

ความสัมพันธ์ของโครโมโซมของลิงเสน (*Macaca arctoides*) และมนุษย์ (*Homo sapiens*) ด้วยวิธีการย้อมแถบสีแบบจี

อลงกลด แทนอมทอง¹ สัมภาษณ์ คุณสุข²

มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์³

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10400

และวิจิต กองคำ⁴

องค์การสวนสัตว์ในพระบรมราชูปถัมภ์ ดุสิต กรุงเทพฯ 10300

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นรายงานครั้งแรกของการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของโครโมโซมของลิงเสนและมนุษย์ ด้วยเทคนิคการย้อมแถบสีโครโมโซมแบบจี ใช้ตัวอย่างเลือดสัตว์เพศผู้ 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัวจากสวนสัตว์สงขลา จังหวัดสงขลา และสวนสัตว์นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เตรียมโครโมโซมด้วยการเพาะเลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดขาวที่อุณหภูมิ 37 °ซ เป็นเวลา 72 ชม. ทำการย้อมแถบสีโครโมโซมแบบจี ผลการศึกษาพบว่าลิงเสนมีจำนวนโครโมโซม 2n (diploid) เท่ากับ 42 แท่ง โครโมโซมร่างกายประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริกเท่ากับ 18 แท่ง ชนิดซับเมทาเซนทริกเท่ากับ 22 แท่ง บนแขนข้างสั้นของโครโมโซมคู่ที่ 13 จัดเป็น satellite chromosome โครโมโซมเอ็กซ์เป็นชนิดซับเมทาเซนทริกขนาดกลาง และโครโมโซมวายเป็นชนิดซับเมทาเซนทริกขนาดเล็กมากที่สุด โครโมโซมของลิงเสนติดแถบสีจีเหมือนกับโครโมโซมของมนุษย์ 5 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 5, 12, 13, 19 และโครโมโซมเอ็กซ์ โครโมโซมคู่ที่ 13 แขนข้างสั้นจะมีความคล้ายกับโครโมโซมคู่ที่ 22 ของมนุษย์ และแขนข้างยาวจะเหมือนกับโครโมโซมคู่ที่ 15 ของมนุษย์ สันนิษฐานว่าโครโมโซมคู่ที่ 15 และ 22 ของมนุษย์ เกิดจากการหักของโครโมโซมคู่ที่ 13 ของลิงเสน มีโครโมโซมที่มีการติดแถบสีคล้ายคลึงกับของมนุษย์ 11 คู่ ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17 และ 20 และพบว่าโครโมโซมคู่ที่ 1 ของลิงเสนมีการสลับหัวท้ายกับของมนุษย์ สันนิษฐานว่าเกิดจากผลของ pericentric inversion ของโครโมโซมคู่ที่ 1 ของลิงเสนกลายเป็นคู่ที่ 1 ของโครโมโซมมนุษย์ ส่วนโครโมโซมที่มีแถบสีไม่เหมือนกันกับของมนุษย์มี 6 คู่ ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 2, 4, 15, 16, 18 และโครโมโซมวาย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าลิงเสนมีความใกล้เคียงกันกับมนุษย์

คำสำคัญ : โครโมโซม / คาร์ิโอไทป์ / การย้อมแถบสีแบบจี / ลิงเสน / มนุษย์

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาพันธุศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

² อาจารย์ สาขาพันธุศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาพันธุศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

⁴ สัตวแพทย์

Chromosome G-banding Analysis of Stump-tailed Macaque (*Macaca arctoides*) and Relationship to Human (*Homo sapiens*)

Alongkoad Tanomtong¹, Sumpars Khunsook²,

Khon Kaen University, Mung, Khon Kaen 40002

Roungvit Bunjongrat³,

Chulalongkorn University, Payathai, Bangkok 10400

and Wichit Kongkham⁴

The Zoological Park Organization Under the Royal Patronage, Dusit, Bangkok 10300

Abstract

This research was the first report an comparative chromosome G-banding analysis of stump-tailed macaque (*Macaca arctoides*) and its relationship to that of human (*Homo sapiens*). Blood samples were taken from two males and two females kept in Songkla Zoo, Songkla province and Nakhonratchasima Zoo, Nakhonratchasima province. After the standard whole blood lymphocyte culture at 37 °C for 72 hr. in presence of colchicine, the metaphase spreads were performed on microscopic slides and air-dried. G-banding technique was applied to stain the chromosomes. The results showed that the diploid stump-tailed macaque cells contain 42 chromosome. The type of autosomes are 18 metacentric and 22 submetacentric chromosomes. In addition, a pair of short arm chromosome 13 showed clearly observable satellite chromosome. X-chromosome was the medium submetacentric and Y chromosome was the smallest submetacentric chromosome. We found that chromosome 5, 12, 13 and X have the same G-banding patterns as those of human chromosomes. The short arm of chromosome 13 is similar to the chromosome 22 of human as indicated by G-bands. In addition, the long arm of chromosome 13 is similar to the chromosome 15 of human. These results indicated that the chromosome 13 of the stump-tailed macaque was split into 2 chromosomes. Chromosome 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17 and 20 are similar to those of human chromosomes. The study suggested that the human chromosome 1 is a pericentric inversion of stump-tailed macaque chromosome 1. The macaque chromosomes 2, 4, 15, 16, 18 and Y are different from those of human chromosomes. These results show the relationship between the stump-tailed macaque and human.

Keywords : Chromosome / karyotype / G-banding / Stump-tailed Macaque (*Macaca arctoides*) / Human (*Homo sapiens*)

¹ Assistant Professor, Genetic Program, Department of Biology, Faculty of Science.

² Lecture, Genetic Program, Department of Biology, Faculty of Science.

³ Assistant Professor, Genetic Program, Department of Botany, Faculty of Science.

⁴ Veterinary Medicine.

1. บทนำ

สัตว์ในอันดับ (order) ไพรเมท (primate) มีทั้งหมด 13 วงศ์ (family) 60 สกุล (genus) และ 232 ชนิด (species) [1] ในประเทศไทยพบสัตว์ในอันดับไพรเมท 3 วงศ์ 5 สกุล และ 13 ชนิด เป็นลิงที่อยู่ในสกุล *Macaca* 5 ชนิด ได้แก่ ลิงเสน (stump-tailed macaque, *Macaca arctoides* Geoffroy, 1831) ลิงไ้อ้เงี้ยวหรือวอกภูเขา (assam macaque, *Macaca assamensis* McClelland, 1839) ลิงแสมหรือลิงหางยาว (crab-eating macaque or long-tailed macaque, *Macaca fascicularis* Raffles, 1821) ลิงวอก (rhesus monkey, *Macaca mulatta* Zimmermann, 1780) และลิงกัง (pig-tailed macaque, *Macaca nemestrina* Linnaeus, 1766) [2-4] และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าพวกลิง (monkey and macaques) ชะนี (gibbons) และเอพ (apes) มีวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกันกับมนุษย์ (common ancestor) [5-7]

ลิงเสนสามารถที่จะจัดอนุกรมวิธานได้ดังต่อไปนี้ อยู่ในอาณาจักร (kingdom) สัตว์ ไฟลัม (phylum) สัตว์มีกระดูกสันหลัง (chordata) ชั้น (class) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (mammal) อันดับสัตว์จำพวกลิง (primate) วงศ์ Cercopithecidae วงศ์ย่อย Cercopithecinae สกุล *Macaca* และชนิด *Macaca arctoides* ลักษณะที่สำคัญของลิงเสน ได้แก่ มีขนสีเข้ม ลำตัวด้านบนสีน้ำตาลแกมแดงหรือสีดำ หางสั้น และเกือบไม่มีขน ใบหน้าไม่มีขน แต่มีกระสีน้ำตาลแดงหรือสีแดง ส่วนใหญ่อาศัยบนพื้นดินในป่าริมห้วย พบเป็นฝูงประมาณ 40-50 ตัว ในป่าดิบชื้นและป่าเบญจพรรณ ทุกภาคของประเทศไทย [2-4]

ลิงสกุล *Macaca* ทั้ง 5 ชนิดในประเทศไทย จากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยพบว่ามี รายงานการศึกษา พันธุศาสตร์เซลล์ของลิงสกุล *Macaca* ดังรายงานการศึกษาของ Chiarelli [8]; Napier และ Napier [9]; Small และ Stanyon [10]; Brown และคณะ [11]; Hirai และคณะ [12] (ตารางที่ 1) สำหรับการศึกษเปรียบเทียบ เพื่อหาความสัมพันธ์ของโครโมโซมของลิงเสนและมนุษย์ ด้วยวิธีการย้อมแถบสีแบบจี ยังไม่มีรายงานการศึกษามาก่อนหน้านี้ จึงควรที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาในขั้นสูงต่อไป

ตารางที่ 1 การศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ของลิงที่อยู่ในสกุล *Macaca* จำนวน 4 ชนิด ในประเทศไทย

ชนิดของลิง	2n	NF	m	sm	X	Y	แหล่งอ้างอิง
ลิงเสน (<i>Macaca arctoides</i>)	42	84 ในเพศผู้ และเพศเมีย	18	22	sm(-)	sm(-)	[11]
	42	-	12	28	sm(-)	sm(-)	[8]
ลิงแสม (<i>Macaca fascicularis</i>)	42	84 ในเพศผู้ และเพศเมีย	18	22	m(-)	t(-)	[11]
	42	83 ในเพศผู้ และ 84 ใน เพศเมีย	18	22	m(M)	t(S)	[12]
ลิงวอก (<i>Macaca mulatta</i>)	42	84 ในเพศผู้ และเพศเมีย	18	22	m(-)	m(-)	[11]
	42	84 ในเพศผู้ และเพศเมีย	18	22	m(M)	m(S)	[9]
	42	84 ในเพศผู้ และเพศเมีย	18	22	m(M)	m(S)	[10]
ลิงกัง (<i>Macaca nemestrina</i>)	42	84 ในเพศผู้ และเพศเมีย	18	22	sm(-)	t(-)	[11]

หมายเหตุ : 2n = diploid number NF = fundamental number m = metacentric
 sm = submetacentric t = telocentric X = X-chromosome
 Y = Y-chromosome M = medium chromosome S = small chromosome

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ลิงเสนที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 4 ตัว ที่เลี้ยงอยู่ในสวนสัตว์สงขลา เพศผู้ 1 ตัวและเพศเมีย 2 ตัว และสวนสัตว์นครราชสีมา เพศผู้ 1 ตัว ทำการเจาะเก็บเลือดโดยใช้เทคนิคปราศจากเชื้อจากเส้นเลือดดำบริเวณลำคอ และทำการเจาะเก็บเลือดของมนุษย์เป็นเพศชาย 1 คน และเพศหญิง 1 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาปริญญาโทของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยได้รับการยินยอมจากผู้ทดลองแล้ว จากเส้นเลือดบริเวณข้อมือ เก็บเลือดในหลอดสุญญากาศขนาด 10 มล. ที่บรรจุสารเฮปาริน (heparin) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด แล้วทำการแช่ในกระติกน้ำแข็งตลอดการเดินทางจนถึงห้องปฏิบัติการ ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด T-lymphocyte ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเซลล์ เม็ดเลือดขาวจากเลือดปริมาณน้อย การย้อมสีโครโมโซมแถบสีแบบจี (Giemsa's stains; G-bands) ที่ดัดแปลงมาจากวิธีการในมนุษย์ [13] ดังนี้

2.1 การเพาะเลี้ยงเซลล์

นำเลือดลิงเสนและมนุษย์จำนวน 5 หยด หยดลงในขวดเลี้ยงที่มีอาหาร RPMI 1640 ปริมาตร 10 มล. ปิดฝาขวดหลวมๆ นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 °ซ มีคาร์บอนไดออกไซด์ 5% และทำการเขย่าเลือดทุกเช้าเย็นในชั่วโมงที่ 72 ทำการหยุดสารละลายโคลชิซิน (colchicine) แล้วนำไปบ่มในตู้บ่มต่ออีก 30 นาที

2.2 การเก็บเกี่ยวเซลล์

นำอาหาร RPMI 1640 ที่มีเลือดลิงเสนและมนุษย์อยู่มาปั่นเหวี่ยงที่ 1,200 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสด้านบนทิ้ง ทำให้เซลล์พองตัวเพื่อที่โครโมโซมจะมีการกระจายตัวดี โดยหยด 0.075 M KCl จำนวน 10 มล. ลงในตะกอนเซลล์ บ่มต่อไปอีก 30 นาที แยกเอา KCl ออก โดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,200 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสด้านบนทิ้ง ทำการตรึงเซลล์ (fix) โดยการเติม fixative ที่มีอัตราส่วนของ methanol : glacial acetic acid เป็น 3 : 1 [13] ต้องนำไปแช่เย็นและเตรียมใหม่ก่อนใช้ทุกครั้ง จนได้ปริมาตรประมาณ 8 มล. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,200 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วน fixative ด้านบนทิ้ง เติม fixative ซ้ำอีก จนได้สารละลายที่ใสและมีตะกอนเซลล์ที่กั้นตลอด ดูดสารละลายด้านบนทิ้งจนเกือบหมด แล้วเติม fixative ลงไปอีก 1 มล. ใช้ micropipette ดูดสารละลายตะกอนเซลล์เม็ดเลือดขาวลงบนสไลด์

2.3 การย้อมโครโมโซมแถบสีแบบจี

นำสไลด์ที่ต้องการย้อมแถบสีแบบจีมาทำให้แห้ง โดยอบสไลด์ที่ความร้อน 70 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสไลด์มาแช่ในสารละลาย working trypsin 0.025% [13] ที่อยู่ใน water bath อุณหภูมิ 37 °ซ ในระยะเวลา 45 ถึง 60 วินาที หยุดการทำงานของ trypsin โดยล้างสไลด์ใน 10% fetal calf serum (FCS) ทำการล้าง FCS ด้วย methanol 50% จนทั่วสไลด์ ย้อมสีจีมา (Giemsa's) 10% ประมาณ 20-30 นาที ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการเพาะเลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดขาวและการย้อมสีโครโมโซมแบบแถบสีจี พบว่าลิงเสนมีจำนวนโครโมโซม 2n (diploid) เท่ากับ 42 แห่ง ประกอบด้วยโครโมโซมร่างกาย (autosome) 40 แห่ง (20 คู่) และโครโมโซมเพศ (sex-chromosome) 2 แห่ง (1 คู่) ได้แก่ โครโมโซมเอ็กซ์ (X-chromosome) และโครโมโซมวาย (Y-chromosome) (ภาพที่ 1 และ 2) มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐาน (fundamental number; NF) เท่ากับ 84 ทั้งในเพศผู้และเพศเมีย โดยลิงจากสวนสัตว์สงขลาและสวนสัตว์นครราชสีมาให้ผลการศึกษาที่เหมือนกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมนุษย์ พบว่ามนุษย์มีจำนวนโครโมโซม 2n เท่ากับ 46 แห่ง ประกอบด้วยโครโมโซมร่างกาย 44 แห่ง (22 คู่) และโครโมโซมเพศ 1 คู่ (2 แห่ง) ได้แก่ โครโมโซมเอ็กซ์และโครโมโซมวาย (ภาพที่ 3 และ 4) และมนุษย์มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานเท่ากับ 92 ทั้งในเพศชายและหญิง [14-17] จะเห็นได้ว่ามนุษย์มีจำนวนโครโมโซมและโครโมโซมพื้นฐานที่มากกว่าลิงเสน

ลิงเสนมีโครโมโซมร่างกายเพียง 2 ชนิด คือ ชนิดเมทาเซนตริก (metacentric) และซับเมทาเซนตริก (submetacentric) ไม่พบโครโมโซมชนิดอะโครเซนตริก (acrocentric) และเทโลเซนตริก (telocentric) ในโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนตริกและซับเมทาเซนตริก พบว่าประกอบด้วยโครโมโซมทุกขนาด โดยมีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนตริกขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก เท่ากับ 6-4-8 แห่ง ตามลำดับ และชนิดซับเมทาเซนตริกขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก เท่ากับ 8-12-2 แห่ง ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมนุษย์ พบว่ามนุษย์มีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนตริกขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก เท่ากับ 6-6-4 แห่ง ตามลำดับ และชนิดซับเมทาเซนตริกขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก เท่ากับ 4-8-6 แห่ง ตามลำดับ นอกจากนี้ในมนุษย์ยังพบโครโมโซมร่างกายชนิดอะโครเซนตริกขนาดกลาง

และเล็ก เท่ากับ 6-4 แห่ง ตามลำดับ [14-15] จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าลิงเสนมีโครโมโซมที่มีการอนุรักษ์ (conservative) สูงมากกว่าของมนุษย์ เนื่องจากไม่พบโครโมโซมชนิดอะโครเซนทริก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Jones และคณะ [6] ที่ รายงานว่าโครโมโซมของลิงเฝ และลิงสกุล *Macaca* ที่เป็นสกุลเดียวกันกับลิงเสน เช่น ลิงวอกไม่มีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนโครโมโซมภายหลังจากที่แยกตัวออกมาจากบรรพบุรุษร่วมที่มีจำนวนโครโมโซม $2n$ เท่ากับ 44 แห่ง

โครโมโซมเพศของลิงเสน มีโครโมโซมเอ็กซ์เป็นชนิดซั่มเมทาเซนทริกขนาดกลาง และโครโมโซมวายเป็นชนิดซั่มเมทาเซนทริกขนาดเล็กมากที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมนุษย์ พบว่ามนุษย์มีโครโมโซมเอ็กซ์ชนิดเมทาเซนทริกขนาดกลาง และมีโครโมโซมวายชนิดอะโครเซนทริกขนาดเล็กมากที่สุด [14-17] นอกจากนี้ Rooney [15] ยังรายงานว่าโครโมโซมวายในมนุษย์มีความผันแปรของขนาดแขนข้างยาว จากการย้อมแถบสีแบบจี พบว่ามีขนาดของแถบสีไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่ามีขนาดของเฮเทอโรโครมาทิน (heterochromatin) ที่แตกต่างกัน

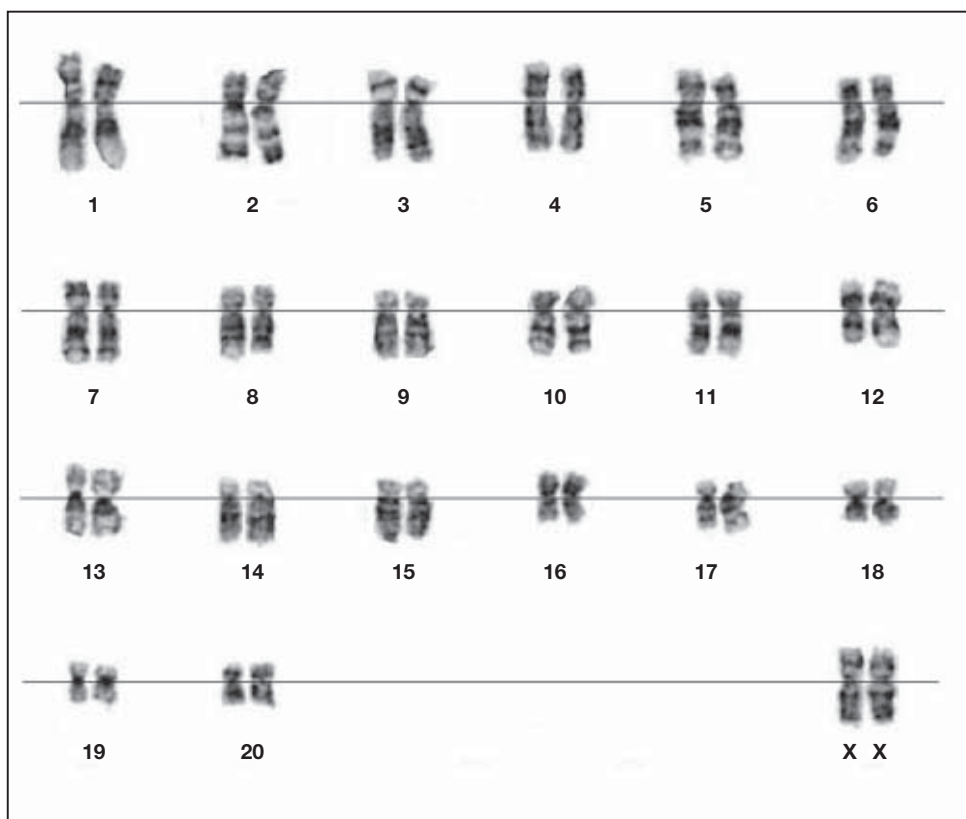
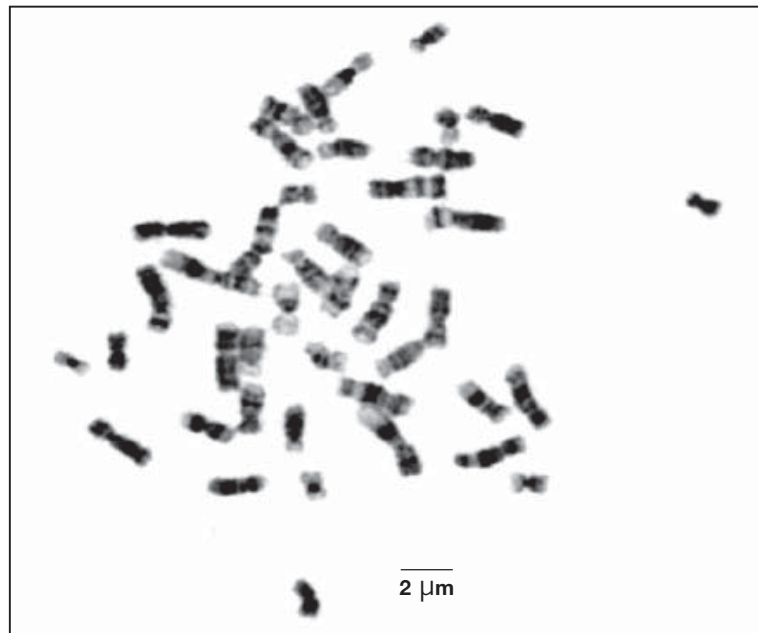
โครโมโซมเครื่องหมาย (chromosome marker) ได้แก่ โครโมโซมที่มีลักษณะเฉพาะสามารถตรวจพบได้ในสฤลและชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ โครโมโซมเครื่องหมายที่ตรวจพบได้ในลิงเสน ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 13 จัดเป็น satellite chromosome คือ โครโมโซมที่มีรอยคอดที่สอง (secondary constriction) และมีบริเวณของ nucleolar organizer region (NOR) อยู่บนแขนข้างสั้นของโครโมโซมคู่ที่ 13 สำหรับโครโมโซมคู่ที่ใหญ่ที่สุดของลิงเสน คือ โครโมโซมร่างกายคู่ที่ 1 ชนิดเมทาเซนทริก และโครโมโซมวายชนิดซั่มเมทาเซนทริกเป็นโครโมโซมที่มีขนาดเล็กที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมนุษย์พบว่ามนุษย์มีโครโมโซมเครื่องหมาย ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 13, 14, 15, 21 และ 22 จัดเป็น satellite chromosome โครโมโซมคู่ที่ใหญ่ที่สุดของมนุษย์ คือ โครโมโซมร่างกายคู่ที่ 1 ชนิดเมทาเซนทริก และโครโมโซมวายชนิดอะโครเซนทริกเป็นโครโมโซมที่มีขนาดเล็กมากที่สุด [14] [15] [18]

จากการย้อมแถบสีแบบจีในโครโมโซมระยะเมทาเฟสของลิงเสน พบว่ามีจำนวนแถบสีบนโครโมโซม 272 แถบ (ภาพที่ 5) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับโครโมโซมของมนุษย์ในรายงานของ Rooney [15] ที่รายงานโครโมโซมมาตรฐานของมนุษย์ พบว่าโครโมโซมของลิงเสนมีการติดแถบสีจีเหมือนกับของมนุษย์ 5 คู่ ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 5, 12, 13, 19 และโครโมโซมเอ็กซ์ (ภาพที่ 6A) แขนสั้นโครโมโซมคู่ที่ 13 ของลิงเสนจะมีความคล้ายกับโครโมโซมคู่ที่ 22 ของมนุษย์ และแขนข้างยาวจะเหมือนกับโครโมโซมคู่ที่ 15 ของมนุษย์ (ภาพที่ 6A) อาจจะสันนิษฐานได้ว่าในสายการวิวัฒนาการของมนุษย์และลิงเสน จะเกิดการหัก (fission) หรือการเชื่อมต่อของโครโมโซม (fusion) ซึ่งจะมีผลทำให้โครโมโซมคู่ที่ 13 ในลิงเสน มีความเหมือนกับโครโมโซมคู่ที่ 15 และ 22 ในมนุษย์ สำหรับโครโมโซมของลิงเสนที่มีการติดแถบสีจีคล้ายคลึงกับของมนุษย์ คือ มีแถบสีส่วนมากที่เหมือนกัน แต่มีความผันแปรในบางแถบสีที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันมีอยู่ 11 คู่ ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17 และ 20 (ภาพที่ 6B)

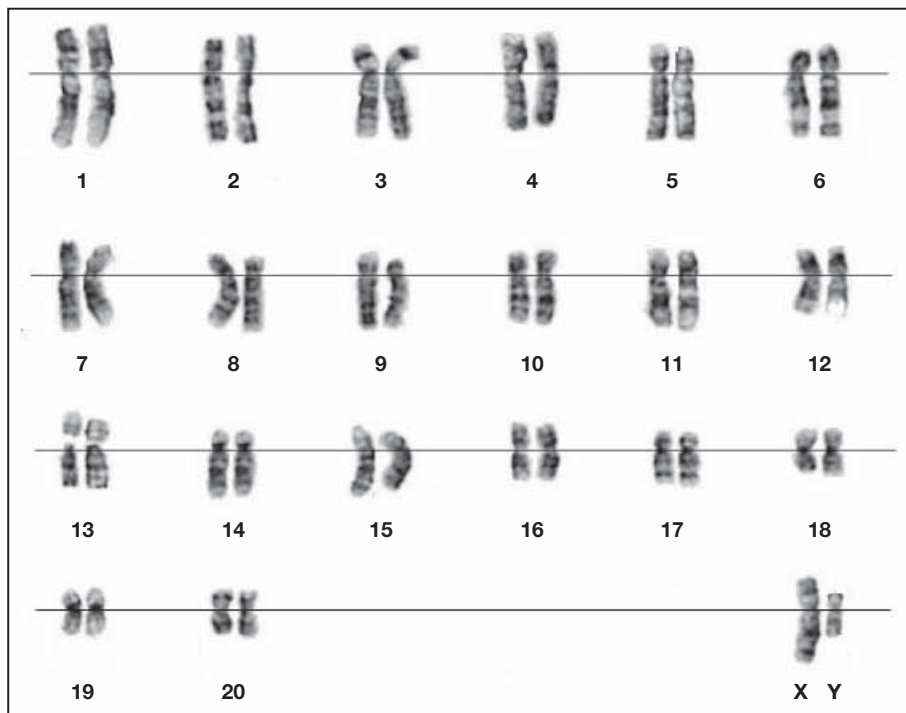
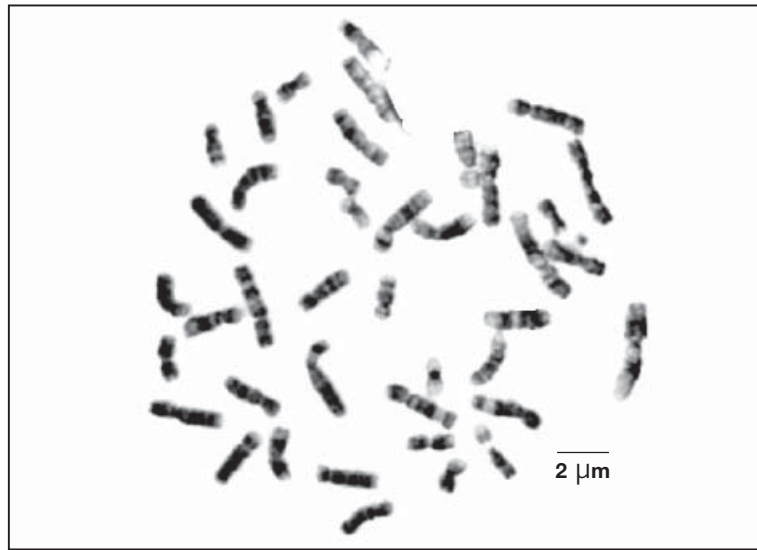
จากการเปรียบเทียบแถบสีโครโมโซมแบบจีระหว่างลิงเสนและมนุษย์ พบว่าโครโมโซมคู่ที่ 1 ของลิงเสนจะมีส่วนที่สลับหัวท้ายกับโครโมโซมมนุษย์ สันนิษฐานว่าเกิดจากผลของ pericentric inversion ของโครโมโซมคู่ที่ 1 ของลิงเสนกลายมาเป็นคู่ที่ 1 ของโครโมโซมมนุษย์ (ภาพที่ 7) ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Brown และคณะ [11] ที่พบการหักของโครโมโซมแล้วต่อสลับชนิด paracentric inversion จากการย้อมโครโมโซมแถบสีแบบอาร์ (R-bands) ในโครโมโซมคู่ที่ 5 ของลิงวอกและลิงแสม

จากการศึกษายังพบว่าการสลับคู่กันของโครโมโซม โดยโครโมโซมคู่ที่ 4 ของมนุษย์เหมือนกับคู่ที่ 5 ของลิงเสน คู่ที่ 5 ของมนุษย์คล้ายกับคู่ที่ 6 ของลิงเสน คู่ที่ 6 ของมนุษย์คล้ายกับคู่ที่ 7 ของลิงเสน คู่ที่ 7 ของมนุษย์คล้ายกับคู่ที่ 8 ของลิงเสน คู่ที่ 8 ของมนุษย์คล้ายกับคู่ที่ 9 ของลิงเสน และโครโมโซมคู่ที่ 13 ของมนุษย์คล้ายกับคู่ที่ 14 ของลิงเสน (ภาพที่ 6A และ 6B) สำหรับโครโมโซมลิงเสนที่มีแถบสีจีไม่เหมือนกับของมนุษย์มี 6 คู่ ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 2, 4, 15, 16, 18 และโครโมโซมวาย (ภาพที่ 6C)

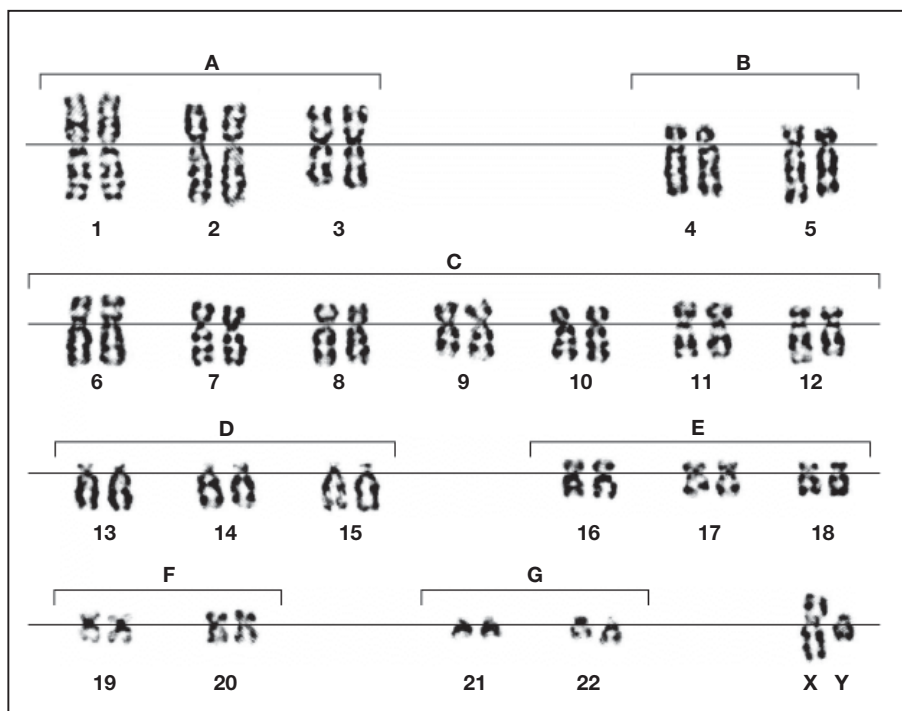
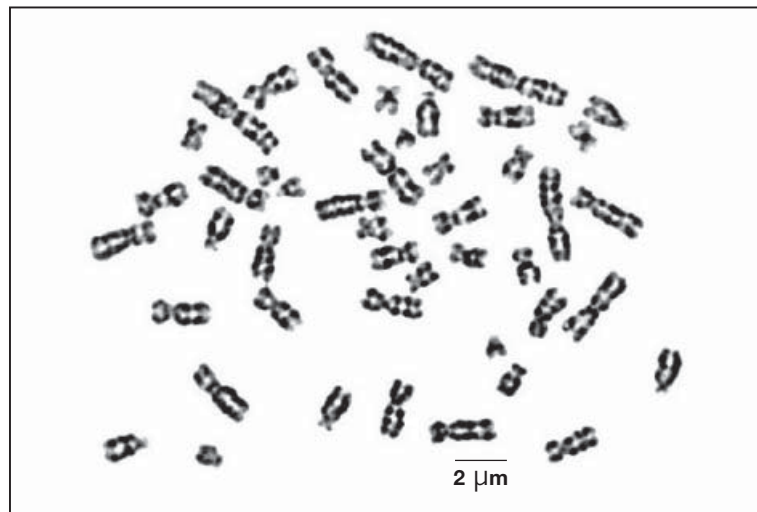
จากการศึกษาของ Jones และคณะ [6] พบว่ารูปแบบแถบสีจีในโครโมโซมมนุษย์จะมีความเหมือนกันกับของลิงในสกุล *Macaca* และลิงบาบูน ($2n$ เท่ากับ 42) มากกว่าในชะนี ($2n$ เท่ากับ 44) ซึ่งจะขัดแย้งกับการเปรียบเทียบทางด้านโครงสร้างของร่างกายและทางด้านดีเอ็นเอ [5] ที่พบว่ามนุษย์มีความเหมือนกับชะนีมากกว่าลิงในสกุล *Macaca* นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างทางสังคมและนิเวศวิทยาบางครั้งมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับอัตราการวิวัฒนาการของโครโมโซมในกลุ่มสัตว์จำพวกลิง ดังนั้นข้อมูลการวิวัฒนาการของโครโมโซมจึงค่อนข้างยากในการวัดความแตกต่าง และความใกล้ชิดของสัตว์จำพวกลิงกลุ่มต่างๆ อย่างแน่นอน จึงต้องมีข้อมูลอื่นๆ มาช่วยประกอบด้วย จากการศึกษาในครั้งนี้พอที่จะสรุปได้ในเบื้องต้นว่าโครโมโซมลิงเสนมีความใกล้เคียงกันกับของมนุษย์



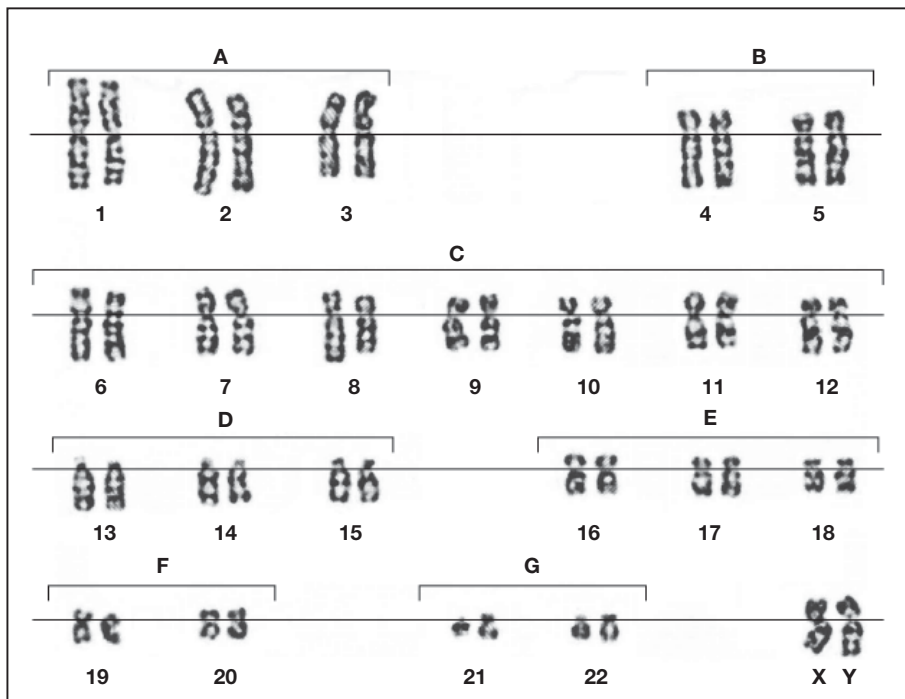
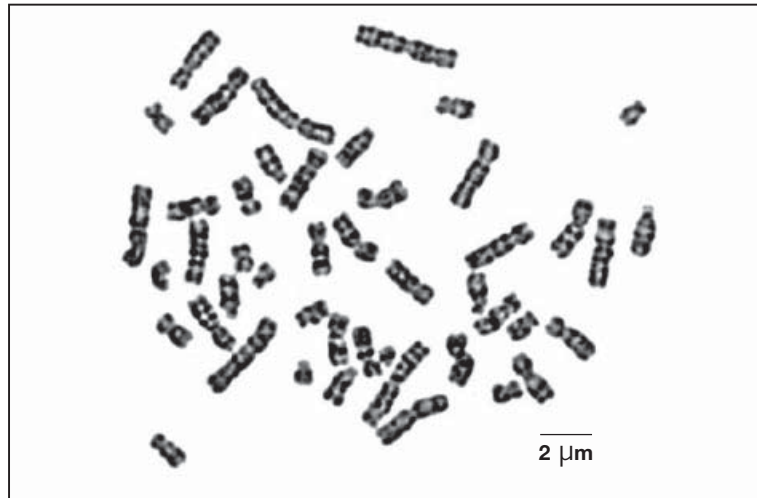
รูปที่ 1 เมทาเฟสโครโมโซมและคาริโอไทป์ของลิงเสน (*Macaca arctoides*) เพศเมีย 2n (diploid) เท่ากับ 42 ด้วยวิธีการย้อมแถบสีแบบจี



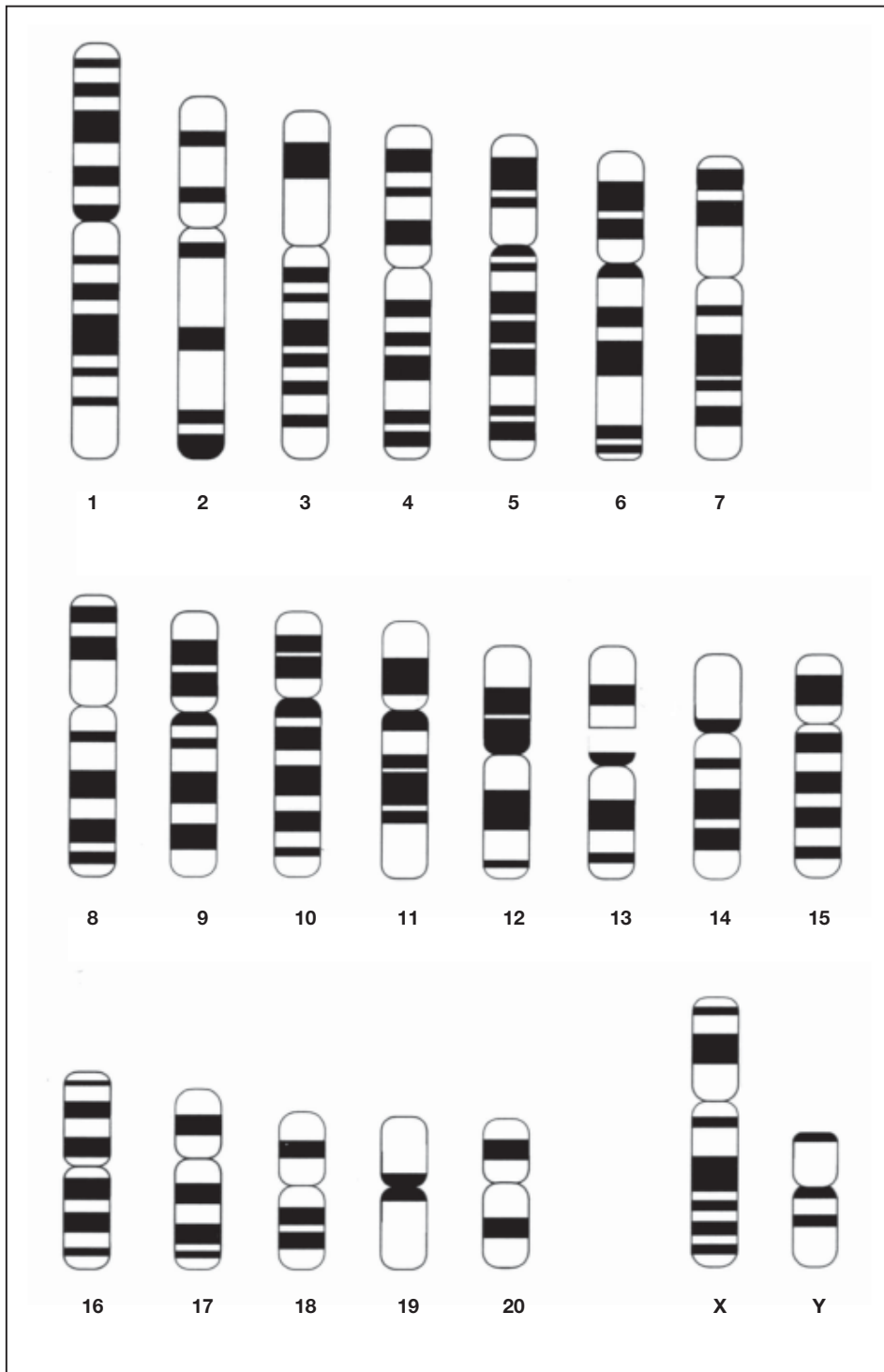
รูปที่ 2 เมทาเฟสโครโมโซมและคาริโอไทป์ของลิงเสน (*Macaca arctoides*) เพศผู้ 2n (diploid) เท่ากับ 42 ด้วยวิธีการย้อมแถบสีแบบจี



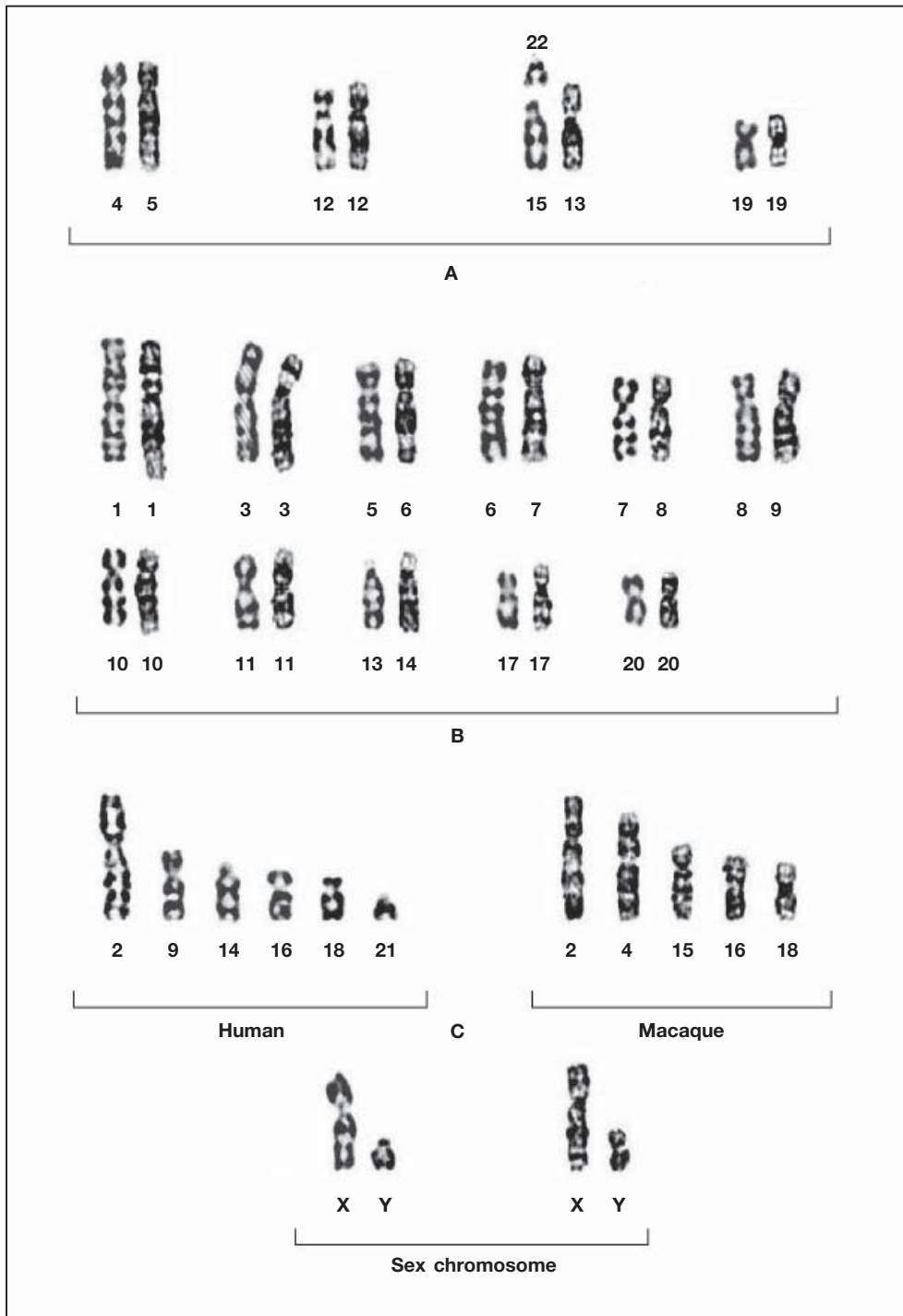
รูปที่ 3 เมทาเฟสโครโมโซมและคาริโอไทป์ของมนุษย์ (*Homo sapiens*) เพศชาย 2n (diploid) เท่ากับ 46 ด้วยวิธีการย้อมแถบสีแบบจี



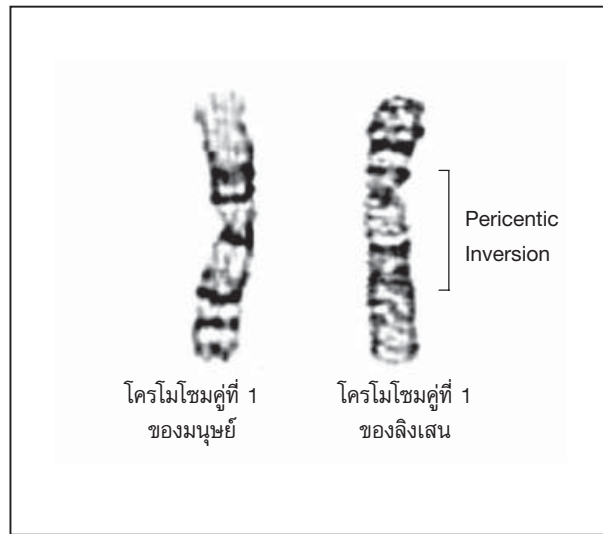
รูปที่ 4 เมทาเฟสโครโมโซมและคาริโอไทป์ของมนุษย์ (*Homo sapiens*) เพศหญิง 2n (diploid) เท่ากับ 46 ด้วยวิธีการย้อมแถบสีแบบจี



รูปที่ 5 อีดีโอแกรมของลิงเสน (*Macaca arctoides*) 2n (diploid) เท่ากับ 42 จากโครโมโซมระยะเมทาเฟสที่ใช้วิธีการย้อมแถบสีแบบจี แ่งที่ 13 เป็น satellite chromosome



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบคู่ของโครโมโซมระหว่างของมนุษย์ (ด้านซ้าย) และของลิงเสน (ด้านขวา) ลิงเสนมีโครโมโซมที่เหมือนกับของมนุษย์ 5 คู่ (A และโครโมโซมเอ็กซ์) ที่คล้ายคลึงกันกับของมนุษย์ 11 คู่ (B) และที่แตกต่างกันกับของมนุษย์ 6 คู่ (C และโครโมโซมวาย)



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบ G-bands ของโครโมโซมคู่ที่ 1 ของลิงเสนและมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงชนิด pericentric inversion กับโครโมโซมลิง ทำให้กลายมาเป็นโครโมโซมของมนุษย์

4. สรุปผลการวิจัย

จากการเพาะเลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดขาว และการย้อมสีโครโมโซมแบบแถบสีจี พบว่าลิงเสนมีจำนวนโครโมโซม $2n$ เท่ากับ 42 แห่ง โครโมโซมร่างกายประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก 18 แห่ง และชนิดซัพเมทาเซนทริก 22 แห่ง บนแขนข้างสั้นของโครโมโซมคู่ที่ 13 จัดเป็น satellite chromosome โครโมโซมเอ็กซ์เป็นชนิดซัพเมทาเซนทริกขนาดกลาง และโครโมโซมวายเป็นชนิดซัพเมทาเซนทริกขนาดเล็กมากที่สุด โครโมโซมติดแถบสีจีเหมือนกับโครโมโซมของมนุษย์ 5 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 5, 12, 13, 19 และโครโมโซมเอ็กซ์ แขนข้างสั้นโครโมโซมคู่ที่ 13 ของลิงเสนจะมีความคล้ายกับโครโมโซมคู่ที่ 22 ของมนุษย์ และแขนข้างยาวจะเหมือนกับโครโมโซมคู่ที่ 15 ของมนุษย์ มีโครโมโซมที่มีการติดแถบสีจีคล้ายคลึงกับของมนุษย์ 11 คู่ ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17 และ 20 พบว่าโครโมโซมคู่ที่ 1 ของลิงเสนมีแถบจีที่แสดงส่วนที่สลับหัวท้ายกับโครโมโซมมนุษย์ชนิดที่เรียกว่า pericentric inversion โครโมโซมที่มีการติดแถบสีจีไม่เหมือนกันกับของมนุษย์มี 6 คู่ ได้แก่ โครโมโซมคู่ที่ 2, 4, 15, 16, 18 และโครโมโซมวาย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณองค์การสวนสัตว์ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ได้สนับสนุนเงินทุนวิจัยสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบคุณท่านผู้อำนวยการองค์การสวนสัตว์ นายโสภณ ดำนุ้ย ผู้อำนวยการสวนสัตว์สงขลา และผู้อำนวยการสวนสัตว์นครราชสีมา ที่ได้อนุญาตให้ทำการเจาะเก็บตัวอย่างเลือดลิงเสน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และพนักงานสวนสัตว์ทุกท่าน ที่ช่วยให้การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

1. Wilson, D. E. and Cole, F. R., 2000, *Common Names of Mammals of the World*, Smithsonian Institution Press, Washington, pp. 56-70.
2. วรเรน บรอดเคลแมน, 2542, *สัตว์จำพวกลิงในประเทศไทย*, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ, หน้า 1-40.
3. Lekagul, B., and McNeely, J. A., 1977, *Mammals of Thailand*, 1sted, Kurusapha Ladprao Press, Bangkok, Thailand, pp. 285-287.
4. Lekagul, B. and McNeely, J. A., 1988, *Mammals of Thailand*, 2nded, Saha Karn Bhaet, Bangkok, Thailand, pp. 285-287.
5. Groves, P.C., 1989, *A Theory of Human and Primate Evolution*, Oxford University Press, Oxford, pp. 241-250.
6. Jones, S., Martin, R., Pilbeam, D., 1994, *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 129-122.
7. Roos, C. and Geismann, T., 2001, "Molecular phylogeny of the major hylobatid divisions," *Molecular Phylogenetics and Evolution*, Vol. 19, pp. 486-494.
8. Chiarelli, B., 1962, "Comparative and morphometric analysis of primate chromosomes: The chromosomes of genera *Macaca*, *Papio*, *Theropithecus* and *Cercocebus*," *Caryologia*, Vol. 15, pp. 401-420.
9. Napier, J. R. and Napier, P. H., 1976, *A Handbook of Living Primates*, John Wiley and Sons, New York, pp. 59-62.
10. Small, M. F. and Stanyon, R., 1985, "High-resolution chromosome of rhesus macaques (*Macaca mulatta*)," *American Journal of Primatol*, Vol. 9, pp. 63-67.
11. Brown, C. J., Dunbar, V. G., and Shafer, D. A., 1986, "A comparison of the Karyotypes of Six Species of the Genus *Macaca* and a Species of the Genus *Cercocebus*," *Folia Primatol*, Vol. 46 No. 3, pp. 164-172.
12. Hirai, S., Terao, K., Cho, F., and Honjo, S., 1991, "Chromosome studies on cynomolgus monkeys (*Macaca fascicularis*)," *Primate Today*, Vol. 24, pp. 619-622.

13. อมรา คัมภีรานนท์, 2540, *พันธุศาสตร์ของเซลล์*, ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 300-320.
14. Rooney, D. E. and Czepulkowski, B. H., 1986, *Human Cytogenetics*, IRL Press, Oxford, pp. 245-250.
15. Rooney, D. E., 2001, *Human Cytogenetics: Constitutional Analysis*, Oxford University Press, Oxford, pp. 278-280.
16. Miller, D. A., 1977, "Evolution of Primate Chromosomes," *Science*, Vol. 198, pp. 1116-1124.
17. Mitelman, F., 1995, *An International System for Human Cytogenetic Nomenclature*, Karger, Basel, pp. 45-50.
18. Cumming, M. R., 1988, *Human Heredity*, West Publishing Company, United States of America, St. Paul, pp. 26-28.