บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

1. ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการฟักไข่กุ้งขาว

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการฟักของไข่กุ้งขาวที่ระดับความอุณหภูมิ 6, 12, 18, 24 และ 30 องศาเซลเซียส ที่แช่อยู่ในน้ำทะเลระยะเวลาต่าง ๆ ที่ 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในกระบวนการแช่แข็งต่อไป เพื่อหาระดับอุณหภูมิและระยะเวลาเริ่มต้นที่เหมาะสมกับอัตราการฟักไข่กุ้งขาว เมื่อทราบค่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จึงนำค่าที่ได้ไปกรอกลงในโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับการลดอุณหภูมิก่อนนำไปแช่แข็งในถังไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส ซึ่งการค่อย ๆ ลดระดับอุณหภูมิก่อนนำไปแช่แข็งนั้น ช่วยทำให้เซลล์ไข่ปรับสมดุลภายในเซลล์ได้ดีกว่าการให้เซลล์ไข่สัมผัสความเย็นต่ำอย่างเฉียบพลัน

1.1 อัตราการฟักไข่กุ้งขาวในชุดควบคุม

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการฟักของไข่กุ้งขาว โดยที่กุ้งขาวเป็นกุ้งพื้นเมืองในทวีปอเมริกาใต้ พบในอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงกว่า 22 องศาเซลเซียส และมีอัตรารอดตายสูงในน้ำทะเลความเค็มที่ไม่น้อยกว่า 28 ppt (กรมประมง, 2552) จากการศึกษาในชุดควบคุม (control) ที่อุณหภูมิห้องที่ 24 องศาเซลเซียส ที่ความเค็ม 30 ppt จำนวน 3 ซ้ำ ไข่กุ้งขาวชุดควบคุมมีอัตราการฟักไข่อยู่ในช่วง 43-57% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ อัตราการฟักไข่กุ้งขาวเป็นส่วนหนึ่งของการบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของไข่กุ้ง ซึ่งกุ้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการฟักแตกต่างกันไปตามชนิดของกุ้ง เช่น ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักอยู่ระหว่าง 50-60% (กรมประมง, 2552) และไข่กุ้งกุลาดำมีอัตราการฟักอยู่ระหว่าง 80-90% (บุญประเสริฐ เพ็งพันธุ์, 2545) และไข่กุ้งแชบ๊วย 65-87% (ชัยรัตน์ และสุพจน์, 2545)

1.2 อัตราการฟักไข่กุ้งขาวในแต่ละระยะการพัฒนาของไข่

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ 6, 12, 18, 24 และ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ทั้ง 3 ระยะการพัฒนา คือ ระยะแรกหรือระยะคลีเวจ, ระยะกลางหรือระยะบลาสตูลา และระยะสุดท้ายหรือระยะแกสตรูลา ได้ผลดังนี้

อัตราการฟักของไข่กุ้งขาวในระยะแรกหรือระยะคลีเวจ พบว่า ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักสูงสุดที่อุณหภูมิ 24 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอัตราการฟักไม่แตกต่างกันในแต่ละเวลา และไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักต่ำสุดที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักต่ำสุดที่ระยะเวลาสัมผัสความเย็นที่ 150 นาที และมีอัตราการฟักสูงสุดที่ระยะเวลาสัมผัสความเย็นที่ 30 นาที

อัตราการฟักของไข่กุ้งขาวในระยะกลางหรือระยะบลาสตูลา พบว่า ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักสูงสุดที่อุณหภูมิ 24 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอัตราการฟักไม่แตกต่างกันในแต่ละเวลา และไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักต่ำสุดที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักต่ำสุดที่ระยะเวลาสัมผัสความเย็นที่ 150 นาที และมีอัตราการฟักสูงสุดที่ระยะเวลาสัมผัสความเย็นที่ 30 นาที

อัตราการฟักของไข่กุ้งขาวในระยะสุดท้ายหรือระยะแกสตรูลา พบว่า ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักสูงสุดที่อุณหภูมิ 24 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอัตราการฟักไม่แตกต่างกันในแต่ละเวลา และไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักต่ำสุดที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักต่ำสุดที่ระยะเวลาสัมผัสความเย็นที่ 150 นาที และมีอัตราการฟักสูงสุดที่ระยะเวลาสัมผัสความเย็นที่ 30 นาที

การศึกษาผลของอัตราการฟักของไข่กุ้งขาวในระยะแรก, ระยะกลาง และระยะสุดท้าย หรือ ระยะควีเวจ, บลาสตรูลา และแกสตูลา ตามลำดับ พบว่าในระยะพัฒนาของไข่กุ้งระยะสุดท้าย มีปริมาณการฟักของไข่กุ้งขาวสูงที่สุดซึ่งมีอัตราการฟักไข่มากกว่าระยะกลาง และระยะแรก ตามลำดับ เนื่องจากไข่กุ้งในระยะสุดท้ายมีการพัฒนาโครงสร้างองค์ประกอบภายในเซลล์ค่อนข้างสมบูรณ์เนื่องจากมีการพัฒนาของ DNA moments ที่สมบูรณ์กว่าในระยะอื่น โดย DNA moments มีหน้าที่ไปกระตุ้นการทำงานของ DNA repair activity ซึ่งทำหน้าที่ในการพัฒนาซ่อมแซมเซลล์ที่เสียหายได้ ดังนั้นไข่กุ้งขาวในระยะสุดท้ายมีอัตราการฟักสูงที่สุดในแต่ละอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ซึ่ง Vuthiphandchai et al. (2005) ที่ได้ทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อไข่กุ้งกุลาดำในช่วง 3 ระยะการพัฒนาของไข่ คือระยะแรก, ระยะกลาง และระยะสุดท้าย (ระยะควีเวจ, บลาสตรูลา และแกสตูลา ตามลำดับ) พบว่าไข่กุ้งกุลาดำมีอัตราการฟักมากที่สุดในช่วงระยะการพัฒนาในระยะสุดท้าย และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gi Beum and Richard (2004) ที่ได้วิจัยในกุ้ง grass shrimp พบว่าไข่กุ้งในระยะการพัฒนาระยะสุดท้าย (ระยะแบ่งเซลล์ 8 เซลล์) มีอัตราการฟักไข่ดีกว่าการพัฒนาระยะแรก (ระยะแบ่งเซลล์ 2 เซลล์)

ไข่กุ้งขาวที่แช่เย็นที่ระดับอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการฟักของไข่กุ้งขาวต่ำสุดจากชุดการทดลองในไข่กุ้งขาวทั้ง 3 ระยะการพัฒนา ซึ่งงานวิจัยของ Alfaro et al. (2001)

ที่ได้ทำการศึกษาถึงผลของความเย็น ที่มีต่อไข่กุ้ง *Penaeus stylirostris* และ *Trachypenaeus byrdi* สามารถทนต่อความเย็นต่ำและฟักเป็นตัวอ่อนที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสในระยะเวลาสัมผัสความเย็นที่ 10 นาที แต่งานวิจัยของ บุญประเสริฐ เพ็งพันธุ์ (2545) พบว่าที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ไข่กุ้งกุลาดำไม่สามารถฟักเป็นตัวอ่อนได้ แต่ไข่กุ้งกุลาตำสามารถเริ่มฟักเป็นตัวอ่อนได้ที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลจากจากการใช้สัตว์ทดลองคนละสายพันธุ์ ซึ่งสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนทานต่อความเย็นต่ำได้ระยะเวลานานแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะกายภาพและโครงสร้างของสัตว์น้ำ (Kuzmina et al., 2003) รวมถึงสภาพแวดล้อมถิ่นกำเนิดของสัตว์ชนิดนั้น ๆ ด้วย (Jones, 1945) เช่น Van Der Wal (1985) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการฟักไข่ปลากะพงสายพันธุ์ *Macquaria novemaculeata* ที่อุณหภูมิ 12, 16, 20 และ 24 องศาเซลเซียส พบว่าไข่ปลากระพงสามารถฟักได้ดีที่อุณหภูมิ 16 และ 20 องศาเซลเซียส

ไข่กุ้งขาวที่แช่เย็นที่ระดับอุณหภูมิ 6, 12 และ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาที่ไข่สัมผัสความเย็น 30 นาที ในไข่กุ้งขาวทั้ง 3 ระยะการพัฒนา พบว่าไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักมากกว่าไข่กุ้งที่ได้สัมผัสความเย็นเป็นระยะเวลานานกว่า 30 นาที โดยจะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่สัมผัสอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการพัฒนาเซลล์และอัตราการฟักไข่ หากไข่แช่อยู่ในน้ำที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปเป็นระยะเวลานานจะทำให้เซลล์ได้รับบาดเจ็บจนไม่สามารถพัฒนาเซลล์ในกระบวนการต่อไปได้จึงทำให้มีอัตราการฟักหรือเกิดความพิการในตัวอ่อนสัตว์น้ำที่สามารถฟักออกมาเป็นตัวได้ (Arul, 1991)

ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักไข่สูงสุดที่แช่เย็นที่ระดับอุณหภูมิ 24 และ 30 องศาเซลเซียสทั้ง 3 ระยะการพัฒนา โดยอัตราการฟักของไข่กุ้งขาวมีปริมาณเฉลี่ยใกล้เคียงกันถึงแม้จะแช่อยู่ในน้ำในอุณหภูมิเหล่านี้เป็นเวลานานก็ตาม โดยเกศินี หลายสุทธิสาร และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม ระยะโพสลาวา ที่อุณหภูมิ 32±1 องศาเซลเซียส และ 29±1 องศาเซลเซียสติดต่อกันเป็นเวลานาน 7 วัน แล้วย้ายมาเลี้ยงที่อุณหภูมิปกติคือ 29±1 องศาเซลเซียส พบว่าลูกกุ้งขาวในกลุ่มที่อนุบาลที่อุณหภูมิ 29±1 องศาเซลเซียส มีอัตราการรอดตาย 87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ลูกกุ้งขาวในกลุ่มที่อนุบาลที่อุณหภูมิ 32±1 องศาเซลเซียส มีอัตราการรอดตายสูงถึง 91เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามอัตราการรอดตายที่อุณหภูมิ 29±1 และ 32±1 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางทางสถิติ ($p>0.05$) และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vuthiphandchai et al. (2005) ได้ทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการฟักของไข่กุ้งกุลาดำ ซึ่งสามารถฟักเป็นลูกกุ้งวัยอ่อนได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิใกล้เคียงกับงานวิจัยไข่กุ้งขาวนี้ (24 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้งานวิจัย

ของ Zhou and Yafen (2005) ที่ได้ศึกษาถึงผลอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการฟักของไข่ปลาปักเป้าสายพันธุ์ *Takifugu obscurus* ที่อุณหภูมิ 15 , 19, 23 และ 27 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 19 - 27 องศาเซลเซียส ทำให้ไข่ปลาปักเป้าสายพันธุ์ *Takifugu obscurus* มีอัตราการฟักไข่ที่ดีที่สุดมากถึง 50% โดยจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมกับอัตราการฟักไข่ของสัตว์น้ำนั้นคืออุณหภูมิห้องปกติหรืออุณหภูมิสภาวะแวดล้อมในแต่ละถิ่นกำเนิดของสัตว์ชนิดนั้น ๆ

2. ผลของสารไครโอโพรเทคแทนท์ต่ออัตราการฟัก

จากการทดสอบผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการฟักของไข่กุ้งขาว พบว่าอุณหภูมิที่ 24 - 30 องศาเซลเซียสเหมาะสมต่อการฟักไข่กุ้งขาวทั้ง 3 ระยะ ดังนั้นจึงใช้ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้เป็นชุดควบคุม (control) ในน้ำทะเลปกติ จากนั้นทำการทดสอบผลของสารไครโอโพรเทคแทนท์ต่ออัตราการฟัก ซึ่งการเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารไครโอโพรเทคแทนท์มีผลโดยตรงต่ออัตราการฟักของไข่กุ้งขาว พบว่า ในสารละลายทุกชนิด ที่ระดับความเข้มข้น 5% เวลา 10 นาที มีอัตราการฟักของไข่กุ้งขาวสูงสุดทั้ง 3 ระยะของการพัฒนา เนื่องจากไข่กุ้งขาวสัมผัสสารที่ระดับความเข้มข้นต่ำในระยะเวลาที่น้อย จะทำให้มีอัตราการฟักไข่สูงกว่าไข่กุ้งขาวที่สัมผัสสารที่มีระดับความเข้มข้นสูงในระยะเวลานานหรือแม้แต่ระยะเวลาเดียวกันก็ตาม และอัตราการฟักไข่กุ้งขาวจะลดต่ำลงเมื่อแช่อยู่ในสารที่มีระดับความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dong et al. (2004) ได้ทำการศึกษาผลของสารไครโอโพรเทคแทนท์ (methanol, ethylene glycol, propylene glycol and DMSO) ที่ 6 ระดับความเข้มข้น 5%, 10%, 15% , 20%, 25% และ 30% ในระยะเวลาสัมผัสสาร 5, 10, 15,20, 25, 30 และ 60 นาที ที่มีต่อการฟักของไข่กุ้ง พบว่าสารไครโอโพรเทคแทนท์ที่ความเข้มข้น 5 และ 10% ที่เวลา 10 นาที มีอัตราการฟักไข่ดีกว่าการใช้สารไครโอโพรเทคแทนท์ความเข้มข้นอื่น และ ไข่กุ้งมีอัตราการฟักต่ำสุดที่ระดับความเข้มข้น 30% ที่ระยะเวลา 60 นาที

จากการทดลอง พบว่าระยะการพัฒนาของไข่ทั้ง 3 ระยะ มีอัตราการฟักของไข่กุ้งขาวดีที่สุดในสารละลาย ethylene glycol, methanol, DMSO และ acetamide ที่ระดับความเข้มข้น 5% เวลา 10 นาที ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักต่ำสุดในสาร formamide ในทุกระดับความเข้มข้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nascimento et al. (2005) ได้ศึกษาการมีชีวิตรอดของตัวอ่อนหอยนางรมโดยนำไปแช่ในสารไครโอโพรเทคแทนท์ พบว่าการมีชีวิตของตัวอ่อนหอยนางรมที่แช่ในสาร methanol และ DMSO ดีกว่าสารไครโอโพรเทคแทนท์ชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในไข่กุ้งขาวนี้ แต่ต่างกับ

งานวิจัยของสุกัญญา นวไตรลาภ (2548) ที่ได้ศึกษาผลของ ethanol, propylene glycol, ethylene glycol, acetamide และ sucrose ที่มีต่อสเปิร์มกุ้งขาว พบว่าเปอร์เซ็นต์สเปิร์มที่มีชีวิตต่อสาร sucrose สูงกว่าสารอื่น และเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองในไข่กุ้งขาวนี้พบว่า ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักไข่ที่แช่ในสาร sucrose ต่ำ และงานวิจัยของ Vuthiphandchai et al. (2005) ทำการวิจัยในไข่กุ้งกุลาดำ พบว่า DMSO มีผลทำให้อัตราการฟักของไข่กุ้งขาวดี ซึ่งอัตราการฟักต่อสารไครโอโพเทคแทนท์จะแปรผันตามความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสสาร (equilibration time) แตกต่างกัน และในไข่กุ้งกุลาดำสามารถสามารถฟักได้ดีในสาร glycerol แต่จากการทดลองนี้พบว่าไข่กุ้งขาวที่แช่ในสาร glycerol มีอัตราการฟักน้อย และงานวิจัยของ J. Beirão et al. (2006) ได้ศึกษาผลของ ethanol, ethylene glycol, sucrose และ DMSO ในไข่ปลา seabream พบว่าไข่ปลา seabream ที่แช่ในสาร sucrose มีอัตราการฟักไข่ได้ดีกว่าสารชนิดอื่น ซึ่งไม่สอดคล้องการงานวิจัยในไข่กุ้งขาวที่มีอัตราการฟักไข่ที่แช่ในสาร sucrose น้อย แต่มีอัตราการฟักไข่ที่ดีในสาร ethanol, acetamind, ethylene glycol และ DMSO โดยผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกันกับงานวิจัยอื่นซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สัตว์ต่างชนิดกันหรือสัตว์ทดลองชนิดเดียวกันแต่สายพันธ์แตกต่างกัน ซึ่งจะมีลักษณะการตอบสนองต่อสารเคมีแตกต่างกันไป โดยสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนทานต่อความเป็นพิษของสารและความเย็นต่ำได้ระยะเวลานานแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะกายภาพและโครงสร้างของสัตว์น้ำ (Kuzmina et al., 2003) รวมถึงสภาพแวดล้อมถิ่นกำเนิดของสัตว์ชนิดนั้น ๆ ด้วย (Jones, 1945)

จากการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของสารไครโอโพรเทคแทนท์ เปรียบเทียบอัตราการฟักไข่ในสารไครโอโพรเทคแทนท์ชนิดเดียวกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 5% ทำให้อัตราการฟักไข่มีค่าสูงสุด โดยเปอร์เซ็นต์ของอัตราการฟักของไข่กุ้งขาวมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารไครโอโพรเทคแทนท์เพิ่มสูงขึ้น และที่ระดับความเข้มของสารไครโอโพรเทคแทนท์ชนิดเดียวกัน อัตราการฟักของไข่กุ้งขาวที่สัมผัสสารในระยะเวลาที่น้อยจะมีอัตราการฟักสูงกว่าไข่ที่สัมผัสสารเป็นระยะเวลานาน เช่น งานวิจัยของ Cortney (2009) ได้ทำการแช่ไข่ของโคพีพอดในสาร methanol, ethylene glycol, propylene glycol, glycerine และ DMSO ในระดับความเข้มข้นที่ 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 M ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 10 และ 20 นาที พบว่า อัตราการฟักไข่โคพีพอดในระดับความเข้มข้นของสารไครโอโพรเทคแทนท์ต่ำมีอัตราฟักเป็นตัวอ่อนได้ดีกว่าสารไครโอโพรเทคแทนท์ที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งไข่โคพีพอดไม่สามารถฟักเป็นตัวอ่อนได้ที่ระดับความเข้มข้น 5 M และไข่ของโคพีพอดที่สัมผัสสารในระยะเวลา 10 นาที สามารถฟักเป็นตัวอ่อนได้มากกว่าในระยะเวลา 20 นาที

อัตราการฟักไข่กุ้งขาวที่ได้รับการปฏิสนธิแล้ว เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระยะของการพัฒนา จะพบว่าไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักไข่สูงสุดในระยะสุดท้ายของการพัฒนา (ระยะแกสตรูลา) และไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักไข่ต่ำสุดในระยะแรกของการพัฒนา (ระยะคลีเวจ) ในสารไครโอโพรเทคแทนท์ทุกชนิด ซึ่ง Cabrita (2003) ได้ทำการทดลองในปลาเก๋า (*Scophthalmus maximus*) พบว่าในสารไครโอโพรเทคแทนท์ชนิดเดียวกันที่ระดับความเข้มข้นน้อย (0.0001%) ตัวอ่อนปลาเก๋ามีอัตราการรอดตายสูงกว่าในสารไครโอโพรเทคแทนท์ที่มีระดับความเข้มข้นที่สูงกว่า (0.0001 > 0.001 > 0.01 > 0.1%) โดยการที่จะประสบความสำเร็จในวิธีการแช่แข็งนั้นมีปัจจัยหลายประการ ซึ่งระยะการพัฒนาของไข่หรือตัวอ่อนก็เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญด้วยเช่นกัน โดยพบว่า ตัวอ่อนปลาเก๋าในระยะสุดท้าย (ระยะ G) สามารถทนต่อสารไครโอโพรเทคแทนท์ที่มีระดับความเข้มข้นที่สูงได้ดีมากกว่าระยะกลาง (ระยะ F) และระยะแรก (ระยะ E) ตามลำดับ ส่งผลให้มีอัตราการรอดตายของไข่หรือตัวอ่อนสูงตามไปด้วย

สรุปผลการทดลอง

1. ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการฟักไข่กุ้งขาวในแต่ละระยะการพัฒนา พบว่า ไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักมากที่สุดในระยะการพัฒนาของไข่ในช่วงระยะสุดท้าย (ระยะแกสตรูลา) และไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักไข่ต่ำที่สุดในระยะการพัฒนาของไข่ในช่วงระยะแรก (คลีเวจ) ซึ่งระยะนี้มีอัตราการฟักไข่น้อยกว่า ระยะกลาง (บลาสตูลา) และระยะสุดท้าย (แกสตูลา) ตามลำดับในทุกระดับอุณหภูมิ และไข่กุ้งขาวทั้ง 3 ระยะ สามารถฟักได้ดีที่อุณหภูมิ 24-30 องศาเซลเซียส มีอัตราการฟักต่ำสุดที่อุณหภูมิที่ 6 องศาเซลเซียส โดยไข่กุ้งขาวที่ได้รับอุณหภูมิเย็นเป็นเวลานานจะส่งผลให้มีอัตราการฟักน้อยลง

2. ผลของสารไครโอโพรเทคแทนท์ต่ออัตราการฟักไข่กุ้งขาวในแต่ละระยะการพัฒนา พบว่า ไข่กุ้งขาวที่แช่ในสารไครโอโพรเทคแทนท์แต่ละชนิดมีอัตราการฟักไข่มากที่สุดในระยะการพัฒนาของไข่ในระยะสุดท้าย (ระยะแกสตรูลา) ซึ่งไข่กุ้งระยะแรก (คลีเวจ) มีอัตราการฟักน้อยกว่า ระยะกลาง (บลาสตูลา) และระยะสุดท้าย (แกรสตูลา) ตามลำดับในทุกระดับความเข้มข้น ซึ่งไข่กุ้งขาวมีอัตราการฟักสูงสุดในสาร ethylene glycol, DMSO, acetamide และ methanol ทั้ง 3 ระยะการพัฒนาของไข่ โดยที่ระดับความเข้มข้นที่ 5% ทำให้มีอัตราการฟักไข่สูงสุด อัตราการฟักไข่มีปริมาณลดต่ำลงเมื่อแช่อยู่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

1.ในกระบวนการแช่แข็งควรใช้การพัฒนาของไข่กุ้งขาวระยะสุดท้าย 10-11 ชั่วโมง หลังการวางไข่ซึ่งมีความคงทนต่อความเป็นพิษของสารไครโอโพรเทคแทนท์ได้ดีกว่าระยะอื่น ๆ ในการพัฒนาวิธีการแช่แข็งตัวอ่อนกุ้งขาวต่อไป

2. ควรนำข้อมูลของสารไครโอโพรเทคแทนท์ที่ได้จากการศึกษานี้ไปทำการศึกษาอัตราการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่แข็งไข่กุ้งขาวต่อไป