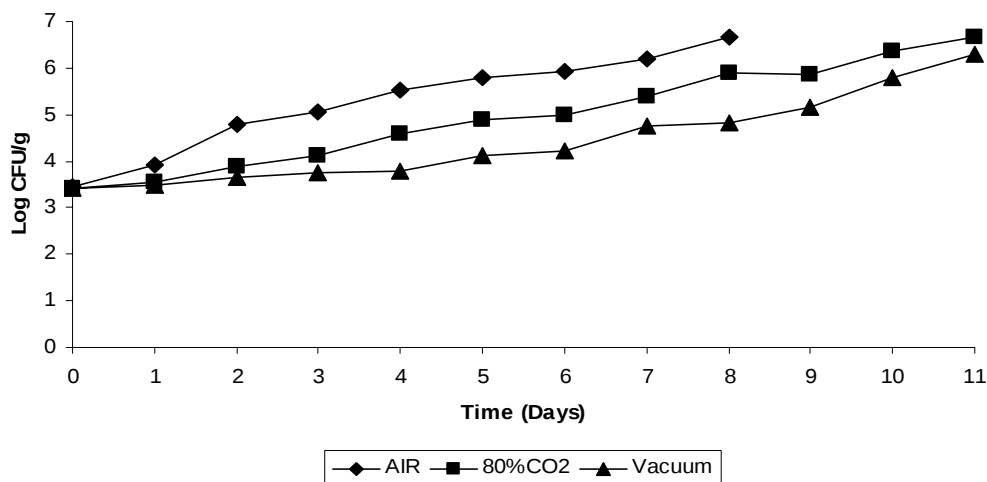
3.1 ผลการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยาและลักษณะปรากฏ

จากผลการศึกษาหาชนิดของสารความเข้มข้นและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ป่น และอัตราส่วนของก๊าซที่เหมาะสมเบื้องต้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาป่น ในการทดลองขั้นต่อไป จึงเลือกวิธีแช่ป่นในน้ำไอโซนเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที และบรรจุภายใต้อัตราส่วนของก๊าซที่เหมาะสมได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศ นำมาวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด แบคทีเรียเล็กคิก แบคทีเรียเจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ แบคทีเรียไซโครโทรอฟส์

ภายหลังการแช่ป่นในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที พบว่า กระดองป่นยังคงมีสีเขียวจืดมีน้ำน้ำตาล อวัยวะครบ ก้ามปูเป็นสีน้ำตาล เนื้อสัมผัสบริเวณขาแน่น กระดองระหว่างท้องกับหลังแน่น ฝาปิดหน้าท้องปิดสนิท กลิ่นสด สปีบริเวณด้านหน้ามีสีน้ำตาล สปีบริเวณด้านหลังมีสีเขียวจืดมีน้ำน้ำตาล การยัดติดกันของเนื้อและกระดอง พบว่าบริเวณขาียัดติดแน่นกับตัว ฝาปิดหน้าอกปิดแน่น

เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในป่นที่แช่ในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 26 และภาคผนวก ง2) พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของป่นมีปริมาณเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.41-3.45 log CFU/g เมื่อเก็บรักษาป่นนานขึ้น ปรากฏว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มจำนวนขึ้น โดยป่นที่เก็บในสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุดและเก็บรักษาได้นาน 11 วัน ในขณะที่ป่นที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงที่สุด และเก็บรักษาได้นานเพียง 8 วัน โดยลักษณะการสิ้นสุดของอายุการเก็บรักษา พบว่าเนื้อเน่าและ พบกลิ่นแอมโมเนียจนถึงกลิ่นเน่าเสีย สปีบริเวณด้านท้องเป็นสีขาวเทาใส สปีบริเวณด้านหลังเป็นสีเขียวจืด การยัดติดกันของเนื้อและกระดอง พบว่าขาเดินและก้ามเนื้อเปื่อย นิ่ม หลุดง่ายเมื่อดึง จับปิ้งเป็นสีเหลืองและหลุดง่ายไม่ยัดติดกับกระดอง

การที่สภาวะปรับบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาปูดได้เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้โดยเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่สามารถเจริญได้ โดยเฉพาะ *Pseudomonas* spp., *Alteromonas* และ *Acinetobacter* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ และสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสีย (Gill and Tan, 1980)

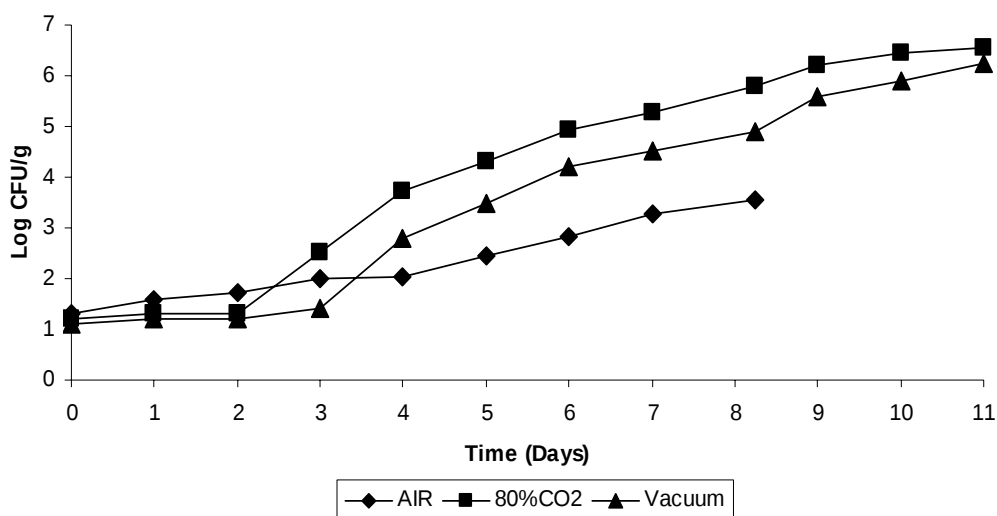


ภาพที่ 26 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปูดที่แช่ในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 ฟิฟตีเอ็มอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าปูดที่บรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ ถึงแม้จำนวนจุลินทรีย์ในวันสุดท้ายมีปริมาณใกล้เคียงกับวันหมดอายุในการเก็บรักษาในสภาวะปกติ แต่ไม่พบกลิ่นเน่าเสียได้ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ในที่มีอากาศ เช่น *Pseudomonas* ซึ่งสามารถย่อยสลายโปรตีนและก่อให้เกิดกลิ่นเน่าเสีย (Enfort and Molin, 1980) ดังนั้นเมื่อบรรจุปูดภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศ และสุญญากาศซึ่งมีก๊าซออกซิเจนต่ำจึงทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่เจริญ แต่จะมีแบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ (anaerobic bacteria) และแบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาวะมีและไม่มีอากาศเจริญแทน เช่น แบคทีเรียแล็กติก (Wang, 1992) เพิ่มจำนวนขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น

ผลการตรวจนับแบคทีเรียเล็กดึก

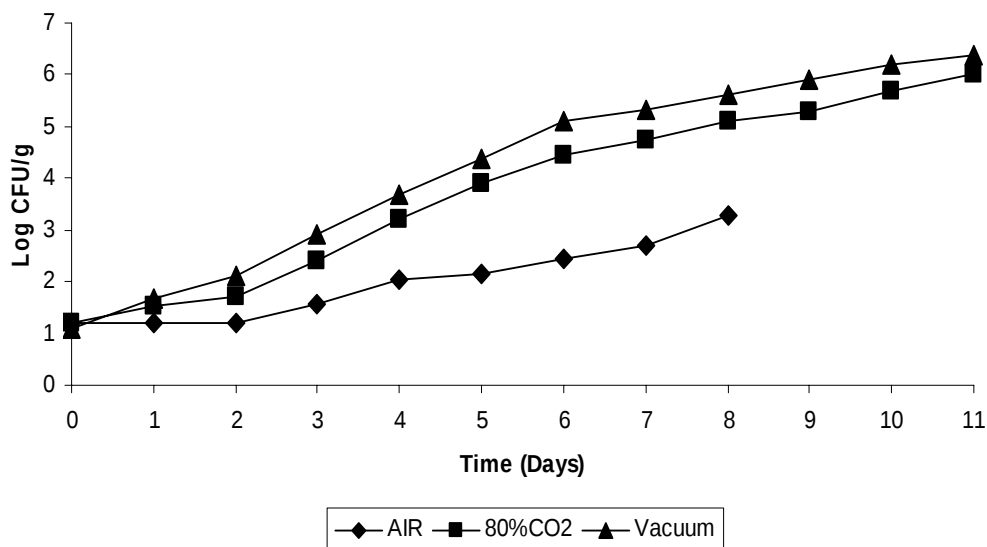
จากการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียเล็กดึก ในปูนิ่มที่บรรจุภายใต้สภาวะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 27 และภาคผนวก ง3 พบว่าจำนวนแบคทีเรียเล็กดึกในวันเริ่มต้นมีค่า 1.1-1.3 log CFU/g และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน จำนวนแบคทีเรียเล็กดึกมีจำนวนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน ปรากฏว่าการเก็บรักษาปูนิ่มในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศแบคทีเรียเล็กดึกมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุปูนิ่มในสภาวะปรับบรรยากาศมีก๊าซออกซิเจนต่ำทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่เจริญ แต่จุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศและชนิดที่เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศจะเจริญขึ้นมาแทนที่จากจำนวนของแบคทีเรียที่สร้างเล็กดึกที่ใกล้เคียงกับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า การเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศสามารถยืดระยะเวลาเจริญในช่วง lag phase ของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดเล็กดึก (Smith *et al.*, 1988)



ภาพที่ 27 ปริมาณแบคทีเรียเล็กดึกในปูนิ่มที่แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็มอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ผลการตรวจนับแบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ

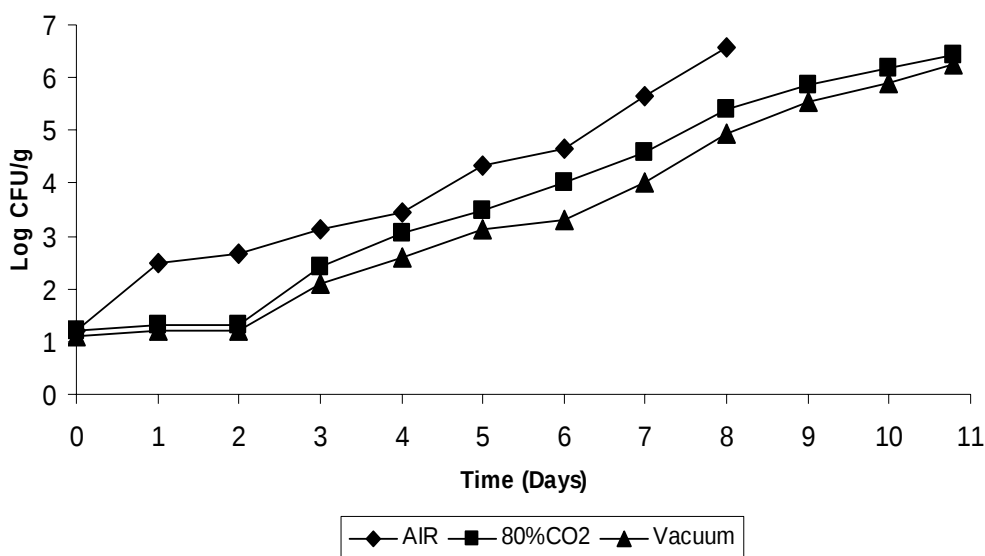
ปริมาณแบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ ในปฏินิมที่แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงในภาพที่ 28 และภาคผนวก ง4 พบว่าปฏินิมทุกตัวอย่างมีจำนวนแบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น โดยปฏินิมที่บรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศจะมีจำนวนแบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศเพิ่มขึ้น โดยในช่วงแรกจะเพิ่มจำนวนอย่างช้า ๆ และเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงหลังของการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วันแบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจของจุลินทรีย์ชนิดที่เจริญได้ในสภาวะที่มีอากาศ แบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศและเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศที่เจริญขึ้นมาแทนจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในอากาศได้แก่ แบคทีเรียแล็กติก และแบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศอื่นๆ (Eklund, 1993)



ภาพที่ 28 ปริมาณแบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ ในปฏินิมที่แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ผลการตรวจนับแบคทีเรียโคริโทรฟัส

ปริมาณแบคทีเรียโคริโทรฟัสในปุ๋ยมันที่แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 29 และภาคผนวก ง5 พบว่ามีแบคทีเรียโคริโทรฟัสในปริมาณเริ่มต้น 1.1-1.2 log CFU/g และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ในขณะที่วันที่ 9 ถึงวันที่ 11 ของการเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับการเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ Lambert *et al.*, (1991) กล่าวว่า การเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศสามารถยืดระยะเวลาช่วง lag phase ของแบคทีเรียโคริโทรฟัส



ภาพที่ 29 ปริมาณแบคทีเรียโคริโทรฟัสในปุ๋ยมันที่แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

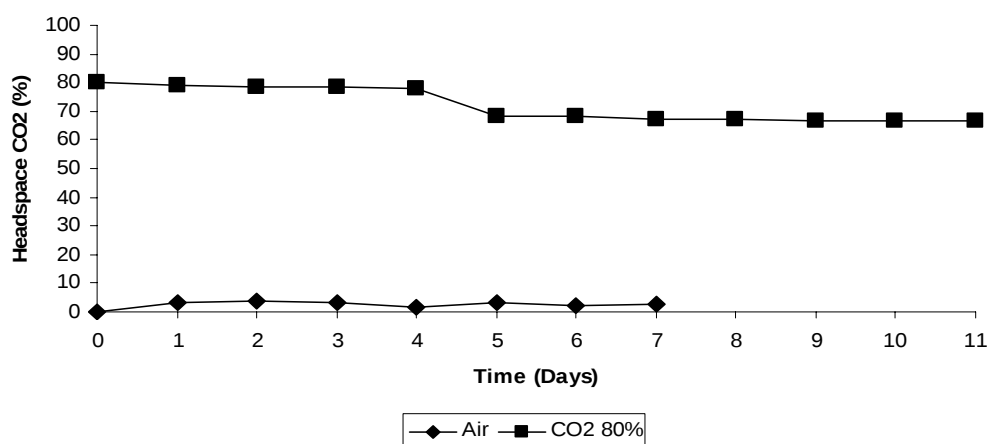
จากการทดลองใช้ปัจจัยร่วมกัน ของการแช่และการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศในการควบคุมจุลินทรีย์ โดยใช้โอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ โดย โอโซนจะทำลายจุลินทรีย์บริเวณผนังเซลล์เป็นส่วนแรก ทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์แตกออก และเซลล์เกิดการบาดเจ็บ (injured cell) (Kim *et al.*, 1999) และเมื่อนำมาบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศทำให้จุลินทรีย์มีการปรับตัวในช่วง lag phase ที่นานขึ้น (Smith, 1993) แสดงให้เห็นว่าการใช้ปัจจัยร่วมกันสามารถลดและควบคุมปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในกระบวนการผลิตอาหาร

3.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ

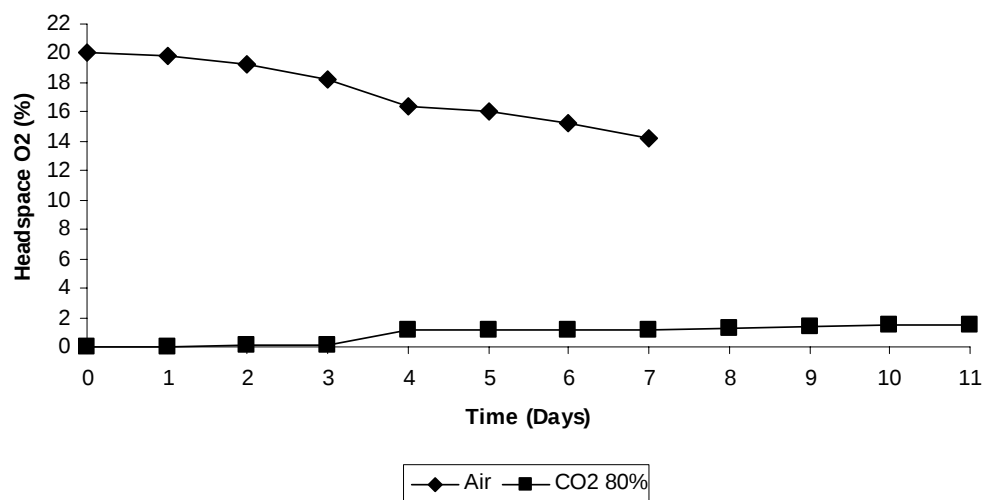
ผลการศึกษาและเปรียบเทียบการแช่ปู๋นึ่งด้วยน้ำโอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที บรรจุปู๋นึ่งในสภาวะการบรรจุแบบบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส โดยศึกษาสัดส่วนของก๊าซในภาชนะบรรจุ ความเป็นกรด-เบส อัตราการสูญเสียน้ำหนัก พบว่า

ปริมาณสัดส่วนของก๊าซในภาชนะบรรจุ ปรากฏว่า ปู๋นึ่งที่บรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะบรรยากาศปกติในภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซปรากฏว่าการบรรจุในสภาวะสุญญากาศไม่สามารถวัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงก๊าซได้ เนื่องจากภาชนะบรรจุมีการหดตัวและรั่วรูป ดังนั้นในการทดลองสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงก๊าซได้เพียงการบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศ จากการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรกของการเก็บรักษา และสังเกตพบว่าปู๋นึ่งที่บรรจุภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และสภาวะสุญญากาศ ภาชนะบรรจุจะหดรั่วรูปในช่วง 2-3 วันแรกของการเก็บรักษา ส่วนสภาวะบรรยากาศปกตินั้นถุงพลาสติกยังคงมีลักษณะคงเดิม เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปรับบรรยากาศจะลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่การบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติมีแนวโน้มที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 30 และ 31) ซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ละลายในกล้ามเนื้อ

ส่งผลให้ความดันภายในภาชนะบรรจุลดลง ทำให้ปริมาตรลดลง และเกิดการยุบตัวของภาชนะบรรจุ (สุทธวัฒน์, 2548)

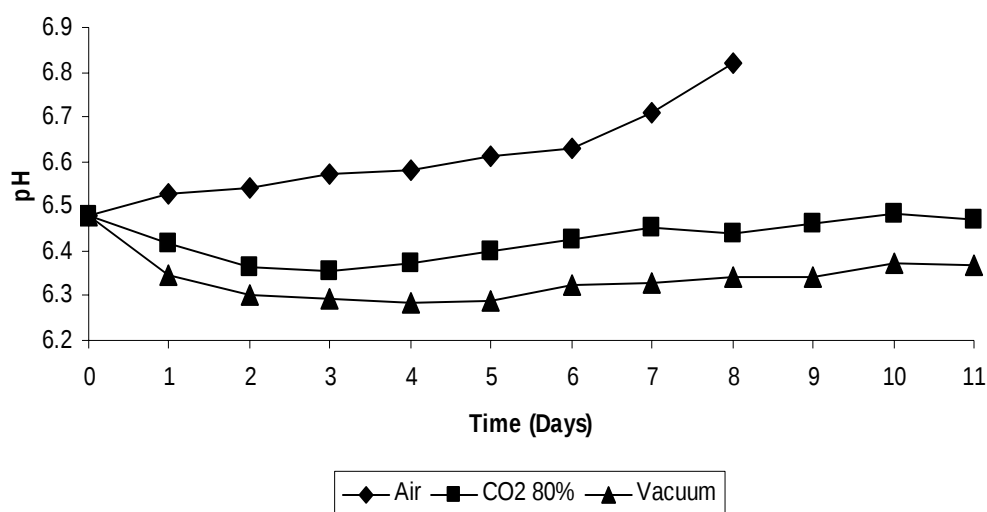


ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บรักษาปฐุ่่มภายหลังการแช่ ปฐุ่่มในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน ในการเก็บรักษาปฐุ่่มภายหลังการแช่ ปฐุ่่มในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

ค่าความเป็นกรด-เบส ของปุ๋ยมัที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศ แสดงดังในภาพที่ 32 และภาคผนวก ง6 พบว่าตัวอย่างปุ๋ยมัมีค่าความเป็นกรด-เบส เฉลี่ยเริ่มต้น เท่ากับ 6.54 และเมื่อเก็บภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสจะเพิ่มขึ้นตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาเป็น 6.72 ภายใน 7 วัน และมีลักษณะปรากฏที่บ่งบอกถึงการเน่าเสีย คือพบกลิ่นเน่า ลักษณะเนื้อเยื่อ สาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-เบส หลังการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์พร้อมๆกับการผลิตสารเมตาบอไลต์ต่างๆ ขณะเดียวกันจะเกิดการสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจน (nitrogenous compounds) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ เช่น TMA, NH_3 ทำให้ค่าความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้น (Dalgaard *et al.*, 1993)



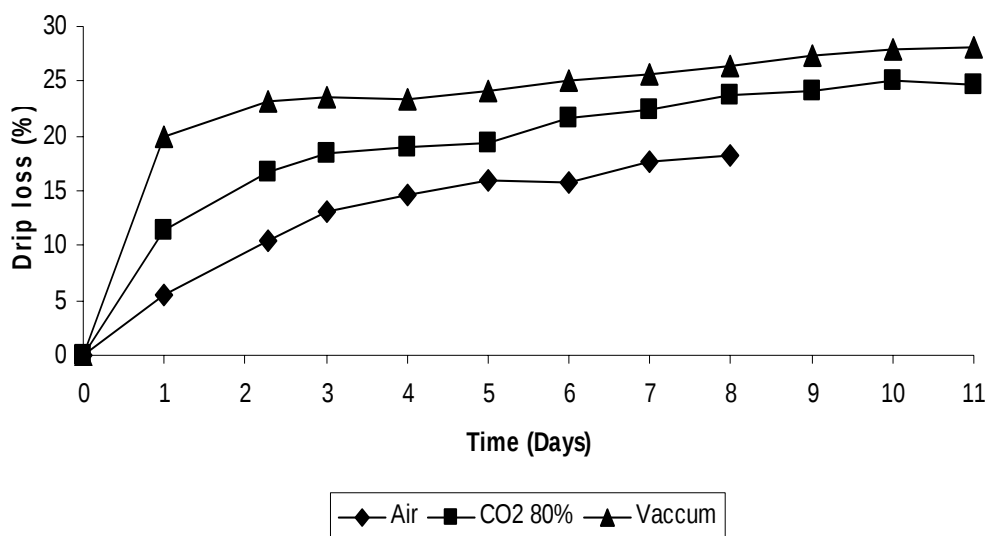
ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของปุ๋ยมัภายหลังการแช่ปุ๋ยมัในน้ำไอโซน ความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส ในตัวอย่างที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสที่แตกต่างจากการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ คือค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าลดลงในช่วงแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำและแทรกซึม

เข้าสู่เนื้อเยื่อ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำจะให้กรดคาร์บอนิก ซึ่งมีผลในการปรับสภาวะของเนื้อเยื่อให้เป็นกรด โดยเกิดการไฮเดรชัน (hydration) เป็นกรดคาร์บอนิก Daniels *et al.* (1986) รายงานว่าเมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ พบว่าในช่วงแรกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายในส่วนหนึ่งของของเหลวในเนื้อเยื่อเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกแล้วกรดนี้บางส่วนจะซึมผ่านเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ในรูปที่ยังไม่แตกตัว เมื่อเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์จะเกิดการแตกตัวได้เป็นไบคาร์บอเนตไอออนและไฮโดรเจนไอออน ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสภายในเซลล์จุลินทรีย์ลดลง และพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตไอออนด้วย ดังนั้นเมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ลดต่ำลงจะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถทนกรดได้ และนอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการรบกวนเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านเปลี่ยนแปลงไป และมีผลต่อการผ่านเข้า-ออกของสารที่จำเป็นภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ และทำให้การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-เบส ช้าลง Ray (1996) และ Gould (1995) พบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควรมีปริมาณสูงมากกว่าร้อยละ 25 จึงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสในตัวอย่างอาหารและในเซลล์ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-เบส อย่างช้าๆ ในตัวอย่างที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ แตกต่างจากสภาวะบรรยากาศปกติ เนื่องจากสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศจะมีสภาวะแบบปราศจากออกซิเจน (anaerobic condition) ทำให้จุลินทรีย์ที่เจริญได้เป็นจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศเพียงเล็กน้อย ซึ่งได้แก่พวกแบคทีเรียแล็กติก เมื่อมีการเจริญของจุลินทรีย์พวกนี้จะมีการสร้างกรดแล็กติกทำให้ค่าความเป็นกรด-เบส ของอาหารลดต่ำลงด้วย (Farber, 1991; Parry 1993)

การสูญเสียน้ำหนัก (drip loss) ของปุนีมีภายหลังการแช่ปุนีมีในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 ฟิฟตีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสแสดงดังในภาพที่ 33 และภาคผนวก ง7 พบว่าภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ การสูญเสียน้ำหนักของปุนีมี เกิดเนื่องจากการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ รวมทั้งการย่อยสลายของคัมพรีกอบในส่วนที่เป็นโปรตีน ลักษณะการเข้มน้ำของเนื้อปุนีมีจะบ่งบอกถึงการเน่าเสียของเนื้อปู และการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อปูจะเพิ่มขึ้นเมื่อบรรจุภายใต้สภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจากเมื่อมีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะส่งผลให้เกิดการลดต่ำลงของค่าความเป็นกรด-เบส ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของกล้ามเนื้อส่วนที่เป็นโปรตีน (muscle protein) ในเนื้อปูลดลง จึงเกิดการเข้มน้ำออกจากเนื้อปุนีมี และเกิดการ

สูญเสียน้ำหนักขึ้น ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อปูนึ่ง ทำให้เกิดลักษณะแห้งและกระด้าง (Barnett *et al.*, 1978; Baker and Genigeorgis, 1990)



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำ (Drip loss) ของปูนึ่งหลังการแช่ในน้ำไอโซความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ปูนึ่งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ มีการสูญเสียน้ำสูงสุด เนื่องจากแรงดูดอากาศออกทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากปู ในขณะที่การการสูญเสียน้ำหนักของปูนึ่งที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศอาจเกิดจากการลดลงของค่า water binding capacity ภายในเซลล์ของปูนึ่ง ทำให้การสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Fey and Regenstein (1982) พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักใน red hake เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศมีค่ามากกว่าการเก็บในสภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ Tiffney and Mills (1982) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุปลาสูงขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำมีค่าสูงตามด้วย

3.3 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปฏินิมภายหลังการแช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงดังในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปฏินิมภายหลังการแช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษา และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

คุณภาพ	ระยะเวลาการ			
	เก็บรักษา (วัน)	คะแนนเฉลี่ย		
		บรรยากาศปกติ	80%CO ₂ + 20% N ₂	สภาวะ สุญญากาศ
สี	1	7.32 ^a	7.33 ^a	7.32 ^a
	2	6.84 ^b	7.12 ^a	7.13 ^a
	3	6.86 ^b	7.05 ^a	7.06 ^a
	4	6.74 ^b	6.80 ^a	6.84 ^a
	5	6.73 ^b	6.80 ^a	6.82 ^a
	6	6.73 ^b	6.80 ^a	6.81 ^a
	7	6.23 ^b	6.73 ^a	6.76 ^a
	8		6.53 ^a	6.52 ^a
	9		6.41 ^a	6.41 ^a
	10		6.32 ^a	6.33 ^a
	11		6.22 ^a	6.22 ^a

ตารางที่ 22 (ต่อ)

คุณภาพ	ระยะเวลาการ			
	เก็บรักษา (วัน)	คะแนนเฉลี่ย		
		บรรยากาศปกติ	80%CO ₂ + 20% N ₂	สภาวะ สุญญากาศ
กลิ่น	1	8.60 ^a	8.60 ^a	8.60 ^a
	2	7.93 ^b	8.39 ^a	8.40 ^a
	3	6.98 ^b	8.22 ^a	8.20 ^a
	4	6.52 ^b	7.60 ^a	7.62 ^a
	5	6.21 ^b	7.20 ^a	7.20 ^a
	6	6.01 ^b	7.18 ^a	7.20 ^a
	7	5.24 ^b	7.10 ^a	7.10 ^a
	8		6.86 ^a	6.84 ^a
	9		6.56 ^a	6.56 ^a
	10		6.44 ^a	6.43 ^a
	11		6.20 ^a	6.20 ^a

ตารางที่ 22 (ต่อ)

คุณภาพ	ระยะเวลาการ			
	เก็บรักษา (วัน)	คะแนนเฉลี่ย		
		บรรยากาศปกติ	80%CO ₂ + 20% N ₂	สภาวะ สุญญากาศ
รสชาติ	1	8.60 ^a	8.60 ^a	8.59 ^a
	2	7.13 ^b	8.43 ^a	8.42 ^a
	3	6.80 ^b	8.17 ^a	8.18 ^a
	4	6.46 ^b	7.99 ^a	8.00 ^a
	5	6.29 ^b	7.48 ^a	7.46 ^a
	6	6.02 ^b	6.90 ^a	6.88 ^a
	7	5.38 ^b	6.67 ^a	6.65 ^a
	8		6.43 ^a	6.41 ^a
	9		6.46 ^a	6.45 ^a
	10		6.21 ^a	6.21 ^a
	11		6.04 ^a	6.03 ^a

ตารางที่ 22 (ต่อ)

คุณภาพ	ระยะเวลาการ			
	เก็บรักษา (วัน)	คะแนนเฉลี่ย		
		บรรยากาศปกติ	80%CO ₂ + 20% N ₂	สภาวะ สุญญากาศ
ลักษณะเนื้อสัมผัส	1	8.35 ^a	8.36 ^a	8.35 ^a
	2	7.53 ^b	8.42 ^a	8.41 ^a
	3	7.17 ^b	8.23 ^a	8.21 ^a
	4	6.81 ^b	8.04 ^a	8.03 ^a
	5	6.69 ^b	7.65 ^a	7.66 ^a
	6	6.06 ^b	7.55 ^a	7.53 ^a
	7	6.09 ^b	7.08 ^a	7.06 ^a
	8		6.81 ^a	6.80 ^a
	9		6.62 ^a	6.60 ^a
	10		6.52 ^a	6.53 ^a
	11		6.13 ^a	6.11 ^a

ตารางที่ 22 (ต่อ)

คุณภาพ	ระยะเวลาการ			
	เก็บรักษา (วัน)	คะแนนเฉลี่ย		
		บรรยากาศปกติ	80%CO ₂ + 20% N ₂	สภาวะ สุญญากาศ
การยอมรับรวม	1	8.43 ^a	8.44 ^a	8.44 ^a
	2	7.41 ^a	7.85 ^b	7.63 ^c
	3	7.24 ^a	7.85 ^b	7.78 ^c
	4	6.22 ^a	7.76 ^b	7.61 ^c
	5	6.02 ^a	7.73 ^b	7.50 ^c
	6	5.83 ^a	7.46 ^a	7.22 ^b
	7	5.17 ^a	7.05 ^a	7.01 ^b
	8		6.82 ^a	6.62 ^b
	9		6.54 ^a	6.48 ^b
	10		6.21 ^a	6.14 ^b
	11		6.07 ^a	6.02 ^b

หมายเหตุ^{a,b,c,...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ผลการทดสอบคุณภาพด้านสี พบว่าปูนิ่มที่เก็บในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศได้รับคะแนนด้านสี สูงกว่าปูนิ่มที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติ อย่างมีนัยสำคัญ (P > 0.05) ซึ่งระยะเวลาการเก็บมีผลต่อคะแนนด้านสีในทุกลักษณะการบรรจุ โดยระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนด้านสีจะลดลง การเก็บรักษาในสภาวะการบรรจุอากาศปกติ ปูนิ่มมีสีซีด มีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นจึงมีอายุการเก็บรักษาสั้นสุดในวันที่ 7 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) จากการเก็บรักษาในสภาวะสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 โดยสีของปูนิ่มมีสีซีดลงตามคุณภาพความสด ซึ่งเกิดจากการเก็บสัตว์น้ำในสภาวะปรับบรรยากาศ โดยจะพบมากบริเวณผิวหรือเปลือกของสัตว์น้ำ ทั้งนี้เกิดจากการตกตะกอนของโปรตีนชนิดซาร์โคพลาสซึมในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำ (สุทธวัฒน์, 2548) อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบยังคง

ยอมรับคุณภาพด้านสีของปูนึ่งตลอดเวลาการเก็บรักษา 11 วัน ในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ

ผลการทดสอบด้านกลิ่น พบว่าการเก็บในสภาวะบรรยากาศปกติ ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศตลอดการเก็บรักษา โดยภายหลังวันที่ 7 การเก็บรักษาปูนึ่งในสภาวะปกติ มีกลิ่นเน่า ผู้ทดสอบโดยส่วนใหญ่ให้คะแนนต่ำกว่า 5 คะแนน ในขณะที่การเก็บรักษาปูนึ่งในสภาวะปรับบรรยากาศ และสุญญากาศ มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นไม่มีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นพบว่าการเก็บรักษาปูนึ่งในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศมีกลิ่นแอมโมเนียเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บโดยพบว่าภายหลังวันที่ 11 ของการเก็บรักษาผู้ทดสอบให้คะแนนต่ำกว่า 5 คะแนนเนื่องจากพบกลิ่นเหม็นเน่า ดังนั้นจึงสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา

ผลการทดสอบด้านรสชาติ พบว่าการเก็บรักษาในวันที่ 1 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับด้านรสชาติ ทุกสภาวะการบรรจุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) โดยปูนึ่งมีรสชาติหวาน แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ปูนึ่งมีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย โดยการเก็บรักษาในสภาวะอากาศปกติมีคะแนนด้านรสชาติแตกต่างจากสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ ($P < 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยภายหลังวันที่ 7 การเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติปูนึ่งมีรสเปรี้ยว มีกลิ่นแอมโมเนียถึงเหม็นเน่า เนื้อเยื่อ ผู้ทดสอบให้คะแนนต่ำกว่า 5 คะแนน ในขณะที่การเก็บรักษาปูนึ่งในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับด้านรสชาติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจนถึงวันที่ 11

ผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าการเก็บรักษาในวันที่ 1 ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ปูนึ่งมีความนุ่มแน่น ยืดหยุ่นดี ในขณะที่การเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 2 จนถึงวันที่ 7 ปูนึ่งที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติมีความแตกต่างจากการเก็บในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ เนื่องจากเนื้อสัมผัสมีลักษณะ เหนียว พบกลิ่นแอมโมเนียถึงเหม็นเน่า ทำให้การเก็บรักษาในสภาวะอากาศปกติมีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 7 วัน ในขณะที่สภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษา โดยเนื้อยังเหนียวแน่น และเริ่มลดลงภายหลังหลังจากวันที่ 11 ของการเก็บรักษาโดยพบว่าการ

ลดลงของน้ำที่จับกับกล้ามเนื้อส่งผลให้มีปริมาณน้ำไหลออกจากกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นและทำให้เนื้อ
สัมผัสมีลักษณะแข็งกระด้างและแห้ง ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (Barnett *et al.*, 1978;
Baker and Genigeorgis, 1990)

ผลการทดสอบการยอมรับรวม พบว่าปู๋นึ่งที่เก็บในสภาวะปรับบรรยากาศได้รับคะแนน
การยอมรับรวมสูงกว่าการเก็บปู๋นึ่งในสภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศปกติอย่างมี
นัยสำคัญ ($P < 0.05$) และภายหลังที่ 7 ของการเก็บรักษา ผู้ทดสอบจะไม่ยอมรับปู๋นึ่งที่เก็บรักษาใน
สภาวะบรรยากาศปกติ โดยมีคะแนนยอมรับต่ำกว่า 5 คะแนน ผลการทดลองสอดคล้องกับ
Bremner and Staham (1987) ได้ทดลองบรรจุเนื้อหอยในสภาวะปรับบรรยากาศที่มี 100% CO₂ เก็บ
รักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษา 22
วัน ซึ่งนานกว่าการเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติประมาณ 12 วัน นอกจากนี้ McMullen and
Stiles (1989) รายงานว่า ไส้กรอกที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ
30 ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 30 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะมีคะแนนการยอมรับรวมเมื่อ
ระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น และผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 21 วัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและพิจารณาลักษณะปรากฏจากการแช่ปุ๋ยมิมน้ำในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10, 15 และ 20 นาที พบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา มีการสูญเสียน้ำออกจากตัวปุ๋ยตลอดเวลาการเก็บรักษา มีกลิ่นเหม็นและกระดองปุ๋ยมีความค้ำยกระดาษ เนื้อบางส่วนเน่า และ กระดองมีลักษณะซิด ก้านคาน้ำ ขาดินและก้ามเปื่อย นิ่ม หลุดง่าย จับปิ้งมีสีเหลืองและหลุดง่ายไม่ยึดติดกับกระดองโดยสามารถเก็บรักษาปุ๋ยได้นานเพียง 3 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในขณะที่การแช่ปุ๋ยในสารละลายกรดแอซิดิก กรดแล็กติก และกรดแอสคอร์บิก ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10, 15 และ 20 นาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ดีกว่าการแช่น้ำเย็น แต่ปริมาณจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ลักษณะปรากฏที่ได้จากการใช้สารละลายกรดแอซิดิก กรดแล็กติก และกรดแอสคอร์บิก ไม่เกิดสีแดงบริเวณก้าม ท้อง และจับปิ้ง เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม เมื่อพิจารณาความสดและลักษณะปรากฏ พบว่า กระดองมีลักษณะซิด ก้านคาน้ำ เนื้อบางส่วนเน่า และมีกลิ่นแอมโมเนียจนถึงเน่าเหม็น สิบบริเวณด้านหน้ามีสีขาวเทาใส สิบบริเวณด้านหลังมีสีเขียวขี้ม้าปนน้ำตาล ขาดินและก้ามเปื่อย นิ่ม หลุดง่ายเมื่อดึง จับปิ้งมีสีเหลืองและหลุดง่ายไม่ยึดติดกับกระดอง ซึ่งหลังจากนั้นจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐานที่กำหนด พบกลิ่นเน่าเสีย ความสดและลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับ จึงสามารถเก็บรักษาได้นาน 3, 7 และ 7 วัน ตามลำดับ ส่วนการแช่ปุ๋ยในน้ำไอโซนสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้น้ำเย็นและการใช้กรดแอซิดิก กรดแล็กติก และกรดแอสคอร์บิก โดยการแช่ปุ๋ยในน้ำของไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด และสามารถเก็บรักษาปุ๋ยได้นาน 9 วัน โดยไม่พบสีแดงบริเวณก้าม ท้องและจับปิ้ง

2. ผลการเก็บรักษาปุ๋ยภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 สภาวะสุญญากาศ และสภาวะบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าปุ๋ยที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยที่บรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยพบว่าการเก็บรักษาปุ๋ยภายใต้สภาวะปรับบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 สภาวะสุญญากาศ

มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุด ความสดและลักษณะปรากฏลักษณะที่ดีกว่าการเก็บรักษาปุ๋ยม ในสภาวะบรรยากาศปกติ โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด 7 วัน

3. การใช้ปัจจัยร่วมกันของแช่ปุ๋ยในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 ppm นาน 20 นาที ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ร่วมกับการบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และการเก็บรักษาปุ๋ยในสภาวะ สุญญากาศ พบว่าการเก็บรักษาในสภาวะปรับบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ สามารถลดปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด แบคทีเรียเล็กดึก แบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาพไม่มีอากาศ และแบคทีเรีย ไชโครโทฟัสได้กว่าการเก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ โดยพบว่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ที่ลดลงมีผลต่อสัดส่วนก๊าซภายในภาชนะบรรจุ ความเป็นกรด-เบส ของปุ๋ย และการ เพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนัก

4. การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของการใช้ปัจจัยร่วมกันจากการแช่ปุ๋ยใน น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ร่วมกับการบรรจุใน สภาวะปรับบรรยากาศของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และ การเก็บรักษาปุ๋ยในสภาวะสุญญากาศ ปรากฏว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของปุ๋ยที่เก็บในสภาวะปรับบรรยากาศและการเก็บ รักษาปุ๋ยในสภาวะสุญญากาศมากกว่าการเก็บรักษาปุ๋ยในสภาวะบรรยากาศปกติ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้ถาดหรือแผ่นรองที่สมบัติในการซับน้ำ ภายในภาชนะบรรจุเพื่อลดปริมาณน้ำภายในภาชนะบรรจุ โดยเฉพาะการบรรจุในสภาวะสุญญากาศ
2. ควรมีการศึกษาผลของการล้างป้อนในน้ำไอโซนต่อการลดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค โดยเฉพาะ *C.botulinum* ร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศ และสภาวะสุญญากาศเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบการจัดการฟาร์มป้อนที่ดีร่วมกับการใช้ระบบ HACCP เพื่อพัฒนาให้เกิดการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวป้อนในการยืดอายุการเก็บรักษาให้เป็นมาตรฐาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. 2547. คู่มือการดูแลรักษาสัตว์น้ำที่สถานขายปลีกรสัตว์น้ำ. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมประมง. 2541. การเลี้ยงปูทะเล. งานเอกสารคำแนะนำ กรมส่งเสริมการประมง. แหล่งที่มา: <http://web.ku.ac.th/agri/crab,>.
- กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ. 2547. การส่งออกปูประเภทต่างๆของไทยปี 2542-2546. กองประมงต่างประเทศ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2536. การบรรจุเนื้อสดแช่เย็น, น. 52-57. เอกสารประกอบการฝึกอบรม เทคโนโลยีการตัดแต่งและสุขศาสตร์เนื้อสัตว์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ชลธิ ชีวะเศรษฐกรรม. 2539. การเพาะเลี้ยงปูทะเล (*Scylla serrata* Forskal). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, ปัตตานี.
- ชัยณรงค์ กันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- ชูชาติ ชัยรัตน์ และ บุรณ์ แก้วฤทธิ์. 2522. การแบ่งกลุ่มปูทะเล. รายงานประจำปี 2522. สถานีประมงจังหวัดจันทบุรี กองน้ำกร่อย กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ 31-47.
- บรรจง เทียนสงรัสมิ. 2545. ปูนิยม เทคโนโลยีที่น่าจับตามอง. เทคโนโลยีชาวบ้าน 14 (284): 102-103.

- บรรจง เทียนส่งรัมย์ และ บุญรัตน์ ประทุมชาติ. 2545. ปู่ทะเล ชีววิทยา การอนุรักษ์ทรัพยากร และการเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์และยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- มาโนช หงษ์พร้อมญาติ และ บุญส่ง สิริกุล. 2512. การทดลองเลี้ยงปูทะเลในบ่อ. รายงานประจำปี 2512. สถานีประมงจังหวัดจันทบุรี. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 92.
- มยุรี ภาคลำเจียก. 2533. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการบรรจุหีบห่อ. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีระนอง. มปป. เอกสารเผยแพร่การเลี้ยงปูน้ำจืด. ใน งานประชุม วิชาการของสมาชิกรายการเกษตรในอนาคตแห่งประเทศไทย (อกท.) ภาคใต้ ครั้งที่ 22. กองวิทยาลัยเกษตรกรรม กรมอาชีวศึกษา.
- ศศิณัฐ สุวนานันท์เจริญ. 2545. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเลี้ยงปูน้ำจืดเพื่อการส่งออก ไปประเทศญี่ปุ่น. รายงานการศึกษาค้นคว้าตนเอง. คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิวพร ศิวเวช. 2546. วัตถุดิบในอาหาร (เล่ม 1). ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตร แห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2542. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องบรรจุภัณฑ์อาหารแช่แข็ง. วันที่ 20 พฤษภาคม 2542. ณ โรงแรมเซ็นทรัลแกรนด์ฟลาซ่า, กรุงเทพฯ .
- ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า. 2544. สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทยปี 2543. กรมเศรษฐกิจ การพาณิชย์, กรุงเทพฯ.
- สิริพร ธนเสาวภาคย์. 2543. โอโซนกับความปลอดภัยในอาหาร. อาหาร 30 (2): 79-86.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. มปป. **โครงการปู**. สำนักงานเครือข่ายและวิจัยพัฒนา "อุตสาหกรรมพืชและสัตว์น้ำ". แหล่งที่มา: www.ku.ac.th/agri/crab/images/5.gif,

สุมนชา วัฒนสินธุ์. 2545. **จุลชีววิทยาทางอาหาร**. ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรินทร์ มัจฉาชีพ. 2520. **ปูทะเลในเรือนำรู้เกี่ยวกับสัตว์ทะเล**. (1): 69-80.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2548. **เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

Adam, M.R. and C.A. Hall. 1988. Growth inhibition of food borne pathogens by lactic acid and acetic acid and their mixtures. **Int. J. Food Sci. Technol.** 23 (3): 287-292.

Aickin, C.C. and R.C. Thomas. 1975. Micro-electrode measurement of the internal pH of crab meat fibers. **J. Physiol.** 25: 803-815.

A.O.A.C. 1990. **Official Methods of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists. Virginia.**

A.O.A.C. 1995. **Official Methods of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists. Wasjington D.C..**

Ashie, I.N.A., J.P. Smith and B.K. Simpson. 1996. Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shelf life. **Crit. Rev. Food Sci. and Nutri.** 36: 87-121.

Baker, D.A. and C. Genigeorgis. 1990. Predicting the shelf life of fresh fish under modified atmospheres with respect to *Clostridium botulinum* toxigenesis by modeling length of the lag phase of growth. **J. Food Protect.** 53 (17): 131-140.

Bank, H., R. Nickelson and G. Finne. 1980. Shelf-life studies on CO₂ packaged finfish from the Gulf of Mexico. **J. Food Sci.** 45: 157 - 162.

- Barnett, H.J., R.W. Nelson, R.J. Hunter, S. Bauer. 1978. Studies on the use of carbon dioxide dissolved in refrigerated brine for the preservation of whole fish. **Fish. Bull** 69: 433.
- Benja-arporn, Y., S. Einarsson and S.M. Constantinides. 1993. Extending shelf life of seafood with acetic acid, *In Proceedings of the 18th Annual Tropical and Subtropical Fisheries Technological Conference of the America. August 29 - September 1, 1993.* Williamsburg, Virginia.
- Branen, A.L., P.M. Davidson and S. Salminen. 1989. **Food Additives.** Marcle Deckker. Inc, New York.
- Bremner, H.A. and J.A. Staham. 1987. Packaging in CO₂ extends shelf-life of scallops. **Food Technol. Aust.** 39 (5): 177-179.
- Brown, J.H., J.F. Wichkins and M.H. Maclean. 1991. The influence of water hardness on growth and carapace mineralization of juvenile freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* de Mane 95: 329-345.
- Byun, M. W., O. J. Kwon, H S Yook and K. S. Kim. 1998. Gamma irradiation and ozone treatment for inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 in culture media. *J. Food Prot.* 61(6) : 728-730.
- Church, P. N. 1994. Developments in modified atmosphere packaging and related technologies. **Trends in Food Sci and Tech.** 5: 345-352.
- Condie, L.W. 1986. Toxicological problems associated with chlorine dioxide. **J. Amer. Water Work Assoc.** 78 (6): 73-78.

- Coudrains L. and E. Starck. 1988. **Procedure and device for treatment of animal tissue, especially fish with the aim of decoloration and deodorization.** Patent EP0284502A1.
- Cutting, C.L. 1953. Changes in pH buffering capacity of fish during spoilage. **J. Sci. Food Agric.** 12: 597.
- Dalgaard, P., L.G. Munoz and O. Mejlhem. 1993. Spoilage and shelf-life of cod fillets packed in vacuum or modified atmosphere. **Int. J. Food Microbiol.** 28 (4): 21-29.
- Daniels, J.A., R. Krishnamurthland and H. Rizvi. 1986. Effect of carbonic acid dips and packaging films on the shelf life of fresh fish fillets. **J. Food Sci.** 51 (5): 929-931.
- Dave, S., J.G. Kim, Y. Lou and A.E. Yousef. 1998. **Kinetics of inactivation of *Salmonella* Enteritidis by ozone.** Institute of Food Technologist. Manual meeting, book of abstracts. 15.
- Dickson, J.S. 1992. Acetic acid action on beef tissue surfaces contaminated with *Salmonella* Typhimurium. **J. Food Sci.** 57(3): 297-301.
- Dondo, A., C. Nachtman, L. Doglione, A. Rosso and A. Genetti. 1992. Foods: their preservation by combined use of refrigeration and ozone. **Ing. Aliment. Conserve Anim.** 8: 16-25.
- Eklund, M.W. 1993. Control in fishery products, pp. 209-232. In A.H.W. Hauschild and K.L. Dodds, eds. ***Clostridium botulinum: Ecology and control in Foods.*** Marcel Dekker Inc, New York, U.S.A.
- Eklund, T. 1989. **Organic Acid and Esters.** Elsevier Applied Science, London.

- Enfort, S.O. and G. Molin. 1980. Effect of high concentrations of carbon dioxide on growth rate of *Pseudomonas fragi*, *Bacillus cereus* and *Streptococcus cremoris*. **J. Appl. Bacteriol** 48: 409.
- Farber, J.M. 1991. Microbiological aspects of modified atmosphere packaging technology -a review. **J. Food Protect.** 54: 58-70.
- Fey, M.S. and Regenstein J.M. 1982. Extending shelf life of fresh wet red hake and salmon using CO₂-O₂ modified atmosphere and potassium sorbate ice at 1 °C. **J. Food Sci** 47: 1048.
- Foegending, P.M. 1985. Ozone inactivation of *Bacillus* and *Clostridium* spore populations and the importance of the spore coat to resistance. **Food Microbiol** 2: 123-134..
- Gardner, W.H. and L.H. Flett. 1952. Malic acid, fumaric acid and maleic anhydride, pp. 187-202. In Kirk R.E. and Othmer D.F., eds. **Encyclopedia of Chemical Technology**, Vol.6, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Genigeorgis, C. 1985. Microbial and safety implications of the use of modified atmospheres to extend the storage life of fresh meat and fish. **Int. J. Food Micro.** 1: 237-251.
- Gill, C.O. and K.H. Tan. 1980. Effect of carbon dioxide on meat spoilage bacteria. **Appl. Env. Microbiol.** 39: 317-324.
- Goodfellow, S.J. 1982. An overview of controlled atmosphere packaging of foods, In R.E. Matin, ed. **Proceedings of the First National Conference on modified atmosphere packaging of seafood products**. National Fisheries Institute.
- Gould, W.G. 1995. **New Methods of Food Preservation**. Glasgrow, Blackie.

- Graham, D.M. 1997. Use of ozone for food processing. **Food Technol.** 51 (6): 72-75.
- Green, J. 1961. **A Biology of Crustacea.** H.F.&G. Witherby Ltd., London.
- Haraguchi, T., U. Shimidu Aiso. 1969. Preserving effect of ozone on fish. **Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.** 35: 915-919.
- Ito, K., J.K. Chen, P.A. Lerke, M.L. Seeger and J.A. Underverferth. 1976. Effect of acid and salt concentration in fresh-pack pickles on the growth of *Clostridium botulinum* spores. **Appl. Environ. Microbiol.** 32 : 121-126.
- Ingram, M. 1988. The preservative action of acid substances in food. **Chem.&Ind.** 75: 1154-1163.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). 1986. *In*: Microorganisms in Foods. Sampling for Microbiological Analysis: Principles and Scientific Applications, Vol. 2, second ed. University of Toronto, pp. 181-196.
- Kim, C.R. 1995. Gram-negative bacteria in refrigerated catfish fillets treated with lactic culture and lactic acid. **J. Food Protect.** 58 (6): 639-643.
- Kim, J. G and A.E. Yousef. 2000. Inactivation kinetics of foodborne spoilage and pathogenic bacteria by ozone. **J. Food Sci.** 65 (3): 521-528.
- Kim, J. G, A.E. Yousef and S. Dave. 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of food: a review. **J. Food Protect.** 62 (9): 1071-1087.
- King, A.D. and C.W. Nagel. 1967. Growth inhibition of *Pseudomonas* spp. by carbondioxide. **J. Food Sci.** 32: 575-579.

- Lambert, A., J. P. Smith and K. L. Dodds. 1991. Combined effect of modified atmosphere packaging and low dose irradiation on toxin production by *Clostridium botulinum* in fresh pork. **J. Food Protect.** 54: 94.
- Lee, Y. 1990. **Combined use of modified atmosphere packaging (MAP) and glucose oxidase (GOX) for shelf-life extension of fresh fish.** Master of Science thesis, Department of Food Science and Agricultural Chemistry, Macdonald College of McGill University Montreal, QC., Canada.
- Mcmullen, L. and M. E. Stiles. 1989. Storage life of selected meat sandwiches at 4°C in modified gas atmospheres. **J. Food Protect.** 55 (11): 792-798.
- Moore, G., C. Griffith and A. Peters. 2000. Bactericidal properties of ozone and its potential application as a terminal disinfectant. **J. Food Protect.** 63 (8): 1100-1106.
- Okrend, A.J., R.W. Johnston and A.E. Moran. 1986. Effect of acetic acid on the death rates at 52°C of *Salmonella* Newport, *Salmonella* Typhimurium and *Campyrobacter* jejuni in poultry scald water. **J. Food Protect.** 49: 500-506.
- Ong and K. Sin. 1966. Observation on post-larval life history of *Scylla serrata* (Forsk.) reared in laboratory. **Malaysia Agri. J.** 45 (4): 429-443.
- Ozone Solutions, Inc. 2004a. **Ozone Odor Control.** Available Source: http://www.ozoneapplication.com/info/ozone_control.htm.
- , 2004b. **Ozone and Food Processing.** Available Source: http://www.ozoneapplications.com/food_processing/food_processing.htm,
- , 2004c. **Effect of Ozone on Bacteria.** Available Source: [http:// www.ozoneapplications.com/info/bacteria_destruction.htm](http://www.ozoneapplications.com/info/bacteria_destruction.htm).

- Parkin, K.L. and W.D. Brown. 1982. Preservation of seafood with modified atmosphere, pp. 453 - 456. *In* R.E. Martin, G.J. Flick, C.E. Hebard and D.R. Ward, eds. **Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products**. Positive Volume Index. Publ. Co., Westport.
- Parry, R.T. 1993. **Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods**. Glasgrow, Blackie.
- Pratoomchart, B., P. Sawangwong and J. Machado. 2003. Effect of controlled pH on Organic and inorganic composition in haemolymph, epidermal tissue and cuticle of mud crab *Scylla serrata*. **J.of experimental zoology**: 295A: 47-56.
- Pratoomchart, B., P. Sawangwong, P. Pakkong and J. Machado. 2002. Organic and inorganic compound variations in heamolymph, epidermal tissue and cuticle over the molt cycle in *Scylla serrata* (Decapoda). **Comp Biochem Physiol**: 131A: 243-255.
- Ponce De Leon, S., N. Inoue and H. Shinano. 1993. Effect of acetic acid and citric acid on the growth and activity (VB-N) of *Pseudomonas* sp. and *Moraxella* sp. **Bull. Faculty of Fisheries, Hokkaido University**. 44 (2): 80-85.
- Ray, B. 1996. **Fundamental Food Microbiology**. CRC Press, New York.
- Reddy, N.R., D.G. Armstrong, E.J. Rhodehamel and D.A. Kautter. 1992. Shelf-life extension and safety concerns about fresh fishery products packaged under modified atmosphere: a review. **J. Food Safety**. 12: 87-118.
- Restaino, L., E.W. Frapton, J.B. Hemphill and P. Palniker. 1995. Efficiency of ozonated water against various food-related microorganisms. **Appl. Environ. Microbiol**. 61 (9): 3471-3475.

- Robert, T.A., A.M. Gilson and A. Robinson. 1981. Factors controlling the growth of *Clostridium botulinum* types A and B in pasteurized cured meat. I. Growth in pork slurries prepared from "low" pH meat (pH range 5.5-6.3). **J. Food Technol.** 16: 239-266.
- Sears, D.F. and P.M. Eisenberg. 1961. A model representing a physiological role of carbondioxide at cell membrane. **J. Gen Physiol.** 44: 869-887.
- Smith, J.P. 1993. Principles and applications of modified atmosphere packaging of food, pp. 135-169. In R.T. Parry, ed. **Bakery Products.** London, U.K.: Blackie.
- Smith, J.P., B.K. Simson and A. Lambert. 1988. Use of modified atmosphere for shelf life extension of food. **Food Sci and Tech Today.** 2: 250.
- Smith, J.P., B. Oraikul, W.J. Koersen, E.D. Jackson and R.A. Lewrence. 1986. Novel approach to oxygen control in modified atmosphere packaging of bakery products. **Food Microbiol.** 3: 315-320.
- Smulder, F.J.M. 1995. Preservation by microbial decontamination; Surface treatment of meat by organic acid, pp. 253-279. In G.W. Gould, ed. **New methods of food preservation.** Hart nolls Ltd., Great Britain.
- Snijders, J.M.A. 1985. Lactic acid as a decontamination in slaughter and processing procedured. **Vet. Quart** 7 (4): 277-282.
- Tiffiney, P. and A. Mills. 1982. **Storage trails of controlled atmosphere packaged fish products.** Sea Fish Industry Authority. Technical Report No. 191.
- Tompkin, R.B. and L.N. Christiansen. 1979. Isoascorbate level and botulinal inhibition in perishable canned cured meat. **J. Food Sci.** 44: 1147-1149.

- Waldroup, A. 1994. Performance characteristics and microbiological aspects of broilers fed diets supplemented with organic acids. **J. Food Prot.** 58 (5): 482-489.
- Wang, X. 1992. **The combined use of modified atmosphere packaging (MAP) and glucose oxidase (GOX) dipping solutions to control melanosis in shrimp.** Master of Science thesis, Department of Food Science and Agricultural Chemistry, Macdonald Campus of McGill University Montreal, Qc., Canada.
- Ward, D.R. and N.J. Baj. 1988. Factor affecting microbiological quality of seafoods. **Food Technol** 42 (3): 85-89.
- Wolfe, S.K. 1980. Use of CO- and CO₂-enriched atmospheres for meats, fish, and produce. **Food Technol.** 34: 55-58, 63.
- Waterman, T.H. 1977. **The Physiology of Crustacea.** 1 ed. Academic Press, New York.
- Woothuis, C.H.J. and F.J.M. Smulders. 1985. Microbial decontamination of carcasses by lactic acid sprays. **J. Food Prot.** 48 (10): 832-837.
- Wyss, O. 1948. **Advances in food research.** Academic Press, New York.
- Xu, L. 1999. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. **Food Technol.** 53 (10): 58-63.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพ

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

วิธีวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-เบส (AOAC, 1995)

ชั่งตัวอย่างบดละเอียด 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 45 มิลลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่องวัด pH (pH meter)

2. วิธีวิเคราะห์อัตราการสูญเสียน้ำ (Lee, 1990)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ทราบค่าที่แน่นอนก่อนการบรรจุและหลังการบรรจุ และคำนวณน้ำหนักที่สูญหายไปดังนี้

$$\text{ปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนการบรรจุ} - \text{น้ำหนักหลังการบรรจุ}}{\text{น้ำหนักก่อนการบรรจุ}}$$

3. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซภายในภาชนะบรรจุ (Lee, 1990)

วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซภายในภาชนะบรรจุโดยใช้แผ่นยาง (Septum) ปิดไว้มิดด้านใด ด้านหนึ่งของภาชนะบรรจุ ใช้เข็ม (Syringe) เจาะผ่านแผ่นยาง ให้ปริมาณก๊าซผ่านสายซิลิโคน วัดปริมาณก๊าซที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เครื่อง Food Package Analyser (Servomex รุ่น Series 14000)

วิธีตรวจสอบทางจุลชีววิทยา

1. วิธีตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

1. การเตรียมตัวอย่างทำได้โดย ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม โดยวิธีปราศจากเชื้อ ใส่ลงในสารละลายเกลือเจือจาง (normal saline) 225 มิลลิลิตร ปั่นตัวอย่างให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นตัวอย่าง (stomacher) จะได้สารละลายตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1 : 10 จากนั้นเจือจางลงครั้งละ 10 เท่า จนได้ความเจือจางที่เหมาะสม
2. ใช้วิธี Pour plate technique โดยปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่างกัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ค่อยๆ รินอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ลงไปให้มีปริมาตรประมาณ 15 มิลลิลิตร ค่อยๆ เขย่าให้ตัวอย่าง และอาหารเลี้ยงเชื้อผสมกัน ทำซ้ำระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง
3. การอ่านผล คัดเลือกจานเพาะเชื้อซึ่งมีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนีมานับจำนวนโคโลนีด้วยเครื่องนับจำนวนโคโลนี (colony counter) แล้วบันทึกผล
4. หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้ แล้วคูณด้วยค่า dilution factor ของความเจือจางที่นับจำนวนได้ คำนวณเป็นจำนวนโคโลนี (colony forming unit) ที่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

วิธีตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียแล็กติก

1. การเตรียมตัวอย่าง ทำตามขั้นตอนการตรวจสอบแบคทีเรียทั้งหมด
2. ใช้วิธี Pour plate technique โดยปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่างกัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ค่อยๆ รินอาหารเลี้ยงเชื้อ De Man , Rogosa and Sharp agar (MRS) ที่หมอมละลายและมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ลงไปให้มีปริมาตรประมาณ 15 มิลลิลิตร ค่อยๆ เขย่าให้ตัวอย่าง และอาหารเลี้ยงเชื้อผสมกัน ทำซ้ำระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง
3. การอ่านผล คัดเลือกจานเพาะเชื้อซึ่งมีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนีมานับจำนวนโคโลนีด้วยเครื่องนับจำนวนโคโลนี (colony counter) แล้วบันทึกผล
4. หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้ แล้วคูณด้วยค่า dilution factor ของความเจือจางที่นับจำนวนได้ คำนวณเป็นจำนวนโคโลนี (colony forming unit) ที่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

วิธีตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียชนิดที่เจริญได้ในสภาพไม่มีอากาศ

1. การเตรียมตัวอย่าง ทำตามขั้นตอนการตรวจสอบแบคทีเรียทั้งหมด
2. ใช้วิธี Pour plate technique โดยปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่างกัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ค่อยๆ รินอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic Soy Agar (TSA) ที่หลอมละลายและมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ลงไปให้มีปริมาตรประมาณ 15 มิลลิลิตร ค่อยๆ เขย่าให้ตัวอย่าง และอาหารเลี้ยงเชื้อผสมกัน ทำซ้ำระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ในระบบปิดโดยไม่มีออกซิเจน
3. การอ่านผล คัดเลือกจานเพาะเชื้อซึ่งมีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนีมานับจำนวนโคโลนีด้วยเครื่องนับจำนวนโคโลนี (colony counter) แล้วบันทึกผล
4. หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้ แล้วคูณด้วยค่า dilution factor ของความเจือจางที่นับจำนวนได้ คำนวณเป็นจำนวนโคโลนี (colony forming unit) ที่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

วิธีตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียไซโครโทรฟัส

1. การเตรียมตัวอย่าง ทำตามขั้นตอนการตรวจสอบแบคทีเรียทั้งหมด
2. ใช้วิธี Pour plate technique โดยปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่างกัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ค่อยๆ รินอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic Soy Agar (TSA) ที่หลอมละลายและมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ลงไปให้มีปริมาตรประมาณ 15 มิลลิลิตร ค่อยๆ เขย่าให้ตัวอย่าง และอาหารเลี้ยงเชื้อผสมกัน ทำซ้ำระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง
3. การอ่านผล คัดเลือกจานเพาะเชื้อซึ่งมีจำนวนโคโลนีระหว่าง 25-250 โคโลนีมานับจำนวนโคโลนีด้วยเครื่องนับจำนวนโคโลนี (colony counter) แล้วบันทึกผล
4. หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้ แล้วคูณด้วยค่า dilution factor ของความเจือจางที่นับจำนวนได้ คำนวณเป็นจำนวนโคโลนี (colony forming unit) ที่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามทางประสาธน์สัมผัส

ภาคผนวก ข1 ใบรายงานผลการทดสอบการให้คะแนนความชอบ

ชื่อตัวอย่าง ปุ๋นั่ม

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่ทดสอบ.....

คำแนะนำ : ทดสอบผลิตภัณฑ์ แล้วให้คะแนนความชอบ ในแต่ละคุณลักษณะของปุ๋นั่ม ตาม
คำอธิบายข้างล่างนี้ และกรณบบ้วนปากทุกครั้งหลังชิมตัวอย่าง

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

รหัสตัวอย่าง	_____	_____	_____	_____
สี	_____	_____	_____	_____
กลิ่น	_____	_____	_____	_____
รสชาติ	_____	_____	_____	_____
เนื้อสัมผัส	_____	_____	_____	_____
ความชอบรวม	_____	_____	_____	_____

คำเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข2 หลักการให้คะแนนคุณลักษณะปู (กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2547)

ลักษณะ	คุณลักษณะ	คะแนน
สี	สีน้ำตาลปนเขียวบริเวณกระดอง จับปั้งสีน้ำตาลเข้ม ก้ามมีสีน้ำตาล	9
	สีน้ำตาลปนแดงบริเวณกระดอง จับปั้งสีน้ำตาล ก้ามมีสีแดง	7
	สีชมพูบริเวณกระดอง จับปั้งเริ่มมีสีซีด ก้ามเริ่มมีสีซีด	5
	สีซีดบริเวณกระดอง จับปั้งมีสีซีด	3
	สีเหลืองซีดอย่างชัดเจนบริเวณกระดอง จับปั้งและก้าม	1
กลิ่น	สด มีกลิ่นของปูบ้าง หรือกลิ่นธรรมชาติไม่คาว	9
	สดน้อยกว่า มีกลิ่นของปูบ้าง	7
	คาวบ้างเล็กน้อย	5
	คาวมาก ถึงเหม็นเปรี้ยวเล็กน้อย	3
	เหม็นเปรี้ยวมาก เน่าแอมโมเนีย เหม็นเน่า	1
รสชาติ	ดี	9
	ค่อนข้างดี	7
	พอใช้	5
	แย่	3
	แย่มาก	1
เนื้อสัมผัส	เนื้อแน่น เปลือกนึ่ม	9
	เนื้อค่อนข้างแน่น	7
	เนื้อแน่นเล็กน้อยถึงนึ่ม	5
	เนื้อชู้ย นิ่มและ เปลือกเริ่มแห้งหรือเริ่มกระด้างคล้ายกระดาษ	3
	เนื้อชู้ยมาก เปลือกกระด้างหรือแห้งคล้ายกระดาษ	1
การยอมรับรวม	ชอบมากที่สุด	9
	ชอบปานกลาง	7
	เฉย ๆ	5
	ไม่ชอบปานกลาง	3
	ไม่ชอบมากที่สุด	1

ภาคผนวก ค

การตรวจความสดและการประเมินผลคุณภาพความสดปูทะเล

ภาคผนวก ก1 การตรวจความสดของปูทางประสาทสัมผัส (กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2547)

ลักษณะที่ใช้ตรวจ	คุณภาพสด	คุณภาพปานกลาง	คุณภาพไม่สด
ปูดิบ			
1.ตา	สีดำใส ผิวตามันและ เต่ง ก้านตาตั้ง	ตาเริ่มขุ่น ก้านตาอ่อน	ตาขุ่นมัว และขุ่น ก้านตาจม
2. ลักษณะเปลือก	สีกระดองสดใสเป็น มัน เมื่อกดบริเวณท้อง จะแน่น	ผิวไม่แวววาว บริเวณ ท้องเริ่มนิ่ม	สีซีด บริเวณท้องนิ่ม และโพรง
3. เนื้อ	ลักษณะคล้ายวุ้น	เริ่มขุ่นมัวและอ่อนนิ่ม	เนื้อขุ่นสีคล้ำ/ เหลือง
4. กลิ่น	คล้ายกลิ่นทะเลสด	กลิ่นคาว-เปรี้ยว กลิ่น แอมโมเนียเล็กน้อย	กลิ่นเหม็นเน่า กลิ่น แอมโมเนีย
ปูสุก (ด้วยไอน้ำเดือด)			
1. ลักษณะทั่วไป	สีสดใส เนื้อสีขาวมัน	เริ่มสีขาวขุ่นออกเทา	สีคล้ำหรือสีเหลือง
2. กลิ่น	มีกลิ่นหอม	กลิ่นแอมโมเนียเล็กน้อย	กลิ่นแอมโมเนียจุน
3. รสชาติ	หวาน	จืดเล็กน้อย	จืดซีด เปรี้ยว
4. เนื้อสัมผัส	นุ่มแน่น ยืดหยุ่นพอดี	เนื้อยังเหนียว แน่น	เนื้อยุ่ยละ

ภาคผนวก ก2 ระยะการเสื่อมเสียโดยพิจารณาจากการประเมินทางประสาทสัมผัสของปูทะเล (กองพัฒนา
อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2547)

ระยะ การ เสื่อม เสีย	อายุ การ เก็บ รักษา	ลักษณะ ทั่วไป	เนื้อสัมผัส	กลิ่นเนื้อ	สีบริเวณ ด้านหน้า	สีบริเวณ ด้านหลัง	การยึดติดกันของ เนื้อและกระดูก
1	0-3 วัน	กระดูก แข็งสีเขียว ปนขี้ม้ามปน น้ำตาล อวัยวะครบ ก้ามปูเป็นสี น้ำตาล	เนื้อสัมผัส บริเวณขาแน่น กระดูกระหว่าง ท้องกับหลัง แน่น ฝาปิดหน้า ท้องปิดสนิท	กลิ่นสด	สีขาวปน สีน้ำตาล ปน เหลือง	เขียวขี้ม้าม ปน น้ำตาล	บริเวณขายึดติดแน่น กับตัว ฝาปิดหน้าอก ปิดแน่น
2	3-6 วัน	กระดูก แข็งสีเขียว ขี้ม้าม อวัยวะ ครบ	เนื้อสัมผัส บริเวณจับปิ้งเริ่ม นิ่ม	กลิ่นสด บริเวณ จับปิ้งมี กลิ่นโคลน	สีขาวปน คล้ำ นํ้ามน	เขียวขี้ม้าม ปน น้ำตาล	บริเวณขาจะนิ่มและ ห้อยลง เมื่อยกขึ้นจะ อ่อนไม่แข็งแรง
3	6-9 วัน	กระดูก แข็งสีเขียว ขี้ม้าม อวัยวะ ครบ	เนื้อสัมผัส บริเวณจับปิ้งนิ่ม และ กระดูก บริเวณฝาปิดอก นิ่มจนถึงนิ่ม มาก	มีกลิ่น โคลน จนถึงกลิ่น แอมโม เนียหรือ เหม็น	สีขาวปน ปน น้ำตาล	เขียวขี้ม้าม ปน น้ำตาล	กระดูกขานิ่ม ยึด ติดกันอย่างหลวมๆ กับฝา ฝาปิดท้องปิด ไม่สนิทและนิ่ม
4	> 9 วัน	กระดูก ลักษณะซีด ลง ก้านดา นิ่ม อวัยวะ ครบ	เนื้อบางส่วนเน่า เมื่อกดกระดูก จะแตก เนื้อและ จนถึงกระดูก หลังแตก	กลิ่น แอมโมเนีย จนถึงมี กลิ่นเหม็น	สีขาวปน บางส่วน เป็นสี ขาวเทา ใส	เขียวขี้ม้าม ปน น้ำตาล	ขาเดินและก้ามเริ่ม เปื่อย นิ่ม หลุดง่าย เมื่อดึงจับปิ้งเป็นสี เหลือง และหลุดง่าย ไม่ยึดติดกับกระดูก

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปูม้าที่แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 40 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และ สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)			
	สภาวะ	สภาวะปรับบรรยากาศ		สภาวะ
	บรรยากาศปกติ	60% CO ₂ + 40%N ₂	80% CO ₂ + 20%N ₂	สุญญากาศ
0	5.50 ^a	5.50 ^a	5.50 ^a	5.50 ^a
1	6.12 ^a	5.62 ^b	5.58 ^c	5.57 ^c
2	6.21 ^a	5.93 ^b	5.84 ^c	5.82 ^c
3	6.27 ^a	6.18 ^b	5.92 ^c	5.94 ^c
4		6.29 ^a	6.11 ^b	6.12 ^b
5			6.18 ^a	6.19 ^a
6			6.22 ^a	6.24 ^a
7			6.25 ^a	6.26 ^a

หมายเหตุ^{a,b,c,...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในปฏินิมที่แช่ในน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม
 อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะ
 ปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ
 20 และสภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)		
	สภาวะบรรยากาศปกติ	สภาวะปรับบรรยากาศ 80% CO ₂ + 20%N ₂	สภาวะสุญญากาศ
0	3.45 ^a	3.41 ^a	3.43 ^a
1	3.91 ^a	3.56 ^b	3.54 ^b
2	4.80 ^a	3.88 ^b	3.87 ^b
3	5.05 ^a	4.13 ^b	4.11 ^b
4	5.51 ^a	4.60 ^b	4.57 ^b
5	5.78 ^a	4.90 ^b	4.88 ^b
6	5.93 ^a	4.98 ^b	4.90 ^b
7	6.20 ^a	5.40 ^b	5.42 ^b
8	6.83 ^a	5.89 ^b	5.87 ^b
9		5.86 ^a	5.85 ^a
10		6.35 ^a	6.32 ^a
11		6.66 ^a	6.63 ^a

หมายเหตุ^{a,b,c,....} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณแบคทีเรียเล็กดึกในปฏิน้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียเล็กดึก (log CFU/g)		
	สภาวะบรรยากาศปกติ	สภาวะปรับบรรยากาศ 80% CO ₂ + 20%N ₂	สภาวะสุญญากาศ
0	1.30 ^a	1.20 ^a	1.10 ^a
1	1.60 ^a	1.30 ^b	1.20 ^b
2	1.73 ^a	1.30 ^b	1.20 ^b
3	2.00 ^b	2.51 ^a	1.40 ^b
4	2.04 ^b	3.71 ^a	2.80 ^b
5	2.44 ^b	4.30 ^a	4.32 ^a
6	2.83 ^b	4.92 ^a	4.90 ^a
7	3.28 ^b	5.28 ^a	5.29 ^a
8	3.55 ^b	5.80 ^a	5.83 ^a
9		6.20 ^a	6.23 ^a
10		6.46 ^a	6.44 ^a
11		6.55 ^a	6.53 ^a

หมายเหตุ^{a,b,c,...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณแบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ (log CFU/g) ในปฏินันท์แช่น้ำ
 โอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษา
 ในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ
 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศา
 เซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ยปริมาณแบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ (log CFU/g)		
	สภาวะบรรยากาศปกติ	สภาวะปรับบรรยากาศ 80% CO ₂ + 20%N ₂	สภาวะสุญญากาศ
0	1.20 ^a	1.20 ^a	1.10 ^a
1	1.20 ^a	1.53 ^b	1.67 ^b
2	1.20 ^a	1.73 ^b	2.13 ^b
3	1.58 ^b	2.41 ^a	2.93 ^b
4	2.03 ^b	3.22 ^a	3.70 ^b
5	2.17 ^b	3.91 ^a	4.37 ^a
6	2.43 ^b	4.45 ^a	4.90 ^a
7	2.68 ^b	4.74 ^a	5.19 ^a
8	3.25 ^c	5.10 ^b	5.33 ^a
9		5.20 ^a	5.63 ^a
10		5.90 ^a	5.57 ^b
11		6.38 ^a	6.238 ^b

หมายเหตุ^{a,b,c,....} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณแบคทีเรียไซโครโทรฟส์ในปุ๋ยมัที่แช่น้ำไอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ สภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 และสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ยแบคทีเรียไซโครโทรฟส์		
	สภาวะบรรยากาศปกติ	สภาวะปรับบรรยากาศ 80% CO ₂ + 20%N ₂	สภาวะสุญญากาศ
0	1.20 ^a	1.20 ^a	1.10 ^a
1	2.47 ^a	1.30 ^b	1.20 ^b
2	2.68 ^a	1.30 ^b	1.20 ^b
3	3.11 ^b	2.41 ^a	2.13 ^b
4	3.46 ^b	3.04 ^a	2.70 ^b
5	4.32 ^b	3.49 ^a	3.14 ^a
6	4.65 ^b	4.05 ^a	3.31 ^a
7	5.64 ^b	4.58 ^a	4.03 ^a
8	6.56 ^b	5.40 ^a	4.95 ^a
9		5.87 ^a	5.53 ^a
10		6.18 ^a	5.91 ^a
11		6.43 ^a	6.28 ^a

หมายเหตุ^{a,b,c,...} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของปุ๋ยมันภายหลังการแช่ปุ๋ยมันในน้ำ
 โอโซนความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะ
 บรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80
 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-เบส		
	สภาวะบรรยากาศปกติ	สภาวะปรับบรรยากาศ	สภาวะสุญญากาศ
	80% CO ₂ + 20%N ₂		
0	6.48 ^a	6.48 ^a	6.48 ^a
1	6.53 ^a	6.41 ^b	6.34 ^c
2	6.54 ^a	6.36 ^b	6.30 ^c
3	6.57 ^a	6.35 ^b	6.29 ^c
4	6.58 ^a	6.37 ^b	6.28 ^c
5	6.61 ^a	6.40 ^b	6.33 ^c
6	6.63 ^a	6.42 ^b	6.32 ^c
7	6.71 ^a	6.45 ^b	6.33 ^c
8	6.56 ^a	6.44 ^b	6.34 ^c
9		6.46 ^a	6.34 ^b
10		6.47 ^a	6.37 ^b
11		6.48 ^a	6.36 ^b

หมายเหตุ^{a,b,c,....} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (P<0.05)

ตารางผนวกที่ 7 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำ (Drip loss) ของปฐมน้ำภายหลังการแช่น้ำไอโซน ความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ในสภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะปรับบรรยากาศด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 20 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

วัน	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-เบส		
	สภาวะบรรยากาศปกติ	สภาวะปรับบรรยากาศ 80% CO ₂ + 20%N ₂	สภาวะสุญญากาศ
0	0	0	0
1	5.53 ^a	11.4 ^b	20.0 ^c
2	10.4 ^a	16.7 ^b	23.2 ^c
3	13.1 ^a	18.4 ^b	23.5 ^c
4	14.6 ^a	18.9 ^b	23.4 ^c
5	16.6 ^a	19.4 ^b	24.1 ^c
6	15.8 ^a	21.6 ^b	25.0 ^c
7	17.7 ^a	22.4 ^b	25.6 ^c
8	18.3 ^a	23.8 ^b	26.3 ^c
9		24.2 ^a	27.3 ^b
10		25.1 ^a	28.0 ^b
11		24.7 ^a	28.8 ^b

หมายเหตุ^{a,b,c,....} ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายฉัฐพล ฟ้าบุญโญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	28 พฤษภาคม 2516
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) สถาบัน ราชภัฏสวนดุสิต (2539) วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2542)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ระดับ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการ วิจัยระหว่างปี 2548-2549 ทุนพัฒนาบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต