บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ค่ามอร์โฟเมทริกส์ด้วยวิธีการทางมอร์โฟเมทริกส์เชิงพหุและเชิงเรขาคณิต

จากการศึกษาลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของปลาสกุลปลาช่อนจำนวน 3 ชนิด คือ ปลาช่อน *C. striata* จำนวน 3 กลุ่มประชากร ปลาก้าง *C. gachua* จำนวน 3 กลุ่มประชากร และปลากระสง *C. lucius* จำนวน 2 กลุ่มประชากร ด้วยวิธีการมอร์โฟเมทริกส์เชิงพหุแบบเทคนิคระบบเครือข่ายโครงยึด (truss network system, TNS) และวิธีการมอร์โฟเมทริกส์เชิงเรขาคณิตแบบเทคนิคการวิเคราะห์ธินเพลทสไปล์น (thin-plate spline analysis, TPS) พบว่า ทั้งสองเทคนิคให้ผลสอดคล้องในแนวเดียวกัน โดยปรากฏรูปแบบของลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแต่ละชนิดและกลุ่มประชากรที่คล้ายกันในการวิเคราะห์ด้วยทั้งสองเทคนิค แต่ก็พบว่า ผลการวิเคราะห์จากทั้งสองเทคนิคมีการแปลผลที่ขัดแย้งกัน (inconsistent interpretation) อยู่บางประการ ทำให้เกิดภาวะความแตกต่างในสิ่งที่ควรเหมือนกัน (discrepancies) ของบางลักษณะ เช่น เทคนิค TNS ให้ผลที่แสดงให้เห็นว่าปลาช่อน *C. striata* มีความยาวขากรรไกรล่างมากกว่าปลาก้าง *C. gachua* แต่ผลจากเทคนิค TPS กลับแปลผลได้ว่า ปลาช่อน *C. striata* มีความยาวขากรรไกรล่างน้อยกว่าปลาก้าง *C. gachua* และจากการวิเคราะห์จำแนกและระบุชนิดและกลุ่มประชากร โดยใช้ข้อมูลมอร์โฟเมทริกส์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TNS และเทคนิค TPS พบว่า ความสามารถในการจำแนกและระบุกลุ่มตัวอย่างของสองเทคนิคดังกล่าวมีความแตกต่างกัน โดยเทคนิค TNS มีความสามารถต่ำกว่าเทคนิค TPS โดยไม่สามารถจำแนกกลุ่มตัวอย่างออกจากกันได้อย่างชัดเจน และมีความถูกต้องในการระบุกลุ่มน้อยกว่าเทคนิค TPS โดยเฉพาะการจำแนกและระบุในระดับกลุ่มประชากร

ความแตกต่างและความขัดแย้งของการแปลผล ตลอดจนประสิทธิภาพในการจำแนกและระบุกลุ่มตัวอย่างจากการวิเคราะห์ด้วยสองเทคนิคดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยหลายประการ ซึ่งพอจะสรุปได้ ดังนี้

ความแตกต่างกันของหลักเกณฑ์พื้นฐาน (basic criteria) ของเทคนิค TNS และ TPS ถือเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยา เนื่องจากเทคนิค TNS เป็นการวัดระยะทางเชิงเส้นตรงระหว่างจุดกำหนดเพื่อแสดงข้อมูลรูปร่างในเชิงปริมาณ (Struss and Bookstein, 1982; Lestrel, 2000; Parsons *et al.*, 2003) ส่วนเทคนิค TPS เป็นการแสดงข้อมูลรูปร่างด้วยการวิเคราะห์ตำแหน่งสัมพัทธ์ของพิกัดจุดกำหนดด้วยวิธีการทางเรขาคณิต (Bookstein, 1991; Lestrel, 2000; Parsons *et al.*, 2003; Albertson and Kocher, 2010) ข้อแตกต่างของหลักในการเก็บข้อมูลรูปร่างข้างต้นจะทำให้ได้ข้อมูลรูปร่างที่แตกต่างกันทั้งในด้านของจำนวนตัวแปรหรือปริมาณของข้อมูล และความสามารถในการอธิบายถึงรูปร่างหรือคุณภาพของข้อมูล ซึ่งมีผลต่อความแกร่งทางสถิติ (statistical strength) ซึ่งจะส่งผลต่อการแปลความหมายของความแปรผัน (variation interpretation) และอำนาจทางสถิติ (statistical power) ในการจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาระหว่างกลุ่มตัวอย่าง (Loy *et al.*, 2000; Rohlf, 2000)

ปริมาณและคุณภาพของข้อมูลรูปร่างมีผลทำให้เกิดความแตกต่างของผลการศึกษา (Shinn *et al.*, 2000) เนื่องจากในการวิเคราะห์ผลทางมอร์โฟเมทริกส์นั้นต้องอาศัยหลักการทางสถิติเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และการวิเคราะห์จัดจำแนกกลุ่ม (DFA) โดยที่หลักการของ PCA เป็นการจัดกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันรวมไว้ด้วยกัน และทำการวิเคราะห์อิทธิพลของกลุ่มตัวแปรที่มีต่อกลุ่มตัวอย่าง ส่วน DFA เป็นการวิเคราะห์โดยการรวมตัวแปรที่ทำให้สามารถจำแนกกลุ่มตัวอย่างออกจากกันได้มากที่สุด โดยไม่สนใจว่าตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ (Reyment, 1985; Rohlf, 1990; MacGarigal *et al.*, 2000; Johnson and Wichern, 2007) ผลจากการวิเคราะห์ด้วยทั้งสองวิธีดังกล่าวมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับตัวแปรหรือข้อมูลที่นำเข้าในการวิเคราะห์ ดังนั้นปริมาณและคุณภาพของตัวแปรที่นำเข้าย่อมมีผลต่อการวิเคราะห์ทั้งในแง่ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและอำนาจการจำแนกทางสถิติของตัวแปร

โดยทั่วไปแล้ว วิธีการมอร์โฟเมทริกส์เชิงเรขาคณิตมีความแกร่งและอำนาจทางสถิติสูงกว่าวิธีการมอร์โฟเมทริกส์แบบดั้งเดิมมาก (Rohlf, 2000; Van Bocxclaer and Schultheiß, 2010) ซึ่งจากการศึกษาเพื่อระบุชนิดและกลุ่มประชากรของปลา *Amphilophus citrinellus* และ *A. zaliosus* (Parsons *et al.*, 2003) พบว่า เทคนิค TNS มีอำนาจในการจำแนกและมีความถูกต้องของการระบุน้อยกว่าเทคนิค TPS โดยเทคนิค TNS สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างชนิดได้ แต่ไม่สามารถแยกกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะก้ำกึ่ง (intermediate) ระหว่างสองชนิดออกจากกันได้ ในขณะที่ เทคนิค TPS สามารถแยกตัวอย่างทั้งสองชนิดและรูปแบบที่ก้ำกึ่งระหว่างสองชนิดออกจากกันได้ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีที่ใช้ในการแปลงค่าข้อมูลตัวแปร TNS มีผลทำให้ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มมีความแตกต่างกันด้วย และในการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องกับแบบวิธีการกินอาหาร (feeding mode) ของซาลาแมนเดอร์สกุล *Plethodon* จำนวน 2 ชนิด คือ *P. cinereus* และ *P. hoffmani* ที่มีแหล่งอาศัยทั้งที่แยกกัน (allopatric populations) และซ้อนทับกัน (sympatric populations) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางมอร์โฟเมทริกส์ โดยใช้เทคนิคการวัดเชิงเส้นทั่วไป (linear measurement) และเทคนิค TPS (Adams and Rohlf, 2000) พบว่าทั้งสองวิธีสามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะสัณฐานวิทยาที่มีความสัมพันธ์การกินอาหาร แต่เทคนิค TPS ให้ผลที่ดีกว่า

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการวิเคราะห์ทางมอร์โฟเมทริกส์ คือ ความสัมพันธ์ของตัวแปรมอร์โฟเมทริกส์กับขนาดร่างกาย (body size) ทั้งนี้เนื่องจาก การวิเคราะห์มอร์โฟเมทริกส์มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความแปรผันของรูปร่าง (shape variation) โดยไม่ได้สนใจความแปรผันของขนาดร่างกาย (size variation) แต่โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลรูปร่างที่ได้จากเทคนิค TNS มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดร่างกาย (Bookstein, 1985; Rohlf, 1990; Lestrel, 2000) ซึ่งต้องกำจัดความแปรผันเนื่องจากอิทธิพลของขนาดร่างกายออกก่อนทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ทั้งนี้มีวิธีการกำจัดความแปรผันของขนาดร่างกายออกจากตัวแปร TNS มีหลายวิธี ทั้งนี้แต่ละวิธีจะให้ค่าคาดหมายเกี่ยวกับรูปร่าง (estimated-shape information) ที่แตกต่างกัน และอาจมีความแปรผันของขนาดร่างกายที่กำจัดออกไม่หมดและ/หรือ มีความแปรผันของรูปร่างถูกกำจัดออกไปด้วย (Parsons *et al.*, 2003) ในขณะที่ เทคนิค TPS เป็นวิธีการมอร์โฟเมทริกส์เชิงเรขาคณิตที่เป็นการวิเคราะห์เฉพาะความแปรผันของรูปร่าง โดยไม่มีความแปรผันของขนาดร่างกายมาเกี่ยวข้อง เนื่องจากปัจจัยของขนาดทั้งที่เกี่ยวกับตำแหน่ง มาตราส่วน และทิศทาง ถูกกำจัดออกไปจากข้อมูลหมดแล้ว (Bookstein, 1985; Dryden and Mardia, 1998; Parsons *et al.*, 2003; Zelditch *et al.*, 2004) ดังนั้นเทคนิค TPS จึงมีความสามารถในการอธิบายถึงข้อมูลรูปร่างที่แท้จริงได้ดีกว่าเทคนิค TNS

อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของความแปรปรวนของขนาดยังเป็นประเด็นที่ต้องคำนึงถึงเมื่อประยุกต์ใช้วิธีการทางมอร์โฟเมทริกส์ในการศึกษาความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในแง่ของสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่หรือการศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการ ซึ่ง Swain and Foote (1999) เสนอแนะว่า ขนาดของร่างกายไม่ควรจัดเป็นองค์ประกอบรบกวน (noise component) แต่ควรจัดเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องทำการวิเคราะห์ด้วย เห็นได้จากการศึกษาในครั้งนี้ที่ถึงแม้จะเป็นการศึกษาเฉพาะประเด็นของความแตกต่างของรูปร่าง แต่ ภาวะแตกต่างของสิ่งที่ควรจะเหมือนกันนั้นเป็นผลจากการเปรียบเทียบขนาดเชิงสัมพัทธ์ (relative size) ของลักษณะทางสัณฐานวิทยาระหว่างกลุ่มตัวอย่าง สอดคล้องกับการศึกษาของ Jørgensen *et al.* (2008) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานวิทยาของปลา *Clupea harengus* กับปัจจัยทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมของแหล่งอาศัย ซึ่งพบว่าการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาโดยกำจัดและไม่กำจัดความแปรปรวนของขนาดร่างกายออกจากข้อมูลรูปร่างแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาแตกต่างกัน โดยลักษณะสัณฐานวิทยาที่กำจัดความแปรปรวนของขนาดร่างกายออกไปมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างทางพันธุกรรม แต่ลักษณะสัณฐานวิทยาที่ไม่ได้กำจัดความแปรปรวนของขนาดร่างกายออกไปมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของปัจจัยสิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นว่าความแปรผันของรูปร่างถูกควบคุมอย่างรุนแรงโดยปัจจัยทางด้านพันธุกรรม แต่ความแปรผันของขนาดร่างกายเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (plastic response) เพื่อตอบสนองต่อความแตกต่างของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม และในการศึกษาของ Marroig (2007) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับชีวประวัติและวิวัฒนาการเชิงสัณฐานวิทยาของลิงสกุล *Cebus* และสกุล *Saimiri* ด้วยวิธีการทางมอร์โฟเมทริกส์ พบว่า ลิงทั้งสองสกุลมีรูปแบบอัลโลเมทรี (alometric pattern) ที่คล้ายกัน และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาพบว่า ลิงทั้งสองชนิดมีความแตกต่างของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำจัดความแปรปรวนของขนาดร่างกายออกอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ไม่ได้กำจัดความแปรปรวนของขนาดร่างกายออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความสามารถในการอธิบายถึงข้อมูลของแต่ละเทคนิคเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ความแปรผันของรูปร่างเป็นลักษณะที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยเทคนิคการกำหนดจุดกำหนด ไม่ว่าจะเป็นการวัดค่าระยะห่างระหว่างจุดกำหนด หรือการวัดการเปลี่ยนแปลงของพิกัดจุดกำหนด ซึ่งจะทำให้การประเมินและวิเคราะห์ความแปรผันของรูปร่างเป็นไปได้ยาก หรือมีความผิดพลาดได้ เช่น ในการพิจารณาเกี่ยวกับความลึกร่างกายสูงสุด (maximum body depth) ถ้าหากลักษณะดังกล่าวไม่สามารถกำหนดได้ด้วยจุดกำหนดที่เป็นจุดคู่เหมือน จะทำให้การแปลความหมายผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้ (Parsons *et al.*, 2003) ซึ่งเทคนิค TNS มีข้อด้อยตรงที่ไม่สามารถจำแนกความแตกต่างรูปร่างที่สมนัยกันได้ เนื่องจาก เทคนิค TNS ไม่สามารถอธิบายหรือแสดงถึงข้อมูลรูปร่างเชิงเรขาคณิตได้ เพราะข้อมูลจะอยู่ในรูปของระยะทาง มุม หรือสัดส่วนความยาว (Turan, 1999; Parsons *et al.*, 2003) ตัวอย่างเช่น ความยาวสูงสุดของรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานอาจมีค่าเท่ากับความกว้างสูงสุดของรูปสามเหลี่ยม ซึ่งจะทำให้ชุดของค่าตัวแปร TNS ที่เหมือนกัน (identical set of variables) ซึ่งในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ชุดตัวแปรดังกล่าวจะถูกจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน ทั้งที่อธิบายถึงลักษณะที่แตกต่างหรือไม่มีความสัมพันธ์เลย หรือในการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม ค่าตัวแปรทั้งสองค่าจะถูกถ่วงน้ำหนักด้วยค่าหลักเกณฑ์ความเหมาะสม (optimization criteria) ที่เท่ากัน ทำให้การจัดจำแนกกลุ่มมีความผิดพลาดได้ (Parsons *et al.*, 2003)

ปริมาณของข้อมูลเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยา โดยมีความสัมพันธ์ความสามารถในการอธิบายถึงข้อมูลรูปร่าง เช่น ในการศึกษาความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของปลา *Mugil cerema* ที่อาศัยในมหาสมุทรแอตแลนติกและมหาสมุทรแปซิฟิก (Ibánez-Aguirre *et al.*, 2006) ด้วยการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโดยใช้ลักษณะทางมอร์โฟเมทริกส์จำนวน 9 ลักษณะ พบว่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกกลุ่มเท่ากับร้อยละ 95.16 และเมื่อดึงลักษณะที่มีอำนาจการจำแนกสูงออกไป ทำให้เหลือตัวแปรที่ใช้ในการจำแนกเพียง 8 ลักษณะ พบว่า ความถูกต้องโดยรวมของจำแนกกลุ่มลดลงเหลือเพียงร้อยละ 84.82 นอกจากนี้ในการศึกษาของ Kartavsev *et al.* (2008) พบว่า ความแตกต่างของปลา *Clupea pallasii* โดยใช้ตัวแปรดัชนีส่วนร่างกาย เมื่อทำการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโดยใช้ตัวแปรดัชนีจำนวน 9 ตัวแปร สามารถจำแนกกลุ่มประชากรได้ถูกต้องร้อยละ 87.8 และเมื่อเพิ่มตัวแปรดัชนีเป็น 13 ตัวแปร ทำให้ได้ค่าถูกต้องโดยรวมของจำแนกกลุ่มประชากรเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 94 อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า จำนวนของตัวแปรไม่ใช่ปัจจัยที่แสดงถึงความแกร่งทางสถิติของเทคนิค TNS และ TPS ได้ เนื่องจากจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาด้วยเทคนิค TNS มีจำนวนมากกว่าการศึกษาด้วยเทคนิค TPS (เทคนิค TNS มีตัวแปรทั้งหมด 24 ตัวแปร ส่วนเทคนิค TPS มีตัวแปรทั้งหมด 20 ตัวแปร) แต่ก็พบว่า เทคนิค TNS มีความแกร่งและอำนาจทางสถิติน้อยกว่าเทคนิค TPS เป็นอย่างมาก ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Misra and Easton (1999) ที่พบว่าการวิเคราะห์โดยใช้จำนวนตัวแปรที่มากไม่ได้ให้ผลทางสถิติที่ดีกว่าการใช้จำนวนตัวแปรน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก หากตัวแปรที่นำเข้ามีความสัมพันธ์กันเอง (multicolinearity) หรือไม่ได้เป็นตัวแปรที่แสดงถึงข้อมูลรูปร่างจะทำให้ได้ผลที่ไม่ใช่ความจริง (artifact result)

ถึงแม้ว่า การศึกษาด้วยเทคนิค TPS จะนำเสนอลักษณะและความแตกต่างแปรผันของรูปร่างในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ง่ายต่อการเข้าใจ และแสดงการวิเคราะห์แบบรูปร่างกาย (body form) ให้เรียบร้อย แต่ Schlichting and Pigliucci (1998) ให้ความเห็นว่า ผลที่ได้จากเทคนิค TPS ยากต่อการแปลผลเพื่ออธิบายถึงลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ ลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงนิเวศ และวิวัฒนาการชาติพันธุ์ เพราะไม่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเฉพาะตำแหน่ง (localized shape change) ให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณของลักษณะที่สามารถเปรียบเทียบกันได้เหมือนกับเทคนิค TNS เนื่องจากหลักการทั่วไปของการศึกษาในประเด็นดังกล่าว โดยเฉพาะในการศึกษาเกี่ยวกับสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่จะให้ความสนใจเกี่ยวกับขนาด (ความยาว และ/หรือ ความกว้าง) ของลักษณะที่จำเพาะไม่กี่ลักษณะ เพื่อทดสอบเชิงปริมาณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแบบรูปร่างกายและการทำงาน (function) โดยอาศัยหลักการที่ว่าสิ่งที่ซับซ้อนสามารถถูกอธิบายได้ด้วยส่วนย่อยที่ไม่ซับซ้อน (reductionist) ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการนำเสนอความแปรผันเชิงประมาณ แต่ทำให้เข้าใจเกี่ยวกับระบบซับซ้อน (complex system) และเชื่อมโยงลักษณะทางสัณฐานวิทยากับการทำงานเชิงหน้าที่ได้

อย่างไรก็ตาม Albertson and Kocher (2001) และ Rúber and Adams (2001) ให้ความเห็นแย้งที่ตรงกันว่าความเข้าใจเกี่ยวกับรูปร่างร่างกายเป็นหลักการพื้นฐานทางเรขาคณิต ดังนั้นเทคนิค TPS ซึ่งเป็นวิธีการทางเรขาคณิตน่าจะช่วยในการศึกษาได้ดีกว่าเทคนิค TNS อีกทั้ง Adams (1999) ยังเสนอว่า ข้อจำกัดของการใช้เทคนิค TNS ในการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ขึ้นอยู่กับการรวมตัวแปรมอร์โฟเมทริกส์ที่เหมาะสมเข้าด้วยกันและต้องคาดการณ์ไว้ก่อนโดยอาศัยหลักการเชื่อมโยงจากเหตุไปหาผล (*a priori*)

สำหรับในประเด็นของการเลือกใช้เทคนิคทางมอร์โฟเมทริกส์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ ลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงนิเวศ และวิวัฒนาการชาติพันธุ์นี้ จากผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นอย่างค่อนข้างชัดเจนว่า เทคนิค TNS และเทคนิค TPS ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด ทั้งนี้ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ทั้งสองเทคนิคแสดงให้เห็นลักษณะที่อธิบายถึงความแตกต่างของประเด็นดังกล่าวในลักษณะเดียวกัน แต่อาจมีความแตกต่างกันในแง่ของรูปแบบการนำเสนอผล ซึ่งเทคนิค TNS แสดงปริมาณความแตกต่างในเชิงปริมาณของแต่ละลักษณะได้ดีกว่า แต่มีข้อด้อยเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าซ้ำ และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์มีอิทธิพลต่อการแปรความหมายค่อนข้างสูง โดยที่ตัวแปรบางตัวไม่ได้บ่งชี้หรือมีความสัมพันธ์กับลักษณะการปรับตัวทางสัณฐานที่แท้จริง ขณะที่ถึงแม้ว่า เทคนิค TPS จะแสดงให้เห็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาในภาพรวมและไม่สามารถแสดงลักษณะเชิงปริมาณของเฉพาะจุดได้ แต่จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ลักษณะภาพรวมที่ได้แสดงให้เห็นถึงข้อมูลของลักษณะสัณฐานวิทยาเฉพาะจุด และสามารถแสดงถึงความแตกต่างแปรผันระหว่างชนิดและกลุ่มประชากรที่ง่ายต่อการเข้าใจมากกว่า แต่อาจมีความยุ่งยากในการเปรียบเทียบในเชิงปริมาณ ดังนั้น จึงอาจสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้เทคนิคหรือวิธีการทางมอร์โฟเมทริกส์น่าจะเป็นประเด็นเกี่ยวกับลักษณะหรือรูปร่างของตัวอย่าง ความเหมาะสมของเทคนิคในการเก็บข้อมูลรูปร่าง ตลอดจนการคัดเลือกตัวแปรลักษณะที่สามารถบ่งชี้ถึงหน้าที่ การปรับตัวเชิงนิเวศ และวิวัฒนาการชาติพันธุ์ของกลุ่มตัวอย่างนั้น ๆ ได้อย่างแท้จริง

2. ลักษณะสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิด

การศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิดของปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดด้วยเทคนิค TNS และ TPS พบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่จำเพาะของแต่ละชนิด และพบความแตกต่างกันของลักษณะทางสัณฐานวิทยาระหว่างทั้งสามชนิด โดยพบความแปรผันและความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง

ความแปรผันและความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิดเกี่ยวเนื่องกับรูปแบบการดำรงชีวิตและความสอดคล้องเหมาะสมกับแหล่งอาศัย เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่รอดและสามารถแก่งแย่งแข่งขันในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในแหล่งอาศัยให้ได้อย่างสูงสุด (Smith and skúlason, 1996; Albertson and Kocher, 2001; Andresson, 2003) โดยแสดงถึงลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการหาอาหาร (feeding morphology) และการเคลื่อนที่หรือการว่ายน้ำ (swimming morphology) โดยปัจจัยด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการหาอาหาร ประกอบด้วย รูปแบบการหาอาหาร ชนิด ขนาด และความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (Gatz, 1979; Turan, 2005; Currens *et al.*, 1989; Wooton, 1990; Albertson and Kocher, 2001, Langerhans *et al.*, 2003) และปัจจัยด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในเคลื่อนที่หรือการว่ายน้ำ ประกอบด้วย รูปแบบของการว่ายน้ำ (swimming maneuverability) ความสามารถในการเร่งความเร็วของการว่ายน้ำ (swimming acceleration) และพลังงานที่ใช้ในการว่ายน้ำ (energetic cost) (Webb, 1984; Webb and Weihs, 1986; Cusacc *et al.*, 1998; Boily and Magnan, 2002) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการหาอาหารอีกทอดหนึ่ง (Colins and Check, 1983; Webb, 1984; Cussac *et al.*, 1998; Andersson, 2003)

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปลาช่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* มีส่วนหัวตอนหน้า โดยเฉพาะขากรรไกรล่างขนาดใหญ่ ขณะที่ปลากระสง *C. lucius* มีส่วนหัวตอนหน้าเล็กและขากรรไกรล่างสั้น ลักษณะดังกล่าวแสดงถึงความแตกต่างกันในด้านขององค์ประกอบของอาหาร (Wooton, 1990; Albertson and Kocher, 2001) และขนาดของอาหาร (Gatz, 1979; Turan, 2005) โดยบ่งชี้ว่า ปลาช่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* กินอาหารที่มีขนาดใหญ่กว่าปลากระสง *C. lucius* เนื่องจากการมีหัวส่วนหน้าขนาดใหญ่จะทำให้มีช่องปาก (buccal cavity) ขนาดใหญ่ และอ้าปากได้กว้าง ทำให้สามารถกินเหยื่อที่มีขนาดใหญ่ได้ (Gatz, 1979; Herler *et al.*, 2010) นอกจากนี้ ขนาดของขากรรไกรล่างยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณและขนาดของมัดกล้ามเนื้อที่มายึดเกาะกับกระดูกขากรรไกร การมีขากรรไกรล่างยาวจะทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของมัดกล้ามเนื้อมากขึ้น ช่วยเพิ่มแรงในการกัดเหยื่อให้สูงขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับพฤติกรรมการกินอาหารของปลาทั้งสามชนิด ที่ถึงแม้ว่าเป็นพวกที่กินเนื้อเป็นอาหารเหมือนกัน แต่ก็มีความแตกต่างกันในเรื่องของชนิดและขนาดของอาหาร โดยปลาช่อน *C. striata* (Conlu, 1986, Jhingson, 1984; Dasgupta, 2000) และปลาก้าง *C. gachua* (Lim and Ng, 1990; Countnay and Williams, 2004) กินอาหารที่หลากหลายและมีขนาดใหญ่ เช่น แมลงน้ำ ลูกปลา ปลาขนาดเล็ก แมลงน้ำ ลูกอ๊อด เขียด และสัตว์กลุ่มครัสเตเชียน ส่วนอาหารของปลากระสง *C. lucius* กินอาหารที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก ได้แก่ แพลงก์ตอนสัตว์ ลูกกุ้ง และลูกปลาขนาดเล็ก (Rainboth, 1996; Countnay and Williams, 2004)

ขนาดของหัวตอนหน้ายังสัมพันธ์กับตำแหน่งของตา (eye position) ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการดำรงชีวิตในแหล่งอาศัยและรูปแบบการหาอาหาร การมีหัวตอนหน้าขนาดใหญ่จะทำให้ระยะห่างระหว่างตาทั้งสองข้าง (inter-orbital distance) มาก ทำให้ตำแหน่งของตาถูกขยายตำแหน่งไปอยู่บริเวณด้านข้างของหัวมากขึ้น ส่งผลให้มีการมองเห็นในแนวลงด้านล่างลำตัว (down-looking) ได้ดี ส่วนการมีหัวขนาดเล็กจะทำให้ระยะห่างระหว่างตาทั้งสองข้างน้อย และทำให้ตำแหน่งของตาเลื่อนขึ้นไปทางด้านบนของหัวมากกว่า ส่งผลให้มีการมองเห็นในแนวขึ้นด้านบนลำตัว (up-looking) ได้ดี (Page and Swofford, 1984; Bronte *et al.*, 1999) สอดคล้องกับพฤติกรรมการดำรงชีวิตในแหล่งอาศัยของปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด ที่ปลาช่อน *C. striata* อาศัยอยู่ในบริเวณที่น้ำมีความลึกน้อย (Moshin and Ambak, 1983; Lim and Ng, 1990; Lee and Ng, 1991; Countnay and Williams, 2004) และส่วนมากอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีความลึกไม่เกิน 1 เมตร (Lim and Ng, 1990) ส่วนปลาก้าง *C. gachua* เป็นชนิดที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีความลึกของน้ำน้อยเช่นเดียวกัน (Petthiyagoda, 1991; Countnay and Williams, 2004) และส่วนมากพบในลำธารบนภูเขาหรือในป่า (Lim *et al.*, 1990; Kottelat, 1990; Kotelat, 2001) ซึ่งในฤดูแล้งไม่มีน้ำหรือน้ำเหลืออยู่น้อยมาก จึงมีพฤติกรรมการอาศัยและการหาอาหารอยู่ที่บริเวณพื้นท้องน้ำเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น การมีส่วนหัวขนาดใหญ่ซึ่งทำให้การมองเห็นบริเวณพื้นท้องน้ำได้ดี ขณะที่ปลากระสง *C. lucius* เป็นชนิดที่พบและอาศัยอยู่ในบริเวณที่น้ำมีความลึกค่อนข้างมาก (Lim and Ng, 1990; Lee and Ng, 1994; Kottelat, 2001; Countnay and Williams, 2004) และมีพฤติกรรมการหาอาหารทั้งบริเวณพื้นท้องน้ำ กลางน้ำ และผิวน้ำ แต่โดยส่วนมากจะอาศัยหรือหลบซ่อนอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ (Lee and Ng, 1994) ดังนั้น การมีส่วนหัวขนาดเล็กจะช่วยในการมองเห็นในแนวขึ้นข้างบน ซึ่งสอดคล้องเหมาะสมกับพฤติกรรมการหาอาหารบริเวณกลางน้ำและผิวน้ำ

การที่ปลากระสง *C. lucius* มีความยาวของหัวมาก แต่มีความลึกของหัวส่วนท้ายน้อย และมีขากรรไกรยื่นยาวไปข้างหน้า เป็นลักษณะที่สอดคล้องกับการพฤติกรรมการกินอาหารพวกแพลงก์ตอน (planktivorous

feeding) ปลาและแมลงน้ำขนาดเล็ก (piscivorous feeding) (Norton, 1995; Chininsky *et al.*, 2010) เนื่องจากลักษณะของหัวที่เรียวยาวจะช่วยลดแรงดึง (drag force) ของน้ำระหว่างการว่ายน้ำหรือระหว่างการพุ่ง และการยื่นยาวของปากจะช่วยในการพุ่งโจมตีเหยื่อ (ambrush feeder) ได้ดี (Skulason *et al.*, 1999; Culen *et al.*, 2007) นอกจากนี้ การยื่นยาวของขากรรไกรยังมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสิ่งปกคลุมในแหล่งอาศัย เพราะน่าจะช่วยให้การพุ่งโจมตีเหยื่อได้ดี ดังเช่น ในการศึกษาของ Cochran-Biederman and Winemiller (2010) ที่รายงานว่า ปลาชนิด *Pletenia splendida* แยกออกจากชนิดอื่นในสกุลเดียวกันด้วยการมีส่วนปากและขากรรไกรยื่นยาว ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับแหล่งอาศัยที่มีความหนาแน่นของพืชใต้น้ำ (submerged tree) และหินขนาดใหญ่ (boulder)

ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนลำตัวและหางเป็นลักษณะที่มีผลต่อความสามารถในการว่ายน้ำหรือเคลื่อนที่ของปลา ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปลาซ่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* มีความลึกลำตัว ความยาวครีบก้น และขนาดคอดหางน้อยกว่าปลากระสง *C. lucius* แต่มีความยาวของลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบปกคลุม โดยเฉพาะความยาวส่วนท้องมากกว่าปลากระสง *C. lucius*

ความลึกลำตัวมีผลต่อแรงดึงของน้ำในระหว่างการว่ายน้ำ (Webb, 1984; Webb and Weihs, 1986) การมีลำตัวที่มีความลึกน้อย (shallow body) จะทำให้แรงดึงของน้ำในขณะว่ายน้ำน้อย ทำให้สูญเสียพลังงานในการว่ายน้ำน้อย (Bourke *et al.*, 1997; Dynes *et al.*, 1999) ขณะที่การมีความลึกลำตัวมาก (deep body) จะทำให้แรงต้านของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สูญเสียพลังงานในการว่ายน้ำมาก ทำให้ว่ายน้ำได้ช้ากว่าการพวกที่มีลำตัวตื้น (Pettersson and Brönmark, 1997, 1999; Chivers *et al.*, 2008)

อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของความลึกลำตัวระหว่างตัวอย่างปลาทั้งสามชนิดในการศึกษาครั้งนี้ ไม่น่าจะมีผลทำให้แรงดึงของน้ำในระหว่างการว่ายน้ำแตกต่างกันมากนัก เพราะปลาทั้งสามชนิดมีรูปแบบโดยรวมของร่างกายเป็นแบบเรียวยาว (elongate) เหมือนกัน และความลึกลำตัวที่ไม่ได้แตกต่างกันมาก แต่ความแตกต่างของความลึกลำตัวน่าจะเกี่ยวข้องกับรูปแบบการว่ายน้ำเพื่อการหาอาหารและสภาพของแหล่งอาศัย โดยการมีความลึกลำตัวมากจะทำให้มีปริมาณของมวลกล้ามเนื้อ (muscular mass) ของร่างกายมาก ส่งผลให้มีแรงผลักในการเคลื่อนที่มาก (Videler, 1993; Webb and Gardiner-Fairchild, 2001; Rouleu *et al.*, 2010) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเคลื่อนที่ในมวลของน้ำ (water column) นอกจากนี้ การมีคอดหางขนาดใหญ่โดยเฉพาะการมีความลึกของคอดหางมาก แสดงถึงการว่ายน้ำแบบความเร็วต่ำ (cruising speed) ซึ่งจะทำให้ว่ายน้ำได้ไกลขึ้น (Webb, 1984; Webb and Weihs, 1986; Sambilay *et al.*, 2005; Fisher *et al.*, 2005) และยังทำให้สามารถว่ายน้ำแบบพุ่งด้วยความเร็วสูงในระยะสั้น (sprint swimming) ได้ดี (Webb, 1984) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพุ่งโจมตีเหยื่อและการป้องกันอาณาเขต (Blake, 2005) ดังนั้น การที่ปลากระสง *C. lucius* มีความลึกลำตัวมากและมีคอดหางขนาดใหญ่ จึงเป็นลักษณะที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการหาอาหารบริเวณกลางน้ำและผิวน้ำ เพื่อให้สามารถว่ายน้ำได้นาน และสามารถเร่งความเร็วเพื่อโจมตีเหยื่อได้อย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับการรายงานของ Blake *et al.* (2005) ที่พบว่าปลาที่หากินบริเวณผิวน้ำหรือกลางน้ำ (limnatic zone) มีความทนทานในการว่ายน้ำมากกว่าพวกที่หากินบริเวณพื้นท้องน้ำ (benthic zone) เนื่องจากการหาอาหารในน้ำต้องอาศัยความสามารถในการว่ายน้ำได้เป็นเวลานานเพื่อที่จะได้มีอาณาเขตการหาอาหารไกล นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการอาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยที่มีพืชขึ้นปกคลุม

หนาแน่น (Chinsky *et al.*, 2010) โดยเกี่ยวกับการว่ายน้ำแบบพุ่งในช่วงสั้น ๆ โดยอาศัยความซับซ้อนของโครงสร้างในแหล่งอาศัยเป็นเครื่องกำบังตัว

การที่ปลาช่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* มีส่วนท้องที่ไม่มีครีบปกคลุมยาว แต่มีครีบก้นสั้น ส่วนปลากระสง *C. lucius* มีส่วนท้องที่ไม่มีครีบปกคลุมสั้นมาก แต่มีครีบก้นยาว ลักษณะดังกล่าวน่าจะสอดคล้องกับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแต่ละชนิด โดยที่ปลาช่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* สามารถเคลื่อนที่โดยการคืบคลานไปตามพื้นดินได้ แต่ปลากระสง *C. lucius* ไม่มีความสามารถในการเคลื่อนที่แบบดังกล่าว (Lee and Ng, 1991; Courtenay and Williams, 2004) ดังนั้น การมีส่วนท้องที่ไม่มีครีบปกคลุมยาวน่าจะช่วยทำให้สามารถเคลื่อนที่บนพื้นดินได้ดี ขณะที่ความแตกต่างของความยาวครีบมีผลต่อรูปแบบการว่ายน้ำ ทั้งในแง่ของการทรงตัว การหมุนเลี้ยว และการลดความเร็วแบบกะทันหัน (Walker, 2004; Rouleau *et al.*, 2010) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการมีครีบหลังและครีบก้นที่ทำหน้าที่เป็นแกนหมุนในแนวแกนนอนซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงทอร์ก (toque force) ในการหมุนตัวขณะว่ายน้ำ (Rouleau *et al.*, 2010)

โดยสรุป ความแปรผันและความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิดของปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดเกิดขึ้นทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการหาอาหารและการว่ายน้ำ ที่ส่งผลทำให้รูปแบบและพฤติกรรมการดำรงชีวิตในแหล่งอาศัยของปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ก่อให้เกิดการแบ่งปันทรัพยากร (resource partitioning) เพื่อลดการแก่งแย่งแข่งกันระหว่างปลาแต่ละชนิดที่อาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ ดังนั้นผลการศึกษาอาจไม่ชัดเจนและครอบคลุมมากนัก แต่ผลการศึกษาในครั้งนี้ก็ได้ผลในภาพรวมที่สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ในระดับหนึ่ง แต่หากต้องการวิเคราะห์ถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่จำเป็นต้องมีการศึกษาที่ละเอียดและเข้มข้นมากกว่านี้

3. ลักษณะสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิด

การศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาภายในชนิดของปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดด้วยเทคนิค TNS และ TPS ให้ผลที่สอดคล้องและเป็นแนวทางเดียวกัน ผลการศึกษาจากทั้งสองเทคนิคสรุปได้ ดังนี้

ลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาภายในชนิดปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากร สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบแรกพบในกลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK ซึ่งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใกล้เคียงกัน โดยมีลักษณะความลึกส่วนหัวใกล้เคียงกับความลึกลำตัว มีความลึกลำตัวมากกว่ากลุ่มประชากร CS-MK และรูปแบบที่สองพบในกลุ่มประชากร CS-MK ซึ่งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างจากสองกลุ่มแรกค่อนข้างเด่นชัด โดยมีรูปร่างที่แคระแกร็น (stunting) คือ มีหัวขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดของร่างกาย ความลึกของหัวมากกว่าความลึกลำตัวมาก และมีความลึกของลำตัวน้อย ทำให้ลำตัวดูเรียวยาวกว่าปกติ แตกต่างจากตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK ค่อนข้างชัดเจน

ปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากรมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน โดยมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวและส่วนลำตัวแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบในเชิงสัมพัทธ์ระหว่างกลุ่มประชากร พบว่ากลุ่มประชากร CG-NK มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกับกลุ่มประชากร CG-NB ส่วนกลุ่มประชากร CG-KS แตกต่างจากกลุ่มประชากรอื่นค่อนข้างมาก ซึ่งในรายละเอียดพบว่า กลุ่มประชากร CS-NK มีความยาวขากรรไกรล่าง ความลึกของหัวตอนหน้า และความยาวลำตัวน้อยกว่ากลุ่มประชากร CG-NB แต่มีความยาวและความลึกของหัวตอนท้าย และความลึกลำตัวมากกว่ากลุ่มประชากร CG-NB ในขณะที่กลุ่มประชากร CG-KS มีขนาดของหัวตอนหน้า และความลึกลำตัวน้อยกว่ากลุ่มประชากรอื่น แต่มีความยาวของหัวและลำตัวมากกว่ากลุ่มประชากรอื่น

ปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากรมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกัน ถึงแม้จะมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง แต่ความแปรผันดังกล่าวเป็นไปในรูปแบบที่เหมือนกัน และไม่ได้ทำให้เกิดความแตกต่างกันทางสัณฐานวิทยาระหว่างทั้งสองกลุ่มประชากร

ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดเป็นผลเนื่องจากปัจจัยหรืออิทธิพลของความแตกต่างทางพันธุกรรม ความแตกต่างของปัจจัยสิ่งแวดล้อม หรืออิทธิพลร่วมกันระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม (Conover and Schultz, 1995; Cadrin, 2000; Hossain *et al.*, 2010) โดยอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ความแปรผันแบบร่วมกัน (cogradient variation) และความแปรผันแบบสวนทางกัน (countergradient variation) (Levins, 1968; Conover and Schultz, 1995; Smith and Skulason, 1996; Marchil *et al.*, 2006) ความแปรผันแบบร่วมกันเป็นรูปแบบความแปรผันที่เกิดขึ้นเมื่อความแตกต่างทางพันธุกรรมมีผลขัดขวางความแตกต่างของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทำให้สิ่งมีชีวิตมีความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาน้อยหรือไม่มี แต่มีความแตกต่างในระดับสรีรวิทยาหรือชีวประวัติ (life history) ส่วนความแปรผันแบบสวนทางกันเป็นรูปแบบความแปรผันที่เกิดขึ้นเมื่อความแตกต่างของปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีผลเสริมแรงความแตกต่างทางพันธุกรรม ทำให้สิ่งมีชีวิตมีความแตกต่างทางสัณฐานวิทยามาก เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาทางด้านพันธุกรรม จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างตัวอย่างแต่ละกลุ่มประชากรของแต่ละชนิดเป็นรูปแบบใด แต่ Marchil *et al.* (2006) ได้เสนอว่า การที่ปลาชนิดเดียวกันอาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยที่ต่างกันแต่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเหมือนกันแสดงถึงความแตกต่างกันทางพันธุกรรมมากกว่าความคล้ายคลึงกันทางพันธุกรรม ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า จากการศึกษาในครั้งนี้กลุ่มปลาช่อน *C. striata* และปลากระสง *C. lucius* มีแนวโน้มการเกิดความแปรผันทางสัณฐานวิทยาแบบร่วมกัน

ความคล้ายคลึงกันทางสัณฐานวิทยาของกลุ่มประชากร CS-NK กับกลุ่มประชากร CS-KK และกลุ่มประชากร CL-NK กับกลุ่มประชากร CL-KK ซึ่งเป็นกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* และกลุ่มประชากรปลากระสง *C. lucius* ที่เก็บจากแหล่งอาศัยที่มีความคล้ายคลึงกันของระบบนิเวศ โดยกลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CL-NK เป็นตัวอย่างที่เก็บมาจากบึงกุดทิง จังหวัดบึงกาฬ ส่วนกลุ่มประชากร CS-KK และกลุ่มประชากร CL-KK เป็นตัวอย่างที่เก็บจากบึงแก่งละว้า จังหวัดขอนแก่น ซึ่งทั้งสองแหล่งมีลักษณะทางนิเวศวิทยาที่คล้ายคลึงกันค่อนข้างมาก คือ เป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง มีน้ำขังตลอดปี กระแสน้ำค่อนข้างนิ่ง ยกเว้นในฤดูน้ำหลากที่จะมีการไหลเวียนของกระแสน้ำ เนื่องจากมีระบบนิเวศที่เชื่อมโยงกับแม่น้ำสายหลัก คือ แม่น้ำโขงและแม่น้ำชี ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อพิจารณาในแง่ของการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาเชิงนิเวศ

(ecomorphological adaptation) เพื่อให้มีลักษณะสัณฐานวิทยาที่สอดคล้องเหมาะสมกับการดำรงชีวิตในแหล่งอาศัย แหล่งอาศัยทั้งสองแหล่งข้างต้นน่าจะมีแรงบีบของการคัดเลือกโดยธรรมชาติที่คล้ายกัน (stabilizing selection) ส่งผลให้ลักษณะที่คล้ายกันถูกคัดเลือกไว้ (Marchil *et al.*, 2006) ตัวอย่างของปลาชนิดเดียวกันจากทั้งสองแหล่งจึงมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกัน

อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในกลุ่มประชากรของกลุ่มประชากรทั้งสี่กลุ่มข้างต้นมีช่วงของความแปรผันค่อนข้างกว้าง ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับความแตกต่างของแหล่งอาศัยย่อยในแต่ละแหล่งอาศัย (Nicieza, 1995) แต่ในการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้มุ่งความสนใจในประเด็นดังกล่าวตั้งแต่แรก ดังนั้นจึงขาดข้อมูลที่สนับสนุนในประเด็นดังกล่าว ซึ่งต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดต่อไปเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ต่อไป

กรณีที่น่าสนใจประการหนึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ คือ การที่กลุ่มประชากร CS-MK มีรูปร่างที่แคระแกร็นแตกต่างจากกลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK อย่างเด่นชัด ปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างดังกล่าวน่าจะเกิดเนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของอาหารในแหล่งอาศัย เพราะการแคระแกร็นของปลาในธรรมชาติเกิดขึ้นเนื่องจากสองปัจจัยหลัก คือ การถูกล่าและข้อจำกัดด้านอาหาร (Anders, 2001; Chizinski *et al.*, 2010) แต่เนื่องจากปลาสกุลปลาช่อนเป็นผู้ล่าที่อยู่ในขั้นสูงสุดในระบบนิเวศ (ยกเว้นมีการกินกันเองหรือถูกล่าโดยชนิดที่มีขนาดโตกว่า) ดังนั้น การถูกล่าจึงไม่น่าจะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความแตกต่างของรูปร่าง อีกทั้งในการศึกษาในครั้งนี้ กลุ่มประชากร CS-MK เป็นตัวอย่างที่เก็บมาจากแหล่งอาศัยที่มีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำ โดยเป็นบ่อปลาสำหรับรวบรวมพันธุ์ปลาจากธรรมชาติ มีพื้นที่ขนาดเล็กและมีระบบนิเวศที่ตัดขาดจากแหล่งน้ำอื่น ยกเว้นในฤดูฝนที่จะเชื่อมต่อกับระบบนิเวศนาข้าว อาหารมีอยู่อย่างจำกัด เพราะไม่มีการให้อาหารเพิ่มจากอาหารในธรรมชาติ ดังนั้น ปัจจัยเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของอาหารจึงน่าจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของกลุ่มประชากร CS-MK จากกลุ่มประชากรอื่น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อรูปร่างของปลาในสองกรณี คือ ระดับของทรัพยากรอาหารต่อประชากร (resource level per capita) และคุณภาพหรือโภชนาการของอาหาร (quality or nutritional status of food) ดังเช่นการศึกษาของ Brönmark and Miner (1992) และ Tonn *et al.* (1994) ที่รายงานสอดคล้องกันว่า เมื่อปริมาณอาหารต่อหัวประชากรมีระดับสูงจะทำให้ปลามีความลึกลำตัวมากขึ้น แต่เมื่อระดับของอาหารต่อหัวประชากรเท่ากัน คุณภาพหรือโภชนาการของอาหารจะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อรูปร่างของปลา ดังเช่นในการศึกษาของ Andresson *et al.* (2005) ที่ทำการเลี้ยงปลา *Carassius carassius* ในห้องปฏิบัติการ ด้วยอาหารที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มหนึ่งให้แพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มไรน้ำ (daphnids) แต่อีกกลุ่มให้อาหารสดกลุ่มหนอนแดง (chironomids) ในปริมาณที่เท่ากัน พบว่า ปลา *C. carassius* มีรูปร่างที่แตกต่างกัน ซึ่งน่าจะเป็นผลจากความแตกต่างทางด้านโภชนาการของไรน้ำและหนอนแดง

ลักษณะสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* จากทั้งสามแหล่งอาศัย น่าจะมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างทางนิเวศวิทยาของแหล่งอาศัย ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาที่ผ่านมาจำนวนมาก ดังที่มีการรวบรวมไว้ในรายงานของ Robinson and Wilson (1994), Smith and Skúlason (1996), Jonsson and Jonsson (2001) และ Marcil *et al.* (2006) โดยกลุ่มประชากร CG-NK เป็นตัวอย่างที่เก็บจากลำห้วยขนาดเล็กที่ไหลผ่านเขตพื้นที่เกษตรกรรม น้ำมีความลึกประมาณ 10 – 50 เซนติเมตร และไหลค่อนข้างแรง พื้นท้องน้ำมีลักษณะที่หลากหลาย มีทั้งที่เป็นแผ่นหินทราย กรวดขนาดเล็ก และ

ดินทราย ส่วนกลุ่มประชากร CG-NB เป็นตัวอย่างที่เก็บมาจากลำธารในพื้นที่ภูเขา ซึ่งปริมาณน้ำน้อยและไหลช้า ความลึกของน้ำประมาณ 10 – 30 เซนติเมตร พื้นท้องน้ำมีลักษณะเป็นแผ่นหินที่มีหลุมที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำ มีการทับถมของเศษซากอินทรีย์มาก และกลุ่มประชากร CG-KS เป็นตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการไหลมารวมกันของน้ำซับ มีความลึกประมาณ 20 - 30 เซนติเมตร พื้นท้องน้ำเป็นดินร่วนปนทราย เมื่อพิจารณาในด้านของสัณฐานวิทยาเชิงนิเวศ ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาดังกล่าวน่าจะเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละแหล่งอาศัย ทำให้เกิดแรงกดดันของการคัดเลือกโดยธรรมชาติแบบกระจาย (divergent selection pressure) มีผลทำให้สิ่งมีชีวิตมีการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาเพื่อตอบสนองต่อแรงกดดันดังกล่าว เพื่อที่จะสามารถดำรงชีวิตอยู่รอดและสามารถสืบพันธุ์เพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ไว้ได้ (Robinson and Wilson, 1994; Jonsson and Jonsson, 2001)

เมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยของสิ่งแวดล้อมต่อความแตกต่างและแปรผันทางสัณฐานวิทยาระหว่างกลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* ปัจจัยที่มีผลต่อความแปรผันทางสัณฐานวิทยาดังกล่าวมีอยู่หลากหลายตัวอย่างเช่น ความแตกต่างของความเร็วของกระแสน้ำ (Martin, 1949; Beacham, 1990; Loy *et al.*, 1996; Bagherian and Rahmani, 2009) ความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (Langerhans *et al.*, 2003) องค์ประกอบของอาหารในแหล่งอาศัย (Meyer, 1987; Wooton, 1990; Wimberger, 1992; Day *et al.*, 1994; Robinson and Wilson, 1996) และคุณภาพทางโภชนาการของอาหาร (Currens *et al.* 1989; Andresson *et al.*, 2005)

ปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผลต่อความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาระหว่างกลุ่มประชากรกรปลาก้าง *C. gachua* คือ ความแตกต่างของช่วงอายุของตัวอย่าง เนื่องจากกลุ่มประชากร CG-NK และกลุ่มประชากร CG-NB เป็นตัวอย่างที่โตเต็มวัยแล้ว ส่วนกลุ่มประชากร CG-KS ยังอยู่ระยะลูกปลาขนาดเล็ก (juvenile) อยู่ ซึ่งปลาแต่ละช่วงอายุมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ต่างกัน (จินตนา โตธนะโภคา และคณะ, 2550; Cadrin and Silva, 2005)

อย่างไรก็ตาม เป็นเรื่องยากในการที่จะระบุให้แน่ชัดว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความแตกต่างของลักษณะสัณฐานวิทยาของปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยตามธรรมชาติ เนื่องจากระบบนิเวศของแหล่งอาศัยมีความซับซ้อนและหลากหลาย ดังนั้นจึงมีปัจจัยจำนวนมากที่อาจมีผลต่อรูปแบบทางสัณฐานวิทยา นอกจากนี้แล้วความแปรผันทางสัณฐานวิทยาไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากปัจจัยของความแตกต่างทางพันธุกรรม หรืออิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางพันธุกรรม ดังนั้น หากต้องการคำตอบที่ครอบคลุมและชัดเจนยิ่งขึ้น จำเป็นต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมต่อรูปแบบความผันแปรทางสัณฐานวิทยา โดยอาจใช้เทคนิคทางชีววิทยาโมเลกุล (molecular biology) เพื่อศึกษาลักษณะและความแตกต่างทางพันธุกรรมของแต่ละกลุ่มประชากร (Beheregaray and Levy, 2000) หรือใช้วิธีการ common garden experiment เพื่อศึกษารูปแบบการเจริญพัฒนาและลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่างจากแต่ละกลุ่มประชากรเมื่อนำมาเพาะเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน (Kawecki and Ebert, 2004; Marchil *et al.*, 2006; Jørgensenn *et al.*, 2008) ถึงแม้ว่า การศึกษาครั้งนี้จะไม่สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความแปรผันทางสัณฐานวิทยากับปัจจัยทางนิเวศวิทยาของแหล่งอาศัยได้อย่างชัดเจน แต่ก็ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยทางนิเวศวิทยาของแหล่งอาศัยที่มีผลต่อความแปรผันทางสัณฐานวิทยา ตลอดจนรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาดังกล่าว ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในด้านอื่น ๆ อย่างละเอียดต่อไป

4. การจำแนกและระบุชนิดและกลุ่มประชากรโดยใช้ข้อมูลมอร์โฟเมทริกส์

การศึกษาครั้งนี้พบว่า การศึกษาด้วยเทคนิค TNS และ TPS สามารถจำแนก (classification) ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา ระหว่างตัวอย่างแต่ละชนิดและกลุ่มประชากรได้ โดยพบว่า เทคนิค TNS มีอำนาจในการจำแนกน้อยกว่าเทคนิค TPS ซึ่งจากแผนภาพและตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งแยกกลุ่ม เทคนิค TNS ไม่สามารถจำแนกกลุ่มตัวอย่างออกจากกันได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะการจำแนกกลุ่มประชากรของชนิดเดียวกัน และไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการจำแนกกับลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับผลการระบุ (identification) ชนิดและกลุ่มประชากร ที่พบว่า ความถูกต้องในการระบุชนิดและกลุ่มประชากรด้วยเทคนิค TNS มีค่าน้อยกว่าการระบุด้วยเทคนิค TPS โดยความถูกต้องโดยรวมในการระบุชนิดด้วยเทคนิค TNS และ TPS มีค่าเท่ากับร้อยละ 98.90 และ 100 ตามลำดับ ส่วนความถูกต้องโดยรวมในการระบุกลุ่มประชากรด้วยเทคนิค TNS และ TPS มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.49 และ 92.96 ตามลำดับ

ความสามารถในการจำแนกและค่าความถูกต้องในการระบุชนิดและกลุ่มประชากรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสองประการ คือ ปัจจัยเนื่องจากความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากแต่ละเทคนิค และวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ดังนั้น ในการศึกษาต่อไปอาจทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการปรับเปลี่ยนปัจจัยข้างต้น เช่น การปรับเปลี่ยนการวัดค่าแบบ TNS โดยทำการเพิ่มหรือลดจำนวนตัวแปรที่วัด หรือปรับเปลี่ยนจำนวนจุดกำหนดที่ใช้ในเทคนิค TPS เพื่อดูว่ามีผลทำให้ความเพิ่มสูงขึ้นหรือไม่ นอกจากนี้แล้ว อาจมีการปรับเปลี่ยนวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติจากวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเป็นวิธีการอื่น เช่น วิธีการ nearest neighbours, projection pursuit regression หรือ neural network analysis เป็นต้น เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์แต่ละวิธีจะให้ความสามารถในการจำแนกและค่าความถูกต้องในการระบุชนิดและกลุ่มประชากรแตกต่างกัน (Shinn *et al.*, 2000; Pollar *et al.*, 2007) นอกจากนี้ วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่ให้ผลดีกับข้อมูลแบบหนึ่ง อาจให้ผลได้ไม่ดีเท่าวิธีอื่นเมื่อไปใช้กับข้อมูลอีกแบบหนึ่ง (Shinn *et al.*, 2000)

อย่างไรก็ตาม ผลการระบุชนิดและกลุ่มประชากรที่ได้ถือว่ามีความถูกต้องค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในการระบุชนิดโดยใช้ข้อมูลจากเทคนิค TPS ที่ระบุชนิดได้ถูกต้องทั้งหมด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในงานด้านอนุกรมวิธาน ไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับความแปรผันทางสัณฐานวิทยา การจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา การกำหนดขอบเขตของชนิด และการคัดเลือกลักษณะเพื่อใช้ในการจัดจำแนก หรือประยุกต์ใช้ในงานอนุกรมวิธานแนวใหม่ โดยเฉพาะการระบุหน่วยอนุกรมวิธานแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติ (semi-automated and automated taxon identifications) โดยใช้หลายเทคนิคร่วมกัน ตัวอย่างเช่น การประมวลผลภาพ (image processing) ระบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ (database system) เทคโนโลยีระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ท (internet technology) และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (intellectual technology) เพื่อให้การเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากตัวอย่างสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะตัวอย่างอ้างอิง (type specimens) เป็นไปอย่างทั่วถึงและสะดวกรวดเร็ว แต่ขณะเดียวกันก็มีความถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งยังช่วยลดความเสียหายเนื่องจากการกระทำต่อตัวอย่างมากเกินไป ดังเช่นในปัจจุบัน ที่ได้มีการผสมผสานเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน และได้พัฒนาระบบเกี่ยวกับงานอนุวิธานแนวใหม่ขึ้นมามากขึ้นตัวอย่างเช่น ชุดโปรแกรม tps ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมในการศึกษาทางด้านมอร์โฟเมทริกส์เชิงเรขาคณิตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธินเพลทสไปล์ โดยเฉพาะ(http://life.bio.sunysb.edu/morph/) หรือโปรแกรม DAISY (digital automated identification system)

ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการระบุชนิดของแมลงจากรูปภาพโดยอัตโนมัติ (http://www.tumblingdice.co.uk/daisy/) หรือระบบ SPIDA (species identified automatically) ซึ่งเป็นระบบสำหรับการระบุชนิดของสิ่งมีชีวิตอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ทโดยใช้วิธีการระบบเครือข่ายประสาทเทียม (http://research.amnh.org/iz/spida/) หรือโครงการธนาคารสัณฐาน (The Morphobank Project) ซึ่งเป็นระบบฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิตในรูปของภาพถ่ายรายละเอียดสูง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายและง่ายต่อการแบ่งปัน เพื่อใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการชาติพันธุ์และคลาดิสทิกส์ (clasdistics) โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา (www.morphobank.org) เป็นต้น

จากข้อมูลของการศึกษาที่ผ่านมาและการศึกษาในครั้งนี้สามารถสร้างรูปวิธาน (key) ในการระบุชนิดปลาสกุลปลาช่อนในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลสัณฐานวิทยาเชิงบรรยายและข้อมูลมอร์โฟเมทริกส์ ได้ดังนี้

Family Channidae

ลำตัวรูปทรงกระบอกเรียวยาว หัวมีขนาดใหญ่และแบนในแนวบนล่าง ครีบทุกครีบไม่มีก้านครีบแข็ง ครีบก้นและครีบหลังยาว อาจมีหรือไม่มีครีบอก ครีบหางแบนข้างและมีรูปร่างกลมมน ตำแหน่งเริ่มต้นของครีบหลังตรงกับตำแหน่งครีบท้อง เกล็ดเป็นแบบทีนอยด์ (ctenoid) หรือไซคลอยด์ (cycloid) มีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจ ลักษณะเป็นช่องว่างเหนือช่องเหงือกที่บุด้วยเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สกับอากาศโดยตรง

Genus *Channa* Scopoli, 1777

ช่องว่างเหนือช่องเหงือกถูกกั้นโดยแผ่นกระดูกที่ยื่นมาจากส่วนผิวของกระดูกแกนเหงือกคู่ที่ 1 (first gill arch) และแขนงของกระดูกที่เชื่อมระหว่างแกนเหงือกคู่ที่ 2 กับขากรรไกรล่าง (hyomandibular process) พบแพร่กระจายในทวีปเอเชียเท่านั้น

Key to Species of Genus *Channa* Scopoli, 1777 by using morphological and Morphometric Data

[ข้อมูลมอร์โฟเมทริกส์แสดงค่าพิสัยของข้อมูลต่ำสุด-สูงสุด และในวงเล็บแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน]

1 a. แผ่นปิดหงือกสีเรียบ ไม่มีจุดหรือแต้มสี; หัวสั้นป้อม หน้าผากสั้นทู่ ด้านบนของหัวโค้งนูนเล็กน้อย; พื้นลำตัวสีเรียบ มีรูปแบบของสีลำตัวที่หลากหลาย ไม่มีแต้มสีที่เด่นชัด มีหรือไม่มีแถบหรือจุดประ _____ 2

b. มีแต้มสีดำขนาดใหญ่ที่แผ่นปิดเหงือก; หัวเรียวยาว รูปร่างคล้ายกรวย (cone-shape) ขากรรไกรยื่นยาวไปข้างหน้าและงอนขึ้นเล็กน้อย ทำให้ปากเรียวยาวเป็นจะงอย ด้านบนของหัวเรียบและลาดชัน; ลำตัวด้านบนสีเขียวคล้ำ ด้านล่างสีเหลืองอ่อนหรือเทา ความแตกต่างของสีลำตัวเป็นรอยหยักที่ไม่เป็นระเบียบ มีแต้มสีดำขนาดใหญ่เรียงตัวอยู่ตามแนวยาวบริเวณเส้นข้างลำตัว ลักษณะคล้ายช่องหน้าต่าง ด้านท้องมีแถบประสีคล้ำยาวเรียวพาดเฉียงอยู่ตลอด _____ ***C. lucius***

[ความยาวมาตรฐาน = 129.12 – 438.5 (245.29 ± 41.56) mm; ความยาวหน้าผาก = 11.69 – 46.52 (19.24 ± 4.97) mm; ความยาวขากรรไกรล่าง = 10.48 – 33.28 (22.28 ± 4.08) mm; ความลึกลำตัว (วัดจากจุดเริ่มต้นของฐานครีบหลัง ถึงจุดเริ่มต้นของฐานครีบท้อง) = 24.36 – 83.84 (48.16 ± 9.22) mm; ความยาวท้อง = 18.44 – 54.46 (33.77 ± 6.35) mm; ความยาวฐานครีบหลัง = 78.02 – 256.43 (150.84 ± 27.30) mm; ความยาวฐานครีบก้น = 55.24 – 189.47 (110.45 ± 21.20) mm]

2 a. มีกลุ่มของเกล็ดสีดำรวมกันเป็นวง เรียงตามแนวยาวของลำตัว; บริเวณโคนหางด้านบนมีจุดสีดำเข้มขนาดใหญ่คล้ายดวงตา (ocellus) ขอบล้อมรอบด้วยวงสีส้ม _____ 3

b. บริเวณลำตัวไม่มีกลุ่มของเกล็ดสีดำที่รวมกันเป็นวง; บริเวณโคนหางด้านบนไม่มีจุดสีดำเข้มขนาดใหญ่ __ 4

3 a. เกล็ดบริเวณหัวด้านบนมีขนาดปานกลาง เรียงตัวคล้ายกลีบกุหลาบ (rosette) มีแผ่นเกล็ดบริเวณใต้คาง (gular region); พื้นลำตัวสีคล้ำ ด้านบนสีเข้ม ด้านล่างสีอ่อน มีแถบดำประมาณ 5-6 แถบ คาดขวางลำตัวด้านบนส่วนที่ค่อนไปทางด้านท้าย; ด้านบนและด้านบนตอนท้ายของกลุ่มของเกล็ดสีดำบริเวณลำตัวถูกล้อมรอบด้วยเกล็ดสีขาว; ครีบมีจุดประสีตะกั่วเหลือบแวววาวอยู่ทั่ว _____ ***C. murulius***

b. เกล็ดบริเวณหัวด้านบนมีขนาดใหญ่ ไม่เรียงตัวคล้ายกลีบกุหลาบ ไม่มีแผ่นเกล็ดบริเวณใต้คาง; พื้นลำตัวสีเขียวอ่อน ด้านบนสีเข้ม ด้านล่างสีจาง ลำตัวด้านบนมีลายสีเหลืองทองอมส้มสลับกับแต้มสีดำ; ด้านบนและด้านบนตอนท้ายของกลุ่มของเกล็ดสีดำบริเวณลำตัวถูกล้อมรอบด้วยเกล็ดสีดำที่มีขอบสีขาว; ครีบมีจุดประสีแดงสด _____ ***C. murulioides***

4 a. หัวมีรูปร่างแบนในแนวบนล่าง; ครีบท้องยาว มีความยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวครีบ; ฐานครีบอกสีจาง ไม่มีจุดหรือแถบสี; ขอบครีบมีสีเหลืองอ่อนหรือสีขาว _____ 5

b. หัวมีรูปร่างค่อนข้างกลมมน; ครีบท้องสั้น มีความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวครีบอก ฐานครีบอกสีเข้ม และมีลายเส้นสีคล้ำ 4-6 แถบ; ขอบครีบสีส้มหรือเหลืองเข้ม _____ ***C. gachua***

[ความยาวมาตรฐาน = 53.77 – 180.88 (103.87 ± 33.20) mm; ความยาวหน้าผาก = 4.72 – 19.45 (9.39 ± 3.44) mm; ความยาวขากรรไกรล่าง = 5.86 – 24.57 (12.09 ± 4.47) mm; ความลึกลำตัว = 6.92 – 32.37 (18.16 ± 6.58) mm; ความยาวท้อง = 10.98 – 42.03 (21.04 ± 7.26) mm; ความยาวฐานครีบหลัง = 31.33 – 104.23 (60.42 ± 19.17) mm; ความยาวฐานครีบก้น = 10.98 – 42.03 (21.04 ± 7.26) mm]

5 a. ไม่มีแผ่นเกล็ดบริเวณใต้คาง; มีฟันเขี้ยวเฉพาะที่ขากรรไกรล่าง ไม่มีฟันเขี้ยวที่กระดูกหน้าโวเมอร์ (prevomer) และกระดูกเพดานปาก (palatine); ลักษณะตัดตามขวางของลำตัวตอนหน้ามีรูปร่างแบนในแนวบนล่าง; ลำตัวสีล้วน ด้านบนสีเข้ม ด้านล่างสีอ่อน; เกล็ดมีขนาดใหญ่ _____ 6

b. มีแผ่นเกล็ดบริเวณใต้คาง; มีฟันเขี้ยวขนาดใหญ่ที่กระดูกหน้าโวเมอร์และกระดูกเพดานปาก; ลักษณะตัดตามขวางของลำตัวตอนหน้ามีรูปร่างเป็นวงกลม; สีลำตัวด้านบนสีน้ำตาลเข้มหรือสีเขียวอมน้ำตาล ด้านล่างสีอ่อน; มีแถบกว้างสีดำคาดตามยาวอยู่บริเวณกึ่งกลางลำตัว; เกล็ดมีขนาดเล็กมาก _____ ***C. micropeltes***

6 a. เกล็ดบริเวณหัวด้านบนมีขนาดใหญ่ และเรียงตัวคล้ายกลีบกุหลาบ; ลำตัวสีคล้ำ ด้านบนสีเข้ม ด้านล่างสีจาง มีแถบสีดำขนาดเล็กพาดทะแยงบนลำตัว ด้านท้องไม่มีลายประ; ครีบสีคล้ำ ขอบไม่มีสี _____ ***C. striata***

[ความยาวมาตรฐาน 147.14 – 501.86 (284.617 ± 85.33) mm; ความยาวหน้าผาก = 7.76 – 28.40 (14.85 ± 4.52) mm; ความยาวขากรรไกรล่าง = 28.05 – 114.20 (61.52± 17.74) mm; ความลึกลำตัว = 26.24 – 81.83 (50.10 ± 13.28) mm; ความยาวท้อง = 32.26 – 124.73 (63.09 ± 21.31) mm; ความยาวฐานครีบหลัง = 83.67 – 383.29 (171.62 ± 58.49) mm; ความยาวฐานครีบก้น = 51.06 – 187.70 (100.30 ± 31.31) mm]

b. เกล็ดบริเวณหัวด้านบนมีขนาดใหญ่ แต่ไม่เรียงตัวคล้ายกลีบกุหลาบ; ลำตัวสีเขียวอมม่วงหรือน้ำตาล ด้านบนสีเข้ม ด้านล่างสีอ่อน ไม่มีลวดลายหรือจุดบนลำตัว; ครีบสีคล้ำ ครีบท้องมีขลิบสีขาว _____ ***C. melasoma***

Key to Some Species of Genus *Channa* Scopili, 1777 by using Morphometric Data

[แสดงค่าพิสัยของข้อมูลต่ำสุด-สูงสุด และในวงเล็บแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน]

1 a. **ความยาวมาตรฐาน (SL) = 129.12 – 438.50 (245.29 ± 41.56) mm; หัวมีลักษณะเรียวยาว และมีขนาดสัมพัทธ์น้อยกว่าความลึกลำตัวมาก** ความยาวหน้าผาก = 5.45 – 11.96 (7.86 ± 1.41) %SL ความยาวหัวส่วนบน = 8.65 – 29.50 (18.40 ± 3.94) %SL อัตราส่วนความหัวลึกหัวตอนหน้าและความลึกหัวตอนท้าย = 0.35 – 0.76 (0.49 ± 0.06) อัตราส่วนความลึกหัวตอนหน้าและความลึกลำตัว = 0.26 – 0.60 (0.41 ±0.05) อัตราส่วนความลึกหัวตอนท้ายและความลึกลำตัว = 0.57 – 0.98 (0.83 ± 0.06); **ลำตัวค่อนข้างลึก** ความลึกลำตัว = 15.45 – 32.00 (19.69 ± 2.44) %SL; **ลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบปกคลุมสั้น ครีบหลังและครีบก้นยาว** อัตราส่วนความยาวฐานครีบหลังและความยาวหลัง = 3.04 – 34.17 (9.74 ± 4.02) อัตราส่วนความยาวฐานครีบก้นและความยาวท้อง = 2.59 – 4.32 (3.29 ± 0.40) _____ ***C. lucius***

b. **ความยาวมาตรฐาน (SL) = 53.77 – 501.86 (222.27 ± 112.01) mm; หัวมีลักษณะสั้นป้อม และมีขนาดสัมพัทธ์ใกล้เคียงหรือมากกว่าความลึกลำตัว** ความยาวหน้าผาก = 3.19 – 12.37 (6.55 ± 2.03) %SL ความยาวหัวส่วนบน = 8.06 – 19.97 (14.70 ± 3.18) %SL อัตราส่วนความหัวลึกหัวตอนหน้าและความลึกหัวตอนท้าย = 0.46 – 0.95 (0.67 ± 0.08) อัตราส่วนความลึกหัวตอนหน้าและความลึกลำตัว =0.39 – 0.89 (0.58 ± 0.09) อัตราส่วนความลึกหัวตอนท้ายและความลึกลำตัว = 0.63 – 1.16 (0.86 ± 0.08); **ลำตัวค่อนข้างแบนในแนวบนล่าง** ความลึกลำตัว = 12.77 – 24.99 (17.62 ± 1.6 2) %SL; **ลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบปกคลุมยาว ครีบหลังและครีบก้นสั้น** อัตราส่วนความยาวฐานครีบหลังและความยาวหลัง = 2.43 – 8.99 (4.58 ± 1.38) อัตราส่วนความยาวฐานครีบก้นและความยาวท้อง = 0.96 – 2.33 (1.69 ± 0.22) _____ **2**

2 a. **ลำตัวสั้นป้อม ขนาดเชิงสัมพัทธ์ของหัวมีขนาดมากกว่าความลึกลำตัว** ความยาวมาตรฐาน = 53.77 – 180.88 (103.87 ± 33.20) mm ความยาวหน้าผาก = 6.44 – 12.37 (9.00 ± 1.30) %SL ความยาวหัวด้านบน = 14.16 – 19.97 (17.42 ± 1.37) %SL ความยาวหัวด้านล่าง = 7.37 – 18.48 (14.09 ± 2.62) %SL ความลึกหัวตอนหน้า = 9.24 – 14.85 (11.41 ± 1.34) %SL อัตราส่วนความหัวลึกหัวตอนหน้าและความลึกหัวตอนท้าย = 0.60 – 0.95 (0.73 ± 0.08) อัตราส่วนความลึกหัวตอนหน้าและความลึกลำตัว = 0.54 – 0.90 (0.66 ± 0.07) อัตราส่วนความลึกหัวตอนท้ายและความลึกลำตัว = 0.79 – 1.10 (0.91 ± 0.06) _____ ***C. gachua***

b. **ลำตัวเรียวยาว ขนาดเชิงสัมพัทธ์ของหัวมีขนาดใกล้เคียงความลึกลำตัว** ความยาวมาตรฐาน = 147.14 – 501.86 (284.62 ± 85.33) mm ความยาวหน้าผาก = 3.19 – 6.99 %SL (5.27 ± 0.07) ความยาวหัวด้านบน = 8.06 – 19.75 (13.28 ± 0.30) %SL ความยาวหัวด้านล่าง = 8.41 -15.72 (12.13 ± 1.49) %SL ความลึกหัวตอนหน้า = 7.03 – 11.80 (9.47 ± 0.95) %SL อัตราส่วนความหัวลึกหัวตอนหน้าและความลึกหัวตอนท้าย = 0.46 – 0.79 (0.64 ± 0.06) อัตราส่วนความลึกหัวตอนหน้าและความลึกลำตัว = 0.39 – 0.70 (0.53 ± 0.05) อัตราส่วนความลึกหัวตอนท้ายและความลึกลำตัว = 0.63 – 1.16 (0.84 ± 0.07) _____ ***C. striata***