

บทที่ 4

ผลการวิจัย

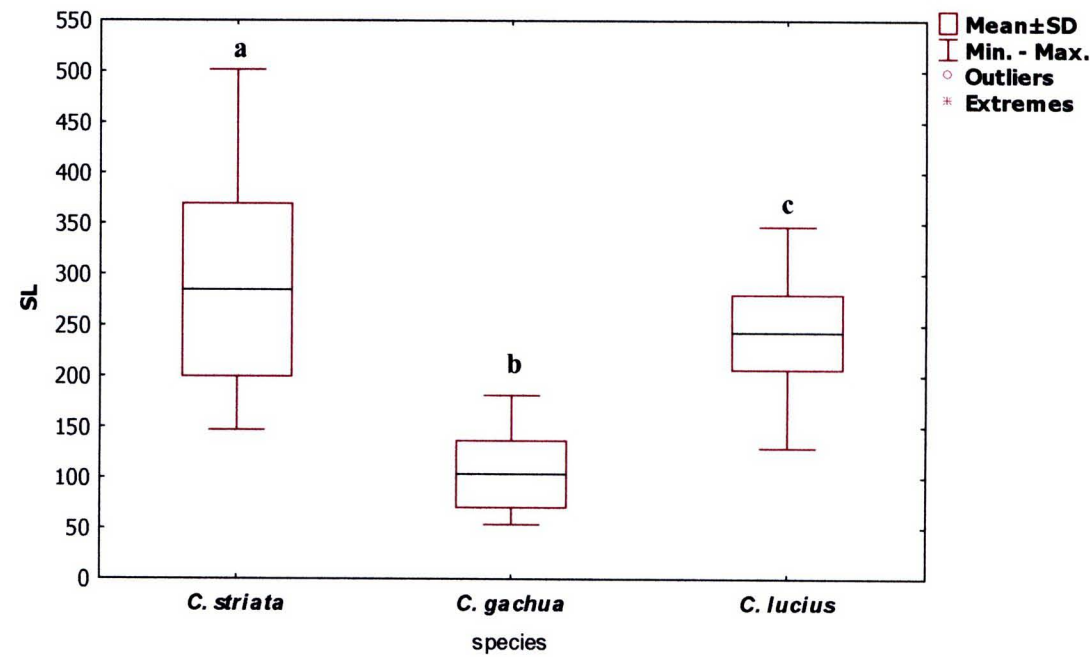
การศึกษาลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิดและระดับภายในชนิด (ระหว่างกลุ่มประชากรจากต่างแหล่งอาศัย) และการจำแนกและระบุชนิดและกลุ่มประชากรของตัวอย่างปลาสกุล ปลาช่อนบางชนิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุโดยใช้เทคนิค ระบบเครือข่ายโครงข่าย (TNS) และวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไปน (TPS) ในชนิดตัวอย่างจำนวน 3 ชนิด 8 กลุ่มประชากร ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* จำนวน 3 กลุ่มประชากร ได้แก่ กลุ่มประชากรปลาช่อนจากจังหวัดบึงกาฬ (CS-NK) กลุ่มประชากรปลาช่อนจากจังหวัด ขอนแก่น (CS-KK) และกลุ่มประชากรปลาช่อนจากจังหวัดมหาสารคาม (CS-MK) ตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* จำนวน 3 กลุ่มประชากร ได้แก่ กลุ่มประชากรปลาก้างจากจังหวัดบึงกาฬ (CG-NK) กลุ่มประชากรปลาก้างจาก จังหวัดหนองบัวลำภู (CG-NB) และกลุ่มประชากรปลาก้างจากจังหวัดกาฬสินธุ์ (CG-KS) และตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* จำนวน 2 กลุ่มประชากร ได้แก่ กลุ่มประชากรปลากระสงจากจังหวัดบึงกาฬ (CL-NK) และ กลุ่มประชากรปลากระสงจากจังหวัดขอนแก่น (CL-KK) ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิด การวิเคราะห์ลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในแต่ละชนิด และการวิเคราะห์จำแนกและระบุชนิดและกลุ่มประชากรโดยใช้ข้อมูลทางมอร์โฟเมตริกส์ รายละเอียดของการศึกษาแต่ละส่วน มีดังต่อไปนี้

1. ลักษณะสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิด

1.1 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุโดยใช้เทคนิคระบบเครือข่ายโครงยึด (TNS)

ค่ามอร์โฟเมตริกส์ของตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS) ทั้ง 26 ตัวแปร และค่าความยาวมาตรฐาน (SL) ของแต่ละตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งพบว่า ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 284.37 ± 85.03 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 147.14 – 501.86 มิลลิเมตร) ตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 103.57 ± 33.13 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 53.77 – 180.88 มิลลิเมตร) และตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 245.05 ± 41.56 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 129.12 – 438.50 มิลลิเมตร) การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ตัวอย่างทั้งสามชนิดมีความยาวมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($F = 281.922, p = 0.0000$) ดังแผนภูมิที่แสดงในภาพที่ 26 (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข2)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเชิงพหุ (multivariate ANCOVA) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางมอร์โฟเมตริกส์ระหว่างตัวอย่างทั้งสามชนิด โดยใช้ค่าความยาวมาตรฐานเป็นตัวแปรร่วมพบว่า ตัวอย่างทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมตริกส์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Pili's trace = 1.5910, $F = 66.596, p = 0.0000$) โดยเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างชนิดทีละคู่พบว่า ตัวอย่างทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมตริกส์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข3)



ภาพที่ 26 แผนภูมิเปรียบเทียบความยาวมาตรฐานเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละชนิด ตัวอักษรด้านบนแผนภูมิที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loadings) ของตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์และจัดเข้าเป็นปัจจัยของแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 – 3 (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ซึ่งอธิบายถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิดของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อน มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4 และตำแหน่งของตัวแปรดังกล่าวในแต่ละแกนองค์ประกอบหลักดังแสดงในภาพที่ 27 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวพบว่า

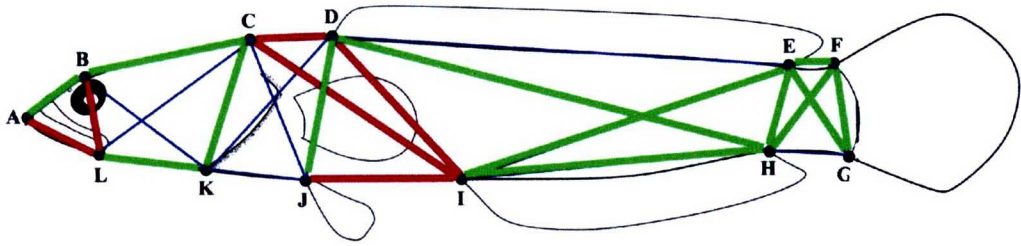
แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนโดยรวม (total variance) ของตัวอย่างได้ร้อยละ 40.70 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC1 จำนวน 19 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวจำนวน 6 ตัวแปร ส่วนลำตัวจำนวน 8 ตัวแปร และส่วนหางจำนวน 5 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) กับ PC1 มีจำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวขากรรไกรล่าง (AL) ความลึกหัวตอนหน้า (BL) ความยาวหลัง (CD) ความยาวส่วนท้อง (IJ) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1 (CI) และความลึกลำตัวตอนท้าย (DI) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (positive correlation) กับ PC1 มีจำนวน 13 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหน้าผาก (AB) ความยาวหัวด้านบน (BC) ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความลึกหัวตอนท้าย (CK) ความลึกลำตัวตอนหน้า (DJ) ความยาวฐานครีบกัน (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1 (DH) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (DI) ความยาวคอคอดหางด้านบน (EF) ความยาวคอคอดหางแนวทแยง 1 (EG) ความยาวคอคอดหางแนวทแยง 2 (FH) ความลึกคอคอดหางตอนหน้า (EH) และความลึกคอคอดหางตอนท้าย (FG)

แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 12.35 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC2 จำนวน 10 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวจำนวน 4 ตัวแปร และส่วนลำตัวจำนวน 6 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC2 มีจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวแนวทแยง (CL) ความยาวอก (JK) ความยาวฐานครีบหลัง (DF) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (DH) และความลึกลำตัวตอนท้าย (DI) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC2 มีจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหน้าผาก (AB) ความยาวขากรรไกรล่าง (AL) ความลึกหัวตอนหน้า (BL) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2 (CJ) และความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK)

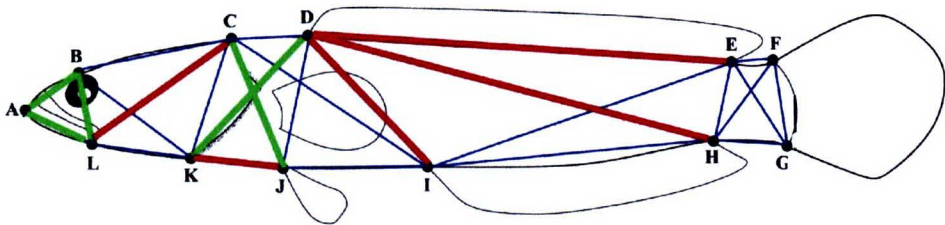
แกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 10.74 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC3 จำนวน 8 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวและส่วนลำตัวบริเวณละ 4 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC3 มีจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความยาวหัวแนวทแยง 1 (BK) ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) และความยาวฐานครีบหลัง (DE) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC3 มีจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหน้าผาก (AB) ความยาวอก (JK) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2 (CJ) และความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK)

ตารางที่ 4 น้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS) ในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิด (อักษรตัวหนาแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลัก และเครื่องหมายแสดงทิศทางความสัมพันธ์กับแนวแกน) พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) และร้อยละความแปรปรวนโดยรวมของแต่ละแกนองค์ประกอบหลัก

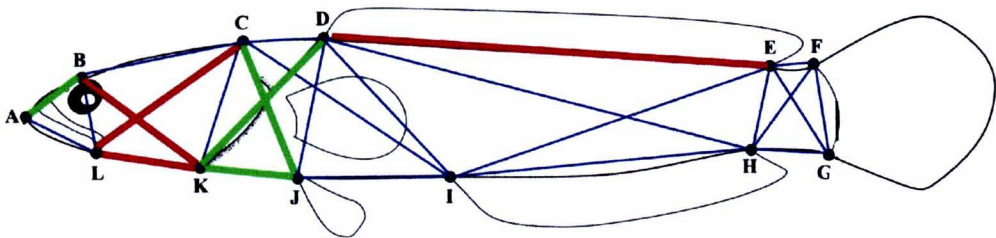
ตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS)		น้ำหนักปัจจัย (factor loadings)		
		PC1	PC2	PC3
AB	ความยาวหน้าผาก	0.539049	0.558862	0.313395
AL	ความยาวขากรรไกรล่าง	-0.45548	0.49866	0.230746
BL	ความลึกหัวตอนหน้า	-0.6484	0.460721	0.260309
BC	ความยาวหัวด้านบน	0.60869	-0.1001	-0.17996
KL	ความยาวหัวด้านล่าง	0.521497	0.227375	-0.6379
BK	ความยาวหัวแนวทแยง 1	-0.28046	0.277783	-0.86697
CL	ความยาวหัวแนวทแยง 2	-0.26869	-0.54875	-0.38861
CK	ความลึกหัวด้านท้าย	0.497858	0.097536	-0.23581
CD	ความยาวหลัง	-0.86756	-0.08111	0.082739
IJ	ความยาวท้อง	-0.91331	-0.05629	-0.09612
JK	ความยาวอก	0.059868	-0.67717	0.552579
CI	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	-0.94365	-0.18929	-0.07227
CJ	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	0.163405	0.376965	0.362432
DK	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3	0.287203	0.587075	-0.68132
DJ	ความลึกลำตัวตอนหน้า	0.547258	-0.20348	0.134986
DE	ความยาวฐานครีบท้อง	0.277833	-0.58639	-0.30979
HI	ความยาวฐานครีบท้อง	0.904708	-0.19952	0.024689
DH	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1	0.573687	-0.57468	-0.2284
EI	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2	0.899709	-0.19952	-2.1E-05
DI	ความลึกลำตัวตอนท้าย	-0.64032	-0.41663	-0.22565
EF	ความยาวคอดหางด้านบน	0.842257	0.108955	0.014124
GH	ความยาวคอดหางด้านล่าง	-0.06986	0.006836	-0.01887
EG	ความยาวคอดหางแนวทแยง 1	0.850416	0.025828	0.104929
FH	ความยาวคอดหางแนวทแยง 2	0.721129	0.089486	0.068166
EH	ความลึกคอดหางตอนหน้า	0.789576	0.089681	0.07622
FG	ความลึกคอดหางตอนหลัง	0.841299	0.008796	0.119804
ค่าไอเกน (Eigenvalue)		10.58965	3.20707	2.79692
ค่าร้อยละความแปรปรวนโดยรวม		40.70	12.35	10.74



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 27 ตำแหน่งของตัวแปรเครือข่ายโครงข่าย (TNS) ที่มีความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (ก) แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (ข) และแกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (ค) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิด (เส้นสีแดงแทนความสัมพันธ์เชิงลบ และเส้นสีเขียวแทนความสัมพันธ์เชิงบวกกับแกนองค์ประกอบหลัก)

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของกลุ่มตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลักข้างต้นต่อความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อน ได้แผนภาพการกระจายตัว (scatterplot) ของตัวอย่างทั้งสามชนิดในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 -3 (PC1 -PC3) ดังแสดงในภาพที่ 28 และภาพที่ 29 ซึ่งจากแผนภาพดังกล่าวพบว่า

แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) แสดงให้เห็นถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันระหว่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด โดยตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* กระจายตัวเกาะกลุ่มกันอยู่บนแนวแกนบวกของ PC1 และแยกออกจากชนิดอื่นอย่างชัดเจน ขณะที่ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* มีการกระจายตัวที่ซ้อนทับกันบางส่วน โดยตัวอย่างทั้งหมดของปลาช่อน *C. striata* กระจายอยู่ในแกนลบของ PC1 แต่ตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* กระจายตัวอยู่ทั้งบนแกนบวกและแกนลบ แต่โดยส่วนมากกระจายตัวอยู่บนแกนลบของ PC1

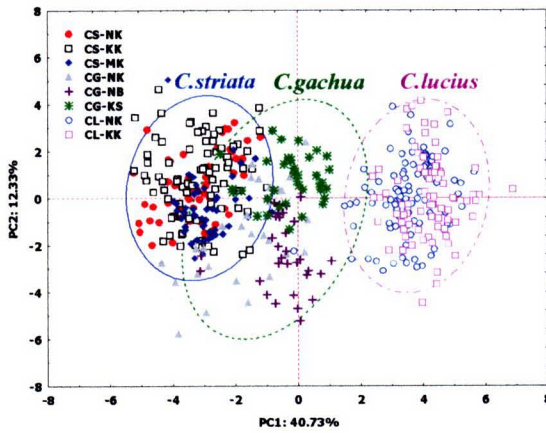
แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) และแกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) แสดงถึงการกระจายตัวของตัวอย่างที่ซ้อนทับกันจนไม่สามารถแยกกลุ่มออกจากกันได้ บ่งชี้ว่าความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนที่เป็นผลเนื่องอิทธิพลหรือปัจจัยของตัวแปร TNS ใน PC2 และ PC3 มีรูปแบบความแปรผันที่คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* มีช่วงการกระจายตัวบน PC2 และ PC3 กว้างกว่าตัวอย่างชนิดอื่น บ่งชี้ถึงการมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะสัณฐานวิทยาใน PC2 และ PC3 สูงกว่าตัวอย่างชนิดอื่น

จากข้อมูลน้ำหนักปัจจัยของตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 4 และภาพที่ 27) และแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดบนแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (ภาพที่ 28 และภาพที่ 29) พบว่า ปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดมีความแปรผันของลักษณะทางสัณฐานวิทยาทั้งในส่วนหัว ส่วนลำตัว และส่วนหาง ซึ่งความแปรผันดังกล่าวมีความแตกต่างกันในระหว่างสามชนิด สามารถสรุปรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาได้ ดังนี้

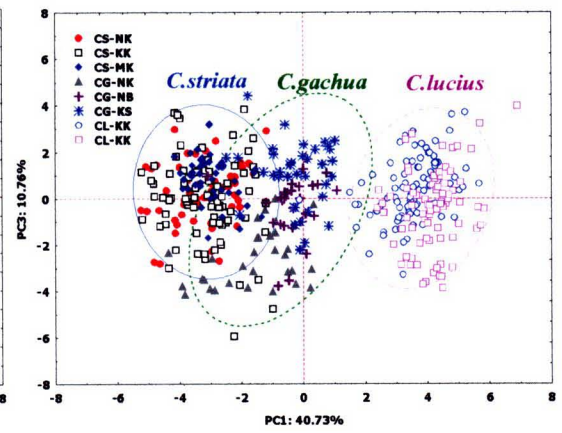
ลักษณะของส่วนหัว พบว่า ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวในระดับระหว่างตัวอย่างทั้งสามชนิด แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นความแปรผันของส่วนหัวตอนหน้าในส่วนของความยาวขากรรไกรล่างและความลึกหัวตอนหน้า และกลุ่มที่สองเป็นความแปรผันของลักษณะความยาวหน้าผากและลักษณะของหัวตอนท้ายในส่วนของความยาวและความลึกของหัวตอนท้าย โดยที่รูปแบบความแปรผันเป็นไปในแนวทางตรงข้ามกัน คือ ถ้าตัวอย่างมีขนาดของลักษณะกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมาก ตัวอย่างนั้นจะมีลักษณะอีกกลุ่มหนึ่งน้อย

ลักษณะของส่วนตัว พบว่า ความแปรผันของส่วนลำตัวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม และมีรูปแบบความแปรผันเป็นไปในแนวทางที่ตรงข้ามกัน เช่นเดียวกับความแปรผันของส่วนหัว โดยกลุ่มแรกคือลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความยาวลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบอกคลุม ส่วนกลุ่มที่สองคือลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความยาวของลำตัวส่วนที่มีครีบอกคลุมและความลึกลำตัว

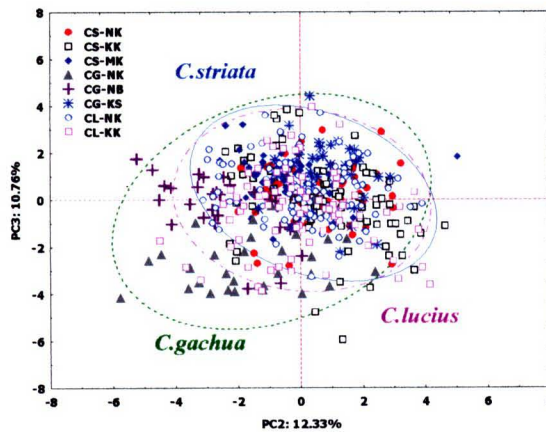
ลักษณะของส่วนหาง พบว่า ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหางมีเพียงรูปแบบเดียว ดังนั้นตัวอย่างจะมีความแปรผันของลักษณะที่เกี่ยวข้องกับขนาดของคอดหาง โดยมีความยาว ความยาวแนวทแยง และความลึกคอดหาง เป็นไปในทิศทางเดียวกัน



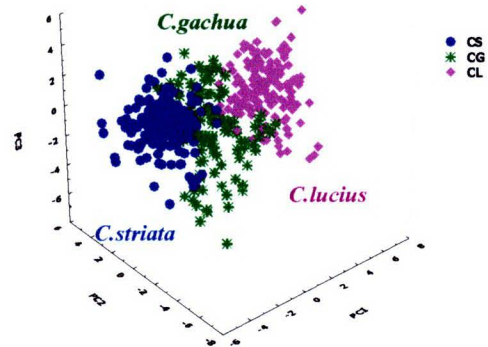
(ก)



(ข)

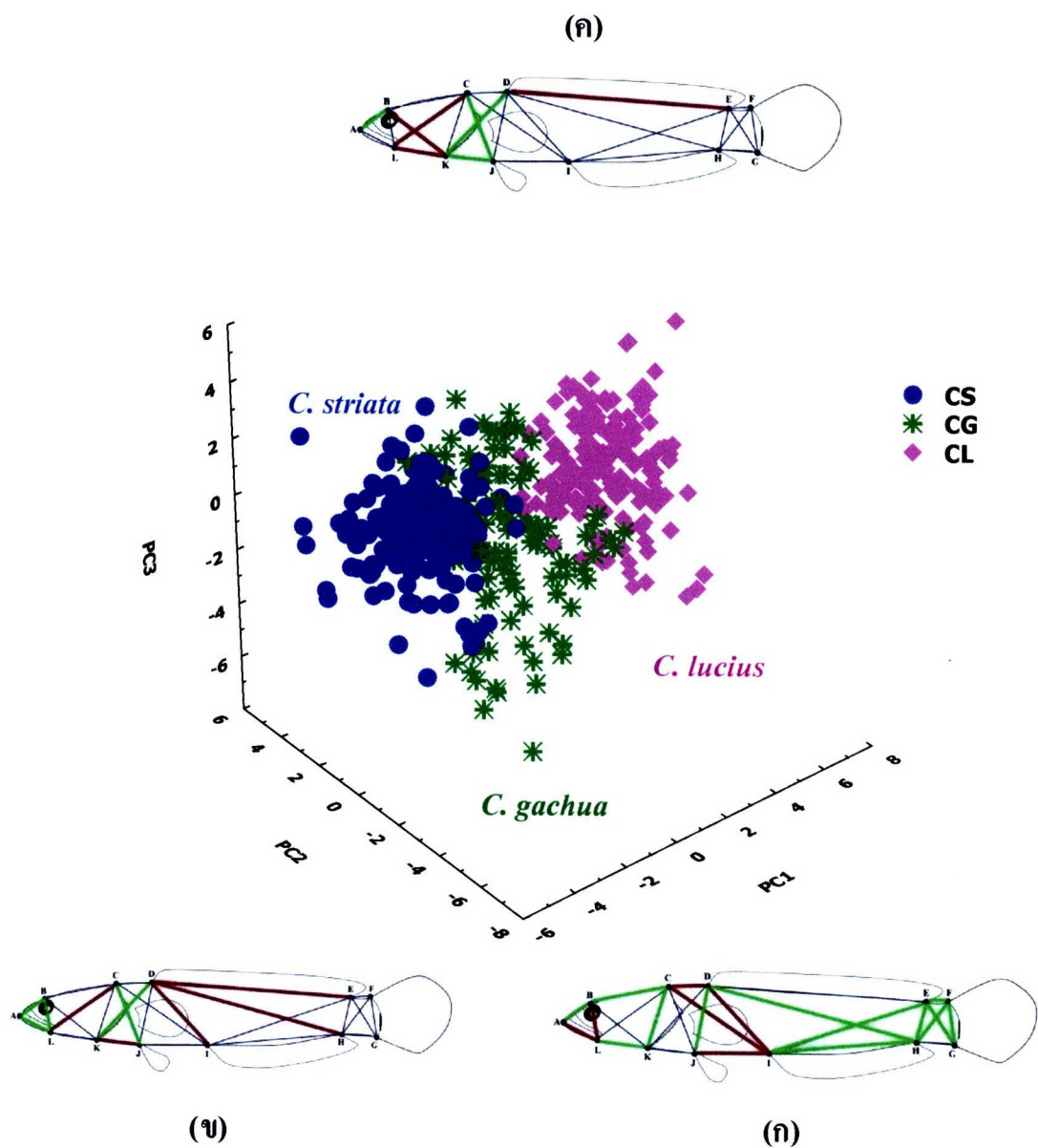


(ค)



(ง)

ภาพที่ 28 แผนภาพการกระจายตัว (scatterplot) ของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด ได้แก่ ปลาช่อน *C. striata*, ปลาก้าง *C. gachua* และปลากะพง *C. lucius* บนแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1–3 (PC1–PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้ข้อมูลตัวแปรเครือข่ายโครมอิด แสดงการกระจายตัวบนคู่ของ PC1 – PC2 (ก) PC1 – PC3 (ข) PC2 – PC3 (ค) และภาพรวมบนทั้งสามแนวแกน (ง)



ภาพที่ 29 แผนภาพการกระจายตัว (scatterplot) ของปลาสกุลปลาช่อนสามชนิด ได้แก่ ปลาช่อน *C. striata*, ปลาก้าง *C. gachua* และปลากระสง *C. lucius* บนสามแนวแกนองค์ประกอบหลักแรก (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้ข้อมูลตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ด ภาพแทรกแสดงตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ดที่มีความสัมพันธ์กับ PC1 – PC3 (ก – ค)

ลักษณะพื้นฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาสกุลปลาซ่อนทั้งสามชนิดจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคระบบเครือข่ายโครงข่ายสามารถสรุปได้ดังแสดงการเปรียบเทียบในตารางที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละชนิด ดังนี้

ปลาซ่อน *C. striata* มีความยาวขากรรไกรล่างและความลึกของหัวตอนหน้ามากกว่าตัวอย่างชนิดอื่น แต่มีความยาวหน้าผาก ความยาวของส่วนหัว และความลึกของหัวตอนท้ายน้อยกว่าชนิดอื่น มีความยาวลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบบอกคลุม โดยเฉพาะความยาวลำตัวส่วนท้องมากกว่าชนิดอื่น แต่มีความยาวลำตัวส่วนที่มีครีบบอกคลุม และความลึกลำตัวน้อยกว่าชนิดอื่น คอคอดหางมีขนาดเล็ก

ปลาก้าง *C. gachua* มีความยาวขากรรไกรล่างและความลึกของหัวตอนหน้าใกล้เคียงกับตัวอย่างปลาซ่อน *C. striata* โดยมีขนาดของลักษณะดังกล่าวน้อยกว่าเล็กน้อย มีความยาวหน้าผาก ความยาวของส่วนหัว และความลึกของหัวตอนท้ายมากกว่าปลาซ่อน *C. striata* เล็กน้อย แต่มีขนาดของลักษณะดังกล่าวน้อยกว่าปลากระสง *C. lucius* ค่อนข้างมาก หรือกล่าวได้ว่าปลาซ่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* มีส่วนหัวที่สั้นป้อม แต่มีขนาดขากรรไกรล่างและความลึกของหัวมากกว่าปลากระสง *C. lucius* และมีรูปร่างของส่วนลำตัวที่ใกล้เคียงกัน คือ มีส่วนหลังและท้องที่ไม่มีครีบบอก แต่มีครีบก้นสั้น และมีความลึกลำตัวน้อยกว่าปลากระสง *C. lucius* เล็กน้อย

ปลากระสง *C. lucius* มีความยาวขากรรไกรล่างและความลึกของหัวตอนหน้าน้อยกว่าตัวอย่างชนิดอื่น แต่มีความยาวหน้าผาก ความยาวของส่วนหัว และความลึกของหัวตอนท้ายมากกว่าชนิดอื่น มีความยาวลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบบอกและครีบก้นสั้น แต่มีความยาวลำตัวส่วนครีบบอกคลุมมาก และมีความลึกลำตัวมากกว่าชนิดอื่น คอคอดหางมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบเชิงสัมพันธ์กับความลึกลำตัว

ตารางที่ 5 รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคระบบเครือข่ายโครงข่าย แสดงผลในลักษณะของการเปรียบเทียบปริมาณของความแปรผันเชิงสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละชนิด

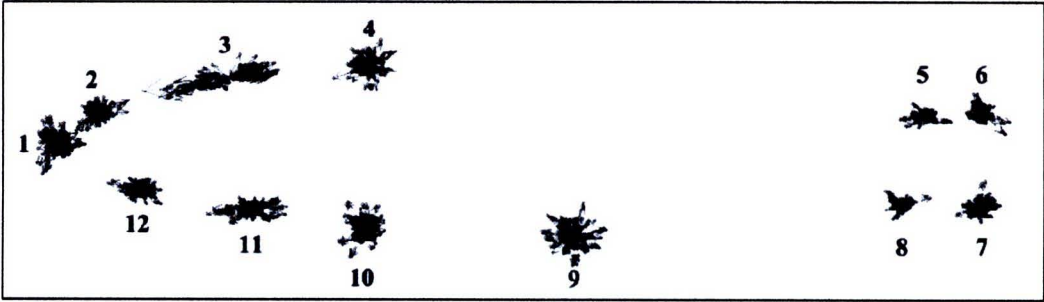
ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	ชนิดของตัวอย่าง		
	ปลาช่อน <i>C. striata</i>	ปลาก้าง <i>C. gachua</i>	ปลากระสง <i>C. lucius</i>
ลักษณะของส่วนหัว			
ความยาวหน้าผาก	+	++	++++
ความยาวขากรรไกรล่าง	++++	+++	+
ความยาวหัว	+	++	++++
ความลึกหัวตอนหน้า	++++	+++	+
ความลึกหัวตอนท้าย	+	++	++++
ลักษณะของส่วนลำตัว			
ความยาวหลัง	++++	+++	+
ความยาวท้อง	++++	+++	+
ความยาวฐานครีบก้น	++	++	++++
ความลึกลำตัว	++	++	+++
ลักษณะของส่วนหาง			
ความยาวคอคดหาง	+ (+)	++	++++
ความลึกคอคดหาง	+ (+)	++	++++

หมายเหตุ: เครื่องหมายบวก (+) แสดงถึงปริมาณความแปรผันเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลักษณะ

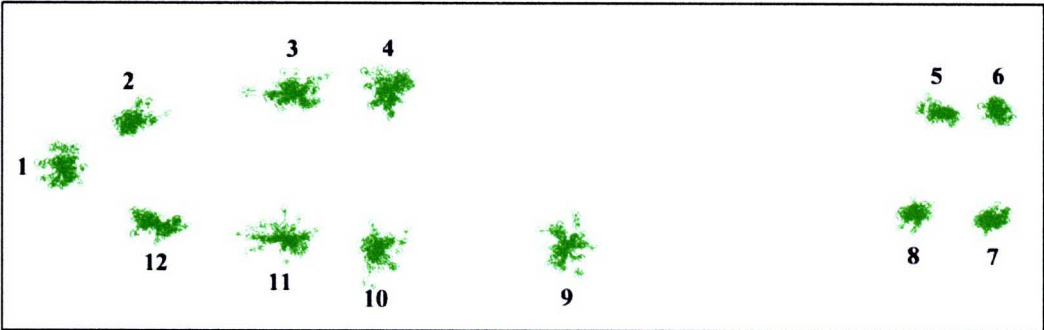
1.2 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไลด์ (TPS)

ภาพรวมของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดที่ได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค TPS แสดงให้เห็นได้จากการซ้อนทับรูปร่างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (GLS) ซึ่งพบว่า รูปแบบความแปรผันของตัวอย่างทั้งสามชนิดเป็นไปในแนวทางที่คล้ายคลึงกัน โดยทั้งสามชนิดมีความแปรปรวนของตำแหน่งจุดกำหนดค่อนข้างสูง โดยเฉพาะตำแหน่งของจุดกำหนดที่ 3 (LM3) ดังแสดงในภาพที่ 30ก – 30ค และเมื่อเปรียบเทียบความแปรผันระหว่างชนิด (ภาพที่ 30ง) พบว่า ตัวอย่างทั้งสามชนิดมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่ทำให้เกิดความแตกต่างของรูปร่างทั้งในส่วนของหัว ลำตัว และหาง โดยตำแหน่งของจุดกำหนดที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก คือ LM2 – LM6, LM 9, LM11 และ LM12

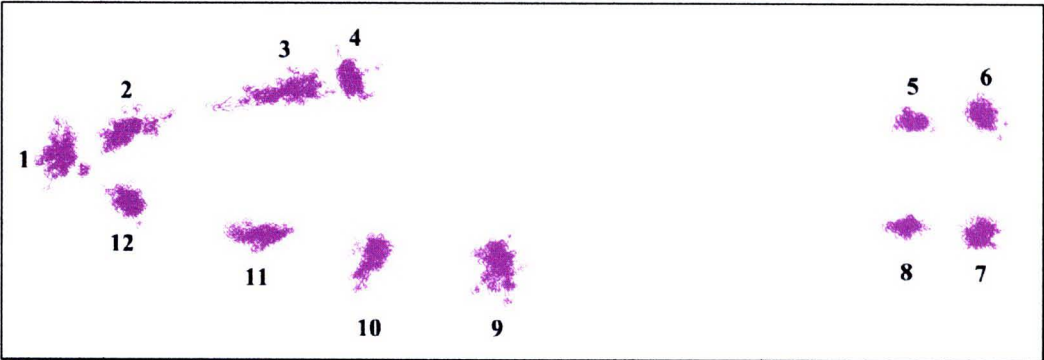
ผลการวิเคราะห์ข้างต้นยังแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยทั่วไปของตัวอย่างแต่ละชนิด โดยปลาช่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใกล้เคียงกัน คือ มีส่วนหัวสั้น แต่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความลึกของลำตัว ลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบก้น โดยเฉพาะส่วนท้องยาว ครีบก้นสั้น มีความลึกลำตัวมาก และมีคอดหางขนาดเล็ก ส่วนปลากะพง *C. lucius* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ค่อนข้างแตกต่างไปจากชนิดอื่น คือ มีส่วนหัวเรียวยาว หัวส่วนหน้ามีลักษณะเรียวยาวและยื่นออกไปข้างหน้า หัวมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความลึกลำตัว ลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบก้นสั้น มีครีบก้นยาว มีความลึกลำตัวมาก และมีคอดหางขนาดใหญ่



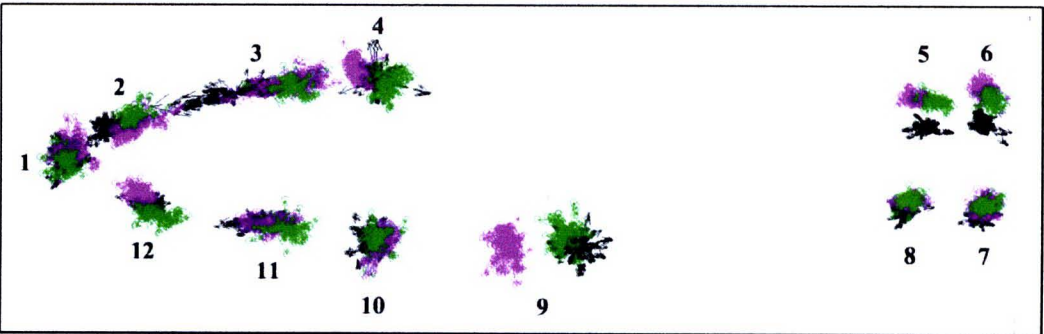
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

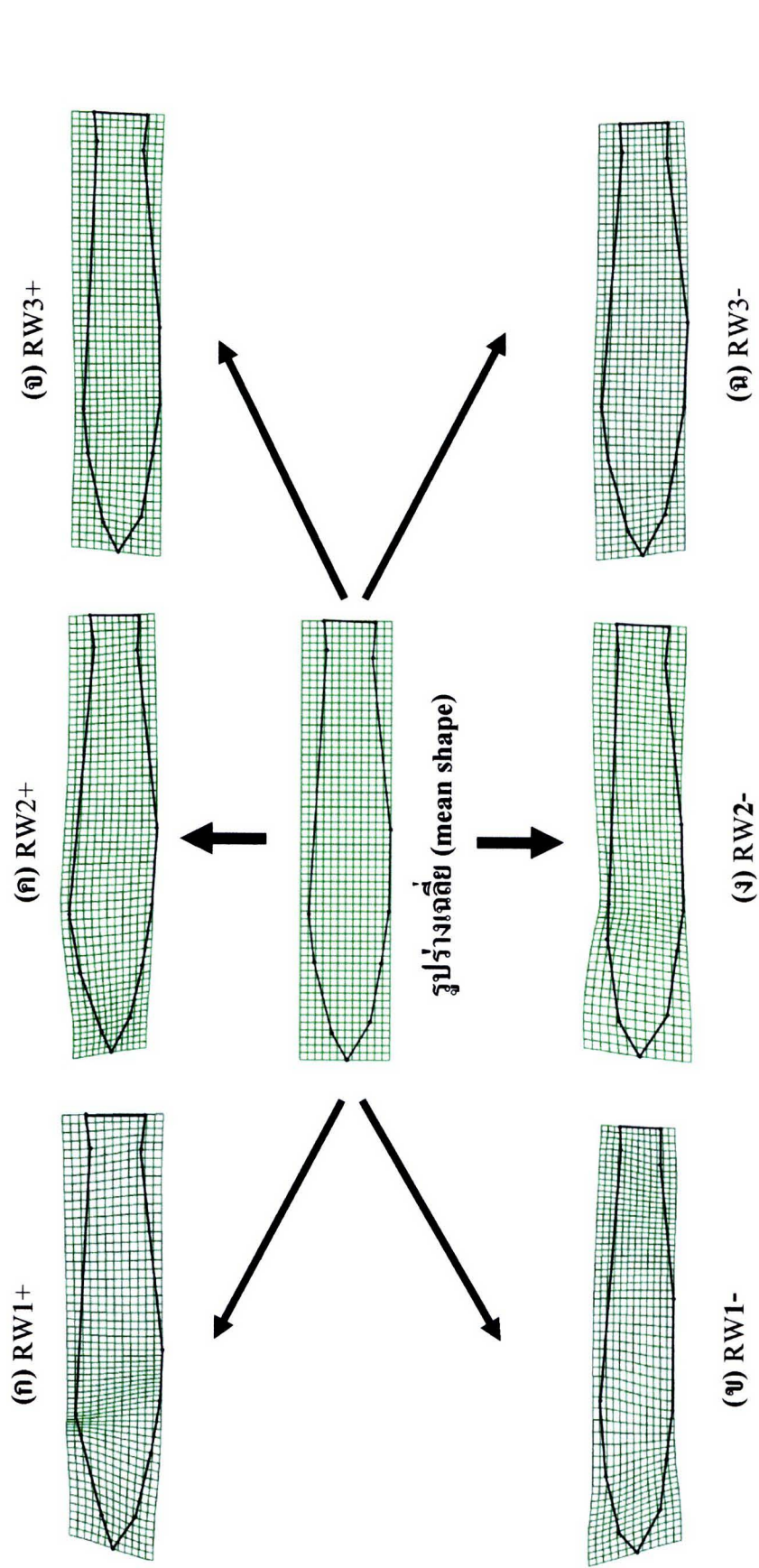
ภาพที่ 30 ผลการซ้อนทับตัวอย่างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (GLS) แสดงความแปรปรวนของตำแหน่งจุดกำหนด ซึ่งแสดงถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* (ก) ปลาก้าง *C. gachua* (ข) ปลากระสง *C. lucius* (ค) และเปรียบเทียบระหว่างทั้งสามชนิด (ง)

ผลการวิเคราะห์การโก่งตัวสัมพัทธ์ (relative analysis) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางฐานวิทยาในระดับระหว่างชนิด โดยแสดงผลในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation grid) ในแต่ละแผนการโก่งตัวสัมพัทธ์ (RW) ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 31 ซึ่งพบว่า

แผนการโก่งตัวสัมพัทธ์ที่ 1 (RW1) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางฐานวิทยาทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง โดยในแนวแกนบวกของ RW1 พบการเลื่อนไปด้านท้ายของจุดกำหนดบริเวณส่วนหัวตอนหน้า ขณะเดียวกันพบว่าจุดกำหนดบริเวณด้านบนของหัว (LM2 และ LM3) กดต่ำลงมาด้านล่าง และจุดกำหนดบริเวณด้านล่างของหัว (LM11 และ LM12) ลูขึ้นทางด้านบน ทำให้ตัวอย่างมีรูปร่างของส่วนหัวเรียวและมีความลึกของหัวน้อย โดยเฉพาะตอนหน้าของหัวเรียวยาวขึ้นออกไปคล้ายกับปากยื่นยาวออกไปด้านหน้า หน้าผากยาวและลาดชันต่ำ ขากรรไกรล่างมีขนาดเล็ก และยังพบว่า LM4 มีการยกตัวขึ้นด้านบน ทำให้ส่วนลำตัวมีความลึกลำตัวมาก และตำแหน่งของ LM9 เลื่อนมาทางด้านหน้า ทำให้ส่วนครีบก้นยาว แต่มีลำตัวส่วนท้องที่ไม่มีครีบกคลุมสั้น นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นตารางบริเวณคอดหางมีการขยายออกจากกันในแนวบนล่าง ทำให้คอดหางมีความลึกมาก (ภาพที่ 31ก) ขณะที่ในแนวแกนลบของ RW1 พบว่า จุดกำหนดบริเวณด้านบนของส่วนหัว (LM2 และ LM3) เลื่อนตำแหน่งมาทางด้านหน้าและยกตัวขึ้นด้านบน ทำให้ส่วนหัวของตัวอย่างมีลักษณะสั้นป้อม แต่มีความลึกของหัวมาก หน้าผากสั้นและสูงชันและยังพบว่า LM12 ลูไปทางด้านท้ายเล็กน้อย ทำให้ขากรรไกรล่างมีความยาวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า LM4 และ LM9 เลื่อนไปทางด้านท้าย ทำให้มีลำตัวส่วนหลังและท้องที่ไม่มีครีบกคลุมยาว แต่มีครีบกหลังและครีบก้นสั้น อีกทั้งพบว่า เส้นตารางบริเวณส่วนลำตัว หาง และคอดหางมีการโก่งเข้าหากันในแนวบนล่าง ทำให้ตัวอย่างมีความลึกลำตัวและคอดหางน้อย (ภาพที่ 31ข)

แผนการโก่งตัวสัมพัทธ์ที่ 2 (RW2) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางฐานวิทยาที่เด่นชัดในส่วนหัว และลำตัว โดยในแนวแกนบวกของ RW2 พบว่า จุดกำหนดในบริเวณส่วนหัว (LM2, LM3, LM11 และ LM12) เลื่อนไปทางด้านหน้า ขณะเดียวกันเส้นตารางในบริเวณส่วนหัวมีการบีบเข้าหากันในแนวหัวท้าย และแนวบนล่าง ทำให้ตัวอย่างมีส่วนหัวสั้นป้อม มีความลึกของหัวน้อย หน้าผากและขากรรไกรล่างสั้น ลำตัวตอนหน้าที่ไม่มีครีบกคลุมยาว นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นตารางบริเวณลำตัวมีการโก่งออกจากกันในแนวบนล่าง ทำให้ตัวอย่างมีความลึกลำตัวมาก (ภาพที่ 31ค) ขณะที่ในแนวแกนลบของ RW2 พบว่า จุดกำหนดในบริเวณส่วนหัวเลื่อนไปทางด้านท้าย และเส้นตารางในบริเวณส่วนหัวขยายออกจากกันในแนวหัวท้าย ทำให้มีส่วนหัวมีรูปร่างยาวและมีความลึกของหัวมาก หน้าผากสูงชัน ลำตัวตอนหน้าที่ไม่มีครีบกคลุมสั้น นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นตารางบริเวณลำตัวมีการโก่งเข้าหากันในแนวบนล่าง ทำให้ตัวอย่างมีความลึกลำตัวน้อย (ภาพที่ 31ง)

แผนการโก่งตัวสัมพัทธ์ที่ 3 (RW3) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางฐานวิทยาเพียงเล็กน้อยของส่วนหัวและส่วนลำตัว โดยในแนวแกนบวกของ RW3 พบว่า จุดกำหนดบริเวณและเส้นตารางบริเวณส่วนหัวลูไปทางด้านท้ายเล็กน้อย ขณะที่เส้นตารางในบริเวณส่วนลำตัวโก่งเข้าหากันในแนวบนล่าง (ภาพที่ 31จ) ส่วนในแนวแกนลบของ RW3 พบว่า LM2 เลื่อนไปทางด้านหน้า แต่ LM12 เลื่อนไปทางด้านท้าย และเส้นตารางบริเวณลำตัวขยายออกจากกันเล็กน้อยในแนวบนล่าง (ภาพที่ 31ฉ)



ภาพที่ 31 รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของปลาทูปลาช่อนในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation grid) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หลักองค์ประกอบ (TPS) แถวบน-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนบวก (positive deviation) แถวล่าง-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนลบ (negative deviation) ของแต่ละแกนการโก่งตัวสัมพัทธ์ (RW) โดยในแนวคอลัมน์แสดงการแปรผันใน RW1 (ก - ข) RW2 (ค - ง) และ RW3 (จ - ฉ) ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแต่ละตัว โดยแสดงผลในรูปแบบของแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนการโค้งตัวสัมพันธ์ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 32 และภาพที่ 33 ซึ่งพบว่า

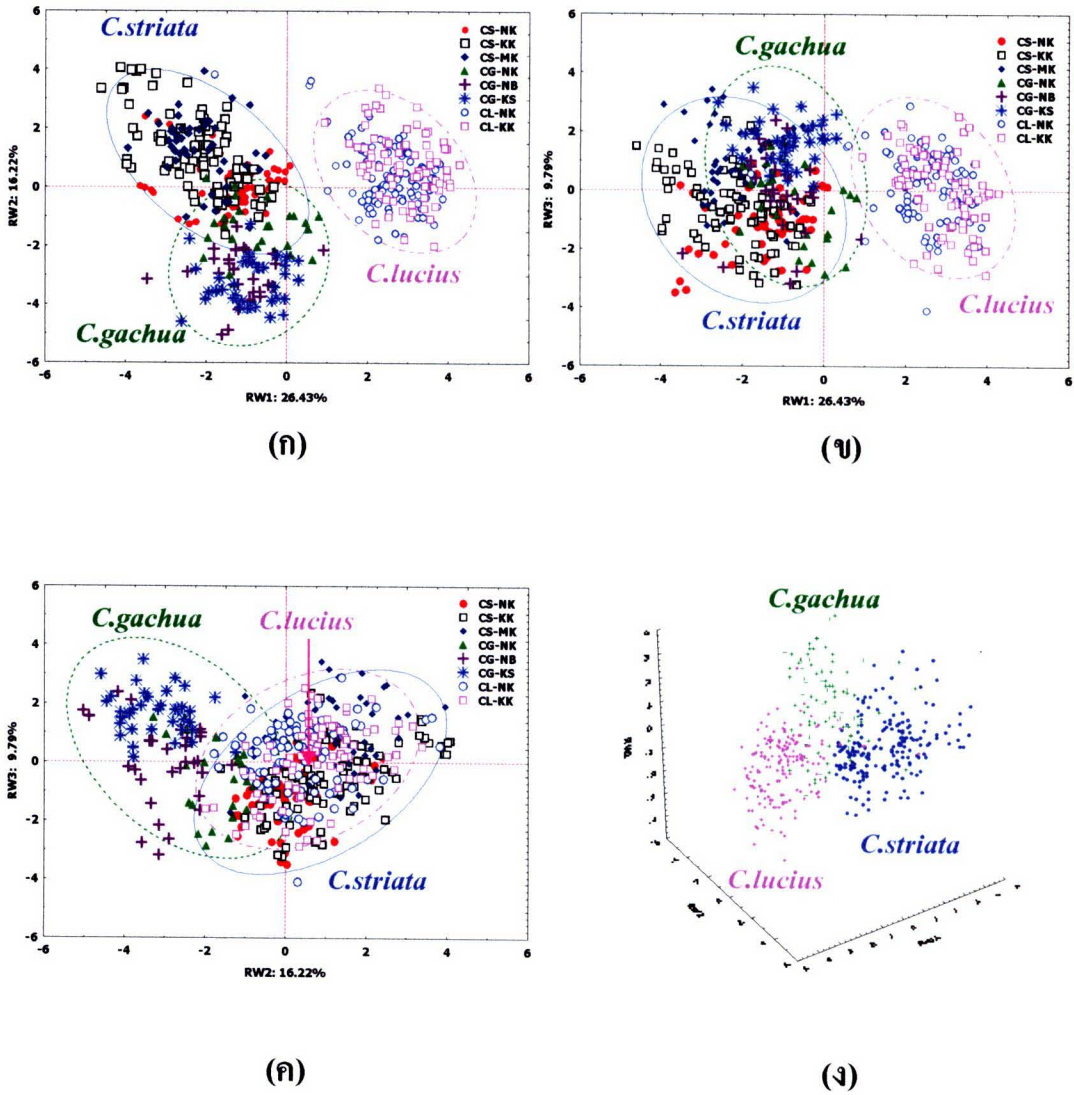
ตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดกระจายตัวแยกออกจากกันบน RW1 และ RW2 แต่กระจายตัวรวมกลุ่มกันใน RW3 แสดงให้เห็นว่า ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างที่เกิดเนื่องจากความแปรผันทางสัณฐานวิทยาใน RW1 และ RW2 มีความแตกต่างกัน แต่ความแปรผันใน RW3 มีความคล้ายคลึงกันในทั้งสามชนิด ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยละเอียดพบว่า ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* มีรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาใน RW1 ที่คล้ายกัน แต่มีรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาใน RW2 ที่แตกต่างกัน ขณะที่ตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* มีรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาใน RW1 ที่แตกต่างจากตัวอย่างสองชนิดข้างต้น

จากข้อมูลรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่แสดงในรูปแบบของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแต่ละแนวแกนการโค้งตัวสัมพันธ์ (ภาพที่ 31) และการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนการโค้งตัวสัมพันธ์ทั้งสามแนวแกน (ภาพที่ 32 และภาพที่ 33) พบว่า ตัวอย่างทั้งสามชนิดมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาทั้งในส่วนหัวลำตัว และหาง โดยรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาระหว่างตัวอย่างทั้งสามชนิดดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งรายละเอียดของแต่ละชนิด มีดังนี้

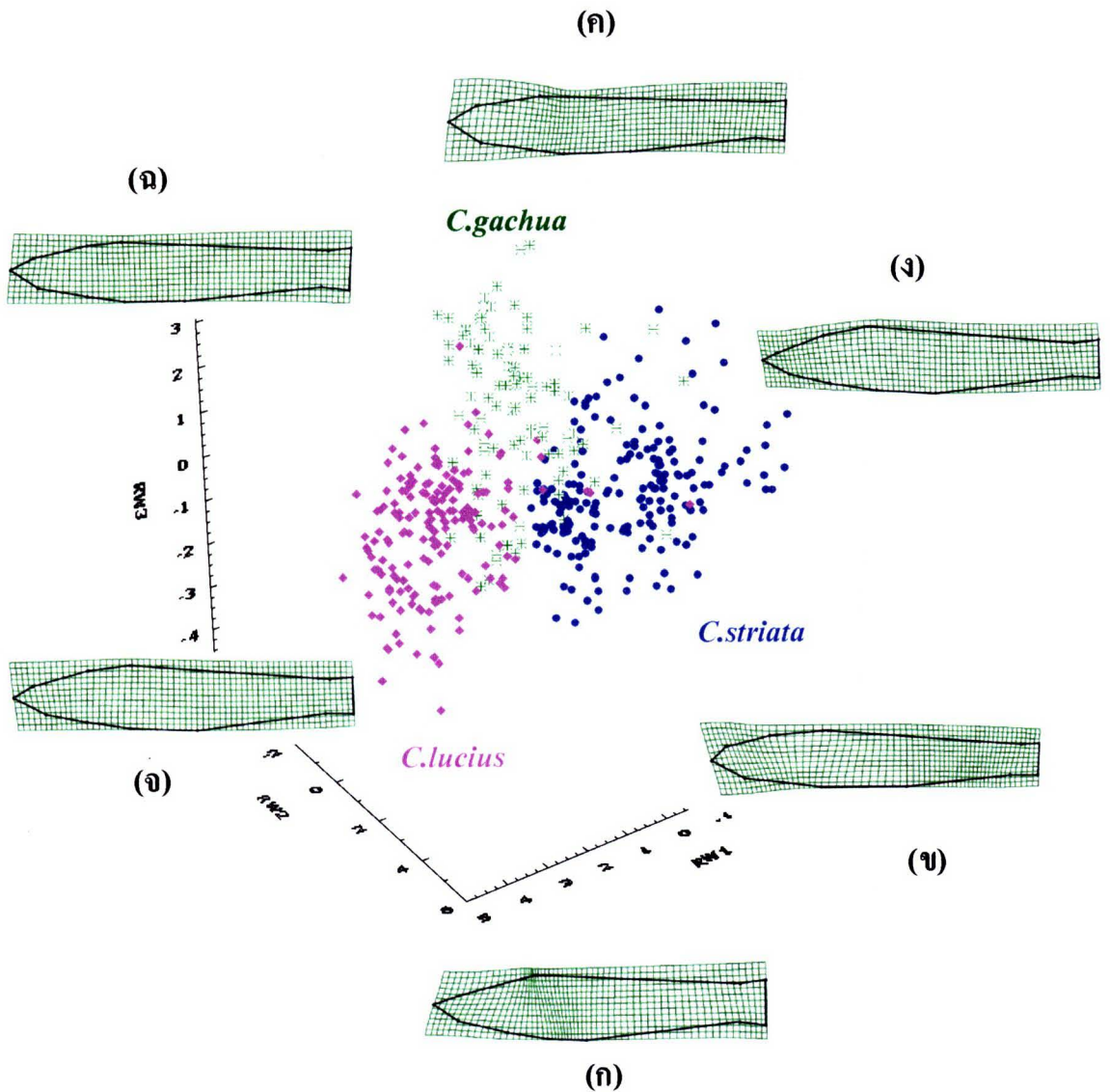
ปลาช่อน *C. striata* มีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวและลำตัวใกล้เคียงกับตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* โดยพบว่ามีส่วนหัวสั้นป้อม หน้าผากสั้นและลาดชันสูง ขากรรไกรล่างมีขนาดใหญ่ ลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบก้นมีครีบก้นสั้น ครีบท้องและครีบก้นสั้น ลำตัวมีความลึกน้อยกว่าตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* คอคอดหางมีความลึกน้อยกว่าความลึกลำตัวเล็กน้อย และเมื่อเทียบเชิงสัมพันธ์ระหว่างชนิดพบว่า มีขนาดใกล้เคียงกับปลาก้าง *C. gachua* แต่เล็กกว่าคอคอดหางของปลากระสง *C. lucius*

ปลาก้าง *C. gachua* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกับตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* แต่มีรูปร่างของส่วนหัวสั้นป้อม หน้าผากสั้นและลาดชันสูง ขากรรไกรล่างมีขนาดใหญ่ และมีความลึกลำตัวน้อยกว่า

ปลากระสง *C. lucius* มีส่วนหัวเรียวยาว หน้าผากลาดชันต่ำ ขากรรไกรล่างสั้น ลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบก้นมีครีบก้นสั้น ครีบท้องและครีบก้นยาว ลำตัวมีความลึกมาก และคอคอดหางมีขนาดใหญ่



ภาพที่ 32 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด ได้แก่ ปลาช่อน *C. striata*, ปลาก้าง *C. gachua* และปลากระสง *C. lucius* บนแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 1 – 3 (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หลัก (TPS) แสดงการกระจายตัวบนคู่ RW1 – RW2 (ก) RW1 – RW3 (ข) RW2 – RW3 (ค) และภาพรวมทั้งสามแนวแกน (ง)



ภาพที่ 33 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด ได้แก่ ปลาช่อน *C. striata*, ปลาก้าง *C. gachua* และปลากระสง *C. lucius* บนสามแนวแกนการโก่งตัวสัมพัทธ์แรก (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไปน (TPS) ภาพแทรกแสดงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในแกนลบ (ก, ค, จ) และแกนบวก (ข, ง, ฉ) ของ RW1 - RW3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเฟลทสไปล์น (TPS) แสดงผลในลักษณะของการเปรียบเทียบปริมาณความแปรผันของแต่ละลักษณะเชิงสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละชนิด

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	ชนิดของตัวอย่าง		
	ปลาช่อน <i>C. striata</i>	ปลาก้าง <i>C. gachua</i>	ปลากระสง <i>C. lucius</i>
ลักษณะส่วนหัว			
ความยาวหน้าผาก	+	++	++++
ความยาวขากรรไกรล่าง	++	+++	+
ความยาวหัว	++	++	+++
ความลึกหัวตอนหน้า	++	+++	+
ความลึกหัวตอนท้าย	++	++	+++
ลักษณะส่วนลำตัว			
ความยาวลำตัวส่วนที่ไม่มีครีบ	++++	+++	+
ความยาวหลัง	++++	+++	+
ความยาวท้อง	++++	+++	+
ความยาวลำตัวส่วนที่มีครีบ	+	++	+++
ความยาวฐานครีบกัน	++	++	++++
ความลึกลำตัว	++	+	+++
ลักษณะส่วนหาง			
ความยาวของคอคอดหาง	++	++	+++
ความลึกของคอคอดหาง	++	++	+++

หมายเหตุ: เครื่องหมายบวก (+) แสดงถึงปริมาณของความแปรผันของแต่ละลักษณะ

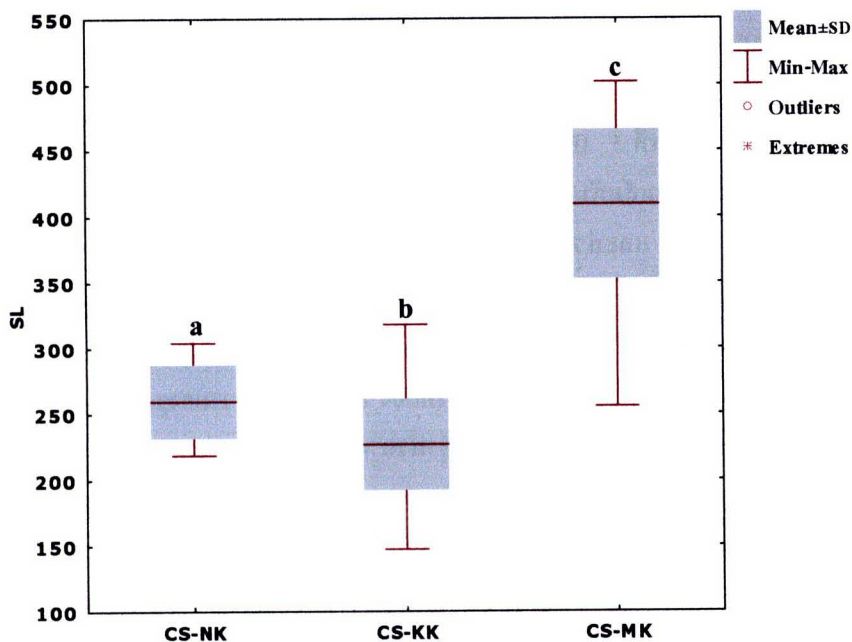


2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาระดับภายในชนิดปลาช่อน *C. striata*

2.1 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุโดยใช้เทคนิคระบบเครือข่ายโครงยึด (TNS)

กลุ่มประชากร CS-NK มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 255.46 ± 27.53 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 281.62 – 304.03 มิลลิเมตร) กลุ่มประชากร CS-KK มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 226.74 ± 34.11 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 147.14 – 317.55 มิลลิเมตร) และกลุ่มประชากร CS-MK มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 409.31 ± 56.22 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 255.44 – 501.86 มิลลิเมตร) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทางเดียวที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีความยาวมาตรฐานต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($F = 337.4669.92$, $p = 0.0000$) ดังแผนภูมิที่แสดงในภาพที่ 34 (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข4)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเชิงพหุเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางมอร์โฟเมตริกส์ของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากร โดยใช้ค่าความยาวมาตรฐานเป็นตัวแปรร่วม พบว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมตริกส์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Pili's trace = 0.875263, $F = 4.918$, $p = 0.0000$) แต่เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างทีละคู่กลุ่มประชากรพบว่า กลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK มีลักษณะทางมอร์โฟเมตริกส์ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลุ่มประชากร CS-MK มีลักษณะทางมอร์โฟเมตริกส์ที่แตกต่างจากกลุ่มประชากรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข5)



ภาพที่ 34 แผนภูมิเปรียบเทียบความยาวมาตรฐานเฉลี่ยของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* แต่ละกลุ่มประชากร ตัวอักษรด้านบนแผนภูมิที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปร TNS ในแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 – 3 (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ซึ่งอธิบายถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างกลุ่มประชากรของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7 และตำแหน่งของตัวแปรดังกล่าวในแต่ละแกนองค์ประกอบหลักดังแสดงในภาพที่ 35 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวพบว่า

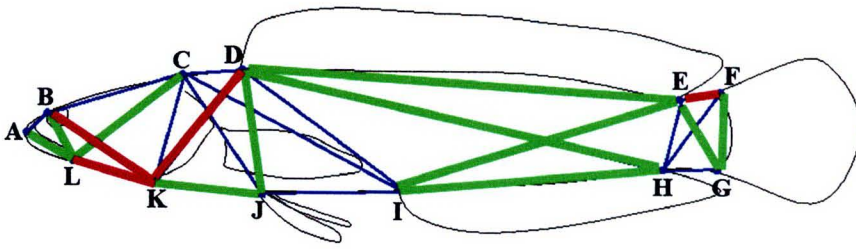
แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 17.42 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC1 จำนวน 15 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวจำนวน 5 ตัวแปร ส่วนลำตัวจำนวน 7 ตัวแปร และส่วนหางจำนวน 3 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC1 มีจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความยาวหัวแนวทแยง 1 (BK) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK) และความยาวคอดหางด้านบน (EF) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC1 มีจำนวน 11 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวขากรรไกรล่าง (AL) ความลึกหัวตอนหน้า (BL) ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความยาวอก (JK) ความลึกลำตัวตอนหน้า (DJ) ความยาวฐานครีบหลัง (DE) ความยาวฐานครีบก้น (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1 (DH) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI) ความยาวคอดหางแนวทแยง 1 (EG) และความลึกคอดหางตอนหลัง (FG)

แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 13.24 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC2 จำนวน 13 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัว 3 ตัวแปร ส่วนลำตัวจำนวน 8 ตัวแปร และส่วนหางจำนวน 2 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC2 มีจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความยาวหลัง (CD) ความยาวอก (JK) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1 (CI) และความลึกลำตัวตอนหน้า (DJ) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC2 มีจำนวน 8 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหน้าผาก (AB) ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความยาวฐานครีบหลัง (DE) ความยาวฐานครีบก้น (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1 (DH) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI) ความยาวคอดหางแนวทแยง 1 (EG) และความลึกคอดหางตอนหลัง (FG)

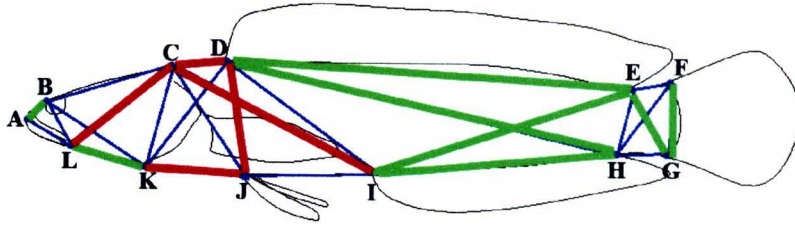
แกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 11.56 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC3 จำนวน 13 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวจำนวน 4 ตัวแปร ส่วนลำตัวจำนวน 7 ตัวแปร และส่วนหางจำนวน 2 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC3 มีจำนวน 9 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความยาวหัวแนวทแยง 1 (BK) ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1 (CI) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK) ความยาวฐานครีบหลัง (DE) ความยาวฐานครีบก้น (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1 (DH) และความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI) ขณะที่ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC3 มีจำนวน 4 ตัวแปร คือความยาวหน้าผาก (AB) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2 (CJ) ความยาวคอดหางด้านล่าง (GH) และความยาวคอดหางแนวทแยง 2 (FH)

ตารางที่ 7 น้ำหนักปัจจัยของตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS) ในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากร (อักษรตัวหนาแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลัก และเครื่องหมายแสดงทิศทางความสัมพันธ์กับแนวแกน) พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) และร้อยละความแปรปรวนโดยรวมของแต่ละแนวแกน

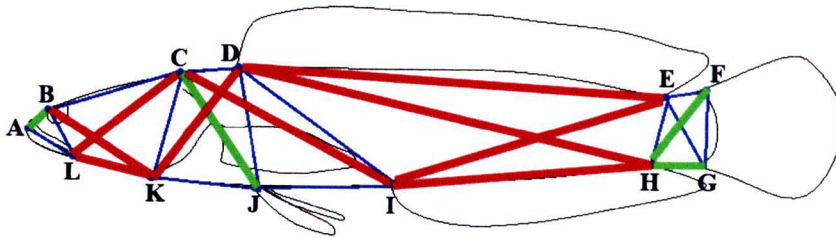
ตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS)		น้ำหนักปัจจัย (factor loadings)		
		PC1	PC2	PC3
AB	ความยาวหน้าผาก	-0.16112	0.417375	0.563242
AL	ความยาวขากรรไกรล่าง	0.53534	-0.27323	0.156759
BL	ความลึกหัวตอนหน้า	0.59488	-0.01381	0.058917
BC	ความยาวหัวด้านบน	0.247724	0.261492	0.187406
KL	ความยาวหัวด้านล่าง	-0.42889	0.382673	-0.47100
BK	ความยาวหัวแนวทแยง 1	-0.66024	0.157318	-0.57678
CL	ความยาวหัวแนวทแยง 2	0.303412	-0.67234	-0.3933
CK	ความลึกหัวด้านท้าย	-0.28604	-0.03579	-0.25601
CD	ความยาวหลัง	-0.1865	-0.52112	-0.27854
IJ	ความยาวท้อง	-0.26388	0.226634	0.056144
JK	ความยาวอก	0.708518	-0.57732	0.212519
CI	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	-0.14025	-0.4622	-0.38722
CJ	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	-0.16187	-0.0978	0.385817
DK	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3	-0.78183	0.26187	-0.32482
DJ	ความลึกลำตัวตอนหน้า	0.394569	-0.62909	0.003196
DE	ความยาวฐานครีบท้อง	0.350679	0.482464	-0.39763
HI	ความยาวฐานครีบก้น	0.644281	0.336202	-0.37552
DH	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1	0.543238	0.470134	-0.50888
EI	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2	0.529446	0.420125	-0.32474
DI	ความลึกลำตัวตอนท้าย	0.253385	0.052304	-0.23423
EF	ความยาวคอดหางด้านบน	-0.33423	0.161592	-0.06417
GH	ความยาวคอดหางด้านล่าง	-0.15829	0.195699	0.46933
EG	ความยาวคอดหางแนวทแยง 1	0.328905	0.362338	0.261316
FH	ความยาวคอดหางแนวทแยง 2	0.021884	0.293864	0.500515
EH	ความลึกคอดหางตอนหน้า	0.000883	0.090124	0.224665
FG	ความลึกคอดหางตอนหลัง	0.407067	0.334386	0.090032
ค่าไอเกน (Eigenvalue)		4.53	3.73	3.00
ค่าร้อยละความแปรปรวนโดยรวม		17.42	13.21	11.56



(ก)



(ข)



(ค)

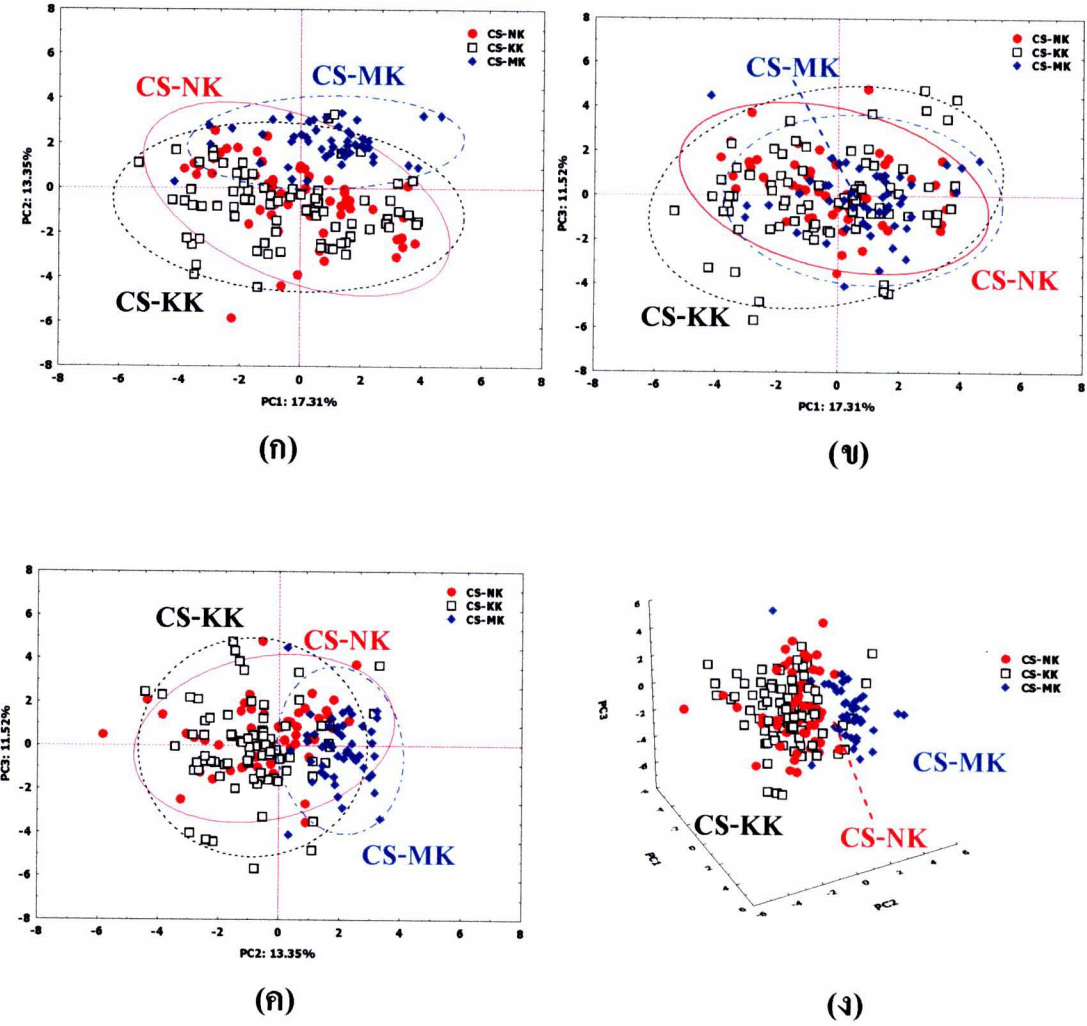
ภาพที่ 35 ตำแหน่งของตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ด (TNS) ที่มีความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (ก) แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (ข) และแกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (ค) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากร (เส้นสีแดงแทนความสัมพันธ์เชิงลบ และเส้นสีเขียวแทนความสัมพันธ์เชิงบวกกับแกนองค์ประกอบหลัก)

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของกลุ่มตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลักต่อความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากร ได้แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 -3 (PC1 –PC3) ดังแสดงในภาพที่ 36 และภาพที่ 37 จากแผนภาพดังกล่าว พบว่า

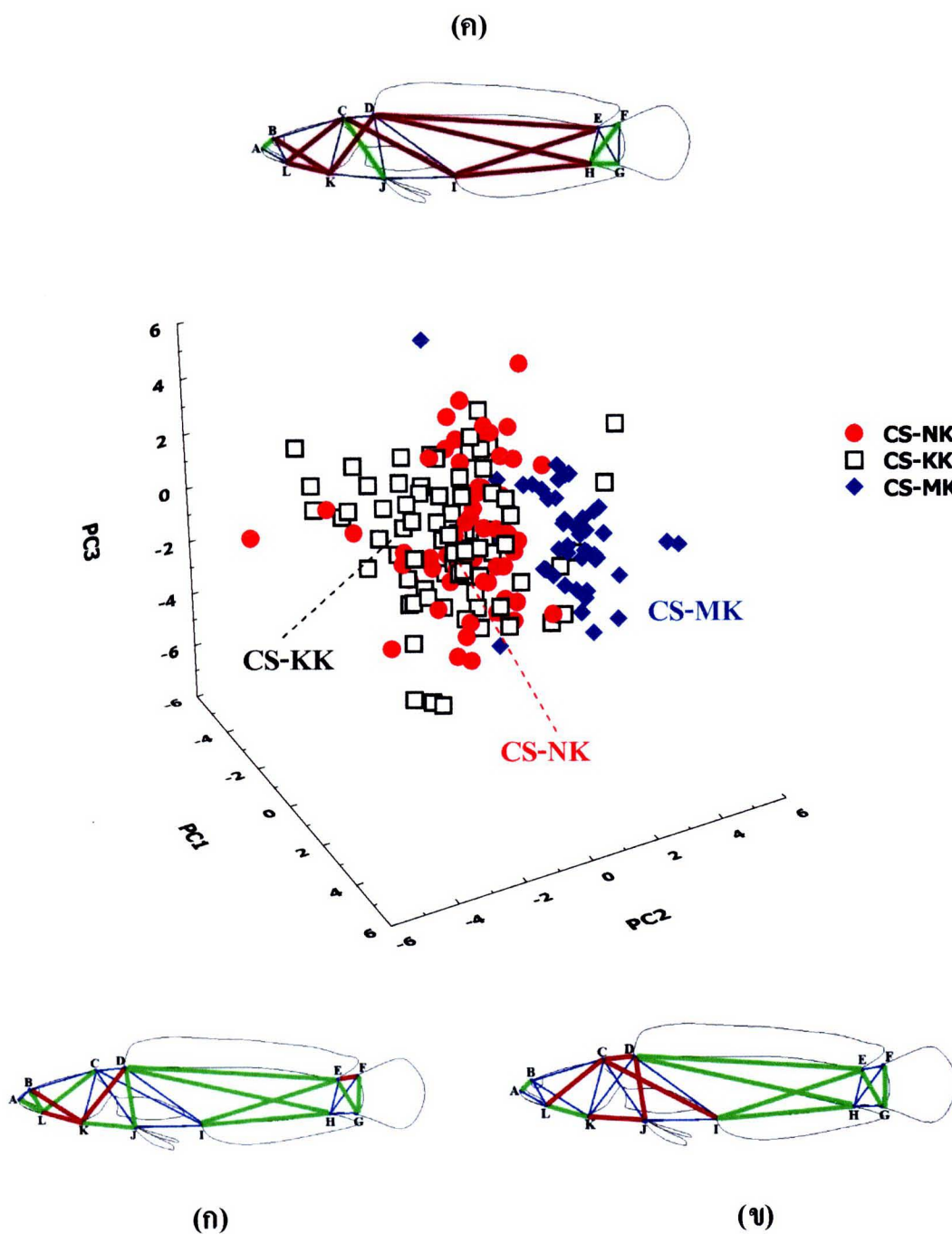
แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) แสดงให้เห็นถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรที่มีช่วงความแปรผันค่อนข้างกว้าง แต่เป็นไปในรูปแบบที่คล้ายกัน โดยตัวอย่างจากทั้งสามกลุ่มประชากรมีการกระจายตัวอย่างทั้งแนวแกนลบและแนวแกนบวกของ PC1 และไม่ได้แยกออกจากกันอย่างชัดเจน แต่ก็พบว่า ตัวอย่างเกือบทั้งหมดของกลุ่มประชากร CS-MK มีการกระจายตัวอย่างบนแนวแกนบวกของ PC1

แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) แสดงให้เห็นถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรในรูปแบบที่คล้ายกับ PC1 แต่สามารถอธิบายความแปรผันระหว่างกลุ่มประชากรได้ดีกว่า โดยพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีการกระจายตัวอย่างทั้งบนแนวแกนลบและแนวแกนบวกของ PC2 และไม่ได้แยกออกจากกันอย่างชัดเจน แต่ตัวอย่างทั้งหมดจากกลุ่มประชากร CS-MK มีการกระจายตัวอย่างเฉพาะบนแนวแกนบวกของ PC2 เท่านั้น

แกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของตัวอย่างที่ซ้อนทับกันจนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ และตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-KK มีช่วงความกว้างของการกระจายตัวมากกว่าตัวอย่างจากกลุ่มประชากรอื่น บ่งชี้ว่าตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแปรผันของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยของกลุ่มตัวแปร TNS ใน PC3 คล้ายคลึงกัน และตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-KK มีความแปรผันของลักษณะดังกล่าวสูงกว่ากลุ่มประชากรอื่น



ภาพที่ 36 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรบนแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1- PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยใช้ข้อมูลตัวแปรเครือข่ายโครมิด (TNS) แสดงการกระจายตัวบนคู่แนวแกน PC1 – PC2 (ก) PC1 – PC3 (ข) PC2 – PC3 (ค) และภาพรวมบนทั้งสามแนวแกน (ง)



ภาพที่ 37 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรบนสามแนวแกนองค์ประกอบหลักแรก (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยใช้ข้อมูลตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ด (TNS) ภาพแทรกแสดงตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ดที่มีความสัมพันธ์สูงกับ PC1 – PC3 (ก – ค) ตามลำดับ

จากข้อมูลน้ำหนักปัจจัยของตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 7 และภาพที่ 35) และแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่าง ทั้งสามกลุ่มประชากรบนแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 -3 (ภาพที่ 36 และภาพที่ 37) พบว่า ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* มีความแปรผันของลักษณะทางสัณฐานวิทยาทั้งในส่วนหัว ส่วนลำตัว และส่วนหาง ซึ่งความแปรผันทางสัณฐานวิทยาดังกล่าวเป็นไปในแนวทางที่คล้ายกัน ยกเว้นกลุ่มประชากร CS-MK ที่มีช่วงของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาน้อย และมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เฉพาะของกลุ่ม แต่ไม่ได้แตกต่างจากกลุ่มประชากรอื่นอย่างชัดเจน รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของแต่ละกลุ่มประชากรสามารถสรุปได้ ดังนี้

ส่วนหัว ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวเป็นไปในแนวทางคล้ายคลึงกัน โดยความแปรผันของลักษณะของหัวตอนหน้า ได้แก่ ความยาวหน้าผาก ความยาวขากรรไกรล่าง และความลึกหัวตอนหน้า มีความแปรผันในทิศทางที่ตรงข้ามกับความยาวหัวตอนท้าย นอกจากนี้ กลุ่มประชากร CS-MK ยังมีช่วงความแปรผันส่วนหัวที่แคบและจำเพาะกว่ากลุ่มประชากรอื่น โดยเป็นความแปรผันเกี่ยวกับความยาวขากรรไกรล่าง ความยาวของหัวตอนท้าย และความลึกของหัวตอนท้าย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับในเชิงปริมาณสัมพันธ์กับสองกลุ่มประชากรที่เหลือ พบว่า กลุ่มประชากร CS-MK มีแนวโน้มของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่ทำให้มีขนาดของส่วนหัวใหญ่แต่สั้นป้อมกว่ากลุ่มประชากรอื่น

ส่วนลำตัว ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนลำตัวเป็นไปในแนวทางคล้ายคลึงกัน เช่นเดียวกับความแปรผันของส่วนหัว โดยความแปรผันของส่วนลำตัวแบ่งออกเป็น 2 ทิศทาง คือ ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความยาวลำตัว ได้แก่ ความยาวท้อง ความยาวฐานครีบลึง ความยาวฐานครีบก้น และความยาวลำตัวในแนวทแยง มีความแปรผันในทิศทางตรงข้ามกับความแปรผันของลักษณะความลึกลำตัวตอนหน้า แต่ทั้งนี้พบว่า กลุ่มประชากร CS-MK มีความแปรผันของส่วนลำตัวที่แตกต่างและจำเพาะกลุ่ม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับในเชิงปริมาณสัมพันธ์กับสองกลุ่มประชากรที่เหลือ พบว่า กลุ่มประชากร CS-MK มีความลึกลำตัวน้อยกว่ากลุ่มประชากรอื่น แต่มีความยาวลำตัวมากกว่ากลุ่มประชากรอื่น

ส่วนหาง ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหางเป็นไปในแนวทางคล้ายคลึงกัน โดยมีรูปแบบความแปรผันเพียงทิศทางเดียว ซึ่งเป็นความแปรผันเกี่ยวทั้งในด้านความยาวและความลึกของคอดหาง แต่ความแปรผันดังกล่าวไม่ได้ทำให้ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีลักษณะของส่วนหางแตกต่างกันอย่างเด่นชัด ยกเว้น กลุ่มประชากร CS-MK ที่มีช่วงความแปรผันแคบ และมีแนวโน้มของการคอดหางใหญ่กว่ากลุ่มประชากรอื่น โดยเฉพาะลักษณะความลึกของคอดหาง

2.2 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไลด์ (TPS)

ภาพรวมของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรจากการซ้อนทับตัวอย่างด้วยวิธี GLS พบความแปรปรวนของตำแหน่งจุดกำหนดทุกจุด แต่จุดที่มีแปรปรวนค่อนข้างสูงคือ LM3 และเมื่อเปรียบเทียบความแปรผันระหว่างทั้งสามกลุ่มประชากรพบว่า กลุ่มประชากร CS-MK มีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างจากกลุ่มประชากรอื่นทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง โดยเฉพาะบริเวณ LM4 – LM10 (ภาพที่ 38)

การวิเคราะห์การโค้งตัวสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากร ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 39 ซึ่งพบว่า

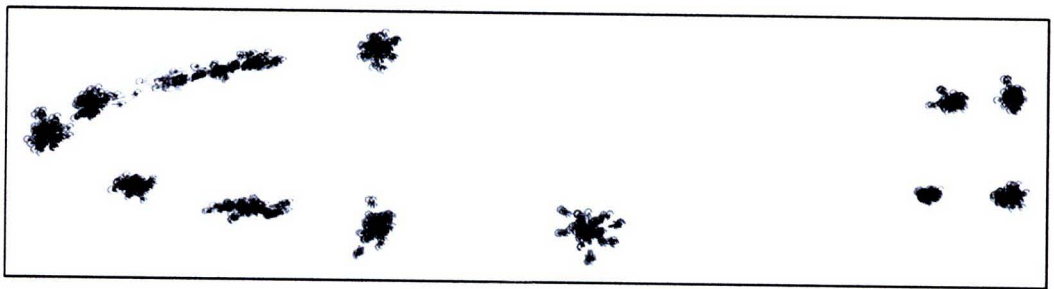
แกนการโค้งตัวสัมพันธ์ที่ 1 (RW1) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัว โดยในแนวแกนบวกของ RW1 แสดงการเลื่อนมาด้านหน้าของ LM3 และเส้นตารางบริเวณส่วนหัวมีการบีบเข้าหากันในแนวนอนล่าง ทำให้ตัวอย่างมีหัวขนาดเล็กและสั้น ลำตัวด้านหลังมีส่วนที่ไม่มีครีบก้น (ภาพที่ 39ก) ในแนวแกนลบของ RW1 พบว่า ตำแหน่งของ LM3 เลื่อนไปทางด้านท้าย และเส้นตารางบริเวณส่วนหัวมีการขยายออกจากกัน ทำให้ตัวอย่างมีหัวขนาดใหญ่และยาวลำตัวด้านหลังมีส่วนที่ไม่มีครีบก้น (ภาพที่ 47ข)

แกนการโค้งตัวสัมพันธ์ที่ 2 (RW2) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันโดยรวมของรูปร่างร่างกายที่เป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของความลึกลำตัว และคอดหาง (ภาพที่ 39ค และภาพที่ 39ง) โดยในแนวแกนบวกของ RW2 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างที่มีความลึกของลำตัวมาก ส่วนหัวมีความลึกใกล้เคียงกับความลึกของลำตัว หน้าผากยาวและลาดชันต่ำ คอดหางมีขนาดเล็กและสั้น โดยมีขนาดใกล้เคียงกับความลึกของลำตัว (ภาพที่ 39ค) ส่วนในแนวแกนลบของ RW2 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างที่มีความลึกของลำตัวน้อย ส่วนหัวมีความลึกมากกว่าความลึกของลำตัว ทำให้หัวมีขนาดใหญ่ แต่ความยาวของหัวน้อย และหน้าผากสูงชัน คอดหางมีขนาดใหญ่ โดยมีความลึกของคอดหางมากกว่าความลึกของลำตัว (ภาพที่ 39ง)

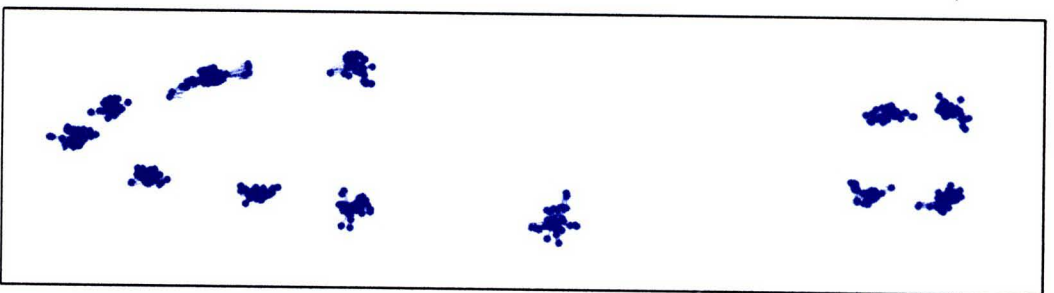
แกนการโค้งตัวสัมพันธ์ที่ 3 (RW3) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่น่าจะเกิดจากการโค้งตัวและบิดโค้งของตัวอย่าง โดยพบว่าการโค้งตัวและบิดโค้งของเส้นตารางทั้งในแนวแกนบวกและแกนลบของ RW3 (ภาพที่ 39จ ภาพที่ 39ฉ) แต่เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของแต่ละจุดกำหนดและเส้นที่เชื่อมระหว่างจุดกำหนดพบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างในแนวแกนลบและแนวแกนบวกมีความคล้ายคลึงกันมาก และลักษณะของความแปรผันดังกล่าวน่าจะเป็นผลมาจากการจัดทำทางของตัวอย่างในระหว่างที่ทำการบันทึกภาพ และการเก็บรักษาตัวอย่างในตู้แช่แข็งที่ไม่ดีพอและเก็บรักษาด้วยระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้ตัวอย่างเกิดการหดตัวและบิดงอ



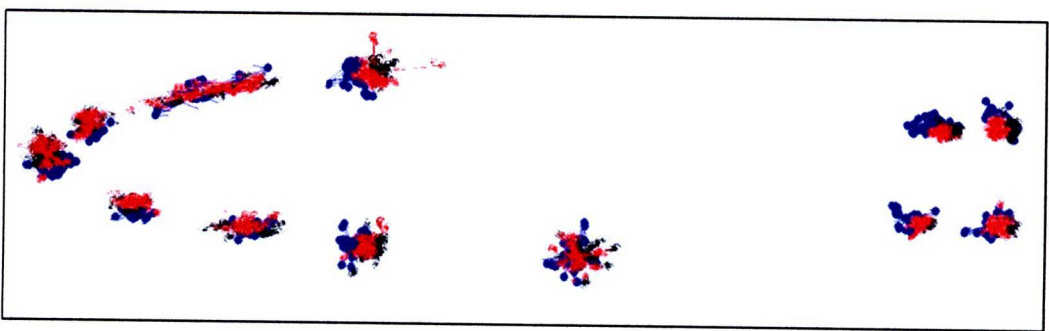
(ก)



(ข)

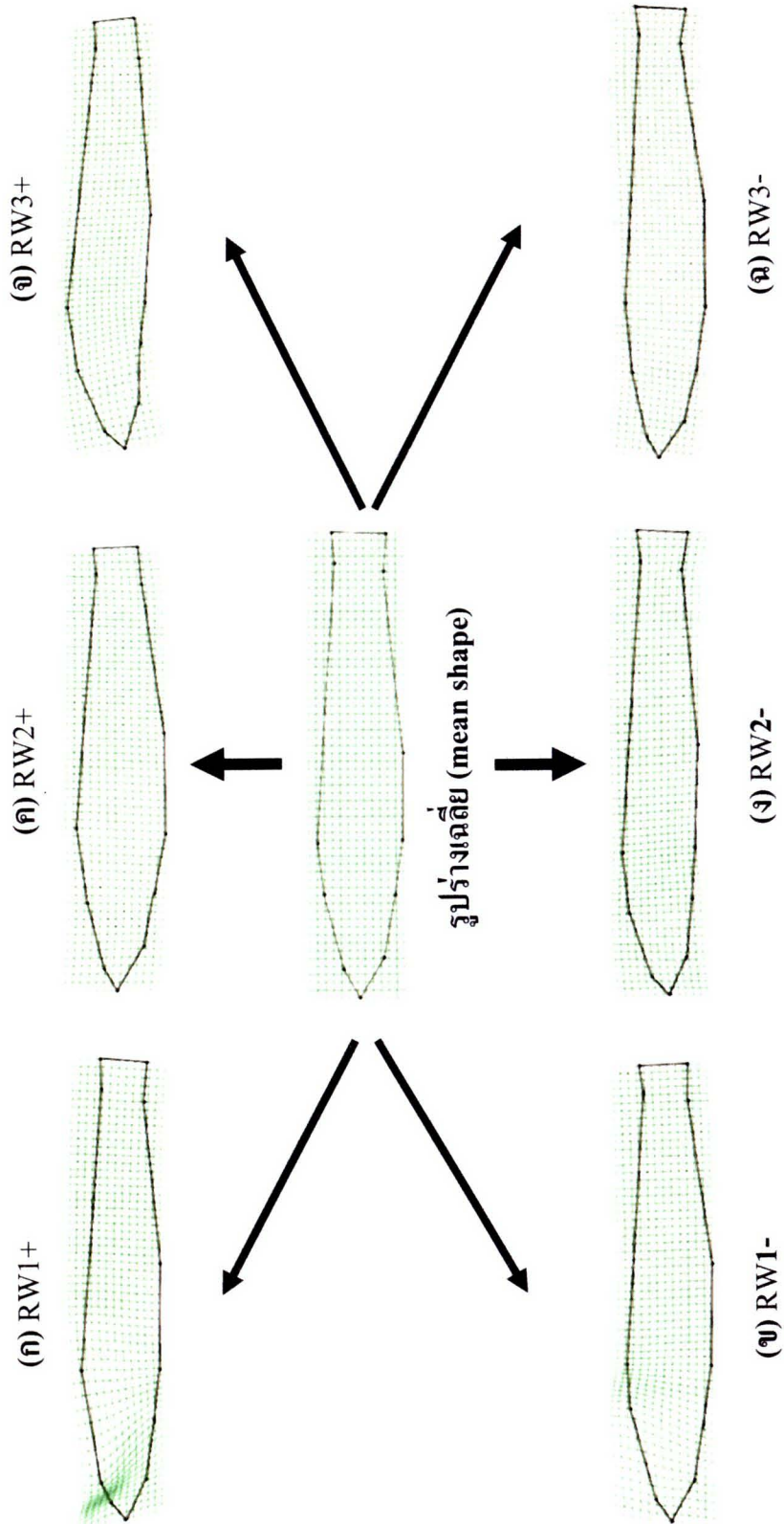


(ค)



(ง)

ภาพที่ 38 ผลการซ้อนทับตัวอย่างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (GLS) แสดงความแปรปรวนของตำแหน่งจุดกำหนด ซึ่งแสดงถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C.striata* ทั้งสามกลุ่ม คือ กลุ่มประชากร CS-NK (ก) CS-KK (ข) CS-MK (ค) และเปรียบเทียบทั้งสามกลุ่มประชากร (ง)



ภาพที่ 39 รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของปลาช่อน *C. striata* ในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation grid) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไปน (TPS) แถวบน-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนบวก (positive deviation) แถวล่าง-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนลบ (negative deviation) ของแต่ละแกนการโก่งตัวสัมพัทธ์ (RW) ในแนวคอลัมน์แสดงการแปรผันบน RW1 (ก - ข) RW2 (ค - ง) และ RW3 (จ - ฉ) ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* แต่ละตัว โดยแสดงผลในรูปของแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ (ภาพที่ 40 และภาพที่ 41) พบว่า

แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 1 (RW1) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่ไม่ได้แตกต่างกันอย่างเด่นชัดของกลุ่มประชากรทั้งสามกลุ่ม แต่พบว่า กลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-MK มีรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันในแนวแกน RW1 โดยตัวอย่างส่วนมากของกลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-MK มีการกระจายตัวอยู่บนแนวแกนลบและแนวแกนบวกของ RW1 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-KK มีรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาอยู่กึ่งกลางระหว่างสองกลุ่มประชากรข้างต้น โดยกระจายตัวอยู่ทั้งในแนวแกนลบและบวกของ RW1

แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 2 (RW2) แสดงให้เห็นถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาคล้ายกับ RW1 แต่ตัวอย่างที่มีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน คือ ตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-KK และกลุ่มประชากร CS-MK โดยตัวอย่างส่วนมากของสองกลุ่มประชากรข้างต้นกระจายตัวอยู่ในแนวแกนบวกและแนวแกนลบของ RW2 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-NK มีการกระจายตัวอยู่ทั้งในแนวแกนลบและแกนบวกของ RW2

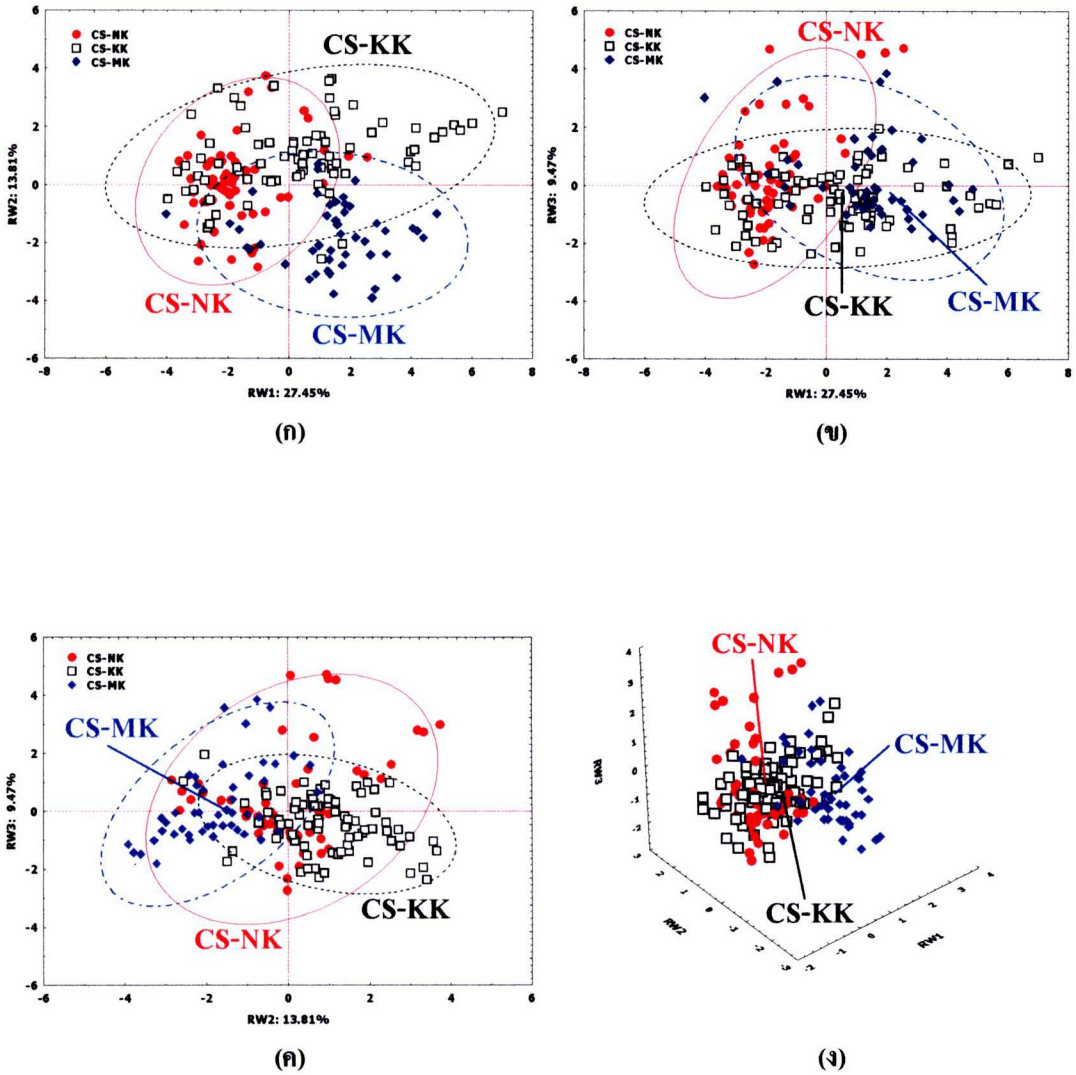
แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 3 (RW3) พบว่า ตัวอย่างโดยส่วนมากจากทั้งสามกลุ่มประชากรกระจายตัวเกาะกลุ่มกัน และมีเพียงส่วนน้อยที่มีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาค่อนข้างสูงแตกต่างออกไปจากตัวอย่างอื่น

จากข้อมูลรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในแต่ละแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่แสดงในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ภาพที่ 39) และการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ (ภาพที่ 40 และภาพที่ 41) สามารถสรุปลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรได้ ดังนี้

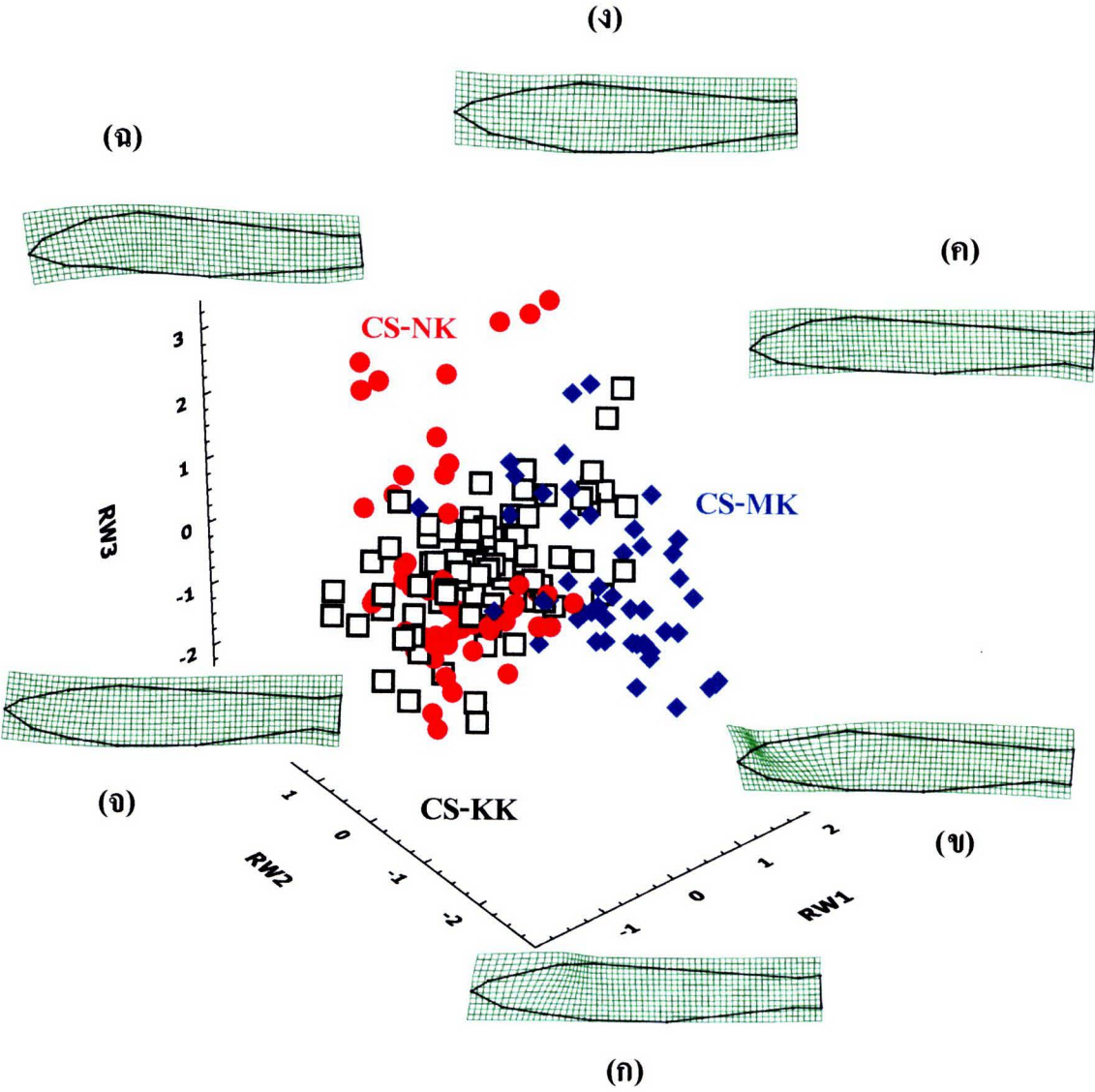
กลุ่มประชากร CS-NK มีความแปรผันของส่วนหัวที่เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน แต่มีความแปรผันของความลึกลำตัวที่หลากหลาย โดยพบว่า ตัวอย่างมีส่วนหัวเรียวยาว หน้าผากชันและลาดชันต่ำ ความลึกลำตัวมีความหลากหลาย

กลุ่มประชากร CS-KK มีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่ตรงข้ามกับกลุ่มประชากร CS-NK คือ มีความแปรผันของลักษณะรูปร่างส่วนหัวที่หลากหลาย แต่มีรูปร่างของลำตัวที่คล้ายกัน โดยพบว่าตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-KK มีทั้งกลุ่มที่มีหัวสั้นป้อม หน้าผากลาดชันสูง และกลุ่มที่หัวเรียวยาว หน้าผากลาดชันต่ำ แต่ทั้งสองกลุ่มย่อยมีรูปร่างลำตัวที่เหมือนกัน คือ ลำตัวมีความลึกมาก ขนาดความลึกของหัวใกล้เคียงกับความลึกลำตัว

กลุ่มประชากร CS-MK มีความแปรผันที่เป็นรูปแบบจำเพาะมากกว่าสองกลุ่มประชากรแรก โดยพบรูปแบบสัณฐานวิทยาของส่วนหัวและลำตัวที่เป็นลักษณะเฉพาะของกลุ่ม คือ มีส่วนหัวสั้นทุ่ หน้าผากลาดชันมีความลึกลำตัวน้อย ส่วนหัวมีความลึกมากกว่าความลึกลำตัว คอดหางมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความลึกลำตัว



ภาพที่ 40 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* แต่ละตัว บนแนวแกนการโก่งตัวสัมพันธ์ที่ 1 – 3 (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์หินเพลทสไปลัน (TPS) แสดงการกระจายตัวบนคู่แนวแกน RW1 – RW2 (ก) RW1 – RW3 (ข) RW2 – RW3 (ค) และภาพรวมบนทั้งสามแนวแกน (ง)



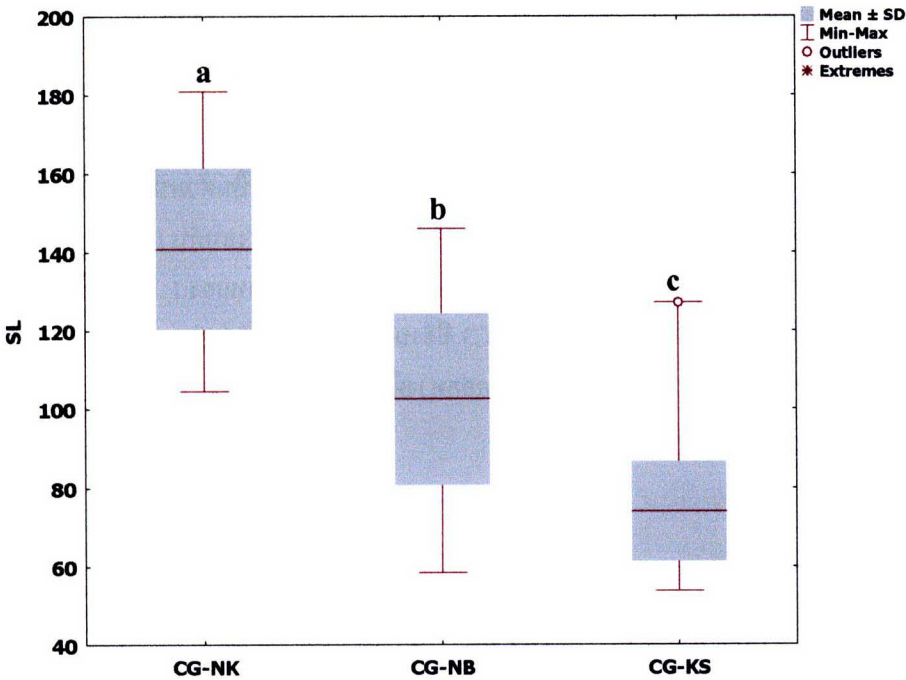
ภาพที่ 41 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* บนสามแนวแกนแรกของแกนการโค้งตัวสัมพันธ์ (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเฟลทสไปลัน (TPS) ภาพแทรกแสดงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในแกนลบ (ก, ค, จ) และแกนบวก (ข, ง, ฉ) ของ RW1 - RW3 ตามลำดับ

3. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาระดับภายในชนิดปลาก้าง *C. gachua*

3.1 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุโดยใช้เทคนิคระบบเครือข่ายโครงยี่ด (TNS)

กลุ่มประชากร CG-NK มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 140.85 ± 20.45 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 104.54 – 180.88 มิลลิเมตร) กลุ่มประชากร CG-NB มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 102.58 ± 21.80 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 58.53 – 146.00 มิลลิเมตร) และกลุ่มประชากร CG-KS มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 73.97 ± 12.62 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 53.77 – 127.17 มิลลิเมตร) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทางเดียวที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีความยาวมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($F = 111.3835, p = 0.0000$) ดังแผนภูมิที่แสดงในภาพที่ 42 (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข6)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเชิงพหุเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางมอร์โฟเมตริกส์ระหว่างตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร โดยใช้ค่าความยาวมาตรฐานเป็นตัวแปรร่วม พบว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมตริกส์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Pili's trace = 1.5622, $F = 10.2756, p = 0.0000$) แต่เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากรทีละคู่ พบว่า กลุ่มประชากร CG-SNK และกลุ่มประชากร CG-NB มีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมตริกส์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลุ่มประชากร CG-KS มีลักษณะมอร์โฟเมตริกส์แตกต่างจากกลุ่มประชากรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข7)



ภาพที่ 42 แผนภูมิเปรียบเทียบความยาวมาตรฐานเฉลี่ยของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* แต่ละกลุ่มประชากร ตัวอักษรด้านบนแผนภูมิที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปร TNS ในแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 – 3 (PC1 – PC3) ซึ่งอธิบายถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับระหว่างกลุ่มประชากรของตัวอย่างปลาแก้ง *C. gachua* มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 8 และตำแหน่งของตัวแปรดังกล่าวในแต่ละแนวแกนองค์ประกอบหลักดังแสดงในภาพที่ 43 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวพบว่า

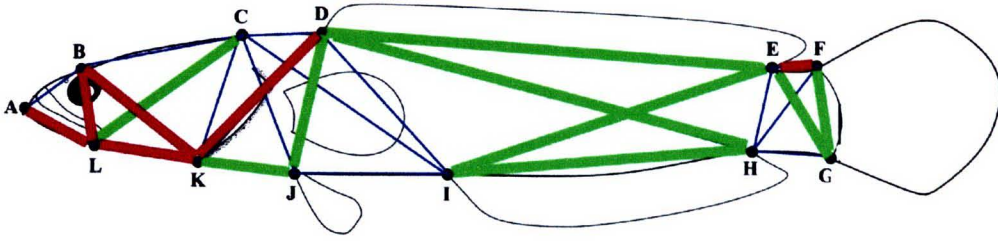
แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 21.42 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC1 จำนวน 14 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวและส่วนลำตัว จำนวน 5 และ 9 ตัวแปร ตามลำดับ โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC1 มีจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวขากรรไกรล่าง (AL) ความลึกหัวตอนหน้า (BL ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความยาวหัวแนวทแยง 1 (BK) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK) และความยาวคอคอดหางด้านบน (EF) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC1 มีจำนวน 9 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความยาวอก (JK) ความลึกลำตัวตอนหน้า (DJ) ความยาวฐานครีบล้าง (DE) ความยาวฐานครีบก้น (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1 (DH) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI) ความยาวคอคอดหางแนวทแยง 1 (EG) และความลึกคอคอดหางตอนหลัง (FG)

แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 17.02 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์สูงกับ PC2 จำนวน 16 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวและส่วนลำตัวบริเวณละ 7 ตัวแปร และจากส่วนหางจำนวน 2 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC2 มีจำนวน 9 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวด้านบน (BC) ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความยาวหัวแนวทแยง 1 (BK) ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความลึกหัวด้านท้าย (CK) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK) ความลึกลำตัวตอนหน้า (DJ) ความยาวคอคอดหางแนวทแยง 1 (EG) และความลึกคอคอดหางตอนหน้า (EH) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC2 มีจำนวน 7 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวขากรรไกรล่าง (AL) ความลึกหัวตอนหน้า (BL) ความยาวหลัง (CD) ความยาวอก (JK) ความยาวฐานครีบล้าง (DE) ความยาวฐานครีบก้น (HI) และความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI)

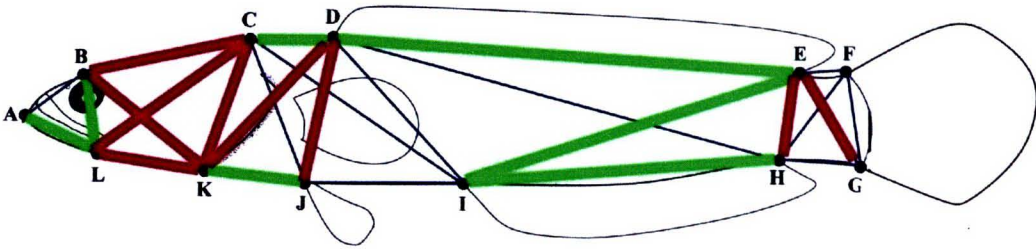
แกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 11.58 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC3 จำนวน 7 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนลำตัวจำนวน 6 ตัวแปร และจากส่วนหางจำนวน 1 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC3 มีจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหลัง (CD) ความยาวท้อง (IJ) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1 (CI) และความลึกลำตัวตอนท้าย (DI) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC3 มีจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวฐานครีบก้น (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI) และความยาวคอคอดหางด้านล่าง (GH)

ตารางที่ 8 น้ำหนักปัจจัยของตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS) ในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร (อักษรตัวหนาแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลัก และเครื่องหมายแสดงทิศทางการความสัมพันธ์กับแนวแกน) พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) และร้อยละความแปรปรวนโดยรวมของแต่ละแนวแกน

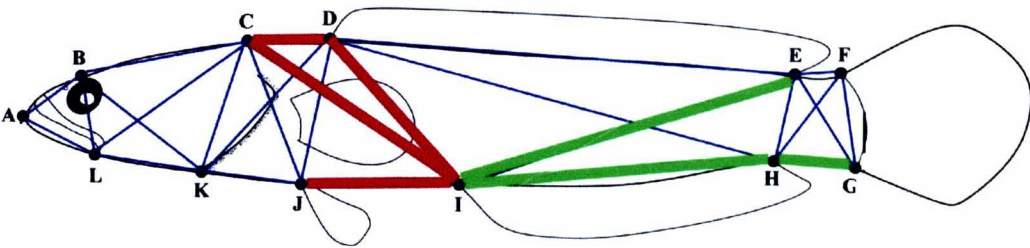
ตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS)	น้ำหนักปัจจัย (factor loadings)		
	PC1	PC2	PC3
AB ความยาวหน้าผาก	-0.72376	0.06458	0.2578
AL ความยาวขากรรไกรล่าง	-0.70949	0.50517	0.00551
BL ความลึกหัวตอนหน้า	-0.78368	0.40401	-0.10462
BC ความยาวหัวด้านบน	0.10569	-0.48349	0.24746
KL ความยาวหัวด้านล่าง	0.44307	-0.59799	0.03653
BK ความยาวหัวแนวทแยง 1	0.23508	-0.76392	0.04759
CL ความยาวหัวแนวทแยง 2	0.53461	-0.34925	-0.05512
CK ความลึกหัวด้านท้าย	-0.17093	-0.67169	-0.09946
CD ความยาวหลัง	0.06459	0.32250	-0.44764
IJ ความยาวท้อง	0.41011	0.01271	-0.59699
JK ความยาวอก	0.05797	0.53895	-0.12637
CI ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	0.58772	0.2089	-0.71875
CJ ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	-0.57166	-0.2944	0.02523
DK ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3	0.05095	-0.64533	0.27258
DJ ความลึกลำตัวตอนหน้า	-0.31045	-0.49527	-0.03192
DE ความยาวฐานครีบท้อง	0.85250	0.31870	0.27294
HI ความยาวฐานครีบก้น	0.45431	0.36780	0.67493
DH ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1	0.85203	0.29199	0.23088
EI ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2	0.53109	0.34795	0.65797
DI ความลึกลำตัวตอนท้าย	0.61707	-0.0537	-0.48762
EF ความยาวคอดหางด้านบน	-0.13538	0.05014	0.22247
GH ความยาวคอดหางด้านล่าง	0.13472	-0.04584	0.50010
EG ความยาวคอดหางแนวทแยง 1	-0.13354	-0.52906	0.25777
FH ความยาวคอดหางแนวทแยง 2	0.14007	-0.21835	-0.03381
EH ความลึกคอดหางตอนหน้า	0.07497	-0.48797	-0.25851
FG ความลึกคอดหางตอนหลัง	0.04278	-0.22634	-0.04058
ค่าไอเกน (Eigenvalue)	5.569358	4.424951	3.469781
ค่าร้อยละความแปรปรวนโดยรวม	21.42	17.02	11.58



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 43 ตำแหน่งของตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS) ที่มีความความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (ก) แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (ข) และแกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (ค) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร (เส้นสีแดงแทนความสัมพันธ์เชิงลบ และเส้นสีเขียวแทนความสัมพันธ์เชิงบวกกับแกนองค์ประกอบหลัก)

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของกลุ่มตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลักข้างต้นต่อความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร ได้แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1 – PC3) ดังแสดงในภาพที่ 44 และภาพที่ 45 ซึ่งจากแผนภาพดังกล่าวพบว่า

แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร และแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของกลุ่มประชากร CG-KS จากกลุ่มประชากรอื่น โดยแบ่งตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรก เป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีการกระจายตัวอยู่บนแนวแกนลบของ PC1 ซึ่งประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CG-NK และ กลุ่มประชากร CG-NB กลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีการกระจายตัวอยู่บนแนวแกนบวกของ PC1 ซึ่งประกอบด้วยสมาชิกจากกลุ่มประชากร CG-KS และตัวอย่างบางส่วนจากกลุ่มประชากร CG-NK

แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาระหว่างกลุ่มประชากร CG-NK กับกลุ่มประชากร CG-NB โดยตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CG-NK มีการกระจายตัวอยู่บนแนวแกนลบของ PC2 แต่ตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CG-NB มีการกระจายตัวอยู่บนแนวแกนบวกของ PC2 ในขณะที่ตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CG-KS กระจายตัวอยู่ทั้งบนแนวแกนลบและแนวแกนบวกของ PC2

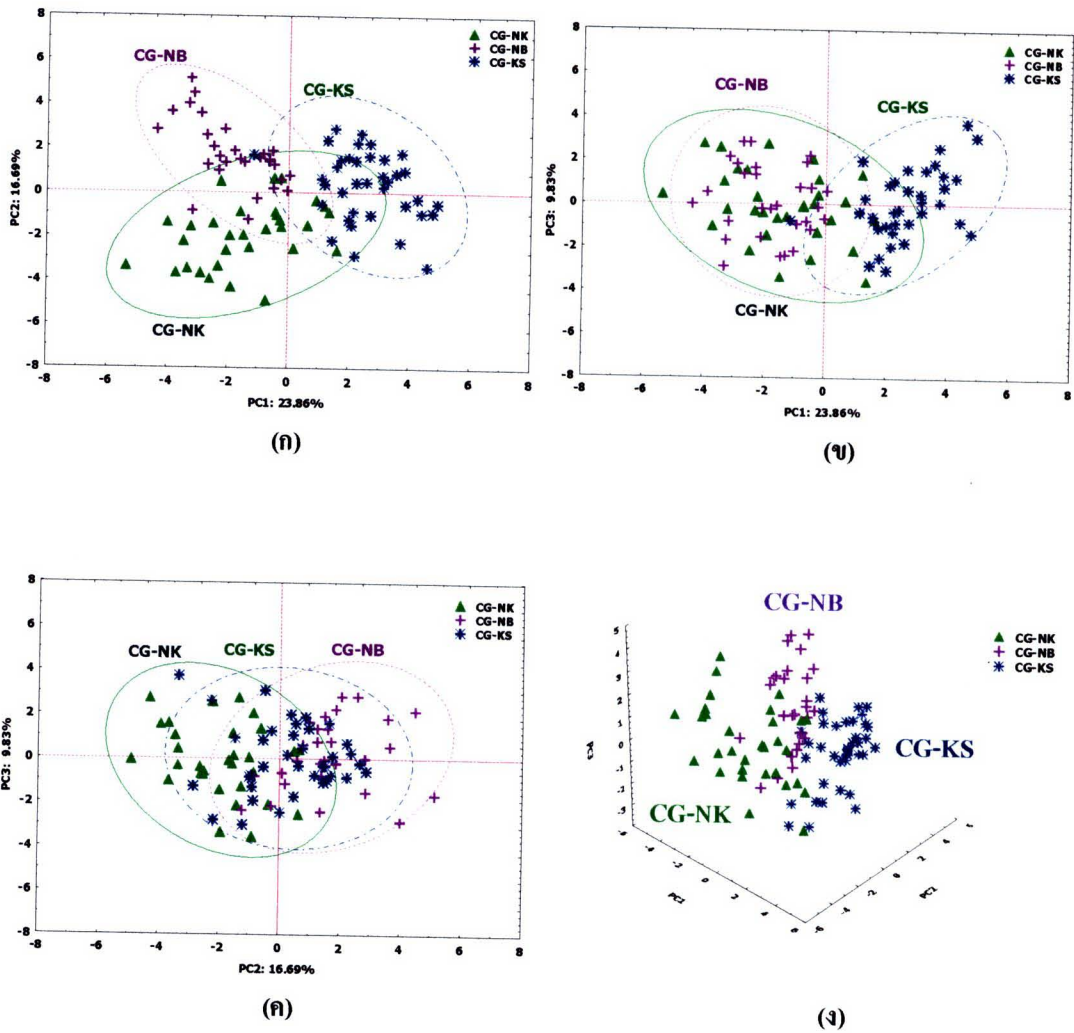
แกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของตัวอย่างที่ซ้อนทับกันจนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ โดยมีการกระจายตัวทั้งบนแนวแกนลบและแนวแกนบวกของ PC3 และตัวอย่างจากทั้งสามกลุ่มประชากรมีช่วงความกว้างของการกระจายตัวใกล้เคียงกัน บ่งชี้ว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแปรผันของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เป็นผลเนื่องมาจากกลุ่มตัวแปร TNS ใน PC3 คล้ายคลึงกัน

จากข้อมูลนำหนักปัจจัยของตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 8 และภาพที่ 43) และแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างในสามแนวแกนองค์ประกอบหลักแรก (ภาพที่ 44 และภาพที่ 45) พบว่าความแปรผันในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากรเป็นความแปรผันทั้งในส่วนหัว ส่วนลำตัว และส่วนหาง แต่ความแปรผันของส่วนหัวและส่วนลำตัวทำให้เกิดความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาระหว่างแต่ละกลุ่มประชากร สามารถสรุปลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* แต่ละกลุ่มประชากรได้ ดังนี้

กลุ่มประชากร CG-NK มีหัวขนาดใหญ่ แต่เมื่อเทียบเชิงสัมพัทธ์พบว่า มีขนาดเล็กกว่ากลุ่มประชากร CG-NB แต่มีหน้าผากและมีขากรรไกรล่างยาวกว่า ลำตัวยาวและลึก ครีบหลังและครีบท้องสั้นกว่า

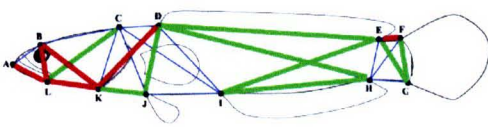
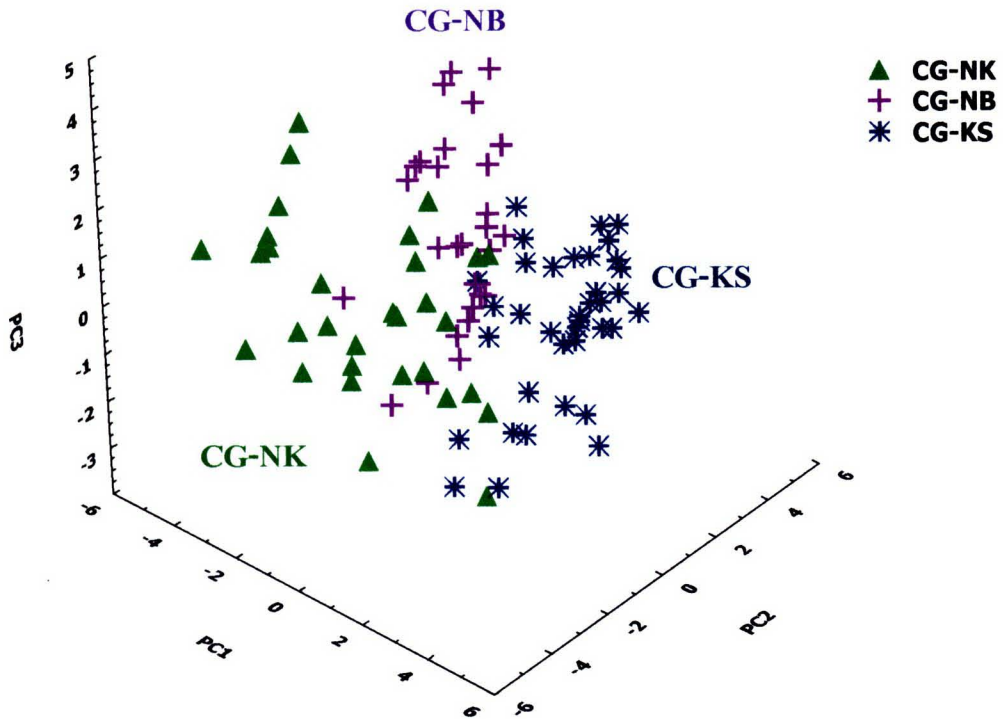
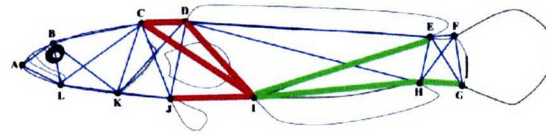
กลุ่มประชากร CG-NB มีหัวขนาดใหญ่ มีความยาวและความลึกของหัวมาก หน้าผากและขากรรไกรล่างยาว ลำตัวยาวและลึกมาก ครีบหลังและครีบท้องสั้น

กลุ่มประชากร CG-KS มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างจากกลุ่มประชากร CG-NK และกลุ่มประชากร CG-NB ก่อนข้างเด่นชัด คือ มีส่วนหัวเรียว หน้าผากสั้น ขากรรไกรล่างสั้น ลำตัวเรียวยาว มีส่วนอกยาว มีความลึกลำตัวน้อย มีครีบหลังและครีบท้องยาว

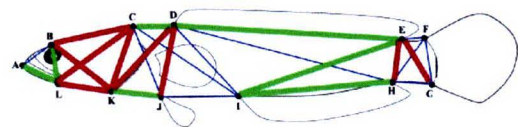


ภาพที่ 44 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาข้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร บนแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1- PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยใช้ตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS) แสดงการกระจายตัวบนคู่แนวแกน PC1 – PC2 (ก) PC1 – PC3 (ข) PC2 – PC3 (ค) และภาพรวมบนทั้งสามแนวแกน (ง)

(ก)



(ก)

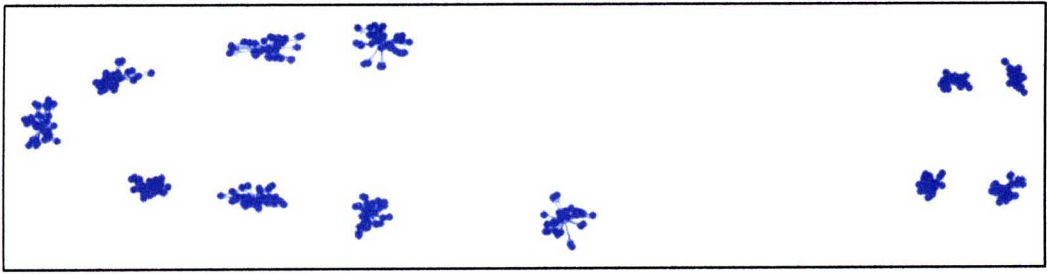


(ข)

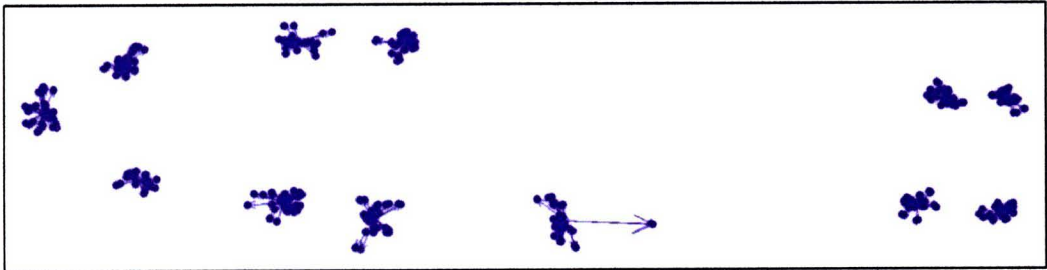
ภาพที่ 45 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร บนสามแนวแกนองค์ประกอบหลักแรก (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยใช้ข้อมูลตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ด (TNS) ภาพแทรกแสดงตำแหน่งของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์สูงกับ PC1 – PC3 (ก – ค) ตามลำดับ

3.2 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทไพล์น (TPS)

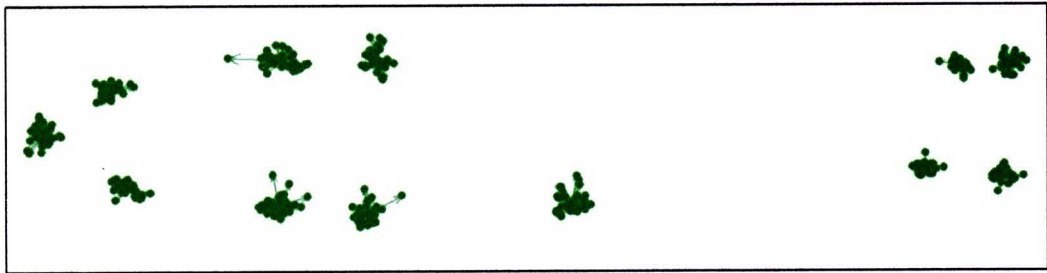
ภาพรวมของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากรจากการซ้อนทับตัวอย่างด้วยวิธี GLS ดังแสดงในภาพที่ 46 พบว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีส่วนหัวสั้นป้อม แต่มีขนาดใหญ่เพื่อเทียบเชิงสัมพันธ์กับขนาดร่างกาย หน้าผากสั้นและชัน ขากรรไกรล่างมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบเชิงสัมพันธ์กับส่วนหัว ลำตัวส่วนหน้าที่ไม่มีการปิดคลุมสั้น แต่มีส่วนท้องยาวและมีครีบกันสั้นเมื่อเทียบเชิงสัมพันธ์กับขนาดร่างกาย ทั้งนี้พบความแปรปรวนของตำแหน่งของจุดกำหนดทุกจุด (ภาพที่ 46ก – 46ค) และเมื่อเปรียบเทียบทั้งสามกลุ่มประชากรพบว่า ทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง (ภาพที่ 46ง)



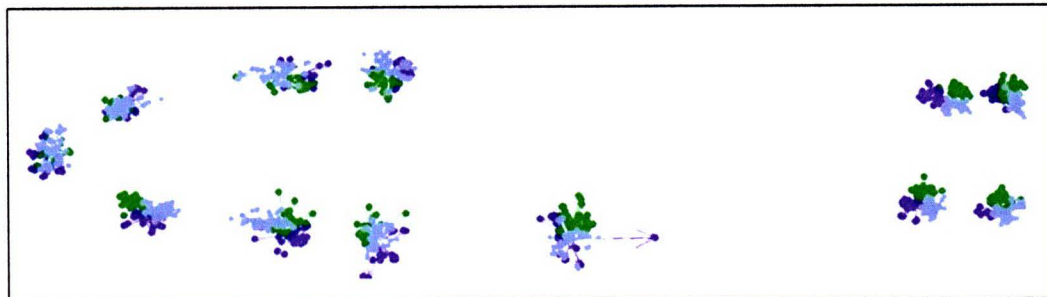
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

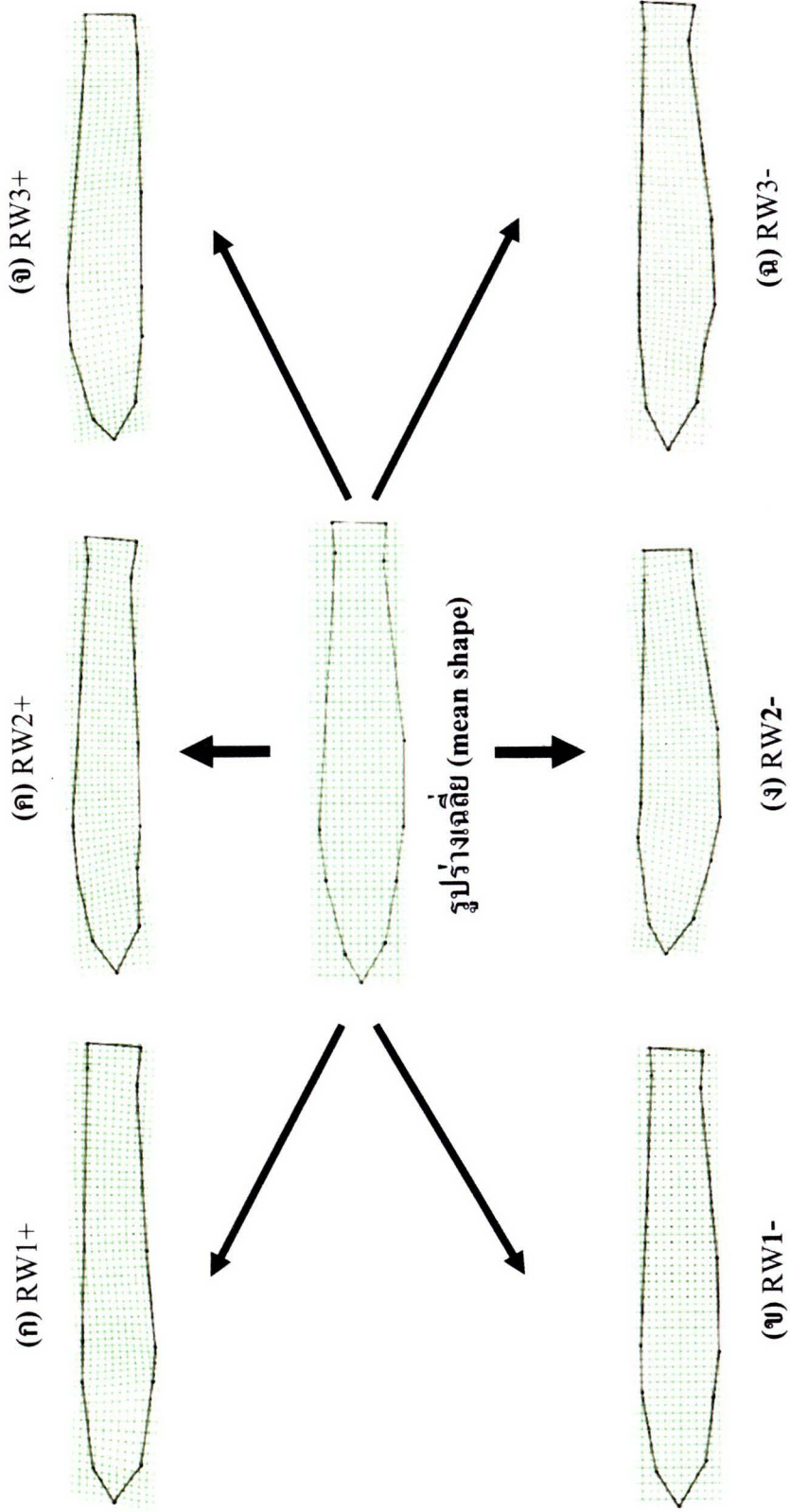
ภาพที่ 46 ผลการซ้อนทับตัวอย่างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (GLS) แสดงความแปรปรวนของตำแหน่งจุดกำหนด ซึ่งแสดงถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร คือ กลุ่มประชากร CG-NK (ก) CG-NB (ข) CG-K (ค) และเปรียบเทียบสามกลุ่มประชากร (ง)

การวิเคราะห์การโค้งตัวสัมพัทธ์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวและปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากร ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 47 ซึ่งพบว่า

แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 1 (RW1) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวและลำตัว โดยในแนวแกนบวกของ RW1 พบว่า ตำแหน่งของ LM3 และ LM11 เลื่อนไปทางด้านหลัง พร้อมทั้งเส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนหน้าบิดโค้งตัวไปทางด้านท้าย และเส้นตารางบริเวณลำตัวตอนหน้าบีบเข้าหากันในแนวหัวท้าย นอกจากนี้ยังพบว่า เส้นตารางบริเวณลำตัวมีการบีบเข้าหากันในแนวบนล่าง ทำให้ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีส่วนหัวเรียวยาว หน้าผากยาวและลาดชันต่ำ ขากรรไกรล่างมีขนาดเล็ก และมีความลึกลำตัวน้อย (ภาพที่ 47ก) ส่วนในแนวแกนลบของ RW1 แสดงให้เห็นถึงความแปรผันที่ตรงข้ามกับแนวแกนบวก คือ เส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนหน้าบิดโค้งตัวไปทางด้านหน้า เส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนท้ายบีบเข้าหากัน ตำแหน่งของ LM4 และ LM10 เลื่อนไปทางด้านท้าย และเส้นตารางบริเวณลำตัวตอนหน้าขยายออกจากกันแนวหัวท้าย นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นตารางบริเวณลำตัวขยายออกจากกันแนวบนล่าง ทำให้ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีส่วนหัวสั้นป้อม หน้าผากสูงชัน ขากรรไกรล่างมีขนาดใหญ่ และมีความลึกลำตัวมาก (ภาพที่ 47ข)

แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 2 (RW2) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันโดยรวมของรูปร่างร่างกายในส่วนหัวและความแตกต่างของความลึกลำตัว โดยในแนวแกนบวกของ RW2 พบการบิดโค้งตัวไปด้านหน้าของเส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนหน้า และการเลื่อนไปทางด้านหน้าเล็กน้อยของตำแหน่ง LM3 และ LM11 ทำให้เส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนท้ายบีบเข้าหากัน แต่เส้นตารางบริเวณลำตัวตอนหน้าขยายออกจากกันแนวหัวท้าย นอกจากนี้ยังพบการบีบเข้าหากันในแนวบนล่างของเส้นตารางบริเวณลำตัว และการโค้งขึ้นด้านบนของเส้นตารางบริเวณท้อง ทำให้ตัวอย่างมีส่วนหัวสั้นป้อม แต่มีหน้าผากสูงชัน ขากรรไกรล่างมีขนาดใหญ่ และมีความลึกลำตัวน้อย (ภาพที่ 47ค) ส่วนในแนวแกนลบของ RW2 พบการบิดโค้งไปด้านท้ายของเส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนหน้า และการเลื่อนตำแหน่งไปด้านท้ายของ LM3 และ LM11 ทำให้เส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนท้ายและลำตัวตอนหน้าขยายออกและบีบเข้าหากันแนวหัวท้าย ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบการขยายออกจากกันของเส้นตารางบริเวณลำตัว และการโค้งลงไปด้านท้องของเส้นตาราง ทำให้ตัวอย่างมีส่วนหัวยาว แต่หน้าผากสั้นและลาดชัน ขากรรไกรล่างมีขนาดใหญ่ ลำตัวมีความลึกมาก และมีส่วนท้องที่ป่องนูนเด่นชัด (ภาพที่ 47ง)

แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 3 (RW3) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันที่เด่นชัดของส่วนหัว โดยในแนวแกนบวกของ RW3 พบว่า LM2 เลื่อนตำแหน่งมาทางด้านหน้า และเส้นตารางบริเวณส่วนหัวตอนหน้าบีบเข้าหากันในแนวหัวท้าย ขณะเดียวกันก็มีการขยายออกในแนวบนล่างของเส้นตารางบริเวณส่วนหัวและลำตัวตอนหน้า เส้นตารางบริเวณส่วนท้องโค้งตัวขึ้นด้านบน ทำให้ตัวอย่างมีส่วนหัวตอนหน้าสั้น หน้าผากสั้นและลาดชันสูง หัวและลำตัวตอนหน้ามีความลึกมาก แต่ลำตัวตอนหน้ามีความยาวมาก (ภาพที่ 47จ) ส่วนในแนวแกนลบของ RW3 พบว่า ตำแหน่งของจุดกำหนดในส่วนของหัว (LM2, LM3, LM11 และ LM12) เลื่อนไปทางด้านท้าย และตำแหน่ง LM10 เลื่อนลงไปทางด้านท้อง พร้อมทั้งมีการโค้งตัวลงไปด้านล่างของเส้นตารางบริเวณส่วนท้อง ทำให้ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีส่วนหัวเรียวยาว หน้าผากลาดชันต่ำ ลำตัวตอนหน้าสั้น และมีส่วนท้องป่องนูนชัดเจน (ภาพที่ 47)



ภาพที่ 47 รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation grid) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลดทสไปสัน (TPS) แถวบน-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนบวก (positive deviation) แถวล่าง-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนลบ (negative deviation) ของแต่ละแกนการโก่งตัวสัมพัทธ์ (RW) ในแนวคอลัมน์แสดงการแปรผันใน RW1 (ก - ข) RW2 (ค - ง) และ RW3 (จ - ฉ) ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาทั้ง *C. gachua* แต่ละตัว โดยแสดงผลในรูปของแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ (ภาพที่ 48 และภาพที่ 49) พบว่า

แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 1 (RW1) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาระหว่างตัวอย่างปลาทั้ง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากรที่แตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัด แต่มีรูปแบบที่จำเพาะในแต่ละกลุ่ม โดยกลุ่มประชากร CG-NK และกลุ่มประชากร CG-KS มีการกระจายตัวอยู่บนแนวแกนลบและแนวแกนบวกของ RW1 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มประชากร CG-NB กระจายตัวอยู่กึ่งกลางระหว่างสองกลุ่มประชากรข้างต้น โดยกระจายตัวอยู่ทั้งบนแนวแกนลบและแนวแกนบวก แต่ตัวอย่างส่วนมากมีการกระจายตัวอยู่บริเวณตำแหน่งจุดกำเนิด (จุดพิกัดศูนย์)

แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 2 (RW2) ไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากร โดยพบว่าตัวอย่างทั้งสามกลุ่มมีการกระจายตัวอยู่ทั้งบนแนวแกนลบและแนวแกนบวกของ RW2 แต่มีค่าการกระจายไม่ห่างจากจุดกำเนิดมาก ยกเว้นตัวอย่างบางส่วนของกลุ่มประชากร CG-NB ที่กระจายตัวอยู่บนแนวแกนลบที่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างชัดเจน

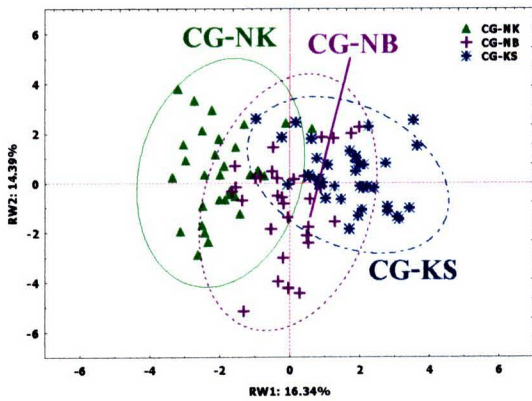
แกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 3 (RW3) แสดงให้เห็นถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายกับ RW2 คือ ทั้งสามกลุ่มประชากรมีรูปแบบความแปรผันใน RW3 ที่คล้ายคลึงกัน โดยมีการกระจายตัวอยู่ทั้งบนแนวแกนลบและแนวแกนบวก และมีค่าการกระจายไม่ห่างจากจุดกำเนิด แต่มีตัวอย่างจำนวนสองตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CG-NB ที่กระจายตัวอยู่บนแนวแกนบวกที่มีค่าสูงแยกออกจากตัวอย่างอื่น ๆ อย่างเด่นชัด

จากข้อมูลรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในแต่ละแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่แสดงในรูปของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ภาพที่ 47) และการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ (ภาพที่ 48 และภาพที่ 49) พบว่า ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่เด่นชัดในระดับภายในชนิดปลากุ้ง *C. gachua* คือ ความแปรผันของส่วนหัวและส่วนลำตัว โดยส่วนหัวพบความแปรผันที่เกี่ยวข้องกับลักษณะส่วนหัวตอนหน้า โดยเฉพาะความแปรผันของความยาวขากรรไกรล่าง และความแปรผันที่เกี่ยวข้องกับความยาวและความลึกของส่วนหัวตอนท้าย ในส่วนลำตัวพบว่าความแปรผันที่เด่นชัด คือ ความแปรผันของลักษณะความลึกลำตัว สามารถสรุปลักษณะและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของแต่ละกลุ่มประชากรได้ ดังนี้

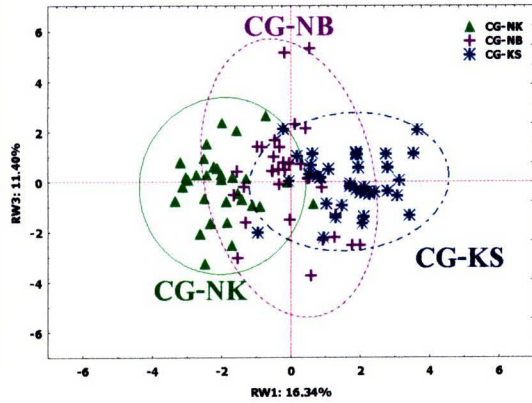
กลุ่มประชากร CG-NK ตัวอย่างส่วนใหญ่มีส่วนหัวสั้นป้อม หน้าผากสูงชัน ขากรรไกรล่างมีขนาดใหญ่ มีความลึกลำตัวมาก และพบว่ามีความแปรผันของความยาวหน้าผาก ความยาวของหัว ความยาวลำตัวตอนหน้า ความลึกลำตัว และการป้องกันของส่วนท้อง

กลุ่มประชากร CG-NB มีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาค่อนข้างมาก โดยมีความแปรผันทั้งในส่วนของหน้าผาก ความยาวของหัว ความยาวลำตัวตอนหน้า และความลึกลำตัว และโดยทั่วไปมีลักษณะกึ่งกลางระหว่างตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CG-NK และ CG-KS

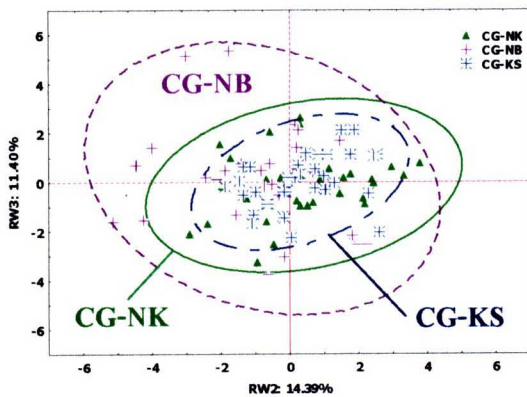
กลุ่มประชากร CG-KS โดยทั่วไปมีส่วนหัวเรียวยาว หน้าผากยาวและลาดชันต่ำ ขากรรไกรล่างมีขนาดเล็ก และมีความลึกลำตัวน้อย แต่ทั้งนี้พบว่ามีความแปรผันของลักษณะส่วนหัวและความลึกลำตัวระหว่างตัวอย่างภายในกลุ่มประชากร



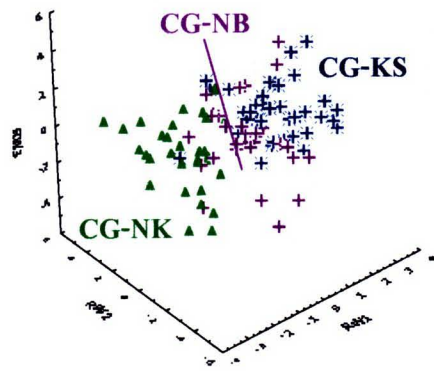
(ก)



(ข)



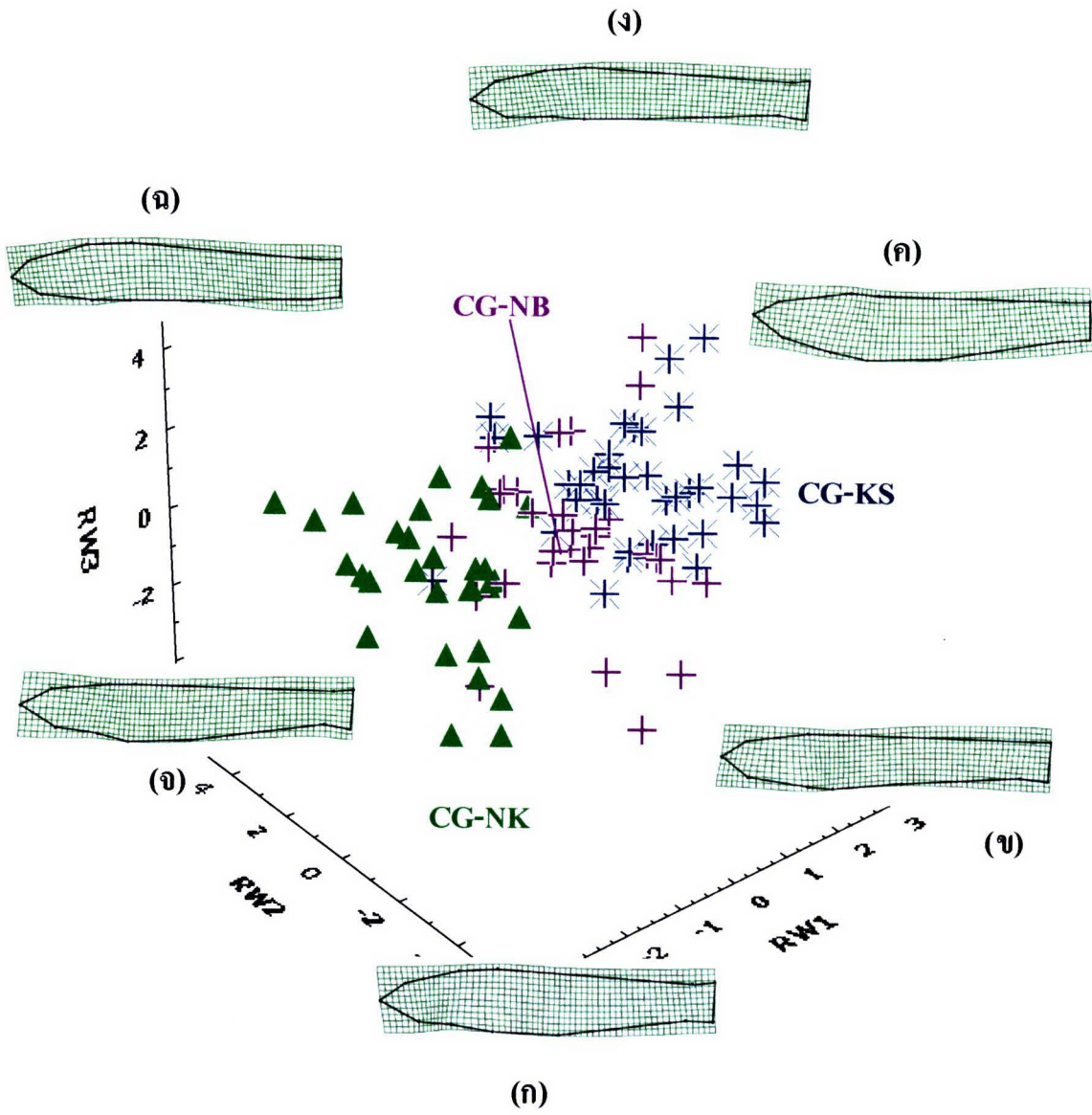
(ค)



(ง)

ภาพที่ 48

แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* แต่ละตัว บนแนวแกนการโก่งตัวสัมพัทธ์ ที่ 1 – 3 (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์หินเฟลทสไปล์ (TPS) แสดงการกระจายตัวบนคู่แนวแกน RW1 – RW2 (ก) RW1 – RW3 (ข) RW2 – RW3 (ค) และภาพรวมบนทั้งสามแนวแกน (ง)



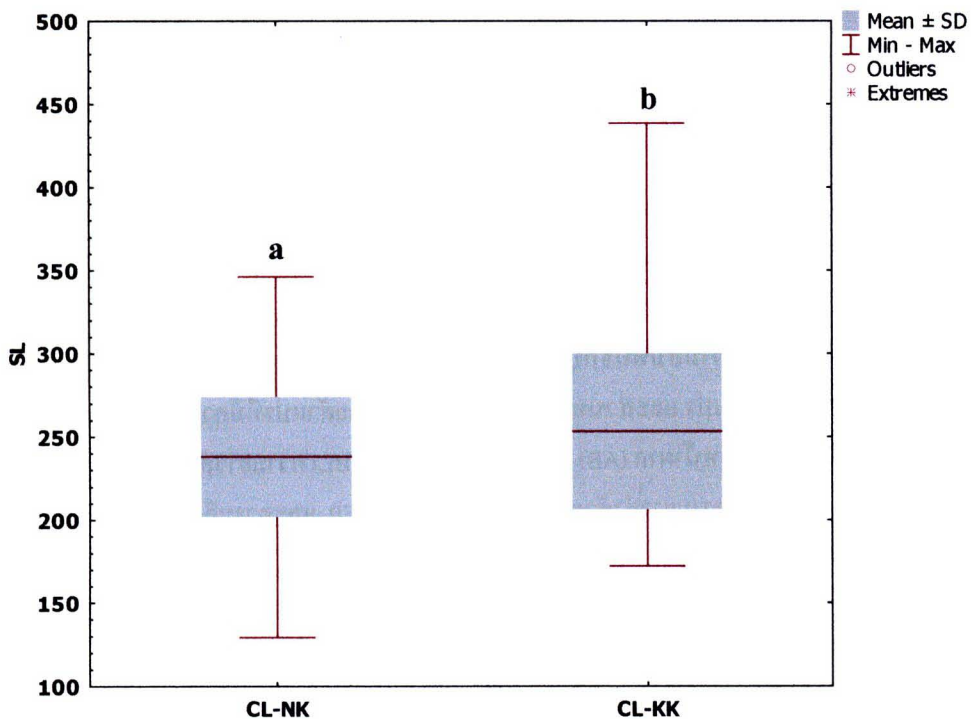
ภาพที่ 49 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* แต่ละตัว บนสามแนวแกนแรกของแกนการโก่งตัวสัมพันธ์ (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์หินเฟลทสไปล์ (TPS) ภาพแทรกแสดงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในแกนลบ (ก, ค, จ) และแกนบวก (ข, ง, ฉ) ของ RW1 – RW3 ตามลำดับ

4. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความแปรผันทางสัณฐานวิทยาระดับภายในชนิดปลากะพง *C. lucius*

4.1 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุโดยใช้เทคนิคระบบเครือข่ายโครงยึด (TNS)

กลุ่มประชากร CL-NK มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 238.06 ± 35.70 มิลลิเมตร (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 129.12 – 346.06 มิลลิเมตร) และกลุ่มประชากร CL-KK มีความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 253.20 ± 46.39 (พิสัยข้อมูลอยู่ระหว่าง 172.17 – 438.50 มิลลิเมตร) เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของค่าความยาวมาตรฐานเฉลี่ยระหว่างทั้งสองกลุ่มประชากรด้วยวิธี 2-independent samples T test พบว่า ตัวอย่างทั้งสองกลุ่มประชากรมีความยาวมาตรฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t -value = -2.408938, p = 0.017074) ดังแผนภูมิที่แสดงในภาพที่ 50 (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข8)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเชิงพหุเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางมอร์โฟเมตริกส์ของตัวอย่างปลากะพง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร โดยให้ค่าความยาวมาตรฐานเป็นตัวแปรร่วม พบว่า ตัวอย่างทั้งสองกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันทางมอร์โฟเมตริกส์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Pili's trace = 1.562, F = 10.276, p = 0.0000) (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข9)



ภาพที่ 50 แผนภูมิเปรียบเทียบความยาวมาตรฐานเฉลี่ยของตัวอย่างปลากะพง *C. lucius* แต่ละกลุ่มประชากร ตัวอักษรด้านบนแผนภูมิที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปร TNS ในแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 – 3 (PC1 – PC3) ซึ่งอธิบายถึงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลากะพง *C. lucius* มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 9 และตำแหน่งของตัวแปรดังกล่าวในแต่ละแกนองค์ประกอบหลักดังแสดงในภาพที่ 51 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวพบว่า

แกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 20.80 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC1 จำนวน 16 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวจำนวน 6 ตัวแปร ส่วนลำตัวจำนวน 9 ตัวแปร และส่วนหางจำนวน 1 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC1 มีจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหน้าผาก (AB) ความยาวขากรรไกรล่าง (AL) ความลึกหัวตอนหน้า (BL) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2 (CJ) และความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC1 มีจำนวน 11 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวด้านบน (BC) ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความลึกหัว-คานท้าย (CK) ความยาวอก (JK) ความลึกลำตัวตอนหน้า (DJ) ความยาวฐานครีบหลัง (DE) ความยาวฐานครีบกัน (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1 (DH) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI) ความลึกลำตัวตอนท้าย (DI) และความยาวคอคอดหางด้านบน (EF)

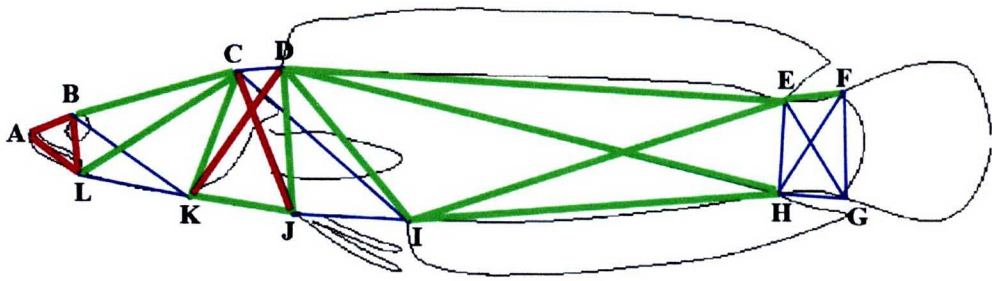
แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (PC2) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 17.48 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC2 จำนวน 10 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวจำนวน 6 ตัวแปร และจากส่วนลำตัวจำนวน 4 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC2 มีจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหลัง (CD) ความยาวอก (JK) และความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1 (CI) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC2 มีจำนวน 7 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวขากรรไกรล่าง (AL) ความยาวหัวด้านบน (BC) ความยาวหัวด้านล่าง (KL) ความยาวหัวแนวทแยง 1 (BK) ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความลึกหัวคานท้าย (CK) และความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3 (DK)

แกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) อธิบายความแปรปรวนโดยรวมของตัวอย่างได้ร้อยละ 11.82 ประกอบด้วยตัวแปร TNS ที่มีความสัมพันธ์กับ PC3 จำนวน 12 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรจากส่วนหัวจำนวน 4 ตัวแปร ส่วนลำตัวจำนวน 4 ตัวแปร และส่วนหางจำนวน 2 ตัวแปร โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PC3 มีจำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหน้าผาก (AB) ความลึกหัวตอนหน้า (BL) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2 (CJ) ความยาวฐานครีบกัน (HI) ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2 (EI) และความลึกคอคอดหางตอนหน้า (EH) ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PC3 มีจำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ ความยาวหัวแนวทแยง 1 (BK) ความยาวหัวแนวทแยง 2 (CL) ความยาวท้อง (IJ) ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1 (CI) ความลึกลำตัวตอนท้าย (DI) และความยาวคอคอดหางด้านล่าง (GH)

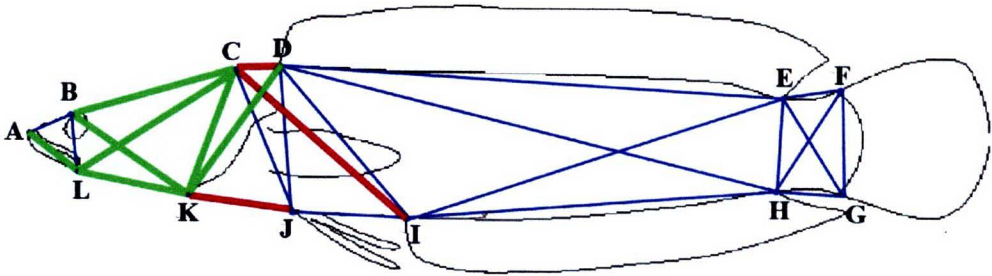


ตารางที่ 9 น้ำหนักปัจจัยของตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS) ในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร (อักษรตัวหนาแสดงค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลัก และเครื่องหมายแสดงทิศทางการความสัมพันธ์กับแนวแกน) พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) และร้อยละความแปรปรวนโดยรวมของแต่ละแนวแกน

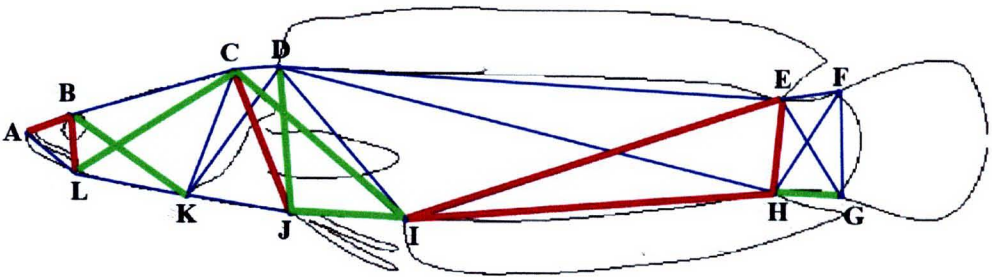
ตัวแปรมอร์โฟเมทริกส์		น้ำหนักปัจจัย (factor loadings)		
		PC1	PC2	PC3
AB	ความยาวหน้าผาก	-0.550155	0.128053	-0.652841
AL	ความยาวขากรรไกรล่าง	-0.462616	0.528236	-0.232180
BL	ความลึกหัวตอนหน้า	-0.455677	0.211084	-0.623803
BC	ความยาวหัวด้านบน	0.489601	0.708562	0.195772
KL	ความยาวหัวด้านล่าง	-0.296695	0.640290	0.146657
BK	ความยาวหัวแนวทแยง 1	-0.114712	0.782973	0.387218
CL	ความยาวหัวแนวทแยง 2	0.526597	0.331746	0.506123
CK	ความลึกหัวด้านท้าย	0.405709	0.635029	-0.083978
CD	ความยาวหลัง	-0.293267	-0.777017	0.090449
IJ	ความยาวท้อง	-0.047734	-0.002468	0.433800
JK	ความยาวอก	0.589400	-0.549749	0.009803
CI	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	-0.058563	-0.677772	0.390856
CJ	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	-0.374629	-0.183409	-0.356593
DK	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3	-0.464422	0.795114	-0.001705
DJ	ความลึกลำตัวตอนหน้า	0.468665	0.085522	-0.228099
DE	ความยาวฐานครีบท้อง	0.842855	0.106567	-0.098886
HI	ความยาวฐานครีบก้น	0.731555	-0.017204	-0.526988
DH	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 1	0.872452	0.068005	-0.174006
EI	ความยาวลำตัวตอนท้ายแนวทแยง 2	0.723251	0.031352	-0.518316
DI	ความลึกลำตัวตอนท้าย	0.430486	0.095742	0.327421
EF	ความยาวคอดหางด้านบน	0.357243	0.132944	-0.087470
GH	ความยาวคอดหางด้านล่าง	-0.093483	0.022553	0.541562
EG	ความยาวคอดหางแนวทแยง 1	0.112476	-0.076721	0.233924
FH	ความยาวคอดหางแนวทแยง 2	-0.035998	0.250421	0.123998
EH	ความลึกคอดหางตอนหน้า	0.107729	0.081799	-0.372477
FG	ความลึกคอดหางตอนหลัง	0.100588	-0.085980	0.004199
ค่าไอเกน (Eigenvalue)		5.409105	4.544192	3.074064
ค่าร้อยละความแปรปรวนโดยรวม		20.80	17.48	11.82



(ก)



(ข)



(ค)

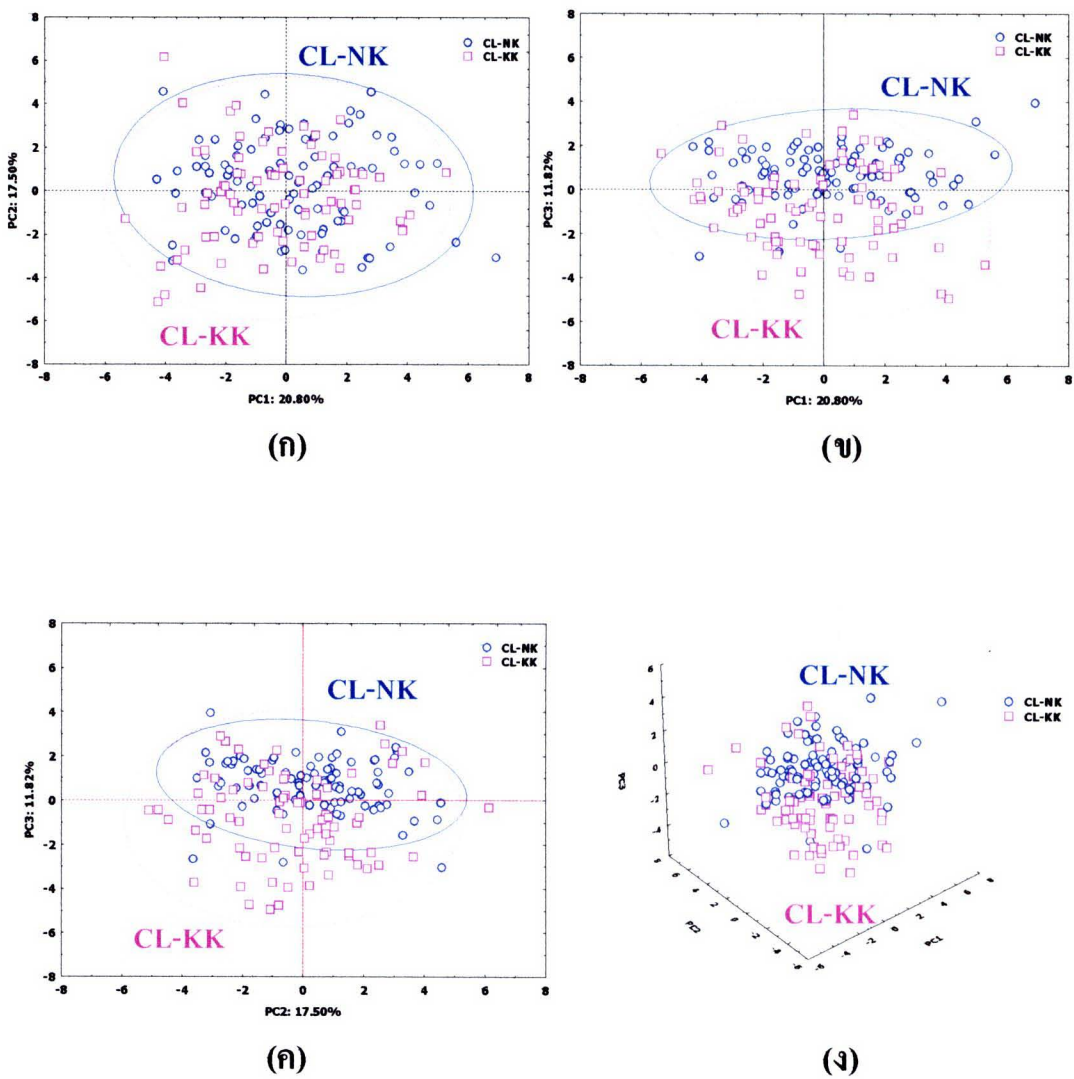
ภาพที่ 51 ตำแหน่งของตัวแปรเครือข่ายโครงยึด (TNS) ที่มีความสัมพันธ์สูงกับแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 (ก) แกนองค์ประกอบหลักที่ 2 (ข) และแกนองค์ประกอบหลักที่ 3 (ค) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร (เส้นสีแดงแทนความสัมพันธ์เชิงลบ และเส้นสีเขียวแทนความสัมพันธ์เชิงบวกกับแกนองค์ประกอบหลัก)

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยของกลุ่มตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลักข้างต้นต่อความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในระดับภายในชนิดของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร ได้แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างในแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 -3 (PC1 – PC3) ดังแสดงในภาพที่ 52 และภาพที่ 53 ซึ่งจากแผนภาพดังกล่าว พบว่า ตัวอย่างจากทั้งสองกลุ่มประชากรมีการกระจายตัวซ้อนทับกันบนแนวแกนองค์ประกอบหลัก บ่งชี้ถึงการมีความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายกัน แต่พบว่ากลุ่มประชากร CL-NK มีช่วงการกระจายตัวบนแนว PC2 และ PC3 น้อยกว่ากลุ่มประชากร CL-KK บ่งชี้ว่ากลุ่มประชากร CL-NK มีความแปรผันของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับ PC2 และ PC3 ที่น้อยกว่ากลุ่มประชากร CL-KK

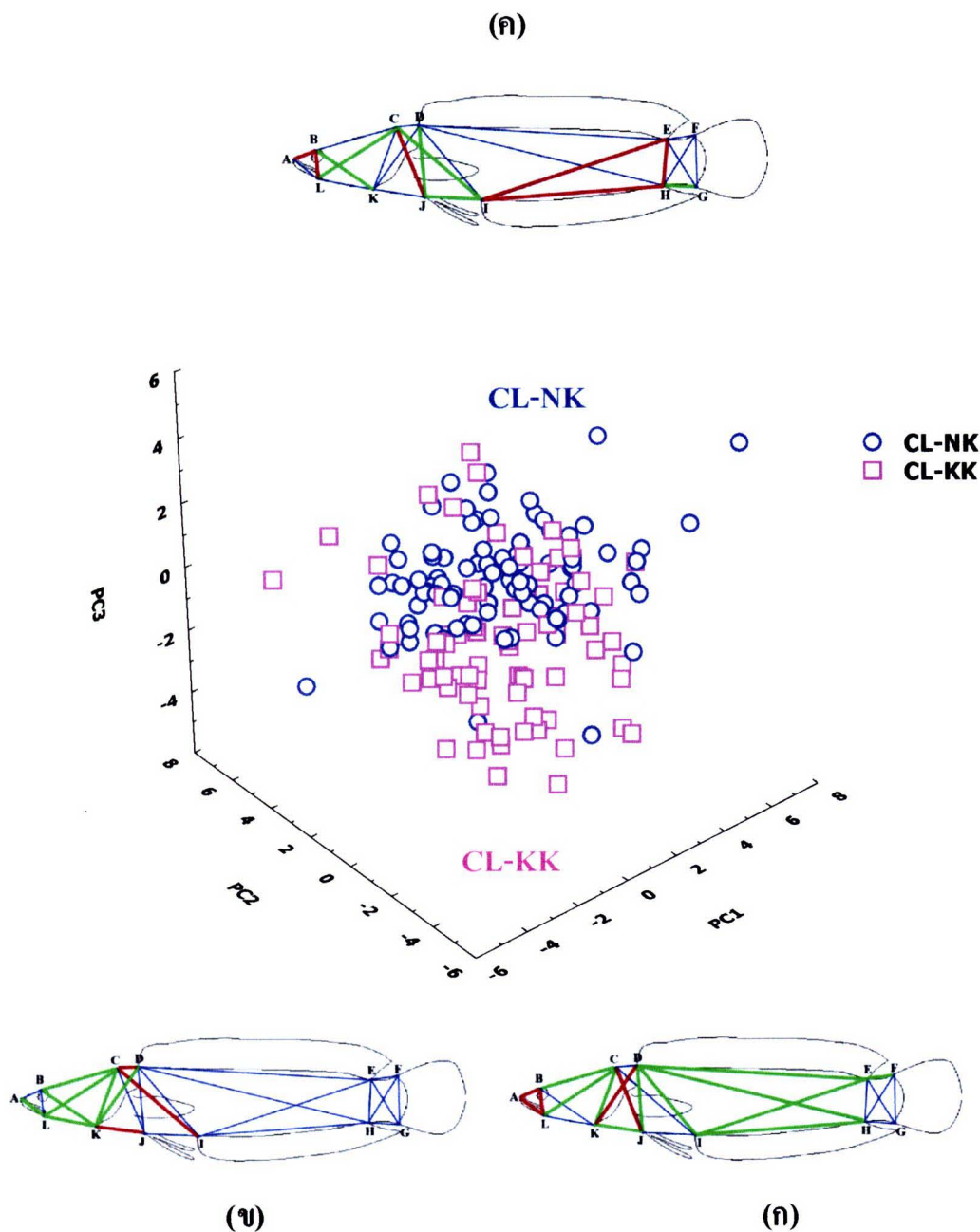
จากข้อมูลน้ำหนักปัจจัยของตัวแปร TNS ในแต่ละแกนองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 9) และแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างในสามแนวแกนองค์ประกอบหลักแรก (ภาพที่ 52 และภาพที่ 53) พบว่า ตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากรมีความแปรผันของลักษณะสัณฐานวิทยาส่วนหัวและส่วนลำตัว รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่เกิดขึ้นสรุปได้ ดังนี้

ลักษณะของส่วนหัว สามารถแบ่งรูปแบบความแปรผันของส่วนหัวออกเป็น 2 กลุ่มลักษณะ ได้แก่ ความแปรผันของลักษณะส่วนหัวตอนหน้า (ความยาวหน้าผาก ความยาวขากรรไกรล่าง และความลึกหัวตอนหน้า) และความแปรผันของลักษณะส่วนหัวตอนท้าย (ความยาวและความลึกของหัวตอนท้าย) ซึ่งมีรูปแบบความแปรผันที่มีทิศทางตรงข้ามกัน

ลักษณะของส่วนลำตัว มีรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียว ทั้งความแปรผันที่เกี่ยวข้องกับความยาวและความลึกของลำตัวตอนหน้าและลำตัวตอนท้าย



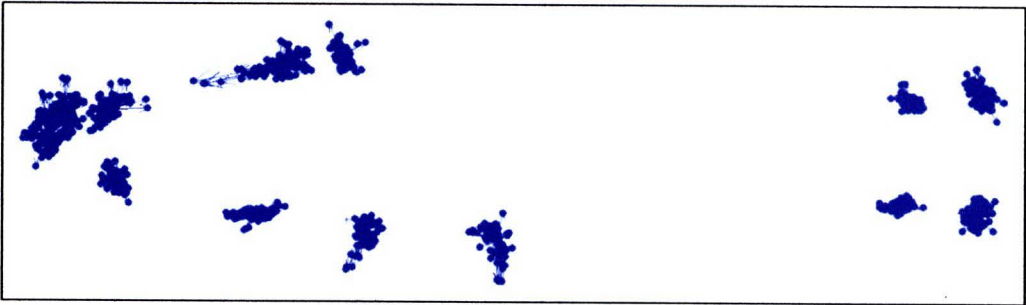
ภาพที่ 52 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร บนแนวแกนองค์ประกอบหลักที่ 1 - 3 (PC1- PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยใช้ตัวแปรเครือข่ายโครมียิด (TNS) แสดงการกระจายตัวบนคู่แนวแกน PC1 – PC2 (ก) PC1 – PC3 (ข) PC2 – PC3 (ค) และภาพรวมบนทั้งสามแนวแกน (ง)



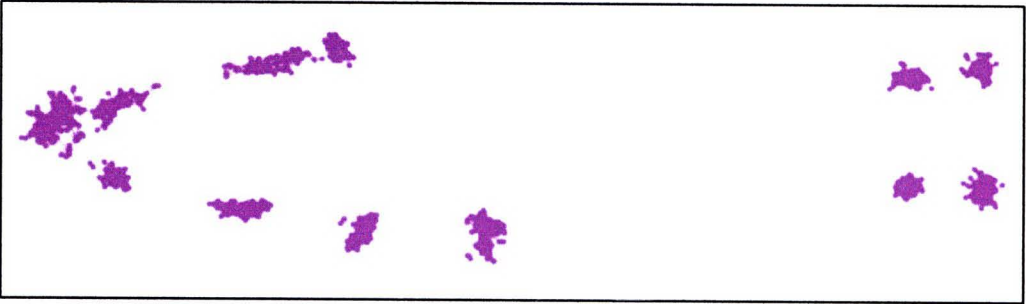
ภาพที่ 53 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลากะพง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร บนสามแกนองค์ประกอบหลักแรก (PC1 – PC3) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยใช้ตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ด (TNS) ภาพแทรกแสดงตัวแปรเครือข่ายโครงขี้ดที่มีความสัมพันธ์สูงกับ PC1 – PC3 (ก – ค) ตามลำดับ

4.2 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงเรขาคณิตโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไลด์ (TPS)

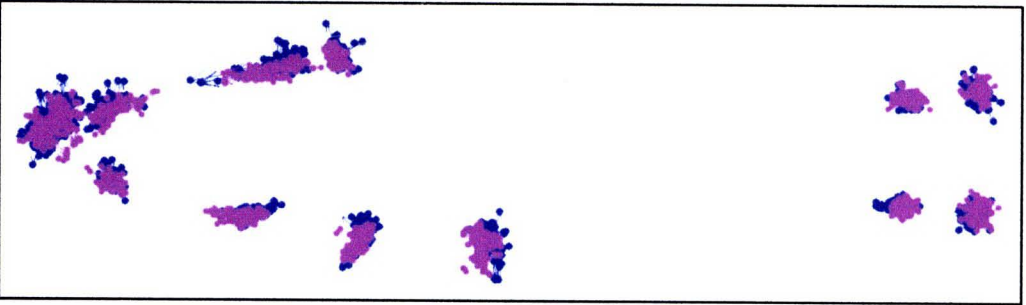
ภาพรวมของความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลากะพง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร คือ กลุ่มประชากรจากจังหวัดบึงกาฬ (CG-NK) และกลุ่มประชากรจากจังหวัดขอนแก่น (CG-KK) จากการซ้อนทับตัวอย่างด้วยวิธี GLS (ดังแสดงในภาพที่ 54) พบว่า โดยทั่วไปมีลักษณะส่วนหัวเรียวแหลม หน้าผากยาวและลาดชันต่ำ ทำให้ดูเหมือนส่วนปากยื่นยาวออกไปเป็นงอย ลำตัวส่วนหน้ามีความยาวน้อย แต่มีความลึกลำตัวมาก ครีบหลังและครีบก้นยาว คอคอดหางมีขนาดใหญ่ มีความแปรปรวนของตำแหน่งจุดกำหนดค่อนข้างน้อย แต่พบความแปรปรวนของ LM1 – LM3 และ LM9 – LM10 (ภาพที่ 54ก และ ภาพที่ 54ข) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประชากรพบว่า ทั้งสองกลุ่มประชากรมีความแปรปรวนของจุดกำหนดที่คล้ายกัน (ภาพที่ 54ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 54 ผลการซ้อนทับตัวอย่างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (GLS) แสดงความแปรปรวนของตำแหน่งจุดกำหนด ซึ่งแสดงถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลากะพง *C. lucius* จากกลุ่มประชากร CL-NK (ก) กลุ่มประชากร CL-KK (ข) และเปรียบเทียบทั้งสองกลุ่มประชากร (ง)

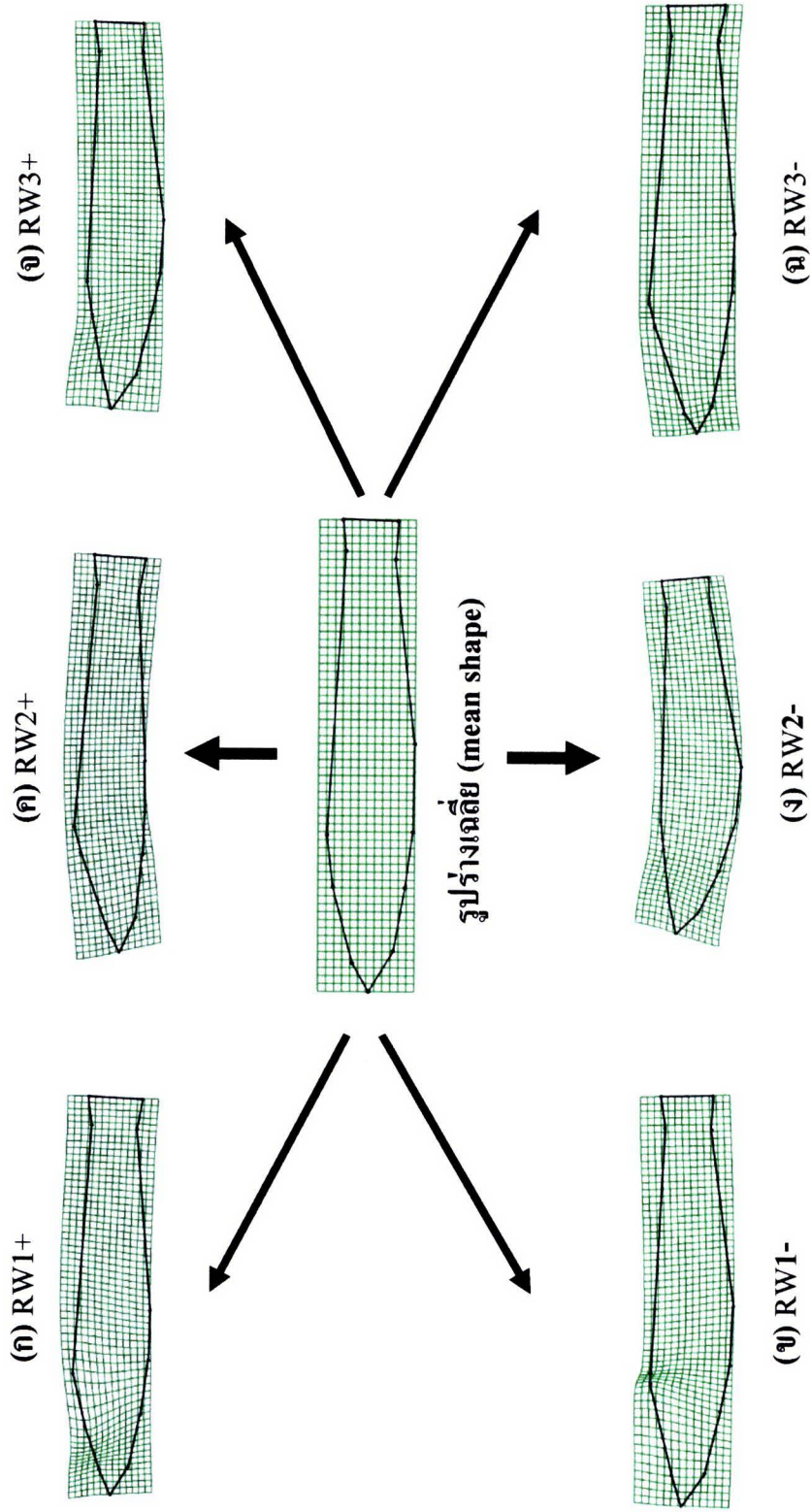
การวิเคราะห์การโค้งตัวสัมพัทธ์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากร ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 55 ซึ่งพบว่า

แผนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 1 (RW1) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันของรูปร่างส่วนหัว โดยในแนวแกนบวกของ RW1 พบการเลื่อนมาด้านหน้าของ LM3 ทำให้เส้นตารางบริเวณส่วนหัวมีการบีบเข้าหากัน แต่เส้นตารางบริเวณลำตัวตอนหน้ามีการขยายออกจากกันในแนวหัวท้าย ตามลำดับ ทำให้ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีส่วนหัวสั้น แต่มีลำตัวตอนหน้ายาว (ภาพที่ 55ก) ส่วนในแนวแกนลบของ RW1 พบว่า ตำแหน่งของ LM3 เลื่อนไปด้านท้าย ทำให้เส้นตารางบริเวณส่วนหัวขยายออกจากกัน แต่เส้นตารางบริเวณลำตัวตอนหน้ามีการบีบเข้าหากันในแนวหัวท้าย ตามลำดับ ตัวอย่างในกลุ่มนี้จึงมีส่วนหัวยาว แต่ลำตัวตอนหน้าสั้น (ภาพที่ 55ข)

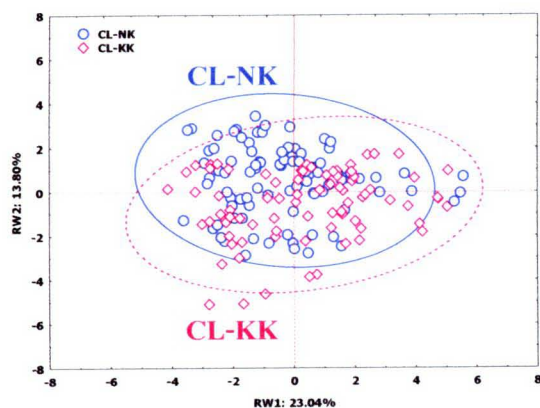
แผนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 2 (RW2) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาเกี่ยวกับความลึกลำตัวและรูปร่างของส่วนท้อง โดยในแนวแกนบวกของ RW2 พบว่า เส้นตารางบริเวณส่วนท้องมีการโค้งตัวขึ้นด้านบน ทำให้ตัวอย่างมีความลึกลำตัวน้อย ส่วนท้องไม่ป่องนูนออกมา (ภาพที่ 55ค) ส่วนในแนวแกนลบของ RW2 พบว่า เส้นตารางบริเวณส่วนท้องโค้งลงด้านล่าง ทำให้ตัวอย่างมีความลึกลำตัวมาก และมีส่วนท้องที่ป่องนูนออกมาอย่างชัดเจน (ภาพที่ 55ง)

แผนการโค้งตัวสัมพัทธ์ที่ 3 (RW3) แสดงให้เห็นถึงความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวและส่วนท้อง โดยในแนวแกนบวกของ RW3 พบว่า ตำแหน่งของ LM2 และ LM12 เลื่อนไปทางด้านท้าย ทำให้ตัวอย่างมีส่วนหน้าผากและขากรรไกรล่างยาว (ภาพที่ 55จ) ส่วนในแนวแกนลบของ RW3 พบว่า ตำแหน่งของ LM2 และ LM12 เลื่อนไปทางด้านหน้า ทำให้ตัวอย่างมีส่วนหน้าผากและขากรรไกรล่างสั้น (ภาพที่ 55ฉ)

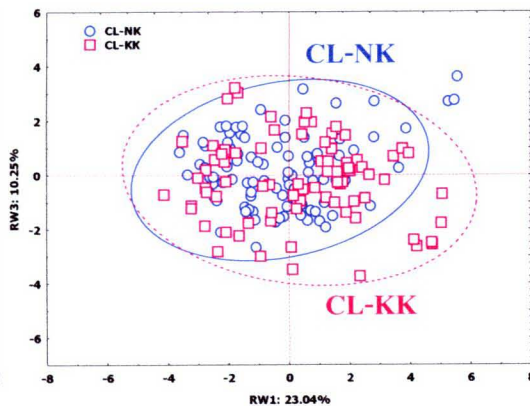
เมื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* แต่ละตัว โดยแสดงผลในรูปแบบของแผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างบนแนวแกนการโค้งตัวสัมพัทธ์ (ภาพที่ 56 และภาพที่ 57) พบว่า ตัวอย่างจากทั้งสองกลุ่มประชากรมีการกระจายตัวซ้อนทับกันทั้งในสามแนวแกน บ่งชี้ถึงการมีรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่ไม่แตกต่างกัน โดยความแปรผันที่เกิดขึ้นเป็นความแปรผันของลักษณะส่วนหัวตอนหน้า โดยเฉพาะลักษณะของหน้าผากและขากรรไกรล่าง และความแปรผันของลักษณะลำตัว โดยเฉพาะความแปรผันเกี่ยวกับความลึกลำตัว



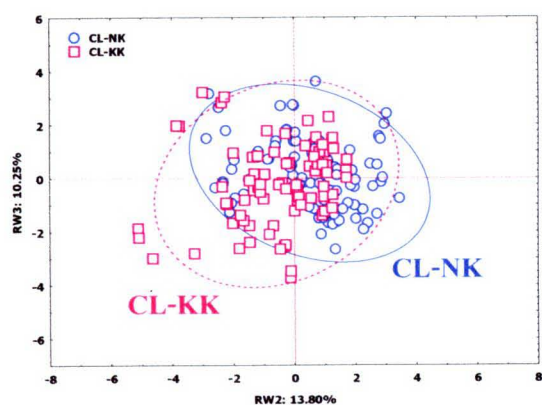
ภาพที่ 55 รูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* ในรูปของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation grid) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หิ้นเพลทสไปด (TPS) แถวบน-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนบวก (positive deviation) แถวล่าง-แสดงรูปแบบการแปรผันในแนวแกนลบ (negative deviation) ของแต่ละแกนการโก่งตัวสัมพันธ์ (RW) โดยในแนวคอลัมน์แสดงการแปรผันใน RW1 (ก - ข) RW2 (ค - ง) และ RW3 (จ - ฉ) ตามลำดับ



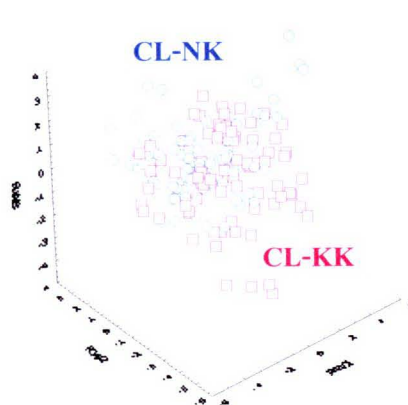
(ก)



(ข)



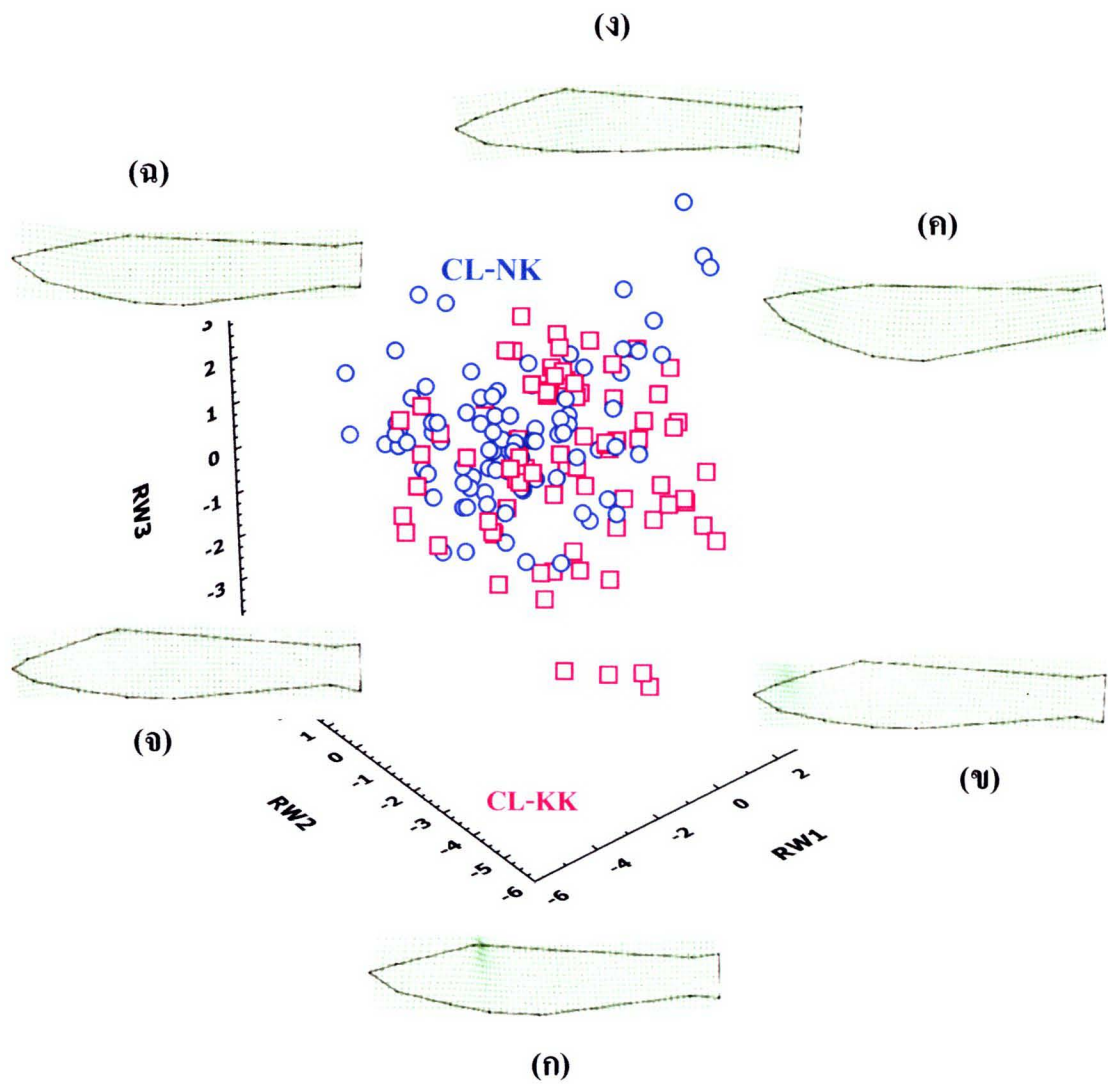
(ค)



(ง)

ภาพที่ 56

แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* แต่ละตัว บนแนวแกนการโก่งตัวสัมพัทธ์ที่ 1 – 3 (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์หินเฟลทสไปล์ (TPS) แสดงการกระจายตัวบนคู่ RW1 – RW2 (ก) RW1 – RW3 (ข) RW2 – RW3 (ค) และภาพรวมบนทั้งสามแนวแกน (ง)



ภาพที่ 57 แผนภาพการกระจายตัวของตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* แต่ละตัว บนสามแนวแกนแรกของแกนการ โค้งตัวสัมพันธ์ (RW1 – RW3) จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไปล์น (TPS) ภาพแทรกแสดงรูปแบบความแปรผันทางสัณฐานวิทยาในแนวแกนลบ (ก, ค, จ) และแนวแกนบวก (ข, ง, ฉ) ของ RW1 - RW3 ตามลำดับ

5. การระบุชนิดและกลุ่มประชากรโดยใช้ข้อมูลมอร์โฟเมตริกส์

5.1 การศึกษาด้วยวิธีการมอร์โฟเมตริกส์เชิงพหุโดยใช้เทคนิคระบบเครือข่ายโครงยึด (TNS)

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาเพื่อจำแนกและระบุชนิดและกลุ่มประชากรโดยใช้ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มทีละขั้น (SDA) โดยใช้ข้อมูลตัวแปร TNS พบว่า

ตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์ในระดับระหว่างชนิด มีจำนวน 18 ตัวแปร เป็นตัวแปรลักษณะของส่วนหัวจำนวน 6 ตัวแปร ลักษณะของส่วนลำตัวจำนวน 8 ตัวแปร และลักษณะของส่วนหางจำนวน 4 ตัวแปร (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 10)

ตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์ในระดับภายในชนิดปลาช่อน *C. striata* มีจำนวน 9 ตัวแปร ป็นตัวแปรลักษณะของส่วนหัวจำนวน 3 ตัวแปร ลักษณะของส่วนลำตัวจำนวน 4 ตัวแปร และลักษณะของส่วนหางจำนวน 2 ตัวแปร (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 11)

ตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์ในระดับภายในชนิดปลาก้าง *C. gachua* มีจำนวน 8 ตัวแปร เป็นตัวแปรของลักษณะของส่วนหัวและส่วนลำตัวบริเวณละ 4 ตัวแปร (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 12)

ตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์ในระดับภายในชนิดปลากระสง *C. lucius* มีจำนวน 11 ตัวแปร เป็นตัวแปรของลักษณะของส่วนหัวจำนวน 4 ตัวแปร ลักษณะของส่วนลำตัวจำนวน 5 ตัวแปร และลักษณะของส่วนหางจำนวน 2 ตัวแปร (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 13)

ตารางที่ 10 ตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS) ที่นำเข้าในกระบวนการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มในระดับระหว่างชนิด แสดงค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (Z) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของแต่ละตัวแปร พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (canonical score) ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' lambda) และค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น (p-level) ของแต่ละฟังก์ชันจำแนก

ตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS)		ฟังก์ชันจำแนก (discriminant function)			
		ฟังก์ชันจำแนกที่ 1 (DF1)		ฟังก์ชันจำแนกที่ 2 (DF2)	
		Z	r	Z	r
AB	ความยาวหน้าผาก	0.8286600	-0.1293100	-0.7260500	-0.1455400
AL	ความยาวขากรรไกรล่าง	-0.0970500	0.0991630	0.3641920	0.1670360
BL	ความลึกหัวตอนหน้า	0.6241920	0.1950470	-0.0613600	0.0364190
BK	ความยาวหัวแนวทแยง 1	1.0667840	0.0658200	-0.8506900	-0.0880600
CL	ความยาวหัวแนวทแยง 2	0.5305600	0.0615210	-0.1568000	0.3287180
CK	ความลึกหัวตอนท้าย	0.0079400	-0.0979400	0.3056890	0.0751160
CD	ความยาวหลัง	1.0392160	0.2640400	0.6518780	0.0690580
IJ	ความยาวท้อง	1.1367440	0.5236130	0.0572720	-0.1798700
JK	ความยาวอก	0.4331060	-0.0200500	0.9483580	0.3507810
DJ	ความลึกลำตัวตอนหน้า	0.0346560	-0.1781700	0.7747270	0.6098390
CI	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	-0.3768200	0.4476710	-0.5153200	0.0458840
DK	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 3	-0.5153400	-0.0589600	1.4468900	-0.0921800
DE	ความยาวฐานครีบทิ้ง	0.4775240	-0.0349000	0.0635160	-0.2010800
HI	ความยาวฐานครีบทิ้ง	-0.0409300	-0.3524100	-0.3615600	-0.1295100
EF	ความยาวคอดหางด้านบน	-0.4287500	-0.3652400	-0.1111600	-0.2282400
GH	ความยาวคอดหางด้านล่าง	0.3736110	-0.0199480	-0.0963900	-0.1258800
EH	ความลึกคอดหางตอนหน้า	-0.1237800	-0.2351900	-0.2668500	-0.0848300
FG	ความลึกคอดหางตอนหลัง	0.0540220	-0.2666500	-0.0819400	-0.1510700
ค่าไอเกน (Eigenvalue)		26.387947		1.814866	
ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (Canonical correlation)		0.981574		0.802959	
ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' lambda)		0.002713		0.074292	
ค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น (p-level)		0.000000		0.000000	

ตารางที่ 11 ตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS) ที่นำเข้าในกระบวนการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มในระดับภายในชนิดปลาช่อน *C. striata* แสดงค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (Z) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของแต่ละตัวแปร พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (canonical score) ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' lambda) และค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น (p-level) ของแต่ละฟังก์ชันจำแนก

ตัวแปรเครือข่ายโครงยัด (TNS)		ฟังก์ชันจำแนก (discriminant function)			
		ฟังก์ชันจำแนกที่ 1 (DF1)		ฟังก์ชันจำแนกที่ 2 (DF2)	
		Z	r	Z	r
AL	ความยาวขากรรไกรล่าง	-0.991922	-0.112376	-0.109719	-0.297198
BL	ความลึกหัวตอนหน้า	0.817858	0.104864	-0.590679	-0.384355
CK	ความลึกหัวด้านท้าย	-0.376814	-0.099276	0.249573	0.001346
CL	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	-0.563281	-0.412486	0.348462	-0.056867
CJ	ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	-0.349851	-0.025746	0.215588	0.166968
HI	ความยาวฐานครีบก้น	0.025484	0.048441	-0.414997	-0.366981
DJ	ความลึกลำตัวตอนหน้า	-0.773206	-0.687032	-0.097157	-0.106825
FH	ความยาวคอคอดหางแนวทแยง 2	-0.038307	0.137815	0.741052	0.441365
EF	ความยาวคอคอดหางด้านบน	-0.023272	0.136090	0.550360	0.425350
ค่าไอเกน (Eigenvalue)		3.153277		0.276687	
ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (Canonical correlation)		0.871336		0.465535	
ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' lambda)		0.188593		0.783278	
ค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น(p-level)		0.000000		0.000001	

ตารางที่ 12 ตัวแปรเครือข่ายโครมยิด (TNS) ที่นำเข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มในระดับภายในชนิดปลา ก้าง *C. gachua* แสดงค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (Z) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของแต่ละตัวแปร พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (canonical score) ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' lambda) และค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น (p-level) ของแต่ละฟังก์ชันจำแนก

ตัวแปรเครือข่ายโครมยิด (TNS)		ฟังก์ชันจำแนก (discriminant function)			
		ฟังก์ชันจำแนกที่ 1		ฟังก์ชันจำแนกที่ 2	
		(DF1)		(DF2)	
		Z	r	Z	r
AB	ความขาวหน้าผาก	1.06175	0.406135	-0.378812	-0.024732
AL	ความขาวขากรรไกรล่าง	0.44757	0.383837	0.525748	0.531698
BC	ความขาวหัวด้านบน	1.21277	0.005083	-0.450189	-0.146835
KL	ความขาวหัวด้านล่าง	-0.30189	-0.328391	-0.658689	-0.654636
CI	ความขาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	1.46408	-0.244691	-0.488008	0.137367
CJ	ความขาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	0.37217	0.192433	-0.450649	-0.229168
IJ	ความขาวท้อง	-1.21809	-0.218912	0.646657	0.145934
DE	ความขาวฐานครีบล้าง	-0.60312	-0.516763	0.296272	0.280756
ค่าไอเกน (Eigenvalue)		4.789781		1.730340	
ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (Canonical correlation)		0.909550		0.796081	
ค่าวิลค์แลบ์ดา (Wilks' lambda)		0.063259		0.366255	
ค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น(p-level)		0.000000		0.000000	

ตารางที่ 13 ตัวแปรเครือข่ายโครงยึก (TNS) ที่นำเข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มในระดับภายในชนิดปลากระพง *C. lucius* แสดงค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (Z) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของแต่ละตัวแปร พร้อมทั้งค่าไอเกน (Eigenvalue) ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (canonical score) ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' lambda) และค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น (p-level) ของแต่ละฟังก์ชันจำแนก

ตัวแปรเครือข่ายโครงยึก (TNS)	ฟังก์ชันจำแนกที่ 1 (DF1)	
	Z	r
AB ความยาวหน้าผาก	-0.67463	-0.132073
AL ความยาวขากรรไกรล่าง	-0.32869	0.078233
BL ความลึกหัวตอนหน้า	0.85308	0.069277
CK ความลึกหัวด้านท้าย	0.52705	0.091076
CJ ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	-0.26368	-0.189706
IJ ความยาวท้อง	-0.38789	0.207692
HI ความยาวฐานครีบก้น	-0.59064	-0.293389
DJ ความลึกลำตัวตอนหน้า	-1.00369	-0.238716
DI ความลึกลำตัวตอนท้าย	0.85683	0.156889
EH ความลึกคอดหางตอนหน้า	-0.57168	-0.476963
EG ความยาวคอดหางแนวทแยง 1	-0.34107	-0.117483
ค่าไอเกน (Eigenvalue)	1.834665	
ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคัล (Canonical correlation)	0.804503	
ค่าวิลค์แลบ์ดา (Wilks' lambda)	0.352775	
ค่าสถิติระดับความน่าจะเป็น (p-level)	0.000000	

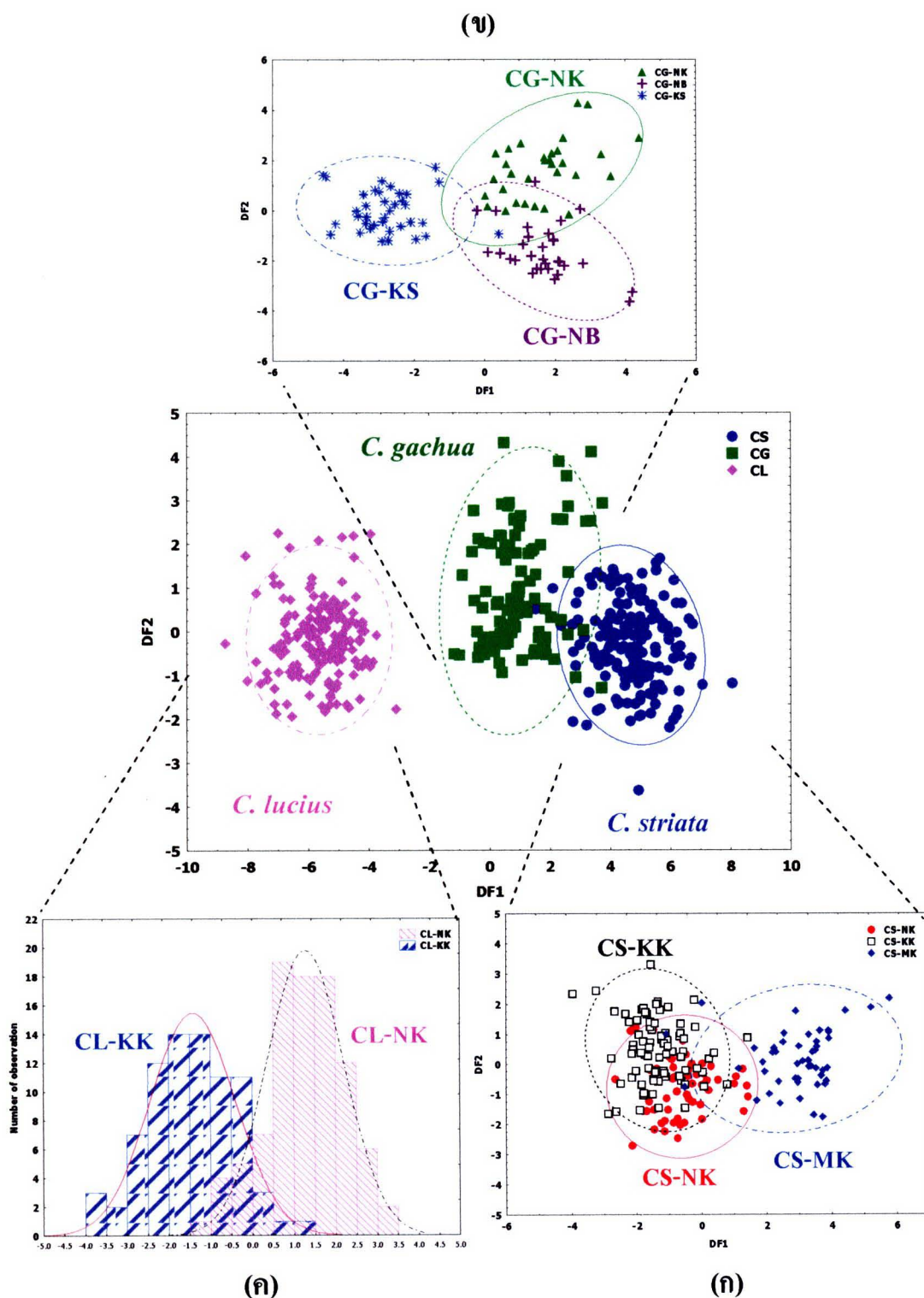
ผลการจำแนกกลุ่มในระดับชนิดและระดับกลุ่มประชากรโดยใช้ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาที่ได้จากตัวแปร TNS ที่ถูกคัดเลือกเข้าสู่กระบวนการ SDA ทำให้ได้แผนภาพการจำแนกกลุ่มดังแสดงในภาพที่ 58 ซึ่งพบว่า

ในการจำแนกระดับชนิดพบว่า ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และตัวอย่างปลาก้าง *C. lucius* กระจายตัวอยู่ใกล้กันบนแนวแกนบวกของ DF1 โดยตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* อยู่บนด้านที่มีค่าบวกมากกว่า ส่วนตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* กระจายตัวอยู่บนแกนลบของ DF1 แยกออกจากชนิดอื่นอย่างชัดเจน ข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ว่า ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และตัวอย่างปลาก้าง *C. lucius* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงมอร์โฟเมตริกส์ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงมอร์โฟเมตริกส์ที่แตกต่างจากสองชนิดข้างต้น ซึ่งจากเมตริกซ์โครงสร้างของตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าในการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาระหว่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดมีทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง โดยรายละเอียดของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใช้ในการจำแนกชนิดดังแสดงในตารางที่ 14

การจำแนกกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* พบว่า กลุ่มประชากร CS-MK ถูกจำแนกออกจากกลุ่มประชากรอื่นอย่างค่อนข้างชัดเจน โดยกระจายตัวอยู่บนแกนบวกของ DF1 ส่วนกลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK กระจายตัวอยู่บนแกนลบของ DF1 แต่ทั้งสองกลุ่มประชากรข้างต้นถูกแยกออกจากกันด้วย DF2 โดยตัวอย่างส่วนใหญ่ของกลุ่มประชากร CS-NK กระจายตัวอยู่บนแกนลบ และตัวอย่างส่วนใหญ่ของกลุ่มประชากร CS-KK กระจายตัวอยู่บนแกนบวกของ DF2 ตามลำดับ จากเมตริกซ์โครงสร้างของตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าในการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสรุปได้ว่า กลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* ทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาทั้งในส่วนหัว ลำตัว และหาง โดยรายละเอียดของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* ดังแสดงในตารางที่ 15

การจำแนกกลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* พบว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรถูกจำแนกออกจากกันอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของทั้งสามกลุ่มประชากร โดยกลุ่มประชากร CG-KS กระจายตัวอยู่บนแกนลบของ DF1 ส่วนกลุ่มประชากร CG-NK และกลุ่มประชากร CG-NB กระจายตัวอยู่บนแกนบวกของ DF1 แต่ทั้งสองกลุ่มประชากรถูกจำแนกออกจากกันด้วย DF2 โดยกลุ่มประชากร CG-NK กระจายอยู่บนแกนบวก และกลุ่มประชากร CG-NB กระจายอยู่บนแกนลบของ DF2 ตามลำดับ จากเมตริกซ์โครงสร้างของตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าในการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสรุปได้ว่า กลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* ทั้งสามกลุ่มประชากรมีความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัวและส่วนลำตัว โดยรายละเอียดของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* ดังแสดงในตารางที่ 15

การจำแนกกลุ่มประชากรปลากระสง *C. lucius* พบว่า ตัวอย่างจากทั้งสองกลุ่มประชากรถูกจำแนกออกจากกันได้ โดยกลุ่มประชากร CL-NK กระจายตัวอยู่บนแกนบวก ขณะที่กลุ่มประชากร CI-KK กระจายตัวอยู่บนแกนลบของ DF1 จากเมตริกซ์โครงสร้างของตัวแปร TNS ที่ถูกนำเข้าในการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสรุปได้ว่า กลุ่มประชากรปลากระสง *C. lucius* ทั้งสองกลุ่มประชากรมีความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของส่วนหัว ส่วนลำตัวและส่วนหาง โดยรายละเอียดของลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มประชากรปลากระสง *C. lucius* ดังแสดงในตารางที่ 15



ภาพที่ 58 แผนภาพการจำแนกกลุ่มในระดับชนิดและกลุ่มประชากรปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่ละชั้น (SDA) โดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาด้วยเทคนิคระบบเครือข่ายโครงยัด (TNS) ภาพแทรกแสดงแผนภาพการจำแนกกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* (ก) ปลาก้าง *C. gachua* (ข) และปลากระสง *C. lucius* (ค)

ตารางที่ 14 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงมอร์โฟเมตริกส์จากการศึกษาด้วยเทคนิคระบบเครือข่ายโครงข่าย (TNS) ที่ใช้ในการจำแนกชนิดปลาสกุลปลาช่อน แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในเชิงสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละชนิด

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงมอร์โฟเมตริกส์	ชนิดตัวอย่าง		
	ปลาช่อน <i>C. striata</i>	ปลาก้าง <i>C. gachua</i>	ปลากระสง <i>C. lucius</i>
ลักษณะของส่วนหัว			
ความยาวหน้าผาก	+	+	+++
ความยาวขากรรไกรล่าง	+++	++	+
ความลึกหัวตอนหน้า	+++	++	+
ความยาวหัวแนวทแยง	+++	++	+
ลักษณะของส่วนลำตัว			
ความยาวหลัง	+++	++	+
ความยาวท้อง	+++	++	+
ความยาวอก	+	++	+++
ความยาวฐานครีบท้อง	+	++	+++
ความยาวฐานครีบก้น	+	++	+++
ความลึกลำตัวตอนหน้า	+	++	+++
ลักษณะของส่วนหาง			
ความยาวคอดหาง	+	++	+++
ความลึกคอดหาง	+	++	+++

หมายเหตุ: เครื่องหมายบวก (+) แสดงปริมาณเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลักษณะในแต่ละชนิด

ตารางที่ 15 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงมอร์โฟเมตริกส์จากการศึกษาด้วยเทคนิคระบบเครือข่ายโครงข่าย (TNS) ที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มประชากรปลาสกุลปลาช่อนแต่ละชนิด แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในเชิงสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละกลุ่มประชากร

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	ปลาช่อน <i>C. striata</i>			ปลาก้าง <i>C. gachua</i>			ปลากระสง <i>C. lucius</i>	
	CS- NK	CS- KK	CS- MK	CG- NK	CG- NB	CG- KS	CL- NK	CL- KK
ลักษณะของส่วนหัว								
ความยาวหน้าผาก	-	-	-	++	+++	+	+	++
ความยาวขากรรไกรล่าง	+++	++	+	+++	++	+	++	+
ความลึกหัวตอนหน้า	++	+	+++	-	-	-	++	+
ความยาวหัวด้านบน	-	-	-	++	+++	+	-	-
ความยาวหัวด้านล่าง	-	-	-	+	++	+++	-	-
ความลึกหัวด้านท้าย	++	+++	+	-	-	-	++	+
ลักษณะของส่วนลำตัว								
ความยาวท้อง	-	-	-	++	+	+++	++	+
ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 1	+++	++	+	++	+	+++	-	-
ความยาวลำตัวตอนหน้าแนวทแยง 2	++	+++	+	++	+++	+	+	++
ความลึกลำตัวตอนหน้า	+++	++	+	-	-	-	+	++
ความยาวฐานครีบล้าง	-	-	-	++	+	++++	-	-
ความยาวฐานครีบก้น	+	++	+++	-	-	-	+	++
ความลึกลำตัวตอนท้าย	-	-	-	-	-	-	++	+
ลักษณะของส่วนหาง								
ความยาวคอคอดหางด้านบน	+	++	+++	-	-	-	-	-
ความยาวคอคอดหางแนวทแยง 1	-	-	-	-	-	-	+	++
ความยาวคอคอดหางแนวทแยง 2	+	++	+++	-	-	-	-	-
ความลึกคอคอดหางตอนหน้า	-	-	-	-	-	-	+	++

หมายเหตุ: เครื่องหมายบวก (+) แสดงปริมาณเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลักษณะในแต่ละกลุ่มประชากร
เครื่องหมายลบ (-) แสดงถึงการไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มของลักษณะดังกล่าว

การระบุชนิดและกลุ่มประชากรของปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดโดยใช้ค่าระยะห่างมาฮาลานอบิส (Mahalanobis distance) ของตัวอย่างแต่ละชนิดและแต่ละกลุ่มประชากร พบว่า ความถูกต้องโดยรวม (global accuracy) ของการระบุชนิดและกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับร้อยละ 98.90 และร้อยละ 85.49 ตามลำดับ (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 16) โดยผลการระบุชนิดและกลุ่มประชากรแต่ละชนิด มีดังนี้

การระบุชนิดพบว่า ตัวอย่างปลากระสง *C. lucius* มีความถูกต้องของการระบุสูงสุด คือ ร้อยละ 100 (171 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 171 ตัวอย่าง) รองลงมาคือตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* ซึ่งมีความถูกต้องของการระบุชนิดเท่ากับร้อยละ 98.92 (183 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 185 ตัวอย่าง) และร้อยละ 96.97 (96 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 99 ตัวอย่าง) ตามลำดับ โดยความผิดพลาดของการระบุชนิดเกิดเนื่องจากการระบุชนิดสลับกันระหว่างตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua*

การระบุกลุ่มประชากรพบว่า ความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากรมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 74.68 – 95.83 โดยความถูกต้องเฉลี่ยในการระบุกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* มีค่าน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 81.08 ทั้งนี้เกิดจากการระบุกลุ่มสลับกันระหว่างตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK ทำให้กลุ่มประชากร CS-NK และ CS-KK มีความถูกต้องของการระบุเท่ากับร้อยละ 77.59 (45 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 58 ตัวอย่าง) และร้อยละ 74.68 (59 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 79 ตัวอย่าง) ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างจากกลุ่มประชากร CS-MK มีความถูกต้องของการระบุมากที่สุด คือ ร้อยละ 98.83 (46 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 48 ตัวอย่าง)

ความถูกต้องเฉลี่ยในการระบุกลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* มีค่าเท่ากับร้อยละ 87.88 โดยกลุ่มประชากร CG-NB มีความถูกต้องของการระบุมากที่สุด คือ ร้อยละ 93.55 (29 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 31 ตัวอย่าง) รองลงมาคือ กลุ่มประชากร CG-KS ที่มีความถูกต้องร้อยละ 89.19 (33 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 37 ตัวอย่าง) และกลุ่มที่มีความถูกต้องน้อยที่สุด คือ กลุ่มประชากร CG-NK ที่มีความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากรเท่ากับร้อยละ 80.65 (25 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 31 ตัวอย่าง)

ความถูกต้องเฉลี่ยในการระบุกลุ่มประชากรปลากระสง *C. lucius* มีค่าเท่ากับร้อยละ 89.88 โดยพบว่ากลุ่มประชากร CG-NK มีความถูกต้องของการระบุเท่ากับร้อยละ 86.96 (80 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 92 ตัวอย่าง) และกลุ่มประชากร CG-KK มีความถูกต้องของการระบุเท่ากับร้อยละ 91.14 (72 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 79 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 16 ผลการระบุชนิดและกลุ่มประชากรปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด ด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มทีละขั้น (SDA) โดยใช้ข้อมูลตัวแปรเครือข่ายโครมิต (TNS) แสดงจำนวนและร้อยละของตัวอย่างที่ถูกจำแนกเข้าเป็นสมาชิกของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง		สมาชิกจากการทำนายด้วยฟังก์ชันจำแนก							
		ปลาช่อน <i>C. striata</i>			ปลาก้าง <i>C. gachua</i>			ปลากระสง <i>C. lucius</i>	
		CS-NK	CS-KK	CS-MK	CG-NK	CG-NB	CG-KS	CL-NK	CL-KK
ปลาช่อน <i>C. striata</i>	CS-NK	45 (77.59%)	12 (20.69%)	1 (1.72%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	CS-KK	16 (20.25%)	59 (74.68%)	2 (2.53%)	1 (1.27%)	0 (0%)	1 (1.27%)	0 (0%)	0 (0%)
	CS-MK	1 (2.08%)	1 (2.08%)	46 (95.83%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	ALL	183 (98.92%)			2 (1.08%)			0 (0%)	
ปลาก้าง <i>C. gachua</i>	CG-NK	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	25 (80.65%)	5 (16.13%)	1 (3.23%)	0 (0%)	0 (0%)
	CG-NB	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.45%)	29 (93.55%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	CG-KS	0 (0%)	0 (0%)	3 (8.11%)	0 (0%)	1 (2.70%)	33 (89.19%)	0 (0%)	0 (0%)
	ALL	3 (3.03%)			96 (96.97%)			0 (0%)	
ปลากระสง <i>C. lucius</i>	CL-NK	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	80 (86.96%)	12 (13.04%)
	CL-KK	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	7 (8.86%)	72 (91.14%)
	ALL	0 (0%)			0 (0%)			171 (100%)	

หมายเหตุ: 1. ค่าร้อยละความถูกต้องโดยรวมของการระบุชนิด เท่ากับ ร้อยละ 98.90
2. ค่าร้อยละความถูกต้องโดยรวมของการระบุกลุ่มประชากร เท่ากับ ร้อยละ 85.49

5.2 การระบุชนิดและกลุ่มประชากรโดยใช้ข้อมูลจากเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไปลัน (TPS)

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในระดับชนิดและกลุ่มประชากร และการระบุชนิดและกลุ่มประชากร ด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์หินเพลทสไปลัน (TPS) ได้ผลดังนี้

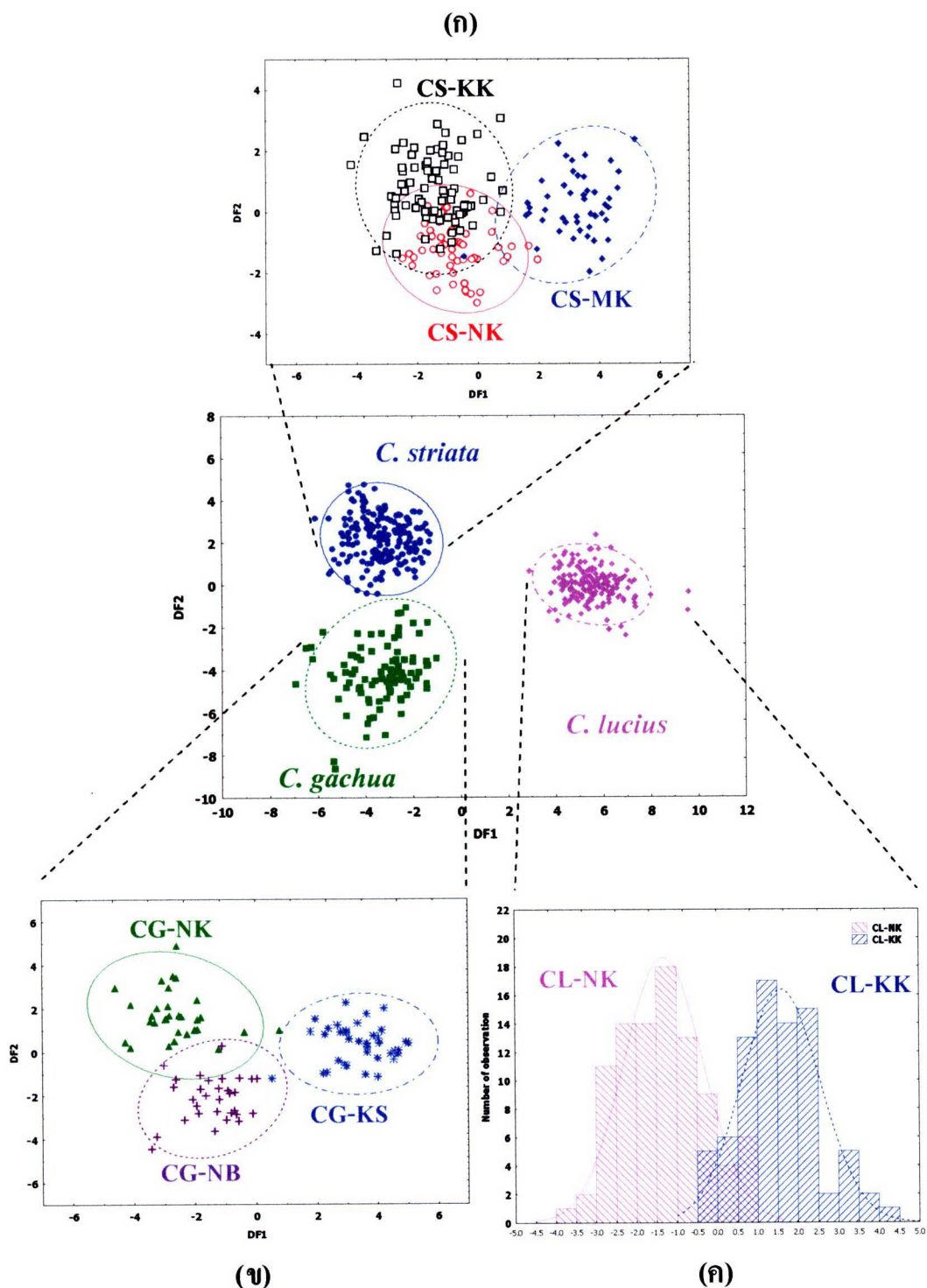
การจำแนกกลุ่มตัวอย่างในระดับชนิดและกลุ่มประชากร ได้แผนภาพการจำแนกกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 59 ซึ่งแสดงการกระจายตัวและการจัดจำแนกกลุ่มของตัวอย่างโดยใช้ฟังก์ชันการจำแนก (DF) ที่คำนวณจากตัวอย่างแต่ละตัว พบว่า

ผลการจำแนกชนิด พบว่า ตัวอย่างปลากะพง *C. lucius* ถูกจำแนกแยกออกจากตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* ด้วยฟังก์ชันจำแนกที่ 1 (DF1) โดยกระจายตัวอยู่บนแนวแกนบวกของ DF1 ขณะที่ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* และปลาก้าง *C. gachua* แยกออกจากกันด้วยฟังก์ชันจำแนกที่ 2 (DF2) โดยกระจายตัวแยกออกจากกันอยู่ในแกนบวกและแกนลบของ DF2 ตามลำดับ จากแผนภาพการจำแนกข้างต้นบ่งชี้ว่า การศึกษาด้วยเทคนิค TPS สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดที่ได้อย่างชัดเจน และสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรผันทางสัณฐานวิทยาที่พบว่า มีรูปแบบทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกัน

ผลการจำแนกกลุ่มประชากรของตัวอย่างแต่ละชนิด พบว่า ในการจำแนกกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* กลุ่มประชากร CS-MK ถูกแยกออกจากกลุ่มประชากรอื่นอย่างค่อนข้างชัดเจนด้วย DF1 โดยกระจายตัวอยู่บนแกนบวกของ DF1 ขณะที่กลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK แยกออกจากกันด้วย DF2 โดยมีการกระจายตัวอยู่บนแกนบวกและแกนลบของ DF2 ตามลำดับ (ภาพที่ 59ก) ผลการจำแนกข้างต้นบ่งชี้ว่า กลุ่มประชากร CS-NK และกลุ่มประชากร CS-KK มีความแตกต่างกันทางสัณฐานวิทยาน้อย และแตกต่างจากกลุ่มประชากร CS-MK ค่อนข้างมาก

การจำแนกกลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* พบว่า กลุ่มประชากร CG-KS ถูกแยกออกจากกลุ่มประชากรอื่นอย่างเด่นชัดด้วย DF1 โดยมีการกระจายตัวอยู่บนแกนบวกของ DF1 ขณะที่กลุ่มประชากร CG-NK และกลุ่มประชากร CG-NB กระจายตัวอยู่บนแกนลบของ DF1 แต่ทั้งสองกลุ่มประชากรดังกล่าวแยกออกจากกันอย่างค่อนข้างชัดเจนด้วย DF2 โดยกลุ่มประชากร CG-NK กระจายอยู่ในแกนบวก และกลุ่มประชากร CG-NB กระจายอยู่ในแกนลบของ DF2 (ภาพที่ 59ข) ผลการจำแนกข้างต้นบ่งชี้ว่า ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มประชากรมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน และเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละกลุ่มประชากร

การจำแนกกลุ่มประชากรปลากะพง *C. lucius* พบว่า กลุ่มประชากรทั้งสองกลุ่มแยกออกจากกันด้วย DF1 โดยกลุ่มประชากร CL-NK กระจายตัวอยู่ในแนวแกนที่มีค่าลบน้อยกว่ากลุ่มประชากร CL-KK (ภาพที่ 59ค) บ่งชี้ว่า ตัวอย่างจากสองกลุ่มประชากรมีทั้งตัวอย่างที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน และตัวอย่างที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาคล้ายคลึงกัน แต่โดยส่วนมากแล้วตัวอย่างจากทั้งสองกลุ่มประชากรมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่จำเพาะในแต่ละกลุ่ม



ภาพที่ 59 แผนภาพการจำแนกชนิดและกลุ่มประชากรปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิดด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (DFA) โดยใช้ค่าคะแนนการโก่งตัวบางส่วนและค่าส่วนประกอบเอกรูปจากการศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไปด้น (TPS) ภาพแทรกแสดงแผนภาพการจำแนกกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* (ก) ปลาแก้ง *C. gachua* (ข) และปลากระสง *C. lucius* (ค)

เมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPS กับค่าคะแนนการจำแนก (discriminant scores) และสร้างรูปร่างเฉลี่ยของแต่ละชนิดและกลุ่มประชากรจากค่าระยะห่างมาฮาลานอบิสเฉลี่ย ได้รูปร่างเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละชนิดและแต่ละกลุ่มประชากรดังแสดงในภาพที่ 59 ซึ่งพบว่า

ตัวอย่างปลาช่อน *C. striata* มีรูปร่างของส่วนหัวเมื่อเทียบกับขนาดสัมพัทธ์ของร่างกายสั้นป้อมกว่าตัวอย่างชนิดอื่น หน้าผากสั้นแต่ลาดชันสูง ขากรรไกรล่างยาว หัวมีความลึกน้อยกว่าความลึกลำตัวเล็กน้อย ลำตัวตอนหน้ายาว ลำตัวส่วนท้องยาว ครีบกันสัน คอคอดหางมีขนาดใกล้เคียงกับความลึกของส่วนหาง (ภาพที่ 59ก) ทั้งนี้สามารถเปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างของแต่ละกลุ่มประชากร ได้ดังนี้

กลุ่มประชากร CS-NK มีหัวที่มีความยาวและความลึกมากกว่ากลุ่มประชากรอื่น ลำตัวส่วนหน้าสั้น และมีความลึกลำตัวมาก (ภาพที่ 59ข)

กลุ่มประชากร CS-KK มีความยาวของหัวใกล้เคียงกับกลุ่มประชากร CS-MK แต่สั้นกว่ากลุ่มประชากร CS-NK และมีความลึกของหัวน้อยที่สุด แต่มีความยาวของลำตัวตอนหน้ายาวมากที่สุดและมีความลึกลำตัวมาก (ภาพที่ 59ค)

กลุ่มประชากร CS-MK มีส่วนหัวสั้นป้อม โดยมีความยาวใกล้เคียงกับกลุ่มประชากร CS-KK แต่มีความลึกของหัวมาก โดยมีขนาดใหญ่กว่าความลึกลำตัวเล็กน้อย ลำตัวส่วนหน้าสั้น และมีความลึกลำตัวน้อยกว่ากลุ่มประชากรอื่น ภาพที่ 59ง)

ตัวอย่างปลาก้าง (*C. gachua*) มีหัวขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความลึกลำตัว แต่หัวมีลักษณะเรียวยาวกว่าตัวอย่างปลาช่อน หน้าผากยาวและลาดชันสูง ขากรรไกรล่างยาว ลำตัวส่วนหน้าสั้น แต่มีส่วนท้องยาวมาก ลำตัวมีความลึกน้อยกว่าปลากะพง ครีบกันสัน คอคอดหางมีขนาดใกล้เคียงกับความลึกของส่วนหาง โดยสามารถเปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างของแต่ละกลุ่มประชากร (ภาพที่ 59จ) ได้ดังนี้

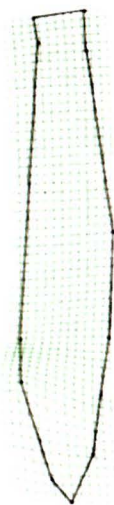
กลุ่มประชากร CG-NK มีหัวสั้นป้อมกว่ากลุ่มประชากรอื่น แต่มีขากรรไกรล่างยาวมากที่สุด ลำตัวตอนหน้ายาว และมีความลึกลำตัวมาก (ภาพที่ 59ฉ)

กลุ่มประชากร CG-NB มีส่วนหัวเรียวยาวกว่ากลุ่มประชากร CG-NK แต่มีขากรรไกรล่างสั้นกว่า หัวมีมากกว่าความลึกลำตัว ลำตัวตอนหน้าสั้นกว่ากลุ่มประชากร CS-NB เล็กน้อย และมีความลึกลำตัวมาก (ภาพที่ 59ซ)

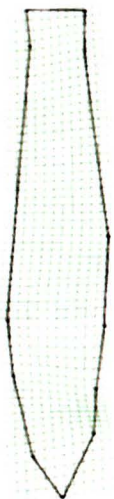
กลุ่มประชากร CG-KS มีส่วนหัวเรียวยาวใกล้เคียงกับกลุ่มประชากร CG-NB แต่มีขากรรไกรล่างสั้นกว่ากลุ่มประชากรอื่น (ภาพที่ 59ช)

ตัวอย่างปลากะพง (*C. lucius*) มีส่วนหัวเรียวยาวกว่าตัวอย่างชนิดอื่น มีหน้าผากสั้นและลาดชันต่ำ และมีขากรรไกรล่างสั้นกว่าตัวอย่างชนิดอื่น หัวมีความลึกน้อยกว่าความลึกลำตัว ลำตัวส่วนหน้าและส่วนท้องสั้นกว่าตัวอย่างชนิดอื่น แต่มีความลึกลำตัวและความยาวครีบกันสันมากกว่าชนิดอื่น และมีความลึกคอคอดหางมากกว่าความลึกของส่วนหางเล็กน้อย (ภาพที่ 59ฉ) ส่วนความแตกต่างของตัวอย่างทั้งสองกลุ่มประชากร คือกลุ่มประชากร CL-NK และกลุ่มประชากร CL-KK มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเกี่ยวกับรูปร่างและความลึกของส่วนหัว (ภาพที่ 59ญ และภาพที่ 59ฎ)

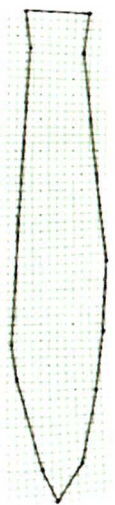
ลักษณะที่ใช้ในการจำแนกและความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแต่ละชนิดและแต่ละกลุ่มประชากรสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 17 และตารางที่ 18 ตามลำดับ

(ก) *C. striata*(ข) *C. gachua*(ค) *C. lucius*

(จ) CS-NK



(ฉ) CG-NK



(ญ) CL-NK



(ค) CS-KK



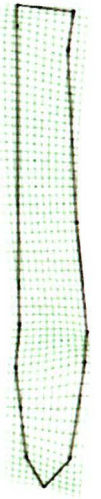
(ช) CG-NB



(ฎ) CL-KK



(ง) CS-MK



(ช) CG-KS

ภาพที่ 60 รูปร่างเฉลี่ยของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนแต่ละชนิดและแต่ละกลุ่มประชากรในรูปตารางการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation grid) จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของค่าคะแนนการจำแนกจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไปด้น (TPS)

ตารางที่ 17 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงมอร์โฟเมตริกส์จากการศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไลด์ (TPS) ที่ใช้ในการจำแนกชนิดปลาสกุลปลาช่อน แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในเชิงสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละชนิด

ลักษณะสัณฐานวิทยา	ชนิดตัวอย่าง		
	ปลาช่อน <i>C. striata</i>	ปลาก้าง <i>C. gachua</i>	ปลากระสง <i>C. lucius</i>
ความยาวของส่วนหัว	+	++	++++
ความลึกของส่วนหัว	++	+++	+
ความยาวขากรรไกรล่าง	++	+++	+
ความลึกลำตัว	++	+	+++
ความยาวลำตัวตอนหน้า	+++	++	+
ความยาวลำตัวส่วนท้อง	+++	+++	+
ความยาวครีบก้น	++	++	+++

หมายเหตุ: เครื่องหมายบวก (+) แสดงปริมาณเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลักษณะในแต่ละชนิด

ตารางที่ 18 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเชิงมอร์โฟเมตริกส์จากการศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หินเพลทสไลด์ (TPS) ที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มประชากรปลาสกุลปลาช่อนแต่ละชนิด แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาในเชิงสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละกลุ่มประชากร

ลักษณะสัณฐานวิทยา	ปลาช่อน <i>C. striata</i>			ปลาก้าง <i>C. gachua</i>			ปลากระสง <i>C. lucius</i>	
	CS-NK	CS-KK	CS-MK	CG-NK	CG-NB	CG-KS	CL-NK	CL-KK
ความยาวของส่วนหัว	+++	++	+	++	+++	+++	*	*
ความลึกของส่วนหัว	+++	++	+++	+++	++	++	+++	++
ความยาวลำตัวตอนหน้า	++	+++	+	+++	+	+	*	*
ความลึกลำตัว	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	++++
ความยาวขากรรไกรล่าง	*	*	*	+++	++	++	*	*

หมายเหตุ: เครื่องหมายบวก (+) แสดงปริมาณเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละลักษณะในแต่ละกลุ่มประชากร
เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงการมีความแตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัด

การระบุชนิดและกลุ่มประชากรโดยใช้ค่าระยะห่างมาฮาลานอบิสที่คำนวณจากตัวแปร TPS พบว่า ความถูกต้องโดยรวมของการระบุชนิดและกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 และร้อยละ 92.69 ตามลำดับ (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 19) โดยในรายละเอียดพบว่า

ความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากรมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 82.76 – 97.30 โดยตัวอย่างปลาก้าง *C. gachua* มีความถูกต้องเฉลี่ยในการระบุกลุ่มประชากรมากที่สุด คือร้อยละ 96.95 รองลงมาคือกลุ่มประชากร ปลากระสง *C. lucius* และปลาช่อน *C. striata* ซึ่งมีความถูกต้องเฉลี่ยในการระบุกลุ่มประชากรเท่ากับ ร้อยละ 91.94 และร้อยละ 88.92 ตามลำดับ

ในการระบุกลุ่มประชากรปลาช่อน *C. striata* พบว่า ความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากรมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 88.92 ความผิดพลาดของการระบุกลุ่มประชากรเกิดจากการระบุสลับกันระหว่างตัวอย่างจาก กลุ่มประชากร CS-NK และ CS-KK ทำให้ความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากร CS-NK และ CS-KK เท่ากับ ร้อยละ 82.76 (48 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 58 ตัวอย่าง) และร้อยละ 86.08 (68 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 79 ตัวอย่าง) ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มประชากร CS-MK มีความถูกต้องของการระบุกลุ่มสูงแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างอื่นอย่าง เด่นชัด คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 97.92 (47 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 48 ตัวอย่าง)

การระบุกลุ่มประชากรปลาก้าง *C. gachua* พบว่า มีเพียง 1 ตัวอย่างจากแต่ละกลุ่มประชากรที่มีการระบุ กลุ่มผิดพลาด ทำให้ค่าความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากรมีค่าสูงถึงร้อยละ 96.77 – 97.30 (ความถูกต้อง โดยรวมของการระบุกลุ่มประชากรเท่ากับร้อยละ 96.95)

การระบุกลุ่มประชากรปลากระสง *C. lucius* พบว่า ความถูกต้องโดยรวมของการระบุกลุ่มประชากร มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.95 ความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากร CL-NK มีค่าเท่ากับร้อยละ 90.22 (83 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 92 ตัวอย่าง) และความถูกต้องของการระบุกลุ่มประชากร CL-KK มีค่าเท่ากับร้อยละ 93.67 (74 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 79 ตัวอย่าง)



ตารางที่ 19 ผลการระบุชนิดและกลุ่มประชากรของตัวอย่างปลาสกุลปลาช่อนทั้งสามชนิด ด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (DFA) โดยใช้ข้อมูลค่าส่วนประกอบเอกรูปและค่าคะแนนการโก่งตัวบางส่วนจากการวิเคราะห์หินเพลทสไปล์น (TPS) แสดงจำนวนและร้อยละของตัวอย่างที่ถูกจำแนกเข้าเป็นสมาชิกของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มสมาชิกจริง		สมาชิกจากการทำนายด้วยฟังก์ชันจำแนก							
		ปลาช่อน <i>C. striata</i>			ปลาก้าง <i>C. gachua</i>			ปลากระสง <i>C. lucius</i>	
		CS-NK	CS-KK	CS-MK	CG-NK	CG-NB	CG-KS	CL-NK	CL-KK
ปลาช่อน <i>C. striata</i>	CS-NK	48 (82.76%)	8 (13.79%)	2 (3.45%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	CS-KK	11 (13.92%)	68 (86.08%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	CS-MK	1 (2.08%)	0 (0%)	47 (97.92%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	ALL	183 (100.00%)			0 (0%)			0 (0%)	
ปลาก้าง <i>C. gachua</i>	CG-NK	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	30 (96.77%)	0 (0%)	1 (3.23%)	0 (0%)	0 (0%)
	CG-NB	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.23%)	30 (96.77%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	CG-KS	0 (0%)	0 (0%)	3 (8.11%)	0 (0%)	1 (2.70%)	36 (97.30)	0 (0%)	0 (0%)
	ALL	0 (0%)			99 (100.00%)			0 (0%)	
ปลากระสง <i>C. lucius</i>	CL-NK	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	83 (90.22%)	9 (9.78%)
	CL-KK	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (6.33%)	74 (93.67%)
	ALL	0 (0%)			0 (0%)			171 (100%)	

หมายเหตุ: 1. ความถูกต้องโดยรวมของการระบุชนิด เท่ากับ ร้อยละ100.00
2. ความถูกต้องโดยรวมของการระบุกลุ่มประชากร เท่ากับ ร้อยละ 92.69