



# ผลกระทบจากสภาพอากาศและฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

## Impacts of Climate and Season on Water Quality in Aquaculture Ponds

พัชราราวลัย ศรียะศักดิ์<sup>1,2\*</sup>, นิวุฒิ หวังชัย<sup>1</sup>, ชนกันต์ จิตมนัส<sup>1</sup>, จงกมล พรมยะ<sup>1</sup> และหลุยส์ เลอเบล<sup>2</sup>

*Pacharawalai Sriyasak<sup>1,2</sup>, Niwooti Whangchai<sup>1</sup>, Chanagun Chitmanat<sup>1</sup>, Jongkon Promya<sup>1</sup> and Louis Lebel<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

<sup>2</sup> หน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อม คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

\* Correspondent author: [Pacharawalai@sea-user.org](mailto:Pacharawalai@sea-user.org)

### บทคัดย่อ

ฤดูกาล อากาศและสภาพภูมิอากาศมีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ บทความนี้เป็นการรวบรวมผลกระทบของสภาพอากาศและฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำและสัตว์น้ำ รวมถึงการใช้แบบจำลองเพื่อทำความเข้าใจกลไกระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ข้อค้นพบจากการศึกษาอธิบายถึงอิทธิพลของสภาพอากาศและฤดูกาลที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำในบ่อ เช่น อุณหภูมิ น้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และแอมโมเนีย ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และความเสี่ยงในการเกิดโรค แบบจำลองระบบนิเวศในบ่อสามารถใช้เป็นเครื่องมือเพื่อสร้างความเข้าใจและคาดการณ์การตอบสนองต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ เพื่อเสนอทางเลือกในการจัดการที่เป็นประโยชน์ต่อการรักษาสุขภาพคุณภาพน้ำที่เหมาะสม

**คำสำคัญ:** สภาพอากาศ ฤดูกาล คุณภาพน้ำ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

### Abstract

Seasons, weather and climate affect aquaculture. This article reviews the impacts of climate and season on water quality and aquatic animals, and speculates on the use of models to better understand aquaculture pond ecosystem dynamics. Findings underline how climate and season influence water quality, including water temperature, dissolved oxygen and ammonia concentrations. These factors, in turn, affect growth, survival and risks of disease. Pond ecosystem models appear a promising tool to understand and possibly project how pond aquaculture may respond to climate variability and change, and thus, explore management options useful for maintaining suitable water quality conditions.

**Keyword:** Climate, Season, Water quality, Aquaculture

## 1. บทนำ

ประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมีความสำคัญในการสร้างงานและสร้างรายได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว อีกทั้งความต้องการบริโภคสัตว์น้ำซึ่งจัดได้ว่าเป็นอาหารสุขภาพเพิ่มสูงขึ้น ผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงของโลกมีอัตราเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่ปีพ.ศ. 2544 เป็นต้นมา โดยผลผลิตสัตว์น้ำของโลกจากการเพาะเลี้ยงในปี 2554 มีปริมาณ 62.7 ล้านตัน เพิ่มขึ้น 6.2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับปี 2553 ที่มีปริมาณ 59 ล้านตัน (1) เช่นเดียวกับประเทศไทยในปี 2554 ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีอัตราเพิ่มขึ้น 44.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปี 2544 (2) การที่จะผลิตสัตว์น้ำตอบสนองความต้องการของประชากรโลก คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีผลต่อผลผลิตสัตว์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชั้นบรรยากาศและความชื้นส่งผลให้เกิดความแปรปรวนทางสภาพอากาศและฤดูกาล อุณหภูมิ ปริมาณฝนและพายุ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำและส่งผลต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด การเกิดโรคสัตว์น้ำ รวมถึงต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ (3) บทความนี้ได้รวบรวมและสรุปผลกระทบของฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำรวมถึงการใช้แบบจำลองในการคาดการณ์ระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบของสภาพอากาศต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ อันที่จะนำไปสู่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนภายใต้สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

## 2. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) คือสภาวะที่โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการกระทำของมนุษย์ทั้งการตัดไม้ทำลายป่า กิจกรรมการผลิตอุตสาหกรรมและการขนส่ง ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกลอยขึ้นไปสะสมตัวในชั้นบรรยากาศและเมื่อมีการสะสมตัวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สะท้อนกลับออกนอกชั้นบรรยากาศได้

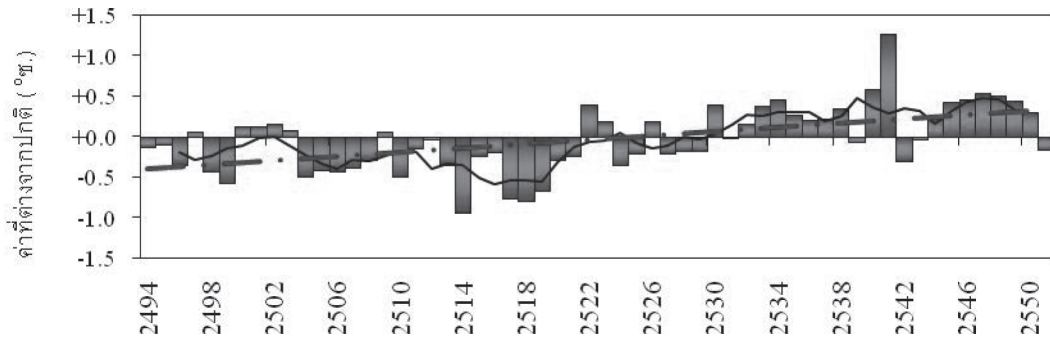
น้อยลง พลังงานความร้อนดังกล่าวจึงถูกกักเก็บเอาไว้ได้ชั้นบรรยากาศมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของโลกและผิวมหาสมุทรสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนทางสภาพอากาศ (4) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ย เช่น อุณหภูมิ ฝน ลม ในพื้นที่หนึ่ง อันเป็นผลทางตรงหรือทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์และความผันแปรตามธรรมชาติ ทำให้อองค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไปนอกเหนือจากความผันแปรตามธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน (5-7)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้อุณหภูมิของโลกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 0.6 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ในศตวรรษที่ผ่านมา (8) อุณหภูมิของโลกที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำเพิ่มสูงขึ้นด้วย (9) Indian National Communication ได้สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของอินเดียพบว่าอุณหภูมิอากาศในศตวรรษที่ผ่านมาเพิ่มขึ้น  $0.4^{\circ}\text{C}$  โดยมีแนวโน้มที่เกิดความแห้งแล้งถี่ขึ้น และความรุนแรงของพายุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2517-2546 รูปแบบการตกของฝนในลุ่มน้ำ Ganga ของอินเดียเปลี่ยนแปลงจากเดิมคือฝนตกลง 5% ช่วงเดือนมกราคม-เมษายน แต่จะตกเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนกันยายน-ธันวาคม (10) ส่วนทางตอนใต้ของอเมริกาใต้ อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า  $2^{\circ}\text{C}$  ในศตวรรษที่ผ่านมา (11) มีการกระจายตัวและความถี่ของฝนเพิ่มสูงขึ้นในสหราชอาณาจักรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2309 และในฤดูหนาวมีจำนวนวันที่ฝนตกหนักเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมาประเทศอังกฤษและเวลส์มีการลดลงของฝนในช่วงกรกฎาคมและสิงหาคมแต่มีฝนเพิ่มขึ้นในฤดูหนาว (12) การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงรังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม ความถี่และความรุนแรงของพายุที่เพิ่มขึ้น (8)

สภาพภูมิอากาศในประเทศไทยในรอบ 58 ปี (พ.ศ. 2494-2551) มีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้น (ภาพที่ 1) (13, 14) ค่าเฉลี่ยรายปีของอุณหภูมิเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น  $0.95^{\circ}\text{C}$  มีอัตราที่สูงกว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก ( $0.69^{\circ}\text{C}$ ) (14) ขณะที่ปริมาณฝนมีแนวโน้มลด

ลง (15) พายุหมุนเขตร้อน (พายุดีเปรสชัน พายุไซรอนร้อน และไต้ฝุ่น) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความผันแปรของ ปริมาณและการกระจายของฝน โดยในรอบ 56 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2494-2549) จำนวนของพายุมีแนวโน้มลดลงแต่

ความรุนแรงพายุจะเพิ่มมากขึ้น (16) ซึ่งการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศทั้งอุณหภูมิและรูปแบบการตกของฝนมี ผลอย่างมากต่อคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



ภาพที่ 1 กราฟแสดงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยที่ต่างจากปกติตั้งแต่ พ.ศ. 2494-2551 (ที่มา กรมอุตุนิยมวิทยา 2552)

### 3. ผลจากสภาพภูมิอากาศและฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลที่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณน้ำฝนล้วนส่งผลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดผลผลิตสัตว์น้ำ (17, 18) อุณหภูมิน้ำจะมีผลต่ออุณหภูมิในร่างกายของสัตว์น้ำซึ่งปรับตามอุณหภูมิสภาพแวดล้อม อัตราการเจริญเติบโต การกินอาหาร อัตราการแลกเปลี่ยน และการทำงานของอวัยวะต่างๆ (19, 20) ซึ่งส่งผลให้การเจริญเติบโตการสืบพันธุ์ และอัตราการรอดของสัตว์น้ำลดลงและการเกิดโรคเพิ่มขึ้น (21, 22)

อุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ(10)และส่งผลต่อคุณภาพน้ำอื่น ๆ เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ที่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง (17, 23, 24) อุณหภูมิน้ำในบ่อจะขึ้นกับสภาพภูมิประเทศ ความสูงจากระดับน้ำทะเล แสงอาทิตย์และความเร็วลม นอกจากนี้ยังขึ้นกับขนาดและความลึกของบ่อ ความขุ่นของน้ำ และสภาพแวดล้อมของบ่อ (17)

ความสูงจากระดับน้ำทะเลมีผลต่อสภาพอากาศ (25, 26) ความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอุณหภูมิ

อากาศจะลดลง (17, 27) ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่ตั้งในพื้นที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลต่างกันมีความแตกต่างกัน (21, 28-30) ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงในน้ำมีผลต่ออุณหภูมิน้ำในบ่อ แสงที่ส่องลงในน้ำจะถูกดูดกลืนและเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนเมื่อสะสมอยู่ในน้ำจะทำให้อุณหภูมิน้ำสูงขึ้น ดังนั้นในช่วงฤดูร้อนที่ความเข้มแสงอาทิตย์มีมากจะทำให้ส่องลงสู่น้ำได้มาก อุณหภูมิน้ำในช่วงฤดูร้อนจึงสูงกว่าในฤดูอื่น ๆ (28, 30-32)

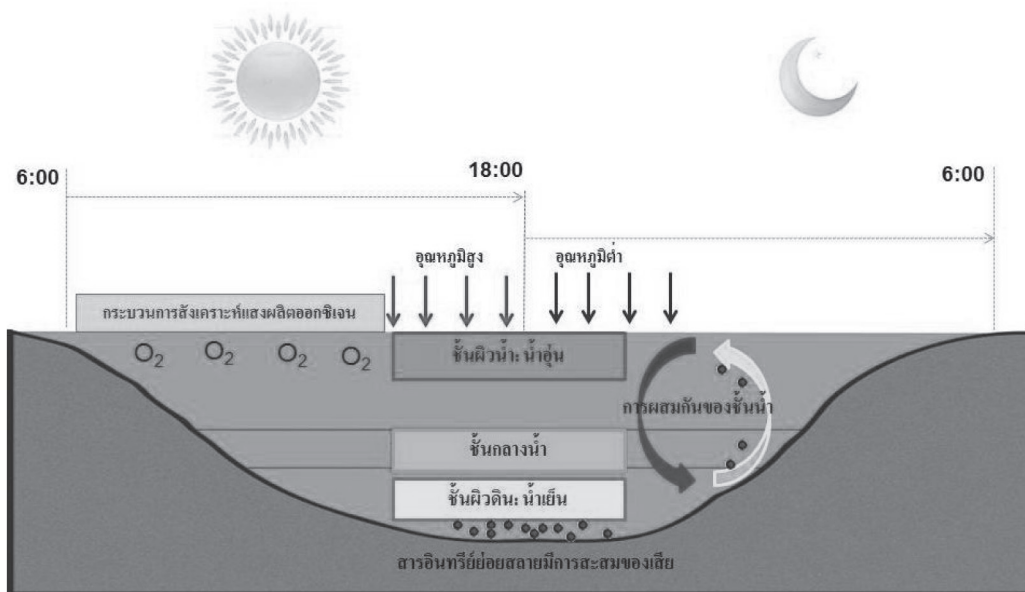
แสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำปริมาณแพลงก์ตอนพืชนอกจากจะขึ้นกับอุณหภูมิน้ำและปริมาณแสงแล้วยังขึ้นกับธาตุอาหารจำพวกฟอสฟอรัสและไนโตรเจน (33) และขึ้นกับความขุ่นของน้ำที่เป็นตัวจำกัดปริมาณแสงที่ส่องลงในน้ำ (34) การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (35)

ในฤดูร้อนอุณหภูมิอากาศสูงและแสงส่องลงสู่ผิวน้ำมากทำให้เกิดการแบ่งชั้นของน้ำ โดยน้ำชั้นบนจะมีอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนสูง ในขณะที่น้ำชั้นล่างที่แสงส่องไม่ถึงจะมีอุณหภูมิต่ำและปริมาณออกซิเจนต่ำ

กว่าบริเวณพื้นที่บ่อจะมีกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นจึงมีการสะสมของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และของเสียต่างๆ มากขึ้นที่พื้นบ่อ (36) ประกอบกับอัตราการระเหยของน้ำที่เพิ่มขึ้นในฤดูร้อนทำให้ปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น (21, 32) หากความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงจนถึงระดับที่เป็นพิษ (0.47 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ pH 8.0) (37) จะทำให้ปลามีอาการเฉื่อยชาและตายในที่สุด (36) การระเหยของน้ำในบ่อที่เพิ่มขึ้นในฤดูร้อนทำให้ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นด่างของน้ำสูงกว่าช่วงอื่นเนื่องจากความเข้มข้นของอิออนที่เพิ่มขึ้น (17, 38) ซึ่งตัวแปรคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะมีผลต่อการหายใจและกระบวนการทางชีวเคมีของปลา (36)

ฤดูฝนมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่บ่อ ในช่วงเปลี่ยนจากฤดูร้อนเป็นฤดูฝนโดยเฉพาะฝนแรกจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อจากการผสมกันของน้ำ ในฤดูร้อนน้ำบ่อเลี้ยงปลาจะมีการแบ่งชั้นของน้ำ น้ำชั้นบนที่ได้รับแสงอาทิตย์มีการสะสมความร้อนและกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ผิวน้ำ ทำให้มีอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าน้ำด้านล่างที่แสงส่องไม่ถึง น้ำด้านล่างจึงอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจนและมีการสะสม

ของเสียที่พื้นบ่อเมื่อฝนตกความเย็นของน้ำฝนทำให้น้ำชั้นบนมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าน้ำด้านล่าง น้ำชั้นบนที่มีน้ำหนักมากจะจมสู่ด้านล่างตามแรงโน้มถ่วงและดันน้ำด้านล่างที่มีออกซิเจนต่ำและมีการสะสมของเสียขึ้นสู่ผิวน้ำ (39-41) ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อลดลงและของเสียบริเวณพื้นบ่อกระจายทั่วบ่อ (ภาพที่ 2) สัตว์น้ำที่ต้องทนกับสภาพออกซิเจนต่ำนาน ๆ ทำให้เกิดความเครียดหรืออาจจะตายได้ (21) โดยเฉพาะสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีความต้องการออกซิเจนสูงในฤดูฝนปริมาณแสงลดลงเนื่องจากเมฆมาบดบังแสงอาทิตย์ (42) ทำให้การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชเพื่อผลิตออกซิเจนลดลงสภาพท้องฟ้ามีครึ้มติดต่อกันหลายวันทำให้การสร้างออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจของสิ่งมีชีวิตในบ่อส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อลดลง (41) ส่งผลกระทบต่อการเลี้ยงปลาโดยเฉพาะการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ที่มีการปล่อยปลาหนาแน่น (27) น้ำฝนที่พัดพาสารอาหารจากดินลงสู่บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำยังส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสและไนเตรทเพิ่มขึ้น (32) และความเค็มลดลงจากน้ำจืดที่ไหลลงสู่ทะเล ทำให้ปูทะเล หอยนางรมและหอยแครงที่เลี้ยงบริเวณก้นอ่าวตาย (43-45)



ภาพที่ 2 การผสมกันของชั้นน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

อุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลา อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำในเขตร้อนอยู่ที่ 25-32 °ซ ขึ้นกับชนิดสัตว์น้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัตว์น้ำจะมีกระบวนการเมตาโบลิซึมเพิ่มขึ้น กระบวนการที่สำคัญ ได้แก่ การหายใจ การกินอาหาร การย่อยอาหาร และการขับถ่าย อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปทำให้สัตว์น้ำต้องใช้พลังงานในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม กระบวนการเมตาโบลิซึมของปลาลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง การทำงานของเอนไซม์ในระบบย่อยอาหารลดลง อาหารที่ปลากินไปย่อยได้ช้า ทำให้ปลากินอาหารลดลง ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดลดลง (46, 47) หากอุณหภูมิลดลงมาก อาจทำให้ระบบเอนไซม์และระบบหายใจปลาล้มเหลว จนทำให้ปลาตายได้ (30, 48) อุณหภูมิที่สูงเกินไปอัตราการย่อยอาหารจะเพิ่มขึ้น อาหารที่กินไปเคลื่อนผ่านลำไส้และถูกขับถ่ายออกมาเร็ว ทำให้ความสามารถในการย่อยอาหาร ประสิทธิภาพในการดูดซึมอาหาร การเก็บกักไนโตรเจน และการนำอาหารไปใช้ประโยชน์ลดลง ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อลดลง (22, 49) เช่น การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติจะทำให้ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อมีมากขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง ส่งผลให้กุ้งเจริญเติบโตช้า อ่อนแอหรือตาย (49) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจึงมีผลกระทบต่ออาหาร การเจริญเติบโต การแพร่กระจายของโรค และอาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ง่ายในช่วงนี้ (8)

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ ส่งผลต่อการแพร่กระจาย การเปลี่ยนแปลงชนิดและจำนวนแบคทีเรียไวรัส และปรสิตในการเกิดโรคสัตว์น้ำ (31, 50, 51) อุณหภูมิที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันมีผลให้ระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำต่ำลงส่งผลต่อสุขภาพและการติดเชื้อของสัตว์น้ำ (52)

## 4. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ความซับซ้อนของระบบนิเวศในบ่อ (53, 54) โดยแบบจำลองที่มีการจัดสร้างมีทั้งแบบจำลองสำหรับคาดการณ์คุณภาพน้ำและระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (47, 54-57) และแบบจำลองการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำในบ่อที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ (58-62) แบบจำลองทั้งสองแบบนี้จะใช้โปรแกรม STELLA ในการสร้างแบบจำลอง โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นตัวแปรสำคัญ ซึ่งสามารถคาดการณ์คุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ตัวอย่างการใช้โปรแกรม STELLA เช่น การคาดการณ์การเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อที่ใช้มูลสัตว์เป็นแหล่งอาหารสำหรับแพลงก์ตอนพืช (53) การใช้โปรแกรมในการคาดการณ์ผลกระทบจากความเร็วลม แสง pH อุณหภูมิ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลา (54) แต่ยังมีข้อจำกัดบางอย่างในการนำแบบจำลองมาใช้เนื่องจากความไม่แน่นอนของค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องและตัวแบบจำลองเอง (34)

การนำแบบจำลองมาใช้กับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเมื่อสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลง สามารถช่วยในการคาดการณ์คุณภาพน้ำและระบบนิเวศที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับผู้เลี้ยงสัตว์น้ำในการจัดการคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

## 5. บทสรุป

สภาพอากาศที่ต่างกันในแต่ละฤดูกาลมีผลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การเปลี่ยนแปลงสภาพ

อากาศทั้งในเรื่องอุณหภูมิ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และ ปริมาณน้ำฝนที่กระทบต่อคุณภาพน้ำบางตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ และแสงที่ส่องกระทบบ่อ มีผลต่อการกระบวนการทางชีวเคมีที่ส่งผลต่อเนื่องถึงตัวแปรคุณภาพน้ำอื่นๆ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีผลต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด และโรคสัตว์น้ำการใช้ประโยชน์จากแบบจำลองในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในบ่อ ทำให้สามารถจัดการคุณภาพน้ำและรับมือกับความเสียหายที่จะเกิดขึ้นภายใต้สภาพอากาศที่แปรปรวน

## 6. คำขอบคุณ

บทความวิชาการปริทรรศน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก The International Development Research Centre, Ottawa, Canada จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

1. FAO. Global Aquaculture Production Statistics for the year 2011 2013 [cited 2013 Aug 20]; Available from: <ftp://ftp.fao.org/FI/news/GlobalAquacultureProductionStatistics2011.pdf>.
2. DOF. Fisheries Statistics of Thailand 2009. Bangkok: Department of Fisheries 2011. Thai.
3. De Silva SS, Soto D. Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. In: Cochrane K, De Young C, Soto D, Bahri T, editors. Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Rome: FAO;; 2009. p. 151-212.
4. Sutemechaikul N, Khomwilai C, Weerakulpiriyi W. Global warming and fisheries, non overlook calamity. Thai Fisheries Gazette. 2009;6(1):71-3. Thai.
5. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2007.
6. Boonprakop G. Thailand's First Assessment Report On Climate Change 2011: Scientific Basis of Climate Change. Limsakul A, Chitdtaisong A, Boonprakop G, editors. Bangkok, Thailand: Development and Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change (THAI-GLOB); 2011. 224 p. Thai.
7. Thai Meteorological Department. Climate Change. 2007 [cited 2013 15 December 2013]; Available from: <http://www.tmd.go.th/info.php?FileID=86>. Thai.
8. Handisyde NT, Ross LG, Badjeck M-C, Allison EH. The Effect of Climate Change on World Aquaculture: A Global perspective 2006.
9. Eissa A, Zaki MM. The impact of global climatic changes on the aquatic environment. Procedia Environmental Sciences 2011;4:251-9.
10. Vass KK, Das MK, Srivastava PK, Dey S. Assessing the impact of climate change on inland fisheries in River Ganga and its plains in India. Aquatic Ecosystem Health & Management. 2009;12(2):138-51.
11. Baez HV, Aigo C. J., Cussac V. Climate change and fish culture in Patagonia: present situation and perspectives. Aquaculture Research. 2011;42:787-96.
12. Frost M, Baxter JM, Buckley PJ, Cox M, Dye SR, and Harvwy NW. Impact of climate change on fish, fisheries and aquaculture. Aquatic Conservation and Freshwater Ecosystems. 2012;22:331-6.
13. Thai Meteorological Department. Anticipate Climate Change in The Future. Department TM, editor: Climatological Center, Thai Meteorological Department; 2009. 129 p. Thai.

14. Sanitwong Na Ayutthaya A. Thailand's First Assessment Report on Climate Change 2011: Impacts, Vulnerability and Adaptation. Sanitwong Na Ayutthaya A, Chidtaisong A, editors. Bangkok, Thailand: Development and Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change (THAI-GLOB); 2011. 206 p. Thai.
15. Sithicheevapak K. Variation and Climate Change 2007. Bangkok, Thailand: Climatological Center, Thai Meteorological Department; 2008. Thai.
16. Chidtaisong A. Thailand Climate Change Volume 1: Past Climate Bangkok, Thailand: The Thailand Research Fund's Research Development and Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change (T-GLOB); 2010. 94 p. Thai.
17. Egna HS, Boyd CE. Dynamic of Pond Aquaculture. New York: CRC Press; 1997.
18. Hamdan R, Kari F, Othman A. Climate Variability and Socioeconomic Vulnerability of Aquaculture Farmer in Malaysia. International Conference on Business and Economics Research IPEDR. 2011;16:47-51.
19. Britz PJ, Hecht T, Mangold S. Effect of temperature on growth, feed consumption and nutrition indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet. Aquaculture. 1997;152:191-203.
20. Azevedo PA, Cho CY, Leeson S, Bureau DP. Effects of feeding level and water temperature on growth, nutrient and energy utilization and waste outputs of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Aquat Living Resour. 1998;11(4):227-38.
21. Ahmed Z, Hisham A, Rahman A. Ecomonitoring of climate impact on earthen pond water quality in El-Fayoum, Egypt. International Research Journal of Microbiology 2011;2(11):442-54.
22. Pandit NP, Nakamura M. Effect of High Temperature on Survival, Growth and Feed Conversion Ratio of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. Our Nature. 2010;8:219-24.
23. Huang S, Hsieh H, Chen C. Effects of winter monsoon on the growth, mortality, and metabolism of adult oysters in Kinmen Island, Taiwan. Aquaculture. 2006;251:256-70.
24. El Deen N, A.I.E., Zaki M. Impact of Climatic Change (Oxygen and Temperature) on Growth and Survival rate of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Report and Opinion. 2010;2(12):192-5.
25. Badyaev AV, Ghalambor CK. Evolution of Life History Along Elevation Gradients: Trade-off Between Parental Care and Fecundity. Ecology. 2001;82(10):2948-60.
26. Meays CL. Elevation, thermal environment, and stream temperatures on headwater streams in northeastern Oregon: Oregon State University; 2000.
27. Pimolrat P, Whangchai N, Chitmanat C, Promya J, Lebel L. Survey of Climate-Related Risks to Tilapia Pond Farms in Northern Thailand International Journal of Geoscience 2013;4(5B):54-9.
28. Jeronimo GT, Speck GM, Goncalves E, Martin M. Seasonal variation on the ectoparasitic communities of Nile tilapia cultured in three regions in southern Brazil. Braz J Biol. 2011;71(2):365-73.
29. Xu L, Xiong B, pan Y, Wang J, Cao H, Zhao W. Relationship between concentrations of odorous compounds and biomass of phytoplankton and actinomycetes in freshwater ponds of Beijing, China. Aquacult Int. 2010;18:245-54.
30. Jha P, Barat S, Sarkar K. Comparative effect of live food and manured treatments on water quality and production of ornamental carp, *Cyprinus carpio* var. *koi* L., during winter, summer, monsoon and post-monsoon growout experiments in concret tanks. J Appl Ichthyol. 2007;23:87-92.

31. Al-Harbi AH, Uddin MN. Seasonal variation in the intestinal bacteria flora of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) cultured in earthen ponds in Saudi Arabia. *Aquaculture*. 2004;229:37-44.
32. Cowan VJ, Lorenzen K, Funge-Smith SJ. Impact of culture intensity and monsoon season on water quality in Thai commercial shrimp ponds. *Aquaculture Research*. 1999;30:123-33.
33. Huang YA, Huang S, Meng P, Hsieh J, Chen CA. Influence of strong monsoon winds on the water quality around a marine cage-culture in a shallow and semi-enclosed bay in Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*. 2012.
34. Kaggwa R, Dam AA, Kipkemboi J, Denny P. Evaluation of nitrogen cycling and fish production in seasonal ponds ('Fingerponds') in lake victoria wetlands, East Africa using a dynamic simulation model. *Aquaculture Research*. 2010;42:74-90.
35. Beaz V, Aigo J, Cussac V. Climate change and Fish culture in Patagonia: present situation and perspectives. *Aquaculture Research* 2011;42:787-96.
36. Ahmed Z, Mohammed F, Rahman A. Ecomonitoring of Climate Impact on *Tilapia niloticus* Performance and Development of Different Histopathological Change. *Global Veterinaria*. 2012;8(3):209-21.
37. EPA. Ambient Water Quality Criteria for Ammonia US Environmental Protection Agency, 1985.
38. Kipkemboi J, Kilonzi CM, Dam AA, Kitika N, Mathooko JM, Denny P. Enhancing the fish production potential of lake Victoria papyrus wetland, Kenya, using seasonal flood-dependent ponds. *Wetland Ecol Manage*. 2010;18:471-83.
39. Touchart L, Bartout P, editors. THERMOCLINE IN POND: A NEW TYPOLOGY BY THE STUDY OF CONTINUOUS WATER TEMPERATURE MEASUREMENTS. *Water resource and wetlands*; 2012 14-16 September 2012; Tulcea-Romania.
40. Boontanjai CD. Algal growth control in solar pond. *KKU Engineering Journal*. 1989;16(1-8):90-7.
41. Sriyasak P, Chitmanat C, Whangchai N, Promya J, Lebel L. Effects of Temperature upon Water Turnover in Fish Ponds in Northern Thailand. *International Journal of Geoscience*. 2013;4(5B):18-23.
42. Janjai S, Wattan R. Development of a model for the estimation of photosynthetically active radiation from geostationary satellite data in a tropical environment. *Remote Sensing of Environment*. 2011;115:1680-93.
43. Hobday J, Alistair, Poloczanska S, Elvira, Matear J, Richard. Implications of Climate Change for Australian Fisheries and Aquaculture: a preliminary assessment. Report to the Department of Climate Change, Canberra, Australia. 2008.
44. Choncheunchop p, Chouysurin T. Climatic condition and water quality that influenced the coastal aquaculture activity in BanDon bay, Suratthani province during 1996 - 1997 In: Fisheries Do, editor. Bangkok: Department of Fisheries 2003. p. 19.
45. Havanon V, Praiphanapong S. Effect of salinity on growth and survival of mud crab (*Scylla Olovecea* Herbst, 1776): Coastal Fisheries Research and Development Bureau, Department of Fisheries; 2003. 18 p.
46. Rodrigo PB, Whangchai N. Effect of culture season and stocking density on the growth and production of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man). *Journal of Fisheries Technology Research*. 2009;3(1):75-83.



47. Dampin N, Tarnchalanukit W, Chunkao K, Maleewong M. Fish Growth Model for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Wastewater Oxidation Pond, Thailand. *Procedia Environmental Sciences*. 2012;13(0):513-24.
48. Hauser WJ. Temperature requirement of tilapia. *Calif Fish Game* 1977;63(4):228-33.
49. Limsuwan C, Wongmaneeprateep S, Prasertsri S, Limhang K, Wiriyapattanasub P, Laisuisan K, et al., editors. Effect of temperature on feed intake, growth, survival rate and water qualities in rearing of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Proceedings of 48<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference: Fisheries 2010 3-5 February 2010; Bangkok, Thailand. Thai.*
50. Karvonen A, Rintamaki P, Jokela J, Valtonen ET. Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *International Journal for Parasitology*. 2010;10(2010):1483-8.
51. Choncheunchop p, Praiphanaopng V, Saovanit V, Boonarkat S, Headrak S. Variation of water quality and disease occurrence in cage cultured grouper in Kapur bay, Ranong province Bangkok: Department of Fisheries; 1997. p. 21. Thai.
52. Dhanayadol Y, Aurairasit J. Effects of Temperature changing on immune response in brown-marbled grouper and silver perch Coastal Fisheries Research and Development Bureau, Department of Fisheries; 2001. Thai.
53. Yi Y. A Biogenergetics Growth Model for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Based on Limiting Nutrients and Fish Standing Crop in Fertilized Pond. *Aquaculture Engineering* 1998;18(3):157-73.
54. Mwegoha W. J. S. , Kaseva M. E. , Sabai S. M. M. . Mathematical modeling of dissolved oxygen in fish ponds. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2010;4(September):625-38.
55. Culberson SD, Piedrahita RH. Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction-mechanism and application. *Ecological Modelling*. 1996;89:231-58.
56. Chapelle A, Menesgue A, Ddeslous JS, Mazouni N, Vaquer A, Millet B. Modeling nitrogen, primary production and oxygen in a Mediterranean lagoon. *Ecological Model*. 1999;127(2-3):161-81.
57. kayombo S, Mbwette T, Mayo AJS. Modeling of diurnal variation of dissolved oxygen in waste stabilization ponds. *Ecological Model*. 1999;12:21-31.
58. Coggins GLJ, Pine EW. Development of a Temperature-Dependent Growth Model for the Endangered Humpback Chub Using Capture-Recapture Data. *The Open Fish Science Journal*. 2010;3:122-31.
59. Berthou EG, Catot GC, Merciai R, Ogle DH. A technical note on seasonal growth models. *Rev Fish Biol Fisheries*. 2012;22:635-40.
60. Whitledge GWB, Przemyslaw G., Hayward RS. Improvement of Bioenergetics Model Predictions for Fish Undergoing Compensatory Growth. 2006.
61. Katsanevakis S, Maravelias CD. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *FISH and FISHERIES*. 2008;9:178-87.
62. Franco AR, Ferreira JG, Nobre AM. Development of a growth model for penaeid shrimp. *Aquaculture*. 2006;259:268-77.