ความหลากหลายของโครโมโซมในปลาหนังน้ำจืดของประเทศไทย

Chromosome Diversity in Fresh water Catfishes of Thailand

วีระยุทธ สุภิวงค์

Weerayuth Supiwong

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีความหลากชนิดของอันดับปลาหนังน้ำจืดสูง โดยมีรายงานไว้ 120 ชนิด ใน 10 วงศ์ มีรายงานการศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ 42 ชนิด จาก 5 วงศ์ เป็นกลุ่มปลาที่มีความหลากหลายของโครโมโซมมาก มีโครโมโซมดิพลอยด์ผันแปรตั้งแต่ 40 ถึง 106 แท่ง วงศ์ปลาสังกะวาดเป็นวงศ์ที่มีความผันแปรน้อยสุด วงศ์ปลากด ปลาแขยง และวงศ์ปลาเนื้ออ่อน เป็นวงศ์ที่มีคาริโอไทป์หลากหลายมากที่สุด และมีความผันแปรภายในชนิดเดียวกันสูงมาก การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในปลาอันดับนี้จะเกี่ยวข้องกับ 4 กระบวนการ ได้แก่ การหักและต่อสลับใหม่ แบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วย การเชื่อมรวมกันของโครโมโซม การหักของชิ้นส่วนของโครโมโซม และการเพิ่มโครโมโซมเป็นชุด ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในปลาหนังน้ำจืดของประเทศไทยในระดับที่สูง ได้แก่ การเคลื่อนย้ายของยีนระหว่างประชากรในระดับที่ต่ำ เนื่องจากปลาส่วนใหญ่มีขนาดของประชากรเล็ก มีการแพร่กระจายพันธุ์ในวงแคบ และการมีสิ่งกีดขวางทางภูมิศาสตร์ องค์ความรู้เกี่ยวกับพันธุศาสตร์เซลล์ของปลาหนังน้ำจืดในประเทศไทยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอนุกรรมวิธาน การศึกษาวิวัฒนาการ การปรับปรุงพันธุ์เพื่อการค้า ด้านการอนุรักษ์ การศึกษาทางด้านพิษวิทยา และการศึกษาพันธุศาสตร์ขั้นสูงในปลากลุ่มนี้และชนิดอื่นๆ ในอนาคต

คำสำคัญ : ความหลากหลายของโครโมโซมปลาหนังน้ำจืด

สาขาประมง คณะวิทยาศาสตร์วิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย

E-mail : supiwong@hotmail.com

Abstract

With 120 species of 10 families recorded, Thailand is one of the freshwater catfish species diversity centers of the world. Up to the present, Forty-two species of five families have been cytogenetically studied. They show various chromosomal diversity and variation forms. The diploid chromosome number (2n) range varies from 40 to 106 chromosomes. The family Pangasiidae has the least chromosome variation while the family Bagridae and Siluridae have the highest in karyotypic diversity and intra-specific chromosome variation. Four processes relate to chromosome rearrangement in this order during chromosome evolution including; pericentric inversions, centric fusions, centric fissions and polyploidy. The factor which seems to have played an important role in the higher chromosome rearrangement in Thai freshwater catfishes is the low level of gene flow resulting from the small population, narrow species distribution and geographic barrier in most species. The knowledge gained can provide useful cytogenetic information for further study on taxonomy, chromosome evolution, breeding, conservation and higher genetics in these fishes and other species.

Keywords : chromosome diversity, freshwater catfish

บทนำ

ประเทศไทยมีความหลากหลายชนิดของปลาน้ำจืดมากที่สุดแห่งหนึ่งของโลก โดยเฉพาะอันดับปลาหนังน้ำจืด (Order Siluriformes) ที่มีรายงานไว้ถึง 10 วงศ์ (Family) 120 ชนิด (Species) กลุ่มปลาหนังจัดเป็นปลาไม่มีเกล็ดที่มีความสำคัญเป็นอาหารโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ย่อยง่าย และมีรสชาติอร่อย โดยปลาดุก *(Clarias spp.)* เป็นปลาที่มีมูลค่าทางการตลาดเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย นอกจากนี้ปลาหนังน้ำจืดอีกหลายชนิดเป็นปลาเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ปลากดเหลือง *(Hemibagrus filamentus)* ปลากดแก้ว *(H. wyckioides)* ปลาเนื้ออ่อน *(Phalacronotu sbleekeri)* ปลาชะโอน *(Ompok bimaculatus)* ปลาบึก *(Pangasianodon gigas)* ปลาเทโพ *(Pangasius larnaudii)* และปลาสวาย *(Pangasianodon hypophthalmus)* ปลาหนังน้ำจืดบางชนิดหายากและมีราคาแพง ตัวอย่างเช่น ปลาเค้าขาว *(Wallago attu)* ปลาคางเบือน *(Belodontichthys dinema)* ปลากดหม้อ *(H. wyckii)* และปลาบางชนิดนิยมเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม ตัวอย่างเช่น ปลาแขยงหิน *(Pseudomystus siamensis)* ปลาก้างพระร่วง *(Kryptopterus bicirrhis)* ปลาผี *(K. macrocephalus)* ปลาดุกมูน *(Bagrichthys macropterus)* ดังนั้นกลุ่มปลาหนังน้ำจืดจึงมีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยง การประมง และในเชิงเศรษฐกิจในระดับชาติ ในปัจจุบันนี้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรปลาน้ำจืดที่มากเกินไป ขาดการวางแผนการจัดการที่เหมาะสม ขาดองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปลา และขาดการศึกษาชีววิทยาด้านต่างๆ รวมทั้งการศึกษาด้านพันธุกรรมของปลาส่วนใหญ่ของประเทศไทยยังมีข้อมูลที่น้อยมาก อีกทั้งปลาหนังน้ำจืดบางชนิดมีจำนวนลดน้อยลงในธรรมชาติ มีสถานภาพเสี่ยงใกล้สูญพันธุ์ เช่น ปลาเค้าดำ *(W. leerii)* ปลาบางชนิดถูกคุกคามในพื้นที่อาศัยตามธรรมชาติ เช่น ปลาดุกด้าน *(C. batrachus)* ปลาดุกอุย *(C. macrocephalus)* และปลาบึก เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับชีววิทยาพื้นฐานเกี่ยวกับปลาหนังน้ำจืดให้ครอบคลุมทุกชนิด โดยเฉพาะการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับพันธุกรรมของปลา

พันธุศาสตร์เซลล์ (Cytogenetics) เป็นสาขาวิชาทางด้านพันธุศาสตร์ (Genetics) ที่ศึกษาเกี่ยวกับโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งเป็นหน่วยโครงสร้างที่เป็นที่อยู่ของหน่วยพันธุกรรมหรือยีน (Gene) ทำหน้าที่กำหนด ควบคุม และถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต จากชั่วรุ่นหนึ่งไปสู่อีกชั่วรุ่นหนึ่ง การกลาย (Mutation) ของโครโมโซมย่อมส่งผลต่อลักษณะของสิ่งมีชีวิต และกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต การศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์จะมุ่งเน้นเพื่อ

ทราบถึงจำนวน รูปร่าง ขนาด โครงสร้างแถบสีบนโครโมโซม และพฤติกรรมของโครโมโซมในระยะต่างๆ งานทางด้านนี้เป็นอีกหนึ่งองค์ความรู้พื้นฐานที่มีความสำคัญในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับหลายสาขาวิชา ได้แก่ การศึกษาทางด้านอนุกรมวิธาน (Taxonomy) โดยเฉพาะในกรณีของปลาที่มีลักษณะทางสัณฐานคล้ายคลึงกันมาก ข้อมูลทางด้านพันธุศาสตร์เซลล์จะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนด้านอนุกรมวิธานของปลาให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมที่เกิดขึ้นกับปลาชนิดที่มีความใกล้เคียงในลำดับชั้นของการจัดจำแนก จะมีรูปแบบและลักษณะของโครโมโซมที่คล้ายคลึงกัน การที่มีข้อมูลพื้นฐานทางด้านโครโมโซมเพียงพอ จะทำให้เราสามารถอธิบายรูปแบบวิวัฒนาการของปลาหนังน้ำจืดในแต่ละกลุ่มได้ถูกต้อง นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อการปรับปรุงพันธุ์ปลา โดยใช้วิธีการเหนี่ยวนำปลาให้มีจำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็นชุด (Polyploidy) เพื่อให้มีผลผลิตที่สูงกว่าปลาทั่วๆ ไป ในการการสร้างสายพันธุ์ปลาใหม่ๆ จากการผสมพันธุ์ข้ามชนิด (Interspecific hybridization) หรือข้ามสกุล (Intergeneric hybridization) การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ ควรที่จะต้องมีการตรวจสอบความความใกล้ชิดทางพันธุกรรม การตรวจสอบโครโมโซมก็เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบพ่อแม่พันธุ์ดังกล่าว นอกจากนี้ความรู้ทางพันธุศาสตร์เซลล์ยังมีประโยชน์ต่อการศึกษาทางด้านพิษวิทยาที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศทางน้ำ โดยการตรวจสอบความผิดปกติของโครโมโซมในปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ

พันธุศาสตร์เซลล์ และความหลากหลายของจำนวนโครโมโซมของปลาหนังน้ำจืดไทย

จากการตรวจสอบเอกสารพบว่าในปัจจุบัน มีรายงานการศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ของปลาหนังน้ำจืดในประเทศไทย จำนวน 42 ชนิด ใน 5 วงศ์ (ตารางที่ 1) ได้แก่ วงศ์ปลากดปลาแขยง (Bagridae) วงศ์ปลาดุก (Clariidae) วงศ์ปลาสังกะวาด (Pangasiidae) วงศ์ปลาเนื้ออ่อน (Siluridae) และวงศ์ปลาแค้ (Sisoridae) คิดเป็นร้อยละ 35 ของปลาหนังน้ำจืดในประเทศไทย จำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ (Diploidnumber; 2n) มีความแตกต่างผันแปรอย่างมาก โดยมีโครโมโซมดิพลอยด์น้อยสุด 40 แท่ง ในปลาลิ้นแมว *(Silurichthys phaiosoma)* และปลาชะโอนหิน *(S. schneideri)* จนมีโครโมโซมดิพลอยด์มากที่สุด 106 แท่งในปลาดุกด้านจากจังหวัดสกลนคร ซึ่งโครโมโซมมีขนาดเล็กมาก (คล้ายจุด) และคาดว่าเกิดจากการเพิ่มชุดของโครโมโซมเป็น 4 ชุด (4n, Tetraploid) มีรายละเอียดในแต่ละวงศ์ดังนี้

1. วงศ์ปลากดปลาแขยง มีรายงานการศึกษา 14 ชนิดจาก 27 ชนิด

พบว่ามีโครโมโซมดิพลอยด์ระหว่าง 50-80 แท่ง มีโครโมโซมพื้นฐาน (Fundamental number;NF) หรือจำนวนแขนของโครโมโซมระหว่าง 84-128 ปลาส่วนใหญ่มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 56 แท่ง ปลาวงศ์นี้มีความหลากหลากของโครโมโซมค่อนข้างมาก ตัวอย่างเช่น ปลาแขยงหินมีโครโมโซมดิพลอยด์ เท่ากับ 50 แท่ง (NF=96) (ภาพที่ 1ค.) ปลากดดำมีโครโมโซมดิพลอยด์ เท่ากับ 62 แท่ง (NF=112) (ภาพที่ 2จ.) และปลาแขยงธง (M. bocourti) มีโครโมโซมดิพลอยด์ เท่ากับ 54 แท่ง (NF=106) (ภาพที่ 2ฉ.) นอกจากนี้ยังพบว่าความแตกต่างของประชากรปลามีผลต่อโครโมโซมดิพลอยด์ตัวอย่างเช่น ปลากดเหลือง *(H. nemurus)* ในประเทศไทยมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 58 แท่ง (NF=114) ส่วนปลากดเหลืองในประเทศอินเดียมีโครโมโซมดิพลอยด์ท่ากับ 56 แท่ง (NF=102) และปลากดดำจากจังหวัดนครพนมมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 54 แท่ง (NF=84) แตกต่างจากจังหวัดหนองคายมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 62 แท่ง (NF=114)

2. วงศ์ปลาดุกมีรายงานการศึกษา 4 ชนิดจาก 10 ชนิด ซึ่งรวมถึงปลาดุกยักษ์ *(C. gariepinus)* ที่นำเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทย แต่ละชนิดมีโครโมโซมดิพลอยด์และโครโมโซมพื้นฐานที่แตกต่างกัน โดยมีโครโมโซมดิพลอยด์ตั้งแต่ 50-106 แท่ง (NF=58-126) ตัวอย่างเช่น ปลาดุกด้านมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 106 แท่ง (NF=136) (ภาพที่ 1ก.) และปลาดุกอุยมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 54 แท่ง (NF=98 ในเพศผู้ และ 97 ในเพศเมีย) (ภาพที่ 1ข.) ในปลาดุกด้านพบความแตกต่างอย่างมากของโครโมโซมระหว่างประชากร โดยในประเทศไทยมีโครโมโซมดิพลอยด์ มากกว่าประชากรจากประเทศอินเดีย 2 เท่า ซึ่งมีสมมุติฐานว่าเกิดจากการเพิ่มชุดโครโมโซมเป็น 4 ชุดปลาดุกด้านในประเทศไทยยังพบว่าประชากรจากแหล่งอาศัยต่างกันก็มีความแตกต่างของโครโมโซมดิพลอยด์ ได้แก่ ประชากรจากจังหวัดขอนแก่นมีโครโมโซม-ดิพลอยด์เท่ากับ 100 แท่ง (NF=110) แตกต่างจากจังหวัดสกลนครมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 106 แท่ง (NF=126)ซึ่งสอดคล้องกับรายงานในประเทศอินเดีย ที่พบว่าทางฝั่งตะวันตกมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 50 แท่ง (NF=96) แตกต่างจากส่วนอื่นของประเทศที่มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 52 แท่ง (NF=58) นอกจากนี้รายงานการศึกษาในประเทศศรีลังกาพบว่าปลาดุกด้านมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 54 แท่ง (NF=74)

3. วงศ์ปลาสังกะวาด มีรายงานการศึกษา 8 ชนิดจาก 15 ชนิด ปลาวงศ์มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากันหมด คือ 60 แท่ง แต่จำนวนโครโมโซมพื้นฐานแตกต่างกันตั้งแต่ 96-118 แท่ง ตัวอย่างเช่น ปลาสังกะวาดเหลือง (*P. macronema)* จาก

จังหวัดนครพนม มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 60 แท่ง (NF=118) (ภาพที่ 2ข.) ปลาสวายหนู *(Helicophagus leptorhynchus)* มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 60 แท่ง (NF=96) (ภาพที่ 2ง.)

4. วงศ์ปลาเนื้ออ่อน มีรายงานการศึกษา 13 ชนิดจาก 28 ชนิด มีโครโมโซมดิพลอยด์ ที่หลากหลายตั้งแต่ 40-92 แท่ง (NF=54-116) ตัวอย่างเช่นปลาเค้าขาวมีโครโมโซมดิพลอยด์ เท่ากับ 88 แท่ง (NF=102) (ภาพที่1ฉ.) ปลาปึกไก่ (Micronemamoorei) มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 78 แท่ง (NF=102) (ภาพที่ 2ก.) ปลาน้ำเงิน (Phalacronotusapogon) มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 64 แท่ง (NF=108) (ภาพที่ 2 ค.)พบปลา 2 ชนิดที่มีความแตกต่างของโครโมโซมระหว่างประชากร ได้แก่ปลาชะโอนจากประเทศไทยมีโครโมโซมดิพลอยด์ เท่ากับ 50 แท่ง (NF=88) แตกต่างจากประเทศอินเดียมีโครโมโซมดิพลอยด์ในเพศเมียเท่ากับ 42 แท่ง (NF=72) และในเพศผู้เท่ากับ 41 แท่ง (NF=70) ปลาเค้าขาวจากประเทศไทยมีโครโมโซมดิพลอยด์ เท่ากับ 88 แท่ง (NF=110) แตกต่างจากประเทศอินเดีย ที่มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 86 แท่ง (NF=106 หรือ 116)

5. วงศ์ปลาแค้ มีรายงานการศึกษา 4 ชนิดจาก 19 ชนิดมีโครโมโซมดิพลอยด์ตั้งแต่ 56-62 แท่ง แต่ส่วนใหญ่เท่ากับ 56 แท่ง (NF=84-102) ตัวอย่างเช่นปลาแค้งู (Bagarius suchus) มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 56 แท่ง (NF=92) (ภาพที่1ง.)ปลาแค้วัว (B. bagarius) มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 56 แท่ง (NF=102) (ภาพที่ 1จ.)

ระบบโครโมโซมเพศในปลาหนังน้ำจืดของประเทศไทย

ในปลาน้ำจืดมีรายงานระบบของโครโมโซมเพศ 8 ระบบ โดย 4 ระบบแรกเพศผู้ มีโครโมโซมเพศที่แตกต่างกัน ได้แก่ XX/XY, XX/XO, X1X1X2X2/X1X2Y และ XX/XY1Y2ส่วนอีก 4 ระบบเพศเมียมีโครโมโซมเพศที่แตกต่างกันได้แก่ ZZ/ZW, ZZ/ZO, Z1Z1Z2Z2/Z1Z2W และ ZZ/ZW1W2 แต่ในรายงานส่วนใหญ่ที่พบว่ามีโครโมโซมเพศจะเป็นปลาน้ำจืดในเขตโลกใหม่ (ทวีปอเมริกา) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 98 สำหรับปลาหนังน้ำจืดในประเทศไทยมีรายงานโครโมโซมเพศเพียง 4 ชนิดจาก 2 วงศ์ คือ วงศ์ปลาดุก และวงศ์ปลาสังกะวาด ซึ่งมีระบบโครโมโซมเพศ 2 ระบบ คือ XX/XY และ ZZ/ZW ดังนี้

ระบบ XX/XY (เพศเมีย XX และเพศผู้ XY) มีรายงานการศึกษาพบในปลาดุกด้าน บางประชากรของประเทศไทยส่วนในประเทศอินเดีย ไม่มีรายงานพบโครโมโซมเพศ ปลาดุกอุยมีรายงานบางประชากรที่มีโครโมโซมเพศระบบ XX/XY แต่ในหลายรายงาน มีโครโมโซมเพศระบบ ZZ/ZW (เพศผู้ ZZ และเพศเมีย ZW) จึงจำเป็นต้อง

มีการศึกษาเพิ่มเติมอีกในหลายประชากรของประเทศไทย และปลาบึก (วงศ์ปลาสังกะวาด) มีรายงานพบโครโมโซมเพศระบบ XX/XY ในประชากรจากจังหวัดเชียงใหม่

ระบบ ZZ/ZW มีรายงานพบในปลา 2 ชนิดในวงศ์ปลาดุก คือปลาดุกอุยและปลาดุกยักษ์ที่เป็นปลาต่างประเทศนำเข้ามาเลี้ยง สำหรับรายงานการศึกษาจากต่างประเทศพบว่ามีชนิดของโครโมโซมเพศที่แตกต่างกัน(มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากัน) โดยปลาดุกยักษ์ในประเทศอิสราเอลมีโครโมโซม Z เป็นชนิดเทโลเซนทริก (Telocentric) และโครโมโซม W เป็นชนิดซับเมทาเซนทริก (Submetacentric) ส่วนในประเทศอียิปส์มีโครโมโซม Z เป็นชนิดซับเมทาเซนทริก และโครโมโซม W เป็นชนิดเทโลเซนทริก

นอกจากนี้โครโมโซมเพศระบบ XX/XY ยังพบได้ในปลาชะโอน (วงศ์ปลาเนื้ออ่อน)จากประชากรของประเทศอินเดีย แต่ในประเทศไทยยังไม่พบรายงานการศึกษาโดยปลาชะโอนจากเมืองฮายานา และอินเดียตะวันตกเพศผู้มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 41 แท่ง (NF=70) แต่เพศเมียมีโครโมโซมดิพลอยด์ เท่ากับ 42 แท่ง (NF=72) โดยโครโมโซมของเพศเมียที่เพิ่มมาจากเพศผู้เป็นโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก (Metacentric)

จากรายงานการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่าปลาหนังน้ำจืดของไทยมีโครโมโซมเพศเพียง 4 ชนิดเท่านั้นแสดงให้เห็นว่าปลาหนังน้ำจืดของประเทศไทยกำลังอยู่ในขั้นของการพัฒนาโครโมโซมเพศที่จะทำให้มีลักษณะรูปร่างของโครโมโซมเพศที่แตกต่างกันระหว่างปลาเพศผู้และเพศเมีย นอกจากนี้ความแตกต่างของโครโมโซมเพศดังกล่าวอาจจะไม่สามารถตรวจสอบได้จากการศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ในระดับพื้นฐาน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบด้วยวิธีการทางพันธุศาสตร์เซลล์ระดับโมเลกุล (Molecular cytogenetics)เนื่องจากสามารถที่จะทำการตรวจสอบในระดับตำแหน่งของยีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความเป็นเพศผู้หรือเพศเมีย

สาเหตุของความผันแปรของโครโมโซมในปลาหนังน้ำจืดของประเทศไทย

ความผันแปรของโครโมโซมในปลาน้ำจืดเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซมในกระบวนการวิวัฒนาการ ในปี ค.ศ. 2000 แกลเลทติ (Galetti) และคณะได้เสนอสมมุติฐานว่าบรรพบุรุษของปลาหนังที่อาศัยอยู่ในน้ำจืดปัจจุบันนี้มีวิวัฒนาการมาจากวงศ์ปลากดทะเล (Arridae) ที่มีโครโมโซมดิพลอยด์ระหว่าง 54-58 แท่ง (NF มากกว่า 80) สำหรับวิวัฒนาการของโครโมโซมในปลาน้ำจืด มีรายงานไว้ในปลาบางกลุ่มตัวอย่างเช่น ในวงศ์ปลาช่อน (Channidae) มีวิวัฒนาการของโครโมโซม โดยผ่านกระบวนการเชื่อมรวมกันตรงเซนโทรเมียร์ (Centric fusion)

เป็นผลทำให้เกิดการลดจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ลง กระบวนการหักและต่อสลับใหม่แบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วย (Pericentric inversion)โครโมโซมดิพลอยด์ไม่ลดลง แต่เป็นผลทำให้รูปร่างของโครโมโซมเปลี่ยนแปลงไป และกระบวนการเพิ่มชุดของโครโมโซม เป็นผลทำให้มีการเพิ่มจำนวนโครโมโซมเป็นชุดดังที่พบได้ในปลาก้าง (Channagachua)

ปลาน้ำจืดมีคาริโอไทป์ (Karyotype) ที่มีความหลากหลายมากกว่าปลาทะเล เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางทางภูมิศาสตร์ระหว่างประชากรสูงมากกว่าการกีดขวางส่งผลทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของยีน (Gene flow)ได้ต่ำซึ่งเป็นไปตามโมเดลพันธุศาสตร์ประชากรดั้งเดิมตามทฤษฎีของแลนเด (Lande) ค.ศ. 1979 ที่พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ระหว่างการไม่มีสิ่งขวางกั้นทางภูมิศาสตร์จากสภาพแวดล้อมของแหล่งอาศัยส่งผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมน้อยในทางตรงกันข้ามสำหรับกลุ่มปลาที่ถูกจำกัดการแพร่กระจายตัว ร่วมกับการที่มีสภาพแวดล้อมทางน้ำที่มีความแตกต่างกันมากพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมสูงมาก ซึ่งรวมถึงการพัฒนาเปลี่ยนแปลงในระดับประชากรด้วยจากสมมุติฐานดังกล่าวข้างต้นส่งผลทำให้ปลาหนังน้ำจืดมีคาริโอไทป์ที่หลากหลายทั้งระหว่างชนิด และภายในชนิดเดียวกันแต่ต่างประชากร จากการศึกษาพบว่ากลไกการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซมที่ทำให้เกิดความผันแปรของโครโมโซมปลาในหนังน้ำจืดของประเทศไทย จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่สำคัญ 4 กระบวนการได้แก่ 1) การหักและต่อสลับใหม่แบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วย 2) การเชื่อมรวมกันของโครโมโซม 3) การหักของชิ้นส่วนของโครโมโซม และ 4) การเพิ่มโครโมโซมเป็นชุด

ในปี ค.ศ. 1986 ชาร์มา (Sharma) และไตรพาทิ(Tripathi)ได้เสนอโครโมโซมดิพลอยด์ต้นแบบในวงศ์ปลากดปลาแขยง คือ 2n=56±2 กลไกการจัดเรียงตัวใหม่ที่มีบทบาทสำคัญต่อวิวัฒนาการของโครโมโซมในสกุลปลาแขยง (Mystus) คือการเชื่อมรวมและการแตกหักแบบโรเบิร์ตโซเนียน (Robertsonian fusion และ fission) ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้น่าจะมีบทบาทในสายวิวัฒนาการของโครโมโซมในปลาสกุลอื่นๆ ของวงศ์นี้ด้วย นอกจากนี้กระบวนการหักและต่อสลับใหม่แบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วยก็เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างของชนิดโครโมโซมในปลาวงศ์นี้ด้วย ปัจจัยสำคัญที่เหนี่ยวนำกระบวนการวิวัฒนาการของโครโมโซม จนทำให้มีความแตกต่างผันแปรสูงในปลาวงศ์นี้ คาดว่าเนื่องจากข้อจำกัดของแหล่งน้ำที่อยู่อาศัยที่ไม่ได้เชื่อมติดต่อถึงกันทั้งหมด ส่งผลทำให้ประชากรปลาถูกแยกออกจากกัน นอกจากนี้ยังพบว่าปลาในวงศ์ปลากดปลาแขยงนี้มีเพียงไม่กี่ชนิด ที่มีการแพร่กระจายในทุก

พื้นที่ของประเทศไทย ข้อจำกัดดังกล่าวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของยีน (Gene flow) ระหว่างประชากร และทำให้แต่ละประชากรต่างวิวัฒนาการแยกตัวไปได้อย่างอิสระ อันนำไปสู่ความผันแปรของโครโมโซมในปลาวงศ์นี้

วงศ์ปลาดุกเป็นอีกวงศ์หนึ่งที่มีความน่าสนใจแม้จะมีรายงานการศึกษาเพียงไม่กี่ชนิด แต่พบว่ามีความผันแปรของโครโมโซมสูงมาก กลไกในการวิวัฒนาการของโครโมโซมในปลาวงศ์นี้ เกี่ยวข้องกับกระบวนการเพิ่มโครโมโซมเป็นชุดร่วมกับกระบวนการอื่นๆ คาริโอไทป์ของปลาดุกด้านในประเทศไทยมีโครโมโซมดิพลอยด์อยู่ระหว่าง 100-106 แท่ง คาดว่ามีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกับปลาดุกด้านจากอินเดีย (2n=50-54) โดยผ่านการเพิ่มโครโมโซมเป็นชุด ซึ่งกลไกดังกล่าวเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ปัจจัยที่เหนี่ยวนำทำให้เกิด ได้แก่ สภาพของอากาศที่เย็น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ข้อได้เปรียบของปลาที่เกิดจากการเพิ่มชุดโครโมโซม คือ จะเพิ่มความสามารถในการมีชีวิตรอด เพิ่มการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมใหม่ และเพิ่มความสำเร็จในการสืบพันธุ์ จึงคาดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้ในประเทศไทยไม่พบปลาดุกด้านที่มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 50-54 แท่ง สำหรับในปลาดุกอุยและปลาดุกยักษ์ มีโครโมโซมเพศที่มีรูปร่างแตกต่างระหว่างเพศผู้และเพศเมีย และมีความแตกต่างผันแปรของโครโมโซมในแต่ละประชากร คาดว่าเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซม โดยผ่านกระบวนการหักและต่อสลับใหม่แบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วย

วงศ์ปลาสังกะวาดเป็นวงศ์ที่มีการอนุรักษ์ (Conserved) โครโมโซมดิพลอยด์สูงกว่าปลาวงศ์อื่นๆ เนื่องจากปลาทุกชนิดในวงศ์นี้มีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 60 แท่ง แต่มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานแตกต่างกันกันในปลาแต่ละชนิด กลไกการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซมในปลาวงศ์นี้ เกี่ยวข้องกับการหักและต่อสลับใหม่แบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วย ทำให้ปลาแต่ละชนิดมีชนิดและจำนวนโครโมโซมที่แตกต่างกัน แต่มีโครโมโซมดิพลอยด์ที่ไม่เปลี่ยนแปลง

วงศ์ปลาเนื้ออ่อนเป็นวงศ์ที่มีความหลากหลายของโครโมโซมสูงมาก เนื่องจากปลาในวงศ์นี้อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่หลากหลายตั้งแต่ลำธารเล็กๆ บนภูเขา แม่น้ำสายหลัก คลอง หนอง บึง ตลอดจนพื้นที่ชุ่มน้ำที่เรียกว่า “พรุ” ในบางชนิดเป็นชนิดพันธุ์เฉพาะถิ่น (Endemic) ของประเทศไทย จึงทำให้ในหลายๆ ชนิดของปลาวงศ์นี้มีการแพร่กระจายตัวที่แคบ มีประชากรขนาดเล็กและแหล่งน้ำที่อาศัยก็เป็นสิ่งขวางกั้นทางภูมิศาสตร์ ปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซมค่อนข้างสูง กระบวนการที่เกี่ยวข้องในระหว่างการวิวัฒนาการของโครโมโซมของปลาในวงศ์นี้

ได้แก่ การหักและต่อสลับใหม่แบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วย การเชื่อมรวมกันของโครโมโซม และการหักของชิ้นส่วนของโครโมโซม

จากภาพที่ 1 และ 2 เป็นตัวอย่างอันดับปลาหนังน้ำจืดในประเทศไทย 12 ชนิด ที่กลุ่มของผู้เขียนได้ทำการศึกษาโครโมโซม (กำลังอยู่ในช่วงการเตรียมต้นฉบับเพื่อการตีพิมพ์) มี 2 ชนิด ที่ยังไม่มีข้อมูลการศึกษาโครโมโซมมาก่อนหน้านี้ คือ ปลาปึกไก่ และปลาสวายหนู และมีอีก 1 ชนิด ที่มีโครโมโซมดิพลอยด์แตกต่างจากรายงานก่อนหน้านี้ คือ ปลาดุกด้านที่มีโครโมโซมดิพลอยด์มากที่สุด (2n=106) โดยเป็นตัวอย่างปลาจากลุ่มน้ำสงคราม จังหวัดสกลนคร จึงถือว่าเป็นรายงานของการค้นพบใหม่ ในขณะที่รายงานก่อนหน้านี้เป็นประชากรปลาจากจังหวัดขอนแก่น (2n=100) วิวัฒนาการของโครโมโซมปลาดุกด้านที่พบว่าในแต่ละประชากรมีความแตกต่างกัน คาดว่ามีสาเหตุมาจากเป็นปลาที่ถูกคุกคามในแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ (ถูกล่าเพื่อเป็นอาหาร) ทำให้มีประชากรมีขนาดเล็กลง ทำให้มีผลต่อวิวัฒนาการของโครโมโซมทั้งจำนวนและรูปร่างของโครโมโซม ในกรณีที่มีการศึกษาในหลายประชากรให้ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศไทย เราอาจที่จะพบรูปแบบของคาริโอไทป์ใหม่ๆ เช่น 2n=102, 2n=104 ซึ่งจะทำให้เราเข้าใจกลไกการวิวัฒนาการของปลาดุกด้านในประเทศไทยมากขึ้น สำหรับในปลาชนิดพันธุ์อื่นๆ ได้แก่ ปลาดุกอุย ปลาแขยงหิน ปลาแค้งู ปลาแค้วัว ปลาเค้าขาว ปลาสังกะวาดเหลือง ปลากดดำ และปลาแขยงธง แม้จะมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับรายงานที่ผ่านมา แต่พบว่ามีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานและชนิดของโครโมโซมที่มีความแตกต่างกัน ที่เป็นผลมาจากความผันแปรทางพันธุกรรมระหว่างประชากรที่แตกต่างกัน ดังที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้

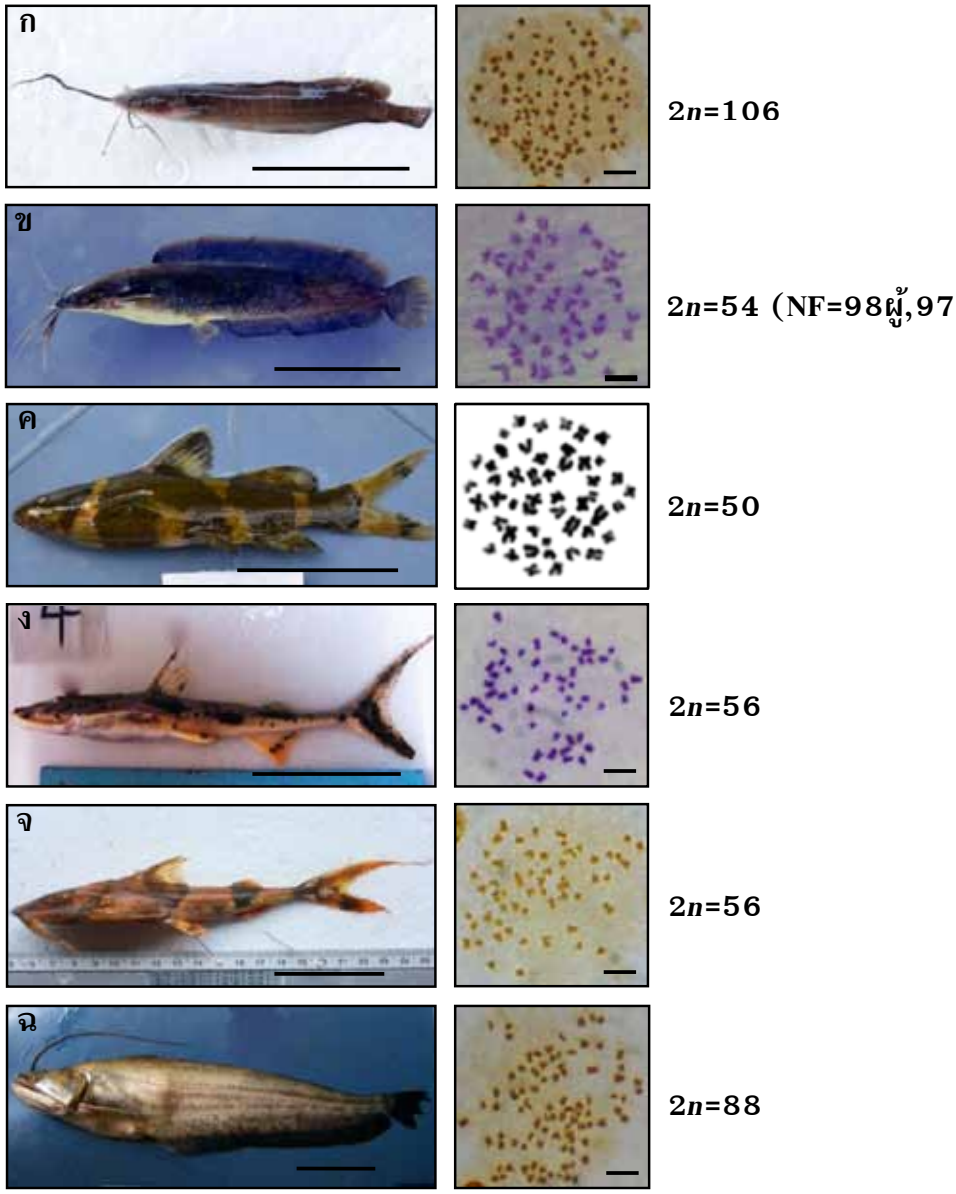
ตารางที่ 1 ลักษณะของคาริโอไทป์ในอันดับปลาหนังน้ำจืดของประเทศไทย

วงศ์	ชื่อภาษาไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	2*n*	NF	สูตรคาริโอไทป์	เพศ	แหล่งตัวอย่าง
ปลากด (Bagridae)	ดุกมูลครีบสูง	*Bagrichthy macra-canthus*	50	92	20m+14sm+8st+8t	-	หนองคาย
			50	94	16m+26sm+2st+6t	-	นครพนม
	ดุกมูล	*B. macropterus*	50	90	22m+18sm+10t	-	นนทบุรี
	แขยงเขา	*Batasio havmolleri*	80	128	32m+14sm+2st+32t	-	ภาคใต้
	กดเหลือง	*Hemibagrus nemurus*	58	114	28m+8sm+20st+2t	-	ลพบุรี
			56	100	20m+14sm+10st+12t	-	อินเดีย (แจมมู)
			56	102	32m+14sm+10t	-	อินเดีย (แอสซัม)
	กดดำ	*H. wyckii*	54	84	16m+14sm+24t	-	นครพนม
			62	114	34m+10sm+8st+10t	-	หนองคาย
	กดแก้ว	*H. wyckioides*	58	98	24m+10sm+6st+18t	-	หนองคาย
	แขยงแถบขาว	*Mystus albolineatus*	56	102	28m+6sm+12st+10t	-	อยุธยา
	แขยงข้างลาย	*M. atrifasciatus*	54	92	30m+8sm+16t	-	นครพนม
		M. multiradiatus	54	98	30m+10sm+4st+10t	-	กาญจนบุรี
		M. mysticetus	50	92	28m+14sm+8t	-	อยุธยา
	แขยงธง	*M. bocourti*	56	104	24m+18sm+6st+8t	-	หนองคาย
	แขยงหางจุด	*M. castaneus*	54	100	22m+18sm+6st+8t	-	ตราด
	แขยงใบข้าว	*M. singaringan*	56	104	24m+14sm+10st+8t	-	นครสวรรค์
	แขยงนวล	*M. wolffii*	58	100	26m+10sm+6st+16t	-	ตาก
	แขยงหิน	*Pseudomystus siamemsis*	50	96	20m+16sm+10st+4t	-	หนองคาย
	กดหัวเสียม	*Sperata acicularis*	56	100	30m+14sm+12t	-	แม่ฮ่องสอน
ปลาดุก (Clariidae)	ดุกด้าน	*Clarias batrachus*	100	110	4m+4sm+2st+90t	-	ขอนแก่น
		เพศเมีย	100	110	4m+6sm+78t+12mc	XX	ประเทศไทย
		เพศผู้	100	111	4m+7sm+77t+12mc	XY	ประเทศไทย
			106	126	6m+6sm+8a+86t	-	สกลนคร
			52	58	6m/sm+46st/t	-	อินเดีย
			50	88	16m+8sm+14st+12t	-	อินเดีย

		50	96	18m+20sm+8st+4t	-	อินเดียตะวันตก
		54	74	11m+7sm+2st+34t	-	ศรีลังกา
ดุกยักษ์	*C. gariepinus*	56	96	16m+14sm+10a+16t	ZW	ไทย
		56	102	20m+16sm+10a+10t	-	อินเดีย
	เพศเมีย	56	89	8m+25sm+23t	ZW	อิสราเอล
	เพศผู้	56	88	8m+24sm+24t	ZZ	อิสราเอล
	เพศเมีย	56	87	14m+17sm+25t	ZW	อียิปส์
	เพศผู้	56	88	14m+18sm+24t	ZZ	อียิปส์
ดุกลำพัน	*C. nieuhofii*	66	102	18m+10sm+8st+30t	-	กระบี่
ดุกอุย	*C. macrocephalus*	54	100	30m+12sm+4st+8t	-	นครสวรรค์
		54	104	24m+20sm+6st+4t	XX/XY	ประเทศไทย
		54	97	17m+18sm+8st+11t	ZW	พะเยา
	เพศเมีย	54	97	21m+12sm+10a+11t	ZW	ขอนแก่น
	เพศผู้	54	98	22m+12sm+10a+10t	ZZ	ขอนแก่น
		54	98	22m+18sm+4st+10t	-	ศรีลังกา
สวายหนู	*Helicophagus leptorhynchus*	60	96	8m+12sm+16a+24t	-	มหาสารคาม
บึก	*Pangasianodon gigas*	60	112	32m+8sm+12st+8t	-	หนองคาย
		60	110	10m+26sm+14st+10t	XX/XY	เชียงใหม่
สวาย	*P. hypophthalmus*	60	96	20m+12sm+4st+24t	-	นครสวรรค์
เผาะ	*Pangasius conchophilus*	60	106	18m+18sm+10st+14t	-	นครพนม
เทโพ	*P. larnaudii*	60	108	24m+20sm+4st+12t	-	นครสวรรค์
สังกะวาดเหลือง	*P. macronema*	60	102	20m+10sm+12st+18t	-	กาญจนบุรี
		60	118	26m+16sm+16a+2t	-	นครพนม
เทพา	*P. sanitwongsei*	60	104	20m+6sm+18st+16t	-	หนองคาย
สังกะวาดท้องคม	*Pseudolais pleurotaenia*	60	96	22m+8sm+6st+24t	-	นครพนม
คางเบือน	*Belodontichthys dinema*	62	100	20m+10sm+8st+24t	-	นครพนม
ก้างพระร่วง	*Kryptopterus bichirris*	64	98	20m+10sm+4st+30t	-	ภาคใต้

	เนื้ออ่อน	*K. cryptopterus*	92	110	8m+10a+74t	-	อุทัยธานี
	ผี	*K. macrocephalus*	62	98	24m+12sm+26t	-	นราธิวาส
	ปึกไก่	*Micronema moorei*	78	102	6m+8sm+10st+54t	-	สิงห์บุรี
	ชะโอน	*Ompok bimaculatus*	50	88	34m+2sm+2st+12t	-	อยุธยา
		เพศเมีย	42	72	18m+12sm+12t	XX	อินเดีย(ฮายานา)
		เพศผู้	41	70	17m+12sm+12t	XY	อินเดีย (ฮายานา)
			42	72	6m+24sm+12t		อินเดีย ตะวันตก
			41	70	5m+24sm+12t		อินเดีย ตะวันตก
	ชะโอนพรุ	*O. fumidus*	60	84	20m+2sm+2st+36t	-	นราธิวาส
	น้ำเงิน	*Phalacronotus apogon*	64	108	18m+20sm+6a+20t	-	มหาสารคาม
	แดง	*P. bleekeri*	64	90	20m+6sm+2st+36t	-	หนองคาย
	ลิ้นแมว	*Silurichthys phaiosoma*	40	54	2m+4sm+8st+26t	-	นราธิวาส
	ชะโอนหิน	*S. schneideri*	40	54	6m+4sm+4st+26t	-	ตราด
	เค้าขาว	*Wallago attu*	88	110	16m+2sm+4st+66t	-	หนองคาย
			86	106	12m+6sm+2st+66t	-	อินเดีย(ฮายาน่า)
			86	116	10m+12sm+8st+56t	-	อินเดีย (แจงมู)
	เค้าดำ	*W. leerii*	56	86	26m+4sm+26t	-	อยุธยา
ปลาแค้ (Sisoridae)	แค้วัว	*Bagarius bagarius*	56	84	16m+10sm+2st+28t	-	นครพนม
			56	102	18m+12sm+16a+10t	-	มหาสารคาม
	แค้งู	*B. suchus*	56	92	16m+16sm+4st+20t	-	นครสวรรค์
	แค้ควาย	*B. yarrelli*	56	96	14m+20sm+6st+16t	-	นครสวรรค์
	แค้ติดหินสามแถบ	*Glyptothorax trilineatus*	62	92	16m+12sm+2st+32t		ภาคใต้

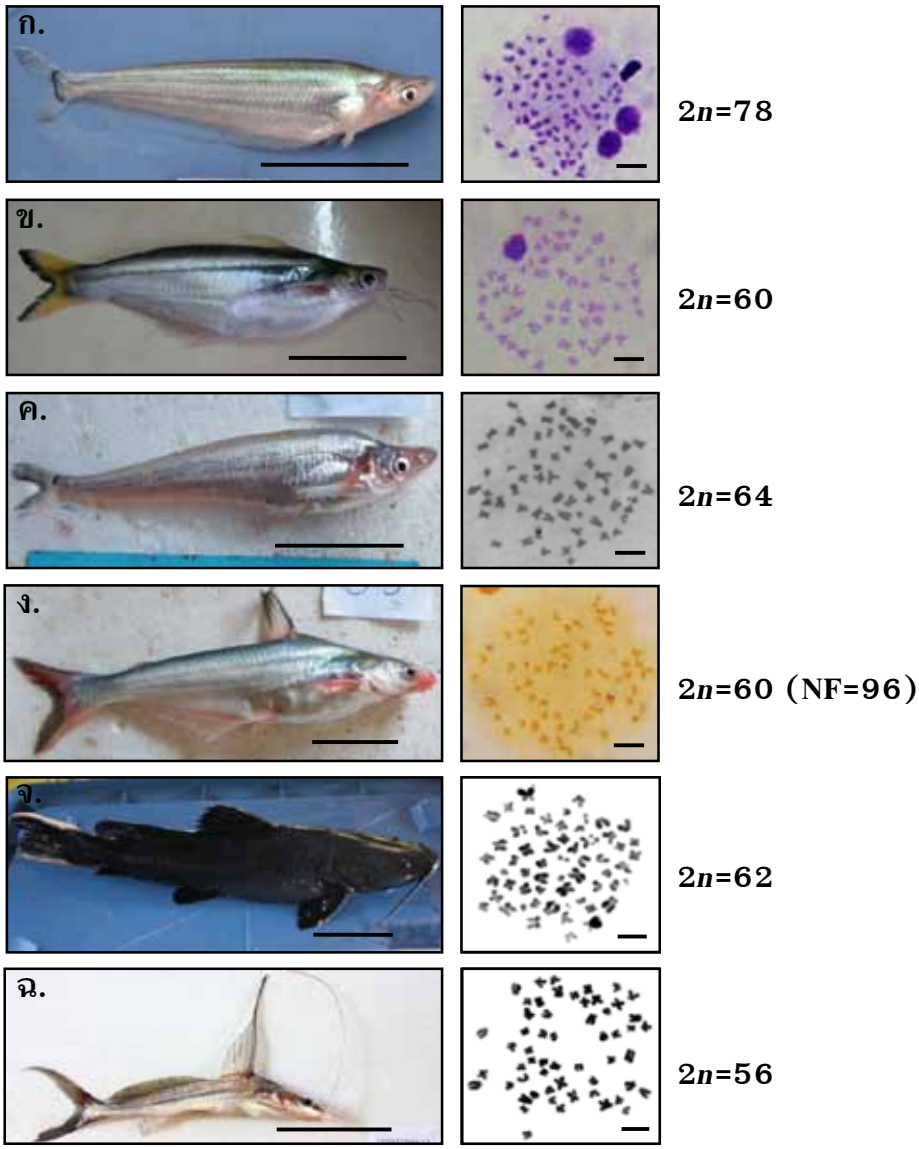
หมายเหตุ : 2n = โครโมโวมดิพลอยด์, NF = โครโมโซมพื้นฐาน, m = โครโมโซมเมทาเซนทริก, sm = โครโมโซมซับเมทาเซนทริก, a = โครโมโซมอะโครเซนทริก, st = โครโมโซมซับเทโลเซนทริก, t = โครโมโซมเทโลเซนทริก และ mc = โครโมโซมขนาดเล็กคล้ายจุด



ภาพที่ 1 ปลาหนังและเมทาเฟสโครโมโซมของปลาดุกด้าน (ก.) ปลาดุกอุย (ข.) ปลาแขยงหิน (ค.) ปลาแค้ง (ง.) ปลาแค้วัว (จ.) และปลาเค้าขาว (ฉ.) สเกลบาร์ภาพปลา 5 ซม. และเมทาเฟสโครโมโซม 5 ไมโครเมตร

ที่มา : วีระยุทธ สุภิวงค์ (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

Cytologia,74(3): 317-322.



ภาพที่ 2 ปลาหนังและเมทาเฟสโครโมโซมของปลาปึกไก่ (ก.) ปลาสังกะวาดเหลือง (ข.) ปลาน้ำเงิน (ค.) ปลาสวายหนู (ง.) ปลากดดำ (จ.) และปลาแขยงธง (ฉ.) สเกลบาร์ภาพปลา 5 ซม. และเมทาเฟสโครโมโซม 5 ไมโครเมตร

ที่มา : วีระยุทธ สุภิวงค์ (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)

สรุป

อันดับปลาหนังน้ำจืดของประเทศไทยมีรายงานโครโมโซมเพียง 42 ชนิดจาก 5 วงศ์ เป็นกลุ่มปลาที่มีความหลากหลายของโครโมโซมและความผันแปรภายในชนิดเดียวกันสูง แต่ยังมีปลาถึง 78 ชนิด และอีก 5 วงศ์ที่ยังไม่มีรายงานการศึกษา ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับพันธุศาสตร์เซลล์อย่างเร่งด่วน เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ที่มีความสำคัญต่อการศึกษา การวางแผน การจัดการความหลากหลายทางชีวภาพที่เหมาะสมและยั่งยืนต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

เกรียงไกร สีตะพันธุ์. (2552). ความหลากหลายของโครโมโซมในปลาน้ำจืดของประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์มข, 37*(1), 1-12.

ชวลิต วิทยานนท์. (2548). *คู่มือปลาน้ำจืด*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สารคดี.

อมรา คัมภิรานนท์. (2546). *พันธุศาสตร์เซลล์*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อลงกลด แทนออมทอง. (2554). *พันธุศาสตร์เซลล์*. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Arai, R. (2011). *Fish karyotype a check list*. Japan: Springer.

Ferraris, C.J. (2007). Checklist ofcatfishes, recentand fossil (Osteichthyes: Siluriformes), and catalogue ofsiluriformprimarytypes. *Zootaxa*, 141, 1-628.

Galetti Jr.P.M., Aguilar, C.T. & Molina. W. F. (2000). An overview of marine fish cytogenetics. Hydrobiologia, 420, 55-62.

Lande, R. (1979). Effective dame sizes during long-term evolution estimated from rates of chromosomal rearrangement. *Evolution*, 33, 234-251.

Leggatt, R. A. & Iwama, G. K. (2003). Occurrence of polyploidy in the fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13, 237-246.

Sharma, O. P. and Tripathi, N. K. (1986). Karyotypic diversity in genus Mystus (Bagridae: Pisces). *Cytologia*, 51, 1-9.

Supiwong, W., Jearranaiprepame, P. & Tanomtong, A. (2009). A new report of karyotype in the chevron snakehead fish, Channastriata (Channidae, Pisces) from Northeast Thailand.