



การประยุกต์ใช้มอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุและเชิงเรขาคณิตเพื่อศึกษาสัณฐานวิทยา
เชิงหน้าที่ของปลาสามชนิดในสกุลปลาช่อน (Genus *Channa* Scopoli, 1777
(Channidae: Perciformes))

An Application of Multivariate and Geometric Morphometrics on the Study
of Functional Morphology of three Species in the Genus *Channa* Scopoli,
1777 (Channidae: Perciformes)

อนันต์ เคนท้าว และ พรพิมล เจียรนัยปรีเปรม*

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

*Corresponding Author, E-mail: porjea@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่และการระบุชนิดของปลาในสกุลปลาช่อน (Genus *Channa* Scopoli, 1777) 3 ชนิด ได้แก่ *Channa striata* (Bloach, 1793), *Channa gachua* (Hamilton, 1822) และ *Channa lucius* (Cuvier, 1791) ด้วยวิธีการทางมอร์โฟเมตริกส์ โดยใช้เทคนิคระบบเครือข่ายโครงยึด (Truss Network System; TNS) และเทคนิคการวิเคราะห์อินเพลท-สไปลน์ (Thin Plate Spline Analysis; TPS) ผลการศึกษาพบว่าทั้งสองวิธีสามารถแสดงความแตกต่างของลักษณะสัณฐานวิทยาในปลาทั้งสามชนิด ทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง โดยความแตกต่างของส่วนหัวเกี่ยวข้องกับหน้าผาก ขากรรไกรล่าง ความลึกและความยาวหัว ความแปรผันของลักษณะส่วนลำตัวเกี่ยวข้องกับลักษณะความลึกลำตัว ความยาวส่วนท้องที่ไม่มีครีบ และความยาวฐานครีบกัน ความแปรผันของลักษณะส่วนหางเกี่ยวข้องกับความยาวและความลึกของคอดหาง ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมกรรมกินอาหาร การว่ายน้ำ และรูปแบบการดำรงชีวิตในแหล่งอาศัยของแต่ละชนิด โดยเทคนิค TPS มีประสิทธิภาพในการจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาสูงกว่าเทคนิค TNS โดยค่าความถูกต้องโดยรวมของการระบุชนิด มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 และร้อยละ 98.24 ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการทางมอร์โฟเมตริกส์สามารถใช้ศึกษาความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในระดับชนิด และเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่และการจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของปลาสกุลปลาช่อนได้

ABSTRACT

The study of functional morphology and the species identification were carried out in three fish species in the genus *Channa* Scopoli, 1777 namely *Channa striata* (Bloach, 1793), *Channa gachua* (Hamilton, 1822) and *Channa lucius* (Cuvier, 1791). Two morphometric methods including truss network system (TNS) and thin-plate spline analysis (TPS) were employed. The results showed that both techniques could demonstrate the different characters among those three species appearing in head, body and tail. The variations on head part related in

snout, maxillary, and the length and depth of head whereas the body part involved with body depth and the length of fin-lacked abdomen and anal fin base. The tail part showed variations within the length and depth of caudal peduncle. These inter-specific variations correlated with their feeding behavior, swimming maneuverability, and habitat preferences. The discrimination of morphological differences by using TPS method was more effective than that of TNS method which the global accuracy rates of 100% and 98.24%, respectively. This study has been obviously shown that the morphometric methods can be used for the analysis of morphological differences in the species levels and for the taxonomic classification of Channid fish.

คำสำคัญ: ความแปรผันทางสัณฐานวิทยา การระบุชนิด มอร์โฟเมตริกส์ ปลาช่อน

Keywords: Morphological variation, Species identification, Morphometrics, Snakehead fish

บทนำ

ความแตกต่างและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิต เกิดขึ้นจากอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยสำคัญหลายประการ ได้แก่ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม (genetic inheritance) ปัจจัยของสิ่งแวดล้อม (environmental factors) และแรงผลักดันของกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (natural selection force) (Cadrin, 2000; Poulet et al., 2005) ซึ่งมีผลต่อความสอดคล้องเหมาะสม (fitness) ในการอยู่รอดและการสืบพันธุ์ของประชากรสิ่งมีชีวิต (Pinder et al., 2005) การปรับเปลี่ยนทางสัณฐานวิทยาในระหว่างการพัฒนาของสิ่งมีชีวิต เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในด้านนิเวศวิทยาและวิวัฒนาการ โดยแสดงถึงความสามารถในการอาศัยในแหล่งอาศัย (Bourke et al., 1997) การกินอาหาร (Galarowicz et al., 2006) ช่วงกว้างในการใช้ทรัพยากร (Winemiller and Winemiller, 2003; Nie et al., 2013) และการเปลี่ยนแปลงเป็นชนิดใหม่ (Bailey, 1997; Aguilar-Medrano et al., 2011)

มอร์โฟเมตริกส์ (morphometrics) เป็นวิธีการในการศึกษาเกี่ยวกับความแปรผันและการปรับเปลี่ยนรูปร่างของสิ่งมีชีวิตในรูปของลักษณะเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง (continuously quantitative characteristics) โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติ (Rohlf, 1990; Lestrel, 2000) ผลที่ได้จากการศึกษาจะทำให้สามารถอธิบายหรือเปรียบเทียบความแปรผันและความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาได้ ทั้งในระดับระหว่างตัว (between individuals) ระหว่างประชากร (between populations) ระหว่างชนิด (between species) และระดับที่สูงกว่า (Nunes et al., 2008; Pérez-Jiménez et al., 2013; Nei et al., 2014)

ปลาสกุลปลาช่อน (genus *Channa* Scopoli, 1777) เป็นปลาน้ำจืด ประกอบด้วยสมาชิกจำนวน 33 ชนิด (species) มีต้นกำเนิดในทวีปเอเชีย ปัจจุบันแพร่กระจายอยู่เกือบทั่วโลก (Courtenay and Williams, 2004; Knight, 2016) หลายชนิดในสกุลนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ทั้งในด้านการค้าเพื่อการบริโภคและการจำหน่ายเป็นปลาสวยงาม ในทางอนุกรมวิธานพบว่า สถานะทางอนุกรมวิธานของสกุลปลาช่อนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง และมีความคลาดเคลื่อนหรือสับสนในการระบุชนิด หลายชนิดถูกจัดเป็นกลุ่มชนิดเชิงซ้อน (species complex) ซึ่งควรต้องมีการศึกษาทบทวนทางอนุกรมวิธานอย่างละเอียดต่อไป (Knight, 2016) ในการจัดจำแนกที่ผ่านมาใช้ลักษณะของสีและลวดลายของลำตัวเป็นหลัก แต่ลักษณะดังกล่าวมีความแปรผันและแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุของปลาชนิดเดียวกัน (Benziger et al., 2011; Knight, 2016) นอกจากนี้ปลาในสกุลปลาช่อนแต่ละชนิดมีแหล่งอาศัยที่มีลักษณะทางนิเวศวิทยาค่อนข้างจำเพาะ การศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของลักษณะทางสัณฐานวิทยากับความจำเพาะของแหล่งอาศัย จะทำให้ทราบแนวทางหรือกลไกการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาให้สอดคล้องเหมาะสมกับแรงเค้นของการคัดเลือกโดยธรรมชาติในแหล่งอาศัย และแนวโน้มทางวิวัฒนาการของแต่ละชนิด (Aguilar-Medrano et al., 2011)

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีรายงานการพบปลาสกุลปลาช่อนในแหล่งน้ำธรรมชาติอย่างน้อย 5 ชนิด แต่ในการศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ลักษณะทางมอร์โฟเมตริกส์ของปลาสกุลปลาช่อนจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *Channa striata* (Bloch, 1797), *Channa gachua* (Hamilton, 1822) และ *Channa lucius* (Cuvier, 1831) เนื่องจากตัวอย่างของชนิด

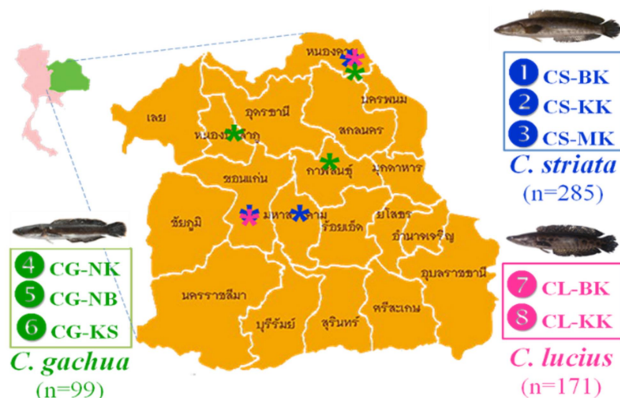
Channa micropeltes (Cuvier, 1831) และ *Channa marulius* (Hamilton, 1822) มีจำนวนไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ ด้วยวิธีการทางมอโฟเมตริกส์ ผลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดขอบเขตชนิด (species limit) เพื่อช่วยในการศึกษาทางอนุกรมวิธาน และเป็นข้อมูลลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ (functional morphology) และลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงนิเวศ (eco morphology) เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสัณฐานวิทยากับรูปแบบการดำรงชีวิต และความสัมพันธ์กับปัจจัยทางนิเวศวิทยาของแหล่งอาศัยของปลาแต่ละชนิด (Nunes et al., 2008; Nie et al., 2013) ซึ่งอาจสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการติดตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อรูปร่างของสิ่งมีชีวิต (Nunes et al., 2008) และเป็นข้อมูล

พื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ในการศึกษาทางด้านวิวัฒนาการของปลากลุ่มนี้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างและพื้นที่เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยจำนวน 3 ชนิด จาก 8 กลุ่มประชากร ทั้งหมด 455 ตัวอย่าง (ตำแหน่งของสถานที่เก็บตัวอย่างแสดงในรูปที่ 1 และรายละเอียดของตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1) นำตัวอย่างมาแช่ในน้ำแข็ง ตีรหัส แช่ในน้ำแข็ง และนำมาเก็บรักษาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 °C ที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการศึกษาต่อไป



รูปที่ 1 ตำแหน่งของสถานที่เก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 1 รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา และลักษณะนิเวศวิทยาโดยทั่วไปของสถานที่เก็บตัวอย่าง

ชนิด	ประชากร	สถานที่	ลักษณะของแหล่งอาศัย	จำนวนตัว (N)
<i>C. striata</i> (n=185)	CS-BK	บึงกุดทิง อ.เมือง จ.บึงกาฬ	บึงขนาดใหญ่ พื้นที่ประมาณ 26.4 km ² ลึกประมาณ 2-5 m มีพีชีน้ำปกคลุมทั่วไป ระบบนิเวศเชื่อมโยงกับแม่น้ำโขง	58
	CS-KK	แก่งละว้า อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น	บึงขนาดใหญ่ พื้นที่ประมาณ 11.2 km ² ลึกประมาณ 2-5 m มีพีชีน้ำปกคลุมทั่วไป ระบบนิเวศเชื่อมโยงกับแม่น้ำชี	79
	CS-MK	บ.โต ต.ห้วยแอ่ง อ.เมือง จ.มหาสารคาม	บ่อปลาขนาดเล็ก ปิดล้อมด้วยนาข้าว ในฤดูแล้งมีระบบนิเวศที่ตัดขาดจากระบบนิเวศอื่น	48
<i>C. gachua</i> (n=99)	CG-BK	บ.ห้วยสะอาด ต.ถ้ำเจริญ อ.โซ่พิสัย จ.บึงกาฬ	ลำห้วยขนาดเล็ก กว้างประมาณ 3-5 m ลึกน้อยกว่า 1.0 m พื้นที่ตื้นน้ำเป็นลานหินและกรวดขนาดเล็ก	31
	CG-NB	ภูหินลาดซ้อฟ้า ต.โนนทัน อ.เมือง จ.หนองบัวลำภู	ลำธารขนาดเล็กบนภูเขา กว้างประมาณ 2 m ลึกน้อยกว่า 0.5 m พื้นที่ตื้นน้ำเป็นลานหินขนาดใหญ่	31
	CG-KS	บ.ห้วยอัม ต.ท่าคันโท อ.ท่าคันโท จ.กาฬสินธุ์	พื้นที่น้ำขังที่เกิดจากตาน้ำซับ ลึกประมาณ 0.5 m พื้นที่ตื้นน้ำเป็นดินโคลน ฤดูฝนมีระบบนิเวศเชื่อมโยงกับเขื่อนลำปาว	37

ตารางที่ 1 รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา และลักษณะนิเวศวิทยาโดยทั่วไปของสถานที่เก็บตัวอย่าง (ต่อ)

ชนิด	ประชากร	สถานที่	ลักษณะของแหล่งอาศัย	จำนวนตัว (N)
<i>C. lucius</i> (n=171)	CL-BK	บึงกุดทิง อ.เมือง จ.บึงกาฬ	สถานที่เดียวกันกับตัวอย่าง CS-BK	92
	CL-KK	แก่งละว้า อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น	สถานที่เดียวกันกับตัวอย่าง CS-KK	79
จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด				455

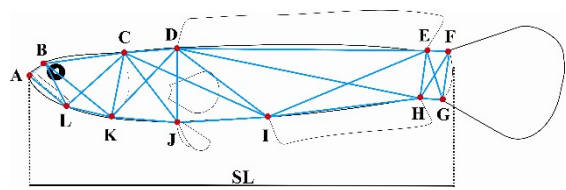
การเตรียมตัวอย่าง

ละลายน้ำแข็งจากตัวอย่างที่นำออกจากตู้แช่แข็ง โดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง คัดเลือกตัวอย่างที่มีสภาพสมบูรณ์ ลำตัวไม่คดงอ วางตัวอย่างบนกระดาษตารางที่มีแผ่นโฟม (polystyrene board) รองรับ โดยวางซีกขวาของตัวอย่างลงด้านล่าง จัดลำตัวให้เหยียดตรงและครีบน้ำมันออก บันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ CANON รุ่น EOS 50D ที่ความละเอียด 15 ล้านจุดภาพ (megapixel)

การศึกษาด้วยวิธีมอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุ

คัดเลือกภาพถ่ายตัวอย่าง และนำเข้าโปรแกรม ImageJ Version 1.43 (<http://rsbweb.nih.gov/ij>) ทำการปรับตั้งระยะทาง (distance calibration) โดยเทียบกับระยะที่ทราบค่าในภาพ แล้วกำหนดจุดอ้างอิง (landmark) จำนวน 12 จุด บนตำแหน่งคู่เหมือนที่สมนัยกันในทุกตัวอย่าง (correspondently homologous point) สร้างเส้นสมมติเชื่อมระหว่างจุดกำหนดดังกล่าว โดยเส้นที่สร้างขึ้นจะสานกันเป็นตาข่ายที่จัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบคลุมทั่วตัวปลา (รูปที่ 2) จากนั้นวัดค่าระยะทางของเส้นแต่ละเส้น (ตารางที่ 2) และวัดค่าความยาวมาตรฐาน

(standard length, SL) เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป



รูปที่ 2 ตำแหน่งจุดอ้างอิง (A-L) และการวัดค่าตัวแปรมอร์โฟเมตริกส์แบบเครือข่ายโครงยึด (TNS) จากตัวอย่าง

กำจัดความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลของขนาดร่างกาย (size-dependent variation) ด้วยวิธี Burnaby's size adjustment (Burnaby, 1966) โดยใช้โปรแกรม PAST Version 2.03 (Hammer et al., 2001) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แสดงถึงความแปรผันของรูปร่างที่แท้จริง ไม่ใช่เป็นผลเนื่องจากการที่ตัวอย่างมีขนาดร่างกายที่ต่างกัน (Bookstein, 1982; Parsons et al., 2003)

ตารางที่ 2 รายละเอียดของตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS) ที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปร	คำอธิบาย	ตัวแปร	คำอธิบาย
ตัวแปรลักษณะของส่วนหัว			
AB	ความยาวหน้าผาก	KL	ความยาวหัวด้านล่าง
AL	ความยาวขากรรไกรล่าง	BK	ความยาวหัวแนวทแยง 1
BL	ความลึกหัวตอนหน้า	CL	ความยาวหัวแนวทแยง 2
BC	ความยาวหัวด้านบน	CK	ความลึกหัวด้านท้าย
ตัวแปรลักษณะของส่วนลำตัว			
CD	ความยาวหลัง	DE	ความยาวฐานครีบท้อง
IJ	ความยาวท้อง	HI	ความยาวฐานครีบก้น
JK	ความยาวอก	DH	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1
CI	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	EI	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2
CJ	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	DJ	ความลึกลำตัวตอนหน้า

ตารางที่ 2 รายละเอียดของตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS) ที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวแปร	คำอธิบาย	ตัวแปร	คำอธิบาย
DK	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3	DI	ความลึกลำตัวตอนท้าย
ตัวแปรลักษณะของส่วนหาง			
EF	ความยาวคอดหางด้านบน	FH	ความยาวคอดหางแนวทแยง 2
GH	ความยาวคอดหางด้านล่าง	EH	ความลึกคอดหางตอนหน้า
EG	ความยาวคอดหางแนวทแยง 1	FG	ความลึกคอดหางตอนท้าย

วิเคราะห์ความแตกต่างทางมอร์โฟเมทริกส์ในภาพรวมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพหุ (multivariate analysis of variance, MANOVA) วิเคราะห์ลักษณะความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาระหว่างชนิด ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (discriminant function analysis, DFA) โดยสร้างฟังก์ชันจำแนกแบบไปข้างหน้า (forward manner) กำหนดค่าสถิตินำเข้าเท่ากับ 3.84 ($F\text{-to-enter} = 3.84$) ค่าสถิตินำออกเท่ากับ 2.71 ($F\text{-to-remove} = 2.71$) (Poulet et al., 2005; Pollar et al., 2007) แสดงผลการจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในรูปของแผนภาพการจำแนก (discrimination plot) และระบุชนิดตัวอย่าง ด้วยวิธีการทดสอบซ้ำแบบแจคไนฟ์ (Jackknife cross-validation) โดยใช้ค่าระยะห่างมาฮาลานอบิส (Mahalanobis distance) ที่คำนวณจากตัวแปร TNS

วิเคราะห์ทางสถิติข้างต้นที่ระดับความเชื่อมั่น (confident level) ร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) โดยใช้โปรแกรม STATISTICA Version 8.0 (StatSoft[®], Inc., U.S.A.)

การศึกษาด้วยวิธีมอร์โฟเมทริกส์เชิงเรขาคณิต

กำหนดจุดอ้างอิงที่เป็นจุดคู่เหมือนที่สมนัยกันในแต่ละตัวอย่าง (Bookstein, 1991; Zelditch et al., 2004) โดยใช้จุดอ้างอิงเดียวกันกับการศึกษาด้วยวิธีเชิงพหุ (รูปที่ 2) และคำนวณหาค่าขนาดเซนทรอยด์ (centroid size, CS) โดยใช้โปรแกรม tpsDig2 Version 2.14 (Rohlf, 2009a) ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของจุดอ้างอิงด้วยโปรแกรม tpsSmall Version 1.20 (Rohlf, 2003) จากนั้นวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม tpsRelw Version 1.46 (Rohlf, 2008) เพื่อคำนวณค่าส่วนประกอบเอกรูป (uniform components, UC) และคะแนนการโค้งตัวบางส่วน (partial warp scores, PW) เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ทางสถิติ (Rohlf, 1995; Parson et al., 2003)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางมอร์โฟเมทริกส์ในภาพรวมด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพหุของตัวแปร UC และ PW

วิเคราะห์ลักษณะความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาระหว่างชนิด ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม โดยใช้ UC และ PW เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ แสดงผลการจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในรูปของแผนภูมิการจำแนก ทำการจำแนกชนิดด้วยวิธีการทดสอบซ้ำแบบแจคไนฟ์ และแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาเฉลี่ยของแต่ละชนิดในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation grid) ด้วยการใช้การถดถอยเชิงเส้นของจุดอ้างอิงกับค่าคะแนนการจำแนกในแต่ละแกนฟังก์ชันจำแนก (Bookstein, 1991) โดยใช้โปรแกรม tpsRegr Version 1.37 (Rohlf, 2009b)

การวิเคราะห์สถิติข้างต้น ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) (Marcus, 1990; Rohlf, 200; Pollar et al., 2007) โดยใช้โปรแกรม STATISTICA Version 8.0 (StatSoft[®], Inc., U.S.A.)

ผลการศึกษา

การศึกษาด้วยวิธีมอร์โฟเมทริกส์เชิงพหุ

การทดสอบความแตกต่างทางมอร์โฟเมทริกส์ในภาพรวมด้วยวิธี MANCOVA โดยใช้ SL เป็นตัวแปรร่วมพบว่าปลาทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมทริกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($Pili's\ trace = 1.591$, $F = 66.596$, $p < 0.0001$) (รายละเอียดของค่าการวัดแสดงในตารางผนวก 1)

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาด้วยวิธี DFA พบว่า ตัวแปร TNS จำนวน 11 ตัวแปร จากทั้งหมด 26 ตัวแปร ถูกนำเข้าในกระบวนการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นตัวแปรของลักษณะส่วนหัว ลำตัว และคอดหาง จำนวน 3, 5 และ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

จากแผนภาพการจำแนกโดยใช้ข้อมูล TNS (รูปที่ 3) พบว่า ตัวอย่างกระจายเกาะกลุ่มกันตามชนิด โดยที่ *C. striata* และ *C. gachua* มีการกระจายตัวอย่างใกล้เคียงกัน ส่วน *C. lucius*

กระจายตัวแยกออกจากชนิดอื่นอย่างชัดเจน บ่งชี้ว่าตัวอย่างทั้งสามมีรูปแบบทางสัณฐานวิทยาที่เป็นรูปแบบเฉพาะของแต่ละชนิด โดย *C. striata* และ *C. gachua* มีลักษณะทางสัณฐาน

วิทยาใกล้เคียงกัน ส่วน *C. lucius* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างจากชนิดอื่นค่อนข้างชัดเจน

ตารางที่ 3 เมทริกซ์โครงสร้าง (structure matrix) ของแต่ละฟังก์ชันจำแนก (DF) จากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (DFA) โดยใช้ข้อมูลตัวแปร TNS

Truss variables	DF1		DF2	
	r	z	r	z
AB	-0.1362	0.5333	0.4501	0.1542
AL	0.0848	-0.2808	0.4123	-0.5505
BL	0.1680	0.8049	0.7151	1.1531
CD	0.2953	0.9767	-0.0587	0.3504
CI	0.4815	-0.4298	-0.2887	-0.3956
CL	0.0644	0.9747	-0.6151	0.0239
DE	-0.0372	0.3381	-0.2287	0.0236
EF	0.3957	0.4896	0.4073	0.3468
FG	-0.2976	-0.0838	0.2420	0.3170
GH	0.0193	0.2628	-0.1200	0.0765
IJ	0.5289	1.1457	0.1409	0.3599

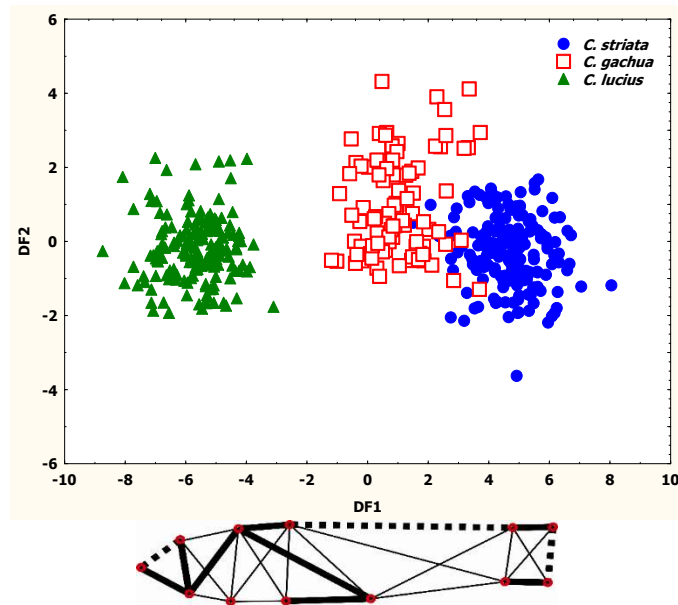
จากเมทริกซ์โครงสร้างของแต่ละฟังก์ชันจำแนก (ตารางที่ 4) และรูปแบบการกระจายตัวของตัวอย่างบนแกนฟังก์ชันจำแนก (รูปที่ 3) สรุปได้ว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของ *C. striata* และ *C. gachua* มีส่วนหัวสั้นและลึก หน้าผากสั้น ขากรรไกรล่างยาว ลำตัวด้านหลังและด้านท้องที่ไม่มีครีบกคลุมยาว ฐานครีบล้างสั้น และคอดหางเรียวยาว เมื่อเทียบกับ *C. lucius* ที่ส่วนหัวมีลักษณะเรียวยาว หน้าผากยื่นยาว ขากรรไกรล่างสั้น ส่วนลำตัวที่ไม่มีครีบกคลุมสั้น ฐานครีบล้างยาว คอดหางสั้นแต่ลึก

การศึกษาด้วยวิธีมอร์โฟเมตริกเชิงเรขาคณิต

การทดสอบความแตกต่างทางมอร์โฟเมตริกในภาพรวมด้วยวิธี MANCOVA ของค่าตัวแปร TPS โดยใช้ตัวแปร SL เป็นตัวแปรร่วม พบว่า ปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมตริกอย่างมีนัยสำคัญ (Pili's trace = 1.754, $F = 155.221$, $p < 0.0001$)

ในการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาด้วยวิธี DFA พบว่า รูปแบบการกระจายตัวของตัวอย่างทั้งสามชนิด (รูปที่ 4) เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงพหุ ตัวอย่างกระจายตัวเกาะกลุ่มแยกออกจากกันตามชนิดอย่างชัดเจน โดย *C. striata* และ *C. gachua* กระจายตัวอยู่ใกล้กัน ส่วน *C. lucius* กระจายตัวแยกออกจากชนิดอื่น ซึ่งบ่งชี้ถึงรูปแบบที่จำเพาะของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแต่ละชนิด โดยที่ *C. striata* และ *C. gachua* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกัน ส่วน *C. lucius* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ต่างจากชนิดอื่นค่อนข้างมาก

เมื่อวิเคราะห์รูปร่างเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละชนิดในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (รูปที่ 4) พบว่า ตัวอย่างทั้งสามชนิดมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เป็นลักษณะจำเพาะของแต่ละชนิด โดยมีความแตกต่างทั้งในลักษณะส่วนหัว ลำตัว และคอดหาง ซึ่งสามารถสรุปในเชิงเปรียบเทียบระหว่างทั้งสามชนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 3 แผนภาพจำแนกที่ได้จากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (DFA) โดยใช้ข้อมูลตัวแปร TNS แสดงการกระจายตัวของตัวอย่างแต่ละตัวบนแกนฟังก์ชันจำแนกที่ 1 และ 2 (DF1-DF2) ภาพวาดแสดงตำแหน่งของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (เส้นทึบหนา) และมีความสัมพันธ์เชิงลบ (เส้นปรุ) กับแต่ละแกนฟังก์ชันจำแนก

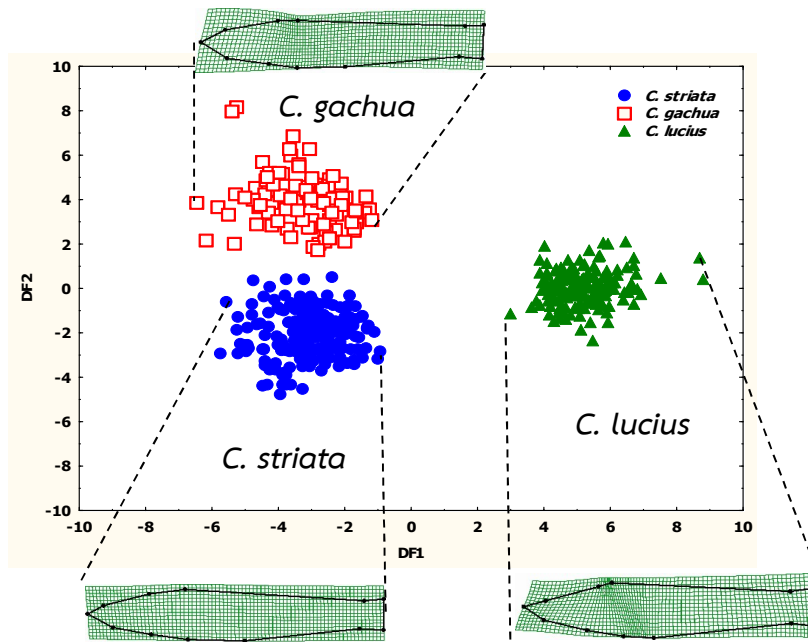
ตารางที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงเปรียบเทียบของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPS

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	<i>C. striata</i>	<i>C. gachua</i>	<i>C. lucius</i>
ความยาวจะงอยปาก	+	++	+++
ความยาวขากรรไกรล่าง	++	+++	++
ความลึกหัวส่วนหน้า	++	+++	+
ความยาวหัว	+	+++	++
ความลึกหัว	++	+++	+
ความยาวของส่วนลำตัวที่ไม่มีครีบ	+++	++	+
ความยาวฐานครีบกัน	++	++	+++
ความลึกคอดหาง	++	++	+++
ความยาวคอดหาง	++	++	+++

การระบุชนิดโดยใช้ข้อมูลมอร์โฟเมตริกส์

ความถูกต้องโดยรวม (global accuracy) ของการระบุชนิดโดยใช้ข้อมูลมอร์โฟเมตริกส์จากเทคนิค TNS เท่ากับ 98.24% โดยที่ *C. lucius* มีความถูกต้องของการระบุชนิดสูงถึง 100% (171 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 171 ตัวอย่าง) ขณะที่ตัวอย่าง *C. striata* และ *C. gachua* มีการระบุชนิดสลับกันในบางตัวอย่าง ทำให้ความถูกต้องของการระบุชนิดเท่ากับ 98.98%

(182 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 185 ตัวอย่าง) และ 94.95% (94 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 99 ตัวอย่าง) ตามลำดับ ขณะที่เมื่อใช้ข้อมูลที่ได้จากเทคนิค TPS ในการระบุชนิด พบว่า ตัวอย่างทั้งหมดถูกระบุชนิดได้อย่างถูกต้อง ทำให้ค่าความถูกต้องโดยรวมของการระบุชนิดเท่ากับ 100% (ตารางที่ 5)



รูปที่ 4 แผนภาพการจำแนกที่ได้จากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (DFA) โดยใช้ข้อมูลมอร์โฟเมตริกส์จากเทคนิค TPS แสดงการกระจายตัวของตัวอย่างแต่ละตัวบนแกนฟังก์ชันจำแนกที่ 1 และ 2 (DF1-DF2) ภาพแทรกแสดงรูปร่างเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละชนิดในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

ตารางที่ 5 ผลการระบุชนิดด้วยวิธี Jackknife's cross-validation โดยใช้ค่าระยะห่างมาฮาลานอบิส โดยคำนวณจากข้อมูลมอร์โฟเมตริกส์ที่ได้จากเทคนิค TNS และ TPS (แสดงจำนวนตัวอย่างและร้อยละของตัวอย่าง)

Method	Species	Predicted Species			Global accuracy
		<i>C. striata</i>	<i>C. gachua</i>	<i>C. lucius</i>	
TNS	<i>C. striata</i>	182 (98.98%)	3 (1.02%)	0 (0%)	98.24 %
	<i>C. gachua</i>	5 (5.05%)	94 (94.95%)	0 (0%)	
	<i>C. lucius</i>	0 (0%)	0 (0%)	171 (100%)	
TPS	<i>C. striata</i>	185 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	100.00%
	<i>C. gachua</i>	0 (0%)	99 (100%)	0 (0%)	
	<i>C. lucius</i>	0 (0%)	0 (0%)	171 (100%)	

สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

ลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ของปลาแต่ละชนิด

ความแปรผันและความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในระหว่างชนิดมีความสัมพันธ์กับความเหมาะสมในการดำรงชีวิตในแหล่งอาศัยของปลาแต่ละชนิด เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่รอด และสามารถแก่งแย่งแข่งขันเพื่อใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในแหล่งอาศัยให้ได้อย่างสูงสุด (Smith and Skúlason, 1996; Albertson and Kocher, 2001; Andresson, 2003) โดยจัดเป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการหาอาหาร (feeding morphology) และเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่หรือการว่ายน้ำ (swimming

morphology) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาอาหารประกอบด้วยรูปแบบการหาอาหาร ชนิด ขนาด และความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (Gatz, 1979; Turan et al., 2005; Albertson and Kocher, 2001, Langerhans et al., 2003) ส่วนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่หรือการว่ายน้ำประกอบด้วยรูปแบบของการว่ายน้ำ (swimming maneuverability) ความสามารถในการเร่งความเร็วของการว่ายน้ำ (swimming acceleration) และพลังงานที่ใช้ในการว่ายน้ำ (energetic cost) (Webb, 1984; Boily and Magnan, 2002) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการหาอาหารอีกทอดหนึ่ง (Andersson, 2003)

การศึกษาครั้งนี้พบว่า ปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดมีส่วนหัวต่อน้ำ โดยเฉพาะขากรรไกรล่างขนาดใหญ่ ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเป็นปลากินเนื้อ (carnivorous fish) เนื่องจากการมีหัวส่วนหน้าขนาดใหญ่จะทำให้มีช่องปาก (buccal cavity) ขนาดใหญ่และอ้าปากได้กว้าง ทำให้สามารถกินเหยื่อที่มีขนาดใหญ่ได้ (Gatz, 1979; Herler et al., 2010) นอกจากนี้ขนาดของขากรรไกรล่างยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณและขนาดของมัดกล้ามเนื้อที่มายึดเกาะกับกระดูกขากรรไกร การมีขากรรไกรล่างยาวจะทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของมัดกล้ามเนื้อมากขึ้น ช่วยเพิ่มแรงในการกัดเหยื่อให้สูงขึ้น การที่ *C. lucius* มีส่วนหัวที่เรียวยาวกว่าปลาชนิดอื่น โดยมีความยาวของหัวมาก แต่มีความลึกของหัวส่วนท้ายน้อย และมีขากรรไกรยื่นยาวไปข้างหน้า น่าจะเป็นลักษณะที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการกินปลาชนิดอื่นเป็นอาหาร (piscivorous feeding) (Chininsky et al., 2010) เนื่องจากลักษณะของหัวที่เรียวยาวจะช่วยลดแรงดึงของน้ำระหว่างการว่ายน้ำหรือระหว่างการพุ่ง และการยื่นยาวของปากจะช่วยในการพุ่งโจมตีเหยื่อ (ambush feeder) ได้ดี (Skúlason et al., 1999; Culen et al., 2007) นอกจากนี้ การยื่นยาวของขากรรไกรยังมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสิ่งปกคลุมในแหล่งอาศัย ช่วยในการหลบซ่อนและพุ่งโจมตีเหยื่อได้ดี (Cochran-Biederman and Winemiller, 2010)

ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนลำตัวและคอดหาง เป็นลักษณะที่มีผลต่อความสามารถในการว่ายน้ำหรือเคลื่อนที่ (Webb, 1984; Boily and Magnan, 2002; Chivers et al., 2008) ความลึกลำตัวมีผลต่อแรงดึงของน้ำในระหว่างการว่ายน้ำ (Webb, 1984; Blake, 2004) การมีลำตัวที่มีความลึกน้อย (shallow body) จะทำให้แรงดึงของน้ำในขณะว่ายน้ำน้อย ทำให้สูญเสียพลังงานในการว่ายน้ำน้อย (Bourke et al., 1997) ขณะที่การมีความลึกลำตัวมาก (deep body) จะทำให้แรงต้านของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สูญเสียพลังงานในการว่ายน้ำมาก ทำให้ว่ายน้ำได้ช้ากว่าพวกที่มีลำตัวตื้น (Pettersson and Brönmark, 1997, 1999; Chivers et al., 2008) อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของความลึกลำตัวระหว่างปลาทั้งสามชนิดในการศึกษาครั้งนี้ ไม่มีผลทำให้แรงดึงของน้ำในระหว่างการว่ายน้ำแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากปลาทั้งสามชนิดมีรูปแบบโดยรวมของร่างกายเป็นแบบเรียวยาวเหมือนกัน และความลึกลำตัวไม่ได้แตกต่างกันมากนัก แต่ความแตกต่างของความลึกลำตัวน่าจะ

เกี่ยวข้องกับรูปแบบการว่ายน้ำเพื่อการหาอาหารและสภาพของแหล่งอาศัย โดยการมีความลึกลำตัวมากจะทำให้มีปริมาณของมวลกล้ามเนื้อของร่างกายมาก ส่งผลให้มีแรงผลักดันในการเคลื่อนที่มาก (Webb and Gardiner-Fairchild, 2001; Rouleau et al., 2010) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเคลื่อนที่ในมวลของน้ำ (water column) นอกจากนี้ การมีคอดหางขนาดใหญ่ โดยเฉพาะการมีความลึกของคอดหางมาก แสดงถึงการว่ายน้ำแบบความเร็วต่ำ (cruising speed) ซึ่งจะทำให้ว่ายน้ำได้ไกลขึ้น (Webb, 1984; Sambilay, 1990; Fisher et al., 2005) และยังสามารถว่ายน้ำแบบพุ่งด้วยความเร็วสูงในระยะสั้น (sprint swimming) ได้ดี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพุ่งโจมตีเหยื่อและการป้องกันอาณาเขต (Webb, 1984; Blake, 2004) สอดคล้องกับการรายงานของ Blake et al. (2005) ที่พบว่า ปลาที่หากินบริเวณผิวน้ำหรือกลางน้ำ (pelagic zone) มีความทนทานในการว่ายน้ำมากกว่าพวกที่หากินบริเวณพื้นท้องน้ำ (benthic zone) เพื่อที่จะว่ายน้ำได้นานและการหาอาหารครอบคลุมอาณาเขตกว้างขวาง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการอาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยที่มีพืชใต้น้ำขึ้นปกคลุมหนาแน่น (Chinsky et al., 2010) โดยเกี่ยวกับการว่ายน้ำแบบพุ่งในช่วงสั้น ๆ ซึ่งอาศัยความซับซ้อนของลักษณะแหล่งอาศัยเป็นเครื่องกำบังตัวในการพุ่งจับเหยื่อ

การที่ *C. striata* และ *C. gachua* มีส่วนหลังและท้องที่ไม่มีครีบยาว แต่มีครีบหลังและครีบกันสั้น ส่วน *C. lucius* มีส่วนหลังและท้องที่ไม่มีครีบสั้นมาก แต่มีครีบกันยาว ลักษณะดังกล่าวมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแต่ละชนิด โดยที่ *C. striata* และ *C. gachua* สามารถเคลื่อนที่โดยการตีปลายหางไปตามพื้นท้องน้ำได้ แต่ *C. lucius* ไม่มีความสามารถในการเคลื่อนที่แบบดังกล่าว (Lee and Ng, 1991; Courtenay and Williams, 2004) ดังนั้น การที่ส่วนท้องไม่มีครีบปกคลุมยาวน่าจะช่วยให้สามารถเคลื่อนที่บนพื้นท้องน้ำได้ดี ขณะที่ความแตกต่างของความยาวฐานครีบบีผลต่อรูปแบบการว่ายน้ำ ทั้งในแง่ของการทรงตัว การหมุนเลี้ยว และการลดความเร็วแบบกะทันหัน (Walker, 2004; Rouleau et al., 2010) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการมีครีบหลังและครีบกันที่ทำหน้าที่เป็นแกนหมุนในแนวแกนนอนซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงทอร์ก (torque force) ในการหมุนตัวขณะว่ายน้ำ (Rouleau et al., 2010)

โดยสรุป ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด เกิดขึ้นทั้งในส่วนหัว ลำตัว และคอดหาง ซึ่ง

ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะสัณฐานวิทยาเชิงหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการหาอาหารและการว่ายน้ำ ที่ส่งผลทำให้รูปแบบและพฤติกรรมการดำรงชีวิตในแหล่งอาศัยของปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ก่อให้เกิดความสอดคล้องเหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้ได้มากที่สุด ขณะเดียวกันก็เป็นการแบ่งแยกขอบเขตในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในแหล่งอาศัยเดียวกัน ซึ่งก่อให้เกิดการแบ่งปันทรัพยากร (resource partitioning) นำไปสู่การลดการแก่งแย่งแข่งขันระหว่างปลาแต่ละชนิดที่อาศัยอยู่ในแหล่งอาศัยเดียวกันได้อีกด้วย

การจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาและระบุชนิดโดยใช้ข้อมูลทางมอร์โฟเมตริกส์

ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า วิธีการมอร์โฟเมตริกส์แบบ TNS และ TPS สามารถใช้ในการศึกษาความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา และใช้ในการจำแนกและระบุชนิดปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดออกจากกันได้ โดยที่ความสามารถในการจำแนกและระบุชนิดและกลุ่มประชากรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสองประการ คือ ปัจจัยเนื่องจากความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากแต่ละเทคนิค และวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ดังนั้น ในการศึกษาต่อไปอาจทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการปรับเปลี่ยนปัจจัยข้างต้น เช่น การเพิ่มหรือลดจำนวนตัวแปรที่วัดหรือปรับเปลี่ยนจำนวนจุดกำหนด เพื่อดูว่ามีผลต่อการวิเคราะห์ทางมอร์โฟเมตริกส์หรือไม่ อย่างไร และอาจเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติอื่น ๆ เช่น nearest neighbors projection, pursuit regression หรือ neural network analysis เป็นต้น เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์แต่ละวิธีมีหลักเกณฑ์ (criteria) และความสามารถในการจำแนกทางสถิติแตกต่างกัน (Rohlf, 2000; Shinn et al., 2000; Pollar et al., 2007) นอกจากนี้ วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่ให้ผลดีกับข้อมูลแบบหนึ่ง อาจให้ผลได้ไม่ดีเท่าวิธีอื่นเมื่อไปใช้กับข้อมูลอีกแบบหนึ่ง (Rohlf, 2000; Shinn et al., 2000)

อย่างไรก็ตาม ผลการจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา และการระบุชนิดโดยใช้ข้อมูลมอร์โฟเมตริกส์ที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้ มีความถูกต้องค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในการระบุชนิดโดยใช้

ข้อมูลจากเทคนิค TPS ที่ระบุชนิดได้ถูกต้องทั้งหมด ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในงานด้านอนุกรมวิธาน ไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับความแปรผันทางสัณฐานวิทยา การจำแนกความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา การกำหนดขอบเขตของชนิด และการคัดเลือกลักษณะเพื่อใช้ในการจัดจำแนก หรือประยุกต์ใช้ในงานอนุกรมวิธานแนวใหม่ โดยเฉพาะการระบุหน่วยอนุกรมวิธานแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคนิควิธีการทางด้านการประมวลผลภาพ (image processing) ระบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ (computer database system) เทคโนโลยีระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (internet technology) และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (intellectual technology) ร่วมกัน เพื่อให้การเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากตัวอย่างสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะตัวอย่างอ้างอิง (type specimens) เป็นไปอย่างทั่วถึง สะดวกรวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งช่วยลดความเสียหายเนื่องจากการกระทำต่อตัวอย่างมากเกินไป ดังเช่นในปัจจุบัน ที่ได้มีการผสมผสานเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน และได้มีการพัฒนาระบบเกี่ยวกับงานอนุกรมวิธานแนวใหม่ขึ้นมาเรื่อยๆ ตัวอย่างเช่น ชุดโปรแกรม tps ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมในการศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อินเฟลทสไปรอนโดยเฉพาะ (<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>) หรือระบบ SPIDA (species identified automatically) ซึ่งเป็นระบบสำหรับการระบุชนิดของสิ่งมีชีวิตอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้วิธีการเครือข่ายประสาทเทียม (<http://research.amnh.org/iz/spida/>) หรือโครงการธนาคารสัณฐาน (The Morphobank Project) ซึ่งเป็นระบบฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิตในรูปของภาพถ่ายรายละเอียดสูง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายและง่ายต่อการแบ่งปันเพื่อใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการชาติพันธุ์และคลาสิติกส์ (cladistics) โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา (www.morphobank.org) เป็นต้น

ตารางผนวก 1 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ของแต่ละตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS) จากตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนแต่ละชนิด พร้อมทั้งผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของแต่ละตัวแปร

Truss variable	Species												Probability of difference
	<i>C. striata</i>				<i>C. gachua</i>				<i>C. lucius</i>				
	mean	SD	Min	Max	mean	SD	Min	Max	mean	SD	Min	Max	
SL	284.37	85.03	147.14	501.86	103.87	33.20	53.77	180.88	245.05	41.56	129.12	438.50	$P < 0.0001$
AB	15.28	4.99	3.59	28.40	9.39	3.44	4.73	19.45	18.57	5.22	6.72	40.85	$P < 0.0001$
AL	28.44	7.49	6.68	52.33	14.01	8.33	5.86	42.60	22.69	4.36	10.48	36.13	$P < 0.0001$
BL	26.46	7.51	6.55	47.23	13.10	6.67	5.47	35.42	19.60	3.89	9.77	35.17	$P < 0.0001$
BC	36.66	12.10	8.61	83.82	17.68	5.31	8.67	30.26	44.76	10.17	18.30	71.09	$P < 0.0001$
KL	34.58	12.07	9.52	65.62	14.13	3.90	8.49	25.40	36.63	6.56	17.83	54.98	$P < 0.0001$
BK	55.15	17.15	14.62	101.58	21.11	6.33	11.40	38.54	46.19	7.83	23.74	66.44	$P < 0.0001$
CL	74.55	21.31	18.05	126.39	26.24	8.52	13.48	46.02	63.76	11.08	32.56	105.12	$P < 0.0001$
CK	42.15	12.92	10.95	79.83	16.42	5.74	7.15	29.99	40.15	7.57	20.63	67.57	$P < 0.0001$
CD	47.38	18.60	12.26	103.34	11.20	5.18	4.24	29.97	17.97	7.72	3.42	49.12	$P < 0.0001$
IJ	63.30	22.32	18.35	127.20	21.04	7.26	10.98	42.03	33.76	6.37	18.44	54.46	$P < 0.0001$
JK	34.40	9.93	6.78	66.75	10.84	4.83	3.52	23.07	30.99	7.38	14.57	59.74	$P < 0.0001$
CI	118.48	40.81	32.34	228.20	35.43	13.10	18.47	69.22	73.93	14.45	39.15	133.41	$P < 0.0001$
CJ	32.83	9.71	8.26	54.53	14.79	5.51	5.49	28.63	32.57	9.04	15.41	66.37	$P < 0.0001$
DK	62.21	18.60	16.02	114.32	25.64	7.58	14.30	44.72	58.38	9.96	27.64	85.81	$P < 0.0001$
DE	49.33	13.05	12.48	81.83	18.16	6.58	6.92	32.37	48.07	9.36	24.36	83.75	$P < 0.0001$
HI	169.76	57.28	45.02	319.52	60.68	19.26	31.33	104.23	151.54	28.00	78.02	256.43	$P < 0.0001$
DH	100.49	32.65	25.98	187.70	38.44	12.73	18.90	69.56	110.50	21.26	55.24	189.47	$P < 0.0001$
EI	167.01	55.93	44.62	304.84	59.60	19.65	30.49	103.79	154.67	28.69	80.72	265.06	$P < 0.0001$
DJ	112.77	36.51	28.30	210.15	43.64	13.90	22.01	78.19	118.21	22.50	58.56	199.22	$P < 0.0001$
DI	80.64	26.65	22.32	146.35	26.55	9.66	12.61	51.22	63.42	11.70	32.44	106.15	$P < 0.0001$
EF	160.46	47.99	42.86	280.30	80.68	24.37	40.79	134.86	192.89	34.12	98.75	323.10	$P < 0.0001$
GH	23.32	8.36	6.51	48.73	8.48	2.67	3.97	15.50	19.89	3.98	9.58	36.57	$P < 0.0001$
EG	32.53	10.84	7.84	63.97	13.20	4.51	5.56	24.07	35.15	6.58	18.09	59.97	$P < 0.0001$
FH	36.95	12.15	9.71	69.23	14.82	4.93	6.65	26.62	36.44	6.39	17.66	57.45	$P < 0.0001$
EH	27.73	8.70	6.21	52.09	11.67	3.86	4.79	21.63	28.34	5.31	14.16	45.92	$P < 0.0001$
FG	29.01	9.83	6.86	59.57	12.26	4.33	5.28	23.75	32.29	6.25	15.82	56.54	$P < 0.0001$

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนทั่วไปประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 ทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และทุนสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจากทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (รหัสทุน 51131104)

ขอขอบคุณ ศ.ดร. อลงกลต แทนอมทอง คุณณรงค์ศักดิ์ ปิ่นเกตุ ผศ. ดร. ว่าที่ ร.ต. สิทธิศักดิ์ จันทร์รัตน์ และ ดร. ประวีร์ณ สุพรรณอ่วม ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- Albertson, R.C, and Kocher, T.D. (2001). Assessing morphological differences in an adaptive trait: A landmark-based morphometric approach. *Journal of Experimental Zoology* 29(6): 385-403.
- Andersson, J. (2003). Effects of diet-induced resource polymorphism on performance in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Evolutionary Ecology Research* 5: 213-228.
- Bailey, K.M. (1997). Structural dynamics and ecology of flatfish populations. *Journal of Sea Resedarch* 37: 129-139.
- Benziger, A., Philip, S., Raghavan, R. Anva Ali, P.H., Sukumaran, M. Tharian, J.C., Dahanukar, N., Baby, F., Peter, R., Devi, K.R., Radhakrishnan, K.V., Haniffa, M.A., Britz, R., and Antunes, A. (2011). Unravelling a 146 Year Old

- Taxonomic Puzzle: Validation of Malabar Snakehead, Species-Status and Its Relevance for Channid Systematics and Evolution. PLoS ONE 6(6): e21272.
- Blake, R.W. (2004). Fish functional design and swimming performance. *Journal of Fish Biology* 65: 1193–1222.
- Blake, R., Chan, K. and Kwok, E. (2005). Finlets and the steady swimming performance of *Thunnus albacares*. *Journal of Fish Biology* 67: 1434-1445.
- Boily, P. and Magnan, P. (2002). Relationship between individual variation in morphological characters and swimming costs in brook charr (*Salvelinus fontinalis*) and yellow perch (*Perca flavescens*). *Journal of Experimental Biology* 205: 1031-1036.
- Bookstein, F.L. (1982). Size and shape: a comment on semantics. *Systematic Zoology* 38: 173-180.
- Bookstein, F.L. (1991). *Morphometric Tools for Landmark Data*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bourke, P., Magnan, P. and Rodriguez, M.A. (1997). Individual variations in habitat use and morphology in brook charr. *Journal of Fish Biology* 51: 783-794.
- Britz, R. (2007). *Channa ornatipinnis* and *C. pulchra*, two new species of dwarf snakeheads from Myanmar (Teleostei: Channidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 18(4): 335–344
- Bronte, C.R., Fleischer, G.W., Maistrenleo, S.G. and Pronin, N.M. (1999). Stock structure of Lake Baikal omul as determined by whole-body morphology. *Journal of Fish Biology* 54: 787-798.
- Burnaby, T.P. (1966). Growth-invariant discriminant functions and generalized distances. *Biometrics* 22: 96-110.
- Cadrin, S.X. (2000). Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 10 (1): 91–112.
- Chizinsky, C.J., Pope, K.L., Wilde, G.R. and Strauss, R.E. (2010). Implication of stunting on morphology of freshwater fishes. *Journal of Fish Biology* 76: 564-579.
- Chivers, D.P., Zhao, X.X., Brown, G.E., Marchant, T.A. and Ferrari, M.C.O. (2008). Predator-induced changes in morphology of a prey fish: the effects of food level and temporal frequency of predation risk. *Evolutionary Ecology* 22: 561–574.
- Cochran-Biederman, J.L. and Winemiller, K.O. (2010). Relationships among habitat, ecomorphology and diets of cichlids in the Bladen River, Belize. *Environmental Biology of Fishes* 88(2): 143-152.
- Courtenay W.R. Jr. and Williams, J.D. (2004). *Snakeheads (Pisces, Channidae) — A Biological Synopsis and Risk Assessment*. U.S. Geological Survey Circular 1251. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- Dasgupta, M. (2000). Adaptation of the alimentary tract to feeding habits in four species of fish of the genus *Channa*. *Indian Journal of Fisheries* 47(3): 265-269.
- Fisher, R., Leis, J.M., Clark, D.J. and Wilson, S.K. (2005). Critical swimming speeds of late-stage coral reef fish larvae: variation within species, among species and between locations. *Marine Biology* 147: 1201-1212.
- Galarowicz, T.J., Adams, J.A. and Wahl, D.H. (2006). The influence of prey availability on ontogenetic diet shift of a juvenile piscivore. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 1722-1733.
- Gatz, A.J. (1979). *Ecological morphology of freshwater stream fishes*. *Tulane Studies in Zoology and Botany* 21: 91-124.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. and Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica* 4 (1): http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Herler, J., Kerschbaumer, M., Miteroecker, P., Postl, L. and Sturmbauer, C. (2010). Sexual dimorphism and population divergence in the Lake Tanganiya cichlid fish genus *Tropheus*. *Frontiers in Zoology* 7:4.
- Knight, J.D.M. (2016). *Channa pardalis*, a new species of snakehead (Teleostei: Channidae) from Meghalaya, Northeastern India. *Journal of Threatened Species* 8(3): 8583-8589.
- Kottelat, M. (2001). *Fishes of Laos*. WHT Publications, Colombo, Sri Lanka.
- Langerhans, R.B., Layman, C.A., Langerhans, A.K. and Dewitt, T.J. (2003). Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. *Biological Journal of the Linnean Society* 80: 689–698.
- Lee, P.G. and Ng, P.K.L., (1991). The snakehead fishes of the Indo-Malayan Region. *Nature Malaysiana* 16(4): 113-129.

- Lestrel, P.E. (2000). Morphometrics for the Life Sciences. Word Scientific Publishing, Singapore.
- Lim, K.K.P. and Ng, P.K.L. (1990). The freshwater fishes of Singapore. Singapore Science Centre, Singapore.
- Nie, Z.-L., Wei, J., Ma, Z.-H., Zhang, L., Song, W., Wang, W.-M. and Zhang, J. (2014). Morphological variations of *Schizothora cinae* species in the Muzhati River. Journal of Applied Ichthyology 30: 359-365.
- Nunes, J.L.S., Piorski, N.M. and de Araújo, M.E. (2008). Phylogenetic and ecological inferences of three *Halichoeres* (Perciformes: labridae) species through geometric morphometrics. Cybium 32(2): 165-171.
- Pages, L.M. and Swofford, D.L. (1984). Morphological correlation of ecological specialization in darters. Environmental Biology of Fishes 11: 139-159.
- Parsons, K.J., Robinson, B.W. and Hrbek, W. (2003). Getting into shape: an empirical comparison of traditional truss-based methods with a newer geometric method applied to New World cichlids. Environmental Biology of Fishes 67: 417-431.
- Pérez-Jiménez, J.C., Rocha-Olivares, A. and Sosa-Nishizaki, O. (2013). Morphological and molecular differentiation of smooth-hound sharks (Genus *Mustelus*, Family Triakidae) from the Gulf of California. Journal of Applied Ichthyology 29: 268-270.
- Petterson, L.E. and Brönmark, C. (1997). Density-dependent coast of an inducible morphological defense in crucian carps. Ecology 78: 1805-1815.
- Petterson, L.E. and Brönmark, C. (1999). Energetic consequences of an inducible morphological defense in crucian carp. Oecologia 121: 12-18.
- Pinder, A.C., Gozlan, R.E., Beyer, K. and Bass, J.A.B. (2005). Ontogenetic induced shifts in the ecology of sunbleak *Leucaspis delineates* during early development. Journal of Fish Biology 67: 205-207.
- Pollar, M., Jaroensuthasinee, M. and Jaroensuthasinee, K. (2007). Morphometric Analysis of *Tor tambroides* by Stepwise Discriminant and Neural Network Analysis. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology 21: 392-396.
- Poulet, N., Reyjol, Y., Collier, H. and Lek, S. (2005). Does fish scale morphology allow the identification of population of *Leuciscus burdigalensis* in River Viaur (SW France). Aquatic Sciences 67: 122-127.
- Rainboth, W.J. (1996). Fishes of the Cambodian Mekong—FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Rohlf, F.J. (1990). Morphometrics. Annual Reviews of Ecological Systematics 21: 299-316.
- Rohlf, F.J. (1995). Multivariate analysis of shape using Partial-warp scores. In: Proceeding in Current issues in Statistical Shape Analysis. K.U. Mardia and C.P. Gills (Eds.). Leeds, England: Leeds University Press. pp. 154-158.
- Rohlf, F.J. (2000). Statistical power comparisons among alternative morphometric methods. American Journal of Physical Anthropology 111: 463-478
- Rohlf, F.J. (2003). tpsSmall, Test for "small" variation in shape, Version 1.20 [Software and Manual]. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York.
- Rohlf, F.J. (2008). tpsRelw, Relative warps analysis version 1.49 [Software and Manual]. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York.
- Rohlf, F.J. (2009a). tpsDig2, Digitize landmarks & outlines from image files, Version 2.14 [Software and Manual]. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York.
- Rohlf, F.J. (2009b). tpsRegr, Multivariate multiple regression of shape onto independent variables [Software and Manual]. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, New York.
- Rouleau, S., Glémet, H. and Magnum, P. (2010). Effects of morphology on swimming performance in wild and laboratory crosses of brook trout ecotypes. Functional Ecology 24: 310-321.
- Sambily, V.C. (1990). Interrelationships between swimming speed, caudal fin aspect ratio and body length of fishes. Fishbyte 8: 16-20
- Shinn, A.P., des Clers, S., Gibson, D.I. and Sommerville, C. (1996). Multivariate analysis of morphometrical features from *Gyrodactylus* spp. (Monogenea) parasitising British salmonids: light microscope based studies. Systematic Parasitology 33: 115-125.

- Smith, T.B. and Skúlason, S. (1996). Evolutionary significance of resource polymorphism in fished, amphibian, and birds. *Annual Reviews of Ecological Systematics* 27: 11-133.
- Turan, C., Yaçın, Ş., Turan, F. Okur, E. and Akyurt, I. (2005). Morphometric comparisons of African catfish, *Clarias gariepinus*, populations in Turkey. *Folia Zoology* 54(1-2): 165-172
- Walker, J.A. (2004). Kinematics and performance of median and paired fins as control surfaces. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 29: 572-584.
- Webb, P.W. (1984). Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist* 24: 107-120.
- Webb, P.W. and Gardine-Fairchild, A. (2001). Performance and maneuverability of three species of teleostean fishes. *Canadian Journal of Zoology* 79: 1866-1877
- Webb, P.W. and Weihs, D. (1986). Functional locomotion morphology of early life history stages of fishes. *Transaction of American Fisheries Society* 115: 115-127.
- Winemiller, K.O. and Winemiller, L.C.K. (2003). Food habits of tilapia cichlids of the Upper Zambezi river in the Vanezuela ilanos. *Environmental Biology of Fishes* 26: 177-199.
- Zelditch, M.L., Swiderski, D.L. Sheets, H.D. and Fink, D.L. (2004). *Geometric morphometrics for Biologist: a Primer*. London: Elsevier.

