

การประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายโครงข่ายเพื่อระบุกลุ่มประชากรทางการประมงด้วยเทคนิคมอโฟเมทรี
หลายตัวแปร: กรณีศึกษาในกลุ่มประชากรปลาช่อน (*Channa striata*) จากแหล่งภูมิศาสตร์ที่ต่างกัน
An Application of Truss Network System for Fishery Stock Identification Using Multivariate
Morphometrics: Case Study on Striped Snakehead (*Channa striata*) Stocks from
Different Geographical Localities

อนันต์ เกนฟ้า (Anan Kenthao)* ดร.พรพิมล เจียรนัยปริเปรม (Dr.Pornpimol Jearanaiprepreme)**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา และระบุกลุ่มประชากรปลาช่อน (*Channa striata*) ที่มาจากแหล่งอาศัยต่างกัน ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์มอโฟเมทรีหลายตัวแปรโดยเก็บตัวอย่างปลาช่อนจาก 3 แหล่ง จำนวนรวม 115 ตัวอย่าง วัดค่ามอโฟเมทรีของแต่ละตัวอย่างด้วยวิธีแบบดั้งเดิมจำนวน 9 ค่าและแบบเครือข่ายโครงข่ายจำนวน 16 ค่า แปลงค่าการวัดด้วยวิธีการแปลงแบบอัลโลเมทริก เพื่อกำจัดความแปรปรวนของขนาดออกจากข้อมูล จำแนกกลุ่มประชากรด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มแบบทีละขั้น พบว่ากลุ่มประชากรปลาช่อนจากทั้ง 3 แหล่งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะลักษณะทางมอโฟเมทรีของส่วนหัว ทำให้สามารถจำแนกกลุ่มออกจากกันได้ โดยเมื่อจำแนกกลุ่มด้วยวิธีแบบปกติและแบบทดสอบข้ามถ้าใช้ข้อมูลเครือข่ายโครงข่ายเพียงอย่างเดียว จะได้ความถูกต้องของการจำแนกที่ร้อยละ 78.3 และ 75.3 แต่เมื่อใช้ข้อมูลเครือข่ายโครงข่ายร่วมกับข้อมูลมอโฟเมทรีแบบดั้งเดิมจะได้ความถูกต้องของการจำแนกที่ร้อยละ 85.0 และ 83.3 ตามลำดับ

ABSTRACT

The striped snakehead (*Channa striata*) stocks from three locations were determined using multivariate morphometric analysis. Nine measured characters of traditional measurement and sixteen measured characters of truss network measurement, in 115 samples were applied for morphometric comparison. Allometric transformation method was used to remove size-dependent variation to minimize the error on the obtained data of shape. A Stepwise discriminant analysis revealed morphometric variation among different geographical localities, especially morphometric features of head. Stock identification using original and cross-validation tests showed high proportion of correct classification of 78.3% and 75.3% of truss network analysis, and increased up to 85.0% and 83.3% in the combination of traditional and truss network analysis.

คำสำคัญ : การระบุกลุ่มประชากร ระบบเครือข่ายโครงข่าย ปลาช่อน

Key Words : Stock identification, Truss network system, Striped snake-head fish

* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

การแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ (geographical isolation) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของประชากรสิ่งมีชีวิต เนื่องจากผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อม การคัดเลือกโดยธรรมชาติ และพันธุกรรมที่มีต่อพัฒนาการ (ontogeny) ของสิ่งมีชีวิตแต่ละตัว (individual) (Cardin, 2000; Poulet *et al.*, 2005) ความแตกต่างของปัจจัยข้างต้นจะมีผลต่อความเหมาะสมในการอยู่รอดและสืบพันธุ์ (fitness) ของประชากร (Pinder *et al.*, 2005) และเป็นปัจจัยที่ชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาเพื่อให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม (ecomorphological changes) ในที่สุด (Casseiro *et al.*, 2008) ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ปรับเปลี่ยนไปเพื่อให้สอดคล้องต่อสิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการพัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในด้านของนิเวศวิทยาและวิวัฒนาการ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการอาศัยในแหล่งอาศัย การบริโภคอาหาร (Hyndes *et al.*, 1997; Fungi *et al.*, 2000; Galarowicz *et al.*, 2006) ช่วงความกว้างของการใช้ทรัพยากร (niche breadth) (Winemiller and Kelso-Winemiller, 2003) และยังแสดงให้เห็นถึงระดับของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นชนิดใหม่ (degree of speciation) ที่ถูกชักนำจากทั้งปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ (Bailey, 1997; Pollar *et al.*, 2007)

การระบุกลุ่มประชากร (stock identification) เป็นเงื่อนไขเบื้องต้นของการศึกษาเกี่ยวกับชีววิทยาประมง โดยเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง การกระจายตัวชีววิทยา และพลวัตประชากร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์ บริหารจัดการ และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรประมง อย่างคุ้มค่าและยั่งยืน (Thorpe *et al.*, 1995) แต่ทั้งนี้ การระบุกลุ่มประชากร

เป็นงานที่ต้องอาศัยความรู้หลายด้านมาบูรณาการร่วมกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในธรรมชาติมากที่สุด (Cardin *et al.*, 2004; Bagherion and Rehmani, 2009) ส่งผลให้วิธีการในการระบุกลุ่มประชากรได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและหลากหลาย

การระบุกลุ่มประชากรด้วยวิธีการทางมอร์โฟเมตริก (morphometric stock identification) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อระบุกลุ่มประชากรทางการประมง หลักการของวิธีการนี้ คือ ศึกษาเกี่ยวกับความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (form) ขนาด (size) และรูปร่าง (shape) ของสิ่งมีชีวิต แล้วอธิบายผลในรูปของความแตกต่างทางสถิติหรือเชิงเปรียบเทียบในรูปของคณิตศาสตร์ (Bookstein, 1982; Rohlf and Marcus, 1993) ผลที่ได้จะทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างผันแปรของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสิ่งมีชีวิต ทั้งในระดับแต่ละตัว (individual) ระดับชนิด (species) ระดับประชากร (population) หรือระดับกลุ่มประชากร (stock) ได้นอกจากนั้นยังเชื่อมโยงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรทางสัณฐานวิทยากับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมในแหล่งอาศัย (habitat) แหล่งอาศัยย่อย (microhabitat) หรือพฤติกรรมการดำรงชีวิต (life style) ได้อีกด้วย (Sneath and Sokal, 1973; Turan, 1999; Swain and Foote, 1999; Dowgiallo, 2000; Lestel, 2000)

ระบบเครือข่ายโครงขี้ด (truss network system) เป็นวิธีการวัดค่าความยาวของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนวิธีการวัดแบบดั้งเดิม (traditional morphometric measurement) ที่วัดค่าสัณฐานวิทยาเฉพาะในแนวความยาวและความลึกของลำตัว ไม่ครอบคลุมทั่วทั้งรูปร่างของร่างกาย และเกิดความคลาดเคลื่อน (bias) เนื่องจากค่าที่ทำการวัดมีระยะทางยาวเกินไป (Strauss and Bookstein, 1982; Cardin, 2000; 2004) หลักการของระบบเครือข่าย

โครงขี้ด คือ การกำหนดจุดอ้างอิง (landmark) บนตัวอย่าง โดยจุดดังกล่าวต้องเป็นจุดคู่เหมือน (homologous point) ที่สามารถกำหนดได้ตรงกันในทุกตัวอย่าง จากนั้นสร้างเส้นเชื่อมระหว่างจุดอ้างอิงที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งจะทำให้เกิดตารางสี่เหลี่ยมคลุมทั่วรูปร่างของตัวอย่างอย่างเป็นระเบียบ (Turan, 1999; Cardin 2000)

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (discriminant analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบหาความถูกต้องของสมาชิกของกลุ่มที่ถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว (pre-defined group) โดยวิธีการทดสอบนี้จะสร้างโมเดลทำนาย (predictive model) สมาชิกของกลุ่มจากลักษณะสังเกต สมาชิกแต่ละตัวจะถูกจัดเข้ากลุ่มโดยอาศัยค่าศูนย์กลางที่ใกล้ที่สุด (nearest centroid) และอัตราส่วนของสมาชิกที่ถูกจัดกลุ่มอย่างถูกต้องจะถูกคำนวณออกมา วิธีนี้เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติหลายตัวแปร (multivariate statistical analysis) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาและมอโฟเมตริกซ์ (Rohlf and Marcus, 1993; Letcher, 2003; Ibáñez-Aguirre *et al.*, 2006; Pollar *et al.*, 2007; BAgherian and Rahmani, 2009)

ปลาช่อน (striped snakehead) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Channa striata* (Bloch, 1973) เป็นปลาน้ำจืดที่เป็นที่รู้จักทั่วไป พบอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำทั่วประเทศไทยไปจนถึงเอเชียใต้ พม่าและอินโดนีเซีย เป็นปลาเศรษฐกิจที่สำคัญ เนื่องจากมีรสชาติดี ปรุงเป็นอาหารได้หลากหลาย สามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งในบ่อและกระชังตามริมแม่น้ำ อีกทั้งยังนิยมเลี้ยงเป็นปลาสวยงามด้วย โดยเฉพาะตัวที่สีกลายเป็นสีเผือก (albino) หรือปลาที่พิการตัวสั้นกว่าปกติ (ขวลิด, 2544; Ng and Lim, 1990; Courtenay and Williams, 2004) นอกจากนี้ยังเป็นปลาที่มีความสำคัญในเชิงนิเวศวิทยา เนื่องจากเป็นผู้ล่า (predator) ที่ประสบความสำเร็จในการล่าสูง ดังนั้นจึงมักเป็นผู้บริโภคชั้น

สุดท้ายและครอบครองแหล่งอาศัยนั้น ๆ (Courtenay and Williams, 2004) อย่างไรก็ตามกลับพบว่าข้อมูลเกี่ยวกับชีววิทยา ชีวประวัติ และนิเวศวิทยาของปลาช่อนมีอยู่น้อยมาก (Ng and Lim, 1990; Courtenay and Williams, 2004)

การศึกษาในครั้งนี้ต้องการศึกษาความผันแปรทางมอโฟเมตริกซ์ที่พบในกลุ่มประชากรปลาช่อนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ต่างกัน และทำการประเมินผลของการใช้วิธีการเครือข่ายโครงขี้ดในการระบุกลุ่มประชากรด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนก เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการนี้ในการระบุกลุ่มประชากร และอธิบายความผันแปรทั้งในระดับภายในประชากรและระหว่างกลุ่มประชากรของปลาช่อน ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม เพื่อให้ได้รับข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการศึกษาด้านอื่น ๆ และนำไปสู่การประเมินอนุรักษ์ และบริหารจัดการการประมงที่มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดที่สุดในที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเก็บตัวอย่าง

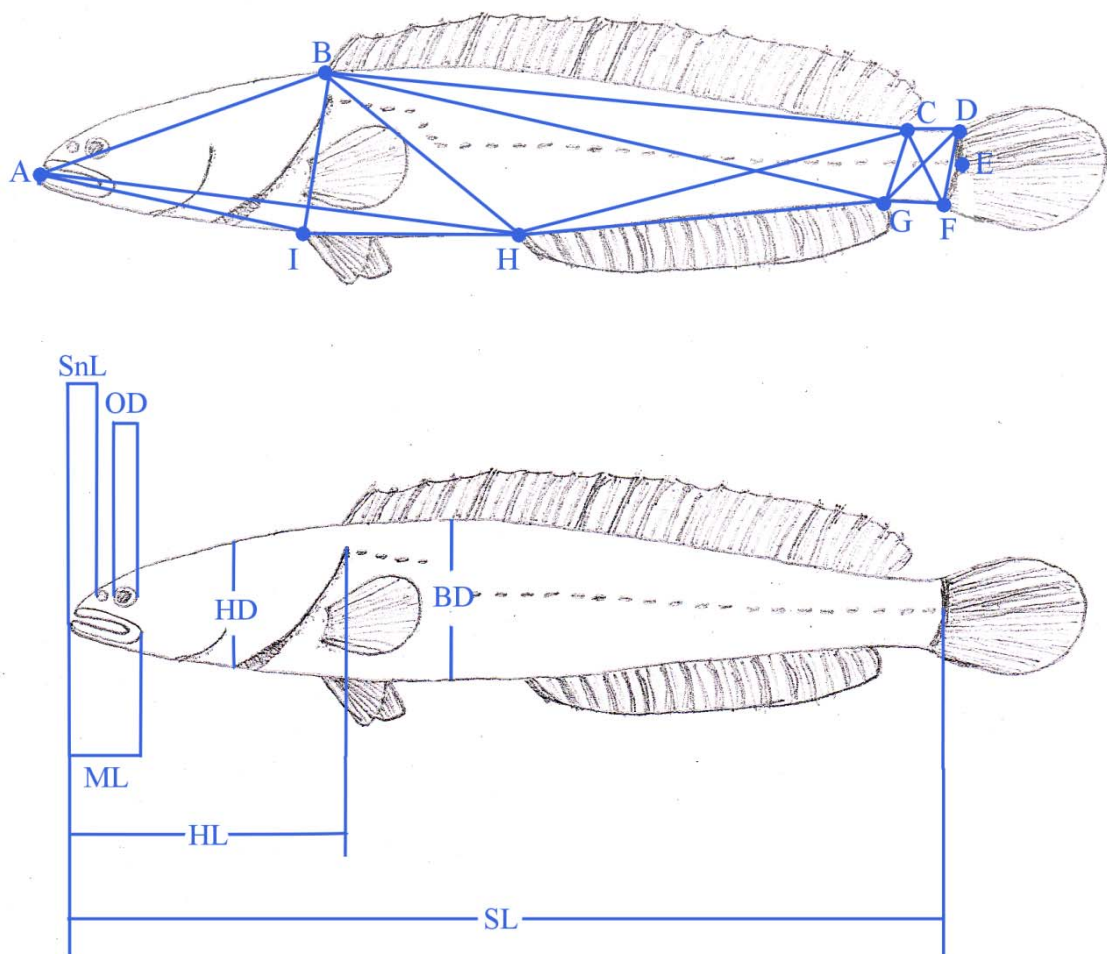
เก็บตัวอย่างปลาช่อนโดยรับซื้อจากชาวบ้านที่ทำการประมง จาก 3 พื้นที่ ได้แก่ตัวอย่างปลาช่อนทั้งหมดจำนวน 115 ตัว ประกอบด้วย ตัวอย่างจากบึงกุตถึงอำเภอบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย (NK) ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ จำนวน 40 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่เก็บจากแก่งละว้า อำเภอบ้านแฮด จังหวัดขอนแก่น (KK) ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ จำนวน 45 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่เก็บจากบ่อเลี้ยงปลาในเขตอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม (MK) จำนวน 35 ตัวอย่าง (ภาพที่ 1) ทำการชั่งน้ำหนัก คัดรหัส แล้วเก็บรักษาสภาพตัวอย่างใน 10% formalin เพื่อนำมาศึกษาที่ห้องปฏิบัติการต่อไป



ภาพที่ 1 ตำแหน่งของพื้นที่เก็บตัวอย่าง แสดง
ตำแหน่ง 1) อำเภอบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย
2) อำเภอบ้านแซด จังหวัดขอนแก่น และ 3)
อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

การเตรียมตัวอย่างและการวัดค่า

ตัวอย่างที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษาจะถูกรักษาสภาพใน 10% formalin เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นล้างด้วยน้ำประปาไหลผ่านเป็นเวลา 1 วัน แล้วย้ายไปเก็บรักษาใน 70% ethyl alcohol เพื่อรอการศึกษาในขั้นตอนต่อไปทำการจัดทำตัวอย่างที่จะทำการวัดบนแผ่นโฟม (polystyrene board) ให้มีลักษณะคล้ายกับสภาพในธรรมชาติมากที่สุด โดยใช้เข็มหมุดช่วยยึด จากนั้นกำหนดจุดอ้างอิง (landmark) จำนวน 8 จุดเพื่อใช้ในการวัดค่าด้วยเทคนิคเครือข่ายโครงขี้ด (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การวัดค่าความยาวทางมอโฟเมตริกซ์ของตัวอย่าง ด้วยวิธีเครือข่ายโครงขี้ด (บน-ก) และแบบดั้งเดิม (ล่าง-ข)

การจัดการข้อมูล

เนื่องจากตัวอย่างปลาช่อนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีช่วงอายุ (age class) และเก็บมาจากพื้นที่ที่ต่างกัน ดังนั้นขนาด (size) ซึ่งเป็นผลเนื่องจาก allometric growth จะมีผลต่อความแปรปรวนของข้อมูล จึงต้องกำจัดความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลของขนาด (size-dependent variation) เพื่อลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Turan, 1999; Cadrin, 2000) โดยใช้สมการที่ 1 (Elliot *et al.*, 1995)

$$M_{trans} = \log M - b(\log SL - \log SL_{mean}) \quad (1)$$

เมื่อ M_{trans} คือ ข้อมูลหลังการแปลงค่า

M คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย
ภายในกลุ่มระหว่าง $\log M$ กับ $\log SL$

SL คือ ความยาวมาตรฐานของตัวอย่าง

SL_{mean} คือ ค่าเฉลี่ยของความยาวมาตรฐาน

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่แปลงค่าแล้วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มทีละขั้น (stepwise discriminant analysis) โดยทำการทดสอบทั้งวิธีทดสอบแบบปกติ (original test procedure) และการทดสอบข้าม (cross-validated test procedure) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างการใช้เฉพาะข้อมูลของตัวแปรเครือข่ายโครงยัดเพียงอย่างเดียวกับการใช้ข้อมูลตัวแปรเครือข่ายโครงยัดร่วมกับตัวแปรโมโฟเมตริกซ์แบบดั้งเดิม ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าสถิติในการนำเข้า (F for enter) เท่ากับ 3.84 และค่าสถิติในการดึงออก (F for removal) เท่ากับ 2.71 ทำการคำนวณค่ากลางของกลุ่ม (group centroid) และจัดกลุ่มสมาชิกโดยใช้ค่า Mahalanobis Distance ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) (Pouillet *et al.*, 2005; Pollar *et al.*, 2007) ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS PASW for Windows เวอร์ชัน 17.0

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การวิเคราะห์โดยใช้เฉพาะข้อมูลเครือข่ายโครงยัด

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่า ตัวแปรโครงยัดทุกตัวมีความสัมพันธ์กับค่าความยาวมาตรฐานอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ไม่ได้แสดงผลในรายงาน) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความแปรปรวนของขนาดถูกกำจัดด้วยกระบวนการแปลงข้อมูลเรียบร้อยแล้ว แต่ในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการทดสอบความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลของเพศ เพราะการจำแนกเพศปลาช่อนโดยอาศัยลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกสามารถทำได้ยาก และไม่พบลักษณะที่เกิดจากความแตกต่างของเพศ (dimorphism) (Ng and Lim, 1990; Courtenay and Williams, 2004)

ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มพบว่า ตัวแปรโครงยัดจำนวน 5 ตัว จากทั้งหมด 16 ตัว (BC, BG, BH, BI และ HI) ถูกนำเข้าในการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้ค่า Wilk's λ ลดลงเหลือ 0.0147 และพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากรที่มาจากแหล่งอาศัยต่างกัน ($F = 36.322$, $P < 0.001$) โดยแนวแกนแรกและแนวแกนที่สองของฟังก์ชันจำแนกกลุ่ม (discriminant function, DF) ครอบคลุมความแปรปรวนระหว่างกลุ่มประชากรเท่ากับร้อยละ 98.6 และ 1.4 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

เมื่อพิจารณาความถูกต้องของการจำแนก (ตารางที่ 2) พบว่า ตัวอย่างร้อยละ 78.3 (ตัวอย่างปลาจำนวน 94 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 115 ตัวอย่าง) ถูกจำแนกได้อย่างถูกต้อง เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีทดสอบแบบปกติ และตัวอย่างร้อยละ 75.3 (91 ตัวอย่าง จาก 115 ตัวอย่าง) ถูกจำแนกได้อย่างถูกต้อง เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทดสอบข้าม โดยแผนภาพการจำแนกกลุ่มประชากรทั้ง 3 กลุ่ม แสดงในภาพที่ 3

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น พบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกกลุ่มล้วนเป็นตัวแปรที่วัดจากส่วนของลำตัว ซึ่งอาจแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของสภาพแวดล้อมของแหล่งอาศัยกับกระบวนการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาของปลาช่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับรูปร่างเพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการว่ายน้ำหรือหาอาหาร

(Fungi *et al.*, 2000; Turan, 2004; Galarowicz *et al.*, 2006; Cassemiro, 2008) เพราะจากผลการวิเคราะห์จะพบว่า กลุ่มประชากรจากบึงกุดทิง (NK) และแก่งละว้า (KK) ซึ่งมีสภาพของของแหล่งอาศัยใกล้เคียงกัน มีความคล้ายกันของลักษณะทางสัณฐานวิทยา และมีการจัดจำแนกกลุ่มซ้อนทับกัน (ภาพที่ 3 และตารางที่ 2)

การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเครือข่ายโครงยัดร่วมกับข้อมูลการวัดแบบดั้งเดิม

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่า ตัวแปรทุกตัวมีความสัมพันธ์กับค่าความยาวมาตรฐานอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ไม่ได้แสดงผลในรายงาน) ซึ่งแสดงว่าความแปรปรวนของขนาดถูกกำจัดด้วยกระบวนการแปลงข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มพบว่า ตัวแปรโครงยัดจำนวน 3 ตัว (DG, BI, BG) และตัวแปรมอโฟเมตริกซ์แบบดั้งเดิมจำนวน 5 ตัว (SnL, HD, BD, ML, HW) ถูกนำเข้าในการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้ค่า Wilk's λ ลดลงเหลือ 0.084 และพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากร ($F=33.623$, $P<0.001$) แนวแกนแรกและแนวแกนที่สองของฟังก์ชันคานอนิคัลครอบคลุมความแปรปรวนระหว่างกลุ่มประชากรเท่ากับร้อยละ 90.7 และ 9.3 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ผลการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสามารถแสดงความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของกลุ่มประชากร และสามารถจำแนกกลุ่มตัวอย่างออกจากกันได้ ดังแสดงในภาพที่ 4

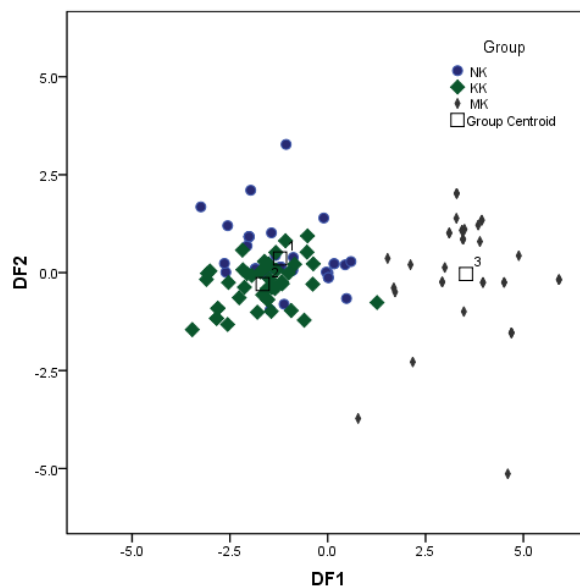
เมื่อพิจารณาความถูกต้องของการจำแนกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลเครือข่ายโครงยัดร่วมกับข้อมูลการวัดแบบดั้งเดิม (ตารางที่ 4) พบว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีธรรมดา ตัวอย่างปลาร้อยละ 85.0 (102 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 115 ตัวอย่าง) ถูกจัดกลุ่มได้ถูกต้อง และการวิเคราะห์ทดสอบข้ามพบว่า ตัวอย่างปลาร้อยละ 83.3 (100 ตัวอย่าง จาก 115 ตัวอย่าง) ถูกจัดกลุ่มอย่างถูกต้อง

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันจำแนกกลุ่มมาตรฐาน ค่าไอเกน ร้อยละความแปรปรวน และค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัลของการจำแนกกลุ่มโดยใช้เฉพาะค่าตัวแปรโครงยัด

	Variables	DF1	DF2
Standardized discriminant function coefficients	BC BG BH BI HI	0.614 1.344 1.734 -1.843 -1.358	-3.294 4.192 -1.315 0.687 -0.063
Eigenvalue		5.037	0.078
% of variance		98.6	1.4
Canonical correlation		0.917	0.269

ตารางที่ 2 ผลการจำแนกกลุ่มประชากรปลาซ่อนด้วยวิธีการจำแนกแบบปกติและการทดสอบข้าม

Group	Predicted Group			Global Accuracy
	Membership			
	NK	KK	MK	
Original procedure				
NK	29 (72.5%)	11 (27.5%)	0 (0%)	78.3%
KK	13 (28.9%)	31 (68.9%)	1 (2.2%)	
MK	0 (0%)	1 (2.9%)	34 (97.1%)	
Cross-validation procedure				
NK	26 (65.0%)	14 (35.5%)	0 (0%)	75.3%
KK	13 (28.9%)	31 (68.9%)	1 (2.2%)	
MK	0 (0%)	1 (2.2%)	34 (97.1%)	



ภาพที่ 3 แผนภาพการจำแนกกลุ่มประชากรปลาซ่อนด้วยวิธีการจำแนกกลุ่ม โดยใช้เฉพาะข้อมูลเครือข่ายโครงยึด แสดงการจำแนกกลุ่มประชากรจากจังหวัดหนองคาย (NK) จังหวัดขอนแก่น (KK) และจังหวัดมหาสารคาม (MK)

เมื่อพิจารณาโดยละเอียดพบว่า ตัวอย่างปลาจาก จังหวัดมหาสารคาม (MK) มีความถูกต้องในการ จำแนกกลุ่มมากที่สุด โดยมีความถูกต้องถึงร้อยละ 97.1 เมื่อวิเคราะห์ด้วยทั้งวิธีธรรมดาและวิธีทดสอบ ข้าม แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการ ปรับเปลี่ยน ลักษณะ ทาง สันฐาน วิทยา กับ สภาพแวดล้อมของแหล่งอาศัย เนื่องจากบริเวณที่เก็บ ตัวอย่างเป็นบ่อเลี้ยงปลาที่มีความหลากหลายของ พื้นที่น้อยกว่าพื้นที่อื่น ๆ และมีอาหารอุดมสมบูรณ์ ทำให้ประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวมีการ ปรับตัวทางสันฐานวิทยาน้อย และแตกต่างจากกลุ่ม ประชากรอื่นอย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการ จำแนกกลุ่มประชากรปลาซ่อน พบว่าตัวแปรเกือบ ทั้งหมดเป็นค่าลักษณะสันฐานวิทยาของส่วนหัว (ความยาวของจมูก ความลึกของหัว ความยาวปาก

และความกว้างของหัว) และค่าลักษณะสันฐานวิทยา ส่วนลำตัว (ความลึกของลำตัว, BI และ BG) ซึ่งแสดง ให้เห็นถึงการปรับตัวทางสันฐานวิทยาเพื่อการหา อาหาร การว่ายน้ำ และความแตกต่างของรูปแบบการ พัฒนา ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของ สภาพแวดล้อม (Allendorf, 1988; Wimberger, 1992) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยเกี่ยวกับขนาดของเหยื่อ (Gatz, 1979) ความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร (Fungi *et al.*, 2000; Galarowicz *et al.*, 2006) การปรับตัวเพื่อ การว่ายน้ำ (Turan, 2004) น่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อ ความแตกต่างทางสันฐานวิทยาของกลุ่มประชากร จากแหล่งอาศัยที่ต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ จำแนกกลุ่ม สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง ของลักษณะทางสันฐานวิทยาของกลุ่มประชากรที่มาจาก

แหล่งอาศัยต่างกัน และสามารถจำแนกกลุ่มประชากรดังกล่าวออกจากกันได้ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นไปได้ของการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาเพื่อให้เหมาะสมต่อลักษณะทางนิเวศวิทยาของแหล่งอาศัย เพื่อความอยู่รอดและประสบความสำเร็จในการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันจำแนกกลุ่มมาตรฐาน ค่าไอเกน ร้อยละความแปรปรวน และค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัลของการจำแนกกลุ่มโดยใช้ค่าตัวแปรโครงสร้างยัดร่วมกับค่ามอโฟเมตริกซ์แบบดั้งเดิม

	Variables	DF1	DF2
Standardized discriminant function coefficients	SnL	0.664	-0.498
	HD	0.683	1.464
	BD	0.033	-1.840
	DG*	-0.376	0.855
	BI*	-1.769	0.462
	BG*	1.801	0.497
	ML	-1.182	-1.203
	HW	0.837	0.275
Eigenvalue		6.237	0.640
% of variance		90.7	9.3
Canonical correlation		0.928	0.625

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จัดกลุ่ม ซึ่งสามารถทำให้ทราบเพียงว่ากลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างของลักษณะทางสัณฐานวิทยาหรือไม่ และลักษณะใดเป็นลักษณะที่แตกต่างกัน แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าแตกต่างกันอย่างไร และมากนักน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในรายละเอียดดังกล่าวเพิ่มเติม โดยใช้วิธีการการศึกษาที่สูงขึ้น เช่น Thin plat spline หรือ

elliptical Fourier analysis เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด

ตารางที่ 4 ผลการจำแนกกลุ่มประชากรด้วยวิธีการจำแนกแบบปกติและการทดสอบข้ามโดยใช้ข้อมูลเครือข่ายโครงข่ายร่วมกับข้อมูลมอโฟเมตริกซ์แบบดั้งเดิม

Group	Predicted Group Membership			Global Accuracy
	NK	KK	MK	
Original procedure				
NK	33	7	0	85.0%
	(82.5%)	(17.5%)	(0%)	
KK	10	35	0	
	(22.2%)	(77.8%)	(0%)	
MK	0	1	34	
	(0%)	(2.9%)	(97.1%)	
Cross-validation procedure				
NK	32	8	0	83.3%
	(80.0%)	(20.0%)	(0%)	
KK	11	34	0	
	(24.4%)	(75.6%)	(20%)	
MK	0	1	34	
	(0%)	(2.2%)	(97.1%)	

นอกจากนี้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย (Fournier *et al.*, 1984; Sharu *et al.*, 1999) ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและน่าเชื่อถือในการระบุกลุ่มประชากรจึงควรทำการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ที่หลากหลายเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีการที่ต่างกันด้วย หรือทำการศึกษาด้วยวิธีการทางพันธุศาสตร์โมเลกุล ควบคู่ไปด้วย

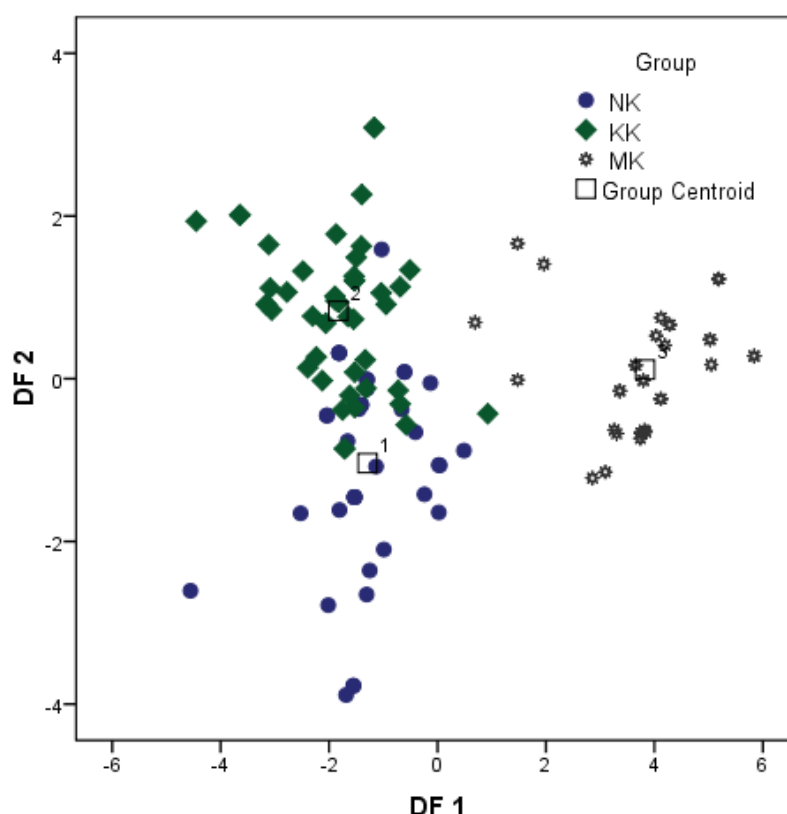
อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้พบว่าการระบุกลุ่มประชากรปลาช่อนโดยใช้ข้อมูลเครือข่ายโครงข่ายเพียงอย่างเดียวให้ผลที่มีความถูกต้องค่อนข้าง

น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟวิเคราะห์ผลโดยใช้ข้อมูล
เครือข่ายโครงข่ายร่วมกับข้อมูลมอโฟเมตริกซ์แบบ
ดั้งเดิม ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลเนื่องจากการกำหนด
จุดอ้างอิงน้อยเกินไป หรือเป็นผลเนื่องจากลักษณะ
สัณฐานวิทยาที่มีผลต่อการจำแนกกลุ่มส่วนใหญ่เป็น
ตัวแปรของลักษณะสัณฐานวิทยาของส่วนหัว ซึ่งใน
การศึกษาครั้งนี้มีตัวแปรเครือข่ายโครงข่ายของส่วนหัว
อยู่น้อย เนื่องจากไม่จุดที่เหมาะสมในการกำหนดเป็น
อ้างอิงในส่วนหัวมีน้อย ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป
อาจทำการศึกษาด้วยเทคนิคอื่น เช่น เทคนิคการ
วิเคราะห์โครงร่าง (outline analysis) หรือเทคนิคการ

วิเคราะห์เชิงโครงสร้าง (structural analysis) เพื่อให้
ได้ผลที่ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากบัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโครงการพัฒนา
และส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี (พสวท.) ขอขอบคุณ ผศ.อลงกลด
แทนอมทอง คุณณรงค์ศักดิ์ ปิ่นเกตุ และว่าที่ร้อยตรี
สิทธิศักดิ์ จันทรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บ
ตัวอย่างเป็นอย่างดี



ภาพที่ 4 แผนภาพการจำแนกกลุ่มประชากรปลาซ่อนด้วยวิธีการจำแนกกลุ่ม โดยใช้ข้อมูลเครือข่ายโครงข่ายร่วมกับ
ข้อมูลมอโฟเมตริกซ์แบบดั้งเดิม แสดงการจำแนกกลุ่มประชากรจากจังหวัดหนองคาย (NK) จังหวัด
ขอนแก่น (KK) และจังหวัดมหาสารคาม (MK)

เอกสารอ้างอิง

ชวลิต วิทยานนท์. 2544. ปลาที่น้ำจืดในประเทศไทย.

สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ.

Allendorf, F.W. 1988. Conservation biology of fishes. *Conservation Biology* 2: 145-148.

Bailey, K.M. 1997. Structural dynamics and ecology of flatfish populations. *Journal of Sea Research*. 37: 129-139.

Bagherion, A. and Rehmani, H. 20009.

Morphological sidcrimination between two populations of shemaya, *Chalcalburnus chalcoides* (Actinopterygii, Cyprinidae) using a truss network. *Animal Biodiverity and Conservation* 32 (1): 1-8.

Bookstein F.L. 1982. Foundations of Morphometrics. *Annual Reviews of Ecological System* 13: 451-470.

Cadrin S.X. 2000. Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 10: 91-112.

Cardrin, C. 2004. Stockidentification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *ICES Journal of Marine Sciences* 61: 774-781.

Casemiro, F.A.S., Rangel, T.F.L.V.B., Prelicice, F.M. and Hahn, N.S. 2008. Allomeric and ontogenetic patterns related to feeding of a neotropical fish, *Satanoperca pappatera* (Perciformes, Cichlidae). *Ecology of Frehwater Fish* 17: 155-164.

Caurtenay, W.R., Jr. and Williams, J.D. 2004. Snakeheads (Pisces, Channidae)—A

Biological Synopsis and Risk Assessment.

U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.

Dowgiallo, A. 2000. The analysis of sample size in morphometric mearsuament of fish. *Bulletin of the Sea Fisheries Institute* 1 (149): 3-10.

Elliot, N.G., Haskard, K. and Koslow, J.A, 1995. Morphometric analysis of orange roughly (*Hoplostethus atlanticua*) off the continental slope of southern Australia. *Journal of Fish Biology* 46: 202-220.

Fungi, R., Agostinho, A.A. and Hahn, N.S. 2001. Trophic morphology of the five benthic-feeding fish species of a tropical floodplain. *Revista Brasileira de Biologia* 61: 27-33.

Founier, D.A., Beacham, T.D., Ridell, B.E. and Busack, C.A. 1984. Estimating stock composition in mixed stock fisheries using morphometric, meristic and electrophoretic characteristics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 400-408.

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.

Hyndes, G.A., Platell, M.E. and Potter, L.C. 1997. Relationships between diet and body size, mouth morphology, habitat and movements of sig sillaginid species in coastal water: implications for resources partitioning. *Marine Biology* 28: 585-598.

- Ibáñez-Aguirre, A.L., Carbal-Solis, E., Gallarodo-Cabello, M. and Espino-Barr, E. 2006. Comparative morphometrics of two populations of *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae) on the Atlantic and Mexican Pacific coasts. *Scientia Marina* 70 (1): 139-145.
- Lestrel, P.E. 2000. *Morphometrics for the Life Science*. World Scientific Publishing, Singapore.
- Ng, P.K.L. and Lim, K.P. 1990. Snakeheads (Pisces: Channidae) : Natural History, Biology and Economic Importance. *In*: Essays in Zoology. Department of Zoology, National University of Singapore, Singapore.
- Pinder, A.C., Gozlan, R.E., Beyer, K. and Bass, J.A.B. 2005. Ontogenetic induced shifts in the ecology of sunbleak *Leucaspius delineatus* during early development. *Journal of Fish Biology* 67: 205-207.
- Pollar, M., Jaroensutasinee, M. and Jaroensutasinee, K. 2007. Morphometric Analysis of *Tor tambrodes* by Stepwise Discriminant and Neural Network Analysis. *Proceeding 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 populations at a local scale? A case study for rostrum dace *Leuciscus luciscus burdifalensis* in River Viaur (SW France). *Aquatic Sciences* 67: 122-127.
- Rohlf F.J. and Marcus L.F. 1993. A Revolution in Morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8 (4): 129-132.
- Sharu, P., Turan, C., Wrigth, J. O'Connell, M. and Carvalho, G.R. 1999. Microsatellite DNA analysis of population structure in Atlantic herring (*Clupea harengus*) with direct composition to allozyme and mtDNA RFLP analyses. *Heredity* 83: 490-499.
- Sneath, P.H.A. and Sokal, R.R. 1973. *Numerical Taxonomy*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Struss, R.E. and Bookstein, F.L. 1982. The truss: body form reconstructions in morphometrics. *Systematic Zoology* 31(2): 113-135.
- Swain, D.P. and Foote, C.J. 1999. Stocks and chameleons: the use of phenotypic variation in stock identification. *Fisheries Research* 43: 1123-1128.
- Thorpe, J., Gall, G. Lannan, J. and Nash, C. 1995. *Conservation of Fish and Shellfish Resources: managing Diversity*. Academic Press, San Diego.
- Turan, C. 1999. A Note on The Examination of Morphometric Differentiation Among Fish Populations: The Truss System. *Turkey Journal of Zoology* 23: 259-263.
- Wimberger, D.H. 1992. Plasticity of fish body shape—the effects of diet, development, family and age in the species of *Geophagus* (Pisces: Cichilidae). *Biological Journal of Linnean Society* 45: 197-218.

Winemiller, K.O. and Kelso-Winmiller, L.C. 2003.

Food habits of tilapinae cichlids of the Upper

Zamperi river in the Vanezuela ilanos

Environmental Biology of Fishes 26: 177-199.