



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเปลือก และการชะลอการสร้างเปลือกของปูม้า
และปูทะเล (*Portunus pelagicus* and *Scylla serrata*) หลังการลอกคราบ

โดย ผศ.ดร. บุญรัตน์ ประทุมชาติ
นางวรรณวิภา สุวรรณรักษ์

23 กรกฎาคม 2550

สัญญาเลขที่ RDG4820042

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเปลือก และการชะลอการสร้างเปลือกของปูม้า
และปูทะเล (*Portunus pelagicus* and *Scylla serrata*) หลังการลอกคราบ

ผศ.ดร. บุญรัตน์ ประทุมชาติ
นางวรรณวิภา สุวรรณรักษ์

ภาควิชาวริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กรมประมง กรุงเทพฯ

ชุดโครงการ ปู

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และขอขอบพระคุณภาควิชาศาสตร์ที่ให้เอื้อเพื่อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำการทดลอง และรายงานมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นได้นั้นเนื่องจากผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเป็นอย่างดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

Executive Summary

Until now, soft shell crabs has been recognized as one of delicacy seafood gourmets. Not only is good to consume soft crab, but also the quantity of edible meat in a soft crab exceeds that of the hard crab by 10 to 15 times. The wholesales of soft crabs are much higher than hard crabs. The demand of soft-shell crabs in the world market continues increasing. A large number of local operators in Thailand have expressed their interest in setting up soft-shell crab (*Scylla*) farms. The crab industries still depend on wild-caught seeds, but their natural sources have shown a precipitous decreased.

Fortunately, blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) is an extremely helpful and high possibility to sustain the soft-shelled crab industry. *P. pelagicus* is suitable for cultures under hatchery since their seeds from domesticated broodstocks are commercially available now. Furthermore, the appearances of soft shell crabs (*P. pelagicus*) seem more familiar to occidental people because of theirs similarities to blue crab (*Callinectes sapidus*). Moreover, this species exhibits less troublesome habits such as cannibalism than *Scylla*. By these reasons, *P. pelagicus* offers exciting advantages for soft-shelled crab production.

However, until now, the quality of soft-shell crabs is not well defined or documented. Therefore, it is noteworthy to provide a simple operation concerning the standardization of soft-shell crabs in both species, through the most suitable harvest of peeler crab for the soft-shell crab farm. Because the variable cost and profit of operations is determined by the quality of soft-shell crab. This study will be demonstrates the optimum time for harvesting the soft-shell crabs in each species since their molt under acceptable criterion their qualities. Furthermore the simple useful technique to reduce calcification rate for cuticle formation of molted crabs will be evaluated, beforehand for commercial operators who are interested in setting up a soft shell crab business in Thailand.

บทคัดย่อ

ปูม้า (*Portunus pelagicus*) ความกว้างของกระดอง (external carapace width) 3 ขนาด ได้แก่ 71-80, 81-90 และ 91-100 มิลลิเมตร และปูทะเล (*Scylla serrata*) ทั้งสองเพศ 3 ขนาด ได้แก่ 65-72, 73-80 และ 81-87 มิลลิเมตร จากธรรมชาติ ให้ปลาสดและหอยแมลงภู่เป็นอาหาร ประมาณ วันละ 10% ของน้ำหนักปู เพื่อตรวจหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวปูม้าและปูทะเลนึ่ง หลังลอกคราบ ภายใต้การเลี้ยงที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 ppt ในบ่อคอนกรีต และการชะลอกการ สร้างเปลือกปูทั้ง 2 ชนิดด้วยการลดอุณหภูมิและพีเอช และการใช้โอโซน ออกแบบการทดลองแบบ factorial ที่ความเค็ม 5 ppt ในปูม้า และใช้น้ำจืดในปูทะเล โดยมีการทดสอบความแข็งแรงของเปลือก ความสาก ด้วยประสาทสัมผัส ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ รวมถึงการปรากฏของสีบนกระดองของ เปลือกของปูทั้ง 2 ชนิด แล้วทำการบันทึกเวลา อีกทั้งมีการตรวจสอบระดับความแข็งแรงด้วยเครื่อง Texture Analyzer ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะ โครงสร้างและทางเคมีเปลือกของปูที่ระดับ คุณภาพต่าง ๆ ด้วย Electron Microscopy และ Energy Dispersive System มีการตรวจสอบออสโม ลาลิตีและความเข้มข้นของไอออนหลักของของเหลวภายในร่างกายปูทั้ง 2 ชนิดภายหลังลอกคราบที่ ความเค็ม 3 ระดับ ด้วยเครื่อง Freezing point osmometer และ X-Ray fluorescent spectrophotometer

จากผลการทดลองพบว่า คุณภาพปูม้านึ่งที่ยอมรับได้มีเวลาเฉลี่ยเพียง 45 นาที ภายหลัง จากลอกคราบเสร็จ ค่าความแข็งแรงตัวของเปลือกที่ระดับ 3 (380.8 ± 1.2 g) ขณะที่คุณภาพปูทะเลนึ่ง ยอมรับได้ที่เวลาเฉลี่ย 4.5 ชั่วโมง ค่าความแข็งแรงตัวของเปลือกระดับ 6 ($1,067 \pm 29.2$ g) สอดคล้องกับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขบวนการสะสมของแร่ธาตุและ โครงสร้างของเปลือกปูม้านึ่งในแต่ละ ระดับคุณภาพที่รวดเร็วกว่าปูทะเลนึ่งมาก ระยะเวลากการยอมรับได้จะยาวนานขึ้นเมื่อปูมีขนาดใหญ่ ขึ้น และความเค็มที่ใช้เลี้ยงลดลง สอดคล้องกับผลของปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของปูทั้ง 2 ชนิด เมื่อเลี้ยงในความเค็มต่ำนั้นมีผลไปลดประสิทธิภาพการสะสมแร่ธาตุจากน้ำไปเพื่อการสร้างเปลือก ภายหลังลอกคราบ โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นตามเวลาภายหลังลอกคราบของปูทั้ง 2 ชนิด ขณะที่การรอดตายของปูแต่ละชนิดที่เลี้ยงในความเค็ม 3 ระดับ ไม่แตกต่างกัน ($75-80\%$) ($p > 0.05$)

การลดอุณหภูมิมีแนวโน้มว่าเป็นอิทธิพลหลักที่มีผลต่อการชะลอกการสร้างเปลือกปูทั้ง 2 ชนิดให้คงรักษาคุณภาพได้ ซึ่งสามารถชะลอกได้นาน 3.5 ชั่วโมง สำหรับปูม้านึ่ง และ 8.9 ชั่วโมง สำหรับปูทะเลนึ่ง โดยขนาดที่ใหญ่ขึ้นมีผลทำให้ชะลอกการสร้างเปลือกได้นานขึ้น

Abstract

Both sexes of wild crabs *Portunus pelagicus* and *Scylla serrata* using for the experiment were classified in three groups based on their external carapace width (71-80 mm, 81-90 mm and 91-100 mm for *P. pelagicus* and 65-72 mm, 73-80 mm, and 81-87 mm for *S. serrata*). They were fed with fresh yellow tail fish or mussel meat at feed ratio of 10% based on their body weight. To investigate the optimum period for harvesting soft-shell crabs, both species were raised in concrete ponds under the 3 levels of salinity (10, 20 and 30 ppt) until molt. To retardation the cuticle formation of newly molted crabs in both species, the three factors as decreasing of temperature and pH, and using ozone were experimented by factorial design under 5 ppt for *P. pelagicus* and freshwater for *S. serrata*. Six levels of cuticle strength and roughness were identified by sensory test. The color development of cuticle was also observed. The time in minute was continuously recorded when the formation of cuticle developed from level 1 to 6. Furthermore, the strength of cuticle was investigated using Texture analyzer. The variation of structure and chemical properties of the cuticle was also evaluated by Electron Microscopy and Energy Dispersive System. The osmolality and concentrations of major minerals in plasma of molted crabs in 3 levels of salinity were also respectively measured by Freezing point osmometer and X-Ray fluorescent spectrophotometer.

The quality of soft-shell crabs was accepted within 45 min for *P. pelagicus* (level 3, 380.8 ± 1.2 g of cuticle strength) after molt and 4.5 hr (level 6, $1,067 \pm 29.2$ g of cuticle strength) for *S. serrata*. This concurred with the alteration of mineralization process and cuticle structure in each quality level of *P. pelagicus* which was faster than those of *S. serrata*. Duration for quality acceptance of both species was longer when their sizes were larger and salinity for culture decreased. Because the efficiency of minerals consumption for the cuticle formation was decreased, this is reflected by the concentrations of minerals in plasma of both species. After molt, the color of cuticle was not changed in both species. Furthermore, the survival rate of each species that raising at 3 levels of salinity was not significantly ($p > 0.05$) different (75-80%).

The low temperature of water was the main factor for retardation of cuticle formation for both species. Under the low temperature, the quality of soft-shell crabs was recognized to 3.5 hr for *P. pelagicus* after molting and to 8.9 hr for *S. serrata*. In both species, the retardation was higher when their size increased.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	i
Executive Summary.....	ii
บทคัดย่อภาษาไทย.....	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iv
สารบัญเรื่อง.....	v
รายการตารางประกอบ.....	vi
รายการภาพประกอบ.....	viii
บทนำ.....	1
ผลการศึกษาเบื้องต้นและการสำรวจวรรณกรรม.....	2
วิธีการวิจัย.....	12
ผลการวิจัย.....	16
การอภิปรายผล.....	69
ข้อสรุป.....	78
ข้อเสนอแนะ.....	78
เอกสารอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	84

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (<i>P. pelagicus</i>) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างเพศ.....	16
2	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (<i>P. pelagicus</i>) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างขนาด.....	18
3	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (<i>P. pelagicus</i>) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบตามความเค็มน้ำ.....	20
4	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (<i>P. pelagicus</i>) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างเพศร่วมกับความเค็ม.....	22
5	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นขนาดปูม้า (<i>P. pelagicus</i>) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบตามขนาดและความเค็ม.....	24
6	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (<i>P. pelagicus</i>) ภายหลังลอกคราบ โดยมีปัจจัยด้านเพศ และขนาดปูม้าที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ.....	26
7	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (<i>S. serrata</i>) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างเพศ.....	28
8	เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลน้ำมึกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (<i>S. serrata</i>) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างขนาด.....	30

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
9	32
10	34
11	36
12	39
13	48
14	58
15	66

รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1 บ่อซีเมนต์ขนาด 1ม. x 5ม. x 1ม.	12
2 ปลาข้างเหลือง	13
3 ตะกร้าเลี้ยงปูม้าระยะลอกคราบ D3-D4.....	13
4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูม้าน้ำแยกตามเพศ.....	17
5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูม้าน้ำแยกตามขนาด.....	19
6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูม้าน้ำแยกตามขนาด.....	21
7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูม้าน้ำแยกตามขนาดที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ.....	25
8 สีของเปลือกปูม้าน้ำ.....	27
9 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลน้ำแยกตามเพศ.....	29
10 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลน้ำแยกตามขนาด.....	31
11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลน้ำแยกตามความเค็มน้ำ.....	33
12 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลน้ำแยกเพศที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ..	35
13 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลน้ำแยกตามขนาดที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ.....	37
14 สีของเปลือกปูทะเลน้ำ.....	38
15 ค่าความแข็ง (Cuticle strength) ของเปลือกปูม้าน้ำในแต่ละระดับคุณภาพ.....	40
16 ค่าความแข็ง (Cuticle strength) ของเปลือกปูทะเลน้ำในแต่ละระดับคุณภาพ.....	41
17 ลักษณะโครงสร้างของเปลือกปูม้าน้ำในระดับคุณภาพที่ 1-6.....	43
18 ลักษณะโครงสร้างของเปลือกปูทะเลน้ำในระดับคุณภาพที่ 1-6.....	44
19 ปริมาณธาตุ N, O, Ca และ P ของเปลือกปูในแต่ละระดับคุณภาพปูม้าน้ำ.....	45
20 ปริมาณธาตุ Mn, K, Mg และ Mn ของเปลือกปูในแต่ละระดับคุณภาพปูม้าน้ำ.....	46
21 ปริมาณธาตุ N, P, O Mn และ Ca ของเปลือกปูในแต่ละระดับคุณภาพปูทะเลน้ำ.....	46
22 ปริมาณธาตุ Na, Mg และ K ของเปลือกปูในแต่ละระดับคุณภาพปูทะเลน้ำ.....	47
23 การเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตีของเลือดปูม้าและปูทะเลน้ำที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ.....	48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
24 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Na และ Cl ในพลาสมาปูม้าน้ำหลังลอกคราบ 30 นาที ภายใต้ความเค็มน้ำ 3 ระดับ.....	49
25 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Mg, Ca, K, S และ P ในพลาสมาปูม้าน้ำหลังลอกคราบ 30 นาที ภายใต้ความเค็มน้ำ 3 ระดับ.....	50
26 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Na และ Cl ในพลาสมาปูทะเลนึ่งหลังลอกคราบ 4 ชั่วโมง ภายใต้ความเค็มน้ำ 3 ระดับ.....	51
27 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Mg, Ca, K, S และ P ในพลาสมาปูทะเลนึ่งหลังลอกคราบ 4 ชั่วโมง ภายใต้ความเค็มน้ำ 3 ระดับ.....	52
28 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าน้ำ เปรียบเทียบระหว่างเพศ.....	53
29 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าน้ำที่ปรับสภาพภายใต้ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ที่แตกต่างกัน.....	54
30 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าน้ำ (ผลรวมของความชื้นร่วมกับความ สาก) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด.....	55
31 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าน้ำ (ความชื้น) เปรียบเทียบระหว่างการ ควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด.....	56
32 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าน้ำ (ความสาก) เปรียบเทียบระหว่างการ ควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด.....	57
33 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง เปรียบเทียบระหว่างเพศ.....	60
34 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง เปรียบเทียบระหว่างการควบคุม ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน.....	62
35 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ผลรวมของความชื้นร่วมกับความ สาก) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด.....	63
36 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ความชื้น) เปรียบเทียบระหว่าง การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด.....	64
37 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ความสาก) เปรียบเทียบระหว่าง การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด.....	65

ชื่อโครงการย่อยที่ 2 (ภาษาไทย) การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเปลือก และการชะลอการ
สร้างเปลือกของปูม้าและปูทะเล (*Portunus pelagicus* and *Scylla*
serrata) หลังการลอกคราบ
(ภาษาอังกฤษ) Physical characteristic change of crab cuticle and retardation of
cuticle formation of post molt blue swimming crab and mud crab
(*Portunus pelagicus* and *Scylla serrata*)

บทนำ

ตลาดปูนิ่มในต่างประเทศกว้างและยังมืออยู่ไม่จำกัด ตลาดที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา อียู จีน ไต้หวัน เกาหลี และญี่ปุ่น ซึ่งความต้องการมีทั้งปูม้าและปูทะเล แต่ความเหมาะสมในการแปรรูป หรือรูปแบบการปรุงอาหารจะแตกต่างกันไป ปูม้ามีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกับปู blue crab (*Callinectes sapidus*) จากสหรัฐอเมริกา ซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกามีการเลี้ยงปูนิ่ม (soft shell crab) มานานกว่า 100 ปี ตลาดในสหรัฐอเมริกาและยุโรปคุ้นเคยกับปูนิ่มที่ผลิตจากปู blue crab ของมลรัฐ Maryland, Virginia และ South Carolina เป็นอย่างดี ทำให้ไม่ต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้บริโภค รูปลักษณ์ของปูม้านิ่มหลังการเก็บเกี่ยวมีข้อได้เปรียบกว่าปูทะเลนิ่ม เนื่องจากมีสีขาว ดูสะอาด กลิ่นโคลนน้อยกว่าปูทะเล อย่างไรก็ตามการผลิตปูนิ่มทั้ง 2 ชนิดอาจจะผลิตสำหรับตลาดคนละแหล่งกันได้ หรือขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการนำไปปรุงอาหาร

ระยะเวลาที่ใช้ในขบวนการสร้างเปลือกของปูค่อนข้างเร็ว ทำให้ปูมีโครงสร้างของเปลือกแข็งแรงดังอย่างรวดเร็วหลังลอกคราบ จึงส่งผลให้ปูนิ่มที่เก็บเกี่ยวได้มีลักษณะเป็น paper shell ทำให้เสียราคาได้ จึงสมควรที่จะทำการศึกษาว่าขบวนการสร้างเปลือกปูม้าและปูทะเล ทั้งเพศผู้และเพศเมีย ขนาดต่าง ๆ กันภายหลังลอกคราบเมื่อเลี้ยงภายใต้สภาวะความเค็มที่แตกต่างกันนั้น ใช้ระยะเวลานานเพียงใดในการสร้างเปลือกจนกว่าเข้าสู่ลักษณะ paper shell ที่ทำให้คุณภาพลดลง ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงทราบข้อมูลว่าจะต้องมีการจัดการ ใ้ระวังอย่างไร เพื่อไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ และฟาร์มที่มีโครงสร้างพื้นฐานแตกต่างกันให้เกิดความสูญเสียต่อผลผลิตน้อยที่สุด ภายใต้การใช้ปูทั้งเพศผู้และเพศเมีย ที่ขนาดต่าง ๆ และสภาพการเลี้ยงที่ต่างกัน รวมถึงจะมีการกำหนดมาตรฐานให้ชัดเจนถึงคุณลักษณะปูนิ่มที่ต้องการ

นอกจากนี้การจัดการหลังเก็บเกี่ยวนับว่าเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากหลังจากปูลอกคราบ ควรต้องนำปูนิ่มมาผ่านขบวนการทำความสะอาดก่อนที่จะทำการแปรรูป หรือเก็บรักษาที่

อุณหภูมิต่ำต่อไป ซึ่งช่วงเวลาที่วิกฤตินี้อาจส่งผลให้ปูมีการสร้างเปลือกแข็งได้ จึงต้องหาวิธีการยับยั้งหรือชะลอการสร้างเปลือกให้ได้โดยหาวิธีการใช้เทคนิคง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนและนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ ปัจจุบันนับว่ายังขาดข้อมูลอย่างมากทั้งในเรื่องของระบบและวิธีการเลี้ยง มาตรฐานด้านคุณภาพสินค้า และเทคนิคการจัดการดูแลรักษาให้ปูหลังลอกครบชะลอการสร้างเปลือก จึงควรที่จะทำการวิจัยให้เกิดความชัดเจนในการจัดการการเลี้ยงปูนี้ และเป็นการเพิ่มคุณภาพและมีเกณฑ์มาตรฐาน เพื่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงปูนี้ทั้ง 2 ชนิด

การสำรวจแนวคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างของเปลือกปู

เปลือกของปูทะเล (*Scylla serrata*) ประกอบด้วยชั้นต่างๆ 4 ชั้น คล้ายคลึงกับสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียนทั่วไป โดยเรียงจากชั้นนอกสุดไปยังชั้นในสุด ดังนี้

ชั้นเอพิคิวติเคิล (Epicuticle layer)

เป็นชั้นที่อยู่นอกสุดและเป็นชั้นที่บางที่สุด มีความหนาประมาณ 5 ไมครอน (Pratoomchat *et al.*, 2002a) มีองค์ประกอบเป็นสารพวก lipoprotein ร่วมกับเกลื้อแคลเซียม (Travis, 1955) ชั้น epicuticle นี้จะประกอบกันเป็นชั้นๆ อย่างชัดเจน (Green and Neff, 1972; Arsenault *et al.*, 1984; Compere and Goffinet, 1987) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบเป็นโครงสร้างของสารอินทรีย์ซึ่งติดสีย้อม eosin อย่างหนาแน่น ซึ่งแสดงถึงการมี sclerotin (Vigh and Dendinger, 1982; Pratoomchat *et al.*, 2002b)

ชั้นเอกโซคิวติเคิล (Exocuticle หรือ Pigmented layer)

เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากชั้น epicuticle ประกอบด้วย HCl-protein (Vigh and Dendinger, 1982; Pratoomchat *et al.*, 2002b) ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 60 ไมครอน และมีสีเข้ม นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบเป็นเส้นใย chitin-protein เป็นจำนวนมาก (Travis, 1955; Green and Neff, 1972; Pratoomchat *et al.*, 2002b) ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่มีปริมาณเม็ดสี (pigments) สูงที่สุด

ชั้นเอนโดคิวติเคิล Endocuticle layer

เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด ประมาณ 450-455 ไมครอน ซึ่งคิดเป็น 70-85% ของความหนาของเปลือก และมีปริมาณเกลื้อแคลเซียมสะสมอยู่มากที่สุด บางครั้งจึงเรียกว่าเป็นชั้นแคลเซียม (calcified layer) ซึ่งมีลักษณะเป็นแถบ (bands) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างเส้นใย chitin-protein และแคลเซียมคาร์บอเนต ประกอบกันทำให้เป็นชั้นที่หนาที่สุด (Pratoomchat *et al.*, 2002a)

ชั้นเมมเบรนาส (Membranous layer)

เป็นชั้นที่อยู่ในสุดของเปลือก อยู่ติดกับ epidermis มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ มีความหนาประมาณ 5 ไมครอน และเป็นโครงสร้างที่ย้อมติดสี eosin (Pratoomchat *et al.*, 2002a) ประกอบด้วยไคตินประมาณ 74% (Welinder, 1975) ชั้นนี้ไม่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ จึงถูกเรียกว่า uncalcified layer

ชั้นเอพิเดอมิส (Epidermis)

ภายใต้เนื้อเยื่อชั้นในสุดของเปลือกของสัตว์ในคริสต์เศียนนั้น จะพบเนื้อเยื่อชั้นเอพิเดอมิส อยู่เป็นชั้นบางๆ ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อเซลล์เดี่ยว (unicellular layer) ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โครงสร้างของเอพิเดอมิสปกคลุมด้วยโครงร่างแข็งได้แก่ เปลือกของคริสต์เศียน และหอย เอพิเดอมิสนี้ยังเป็นอวัยวะสำคัญในการหลั่งสารประกอบอินทรีย์และแร่ธาตุ ขนส่งไปสร้างเปลือก (Travis, 1965; Roer and Dillaman, 1984; Cameron, 1985; Coimbra *et al.*, 1988; Machado *et al.*, 1994; Ziegler, 1996, 1997; Pratoomchat *et al.*, 2002a)

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปู

โครงสร้างของเปลือกปู ประกอบด้วยเส้นใยของไคติน-โปรตีน (chitin-protein) เป็นส่วนใหญ่ (Glynn, 1968) กับส่วนของโปรตีนในชั้น epicuticle และส่วนของไคตินในชั้น exocuticle และ endocuticle (Travis, 1965; Vigh and Dendinger, 1982; Roer and Dillaman, 1984) ซึ่งสารตั้งต้นของไคตินคือคาร์โบไฮเดรต (Knowles and Carlisle, 1956)

สารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญของเปลือกตลอดวงจรการลอกคราบคือ ไคติน อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบกลุ่มโปรตีนจะเพิ่มสูงช่วงหลังลอกคราบ ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรง ในการสร้างชั้น epicuticle และ exocuticle หลังจากมีการลอกคราบใหม่ๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อ sclerotization สำหรับ NaOH-protein และ nucleation สำหรับ HCl-protein

องค์ประกอบทางเคมีของเอพิเดอมิส

ชั้นเอพิเดอมิสประกอบไปด้วยไกลโคเจน ไคติน acid MPS และ neutral MPS ซึ่งตรงกับผลการศึกษานของ Pratoomchat *et al.* (2003) ซึ่งพบว่าชั้นของเอพิเดอมิสประกอบด้วยสารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไคติน และแร่ธาตุต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ ทองแดง แคลเซียม โซเดียม คลอไรด์ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมงกานีส และกำมะถัน ปริมาณของโปรตีนเพิ่มมากขึ้นที่ระยะเริ่มต้นของ

ระยะคราบแข็ง (intermolt stage) ในขณะที่คาร์โบไฮเดรตจะลดลง เนื่องจากส่วนของคาร์โบไฮเดรตถูกนำไปใช้ในกระบวนการ polymerization ของโมเลกุลไคตินซึ่งใช้ในการสร้างเปลือกของปูทะเล (Gwinn and Stevenson, 1973) โดยพบว่าความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของไคตินที่เพิ่มขึ้นในเปลือก และปริมาณไคตินจะลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในการสร้างเปลือกที่ระยะคราบแข็ง (intermolt stage)

ส่วนไกลโคซามิโนไกลแคน (Glycosaminoglycans, GAGs) เกี่ยวข้องกับการสร้างเปลือก หลังจากปูลอกคราบใหม่ เปลี่ยนจากสารประกอบดังกล่าวเป็นตัวช่วยเหนียวทำให้เกิดการตกผลึกของแคลเซียมฟอสเฟตและแคลเซียมคาร์บอเนต (Greenfield *et al.*, 1984; Pratoomchat *et al.*, 2002b) ซึ่ง Vigh and Dendinger (1982) พบว่า HCl-protein เป็นเหมือนปัจจัยจำกัดในการตกผลึกของแคลเซียม โดย NaOH-protein (sclerotin) มีบทบาทสำคัญในการสร้างความแข็งแรง (hardening process) ให้กับเปลือกปูช่วงหลังลอกคราบระยะ postmolt และ intermolt

ปริมาณของแคลเซียม คลอไรด์ โพแทสเซียม และกำมะถัน รวมถึงสารประกอบอินทรีย์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อชั้นนี้ จากระยะ premolt (D2 stage) เป็นต้นไป เนื่องจากมีการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่ออีพิเดอมิส ซึ่ง Mangum (1992) และ Mykles *et al.* (2000) กล่าวว่า การสะสมของสารอินทรีย์นี้เกี่ยวข้องกับการกำหนดปริมาตรของเซลล์ (cell volume) และการนำน้ำเข้าภายในเซลล์ (water uptake) ส่วนปริมาณทองแดง จะเพิ่มขึ้นจากระยะ postmolt ถึงระยะ intermolt ซึ่งเกี่ยวข้องกับความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นสำหรับการขนส่งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สำหรับการสร้างเปลือก (Mangum, 1983)

การลอกคราบของปู

ขบวนการลอกคราบ (molting process) เป็นขบวนการที่รวมเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการสลัดคราบออก (ecdysis or exuviation) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารต่างๆ รวมทั้งมีการเจริญเติบโตเกิดขึ้นด้วย เนื่องจากกระดองปูเป็นสารประกอบหินปูนมีความแข็งแรงมากทำให้ไม่สามารถยืดขยายตัวได้ ระยะเวลาในการลอกคราบในแต่ละครั้งนั้นจะห่างกันเท่าใดขึ้นกับขนาด อายุ ความสมบูรณ์ของปูและขึ้นกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมภายนอกที่เหมาะสมด้วย

ผลกระทบของสิ่งแวดล้อมต่อการสร้างเปลือกปู

ความเค็มน้ำ

ระดับความเค็มน้ำภายนอกมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุโซเดียม, คลอรีน และโปแตสเซียมในพลาสมาปูทะเล โดยที่ระดับความเค็มน้ำ 5 ppt ปริมาณของธาตุโซเดียม, คลอรีน และโปแตสเซียม มีความเข้มข้นต่ำที่สุด และจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อความเค็มน้ำสูงขึ้น จนธาตุทั้ง 3 ชนิดมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับความเค็มน้ำ 25 ppt

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณของธาตุโซเดียมมีค่าความเข้มข้นสูงที่สุดทุกระดับความเค็มน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่นๆ คลอรีน และโปแตสเซียมมีค่ารองลงมาตามลำดับ ซึ่งปริมาณรวมของธาตุทั้ง 3 นี้มีมากกว่า 90% ของแร่ธาตุทั้งหมดในเลือด จึงจัดได้ว่าเป็นธาตุที่ช่วยรักษาสมดุลออสโมติกของเลือด (osmoregulator) กล่าวคือ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของธาตุโซเดียม คลอรีน และโปแตสเซียม ก็จะส่งผลให้ค่าออสโมลาลิตี (osmolality) ของเลือดเปลี่ยนแปลงไปด้วย รวมทั้งในครัสเตเชียนชนิดอื่นๆ ได้แก่ ปู *E. sinensis* และ *C. maenas* (Gilles and Pequeux, 1981) เนื่องจากแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้มีความเข้มข้นสูงมากและมีการเคลื่อนย้ายระหว่างอวัยวะต่างๆ และระหว่างภายในกับภายนอกร่างกายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงนับว่ามีบทบาทต่อระบบสมดุลเกลือแร่ในเลือด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโซเดียมและคลอรีน ดังนั้นปริมาณของแร่ธาตุดังกล่าวจึงเพิ่มขึ้นตามความเค็มน้ำสัมพันธ์กับค่าออสโมลาลิตี เนื่องจากการแพร่เข้ามาผ่านทางเหงือก (influx) ของน้ำทะเลภายนอก

ความเข้มข้นของโซเดียม คลอรีน และโปแตสเซียมในเลือดสัตว์จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น และอยู่ในสภาวะ hypertonic ซึ่งพบได้ในครัสเตเชียนหลายชนิด เช่น ปู *C. sapidus* (Henry and Cameron, 1982), ปู *O. quadrata* (Santos and Moreira, 1999), ปู *C. magister* (Wheatly, 1985), ปูน้ำจืด *H. transversa* (Greenway, 1981), กุ้ง *C. crangon* (Hagerman and Uglow, 1982) รวมทั้งกุ้ง Penaeid หลายชนิด (Castille and Lawrence, 1981b อ้างโดย Cawthorne *et al.*, 1983) ส่วนกุ้งมังกร *P. longipes* มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมและคลอรีนในเลือดเป็นไปตามความเค็มน้ำภายนอก แต่ความเข้มข้นของโปแตสเซียมในเลือดจะแปรผกผันกับความเค็มน้ำภายนอก (Dall, 1974) ซึ่งต่างไปจาก mysid *L. mediterranea* ที่เมื่ออยู่ในน้ำความเค็มต่ำจะมีความเข้มข้นของโซเดียม, คลอรีน และโปแตสเซียมในเลือดเท่ากับน้ำภายนอกและมีความเข้มข้นลดลงเมื่อน้ำภายนอกมีความเค็มสูงขึ้น (Lucu, 1978) หรือในกุ้ง *B. sandiegonensis* และ *S. woottoni* (Gonzalez *et al.*, 1996) รวมทั้งกุ้ง *P. pugio* (Knowlton and Kirby, 1984) ที่สามารถรักษาระดับความเข้มข้นของโซเดียมให้คงที่เมื่อน้ำภายนอกเปลี่ยนแปลงความเค็มไปในช่วง 1-40 ppt จากรายงานในปู blue crab *C. sapidus* พบว่าที่

ระดับความเค็มต่ำกว่า 26 ppt ค่าออสโมติกและไอออนต่างๆ ระหว่างเลือดกับน้ำทะเลจะมีค่าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อปูมีการอพยพไปสู่ที่น้ำความเค็มต่ำ (Mantel, 1967 อ้างโดย deFur, 1990) มีพฤติกรรมเช่นเดียวกันกับครัสเตเชียนที่อาศัยอยู่ในเขตน้ำกร่อยและน้ำทะเล ซึ่งเมื่อระดับความเค็มน้ำเพิ่มขึ้น

ที่ระดับความเค็มต่ำเลือดสัตว์จะมีปริมาณของโซเดียม, คลอรีน และโปแตสเซียมต่ำเพราะน้ำภายนอกที่มีความเจือจางจะแพร่เข้าสู่ร่างกาย และแร่ธาตุต่างๆ ในร่างกายก็จะแพร่ออกสู่น้ำภายนอกเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของเกลือแร่ภายในร่างกายให้อยู่ในระดับที่มีความสมดุล สัตว์จึงต้องมีการปรับตัวให้อยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือแร่ภายในร่างกายสูงกว่าสิ่งแวดล้อมภายนอก จึงต้องมีการดึงพลังงานมาใช้อย่างมากในการรักษาระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆ โดยมีกลไกการขับน้ำออกจากร่างกาย เพราะน้ำภายนอกที่มีความเจือจางจะแพร่เข้าไปในร่างกายอยู่ตลอดเวลาตามหลักการของออสโมซิส (osmosis) ในขณะเดียวกันก็จะมีการดูดกลับเกลือแร่ไว้ภายในร่างกาย และลดการสูญเสียเกลือแร่ออกจากร่างกายโดยการลดขนาดของเยื่อเลือกผ่านให้เล็กลงและเพิ่มการเก็บสะสมปัสสาวะ ปรับระดับแรงดันน้ำ (hydrostatic pressure) ภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ (Mantel and Farmer, 1983)

ถึงแม้ว่าสัตว์จะมีกลไกต่างๆ ในการปรับสมดุลเกลือแร่ดังที่กล่าวมา แต่ภายใต้สภาวะความเค็มต่ำมากๆ ทำให้ต้องสูญเสียแร่ธาตุต่างๆ ภายในร่างกายออกสู่สิ่งแวดล้อม และต้องรับน้ำภายนอกจากการแพร่เข้ามาอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นเหตุให้มีปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ในเลือดต่ำกว่าที่ความเค็มน้ำที่สูง ซึ่งจะทำให้สัตว์เกิดความเครียด ร่างกายอ่อนแอ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงและอาจจะทำให้อัตราการตายเพิ่มขึ้นได้ ดังเช่นที่พบในครัสเตเชียนหลายชนิด (Kirkpatrick and Jones, 1985 ; Gelin *et al.*, 2001)

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างเปลือก โดยเป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกปูทะเล (Pratoomchat *et al.*, 2002a) ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำในเลือด ระดับการเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมในเลือดคล้ายกับ 3 ธาตุแรก คือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเค็มของน้ำภายนอกเพิ่มสูงขึ้น

ตามที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ครัสเตเชียนเมื่อย้ายจากที่น้ำความเค็มสูงไปสู่ที่น้ำความเค็มต่ำ จะทำให้ค่า pH ของเลือดมีค่าสูงขึ้น (metabolic alkalosis) เนื่องจากเมื่อความเค็มต่ำลง ค่า pH ของน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงแบบแปรผกผันตรงกัน โดยจะมีค่า pH ต่ำลง คือมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น (มี H^+ มากขึ้น) และคาดว่าจะมีผลทำให้เลือดกึ่งมีสภาพเป็นกรดด้วย ซึ่งสภาพที่เป็นกรดนี้จะมีผลต่อการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากเปลือกเก่ามาในรูปของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และไบคาร์บอเนต

(HCO_3^-) จึงทำให้มีปริมาณของแคลเซียมไอออน และไบคาร์บอเนตในเลือดสูงขึ้น (Machado *et al.*, 1988) เมื่อเลือดปูมีไบคาร์บอเนตสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้มีค่า pH สูงขึ้น (Henry and Cameron, 1982)

ไม่เพียงแต่แคลเซียมและไบคาร์บอเนต สารอินทรีย์อื่นๆ ก็มีการละลายเข้าสู่กระแสเลือดด้วย ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) เพราะสัตว์จะต้องทำการปรับสภาพความสมดุลของเกลืออย่างมากเมื่อความเค็มน้ำภายนอกมีระดับต่ำหรือสูงเกินไป (osmotic stress) จึงส่งผลให้มีกิจกรรมการใช้พลังงาน และมีการขับถ่ายของเสียซึ่งอยู่ในรูปของแอมโมเนียมากขึ้น ซึ่งพบในครัสเตเชียนหลายชนิด (Mangum *et al.*, 1976 ; Regnault, 1984 ; Rosas *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ deamination (การกำจัดเอาหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) ออกจากสารประกอบ) ของกรดอะมิโนอิสระภายในเซลล์เพื่อนำไปใช้รักษาสมดุลปริมาตรของเซลล์ ทำให้ระดับของแอมโมเนียในเลือดสูงขึ้น เช่นในปู *C. sapidus* (Mangum *et al.*, 1976) รวมทั้งการลดลงของไฮโดรเนียมไอออน (H^+) ในเลือด จากการเกิดปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ซึ่งเกิดในปฏิกิริยา catabolism ของกรดอะมิโนอิสระเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เลือดมีค่า pH สูงขึ้นด้วย (Weiland and Mangum, 1975)

ด้วยสาเหตุต่างๆ ดังกล่าวนี้นี้ ที่ระดับความเค็มต่ำ ความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดน่าจะมีสูงกว่าที่น้ำความเค็มสูง แคลเซียมจะถูกดูดซึมกลับจากเปลือกเข้าสู่ระบบเลือด เพราะในน้ำความเค็มต่ำจะมีแคลเซียมอยู่น้อยเมื่อเทียบกับในน้ำความเค็มสูง ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Haefner (1964) ที่พบความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรงระหว่างน้ำหนักเปลือกปู *C. sapidus* ระยะหลังลอกคราบ (postmolt) กับความเค็มน้ำภายนอก โดยพบว่าปูที่อยู่ในน้ำความเค็ม 10 ppt จะมีน้ำหนักเปลือกน้อยกว่าปูที่อยู่ในน้ำความเค็ม 30 ppt และได้อธิบายว่าความแตกต่างของน้ำหนักเปลือกปูมีสาเหตุจากการสะสมแคลเซียมที่มากขึ้นในเปลือกปูที่อยู่ในน้ำความเค็มสูง ซึ่งที่น้ำความเค็มสูงจะมีแคลเซียมสำหรับปูมาก ปูจึงมีการดึงไปเก็บสะสมในการสร้างเปลือกได้มาก ส่งผลให้มีน้ำหนักเปลือกมากกว่าที่น้ำความเค็มต่ำ นอกจากนี้ Travis and Friberg (1963) ก็ได้อธิบายเอาไว้ว่า ปริมาณของแคลเซียมที่สะสมใน exocuticle และ endocuticle ของ crayfish *O. virilis* นั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนในน้ำภายนอก คือถ้า น้ำภายนอกมีความเค็มสูง ก็จะมีแคลเซียมไอออนปริมาณสูงและทำให้มีการสะสมแคลเซียมใน exocuticle และ endocuticle มากขึ้น และแม้ว่าแคลเซียมบางส่วนจะมีการสะสมไว้ในเลือดและ midgut gland ของสัตว์ก่อนที่จะลอกคราบอยู่ก่อนแล้ว แต่แคลเซียมส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำให้เปลือกแข็งขึ้นก็ได้รับมาจากน้ำทะเลภายนอก (Hecht, 1914, Travis, 1955 อ้างโดย Price Sheets and Dendinger, 1983)

หลังจากที่แคลเซียมเคลื่อนย้ายและมีการสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ในระบบเลือด ก็อาจทำให้เกิดความเป็นพิษสำหรับปูทะเลได้ถ้ามีแคลเซียมปริมาณมากเกินไป ดังนั้นสัตว์จึงต้องพยายามขับแคลเซียมออกจากเลือดไปสู่อวัยวะอื่นๆ เพื่อลดความเข้มข้นลง เช่น midgut gland, hepatopancreas และเก็บสะสมเอาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นเมื่อปูทะเลเข้าสู่ระยะ D_3 (ระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย ; late premolt stage) ก็จะดึงแคลเซียมเหล่านั้นออกมาใช้สำหรับเป็นโครงสร้างของเปลือกใหม่ที่จะสร้างเป็นเปลือกต่อไป ดังการอธิบายถึงการแพร่กระจายของแคลเซียมในร่างกายสัตว์นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะอยู่ในน้ำภายนอกในร่างกายนั่นเอง ซึ่งจัดเป็นแหล่งแคลเซียมหลักสำหรับสัตว์น้ำที่จะดึงไปสะสมที่เปลือก (Travis, 1953, Dall, 1965 อ้างโดย Price Sheets and Dendinger, 1983) โดยแคลเซียมจะเข้าสู่ตัวปูโดยผ่านทางเหงือกและเก็บรักษาเอาไว้ในเลือด (Flemister, 1958, Dall, 1965 อ้างโดย Price Sheets and Dendinger, 1983) ดังนั้นเลือดจึงเป็นแหล่งของแคลเซียมส่วนที่ 2 จากนั้นส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ในเลือด โดยเฉพาะแคลเซียม จะถูกดึงจากเลือดด้วยกลไกแบบใช้พลังงาน (active transport) เข้าสู่ hypodermal cells และนำไปเก็บในเปลือกซึ่งจัดเป็นส่วนที่ 3 ต่อไป (Drach, 1939, Travis, 1955, Waterman, 1960, Haefner, 1964 อ้างโดย Price Sheets and Dendinger, 1983) สำหรับแหล่งของแคลเซียมส่วนที่ 4 ก็คือ midgut gland ซึ่งจะเป็นส่วนที่เก็บสะสมแคลเซียมในช่วงระยะก่อนลอกคราบ (Glynn, 1968) จึงจัดเป็นแหล่งแคลเซียมสำรองที่จะจ่ายให้แก่เปลือกโดยผ่านทางเลือดในช่วงเวลาที่เหมาะสม คือช่วงระยะหลังลอกคราบ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของแคลเซียมจากน้ำภายนอกเข้าสู่เปลือกสัตว์ จึงขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของส่วนต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น และความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดที่ความเค็มน้ำแตกต่างกันก็จะได้รับผลกระทบจากปริมาณการสะสมในเปลือกเป็นส่วนสำคัญ

มีหลักฐานจากงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ carbonic anhydrase จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นใน epidermis ครีستเคเรียนที่อยู่ในน้ำความเค็มต่ำ หรือที่อยู่ในระยะก่อนลอกคราบตอนปลายและระยะหลังลอกคราบ (Henry and Kormanik, 1985) เพราะว่าเอนไซม์นี้มีบทบาทสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของแคลเซียมเพื่อการสร้างเปลือก นอกจากนี้การที่เลือดปูทะเลที่น้ำความเค็มต่ำมีปริมาณแคลเซียมในเลือดต่ำ ก็อาจจะมีสาเหตุมาจากการที่น้ำภายนอกมีความเค็มต่ำจะทำให้ระดับ pH ในเลือดสูงขึ้น ผลที่ตามมาคือแร่ธาตุที่มีประจุลบและบวกจะมีโอกาสจับตัวกันและตกตะกอน (precipitation) ได้มากขึ้น ซึ่งเป็นการรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบเพื่อทำการสร้างเปลือกใหม่ เพราะเป็นช่วงที่ปูเข้าสู่ระยะก่อนลอกคราบ (premolting, D_1) ปัจจุบันกล่าวเป็นการเอื้ออำนวยต่อการสร้างเปลือกใหม่ เพราะการสร้างเปลือกของครีستเคเรียนโดยทั่วไปจะเป็นไปได้ดีในสภาวะที่ของเหลวในร่างกาย โดยเฉพาะเลือดมีสภาวะเป็นด่างเล็กน้อย โดยการนำเอาโปรตีน – คาร์โบไฮเดรตไปใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ (sclerotization) ที่ยังคงเป็นชั้นของ epicuticle ในระยะ D_1 และจะมีการนำ

สารอินทรีย์ดังกล่าวมาทำการสร้างเปลือกพร้อมกับแคลเซียมคาร์บอเนตต่อไป (calcification) ในระยะก่อนลอกคราบตอนปลาย (stage D₂-D₃) (Pratoomchat *et al.*, 2002a) จากสภาพดังกล่าวนี้ แคลเซียมอาจจะจับตัวกับโปรตีนหรือสารอื่นๆ ที่มีประจุลบในเลือด ดังเช่นที่พบในปู *G. lateralis* มีแคลเซียมทั้งหมดในเลือด 22 mmol แต่พบว่าเป็นแคลเซียมที่จับตัวอยู่กับโปรตีนถึง 13.4 mmol (Skinner *et al.*, 1965 อ้างโดย Mantel and Farmer, 1983) รวมทั้งที่พบในครัสเตเชียนชนิดอื่นๆ เช่น *E. asiatica*, crayfish *A. pallipes*, *O. limusus* (Sitaramaiah and Krishnan, 1966, Greenaway, 1972, Andrews, 1976 อ้างโดย Mantel and Farmer, 1983) และแคลเซียมที่เกิดพันธะกับสารอื่นนี้จะถูกดึงเข้าสู่คิวติเคิลหรือตกตะกอนชั่วคราว ส่งผลให้ระดับแคลเซียมในเลือดที่น้ำความเค็มต่ำมีปริมาณลดน้อยลงก็เป็นได้ และถ้าเหตุการณ์เป็นอย่างนี้จริง ที่ระดับความเค็มต่ำอาจจะช่วยกระตุ้นให้สัตว์มีการสร้างเปลือกใหม่ได้ดีกว่า ส่งผลให้มีการลอกคราบเร็วกว่าที่ความเค็มน้ำสูง เหตุการณ์นี้พบได้ในปูทะเล *S. serrata* ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ (5 ppt) ใช้เวลาในการลอกคราบสั้นกว่าปูทะเลที่เลี้ยงในน้ำความเค็มสูง (25 และ 32 ppt) (บุญรัตน์, 2546)

ในบางกรณีความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดสัตว์ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มน้ำสูงเกินระดับที่เหมาะสมของสัตว์ชนิดนั้น อาจจะมีค่าต่ำกว่าระดับความเค็มน้ำที่ต่ำกว่าหรือเหมาะสม อาจเนื่องมาจากสัตว์ที่อาศัยในน้ำความเค็มสูง แคลเซียมจากน้ำภายนอกมีโอกาสมแพร่เข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากตามความเค็มน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังพบในปู *C. sapidus*, กุ้ง *Metapenaeus* sp. (Travis, 1953, Flemister, 1958, Dall, 1965 อ้างโดย Price Sheets and Dendinger, 1983) แต่สัตว์จำเป็นต้องพยายามปรับสมดุลแคลเซียมไม่ให้สูงเกินไปในระบบเลือดเพื่อไม่ให้ร่างกายไม่ได้รับอันตราย จึงพยายามขับแคลเซียมออกจากร่างกาย

ฟิสิกส์

โดยทั่วไปแล้ว pH ของเลือดกุ้งมีค่าประมาณ 8.2 หากน้ำภายนอกเป็นกรด คาดว่าน่าจะมีผลทำให้เลือดปูมีสภาพเป็นกรดด้วย ขบวนการที่ก่อให้เกิดสภาพความเป็นกรดอ่อน ๆ ในระบบเลือดไม่ใช่เพียงแค่นี้ แต่อาจจะมีผลมาจากสภาพที่ขาดออกซิเจนที่ละลายน้ำหรือมีปริมาณลดลง (respiratory acidosis) หรือในกรณีมีกุ้งมีการเคลื่อนไหวมากเกินไปซึ่งต้องใช้พลังงานมากทำให้เกิดสภาวะเป็นกรดได้เช่นเดียวกัน (metabolic acidosis) ได้ ซึ่งสภาพเป็นกรดจะมีผลต่อการละลายแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกเก่ามาอยู่ในรูปของ Ca^{2+} และ HCO_3^- จึงทำให้มีปริมาณ Ca^{2+} และ HCO_3^- ในเลือดสูงขึ้น (Machado *et al.*, 1988) ไม่เพียงแต่ Ca^{2+} และ HCO_3^- ยังมีสารอินทรีย์และสารอินทรีย์อื่น ๆ ละลายเข้าสู่กระแสเลือดด้วย เพื่อมาสร้างสภาวะสมดุลในระบบเลือดให้เป็นกลาง จึงมีผลทำให้เกิดขบวนการ

decalcification เร็วขึ้น หมายความว่าน่าจะส่งผลให้กุ้งรับรู้ถึงความพร้อมในการลอกคราบเร็วขึ้น ขณะที่น่าจะให้ผลในทางตรงกันข้ามหากน้ำภายนอกมีสภาพเป็นด่าง

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งของสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของ crustacean เนื่องจากถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นหรือลดต่ำกว่าเดิมจะมีผลทำให้การทำงานของสรีรวิทยาต่าง ๆ ของร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Kinne, 1964 อ้างโดย อรุณี, 2544) ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption) เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันอัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง (จารุวัฒน์ และสมนึก, 2532) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Allan *et al.* (2006) ที่พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการบริโภคออกซิเจนของกุ้งก้ามกราม *Palaemon peringueyi* สูงขึ้นด้วย และ Rutledge and Pritchard (1981) พบว่ากุ้งเครฟิชน้ำจืด *Pacifastacus leniusculus* มีอัตราการบริโภคออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20°C เท่ากับ $117 \mu\text{mol}\cdot\text{O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 8°C มีอัตราการบริโภคออกซิเจนเหลือเพียง $61 \mu\text{mol}\cdot\text{O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการละลายของก๊าซแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิต่ำจะทำให้การละลายของก๊าซสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความดันก๊าซ (ΔP) เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อ crustacean เมื่ออยู่ในน้ำอุณหภูมิต่ำและมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (D.O.) สูง ก๊าซออกซิเจนจะเป็นตัวแพร่ผ่านเนื้อเยื่อสำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ตามหลักการแพร่ ทำให้ crustacean ไม่ต้องใช้พลังงานในการหายใจ ส่งผลให้อัตราเมตาบอลิซึมของ crustacean ต่ำลงไปด้วย (McMahon and Wilkens, 1983) Mantel and Farmer (1983) กล่าวว่า ความสามารถในการบริโภคออกซิเจนมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม โดยมีการชดเชยพลังงานเมตาบอลิซึมไปสู่สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (Rutledge, 1981 อ้างโดย Mantel and Farmer, 1983) แสดงถึงอัตราเมตาบอลิซึมที่ใช้ออกซิเจนของกุ้งเครฟิชน้ำจืด *P. leniusculus* จะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 20°C เท่ากับ $117 \mu\text{mol}\cdot\text{O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ โดยเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่าจากอัตราเมตาบอลิซึมปกติ และจะลดลงหลังจากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ $77 \mu\text{mol}\cdot\text{O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ หรือเพิ่มเป็น 3 เท่า ที่อุณหภูมิ 30°C

อุณหภูมิมีผลต่อออสโมติก (osmotic) และสมดุลไอออน (ionic regulation) โดยที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ระบบสมดุลดีกว่าอุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามสัตว์ในเขตร้อนก็จะรักษาสมดุลเกลือแร่ได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงในทางตรงกันข้ามสัตว์เขตหนาวก็จะรักษาสมดุลเกลือแร่ได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ ความเข้มข้นของโซเดียม ในเลือดมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับอุณหภูมิ คือ สัตว์เขตหนาวจะมีความเข้มข้นของโซเดียมสูงขณะที่สัตว์เขตร้อนจะมีความเข้มข้นของโซเดียมต่ำ ซึ่งความแตกต่างของ

อุณหภูมิยังมีผลต่อการรับหรือสูญเสียไอออนอีกด้วย ในปู *Callinectes sapidus* พบว่าอุณหภูมิไม่ได้มีผลต่อสมดุลไอออนเพียงอย่างเดียวแต่รวมไปถึงความเค็มด้วย ที่ความเค็มต่ำ (15 ppt) ความเข้มข้นของโซเดียมและคลอไรด์จะสูงที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามในน้ำทะเลความเข้มข้นของโซเดียมและคลอไรด์จะสูงที่อุณหภูมิสูง (Mantel and Farmer, 1983 อ้างถึง Engel *et al.*, 1974) อุณหภูมิต่ำนั้นจะทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมต่ำลง และอัตราการย่อยก็จะต่ำลงไปด้วย ซึ่งรวมไปถึงกระบวนการขับถ่ายของเสียก็จะน้อยลงไปด้วย (Babu and Marian, 1998)

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 การทดสอบการแข็งตัวของเปลือก การปรากฏของสปีบนกระดอง ขนาดที่เพิ่มขึ้น ของปูม้าและปูทะเลหลังลอกคราบ ภายใต้สภาพการเลี้ยงที่ความเค็มน้ำ 3 ระดับ

วิธีการทดลอง

ก) ใช้ปูเพศผู้และเพศเมีย โดยขนาดของปูม้ากำหนดโดยความกว้างของกระดอง (external carapace width) 3 ขนาด คือ 71-80, 81-90, และ 91-100 มิลลิเมตร และขนาดของปูทะเล 3 ขนาด คือ 65-72, 73-80, และ 81-87 มิลลิเมตร

ข) ทำการเลี้ยงปูทะเลเพศผู้ ภายใต้ ความเค็มน้ำ 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 ppt ในบ่อคอนกรีต (ภาพที่ 1)

ค) ให้ปลาข้างเหลืองหันเป็นชิ้น เป็นอาหาร (ภาพที่ 2) วันละ 2 ครั้ง ในเวลาเช้าและเวลาเย็น ประมาณวันละ 10-20% ของน้ำหนักปู อย่างไรก็ตามก็ทำการปรับให้ตามความเหมาะสม โดยจะให้ในเวลาเช้าน้อยกว่าเวลาเย็น อย่างไรก็ตามก็การให้อาหารแก่ปูระยะใกล้ลอกคราบ (stage D1-D3) จะทำการปรับลดลงตามสัดส่วน ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 80 % ทุกวัน หรือตามความเหมาะสม

ง) นำปูมาทำการตรวจสอบระยะการลอกคราบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ตามวิธีการของ Pratoomchat *et al.* (2002a) หากพบว่าปูเข้าสู่ระยะสุดท้าย (stage D4, late premolt stage) จะทำการแยกปูเลี้ยงเดี่ยวในตะกร้าขนาด 20x20x20 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อลดปัญหาการกัดกินกันเอง (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 1 บ่อซีเมนต์ขนาด 1ม. x 5ม. x 1ม.



ภาพที่ 2 ปลาข้างเหลือง



ภาพที่ 3 ตะกร้าเลี้ยงปูม้าระยะลอกคราบ D3-D4

จ) ทำการเฝ้าระวังจนกว่าปูจะลอกคราบ เมื่อพบว่าปูมีการลอกคราบ การตรวจสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นจะเริ่มดำเนินการเมื่อปูถอดออกจากคราบสมบูรณ์เท่านั้น

ฉ) การตรวจสอบภายหลังลอกคราบ

ฉ.1) หลังจากปูลอกคราบ จะทำการตรวจสอบการแข็งตัวของเปลือกและความสามารถในการปรากฏของสปีบนกระดอง ทุก ๆ 10 นาที ภายใต้สภาวะปกติที่เลี้ยง โดยมีดัชนีการตรวจสอบการแข็งตัวของเปลือกมี 6 ระดับ และความสากมี 6 ระดับ ด้วยประสาทสัมผัส (สัมผัสด้วยมือ) ทำการ

บันทึกเวลา การปรากฏของสปีบนกระดอง โดยใช้ผู้ตรวจสอบจำนวน 6 คน ที่ผ่านการฝึกทดสอบมาเป็น
อย่างดีแล้ว รายละเอียดดังข้างล่าง

ระดับ	ความแข็งตัวของเปลือก	ความสากของเปลือก
1	นิ่มมาก	ลื่น สากต่ำมาก
2	นิ่ม	ลื่นปานกลาง สากต่ำ
3	นิ่มปานกลาง	ไม่ลื่น สาก
4	กระด้างเล็กน้อย	ไม่ลื่น สากปานกลาง
5	กระด้างปานกลาง	ไม่ลื่น สากมาก
6	กระด้างมาก	ไม่ลื่น สากมากที่สุด

ฉ.2) ขนาดที่เพิ่มขึ้น ทั้งความกว้างของกระดองและน้ำหนักตัว จะทำการตรวจสอบ
เมื่อผ่านการลอกคราบไปแล้วครบ 20 นาที

ช) การตรวจสอบระดับความนิ่มของเปลือกปูม้าและปูทะเลด้วยเครื่อง Texture Analyzer เพื่อ
หาค่ามาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ และตรวจสอบความแม่นยำของการตรวจสอบด้วยประสาทสัมผัส

ซ) การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างเปลือกและปริมาณแร่ธาตุที่ระดับคุณภาพต่าง ๆ ของปู
นิ่มทั้ง 2 ชนิด ด้วย Electron Microscopy และ Energy Dispersive System เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้
อธิบายการเปลี่ยนแปลงของระดับคุณภาพปูนิ่ม

ฌ) ออสโมลาลิตีและความเข้มข้นของแร่ธาตุหลักของของเหลวภายในร่างกายปูทั้ง 2 ชนิด
ภายหลังลอกคราบที่ความเต็ม 3 ระดับ โดยทำการตรวจสอบภายในเวลา 30 นาที (ระดับคุณภาพที่ 3)
ในปูม้าและทำการตรวจสอบภายในเวลา 240 นาที (ระดับคุณภาพที่ 5) ในปูทะเล เพื่อทำการตรวจสอบ
คุณสมบัติทางเคมีภายในร่างกายภายใต้ความเต็มต่างกันของการผลิตปูนิ่ม จะเข้าใจถึงกลไกในการ
ควบคุมระดับสมดุลเกลือแร่ภายในร่างกาย ซึ่งอาจสะท้อนถึงคุณภาพปูนิ่มได้ในเชิงรสชาติ และเพื่อ
กำหนดความเต็มในการเลี้ยงปูนิ่ม

การทดลองที่ 2 การชะลอกการสร้างเปลือกของปูหลังลอกคราบ

ก) ใช้ปูเพศผู้และเพศเมีย โดยขนาดของปูม้ากำหนดโดยความกว้างของกระดอง (external
carapace width) 3 ขนาด คือ 71-80, 81-90, และ 91-100 มิลลิเมตร และขนาดของปูทะเล 3 ขนาด คือ
65-72, 73-80, และ 81-87 มิลลิเมตร

ข) นำปูทั้ง 2 ชนิดมาเลี้ยงในน้ำความเค็ม 10 ppt จนกว่าปูจะลอกคราบ วิธีการเลี้ยงดำเนินการเหมือนกับการทดลองที่ 1 ข้อ ข ถึง ข้อ จ

ค) เมื่อปูลอกคราบจึงนำมาชะลอกการสร้างเปลือกในน้ำความเค็ม 5 ppt สำหรับปูม้า และในน้ำจืดสำหรับปูทะเล โดยร่วมกับการลดอุณหภูมิน้ำเหลือ 15°C และ 28°C (ควบคุม) การปรับ pH 6 และ pH 8 (ควบคุม) การใช้ Ozone (0.001 ppm/min) และไม่ใช้ Ozone (ควบคุม)

***การกำหนดระดับความเค็ม pH อุณหภูมิ และความเข้มข้นของ Ozone ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้ที่มีการทดสอบเบื้องต้นแล้วพบว่าปูม้าไม่สามารถทนได้หากใช้ความเค็มต่ำกว่า 5 ppt ระดับ pH ที่ต่ำกว่า 6 อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 15°C และความเข้มข้นของ Ozone ที่สูงกว่า 0.001 ppm/min ทำให้ปูล้มทั้ง 2 ชนิดตายได้ในเวลาอันสั้น

ง) ดัชนีตรวจสอบ ทำการตรวจสอบเหมือนกับการทดลองที่ 1 ข้อ ฉ

วิธีการประมวลผล/วิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยได้แก่

ความแตกต่างของอัตราการรอดตาย ขนาดที่เพิ่มขึ้น และระยะเวลาที่นานที่สุดในการยอมรับคุณภาพปูใหม่ของปูแต่ละชนิด แปรผันตามเพศและขนาด ค่าออสโมลาลิตี ภายใต้ความเค็ม 3 ระดับ

ความแตกต่างของค่าออสโมลาลิตี และความเข้มข้นของแร่ธาตุหลักในพลาสมาของปูใหม่ทั้ง 2 ชนิด ภายใต้ความเค็ม 3 ระดับ

ความแตกต่างของปริมาณแร่ธาตุในเปลือกปูแต่ละชนิดตามระดับคุณภาพ 6 ระดับ

ความแตกต่างระยะเวลาที่นานที่สุดในการชะลอกการสร้างเปลือกเพื่อการยอมรับคุณภาพปูใหม่ของปูแต่ละชนิด ตามเพศและขนาดหลังจากทำการปรับสภาพตามการลดอุณหภูมิ น้ำ การปรับ pH และการใช้ Ozone

มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ด้วย ANOVA และทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan New's Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของปลีอกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปมูม (P. pelagicus) ของการเลี้ยงที่ความเค็มน้ำ 3 ระดับ

ระดับมาตรฐานของความนึ้มของปลีอก กำหนดไว้ที่ระดับที่ 4 และระดับมาตรฐานของความสากของปลีอกกำหนดไว้ที่ระดับที่ 5

โดยผลรวมของความนึ้มรวมกับความสากคำนวณจากสมการข้างล่าง

$$\text{ระยะเวลาของความนึ้มของปลีอกระดับที่ } 1-6 (x 0.7) + \text{ระยะเวลาของความสากของปลีอกระดับที่ } 1-6 (x 0.3)$$

กล่าวคือการกำหนดสัดส่วนนี้ได้มาจากการตัดสินใจระหว่างที่ทำการศึกษาเบื้องต้นมาหลายครั้งที่พบว่าความสำคัญต่อความนึ้มปลีอกปมูมเป็นปัจจัยจำกัดที่มีความสำคัญมากกว่าความสากในการกำหนดคุณภาพปมูมในภาพรวม

เพศ

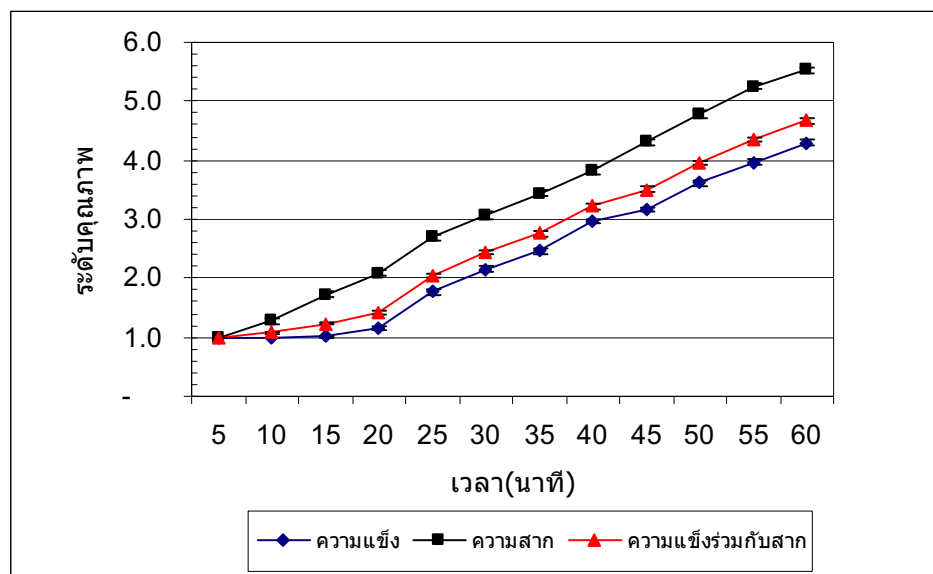
เพศไม่มีผลต่อเวลาที่นานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปมูมภายหลังการลอกคราบ ($p > 0.05$) ระยะเวลาที่ปูทั้ง 2 เพศ ยอมรับได้ในภาพรวมทั้งความนึ้มและความสากประมาณ 43-44 นาที ภายหลังลอกคราบ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 4) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของขนาดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของปลีอกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปมูมและ การเพิ่มขึ้นของขนาดปมูม (P. pelagicus) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างเพศ

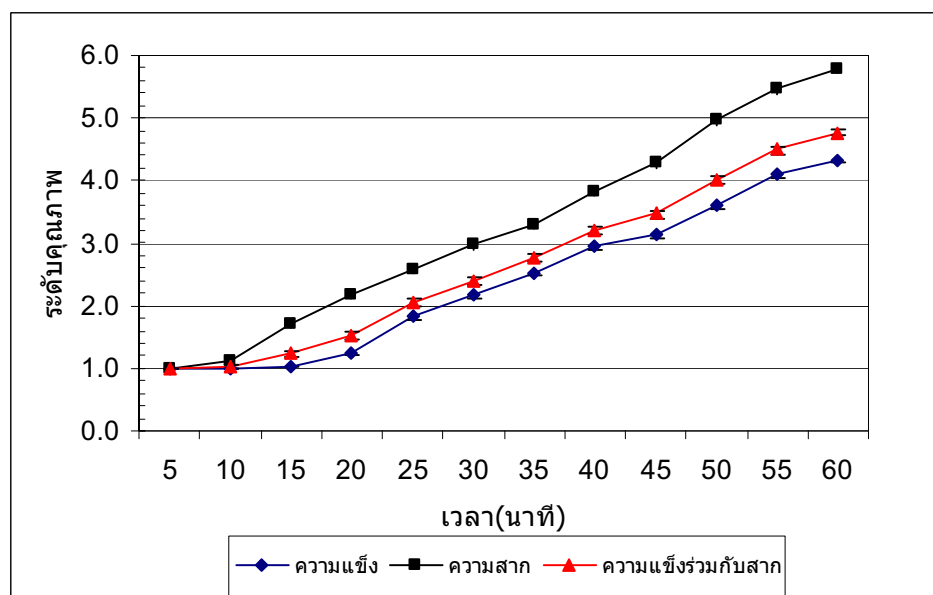
เพศ	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปมูม (นาที)			% น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	% ความกว้างกระดองที่เพิ่มขึ้น
	ผลรวมของความนึ้มรวมกับความสาก	ความนึ้มของปลีอก	ความสากของปลีอก		
ผู้	43.7 (0.6)	45.7 (0.5)	44.5 (0.6)	28.9 (1.4)	14.4 (0.5)
เมีย	43.3 (0.5)	46.6 (0.5)	44.3 (0.5)	30.7 (1.2)	14.4 (0.5)

หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=100-120



พืชผู้



พืชเมีย

ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูม้าน้ำแยกตามเพศ

ขนาด

ปูม้าขนาดใหญ่มีระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าใหม่ภายหลังการลอกคราบ ทั้งความนิยมของเปลือกและความสาก ซึ่งใช้เวลาประมาณ 47 นาที และผลรวมของการยอมรับคุณภาพความเป็นปูม้าใหม่ภายหลังลอกคราบ ใช้เวลา 45 นาที (ตารางที่ 2 และภาพที่ 5) สูงมากกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ % น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปูขนาดเล็กและขนาดกลางจะมีมากกว่าปูม้าขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ % การเพิ่มความกว้างของกระดองของปูม้าขนาดเล็กมีมากกว่าปูม้าขนาดกลางและขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

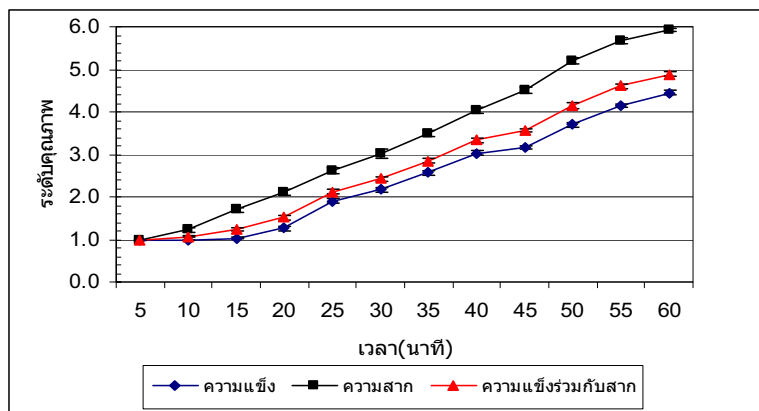
ตารางที่ 2 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าใหม่และการเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (*P. pelagicus*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างขนาด

ขนาดปู	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าใหม่ (นาที)			% น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	% ความกว้างกระดองที่เพิ่มขึ้น
	ผลรวมของความนิยม ร่วมกับความสาก	ความนิยมของ เปลือก	ความสากของ เปลือก		
เล็ก	41.7 (0.5) ^c	45.1 (0.6) ^b	41.7 (0.5) ^c	35.8 (1.4) ^a	17.8 (0.7) ^a
กลาง	43.7 (0.6) ^b	46.6 (0.7) ^{ab}	44.8 (0.7) ^b	33.8 (1.4) ^a	13.5 (0.5) ^b
ใหญ่	45.3 (0.6) ^a	46.9 (0.7) ^a	46.9 (0.7) ^a	20.0 (0.9) ^b	11.4 (0.5) ^c

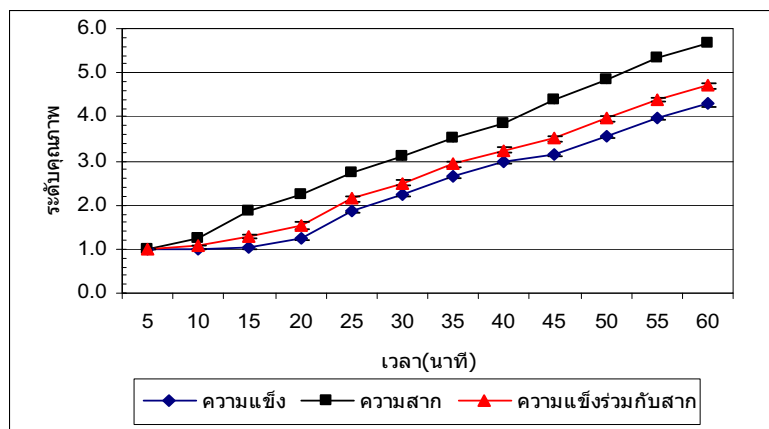
หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=50-60

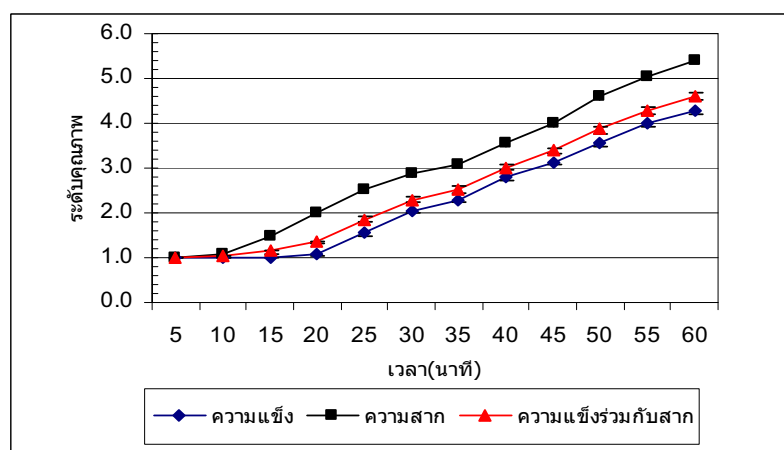
อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ขนาดเล็ก



ขนาดกลาง



ขนาดใหญ่

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือยของปูน้ำจืดแยกตามขนาด

ความเค็มน้ำ

ปูม้าที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 10 ppt มีระยะเวลานานที่สุดสำหรับการรักษาสภาพความสาของเปลือกที่ยอมรับได้ โดยมีค่าสูงกว่ากลุ่มปูม้าที่เลี้ยงในความเค็ม 30 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และผลรวมของการยอมรับคุณภาพความเป็นปูนึ่งภายหลังลอกคราบมีค่านานมากกว่ากลุ่มปูม้าที่เลี้ยงในความเค็ม 20 ppt และ 30 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 6)

ขณะที่ % น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปูม้าที่เลี้ยงในความเค็ม 20 ppt และ 30 ppt มีค่าสูงกว่าปูม้าที่เลี้ยงในความเค็ม 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ % การเพิ่มของความกว้างกระดองปูม้าที่เลี้ยงในความเค็ม 20 ppt มีค่าสูงกว่าปูที่เลี้ยงในความเค็ม 10 ppt และ 30 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3)

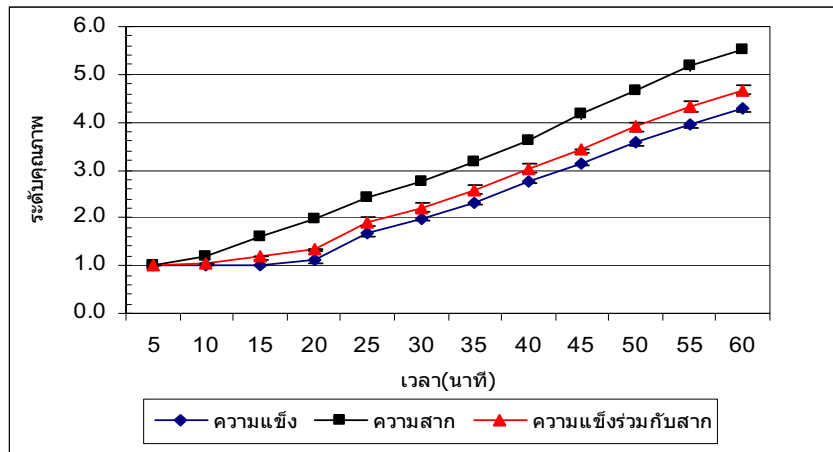
ตารางที่ 3 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าและ การเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (*P. pelagicus*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบตามความเค็มน้ำ

ความ เค็มน้ำ (ppt)	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้า (นาท)			% น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น	% ความกว้าง กระดองที่ เพิ่มขึ้น
	ผลรวมของความนึ่ง ร่วมกับความสา	ความนึ่งของ เปลือก	ความสาของ เปลือก		
10	45.1 (0.7) ^a	47.1 (0.7) ^a	46.1 (0.8) ^a	27.4 (1.3) ^b	13.8 (0.8) ^b
20	43.3 (0.6) ^b	45.9 (0.6) ^a	44.5 (0.7) ^{ab}	30.2 (1.7) ^a	15.9 (0.6) ^a
30	42.4 (0.6) ^b	45.7 (0.7) ^a	42.8 (0.6) ^b	31.4 (1.6) ^a	13.3 (0.6) ^b

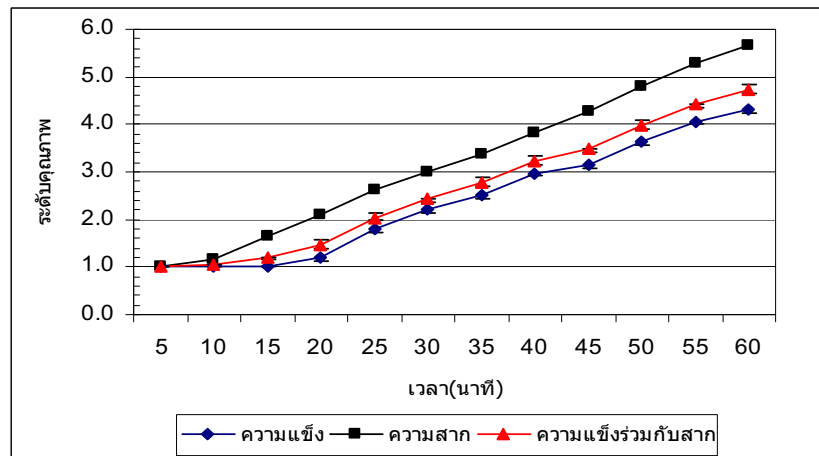
หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=55-60

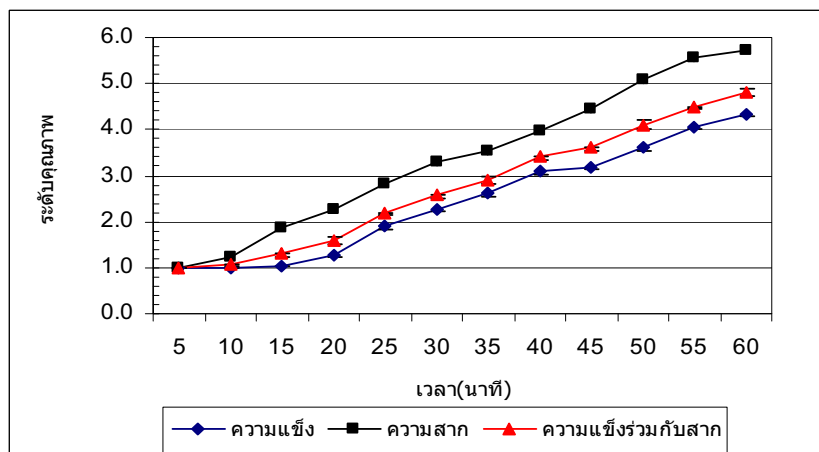
อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ความเค็มน้ำ 10 ppt



ความเค็มน้ำ 20 ppt



ความเค็มน้ำ 30 ppt

ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูม้าในน้ำแยกตามขนาด

ความเค็มน้ำร่วมกับเพศปูม้า

ความเค็มน้ำร่วมกับเพศปูม้าไม่มีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการรักษาสภาพความสาก และผลรวมของการความนึ่งร่วมกับความสาก และ%การเพิ่มขนาดและน้ำหนักของปูม้า แต่อย่างใด ทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้านึ่งและ การเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (*P. pelagicus*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างเพศร่วมกับ ความเค็ม

ความเค็มน้ำ (ppt)	เพศ	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้านึ่ง (นาท)			%น้ำหนัก ที่เพิ่มขึ้น	% ความกว้าง กระดองที่ เพิ่มขึ้น
		ผลรวมของ ความนึ่ง ร่วมกับความ สาก	ความนึ่งของ เปลือก	ความสากของ เปลือก		
10	ผู้	46.0 (1.3)	47.9 (1.1)	46.6 (1.5)	28.8 (1.7)	14.3 (1.1)
	เมีย	44.5 (0.8)	46.5 (0.9)	45.9 (1.0)	26.5 (1.7)	13.5 (1.0)
20	ผู้	43.3 (0.9)	45.1 (0.8)	44.8 (1.0)	27.9 (2.5)	15.8 (0.9)
	เมีย	43.3 (0.8)	46.7 (0.8)	44.2 (0.9)	32.5 (2.3)	16.0 (0.9)
30	ผู้	42.7 (0.8)	44.8 (0.9)	42.8 (0.8)	29.9 (2.4)	13.0 (0.8)
	เมีย	42.2 (0.8)	46.5 (1.0)	42.8 (0.8)	32.9 (2.1)	13.6 (0.9)

หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=20-30

ความเค็มน้ำร่วมกับขนาดปุ๋ย

ความเค็มน้ำและขนาดปุ๋ยมีอิทธิพลร่วมกันชัดเจนว่า ปุ๋ยขนาดใหญ่ขึ้นร่วมกับความเค็มน้ำที่ลดลงจะมีผลทำให้มีระยะเวลายาวนานขึ้นสำหรับการรักษาสภาพความสด และผลรวมของความชื้นและความสดของเปลือกปุ๋ยหลังลอกคราบ กล่าวคือปุ๋ยขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 10 ppt และปุ๋ยขนาดใหญ่ในความเค็ม 20 ppt จะมีระยะเวลาการรักษาสภาพความสด และผลรวมของความชื้นและความสดของเปลือก นานกว่าปุ๋ยขนาดเล็กที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 10, 20 และ 30 ppt และปุ๋ยขนาดกลางในความเค็ม 20 และ 30 ppt ปุ๋ยขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 30 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ไม่มีผลต่อระยะเวลานานสุดที่คงคุณภาพความชื้นเปลือก โดย %การเพิ่มขนาดและน้ำหนักของปุ๋ยมีอิทธิพลหลักมาจากขนาดของปุ๋ย (ตารางที่ 5 และภาพที่ 7)

ความเค็มน้ำร่วมกับเพศและขนาดปุ๋ย

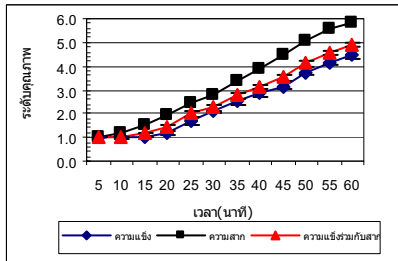
การรักษาสภาพความชื้น ความสด และผลรวมของความชื้นและความสดของเปลือกปุ๋ยหลังลอกคราบ มีอิทธิพลหลักมาจากความเค็มน้ำและขนาดปุ๋ย ขณะที่เพศไม่เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปรากฏการณ์ดังกล่าว กล่าวคือปุ๋ยขนาดขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 10 ppt จะมีระยะเวลาคงสภาพคุณลักษณะข้างต้นนานที่สุด โดย %การเพิ่มขนาดและน้ำหนักของปุ๋ยมีอิทธิพลหลักมาจากขนาดของปุ๋ย กล่าวคือปุ๋ยขนาดเล็กจะมีอัตราการเพิ่มขนาดสูงสุด (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 เวลารานที่สูงสุดของลักษณะทางกายภาพของปล็อกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าและ
การเพิ่มขึ้นขนาดปูม้า (*P. pelagicus*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบตามขนาดและความเค็ม

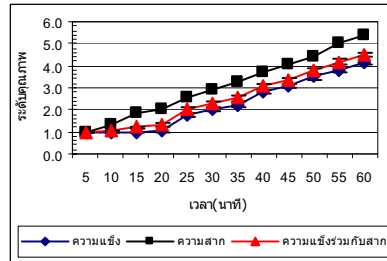
ความเค็มน้ำ (ppt)	ขนาด	เวลารานที่สูงสุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้า (นาที)			%น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น	% ความกว้าง กระดองที่ เพิ่มขึ้น
		ผลรวมของความ นุ่มร่วมกับ ความสาก	ความนุ่ม ของปล็อก	ความสากของ ปล็อก		
10	เล็ก	42.4 (1.0) ^{cd}	45.5 (0.9) ^a	42.4 (1.0) ^{bc}	32.9 (2.1) ^{ab}	18.1 (0.9) ^a
	กลาง	46.2 (1.2) ^{ab}	48.2 (1.1) ^a	47.9 (1.0) ^a	27.8 (1.8) ^b	12.1 (0.5) ^{cd}
	ใหญ่	47.9 (1.3) ^a	47.9 (1.8) ^a	49.6 (1.9) ^a	18.5 (1.7) ^c	9.6 (0.6) ^d
20	เล็ก	42.2 (1.0) ^{cd}	45.5 (0.9) ^a	42.0 (0.9) ^{bc}	37.3 (2.8) ^a	18.4 (1.2) ^a
	กลาง	42.2 (1.0) ^{cd}	45.5 (1.2) ^a	44.0 (1.1) ^{bc}	36.8 (1.9) ^a	15.7 (1.0) ^{ab}
	ใหญ่	45.5 (0.9) ^{ab}	46.7 (0.9) ^a	47.5 (1.1) ^a	16.5 (1.2) ^c	13.5 (0.7) ^{bc}
30	เล็ก	40.5 (0.9) ^d	44.2 (1.2) ^a	40.7 (0.9) ^c	37.3 (2.6) ^a	17.0 (1.1) ^a
	กลาง	43.1 (1.1) ^{cd}	46.7 (1.3) ^a	43.5 (1.1) ^{bc}	35.0 (2.8) ^a	12.3 (0.7) ^{cd}
	ใหญ่	43.0 (0.9) ^{cd}	46.0 (1.0) ^a	44.2 (0.9) ^b	21.8 (1.5) ^c	10.6 (0.8) ^{cd}

หมายเหตุ Mean (S.E.) N=15-20

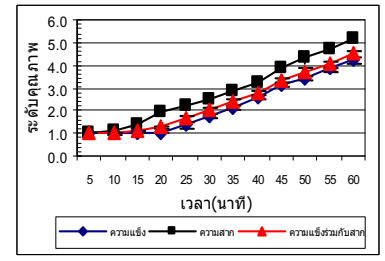
อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ขนาดเล็ก

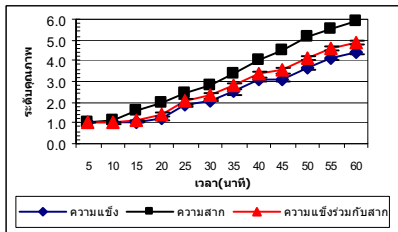


ขนาดกลาง

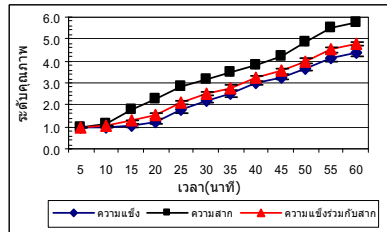


ขนาดใหญ่

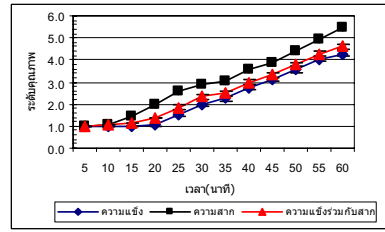
ความเค็มน้ำ 10 ppt



ขนาดเล็ก

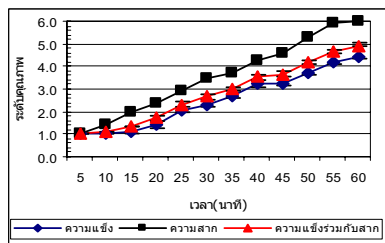


ขนาดกลาง

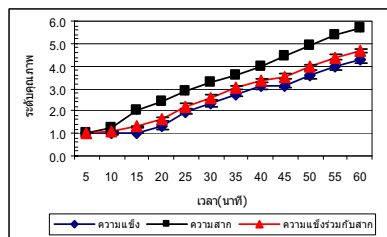


ขนาดใหญ่

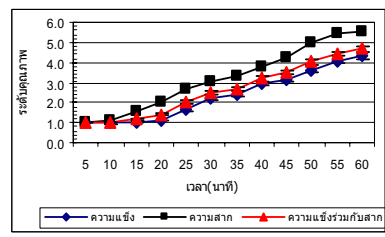
ความเค็มน้ำ 20 ppt



ขนาดเล็ก



ขนาดกลาง



ขนาดใหญ่

ความเค็มน้ำ 30 ppt

ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูน้ำจืดตามขนาดที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ

ตารางที่ 6 เวลนานที่สูงสุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูม้าเนื้อและ
การเพิ่มขึ้นของขนาดปูม้า (*P. pelagicus*) ภายหลังลอกคราบ โดยมีปัจจัยด้านเพศ และขนาด
ปูม้าที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ

ความ เค็มน้ำ (ppt)	เพศ	ขนาด	เวลนานที่สูงสุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าเนื้อ (นาที)			% น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น	% ความกว้าง กระดองที่เพิ่มขึ้น
			ผลรวมของความ นี้รวมกับความ ซาก	ความนิ่มของ เปลือก	ความสากของ เปลือก		
10	ผู้	เล็ก	42.5 (1.3) ^{cd}	45.5 (1.4) ^b	42.5 (1.4) ^{def}	30.8 (2.1) ^{bcde}	16.9 (1.6) ^{abcd}
		กลาง	48.3 (1.7) ^b	49.2 (1.5) ^{ab}	48.3 (1.7) ^{bc}	28.0 (3.7) ^{def}	12.7 (0.9) ^{defgh}
		ใหญ่	53.3 (1.7) ^a	53.3 (1.7) ^a	56.7 (1.7) ^a	24.0 (3.8) ^{efg}	9.0 (0.6) ^h
	เมีย	เล็ก	42.2 (1.4) ^{cd}	45.5 (1.3) ^b	42.2 (1.5) ^{def}	34.8 (2.1) ^{bcd}	19.3 (2.2) ^{ab}
		กลาง	44.0 (1.2) ^{bcd}	47.0 (1.5) ^b	47.0 (1.3) ^{bcd}	28.5 (2.1) ^{cdef}	12.1 (0.6) ^{efgh}
		ใหญ่	47.0 (1.3) ^{bc}	47.0 (2.0) ^b	48.0 (1.8) ^{bc}	17.0 (1.5) ^{gh}	9.6 (0.8) ^h
20	ผู้	เล็ก	42.0 (1.1) ^d	45.0 (1.3) ^b	42.0 (1.1) ^{def}	31.1 (3.4) ^{bcde}	17.0 (1.6) ^{abcd}
		กลาง	41.0 (1.6) ^d	43.5 (1.8) ^b	42.0 (1.5) ^{def}	39.3 (2.9) ^{ab}	16.7 (1.6) ^{abcde}
		ใหญ่	47.0 (1.1) ^{bc}	47.0 (1.1) ^b	50.5 (1.4) ^b	13.3 (1.4) ^h	13.7 (1.3) ^{cdefgh}
	เมีย	เล็ก	42.5 (1.7) ^{cd}	46.0 (1.4) ^b	42.0 (1.7) ^{def}	43.5 (3.5) ^a	19.8 (1.6) ^a
		กลาง	43.5 (1.3) ^{bc}	47.5 (1.5) ^b	46.0 (1.4) ^{bcde}	34.2 (2.2) ^{bcd}	14.8 (1.3) ^{bcdefg}
		ใหญ่	44.0 (1.2) ^{bcde}	46.5 (1.5) ^b	44.5 (1.2) ^{cdef}	19.7 (1.4) ^{fgh}	13.4 (0.7) ^{cdefgh}
30	ผู้	เล็ก	41.0 (1.2) ^d	44.5 (1.6) ^b	41.5 (1.2) ^{ef}	31.1 (3.8) ^{bcde}	16.3 (1.6) ^{abcdef}
		กลาง	43.0 (1.7) ^{cd}	44.5 (1.7) ^b	42.0 (1.5) ^{def}	37.8 (4.9) ^{abc}	11.7 (0.9) ^{fgh}
		ใหญ่	44.0 (1.4) ^{bcd}	45.5 (1.4) ^b	45.0 (1.5) ^{cdef}	20.8 (1.8) ^{fgh}	10.9 (1.1) ^{gh}
	เมีย	เล็ก	40.0 (1.3) ^d	44.0 (1.8) ^b	40.0 (1.3) ^f	43.5 (2.2) ^a	17.6 (1.4) ^{abc}
		กลาง	44.5 (1.4) ^{bc}	49.0 (1.6) ^{ab}	45.0 (1.5) ^{cdef}	32.3 (2.7) ^{bcde}	13.0 (1.1) ^{cdefgh}
		ใหญ่	42.0 (1.1) ^d	46.5 (1.5) ^b	43.5 (1.1) ^{cdef}	22.8 (2.4) ^{efg}	10.3 (1.2) ^{gh}

หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=8-10

อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สีเปลือก

สีของเปลือกปูม้าทั้งทั้งเพศผู้และเพศเมีย รวมทุกขนาดที่เลี้ยงในความเค็มน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นตามเวลาภายหลังลอกคราบ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงหลังลอกคราบโดยปูม้าเพศผู้มีสีโทนฟ้าอ่อน ขณะที่เพศเมียจะมีสีโทนส้มแดง (ภาพที่ 8)



เพศผู้

เพศเมีย

ภาพที่ 8 สีของเปลือกปูม้า

การรอดตายระหว่างการเลี้ยง

โดยภาพรวมการรอดตายระหว่างการเลี้ยงของปูม้าทุกระดับความเค็มน้ำไม่แตกต่างกัน (75-80%) แต่ต้องระมัดระวังการลดความเค็มน้ำจาก 15 ppt ลงเหลือ 10 ppt นั้น ต้องลดลงในอัตรา 1 ppt ต่อชั่วโมง ขณะที่การลดความเค็มน้ำจาก 30 ppt ลงเหลือ 15 ppt นั้น สามารถลดได้วันละ 10 ppt โดยลดช่วงเช้า 5 ppt และ ช่วงบ่าย 5 ppt

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเปลือกและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (*S. serrata*) ของการเลี้ยงที่ความเค็มน้ำ 3 ระดับ

ระดับมาตรฐานของความนึ่งของเปลือก กำหนดไว้ที่ระดับที่ 6 และระดับมาตรฐานของความสากของเปลือกกำหนดไว้ที่ระดับที่ 3 และผลรวมของความนึ่งรวมกับความสากกำหนดไว้ที่ระดับที่ 5.4 โดยผลรวมของความนึ่งรวมกับความสากคำนวณจากสมการ

$$(\text{ระยะเวลาของความนึ่งของเปลือกระดับที่ } 1-6 \times 0.8) + (\text{ระยะเวลาของความสากของเปลือกระดับที่ } 1-6 \times 0.2)$$

กล่าวคือผลรวมนี้จะให้ความสำคัญต่อความนึ่งเปลือกมากกว่าความสากในการกำหนดคุณภาพปูทะเลนึ่งในภาพรวม

เพศ

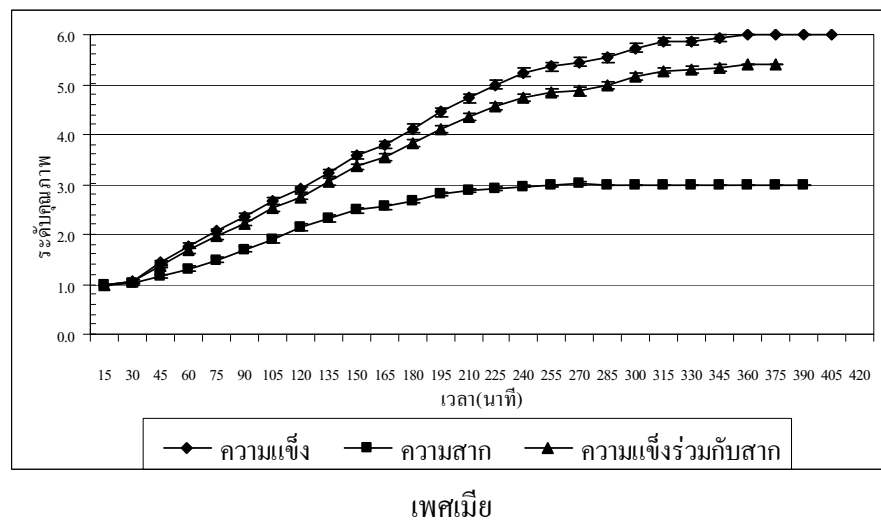
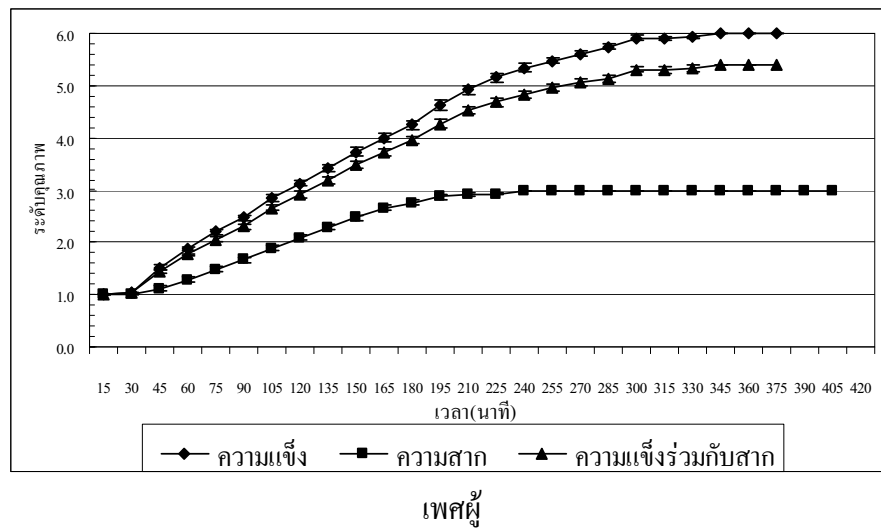
เพศไม่มีผลต่อเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่งภายหลังการลอกคราบ ($p > 0.05$) ระยะเวลาที่ปูทั้ง 2 เพศ ยอมรับได้ในภาพรวมโดยพิจารณาผลรวมของความนึ่งรวมกับความสากประมาณ 270-280 นาที ภายหลังลอกคราบ (ตารางที่ 7 และภาพที่ 9) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของขนาดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อีกด้วย (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลนึ่งและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (*S. serrata*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างเพศ

เพศ	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่ง (นาที)			% น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	% ความกว้าง กระดองที่เพิ่มขึ้น
	ผลรวมของความนึ่ง รวมกับความสาก	ความนึ่งของ เปลือก	ความสากของ เปลือก		
ผู้	273 (4)	279 (4)	282 (4)	16.8 (0.7)	8.1 (0.2)
เมีย	283 (5)	289 (5)	293 (5)	17.5 (0.8)	9.1 (0.2)

หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=90



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลนึ่งแยกตามเพศ

ขนาด

ขนาดเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการยอมรับปูนิ้มภายหลังการลอกคราบ โดยปูทะเลขนาดใหญ่มีระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับปูนิ้มภายหลังการลอกคราบ ทั้งในแง่ของผลรวมของความนิ้มร่วมกับความสาก ความนิ้ม และความสากของเปลือก ซึ่งใช้เวลา 310 นาที สูงกว่าปูทะเลขนาดกลาง และขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 8 และภาพที่ 10)

ในทางตรงกันข้าม %น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และ%ความกว้างของกระดองที่เพิ่มขึ้นของปูทะเลขนาดเล็ก มีมากกว่าขนาดขนาดกลางและขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 8)

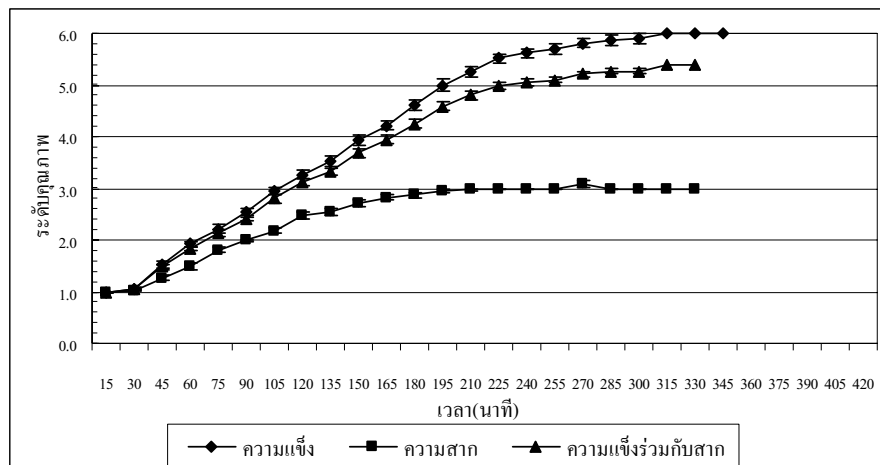
ตารางที่ 8 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลนิ้มและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (*S. serrata*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างขนาด

ขนาดปู	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนิ้ม (นาที)			%น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	% ความกว้างกระดองที่เพิ่มขึ้น
	ผลรวมของความนิ้มร่วมกับความสาก	ความนิ้มของเปลือก	ความสากของเปลือก		
เล็ก	247 (4) ^c	255 (4) ^c	255 (4) ^c	20.5 (1.2) ^a	9.2 (0.3) ^a
กลาง	276 (4) ^b	283 (4) ^b	285 (4) ^b	15.8 (0.7) ^b	8.3 (0.2) ^b
ใหญ่	309 (5) ^a	314 (5) ^a	321 (5) ^a	15.0 (0.6) ^b	8.3 (0.3) ^b

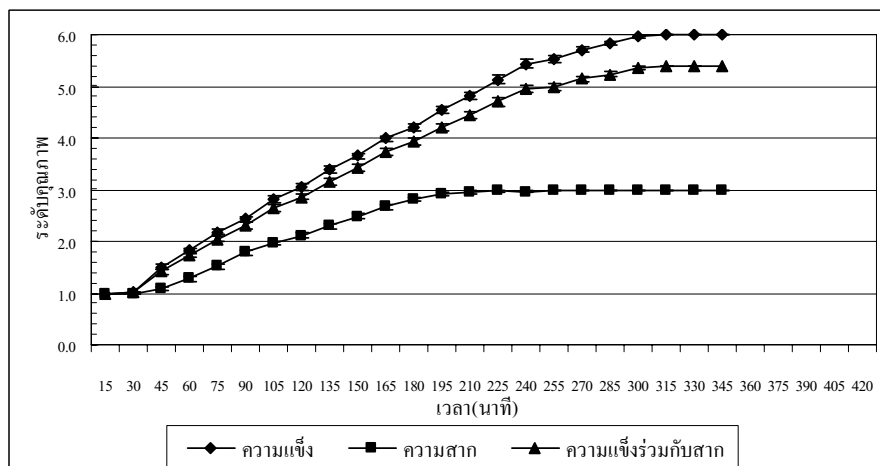
หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=50-60

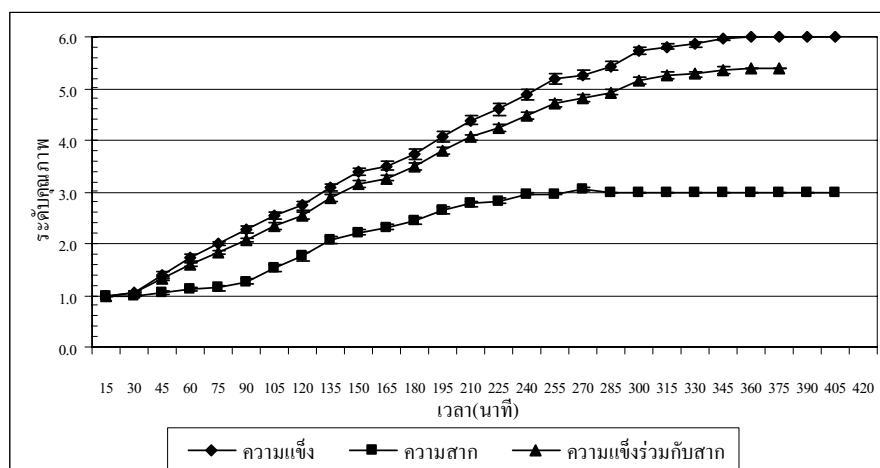
อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ขนาดเล็ก



ขนาดกลาง



ขนาดใหญ่

ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลนึ่งแยกตามขนาด

ความเค็มน้ำ

ความเค็มน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับปูนึ่ง ภายหลังการลอกคราบ พบว่าปูทะเลที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 10ppt มีผลรวมของความนึ่งร่วมกับความสาก ความนึ่งและความสากของเปลือกนั้นมีค่าสูงกว่าปูทะเลที่เลี้ยงในความเค็ม 20 ppt และ 30 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 9 และภาพที่ 11) % น้ำหนักและความกว้างของกระดองที่เพิ่มขึ้นของปูทะเลที่เลี้ยงในทั้ง 3 ความเค็มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 9)

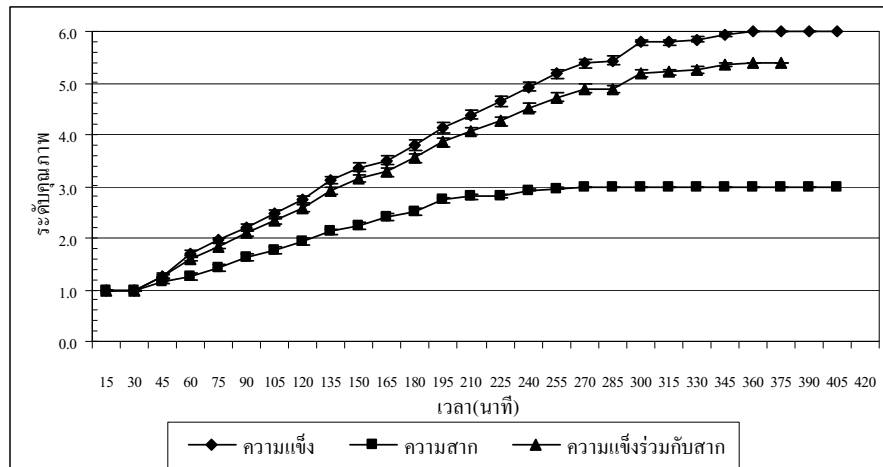
ตารางที่ 9 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลนึ่งและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (*S. serrata*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบตามความเค็มน้ำ

ความเค็ม	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่ง (นาทีก)			% น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	% ความกว้างกระดองที่เพิ่มขึ้น
	ผลรวมของความนึ่งร่วมกับความสาก	ความนึ่งของเปลือก	ความสากของเปลือก		
10	304 (5) ^a	312 (5) ^a	315 (5) ^a	15.7 (0.8) ^a	8.8 (0.3) ^a
20	279 (5) ^b	285 (5) ^b	288 (5) ^b	18.1 (1.0) ^a	8.5 (0.2) ^a
30	250 (4) ^c	255 (4) ^c	285 (4) ^c	17.6 (0.9) ^a	9.0 (0.3) ^a

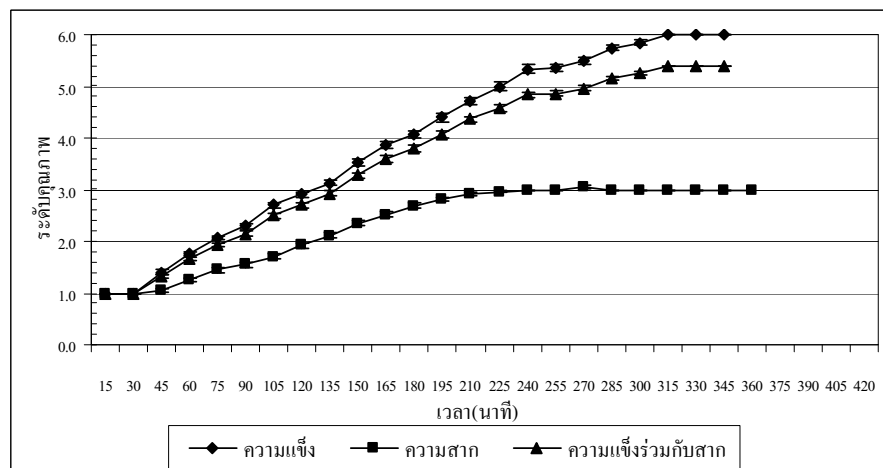
หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=55-60

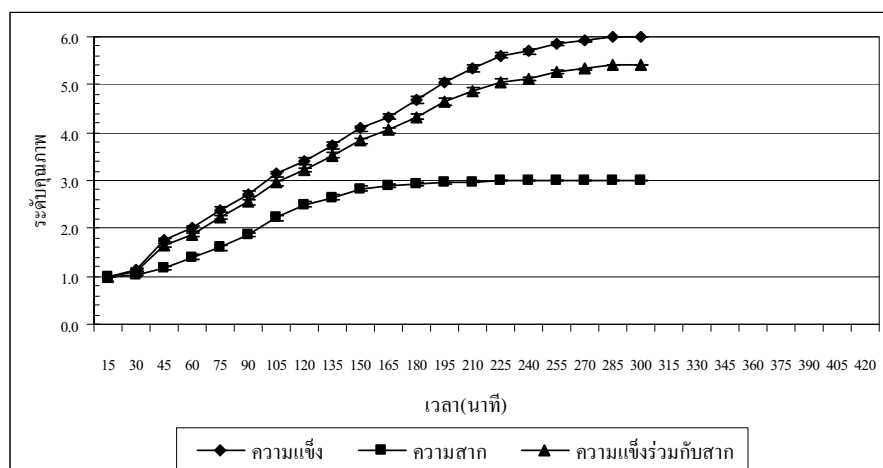
อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ความเค็มน้ำ 10 ppt



ความเค็มน้ำ 20 ppt



ความเค็มน้ำ 30 ppt

ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลนึ่งแยกตามความเค็มน้ำ

ความเค็มน้ำร่วมกับเพศปูทะเล

เมื่อพิจารณาปัจจัยเพศปูร่วมกับความเค็มน้ำ พบว่ามีอิทธิพลต่อเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่ง กล่าวคือปูทะเลเพศเมียที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 10 ppt มีผลรวมของความนึ่งร่วมกับความสาก ความนึ่ง และความแข็งของเปลือก สูงกว่าปูม้าเพศผู้และเพศเมียที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 20 และ 30 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 12) ขณะที่ %การเพิ่มของขนาดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 10)

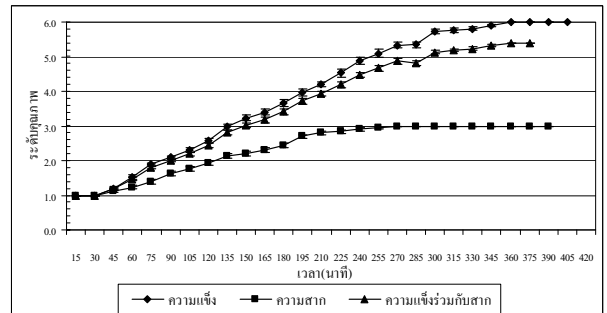
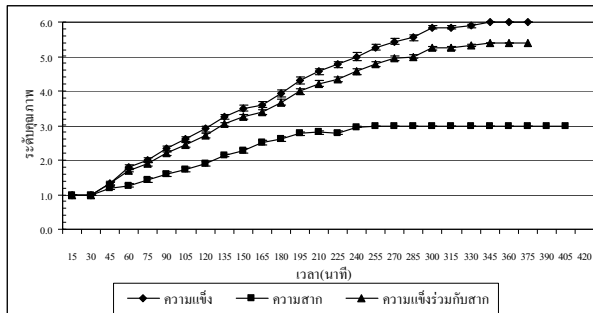
ตารางที่ 10 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลนึ่งและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (*S. serrata*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างเพศและความเค็ม

ความเค็มน้ำ (ppt)	เพศ	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่ง (นาทิจ)			%น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	% ความกว้าง กระดองที่เพิ่มขึ้น
		ผลรวมของ ความนึ่ง ร่วมกับความ สาก	ความนึ่งของ เปลือก	ความสากของ เปลือก		
10	ผู้	294 (7) ^{ab}	303 (7) ^b	306 (8) ^{ab}	14.9 (1.3) ^a	8.3 (0.4) ^a
	เมีย	313 (7) ^a	322 (7) ^a	323 (7) ^a	16.4 (1.0) ^a	9.2 (0.4) ^a
20	ผู้	272 (7) ^c	279 (7) ^c	279 (7) ^c	18.1 (1.3) ^a	7.9 (0.3) ^a
	เมีย	286 (7) ^{bc}	291 (7) ^{bc}	298 (7) ^{bc}	18.0 (1.5) ^a	8.2 (0.3) ^a
30	ผู้	251 (5) ^d	256 (5) ^d	285 (5) ^d	17.3 (1.1) ^a	8.3 (0.4) ^a
	เมีย	249 (5) ^d	253 (5) ^d	258 (6) ^d	18.0 (1.5) ^a	9.8 (0.3) ^a

หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=20-30

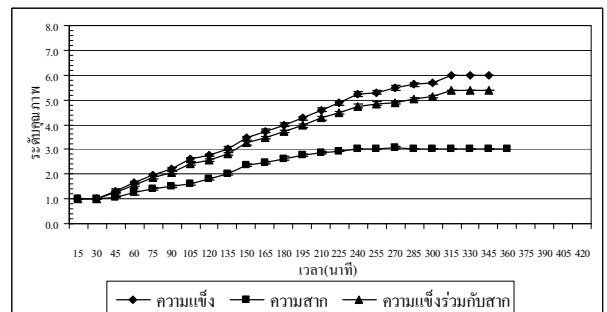
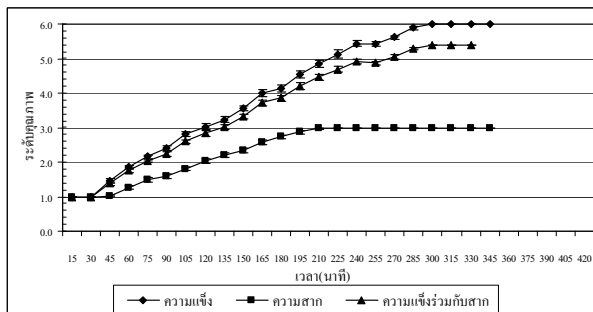
อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ผู้

เมีย

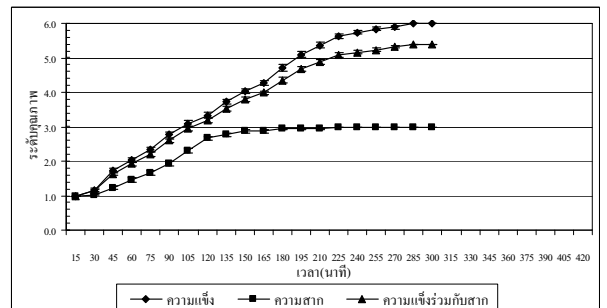
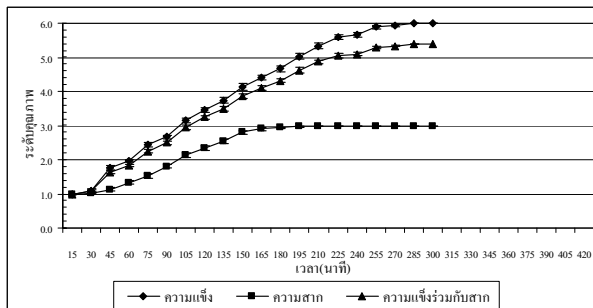
ความเค็มน้ำ 10 ppt



ผู้

เมีย

ความเค็มน้ำ 20 ppt



ผู้

เมีย

ความเค็มน้ำ 30 ppt

ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลในน้ำเค็มที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ

ความเค็มน้ำร่วมกับขนาดปูทะเล

ความเค็มน้ำร่วมกับขนาดของปูทะเลมีอิทธิพลร่วมกันต่อระยะเวลาการยอมรับปูทะเลเล็มน้ำปูทะเลขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 10 ppt มีระยะเวลานานที่สุดของผลรวมของความนึ่มร่วมกับความสาก ความนึ่ม และความสากของเปลือกสูงกว่าปูทะเลขนาดกลางและขนาดเล็กในความเค็มเดียวกัน และยังมีค่าสูงกว่าปูทะเลทุกๆขนาดในความเค็ม 20 และ 30 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 11 และภาพที่ 13)

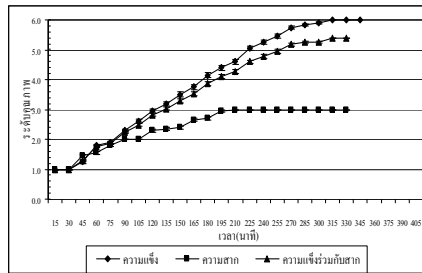
ตารางที่ 11 เวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลเล็มน้ำและการเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (*S. serrata*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบระหว่างขนาดและความเค็ม

ความเค็มน้ำ (ppt)	ขนาด	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลเล็มน้ำ (นาท)			% น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น	% ความ กว้าง กระดองที่ เพิ่มขึ้น
		ผลรวมของความ นึ่มร่วมกับความ สาก	ความนึ่มของ เปลือก	ความสากของ เปลือก		
10	เล็ก	276 (7) ^d	287 (8) ^{cd}	287 (7) ^{cd}	15.5 (1.6) ^b	9.0 (0.6) ^{ab}
	กลาง	293 (5) ^c	301 (5) ^{cd}	301 (6) ^c	16.2 (1.4) ^b	8.8 (0.3) ^{ab}
	ใหญ่	343 (6) ^a	350 (7) ^a	356 (6) ^a	16.2 (1.2) ^b	8.2 (0.6) ^b
20	เล็ก	245 (4) ^e	252 (4) ^f	251 (5) ^f	21.7 (2.1) ^a	8.3 (0.5) ^b
	กลาง	276 (7) ^d	284 (7) ^d	287 (7) ^{cd}	16.3 (1.3) ^b	8.1 (0.4) ^b
	ใหญ่	317 (4) ^b	320 (5) ^b	378 (5) ^b	16.2 (1.3) ^b	7.7 (0.3) ^b
30	เล็ก	222 (3) ^f	228 (3) ^g	227 (3) ^g	24.5 (1.8) ^a	10.1 (0.5) ^a
	กลาง	261 (5) ^d	247 (5) ^{ef}	269 (5) ^e	14.9 (0.8) ^b	8.1 (0.4) ^b
	ใหญ่	268 (5) ^d	272 (5) ^{de}	279 (4) ^{de}	13.5 (0.4) ^b	8.4 (0.3) ^b

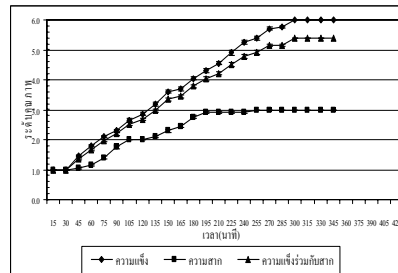
หมายเหตุ Mean (S.E.) N=15-20

อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

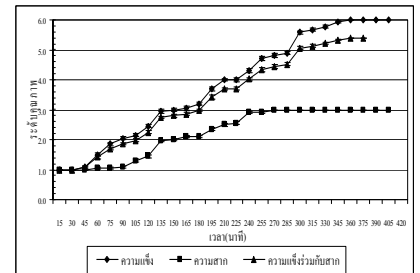
%น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปูทะเลขนาดเล็กที่เลี้ยงในความเค็มน้ำ 20 และ 30 ppt มีค่าสูงกว่าปูทะเลขนาดอื่นที่เลี้ยงในน้ำทุกความเค็ม ส่วนการเพิ่มของความกว้างกระดอง พบว่าปูเล็กที่เลี้ยงใน 30 ppt มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าปูทุกขนาดที่เลี้ยงในความเค็ม 20 ppt และปูขนาดใหญ่ที่ความเค็มน้ำ 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 11)



ขนาดเล็ก

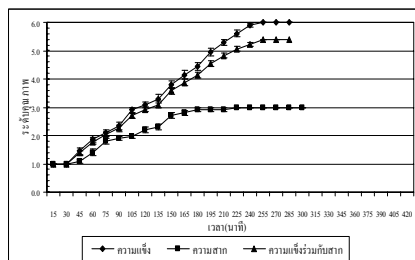


ขนาดกลาง

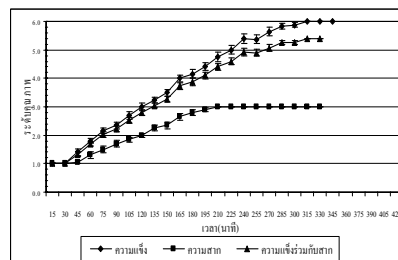


ขนาดใหญ่

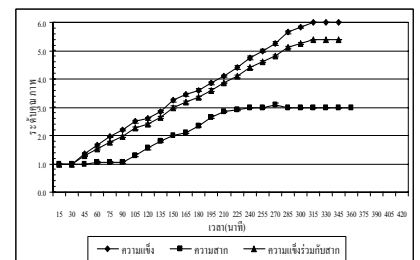
ความเค็มน้ำ 10 ppt



ขนาดเล็ก

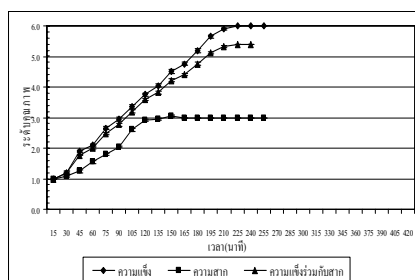


ขนาดกลาง

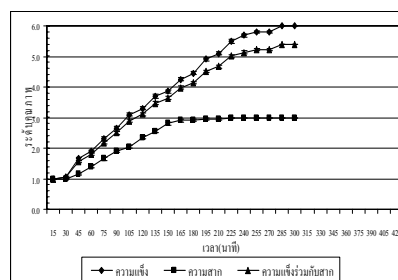


ขนาดใหญ่

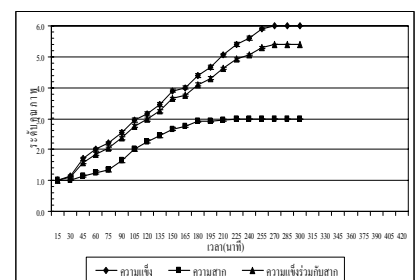
ความเค็มน้ำ 20 ppt



ขนาดเล็ก



ขนาดกลาง



ขนาดใหญ่

ความเค็มน้ำ 30 ppt

ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเปลือกของปูทะเลน้ำจืดตามขนาดที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 3 ระดับ

ความเค็มน้ำร่วมกับเพศและขนาดปูทะเล

การพิจารณาถึงผลรวมของความชื้นร่วมกับความลึก, ความชื้น, ความลึกของเปลือก, %ความกว้างของกระดอง, และ% น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยใช้ปัจจัย 3 ประการร่วมเข้าด้วยกัน พบว่าความเค็มน้ำ, ขนาด และเพศปูทะเล เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลรวมของความชื้นร่วมกับความลึก และความลึก ขณะที่ความชื้น % ความกว้างของกระดอง และ% น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยปูทะเลเพศเมียขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 10 ppt จะส่งผลให้เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนั้น ผลรวมของความชื้นร่วมกับความลึก และความลึกของเปลือกมีค่าสูงที่สุด โดยใช้เวลานานถึง 353 และ 364 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

สีเปลือก

สีของเปลือกปูทะเลเพศผู้และเพศเมีย ทุกๆขนาดที่เลี้ยงในความเค็มน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นตามเวลาภายหลังลอกคราบ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า โดยปูทะเลเพศผู้และเพศเมียจะมีสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 สีของเปลือกปูทะเลนั้น

ตารางที่ 12 เวลนานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูทะเลนึ่งและ
การเพิ่มขึ้นของขนาดปูทะเล (*S. serrata*) ภายหลังลอกคราบ เปรียบเทียบปัจจัยร่วมระหว่าง
เพศ ขนาด และความเค็ม

ความ เค็ม น้ำ (ppt)	เพศ	ขนาด	เวลนานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่ง (นาที)			% น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น	% ความกว้าง กระดองที่ เพิ่มขึ้น
			ผลรวมของความเค็ม ร่วมกับความลึก	ความเค็มของ เปลือก	ความลึกของ เปลือก		
10	ผู้	เล็ก	257 (9) ^{figh}	269 (10) ^a	269 (10) ⁱ	14.5 (2.6) ^a	8.6 (1.0) ^a
		กลาง	294 (6) ^{dc}	300 (6) ^a	303 (7) ^{def}	17.3 (2.6) ^a	9.1 (0.2) ^a
		ใหญ่	333(9) ^{ab}	305 (10) ^a	347 (9) ^{ab}	12.9 (0.9) ^a	7.0 (0.6) ^a
	เมีย	เล็ก	296 (7) ^{dc}	305 (8) ^a	306 (6) ^{dc}	16.5 (2.1) ^a	8.6 (1.0) ^a
		กลาง	291 (9) ^{dc}	301 (9) ^a	291 (9) ^{defg}	15.1 (1.1) ^a	8.5 (5.5) ^a
		ใหญ่	353 (6) ^a	360 (8) ^a	364 (6) ^a	17.8 (1.9) ^a	9.5 (0.8) ^a
20	ผู้	เล็ก	236 (4) ^{hi}	243 (6) ^a	299 (5) ^j	20.3 (2.6) ^a	7.8 (0.7) ^a
		กลาง	275 (9) ^{efg}	283 (11) ^a	281 (10) ^{fighi}	18.1 (2.6) ^a	8.1 (0.6) ^a
		ใหญ่	308 (6) ^{cd}	310 (6) ^a	318 (7) ^{cd}	15.9 (1.3) ^a	7.6 (0.4) ^a
	เมีย	เล็ก	254 (6) ^{gh}	261 (6) ^a	263 (8) ⁱ	23.0 (3.3) ^a	8.7 (6.7) ^a
		กลาง	278 (11) ^{ef}	286 (11) ^a	293 (9) ^{efgh}	14.4 (0.9) ^a	8.11 (0.5) ^a
		ใหญ่	328 (5) ^{bc}	329 (5) ^a	339 (4) ^{bc}	16.5 (2.3) ^a	7.7 (0.4) ^a
30	ผู้	เล็ก	225 (4) ⁱ	230 (5) ^a	231 (6) ^j	22.8 (2.2) ^a	9.33 (0.9) ^a
		กลาง	255 (7) ^{figh}	260 (7) ^a	263 (7) ⁱ	15.7 (1.0) ^a	7.5 (0.5) ^a
		ใหญ่	275 (3) ^{efg}	281 (5) ^a	283 (3) ^{fighi}	13.3 (0.7) ^a	7.6 (0.5) ^a
	เมีย	เล็ก	219 (11) ⁱ	227 (15) ^a	224 (11) ^j	26.1 (9.4) ^a	10.9 (1.8) ^a
		กลาง	267 (24) ^{fig}	271 (21) ^a	275 (24) ^{hi}	14.1 (4.0) ^a	8.7 (1.6) ^a
		ใหญ่	261 (26) ^{fig}	263 (24) ^a	276 (27) ^{ghi}	13.7 (1.6) ^a	10.0 (1.6) ^a

หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=8-10

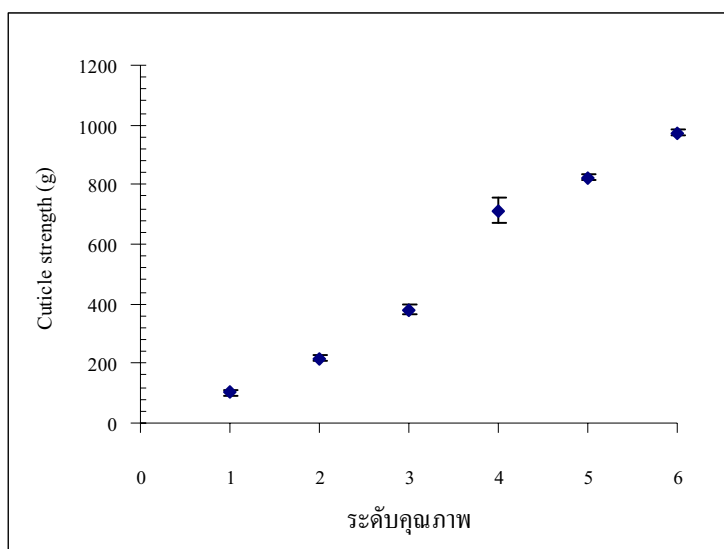
อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การตรวจสอบระดับความแข็งของเปลือกปูม้าและปูทะเลด้วยเครื่อง Texture Analyzer

จากการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกปูม้า และปูทะเลนึ่ง จะได้ค่าความแข็ง (Hardness) คือ แรงที่มากที่สุด (Max force) ในการกดจนทะลุตัวอย่าง โดยใช้หัว probe P/2 มีหน่วย มีหน่วยเป็นแรง (นิวตัน) และค่าระยะทาง (Distance) คือระยะทางเริ่มต้นตั้งแต่หัวกดสัมผัสตัวอย่าง จนกระทั่งถึงค่าแรงที่มากที่สุดที่กดจนตัวอย่างทะลุ นำค่าทั้ง 2 มาคำนวณโดยใช้สูตร $\frac{1}{2} \times \text{ค่าความแข็ง} \times \text{ค่าระยะทาง}$ จะได้ค่าความแข็ง (Cuticle strength) ของตัวอย่าง

ปูม้านึ่ง

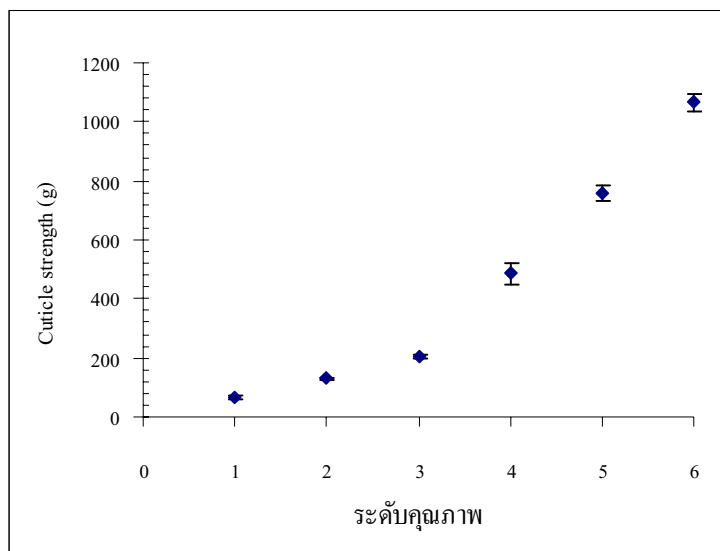
ค่าความแข็งของเปลือกปูม้านึ่งที่ตรวจสอบได้จากเครื่อง Texture analyzer พบว่ามีค่าสูงขึ้นตามระดับคุณภาพ (ภาพที่ 15) โดยระดับคุณภาพที่ 3 ซึ่งถือเป็นระยะเวลานานสุดที่ปูม้านึ่งยังคงรักษาคุณภาพที่ยอมรับได้ มีค่าความแข็งของเปลือก 380.8 ± 1.2 g



ภาพที่ 15 ค่าความแข็ง (Cuticle strength) ของเปลือกปูม้านึ่งในแต่ละระดับคุณภาพ

ปูทะเลนิ่ม

ค่าความแข็งของเปลือกปูทะเลนิ่มพบว่ามีค่าสูงขึ้นตามระดับคุณภาพเช่นเดียวกับปูม้านิม (ภาพที่ 16) โดยระดับคุณภาพที่ 6 ซึ่งถือเป็นระยะเวลานานสุดที่ปูทะเลนิ่มยังคงรักษาคุณภาพที่ยอมรับได้ มีค่าความแข็งของเปลือก $1,067 \pm 29.2$ g



ภาพที่ 16 ค่าความแข็ง (Cuticle strength) ของเปลือกปูทะเลนิ่มในแต่ละระดับคุณภาพ

ลักษณะโครงสร้างเปลือกและองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกที่ระดับคุณภาพต่าง ๆ ของปูนิ่ม

ลักษณะโครงสร้างเปลือก

ปูม้านิม

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างเปลือกปูม้านิมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าลักษณะโครงสร้างจากระดับคุณภาพที่ 1 ถึง 6 มีความหนาประมาณ 9, 10, 13, 16, 17, และ 38 μm ตามลำดับ ทั้งนี้โครงสร้างเปลือกปูม้านิมในระดับคุณภาพที่ 1 ประกอบด้วยชั้น 2 คือ epicuticle และ exocuticle ซึ่งในชั้น exocuticle นั้นมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ซ้อนกัน และมีช่องว่างระหว่าง คาดว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในชั้นนี้น่าจะเป็น chitin และ protein จากนั้นเมื่อเข้าสู่ระดับคุณภาพที่ 2 พบว่าโครงสร้างเปลือกเริ่มสะสม inorganic สูงขึ้น ส่งผลให้ชั้นย่อยดังกล่าวมีความหนาและแน่นมากขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่ระดับคุณภาพที่ 4 โครงสร้างเปลือกในชั้นนี้นั้นมีความแข็งแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเข้าสู่ระดับที่ 5 โครงสร้างระหว่างชั้น epicuticle กับ exocuticle เริ่มมีลักษณะ

ชั้นชั้นคล้ายตาข่าย หลังจากนั้นลักษณะโครงสร้างดังกล่าวปรากฏเป็นชั้นใหม่มาแทรกอยู่ระหว่างชั้น epicuticle กับ exocuticle เมื่อเข้าสู่ระดับคุณภาพที่ 6 (ภาพที่ 17)

ปูทะเลนิ่ม

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างเปลือกปูทะเลนิ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าลักษณะ โครงสร้างจากระดับคุณภาพที่ 1-6 มีความหนาประมาณ 10, 17, 23, 23, 25, และ 30 μm ตามลำดับ ประกอบด้วยชั้น 2 คือชั้น epicuticle ซึ่งมีความหนาเท่ากัน ตลอดจากระดับคุณภาพ 1 ถึง 6 โดยมีความหนา 2 μm ขณะที่ชั้น exocuticle จะมีความหนามากขึ้นและลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามระดับคุณภาพจาก 1 ถึง 6 กล่าวคือในระดับคุณภาพที่ 1 โครงสร้างเปลือกในชั้นนี้มีลักษณะเป็นชั้นบาง ประกอบด้วยชั้นย่อยที่มีเส้นใยไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบ และการสะสมของสารอินทรีย์ยังมีปริมาณต่ำ ทำให้โครงสร้างโดยภาพรวมมีลักษณะหลวม และมีความยืดหยุ่น เมื่อเข้าสู่ระดับที่ 2 พบว่าเริ่มสะสมสารอินทรีย์มากขึ้น จึงส่งผลให้โครงสร้างมีลักษณะแน่นและหนาขึ้น หลังจากนั้นระดับคุณภาพจาก 3-6 การสะสมของสารอินทรีย์มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงส่งผลให้โครงสร้างเปลือกมีลักษณะเป็นผลึก แน่นหนา และแข็งแรงขึ้น (ภาพที่ 18)

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือก

ปูม้านิ่ม

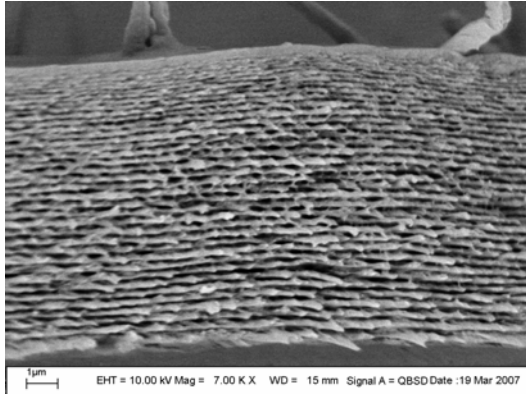
ไนโตรเจน ออกซิเจน แคลเซียม และฟอสฟอรัส (N, O, Ca และ P)

N มีค่าลดลงตามระดับคุณภาพจาก 1-6 ขณะที่ Ca เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระดับที่ 1-5 และสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระดับที่ 6 (ภาพที่ 19)

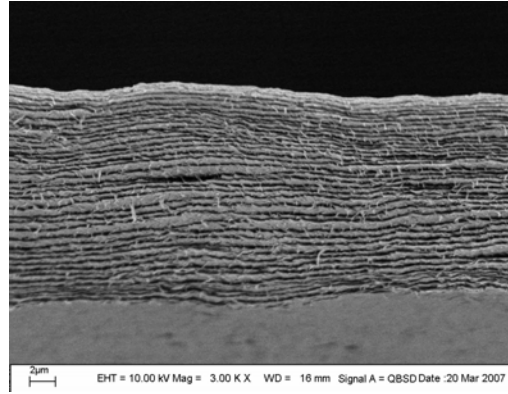
P มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระดับ 2-5 จากนั้นลดลงในระดับที่ 6 ขณะที่ O มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากระดับ 2-3 และลดลงอย่างต่อเนื่องจากระดับคุณภาพที่ 3-5 และกลับสูงขึ้นอีกครั้งในระดับที่ 6 (ภาพที่ 19)

แมงกานีส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม (Mn, K, Mg และ Na)

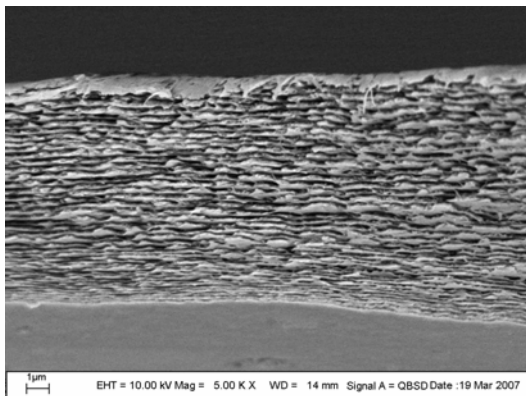
Mn มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับคุณภาพจาก 1-3 จากนั้นเริ่มลดลง และมีค่าค่อนข้างคงที่จากระดับที่ 4 เป็นต้นไป ขณะที่ K มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระดับคุณภาพ และสูงสุดในระดับคุณภาพที่ 3 จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับที่ 6 (ภาพที่ 20)



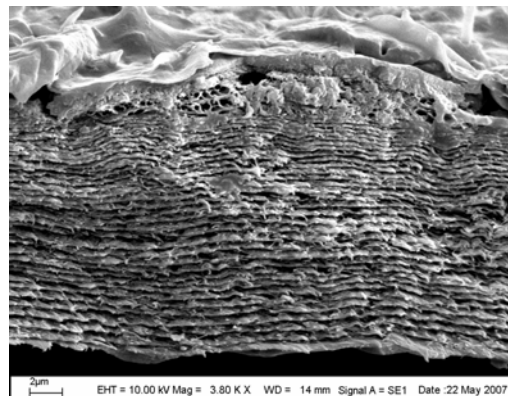
ระดับคุณภาพที่ 1



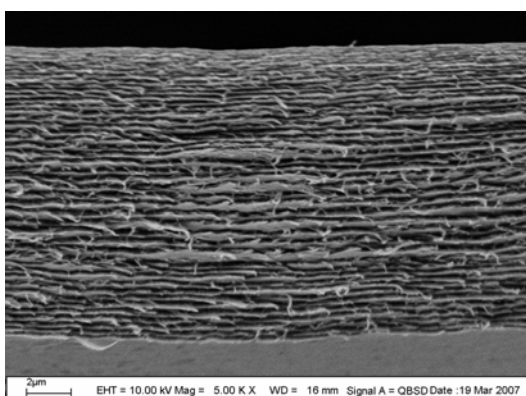
ระดับคุณภาพที่ 4



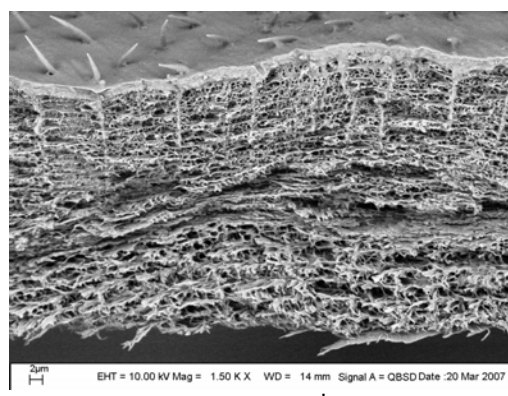
ระดับคุณภาพที่ 2



ระดับคุณภาพที่ 5

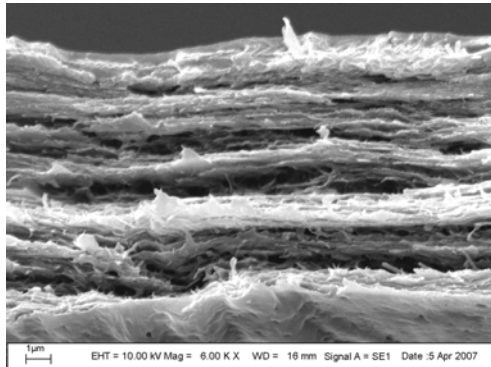


ระดับคุณภาพที่ 3

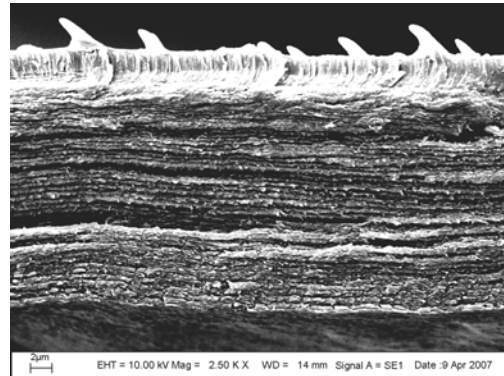


ระดับคุณภาพที่ 6

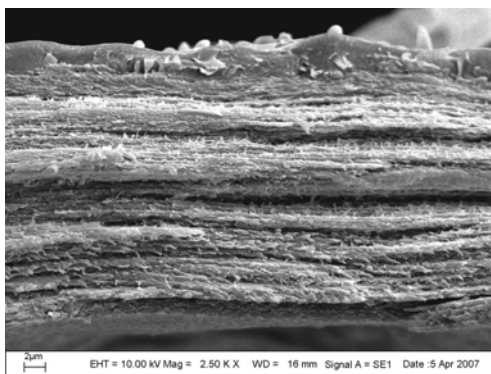
ภาพที่ 17 ลักษณะโครงสร้างของเปลือกปูม้าในในระดับคุณภาพที่ 1-6



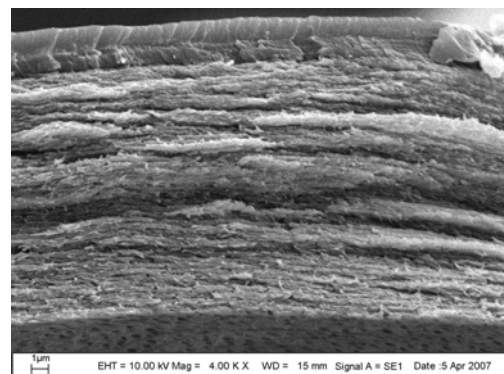
ระดับคุณภาพที่ 1



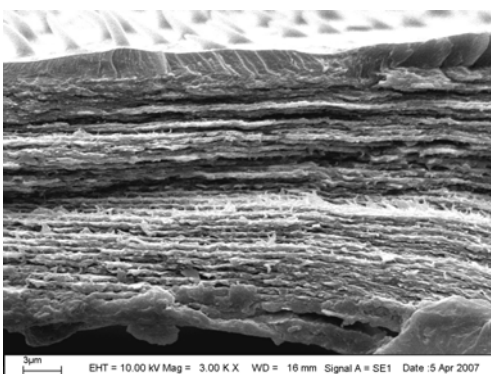
ระดับคุณภาพที่ 4



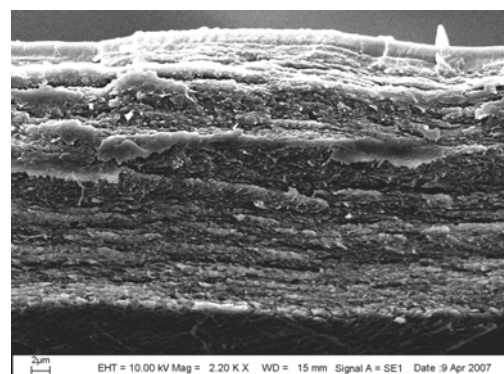
ระดับคุณภาพที่ 2



ระดับคุณภาพที่ 5

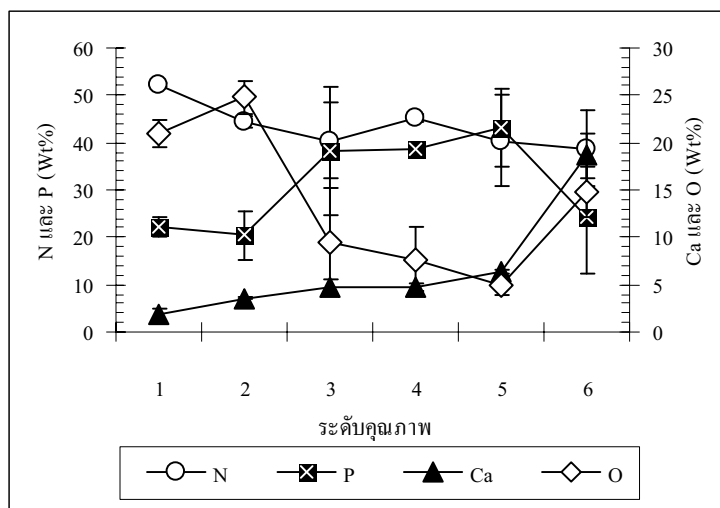


ระดับคุณภาพที่ 3



ระดับคุณภาพที่ 6

ภาพที่ 18 ลักษณะ โครงสร้างของเปลือกปูทะเลในในระดับคุณภาพที่ 1-6



ภาพที่ 19 ปริมาณธาตุ N, O, Ca และ P ของเปลือกปูในแต่ละระดับคุณภาพปูม้า نیم

Mg มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 1-5 และเริ่มลดลงเมื่อเข้าสู่ระดับคุณภาพที่ 6 ส่วน Na มีค่าสูงสุดในระดับคุณภาพที่ 2 และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าสู่ระดับที่ 3 จากนั้นในช่วงระดับ 4-6 มีค่าคงที่ตลอด (ภาพที่ 20)

ปูทะเล نیم

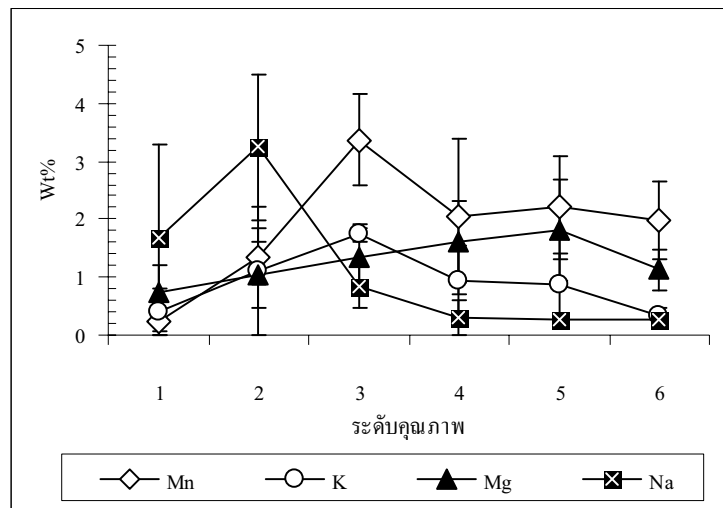
ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจน แมงกานีส และแคลเซียม (N, P, O Mn และ Ca)

N และ O โดยภาพรวมมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระดับคุณภาพ ขณะที่ P ก็มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงระดับจาก 1-4 และลดลงในระดับที่ 5 (ภาพที่ 21)

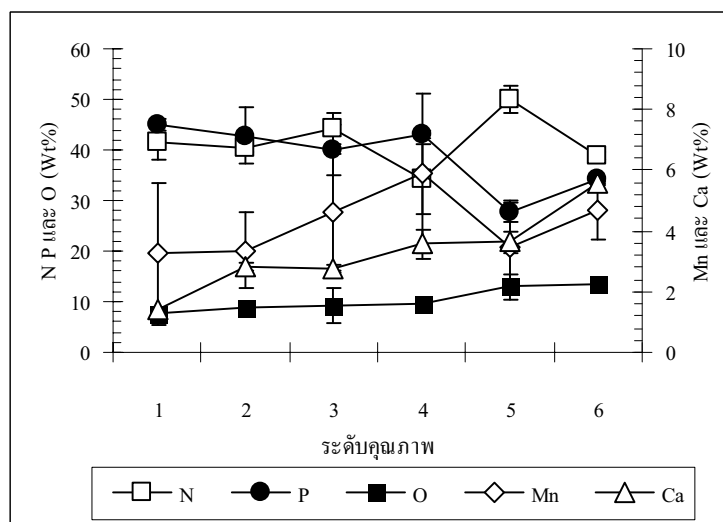
Ca มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระดับคุณภาพ 1-6 ในทำนองเดียวกัน Mn มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงระดับคุณภาพ 1-4 และลดลงในระดับคุณภาพที่ 6 (ภาพที่ 21)

โซเดียม แมกนีเซียม และ โพแทสเซียม (Na, Mg และ K)

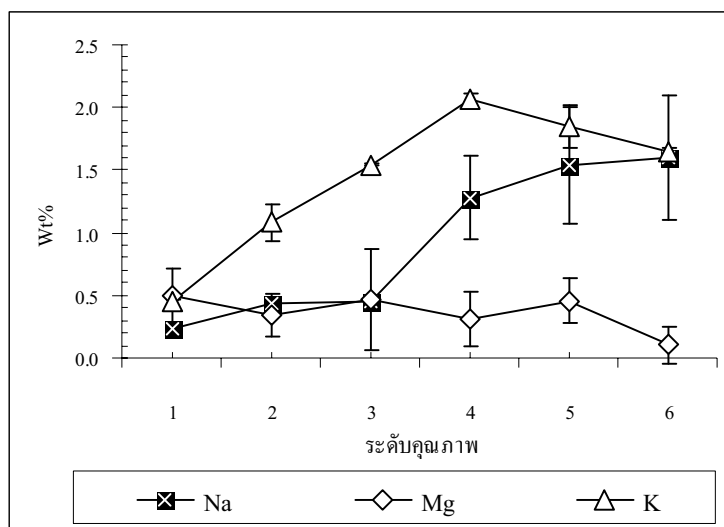
Na มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระดับคุณภาพจาก 1-6 ขณะที่ Mg มีค่าค่อนข้างคงที่จากระดับคุณภาพจาก 1-5 จากนั้นเริ่มลดลงเมื่อเข้าสู่ระดับที่ 6 ส่วน K มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระดับที่ 1-4 จากนั้นลดลงเมื่อเข้าสู่ระดับที่ 5 (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 20 ปริมาณธาตุ Mn, K, Mg และ Na ของเปลือกปูในแต่ละระดับคุณภาพปูน้ำจืด



ภาพที่ 21 ปริมาณธาตุ N, P, O, Mn และ Ca ของเปลือกปูในแต่ละระดับคุณภาพปูทะเลน้ำจืด



ภาพที่ 22 ปริมาณธาตุ Na, Mg และ K ของเปลือกปวงในแต่ละระดับคุณภาพปวงทะเลนึ่ง

ออสโมลาลิตีของปวงน้ำและปวงทะเลนึ่งหลังลอกคราบที่เลี้ยงภายใต้ความเค็ม 3 ระดับ

ความเค็มเป็นปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตีในเลือดปวงน้ำและปวงทะเลนึ่งระดับคุณภาพที่ 1 ที่ลอกคราบภายใต้ความเค็ม 3 ระดับพบว่า ค่าออสโมลาลิตีในเลือดมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13 และภาพที่ 23) กล่าวคือปวงทั้ง 2 ชนิดที่เลี้ยงในความเค็ม 30 ppt มีค่าสูงกว่าปวงที่เลี้ยงในความเค็ม 20 ppt และ 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะเดียวกันปวงที่เลี้ยงในความเค็ม 20 ppt ยังมีค่าออสโมลาลิตีสูงกว่าปวงที่เลี้ยงในความเค็ม 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณของแร่ธาตุในพลาสมาปวงน้ำที่เลี้ยงภายใต้ความเค็ม 3 ระดับ

โซเดียม และ คลอไรด์ (Na และ Cl)

ปริมาณของธาตุ Na ในพลาสมาปวงน้ำที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 ppt มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าระดับความเค็ม 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 526 ± 152 mmol/l ขณะที่ Cl มีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 30 ppt (402 ± 20 mmol/l) (ภาพที่ 24)

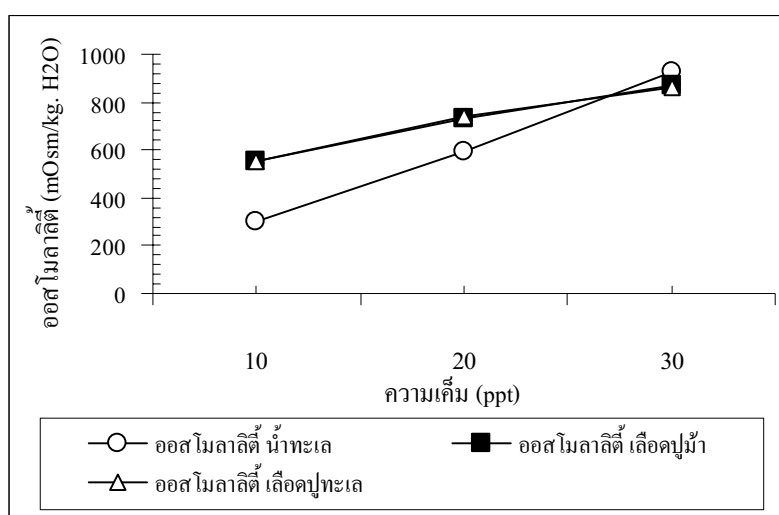
ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตีของเลือดปูม้าและปูทะเลในน้ำที่เลี้ยงในความเค็ม 3 ระดับ

ความเค็มน้ำ (ppt)	ออสโมลาลิตีน้ำทะเล (mOsm/kg.H ₂ O)	ออสโมลาลิตีของเลือด ปูม้า (mOsm/kg.H ₂ O)	ออสโมลาลิตีของเลือด ปูทะเล (mOsm/kg.H ₂ O)
10	297	553 (9) ^c	554 (9) ^c
20	597	734 (8) ^b	736 (8) ^b
30	930	873 (4) ^a	862 (14) ^a

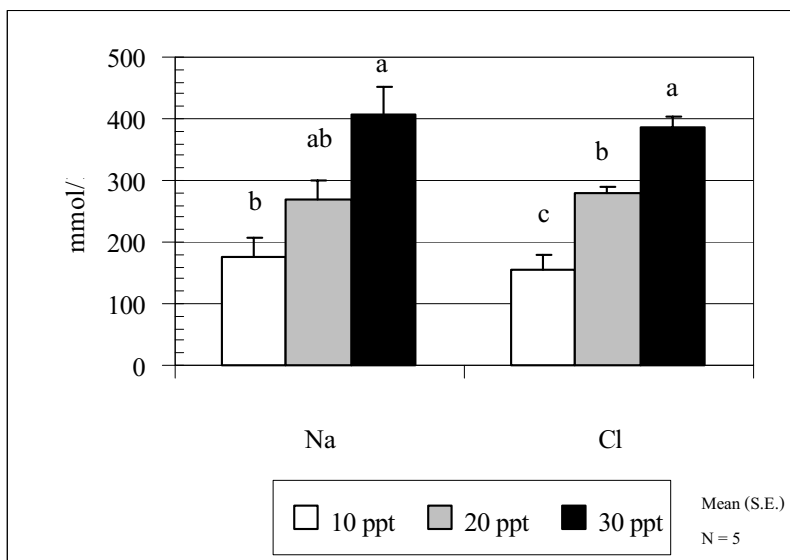
หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=13-18

อักษรอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตีของเลือดปูม้าและปูทะเลในน้ำที่เลี้ยงในความเค็ม 3 ระดับ



ภาพที่ 24 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Na และ Cl ในพลาสมาปูม้าในน้ำจืดหลังลอกคราบ 30 นาที
ภายใต้ความเค็มน้ำ 3 ระดับ

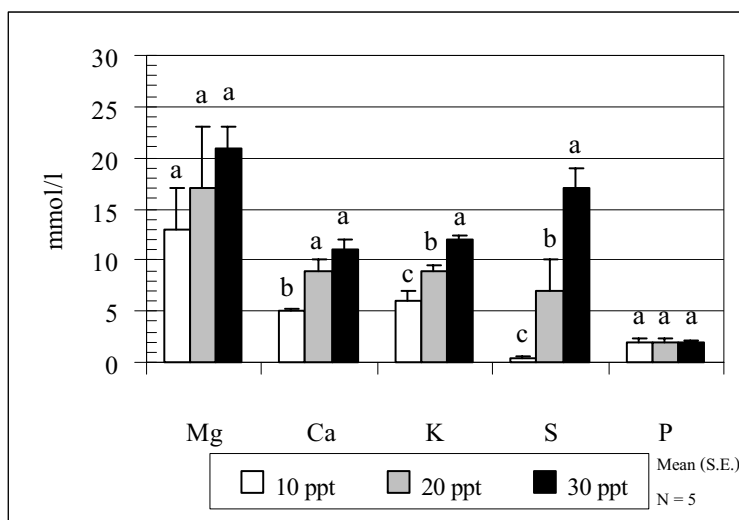
หมายเหตุ

ค่าทางสถิติเปรียบเทียบภายในแร่ธาตุ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

แมกนีเซียม แคลเซียม โพแทสเซียม กำมะถัน และฟอสฟอรัส (Mg, Ca, K, S และ P)

ปริมาณของธาตุ Mg มีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่ Ca มีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น โดย Ca ในพลาสมาปูม้าที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 30 ppt มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าความเค็ม 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 12 ± 1 mmol/l ในทำนองเดียวกัน K มีค่าสูงขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วน S มีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 30 ppt (16 ± 2 mmol/l) มีค่าสูงกว่าระดับความเค็ม 10 และ 20 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับ P พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของปูที่เลี้ยงในความเค็มทั้ง 3 ระดับ (ภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Mg, Ca, K, S และ P ในพลาสมาปูม้าในน้ำจืดและน้ำเค็ม 30 นาฬิกา
ภายใต้ความเค็ม 3 ระดับ

หมายเหตุ

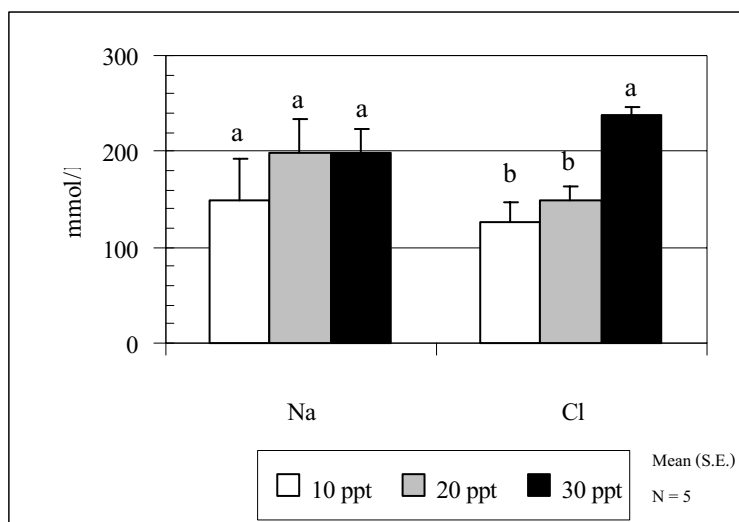
ค่าทางสถิติเปรียบเทียบภายในแร่ธาตุ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณของแร่ธาตุในพลาสมาปูทะเลในน้ำจืดและน้ำเค็ม 3 ระดับ

โซเดียม และ คลอไรด์ (Na และ Cl)

ปริมาณของธาตุ Na มีค่าความเข้มข้นในแต่ละระดับความเค็มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ Cl สูงขึ้นตามระดับความเค็มมีค่าสูงสุดที่ระดับความเค็ม 30 ppt (237 ± 10 mmol/l) และมีค่าสูงกว่าระดับความเค็ม 10 และ 20 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 26 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Na และ Cl ในปลาสมอปูทะเลนึ่งหลังลอกคราบ 4 ชั่วโมง
ภายใต้ความเค็มน้ำ 3 ระดับ

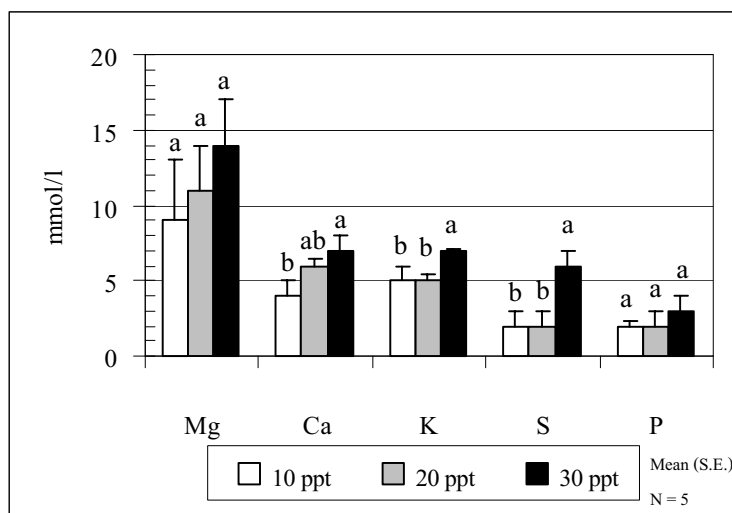
หมายเหตุ

ค่าทางสถิติเปรียบเทียบภายในแร่ธาตุ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

แมกนีเซียม แคลเซียม โพแทสเซียม กำมะถัน และฟอสฟอรัส (Mg, Ca, K, S และ P)

ปริมาณของธาตุ Mg มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความเค็มแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่ Ca มีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 30 ppt มีค่าสูงกว่าระดับความเค็ม 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับ K และ S มีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 30 ppt มีค่าสูงกว่าระดับความเค็ม 10 และ 20 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วน P พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของปูที่เลี้ยงในความเค็มทั้ง 3 ระดับ (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 ความเข้มข้นของแร่ธาตุ Mg, Ca, K, S และ P ในปลาสมุทรเลนินหลังลอกคราบ 4 ชั่วโมง ภายใต้ความเค็มน้ำ 3 ระดับ

หมายเหตุ

ค่าทางสถิติเปรียบเทียบภายในแร่ธาตุ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การชะลอการสร้างเปลือกของปูม้าหลังลอกคราบ

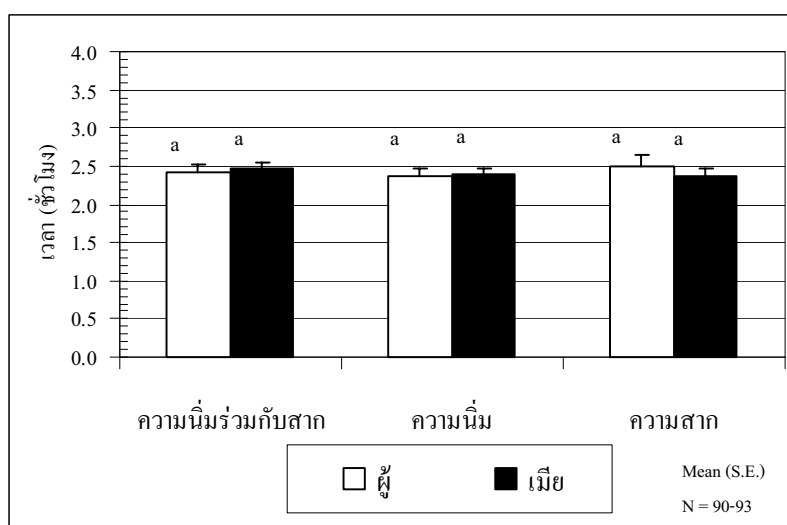
เพศ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เพศไม่มีผลต่อระยะเวลาที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าน้ำ ทั้งในด้านผลรวมของความนุ่มร่วมกับความสาก ความนุ่ม และความสาก (ภาพที่ 28)

การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก

ปูม้าน้ำที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำทุกการทดลองสามารถคงระยะเวลาในการรักษาคุณภาพปูม้าน้ำได้นานกว่าปูม้าน้ำทุกชุดการทดลองที่ปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาจากความนุ่มร่วมกับความสาก ความนุ่ม และความสาก

นอกจากนี้ปูม้าน้ำที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำร่วมกับ pH และให้ โอโซน จะคงคุณภาพปูม้าน้ำได้ดีกว่าปูที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำที่ไม่ลด pH และไม่ได้ให้ โอโซน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาจากค่าความนุ่ม และความสาก (ภาพที่ 29)



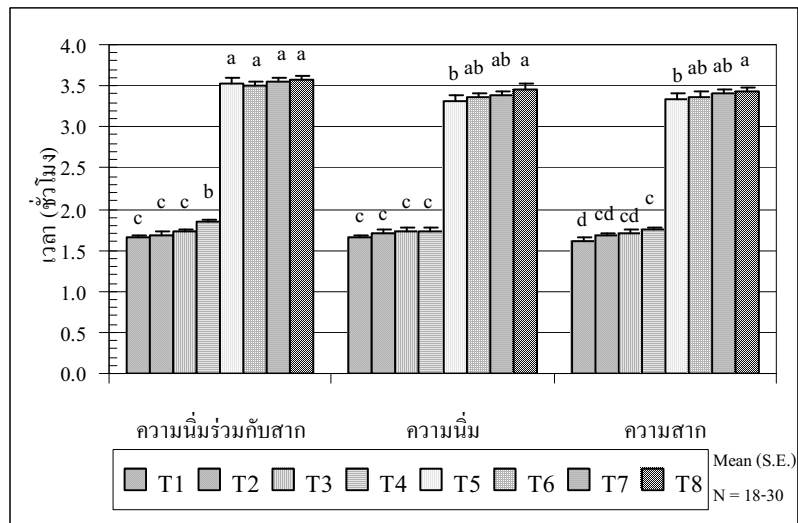
ภาพที่ 28 ระยะเวลาที่นานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าน้ำ เปรียบเทียบระหว่างเพศ

การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด

จากการวิเคราะห์ทางสถิติการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด พบว่ามีผลต่อระยะเวลาที่นานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผลรวมของความชื้นร่วมกับความสาก

ผลรวมของความชื้นร่วมกับความสากได้รับอิทธิพลร่วมกันระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อม และขนาดโดยปัจจัยเรื่องอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือปูม้าน้ำทุกขนาดที่ถูกปรับสภาพที่อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง จะมีการรักษาสภาพผลรวมของความชื้นร่วมกับความสากได้นานกว่าปูม้าน้ำที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องทุกการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปูม้าน้ำใหญ่จะมีระยะเวลาที่นานที่สุดในการรักษาคุณภาพดังกล่าวได้นานกว่าปูม้าน้ำเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกการทดลอง ในขณะที่ปูม้าน้ำขนาดกลางส่วนใหญ่ก็มีการรักษาสภาพผลรวมของความชื้นร่วมกับความสากได้นานกว่าปูม้าน้ำเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 30)



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน

T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน

T7 = 15 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน

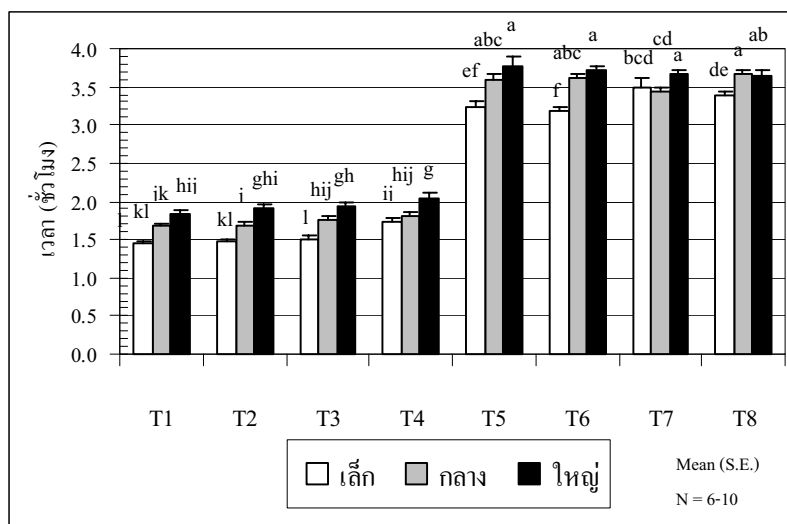
T4 = 28 °C pH 6 ให้ โอโซน

T8 = 15 °C pH 6 ให้ โอโซน

เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาพที่ 29 ระยะเวลาในการรักษาคุณภาพปูม้าที่ปรับสภาพภายใต้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน T7 = 15 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน

T4 = 28 °C pH 6 ให้ โอโซน T8 = 15 °C pH 6 ให้ โอโซน

เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

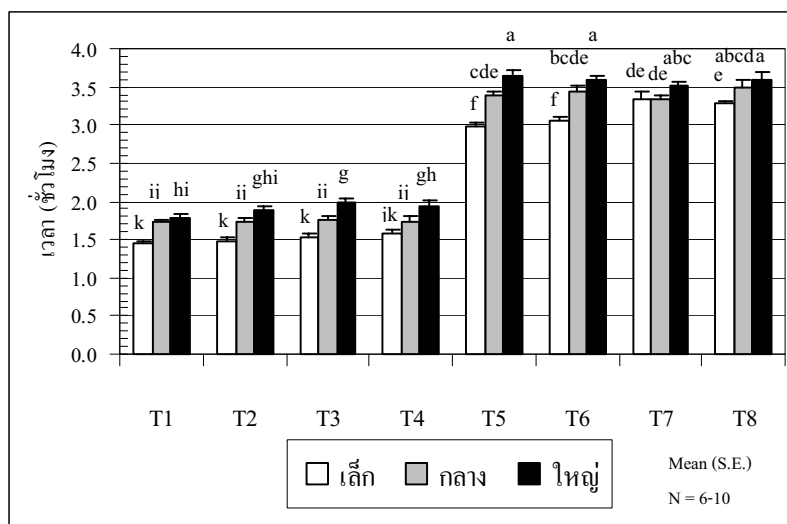
อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาพที่ 30 ระยะเวลาที่นานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูน้ำจืด (ผลรวมของความนุ่มร่วมกับความสด)

เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด

ความนุ่ม

ความนุ่ม ได้รับอิทธิพลร่วมกันระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก และขนาด โดยปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลักที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการรักษาคุณภาพดังกล่าว คือ อุณหภูมิ โดยปูกลุ่มที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง สามารถรักษาความนุ่มได้นานกว่าปูกลุ่มที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องทุกการทดลอง นอกจากนี้ปูขนาดใหญ่ที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้อง หรือ อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง มีระยะเวลาในการรักษาสภาพความนุ่มได้นานกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทำนองเดียวกันจาก 6 ใน 8 การทดลองปูขนาดกลางมีระยะเวลาในการคงคุณภาพความนุ่มสูงกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 31)



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน T7 = 15 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน

T4 = 28 °C pH 6 ให้ โอโซน T8 = 15 °C pH 6 ให้ โอโซน

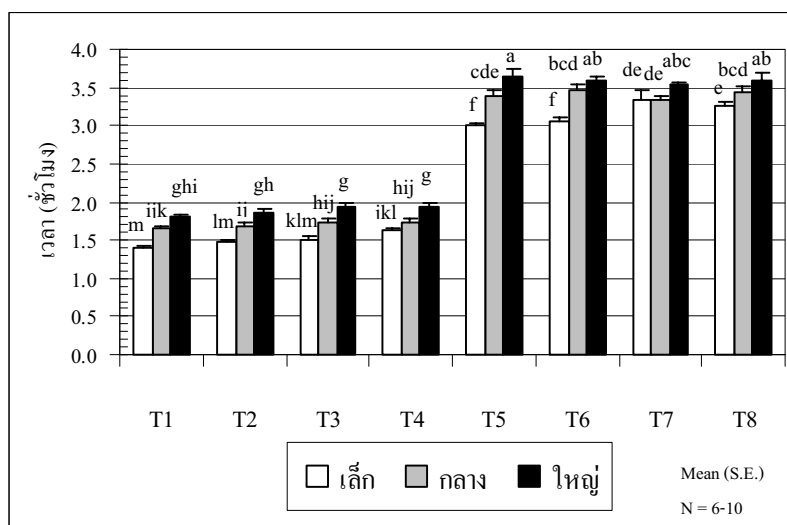
เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาพที่ 31 ระยะเวลาอันสุดท้ายในการรักษาคุณภาพปูม้า (ความนุ่ม) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกกับขนาด

ความสาก

ความสาก ได้รับอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม และขนาด โดยปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาอันสุดท้ายในการรักษาความสาก คือ อุณหภูมิเช่นกัน โดยปูนั้นมีการทดลองที่ปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำ สามารถคงสภาพความสากที่ยอมรับได้ นานกว่าปูกลุ่มที่ปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องทุกการทดลอง ในขณะที่ปูขนาดใหญ่ที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้อง หรือ อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง มีการคงสภาพดังกล่าวได้นานกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมี 6 ใน 8 การทดลองที่ปูขนาดกลาง สามารถคงสภาพความสากที่ยอมรับได้ นานกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 32)



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน T7 = 15 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน

T4 = 28 °C pH 6 ให้ โอโซน T8 = 15 °C pH 6 ให้ โอโซน

เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาพที่ 32 ระยะเวลาในการรักษาคุณภาพปูม้า (ความสด) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก ร่วมกับขนาด

การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก ร่วมกับเพศและขนาด

จากการวิเคราะห์ทางสถิติการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก ร่วมกับเพศ และขนาด แล้วพบว่า ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการรักษาคุณภาพปูม้า ทั้งในด้านผลรวมของความชื้นรวมกับความสด ความชื้น และความสด (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 เวลนานานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าเนื้อ เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัย

สิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับเพศ และขนาด

การทดลอง	เพศ	ขนาด	เวลนานานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูม้าเนื้อ (ชั่วโมง)		
			ผลรวมของความ นุ่มร่วมกับ ความสาก	ความนุ่มของ เปลือก	ความสากของ เปลือก
1. 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	1.48 (0.05)	1.47 (0.02)	1.50 (0.07)
		กลาง	1.70 (0.05)	1.77 (0.04)	1.70 (0.05)
		ใหญ่	1.83 (0.06)	1.80 (0.06)	1.83 (0.06)
	เมีย	เล็ก	1.42 (0.04)	1.43 (0.06)	1.38(0.03)
		กลาง	1.63 (0.04)	1.72 (0.06)	1.60 (0.06)
		ใหญ่	1.84 (0.05)	1.78 (0.05)	1.77 (0.05)
2. 28 °C pH 8 ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	1.43 (0.05)	1.42 (0.06)	1.42 (0.06)
		กลาง	1.62 (0.08)	1.67 (0.09)	1.62 (0.08)
		ใหญ่	1.80 (0.06)	1.83 (0.06)	1.80 (0.08)
	เมีย	เล็ก	1.50 (0.06)	1.57 (0.07)	1.52 (0.05)
		กลาง	1.77 (0.06)	1.80 (0.06)	1.75 (0.06)
		ใหญ่	2.00 (0.05)	1.95 (0.04)	1.93 (0.05)
3. 28 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	1.52 (0.05)	1.53 (0.06)	1.52 (0.05)
		กลาง	1.72 (0.07)	1.75 (0.06)	1.73 (0.07)
		ใหญ่	1.92 (0.06)	1.96 (0.08)	1.90 (0.07)
	เมีย	เล็ก	1.50 (0.06)	1.53 (0.04)	1.50 (0.06)
		กลาง	1.80 (0.06)	1.77 (0.06)	1.75 (0.06)
		ใหญ่	1.97 (0.07)	2.00 (0.05)	2.00 (0.05)
4. 28 °C pH 6 ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	1.70 (0.06)	1.54 (0.06)	1.58 (0.04)
		กลาง	1.75 (0.06)	1.69 (0.07)	1.69 (0.04)
		ใหญ่	1.97 (0.07)	1.92 (0.13)	1.89 (0.11)
	เมีย	เล็ก	1.78 (0.09)	1.63 (0.04)	1.65 (0.05)
		กลาง	1.92 (0.05)	1.81 (0.10)	1.81 (0.10)
		ใหญ่	2.11 (0.07)	1.97 (0.07)	1.97 (0.07)

ตารางที่ 14 (ต่อ)

การทดลอง	เพศ	ขนาด	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าต้ม (ชั่วโมง)		
			ผลรวมของความ นุ่มร่วมกับ ความสาก	ความนุ่มของ เปลือก	ความสากของ เปลือก
5. 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	3.19 (0.04)	2.96 (0.05)	2.98 (0.05)
		กลาง	3.56 (0.07)	3.36 (0.07)	3.39 (0.10)
		ใหญ่	3.89 (0.12)	3.72 (0.10)	3.75 (0.13)
	เมีย	เล็ก	3.31 (0.18)	3.03 (0.07)	3.03 (0.07)
		กลาง	3.64 (0.11)	3.42 (0.08)	3.42 (0.08)
		ใหญ่	3.67 (0.16)	3.56 (0.16)	3.56 (0.16)
6. 15 °C pH 8 ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	3.19 (0.07)	3.08 (0.05)	3.08 (0.05)
		กลาง	3.67 (0.05)	3.44 (0.10)	3.47 (0.07)
		ใหญ่	3.69 (0.10)	3.56 (0.10)	3.56 (0.10)
	เมีย	เล็ก	3.19 (0.07)	3.03 (0.07)	3.03(0.07)
		กลาง	3.55 (0.15)	3.44 (0.14)	3.47 (0.15)
		ใหญ่	3.72 (0.07)	3.61 (0.10)	3.61 (0.10)
7. 15 °C pH 6 ไม่ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	3.36 (0.07)	3.25 (0.05)	3.25 (0.05)
		กลาง	3.39 (0.06)	3.36 (0.12)	3.36 (0.12)
		ใหญ่	3.67 (0.05)	3.50 (0.05)	3.50 (0.05)
	เมีย	เล็ก	3.61 (0.25)	3.42 (0.21)	3.45 (0.24)
		กลาง	3.50 (0.10)	3.31 (0.10)	3.31 (0.10)
		ใหญ่	3.69 (0.06)	3.53 (0.07)	3.56 (0.07)
8. 15 °C pH 6 ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	3.39 (0.03)	3.30 (0.03)	3.28 (0.03)
		กลาง	3.67 (0.10)	3.64 (0.17)	3.53 (0.10)
		ใหญ่	3.72 (0.12)	3.64 (0.17)	3.64 (0.17)
	เมีย	เล็ก	3.39 (0.11)	3.25 (0.05)	3.25 (0.05)
		กลาง	3.70 (0.03)	3.36 (0.07)	3.36 (0.07)
		ใหญ่	3.55 (0.15)	3.55 (0.15)	3.55(0.15)

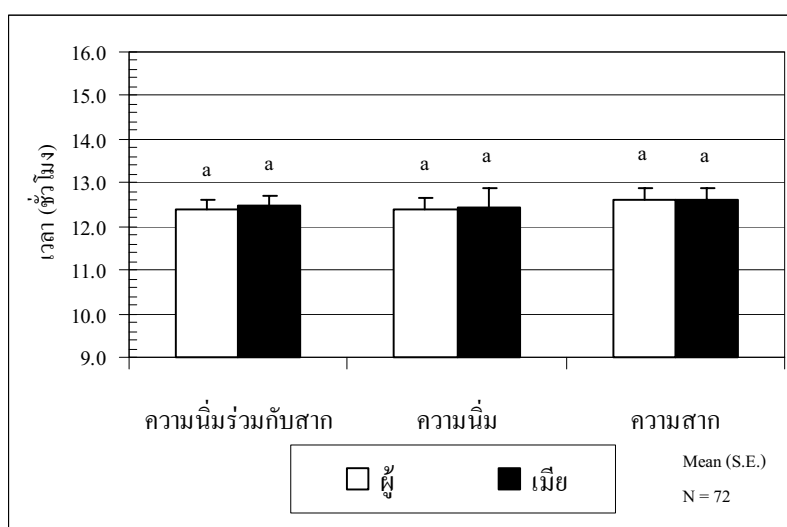
หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=3-5

การชะลอการสร้างเปลือกของปูทะเลหลังลอกคราบ

เพศ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เพศไม่มีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่ง ในด้านผลรวมของความนึ่งร่วมกับความสาก ความนึ่ง และความสาก (ภาพที่ 33)



ภาพที่ 33 ระยะเวลานานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง เปรียบเทียบระหว่างเพศ

การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก

ปูทะเลนึ่งทุกการทดลองที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องสามารถคงระยะเวลาในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง ได้นานกว่าปูนึ่งทุกการทดลองที่ปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาจากความนึ่งร่วมกับความสาก ความนึ่ง ความสาก นอกจากนี้ปูนึ่งที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องที่ลด pH และร่วมกับการให้หรือไม่ให้ โอโซน สามารถคงคุณภาพความนึ่งได้นานกว่าปูที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องที่ไม่ได้ลด pH ให้และไม่ให้ โอโซน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาจากความนึ่งร่วมกับความสาก ความนึ่ง และความสาก (ภาพที่ 34)

การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด

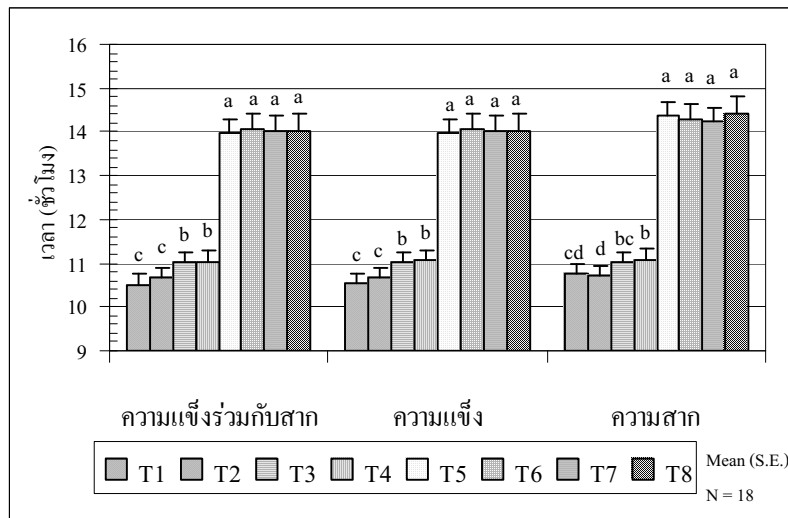
จากการวิเคราะห์การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด แล้วพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผลรวมของความนับร่วมกับความลึก

ผลรวมของความนับร่วมกับความลึก ได้รับอิทธิพลจากการร่วมกันระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและขนาด โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลหลัก กล่าวคือ ปูนี้ขนาดใหญ่ และขนาดกลางกลุ่มที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง สามารถรักษาสภาพผลรวมของความนับร่วมกับความลึกได้นานกว่า ปูทุกขนาด ที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องทุกการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ปูขนาดใหญ่ทุกการทดลอง สามารถคงคุณภาพดังกล่าว ได้นานกว่าปูขนาดกลาง และขนาดเล็ก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันจาก 7 ใน 8 การทดลองปูขนาดกลาง สามารถรักษาสภาพผลรวมของความนับร่วมกับความลึก ยาวนานกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 35)

ความนับ

ความนับ ได้รับอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม และขนาด โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการรักษาสภาพความนับ คืออุณหภูมิ โดยปูนี้ขนาดใหญ่ และขนาดกลางกลุ่มที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง สามารถคงคุณภาพความนับได้นานกว่าปูทุกขนาดที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ปูขนาดใหญ่ที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง สามารถคงสภาพความนับได้นานกว่าปูขนาดกลาง และขนาดเล็ก ขณะเดียวกันปูขนาดกลาง ยังสามารถคงคุณภาพความนับได้นานกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับปูขนาดใหญ่ ที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องทุกการทดลอง มีการรักษาสภาพความนับนานกว่าปูขนาดกลาง และขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 36)



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน T7 = 15 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน

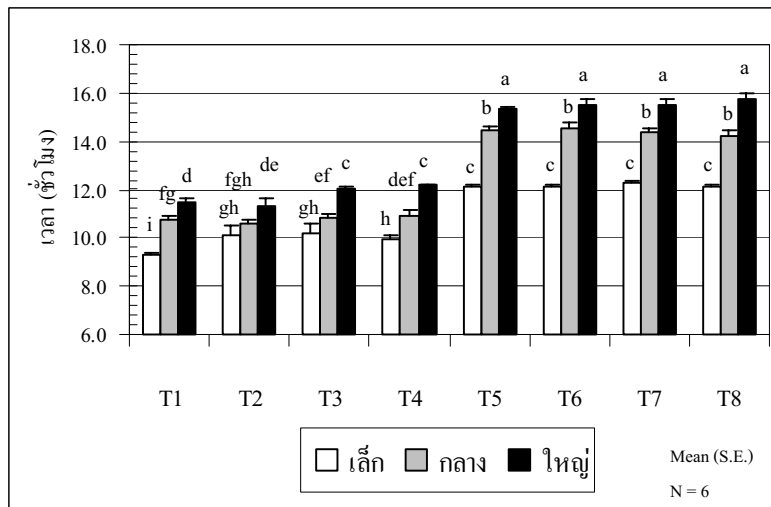
T4 = 28 °C pH 5 ให้ โอโซน T8 = 15 °C pH 5 ให้ โอโซน

เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$)

ภาพที่ 34 ระยะเวลาานที่สุุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่งม เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัย
สิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน T7 = 15 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน

T4 = 28 °C pH 5 ให้ โอโซน T8 = 15 °C pH 5 ให้ โอโซน

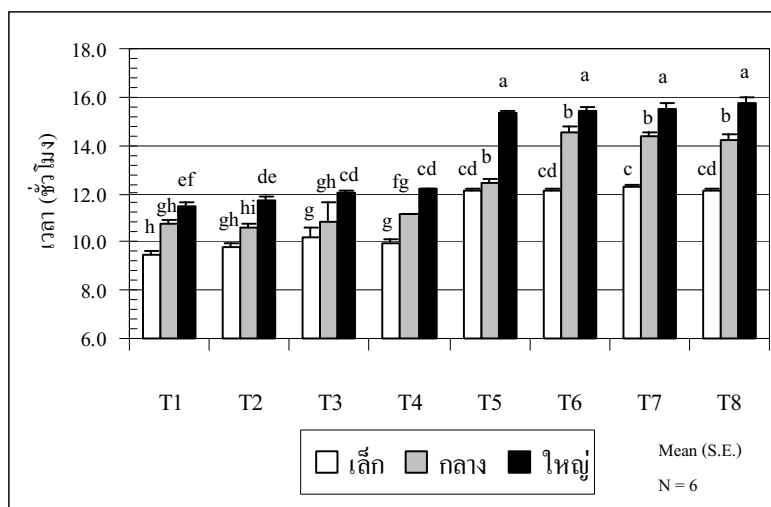
เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$)

ภาพที่ 35 ระยะเวลาการสิ้นสุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ผลรวมของความชื้นร่วมกับความสด)

เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน T7 = 15 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน

T4 = 28 °C pH 5 ให้ โอโซน T8 = 15 °C pH 5 ให้ โอโซน

เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

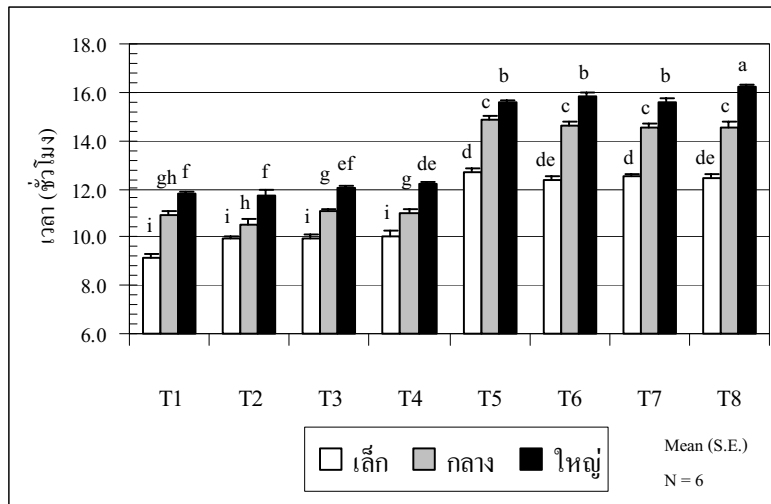
($p < 0.05$)

ภาพที่ 36 ระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ความนึ่ง) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด

ความสาก

ความสาก ได้รับอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม และขนาด ซึ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาอันยาวนานที่สุดในการยอมรับคุณภาพความสาก คือ อุณหภูมิเช่นเดียวกับ ผลรวมของความนึ่งร่วมกับความสาก ความนึ่ง และความสาก โดยปูนึ่งขนาดใหญ่ และขนาดกลางที่ถูกปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำทุกการทดลอง สามารถคงสภาพความสากที่ยอมรับได้นานกว่าปูทุกขนาดที่ปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิห้องทุกการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ในทุกการทดลอง ปูขนาดใหญ่สามารถคงสภาพความสากที่ยอมรับได้ นานกว่าปูขนาดกลาง และขนาดเล็ก ใน

ทำนองเดียวกันปูขนาดกลาง สามารถคงสภาพดังกล่าวได้นานกว่าปูขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 37)



หมายเหตุ

T1 = 28 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน T5 = 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน

T2 = 28 °C pH 8 ให้ โอโซน T6 = 15 °C pH 8 ให้ โอโซน

T3 = 28 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน T7 = 15 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน

T4 = 28 °C pH 5 ให้ โอโซน T8 = 15 °C pH 5 ให้ โอโซน

เปรียบเทียบค่าสถิติในแต่ละลักษณะที่ใช้ในการตรวจสอบ

อักษรภาษาอังกฤษที่ไม่เหมือนกันหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาพที่ 37 ระยะเวลาที่นานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ความสด) เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับขนาด

การควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับเพศและขนาด

จากการวิเคราะห์ทางสถิติการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับเพศ และขนาด พบว่าไม่มีผลต่อระยะเวลาที่นานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง ทั้งในด้านผลรวมของความชื้นร่วมกับความสด ความชื้น และความสด (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ระยะเวลาที่นานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง เปรียบเทียบระหว่างการควบคุมปัจจัย
สิ่งแวดล้อมภายนอกพร้อมกับเพศ และขนาด

การทดลอง	เพศ	ขนาด	ระยะเวลาที่นานที่สุดในการรักษาคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ชั่วโมง)		
			ผลรวมของความ นึ่งร่วมกับ ความสาก	ความนึ่งของ เปลือก	ความสากของ เปลือก
1. 28 °C pH 8 ไม่ให้ ไอโซน	ผู้	เล็ก	9.33 (0.08)	9.55 (0.03)	9.42 (0.08)
		กลาง	10.88 (0.32)	10.88 (0.32)	10.92 (0.22)
		ใหญ่	11.63 (0.27)	11.63 (0.27)	11.83 (0.17)
	เมีย	เล็ก	9.33 (0.17)	9.33 (0.17)	9.80 (0.28)
		กลาง	10.55 (0.33)	10.55 (0.33)	10.93 (0.22)
		ใหญ่	11.33 (0.08)	11.33 (0.08)	11.72 (0.22)
2. 28 °C pH 8 ให้ ไอโซน	ผู้	เล็ก	9.72 (0.23)	9.72 (0.22)	10.05 (0.05)
		กลาง	10.55 (0.33)	10.55 (0.33)	10.33(0.33)
		ใหญ่	11.38 (0.69)	11.72 (0.36)	11.92 (0.33)
	เมีย	เล็ก	10.55 (0.81)	9.88 (0.20)	9.83 (0.17)
		กลาง	10.58 (0.36)	10.58 (0.36)	10.72 (0.22)
		ใหญ่	11.30 (0.10)	11.63 (0.27)	11.50 (0.29)
3. 28 °C pH 5 ไม่ให้ ไอโซน	ผู้	เล็ก	9.63 (0.27)	9.63 (0.27)	9.72 (0.22)
		กลาง	10.97 (0.24)	10.97 (0.24)	11.05 (0.05)
		ใหญ่	12.05 (0.05)	12.05 (0.05)	12.13 (0.07)
	เมีย	เล็ก	10.72 (0.72)	10.72 (0.72)	10.17 (0.08)
		กลาง	10.63 (0.27)	10.63 (0.27)	11.15 (0.10)
		ใหญ่	12.10 (0.05)	12.10 (0.05)	11.92 (0.02)
4. 28 °C pH 5 ให้ ไอโซน	ผู้	เล็ก	9.75 (0.25)	9.75 (0.25)	10.13 (0.08)
		กลาง	10.80 (0.04)	11.13 (0.07)	11.17 (0.08)
		ใหญ่	12.22 (0.03)	12.22 (0.03)	12.30 (0.10)
	เมีย	เล็ก	10.22 (0.03)	10.22 (0.03)	9.97 (0.41)
		กลาง	11.10 (0.05)	11.10 (0.05)	10.83 (0.03)
		ใหญ่	12.13 (0.07)	12.13 (0.07)	12.17 (0.08)

ตารางที่ 15 (ต่อ)

การทดลอง	เพศ	ขนาด	เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนึ่ง (ชั่วโมง)		
			ผลรวมของความ นึ่งร่วมกับ ความสาก	ความนึ่งของ เปลือก	ความสากของ เปลือก
5. 15 °C pH 8 ไม่ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	12.13 (0.07)	12.13 (0.07)	12.63 (0.27)
		กลาง	14.30 (0.10)	14.30 (0.10)	14.85 (0.30)
		ใหญ่	15.25 (0.14)	15.25 (0.14)	15.42 (0.08)
	เมีย	เล็ก	12.17 (0.08)	12.17 (0.08)	12.72 (0.22)
		กลาง	14.55 (0.33)	14.55 (0.33)	14.88 (0.20)
		ใหญ่	15.38 (0.12)	15.38 (0.12)	15.72 (0.22)
6. 15 °C pH 8 ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	12.13 (0.07)	12.13 (0.07)	12.47 (0.35)
		กลาง	14.52 (0.32)	14.52 (0.32)	14.63 (0.27)
		ใหญ่	15.30 (0.10)	15.30 (0.10)	15.55 (0.30)
	เมีย	เล็ก	12.13 (0.07)	12.13 (0.07)	12.30 (0.10)
		กลาง	14.55 (0.33)	14.55 (0.33)	14.58 (0.22)
		ใหญ่	15.77 (0.38)	15.55 (0.33)	16.10 (0.05)
7. 15 °C pH 5 ไม่ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	12.25 (0.14)	12.25 (0.14)	12.58 (0.22)
		กลาง	14.25 (0.14)	14.25 (0.14)	14.42 (0.08)
		ใหญ่	15.47 (0.35)	15.47 (0.35)	15.63 (0.27)
	เมีย	เล็ก	12.25 (0.14)	12.25 (0.14)	12.50 (0.00)
		กลาง	14.47 (0.35)	14.47 (0.35)	14.63 (0.27)
		ใหญ่	15.55 (0.33)	15.33 (0.33)	15.58 (0.22)
8. 15 °C pH 5 ให้ โอโซน	ผู้	เล็ก	12.13 (0.07)	12.13 (0.07)	12.63 (0.27)
		กลาง	14.30 (0.10)	14.30 (0.10)	14.63 (0.27)
		ใหญ่	15.88 (0.32)	15.88 (0.32)	16.30 (0.10)
	เมีย	เล็ก	12.13 (0.07)	12.13 (0.07)	12.25 (0.14)
		กลาง	14.08 (0.51)	14.08 (0.51)	14.38 (0.48)
		ใหญ่	15.67 (0.17)	15.67 (0.17)	16.22 (0.15)

หมายเหตุ

Mean (S.E.) N=3

คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำตลอดระยะการทดลองของการเลี้ยงปู พบว่า การเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ อยู่ในช่วง 26-29 ° C พีเอช 7.6-8.2 ปริมาณออกซิเจนในน้ำ 5.0-6.0 ppm ไนโตรที่ 0.01-0.05 ppm และแอมโมเนีย 0.1-0.3 ppm โดยค่าที่ตรวจสอบได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปูทั้ง 2 ชนิด

สรุปและวิจารณ์ผล

คุณภาพปุ๋ยม

ปุ๋ยจะมีระยะเวลาที่ยังคงรักษาคุณภาพปุ๋ยมได้สั้นกว่าปุ๋ยมะเลมาก โดยเฉลี่ยปุ๋ยต้องเก็บให้ทันภายใน 45 นาที ภายหลังจากลอกคราบเสร็จ ขณะที่ปุ๋ยมะเลต้องเก็บให้ทันภายใน 270 นาที ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยมีการสร้างเปลือกอย่างรวดเร็ว จึงน่าที่จะต้องมียุทธการใส่แคลเซียม แมกนีเซียมและโบรอนค่อนข้างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับปุ๋ยมะเลที่มียุทธการใช้ที่ต่ำกว่า ซึ่งมีความเสี่ยงต่อคุณภาพต่ำกว่าปุ๋ยมาก จึงเห็นว่า ในการทำฟาร์มปุ๋ยมันนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความเร็วในการเก็บปุ๋ยหลังลอกคราบ ไม่ว่าที่ความเค็มใดก็ตาม ความพิถีพิถันจึงมีค่อนข้างมาก การจัดการต้องมีความกว่าปุ๋ยมะเล การแยกระยะลอกคราบจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อความเร็วในการจัดการดังกล่าว

การรักษาสภาพความชื้น ความลึก และผลรวมของความชื้นและความลึกของเปลือกปุ๋ยหลังลอกคราบ มีอิทธิพลหลักมาจากความเค็มและขนาดของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ระยะเวลาจะยาวนานขึ้นเมื่อปุ๋ยขนาดใหญ่ขึ้น และความเค็มน้ำลดลง หมายความว่าปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดจะมียุทธการสร้างเปลือกที่ช้าลงเมื่อลดความเค็มน้ำที่เลี้ยงลง ทั้งนี้ เนื่องจากปุ๋ยจะมีโอกาสน้อยลงในการนำเอาไอออนในน้ำไปใช้เพื่อสร้างเปลือกและกิจกรรมต่างๆ ทางสรีระ เนื่องจากน้ำความเค็มที่ลดลงนั้นจะมีความเข้มข้นของไอออนแทบทุกชนิดลดลงด้วย จึงมีผลไปลดประสิทธิภาพการนำไอออนจากน้ำไปสะสมเพื่อเตรียมการลอกคราบหรือสร้างเปลือกภายหลังลอกคราบลดลง การเลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำจึงสามารถรักษาคุณภาพปุ๋ยมภายหลังลอกคราบได้ดีกว่า จึงเป็นแนวทางที่ควรนำน้ำที่ปราศจากไอออนหรือมีปริมาณต่ำมาใช้ชะลอการสร้างเปลือก แต่ก็ต้องระมัดระวังเพราะอาจจะเป็นสาเหตุทำให้ปุ๋ยช็อคตายได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงปุ๋ยในน้ำความเค็มต่ำนั้นจะเป็นการขัดขวางต้นเหตุของการสะสมไอออนของปุ๋ยเพื่อเตรียมความพร้อมในการสร้างเปลือกภายหลังลอกคราบทันทีได้ในขั้นตอนหนึ่ง

ปัจจัยเรื่องเพศไม่มีผลต่อการรักษาสภาพความชื้น ความลึก และผลรวมของความชื้นและความลึกของเปลือกปุ๋ย แต่ไปมีผลในปุ๋ยมะเล ปุ๋ยมะเลเพศเมียขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในความเค็มต่ำ 10 ppt จะมีระยะเวลาคงสภาพนานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปุ๋ยมภายหลังการลอกคราบ ขณะที่เพศผู้มีผลต่อ %การเพิ่มขนาดและน้ำหนักของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ก็เป็นเรื่องที่เกษตรกรไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงมากเกินไปในการทำฟาร์มปุ๋ยม

% การเพิ่มขนาดและน้ำหนักของปูม้ามีอิทธิพลหลักมาจากขนาดของปูทั้ง 2 ชนิด โดยมีปัจจัยร่วมของความเค็มน้ำที่เลี้ยงเข้ามาเกี่ยวข้อง ปูขนาดเล็กทั้ง 2 ชนิดจะมีอัตราการเพิ่มขนาดสูงสุด โดยปูที่เลี้ยงในความเค็มน้ำที่สูงขึ้นมีโอกาสดำรงชีวิตของขนาดดีขึ้น ซึ่งเป็นกลไกที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปที่ปูขนาดเล็กจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าปูขนาดใหญ่ ขณะที่ความเค็มน้ำที่สูงขึ้นนั้นก็ส่งผลให้ปูมีขนาดและน้ำหนักที่เพิ่มสูง ทั้งนี้จะเป็นเพราะว่าปูม้าซึ่งมี isoosmotic point ที่ 33 ppt ปูทะเลมี isoosmotic point ที่ 30 ppt ซึ่งให้เห็นว่าระดับความเค็มช่วง 20-30 ppt นั้น น่าจะเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตที่มากกว่าความเค็ม 10 ppt ถึงแม้อัตราการรอดตายไม่แตกต่างกัน

ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นตามเวลาภายหลังลอกคราบของปูทั้ง 2 ชนิด เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ตลอดเวลาที่ตรวจสอบคุณภาพความนิ่มภายหลังลอกคราบ แสดงให้เห็นว่าสีไม่สามารถเป็นตัวกำหนดคุณภาพได้ในเชิงธุรกิจ แต่ในเชิงวิชาการแล้วคาดว่าน่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้น กล่าวคือสีที่ค่อนข้างเข้มภายหลังลอกคราบใหม่จากขบวนการ tanning process นั้นน่าจะมีความเข้มลดลงจากการสะสมของแคลไซต์และแมกนีไซต์ แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจจะน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ตาเปล่า

การรอดตายของปูม้าและปูทะเลทุกระดับความเค็มน้ำไม่แตกต่างกัน (75-80%) ปูม้าซึ่งมี isoosmotic point ที่ 33 ppt (บุญรัตน์ และคณะ, 2547) ปูทะเลมี isoosmotic point ที่ 30 ppt (บุญรัตน์ และคณะ, 2546) ซึ่งให้เห็นว่าระดับความเค็ม 30 ppt นั้น น่าจะเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตมากกว่า แต่จากการทดลองไม่พบความแตกต่างในเรื่องการรอดตายระหว่างการเลี้ยง ทั้งที่ตัวปูทั้ง 2 ชนิด ต้องมีการปรับตัวอยู่ในสภาพ hyperosmotic ตลอดเวลา และต้องปรับตัวมากขึ้นเมื่อความเค็มต่ำลง แต่ยังไม่อยู่ในช่วงวิกฤติสำหรับปูทั้ง 2 ชนิด จากการสังเกตพบว่าปูทะเลสามารถทนได้ที่ความเค็มน้ำ 5 ppt ขณะที่ปูม้าไม่ควรเลี้ยงต่ำกว่า 8 ppt

การตรวจสอบคุณภาพปูนิ่มด้วยเครื่อง Texture analyzer

การตรวจสอบคุณภาพปูนิ่มด้วยประสาทสัมผัส (Sensory test) เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการยอมรับในคุณภาพปูม้า และปูทะเลนั้น เป็นการตรวจสอบจากความแข็งของเปลือกปูที่เพิ่มขึ้นโดยพิจารณาจากเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพปูนิ่ม และเพื่อเป็นการสร้างมาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพปูนิ่มด้วยประสาทสัมผัส ได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าค่าความแข็งของเปลือกมีความสัมพันธ์กับเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพปูนิ่ม กล่าวคือระดับคุณภาพที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ค่าความแข็งของเปลือกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ระยะเวลานานที่สุดที่ปูนิ่มยังคงรักษาคุณภาพที่ยอมรับได้ของปูม้า และปูทะเลได้กำหนดค่าความแข็งตัวของเปลือกที่ระดับ 3 และ 6 ซึ่งมีค่าความแข็ง

ของเปลือก 380.8 ± 1.2 g และ $1,067 \pm 29.2$ g ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการยอมรับโดยการใช้ประสาทสัมผัสนั้นยอมรับคุณภาพของปูทั้ง 2 ชนิดนี้แตกต่างกัน ซึ่งผู้บริโภคมองรับคุณภาพของปูทะเลนี้ได้ในระดับคุณภาพที่มีค่าความแข็งที่สูงกว่าปูม้าประมาณ 3 เท่าตัว ทั้งนี้อาจจะเป็นไปได้ว่าปูทะเลมีโครงสร้างหลังลอกคราบนั้นยังคงมีสารอินทรีย์อยู่สูงอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับอัตราในการสะสมสารอินทรีย์ต่ำกว่าปูม้า จึงเป็นไปได้ที่ปูทะเลยังคงรักษาความนุ่มได้ยาวนาน จึงส่งผลให้ระยะเวลาสิ้นสุดที่ปูทะเลนี้ยังคงรักษาคุณภาพที่ยอมรับได้นั้น ผู้บริโภคยอมรับได้ในระดับที่ 6 ขณะที่ปูม้ามีอัตราการสะสมสารอินทรีย์เร็ว ส่งผลให้โครงสร้างเปลือกกระด้างอย่างรวดเร็ว ผู้บริโภคจึงยอมรับคุณภาพปูม้าไม่ได้ที่ระดับ 3 ทั้งนี้การวัดค่าความแข็งของเปลือกปูด้วยการใช้ Texture analyzer โดยใช้หัว probe P/2 ซึ่งหลักการจะใช้แรงกดจนทะลุตัวอย่าง โดยพิจารณาจากแรงมากที่สุดที่ทำให้ตัวอย่างทะลุ และด้วยเหตุผลข้างต้น โครงสร้างปูทะเลมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่สูง จึงทำให้โครงสร้างเหนียว และยืดหยุ่นมากกว่าปูม้า ผลที่ได้จึงมีส่วนทำให้การเจาะผ่านของหัว probe นั้นใช้แรงมากจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความแข็งของเปลือกปูทะเลนี้ ด้วยการตรวจสอบจากเครื่อง Texture analyzer มีค่าสูงมาก อย่างไรก็ตาม ค่าความแข็งที่ตรวจสอบด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ของปูแต่ละชนิดภายหลังลอกคราบ มีความสัมพันธ์กับระดับคุณภาพด้วยการตรวจสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส ซึ่งสามารถเป็นดัชนีมาตรฐานในการวัดคุณภาพปูทั้ง 2 ชนิดได้

สรีระเคมีภายในร่างกายของปูภายหลังลอกคราบ

ระดับความเค็มที่ใช้ในการเลี้ยงปูม้าและปูทะเลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตีในเลือดของปูทั้ง 2 ชนิดภายหลังลอกคราบ โดยระดับความเค็มน้ำ 10 และ 20 ppt ค่าออสโมลาลิตีของเลือดมีค่าสูงกว่าออสโมลาลิตีของน้ำทะเล แสดงสภาวะ hyperosmoregulation กล่าวคือค่าออสโมลาลิตีในเลือดปูมีระดับคุณภาพที่ 1 มีค่าสูงกว่าค่าออสโมลาลิตีของน้ำทะเลภายนอก แสดงให้เห็นว่าปูมีการรักษาความเข้มข้นของเลือดทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ปูมีการสะสมภายในร่างกายช่วงก่อนลอกคราบจากขบวนการสลายจากเปลือกเก่า (decalcification) เพื่อเตรียมนำมาใช้ภายหลังลอกคราบไว้ให้ได้มากที่สุด ถึงแม้ค่าออสโมลาลิตีของน้ำภายนอกต่ำกว่าค่าออสโมลาลิตีของเลือดปูเกือบ 2 เท่า ส่งผลให้น้ำภายนอกที่มีความเจือจางพยายามเข้าไปในร่างกาย (osmosis) ปูจึงมีกลไกในการขับน้ำออกจากร่างกาย ในขณะเดียวกันก็มีการพยายามรักษาสมดุลเกลือแร่ให้สูงกว่าภายนอก และด้วยเหตุนี้ปูม้าที่ลอกคราบภายใต้ความเค็มต่ำจึงต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในการพยายามรักษาสมดุลดังกล่าว ประกอบกับมีโอกาสน้อยลงในการนำเอาไอออนในน้ำไปใช้เพื่อสร้างเปลือก ส่งผลให้ประสิทธิภาพใน

การสร้างเปลือกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับเวลานานที่สุดของลักษณะทางกายภาพของเปลือกที่ยอมรับได้ในคุณภาพปูน้ำจืด 2 ชนิด ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ

ขณะที่ระดับความเค็ม 30 ppt ค่าออสโมลาลิตีในเลือดปูมีค่าต่ำกว่าออสโมลาลิตีของน้ำทะเลเล็กน้อย แสดงภาวะ hyposmoregulation คือค่าออสโมลาลิตีในเลือดปูมีค่าต่ำกว่าออสโมลาลิตีของน้ำทะเลภายนอก โดยปูน้ำจืดที่ลอกคราบภายใต้ความเค็มสูงจะปรับตัวโดยทำให้ของเหลวภายในร่างกายมีความเข้มข้นต่ำกว่าภายนอก ทั้งนี้เพราะน้ำความเค็มสูง เคลือแร่จะแพร่เข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก ปูจึงต้องมีการรักษาน้ำไว้ในร่างกายและขับเกลือแร่บางส่วนออกไป ด้วยเหตุนี้ปูที่เลี้ยงในน้ำความเค็มสูงจึงมีโอกาสนำเอาไอออนในน้ำไปใช้เพื่อสร้างเปลือกได้ดีขึ้น

ระดับความเค็มน้ำมีอิทธิพลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Na, Cl, Ca, K และ S ในพลาสมาปูน้ำจืด P กล่าวคือความเข้มข้นของแร่ธาตุส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความเค็มน้ำที่มีต่อการสะสมแร่ธาตุในเลือดปูน้ำจืด ซึ่งความเค็มน้ำที่สูงขึ้นย่อมส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นแร่ธาตุดังกล่าวสูงขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Mg จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้สอดคล้องกับค่าออสโมลาลิตีของปูน้ำจืดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตีในเลือดตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ปูที่เลี้ยงไว้ในน้ำความเค็มต่ำจึงมีผลไปลดประสิทธิภาพการสะสมแร่ธาตุจากน้ำไปเพื่อการสร้างเปลือกภายหลังลอกคราบ ส่งผลให้การเลี้ยงปูในน้ำความเค็มต่ำสามารถรักษาคูณภาพปูน้ำจืดภายหลังลอกคราบได้ยาวนานกว่า สอดคล้องกับระยะเวลาในการรักษาคูณภาพปูน้ำจืด ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ

โดยภาพรวมระดับความเค็มน้ำมีอิทธิพลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแร่ธาตุในพลาสมาปูทะเล แต่จะเห็นได้ชัดเจนที่ระดับความเค็ม 30 ppt โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของ Cl, K และ S ที่มีค่าความเข้มข้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความเค็มน้ำที่มีต่อการสะสมแร่ธาตุในพลาสมาปูทะเล ซึ่งความเค็มน้ำที่สูงขึ้นย่อมส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นแร่ธาตุสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ปูทะเลจะรักษาเข้มข้นของแร่ธาตุ Na และ Mg ไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากนัก ขณะเดียวกันแร่ธาตุดังกล่าวข้างต้นมีความสำคัญในแง่ของการรักษาสมดุลเกลือแร่ในร่างกาย และการนำไปใช้ในกระบวนการสร้างเปลือก จึงส่งผลให้ปูที่เลี้ยงในน้ำความเค็มสูงมีกระบวนการสร้างเปลือกรวดเร็วขึ้น ดังนั้นปูที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำจึงสามารถรักษาคูณภาพปูน้ำจืดภายหลังลอกคราบได้นานกว่า สอดคล้องกับระยะเวลาในการรักษาคูณภาพปูทะเลน้ำจืด ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของ Cl ซึ่งเห็นว่าประโยชน์ของการเลี้ยงที่ความเค็มต่ำนั้นยังช่วยลดความเค็มภายในร่างกายของปูต่ำลงด้วย เป็นการลดปัญหาของความเค็มในการปรุงอาหารอีกทางหนึ่งที่ประสบปัญหาในปัจจุบัน

โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูน้ำจืด

จากข้อมูลลักษณะโครงสร้างของเปลือกปูน้ำจืดในแต่ละระดับคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าระดับคุณภาพที่ 1 โครงสร้างเปลือกประกอบด้วย organic ส่วนใหญ่คาดว่าจะองค์ประกอบน่าจะเป็น chitin และ protein ขณะที่ inorganic ยังมีปริมาณต่ำ ส่งผลให้โครงสร้างเปลือกมีความนิ่มมาก ความยากต่อการคัดลอกกับข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพปูน้ำจืดด้วยประสาทสัมผัส ในทำนองเดียวกัน organic ก็จะลดลงอย่างต่อเนื่องตามระดับคุณภาพ ขณะที่ inorganic มีการสะสมในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะ Ca, Mn, Mg, และ P ที่มาสะสมในรูปของ Ca, Mn, และ Mg ร่วมกับ PO_4^{3-} เพื่อสร้างความแข็งแรง และเพิ่มความหนาให้กับโครงสร้างเปลือก จากระดับคุณภาพที่ 2 ถึง 4 หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่ระดับ 5 โครงสร้างระหว่างชั้น epicuticle กับ exocuticle เริ่มมีซับซ้อนลักษณะคล้ายตาข่าย จนกระทั่งปรากฏเป็นชั้นใหม่ขึ้นมาแทรกอยู่ระหว่างชั้น epicuticle กับ exocuticle เมื่อเข้าสู่ระดับคุณภาพที่ 6 คาดว่าน่าเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างของชั้น exocuticle เพื่อให้มีลักษณะที่สามารถเอื้อให้มีการสะสม CaCO_3 ในโครงสร้างได้มากขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูน้ำจืดที่ธาตุดังกล่าวสะสมอย่างรวดเร็วในระดับที่ 6

จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูน้ำจืดในแต่ละระดับคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าปูน้ำจืดมีขบวนการสร้างเปลือกอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับข้อมูลระดับการยอมรับคุณภาพปูน้ำจืด ทั้งนี้พบว่า N มีค่าลดลงตามระดับคุณภาพจาก 1-6 ขณะที่ O มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากระดับ 2-3 และลดลงอย่างต่อเนื่องจากระดับคุณภาพที่ 3-5 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของเปลือกปูน้ำจืดมีองค์ประกอบของ organic อยู่ในช่วงแรก คาดว่าส่วนใหญ่น่าจะเป็น chitin และ protein (Camaron, 1985; Pratoomchat *et al.*, 2002a, 2003) จากนั้นค่อยๆลดลง เมื่อระดับคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป ในทางกลับกันระดับคุณภาพจาก 1-6 จะมีการสะสม inorganic มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Ca ที่สะสมอย่างต่อเนื่อง และสะสมอย่างรวดเร็วในระดับที่ 6 ขณะที่ P มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วงระดับที่ 1-5 ทั้งนี้เป็นเพราะ P มีความสำคัญต่อการสร้างเปลือกร่วมกับ Ca ในรูปของ Ca^{2+} ร่วมกับ PO_4^{3-} หลังจากนั้นเมื่อถึงระดับที่ 6 บทบาทของ P เริ่มลดลง เนื่องจากมีการใช้ HCO_3^- เข้ามาในกระบวนการสร้างเปลือกแทนในรูปของ CaCO_3 สอดคล้องกับการศึกษาในปูทะเลระยะหลังลอกคราบ (Pratoomchat *et al.*, 2002a) นอกจากนี้ Mn มีการสะสมสูงจากระดับคุณภาพ 1-3 และคงที่ในระดับ 4-6 ขณะที่ Mg มีการสะสมสูงอย่างต่อเนื่องจากระดับคุณภาพ 1-5 แม้ว่าลดลงเล็กน้อยในระดับที่ 6 เป็นไปได้ว่าธาตุทั้ง 2 เข้าไปมีบทบาทสำคัญในการสร้างความแข็งแรงของเปลือกร่วมกับ Ca ได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของ Mn และ Mg ร่วมกับ PO_4^{3-} และเปลี่ยนรูปไปพร้อมกับ CO_3^{2-} เมื่อปูมีระดับคุณภาพสูงกว่า 6 เป็นต้นไป

ส่วน Na และ K จะมีค่าสูงช่วงระดับคุณภาพ 2 และ 3 ตามลำดับ แสดงถึงโครงสร้างเปลือกยังมีการดูดซึมน้ำภายนอกไว้ในปริมาณมาก หรืออาจจะนำมาใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกในช่วงแรกก็ได้ และจะลดลงอย่างต่อเนื่องช่วงระดับคุณภาพ 3 เป็นต้นไป หมายความว่าปูได้มีกระบวนการควบคุมสมดุลเกลือแร่โดยนำ Na และ K ออกจากโครงสร้าง หรือร่วมกับเหตุการณ์ที่มีการนำของแร่ธาตุที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเปลือกเป็น Ca, P และ O เข้ามาแทนที่ในโครงสร้างเปลือกมากขึ้น ทำให้ Na และ K ลดลง

จากข้อมูลลักษณะโครงสร้างของเปลือกปูทะเลในในแต่ละระดับคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกโครงสร้างเปลือกประกอบด้วยเส้นใยไฟเบอร์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีองค์ประกอบของไคตินและโปรตีน (chitino-protein complex) (Pratoomchat *et al.*, 2002b) ส่งผลให้โครงสร้างเปลือกมีความนุ่มและยืดหยุ่นมากในช่วงแรก หลังจากนั้นการสะสม inorganic มีมากขึ้นตามลำดับ โดยส่วนใหญ่เป็นการตกผลึกของแร่ธาตุพวก Ca, Mn, Na, K และ P โดยเฉพาะ Ca^{2+} และ Mn^{2+} ร่วมกับ PO_4^{3-} จึงทำให้เปลือกปูมีความแข็งและความสึกมากขึ้น สอดคล้องกับข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูทะเลนุ่ม และการตรวจสอบคุณภาพปูด้วยประสาทสัมผัส อย่างไรก็ตามความหนาที่เพิ่มขึ้นของโครงสร้างเปลือกปูทะเลเป็นผลมาจากชั้น exocuticle ที่ขยายขนาดเนื่องจากการสะสม inorganic

จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูทะเลในในแต่ละระดับคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าปูทะเลมีกระบวนการสร้างเปลือกอย่างช้าๆ สอดคล้องกับข้อมูลระดับการยอมรับคุณภาพปูทะเลนุ่ม เหตุผลจะพบว่า N และ O มีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของเปลือกปูทะเลมีองค์ประกอบของ organic สูงอยู่ตลอดเวลา จากระดับคุณภาพ 1-6 ซึ่งน่าจะเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย chitin และ protein (Camaron, 1985; Pratoomchat *et al.*, 2002a) จากนั้นเมื่อระดับคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป การสะสมของ inorganic มีสูงขึ้นโดยเฉพาะ Ca ที่สะสมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในช่วงระดับคุณภาพ 1-4 นั้นองค์ประกอบ inorganic ส่วนใหญ่น่าจะเป็น Mn ร่วมกับ PO_4^{3-} และ Ca^{2+} ร่วมกับ PO_4^{3-} เนื่องจาก Mn และ Ca มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงมีโอกาสพบสารโครงสร้างเปลือกร่วมกับ P ที่พบปริมาณสูงในช่วงระดับคุณภาพ 1-4 หลังจากนั้นจะเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย Mn และ Ca^{2+} ร่วมกับ CO_3^{2-} เนื่องจากระดับของ P ที่ลดลงในระดับคุณภาพที่ 5 และบทบาทของ Mn จะลดลงตั้งแต่ระดับที่ 4 เป็นต้นไป สอดคล้องกับการศึกษาของ Pratoomchat *et al.* (2002a, 2003) ที่พบว่าปูทะเลระยะหลังลอกคราบ (stage A-B) มีการสร้างเปลือก และสะสม inorganic ในช่วงแรกด้วยการใช้ Mn และ P ค่อนข้างมาก

นอกจากนี้ Na มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระดับคุณภาพจาก 1-6 เช่นเดียวกับ K ที่มีค่าสูงขึ้นจากระดับ 1-4 จึงเป็นไปได้ที่ Na และ K น่าจะมีบทบาทในการเสริมสร้างเปลือกในช่วงแรก ถึงแม้ว่า

ธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่ได้เป็นองค์ประกอบหลักในเปลือกก็ตาม ขณะที่ Mg มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงระดับคุณภาพ 1-5 แสดงให้เห็นว่า Mg เป็นธาตุที่มีบทบาทไม่มากนักในช่วงแรกของการสร้างเปลือกปูทะเล

ปูม้ามีกระบวนการสะสมแร่ธาตุอย่างรวดเร็วภายหลังลอกคราบโดยปริมาณ Ca, Mn, Mg, K และ P มีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนส่งผลทำให้ N และ O ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ปูทะเลยังคงมีระดับ N และ O สูง จึงมีส่วนทำให้ปูยังคงรักษาคุณภาพปูน้ำจืดยาวนานกว่าปูม้า ถึงแม้ว่าจะมีการสะสม Ca, Mn, Mg และ K แต่จะมีส่วนร่วมของ P ในขบวนการสร้างเปลือกใหม่ต่ำกว่า ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้ระดับคุณภาพปูน้ำจืดมีข้อจำกัดด้านเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าปูทะเลมาก

การชะลอการสร้างเปลือกปู

อิทธิพลหลักที่มีผลต่อการชะลอการสร้างเปลือกของปูน้ำจืดเพื่อรักษาคุณภาพ โดยภาพรวมคือการลดอุณหภูมิที่ 15 °C และใช้เพียงปัจจัยเดียวก็เพียงพอแล้ว แต่หากพิจารณาคุณภาพปูน้ำจืดแยกระหว่างความนุ่มและความสากแล้วควรจะต้องลดอุณหภูมิร่วมกับการลด pH และให้ออกซิเจน การนำปูม้าหลังลอกคราบมาปรับสภาพภายใต้สภาพดังกล่าวข้างต้น เป็นการรักษาคุณภาพผลรวมความนุ่มร่วมกับความสากได้นานประมาณ 3.5 ชม. โดยสามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 2.8 ชม. หรือได้นานกว่าชุดควบคุม 4.6 เท่า เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งของสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพล metabolism สรีรวิทยา และการเจริญเติบโตของปู (Kangas, 2000) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำปูหลังลอกคราบใหม่ๆ มาปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำ จะส่งผลต่อกิจกรรมของปู (Smith และ Sumpton, 1989) ลดประสิทธิภาพการนำออกซิเจนจากน้ำไปใช้ในการสร้างเปลือก รวมไปถึงการควบคุมระบบสมดุลเกลือแร่ (Williams, 1960 อ้างโดย Truchot, 1983) pH ที่ต่ำลง ยังมีผลยับยั้งการสะสมแร่ธาตุ (biomineralization) (Cameron, 1985; Pratoomchat *et al.*, 2003) ทั้งยังมีข้อได้เปรียบในเรื่องของการยับยั้งแบคทีเรียบางชนิด เมื่อมีการใช้ออกซิเจนร่วมด้วย อย่างไรก็ตามออกซิเจนอาจจะมีผลรบกวนขบวนการสร้างเปลือกเนื่องจากเป็น oxidizing agent ที่รุนแรง (Oztekin, 2006)

เพศไม่มีผลต่อระยะเวลาที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูน้ำจืด ทั้งผลรวมของความนุ่มร่วมกับความสาก ความนุ่ม และความสาก ขนาดมีผลต่อระยะเวลาที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูน้ำจืด และเมื่อมาพิจารณาเรื่องการชะลอการสร้างเปลือกแล้ว โดยเฉลี่ยปูทุกขนาดคงเวลาการรักษาคุณภาพได้นานกว่าชุดควบคุมถึง 4.3 เท่า กล่าวคือปูขนาดใหญ่สามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 3.6 ชม. หรือมากกว่าชุดควบคุม 4.3 เท่า และปูขนาดกลางสามารถยืดระยะเวลาการรักษาคุณภาพยาวนานไม่แตกต่างกัน โดยใช้เวลาดังกล่าวนานกว่าชุดควบคุมมากถึง 3.5

ชม. หรือมากกว่าชุดควบคุม 4.3 เท่า ซึ่งปุ๋ยทั้งสองขนาดข้างต้นสามารถยืดระยะเวลาการรักษาคุณภาพยาวนานกว่าปุ๋ยขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามปุ๋ยขนาดเล็กสามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกนานกว่าชุดควบคุมมากถึง 3.2 ชม. หรือมากกว่าชุดควบคุม 4.4 เท่า เนื่องจากปุ๋ยขนาดเล็กจะมี metabolism และพลังงานทั้งหมดที่ได้รับจากอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต ส่งผลให้ขบวนการสร้างเปลือกเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ปุ๋ยขนาดใหญ่จะต้องนำพลังงานส่วนหนึ่งไปสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ดังนั้นในการทำฟาร์มปุ๋ยน้ำผู้ประกอบการควรต้องนำข้อมูลวิกฤติระยะเวลาที่คงรักษาคุณภาพปุ๋ยน้ำนมของปุ๋ยขนาดต่าง ๆ ไปพิจารณาการเก็บเกี่ยวปุ๋ยขนาดต่างๆภายหลังลอกคราบในการทำฟาร์ม

การนำปุ๋ยทะเลหลังลอกคราบปรับสภาพในน้ำจืดที่ลดอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว เป็นการรักษาระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปุ๋ยทะเลนึ่ง เมื่อพิจารณาจากผลรวมของความนึ่งร่วมกับสาก ความนึ่ง และความสาก โดยสามารถคงคุณภาพดังกล่าวได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 8.9, 9 และ 8.7 ชม. ตามลำดับ หรือได้นานกว่าชุดควบคุมถึง 2.7 เท่า วิธีการนี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลหลักนั้นมาจากอุณหภูมิที่ต่ำโดยไม่จำเป็นต้องร่วมกับการลด pH หรือการให้โอโซน ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่มีผลการคงระยะเวลาเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปุ๋ยทะเลนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล metabolism สรีรวิทยา และการเจริญเติบโตของปู (Kangas, 2000) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำปุ๋ยทะเลหลังลอกคราบใหม่ๆมาปรับสภาพภายใต้อุณหภูมิต่ำ จะส่งผลต่อกิจกรรมของปู ลดประสิทธิภาพการนำออกซิเจนจากน้ำไปใช้ในการสร้างเปลือก รวมไปถึงการควบคุมระบบสมดุลเกลือแร่ (Williams, 1960 อ้างโดย Truchot, 1983) การลดอุณหภูมิน้ำก็เพื่อลด metabolism ของปูทั้ง 2 ชนิด ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 15 °C แม้จะพยายามลดอุณหภูมิเหลือเพียง 10 °C แต่ก็ให้ผลของระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูนึ่งไม่แตกต่างจากการลดอุณหภูมิที่ 15 °C หากลดอุณหภูมิต่ำกว่า 10 °C ปูทั้ง 2 ชนิดจะไม่สามารถรอดชีวิตได้

เพศไม่มีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปุ๋ยทะเลนึ่ง ขณะที่ขนาดมีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปุ๋ยทะเลนึ่ง และเมื่อมาพิจารณาเรื่องการชะลอการสร้างเปลือกแล้ว ชี้ให้เห็นว่าปูขนาดใหญ่ สามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 9.7 ชม. หรือมากกว่า 2.7 เท่า โดยจะมีระยะเวลาการรักษาคุณภาพนานที่สุด นานกว่าขนาดกลาง และขนาดเล็ก ขณะเดียวกันปูขนาดกลางสามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 9.4 ชม. หรือมากกว่า 2.9 เท่า ทั้งยังสามารถคงคุณภาพความนึ่งได้นานกว่าปุ๋ยขนาดเล็ก ที่สามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือก ได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 7.5 ชม. หรือมากกว่า 2.6 เท่า แสดงให้เห็นว่าปูมีขนาดใหญ่ขึ้น จะมีระยะเวลาการรักษาคุณภาพนานขึ้น ซึ่งในการทำฟาร์มปูทะเลนึ่งอาจจะต้องนำข้อมูลดังกล่าว

ไปพิจารณาในการเก็บเกี่ยวปูทะเลนี้ม ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง หรือเล็ก เพื่อผลประโยชน์สูงสุดทางธุรกิจ

ปูทะเลมีการชะลอการสร้างเปลือกนานกว่าปูม้า โดยเฉลี่ยปูม้ามีระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้านุ่มได้นาน 3.4 ชม. ขณะที่ปูทะเลสามารถคงเวลาการรักษาคุณภาพได้นานถึง 14 ชม. หรือมากกว่า 4.1 เท่า แสดงให้เห็นว่าปูม้ามีการสะสมแร่ธาตุ (biomineralization) ในการสร้างเปลือกอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับการตรวจสอบคุณภาพปูนี้ด้วยประสาทสัมผัส กล่าวคือปูม้าใช้เวลาประมาณ 10 นาทีในการเปลี่ยนคุณภาพแต่ละระดับ ขณะที่ปูทะเลจะใช้เวลาดังกล่าวนานประมาณ 50 นาที ซึ่งเป็นข้อเปรียบเทียบได้อย่างหนึ่งระหว่างปูทั้ง 2 ชนิดนี้

วิธีการชะลอการสร้างเปลือกในปูทั้ง 2 ชนิด ถึงแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิที่ระดับเดียวกัน แต่ปัจจัยอย่างหนึ่งที่ไม่เหมือนกัน คือ ความเค็มน้ำที่ใช้ในการปรับสภาพ เนื่องจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าปูม้าไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้หากใช้ความเค็มต่ำกว่า 5 ppt (180 mOsm/kg) ในชะลอการสร้างเปลือก ขณะที่ปูทะเลสามารถทนอยู่ได้ในน้ำจืดที่มีค่า osmolality 6 mOsm/kg หรือกล่าวได้ว่ามีปริมาณออสโมน้อยมาก ดังนั้นปูม้าจึงมีโอกาสนในการดึงแร่ธาตุในน้ำมาใช้ในการสร้างเปลือกได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม ปูมีการสะสมแร่ธาตุภายในร่างกายช่วงก่อนลอกคราบจากขบวนการสลายจากเปลือกเก่า (decalcification) เพื่อเตรียมนำมาใช้ภายหลังลอกคราบ ถึงแม้ว่าปูมาปรับสภาพในน้ำความเค็มต่ำหรือจืดภายหลังลอกคราบ (Pratoomchat *et al.*, 2002a, 2003) ปูยังสามารถสร้างเปลือกได้อย่างต่อเนื่องด้วยเหตุผลข้างต้น ดังนั้นปัจจัยการลดความเค็มเพื่อชะลอการสร้างเปลือกนั้นเป็นแนวทางที่เป็นไปได้ แต่ไม่ใช่เป็นปัจจัยหลักที่ใช้เพื่อจุดประสงค์นี้ จึงควรทำการเลี้ยงปูที่ความเค็มต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดการสะสมแร่ธาตุในวงจรการลอกคราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะก่อนลอกคราบ ซึ่งในกรณีที่ปูม้าสามารถเลี้ยงได้ในความเค็ม 10 ppt ขณะที่ปูทะเลสามารถเลี้ยงได้ในความเค็ม 5 ppt นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการทดสอบเบื้องต้นโดยใช้น้ำจืดที่มีการเติม Na ความเข้มข้น 396 mg/L และ Cl ความเข้มข้น 603 mg/L เพื่อเป็นการลดปริมาณ Ca, Mg, และ HCO_3^- ที่นำมาใช้ในการสร้างเปลือกปูม้าก็ตาม แต่ปูม้าไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้

สรุป

- 1) คุณภาพปูม้าที่ขอมรับได้มีเวลาเฉลี่ยเพียง 45 นาที ภายหลังจากลอกคราบเสร็จ ค่าความแข็งแรงตัวของเปลือกที่ระดับ 3 (380.8 ± 1.2 g) ขณะที่คุณภาพปูทะเลที่ขอมรับได้ที่เวลาเฉลี่ย 4.5 ชั่วโมง ค่าความแข็งแรงตัวของเปลือกที่ระดับ 6 ($1,067 \pm 29.2$ g) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขบวนการสะสมของแร่ธาตุและโครงสร้างของเปลือกปูม้าในในแต่ละระดับคุณภาพที่รวดเร็วกว่าปูทะเลนั้นมาก
- 2) ระยะเวลาการขอมรับได้จะยาวนานขึ้นเมื่อปูมีขนาดใหญ่ขึ้น และความเค็มที่ใช้เลี้ยงลดลง สอดคล้องกับผลของปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของปูทั้ง 2 ชนิด เมื่อเลี้ยงในความเค็มต่ำนั้นมีผลไปลดประสิทธิภาพการสะสมแร่ธาตุจากน้ำไปเพื่อการสร้างเปลือกภายหลังลอกคราบ
- 3) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นตามเวลาภายหลังลอกคราบของปูทั้ง 2 ชนิด ขณะที่การรอดตายของปูแต่ละชนิดที่เลี้ยงในความเค็ม 3 ระดับ ไม่แตกต่างกัน
- 4) การลดอุณหภูมิมีนัยว่าเป็นอิทธิพลหลักที่มีผลต่อการชะลอการสร้างเปลือกปูม้าทั้ง 2 ชนิด ให้คงรักษาคุณภาพให้ภายหลังลอกคราบยาวนานขึ้น ซึ่งสามารถชะลอได้นาน 3.5 ชั่วโมง สำหรับปูม้า และ 8.9 ชั่วโมงสำหรับปูทะเลนั้น โดยขนาดที่ใหญ่ขึ้นมีผลทำให้ชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- บุญรัตน์ ประทุมชาติ, พิชาญ สว่างวงศ์และ จอร์จ มาร์ชาโด 2546. ผลของความเค็มน้ำต่อ
ขบวนการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรเคมีของปูทะเล (*Scylla serrata*) รายงานวิจัย
ประจำปี 2546 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 69 หน้า
- บุญรัตน์ ประทุมชาติ, พิชาญ สว่างวงศ์และ จอร์จ มาร์ชาโด 2547. ผลของความเค็มน้ำต่อ
ขบวนการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรเคมีของปูม้า (*Portunus pelagicus*) ใน
รอบวงจรการลอกคราบ รายงานวิจัยประจำปี 2547 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 62
หน้า
- จารุวัฒน์ นกิตะภักดิ์ และสมนึก กบิลรัมย์ 2532. การเปลี่ยนแปลงอัตราการบริโภคออกซิเจนของ
กุ้งกุลาดำ, *Penaeus monodon* fabricius, ในความเค็มและอุณหภูมิต่างระดับ. *เอกสาร
วารสารวิชาการที่ 24/2532*. สถานีประมงน้ำกร่อย จังหวัดระยอง กองประมงน้ำกร่อย
กรมประมง, 31 หน้า
- อรุณี ผดุงขวัญ 2544. อิทธิพลของความเค็มระดับต่ำที่มีต่อการเจริญเติบโตอัตราการรอดตายและ
สรีรวิทยาการหายใจของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,
สาขาวิชาสัตวศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา*. 73 หน้า
- Arsenault, A.L., Castell, J.D. and Ottensmeyer, F.P. 1984. The dynamics of exoskeletal-epidermal
structure during molt in juvenile lobster by electron microscopy and electron spectroscopic
imaging. *Tissue and Cell* 16, 93-106.
- Babu, M.M. and Marian, M.P., 1998. Live transportation of gravid *Penaeus indicus* using coconut
mesocarp dust. *Aquacul Eng.* 18, 149-155.
- Cameron, J.N. 1985. Post-moult calcification in the blue crab (*Callinectes sapidus*): Relationships
between apparent net H^+ excretion, calcium and bicarbonate. *J. Exp. Biol.* 119, 275-285.
- Cawthorne, D.F., Beard, T., Davenport, J. and Wickins, J.F. 1983. Responses of juvenile *Penaeus
monodon* Fabricius to natural and artificial sea waters of low salinity. *Aquacul.* 32, 165 – 174.
- Coimbra, J., Machado, J., Fernandes, P.L., Ferreira, H.G. and Ferreira, K.G. 1988. Electrophysiology
of the mantle of *Anodonta cygnea*. *J. Exp. Biol.* 140, 65-88.

- Compère, P. and Goffinet, G. 1987. Ultrastructural shape and three-dimensional organization of the intracuticular canal system in the mineralized cuticle of the green crab *Carcinus maenas* during the molting cycle. *Tissue and Cell* 19, 859-875.
- deFur. 1990. Respiration during ecdysis at low salinity in blue crabs, *Callinectes sapidus* Rathbun. *Bull. Mar.* 46(1), 48 – 54.
- Gilles, R. and Pequeux, A. 1981. Cell regulation in Crustacean : Relation between mechanism for controlling the osmolality of extracellular and intracellular fluids. *J. Exp. Zool.* 215, 351 – 362.
- Gelin, A., Crivelli, A.J., Rosecchi, E. and Karambrun, P. 2001. Can salinity change affect reproductive success in the brown shrimp *Crangon crangon*. *J. Crust. Biol.* 21(4), 905 – 911.
- Glynn J.P. 1968. Studies on the ionic, protein and phosphate changes associated with the moult cycle of *Homarus vulgaris*. *Comp. Biochem. Physiol.* 26, 937-946.
- Gonzalez, R.J., Drazen, J., Hathaway, S., Bauer, B. and Simovich, M. 1996. Physiological correlates of water chemistry requirements in fairy shrimps (Anostraca) from Southern California. *J. Crust. Biol.* 16(2), 315 – 322.
- Green, J.P., and Neff, M.R. 1972. A survey of the fine structure of the integument of the fiddler Crab. *Tissue Cell* 4, 137-171.
- Greenway, P. 1981. Sodium regulation in freshwater/land crab *Holthuisana transversa*. *J. Comp. Physiol. (B)*. 142, 451 – 456.
- Greenfield, M.E., Wilson, D.C. and Grenshaw, M.A. 1984. Ionotropic nucleation of calcium carbonate by molluscan matrix. *Amer. Zool* 24, 925-932.
- Gwinn, J.F. and Stevenson, J.R. 1973. Role of acetylglucosamine in chitin synthesis in crayfish. I. Correlation of ¹⁴C-acetylglucosamine incorporation with stages of the molting cycle. *Comp. Biochem. Physiol.* 45B, 769-776.
- Haefner, P.A. 1964. Hemolymph calcium fluctuations as related to environmental salinity during ecdysis of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *Physiol. Zool.* 37, 247 – 258.
- Hagerman, L. and Uglow, R.F. 1982. Effects of hypoxia on osmotic and ionic regulation in the brown shrimp *Crangon crangon* (L.) from brackish water. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 63, 93 – 104.

- Henry, R.P. and Cameron, J.N. 1982. Acid-base in *Callinectes sapidus* during acclimation from high to low salinity. *J. Exp. Biol.* 101, 255 – 264.
- Henry, R.P. and Kormanik, G.A. 1985. Carbonic anhydrase activity and calcium deposition during the molt cycle of the blue crab *Callinectes sapidus*. *J. Crust. Biol.* 5, 234 – 241.
- Kangas M.L. 2000. Synnopsis of the biology and exploitation of the blue swimmer crab, *Portunus pelagicus* linneaus, in Western Australia. Fisheries research report, No. 121.
- Kirkpatrick, K. and Jones, M.B. 1985. Salinity tolerance and osmoregulation of a prawn, *Palaemon affinis* Milne Edwards (Caridea : Palaemonidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 93 , 61 – 70.
- Knowlton, R.E. and Kirby, D.F. 1984. Salinity tolerance and sodium balance in the prawn *Palaemonetes pugio* Holthus, in relation to other *Palaemonetes* spp. *Comp. Biochem. Physiol. (A)*. 77A , 425 – 430.
- Lucu, C. 1978. Sodium balance and salinity tolerance of the mysid *Leptomysis mediterranea*. In : *Physiology and Behavior of Marine Organisms*. McLusky, D.S. and A.J. Berry (eds), Pergamon Press, New York, p. 95 – 103.
- Machado, J., Coimbra, J., SA, C., and Cadoso, I. 1988. Shell Thickning in *Anodonta cygnea* by Induced Acidosis. *Comp. Biochem. Physiol.* 19A (4) , 645 – 651
- Machado, J., Marvo, R., Ferreira, C., Moura, G., Reis, M. and Coimbra, J. 1994. Study on mucopolysaccharides as a shell component of *Anodonta cygnea*. *Bulletin de l'Inst Oceanog n° special* 14, 141-149.
- McMahon, B.R. and Wilkens, J.L., 1983. Ventilation, perfusion and oxygen uptake. In: Mantel, L.H. (Ed.), *The biology of crustacean*. Academic Press, New York. pp. 289-362.
- Mangum, C.P. 1992. Physiological aspects of molting in the blue crab *Callinectes sapidus*. *Amer. Zool.* 32, 459-469.
- Mangum, C.P. 1983. On the distribution of lactate sensitivity among the hemocyanins. *Mar. Biol. Letterr* 4,139-149.
- Mangum, C.P., Silverthorn, S. U., Harris, J.L., Towle, D.W. and Krall, A.R. 1976. The relationship between blood pH, ammonia excretion, and adaptation to low salinity in the Blue crab, *Callinectes sapidus*. *J. Exp. Zool.* 195, 129-136.

- Mykles, D.M., Haire, M.F., and Skinner, D.M. 2000. Immunocytochemical localization of actin and tubulin in the intergument of land crab (*Gecarcinus lateralis*) and lobster (*Homarus americanus*). *J Exp. Zool.* 286 (4), 329-342.
- Oztekin, S., Zorlugenc, B., and Zorlugen., K. F. 2006. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. *Journal of food engineering. Aquaculture*, 75, 396-399.
- Pratoomchat B, Sawangwong P, Guedes R, Reis M.D.L, Machado J. 2002a. Cuticle ultrastructure changes in the crab *Scylla serrata* over the molt cycle *J. Exp. Zool.* 293(4), 414-426.
- Pratoomchat , B., Sawangwong, P., Pakkong, P. and Machado, J. 2002b. Organic and inorganic compound variations in haemolymph, epidermal tissue and cuticle over the molt cycle in *Scylla serrata* (Decapoda). *Comp. Biochem. Physiol.* 131A, 243 – 255.
- Pratoomchat, B., Sawangwong, and Machado, J. 2003. Effects of controlled pH on organic and inorganic composition in haemolymph, epidermal tissue and cuticle of mud crab *Scylla serrata* *J Exp.Zool.* 295A, 47-56.
- Price Sheets W.C. and J.E. Dendinger. 1983. Calcium deposition into the cuticle of the blue crab, *Callinectes sapidus*, related to external salinity. *Comp Biochem. Physiol.* 74A , 903 – 907.
- Regnault, M. 1984. Salinity-induced changes in ammonia excretion rate of the shrimp *Crangon crangon* over a winter tidal cycle. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 20, 119 – 125.
- Roer, R., and Dillaman, R., 1984. The structure and calcification of the crustacean cuticle *Amer. Zool.* 24, 893-909.
- Rosas, C., Martinez, E., Gaxiola, G., Brito, R., Sanchez, A. and Soto, L.A. 1999. The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 234, 41 – 57.
- Rutledge, P.D. and Pritchard, A.W., 1981. Scope for activity in the crayfish *Pacifastacus Leniusculus*. *The Amer J of Physio.* 240, 87-92.
- Santos, M.C.F. and Moreira, G.S. 1999. Time Course of osmoionic compensations to acute salinity exposure in the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 235, 91 – 104.

- Travis D.F. 1955. The molting cycle of the spiny lobster, *Panulirus agrus* Latreille. II. Pre-ecdysial histological and histochemical changes in the hepatopancreas and Integumental tissues. *Biol. Bull.* 108, 88-112.
- Travis, D.F. and Friberg, U. 1963. The deposition of skeletal structures in the crustacea. VI. Microradiographic studies on the exoskeleton of crayfish *Orconectes virilis* Hagen. *J. Ultrastruct. Res.* 9, 285 – 301.
- Travis, D.F., 1965. The deposition of skeletal structures in the crustacea. V. The histomorphological and histochemical changes associated with the development and calcification of the branchial exoskeleton in the crayfish *Orconectes virilis* Hagen *Acta Histochem.* 20, 193-233.
- Truchot, J.P. 1983. Internal anatomy and physiological regulation. In : *The Biology of Crustacea* vol 5, Bliss et al., (Eds) Academic Press, New York, p. 431-452.
- Vigh, D.A. and Dendinger, J.E., 1982. Temporal relationships of postmolt deposition of calcium, magnesium, chitin and protein in the cuticle of the Atlantic blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *Comp. Biochem. Physiol.* 72A (2), 365-369.
- Weiland, A.L. and Mangum, C.P. 1975. The influence of environmental salinity on hemocyanin function in the blue crab *Callinectes sapidus*. *J Exp Biol* 193, 265-274.
- Welinder, B.S. 1975. The crustacean cuticle III: Composition of the individual layers in *Cancer pagurus* cuticle. *Comp. Biochem. Physiol.* 52A, 659-663.
- Wheatly, M.G. 1985. The role of the antennal gland in ion and acid-base regulation during hyposaline exposure of the Dungeness crab *Cancer marginaster* (Dana). *J. Comp. Physiol.* 155, 445 – 454.
- Ziegler, A. 1996. Ultrastructural evidence for transepithelial calcium transport in the anterior sternal epithelium of the terrestrial isopod *Porcellio scaber* (Crustacea) during the formation and resorption of CaCO₃ deposits. *Cell Tissue Res.* 284, 459-466.
- Ziegler, A. 1997. Ultrastructural changes of the anterior and posterior sternal integument of the terrestrial isopod *Porcellio scarba* Latr. (Crustacea) during the moult cycle. *Tissue Cell* 29 (1), 63-76.

ภาคผนวก

บทความสำหรับการเผยแพร่

ตลาดปูนิ่มในต่างประเทศยังกว้างโดยตลาดที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา อียู จีน ไต้หวัน เกาหลี และ ญี่ปุ่น ซึ่งในแต่ละประเทศจะมีความต้องการทั้งปริมาณและประเภทที่แตกต่างกันไป เป็นข้อดีที่เรามีศักยภาพในการผลิตปูนิ่มได้ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเดิมทีได้ทำการผลิตปูนิ่มจากปูทะเล (*Scylla spp.*) โดยได้ดำเนินการมานานกว่า 10 ปีแล้ว แต่ตลาดหลักที่ส่งออกจะเน้นไปในกลุ่มประเทศในเอเชียด้วยกัน ดังนั้นหากต้องการดำเนินการเชิงตลาดในประเทศในโซนอเมริกาและยุโรปด้วยแล้ว ควรดำเนินการผลิตปูน้ำจืด (*Portunus pelagicus*) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกับปู blue crab (*Callinectes sapidus*) ในสหรัฐอเมริกา ที่นำเอามาทำปูนิ่ม (soft shell crab) มานานกว่า 100 ปี จึงน่าจะมีโอกาสมากยิ่งขึ้นในการส่งออก เนื่องจากไม่ต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้บริโภค รวมถึงรูปลักษณ์และกลิ่นของปูน้ำจืดหลังการเก็บเกี่ยวมีข้อได้เปรียบกว่าปูทะเลมาก

ข้อดีหรือข้อได้เปรียบของการพัฒนาธุรกิจปูนิ่มที่ผลิตจากปูน้ำจืดคือ การสามารถผลิตปูน้ำจืดจากฟาร์ม จึงเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับธุรกิจปูนิ่มได้อย่างต่อเนื่องและมีความสม่ำเสมอของปริมาณวัตถุดิบเข้าฟาร์มผลิตปูนิ่ม ขณะที่การผลิตปูนิ่มจากปูทะเลยังคงต้องใช้ปูที่จับจากธรรมชาติ ซึ่งปัจจุบันมีปริมาณจำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการของธุรกิจปูนิ่ม เนื่องจากความถดถอยของทรัพยากรปูทะเล จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศมานานแล้วไม่ต่ำกว่า 10 ปี ปัญหาที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้คือความไม่แน่นอนของแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ทำปูนิ่ม และมีการตายค่อนข้างสูงและบอบช้ำมากจากการลำเลียง ประกอบกับการเพาะเลี้ยงในฟาร์มปูทะเลยังมีข้อจำกัดอยู่ไม่น้อย การพัฒนาปูน้ำจืดให้เป็นตัวเลือกใหม่ของธุรกิจปูนิ่ม

จะดำเนินการผลิตปูนิ่มที่มาจากปูชนิดใดก็ตาม สิ่งที่สำคัญต่อการผลิตคือคุณภาพปูนิ่ม การกำหนดมาตรฐานคุณภาพของปูนิ่มทั้ง 2 ชนิด เป็นสิ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากเกษตรกรไม่เข้าใจถึงขั้นตอนดังกล่าวจะทำให้สูญเสียโอกาสในการลงทุนอย่างมาก ซึ่งมาตรฐานที่ออกมาใช้บังคับในการกำหนดระดับมาตรฐานของทางกลุ่มประเทศรับซื้อนั้นยังไม่มีหลักฐานชัดเจน มีเพียงการกำหนดราคาตามขนาดของปูนิ่ม การกำหนดมาตรฐานของปูนิ่มทั้ง 2 ชนิดจึงนับว่าเป็นเรื่องใหม่ และควรมีการเตรียมพร้อมด้านข้อมูลทางวิชาการไว้รองรับสถานการณ์ที่ต้องมีการกำหนดมาตรฐานสินค้าแน่นอนในอนาคตทั้งในประเทศและต่างประเทศ และแนวทางการรักษาคุณภาพปูนิ่มด้วยวิธีการที่เรียบง่ายและสามารถปฏิบัติได้ในฟาร์มเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินธุรกิจนี้

จากการวิจัย ทำให้ทราบว่าปูน้ำจืดจะมีระยะเวลาที่ยังคงรักษาคุณภาพปูนิ่มได้สั้นกว่าปูทะเลมาก โดยเฉลี่ยปูน้ำจืดต้องเก็บให้ทันภายใน 45 นาที ภายหลังจากลอกคราบเสร็จ ขณะที่ปูทะเลต้องเก็บให้ทันภายใน 270 นาที ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าปูน้ำจืดมีการสร้างเปลือกอย่างรวดเร็ว จึงน่าที่จะต้องมีอัตราการให้แคลเซียมแมกนีเซียม และไบคาร์บอเนตอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับปูทะเล ทำให้ปูน้ำจืดมีความเสี่ยงต่อคุณภาพค่อนข้างสูง จึงให้เห็นว่า ในการทำฟาร์มปูน้ำจืดนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความรวดเร็วในการเก็บปูภายหลังก่อคราบ ไม่ว่าที่ความถี่ใดก็ตาม ความพิถีพิถันจึงมีค่อนข้างมาก การจัดการต้องมีประสิทธิภาพสูงกว่าปูทะเล การแยกระยะลอกคราบจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อความรวดเร็วในการจัดการดังกล่าว

การตรวจสอบคุณภาพปูนิ้มด้วยประสาทสัมผัส (Sensory test) เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการยอมรับในคุณภาพปูม้าและปูทะเลนิ้ม เป็นการตรวจสอบจากความแข็งของเปลือกปูที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพปูนิ้ม และเพื่อเป็นการสร้างมาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพปูนิ้มด้วยประสาทสัมผัส ได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าค่าความแข็งของเปลือกมีความสัมพันธ์กับเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพปูนิ้ม กล่าวคือระดับคุณภาพที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ค่าความแข็งของเปลือกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ระยะเวลานานสุดที่ปูนิ้มยังคงรักษาคุณภาพที่ยอมรับได้ของปูม้า และปูทะเลได้กำหนดค่าความแข็งตัวของเปลือกที่ระดับ 3 และ 6 ซึ่งมีค่าความแข็งของเปลือก 380.8 ± 1.2 g และ $1,067 \pm 29.2$ g ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการยอมรับโดยการใช้ประสาทสัมผัสนั้นยอมรับคุณภาพของปูทั้ง 2 ชนิดนี้แตกต่างกัน ซึ่งผู้บริโภคยอมรับคุณภาพของปูทะเลนิ้มได้ในระดับคุณภาพที่มีค่าความแข็งที่สูงกว่าปูม้าประมาณ 3 เท่าตัว ทั้งนี้อาจจะเป็นไปได้ว่าปูทะเลนิ้มโครงสร้างหลังลอกคราบนั้นยังคงมีสารอินทรีย์อยู่สูงอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับอัตราในการสะสมสารอินทรีย์ต่ำกว่าปูม้า จึงเป็นไปได้ที่ปูทะเลยังคงรักษาความนิ้มได้ยาวนาน จึงส่งผลให้ระยะเวลานานสุดที่ปูทะเลนิ้มยังคงรักษาคุณภาพที่ยอมรับได้นั้น ผู้บริโภคยอมรับได้ในระดับที่ 6 ขณะที่ปูม้ามีอัตราการสะสมสารอินทรีย์เร็ว ส่งผลให้โครงสร้างเปลือกกระด้างอย่างรวดเร็ว ผู้บริโภคจึงยอมรับคุณภาพปูม้าได้ในระดับ 3 ค่าความแข็งที่ตรวจสอบด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ของปูแต่ละชนิดภายหลังลอกคราบ มีความสัมพันธ์กับระดับคุณภาพด้วยการตรวจสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส ซึ่งสามารถเป็นดัชนีมาตรฐานในการวัดคุณภาพปูทั้ง 2 ชนิดได้

การรักษาสภาพความนิ้ม ความสด และผลรวมของความนิ้มและความสดของเปลือกปูม้าหลังลอกคราบ มีอิทธิพลหลักมาจากความเค็มและขนาดของปูทั้ง 2 ชนิด ระยะเวลายาวนานขึ้นเมื่อปูมีขนาดใหญ่ขึ้น และความเค็มน้ำลดลง หมายความว่าปูทั้ง 2 ชนิดจะมีอัตราการสร้างเปลือกที่ช้าลงเมื่อลดความเค็มน้ำที่เลี้ยงลง ทั้งนี้ เนื่องจากปูจะมีโอกาสในการนำเอาไอออนในน้ำไปใช้เพื่อสร้างเปลือกและกิจกรรมต่างๆ ทางสรีระน้อยลง เนื่องจากน้ำความเค็มที่ลดลงนั้นจะมีความเข้มข้นของไอออนแทบทุกชนิดลดลงด้วย จึงมีผลไปลดประสิทธิภาพการนำไอออนจากน้ำไปสะสมเพื่อเตรียมการลอกคราบหรือสร้างเปลือกภายหลังลอกคราบลดลง การเลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำจึงสามารถรักษาคุณภาพปูนิ้มภายหลังลอกคราบได้ดีกว่า จึงเป็นแนวทางที่ควรนำน้ำที่ปราศจากไอออนหรือมีปริมาณต่ำมาใช้ชะลอการสร้างเปลือก แต่ก็ต้องระมัดระวังเพราะอาจจะเป็นสาเหตุทำให้ปูช็อกตายได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามการเลี้ยงปูในน้ำความเค็มต่ำนั้นจะเป็นการขัดขวางต้นเหตุของการสะสมไอออนของปูเพื่อเตรียมความพร้อมในการสร้างเปลือกภายหลังลอกคราบทันทีได้ในขั้นตอนหนึ่ง

ปัจจัยเรื่องเพศไม่มีผลต่อการรักษาสภาพความนิ้ม ความสด และผลรวมของความนิ้มและความสดของเปลือกปูม้า แต่ไปมีผลในปูทะเล ปูทะเลเพศเมียขนาดใหญ่ที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ 10 ppt จะมีระยะเวลาคงสภาพนานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูนิ้มภายหลังการลอกคราบ ขณะที่เพศผู้มีผลต่อ % การเพิ่มขนาดและน้ำหนักของปูทั้ง 2 ชนิด ก็เป็นเรื่องที่เกษตรกรไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงมากเกินไปในการทำฟาร์มปูนิ้ม % การเพิ่มขนาดและน้ำหนักของปูม้ามีอิทธิพลหลักมาจากขนาดของปูทั้ง 2 ชนิด โดยมีปัจจัยร่วมของความเค็มน้ำที่เลี้ยงเข้ามาเกี่ยวข้อง ปูขนาดเล็กทั้ง 2 ชนิดจะมีอัตราการเพิ่มขนาดสูงสุด โดยปูที่เลี้ยง

ในความเค็มน้ำที่สูงขึ้นมีโอกาการขยายของขนาดดีขึ้น ซึ่งเป็นกลไกที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปที่ปูขนาดเล็กจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าปูขนาดใหญ่ ขณะที่ความเค็มน้ำที่สูงขึ้นนั้นก็ส่งผลให้ปูมีขนาดและน้ำหนักที่เพิ่มสูงขึ้นน่าจะเป็นเพราะว่าปูม้าซึ่งมี isoosmotic point ที่ 33 ppt ปูทะเลมี isoosmotic point ที่ 30 ppt ซึ่งให้เห็นว่าระดับความเค็มช่วง 20-30 ppt นั้น น่าจะเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตที่มากกว่าความเค็ม 10 ppt ถึงแม้อัตราการรอดตายไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบด้วยว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นตามเวลาภายหลังลอกคราบของปูทั้ง 2 ชนิด เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ตลอดเวลาที่ตรวจสอบคุณภาพความนิ่มภายหลังลอกคราบ แสดงให้เห็นว่าสีไม่สามารถเป็นตัวกำหนดคุณภาพได้ในเชิงธุรกิจ ส่วนการรอดตายของปูม้าและปูทะเลทุกระดับความเค็มน้ำไม่แตกต่างกัน (75-80%)

จากข้อมูลลักษณะ โครงสร้างของเปลือกปูม้าในในแต่ละระดับคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าระดับคุณภาพที่ 1 โครงสร้างเปลือกประกอบด้วย organic ส่วนใหญ่คาดว่าองค์ประกอบน่าจะเป็น chitin และ protein ขณะที่ inorganic ยังมีปริมาณต่ำ ส่งผลให้โครงสร้างเปลือกมีความนิ่มมาก ความสากต่ำ สอดคล้องกับข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพปูม้าด้วยประสาทสัมผัส ในทำนองเดียวกัน organic ก็จะลดลงอย่างต่อเนื่องตามระดับคุณภาพ ขณะที่ inorganic มีการสะสมในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะ Ca, Mn, Mg, และ P ที่มาสะสมในรูปของ Ca^{2+} , Mn^{2+} , และ Mg^{2+} ร่วมกับ PO_4^{3-} เพื่อสร้างความแข็งแรง และเพิ่มความหนาให้กับโครงสร้างเปลือก จากระดับคุณภาพที่ 2 ถึง 4 หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่ระดับ 5 โครงสร้างระหว่างชั้น epicuticle กับ exocuticle เริ่มมีชั้นซ้อนลักษณะคล้ายตาข่าย จนกระทั่งปรากฏเป็นชั้นใหม่ขึ้นมาแทรกอยู่ระหว่างชั้น epicuticle กับ exocuticle เมื่อเข้าสู่ระดับคุณภาพที่ 6 คาดว่าน่าเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างของชั้น exocuticle เพื่อให้มีลักษณะที่สามารถเอื้อให้มีการสะสม CaCO_3 ในโครงสร้างได้มากขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูม้าที่ธาตุดังกล่าวสะสมอย่างรวดเร็วในระดับที่ 6

จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูทะเลในในแต่ละระดับคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าปูทะเลมีขบวนการสร้างเปลือกอย่างช้าๆ สอดคล้องกับข้อมูลระดับการยอมรับคุณภาพปูทะเลใน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของเปลือกปูทะเลมีองค์ประกอบของ organic สูงอยู่ตลอดเวลา จากระดับคุณภาพ 1-6 ซึ่งน่าจะเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย chitin และ protein จากนั้นเมื่อระดับคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป การสะสมของ inorganic มีสูงขึ้นโดยเฉพาะ Ca ที่สะสมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในช่วงระดับคุณภาพ 1-4 นั้นองค์ประกอบ inorganic ส่วนใหญ่น่าจะเป็น Mn ร่วมกับ PO_4^{3-} และ Ca^{2+} ร่วมกับ PO_4^{3-} หลังจากนั้นจะเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย Mn และ Ca^{2+} ร่วมกับ CO_3^{2-}

ปูม้ามีกระบวนการสะสมแร่ธาตุอย่างรวดเร็วภายหลังลอกคราบโดยปริมาณ Ca, Mn, Mg, K และ P มีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนส่งผลทำให้ N และ O ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ปูทะเลยังคงมีระดับ N และ O สูง จึงมีส่วนทำให้ปูยังคงรักษาคุณภาพปูม้าได้ยาวนานกว่าปูม้า ถึงแม้ว่าจะมีการสะสม Ca, Mn, Mg และ K แต่จะมีส่วนร่วมของ P ในขบวนการสร้างเปลือกใหม่ต่ำกว่าด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้ระดับคุณภาพปูม้ามีข้อจำกัดด้านเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าปูทะเลมาก

อิทธิพลหลักที่มีผลต่อการชะลอการสร้างเปลือกของปูม้าน้ำเพื่อรักษาคุณภาพ โดยภาพรวม คือ การลดอุณหภูมิที่ 15 °C และใช้เพียงปัจจัยเดียวก็เพียงพอแล้ว แต่หากพิจารณาคุณภาพปูม้าน้ำแยกระหว่าง ความนุ่ม และความสากแล้วจะต้องลดอุณหภูมิร่วมกับการลด pH และให้โอโซน การนำปูม้าน้ำหลังลอก คราบมาปรับสภาพภายใต้สภาพดังกล่าวข้างต้น เป็นการรักษาคุณภาพผลรวมความนุ่มร่วมกับความสากได้ นานประมาณ 3.5 ชม. โดยสามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 2.8 ชม. หรือได้ นานกว่าชุดควบคุม 4.6 เท่า เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งของสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพล metabolism สรี รวิทยา และการเจริญเติบโตของปูโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำปูหลังลอกคราบใหม่ ๆ มาปรับสภาพภายใต้ อุณหภูมิต่ำ จะส่งผลให้การลดประสิทธิภาพการนำออกซิเจนน้ำไปใช้ในการสร้างเปลือก รวมไปถึงการควบคุม ระบบสมดุลเกลือแร่ และ pH ที่ต่ำลง ยังมีผลยับยั้งการสะสมแร่ธาตุ (biomineralization) ทั้งยังมีข้อได้เปรียบ ในเรื่องของการยับยั้งแบคทีเรียบางชนิด เมื่อมีการใช้โอโซนร่วมด้วย อย่างไรก็ตามโอโซนอาจจะไปมีผล รบกวนขบวนการสร้างเปลือกเนื่องจากเป็น oxidizing agent ที่รุนแรง

เพศไม่มีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าน้ำ ทั้งผลรวมของความนุ่ม ร่วมกับ ความสาก ความนุ่ม และความสาก ขนาดมีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้าน้ำ และเมื่อมาพิจารณาเรื่องการชะลอการสร้างเปลือกแล้ว โดยเฉลี่ยปูทุกขนาดคงเวลาการรักษาคุณภาพได้ นานกว่าชุดควบคุมถึง 4.3 เท่า กล่าวคือปูขนาดใหญ่สามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุด ควบคุมมากถึง 3.6 ชม. หรือมากกว่าชุดควบคุม 4.3 เท่า และปูขนาดกลางสามารถยืดระยะเวลาการรักษา คุณภาพยาวนานไม่แตกต่างกัน โดยใช้เวลาดังกล่าวนานกว่าชุดควบคุมมากถึง 3.5 ชม. หรือมากกว่าชุด ควบคุม 4.3 เท่า ซึ่งปูม้าน้ำทั้งสองขนาดข้างต้นสามารถยืดระยะเวลาการรักษาคุณภาพยาวนานกว่าปูขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามปูขนาดเล็กสามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 3.2 ชม. หรือมากกว่า ชุดควบคุม 4.4 เท่า ดังนั้นในการทำฟาร์มปูน้ำจืดผู้ประกอบการควรต้องนำข้อมูลวิกฤติระยะเวลาที่คงรักษา คุณภาพปูม้าน้ำของปูขนาดต่าง ๆ ไปพิจารณาการเก็บเกี่ยวปูขนาดต่างๆภายหลังลอกคราบในการทำฟาร์ม

การนำปูทะเลหลังลอกคราบปรับสภาพในน้ำจืดที่ลดอุณหภูมิที่ 15 °C เพียงอย่างเดียว เป็นการรักษา ระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลน้ำจืด เมื่อพิจารณาจากผลรวมของความนุ่มร่วมกับความ สาก ความนุ่ม และความสาก โดยสามารถคงคุณภาพดังกล่าวได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 8.9, 9 และ 8.7 ชม. ตามลำดับ หรือได้นานกว่าชุดควบคุมถึง 2.7 เท่า วิธีการนี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลหลักนั้นมาจากอุณหภูมิที่ต่ำ โดยไม่จำเป็นต้องร่วมกับการลด pH หรือการให้โอโซน ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่มีผลการคงระยะเวลา เวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลน้ำจืด เพศไม่มีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับ คุณภาพปูทะเลน้ำจืด ขณะที่ขนาดมีผลต่อระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูทะเลน้ำจืด และเมื่อมา พิจารณาเรื่องการชะลอการสร้างเปลือกแล้ว ชี้ให้เห็นปูขนาดใหญ่ สามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้ นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 9.7 ชม. หรือมากกว่า 2.7 เท่า โดยจะมีระยะเวลาการรักษาคุณภาพนานที่สุด นาน กว่าขนาดกลาง และขนาดเล็ก ขณะเดียวกันปูขนาดกลางสามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือกได้นานกว่าชุด ควบคุมมากถึง 9.4 ชม. หรือมากกว่า 2.9 เท่า ทั้งยังสามารถคงคุณภาพความนุ่มได้นานกว่าปูขนาดเล็ก ที่ สามารถชะลอเวลาการสร้างเปลือก ได้นานกว่าชุดควบคุมมากถึง 7.5 ชม. หรือมากกว่า 2.6 เท่า แสดงให้เห็น

ว่าปูมีขนาดใหญ่ขึ้น จะมีระยะเวลาการรักษาคูณภาพนานขึ้น ซึ่งในการทำฟาร์มปูทะเลนี้มาจะต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปพิจารณาในการเก็บเกี่ยวปูทะเลนี้มา ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง หรือเล็ก เพื่อผลประโยชน์สูงสุดทางธุรกิจ

ปูทะเลมีการชะลอการสร้างเปลือกนานกว่าปูม้า โดยเฉลี่ยปูม้ามีระยะเวลานานที่สุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูม้านี้มาได้นาน 3.4 ชม. ขณะที่ปูทะเลสามารถคงเวลาการรักษาคูณภาพได้นานถึง 14 ชม. หรือมากกว่า 4.1 เท่า แสดงให้เห็นว่าปูม้ามีการสะสมแร่ธาตุ (biomineralization) ในการสร้างเปลือกอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับการตรวจสอบคุณภาพปูนี้มาด้วยประสาทสัมผัส กล่าวคือปูม้าใช้เวลาประมาณ 10 นาทีในการเปลี่ยนคุณภาพแต่ละระดับ ขณะที่ปูทะเลจะใช้เวลาดังกล่าวนานประมาณ 50 นาที ซึ่งเป็นข้อเปรียบเทียบได้อย่างหนึ่งระหว่างปูทั้ง 2 ชนิดนี้

วิธีการชะลอการสร้างเปลือกในปูทั้ง 2 ชนิด ถึงแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิที่ระดับเดียวกัน แต่ปัจจัยอย่างหนึ่งที่ไม่เหมือนกัน คือ ความเค็มน้ำที่ใช้ในการปรับสภาพ เนื่องจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าปูม้าไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้หากใช้ความเค็มต่ำกว่า 5 ppt (180 mOsm/kg) ในชะลอการสร้างเปลือก ขณะที่ปูทะเลสามารถทนอยู่ได้ในน้ำจืดที่มีค่า osmolality 6 mOsm/kg หรือกล่าวได้ว่ามีปริมาณออสโมนอยู่ต่ำมาก ดังนั้นปูม้าจึงมีโอกาสดังแร่ธาตุในน้ำมาใช้ในขบวนการสร้างเปลือกได้มากกว่า ปูยังสามารถสร้างเปลือกได้อย่างต่อเนื่องด้วยเหตุผลข้างต้น ดังนั้นปัจจัยการลดความเค็มเพื่อชะลอการสร้างเปลือกนั้นเป็นแนวทางที่เป็นไปได้ แต่ไม่ใช่เป็นปัจจัยหลักที่ใช้เพื่อจุดประสงค์นี้ จึงควรทำการเลี้ยงปูที่ความเค็มต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดการสะสมแร่ธาตุในวงจรการลอกคราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะก่อนลอกคราบ ซึ่งในกรณีที่ปูม้าสามารถเลี้ยงได้ในความเค็ม 10 ppt ขณะที่ปูทะเลสามารถเลี้ยงได้ในความเค็ม 5 ppt

กิจกรรมที่วางแผนไว้และที่ดำเนินการมา วัตถุประสงค์และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

กิจกรรม		วัตถุประสงค์	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
ที่วางแผนไว้	ที่ดำเนินการมา		
1) ศึกษาอิทธิพลของความเต็ม 3 ระดับต่อระยะเวลาในการกำหนดคุณภาพการรอดตายของปูน้ำจืดและปูทะเลน้ำจืดภายหลังลอกคราบ ทั้ง 2 เพศ 3 ขนาด	1) นำปูมีความกว้างของกระดอง (external carapace width) 3 ขนาด ได้แก่ 71-80, 81-90 และ 91-100 มิลลิเมตร และปูทะเลทั้งสองเพศ 3 ขนาด ได้แก่ 65-72, 73-80 และ 81-87 มิลลิเมตร จากธรรมชาติ มาทำการเลี้ยงที่ความเต็ม 10, 20 และ 30 ppt ในบ่อคอนกรีต ภายหลังปูแต่ละตัวลอกคราบ จะทำการตรวจสอบการแข็งตัวของเปลือกและความสาก การปรากฏของสีบนกระดอง ทุก ๆ 10 นาที ภายใต้อาการปกติที่เลี้ยง โดยมีดัชนีการตรวจสอบการแข็งตัวของเปลือกมี 6 ระดับและความสากมี 6 ระดับ ด้วยประสาทสัมผัส (สัมผัสด้วยมือ) ทำการบันทึกเวลา การปรากฏของสีบนกระดอง โดยใช้ผู้ตรวจสอบจำนวน 6 คน ที่ผ่านการฝึกทดสอบมาเป็นอย่างดีแล้ว 2) การตรวจสอบคุณภาพปูน้ำจืดด้วยเครื่อง Texture analyzer	1) เพื่อหาแนวทางการจัดการเลี้ยงปูน้ำจืดภายในฟาร์ม ให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพหลังจากปูลอกคราบ และเป็น การกำหนดมาตรฐานคุณภาพปูน้ำจืด	1) ปูน้ำจืดมีระยะเวลาที่ยังคงรักษาคุณภาพปูน้ำจืดสั้นกว่าปูทะเลมาก โดยเฉลี่ยปูน้ำจืดต้องเก็บให้ทันภายใน 45 นาที ภายหลังจากลอกคราบเสร็จ ขณะที่ปูทะเลต้องเก็บให้นานภายใน 270 นาที 2) ค่าความแข็งของเปลือกที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง Texture analyzer มีความสัมพันธ์กับเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพปูน้ำจืด ทั้งนี้ระยะเวลาสิ้นสุดที่ปูน้ำจืดยังคงรักษาคุณภาพที่ยอมรับได้ของปูน้ำ และปูทะเล ได้กำหนดค่าความแข็งตัวของเปลือกที่ระดับ 3 และ 6 ซึ่งมีค่าความแข็งของเปลือก 380.8 ± 1.2 g และ $1,067 \pm 29.2$ g ตามลำดับ 3) การรักษาสภาพความเต็ม ความสาก และผลรวมของความเต็มและความสากของเปลือกปูหลังลอกคราบ มีอิทธิพลมาจากความเต็มน้ำและขนาดของปูทั้ง 2 ชนิด ระยะเวลาของปูน้ำจืดมีขนาดใหญ่ขึ้น และความเต็มน้ำลดลง 4) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีกระดองที่เกิดขึ้นตามเวลาภายหลังลอกคราบของปูทั้ง 2 ชนิด 5) การรอดตายของปูน้ำและปูทะเลทุกระดับความเต็ม น้ำไม่แตกต่างกัน (75-80%)

กิจกรรมที่วางแผนไว้และที่ดำเนินการมา วัตถุประสงค์และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

กิจกรรม		วัตถุประสงค์	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
ที่วางแผนไว้	ที่ดำเนินการมา		
2) ศึกษาอิทธิพลของความเต็ม 3 ระดับต่อออสโมลาลิตีและความเข้มข้นของแร่ธาตุหลักในเลือดปูภายหลังลอกคราบ	2) ออสโมลาลิตีและความเข้มข้นของแร่ธาตุหลักของของเหลวภายในร่างกายปูทั้ง 2 ชนิดภายหลังลอกคราบที่ความเต็ม 3 ระดับ โดยทำการตรวจสอบภายในเวลา 30 นาที (ระดับคุณภาพที่ 3) ในปูม้าและทำการตรวจสอบภายในเวลา 240 นาที (ระดับคุณภาพที่ 5) ในปูทะเล เพื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีภายในร่างกายที่ได้ความเต็มต่างกันของการผลิตปูนั้น	2) จะเข้าใจถึงกลไกในการควบคุมระดับสมดุลเกลือแร่ภายในร่างกาย และกระบวนการสร้างเปลือกปูทั้ง 2 ชนิด ภายใต้ความเต็มแตกต่างกัน ซึ่งอาจสะท้อนถึงคุณภาพปูนั้นและเพื่อกำหนดความเต็มที่เหมาะสมในการเลี้ยงและผลิตปูนั้น	2.1 ระดับความเต็มที่ใช้ในการเลี้ยงปูมีและปูทะเลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมลาลิตีและแร่ธาตุในเลือดของปูทั้ง 2 ชนิดภายหลังลอกคราบ 2.2.ปูที่ลอกคราบภายใต้ความเต็มต่ำต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในการพยายามรักษาสมดุลดังกล่าว และมีโอกาสน้อยลงในการนำเอาไอออนในน้ำไปใช้เพื่อสร้างเปลือก เป็นการชะลอการสร้างเปลือกได้ 2.3 จากความเข้มข้นของ CI ที่ให้เห็นว่าประโยชน์ของการเลี้ยงที่ความเต็มต่ำนั้นยังช่วยลดความเต็มภายในร่างกายของปูได้ลงด้วย

กิจกรรมที่วางแผนไว้และที่ดำเนินการมา วัตถุประสงค์ และผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ต่อ)

กิจกรรม		วัตถุประสงค์	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
ที่วางแผนไว้	ที่ดำเนินการมา		
3) ไม่มี	3) การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างเปลือกและปริมาณแร่ธาตุที่ระดับคุณภาพต่างๆของปูนซีเมนต์ 2 ชนิด ด้วย Electron Microscopy และ Energy Dispersive System	3) เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้อธิบายการกลไกของการสร้างเปลือกตามระดับคุณภาพปูน	3) จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปูนนี้ในแต่ละระดับคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าปูนมีขบวนการสร้างเปลือกอย่างรวดเร็วกว่าทะเลมาก ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้ระดับคุณภาพปูนนี้เมื่อจกัดด้านเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าทะเลมาก
4) การจะลดการสร้างเปลือก	4) ใช้ปุ๋ยและปุ๋ยเคมี โดยไม่มีขนาดความกว้างของกระดอง 3 ขนาด คือ 71-80, 81-90, และ 91-100 มิลลิเมตร และขนาดของทะเล 3 ขนาด คือ 65-72, 73-80, และ 81-87 มิลลิเมตร มาเลี้ยงในน้ำความเค็ม 10 ppt จนกว่าจะลอกคราบ เมื่อปูลอกคราบจึงนำมาจะลดการสร้างเปลือกในน้ำความเค็ม 5 ppt สำหรับปูม้า และในน้ำจืดสำหรับปูทะเล โดยร่วมกับการลดอุณหภูมิ น้ำเหลือ 15 °C และ 28 °C (ควบคุม) การปรับ pH 6 และ pH 8 (ควบคุม) การใช้ Ozone (0.001 ppm/min) และไม่ใช้ Ozone (ควบคุม)	4) เพื่อรักษาคุณภาพของปูนทั้ง 2 ชนิด หลังลอกคราบ ด้วยวิธีต่างๆ	4.1) การลดอุณหภูมิ น้ำ (15 °C) นับว่าเป็นอิทธิพลหลักที่มีผลต่อการจะลดการสร้างเปลือกปูนทั้ง 2 ชนิดให้คงรักษาคุณภาพได้ ซึ่งสามารถจะลดได้นานเฉลี่ย 3.5 ชั่วโมง สำหรับปูม้า และเฉลี่ย 8.9 ชั่วโมงสำหรับปูทะเลนั้น โดยขนาดที่ให้นี้มีผลทำให้จะลดเวลาการสร้างเปลือกได้นานขึ้น ขณะที่เพศไม่มีผลต่อระยะเวลาที่สิ้นสุดสำหรับการยอมรับคุณภาพปูนทั้ง 2 ชนิด