บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุกรมวิธานของปูม้า

ปูม้ามีชื่อภาษาอังกฤษว่า Blue Swimming Crab มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) เป็นปูที่สามารถว่ายน้ำได้อย่างคล่องแคล่ว ชอบอยู่บริเวณพื้นทราย ในประเทศออสเตรเลีย เรียกว่า Sand Crab เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ที่มีโครงร่างแข็งห่อหุ้มลำตัว มีรยางค์เชื่อมเป็นข้อต่อ

ลักษณะรูปร่างของปูม้า

ลักษณะทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว (Head) ส่วนอก (Thorax) และส่วนท้อง (Abdomen) โดยส่วนหัว และส่วนอกจะอยู่ติดรวมกันเรียกว่า Cephalothorax มีกระดอง (Carapace) หุ้มอยู่ตอนบน ลักษณะกระดองจะเป็นรูปไข่ โค้งนูน ไม่มีขนแต่มีตุ่มเล็ก ๆ เป็นจุดประอยู่ทั่วไป มีสัน (Ridge) ที่เห็นเด่นชัดคือ Epibranchial Ridge, Protogastic Ridge และ Mesogastic Ridge ความกว้างของกระดองจะยาวประมาณ 2-2.5 เท่าของความยาวกระดอง ทางด้านข้างทั้งสองของกระดองจะเป็นรอยหยักคล้ายฟันเลื่อยเป็นหนามแหลม ข้างละ 9 อัน เรียกว่า Anterolateral Tooth หนามของกระดองคู่สุดท้ายยาว แหลม และใหญ่กว่าอันอื่น ขอบกระดองด้านหน้าระหว่างเบ้าตามีหนาม 2 คู่ โดยไม่รวมเบ้าตาด้านใน หนามคู่แรกมีชื่อเรียกว่า Front Median Tooth ซึ่งมีขนาดเล็ก หนามอีกคู่หนึ่งเรียกว่า Later Frontal Tooth จะมีลักษณะรูปสามเหลี่ยมยกขึ้น หนามที่ขอบเบ้าตาด้านในมีขนาดใหญ่สุดเรียกว่า Inner Orbital Tooth ช่วงระหว่าง Inner Orbital Tooth กับ Lateral Frontal Tooth กว้างกว่าช่วงระหว่าง Lateral Frontal Tooth กับ Frontal Median Tooth ช่วงระหว่างหนามของเบ้าตาด้านใน และด้านนอกจะมีรอยบาก 2 รอย ขอบล่างของเบ้าตาด้านในมีหนามแหลม 1 อัน บริเวณริมฝีปากบนมีหนามแหลมยื่นยาวออกมา 1 อัน หนวดมี 2 คู่ โดยคู่ที่ 1 พับอยู่ตามขวาง ฐานของหนวดคู่ที่ 2 จะมีช่องติดกับเบ้าตา โดยบริเวณฐานติดกับหนามอันในของขอบเบ้าตา

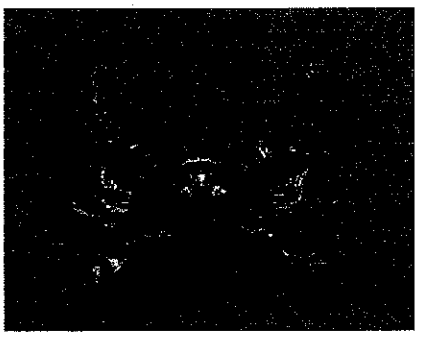
ขามีทั้งหมด 5 คู่ คู่แรกเปลี่ยนแปลงไปเป็นก้ามใหญ่เพื่อใช้ป้องกันตัว และจับอาหาร มีชื่อเรียกปล้องต่าง ๆ แตกต่างกันออกไปดังนี้ คือ Coxa, Basis, Ischium, Merus, Arm, Wrist และ Hand ที่ขอบบนบริเวณฐานของปล้องที่ 4 (Merus) มีหน่าม (Spine) 3-4 อัน ขอบล่างมีหนามเพียงอันเดียว ขอบด้านหน้าของปล้องที่ 5 (Arm) มีหนาม ขนาดเกือบเท่ากัน3 อัน ขอบด้านล่างมีขน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ขอบด้านหลังมีหนาม 1 อัน ขอบด้านหน้าของปล้องที่ 6 (Wrist) มีหนามใหญ่ 1 อัน ขอบด้านหลังมีหนาม 2 อัน โดยหนามอันแรกมีขนาดเล็กกว่าหนามอันหลัง และหนามอันหลังติดอยู่กับสัน ซึ่งเป็นขอบด้านหลังของ Wrist บริเวณด้านบนของ Wrist จะมีสันนูน 3 แถว ซึ่ง 2 แถวขนานกัน สันอีกแถวหนึ่งปลายชี้ไปยังหนามของขอบด้านหลัง ปล้องที่ 7 (Hand) มีสัน 3 แถว สันแถวกลางมีหนาม 1 อัน สันอีก 2 แถวอยู่ด้านนอกโดยแถวบนเป็นตุ่ม และสูงขึ้นมามาก แถวล่างมีลักษณะเป็นช่อง ด้านบนของ Hand ติดกับนิ้วที่เคลื่อนไหวได้ (Movable Finger) ซึ่งมีฟันที่มีขนาดใหญ่ และแหลมคมมาก ด้านล่างของ Hand เป็นนิ้วที่เคลื่อนไหวไม่ได้ (Immovable Finger) ปูม้าเมื่อโตเต็มวัย ก้ามของเพศผู้มีความยาวประมาณ 3 เท่าของความยาวกระดอง แต่ในเพศเมียก้ามมีขนาดสั้นกว่าเพศผู้ ขาคู่ที่ 2 3 และ 4 มีขนาดเล็กปลายแหลมใช้เป็นขาเดิน (Walking Legs) ส่วนต่าง ๆ ของขาแต่ละอัน แบ่งออกเป็นปล้อง ๆ มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เริ่มจากปล้องที่ติดลำตัว เรียกว่า Coxa, Basis, Ischium, Merus, Carpus, Propodus และ Dactylus โดยที่ Dactylus และ Propodus ของขาเดินมีขนาดยาวกว่า ปล้องที่เรียกว่า Carpus มีลักษณะเป็นร่องมีหนามแหลม 2 อัน โดยอันหลังเห็นได้ชัดกว่าอันแรก ซึ่งบางทีหดหายไป แต่ในขาเดินคู่ที่ 4 หนามอันแรกเห็นได้ชัดเจนกว่า หรืออาจมีขนาดเท่า ๆ กันทั้ง 2 หนาม ขาคู่สุดท้ายเป็นขาว่ายน้ำ (Swimming Legs) รยางค์คู่สุดท้ายตอนปลายมีลักษณะแบนบางเป็นรูปไข่ คล้ายใบพายใช้ในการว่ายน้ำ เรียกว่า Paddles ปล้องที่เรียกว่า Merus มีลักษณะเกือบกลมหรือเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (สุเมธ ตันติกุล, 2527)

ส่วนท้อง (Abdomen) ของปูม้าเพศผู้เป็นรูปสามเหลี่ยมเล็กแคบ และยาว ปล้องที่ 3 และปล้องที่ 4 ของส่วนท้องมีขน (Pleopod) รยางค์ส่วนท้องคู่แรกของปูม้าเพศผู้เรียวแหลมและยาวมาก อยู่ในช่องของส่วนที่เรียกว่า Sternum ซึ่งจะโค้งมาทับกันพอดี ส่วนท้องของปูเพศเมียขยายกว้างปิดคลุมอยู่เกือบเต็มหน้าอก รยางค์คู่ที่ 2-5 จะเปลี่ยนไปเป็นรยางค์ยาว และตามขอบของรยางค์เหล่านี้จะมีขนเล็ก ๆ คล้ายขนนก เพื่อให้ไข่เกาะติดในเวลาฟัก (Barnes, 1987)

สีของปูม้าเพศผู้มีสีฟ้าอ่อนมีจุดขาวตกกระอยู่ทั่วไปบนกระดอง และก้าม คลุมไปจนถึงขาว่ายน้ำ พื้นท้องเป็นสีขาว ขามีสีฟ้า ปูม้าเพศเมียลำตัวมีสีน้ำตาลอ่อนมัว ๆ มีตุ่มขรุขระบนกระดองเด่นชัดกว่าเพศผู้ สีของตุ่มออกเขียวคล้ำไม่มีจุดขาวบนกระดอง บริเวณปลายขามีสีม่วงแดง (จำนง รอดมงคลดี, 2522; สมยศ สิทธิโชคพันธ์, 2540) ดังภาพที่ 4 ขนาดโดยทั่วไปปูม้าที่เจริญโตเต็มวัยมีขนาดความยาวกระดองตั้งแต่ 4.2 เซนติเมตรขึ้นไป ปูม้าที่มีอายุเท่ากันปูเพศผู้มีขนาดใหญ่กว่าปูเพศเมีย (สุเมธ ตันติกุล, 2527)



เพศผู้

เพศเมีย

ภาพที่ 4 ลักษณะภายนอกของปูม้า

การแพร่กระจายของปูม้า

ปูครอบครัว Portunidae มีการแพร่กระจายที่กว้างมาก โดยทั่วไปพบในเขตร้อนบริเวณใกล้ชายฝั่ง โดยพบตั้งแต่ ในมหาสมุทรอินเดียทั้งฝั่งตะวันออก มหาสมุทรแปซิฟิค ประเทศญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ แทนซาเนีย ออสเตรเลีย ทางตอนบนของนิวซีแลนด์ จีน คาบสมุทรมาลายู สิงคโปร์ ศรีลังกา โมแซมบิค มาดากัสการ์ อ่าวเปอร์เซีย หมู่เกาะเมอร์ไก และทะเลเมดิเตอร์เรเนียน สำหรับในประเทศไทยพบทั้งทะเลอันดามัน และฝั่งอ่าวไทย ซึ่งพบอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 6 องศาเหนือถึง 13 องศา 30 ลิปดาเหนือ และที่เส้นแวง 97 องศา 30 ลิปดาตะวันออก ถึง 103 องศาตะวันออก โดยปูม้าจะมีการแพร่กระจายโดยทั่วไปในระดับน้ำที่มีความลึกไม่เกิน 50 เมตร พบว่าจะมีความชุกชุมมากที่สุดที่ระดับความลึก 10-20 เมตร ตั้งแต่ชายฝั่งตะวันออก บริเวณบ้านอำเภอ บางละมุง ตลอดแนวขึ้นมาจนถึงตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี และจังหวัดเพชรบุรี ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนใต้จะพบมากในบริเวณอ่าวบ้านดอน หมู่เกาะอ่างทอง เกาะสมุย และเกาะพงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี จนถึงอ่าวปัตตานี (สุเมธ ตันติกุล, 2527)

การเจริญเติบโตของปูม้า

ปูม้าในระยะวัยอ่อนมีรูปร่างที่แตกต่างไปจากในระยะตัวเต็มวัย ต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลังจากการลอกคราบ การศึกษาการเจริญเติบโตของปูตัวเต็มวัยจึงพิจารณาจากความยาวที่เพิ่มขึ้นหลังจากการลอกคราบประกอบ กับความถี่ของการลอกคราบ การเจริญเติบโตของปูม้าในระยะเริ่มเป็นตัวปู (1^{st} Crab) จนถึงวัยเจริญพันธุ์ (Mature) ใช้เวลาประมาณ 4-5 เดือน โดยมีอัตราการเพิ่มความยาวของกระดองโดยเฉลี่ย 0.89 เซนติเมตรต่อเดือน จากข้อมูลการศึกษาของปูม้าในธรรมชาติบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าปูม้ามีอัตราการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ยในระยะ 5 เดือน มีความกว้างของกระดองเพิ่มขึ้น 2.59 เซนติเมตรต่อเดือน หรือมี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความยาวของกระดองเพิ่มขึ้นประมาณ 1 เซนติเมตรต่อเดือน ในขณะที่ปูม้าบริเวณฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยในระยะเดียวกันจะมีอัตราการเจริญเติบโต โดยการเพิ่มความกว้างของกระดองประมาณ 2.38 เซนติเมตรต่อเดือน (สุเมธ ตันติกุล, 2527)

การลอกคราบของปูม้า

การลอกคราบของปูม้าเป็นขบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนสองชนิด คือ ฮอร์โมนเร่งการลอกคราบ (Molting Hormone; MH) และฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (Molt Inhibiting Hormone; MIH) ที่เซลล์ประสาทส่วนกลาง (Central Neurosecretory Cell) เป็นผู้ผลิต ฮอร์โมนทั้งสองชนิดจะทำงานควบคู่กันไป โดยมีระบบประสาทส่วนกลางทำหน้าที่ควบคุมผ่านทางเซลล์ประสาท ขณะที่ปูมีคราบแข็งเต็มที่ (Stage C; Intermolt Stage) เป็นระยะที่อยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (MIH) ที่เอกซ์-ออร์แกนได้ผลิต และส่งเข้าระบบเลือดผ่านทางเซลล์ประสาทของเอกซ์-ออร์แกน (Neurosecretory Cells of X-Organ) และต่อมไซนัส (Sinus Gland) ไปยังจุดหมายปลายทาง ระยะนี้ระดับของฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (MIH) ในเลือดจะสูงกว่าระดับของฮอร์โมนเร่งการลอกคราบ (MH) ในระยะก่อนลอกคราบ (Stage D; Proecdysis Stage) เมื่อระดับของ MIH ในเลือดจะต่ำกว่า MH เอกซ์-ออร์แกน จะส่งสัญญาณไปยังวาย-ออร์แกนให้สร้างฮอร์โมนขึ้นชนิดหนึ่งเพื่อส่งไปยังตับให้มีการสะสมอินทรีย์สาร และแคลเซียมเป็นการเตรียมตัวการลอกคราบ

ปูเมื่อพร้อมลอกคราบ เริ่มจากเปลือกเก่าล่อนจากเยื่อหุ้มตัว ระยะนี้ชาวบ้าน เรียกว่า "ปูสองกระดอง" เป็นระยะที่ปูเคลื่อนไหวได้ช้า สารประกอบของแคลเซียม และไคติน ที่มีอยู่ในเปลือกเก่าส่วนหนึ่งถูกดึงไปใช้เพื่อสร้างเปลือกใหม่ เปลือกเดิมจึงเปราะ ระยะนี้ความดันภายในตัวปูเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากเมื่อเจาะกระดองปูสองกระดอง เยื่อหุ้มตัวจะปูดทะลักออกมาตามรอยเจาะ ความดันของเลือดภายในตัวค่อย ๆ สูงขึ้น เมื่อถึงระดับหนึ่งก็ดันให้เปลือกเก่าแตกออกตามรอยประสานใต้เชิงกระดอง และที่โคนก้าม ระยะนี้ปูผลิตน้ำเมือกซึ่งซึมผ่านผนังเยื่อหุ้มตัวเพื่อช่วยให้กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของปู สามารถถอดข้อต่อต่าง ๆ จากเปลือกเดิมได้ง่ายขึ้น ปูใช้หลังดันกระดองด้านบน ทำให้กระดองส่วนบนตรงรอยต่อระหว่างส่วนหัว และอก กับท้องจะเปิดออก ปูค่อย ๆ ดันตัวออกมาทีละน้อย ๆ โดยมีส่วนของขาคู่หลังหรือขาว่ายน้ำออกมาก่อน เมื่อรยางค์ส่วนนั้นปรับสภาพเข้ากับสภาพแวดล้อมภายนอกแล้ว ปูจึงถอดอวัยวะส่วนอื่น ๆ ตามมา โดยมีก้ามเป็นรยางค์คู่ท้ายสุดที่ปูสลัดตัวเองจากคราบเก่า (บรรจง เทียนส่งรัศมี และบุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2545)

ความถี่ของการลอกคราบขึ้นอยู่กับขนาดของปู โดยความถี่ของการลอกคราบลดลง

เมื่อความกว้างของกระดองเพิ่มขึ้น เช่น ที่พบในปู Blue Crab (*C. sapidus*) ที่ขนาดความกว้างของกระดอง 5 มิลลิเมตร ลอกคราบทุก 3-5 วัน ขนาดความกว้างของกระดอง 10-100 มิลลิเมตร ลอกคราบทุก 10-15 วัน และปูขนาดใหญ่ลอกคราบทุก 20-50 วัน (Guillory, 2003)

โครงสร้างของเปลือกปู

เปลือกของปูทะเล (*S. serrata*) ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ 4 ชั้น คล้ายคลึงกับสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียนส่วนต่าง ๆ ทั่วไป โดยเรียงจากชั้นนอกสุดไปยังชั้นในสุด ดังนี้

1. Epicuticle Layer เป็นชั้นที่อยู่นอกสุดและเป็นชั้นที่บางที่สุด มีความหนาประมาณ 5 μm (Pratoomchat et al., 2002a) มีองค์ประกอบเป็นสารพวก Lipoprotein ร่วมกับเกลือแคลเซียม (Travis, 1955; Hegdahl et al., 1977) ชั้น Epicuticle นี้จะประกอบกันเป็นชั้น ๆ อย่างชัดเจน (Green and Neff, 1972; Arsenault et al., 1984; Compere & Goffinet, 1987) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบเป็นโครงสร้างของสารอินทรีย์ซึ่งติดสีย้อม Eosin อย่างหนาแน่น ซึ่งแสดงถึงการมี NaOH-Protein (Vigh & Dendinger, 1982; Pratoomchat et al., 2002b) ไม่มีองค์ประกอบที่เป็นไคติน

2. Exocuticle หรือ Pigmented Layer เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากชั้น Epicuticle ประกอบด้วย HCl-Protein (Vigh & Dendinger, 1982; Pratoomchat et al., 2002b) ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 60 μm และมีสีเข้ม นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบเป็นเส้นใย Chitin-protein เป็นจำนวนมาก (Travis, 1955; Green & Neff, 1972; Pratoomchat et al., 2002b) ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่มีปริมาณเม็ดสี (Pigments) สูงที่สุด

3. Endocuticle Layer เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด ประมาณ 450-455 μm ซึ่งคิดเป็น 70-85% ของความหนาของเปลือก และมีปริมาณเกลือแคลเซียมสะสมอยู่มากที่สุด บางครั้งจึงเรียกว่า เป็นชั้นแคลเซียม (Calcified Layer) ซึ่งมีลักษณะเป็นแถบ (Bands) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างเส้นใย Chitin-Protein และแคลเซียมคาร์บอเนต ประกอบกันทำให้เป็นชั้นที่หนาที่สุด (Pratoomchat et al., 2002a)

4. Membranous Layer เป็นชั้นที่อยู่ในสุดของเปลือก อยู่ติดกับ Epidermis มีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ มีความหนาประมาณ 5 μm และเป็นโครงสร้างที่ย้อมติดสี Eosin (Pratoomchat et al., 2002a) ประกอบด้วยไคติน ประมาณ 74% (Welinder, 1975) ชั้นนี้ไม่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบจึงถูกเรียกว่า Uncalcified Layer

โครงสร้างเนื้อเยื่อชั้นอิพิเดอมิส (Epidermis) ภายใต้เนื้อเยื่อชั้นในสุดของเปลือกของสัตว์ในครัสเตเชียน จะพบเนื้อเยื่อชั้นอิพิเดอมิส อยู่เป็นชั้นบาง ๆ ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อเซลล์เดียว (Unicellular Layer) ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังโครงสร้างของอิพิเดอมิสปกคลุมด้วยโครงร่างแข็ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ได้แก่ Cuticle ของครัสเตเชียน และ shell ในพวกหอย (Mollusks) อิพิเดอมิสนี้ยังเป็นอวัยวะสำคัญในการหลั่งสารประกอบอินทรีย์ และแร่ธาตุ ขนส่งไปสร้างเปลือก (Travis, 1965; Roer & Dillaman, 1984; Cameron, 1985; Coimbra et al., 1988; Machado et al., 1990; Ziegler, 1996, 1997; Pratoomchat et al., 2002a)

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกปู โครงสร้างของเปลือกปู ประกอบด้วยเส้นใยของ Chitin-Protein เป็นส่วนใหญ่ (Glynn, 1968) กับส่วนของโปรตีนในชั้น Epicuticle และส่วนของไคตินในชั้น Exocuticle และ Endocuticle (Travis, 1965; Vigh & Dendinger, 1982; Roer & Dillaman, 1984) ซึ่งสารตั้งต้นของไคติน คือคาร์โบไฮเดรต (Knowles & Carlisle, 1956)

สารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญของเปลือกตลอดวงจรการลอกคราบ คือ ไคติน อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบกลุ่มโปรตีนจะเพิ่มสูงช่วงหลังลอกคราบ ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรง ในการสร้างชั้น Epicuticle และ Exocuticle หลังจากมีการลอกคราบใหม่ ๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อ Sclerotization สำหรับ NaOH-Protein และ Nucleation สำหรับ HCl-Protein

องค์ประกอบทางเคมีของอิพิเดอมิส ชั้นอิพิเดอมิสประกอบไปด้วยไกลโคเจน ไคติน แอซิด มิวโคโพลีแซคคาไรด์ (Acid Mucopolysaccharides) และนิวตรอล มิวโคโพลีแซคคาไรด์ (Neutral Mucopolysaccharides) ซึ่งตรงกับ ผลการศึกษาของ Pratoomchat et al. (2003) ซึ่งพบว่าชั้นของอิพิเดอมิส ประกอบด้วยสารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไคติน และแร่ธาตุต่าง ๆที่สำคัญ ได้แก่ Copper, Calcium, Sodium, Chloride, Potassium, Phosphorus, Manganese และ Sulphur ปริมาณของโปรตีนเพิ่มมากที่สุดที่ระยะเริ่มต้นของระยะคราบแข็ง (Stage C; Intermolt Stage) ในขณะที่คาร์โบไฮเดรตจะลดลง เนื่องจากส่วนของคาร์โบไฮเดรตถูกนำไปใช้ในกระบวนการ Polymerization ของโมเลกุลไคติน ซึ่งใช้ในการสร้างเปลือกของปูทะเล (Gwinn & Stevenson, 1973) โดยพบว่าความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่ลดลงมีความสัมพันธ์ กับสัดส่วนของไคตินที่เพิ่มขึ้นในเปลือก และปริมาณไคตินจะลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในการสร้างเปลือกที่ระยะคราบแข็ง (Stage C; Intermolt Stage)

ส่วนไกลโคสมิโนไกลแคน (Glycosaminoglycans) เกี่ยวข้องกับการสร้างเปลือกหลังจากปูลอกคราบใหม่ เปลี่ยนจากสารประกอบดังกล่าว เป็นตัวช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการตกผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมคาร์บอเนต (Greenfield et al., 1984; Pratoomchat et al., 2002b) ซึ่ง Vigh & Dendinger (1982) พบว่า HCl-Protein เป็นเหมือนปัจจัยจำกัดในการตกผลึกของแคลเซียม โดย NaOH-Protein (Sclerotin) มีบทบาทสำคัญในการสร้างความแข็งแรง (Hardening Process) ให้กับเปลือกปูช่วงหลังลอกคราบ ปริมาณของ Calcium, Chloride, Potassium และ

Sulphur รวมถึงสารประกอบอินทรีย์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนลอกคราบ (Stage D; Premolt Stage) เนื่องจากมีการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่ออิพิเดอมิส ซึ่ง Mangum (1992) และ Mykles et al. (2000) กล่าวว่า การสะสมของสารอินทรีย์นี้เกี่ยวข้องกับการกำหนดปริมาตรของเซลล์ (Cell Volume) และการนำน้ำเข้าภายในเซลล์ (Water Uptake) ส่วน Copper จะเพิ่มขึ้นจากระยะหลังลอกคราบ (Stage A; Postmolt Stage) ถึงระยะคราบแข็ง (Stage C; Intermolt Stage) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นสำหรับการขนส่งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์สำหรับการสร้างเปลือก (Mangum, 1983)

ขบวนการลอกคราบ (Molting process) เป็นขบวนการที่รวมเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นก่อน และหลังการสลัดคราบออก (Ecdysis or Exuviation) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารต่าง ๆ รวมทั้งมีการเจริญเติบโตเกิดขึ้นด้วย เนื่องจากกระดองปูเป็นสารประกอบหินปูนมีความแข็งแรงมากทำให้ไม่สามารถยืดขยายตัวได้ ระยะเวลาในการลอกคราบในแต่ละครั้งนั้นจะห่างกันเท่าใดขึ้นกับขนาด เพศ อายุ ความสมบูรณ์ของปูทะเล และขึ้นกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมภายนอกที่เหมาะสมด้วย สำหรับการลอกคราบของปูทะเลนั้น สามารถทำการตรวจสอบว่าปูทะเลอยู่ในระยะใด โดยดูจากขาว่ายน้ำบริเวณแคลไทโลโพไดท์ (Dactylopodite) ในวงจรการลอกคราบของปูทะเล (*S. serrata*) โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะหลังการลอกคราบตอนต้นหรือระยะ A (Early Postmolt Stage) ระยะหลังลอกคราบหรือระยะ B (Post Molt Stage) ระยะคราบแข็งหรือระยะ C (Intermolt Stage) ระยะก่อนลอกคราบหรือระยะ D (Premolt Stage) และระยะลอกคราบหรือระยะ E (Ecdysis Stage) ระยะการลอกคราบที่มีการจำแนกไว้นี้ ยังจะสามารถแยกย่อยได้อีก 9 ระยะด้วยกัน ได้แก่ ระยะ A, B, C1, C2, C3, D1, D2, D3 และระยะ E โดยปูที่ทำการศึกษามีขนาดความกว้างกระดอง 70-80 มิลลิเมตร (Pratoomchat et al., 2002a) ได้แก่

-ระยะ A (Early Postmolt Stage) เป็นระยะที่ปูทะเลเพิ่งเสร็จการลอกคราบใหม่ ๆ ที่มีลักษณะเป็นหนังเหนียว ๆ ลื่น ๆ และมีความอ่อนนุ่ม เมื่อสัมผัสส่วนภายใน และบริเวณฐานขนรยางค์จะมีของเหลวสีน้ำตาลบรรจุอยู่ ระยะนี้ปูจะเริ่มสะสมแคลเซียม และดูดน้ำเข้าตัว ปูไม่เคลื่อนที่ไม่หาอาหาร ใช้เวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง

-ระยะ B (Postmolt Stage) เป็นระยะที่คราบแข็งขึ้น เอนโดคิวติเคิล (Endocuticle) เริ่มมีการพัฒนาระหว่างเคลือบผิวชั้นอิพิเดอมิสอันเดิม และเคลือบผิวชั้นอิพิเดอมิสอันใหม่ และสังเกตเห็นเม็ดสีมีการถอยกลับ ใช้เวลา 3-5 วัน

-ระยะ C1-C3 (Intermolt Stage) เป็นระยะที่คราบมีความแข็งเต็มที่ เมื่อสังเกตจากกล้องจุลทรรศน์พบว่า เม็ดสีมีการถอยกลับไปอยู่บริเวณปลายสุดของขน (Setae) มีการสะสมสารต่าง ๆ และผิวชั้นในโดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นสะสมแคลเซียม (Calcified Layer) เริ่มแข็งขึ้นเรื่อย ๆ ปูใน

ระยะนี้จะเคลื่อนที่รวดเร็ว มีพฤติกรรมก้าวร้าว และกินอาหารมาก ใช้เวลา 24-30 วัน

-ระยะD1 (Early Premolt Stage) ระยะนี้ผิวชั้นอิพิเดอมิส หดกลับจนเห็นเป็นแนว และขนชุดใหม่มีการพัฒนา ใช้เวลา 7-10 วัน

-ระยะD2 (Mid-Premolt Stage) ระยะนี้ผิวชั้นอิพิเดอมิสปรากฏเห็นเป็นแนวชัดขึ้น และใหญ่ขึ้น สังเกตเห็นขนมีลักษณะเป็นก้าน ใช้เวลา 7-10 วัน

-ระยะ D3 (Late Premolt Stage) ขนใหม่พัฒนาสมบูรณ์ ชั้นผิวอิพิเดอมิสหดกลับมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด กระดองแข็งมากแต่มีความเปราะ และแตกง่าย ปูกินอาหารน้อยลง และไม่กินเลยก่อนลอกคราบ เพื่อเตรียมพร้อมที่จะลอกคราบ ใช้เวลา 5-7 วัน

-ระยะ E (Ecdysis Stage) เป็นระยะที่ปูทะเลมีการลอกคราบ และเป็นช่วงที่มีความอ่อนแอมากที่สุด ในระยะนี้น้ำเข้าตัวอย่างรวดเร็วทางรอยแตกทุกที่มีการปรับความดันออสโมติกในเลือด เนื่องจากทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันในเลือดเพิ่มขึ้นก่อนการลอกคราบทำให้ความดันเลือดสูงขึ้น

การเลี้ยงปูนิ่มในต่างประเทศ

วิธีการทำปูนิ่มจากปู Blue Crab (*C. sapidus*) ที่มลรัฐ South Carolina ประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนใหญ่ เลี้ยงปูในกระชัง หรือในบ่อซีเมนต์ วิธีการต้องแยกปูที่ใกล้ลอกคราบออกจากปูกระดองแข็ง ทำให้ปูกำลังลอกคราบไม่ได้รับอันตรายจากปูกระดองแข็ง วิธีการเลี้ยง และการจัดการปูลอกคราบมีความสำคัญมาก จากประสบการณ์ของผู้เลี้ยงปูนิ่ม สามารถแบ่งปูออกเป็น 4 ระยะ ตามการปรากฏสีของรยางค์ขาเดินคู่ที่ 5 ได้แก่ White Line, Pink Line, Red Line, และ Buster นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการที่จะแยกตั้งแต่ระยะก่อนการลอกคราบ เพราะการกินอาหารจะลดลง ทำให้สะดวกในการจัดการ (Whitaker et al., 1987)

การเปลี่ยนแปลงสีของตับปิ้ง สามารถใช้เป็นจุดสังเกตได้ว่าปูใกล้ลอกคราบหรือยัง การเปลี่ยนแปลงสี สังเกตได้จากตับปิ้งของปูเพศผู้ และปูเพศเมียมีการเปลี่ยนสีเมื่อใกล้ลอกคราบ โดยตับปิ้งของเพศผู้มีสีค่อนข้างเหลืองเมื่อใกล้ลอกคราบ ดังภาพที่ 5 ก และภาพที่ 5 ข ขณะที่ปูเพศเมียใกล้ลอกคราบสีตับปิ้งเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมม่วงหรือน้ำเงินเข้มปรากฏเป็นชั้น ๆ และมีสีโทนดำในระยะสุดท้าย ดังภาพที่ 5 ค และ ภาพที่ 5 ง

การเปลี่ยนแปลงสีของรยางค์ขาเดินคู่ที่ 5 (Paddle Fins) ของปู Blue Crab ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะใส แต่เมื่อใกล้ลอกคราบจะเห็นการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจน โดยสังเกตจากขอบด้านนอกของสองข้อต่อสุดท้ายของรยางค์ขาเดินคู่ที่ 5 เมื่ออยู่ในระยะ White Line Peeler, Green Peeler และ Hard Crab ทั้ง 3 ระยะนี้รยางค์ขาเดินคู่ที่ 5 จะมีลักษณะบางใสติดกับภายในของขอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

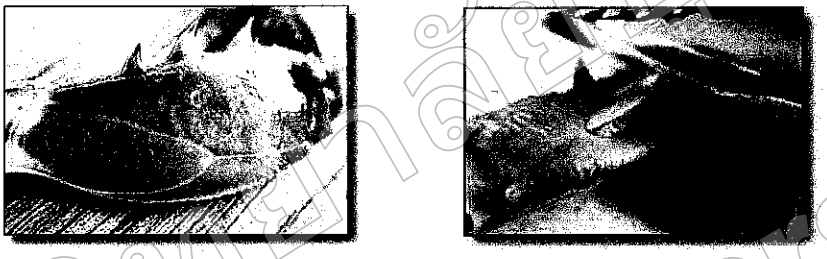
ด้านนอกของขาเดินคู่ที่ 5 (Dactylopodite และ Propodus) ในระยะ Pink Line Peeler จะมีลักษณะบางใสแต่ลักษณะของขอบด้านนอก จะมีสีชมพูหรือสีม่วงอ่อน ในระยะ Red Line Peeler อยู่ในช่วง 3 วันสุดท้ายก่อนการลอกคราบ ลักษณะของขอบด้านนอกของขาเดินคู่ที่ 5 จะมีสีแดงเข้มหรือสีม่วงเข้ม เส้นสีแดงนี้จะสังเกตได้ง่ายกว่าเส้นสีชมพู ในระยะ Buster เป็นระยะสุดท้ายของการลอกคราบและเป็นระยะที่สังเกตได้ง่ายที่สุด (Zinski, 2004)

ก ข ค ง

ภาพที่ 5 สีของตับปี้งของปู Blue Crab เพศผู้ระยะคราบแข็ง (ก) ระยะก่อนลอกคราบ (ข) และ สีของตับปี้งของปู Blue Crab เพศเมียระยะคราบแข็ง (ค) ระยะก่อนลอกคราบ (ง) (Zinski, 2004)

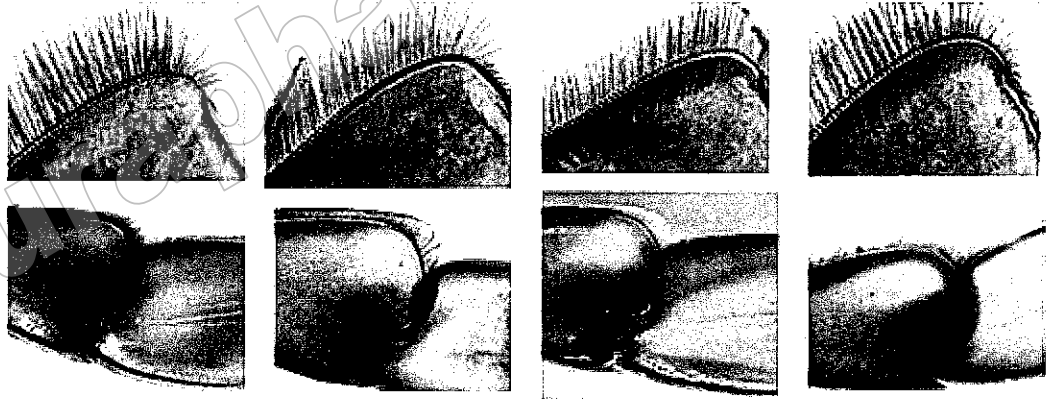
การแยกระยะลอกคราบปู มีวิธีการสังเกตอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะแรก สังเกตลักษณะรอยแตกตรงบริเวณก้าม ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าปูกำลังจะลอกคราบ โดยเฉพาะระยะ Pink Line Peeler ดังภาพที่ 6 ก ส่วนระยะ Red Line Peeler ตรงบริเวณก้ามจะแตกหักได้ง่ายมาก ดังภาพที่ 6 ข ซึ่งในระยะนี้ถ้าบริเวณปลายสุดของก้ามเกิดการแตกหักทำให้การลอกคราบของปูเกิดขึ้นได้ยาก สุดท้ายปูจะไม่ลอกคราบเนื่องจากเกิดการติดเชื้อและตายในที่สุด สำหรับระยะ White Line Peeler และระยะ Green Peeler จะไม่มีการแตกหักตรงบริเวณก้าม ถึงแม้ว่าการดูปูนิ่มใน North Carolina ใช้วิธีสังเกตลักษณะรอยแตกตรงบริเวณก้าม แต่กระบวนการนี้ทำให้เกิดความเสียหายแก่ปูนิ่มมากกว่าวิธีอื่น (Zinski, 2004) ลักษณะที่สอง เป็นการสังเกตลักษณะของปลายขาเดินคู่ที่ 5 วิธีการนี้สำหรับผู้ที่ยังไม่มีประสบการณ์ในการจำแนกระยะการลอกคราบ โดยการตัดส่วนปลายนำมาส่องดูชั้นเนื้อเยื่อพบว่ามีระยะการเปลี่ยนแปลงของชั้นเนื้อเยื่อ จากปูระยะ White Line Peeler ซึ่งจะแยกจากขอบด้านนอกของปลายรยางค์ขาเดินคู่ที่ 5 ที่มีลักษณะใส เป็นระยะ Pink Line และ Red Line Peeler ที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูและสีแดง เมื่อปูใกล้ที่จะลอกคราบ (ภาพที่ 7) การสังเกตสีบริเวณปลายรยางค์ขาเดินคู่ที่ 5 ของปู Blue Crab ใน North Carolina สีที่ปรากฏบนขอบของขาว่ายน้ำสามารถทำนายระยะเวลาที่เหลือก่อนเข้าสู่ระยะลอกคราบ (Whitaker et al., 1987) ดังนี้

ระยะคราบแข็ง	20 -50	วัน
ระยะ Green Peeler	10 -25	วัน
ระยะ White Line Peeler	5 - 14	วัน
ระยะ Pink Line Peeler	2 - 6	วัน
ระยะ Red Line Peeler	1 - 3	วัน
ระยะ Buster	< 1	วัน



ก ข

ภาพที่ 6 ระยะลอกคราบที่สังเกตจากรอยแตกของก้ามของปู Blue Crab ระยะ Pink Line Peeler (ก) และ ระยะ Red Line Peeler (ข) (Zinski, 2004)



ก ข ค ง

ภาพที่ 7 ระยะลอกคราบที่สังเกตจากสีบริเวณปลายรยางค์ขาเดินคู่ที่ 5 ของปู Blue Crab ระยะคราบแข็ง (ก) ระยะ White Line Peeler (ข) ระยะ Pink Line Peeler (ค) และ ระยะ Red Line Peeler (ง) (Zinski, 2004)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ปู Blue Crab เป็นปูที่มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ภายในระยะเวลา 12-18 เดือน สามารถผสมพันธุ์วางไข่ได้ ขนาดโตเต็มที่มีความกว้างของกระดอง 20 เซนติเมตร ในการเจริญเติบโตจะต้องอาศัยการลอกคราบ การลอกคราบแต่ละครั้ง ปูจะมีขนาดใหญ่ขึ้น 30% การผลิตปูนิ่มจะทำการคัดแยกปูที่มีระยะลอกคราบใกล้เคียงกันไว้ด้วยกันโดยสังเกตจากบริเวณขอบของขาว่ายน้ำ เมื่อปูลอกคราบจะคัดแยกปูนิ่มตามขนาดออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ Whales, Jumbos, Primes, Hotels และ Mediums ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดความกว้างกระดองและน้ำหนักเฉลี่ยของปู Blue Crab นิ่ม (ที่มา: Sullivan, 2005)

ขนาด	ความกว้างกระดอง (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
Whales	13.75	183.5
Jumbos	12.5-13.75	140.0
Primes	11.25-12.5	102.6
Hotels	10-11.25	77.8
Mediums	8.75-10.00	56.0

การรักษาสภาพของปูนิ่มให้อยู่ในสภาพที่มีชีวิตจนถึงมือผู้บริโภคนั้นสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากปูมีการเคลื่อนไหว มีความเครียด และการแข็งของเปลือกก่อนมาถึงมือผู้บริโภค ปัญหาที่สำคัญ คือ มีการตายเกิดขึ้นส่งผลให้ปูตัวอื่นในกล่องเดียวกันมีกลิ่นตามไปด้วย แนวทางการแก้ไขคือบรรจุปูนิ่มในวัสดุที่ชื้นได้แก่ หนังสือพิมพ์ ฟาง และควบคุมความเย็น การเก็บปูนิ่มที่ 10 องศาเซลเซียส จะได้ปูที่นิ่มกว่าการเก็บปูที่ 2 องศาเซลเซียส แต่ให้ความสดได้เท่ากัน และสามารถทำให้ปูคงสภาพสดอยู่ได้ 5-6 วัน (Sullivan, 2005)

การเลี้ยงปูนิ่มในประเทศไทย

การเลี้ยงปูนิ่มในประเทศไทย เป็นการเลี้ยงที่ใช้ปูทะเล (*S. serrata*) โดยมีการเลี้ยงทั้งในบ่อซีเมนต์ที่มีการให้อากาศตลอดเวลา และการเลี้ยงในตะกร้าที่ลอยในบ่อดิน ได้มีการศึกษาการเลี้ยงปูทะเล ให้เป็นปูนิ่มในกระชังในบ่อซิเมนต์โดยเปรียบเทียบระหว่างปูที่มีรยางค์ครบกับปูที่เหลือเฉพาะขาว่ายน้ำ 1 คู่ พบว่าปูมีอัตราการลอกคราบ 30% และ 100% และมีระยะเวลา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การลอกคราบ 30.83 ± 2.04 วัน และ 22.15 ± 2.15 วัน ตามลำดับ เปรียบเทียบการให้อาหารปูทะเล 1 ครั้ง ต่อวัน กับให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน กับปูทะเลที่เหลือเฉพาะขาว่ายน้ำ 1 คู่ พบว่า มีอัตราการลอกคราบเฉลี่ย 89.00 ± 9.01% และ 91.00 ± 4.14% ระยะเวลาเฉลี่ยของการลอกคราบ 19.42 ± 1.87 วัน และ 20.27 ± 2.61 วัน ตามลำดับ (วิวรรธน์ สิงห์ทวีศักดิ์ และวัฒนา ภู่เจริญ, 2543) การกระตุ้นให้ปูทะเลมีการลอกคราบเร็วขึ้นโดยใช้ ฮอร์โมน 20-ไฮดรอกซีเอคไดโซน (20-Hydroxyecdysone) ฉีดเข้าตัวปูเพศผู้ ที่ระดับ 50 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักตัว) และเพศเมีย 70 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักตัว) ให้อาหารปลาสดกิน 10% สามารถกระตุ้นให้ปูทะเลลอกคราบเร็วขึ้น 16.11% และ 23.40% ตามลำดับ ของเวลาปกติที่ใช้ในการลอกคราบ (เชียง เกิดแก้ว, 2542) ปัจจัยเรื่องระยะเวลาการรับแสง พบว่า ปูทะเลที่เลี้ยงในบ่อไม่ได้รับแสงตลอดเวลาใช้ระยะการลอกคราบสั้นที่สุด (44วัน) และมีจำนวนปูลอกคราบสูงสุด 33% ซึ่งดีกว่าปูที่เลี้ยงในบ่อที่รับแสงปกติ และบ่อที่รับแสงตลอดเวลามีระยะการลอกคราบ 60 วัน และ 67 วัน จำนวนปูลอกคราบ 20% และ 5% ตามลำดับ ปัจจัยเรื่องความเค็มพบว่า ปูทะเลลอกคราบได้ดีที่ความเค็มต่ำโดยที่ความเค็ม 5 ส่วนในพันส่วนและ 20 ส่วนในพันส่วน ใช้ระยะเวลาลอกคราบเฉลี่ย 44 วัน และ 50 วัน และมีจำนวนปูลอกคราบ 66% และ 75% ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าปูทะเลที่เลี้ยงที่ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ที่ใช้ระยะเวลาลอกคราบเฉลี่ย 58 วัน และมีจำนวนปูลอกคราบ 49% (บุญรัตน์ ประทุมชาติ, 2544)

อุตสาหกรรมการเลี้ยงปูนิ่มในประเทศไทยในปัจจุบันมี 2 วิธี วิธีแรกเป็นการเลี้ยงปูทะเลให้เป็นปูนิ่มในบ่อซีเมนต์ โดยการนำปูทะเลจากธรรมชาติ มาทำให้ปูสลัดก้าม และขาเดินออกเหลือเพียงขาว่ายน้ำ ปล่อยในบ่อซีเมนต์ ให้อาหารวันละ 1 ครั้ง ตรวจสอบการลอกคราบทุก 4 ชั่วโมง (นิวัฒน์ พุ่มแจ่ม, 2547) วิธีที่สอง นำปูทะเลขนาดเดียวกับวิธีแรกใส่ในตะกร้าพลาสติกที่มีขนาด 16 x 22 x 11 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตะกร้าละ 1 ตัว นำตะกร้าไปลอยบนแพที่ทำด้วยท่อ PVC ขนาด 1-2 นิ้ว อาหารเป็นปลาสดหั่นเป็นชิ้นให้วันละ 1 ครั้ง การตรวจสอบจะทำหลังจากปล่อยปูแล้วทุก ๆ วัน และตรวจสอบปูทุกตัวทุก ๆ 4 ชั่วโมง เมื่อพบปูลอกคราบต้องรีบจับขึ้นมาใส่ในน้ำจืด หลังจากนั้น เก็บในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส (สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดระนอง, 2545) ปัญหาที่พบเกี่ยวกับการเลี้ยงปูทะเลนิ่ม คือ วัตถุดิบที่นำมาผลิต การจัดการที่ต้องคอยตรวจสอบปูทะเลทุกตัวที่มีอยู่ในฟาร์ม และให้อาหารแก่ปูทุกตัว ซึ่งเป็นปัญหาในเรื่องของ ผลผลิต แรงงาน และสูญเสียอาหาร

แนวทางการเลี้ยงปูม้านิ่มเชิงพาณิชย์ โดยนำปูม้าที่มีวัตถุดิบปริมาณแน่นอนจากธรรมชาติหรือจากบ่อเลี้ยง จากนั้นตรวจสอบระยะเวลาการลอกคราบ ชั่งน้ำหนัก เพื่อกำหนดระยะเวลาการลอกคราบของปูแต่ละตัว จัดปูที่มีระยะเวลาลอกคราบใกล้เคียงกันไว้ด้วยกัน เลือก

ที่จะให้อาหารในกลุ่มปูที่ต้องการอาหาร และตรวจสอบปูในกลุ่มเมื่อถึงเวลาลอกคราบ จับปูที่ลอกคราบขึ้นมาปฏิบัติตามขั้นตอนที่จะออกสู่ตลาดต่อไป การดำเนินการลักษณะนี้ทำให้สามารถวางแผนการผลิตตามความต้องการของตลาดได้

การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน

การวิเคราะห์ต้นทุน เป็นการนำต้นทุนการผลิตที่เป็นรายจ่ายทั้งหมดที่จ่ายออกไปทั้งที่เป็นเงินสดและที่ไม่ได้จ่ายออกไปเป็นเงินสด (ทับทิม วงศ์ประยูร, 2543) โดยมีวิธีการดังนี้

ต้นทุนทั้งหมด (Total Cost; TC) หมายถึง ต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต ประกอบด้วยต้นทุนสองชนิด คือ

1. ต้นทุนคงที่ทั้งหมด (Total Fixed Cost; TFC) หมายถึง ต้นทุนที่ต้องจ่ายเป็นจำนวนเงินคงที่ ไม่ว่าปริมาณการผลิตจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร หรือแม้แต่จะไม่ทำการผลิต ก็ต้องเสียต้นทุนนี้ เช่น ค่าเช่าที่ดิน เงินเดือน ค่าเสื่อมราคาของสิ่งก่อสร้างและวัสดุ ค่าเสียโอกาส

การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight Line Method)

ค่าเสื่อมราคา = (ราคาทุน – ราคาซาก)/ อายุการใช้งาน

การคิดค่าเสียโอกาส

ค่าเสียโอกาสแรงงาน = (จำนวนวันxจำนวนชั่วโมงทำงานxอัตราค่าแรง)
/ ชั่วโมง 1วันงาน

2. ต้นทุนผันแปรทั้งหมด (Total Variable Cost; TVC) หมายถึง ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต ถ้าทำการผลิตมากต้องเสียต้นทุนมาก ถ้าผลิตน้อยเสียต้นทุนน้อย เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าอาหาร ค่าไฟฟ้า

การคำนวณต้นทุนทั้งหมด

TC = TVC + TFC

การวิเคราะห์ผลตอบแทน

รายได้ทั้งหมด = จำนวนผลผลิต x ราคาผลผลิต

รายได้สุทธิ = รายได้ทั้งหมด – ต้นทุนผันแปร

กำไรสุทธิ = รายได้ทั้งหมด – ต้นทุนทั้งหมด

อัตราผลตอบแทนต่อการลงทุน = (กำไรสุทธิ x 100)/ ต้นทุนทั้งหมด

ถ้าอัตราผลตอบแทนต่อการลงทุนมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากในปัจจุบันจะทำการลงทุน

ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิ (Net Present Value; NPV)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด = $\frac{S1}{(1+i)} + \frac{S2}{(1+i)^2} + \frac{S3}{(1+i)^3} + \frac{Sn}{(1+i)^n}$

S = รายได้สุทธิที่ได้รับในแต่ละปี

i = อัตราตอบแทนจากเงินลงทุน หรืออัตราดอกเบี้ยธนาคาร

N = จำนวนปีของกิจการ

ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด (NPV) = ค่าปัจจุบันกระแสเงินสด – เงินลงทุน

ถ้ามีค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่มีค่าเป็นบวก หรือสูงสุด จึงจะทำการลงทุนในการผลิตหรือเลือกวิธีการที่มีค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสูงสุด (อัมพร เที่ยงตระกูล, 2540)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University