



วิวัฒนาการของโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทย

Chromosome Evolution of Amphibians in Thailand

ประวีร์ณ สุพรรณอ่วม

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000

E-mail: supanuam@hotmail.com

Received: 30 August 2017 | Revised: 24 January 2018 | Accepted: 28 August 2018

บทคัดย่อ

วิวัฒนาการของโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกทั้ง 3 อันดับในประเทศไทย คือ อันดับจิมโนฟีโอนา คอดาทา และ อะนุรา กลุ่มที่โบราณที่สุด คือ อันดับจิมโนฟีโอนามีแคโรไทป์ดิพลอยด์ ($2n$) เท่ากับ 42 แห่ง ที่มีโครโมโซมชุดเล็ก 20 แห่ง และโครโมโซมชุดใหญ่ 22 แห่ง อันดับที่เหลือพบเฉพาะโครโมโซมชุดใหญ่เท่านั้น อันดับคอดาทามีแคโรไทป์ดิพลอยด์ เท่ากับ 24 แห่ง พบเฉพาะโครโมโซมชนิดสองแขน อันดับอะนุราแบ่งเป็น 2 อันดับย่อย คือ อันดับย่อยเมโซบราตาเคียยังคงมีแคโรไทป์ที่ค่อนข้างโบราณ คือ ดิพลอยด์เท่ากับ 24-26 แห่ง ยังคงพบโครโมโซมชนิดแขนเดียวอยู่ ส่วนอันดับย่อยนีโอบราตาเคียมีแคโรไทป์แบบพัฒนาแล้ว พบดิพลอยด์เท่ากับ 22-28 แห่ง เป็นโครโมโซมเป็นชนิดสองแขนทั้งหมด การศึกษาเซลล์พันธุศาสตร์ช่วยให้เข้าใจวิวัฒนาการของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกได้ดียิ่งขึ้น

ABSTRACT

The chromosome evolution of 3 orders of amphibians in Thailand namely, Gymnophiona, Caudata and Anura were studied. The most primitive group is order Gymnophiona which has $2n$ (diploid) = 42 including 20 microchromosomes and 22 macrochromosomes, whereas the other including only macrochromosomes. The Caudata karyotype is $2n=24$ and only bi-armed chromosomes were found. The order Anura was divided into two suborders, Mesobranchia and Neobranchia. The suborder Mesobranchia still has quite primitive karyotype, $2n=24-26$ which consisted of both bi-armed and mono-armed chromosomes. The suborder Neobranchia has advanced karyotypes, $2n=22-28$ which consisted only of bi-armed chromosomes. The cytogenetic study can help to better understand the evolution of amphibians.

คำสำคัญ: โครโมโซม วิวัฒนาการ สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก

Keywords: Chromosome, Evolution, Amphibian

บทนำ

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกถือเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังจำพวกแรกที่ขึ้นจากน้ำมาอยู่บนบก โดยวิวัฒนาการตัวเองมาจากปลาครีบเนื้อ (lobe-finned fish) ในสมัยดีโวเนียน (Devonian period) ประมาณ 370 ล้านปีก่อน มีการพัฒนารยางค์แขนขาจากครีบ มีการพัฒนาปอดจากถุงอากาศ (air sac) และมีการเปลี่ยนสิ่งปกคลุมลำตัวจากเกล็ดกลายเป็นผิวหนัง อย่างไรก็ตาม สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกยังคงต้องมีช่วงชีวิตหนึ่งอาศัยอยู่ในน้ำ และบางกลุ่มยังคงต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (metamorphosis) เพื่อการเปลี่ยนแปลงจากในน้ำขึ้นมาอยู่บนบก (นิตยา, 2539; วีรยุทธ, 2552; Hall and Hallgrímsson, 2008)

สำหรับในประเทศไทยพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 3 อันดับ (order) 9 วงศ์ (family) 56 สกุล (genera) 174 ชนิด (species) มีการจัดจำแนกตามลำดับวิวัฒนาการโดยใช้สัณฐานวิทยา (morphology) กายวิภาคศาสตร์ (anatomy) และชีววิทยาโมเลกุล (molecular biology) ได้ดังนี้

1. อันดับจิมโนฟิโอนา (Gymnophiona) พบ 1 วงศ์ คือ อิกทีโอฟิอิดี (Ichthyophiidae) ประกอบด้วย 2 สกุล 6 ชนิด
2. อันดับคอคดาทา (Caudata) พบ 1 วงศ์ คือ ซาลาแมนดริดี (Salamandridae) ประกอบด้วย 1 สกุล 2 ชนิด
3. อันดับอะนุรา (Anura) พบ 2 อันดับย่อย (suborder) คือ
 - 3.1 อันดับย่อยเมโซบราตาเคีย (Mesobratachia) พบ 1 วงศ์ คือ เมโกฟริอิดี (Megophryidae) ประกอบด้วย 6 สกุล 23 ชนิด
 - 3.2 อันดับย่อยนีโอบราตาเคีย (Neobratachia) ในประเทศไทยพบ 2 ซูเปอร์แฟมิลี คือ
 - 3.2.1 ซูเปอร์แฟมิลีไฮลอยเดีย (Hylloidea) พบ 2 วงศ์ คือ ไฮลิดี (Hylidae) มี 1 สกุล 1 ชนิด และบูโฟนิดี (Bufonidae) มี 6 สกุล 12 ชนิด
 - 3.2.2 ซูเปอร์แฟมิลีรานอยเดีย (Ranoidea) พบ 4 วงศ์ คือ ไมโครไฮลิดี (Microhylidae) มี 8 สกุล 19 ชนิด ไดโครกลอสซิดี (Dicroglossidae) มี 7 สกุล 30 ชนิด รานิดี (Ranidae) มี 17 สกุล 41 ชนิด และราโคฟอริดี (Rhacophoridae) มี 9 สกุล 40 ชนิด (ธัญญา, 2546; วีรยุทธ, 2552; Khonsue, and Thirakhupt, 2001; Pyron and Wiens, 2011)

ประวัติการศึกษาเซลล์พันธุศาสตร์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทย

ส่วนใหญ่การศึกษาโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทยมักอยู่ในรูปของวิทยานิพนธ์ รายงานการวิจัย และการประชุมวิชาการ รายงานการศึกษาโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทยครั้งแรกโดยวิทยานิพนธ์ของนางลักษณ์ (2519) และวิทยานิพนธ์อื่นๆ เช่น Supaprom (2003) สุมาลี (2555) รายงานการวิจัย เช่น ถาวร และแก้ว (2548) อัมพา และคณะ (2540) ประชุมวิชาการ เช่น ธวัช และอัจฉริยา (2548) ถาวร (2541) ถาวร และคณะ (2533; 2534; 2535ก; 2535ข; 2536; 2537)

งานวิจัยทางด้านเซลล์พันธุศาสตร์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทยที่ได้รับการเผยแพร่เป็นบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ ได้แก่ ธวัช (2548; 2552), Nussbaum and Treisman (1981), Chulalaksananukul et al., (1998), Chokchaichamnankit et al. (2002), Supaprom and Baimai (2005), Supaprom et al. (2006), Siripiyasing et al. (2008), Patawang et al. (2014, 2016), Pradit et al. (2017) และ Sangpakdee et al. (2017) รายงานทางด้านโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทยมีทั้งสิ้น 40 ชนิด จากทั้งหมด 174 ชนิด (23.5%) ใน 7 วงศ์ คือ วงศ์อิกทีโอฟิอิดี 1 ชนิด เมโกฟริอิดี 4 ชนิด บูโฟนิดี 5 ชนิด ไมโครไฮลิดี 10 ชนิด ไดโครกลอสซิดี 11 ชนิด รานิดี 7 ชนิด และราโคฟอริดี 2 ชนิด ซึ่งพบว่ามีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ (diploid) อยู่ในช่วง 22-42 แท่ง

สมมติฐานและทฤษฎีวิวัฒนาการของโครโมโซม

ตามทฤษฎีของ Morescalchi (1980) กล่าวว่าแคริโอไทป์บรรพบุรุษ (ancestral karyotype) ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกจะมีคุณสมบัติ 3 ประการ คือ

1. จำนวนโครโมโซมดิพลอยด์มีค่าสูง
2. มีแคริโอไทป์แบบไม่สมมาตร (asymmetrical karyotype) ที่ประกอบด้วยโครโมโซมสองแขน (bi-armed chromosome) มีค่าจำนวนโครโมโซมรากฐาน (fundamental number, NF) เท่ากับ 2 ได้แก่ ชนิดเมทาเซนทริก (metacentric) ซับเมทาเซนทริก (submetacentric) อะโครเซนทริก (acrocentric) หรือซับเทโลเซนทริก (subtelocentric) และ

โครโมโซมแขนเดียว (mono-armed chromosome) ซึ่งมีค่าจำนวนโครโมโซมรากฐานเท่ากับ 1 คือ ชนิดเทโลเซนทริก (telocentric) ที่มีขนาดแตกต่างกันมาก

3. มีแคริโอไทป์แบบไบโมดัล (bimodal karyotype) ซึ่งมีทั้งโครโมโซมชุดใหญ่ (macrochromosome) และโครโมโซมชุดเล็ก (microchromosome)

ส่วนแคริโอไทป์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกที่พัฒนาแล้ว (advance karyotype) จะมีลักษณะตรงกันข้าม คือ มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยดีไม่มาก มีแคริโอไทป์แบบสมมาตร (symmetrical karyotype) ซึ่งประกอบด้วยโครโมโซมชนิดสองแขนเป็นหลักที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และมีแคริโอไทป์แบบยูนิโมดัล (unimodal karyotype) ซึ่งประกอบด้วยโครโมโซมชุดใหญ่เท่านั้น (Morescalchi, 1980; Green and Sessions, 2012)

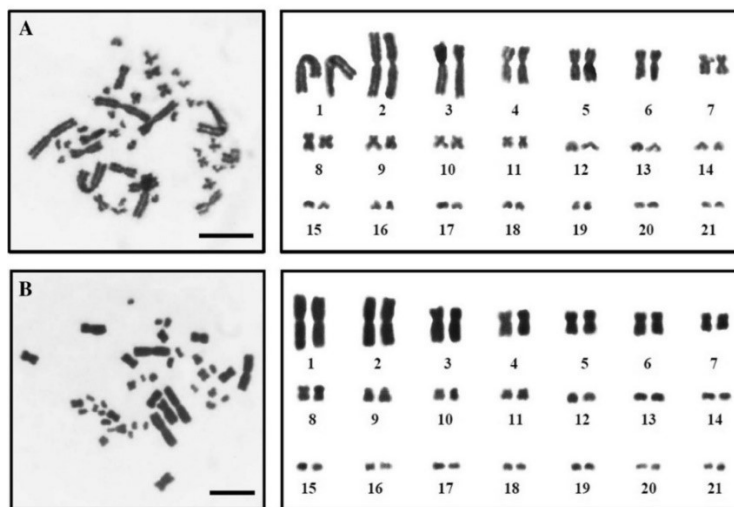
ในขั้นตอนวิวัฒนาการสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกจะมีการลดจำนวนโครโมโซมลงโดยการเชื่อมกันของโครโมโซมชุดเล็กให้กลายเป็นโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อาจเกิดจากกระบวนการเชื่อมต่อแบบเซนทริก (centric fusion) หรือการเชื่อมต่อแบบแทนเด็ม (tandem fusion) โดยการเชื่อมต่อในช่วงแรกของวิวัฒนาการมักจะเป็นโครโมโซมชุดเล็กเชื่อมต่อกันเป็นโครโมโซมชนิดเทโลเซนทริกโดยการเชื่อมต่อแบบแทนเด็ม แล้วชนิดเทโลเซนทริกจึงเชื่อมกันแบบเซนทริกกลายเป็นโครโมโซมที่มีสองแขน ดังนั้นโครโมโซมที่มีสองแขนมีวิวัฒนาการมากกว่าโครโมโซมแขนเดียว (อมรธา, 2546; อลงกลด, 2554)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครโมโซมอาจเกิดจากกระบวนการต่อสลับ (inversion) การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนของโครโมโซมต่างคู่ (reciprocal translocation) การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนแบบโรเบิร์ตสัน (Robertsonian translocation) นอกจากนี้ยังมีกระบวนการเพิ่มขึ้นส่วน (duplication) การลดชิ้นส่วน (deletion) หรือแม้แต่การแตกหัก (fission) อีกด้วย (อมรธา, 2546; อลงกลด, 2554)

วิวัฒนาการโครโมโซมอันดับจิมฟีโอนาในประเทศไทย

มีรายงานเพียงชนิดเดียว คือ เขียดงูเกาะเต่า (*Ichthyophis kohtaoensis*, $2n=42$, $NF=64$) โครโมโซมประกอบด้วยชนิดเมทาเซนทริกและซับเมทาเซนทริก 22 แห่ง และชนิดเทโลเซนทริกซึ่งจัดเป็นโครโมโซมชุดเล็ก 20 แห่ง จัดเป็นแคริโอไทป์ในกลุ่มโบราณ (primitive karyotype) ที่สุดในประเทศไทย เพราะมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยดีสูง มีแคริโอไทป์แบบไม่สมมาตร และมีแคริโอไทป์แบบไบโมดัล (รูปที่ 1) (Nussbaum and Treisman, 1981; Patawang et al., 2016)

เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตนอกกลุ่ม (out group) คือ ปลาซีลาแคนท์ (coelacanth, *Latimeria chalumnae*) พบว่ามี $2n=48$, $NF=62$ โครโมโซมประกอบด้วยชนิดเมทาเซนทริก 10 แห่ง ซับเทโลเซนทริก 4 แห่ง และเทโลเซนทริกที่เป็นโครโมโซมชุดเล็ก 34 แห่ง ซึ่งแคริโอไทป์นี้มีลักษณะโบราณมากกว่าสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก (Bogart et al., 1994)



รูปที่ 1 เมทาเฟสและแคริโอไทป์ เขียดงูเกาะเต่า (*Ichthyophis kohtaoensis*, $2n=42$) จากการย้อมสีแบบจิมซ่า (A) เพศผู้ และ (B) เพศเมีย สเกลบาร์ 10 μm (ที่มา: Patawang et al., 2014)

วิวัฒนาการโครโมโซมอันดับคอตาทาในประเทศไทย

กะท่างในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ กะท่างเหนือ *Tylostotriton uyanoi* และกะท่างอีสาน *T. panhai* ซึ่งถูกแยกออกมาจาก *T. verrucosus* และ *T. shanjing* เมื่อปี ค.ศ. 1995 และ 2013 ตามลำดับ (Nussbaum et al., 1995; Nishikawa et al., 2013) กะท่างในประเทศไทยไม่มีรายงานแคโรไทป์ทั้งในไทยและต่างประเทศ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาแคโรไทป์ของกะท่างสกุล *Tylostotriton* ในประเทศจีนและญี่ปุ่น คือ *T. verrucosus*, *T. kweichowensi*, *T. wenxianensis*, *T. asperimus* และ *T. andersoni* พบว่ามี $2n=24$, $NF=48$ แคโรไทป์ประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก ซับเมทาเซนทริก และซับเทโลเซนทริกหรืออะโครเซนทริก (Seto et al. 1982; Gu and Tian, 2000; Bao et al., 2012) ขั้นตอนวิวัฒนาการมีการลดจำนวนโครโมโซมลง จนไม่มีโครโมโซมชนิดเทโลเซนทริก มีแคโรไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมตัล

วิวัฒนาการโครโมโซมวงศ์เมโกพริตีในประเทศไทย

มีรายงาน 4 ชนิด มี 3 ชนิดที่มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ $2n=26$ พบโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก ซับเมทาเซนทริก และเทโลเซนทริก ซึ่งจัดเป็นแคโรไทป์ที่ค่อนข้างโบราณ ได้แก่ อังกรายข้างแถบ (*Brachytarsophrys carinensis*, $2n=26$, $NF=46$) อังกรายหัวเล็ก (*Xenophrys parva*, $2n=26$, $NF=42$) และอังกรายหัวแหลม (*Megophrys nasuta*, $2n=26$, $NF=42$) อีก 1 ชนิดมีแคโรไทป์พัฒนามากที่สุดในวงศ์ คือ อังกรายลายละเอียด (*Leptobranchium smithi*, $2n=24$, $NF=48$) มีโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริกและ ซับเมทาเซนทริกเท่านั้น (Supaprom, 2003; Supaprom et al., 2006) วิวัฒนาการของโครโมโซมในวงศ์นี้มีการลดจำนวนโครโมโซมลง แต่ยังคงมีโครโมโซมชนิดเทโลเซนทริกอยู่ มีแคโรไทป์แบบไม่สมมาตร และเป็นแบบยูนิโมตัล

วิวัฒนาการโครโมโซมวงศ์ไฮลิตีในประเทศไทย

ในประเทศไทยพบ 1 ชนิด คือ ปาดเมืองจีน (*Hyla chinensis*) ไม่มีรายงานการศึกษาแคโรไทป์ในประเทศไทย แต่มีการศึกษาในประเทศจีน พบว่ามี $2n=24$, $NF=48$ แคโรไทป์ประกอบด้วยชนิดเมทาเซนทริกและซับเมทาเซนทริก (Gao, 1989; Green and Session, 1991) จัดเป็นแคโรไทป์ที่พัฒนา

มาก เพราะมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์น้อย มีแคโรไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมตัล

วิวัฒนาการโครโมโซมวงศ์บูโฟนิตีในประเทศไทย

มีรายงานแคโรไทป์ 5 ชนิด คือ คางคกบ้าน (*Duttaphrynus melanostictus*) คางคกแคระ (*Ingerophrynus parvus*) คางคกหัวราบ (*I. macrotis*) จงโคร่ง (*Phrynooidis aspera*) และ คางคกขายาว (*Leptophryne borbonica*) มี $2n=22$, $NF=44$ มีโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริกและซับเมทาเซนทริกที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (นงลักษณ์, 2519; อำพา และคณะ, 2540; ธวัช, 2548; 2552; ถาวร และแก้ว, 2548; สุมาลี, 2555; Supaprom, 2003; Siripiyasing et al., 2008) จัดเป็นแคโรไทป์ที่พัฒนามากที่สุด เพราะมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์น้อยที่สุด มีแคโรไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมตัล (รูปที่ 2 และ 3A)

วิวัฒนาการโครโมโซมวงศ์ไมโครไฮลิตีในประเทศไทย

มีรายงานแคโรไทป์ 10 ชนิด ซึ่งมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์แตกต่างกัน คือ $2n=22$, 24 , 26 และ 28 จำนวนโครโมโซมรากฐานแตกต่างกัน คือ 44 , 48 , 52 และ 56 ชนิดโครโมโซมที่พบ ได้แก่ เมทาและซับเมทาเซนทริก อาจพบชนิดซับเทโลเซนทริกหรืออะโครเซนทริกด้วย เป็นกลุ่มที่มีแคโรไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมตัล ชนิดที่มีการรายงาน คือ อังอ่างกันซิด (*Kaloula mediolineata*, $2n=28$, $NF=56$) อังอ่างบ้าน (*K. pulchra*, $2n=28$, $NF=56$) อังปุมหลังลาย (*Kalophrynus interlineatus*, $2n=26$, $NF=52$) อังลาย (*Calluella guttulata*, $2n=26$, $NF=52$) อังปากขวดหรืออังเพ้า (*Glyphossus molossus*, $2n=26$, $NF=52$) อังแม่หนาว (*Microhyla berdmorei*, $2n=24$, $NF=48$) อังขาคำ (*M. pulchra*, $2n=24$, $NF=48$) อังน้ำเต้า (*M. fissipes*, $2n=24$, $NF=48$) อังข้างดำ (*M. heymonsi*, $2n=24$, $NF=48$) อังลายแต้ม (*M. butleri*, $2n=22$, $NF=44$, รูปที่ 3B) (นงลักษณ์, 2519; ถาวร และคณะ, 2535; อำพา และคณะ, 2540; ธวัช, 2548; 2552; ธวัช และอัจฉริยา, 2548; ถาวร และแก้ว, 2548; สุมาลี, 2555; Supaprom, 2003; Supaprom and Baimai, 2004; Sangpakdee et al., 2017) วงศ์นี้มีแคโรไทป์ที่หลากหลายค่อนข้างพัฒนาจนถึงพัฒนามากที่สุด มีจำนวนโครโมโซม

ดิพลอยด์ค่อนข้างน้อยถึงน้อยที่สุด มีแคโริโอไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมดัล

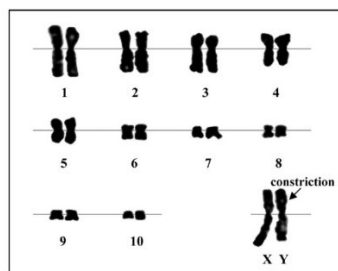
วิวัฒนาการโครโมโซมวงศัไดโครกลอสซิดีในประเทศไทย

ส่วนใหญ่มีแคโริโอไทป์แบบ 2n=26, NF=52 โครโมโซมประกอบด้วยชนิดเมทาเซนทริก และซัปเมทาเซนทริก อาจพบชนิดซัปเทโลเซนทริกหรืออะโครเซนทริกด้วย เป็นกลุ่มที่มีแคโริโอไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมดัล ได้แก่ เชียดจนะนา (*Occidozyga lima*) เชียดหลังปุม (*O. magnapustulosus*) เชียดทราย (*O. martensii*) กบนา (*Hoplobatrachus rugulosus*) กบหนอง (*Fejervarya limnocharis*) เชียดอีโม้หิน (*F. sp.*) กบอกหนาม (*Quasipaa fasciculispina*) กบหงอน (*Limnonectes gyldenstolpei*) กบพนมดงรัก (*L. sp.*) ส่วนกบอีก 2 ชนิดที่แคโริโอไทป์แตกต่างจากชนิดอื่น คือ กบภูเขา (*L. blythii*, 2n=24, NF=48) โครโมโซมประกอบด้วยชนิดเมทาเซนทริก ซัปเมทาเซนทริก และ ซัปเทโลเซนทริก กบห้วยขาปุม (*L. kuhlii*, 2n=22, NF=44, (รูปที่ 3C) (นงลักษณ์, 2519; อำพา และคณะ, 2540; ธวัช, 2548; 2552; ธวัช และอัจฉริยา, 2548; ถาวร และแก้ว, 2548; สุมาลี, 2555; Supaprom, 2003; Supaprom and Baimai, 2004; Patawang et al., 2014)

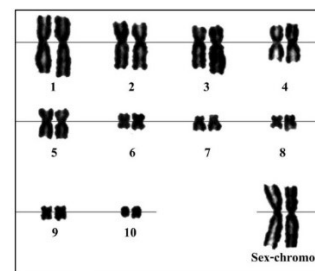
วิวัฒนาการโครโมโซมวงศัรานิดีในประเทศไทย

มีการศึกษาแคโริโอไทป์จำนวน 7 ชนิด ทุกชนิดมีแคโริโอไทป์มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ 2n=26 จำนวนโครโมโซมรากฐาน NF=52 โครโมโซมประกอบด้วยชนิดเมทาเซนทริก และซัปเมทาเซนทริก อาจพบชนิดซัปเทโล-เซนทริกหรืออะโครเซนทริกด้วย เป็นกลุ่มที่มีแคโริโอไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมดัล ได้แก่ กบอ่องเล็ก (*Sylvirana nigrovittata*) เชียดจิกหรือกบบัว (*Hylarana erythraea*) เชียดหลังซัด (*Hylarana macrodactyla*) กบหลังไพล (*Pelophylax lateralis*) กบสังขละ (*Hydrophylax leptoglossa*) กบลายหินตะนาวศรี (*Amolops panhai*) กบลายหินเหนือ (*Amolops marmoratus*) (ถาวร และคณะ, 2535; อำพา และคณะ, 2540; ธวัช และอัจฉริยา, 2548; ถาวร และแก้ว, 2548; ธวัช, 2552; สุมาลี, 2555; Supaprom, 2003; Supaprom and Baimai, 2004; Pradit et al., 2017)

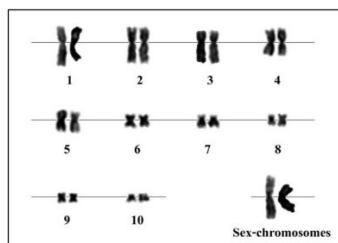
อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Pradit et al. (2017) ที่ศึกษาในกบอ่องเล็กพบว่า มีจำนวนโครโมโซมที่แตกต่างจากรายงานอื่นๆ คือ 2n=24 (รูปที่ 4) ซึ่งประชากรที่ศึกษามาจากจังหวัดนครศรีธรรมราช อาจเกิดจากกบชนิดนี้เป็นกลุ่มชนิดซัปซ้อน (species complex) ส่วนประชากรของรายงานอื่นๆ มาจากจังหวัดอำนาจเจริญ อุบลราชธานี สกลนคร จันทบุรี และกาญจนบุรี มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน คือ 2n=26



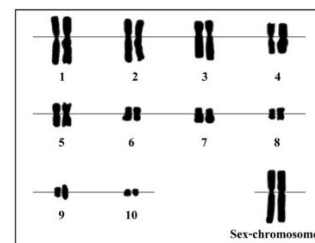
A. คางคกบ้าน *Duttaphrynus melanostictus*, 2n=22



B. คางคกหัวراب *Ingerophrynus macrotis*, 2n=22

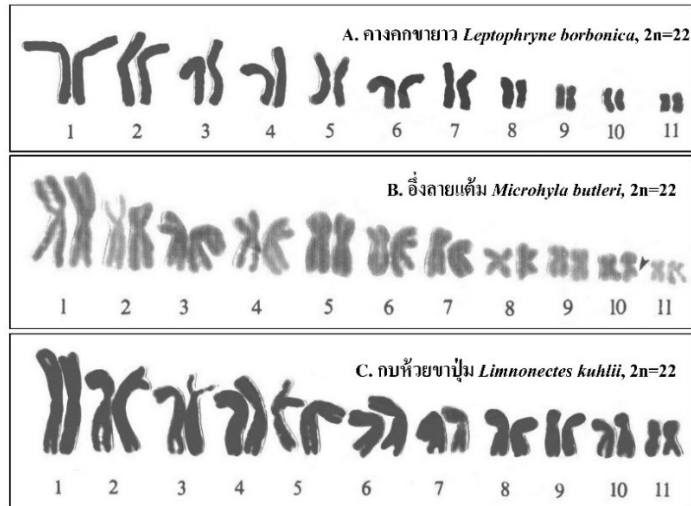


C. คางคกแคระ *Ingerophrynus parvus*, 2n=22

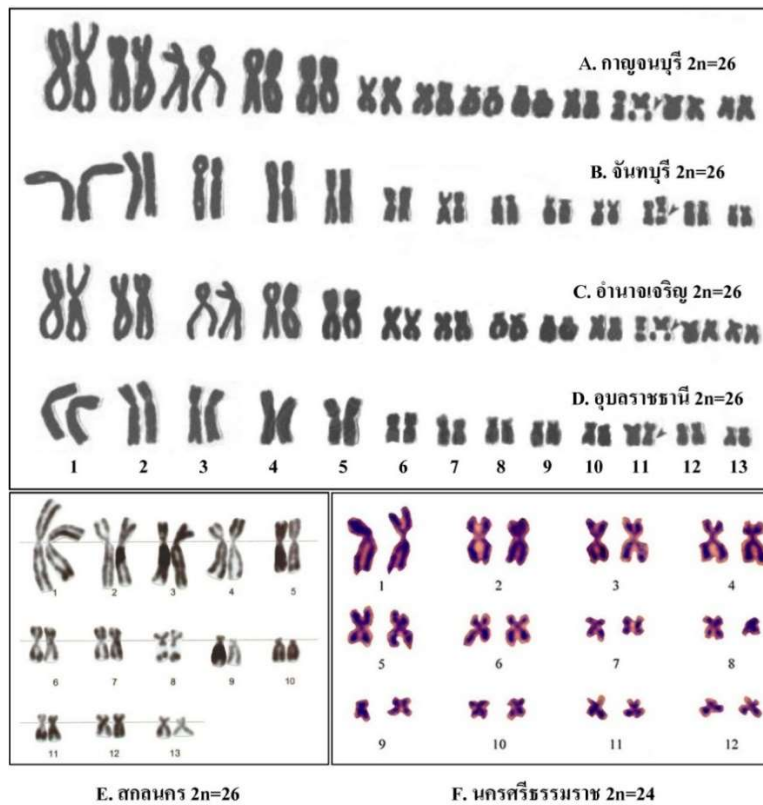


D. จิ้งโคร่ง *Phrynoidis aspera*, 2n=22

รูปที่ 2 แคโริโอไทป์จากการย้อมสีแบบจิมซ่าของ (A) คางคกบ้าน (*Duttaphrynus melanostictus*) (B) คางคกหัวراب (*Ingerophrynus macrotis*) (C) คางคกแคระ (*Ingerophrynus parvus*) และ (D) จิ้งโคร่ง (*Phrynoidis aspera*) ที่มี 2n=22, NF=44 (ที่มา: ดัดแปลงจาก Siripiyasing et al., 2008)



รูปที่ 3 แคริโอไทป์จากการย้อมสีแบบจิมซ่าของ (A) คางคกขายาว (*Leptophryne borbonica*) (B) อึ่งลายแต้ม (*Microhylla butleri*) และ (C) กบห้วยขาป๋ม (*Limnonectes kuhlii*) (D) จิ้งโคร่ง (*Phrynowidis aspera*) ที่มี $2n=22$, $NF=44$ (ที่มา: ดัดแปลงจาก Supaprom, 2003)



รูปที่ 4 แคริโอไทป์ของกบอ่องเล็ก (*Sylvirana nigrovittata*) ในประชากรจังหวัด (A) กาญจนบุรี (B) จันทบุรี (C) อำนาจเจริญ (D) อุบลราชธานี และ (E) สกลนคร ที่มี $2n=26$ และในประชากรจังหวัด (F) นครศรีธรรมราชที่มี $2n=24$ (ที่มา: ดัดแปลงจาก Supaprom, 2003; Pradit et al., 2017; อำพา และคณะ 2540)

วิวัฒนาการโครโมโซมวงศราโคฟอริดีในประเทศไทย

แคโรไทป์ของวงศ์นี้คล้ายกับวงศ์รานี้ดี คือ มี $2n=26$, $NF=52$ เป็นกลุ่มที่มีแคโรไทป์แบบสมมาตร และเป็นแบบยูนิโมดัล มีการศึกษาแคโรไทป์ 2 ชนิด คือ ปาดตีนเหลืองฮีสาน (*Rhacophorus orlovi*) และปาดบ้าน (*Polypedates leucomystax*) แคโรไทป์ประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก ซับเมทาเซนทริก และซับเทโลเซนทริกหรืออะโครเซนทริก (อำพา และคณะ, 2540; ถาวร และแก้ว, 2548; ธวัช, 2552; สุมาลี, 2555; Supaprom, 2003; Supaprom and Baimai, 2004)

สายสัมพันธ์วิวัฒนาการทางโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทย

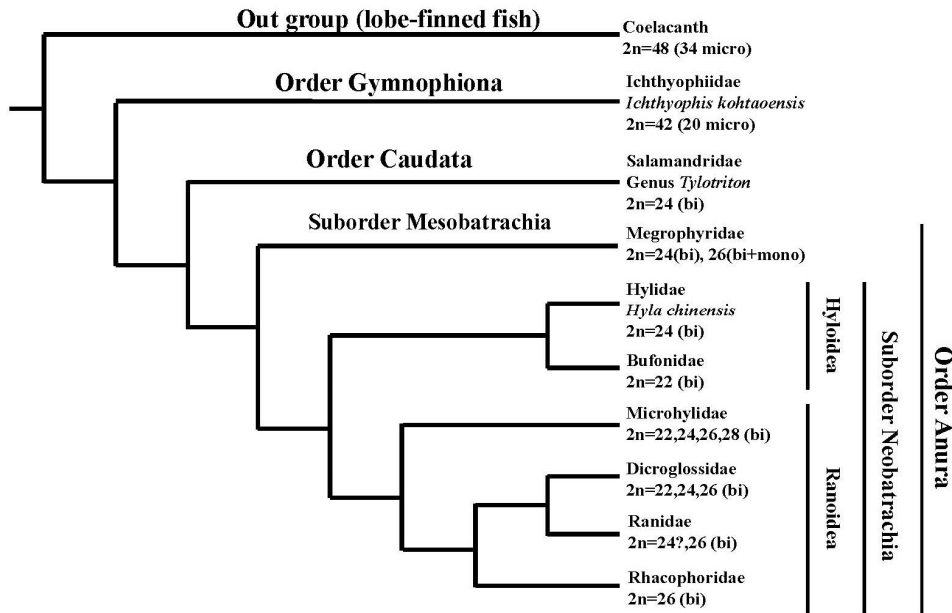
จากการรวบรวมข้อมูลการจัดจำแนกทางอนุกรมวิธาน (วีรยุทธ์, 2552; Khonsue, and Thirakhupt, 2001; Pyron and Wiens, 2011) และข้อมูลด้านเซลล์พันธุศาสตร์ (นงลักษณ์, 2519; ถาวร และคณะ, 2533; 2534; 2535ก; 2535ข; 2536; 2537; อำพา และคณะ, 2540; ถาวร, 2541; ถาวร และแก้ว, 2548; ธวัช, 2548; ธวัช และอัจฉริยา, 2548; ธวัช, 2552; สุมาลี, 2555; Supaprom, 2003; Nussbaum and Treisman, 1981; Seto et al., 1982; Gao, 1989; Green and Session, 1991; Bogart et al., 1994; Chulalaksananukul et al., 1998; Gu and Tian, 2000; Chokchaichamnankit et al., 2002; Supaprom and Baimai, 2005; Supaprom et al., 2006; Siripiyasing et al., 2008; Bao et al., 2012; Patawang et al., 2014; 2016; Pradit et al., 2017; Sangpakdee et al., 2017) สามารถสร้างข้อมูลทางด้านสายสัมพันธ์วิวัฒนาการ (phylogeny) ของโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทยได้ดังนี้ กำหนดให้ปลาครีบน้ำเงิน (ปลาซีลาแคนท์, $2n=48$ แห่ง ที่มีโครโมโซมชุดเล็ก 34 แห่ง) เป็นสัตว์นอกกลุ่ม สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกกลุ่มที่โบราณที่สุด คือ อันดับจิมโนฟีโอนามีแคโรไทป์ $2n=42$ แห่ง ที่มีโครโมโซมชุดเล็ก 20 แห่ง อันดับคอดาตา มีแคโรไทป์ $2n=24$ แห่ง มีเฉพาะโครโมโซม

ชนิดสองแขน อันดับอะนูราแบ่งเป็น 2 อันดับย่อย คือ อันดับย่อย เมโซบราทาเคียยังคงมีแคโรไทป์ค่อนข้างโบราณ คือ $2n=24-26$ แห่ง ยังคงพบโครโมโซมชนิดเทโลเซนทริกอยู่ ส่วนอันดับย่อย นิโอบราทาเคียมีแคโรไทป์แบบพัฒนาแล้วทั้งสิ้น ไม่พบโครโมโซมชนิดเทโลเซนทริก ได้แก่ วงศ์ไฮลิดีพบ $2n=24$ แห่ง วงศ์บูโฟนิดีพบ $2n=22$ แห่ง วงศ์ไมโครไฮลิดีมีแคโรไทป์หลากหลาย คือ $2n=22-28$ แห่ง วงศ์โคโรกลอสซิดีส่วนใหญ่พบ $2n=26$ แห่ง แต่ยังคงพบ $2n=22$ และ 24 แห่งด้วย วงศ์รานี้ดีพบ $2n=26$ แห่ง ยกเว้นกบอ่องเล็กที่มาจากจังหวัดนครศรีธรรมราชที่มี $2n=24$ แห่ง และวงศ์ราโคฟอริดีพบ $2n=26$ แห่ง สรุปสายสัมพันธ์วิวัฒนาการทางโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทยดังรูปที่ 5

อย่างไรก็ตามรายงานทางด้านเซลล์พันธุศาสตร์ของ สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีเพียง 40 ชนิด จาก 174 ชนิด คิดเป็น 23.5% ยังต้องมีการศึกษาชนิดอื่นๆ อีกมากเพื่อให้ข้อมูลสายสัมพันธ์วิวัฒนาการถูกต้องมากยิ่งขึ้น

สรุป

ประเทศไทยพบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกทั้ง 3 อันดับ 9 วงศ์ 56 สกุล 174 ชนิด แต่มีรายงานแคโรไทป์เพียง 40 ชนิด มีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ $2n=22-42$ แห่ง สัตว์ที่มีแคโรไทป์เป็นแบบโบราณมากที่สุดในประเทศไทย คือ เขียดงูเกาะเต่า ($2n=42$, $NF=64$) ซึ่ง แคโรไทป์ประกอบด้วยโครโมโซมชนิดสองแขน และโครโมโซมชุดเล็กชนิดเทโทเซนทริกจำนวนมากพวกที่มีแคโรไทป์แบบพัฒนาแล้วมากที่สุด คือ $2n=22$, $NF=44$ ได้แก่ คางคกบ้าน คางคกแคระ คางคกหัวราบ จงโคร่ง คางคกขายาว อึ่งลายแต้ม และกบหัวขลุ่ย พบการรายงานจำนวนโครโมโซมที่ไม่เท่ากันในกบอ่องเล็ก ในประชากรที่มาจากจังหวัดกาญจนบุรี จันทบุรี อำนาจเจริญ อุบลราชธานี และสกลนครมีจำนวนโครโมโซม $2n=26$ ส่วนประชากรที่มาจากจังหวัดนครศรีธรรมราชมีจำนวนโครโมโซม $2n=24$ การศึกษาแคโรไทป์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกช่วยให้เข้าใจสายสัมพันธ์วิวัฒนาการของสัตว์กลุ่มนี้ได้มากขึ้น



รูปที่ 5 สายสัมพันธ์วิวัฒนาการทางโครโมโซมของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทย (ที่มา: ดัดแปลงจาก นงลักษณ์, 2519; ถาวร และคณะ, 2533; 2534; 2535ก; 2535ข; 2536; 2537; อำพา และคณะ, 2540; ถาวร, 2541; ถาวร และแก้ว, 2548; ธวัช, 2548; ธวัช และอัจฉริยา, 2548; ธวัช, 2552; วีรยุทธ์, 2552; สุมาลี, 2555; Supaprom, 2003; Nussbaum and Treisman, 1981; Seto et al. 1982; Gao, 1989; Green and Session, 1991; Bogart et al., 1994; Chulalaksananukul et al., 1998; Gu and Tian, 2000; Khonsue, and Thirakhupt, 2001; Chokchaichamnankit et al., 2002; Supaprom and Baimai, 2005; Supaprom et al., 2006; Siripiyasing et al., 2008; Pyron and Wiens, 2011; Bao et al., 2012; Patawang et al., 2014, 2016; Pradit et al., 2017; Sangpakdee et al., 2017)
หมายเหตุ: 2n = จำนวนโครโมโซมดิพลอยด์; micro = โครโมโซมชุดเล็ก; bi = โครโมโซมสองแขน; mono = โครโมโซมแขนเดียว

เอกสารอ้างอิง

ถาวร สุภาพรม. (2541). การวิเคราะห์โครโมโซมที่ย้อมแถบสี (c-banding) ในอึ่งปากขวดและอึ่งบ้าน. ใน: การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ. 488-489.

ถาวร สุภาพรม และแก้ว อุดมชาครศิริ. (2548). การศึกษาเซลล์พันธุศาสตร์และความหลากหลายของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในเขตอุทยานแห่งชาติมาแต่ม จ.อุบลราชธานี. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ถาวร สุภาพรม และประภาพร กัลยาประสิทธิ์. (2533). การศึกษาโครโมโซมของอึ่งบ้าน (*Kaloula pulchra*) และคางคกบ้าน (*Bufo melanostictus*). ใน: กำหนดการและบทความวิชาการในการสัมมนาวิชาการพันธุศาสตร์ ครั้งที่ 7 เรื่อง พันธุศาสตร์เพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิต. สมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 107-109.

ถาวร สุภาพรม นงเยาว์ ฉาโรสง และนิยดา ท่อนาค. (2534). การศึกษาจำนวนโครโมโซมและคาริโอไทป์ของเขียดจิก และเขียดอีโม้. ใน:

รวมบทความวิชาการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ. B-060.

ถาวร สุภาพรม, วาริณี อรุณมงคลผล และแก้ว อุดมศิริชาคร. (2535ก). การศึกษาจำนวนโครโมโซมและคาริโอไทป์ของอึ่งปากขวด (*Glyphoglossus molossus*) และปาดบ้าน (*Rachophorus leucomystax*). ใน: รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 30. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และพลังงาน, กรุงเทพฯ. 717-724.

ถาวร สุภาพรม อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์ และอุไรวรรณ นิลเพชร. (2535ข). การศึกษาจำนวนโครโมโซมและคาริโอไทป์ของเขียดเหลือง (*Rana lateralis*) และอึ่งแว่น (*Calluella guttulata*). ใน: รวมบทความวิชาการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ. 400-401.

ถาวร สุภาพรม บุษกร อารยงค์กูร์ แก้ว อุดมชาครศิริ และวาริณี อรุณมงคลผล. (2536). การศึกษาคาร์ิโอไทป์และการย้อมแถบ

- โครโมโซมแบบซีของกบจุก (*Rana pileata* Boulenger). ใน: รวมผลงานสัมมนาวิชาการพันธุศาสตร์ ครั้งที่ 8 พันธุศาสตร์ยุคใหม่. สมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 212-220.
- ถาวร สุภาพรม วาริณี พลະສາธ และปทุมทิพย์ บุญจุง. (2537). รายงานครั้งแรกเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซมและคาริโอไทป์ของอึ่งขาคำ (*Microhyla pulchra* Holowell) และอึ่งก้นขีด (*Kaloula mediolineata* Smith). ใน: บทความวิชาการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ. B-36.
- ฉัญญา จันอาจ. (2546). คู่มือสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในเมืองไทย. กรุงเทพฯ: ด้านสุทธการพิมพ์.
- รัช ดอนสกุล. (2548). คาริโอไทป์และบริเวณนิวคลีโอไล์ของเซลล์ในกบนา อึ่งอ่าง และคางคกที่พบในประเทศไทย. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- รัช ดอนสกุล. (2552). คาริโอไทป์จากเซลล์ตับของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกในประเทศไทย 7 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 28: 162-170.
- รัช ดอนสกุล และอัจฉริยา รังจิรุจิ. (2548). คาริโอไทป์ของเซลล์ตับในกบภูเขา เขียดบัว เขียดกาญจนบุรี เขียดน้ำนอง อึ่งเผ้า. ใน: การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ. 1-8.
- นงลักษณ์ นาคเกษม. (2519). การศึกษาการเจริญเติบโตและคาริโอไทป์ของกบหนอง อึ่งอ่าง และคางคกไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ: 152 หน้า.
- นิตยา เลหาจินดา. (2539). วิทยาการของสัตว์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิรัช เลหาจินดา. (2552). วิทยาสัตว์เลื้อยคลานและสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมาลี พิมพ์พันธ์. (2555). พันธุศาสตร์เซลล์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกบางชนิดในพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา ชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: 329 หน้า.
- อมรา คัมภีรานนท์. (2546). พันธุศาสตร์ของเซลล์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อลงกลด แทนอมทอง. (2554). พันธุศาสตร์เซลล์. ขอนแก่น: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อำพา เหลืองภิรมย์ สุมนทิพย์ บุณนาท อรอนงค์ กฤษเพชรรัตน์ และชวลิต กฤษเพชรรัตน์. (2540). โครงการศึกษาเซลล์พันธุศาสตร์ของสัตว์และพรรณไม้บางชนิด ในเขตอุทยานแห่งชาติภูพาน จังหวัดสกลนคร และจังหวัดกาฬสินธุ์. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Bao, F., Wang, S., Cui, F. and Kang, J. (2012). Analysis on the Karyotypes of *Tylotriton asperrimus* in Yaoluoping Nature Reserve Yuexi, Anhui. Journal of Anhui Science and Technology University 1: 32-35. [in Chinese]
- Bogart, J. P., Balon, E. K. and Bruton, M. N. (1994). The chromosomes of the living coelacanth and their remarkable similarity to those of one of the most ancient frogs. Journal of Heredity 85: 322-325.
- Chokchaichamnankit, P., Warawut, C. and Putsatee P. (2002). Sex chromosome study of frog (*Hoplobatrachus rugulosus*) by chromosome banding technique. Journal of Scientific Research of Thailand (Section T) 1: 153-166.
- Chulalaksananukul, W., Suwannakerdet, A. and Pariyanonth, P. (1998). Karyotypic study of *Kaloula mediolineata* (Amphibia: Microhylidae). The Journal of Scientific Research Chulalongkorn University 23: 129-134.
- Gao, X. (1989). Study on karyotypes C-banding and Ag-NORs of *Rana minimus* and *Hyla chinensis* from Fuzhou. Yi Chuan Xue Bao 16: 42-48. [in Chinese]
- Green, D.M. and Sessions, S.K. (2012). Amphibian Cytogenetics and Evolution. San Diego: Academic Press.
- Gu, X. and Tian, Y. (2000). A comparative study on karyotypes, C-bands of four species of Salamandridae from Guizhou. Acta Zoologica Sinica 46: 108-112.
- Hall, B.K. and Hallgrímsson, B. (2008). Strickberger's Evolution. 4th ed. Boston: Jones and Bartlett Publishers.
- Khonsue, W. and Thirakhuat, K. (2001). A checklist of the amphibians in Thailand. The Natural History Journal of Chulalongkorn University 1: 69-82.
- Morescalchi, A. (1980). Evolution and karyology of the amphibians. Bolletino di zoologia 47: 113-126.
- Nishikawa, K., Khonsue, W., Pomchote, P. and Matsui, M. (2013). Two new species of *Tylotriton* from Thailand (Amphibia: Urodela: Salamandridae). Zootaxa 3737: 261-273.
- Nussbaum, R.A., Brodie, J.E.D. and Yang, D. (1995). A taxonomic review of *Tylotriton verrucosus* Anderson (Amphibia: Caudata: Salamandridae). Herpetologica 51: 257-268.
- Nussbaum, R.A. and Treisman, G. (1981). Cytotaxonomy of *Ichthyophis glutinosus* and *I. kohtaoensis*, two primitive caecilian from Southeast Asia. Journal of Herpetology 15: 109-113

- Patawang, I., Tanomtong, A., Phimphan, S., Chuaykern, Y., Chuaykern, C., Phaengphairee, P. and Nithikulworawong, N. (2014). The identification of sex-chromosomes and karyological analysis of rice frog, *Fejervarya limnocharis*, (Anura, Ranidae) from northeast Thailand. *Cytologia* 79: 141-150.
- Patawang, I., Pinthong, K., Phimphan, S., Chuaykern, Y., Duengkae, P. and Tanomtong, A. (2016). Karyological characteristics of the Koh Tao caecilian, *Ichthyophis kohtaoensis* (Amphibia: Gymnophiona: Ichthyophiidae) by conventional staining and Ag-NOR banding techniques. *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali* 27: 597-602.
- Pradit, W., Suwannapoom, C., Bowonchairit, K., Buddhachat, K., Tantithakura, O. and Chomdej, S. (2017). Preliminary karyotype analysis of *Amolops panhai* and *Sylvirana nigrovittata* (Anura, Ranidae) from southern Thailand. *The Nucleus* 8: 1-5.
- Pyron, R.A. and Wiens, J.J. (2011). A large-scale phylogeny of Amphibia including over 2800 species, and a revised classification of extant frogs, salamanders, and caecilians. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 61: 543-583.
- Sangpakdee, W., Phimphan, S., Tengjaroenkul, B., Pinthong, K., Neeratanaphan, L. and Tanomtong, A. (2017). Cytogenetic Study of Three Microhylid Species (Anura, Microhylidae) from Thailand. *Cytologia* 82: 67-74.
- Siripiyasing, P., Chulalaksananukul, W., Pariyanonth, P., Kaewsri, S., Sittigul, S., Seatung, N. and Tanomtong, A. (2008). The identification of the sex chromosome and karyotype of four toad species (genus *Bufo*) in Thailand by T-lymphocyte cell culture. *Cytologia* 73: 229-241.
- Supaprom, T. (2003). Cytogenetics of Amphibians in Thailand. Doctor of Philosophy, Thesis in Biology, Faculty of Graduate Studies, Mahidol University. Bangkok: 123 pages.
- Supaprom, T. and Baimai, A. (2005). Characterization of c-banded mitotic chromosomes in four species of anuran amphibians from Thailand. *Amphibia-Reptilia* 26: 367-371.
- Supaprom, T., Baimai, A. and Chan-ard. (2006). Karyotypes of four species of megophryid frogs (Anura: Megophryidae) from Thailand. *Amphibia-Reptilia* 27: 456-460.
- Seto, T., Utsunomiya, Y. and Utsunomiya, T. (1982). Karyotypes and banding patterns of *Tylostotriton andersoni* Boulenger, a newt endemic to Ryukyu islands. *Japanese Journal of Genetics* 57: 527-534.

