

บีโครโมโซมในปลา

พรณรงค์ สิริปิยะสิงห์¹ พันธิวา แก้วมาตย์² และวีรยุทธ สุภิวงศ์³
Pornarong Siripiyasing¹ Puntivar Kaewmad² and Weerayut Supiwong³

บทนำ

จากการรายงานจำนวนปลาในโลกนี้ นั้นพบว่าปลาเป็นกลุ่มสัตว์ที่มีความหลากหลายชนิดมากที่สุดของกลุ่มสัตว์มีกระดูกสันหลัง และปลายังเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจมากที่สุดในการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและวิวัฒนาการ ในปัจจุบันกลุ่มนักวิทยาศาสตร์มีความสนใจเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับบีโครโมโซม (B chromosome) เนื่องจากเป็นส่วนพันธุกรรมที่เกินมาและพบได้ในประชากรตามธรรมชาติโดยไม่ถูกกำจัดทิ้งระหว่างกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ แม้ว่าจะยังไม่มีข้อมูลเชิงลึกถึงองค์ประกอบโครงสร้าง หน้าที่ และจุดกำเนิดของบีโครโมโซม แต่ก็มีรายงานเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับบีโครโมโซมเพื่อที่จะอธิบายถึงโครงสร้าง หน้าที่ จุดกำเนิด รวมถึงพฤติกรรมของโครโมโซม ซึ่งได้เรียบเรียงไว้ในบทความดังกล่าวต่อไป

จำนวนของบีโครโมโซมในปลา

บีโครโมโซมเป็นโครโมโซมที่เพิ่มขึ้นมาจากคาริโอไทป์ปกติ ซึ่งพบได้บางตัวของสิ่งมีชีวิตบางชนิด ส่วนใหญ่โครโมโซมเหล่านี้มาจากโครโมโซมร่างกายหรือโครโมโซมปกติที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต (Camacho *et al.*, 2000) บีโครโมโซม อาจมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่นโครโมโซมที่เกินมา (supernumerary chromosome), โครโมโซมประกอบ (accessory chromosome) หรือโครโมโซมพิเศษ (extra chromosome) ในชนิดพันธุ์ของกลุ่มสัตว์ปีกและสัตว์เลื้อยคลาน จะมีลักษณะคาริโอไทป์ที่แตกต่างไปจากสัตว์กลุ่มอื่น ๆ คือ จีโนมจะมีขนาดที่แตกต่างกันมากแยกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มของโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่ (macro chromosome) และกลุ่มของโครโมโซมที่มีขนาดเล็ก (micro chromosome) กลุ่มโครโมโซมที่มีขนาดเล็กจะมีจำนวนมากกว่ากลุ่มที่มีขนาดใหญ่ เราจึงอาจจะจัดให้กลุ่มที่มีโครโมโซมขนาดเล็กเป็นโครโมโซมที่เกินมา (supernumerary chromosome) ด้วย

สำหรับในปลา บีโครโมโซมถูกพบครั้งแรกในปลาอันดับ (Order) ปลาตะเพียนกินเนื้อ (Characiformes) วงศ์ Prochilodontidae คือปลาอินซีเนตียักษ์ (*Prochilodus lineatus*) โดย Pauls and Bertollo (1983) หลังจากนั้นก็มีค้นพบบีโครโมโซมในปลาเพิ่มขึ้น เช่น ปลาน้ำจืดของทวีปอเมริกาในจำนวน 946 ชนิด พบบีโครโมโซม 65 ชนิด ทั่วโลกมีรายงานบีโครโมโซมในปลาทั้งสิ้น 69 ชนิด จำนวน 9 อันดับ โดย 8 อันดับเป็นปลาน้ำจืด และมีรายงานเพียงชนิดเดียว คือ *Sphoeroides spengleri* เป็นปลาน้ำเค็มที่มีรายงานบีโครโมโซม (Alves *et al.*, 2008)

ในระหว่างปลาที่พบบีโครโมโซม พบว่าอันดับปลาตะเพียนกินเนื้อที่มีจำนวนชนิดปลาที่พบบีโครโมโซมมากที่สุดถึง 31 ชนิด ในจำนวน 6 วงศ์ คิดเป็นร้อยละ 45.59 ของปลาทั้งหมดที่มีบีโครโมโซม แต่ละวงศ์พบบีโครโมโซมดังนี้ วงศ์ Characidae, Crenuchidae, Curimatidae, Prochilodontidae, Anostomidae และ Parodontidae

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

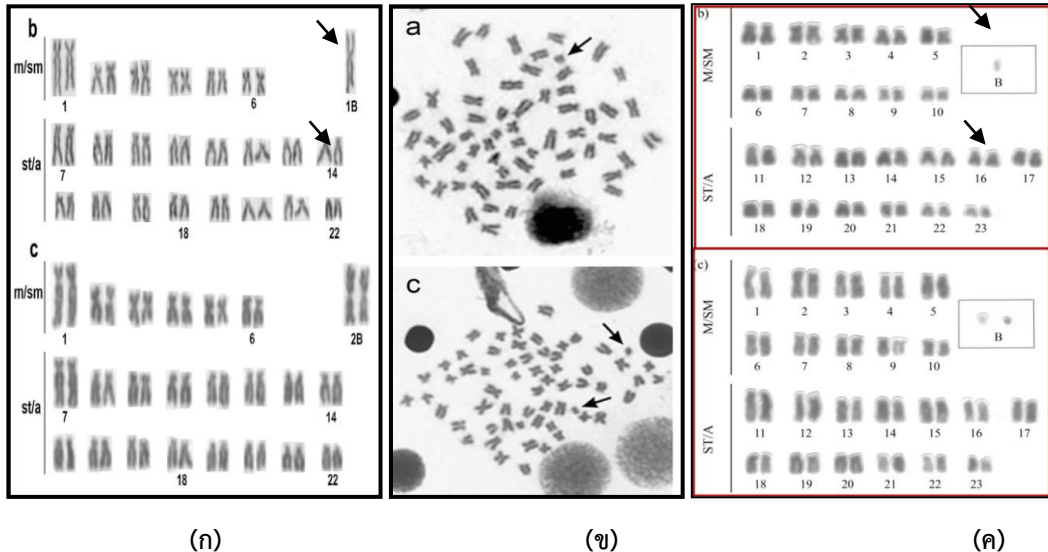
³ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พบ 14, 5, 4, 4, 3 และ 1 ชนิด ตามลำดับ (Carvalho *et al.*, 2008) บีโครโมโซมของปลาในอันดับนี้มีความแตกต่างผันแปรในเรื่องลักษณะรูปร่าง ขนาด และจำนวน บีโครโมโซมที่มีขนาดเล็ก พบในสกุล *Schizodon* spp., *Astyanax* spp., *Moenkhausia* spp., *Cyphocharax* spp., *Steindachnerina* spp. และ *Prochilodus* spp. บีโครโมโซมขนาดใหญ่พบใน *Astyanax scabripinnis* และ *Astyanax scabripinnis paranae* ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าโครโมโซมคู่ที่ใหญ่ที่สุดของคาร์โอโทปิกติ จำนวนบีโครโมโซมที่พบมากที่สุดที่อันดับนี้พบถึง 9 แห่งในปลามอนฮอกเซีย (*Moenkhausia sanctaefilomenae*) (Sobrinho *et al.*, 2006)

ในอันดับปลาเนื้ออ่อนพบบีโครโมโซมทั้งหมด 22 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 32.35 ของปลาทั้งหมดที่มีบีโครโมโซม แต่ละวงศ์มีจำนวนชนิดที่พบบีโครโมโซม ดังนี้ วงศ์ Heptapteridae, Loricariidae, Pimelodidae, Callichthyidae, Auchenipteridae และ Trichomycteridae พบ 7, 6, 5, 2, 1 และ 1 ชนิด ตามลำดับ (Carvalho *et al.*, 2008; Lui *et al.*, 2009) ปลาในสกุล *Rhamdia* spp. ขนาดของบีโครโมโซมผันแปรตั้งแต่โครโมโซมขนาดเล็ก จนถึงโครโมโซมขนาดกลาง-ขนาดใหญ่ จำนวนบีโครโมโซมที่พบสูงสุดในปลาสกุลนี้เท่ากับ 7 แห่งในปลา *R. quelen* จากแม่น้ำ Uberabinha ที่ศึกษาโดย Guilherme (Carvalho *et al.*, 2008)

ส่วนปลาที่จัดอยู่ในอันดับ Perciformes พบบีโครโมโซมเพียง 1 วงศ์ คือ Cichlidae จำนวน 8 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 11.76 ของปลาทั้งหมดที่มีบีโครโมโซม ปลาในวงศ์นี้มี 1 ชนิดที่เป็นปลาจากทวีปแอฟริกา คือ *Haplochromis obliquidens* (Poletto *et al.* 2010) พบบีโครโมโซมขนาดใหญ่ ส่วนชนิดอื่นๆ บีโครโมโซมมีขนาดเล็ก ปลาอันดับ Perciformes นี้พบบีโครโมโซมสูงสุดถึง 4 แห่งในระยะการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของปลา *Gymnogeophagus balzanii* (Feldberg and Bertollo, 1984) จำนวนตัวของปลาในประชากรที่ความถี่ของบีโครโมโซมสูง เช่น ปลา *Cichla* spp. มีบีโครโมโซมมากถึง 4 แห่ง จากจำนวนปลา 11 ตัว คิดเป็น 36.4% (Feldberg *et al.*, 2004) ในอันดับ Cypriniformes รายงานว่ามี 2 ชนิด ในวงศ์ Cyprinidae ได้แก่ ปลา *Alburnus alburnus* และปลา *Rutilus rutilus* มีบีโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่กว่าโครโมโซมแห่งอื่น ๆ จำนวนสูงสุด 2 แห่ง (Ziegler *et al.*, 2003) ในอันดับ Cyprinodontiformes มี 2 วงศ์ 2 ชนิด ได้แก่ วงศ์ Cyprinodontidae พบในปลา *Orestias chungarensis* (Iturra *et al.*, 2006) และในวงศ์ Poeciliidae พบในปลา *Poecilia formosa* (Lamatsch *et al.*, 2004) จะมีบีโครโมโซมขนาดเล็กจำนวนสูงสุด 3 แห่งในอันดับ Gymnotiformes พบ 1 ชนิด ในวงศ์ Apterontidae คือปลา *Apterontus albifrons* (Mendes *et al.*, 2006) มีจำนวนบีโครโมโซมสูงสุด 4 แห่ง เป็นชนิดเทโลเซนทริก และอันดับ Beloniformes มีรายงานเพียง 1 ชนิด ในปลา *Strongylura hubbsi* (Pastori *et al.*, 1998) และอันดับ Tetraodontiformes มีรายงานไว้ 1 ชนิด คือปลา *Sphoeroides spengleri* ซึ่งเป็นรายงานแรกในปลาน้ำเค็ม พบบีโครโมโซมจำนวน 2 แห่ง (Alves *et al.*, 2008)

ปลาต่างชนิดอาจมีจำนวนบีโครโมโซมเท่ากันหรือต่างกันก็ได้ มีจำนวนบีโครโมโซมตั้งแต่ 1-8 แห่ง แต่ในปลา *Callichthys callichthys* มีจำนวนมากที่สุดถึง 16 แห่ง ขนาดของบีโครโมโซมมีความแตกต่างกัน โดยพบตั้งแต่โครโมโซมขนาดใหญ่ที่พบในปลา *Astyanax* spp., *Haplochromis obliquidens* และ *Alburnus alburnus* โครโมโซมขนาดกลางในปลา *Rhamdia* spp., *Characidium* cf. *zebra* โครโมโซมขนาดเล็ก เช่น ในปลา *Parauchenipterus galeatus*, *Leporinus* spp. จนถึงโครโมโซมขนาดเล็กมาก เช่น ในปลา *Prochilodus* spp., *Cichla* spp. เป็นต้นและปลาชนิดเดียวกัน แต่ละตัวที่พบบีโครโมโซม อาจจะมีจำนวนเท่ากันหรือต่างกันเป็นความผันแปรระหว่างแต่ละตัว (inter individual variation) ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างความผันแปรของจำนวนปีโครโมโซมในปลา ปีโครโมโซมที่พบในปลา *Haplochromis obliquidens* (Poletto *et al.* 2010) (ก), ปลา *Parauchenipterus galeatus* (Lui *et al.*, 2009) (ข) และปลา *Sphaeroides spengleri* (Alves *et al.*, 2008) (ค) ในประชากรพบปีโครโมโซมได้ทั้ง 1 หรือ 2 แท่ง

Jones and Rees (1982) เป็นบุคคลแรกที่ได้อธิบายลักษณะของปีโครโมโซม ดังนี้ (1) ปีโครโมโซมไม่ได้มีความสำคัญต่อการสืบพันธุ์ การพัฒนาการ และการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต (2) ปีโครโมโซมปรากฏว่ามีความแตกต่างผันแปรภายในตัวเดียว และระหว่างแต่ละตัว ในเรื่องจำนวน ความถี่ที่พบ และยังแตกต่างในเรื่องรูปร่างของปีโครโมโซมในตัวอย่างที่ต่างกัน (3) ปีโครโมโซมไม่มีความเหมือนที่เข้าคู่กันได้กับโครโมโซมแท่งใดๆ ของคาริโอไทป์ปกติ (4) โดยทั่วไปปีโครโมโซมประกอบด้วยส่วนที่เป็นเฮเทอโรโครมาทิน ไม่มีองค์ประกอบที่เป็นยีน ดังนั้นจึงไม่มีผลในระดับฟีโนไทป์ที่ตรวจสอบได้ (5) ปีโครโมโซมไม่ได้ถ่ายทอดตามกฎของเมนเดลไม่มีรูปแบบที่แน่นอนของการแบ่งเซลล์ทั้งแบ่งไมโทซิส และไมโอซิส ต่อมาได้มีการศึกษาเพิ่มเติมมากขึ้น และทำให้มีความเข้าใจลักษณะที่สำคัญและมีเหตุผลอธิบายลักษณะดังที่กล่าวข้างต้น

Carvalho *et al.* (2008) กล่าวว่าปีโครโมโซมที่พบในปลา มีความแตกต่างผันแปรในเรื่องจำนวน พบได้ภายในตัวเดียวกัน (intra individual variation) และคนละตัวในชนิดเดียวกัน เช่นปลา *Leporinus* spp. พบ 80%, *Prochilodus nigracons* พบ 85% , *Characidium cf. zebra* พบ 25% ของเซลล์ทั้งหมด (Venere *et al.*, 1999) และอีกหลายๆ ชนิด แสดงถึงความไม่มีเสถียรภาพของการแบ่งเซลล์ ซึ่งเป็นลักษณะหลักๆ ของปีโครโมโซมที่พบในปลาจากทวีปอเมริกา อาจเป็นไปได้ว่าเกิดมาจากพฤติกรรมที่ไม่ได้ถ่ายทอดตามกฎของเมนเดลระหว่างที่มีการแบ่งเซลล์ อย่างไรก็ตาม ในปลาบางชนิด ปีโครโมโซมอาจพบสูงถึง 100% ของเซลล์ที่วิเคราะห์ในแต่ละตัว เช่นที่พบใน *Leporinus friderici* (Venere *et al.*, 1999), *Astyanax fasciatus* and *A. scabripinnis* (Moreira-Filho *et al.*, 2001; Fernandes and Martins-Santos, 2005) ระหว่างปลาอื่นๆ ปีโครโมโซมซึ่งพบคงที่ในแต่ละตัวสามารถพิจารณาได้ว่ามีเสถียรภาพของการแบ่งเซลล์ บางทีอาจเป็นความสามารถของการคงอยู่ภายในชนิดหรือภายในประชากร สำหรับชั่วรุ่นทั่วไป

สมมุติฐานเกี่ยวกับจุดกำเนิดและวิวัฒนาการของบีโครโมโซม

สมมุติฐานที่อธิบายถึงจุดกำเนิดของบีโครโมโซม เช่น การเข้าสู่กันของโครโมโซมร่างกาย การเกิดเป็นไฮโซโครโมโซม(ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของเซนโทรเมียร์ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซม หรือจากการเพิ่มขึ้นส่วนของบริเวณที่เกิดจากการหักโดยไม่รวมเซนโทรเมียร์) (Carvalho *et al.*, 2008) Moreira-Filho (2006) อธิบายความสัมพันธ์ของของบีโครโมโซมในปลาของทวีปอเมริกา ว่ามีความเป็นไปได้ที่บีโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริกจะมีจุดกำเนิดมาจากไฮโซโครโมโซม

Camacho *et al.* (2000) มีความคิดเห็นว่าบีโครโมโซมมีจุดกำเนิดที่เฉพาะของสิ่งมีชีวิต (intra specific origin) โดยมาจากชิ้นส่วนโครโมโซมมาตรฐานหรือโครโมโซมปกติ หรือกำเนิดมาจากการผสมข้ามชนิดพันธุ์ (inter specific origin) บีโครโมโซมอาจจะเป็นทั้งผลพลอยได้ของการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซมหรือผลพลอยได้จากโครโมโซมที่ได้รับความเสียหาย จุดกำเนิดของบีโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวคาดว่ามี 2 สาเหตุหลัก คือ ชิ้นส่วนของโครโมโซมขาดจากกันระหว่างที่มีการแบ่งเซลล์แต่ไม่ถูกกำจัดทิ้ง อีกสาเหตุคือเกิดจากโลหะหนักที่ก่อให้เกิดการกลายหรือมิวเทชัน (mutation) เช่นปรอท (Feldberg *et al.*, 2004)

การพิจารณาถึงสมมุติฐานของจุดกำเนิดของบีโครโมโซมระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิด ได้ร่องรอยบางอย่างของปลาสกุล *Cichla* spp. แต่ไม่ใช่สกุล *Crenicichla* spp. มีการเกิดผสมข้ามชนิดในธรรมชาติ หลักฐานที่บ่งชี้คือ ดีเอ็นเอไมโทคอนเดรีย เอนไซม์เอสเทอร์ส และข้อมูลโครโมโซม (Feldberg *et al.*, 2004) ดังนั้น *Cichla* spp. จึงเหมาะที่จะเป็นต้นแบบของการศึกษาเป็นอย่างดี ข้อมูลโครโมโซมที่แสดงถึงลูกผสมที่อาจเกิดขึ้นระหว่าง *Cichla monoculus* กับ *C. temensis* และจุดกำเนิดของปลาสกุล *Cichla* spp. จากกระบวนการนี้ ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาได้ว่าระหว่างที่โครโมโซมของ *Cichla* spp. ชนิดหนึ่งเข้าสู่กับโครโมโซมของอีกชนิดหนึ่ง อาจเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซมขึ้น และในระหว่างนั้นอาจเกิดการหักของชิ้นส่วนโครโมโซมแปลกปลอม นำไปสู่การขาดเสถียรภาพของเซลล์ขึ้นส่งผลให้เกิดมีบีโครโมโซม อย่างไรก็ตามกลไกที่มีอิทธิพลต่อการรักษาโครโมโซมขนาดเล็กซึ่งเปรียบเสมือนโครโมโซมส่วนเกินหรือบีโครโมโซมไว้ในเซลล์เหล่านี้นี้ยังไม่ชัดเจน

ในปลา *Astyanax scabripinnis* ที่มีบีโครโมโซมเป็นชนิดเมทาเซนทริกขนาดใหญ่ ที่พบได้ทั่วไปในประชากรที่ต่างกันหรือลักษณะลุ่มน้ำที่แตกต่างกัน บางทีอาจเป็นบีโครโมโซมบรรพบุรุษของปลาชนิดนี้ Mestriner *et al.* (2000) นำเสนอลักษณะโครงสร้างและหน้าที่ของเมทาเซนทริกบีโครโมโซมขนาดใหญ่ ว่าสนับสนุนอย่างมากต่อสมมุติฐานที่ว่าไฮโซโครโมโซม เช่นเดียวกับในปลา *Rhamdia hilarii* บีโครโมโซมเป็นชนิดเมทาเซนทริกที่มีเฮเทอโรโครมาทินกระจายตัวคล้ายๆ กันในตำแหน่งตอนปลายทั้งสองแขนของโครโมโซม สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าบีโครโมโซมของ *Rhamdia* spp. อาจมีจุดกำเนิดโดยกระบวนการแบ่งเซนโทรเมียร์ตามขวางในโครโมโซมแท่งใดแท่งหนึ่งของคาริโอไทป์ปกติซึ่งมีกลุ่มของเฮเทอโรโครมาทินขนาดเล็กตรงตำแหน่งเทโลเมียร์ เป็นจุดเริ่มต้นของไฮโซโครโมโซม (Maistro *et al.*, 2002) ตามเหตุผลของผู้ศึกษา ไฮโซโครโมโซมนี้อาจจะแยกตัว โดยไม่ปฏิบัติตามกฎการแยกตัวของเมนเดล และเป็นจุดกำเนิดของระบบบีโครโมโซมที่มีความแตกต่างผันแปร ที่พบได้ในปลาชนิดนี้

Maistro *et al.* (2000) เสนอว่าการคงอยู่ของกลุ่มที่แตกต่างกันของดีเอ็นเอที่มีลำดับเบสซ้ำๆ ในปริมาณสูงในจีโนมของ *Protilodus lineatus* ภายหลังจากการย่อยโครโมโซมด้วยเอนไซม์เอนโดนิวคลีเอส และยังแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของบีโครโมโซมมีความแตกต่างจากองค์ประกอบของโครโมโซมปกติ สิ่งนี้อาจบ่งชี้ได้ว่าจุดกำเนิดของบีโครโมโซมใน *P. lineatus* ไม่ได้เป็นเหตุการณ์ที่เพิ่งเกิด แต่ที่กระบวนการไม่ได้สำหรับการสะสมดัดแปลงบางประการบนโครงสร้างของโครโมโซมในระหว่างกระบวนการวิวัฒนาการ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่อธิบายโดย Jesus *et al.* (2003) บ่งชี้ว่าโครโมโซมปกติและบีโครโมโซมของ *P. lineatus* มีแซทเทลไลต์ดีเอ็นเอชนิด

SATH 1 ร่วมกันและมีความเหมือนในองค์ประกอบระดับโมเลกุลของกลุ่มโครโมโซมทั้งสอง นอกจากนี้กลไกของจุดกำเนิดและวิวัฒนาการของบีโครโมโซม ส่วนใหญ่ยอมรับสมมุติฐานที่ว่ากำเนิดมาจากโครโมโซมใหม่เนื่องจากกระบวนการไม่เข้าคู่กันของโครโมโซม หรือเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซมปกติ เหตุการณ์ต่อมาคือการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไปของโครโมโซมนี้ผ่านการกลายจนประสบความสำเร็จ

บทสรุป

การปรากฏของบีโครโมโซมในปลา มีรายงานไว้ในปลาหลายกลุ่ม ซึ่งพบประมาณร้อยละ 5 ของปลาที่มีการศึกษา จำนวนและขนาดของบีโครโมโซมในปลายังแตกต่างกัน โดยพบตั้งแต่บีโครโมโซมขนาดใหญ่ บีโครโมโซมขนาดกลางและบีโครโมโซมขนาดเล็ก บีโครโมโซมในปลาเกือบทุกชนิดเป็นเฮเทอโรโครมาทินทั้งแท่ง นอกจากนี้ในปลาบางชนิดมีบีโครโมโซมที่ประกอบด้วยดีเอ็นเอลำดับซ้ำๆ ซึ่งจะกระจายตัวอยู่หนาแน่นระหว่างแขนโครโมโซมทั้งสองของบีโครโมโซมอย่างสมมาตร แสดงถึงบีโครโมโซมเป็นไอโซโครโมโซม จุดกำเนิดของบีโครโมโซมในปลา มีสมมุติฐานที่อธิบายอยู่ 2 ประการ คือ ขึ้นส่วนของโครโมโซมขาดจากกันระหว่างที่มีการแบ่งเซลล์แต่ไม่ถูกกำจัดทิ้งอีกสาเหตุคือเกิดจากโลหะหนักที่ก่อให้เกิดการกลายหรือมิวเทชัน (mutation) การเกิดของบีโครโมโซมในสิ่งมีชีวิตชนิดใดอาจมีผลในเชิงบวกบางครั้ง และจะส่งผลต่อโครโมโซมร่างกายในด้านการเพิ่มการกระจายตัวของโคแอสมาที่ไม่สมมาตร การเพิ่มความถี่ของการเกิดครอสซิงโอเวอร์และการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนโครโมโซม การเพิ่มความผันแปรซึ่งเป็นสาเหตุให้โครโมโซมไม่เข้าคู่กันมากขึ้นและทำให้สิ่งมีชีวิตเป็นหมัน ในพืชบางชนิดถ้าบีโครโมโซมมีจำนวนมาก จะทำให้ความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำลง โดยจะทำให้จำนวนของเมล็ดน้อยลง การออกของเมล็ดไม่ดี ความแข็งแรงของต้นน้อยลง และมีระยะเวลาของวงชีวิตเซลล์เพิ่มมากขึ้น แต่โดยทั่วไปบีโครโมโซมจะไม่มีผลต่อสัณฐานวิทยา (morphology) ของสิ่งมีชีวิตและส่วนประกอบทางเคมีของสารในสิ่งมีชีวิต ซึ่งในประเทศไทยเองมีปลาหลายชนิดทั้งปลาน้ำจืดและปลาทะเลสมควรเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาทางด้านพันธุศาสตร์ของเซลล์เพื่อให้ทราบว่ามีปลาชนิดใดบ้างในประเทศไทยเรามีการเกิดบีโครโมโซมเพื่อการจัดการทางด้านพันธุกรรมและการปรับปรุงพันธุ์ของปลาในประเทศไทยต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Alves, A. L., Porto-Foresti, F., Oliveira, C. and Foresti, F. (2008). Supernumerary chromosomes in the pufferfish *Sphoeroides spengleri* – First occurrence in marine Teleostean Tetraodontiformes fish. **Genetics and Molecular Biology** 31(1): 243-245.
- Bertolotto, C. E. V., Pellegrino, K. C. M. and Yonenaga-Yassuda, Y. (2004). Occurrence of B chromosomes in lizards: a review. **Cytogenetic and Genome Research** 106: 243–246.
- Camacho, J. P. M., Sharbel, T. F. and Beukeboom, L. W. (2000). B-chromosome evolution. **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 55: 163–178.
- Carvalho, R. A., Martins-Santos, I. C. and Dias, A. L. (2008). B chromosomes: an update about their occurrence in freshwater neotropical fishes (Teleostei). **Journal of Fish Biology** 72: (1907–1932).
- Feldberg, E. and Bertollo, L. A. C. (1984). Discordance in chromosome number among somatic and gonadal tissue cells of *Gymnogeophagus balzanii* (Pisces: Cichlidae). **Revista Brasileira de Genetica** 7: 639–645.

- Feldberg, E., Porto, J. I. R., Alves-Brinn, M. N., Mendonça, M. N. C. and Benzaquema, D. C. (2004). B chromosomes in Amazonian cichlid species. **Cytogenetic Genome Research** 106: 195–198.
- Fernandes, C. A. and Martins-Santos, I. C. (2005). Sympatric occurrence of three cytotypes and four morphological types of B chromosomes of *Astyanax scabripinnis* (Pisces, Characiformes) in the river Ivaí Basin, state of Parana, Brazil. **Genetica** 124: 301–306.
- Iturra, P., Lam, N., Vila, I., Scott, S. and Mendez, M. A. (2006). Karyotypic and morphological analyses of *Orestias* species of the Agassii complex (Teleostei: Cyprinodontidae) from Southern Altiplano. XI Brazilian Symposium on Fish Cytogenetics and Genetics and I International Congress of Fish Genetics, São Carlos, Brazil.
- Jesus, C. M., Galetti Jr, P. M., Valentini, S. R. and Moreira-Filho, O. (2003). Molecular characterization and chromosomal of two families of satellite DNA in *Prochilodus lineatus* (Pisces, Prochilodontidae), a species with B chromosomes. **Genetica** 116: 1–8.
- Jones, R. N. and Rees, H. (1982). **B chromosomes**. London: Academic Press.
- Lamatsch, D. K., Nanda, I., Schlupp, I., Epplen, J. T., Schmid, M. and Scharf, M. (2004). Distribution and stability of supernumerary microchromosomes in natural populations of the Amazon molly, *Poecilia Formosa*. **Cytogenetic Genome Research** 106: 189–194.
- Lui, R. L., Blanco, D. R., Margarido, V. P., Moreira Filho, O. (2009). First description of B chromosomes in the family Auchenipteridae, *Parauchenipterus galeatus* (Siluriformes) of the São Francisco River basin (MG, Brazil). **Micron** 40: 552–559.
- Maistro, E. L., Oliveira, C. and Foresti, F. (2000). Cytogenetic analysis of A- and B chromosomes of *Prochilodus lineatus* (Teleostei, Prochilodontidae) using different restriction enzyme banding and staining methods. **Genetica** 108: 119–125.
- _____. (2002). Cytogenetic analysis of A- and B chromosomes of *Rhamdia hilarii* (Teleostei, Pimelodidae): c-banding, silver nitrate and CMA3 staining and restriction endonucleases banding. **Cytologia** 67: 25–31.
- Mendes, V. P., Júlio-Júnior, H. F. and Portela-Castro, A. L. B. (2006). Cytogenetic analysis in species of the families Apterontidae and Rhamphichthyidae (Gymnotiformes) from the upper Parana river floodplain. XI Brazilian Symposium on Fish Cytogenetics and Genetics and I International Congress of Fish Genetics, São Carlos, Brazil.
- Mestriner, C. A., Galetti-Jr., P. M., Valentini, S., Ruiz, I. G. R., Abel, L. D. S., Moreira-Filho, O. and Camacho, J. P. M. (2000). Structural and functional evidence that a B chromosome in the characid fish *Astyanax scabripinnis* is an isochromosome. **Heredity** 85: 1–9.
- Moreira-Filho, O. (2006). Os cromossomos B em peixes neotropicais. XI Brazilian Symposium on Fish Cytogenetics and Genetics and I International Congress of Fish Genetics, São Carlos, Brazil, Abstract

- Moreira-Filho, O., Fenocchio, A. S., Pastori, M. C. and Bertollo, L. A. C. (2001). Occurrence of a metacentric macrochromosome B in different species of the genus *Astyanax* (Pisces, Characiformes). **Cytologia** 66: 59–64.
- Pastori, M. C., Cano, J., Bertollo, L. A. C. and Fenocchio, A. S. (1998). Cytogenetic study of two species of needlefish (Belonidae) from Argentina. **Italian Journal of Zoology** 65: 57–60.
- Pauls, E. and Bertollo, L. A. C. (1983). Evidence for a system of supernumerary chromosomes in *Prochilodus scrofa* Steindacher, (1881) (Pisces, Prochilodontidae). **Caryologia** 36: 307–314.
- Poletto, A. B., Ferreira, I. A. and Martins, C. 2010. The B chromosomes of the African cichlid fish *Haplochromis obliquidens* harbour 18S rRNA gene copies. **BioMed Central Genetics** 11(1): 1-8.
- Sobrinho, P. E., Paiva, L. R. S., Oliveira, C. and Foresti, F. (2006). Variabilidade cariotípica em populações of *Moenkhausia sanctaefilomenae* (Teleostei, Characiformes, Characidae). XI Brazilian Symposium on Fish Cytogenetics and Genetics & I International Congress of Fish Genetics. São Carlos, Brazil, Abstract only, GA109.
- Venere, P. C., Miyazawa, C. S. and Junior, P. M. G. (1999). New cases of supernumerary chromosomes in Characiform fishes. **Genetics and Molecular Biology** 22(3): 345-349.
- Ziegler, C. G., Lamatsch, D. K., Steinlein, C., Engel, W., Schart, M. and Schmid, M. (2003). The giant B chromosome of the cyprinid fish *Alburnus alburnus* harbours a retrotransposon-derived repetitive DNA sequence. **Chromosome Research** 11: 23-35.