



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการแยกแถบดีเอ็นเอ การย้อมดีเอ็นเอ ขั้นตอนการตกตะกอนดีเอ็นเอ และการเตรียมสารละลายในกระบวนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ

ขั้นตอนการแยกแถบดีเอ็นเอด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis)

1. วิธีเตรียม 34% Acrylamide solution

- Acrylamide 16.18 g
- N,N'methylenebisacrylamide 0.81 g
- เติมน้ำกลั่นลงในสารที่ชั่งเสร็จแล้วให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 50 ml.

2. วิธีเตรียม 10X Gel buffer

- ชั่ง Tris 8.0 g
- ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 200 ml
- ปรับ pH ด้วย Sulfuric acid ให้ได้ pH = 4.5

3. วิธีเตรียม 8.5% Acrylamide gel

- น้ำกลั่น 21.26 ml
- 10X Gel buffer 3.7 ml
- Acrylamide solution 9.3 ml
- 87% Glycerol 2.55 ml
- 10% Ammoniumpersulfate 191.0  $\mu$ l
- Tetramethylethylenediamine 14.0  $\mu$ l
- ผสมสารทั้งหมดให้เข้ากัน โดยใช้ Stirrer plate นาน 1 นาที ไม่ควรใช้ความแรงในการ

หมุนมากเกินไป สังเกตโดยไม่ให้เกิดฟองอากาศในส่วนผสม

- เทลงในชุดกระจกสำหรับเตรียมเจล ที่ไว้ประมาณ 2 ชั่วโมงจึงสามารถใช้ในการแยก
- แถบดีเอ็นเอได้

## 4. วิธีเตรียม 2.5X Running buffer (Stock solution)

- Tris	54.0	g
- EDTA	3.73	g
- Boric acid	27.5	g
- ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย	2000.0	ml

## Working Solution (1000 ml)

- Running buffer (Stock solution)	400	ml
- น้ำกลั่น	600	ml

## 5. วิธีแยกแถบดีเอ็นเอ

- ใช้กระแสไฟฟ้า 90 volt นาน 16.30 ชั่วโมง
- ทำการย้อมเจลด้วย Silver Staining เพื่อให้เห็นแถบดีเอ็นเอ

## 6. วิธีเตรียม Loading dye (0.04g/ml)

- Bromphenol blue sodium salt	0.04	g
- Glycerol	500	ul
- น้ำกลั่น	500	ul

ละลายให้เข้ากัน

ขั้นตอนการย้อมเจลด้วย **Silver Staining** (Budowle *et al.* 1991)

1. เติม 1% Nitric acid (3 ml 65% Nitric acid + น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 200 ml) เขย่านาน 10 นาที แล้วเททิ้ง
2. ล้างเจลด้วยน้ำกลั่นนาน 5-10 วินาที แล้วเททิ้ง 2 ครั้ง
3. เติม 0.012M Silver nitrate solution (0.4 g Silver nitrate + น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 200 ml) เขย่านาน 35 นาที แล้วเททิ้ง
4. ล้างเจลด้วยน้ำกลั่นนาน 5-10 วินาที แล้วเททิ้ง 2 ครั้ง
5. เติม 0.28M Sodium carbonate และ 0.019% Formalin (11.8 g Sodium carbonate + น้ำกลั่น 390 ml แล้วเติม 37% Formalin 205  $\mu$ l) ลงไปประมาณ 50 ml เมื่อสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลให้เททิ้งและเติมส่วนที่เหลือลงไป เขย่าจนเห็นแถบดีเอ็นเอบนเจลชัดเจน แล้วเททิ้ง
6. หยดปฏิกิริยาด้วย 10% Glacial acetic acid (20 ml 100% Glacial acetic acid + น้ำกลั่น 180 ml) เขย่านาน 5 นาที
7. ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 200 ml นาน 1 นาที 3 ครั้ง หรือจนหมดกลิ่นของ Glacial acetic acid
8. นำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งเจล (Gel dryer)

### การตกตะกอน PCR product ด้วยวิธี Isopropanol precipitation

1. เติม 4M Ammonium acetate 20  $\mu$ l และ 100% Isopropanol 40  $\mu$ l ลงใน PCR product 20  $\mu$ l
2. ผสมด้วยเครื่องเขย่าวน (Vortex) 5 ครั้ง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที
3. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20 °C นาน 15 นาที
4. ดูดซับน้ำชั้นบน (Supernatant) ที่ทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
5. เติม 70% Ethanol ปริมาณ 90  $\mu$ l เพื่อล้าง DNA product
6. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20 °C นาน 5 นาที
7. ดูดซับน้ำชั้นบน (Supernatant) ที่ทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
8. เปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง ในที่มืดให้แห้งสนิท
9. ละลาย DNA product ด้วย 10 mM Tris UV pH 8.5 ปริมาณ 20  $\mu$ l
10. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที จากนั้นนำไปเขย่าวนด้วย Vortex
11. ดูด DNA product ที่ได้ลงในหลอดใหม่ประมาณ 5  $\mu$ l แล้วนำไปทำ Agarose electrophoresis

### ขั้นตอนการทำ Agarose electrophoresis

1. เตรียม 2% Agarose gel โดยมีวิธีเตรียมดังนี้
  - ชั่ง Agarose powder 0.8 g
  - ละลายใน 0.5X TBE (Tris-borate,EDTA) Buffer ให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 40 ml
  - ต้มที่ 60 °C จนสารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน
  - เทใส่แม่พิมพ์ ทิ้งไว้ให้แห้ง
2. เตรียมเครื่อง agarose electrophoresis โดยปรับเครื่อง ดังนี้ 50 mA, 100V, นาน 20 นาที
3. ใส่ 2% agarose gel ที่เตรียมเอาไว้ลงในเครื่อง แล้วเติม 0.5X TBE Buffer ให้ท่วมเจลพอดี
4. เตรียม PCR product ที่จะ load โดยใส่สารละลาย loading dye ปริมาณ 1  $\mu$ l ลงใน DNA product ปริมาณ 5  $\mu$ l
5. load DNA product ที่เตรียมไว้ลงไปบนเจล แล้วเปิดเครื่อง agarose electrophoresis
6. เมื่อครบเวลานำแผ่นเจลมาแช่ในสารละลาย ethidium bromide ที่เตรียมไว้ นาน 10 นาที
  - วิธีเตรียมสารละลาย Ethidium bromide
    - Ethidium bromide 10  $\mu$ l

- 0.5X TBE (Tris-borate, EDTA) Buffer 200 ml
- เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บไว้ในที่มืด (ระวังอย่าให้ถูกผิวหนังโดยตรง เนื่องจาก

Ethidium bromide เป็นสารก่อมะเร็ง)

7. เมื่อครบเวลานำแผ่นเจลมาส่องดูความเข้มของแถบ DNA ด้วยเครื่อง Ultraviolet-visible

#### การตกตะกอน PCR product ด้วย 100% Ethanol

1. เติม 0.5M Sodium acetate 24  $\mu$ l และ 100% Ethanol 50  $\mu$ l ลงใน PCR product 20  $\mu$ l
2. ผสมด้วยเครื่องเขย่าวน แล้วทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที
3. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20 °C นาน 30 นาที
4. ดูดซับน้ำชั้นบน (Supernatant) ทิ้งทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
5. เติม 70% Ethanol ปริมาณ 80  $\mu$ l
6. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20 °C นาน 5 นาที
7. ดูดซับน้ำชั้นบน (Supernatant) ทิ้งทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
8. เปิดฝาทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง ให้แห้งสนิท
9. เติมสารละลาย Hidi (Formamide) 17  $\mu$ l ลงในตะกอน DNA ที่แห้งสนิทแล้ว

#### การเตรียมสารละลายในกระบวนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ

1. การเตรียม 10X Taq Buffer

- 500 mM Tris pH 8.4	20.0	ml
- 2M KCl	12.5	ml
- 150 mM MgCl <sub>2</sub>	5.0	ml
- 1 mg/ml BSA	5.0	ml
- 100% Tween 20	0.25	ml
- เติมน้ำให้ครบ	50.0	ml

2. การเตรียม 1 mM Solution of dNTPs

- 100 mM dATP	10.0	$\mu$ l
- 100 mM dCTP	10.0	$\mu$ l
- 100 mM dGTP	10.0	$\mu$ l
- 100 mM dTTP	10.0	$\mu$ l
- H <sub>2</sub> O	960.0	$\mu$ l

- ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลายที่มีปริมาตรรวมเท่ากับ 1000.0  $\mu$ l

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่ากำลังการแยกแยะ (PD) ค่ากำลังการคัดออก (PE) ค่า Heterozygosity (h) และ การทดสอบการกระจายตัวของลักษณะทางพันธุกรรมตามสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg equilibrium)

1. วิธีการคำนวณค่ากำลังการแยกแยะ (PD)

- การคำนวณค่ากำลังการแยกแยะในผู้หญิง คิดได้จากสูตรดังนี้

$$PD \text{ (female)} = 1 - \sum (P_i)^2$$

โดย  $P_i$  คือค่าความถี่ของแต่ละ genotype

- การคำนวณค่ากำลังการแยกแยะในผู้ชาย คิดได้จากสูตรดังนี้

$$PD \text{ (male)} = 1 - \sum P_i^2$$

โดย  $P_i$  คือค่าความถี่ของแต่ละอัลลีล

ตาราง 9 แสดงสูตรการคำนวณและค่าที่ได้จากการคำนวณกำลังการแยกแยะ (PD) ใน ไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอบนโครโมโซมเพศหญิงในตำแหน่ง DXS7130

PD (female) = 1 - $\sum (P_i)^2$			
	Genotype	Pi	Pi <sup>2</sup>
	10/12	0.0083	0.00006889
	11/11	0.0667	0.00444889
	11/12	0.0833	0.00693889
	11/13	0.0333	0.00110889
	11/13.3	0.0167	0.00027889
	11/14.3	0.0333	0.00110889
	11/15.3	0.1583	0.02505889
	11/16.3	0.0333	0.00110889
	11/17.3	0.0083	0.00006889
	12/12	0.0167	0.00027889
	12/13	0.0167	0.00027889
	12/13.3	0.0083	0.00006889
	12/14.3	0.0083	0.00006889

ตาราง 9 (ต่อ)

	Genotype	Pi	Pi <sup>2</sup>
	12/15.3	0.075	0.005625
	12/16.3	0.0167	0.00027889
	13/13.3	0.0083	0.00006889
	13/14.3	0.025	0.000625
	13/15.3	0.025	0.000625
	13/16.3	0.025	0.000625
	13/17.3	0.0083	0.00006889
	13.3/15.3	0.0083	0.00006889
	14.3/15.3	0.0583	0.00339889
	14.3/16.3	0.025	0.000625
	14.3/17.3	0.0083	0.00006889
	15.3/15.3	0.1167	0.01361889
	15.3/16.3	0.1	0.01
	16.3/16.3	0.0083	0.00006889
Sum	27	1	0.07665169
PD (male) = 1- $\sum Pi^2$			
	อัลลีล	Pi	Pi <sup>2</sup>
	10	0.0042	0.00001764
	11	0.2500	0.0625
	12	0.1250	0.015625
	13	0.0708	0.00501264
	13.3	0.0208	0.00043264
	14.3	0.0792	0.00627264
	15.3	0.3292	0.10837264
	16.3	0.1083	0.01172889
	17.3	0.0125	0.00015625
Sum	9	1	0.21011834

แทนค่า

$$PD \text{ (female)} = 1 - \sum (P_i)^2$$

โดย  $P_i$  คือค่าความถี่ของแต่ละ genotype

$$\begin{aligned} PD \text{ (female)} &= 1 - 0.076651 \\ &= 0.9233 \end{aligned}$$

$$PD \text{ (male)} = 1 - \sum P_i^2$$

โดย  $P_i$  คือค่าความถี่ของแต่ละอัลลีล

$$\begin{aligned} PD \text{ (male)} &= 1 - 0.2101 \\ &= 0.7899 \end{aligned}$$

## 2. วิธีการคำนวณค่ากำลังการคัดออก (PE)

- การคำนวณค่ากำลังการคัดออก (PE) ในกรณี no parent คิดได้จากสูตรดังนี้

$$PE \text{ (no parent)} = \sum_{i=1}^n p_i^2 (1 - p_i)^2 + \sum_{i,j < j}^n 2p_i p_j (1 - p_i - p_j)^2$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนอัลลีลที่มีในระบบซึ่งมีอัลลีล  $a, b, \dots, i, j, \dots, l, n$  และ

$P_a, P_b, \dots, P_i, P_j, \dots, P_l, P_n$  คือ ค่าความถี่ของอัลลีลต่างๆในระบบดังกล่าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ตาราง 10 แสดงสูตรการคำนวณและค่าที่ได้จากการคำนวณกำลังการคัดออก (PE) กรณี no parent ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอบนโครโมโซมเพศหญิงในตำแหน่ง DXS7130

$\text{PE(no parent)} = \sum_{i=1}^n p_i^2(1-p_i)^2 + \sum_{i,j < j} 2p_i p_j(1-p_i-p_j)^2$					
$\sum_{i=1}^n p_i^2(1-p_i)^2$					
	allele	P <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> <sup>2</sup>	(1-P <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	P <sub>i</sub> <sup>2</sup> (1-P <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>
	15.3	0.3292	0.10837264	0.44997264	0.048764723
	11	0.2500	0.06250000	0.56250000	0.03515625
	12	0.1250	0.015625000	0.76562500	0.011962891
	16.3	0.1083	0.01172889	0.79512889	0.009325979
	14.3	0.0792	0.00627264	0.84787264	0.005318400
	13	0.0708	0.00501264	0.86341264	0.004327977
	13.3	0.0208	0.00043264	0.95883264	0.000414829
	17.3	0.0125	0.00015625	0.97515625	0.000152368
	10	0.0042	0.00001764	0.99161764	1.74921E-05
<b>Sum</b>	9	1	0.21011834	7.21011834	<b>0.115440909</b>
$\sum_{i=1}^n p_i^2(1-p_i)^2 = \mathbf{0.115440909}$					

ตาราง 10 (ต่อ)

$\sum_{i,j < j}^n 2p_i p_j (1 - p_i - p_j)^2$					
<b>Genotype 15.3</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>2(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)</b>	<b>(1-P<sub>i</sub>-P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>2P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>(1-P<sub>i</sub>-P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>
	0.3292	0.25	0.1646	0.17707264	0.029146157
	0.3292	0.125	0.0823	0.29789764	0.024516976
	0.3292	0.1083	0.07130472	0.31640625	0.022561259
	0.3292	0.0792	0.05214528	0.34999056	0.018250356
	0.3292	0.0708	0.04661472	0.36	0.016781299
	0.3292	0.0208	0.01369472	0.4225	0.005786019
	0.3292	0.0125	0.00823	0.43335889	0.003566544
	0.3292	0.0042	0.00276528	0.44435556	0.001228768
<b>Sum</b>					<b>0.121837377</b>
<b>Genotype 11</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>2(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)</b>	<b>(1-P<sub>i</sub>-P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>2P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>(1-P<sub>i</sub>-P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>
	0.25	0.125	0.0625	0.390625	0.024414063
	0.25	0.1083	0.05415	0.41177889	0.022297827
	0.25	0.0792	0.0396	0.44997264	0.017818917
	0.25	0.0708	0.0354	0.46131264	0.016330467
	0.25	0.0208	0.0104	0.53173264	0.005530019
	0.25	0.0125	0.00625	0.54390625	0.003399414

	0.25	0.0042	0.0021	0.55621764	0.001168057
<b>Sum</b>					<b>0.090958764</b>

ตาราง 10 (ต่อ)

<b>Genotype 12</b>					
	$P_i$	$P_j$	$2(P_i P_j)$	$(1-P_i-P_j)^2$	$2P_i P_j(1-P_i-P_j)^2$
	0.125	0.1083	0.027075	0.58782889	0.015915467
	0.125	0.0792	0.0198	0.63329764	0.012539293
	0.125	0.0708	0.0177	0.64673764	0.011447256
	0.125	0.0208	0.0052	0.72965764	0.00379422
	0.125	0.0125	0.003125	0.74390625	0.002324707
	0.125	0.0042	0.00105	0.75829264	0.000796207
<b>Sum</b>					<b>0.046817151</b>
<b>Genotype 16.3</b>					
	$P_i$	$P_j$	$2(P_i P_j)$	$(1-P_i-P_j)^2$	$2P_i P_j(1-P_i-P_j)^2$
	0.1083	0.0792	0.01715472	0.66015625	0.011324796
	0.1083	0.0708	0.01533528	0.67387681	0.01033409
	0.1083	0.0208	0.00450528	0.75846681	0.003417105
	0.1083	0.0125	0.0027075	0.77299264	0.002092878
	0.1083	0.0042	0.00090972	0.78765625	0.000716547
<b>Sum</b>					<b>0.027885415</b>

ตาราง 10 (ต่อ)

<b>Genotype 14.3</b>					
	$P_i$	$P_j$	$2(P_iP_j)$	$(1-P_i-P_j)^2$	$2P_iP_j(1-P_i-P_j)^2$
	0.0792	0.0708	0.01121472	0.7225	0.008102635
	0.0792	0.0208	0.00329472	0.81	0.002668723
	0.0792	0.0125	0.00198	0.82500889	0.001633518
	0.0792	0.0042	0.00066528	0.84015556	0.000558939
<b>Sum</b>					<b>0.012963815</b>
<b>Genotype 13</b>					
	$P_i$	$P_j$	$2(P_iP_j)$	$(1-P_i-P_j)^2$	$2P_iP_j(1-P_i-P_j)^2$
	0.0708	0.0208	0.00294528	0.82519056	0.002430417
	0.0708	0.0125	0.00177	0.84033889	0.0014874
	0.0708	0.0042	0.00059472	0.855625	0.000508857
<b>Sum</b>					<b>0.004426674</b>
<b>Genotype 13.3</b>					
	$P_i$	$P_j$	$2(P_iP_j)$	$(1-P_i-P_j)^2$	$2P_iP_j(1-P_i-P_j)^2$

	0.0208	0.0125	0.00052	0.93450889	0.000485945
	0.0208	0.0042	0.00017472	0.950625	0.000166093
<b>Sum</b>					<b>0.000652038</b>
<b>Genotype 17.3</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>2(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)</b>	<b>(1-P<sub>i</sub>-P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>2P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>(1-P<sub>i</sub>-P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>
	0.0125	0.0042	0.000105	0.96687889	0.000101522
<b>Sum</b>					<b>0.000101522</b>

ตาราง 10 (ต่อ)

$\sum_{i,j < j}^n 2p_i p_j (1 - p_i - p_j)^2 = \mathbf{0.305642755}$
$\begin{aligned} \mathbf{PE(no\ parent)} &= \sum_{i=1}^n p_i^2 (1 - p_i)^2 + \sum_{i,j < j}^n 2p_i p_j (1 - p_i - p_j)^2 \\ &= 0.115440909 + 0.305642755 \\ &= \mathbf{0.421083664} \end{aligned}$

- การคำนวณค่ากำลังการคัดออก (PE) ในกรณี one parent คิดได้จากสูตรดังนี้

$$\mathbf{PE(one\ parent)} = \sum_{i=1}^n p_i (1 - p_i)^2 + \sum_{i,j < j}^n (p_i p_j)^2 (3p_i + 3p_j - 4)$$

เมื่อ n คือ จำนวนอัลลีลที่มีในระบบซึ่งมีอัลลีล a,b,...i,j,...l,n และ P<sub>a</sub>,P<sub>b</sub>...P<sub>i</sub>,P<sub>j</sub>...P<sub>1</sub>,P<sub>n</sub> คือ ค่าความถี่ของอัลลีลต่างๆในระบบดังกล่าว  
ได้ผลการคำนวณตามตารางดังนี้

ตาราง 11 แสดงสูตรการคำนวณและค่าที่ได้จากการคำนวณกำลังการคัดออก (PE) กรณี one parent ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอบนโครโมโซมเพศหญิงในตำแหน่ง DXS7130

$\text{PE(one parent)} = \sum_{i=1}^n p_i(1-p_i)^2 + \sum_{i,j^i < j} (p_i p_j)^2 (3p_i + 3p_j - 4)$				
$\sum_{i=1}^n p_i(1-p_i)^2$				
	allele	P <sub>i</sub>	(1-P <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	P <sub>i</sub> (1-P <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>
	15.3	0.3292	0.44997264	0.148130993
	11	0.25	0.5625	0.140625
	12	0.125	0.765625	0.095703125
	16.3	0.1083	0.79512889	0.086112459
	14.3	0.0792	0.84787264	0.067151513
	13	0.0708	0.86341264	0.061129615
	13.3	0.0208	0.95883264	0.019943719
	17.3	0.0125	0.97515625	0.012189453
	10	0.0042	0.99161764	0.004164794

Sum	9	1		<b>0.635150671</b>
$\sum_{i=1}^n p_i(1-p_i)^2 = 0.635150671$				

ตาราง 11 (ต่อ)

$\sum_{i,j < j}^n (p_i p_j)^2 (3p_i + 3p_j - 4)$					
<b>Genotype 15.3</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>
	0.3292	0.25	0.00677329	-2.2624	-0.015323891
	0.3292	0.125	0.001693323	-2.6374	-0.004465969
	0.3292	0.1083	0.001271091	-2.6875	-0.003416056
	0.3292	0.0792	0.000679783	-2.7748	-0.001886261
	0.3292	0.0708	0.000543233	-2.8	-0.001521052
	0.3292	0.0208	4.68863 x10 <sup>-5</sup>	-2.95	-0.000138315
	0.3292	0.0125	1.69332 x10 <sup>-5</sup>	-2.9749	-5.03747x10 <sup>-5</sup>
	0.3292	0.0042	1.91169 x10 <sup>-6</sup>	-2.9998	-5.7347x10 <sup>-6</sup>
Sum					<b>-0.026807654</b>
<b>Genotype 11</b>					

	$P_i$	$P_j$	$(P_i P_j)^2$	$(3P_i+3P_j-4)$	$(P_i P_j)^2(3P_i+3P_j-4)$
	0.25	0.125	0.000976563	-2.875	-0.002807617
	0.25	0.1083	0.000733056	-2.9251	-0.002144261
	0.25	0.0792	0.00039204	-3.0124	-0.001180981
	0.25	0.0708	0.00031329	-3.0376	-0.00095165
	0.25	0.0208	0.00002704	-3.1876	$-8.61927 \times 10^{-5}$
	0.25	0.0125	$9.76563 \times 10^{-6}$	-3.2125	$-3.13721 \times 10^{-5}$
	0.25	0.0042	$1.1025 \times 10^{-6}$	-3.2374	$-3.56923 \times 10^{-6}$
Sum					<b>-0.007205643</b>

ตาราง 11 (ต่อ)

<b>Genotype 12</b>					
	$P_i$	$P_j$	$(P_i P_j)^2$	$(3P_i+3P_j-4)$	$(P_i P_j)^2(3P_i+3P_j-4)$
	0.125	0.1083	0.000183264	-3.3001	-0.000604789
	0.125	0.0792	0.00009801	-3.3874	-0.000331999
	0.125	0.0708	$7.83225 \times 10^{-5}$	-3.4126	-0.000267283
	0.125	0.0208	0.00000676	-3.5626	$-2.40832 \times 10^{-5}$
	0.125	0.0125	$2.44141 \times 10^{-6}$	-3.5875	$-8.75854 \times 10^{-6}$
	0.125	0.0042	$2.75625 \times 10^{-7}$	-3.6124	$-9.95668 \times 10^{-7}$
Sum					<b>-0.001237909</b>
<b>Genotype 16.3</b>					
	$P_i$	$P_j$	$(P_i P_j)^2$	$(3P_i+3P_j-4)$	$(P_i P_j)^2(3P_i+3P_j-4)$



					<b>4)</b>
	0.1083	0.0792	$7.35711 \times 10^{-5}$	-3.4375	-0.000252901
	0.1083	0.0708	$5.87927 \times 10^{-5}$	-3.4627	-0.000203581
	0.1083	0.0208	$5.07439 \times 10^{-6}$	-3.6127	$-1.83322 \times 10^{-5}$
	0.1083	0.0125	$1.83264 \times 10^{-6}$	-3.6376	$-6.66641 \times 10^{-6}$
	0.1083	0.0042	$2.06898 \times 10^{-7}$	-3.6625	$-7.57763 \times 10^{-7}$
Sum					<b>-0.000482239</b>

ตาราง 11 (ต่อ)

<b>Genotype 14.3</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>
	0.0792	0.0708	$3.14425 \times 10^{-5}$	-3.55	-0.000111621
	0.0792	0.0208	$2.71379 \times 10^{-6}$	-3.7	$-1.0041 \times 10^{-5}$
	0.0792	0.0125	$9.801 \times 10^{-7}$	-3.7249	$-3.65077 \times 10^{-6}$
	0.0792	0.0042	$1.10649 \times 10^{-7}$	-3.7498	$-4.14913 \times 10^{-7}$
Sum					<b>-0.000125728</b>
<b>Genotype 13</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>

					<b>4)</b>
	0.0708	0.0208	$2.16867 \times 10^{-6}$	-3.7252	$-8.07872 \times 10^{-6}$
	0.0708	0.0125	$7.83225 \times 10^{-7}$	-3.7501	$-2.93717 \times 10^{-6}$
	0.0708	0.0042	$8.8423 \times 10^{-8}$	-3.775	$-3.33797 \times 10^{-7}$
Sum					<b><math>-1.13497 \times 10^{-5}</math></b>
<b>Genotype 13.3</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>
	0.0208	0.0125	$6.76 \times 10^{-8}$	-3.9001	$-2.63647 \times 10^{-7}$
	0.0208	0.0042	$7.63177 \times 10^{-9}$	-3.925	$-2.99547 \times 10^{-8}$
Sum					<b><math>-2.93601 \times 10^{-7}</math></b>
<b>Genotype 17.3</b>					
	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>j</sub></b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>	<b>(P<sub>i</sub>P<sub>j</sub>)<sup>2</sup>(3P<sub>i</sub>+3P<sub>j</sub>-4)</b>
	0.0125	0.0042	$2.75625 \times 10^{-9}$	-3.9499	$-1.08869 \times 10^{-8}$
Sum					<b><math>-1.08869 \times 10^{-8}</math></b>

ตาราง 11 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © Chiang Mai University

All rights reserved

$$\sum_{i,j < j}^n 2p_i p_j (1 - p_i - p_j)^2 = -0.03587$$

$$\text{PE(one parent)} = \sum_{i=1}^n p_i (1 - p_i)^2 + \sum_{i,j < j}^n (p_i p_j)^2 (3p_i + 3p_j - 4)$$

$$= 0.635150671 + (-0.03587)$$

$$= 0.599280671$$

3. วิธีการคำนวณค่า Heterozygosity (h) คิดได้จากสูตรดังนี้

$$\text{Heterozygosity (h)} = n(1 - \sum p_i^2)/(n-1)$$

$$(\text{S.E.}) = \sqrt{[h(1-h)/N]}$$

เมื่อ  $p_i$  = ความถี่ของแต่ละอัลลีล

n = จำนวนอัลลีลที่ทำการสำรวจ

h = ค่า heterozygosity ที่คาดหวัง

N = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

ได้ผลการคำนวณตามตารางดังนี้

Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

$\text{Heterozygosity} = n(1 - \sum p_i^2)/(n-1)$							
	allele	$p_i$	$p_i^2$	$1 - \sum p_i^2$	n-1	$n(1 - \sum p_i^2)$	$n(1 - \sum p_i^2)/(n-1)$
	10	0.0042	0.00001764				
	11	0.25	0.0625				
	12	0.125	0.015625				
	13	0.0708	0.00501264				

ตาราง 12 แสดงสูตรการคำนวณและค่าที่ได้จากการคำนวณ Heterozygosity (h) ใน  
ไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอบนโครโมโซมเพศหญิงในตำแหน่ง DXS7130

	13.3	0.0208	0.00043264				
	14.3	0.0792	0.00627264				
	15.3	0.3292	0.10837264				
	16.3	0.1083	0.01172889				
	17.3	0.0125	0.00015625				
<b>Sum</b>		1	0.21011834	0.7898817	239	189.5715984	0.793186604
<b>Heterozygosity = 0.793186604</b> <b>(S.E.) = 0.0369</b>							

- 4 วิธีการทดสอบการกระจายตัวของลักษณะทางพันธุกรรมตามสมมูลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg equilibrium) มีวิธีคิดดังนี้

ตาราง 13 แสดงสูตรและการทดสอบการกระจายตัวของลักษณะทางพันธุกรรมตามสมมูล Hardy-Weinberg equilibrium

Genotype	จำนวน (O)	จำนวน (E)	$\chi^2 = (O-E)^2/E$
10/10	0	0.002117	0.002117
10/11	0	0.252	0.252
10/12	1	0.126	6.062508

10/13	0	0.0714	0.0714
10/13.3	0	0.02096	0.02096
10/14.3	0	0.0798	0.0798
10/15.3	0	0.3318	0.3318
10/16.3	0	0.1092	0.1092
10/17.3	0	0.0126	0.0126
11/11	8	7.5	0.033333
11/12	10	7.5	0.833333
11/13	4	4.248	0.014478
11/13.3	2	1.248	0.453128
11/14.3	4	4.752	0.119003
11/15.3	19	19.752	0.02863
11/16.3	4	6.498	0.960296
11/17.3	1	0.75	0.083333
12/12	2	1.875	0.008333
12/13	2	2.124	0.007239

ตาราง 13 (ต่อ)

Genotype	จำนวน (O)	จำนวน (E)	$\chi^2 = (O-E)^2/E$
12/13.3	1	0.624	0.226564
12/14.3	1	2.376	0.796875
12/15.3	9	9.876	0.077701
12/16.3	2	3.249	0.480148
12/17.3	0	0.375	0.375
13/13	0	0.6015	0.6015

13/13.3	1	0.3534	1.183055
13/14.3	3	1.3458	2.033272
13/15.3	3	5.5938	1.202724
13/16.3	3	1.8402	0.730973
13/17.3	1	0.2124	2.920498
13.3/13.3	0	0.0519	0.0519
13.3/14.3	0	0.3954	0.3954
13.3/15.3	1	1.6434	0.251895
13.3/16.3	0	0.5406	0.5406
13.3/17.3	0	0.0624	0.0624
14.3/14.3	0	0.7527	0.7527
14.3/15.3	7	6.2574	0.088128
14.3/16.3	3	2.0586	0.430503
14.3/17.3	1	0.2376	2.446354
15.3/15.3	14	13.005	0.076126
15.3/16.3	12	8.5566	1.385714

ตาราง 13 (ต่อ)

Genotype	จำนวน (O)	จำนวน (E)	$\chi^2 = (O-E)^2/E$
15.3/17.3	0	0.9876	0.9876
16.3/16.3	1	1.4075	0.11798
16.3/17.3	0	0.3249	0.3249
17.3/17.3	0	0.01875	0.01875
<b>SUM</b>	120	120	28.04275

## สมมติฐาน

$H_0$ : ไม่มีความแตกต่างระหว่างจำนวน genotype ที่สังเกตได้กับจำนวน genotype ที่คาดหวัง

$H_1$ : จำนวน genotype ที่สังเกตได้กับจำนวน genotype ที่คาดหวังแตกต่างกัน

กำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

หาเขตวิกฤต ที่  $d.f = K - 1 = 44$  ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยจะปฏิเสธ  $H_0$  ก็ต่อเมื่อค่าที่ได้จากการคำนวณมากกว่าค่าเขตวิกฤต

เมื่อเปิดตารางจะได้  $\chi^2 = 60.456$

ค่าจากการคำนวณได้  $\chi^2 = 28.04$

ผลการทดสอบ พบว่าจำนวน genotype ที่ได้จากการสังเกต ( $n_{\text{observe}}$ ) และจำนวน genotype ที่คาดหวัง ( $n_{\text{expect}}$ ) ไม่มีความแตกต่างกัน หรือกล่าวได้ว่าจำนวน genotype ที่สังเกต ( $n_{\text{observe}}$ ) มีการกระจายตัวเป็นไปตามกฎความสมดุลของ Hardy-Weinberg

ภาคผนวก ก

การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ตามลักษณะการถ่ายทอดโครโมโซมแบบ

**Single allele และ Female sibling**

การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในลักษณะการถ่ายทอดโครโมโซมแบบ

**Single allele**

1. พ่อ – ลูกสาว

1.1 กรณีลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น **Heterozygous**

พ่อ (XY)      ลูกสาว (XX)

A/-              A/B

โอกาสที่พ่อจะให้อัลลีล A

= X

โอกาสที่ชายทั่วไปจะให้อัลลีล A

Y

กรณีนี้ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ในขั้นตอนแรกจึงต้องกำหนดลักษณะทางพันธุกรรมของแม่เด็กที่อาจเป็นไปได้ก่อนแล้วจึงค่อยหาโอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดยีนหนึ่งใดแล้วทำให้เด็กมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับ โอกาสแบบเดียวกันนี้ในชายทั่วไป (Y) วิธีการโดยละเอียดทำได้ดังนี้

จำแนกลักษณะทางพันธุกรรมของแม่เด็ก ที่อาจจะเป็นไปได้ดังนี้

A/A, A/C, A/B, B/C, B/B, โดย C เท่ากับอัลลีลอื่นๆในระบบนี้ที่ไม่ใช่ A หรือ B หาโอกาสที่แม่จะมีลักษณะทางพันธุกรรมในแต่ละแบบข้างต้น โดยคำนวณจากค่าความถี่ของอัลลีลต่างๆในระบบดังกล่าว

โอกาสที่จะเป็น A/A =  $(F_A)^2$  โดย  $F_A$  = ค่าความถี่ของอัลลีล A

โอกาสที่จะเป็น A/C =  $2F_A(1-F_A-F_B)$  โดย  $F_B$  = ค่าความถี่ของอัลลีล B

โอกาสที่จะเป็น A/B =  $2F_A F_B$

โอกาสที่จะเป็น B/C =  $2F_B(1-F_A-F_B)$

โอกาสที่จะเป็น B/B =  $(F_B)^2$



ค่า X หาได้ดังนี้

ตาราง 14 แสดงการคำนวณโอกาสการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบต่างๆของแม่เทียบกับพ่อ

ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น A/A จะถ่ายทอด		โอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดอัลลีลนั้น		โอกาสที่เป็นเช่นนั้น
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	1	B	0	$1 \times 0 \times (F_A)^2 = 0$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น A/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	0	$0.5 \times 0 \times 2F_A(1-F_A-F_B) = 0$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น A/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	0	$0.5 \times 0 \times 2F_A F_B = 0$
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	1	$0.5 \times 1 \times 2F_A F_B$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น B/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	1	$0.5 \times 1 \times 2F_B(1-F_A-F_B)$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น B/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	1	A	1	$1 \times 1 \times (F_B)^2$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่า } X &= F_A F_B + F_B(1-F_A-F_B) + (F_B)^2 \\ &= F_B \end{aligned}$$

คือค่าความถี่ของอัลลีล B

ค่า Y หาได้ดังนี้

ตาราง 15 แสดงการคำนวณโอกาสการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบต่างๆของแม่เทียบกับชายทั่วไป

ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น A/A จะถ่ายทอด		โอกาสที่ชายทั่วไปจะถ่ายทอดอัลลีลนั้น		โอกาสที่เป็นเช่นนั้น
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	1	B	$F_B$	$1 \times F_B \times (F_A)^2$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น A/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	$F_B$	$0.5 \times F_B \times 2F_A(1-F_A-F_B)$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น A/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	$F_B$	$0.5 \times F_B \times 2F_A F_B$
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	$F_A$	$0.5 \times F_A \times 2F_A F_B$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น B/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	$F_A$	$0.5 \times F_A \times 2F_B(1-F_A-F_B)$
ลักษณะทางพันธุกรรมของแม่ เป็น B/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	1	A	$F_A$	$1 \times F_A \times (F_B)^2$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่า Y} &= F_B(F_A)^2 + F_A F_B(1-F_A-F_B) + F_A(F_B)^2 + (F_A)^2 F_B + F_A F_B(1-F_A-F_B) + F_A(F_B)^2 \\ &= 2F_A F_B \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้} = \frac{F_B}{2F_A F_B} = \frac{1}{2F_A}$$

## 1.2 กรณีลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น **Homozygous**

พ่อ (XY)	ลูกสาว (XX)	
A/-	A/A	
โอกาสที่พ่อจะให้อัลลีล A		= X
โอกาสที่ชายทั่วไปจะให้อัลลีล A		Y

กรณีนี้ สามารถกำหนดได้ว่าลูกสาวได้อัลลีลอันไหนมาจากพ่อ และอัลลีลอันไหนจากแม่ เนื่องจากอัลลีลทั้งสองของลูกสาวเหมือนกัน คือ อัลลีล A การคำนวณหาค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นหาได้จาก โอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดยีนหนึ่งใดแล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะของดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับ โอกาสแบบเดียวกันนี้ในชายทั่วไป (Y)

ค่า X คือ โอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ 1

ค่า Y คือ โอกาสที่ชายทั่วไปจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ  $F_A$

ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้  $= \frac{1}{F_A}$

เมื่อ  $F_A$  คือ ค่าความถี่ของอัลลีล

## 2. แม่ – ลูกชาย

### 2.1 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น **Heterozygous**

แม่ (XX)	ลูกชาย (XY)	
A/B	A/-	
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A		= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A		Y

กรณีนี้ สามารถกำหนดได้ว่าลูกชายได้อัลลีลอันไหนมาจากพ่อ และอัลลีลอันไหนจากแม่ เนื่องจากลูกชายจะได้รับการถ่ายทอดโครโมโซม X มาจากแม่ และโครโมโซม Y จากพ่อ ซึ่ง โอกาสที่แม่จะถ่ายทอด โครโมโซม X หนึ่งใดแล้วทำให้ลูกชายมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/- (X) เปรียบเทียบกับ โอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y)

ค่า X คือ โอกาสที่แม่จะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ 0.5

ค่า Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ  $F_A$

ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้  $= \frac{1}{2F_A}$

เมื่อ  $F_A$  คือ ค่าความถี่ของอัลลีล A

## 2.2 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น Homozygous

แม่ (XX)	ลูกชาย (XY)	
A/A	A/-	
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A		= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A		Y

กรณีนี้ สามารถกำหนดได้ว่าลูกชายได้อัลลีลอันไหนมาจากพ่อ และอัลลีลอันไหนจากแม่ เนื่องจากลูกชายจะได้รับการถ่ายทอดโครโมโซม X มาจากแม่ และโครโมโซม Y จากพ่อ ซึ่งโอกาสที่แม่จะถ่ายทอดโครโมโซม X หนึ่งใดแล้วทำให้ลูกชายมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/- (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y)

ค่า X คือ โอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ 1

ค่า Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ  $F_A$

ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้  $= \frac{1}{F_A}$

เมื่อ  $F_A$  คือ ค่าความถี่ของอัลลีล A

การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในลักษณะการถ่ายทอดโครโมโซมแบบ Female Sibling

### 1. แม่ – ลูกสาว

#### 1.1 กรณีที่คนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี genotype ที่ต่างกัน

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)	
A/B	A/C	
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A		= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับ

การตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งโอกาสที่แม่จะถ่ายทอดยีนหนึ่งใดแล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/C

(X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ  $1/2$  ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่ลูกสาว

อาจจะได้รับอัลลีล A จากพ่อด้วย โดยมีค่าเท่ากับ  $1/2$  ดังนั้น โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A

ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1/2 \times 1/2 = 1/4$

$$Y \text{ คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A} = f_A$$

$$\text{ดังนั้น} \quad X/Y = 1/4f_A$$

## 1.2 กรณีคนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี genotype ที่เหมือนกัน

แม่ (XX)                      ลูกสาว (XX)  
A/B                              A/B

โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A หรือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B = X

โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A หรือโอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล B = Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้แม่อาจถ่ายทอดอัลลีล A หรือ B แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

### โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A

X (A) คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ 1/2 ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่ลูกสาวอาจได้รับอัลลีล A จากพ่อที่มีค่าเท่ากับ 1/2 ด้วย  
ดังนั้น โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1/2 \times 1/2 = 1/4$

Y (A) คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A =  $f_A$

ดังนั้น  $X(A)/Y(A) = 1/4f_A$

### โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B

X (B) คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B แก่ลูกสาวเท่ากับ 1/2 ซึ่งโอกาสนี้จะ

รวมถึงโอกาสที่ลูกสาวได้รับอัลลีล B จากพ่อที่มีค่าเท่ากับ 1/2 ด้วย

ดังนั้นโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1/2 \times 1/2 = 1/4$

Y (B) คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล B =  $f_B$

ดังนั้น  $X(B)/Y(B) = 1/4f_B$

นำทั้งสองโอกาสมารวมกัน  $\{X/Y \text{ (รวม)}\} = f_A + f_B / 4(f_A f_B)$

### 1.3 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น **Homozygous** และลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น **Heterozygous**

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)
A/A	A/B
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A	= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A	Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้แม่จะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ 1 ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่ลูกสาวได้รับอัลลีล A จากพ่อที่มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ด้วย ดังนั้นโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1 \times 1/2 = 1/2$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A  $= f_A$   
 ดังนั้น  $X/Y = 1/2f_A$

### 1.4 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น **Heterozygous** และลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น **Homozygous**

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)
A/B	A/A
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A	= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A	Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ลูกสาวจะรับอัลลีล A จากแม่เท่านั้น แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวซึ่งเท่ากับ  $1/2$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A  $= f_A$   
 ดังนั้น  $X/Y = 1/2f_A$

### 1.5 กรณีคนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเป็น Homozygous

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)	
A/A	A/A	
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A		= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A		= Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้แม่จะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอดำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับ โอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ 1

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A  $= f_A$

ดังนั้น  $X/Y = 1/f_A$

## 2. ย่า – หลาน

### 2.1 กรณีคนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเป็น Heterozygous โดยมี genotype ที่ต่างกัน

ย่า (XX)	หลาน	สาว (XX)	
A/B		A/C	
โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A		= X	
โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A		Y	

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของหลานสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งโอกาสที่ย่าจะถ่ายทอดยีนหนึ่งใดแล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอดำแหน่งนี้เป็น A/C (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ  $1/2$  ซึ่งโอกาสนี้จะ

รวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล A จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ด้วย

ดังนั้นโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1/2 \times 1/2 = 1/4$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A  $= f_A$

ดังนั้น

$X/Y = 1/4f_A$

## 2.2 กรณีที่คนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี genotype ที่เหมือนกัน

ย่า (XX)	หลานสาว (XX)	
A/B	A/B	
โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A หรือโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B		= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A หรือโอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล B		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้รับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของหลานสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้ย่าอาจถ่ายทอดอัลลีล A หรือ B แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

### โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A

X (A) คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ  $1/2$  ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล A จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ด้วย ดังนั้นโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1/2 \times 1/2 = 1/4$

ดังนั้น Y (A) คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A  $= f_A$   
 $X(A)/Y(A) = 1/4f_A$

### โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B

X (B) คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B แก่หลานสาวเท่ากับ  $1/2$  ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล B จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ด้วย ดังนั้นโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1/2 \times 1/2 = 1/4$

ดังนั้น Y (B) คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล B  $= f_B$   
 $X(B)/Y(B) = 1/4f_B$

นำทั้งสองโอกาสมารวมกัน  $\{X/Y \text{ (รวม)}\} = f_A + f_B / 4(f_A f_B)$



### 2.3 กรณียามีลักษณะดีเอ็นเอเป็น **Homozygous** และหลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น

#### **Heterozygous**

ย่า (XX) หลานสาว (XX)

A/A A/B

โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A = X

โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของหลานสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้ย่าจะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ 1 ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล A จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ด้วย ดังนั้นโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $1 \times 1/2 = 1/2$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A =  $f_A$   
 ดังนั้น  $X/Y = 1/2f_A$

### 2.4 กรณียามีลักษณะดีเอ็นเอเป็น **Heterozygous** และหลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น

#### **Homozygous**

ย่า (XX) หลานสาว (XX)

A/B A/A

โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A = X

โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้หลานสาวจะรับอัลลีล A จากย่าเท่านั้น แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ  $1/2$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A =  $f_A$

ดังนั้น  $X/Y = 1/2f_A$

## 2.5 กรณีย่าและหลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Homozygous ทั้งคู่

$$\begin{array}{l} \text{ย่า (XX)} \quad \text{หลานสาว (XX)} \\ \text{A/A} \quad \text{A/A} \\ \hline \text{โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A} \quad \quad \quad = X \\ \hline \text{โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A} \quad \quad \quad Y \end{array}$$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้ย่าจะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

$$\begin{array}{l} X \text{ คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ } 1 \\ Y \text{ คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A} \quad \quad \quad = f_A \\ \hline \text{ดังนั้น} \quad \quad \quad X/Y = 1/f_A \end{array}$$

### 3. พี่น้องหญิงร่วมบิดา

#### 3.1 กรณีพี่สาวและน้องสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี genotype ที่ต่างกัน

$$\begin{array}{l} \text{พี่สาว (XX)} \quad \text{น้องสาว (XX)} \\ \text{A/B} \quad \quad \quad \text{A/C} \\ \hline \text{โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนเดียวกัน} \quad \quad \quad = X \\ \hline \text{โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน} \quad \quad \quad Y \end{array}$$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ เนื่องจากพ่อไม่ได้มารับการตรวจด้วย จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าอัลลีลของพี่สาว และน้องสาวอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ตามทฤษฎีถ้ามีพ่อคนเดียวกันลูกสาวทั้งสองจะได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A ทำให้ทั้งสองมีลักษณะดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กัน เปรียบเทียบกับโอกาสที่ทั้งสองได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน ดังนี้

$$\begin{array}{l} X \text{ คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ } f_A \text{ รวมถึง} \\ \text{โอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ } 1/2 \text{ และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับ} \\ \text{อัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ } 1/2 \text{ ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ } f_A \times 1/2 \times 1/2 = 1/4f_A \\ Y \text{ คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน} \quad \quad \quad = f_A \times f_A \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{ดังนั้น} \\ X/Y = \frac{f_A \times 1/2 \times 1/2}{f_A \times f_A} \\ = 1/4f_A \end{array}$$

### 3.2 กรณีที่สาวและน้องสาวเป็น Heterozygous โดยมี genotype ที่เหมือนกัน

พี่สาว (XX)	น้องสาว (XX)	
A/B	A/B	
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A หรืออัลลีล B จากพ่อคนเดียวกัน		= X
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A หรืออัลลีล B จากพ่อคนละคนกัน		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้รับการตรวจ เนื่องจากพ่อไม่ได้มารับการตรวจด้วย จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าอัลลีลของพี่สาว และน้องสาวอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ตามทฤษฎีถ้ามีพ่อคนเดียวกันลูกสาวทั้งสองจะได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A หรืออัลลีล B ทำให้ทั้งสองมีลักษณะดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กัน เปรียบเทียบกับโอกาสที่ทั้งสองได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A หรืออัลลีล B จากพ่อคนละคนกัน ดังนี้

#### โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A

X (A) คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ  $f_A$  รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ  $1/2$  และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $f_A \times 1/2 \times 1/2 = 1/4f_A$

Y (A) คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน =  $f_A \times f_A$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} X(A)/Y(A) &= \frac{f_A \times 1/2 \times 1/2}{f_A \times f_A} \\ &= 1/4f_A \end{aligned}$$

#### โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล B

X (B) คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล B และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ  $f_B$  รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล B จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ  $1/2$  และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับอัลลีล B จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $f_B \times 1/2 \times 1/2 = 1/4f_B$

Y (B) คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน =  $f_B \times f_B$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} X(B)/Y(B) &= \frac{f_B \times 1/2 \times 1/2}{f_B \times f_B} \\ &= 1/4f_B \end{aligned}$$

นำทั้งสองโอกาสมารวมกัน  $\{X/ Y (รวม)\} = f_A + f_B / 4(f_A f_B)$

### 3.3 กรณีที่สาวเป็น Homozygous และน้องสาวเป็น Heterozygous

พี่สาว (XX)	น้องสาว (XX)	
A/A	A/B	
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนเดียว		= X
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคน		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้รับการตรวจ เนื่องจากพ่อไม่ได้รับการตรวจด้วย จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าอัลลีลของน้องสาวอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ตามทฤษฎีถ้ามีพ่อคนเดียว ลูกสาวทั้งสองจะได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A ทำให้ทั้งสองมีลักษณะดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กัน เปรียบเทียบกับโอกาสที่ทั้งสองได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน ดังนี้

X คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ  $f_A$  รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ 1 และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ  $1/2$  ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $f_A \times 1 \times 1/2 = 1/2f_A$

Y คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน  $= f_A \times f_A$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} X/Y &= \frac{f_A \times 1 \times 1/2}{f_A \times f_A} \\ &= 1/2f_A \end{aligned}$$

### 3.4 กรณีที่สาวเป็น Heterozygous และน้องสาวเป็น Homozygous

พี่สาว (XX)	น้องสาว (XX)	
A/B	A/A	
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนเดียว		= X
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคน		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้รับการตรวจ เนื่องจากพ่อไม่ได้รับการตรวจด้วย จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าอัลลีลของพี่สาวและน้องสาวอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ตามทฤษฎีถ้ามีพ่อคนเดียว ลูกสาวทั้งสองจะได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A ทำให้ทั้งสองมีลักษณะดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กัน เปรียบเทียบกับโอกาสที่ทั้งสองได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน ดังนี้

X คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ  $f_A$  รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ  $1/2$  และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $f_A \times 1/2 \times 1 = 1/2f_A$

Y คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน  $= f_A \times f_A$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } X/Y &= \frac{f_A \times 1/2 \times 1}{f_A \times f_A} \\ &= 1/2f_A \end{aligned}$$

### 3.5 กรณีที่สาวและน้องสาวเป็น **Homozygous** ทั้งคู่

พี่สาว (XX)      น้องสาว (XX)

A/A              A/A

โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนเดียวกัน = X

โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน = Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้ว่าลูกสาวทั้งสองคนต้องได้อัลลีล A จากพ่อ

X คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ  $f_A$  รวมถึง

โอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ 1 และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับ

อัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ  $f_A \times 1 \times 1 = 1/f_A$

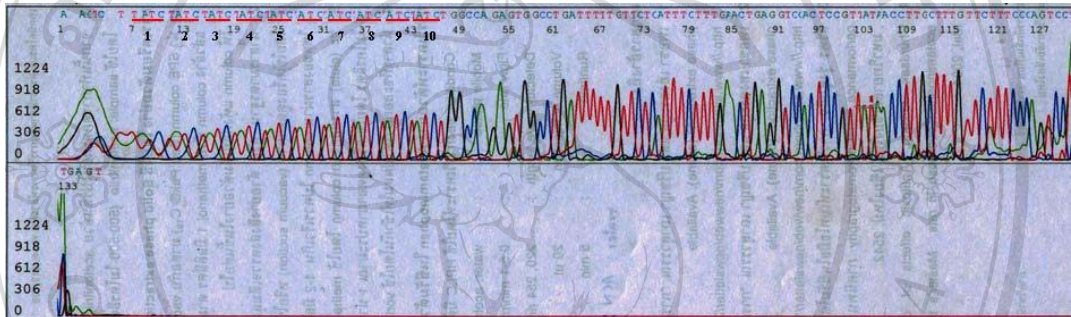
Y คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน =  $f_A \times f_A$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } X/Y &= \frac{f_A \times 1 \times 1}{f_A \times f_A} \\ &= 1/f_A \end{aligned}$$

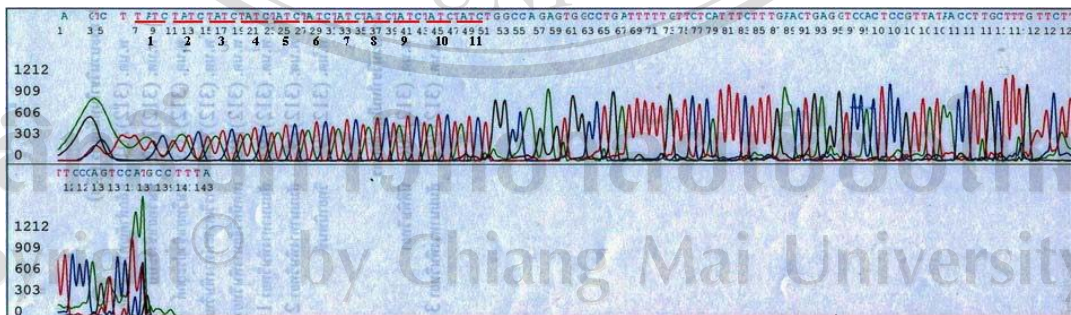
หมายเหตุ  $f_A$  และ  $f_B$  คือค่าความถี่ของอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ

ภาคผนวก

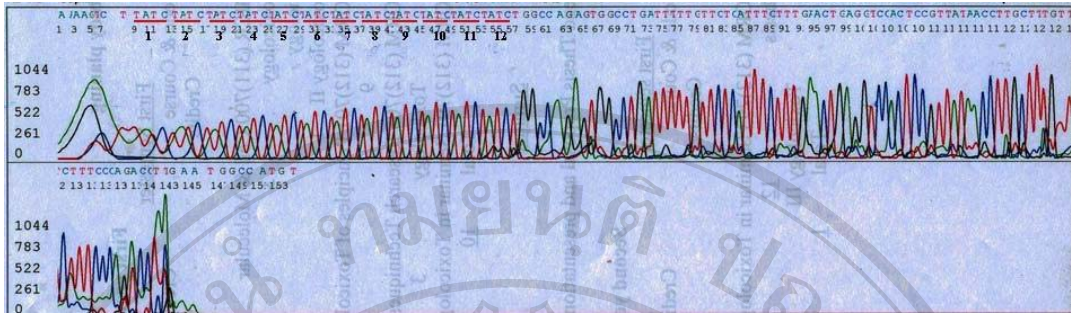
ภาพแสดงผลการหาลำดับเบสของแต่ละอัลลีลในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง  
DXS7130 ด้วยเครื่องอัตโนมัติ



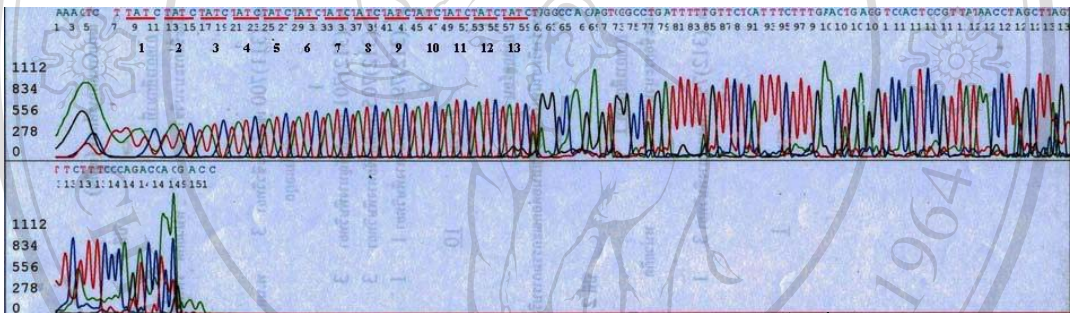
ภาพ 4 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลีล 10 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง  
DXS7130



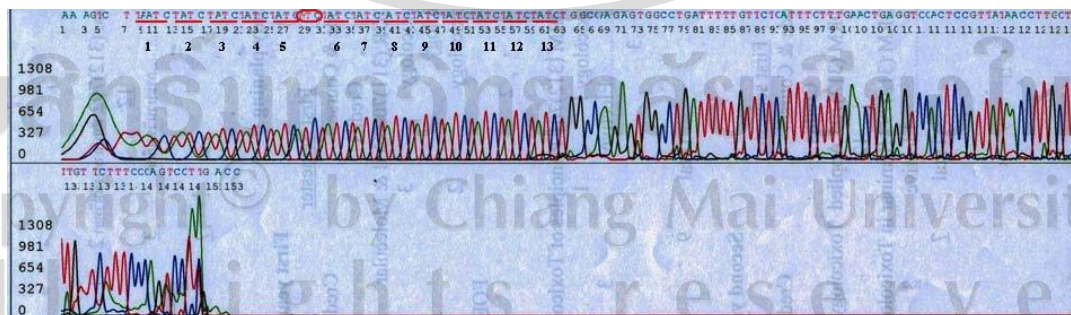
ภาพ 5 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลีล 11 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง  
DXS7130



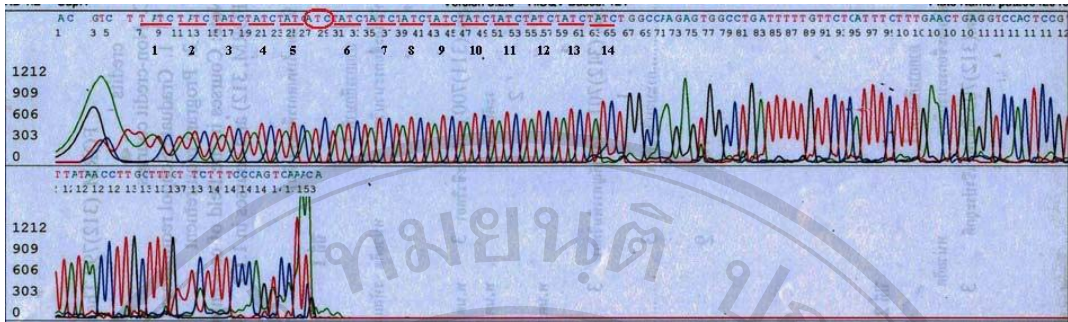
ภาพ 6 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลีล 12 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130



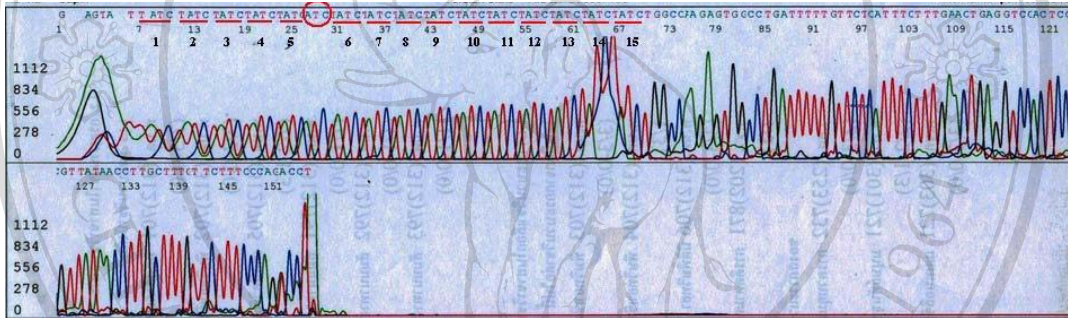
ภาพ 7 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลีล 13 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130



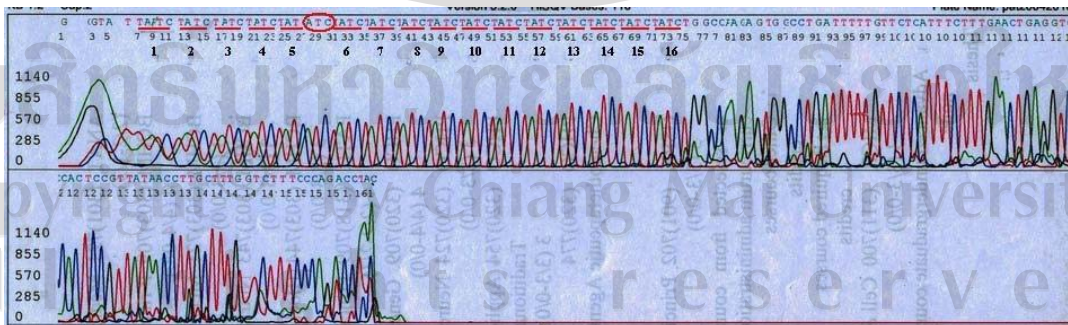
ภาพ 8 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลีล 13.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130



ภาพ 9 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลิล 14.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130

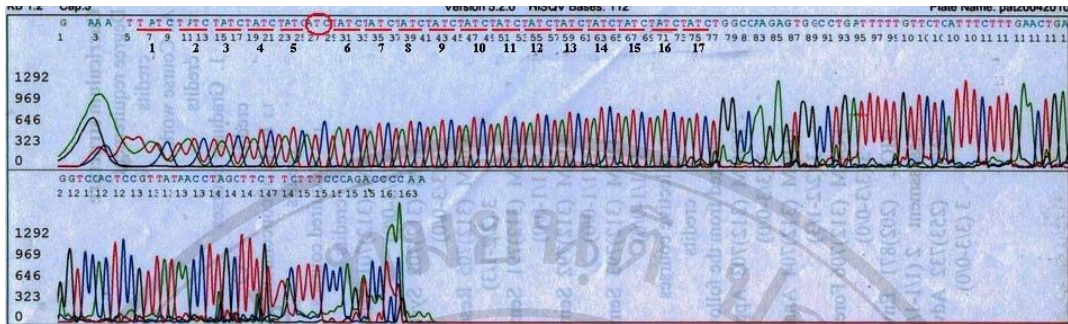


ภาพ 10 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลิล 15.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130



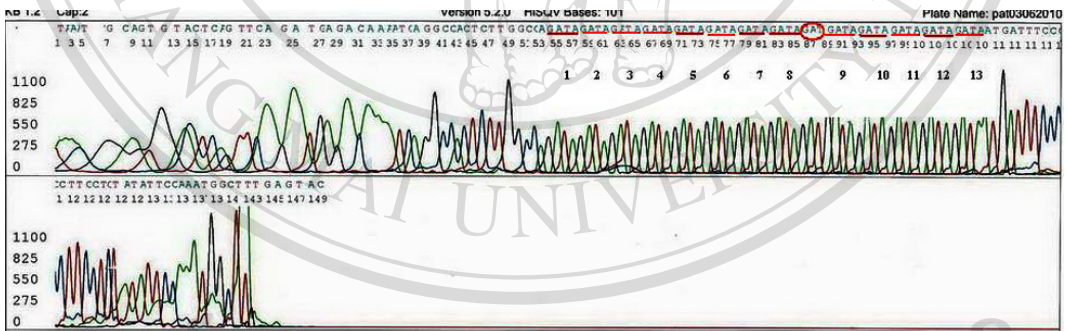
ภาพ 11 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลิล 16.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130



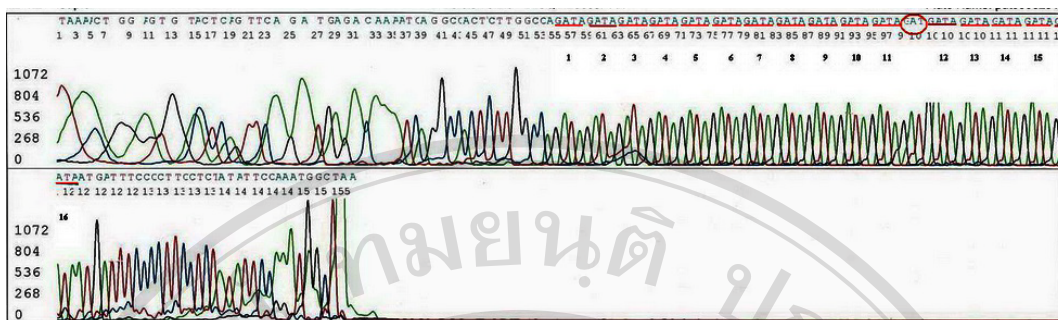


ภาพ 12 แสดงผลการหาลำดับเบสของอัลลิล 17.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130

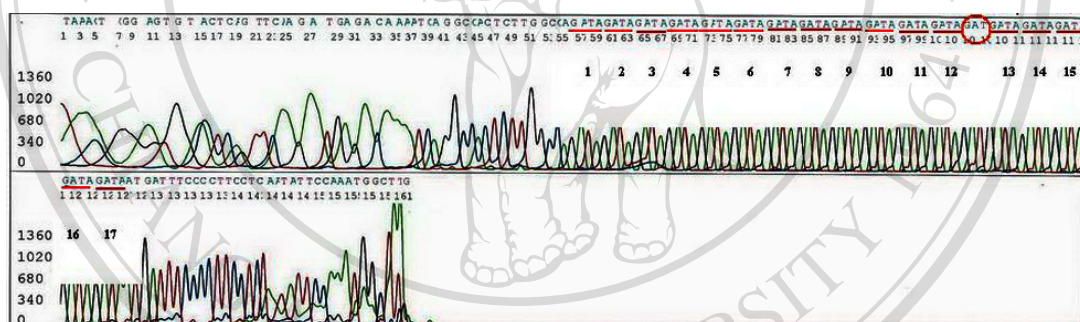
เนื่องจาก การหาลำดับเบสโดยใช้ primer F สำหรับ sequencing reaction ผลที่ปรากฏบน electropherogram ไม่สามารถเห็น peak ของเส้นกราฟที่แสดงลำดับเบสช่วงต้นได้ชัดเจน จึงได้ทำการหาลำดับเบส โดยใช้ primer R แทน primer F ใน sequencing reaction เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้อีกครั้ง ซึ่งได้แสดงภาพเป็นตัวอย่างในบางอัลลิล ดังนี้



ภาพ 13 แสดงผลการหาลำดับเบสโดยใช้ primer R ของอัลลิล 13.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130 ด้วยเครื่องอัตโนมัติ



ภาพ 14 แสดงผลการหาลำดับเบสโดยใช้ primer R ของอัลลีล 16.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130 ด้วยเครื่องอัตโนมัติ



ภาพ 15 แสดงผลการหาลำดับเบสโดยใช้ primer R ของอัลลีล 17.3 ในไมโครแซทเทลไลท์ ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130 ด้วยเครื่องอัตโนมัติ

ภาคผนวก จ

ลำดับเบสบริเวณไมโครแซเทลไลท์ดีเอ็นเอบนโครโมโซมเพศหญิง

ตำแหน่ง DXS7130 ของอัลลีลที่ 12

NCBI Reference Sequence: NW\_927720.1

>ref|NW\_927720.1|:2466132-2466632 Homo sapiens chromosome X genomic contig, alternate assembly (based on Celera), whole genome shotgun sequence

AGCCATTTGGAATATAGAGGAAGGGGAAATCATTATCTATCTATCTATCT  
ATCTATCTATCTATCTATCTATCTATCTATCTATCTGGCCAAGAGTGGCCTGATTT  
TTGTTCTCATTCTTTGAACTGAGGTCCACTCCGTTATAACCTTGCTTTGTT  
CTTCCCAGTCCT

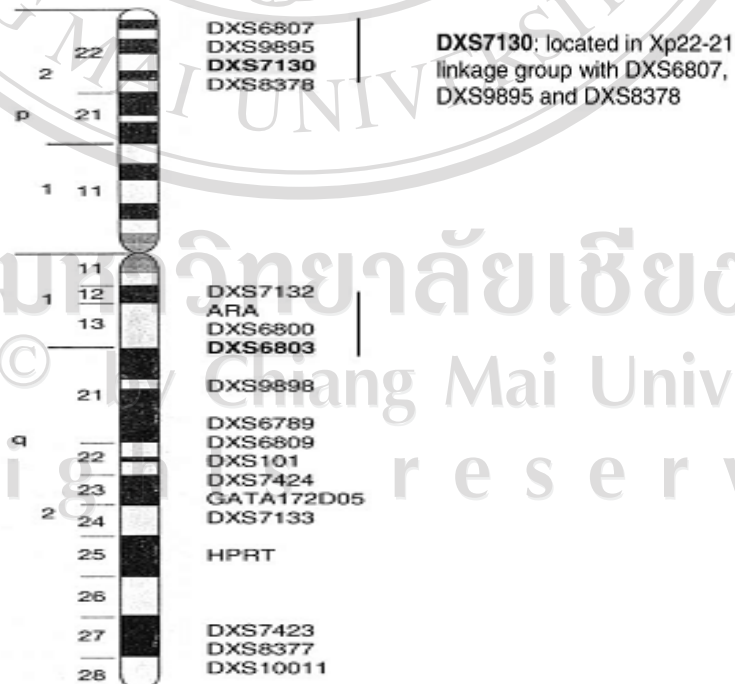
P<sub>F</sub>: AGCCATTTGGAATATAGAGGAAGGG

P<sub>R</sub>: AGGACTGGGAAAGAACAAGCAAGG

N<sub>8</sub>: GAAATCAT

N<sub>61</sub>: TGGCCAAGAGTGGCCTGATTTTGTTCATTCTTTGAACTGAGGTCC  
ACTCCGTTATAA

TATC : ช่วงที่เป็น tandem repeat



ภาพ 16 แสดงที่ตั้งของไมโครแซเทลไลท์ดีเอ็นเอตำแหน่ง DXS7130 บนโครโมโซมเพศหญิง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล นางสาวปรัชญาภรณ์ เทพประชุม  
วัน เดือน ปี เกิด 31 ตุลาคม 2528  
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสรรพวิทยาคม  
ปีการศึกษา 2546  
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved