บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้งมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พศ. 2540-2550) ซึ่งสถานที่เลี้ยงบางแห่งมีคุณภาพน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งความเค็มของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามกุ้งสกุลพีเนียสสามารถทนความเค็มได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งอยู่ได้ในทั้งความเค็มสูงและความเค็มต่ำ โดยสัตว์น้ำเหล่านี้มีการสร้างและสะสมกรดอะมิโนอิสระ เช่น โพรลีน, ไกลซีน, อาจีนีน และ ทอรีน เพื่อรักษาระบบสมดุลของเหลวในร่างกายของสัตว์น้ำให้อาศัยอยู่ในน้ำนั้นได้ (Saoud and Davis, 2005) ถ้าหากว่ากุ้งไม่มีกลไกในการรักษาสภาพสมดุลของเหลว ร่างกายก็ไม่สามารถที่จะคงสภาพอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมนั้น

กุ้งขาวเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะแถบละตินอเมริกา อเมริกาและบางประเทศในทวีปเอเชีย ในประเทศไทยเริ่มมีการเลี้ยงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 แต่มีการหยุดการเลี้ยง เนื่องจากเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งไม่ได้ให้ความสนใจมากเหมือนกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและปัญหาอีกประการหนึ่งก็คือกุ้งขาว เป็นกุ้งที่มีความไวต่อการใช้ยาและสารเคมี เมื่อมีการนำสารเคมีที่ใช้กับกุ้งกุลาดำมาใช้กับกุ้งขาวส่งผลให้เกิดการตายอย่างมากในกุ้งขาว (ภิญโญ, 2545) การเลี้ยงในความหนาแน่นสูงมักส่งผลกระทบกับกุ้งขาวไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโตที่ลดลง เกิดความเครียดและสามารถติดโรคได้ง่าย ทำให้เกษตรกรนำสารเคมีและยาปฏิชีวนะมาใช้ในการรักษาโรค ซึ่งการใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะที่ไม่ถูกวิธีมักก่อให้เกิดการตกค้างของสารเหล่านั้นในกุ้งขาวที่เลี้ยงและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดการดื้อยาของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค ทำให้ยากแก่การควบคุมและรักษาโรคได้ ดังนั้นการใช้สารชีวภาพจึงนับเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

บีเทนเป็นเป็นสารประกอบชีวภาพที่พบครั้งแรกในหัวบีต (sugar beet) ในสัตว์และจุลินทรีย์ (Rhodes and Hanson, 1993) เป็นสารที่มีการนำมาผสมในอาหารสัตว์ เพื่อให้สัตว์บกและสัตว์น้ำให้มีการเจริญเติบโตที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งบีเทนมีส่วนช่วยในการดึงดูดการหาอาหารของสัตว์น้ำ โดย Vitanen และคณะ (1994) รายงานว่าบีเทนมีส่วนช่วยในการดึงดูดความต้องการอาหารของสัตว์

น้ำจำพวกครัสเตเชีย และช่วยในการรักษาสมดุลของเหลวในร่างกายของสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงได้ Coman และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของบีเทนและ กรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) พบว่า บีเทนที่ระดับความเข้มข้นสูงจะมีผลทำให้กุ้งมีความต้องการอาหารมากกว่ากลุ่มที่ผสมบีเทนและกรดอะมิโนน้อยและในการทดลองของ Marja และ Erkki (1993) ได้ศึกษาการใช้ไดเมทธิลไกลซีนและไตรเมทธิลไกลซีน (Betaine) เพื่อเปรียบเทียบการกระตุ้นการตอบสนองระบบภูมิคุ้มกันของปลาแซลมอน โดยฉีดเชื้อ *V. anguillarum* เข้าไปพบว่าระบบภูมิคุ้มกันที่ไม่จำเพาะของปลาแซลมอนที่ได้รับบีเทนสูงขึ้นกว่าชุดควบคุม

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้บีเทนในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกุ้งขาว เพื่อให้กุ้งขาวมีการเจริญเติบโตที่ดี มีความต้านทานโรคติดเชื้อโดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย และรักษาระบบสมดุลของเหลวในร่างกาย ซึ่งปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งมีเป็นการเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูงซึ่งมักส่งผลกระทบกับกุ้งขาวไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโตที่ลดลง เนื่องจากกุ้งเกิดความเครียดและอ่อนแอ จึงสามารถที่จะติดโรคได้ง่าย ทำให้เกษตรกรมีการนำยาปฏิชีวนะและสารเคมีต่าง ๆ มาใช้ในระบบการเลี้ยง ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดปัญหาการตกค้างในสัตว์น้ำรวมถึงแหล่งน้ำ ซึ่งการประยุกต์ใช้บีเทนในการเลี้ยงกุ้งขาว เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงกุ้ง นอกจากนี้ก็เป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติและมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคได้อีกด้วย และผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งขาวของเกษตรกรเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มคุณภาพของอาหารสัตว์น้ำและทำให้อุตสาหกรรมอาหารสัตว์น้ำเกิดการขยายตัวมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการส่งผลให้การเลี้ยงกุ้งมีความยั่งยืนต่อไปในอนาคต

ตรวจเอกสาร

1. กุ้งขาววานาไม

1.1 ชีววิทยากุ้งขาว

อนุกรมวิธานของกุ้งขาวจัดจำแนกโดย Perez Farfante และ Kensley (1997)

Phylum Arthropoda

Class Crustacea

Subclass Malacostraca

Order Decapoda

Suborder Dendrobrachiata

Intraorder Penaeidea

Superfamily Penaeoidea

Family Penaeidae

Litopenaeus vannamei (Boone, 1931)

กุ้งขาววานาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งสายพันธุ์หลักของทวีปอเมริกา ค้นพบโดย Boone ในปี ค.ศ. 1931 มีชื่อเรียกหลายภาษาเช่นภาษาสเปนเรียก Camaron Patiblance ภาษาอังกฤษเรียก White leg Shrimp ภาษาฝรั่งเศสเรียก Coevette Pattes Blanches นอกจากนี้ยังมีชื่อทางการค้าที่เรียกตามแหล่งที่พบหรือลักษณะรูปร่างที่ปรากฏ เช่น ในประเทศอเมริกาเรียก West Coast White Shrimp หรือ White leg Shrimp ในประเทศโคลัมเบียเรียก Camaron Caf หรือ Camaron Blanco ในประเทศเม็กซิโกเรียก Camaron Blance ในประเทศอินโดนีเซียเรียก วานามี่ ในมาเลเซียเรียก อูดัง ปูเต (udang puteh) สำหรับชื่อภาษาอังกฤษโดยทั่วไปจะเรียก White leg, Pacific White, Mexican White, Ecuadoran White เป็นต้น ในธรรมชาติจะพบกุ้งขาววานาไมได้ตั้งแต่ชายฝั่งทะเลของประเทศเม็กซิโกจนถึงชายฝั่งทะเลของประเทศเปรู ซึ่งเป็นเขตที่มีอุณหภูมิของน้ำประมาณ 26-28 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส) และมีความเค็มประมาณ 35 พีพีที

1.2 ถิ่นที่อยู่อาศัยและการแพร่กระจาย

กุ้งขาววานาไมเป็นกุ้งพื้นเมืองที่กระจายอยู่ในทะเลของประเทศกลุ่มแปซิฟิกจากนอกชายฝั่งทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ถึงชายฝั่งแปซิฟิกของทวีปอเมริกาเหนือถึงทวีปอเมริกาใต้ โดยปกติแล้วจะพบมากในแถบประเทศปานามาและพบการกระจายทั่วไปตามชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกจากเม็กซิโกไปถึงตอนเหนือของประเทศเปรู มีรายงานว่าพ่อแม่พันธุ์ที่นำมาเพาะเลี้ยงพบได้ตั้งแต่ไหล่ทวีปจนถึงความลึก 72 เมตร

1.3 ลักษณะของกุ้งขาววานาไม

ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของกุ้งขาววานาไมจะคล้ายกับกุ้งกุลาดำซึ่งอยู่ในตระกูล Penaeidae เหมือนกันโดยกุ้งขาวจะมีลำตัว 6 ปล้อง ส่วนหัว 1 ปล้อง ส่วนหาง 1 ปล้อง หน้าอกใหญ่ลักษณะลำตัวขาวใส ขาสีขาว หางมีสีแดง โดยเฉพาะบริเวณปลายหางจะมีสีแดงเข้ม กรีจะมีแนวตรงปลายงุ้มลงเล็กน้อย เมื่อโตขึ้นฟันกรีด้านบนจะมี 8 ซี่ และด้านล่าง 2 ซี่ ความยาวของกรีจะยาวกว่าลูกตาไม่มาก มีเมือกมาก ซึ่งไม่เหมือนกับกุ้งขาวบางชนิด ที่สามารถสังเกตเห็นได้ว่ามีเมือกน้อย ลำตัวค่อนข้างแห้งเร็วเมื่อนำขึ้นมาจากน้ำและที่สังเกตได้เด่นชัดที่สุดคือลำไส้ของกุ้งชนิดนี้จะโตเห็นได้ชัดกว่ากุ้งชนิดอื่น (ภิญโญ, 2545) กุ้งขาวขนาดตัวที่โตสมบูรณ์เต็มที่จะมีขนาดเล็กกว่ากุ้งกุลาดำ โดยความยาวจากปลายกรีหัวจนถึงแพนหางประมาณ 230 มิลลิเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ยประมาณ 120 กรัม และกุ้งขาวเป็นกุ้งที่มีการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีโดยเฉพาะสามารถปรับตัวในช่วงความเค็มกว้างตั้งแต่ 0-50 พีพีที ความเค็มที่เหมาะสมคือ 10-30 พีพีที ปรับตัวอยู่ในอุณหภูมิตั้งแต่ 24-32 องศาเซลเซียส แต่จะเหมาะสมที่สุดที่ 28-30 องศาเซลเซียส มีการเจริญเติบโตดี ลอกคราบบ่อย จึงต้องการแร่ธาตุสูง โดยเฉพาะแมกนีเซียมและแคลเซียม กุ้งขาวเคลื่อนตัวได้เร็วว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงต้องการออกซิเจนค่อนข้างสูง และทำร้ายกุ้งตัวอื่น กินอาหารได้หลายชนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติในทุกระดับความลึก ชอบว่ายน้ำและไม่หมกตัว ความแตกต่างระหว่างลูกกุ้งขาวและลูกกุ้งแชบ๊วยระยะโพสลาวา 10 และระยะวัยรุ่น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่างลูกกุ้งขาวและลูกกุ้งแชบ๊วยระยะโพสลาวา 10 และระยะวัยรุ่น

ลักษณะ	กุ้งขาววานาไม	กุ้งแชบ๊วย
ลักษณะลำตัว	สั้นป้อม	ยาวเพรียว
ระยะระหว่างตา	ห่าง , กางออก	ค่อนข้างชิดกัน
ความยาวกรี	กรีสั้นกว่า exopodite ของ หนวด ปลายกรียาวตรง	กรียาวเลย exopodite ของ หนวด กรีงอนเชิดขึ้น
ฟันกรีด้านล่าง	2-3 ซี่	2-3 ซี่
ความยาวกรีของกุ้งอายุ พี 5	กรีสั้นกว่าดวงตา	กรียาวเลยดวงตา
สีของหนวด	สีแดงตลอดเส้น	เป็นปล้องขาวสลับแดง
สีของขาว่ายน้ำ	ขาวใส	สีน้ำตาลแดง
ระดับความเค็มที่เหมาะสม	0-35 พีพีที	7-25 พีพีที

ที่มา : ปิยะบุตร (2545)

ข้อดีของกุ้งขาววานาไมที่แตกต่างจากกุ้งกุลาดำมีหลายประการคือ

1. ทนต่อความเค็มได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0-50 พีพีที (Pillay, 1990) โดยจะมีการเจริญเติบโตได้ดีในช่วง 10-30 พีพีที

2. เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิกว้างคือ 22-32 องศาเซลเซียส (Pillay, 1990) แต่จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส (Ponce-Palafox *et al*., 1997)

3. ทนต่อสภาพออกซิเจนต่ำได้ดี พบว่าแม้ออกซิเจนต่ำถึง 0.8 พีพีเอ็ม เป็นเวลาหลายชั่วโมง ก็ยังไม่ตาย แต่การเจริญเติบโตจะดีถ้าออกซิเจนมีค่าตั้งแต่ 4 พีพีเอ็มขึ้นไป

4. พีเอชที่เหมาะสมคือ 7.0-8.5 ถ้าแม้ว่าบางครั้งพีเอชขึ้นสูงถึง 10 ก็สามารถที่จะอยู่รอดได้

5. สามารถใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำในการเลี้ยง ทำให้ต้นทุนการผลิตถูกลง นอกจากนั้นยังสามารถใช้อาหารธรรมชาติจากบ่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัตราการแลกเนื้อต่ำ

6. ให้เปอร์เซ็นต์เนื้อสูงถึง 66-68 เปอร์เซ็นต์ (กุ้งกุลาดำให้เพียง 62 เปอร์เซ็นต์)

7. ตลาดมีความต้องการสูง และมีตลาดทั่วโลก โดยเฉพาะตลาดยุโรป และอเมริกา

ลักษณะของกุ้งขาววานาไมที่แตกต่างจากกุ้งกุลาดำ

- อวัยวะเพศของกุ้งขาววานาไมเพศเมียเป็นแบบเปิด (open thelycum) ไม่มีแผ่นปิดช่องเพศ (seminal receptacle) ซึ่งเป็นลักษณะที่จำแนกกุ้งขาววานาไมให้อยู่ใน Subgenus *Litopenaeus*
- Spermatopore ของกุ้งขาวจะมีโครงสร้างสลับซับซ้อนมากกว่าของกุ้งกุลาดำ เพราะ Spermatopore ต้องสอดรับกับ thelycum แต่ละแบบอย่างเฉพาะเจาะจงในขั้นตอนการผสมพันธุ์
- เปลือกคลุมหัว (carapace) ของกุ้งวัยอ่อนจะไม่เรียบ
- มีขนบาง ๆ บนเปลือก
- มีฟันกรีด้านบน 1-2 ซี่ ด้านล่าง 8-9 ซี่
- หนวดสีแดงไม่มีลาย
- ปลายหางและแพนหางใสไม่มีสี รวมทั้งขาว่ายน้ำสีขาว

1.4 ลักษณะอุปนิสัย

กุ้งขาวเป็นกุ้งที่มีการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีโดยเฉพาะสามารถปรับตัวในช่วงความเค็มกว้างตั้งแต่ 0-50 พีพีที โดยมีการเจริญเติบโตดี ลอกคราบบ่อย จึงต้องการแร่ธาตุสูง โดยเฉพาะแมกนีเซียมและแคลเซียม กุ้งขาวเคลื่อนตัวได้เร็ว ว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงต้องการออกซิเจนค่อนข้างสูง และทำร้ายกุ้งตัวอื่น กินอาหารได้หลายชนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติในทุกระดับความลึก ชอบว่ายน้ำและไม่หมกตัว

1.5 วงจรชีวิตและการสืบพันธุ์

ในธรรมชาติกุ้งขาวจะมีอายุประมาณเกือบ 36 เดือน โดยจะวางไข่ที่ระดับน้ำลึกประมาณ 30-60 เมตรใกล้พื้นทราย เริ่มตั้งแต่ตัวผู้และตัวเมียมีอายุ 9 เดือนขึ้นไป และควรมีน้ำหนักตัวเริ่มต้นของตัวผู้ 35 กรัม ตัวเมีย 40 กรัมขึ้นไป (ภิญโญ, 2545) ปกติแล้วแม่กุ้งขนาด 60-120 กรัม จะวางไข่ประมาณ 150,000-250,000 ฟอง (ปิยะบุตร, 2545) ส่วนแม่กุ้งขนาด 35-45 กรัมจะวางไข่ประมาณ 100,000-200,000 ฟอง (ภิญโญ, 2545) โดยจะวางไข่ในตอนกลางคืนบนพื้น แม่กุ้งจะว่ายน้ำอย่างรวดเร็วอยู่ประมาณ 45-60 วินาที แล้วจึงเริ่มวางไข่ขณะที่ลดความเร็วลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียของกุ้งขาว นี้จะมีลักษณะเป็นแบบเปิด (open thelycum) ซึ่งแตกต่างจากลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบปิด (closed thelycum) ดังนั้นรูปแบบของการสืบพันธุ์และพฤติกรรมในการผสมพันธุ์จึงแตกต่างกับกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย (ปิยะบุตร, 2545; ภิญโญ, 2545) เมื่อผสมพันธุ์ตัวผู้จะสลัดถุงน้ำเชื้อเข้าไปเก็บไว้ในอวัยวะเพศของตัวเมีย ถุงน้ำเชื้อจะมีปีกบาง ๆ และมีสารเหนียว ๆ ติดมาด้วย จะปิดอวัยวะเพศของ

เพศเมีย โดยสารเหนียวที่ปีกบาง ๆ เป็นตัวทำให้เกาะติด การผสมพันธุ์ของกุ้งขาวนี้สามารถผสมพันธุ์โดยไม่ต้องรอให้ตัวเมียลอกคราบ

ระบบสืบพันธุ์และการผสมพันธุ์ ในการผสมพันธุ์ ปกติแล้วกุ้งขาวจะผสมพันธุ์ในเวลากลางคืน หลังจากมีการลอกคราบของตัวเมียจะมีการเกี้ยวพาราสีและผสมพันธุ์กันที่ความลึก 10-15 เมตร ถึง 30-50 เมตร ในธรรมชาติ แม่กุ้งที่มีไข่แก่พร้อมที่จะวางไข่นั้นจะสังเกตได้จากรังไข่เป็นลำทึบมีสีเขียวเกือบดำอยู่บนแถบหลังของลำตัว ตั้งแต่บริเวณหลัง ไปจรดหางและตรงบริเวณด้านข้างของลำตัว ตรงปล้องที่ 1-2 จะเห็นรังไข่แผ่ออกไปเป็นหยัก ๆ โค้งลงมาทางด้านข้างของลำตัวทั้งสองข้าง โดยมีพฤติกรรมในการผสมพันธุ์แบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่หนึ่ง ตัวเมียจะว่ายน้ำขนานไปกับตัวผู้ ตัวเมียจะว่ายน้ำสูงกว่าประมาณ 30-40 เซนติเมตร แล้วว่ายน้ำวกกลับมาสลับกับการหยุดพักที่พื้นเป็นระยะ ๆ มักจะมีตัวผู้ว่ายไล่ตามหลายตัว แต่จะมีเพียงตัวเดียวที่สามารถว่ายน้ำเข้ามาขนานซ้อนอยู่ด้านล่างของตัวเมียพอดีแล้วตัวเมียจะค่อย ๆ ใช้ขาเดินโอบรัดที่ส่วนหัวของตัวผู้ ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที ถ้าตัวผู้สามารถจัดตำแหน่งได้เหมาะสมถ้ายังจัดตำแหน่งไม่เหมาะสมหรือมีการหยุดพักนาน ใช้เวลานานมากกว่าหนึ่งชั่วโมง ระยะที่สอง ตัวผู้จะพลิกตัวค่อย ๆ หงายขึ้นมาติดตัวเมีย พอทั้งคู่ประกบกันได้ตัวผู้จะแนบส่วนต่อของอกกับท้องเข้ากับส่วนอกด้านล่างของตัวเมีย ซึ่งจะทำให้ตัวผู้ตัวอื่น ๆ หมดโอกาสในการเข้าทำการผสมพันธุ์กับตัวเมียในจังหวะนี้ แต่ถ้าในระยะนี้ตัวผู้ยังเข้าทำได้ไม่สำเร็จ ตัวผู้จะกลับมาอยู่ในท่าคว่ำ แล้วจะพยายามว่ายน้ำขนานกับตัวเมียเพื่อสร้างโอกาสใหม่อีกครั้ง และระยะที่สาม ตัวผู้จะทำตัวเกือบตั้งฉากกับตัวเมีย หลังจากจังหวะที่ประกบตัวได้แล้ว ตัวผู้จะใช้ขาเดินคู่ที่ 5 เขี่ยอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (พีแทสมา) ซึ่งเห็นง่าย มีลักษณะเป็นตะขอคู่อยู่ที่ขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 ซึ่งเป็นอวัยวะที่ช่วยในการปล่อยน้ำเชื้อแล้วจับพีแทสมาสอดเข้าไปที่ทีไลคัมของตัวเมียซึ่งลักษณะเป็นแผ่นรูปคล้ายผีเสื้อกางปีก มีรูเปิดอยู่ตรงกลางยาวลงไปเป็นร่องเหมือนรังกระดุมเสื้อเชิ้ต อยู่ตรงกลางระหว่างขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 กับขาเดินคู่ที่ 5 ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีไว้สำหรับเก็บน้ำเชื้อของกุ้งตัวผู้ ภายหลังการเกาะติดแน่น ตัวผู้จะโค้งรอบตัวเมีย แล้วกระตุกหัวและหางเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องเพื่อบีบให้น้ำเชื้อออกมา ตัวเมียจะเก็บน้ำเชื้อเข้าไปแล้วปล่อยไข่เลย ซึ่งในกุ้งขาวนี้ไข่ของตัวเมียจะอยู่ข้างใน ส่วนของน้ำเชื้อที่เข้าไปจะอยู่ด้านนอก โดยช่องเปิดของทีไลคัมต้องเปิดก่อนถึงจะเก็บน้ำเชื้อที่ได้รับมา ทำให้ปริมาณของเชื้อตัวผู้ที่เข้าปฏิสนธิกับไข่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ เป็นเหตุให้โอกาสในการได้ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วเจริญต่อไปเป็นตัวอ่อนน้อยกว่ากรณีของกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย หลังจากนั้นจึงค่อยแยกตัวออกจากกันแล้วว่ายน้ำออกไปในเวลา 2-3 วินาที ซึ่งรวมเวลาทั้งสิ้นในการผสมพันธุ์ทั้งหมดประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วแม่กุ้งทำการปล่อยไข่ขณะที่ลดความเร็วการว่ายน้ำลงอย่างช้า ๆ ออกทางช่องเปิดบริเวณโคนขาเดินคู่ที่

3 ประมาณ 45-60 วินาที การวางไข่นี้จะใช้เวลา 3-5 นาที ถ้ากุ้งวางไข่จะสามารถสังเกตเห็นคราบไขมันลอยอยู่บริเวณใกล้เคียง

1.6 การเจริญเติบโตและการลอกคราบ

อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ปัจจัยคือ ความถี่ในการลอกคราบและขนาดที่เพิ่มขึ้น เพราะตัวกุ้งจะถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกที่มีโครงสร้างแข็งแรง ดังนั้นจึงต้องลอกคราบเก่าออกและสร้างคราบใหม่ที่ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับการขยายขนาดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงก่อนการลอกคราบ กุ้งจะสร้างคราบใหม่ที่ยังนิ่มอยู่ไว้ภายในชั้น cuticle และ intercalary sclerite เมื่อถึงเวลาลอกคราบ กุ้งจะสลัดตัวหลุดออกจากคราบเก่าโดยใช้หาง คราบใหม่ที่ยังนิ่มอยู่ในช่วงแรกก็จะแข็งขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกับขนาดของกุ้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การลอกคราบยังขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ อุณหภูมิของน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (ประจวบ, 2527)

1.7 อุปนิสัยการกินอาหาร

โดยปกติแล้วกุ้งตระกูล Penaeidae เป็นสัตว์ที่หากินตอนกลางคืนและกินซากพืชซากสัตว์เป็นอาหาร แต่ตามธรรมชาติแล้วกุ้งเป็นสัตว์กินเนื้อซึ่งกินสัตว์ในกลุ่มครัสตาเชียขนาดเล็ก แอมพิปอด และโพลีชีดเป็นอาหาร กุ้งจะกินอาหารได้ดีตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น. โดยเฉพาะในช่วงบ่ายแก่ ๆ กุ้งจะกินสาหร่าย ผักบุ้งเมื่ออาหารไม่เพียงพอ (ภิญโญ, 2545) แต่ในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนาแล้วอาหารธรรมชาติที่มีในบ่อไม่เพียงพอต่อปริมาณกุ้งที่หนาแน่น ดังนั้นจึงต้องมีการให้อาหารเพิ่ม ซึ่งกุ้งขาววานาไมต้องการอาหารที่มีโปรตีนประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่ากุ้งชนิดอื่น เช่น กุ้งกุลาดำและกุ้งกุลาลาย

1.8 ประเมินสถานการณ์ด้านการตลาดและการผลิตกุ้ง

1.8.1 ประเมินสถานการณ์การผลิตกุ้งโลก

ในปี พ.ศ. 2545 ปริมาณผลผลิตกุ้งโลกในปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2550 เพิ่มขึ้นประมาณ 5-8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากภาวะแอลนิลโญ ที่มีอิทธิพลให้กุ้งจากการเพาะเลี้ยงในกลุ่มประเทศอเมริกากลางและอเมริกาใต้เพิ่มขึ้น อีกทั้งกุ้งธรรมชาตินอกชายฝั่งเอกวาดอร์ (แปซิฟิก) และอ่าวเม็กซิโก (มหาสมุทรแอตแลนติก) เพิ่มจนถึงขั้นต้องชะลอการจับกุ้งธรรมชาติในอ่าวเม็กซิโกก่อนกำหนด เนื่องจากราคากุ้งในธรรมชาติตกต่ำลงจากการผลิตกุ้งจากประเทศผู้ผลิตเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเพิ่มขึ้นยกเว้นประเทศไทย โดยประเทศที่มีราคาลดลงมากคือประเทศจีน

ผลผลิตกุ้งในปี พ.ศ. 2546 ยังสามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างต่อเนื่องได้ เนื่องจากยังมีภาวะแอลนิญโญอยู่ แต่คาดว่าในปี พ.ศ. 2547 ผลผลิตกุ้งโลกจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในปีนี้ โดยเกิดจาก 2 สาเหตุหลักคือ การเกิดโรคหรือภัยธรรมชาติที่ก่อความเสียหายต่อการผลิตกุ้งในบางประเทศ หรือราคาผลผลิตในแต่ละประเทศที่อาจจะตกต่ำจนผู้ประกอบการฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งลดการผลิตลง

1.8.2 ประเมินสถานการณ์การตลาดกุ้งโลก

ในปี พ.ศ. 2545 ผลผลิตกุ้งของโลกเพิ่มมากขึ้น และจากการที่มีผู้ผลิตที่หลากหลายมากขึ้นนี้ ส่งผลให้ภาวะตลาดเป็นของประเทศผู้ซื้อซึ่งอำนาจการต่อรองของฝ่ายประเทศผู้ซื้อจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตามปริมาณผลผลิต โดยประเด็นการต่อรองจะแตกต่างกันตามนโยบายด้านเศรษฐกิจของแต่ละประเทศ ทั้งนี้ประเด็นที่สำคัญคือ คุณภาพ ความปลอดภัย สุขอนามัย คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ราคา สิ่งแวดล้อม การสนับสนุนจากรัฐหรือการทุ่มตลาด ทั้งนี้ในกลุ่มประเทศยุโรปมีประเด็นหลักคือ คุณภาพ และสุขอนามัย ซึ่งเริ่มกำหนดโดยประเทศสหรัฐอเมริกา และในปี พ.ศ. 2546-2547 หากผลผลิตกุ้งโลกเพิ่มตามการประเมินเบื้องต้น การต่อรองจะเป็นทางด้านธุรกิจหรือการทุ่มตลาด

1.8.3 ประเมินสถานการณ์การผลิตกุ้งไทย

ประเทศไทยสามารถส่งออกกุ้งทะเลจากการเพาะเลี้ยงมากเป็นอันดับหนึ่งของโลกมาตั้งแต่ปี 2534 จนถึงปัจจุบันถึงแม้ว่าประเทศจีนจะสามารถผลิตได้มากกว่าไทยในพ.ศ. 2545 และ พ.ศ. 2546 แต่จีนก็บริโภคภายในประเทศสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2) เนื่องมาจากปัญหาโรคระบาด ในบางแหล่งเลี้ยง ปัญหาอากาศร้อน น้ำเค็มจัดกลางปี ปัญหากุ้งแคระแกรน โตช้า ผลผลิตต่อไร่ลดต่ำลง และได้มีเกษตรกรไทยได้ลักลอบการนำกุ้งขาวอย่างผิดกฎหมายตั้งแต่ปี 2544 และต่อมากรมประมงได้มีการอนุญาตให้นำเข้าอย่างถูกกฎหมายได้ในปี 2545 เพียง 1 ปี ต่อมาได้มีการอนุญาตให้นำเข้าได้อีกในปี 2547 ภายหลังที่ได้มีการศึกษาความเสี่ยง (Risk assessment) และออกกฎระเบียบการนำเข้าอย่างรอบคอบ โดยประเทศไทยมีผลผลิตกุ้งขาวในปี 2545 ประมาณ 30,000 ตัน ในปี 2546 ประมาณ 170,000 ตันและในปี 2547 ประมาณ 300,000 ตัน (ตารางที่ 3) และคาดว่าปี 2548 จะมีผลผลิตกุ้งขาวสูงขึ้นถึง 350,000 ตัน ถึงอย่างไรก็ตามการเลี้ยงยังมีปัญหาในเรื่องโรคไวรัส (WSSV, TSV และ IHHNV) และปัญหาจากการปล่อยเลี้ยงที่หนาแน่น ทำให้เกิดมลภาวะ อาจทำให้เกิดปัญหาแหล่งเลี้ยงเสื่อมโทรมได้ในอนาคตอันใกล้ แต่ในปี 2549 พบว่าผลผลิตกุ้งไทยที่ได้จากการเลี้ยงปี 49 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยเฉพาะกุ้งขาวแวนนาไมที่มีปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้นเกือบ 30% และตัวเลขโดยรวมคาดว่าประเทศไทยจะผลิตกุ้งได้ 520,000 ตัน เป็นกุ้งขาวแวนนาไม

509,600 ตัน (98%) กุ้งกุลาดำ 10,400 ตัน (2%) ซึ่งการผลิตกุ้งที่เพิ่มมากขึ้นมาจากหลายปัจจัยที่สำคัญ อาทิ ลูกกุ้งมีคุณภาพดี อาหารกุ้งมีคุณภาพสูง และเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งไทยส่วนใหญ่มีความรู้ มีประสบการณ์ และมีความสามารถในการปรับตัวได้อย่างเหมาะสม สำหรับการตลาดและการส่งออกกุ้งของไทยปี 49 แม้ต้องเผชิญกับปัญหาอุปสรรคเรื่องการกีดกันทางการค้า มาตรการตอบโต้การทุ่มตลาด (เอดี) ของสหรัฐอเมริกา ที่มีการเรียกเก็บภาษีซ้ำซ้อนผิดกฎขององค์การการค้าโลก หรือมาตรการอาหารปลอดภัย ปลอดสารตกค้าง ของสหภาพยุโรป และตลาดอื่นๆ แต่กุ้งไทยก็ยังได้เปรียบในเรื่องของสินค้ากุ้งที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยสูง และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

ตารางที่ 2 ผลผลิตกุ้งทะเลของประเทศต่าง ๆ จากการเพาะเลี้ยง ปี 2543-2547 (เมตริกตัน)

ประเทศ	2543	2544	2545	2546	2547
ไทย	290,000	320,000	250,000	350,000	330,000
อินโดนีเซีย	110,000	90,000	102,000	168,000	180,000
จีน	200,000	300,000	280,000	400,000	350,000
เอกวาดอร์	45,000	45,000	60,000	80,000	80,000
อินเดีย	85,000	80,000	125,000	100,250	100,000
เวียดนาม	75,000	95,000	85,000	110,000	160,000
อื่น ๆ	145,000	248,000	278,800	308,000	430,000
รวม	**950,000**	**1,178,000**	**1,180,800**	**1,516,250**	**1,680,000**

ที่มา : สิริ (2548)

ตารางที่ 3 ผลผลิตกุ้งทะเลจากการเพาะเลี้ยงของประเทศไทย

ปี	จำนวนฟาร์ม	พื้นที่ (ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)	ผลผลิตกุ้งขาว (ตัน)
2538	26,145	468,388	259,540	-
2539	23,413	454,150	239,500	-
2540	23,723	457,000	227,560	-
2541	25,977	457,119	252,731	-
2542	28,012	484,869	257,544	-
2543	34,845	498,706	309,794	-
2544	28,000	450,000	280,000	-
2545	27,500	440,000	265,000	30,000
2546	30,800	473,350	330,000	170,000
2547	-	-	380,000	300,000

ที่มา : สิริ (2548)

2. กระบวนการปรับสมดุลเกลือและน้ำ (osmoregulation)

2.1 สมดุลของเกลือและน้ำ

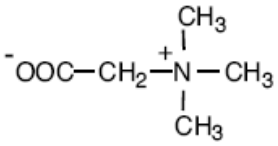
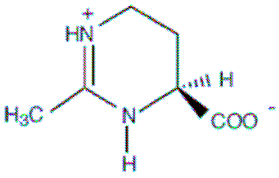
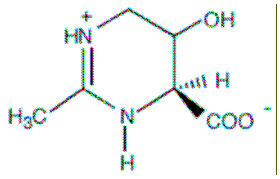
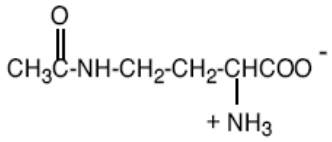
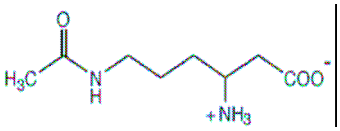
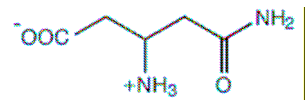
ของเหลวภายในร่างกายของกุ้งประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ของสารทั้งหมดที่แตกต่างกับสภาพแวดล้อมภายนอกในน้ำที่สัตว์อาศัย แร่ธาตุที่สำคัญต่อการดำรงชีพของกุ้งและเกี่ยวข้องกับการดำรงชีพของกุ้งคือ โพแตสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{++}) โซเดียม (Na^+) คลอไรด์ (Cl^-) และแคลเซียม (Ca^{++}) (ประจวบ, 2537) แร่ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญในการรักษาสมดุลของเกลือแร่ สมดุลกรด-ด่าง และช่วยในการผลิตประจุที่ผนังเซลล์ (วุฒิพร, 2541) โดยปกติแล้วครัสตาเชียที่อาศัยอยู่ในน้ำจืดจะอยู่ในภาวะไฮเปอร์ออสโมติก ซึ่งความเข้มข้นของเกลือในเลือดจะสูงกว่าน้ำที่อาศัยอยู่ ส่วนครัสตาเชียที่อาศัยอยู่ในทะเลและทะเลสาบน้ำเค็มจะเป็นไฮโปออสโมติก ซึ่งความเข้มข้นของเกลือในเลือดจะต่ำกว่าน้ำที่อาศัยอยู่ ดังนั้นในการปรับสมดุลจึงต้องมีการใช้พลังงานเข้ามาช่วย อวัยวะที่ช่วยในการปรับสมดุลที่สำคัญคือ แอนเทนนอลแกลนด์ (antennal gland) โดยที่เหงือกจะเป็นจุดแรกที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการดูดซึมของของเหลว (ประจวบ, 2527) และมีการดูดซึมไอออน

ของสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตามอัตราการดูดซึมแร่ธาตุของสัตว์น้ำยังขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ ขนาดของสัตว์น้ำ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณแร่ธาตุในน้ำ (วีรพงศ์, 2536) ซึ่งวัดได้จากความเข้มข้นของเลือด โดยกลไกการปรับสมดุล การสูญเสียน้ำและเกลือแร่นั้น แอนเทนนอลแกลนด์จะเป็นตัวการสำคัญในการขับแร่ธาตุออกภายนอกและดูดซึมแร่ธาตุจากภายนอกที่แพร่เข้ามาเหงือกและผิวหนังเพื่อให้ได้สภาพสมดุลกับเลือดของสัตว์น้ำ

2.2 กลไกการป้องกันตัวจากแรงดันออสโมติก

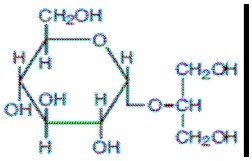
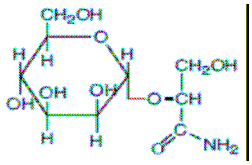
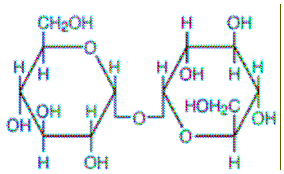
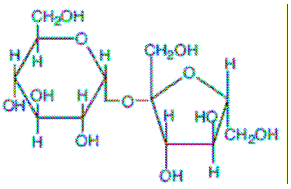
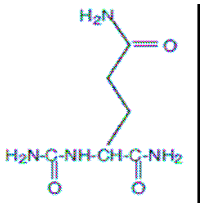
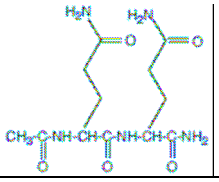
กลไกอย่างหนึ่งในสิ่งมีชีวิตหลาย ๆ ประเภทที่ใช้ในการปรับสมดุลแรงดันออสโมติก ได้แก่การสร้างและสะสมสารประกอบที่ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ ซึ่งเราเรียกสารประกอบเหล่านี้เป็นคอมแพททิเบิล หรือ ออสโมโปรแทคแทนท์โซลูท (Incharoensakdi, 1998) โดยเมื่อเซลล์เกิดการสะสมของไอออนต่าง ๆ ภายในเซลล์ที่มากเกินความจำเป็น ไอออนเหล่านี้ก็จะไปรบกวนหน้าที่ การทำงาน และโครงสร้างต่าง ๆ ของโปรตีน (Yancey, 2005) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของไอออนที่ผนังเซลล์จะส่งผลกับตัวที่ทำหน้าที่ขนส่ง โดยเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เซลล์จะสร้างสารประกอบซึ่งเรียกว่า ออสโมไลต์ (osmolytes) ที่ไม่มีอันตรายต่อการทำงานของเซลล์ (Dragolovich, 1994) และพบได้ทั้งในเซลล์โปรคาริโอต พืช และสัตว์ (Yancey *et al*. 1982) นอกจากนี้สามารถแยกออสโมไลต์เหล่านี้ได้จากสายพันธุ์ของแบคทีเรีย (Roberts, 2005) โดยวิธี NMR-spectroscopy และในปี 1970 มีการใช้วิธี NMR- spectroscopy ในการแยกชนิดของสารประกอบอินทรีย์ที่มีการสะสมในสิ่งมีชีวิตทนความเค็มและชอบความเค็ม ต่อมามีการพัฒนาวิธีการแยกชนิดของออสโมไลท์โดยการใช้ ^{13}C-NMR โดยการศึกษาของ Romano และคณะ (2001) ได้ศึกษาการสะสมตัวของออสโมโพรแทคแทนส์ (osmoprotectant) และการเปลี่ยนโครงสร้างของไขมันในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันของแบคทีเรียชนิด *Halomonas pantelleriense* โดยใช้ ความเค็ม อุณหภูมิ และ พีเอช เพื่อดูการสะสมตัวของสารละลายอินทรีย์ภายในเซลล์ โดยวิธีการ ^{13}C-NMR พบการสะสมตัวของ glycine betaine, ectoine, hydroxyectoine และ glutamate นอกจากนี้ยังแยกชนิดของ ectoine, β-amino acid และ di-*myo*-inositol-1,1'-phosphate (DIP) และในแบคทีเรียกลุ่ม hyperthermophiles อีกด้วย นอกจากนี้วิธีการ ^{1}H-NMR และ two-dimensional experiments ซึ่งมีความจำเพาะกับสารประกอบ โดยในวิธีการนี้จะสามารถตรวจพบและบอกปริมาณของตัวออสโมไลต์ได้ ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์โดยใช้ HPLC และ NIR (Harbeck *et al*., 2004) ก็นำมาตรวจหาออสโมไลต์ ได้เช่นเดียวกัน โดยสามารถที่จะตรวจหาตัวออสโมไลต์ได้ง่าย และในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงการวิเคราะห์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งสารประกอบเหล่านี้ออกได้เป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้

ตารางที่ 4 สารประกอบในกลุ่ม Zwitterionic solutes

1. Zwitterionic solutes:	**ชนิดของแบคทีเรีย**
betaine 	Halotolerant: *Thioalkalivibrio versutus*; *Actinopolyspora* sp. Halophilic: *Actinopolyspora halophila*; *Halorhodospira halochloris* *Methanohalophilus portulcalensis* FDF1; *Methanosarcina thermophila* *Synechococcus* sp. DUN 52
ectoine 	Halotolerant: *Sporosarcina pasteurii*; *Brevibacterium epidermidis*; *Thioalkalimicrobium aerophilum*; *Vibrio cholerae* and *Vibrio costociola* Halophilic: *Chromohalobacter israelensis*; *Chromohalobacter salexigens*; *Halorhodospira halochloris*; *Halomonas elongate*; *Halomonas variabilis*; *Methylarcula marina*; *Methylarcula terricola*; *Methylophaga alcalica*; *Methylophaga natronic*
hydroxyectoine 	Halophilic: *Halomonas elongate*; *Nocardiopsis halophila*
N –acetyldiaminobutyrate 	Halotolerant: *Halomonas elongate CHR63*
N –acetyl- -lysine 	Halotolerant: *Methanosarcina thermophila*; *Methanothermococcus Thermolithotrophicus*; *Methanosarcina mazei* Gö1 Halophilic: *Methanohalophilus portucalensis* FDF1; *Methanohalophilus* Z7302
β-glutamine 	Halophilic: *Methanohalophilus portucalensis* FDF1

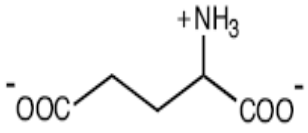
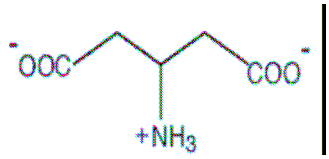
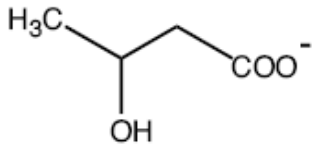
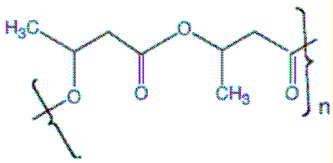
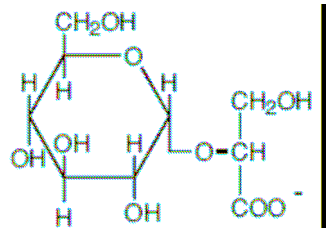
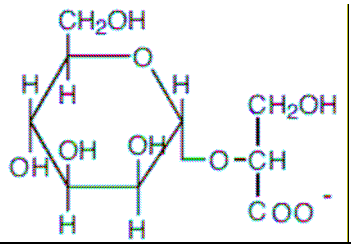
ที่มา : Roberts (2005)

ตารางที่ 5 สารประกอบในกลุ่ม Noncharged solutes

2. Noncharged solutes:	**ชนิดของแบคทีเรีย**
α-glucosylglycerol 	Halotolerant: *Synechocystis* sp.; *Microcystis firma*; *Rhodovulum sulfidophilum*; *Pseudomonas mendocina*; *Pseudomonas pseudoalcaligenes* *Stenotrophomonas*
α-mannosylglyceraminde 	Halotolerant: *Rhodothermus marinus*; *Rhodothermus obamensis*
trehalose 	Halotolerant: *Pyrobaculum aerophilum*; *Sulfolobus solfataricus*; *Sulfolobus ambivalens*; *Thermoproteus tenax*; *Thermoplasma acidophilum* Halophilic: *Actinopolyspora halophila*; *Chromohalobacter israelensis*; *Desulfovibrio halophilus*; *Rhodothermus obamensis*; *Natrialba magadii*
sucrose 	Halotolerant: *Synechocystis* sp. Strain PCC 6803; Anabaena spp.; proteobacteria
N -α-carbamoyl-L-glutamine l-amide 	Halophilic: *Ectothiorhodospira mobilis*
N-acetylglutaminylglutamine amide 	Halotolerant: *Sinorhozobium meliloti*; *Rhizobium leguminosarum* *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 Halophilic: purple sulfur bacteria

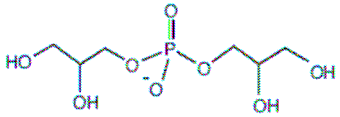
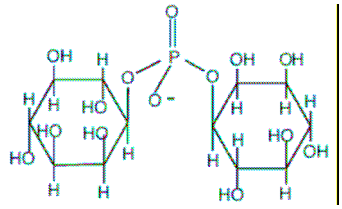
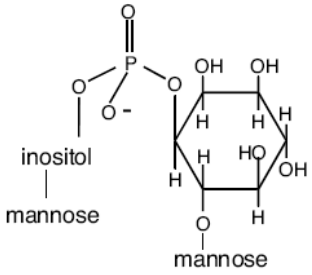
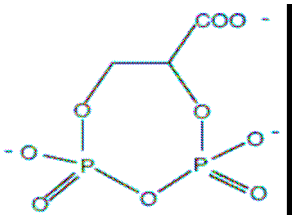
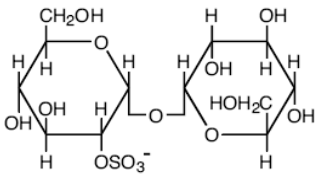
ที่มา : Roberts (2005)

ตารางที่ 6 สารประกอบในกลุ่ม Organic anions

3. Anionic solutes (carboxylates):	**ชนิดของแบคทีเรีย**
L-α-glutamate 	Halotolerant: many halotolerant bacteria and methanogens Halophilic: *Halomonas elongate*; *Methanohalophilus portucalensis* FDF1; *Halobacterium* sp. NRC-1; *Halobacterium salinarum*
β-glutamate 	Halotolerant: *Methanothermococcus thermolithotrophicus*; *Methanocaldococcus jannaschii*; *Methanotorris igneus* Halophilic: *Nocardiopsis halophila*
hydroxybutyrate 	Halotolerant: *Photobacterium profundum*
poly-β- hydroxybutyrate 	Halotolerant: *Photobacterium profundum*; Halophilic: *Methylarcula marina*; *Methylarcula terricola*
α-glucosylglycerate 	Halotolerant: *Agmenellum quadruplicatum*; *Stenotrophomonas maltophilia* Halophilic: *Methanohalophilus portucalensid* FDF1
α-mannosylglycerate 	Halotolerant: *Methanothermus fervidus*; *Pyrococcus furiosus*; *Rhodothermus marinus* (*Rhodothermus obamensis*)

ที่มา : Roberts (2005)

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Anionic solutes (phosphate, sulfate):	**ชนิดของแบคทีเรีย**
α-diglycerol phosphate 	Halotolerant: *Archaeoglobus fulgidus*
di-*myo*-inositol-1,1'-phosphate 	Halotolerant: Archaeoglobus fulgidus; *Methanotorris igneus*; *Pyrococcus furiosus*; *Pyrococcus woesei*; *Pyrodictium occultum*; *Thermotoga maritima*
mannosyl-DIP 	Halotolerant: *Thermotoga maritime* and *Thermotoga neapolitana*
cyclic-2,3-diphosphoglycerate 	Halotolerant: *Methanothermobacter thermoautotrophicus*; *Methanopyrus kandleri*; *Methanothermus fervidus*
sulfotrehalose 	Halophilic: *Natronococcus occultus*; *Natronobacterium* spp.

ที่มา : Roberts (2005)

3. บีเทน (Betaine)

บีเทนเป็นสารประกอบชีวภาพที่ไม่เป็นอันตรายกับสิ่งมีชีวิต (Kettunen *et al*., 2001) พบครั้งแรกในหัวบีท (sugar beet) พันธุ์ *Beta vulgaris* ในศตวรรษที่ 19 แต่ก็พบได้ในสัตว์และจุลินทรีย์ (Rhodes and Hanson, 1993; Zeisel *et al*., 2003) รวมทั้งในพืชบางชนิด (Blunden *et al*., 1996; Blunden *et al*., 1999; Adrian-Romero and Blunden, 2001; Blunden *et al*., 2001; Blunden *et al*., 2003; Blunden *et al*., 2005) โดยมีชื่อเรียกได้หลากหลายเช่น trimethylglycine, *N*-trimethylglycine, glycine betaine, glycocoll betaine, oxyneurine และ lycine บีเทนเมื่อมีการนำมาสกัดแล้วจะมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวและสามารถใช้ในการวัดระดับความชื้นในอากาศได้อีกด้วย โดยบีเทนมีคุณสมบัติ 3 ประการได้แก่ เป็นสารที่สำคัญที่ให้หมู่เมทธิลในกระบวนการเมทาบอลิซึม (Scott, 1986) รวมทั้งทำหน้าที่เป็นสารที่สะสมในเซลล์เพื่อลดความเข้มข้นของเกลือแร่ที่เกิดขึ้นภายในตัวปลาโดยการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายนอก (Virtanen *et al*., 1989; Clarke *et al*., 1994; Castrol *et al*., 1998) นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการกระตุ้นความอยากอาหารของสัตว์น้ำ (Vitanen *et al*., 1994; Coman *et al*., 1996; Knights, 1996; Harpaz, 1997; Papatryphon and Soares, 2000)

คุณสมบัติทางเคมี

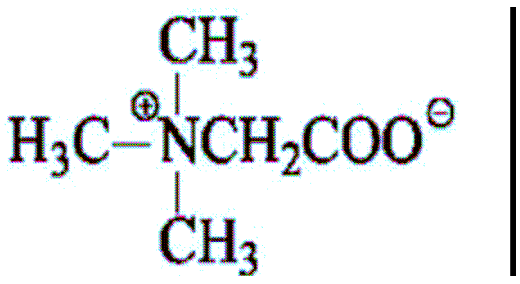
ชื่อทางเคมี 1-carboxy-N,N,N-trimethylmethanaminium

สูตรโมเลกุล $C_5H_{11}NO_2$

สูตรเคมี $(CH_3)_3N^+$-CH_2COO

มวลโมเลกุลเท่ากับ 117.15 ดาลตัน

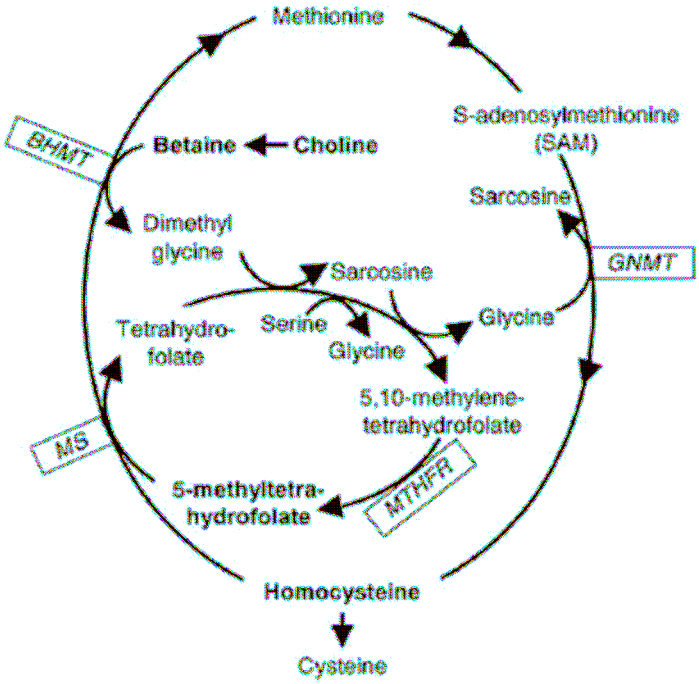
จุดหลอมเหลว 200-250 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 1 โครงสร้างของบีเทน

ที่มา : Slow และคณะ (2005)

3.1 เมทาบอลิซึมของบีเทน



ภาพที่ 2 เมทาบอลิซึมของบีเทน

ที่มา : Olthof และ Verhoef (2005)

บีเทนเป็นสารตัวกลางในกระบวนการเมทาบอลิซึมของโคลีน (Choline) ในสิ่งมีชีวิต (สุทธวัฒน์, 2548) โดยต่างจากโคลีนตรงที่บีเทนจะมีกลุ่มเมทธิลอยู่ 3 กลุ่ม การเปลี่ยนจากโคลีนเป็นบีเทนนี้จะถูกเปลี่ยนโดยเอนไซม์ โคลีนดีไฮโดรจีเนส (choline dehydrogenase) ไปเป็น บีเทนอัลดีไฮด์ (betaine aldehyde) ก่อน ซึ่งจะพบที่บริเวณไมโทคอนเดรียและต่อมาจะเปลี่ยนเป็น บีเทนโดยเอนไซม์ NAD^+-dependent enzyme betaine dehydrogenase ในบริเวณไมโทคอนเดรียเช่นเดียวกัน ขณะที่โคลีนจะมีกลุ่มเมทธิล 4 กลุ่มแต่ถ้าหากมีกลุ่มเมทธิลอยู่ 2 กลุ่มจะเรียกว่าไดเมทธิลไกลซีน (dimethylglycine) โดยเอนไซม์บีเทนโฮโมซีสเทอีนเมทิลทรานเฟอเรส (betaine homocysteine methyl transferarase; BHMT) เป็นตัวเปลี่ยนจากไตรเมทธิลไกลซีนเป็นไดเมทธิลไกลซีน ซึ่งพบว่าทั้งเมทไธโอนีล โคลีน และบีเทน มีความสัมพันธ์กัน โดยสามารถที่จะเก็บสะสมในกระบวนการสร้างเมทไธโอนีลในร่างกายของปลาได้ (Wu and Davis, 2005) หน้าที่ทั่ว ๆ ไปของบีเทนจะมีส่วนช่วยในการป้องกันเซลล์จากความเครียดและกระบวนการป้องกันตัวเองของบีเทนในพืชและจุลินทรีย์จากแรงดันออสโมซีสในสภาวะความแห้งแล้ง ความเค็มสูงหรือจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยไมโทคอนเดรียจะสังเคราะห์บีเทนออกมา และจะเข้าไปสะสมที่เซลล์และ

สามารถแทนที่เกลืออนินทรีย์ รวมทั้งป้องกันเอนไซม์ภายในเซลล์จากแรงดันออสโมซีสหรือจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปได้ (Craig, 2004) ในการศึกษาของ De Zwart และคณะ (2003) พบว่าสามารถพบได้ทั้งในพืช เนื้อสัตว์ อาหารทะเลและจากแหล่งอื่น ๆ (ตารางที่ 9) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sakamoto และคณะ (2002) ได้ศึกษาปริมาณของ betaine และ homocysteine (โฮโมซีสเทอีน) ในอาหารทั้งหมด 58 ชนิด โดยวิธีการ HPLC พบว่า อาหารที่ประกอบไปด้วยแป้งมีปริมาณของบีเทนในระดับที่สูง แต่ปริมาณของโฮโมซีสเทอีนจะมีอยู่น้อยในผัก อย่างไรก็ตามพบปริมาณของโฮโมซีสเทอีนในต้นถั่วงอกและเมล็ดของ alfalfa ในปริมาณที่มาก

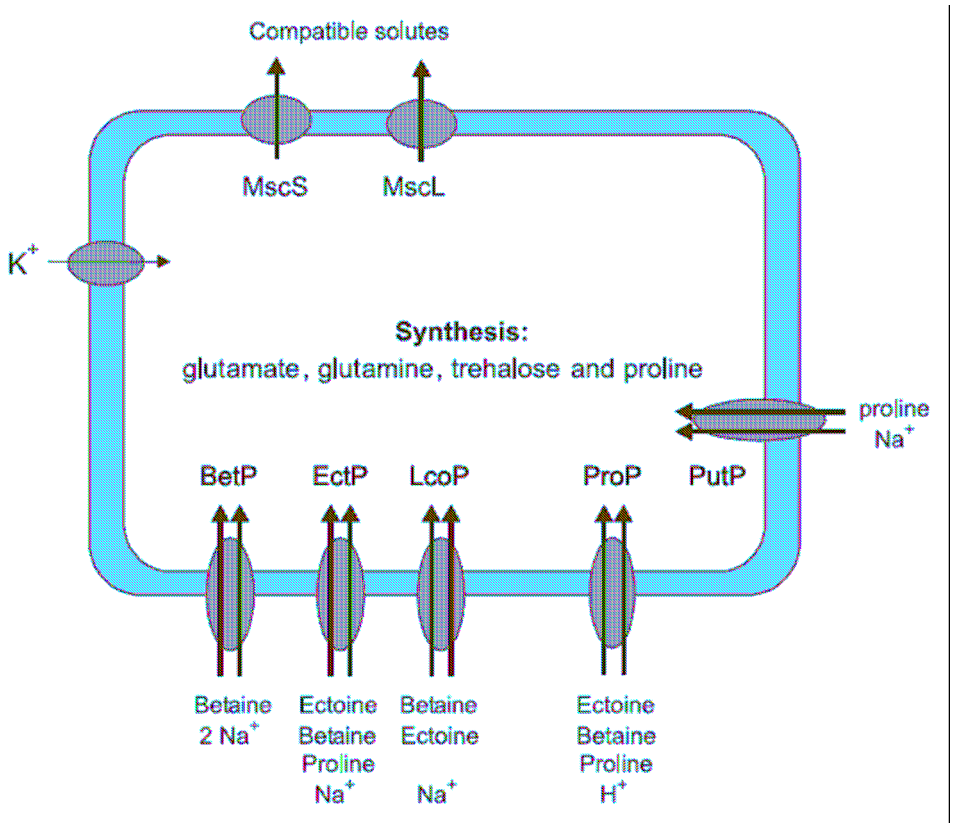
ตารางที่ 7 ปริมาณของบีเทนจากอาหารที่แตกต่างกัน (ไมโครกรัมต่อกรัม)

Food	Glycine betaine	Proline betaine	Trigonelline
Fruit&Vegetable			
Beetroot	750	<5	<5
Silverbeet	910	50	<5
Spinach	740	-	100
Meat			
Chicken	200	-	<5
Seafood			
Clams	2500	15	<10
Monkfish	500	40	10
Mussel	1630	26	83
Other foods			
Flour	730	-	-
Pasta	820	-	-

ที่มา : De Zwart และคณะ (2003)

3.2 กลไกการปรับสมดุลของบีเทน

ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องมีการรักษาสมดุลของเหลวในร่างกายให้คงที่ โดยสร้างและสะสมสารประกอบที่ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ ซึ่งเรียกว่า ออสโมไลต์ เมื่อปริมาณของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นก็จะเข้าไปกระตุ้นการทำงานของระบบขนส่งออสโมไลต์ภายในระยะเวลาอันสั้น และทำหน้าที่ในการขนส่งออสโมไลต์ต่อไป (Chambers *et al*., 1999) โดย Na^+-coupled transporter (Lang *et al*., 1998) มีหน้าที่ช่วยในการขนส่งโซเดียมออกสู่เซลล์ ในขณะเดียวกันก็จะมีการสังเคราะห์ตัวคอมแพททิเบิลโซลูทออกมา แล้วจึงมีการขนส่งสารประกอบเหล่านี้เข้าสู่เซลล์โดยโปรตีน ProP, BetP, EctP, LcoP และ PutP โดยโปรตีนกลุ่มนี้จะช่วยในการขนส่งโพรลีน (proline) บีเทน (betaine) และอิคโทอีน (ectoine) เข้าสู่ภายในเซลล์ (ภาพที่ 3) ควบคู่กับการทำงานของ Na^+-coupled transporter



ภาพที่ 3 กลไกการขนส่งสารประกอบเข้าสู่เซลล์

ที่มา : Kramer และ Morbach (2004)

เมื่อเซลล์มีการสังเคราะห์บีเทนในครั้งแรกแล้วก็จะมีการนำบีเทนเข้าสู่เซลล์โดยโปรตีน ProP, BetP, EctP, LcoP และ PutP ซึ่งโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการขนส่งบีเทนเข้าสู่เซลล์คือ ProP และ BetP แต่พบว่า BetP จะมีความสำคัญที่สุดในการขนส่งบีเทนเข้าสู่ภายในเซลล์ (Kramer and Morbach, 2004) โดย BetP จะมีปฏิกิริยาเมื่อปริมาณของโพแทสเซียมไอออนสูงขึ้น (Morbach, 2003) แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนที่กระตุ้น (Rubenhagen *et al*., 2001) หลังจากนั้นจะมีการนำบีเทนเข้าสู่เซลล์ต่อไป นอกจากนั้นบีเทนมีความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับเซลล์มากกว่าโพแทสเซียมไอออน ทำให้ช่วยในการป้องกันอันตรายกับเซลล์ได้เป็นอย่างดี (Bowlus and Somero, 1979)

3.3 ประโยชน์ของบีเทนในสิ่งมีชีวิต

บีเทนได้มีการนำมาผสมในอาหารสัตว์มากกว่า 50 ปีมาแล้ว และพบว่าบีเทนสามารถปกป้องการติดเชื้อคอคซิเดีย (Coccidia) ในลำไส้ของไก่ได้อีกด้วย โดยเชื้อคอคซิเดียจะมีผลต่อความสมดุลไอออนในลำไส้และยังทำให้เกิดความผิดปกติของลำไส้ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาประโยชน์ของบีเทนในสัตว์พบว่า บีเทนสามารถช่วยป้องกันอันตรายจากแอลกอฮอล์ซึ่งมีผลต่อตับได้ โดยในการทดลองในคนที่ดื่มแอลกอฮอล์เข้าไปจะทำให้ตับเกิดความเสียหายเนื่องมาจากการสะสมของไขมันที่มีมากเกินควรก่อให้เกิดอันตรายกับตับ ในการศึกษาของ Balkan และคณะ (2004) ที่ใช้บีเทนในการควบคุมระดับของไตรกลีเซอไรด์และความเครียดของสุกรที่กินอาหารผสมเอทานอลเข้าไป บีเทนสามารถลดการสะสมของเอทานอลในตับลงได้ รวมทั้งซ่อมแซมเซลล์ตับที่ถูกทำลายจากเอทานอลลงได้ ส่วนในการทดลองของ Barak และคณะ (1996) พบว่าการใช้บีเทนในการป้องกันโรคตับในหนูทดลองโดยการให้หนูทดลองกินแอลกอฮอล์ที่มากเกินควร ซึ่งบีเทนมีส่วนช่วยในการป้องกันอาการของโรคตับรวมทั้งบำบัดความเสียหายของตับได้ ทำให้สามารถที่จะนำบีเทนมาประยุกต์ใช้ในมนุษย์ เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการบริโภคแอลกอฮอล์ในมนุษย์ได้

3.3.1 ประโยชน์ของบีเทนในสัตว์บก

ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ เช่นในการเลี้ยงสัตว์ปีกได้มีการนำบีเทน 0.15 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยาซาลิโนมัยซิน (salinomycin) 66 พีพีเอ็ม เพื่อกระตุ้นการป้องกันจากเชื้อ *Eimeria maxima*, *E. acervulina* และ *E. tenella* โดยพบว่ามีความต้านทานได้ดีกว่าที่จะให้บีเทนหรือยาซาลิโนมันซินเพียงอย่างเดียว (Augustine and Danforth, 1999) และในการทดลองของ Fetterer และคณะ (2003) โดยให้ไก่กินอาหารที่ผสมบีเทน 0.15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อดูความต้านทานโรค osmotic disease ซึ่งเกิดจากปรสิตชนิด *E. acervulina*, *E. maxima* และ *E. tenella* พบว่าบีเทนที่

ผสมในอาหารมีผลทำให้ระดับของบีเทนในลำไส้ที่มีเชื้อ *E. acervulina* และ *E. maxima* เพิ่มสูงขึ้น และในทุกกลุ่มการทดลองพบว่าระดับของการติดเชื้อลดลงเมื่อระดับของบีเทนสูงขึ้น ซึ่งเป็นเพราะว่าบีเทนสามารถที่จะกระตุ้นให้เซลล์เม็ดเลือดเกิดการจับกิน รวมทั้งมีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์เหล่านี้ออกมา (Klasing *et al*., 2002) และในการทดลองของ Petronini และคณะ (1992) ศึกษาการปรับตัวโดยบีเทนในเซลล์เอ็มบริโอของไก่ที่ทดสอบความเครียด พบว่าเมื่อเซลล์ถูกนำมาเลี้ยงที่ความเค็ม 0.5 ออสโมล ทำให้มีผลในการยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนควบคู่กับการยับยั้งการเกิดกิจกรรมของกรดอะมิโนภายในเซลล์ รวมทั้งพบการเพิ่มขึ้นของ glycerol, proline, taurine, betaine, dimethylglycine และ sarcosine จากทั้งหมดนี้พบว่าบีเทนเกิดรวดเร็วเมื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเค็ม และเมื่อบีเทนมีปริมาณ 10-25 มิลลิโมล ก็จะช่วยยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์ที่มีรูปร่างเหมือนกันได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และหากว่าบีเทนมีปริมาณ 25 มิลลิโมล ก็จะช่วยให้การสังเคราะห์โปรตีนกลับเข้าสภาวะปกติ ส่วนอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรได้มีการนำเอาบีเทนมาผสมในอาหาร โดยในการทดลองของ Fernandez-Figares และคณะ (2002) ได้ใช้บีเทนผสมในอาหาร 0, 0.125, 0.25 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรที่กินอาหารผสมบีเทนที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของไขมันที่น้อยกว่ากลุ่มอื่น รวมทั้งประสิทธิภาพการเปลี่ยนโปรตีนดีกว่ากลุ่มอื่นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.3.2 ประโยชน์ของบีเทนในสัตว์น้ำ

ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เช่นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเค็ม ซึ่งจะไปส่งผลในการจำกัดอัตรารอดของสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมเหล่านี้จำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบเพื่อปรับตัวในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ เช่นมีการสะสมสารประกอบที่ไม่เป็นอันตรายกับเซลล์ซึ่งเรียกว่า organic solutes ไม่ว่าจะเป็น polyhydric alcohols, free amino acids, quaternary ammonium หรือ tertiary sulphonium จากความเครียดที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบีเทนซึ่งจะพบได้มากที่สุดในสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้าง (Pierce *et al*., 1995) และสารประกอบที่ไม่เป็นอันตรายเหล่านี้จะถูกกระตุ้นโดยความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเหลวในร่างกาย ซึ่งทั้งสัตว์มีกระดูกสันหลังและไม่มีกระดูกสันหลังก็สามารถใช้สารประกอบเหล่านี้ในการปรับตัว เช่น มีการวิวัฒนาการเพื่อที่จะปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ (Rathinasabapathi, 2000) ในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ออสโมไลต์มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการสมดุลของเหลว โดย Petty และ Lucero (1999) รายงานว่าในปลาหมึกพันธุ์ *Lolliguncula brevis* พบว่าจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมจะไปมีผลกับระดับของบีเทนและระบบประสาทภายในตัวสัตว์

Deaton (2001) ได้ศึกษาการควบคุมระดับของไฮเปอร์ออสโมติก ในเหงือกของหอยพันธุ์ *Geukensia demissa* โดยดูการสะสมตัวของบีเทนและอะลานีน พบว่าเมื่อนำเนื้อเยื่อของหอยที่อยู่ในความเข้มข้นของน้ำทะเลจาก 250 มิลลิออสโมล มาเปลี่ยนเป็นความเข้มข้น 1000 มิลลิออสโมล พบว่าทำให้เกิดการเพิ่มของกรดอะมิโนชนิด อะลานีน, โพรลีน และไกลซีน รวมทั้งพบการสะสมตัวของบีเทน โดยมีการสะสมของบีเทนถึง 45 ไมโครโมลของน้ำหนักเปียก จนถึง 150 ไมโครโมลของน้ำหนักเปียก ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมงด้วย ซึ่งในหอยสองฝาพบการสังเคราะห์บีเทนและกรดอะมิโนจากสภาวะไฮเปอร์ออสโมติก จากไมโทคอนเดรีย (Dragolovich, 1994) สอดคล้องกับการศึกษาของ Pierce และ คณะ (1995) พบว่ามีการสังเคราะห์ บีเทนเกิดขึ้นที่ไมโทคอนเดรียโดยเปลี่ยนแปลงจากโคลีนภายในเหงือกของหอยนางรมพันธุ์ *Crassostrea virginica*

Jahn และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของความเครียดต่อโคลีน และบีเทนภายในเหงือก รวมทั้งตับอ่อนของปูพันธุ์ *Chasmagnathus granulate* โดยใช้วิธี ^{14}C-choline ในการตรวจสอบที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบการลดลงของโคลีนในชุดที่ทำความเครียด และในระหว่างการทดสอบความเครียดพบว่าโคลีนที่อยู่บริเวณตับอ่อนมีการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าชุดควบคุมในระยะเวลา 2 ช่วง รวมทั้งพบการสังเคราะห์บีเทนสูงกว่าชุดควบคุมเช่นเดียวกัน

Bedford และคณะ (1998) ได้ศึกษาความสำคัญของบีเทนในการทำให้เกิดสมดุลของเหลวในเนื้อเยื่อของปลาพันธุ์ *Callorhincus millii* โดยใช้วิธี HPLC และ NMR-spectroscopy ในการตรวจวัดค่า พบว่ามีปริมาณของ trimethylamine oxide (TMAO) ในปริมาณน้อยในทุกเนื้อเยื่อ แต่พบปริมาณของบีเทนใน กล้ามเนื้อในปริมาณที่มากประมาณ 50-70 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก รวมทั้งพบทอรีนบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจในปริมาณที่สูง ประมาณ 39 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก ตลอดจนพบเซอรีนบริเวณหัวใจและสมองของปลาที่ทำการศึกษา

3.4 การประยุกต์ใช้บีเทนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

3.4.1 การใช้บีเทนในการเพิ่มการเจริญเติบโตในสัตว์น้ำ

ในการเลี้ยงสัตว์น้ำมีการใช้บีเทนกันอย่างกว้างขวางเนื่องจากนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำเพื่อให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตที่ดียิ่งขึ้น โดยบีเทนมีคุณสมบัติเป็นสารดึงดูดการกินอาหาร (attractants) โดยสารดึงดูดการกินอาหารมีบทบาทสำคัญในการเสริมการรับรู้แหล่งอาหารและกระตุ้นการกินอาหารของกุ้ง ดังนั้นการใช้บีเทนในการผสมอาหารจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโต และลดการสูญเสียอาหารในน้ำ เนื่องจากกุ้งเป็นสัตว์ที่กิน

อาหารช้า โดยทั่วไปแล้วการเติมสารดึงดูดการกินอาหารมักมีส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติในการดึงดูดการหาอาหารทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารละลาย (Solubles) ที่ผลิตจากสัตว์ทะเลหรือสารสังเคราะห์ที่ระดับ 1-5 เปอร์เซ็นต์ (ชุติมา และคณะ, 2546) นอกจากนี้ Coman และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของกรดอะมิโนผสมและกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ (ทอรีน, เซอรีน, ไอโซลูซีน, ไกลซีน, กลูตามีน, อาร์จีนีน, อะลานีน), บีเทน และ อะดิโนซีนโมโนฟอสเฟส (Adenosinemonophosphase) พบว่าระดับความเข้มข้นของบีเทนและกรดอะมิโนผสมที่ระดับสูงกว่า 10^{-2} โมลา ทำให้กุ้งกุลาดำมีความต้องการอาหารได้มากกว่ากลุ่มอื่นส่งผลให้กุ้งมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Felix และ Sudharsan (2004) ซึ่งนำบีเทนมาผสมในอาหารเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งก้ามกรามพบว่าอาหารที่มีส่วนผสมของบีเทนทำให้กุ้งก้ามกรามมีอัตราการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อได้ดีกว่ากลุ่มควบคุมเช่นเดียวกันกับการทดลองของ Harpaz (1997) ที่มีการนำบีเทนมาผสมในอาหารเพื่อศึกษาพฤติกรรมการหาอาหารของกุ้งก้ามกรามพบว่าอาหารที่มีส่วนผสมของบีเทนสามารถดึงดูดความสนใจในการหาอาหารของกุ้งก้ามกรามได้ดี ทำให้กุ้งก้ามกรามมีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้มีการทดลองในปลานิลโดยใช้บีเทนและโคลีนผสมในอาหารที่มีสัดส่วนแตกต่างกันเพื่อดูว่าบีเทนสามารถที่จะนำมาใช้ทดแทนโคลีนได้หรือไม่โดยที่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของอาหารและความเข้มข้นของไขมันในตับปลานิล พบว่าบีเทนที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าช่วยให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้โคลีนที่ระดับความเข้มข้นสูงทำให้มีการนำมาใช้ทดแทนกันได้ (Kasper *et al*., 2002)

Vilmaz (2005) ได้ทดลองใช้อาหารต่างชนิดกันซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองโดยการทดลองแรกเปรียบเทียบชนิดของอาหารกับลูกปลากดอเมริกันวัยอ่อนอายุ 4 วันพบว่าบีเทนผสมอะลานีน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ความยาวลำตัว อัตรารอด และการเจริญเติบโตจำเพาะในลูกปลากดอเมริกันวัยอ่อนอายุ 4 วัน แต่ในการทดลองที่ 2 ซึ่งทดลองกับลูกปลากดอเมริกันอายุ 10 วัน โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าบีเทนและบีเทนผสมอะลานีนจะทำให้ลูกปลากดอเมริกันมีการเจริญเติบโต อัตรารอด และการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุดในการทดลองแต่ไม่ก็พบความแตกต่างกันระหว่างบีเทนและบีเทนที่ผสมอะลานีน

3.4.2 การใช้บีเทนในการปรับสมดุลของของเหลวในสัตว์น้ำ

ที่ผ่านมาการประยุกต์ใช้บีเทนในสัตว์น้ำกลุ่มครัสตาเชียน โดยเฉพาะในกุ้งยังทำกันค่อนข้างน้อยในแง่ของการปรับสมดุลของของเหลว แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าบีเทนจะช่วยในการรักษาปริมาตรของเหลวภายในเซลล์ให้คงที่ ซึ่งสารชนิดนี้สามารถทำงานคล้ายคลึงกับ

การทำงานของโพแทสเซียมไอออนภายในเซลล์ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับแรงดันออสโมติกและระบบสมดุลของของเหลวให้มีความคงตัวมากขึ้นโดย ในการรายงานของ Castro และคณะ (1998) ได้ใช้บีเทนผสมอาหาร 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อวัดการเจริญเติบโตของปลาแซลมอนรวมทั้งวัดปริมาณของโพแทสเซียมไอออนในตับเมื่อได้รับการกระตุ้นให้เกิดความเครียดโดยใช้โพแทสซียมคลอไรด์ พบว่าบีเทนสามารถที่จะเป็นตัวป้องกันความเครียดที่มาจากโพแทสซียมคลอไรด์รวมทั้งป้องกันแรงดันออสโมติกจากภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปได้ สอดคล้องกับ Bjorkoy (1991) ที่ได้สกัดไมโทรคอนเดรียจากเซลล์ตับของปลาแซลมอนพบว่าเซลล์มีความต้องการบีเทนเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่ได้รับความเครียดจากโพแทสเซียมคลอไรด์และในการทดลองของ Virtanen และคณะ (1989) ได้ศึกษาพบว่าการใช้บีเทนในการปรับสมดุลของของเหลวในสัตว์น้ำ เช่นการขนส่งปลาแซลมอนจากแหล่งน้ำจืดไปยังน้ำเค็มได้ เนื่องจากบีเทนเป็นตัวช่วยในการปรับสมดุลแรงดันออสโมติกที่เกิดขึ้นภายในปลาแซลมอนที่ทำการศึกษา **สำหรับ** Clarke และคณะ (1994) ได้รายงานว่าการผสมบีเทนในอาหาร 1 เปอร์เซ็นต์ให้กับปลาแซลมอน โดยเลี้ยงในน้ำจืด 6 สัปดาห์ และน้ำเค็ม 8 สัปดาห์ พบว่าเมื่อมีการทดสอบความเครียดโดยการเปลี่ยนแปลงความเค็มไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย ตลอดจนเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองไม่พบความแตกต่างของพลาสมาโซเดียมในระหว่างเลี้ยง แต่ในระหว่างที่เลี้ยงในน้ำเค็ม พบว่าปลาแซลมอนที่ได้รับบีเทนมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและมีความเข้มข้นของพลาสมาโซเดียมต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น

3.4.3 การใช้บีเทนในการกระตุ้นความต้านทานโรคในสัตว์น้ำ

ในการศึกษาที่ผ่านมาบีเทนมีบทบาทภายในเซลล์ได้หลายหน้าที่ ไม่ว่าจะเป็นการกระตุ้นความอยากอาหาร (Feed additive) ช่วยในการปรับสมดุลของของเหลวภายในเซลล์ นอกจากนี้ในบางกรณีบีเทนยังสามารถทำหน้าที่เป็นวิตามินกึ่งจำเพาะ (Quasi-vitamins) เนื่องจาก บีเทนมีหน้าที่คล้ายคลึงกับการทำงานของวิตามินบางชนิดเช่น วิตามินบี 12 และบี 6 กรดโฟเลท รวมไปถึงการทำหน้าที่เป็นสารโมเลกุลขนส่ง (Transfer molecule) ซึ่งทำงานคล้ายกับ S-Adenosyl-Methionine (SAMe) โดยช่วยในการขนส่งหมู่ Methyl group ไปยังเซลล์ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย นอกจากนี้ยังช่วยในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ เนื่องจากบีเทนไปกระตุ้นการทำงานของเซลล์ให้มีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และกระตุ้นการจับกินของเม็ดเลือดขาวขนาดใหญ่ (Warskulat *et al*, 1998) โดยในการศึกษาของ Cosquer และคณะ 2004 ได้ทดลองใช้บีเทนในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก 15 สายพันธุ์และแบคทีเรียแกรมลบ โดยเปรียบเทียบส่วนประกอบของบีเทน 4 ส่วนประกอบ พบว่ามี 2 ส่วนประกอบที่สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

ลงได้โดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และในการทดลองของ Marja และ Erkki (1993) ได้ศึกษาการใช้ไดเมทธิลไกลซีนและไตรเมทธิลไกลซีน (betaine) เพื่อเปรียบเทียบการกระตุ้นการตอบสนองระบบภูมิคุ้มกันของปลาแซลมอน โดยฉีดเชื้อ *V. anguillarum* เข้าไปและตรวจหาระบบภูมิคุ้มกันที่ไม่จำเพาะเจาะจงในร่างกายของปลาแซลมอน พบว่าระบบภูมิคุ้มกันสูงขึ้นกว่าชุดควบคุม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของบีเทนต่อการเจริญเติบโต และความต้านทานโรคในกุ้งขาว
2. เพื่อศึกษาผลของบีเทนต่อสมดุลของเหลวในกุ้งขาว