# บทที่ 5
# สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

## 1. สรุปผลการวิจัย

### 1.1 พันธุศาสตร์เซลล์ของค่างแว่นถิ่นใต้ด้วยเทคนิคการย้อมแถบสีแบบจี

การศึกษาจำนวนและรูปร่างโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้ พบว่าค่างแว่นถิ่นใต้ทั้งเพศผู้และเพศเมียมีจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 44 แท่ง และมีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานเท่ากับ 88 ทั้งในเพศผู้และเพศเมีย โครโมโซมคู่ที่ 19 เป็นโครโมโซมเครื่องหมาย โดยมีรอยคอดที่สองที่อยู่บนแขนข้างยาวของโครโมโซมคู่ที่ 19 โครโมโซมร่างกายประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก 22 แท่ง ซับเมทาเซนทริก 18 แท่ง และอะโครเซนทริก 2 แท่ง โครโมโซมเพศประกอบด้วยโครโมโซมเอ็กซ์เป็นชนิดเมทาเซนทริก และโครโมโซมวายเป็นชนิดซับเมทาเซนทริก

### 1.2 การศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ของค่างแว่นถิ่นใต้ด้วยเทคนิค fluorescence *in situ* hybridization (FISH)

การศึกษาจำนวนและรูปร่างโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้เปรียบเทียบกับมนุษย์ พบว่าจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ของค่างแว่นถิ่นใต้เท่ากับ 44 แท่ง ซึ่งน้อยกว่าจำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ของมนุษย์อยู่ 2 แท่ง คือ เท่ากับ 46 แท่ง โดยสามารถอธิบายได้ว่าโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้มีการจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงวิวัฒนาการของบรรพบุรุษร่วมกันของมนุษย์ โดยที่โครโมโซมคู่ที่ 14 กับ 15 และ 21 กับ 22 ของมนุษย์ซึ่งเป็นโครโมโซมชนิดอะโครเซนทริกเกิดการรวมตัวกัน 2 คู่ ซึ่งเหมือนกับโครโมโซมคู่ที่ 5 และ 19 ของค่างแว่นถิ่นใต้ ทำให้โครโมโซมจากจำนวน 46 แท่ง ลดลงเหลือ 42 แท่ง และโครโมโซมคู่ที่ 2 ของมนุษย์เกิดการแยกตัวกัน 1 คู่ ซึ่งเหมือนกับโครโมโซมคู่ที่ 7 และ 14 ของค่างแว่นถิ่นใต้ ทำให้จำนวนโครโมโซมดิพลอยด์ของค่างแว่นถิ่นใต้เท่ากับ 44 แท่ง นอกจากนี้โครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 10 กับ 16 และ คู่ที่ 6 กับ 8 ยังเกิดกระบวนแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมที่ไม่ใช่โครโมโซมคู่เหมือน และเกิดการต่อสลับแบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วยเฉพาะในโครโมโซมคู่ที่ 8 ของค่างแว่นถิ่นใต้เมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์ แต่ทั้งนี้กระบวนการเหล่านี้เป็นเพียงวิวัฒนาการของโครโมโซมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมิได้หมายความว่ามนุษย์เป็นบรรพบุรุษของค่างแว่นถิ่นใต้ หรือในทางตรงข้ามค่างแว่นถิ่นใต้เป็นบรรพบุรุษของมนุษย์ แต่ถ้าพิจารณาจากองค์ประกอบของลำดับเบสในจีโนมจะพบว่า ค่างแว่น

ถิ่นใต้และมนุษย์มีการอนุรักษ์ทางพันธุกรรมสูงมาก เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโครโมโซมของโครโมโซมเพียงไม่กี่คู่ โดยจะเห็นได้จากผลการศึกษาโดยเทคนิค FISH ซึ่งพบว่าโพรบโครโมโซมของมนุษย์ที่ใช้ศึกษาสามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นใต้ได้ทุกโพรบ และโพรบโครโมโซมของมนุษย์สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้ได้ตลอดทั้งแท่งหรือเกือบทั้งแท่งของโครโมโซม มีเพียงบางโพรบโครโมโซมของมนุษย์ ที่ไฮบริไดซ์ได้เพียงบางส่วน หรือจับกับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่เดียวกัน (โครโมโซมคู่ที่ 14 กับ 15 และ 21 กับ 22 ของค่าง แว่นถิ่นใต้) หรือสองคู่ในโพรบชนิดเดียวกัน (โครโมโซมคู่ที่ 6 กับ 8 และ 10 กับ 16 ของค่างแว่นถิ่นใต้)

## 2. วิจารณ์ผลการวิจัย

### 2.1 การเปรียบเทียบพันธุศาสตร์เซลล์ของค่างแว่นถิ่นใต้กับสัตว์วงศ์ย่อย Colobinae ชนิดอื่น ๆ

การศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบการจัดคาริโอไทป์ตามวิธีการของ อมรา คัมภิรานนท์ (2540) พบว่าค่างแว่นถิ่นใต้มีจำนวนโครโมโซม 2n เท่ากับ 44 แท่ง และมีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานเท่ากับ 88 ทั้งในเพศผู้และเพศเมีย ซึ่งเท่ากับจำนวนโครโมโซมและจำนวนโครโมโซมพื้นฐานของค่างแอฟริกา ค่างเทา ค่างหัวมงกุฎ ค่างแว่นถิ่นเหนือ ค่างแว่นถิ่นใต้ และค่างห้าสี ยกเว้นลิงงวง (proboscis monkey) ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม 2n เท่ากับ 48 แท่ง และมีจำนวนโครโมโซมพื้นฐานเท่ากับ 96 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นสัตว์ในวงศ์ค่างที่มีลักษณะล้าหลังที่สุดในด้านวิวัฒนาการของโครโมโซม (Hsu and Benirschke, 1971; Bigoni et al., 1997a, 1997b; Nie et al., 1998; Bigoni et al., 2003, 2004)

โครโมโซมร่างกายของค่างแว่นถิ่นใต้ประกอบด้วยโครโมโซมชนิดเมทาเซนทริก 22 แท่ง ซับเมทาเซนทริก 18 แท่ง และอะโครเซนทริก 2 แท่ง ซึ่งแตกต่างกับโครโมโซมร่างกายของค่างชนิดอื่น ได้แก่ ค่างแอฟริกาที่รายงานเฉพาะชนิดของโครโมโซมโดยมีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนทริก และซับเมทาเซนทริก (Bigoni et al., 1997b) ค่างเทามีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนทริก ซับเมทาเซนทริก และอะโครเซนทริกที่เล็กที่สุด 2 แท่ง (Bigoni et al., 1997a) ค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือมีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนทริก 22 แท่ง ซับเมทาเซนทริก 18 แท่ง และอะโครเซนทริก 2 แท่ง (Nie et al., 1998) ค่างแว่นถิ่นใต้มีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนทริก และซับเมทาเซนทริกรวม 40 แท่ง และชนิดอะโครเซนทริก 2 แท่ง (Hsu and Benirschke, 1971) ค่างห้าสีมีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนทริกและซับเมทาเซนทริก

(Bigoni et al., 2004) ลิงงวงมีโครโมโซมร่างกายชนิดเมทาเซนทริกและซับเมทาเซนทริก (Bigoni et al., 2003)

โครโมโซมเพศของค่างแว่นถิ่นใต้ประกอบด้วยโครโมโซมเอ็กซ์ชนิดเมทาเซนทริก และโครโมโซมวายชนิดเมทาเซนทริกเช่นกัน ซึ่งแตกต่างจากโครโมโซมเพศของค่างชนิดอื่น ได้แก่ ค่างแอฟริกามีโครโมโซมเพศเอ็กซ์ชนิดเมทาเซนทริก และโครโมโซมเพศวายชนิดซับเมทาเซนทริก (Bigoni et al., 1997b) ค่างเทาเพศผู้มีระบบโครโมโซมเพศเป็น $X_1X_2/Y_1Y_2$ โดยโครโมโซมเพศเอ็กซ์เป็นชนิดเมทาเซนทริกทั้งสองแท่ง ส่วนโครโมโซมเพศวายหนึ่ง ($Y_1$) เป็นชนิดอะโครเซนทริก และโครโมโซมเพศวายสอง ($Y_2$) เป็นชนิดเมทาเซนทริก ค่างเทาเพศเมียมีโครโมโซมเพศเอ็กซ์ทั้งสองแท่งเป็นชนิดเมทาเซนทริก (Bigoni et al., 1997a) ค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือเพศเมียมีโครโมโซมเพศเอ็กซ์เป็นชนิดซับเมทาเซนทริก (Nie et al., 1998) ค่างแว่นถิ่นใต้มีโครโมโซมเพศเอ็กซ์และโครโมโซมเพศวายชนิดซับเมทาเซนทริก (Hsu and Benirschke, 1971) ค่างห้าสีมีโครโมโซมเพศเอ็กซ์เป็นชนิดเมทาเซนทริก และโครโมโซมเพศวายชนิดอะโครเซนทริก (Bigoni et al., 2004) ลิงงวงมีโครโมโซมเพศเอ็กซ์ชนิดเมทาเซนทริก และโครโมโซมเพศวายชนิดซับเมทาเซนทริก (Bigoni et al., 2003)

โครโมโซมเครื่องหมายที่เรียกว่า " นอร์" ของค่างแว่นถิ่นใต้ คือ โครโมโซมคู่ที่ 19 ชนิดซับเมทาเซนทริก ซึ่งแตกต่างจากค่างชนิดอื่น ได้แก่ ค่างเทามีโครโมโซมคู่ที่ 15 ชนิดซับเมทาเซนทริกเป็นโครโมโซมเครื่องหมาย (Bigoni et al., 1997a) ค่างแอฟริกามีโครโมโซมคู่ที่ 16 ชนิดซับเมทาเซนทริกเป็นโครโมโซมเครื่องหมาย (Bigoni et al., 1997b) ค่างหัวมงกุฎ ค่างแว่นถิ่นเหนือ และค่างห้าสีมีโครโมโซมคู่ที่ 21 ชนิดซับเมทาเซนทริกเป็นโครโมโซมเครื่องหมาย (Nie et al., 1998; Bigoni et al., 2004) ลิงงวงมีโครโมโซมคู่ที่ 14 ชนิดซับเมทาเซนทริกเป็นโครโมโซมเครื่องหมาย (Bigoni et al., 2003)

## 2.2 การเปรียบเทียบการศึกษาพันธุศาสตร์โมเลกุลของค่างแว่นถิ่นใต้กับสัตว์วงศ์ย่อย Colobinae ชนิดอื่น ๆ

2.2.1 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 1

จากผลการศึกษาโดยเทคนิค FISH พบว่าโพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 1 สามารถไฮบริไดซ์หรือจับกับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 6 และ 8 ได้ ซึ่งเหมือนกันกับค่างเทาจากรายงานของ Bigoni et al. (1997a) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 1 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 5 และ 13 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 4 และ 5 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998)

ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 5 และ 6 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 8 และ 9 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.2 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 2

จากผลการศึกษาทางเทคนิค FISH พบว่าโพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 2 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 7 และ 14 ได้ทั้งแท่ง แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 2 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 11 และ 17 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 8 และ 17 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 14 และ 19 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 8 และ 13 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 12 และ 13 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.3 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 3

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 3 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 1 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างชนิดอื่น ได้แก่ ค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) ลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 3 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 2 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 12 และ 18 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b)

2.2.4 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 4

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 4 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 3 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) ค่างหัวมงกุฎ และค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 4 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 1 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 2 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 7 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.5 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 5

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 5 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 2 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) ค่างหัวมงกุฎ และค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) แต่ต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 5 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 1($X_2$), $Y_1$, $Y_2$ ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 3 ของลิงงวง และค่างห้าสี (Bigoni et al., 2003, 2004)

2.2.6 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 6

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 6 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 10 และ 16 ได้ แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 6 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 9 และ 16 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 3 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 15 และ 18 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 18 และ 19 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 2 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.7 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 7

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 7 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 4 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างเทา ค่างแอฟริกา และลิงงวง (Bigoni et al., 1997a, 1997b, 2003) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 7 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 11 ของค่างหัวมงกุฎ และค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 6 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.8 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 8

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 8 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 11 ได้ทั้งแท่ง แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 8 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 7 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 9 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 13 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 7 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 5 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.9 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 9

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 9 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 13 ได้ทั้งแท่ง แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 9 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 14 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 10 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 17 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 12 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 14 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.10 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 10

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 10 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 9 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับลิงงวง และค่างห้าสี (Bigoni et al., 2003, 2004) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 10 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 12 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 5 และ 11 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) และโครโมโซมคู่ที่ 6 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998)

2.2.11 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 11

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 11 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 15 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 11 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 13 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 14 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 8 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) และโครโมโซมคู่ที่ 10 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003)

2.2.12 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 12

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 12 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 12 ได้ทั้งแท่ง แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 12 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 10 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 7 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 16 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 11 ของลิงงวง และค่างห้าสี (Bigoni et al., 2003, 2004)

2.2.13 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 13

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 13 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 17 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 13 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 19 ของค่างเทา และค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997a, 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 9 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) และโครโมโซมคู่ที่ 15 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003)

2.2.14 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 14 และ 15

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 14 และ 15 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 5 ได้ ซึ่งเหมือนกันกับค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 14 และ 15 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 6 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 12 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998)

โครโมโซมคู่ที่ 17 และ 21 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 4 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.15 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 16

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 16 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 10 และ 16 ได้ แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 16 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 9 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 15 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 15 และ 18 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 20 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 19 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.16 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 17

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 17 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 18 ได้ทั้งแท่ง แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 17 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 16 ของค่างเทา ลิงงวง และ ค่างห้าสี (Bigoni et al., 1997a, 2003, 2004) โครโมโซมคู่ที่ 11 และ 13 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 7 ของค่างหัวมงกุฎ และค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998)

2.2.17 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 18

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 18 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 20 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างเทา และค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997a, 1997b) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 18 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 10 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 22 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 18 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.18 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 19

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 19 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 6 และ 8 ได้ ซึ่งเหมือนกันกับค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 19 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 12 และ 18 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 4 และ 5 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 5 และ 6 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 8 และ 10 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.19 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 20

โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 20 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 21 ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างเทา และค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997a, 1997b) แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่นโดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 20 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 20 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 23 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 20 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.20 โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 21 และ 22

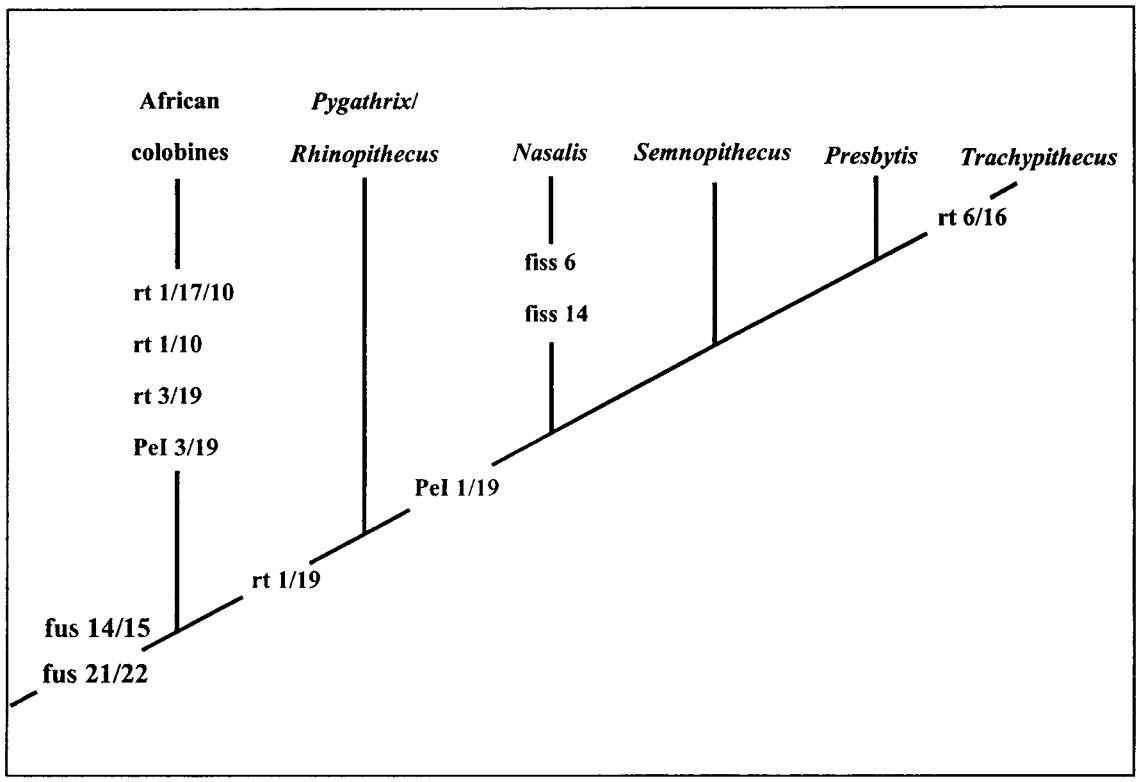
โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 21 และ 22 สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้คู่ที่ 19 ได้ แต่แตกต่างจากค่างชนิดอื่น โดยที่โพรบโครโมโซมของมนุษย์คู่ที่ 21 และ 22 ไฮบริไดซ์กับโครโมโซมคู่ที่ 15 ของค่างเทา (Bigoni et al., 1997a) โครโมโซมคู่ที่ 16 ของค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) โครโมโซมคู่ที่ 21 ของค่างหัวมงกุฎและค่างแว่นถิ่นเหนือ (Nie et al., 1998) โครโมโซมคู่ที่ 14 ของลิงงวง (Bigoni et al., 2003) และโครโมโซมคู่ที่ 21 ของค่างห้าสี (Bigoni et al., 2004)

2.2.21 โพรบโครโมโซมเพศ X และ Y ของมนุษย์

โพรบโครโมโซมเพศ X และ Y ของมนุษย์ สามารถไฮบริไดซ์กับโครโมโซมเพศ X และ Y ของค่างแว่นถิ่นใต้ได้ทั้งแท่ง ซึ่งเหมือนกันกับค่างชนิดอื่น ได้แก่ ค่างแอฟริกา (Bigoni et al., 1997b) ค่างหัวมงกุฎ และค่างแว่นถิ่นเหนือ (รายงานเฉพาะโครโมโซม X) (Nie et al., 1998) ลิงงวง และค่างห้าสี (Bigoni et al., 2003, 2004) แต่แตกต่างจากค่างเทาที่รายงานโดย Bigoni et al. (1997a) โดยที่โพรบโครโมโซมเพศ X และ Y ของมนุษย์ สามารถจับกับโครโมโซมเพศ $X_1$ $Y_1$ และ $Y_2$ ของค่างเทาได้

**2.3 การเปรียบเทียบโครโมโซมทางพันธุศาสตร์โมเลกุลของค่างแว่นถิ่นใต้กับโครโมโซมของค่างชนิดอื่นในวงศ์ย่อย Colobinae โดยยึดโครโมโซมมนุษย์เป็นหลักในการเปรียบเทียบ**

จากผลการศึกษาทางพันธุศาสตร์โมเลกุล โดยเทคนิค FISH ซึ่งใช้โพรบโครโมโซมของมนุษย์ทั้ง 22 คู่ รวมโครโมโซมเพศเอ็กซ์และวายไฮบริไดซ์กับโครโมโซมของค่างแว่นถิ่นใต้ในรายงานการศึกษาของ Bigoni et al. (1997a, 1997b, 2003, 2004) และ Nie et al. (1998) พบว่ามีรูปแบบของการไฮบริไดเซชันที่แตกต่างกับค่างชนิดอื่นในวงศ์ย่อย colobinae อยู่ไม่มากนัก ในทางตรงกันข้ามก็มีรูปแบบของการไฮบริไดเซชันที่เหมือนกับค่างชนิดอื่น ๆ ในวงศ์ย่อยนี้ แต่ทั้งนี้ไม่สามารถที่จะบ่งชี้ได้แน่ชัดว่าค่างสกุลใดในวงศ์ย่อยนี้มีความใกล้ชิดกันมาก หรือน้อยทางสายวิวัฒนาการ แต่สามารถสรุปได้จากผลการศึกษาทางพันธุศาสตร์โมเลกุล โดยเทคนิค FISH ซึ่งใช้โพรบโครโมโซมของมนุษย์ทั้ง 22 คู่ รวมโครโมโซมเพศเอ็กซ์และวายเป็นหลักในการศึกษาเปรียบเทียบโครโมโซมของค่างในวงศ์ย่อยนี้ แสดงในภาพที่ 31 และสามารถอธิบายในเชิงวิวัฒนาการของโครโมโซมได้ว่า ค่างในวงศ์ย่อย colobinae ที่มีลักษณะโบราณ (primitive) มากที่สุด คือ ลิงงวง สังเกตได้จากลิงงวงมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 48 แท่ง ซึ่งโดยปกติค่างในวงศ์ย่อยนี้จะมีโครโมโซมดิพลอยด์เท่ากับ 44 แท่ง แต่เนื่องจากมีโครโมโซมที่เกิดการแยกกันสองคู่ ซึ่งเป็นโครโมโซมคู่ที่ 6 และ 14 ของบรรพบุรุษเดิม แสดงในภาพที่ 31 ทำให้ลิงงวงมีโครโมโซมดิพลอยด์เป็น 48 แท่ง ส่วนค่างที่มีการเปลี่ยนแปลงทางโครโมโซมไปจากบรรพบุรุษเดิมมากที่สุด คือ ค่างแอฟริกา เนื่องจากค่างแอฟริกามีการเกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมที่ไม่ใช่โครโมโซมคู่เหมือน มากกว่าค่างชนิดอื่น ๆ แสดงในภาพที่ 31 ค่างที่มีการเปลี่ยนแปลงทางโครโมโซมน้อยที่สุดจากบรรพบุรุษเดิม คือ ค่างห้าสี เนื่องจากมีเฉพาะการเกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซมที่ไม่ใช่โครโมโซมคู่เหมือนในโครโมโซมคู่ที่ 1 และ 19 ของบรรพบุรุษเดิมเท่านั้น แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมแบบต่อสลับแบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วยเหมือนค่างในสกุล *Semnopithecus*, *Presbytis* และ *Trachypithecus* แสดงในภาพที่ 31




**ภาพที่ 31** Phylogenetic tree ของค่างในวงศ์ย่อย Colobinae แสดงการจัดเรียงตัวของโครโมโซมที่เป็นเอกลักษณ์ทางลักษณะคาริโอไทป์ของแต่ละสกุลในเชิงวิวัฒนาการ (PeI = pericentric inversion; rt = reciprocal translocation; fus = fusion; fiss = fission) (ที่มา: ดัดแปลงจาก Bigoni et al., 2003)

### 2.4 วิวัฒนาการของโครโมโซมที่เกิดขึ้นระหว่างมนุษย์ ลิงขนาดใหญ่ไม่มีหาง และลิงโลกเก่า

คาริโอไทป์ของมนุษย์มีความใกล้เคียงกันมากกับสัตว์ที่อยู่ในวงศ์ Pongidae ได้แก่ ชิมแพนซี (chimpanzee) กอริลลา (gorilla) และอุรังอุตัง (orangutan) แต่ก็ยังมีข้อแตกต่างเล็กน้อยอยู่ในเรื่องของจำนวนโครโมโซม ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวใหม่ของโครโมโซม (chromosomes rearrangement) เช่น การต่อสลับแบบมีเซนโทรเมียร์ร่วมด้วย และการรวมตัวกันของโครโมโซม 1 คู่ ทำให้โครโมโซมจากเดิมที่มี 48 แท่ง ของสัตว์ในวงศ์ Pongidae ลดลงเหลือ 46 แท่ง ในมนุษย์

Dutrillaux et al. (1973, 1975, 1979) ได้ทำการจัดสายวิวัฒนาการของโครโมโซมใหม่ในสัตว์อันดับไพรเมท (order primate) โดยทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ใหม่กับชนิดที่มีความห่างไกลกันทางสายวิวัฒนาการ ดังนั้นจึงต้องย้อนกลับไปเริ่มใหม่ตั้งแต่บรรพบุรุษร่วมกัน ทางสายวิวัฒนาการ คือ วงศ์ Pongidae, มหาวงศ์ (super family) Cercopithecoidae, อันดับล่าง (infraorder)

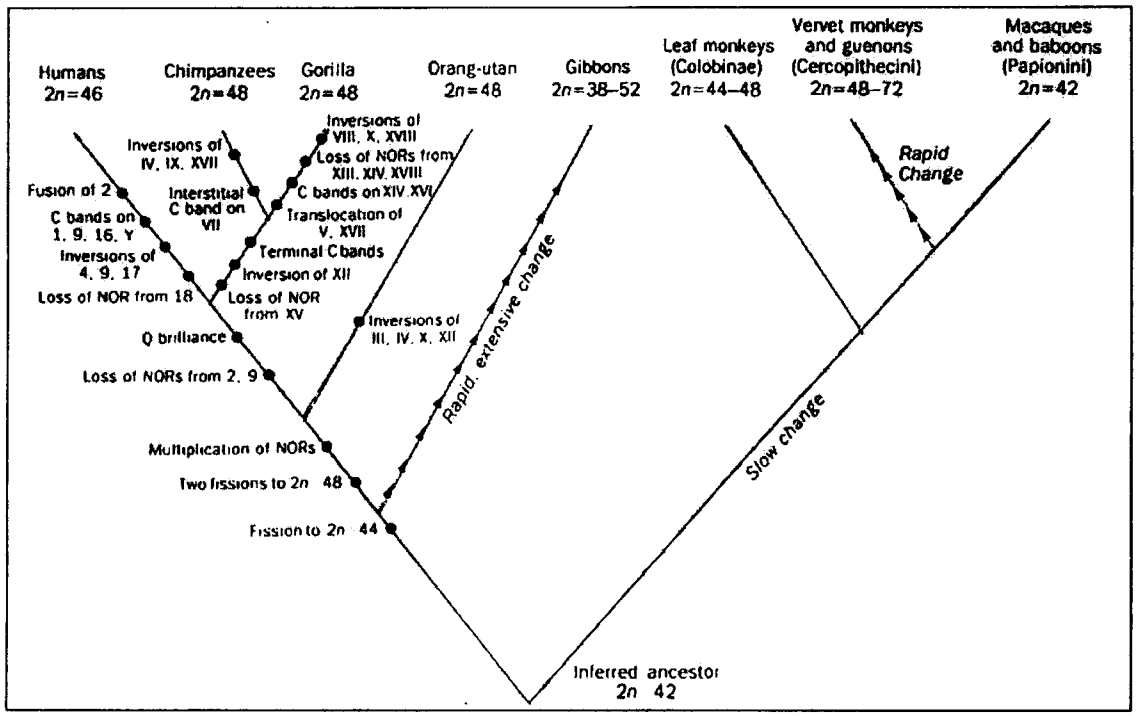
Catarrhini, อันดับล่าง Platyrrhini, อันดับย่อย (suborder) Prosimii และสุดท้าย คือ บรรพบุรุษร่วมกันของไพรเมททุกชนิด แสดงในตารางที่ 2

| Suborder | Infraorder | Superfamily | Family | Subfamily | Genus | Number of species |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Prosimii | Tupaiformes | Tupaioidea | Tupaiidae | Tupaiinae | *Tupaia* | 9 |
| | | | | | *Dendrogale* | 2 |
| | | | | Ptilocercinae | *Urogale* | 1 |
| | | | | | *Ptilocercus* | 1 |
| | Lorisiformes | Lorisoidea | Lorisidae | | *Loris* | 1 |
| | | | | | *Nycticebus* | 2 |
| | | | | | *Arctocebus* | 1 |
| | | | Galagidae | | *Perodicticus* | 1 |
| | | | | | *Galago* | 6 |
| | Lemuriformes | Lemuroidea | Lemuridae | Lemurinae | *Lemur* | 5 |
| | | | | | *Hapalemur* | 2 |
| | | | | | *Lepilemur* | 1 |
| | | | | Cheirogaleinae | *Cheirogaleus* | 2 |
| | | | | | *Microcebus* | 2 |
| | | | Indriidae | | *Indri* | 1 |
| | | | | | *Avahi* | 1 |
| | | | | | *Propithecus* | 2 |
| | | | Daubentoniidae | | *Daubentonia* | 1 |
| | Tarsiiformes | Tarsioidea | Tarsiidae | | *Tarsius* | 3 |
| Anthropoidea | Platyrrhini | | Callithricidae | Callithricinae | *Callithrix* | 3 |
| | | | | | *Leontideus* | 3 |
| | | | | | *Cebuella* | 1 |
| | | | | Callimiconinae | *Callimico* | 1 |
| | | | Cebidae | | *Aotus* | 1 |
| | | | | Aotinae | *Brachyteles* | 1 |
| | | | | | *Callicebus* | 3 |
| | | | | | *Pithecia* | 2 |
| | | | | Pithecinae | *Chiropotes* | 2 |
| | | | | | *Cacajao* | 3 |
| | | | | Alouattinae | *Alouatta* | 5 |
| | | | | Cebinae | *Saimiri* | 2 |
| | | | | | *Cebus* | 4 |
| | | | | Atelinae | *Ateles* | 4 |
| | | | | | *Lagothrix* | 2 |
| | Catarrhini | Cercopithecoidea | Cercopithecidae | Paplinae | *Macaca* | 13 |
| | | | | | *Cercocebus* | 5 |
| | | | | | *Papio* | 76 |
| | | | | Cercopithecinae | *Theropithecus* | 1 |
| | | | | | *Cercopithecus* | 22 |
| | | | | | *Erythrocebus* | 1 |
| | | | Colobidae | Colobinae | *Presbytis* | 14 |
| | | | | | *Pygathrix* | 1 |
| | | | | | *Rhinopithecus* | 2 |
| | | | | | *Simias* | 1 |
| | | | | | *Nasalis* | 1 |
| | | | | | *Colobus* | 5 |
| | | Hominoidea | Hylobatidae | | *Hylobates* | 6 |
| | | | | | *Symphalangus* | 1 |
| | | | Pongidae | | *Pongo* | 1 |
| | | | | | *Pan* | 2 |
| | | | | | *Gorilla* | 1 |
| | | | Hominidae | | *Homo* | 1 |

**ตารางที่ 2** วิวัฒนาการของสัตว์อันดับไพรเมท (order Primate) (ที่มา: Chiarelli, 1971)

สัตว์ในอันดับไพรเมท กลุ่มไซเมียนโลกเก่า ซึ่งประกอบด้วยลิงไม่มีหาง มนุษย์ และลิงโลกเก่า น่าจะมีบรรพบุรุษร่วมกันมาทางสายวิวัฒนาการ โดยที่บรรพบุรุษเดิมมีโครโมโซม 2n=42 แท่ง จากนั้นมีการแยกสายกันทางวิวัฒนาการ กลุ่มลิงโลกเก่านี้จะมีวิวัฒนาการของโครโมโซมน้อย ซึ่งมีความใกล้เคียงกับบรรพบุรุษเดิมมากที่สุด คือ ลิง (macaques) และลิงบาบูน (baboons) มีจำนวนโครโมโซม 2n=42 แท่ง เท่ากันกับบรรพบุรุษเดิม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมนั้นเป็นไปอย่างช้า ๆ ส่วน vervet monkeys และ guenons แม้จะมีสายวิวัฒนาการใกล้กับพวกลิงสกุลมาคาค่า และลิงบาบูน แต่กลับมีการเปลี่ยนแปลงทางโครโมโซมอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับบรรพบุรุษเดิม ซึ่งเห็นได้จากการที่มีจำนวนโครโมโซม 2n=48-72 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมอย่างรวดเร็ว และในกลุ่มลิงที่กินใบไม้ (leaf monkeys) หรือค่างนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในระดับปานกลาง ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม 2n=44-48 ส่วนอีกสายหนึ่งของวิวัฒนาการที่แยกออกไปจากบรรพบุรุษเดิม คือ พวกลิงไม่มีหาง และมนุษย์

มนุษย์ ชิมแพนซี กอริลลา และอุรังอุตัง นั้นมีลักษณะของคาริโอไทป์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับบรรพบุรุษเดิม ซึ่งเห็นได้จากการที่มีจำนวนโครโมโซม 2n=46 ในมนุษย์ และ 2n=48 ใน ชิมแพนซี กอริลลา และอุรังอุตัง แต่ในด้านวิวัฒนาการของโครโมโซมนั้นมีการเปลี่ยนไปหลายขั้นตอน ซึ่งเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น การแยกกันของโครโมโซม การรวมตัวกันของโครโมโซม การต่อสลับของโครโมโซม การสูญเสียบริเวณนอร์และเฮเทอโรโครมาทินบางส่วน กระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกิดขึ้นในสายวิวัฒนาการของโครโมโซม ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดความหลากหลาย และมีวิวัฒนาการแยกสายกัน ส่วนสัตว์กลุ่มลิงไม่มีหางที่มีการเปลี่ยนแปลงทางโครโมโซมมากที่สุด และซับซ้อนที่สุด คือ ชะนี โดยมีโครโมโซม 2n=38-52 แท่ง ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างคล้ายกันกับกลุ่มลิงโลกเก่า ได้แก่ vervet monkeys และ guenons การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นอย่างซับซ้อนและรวดเร็ว โดยกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่ของโครโมโซม การรวมตัว แยกตัวกันของโครโมโซม รวมทั้งการต่อสลับกันของโครโมโซม การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซม แสดงในภาพที่ 32




**ภาพที่ 32** วิวัฒนาการของโครโมโซมของกลุ่มไซเมียนโลกเก่าจากบรรพบุรุษร่วมกัน (ที่มา: Jones, 1994)