

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายทอดสำหรับโรคธาลัสซีเมียที่เกิดจาก
พันธุกรรมในประเทศไทย

MATHEMATICAL MODEL OF THALASSEMIA DISEASE
TRANSMISSION CAUSED BY GENETICS IN THAILAND



T129829



๒๒
๑๓๓๗๙
๒๐๐๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 129829
วัน เดือน ปี 3 ส.ค. 2557

12583820
b.....
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและสิ่งอื่นใดซึ่งอาจถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2555

**MATHEMATICAL MODEL OF THALASSEMIA DISEASE
TRANSMISSION CAUSED BY GENETICS IN THAILAND**



**A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BECHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED MATHEMATICS OF FACULTY OF SCIENCE**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2012
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายทอดสำหรับโรคธาลัสซีเมียที่เกิดจากพันธุกรรมในประเทศไทย

Mathematical model of Thalassemia disease transmission caused by Genetics in Thailand

ชื่อนักศึกษา นางสาวจรรวณ หอมภูงา 52050014
นางสาววิดา ถนอมเกียรติ 52050085
นางสาวศิริลักษณ์ แก้วมณี 52050089

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2555

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ศิริพร แสนนำ วินเทอร์ ประธานกรรมการ	ศิริพร
ดร.วรรณพร สรรประเสริฐ กรรมการ	วรรณพร
ผศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	พันธินี

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายทอดสำหรับโรคธาลัสซีเมียที่เกิดจากพันธุกรรมในประเทศไทย

ชื่อนักศึกษา นางสาวจารุวรรณ หอมกฐา 52050014
 นางสาววิดา ถนอมเกียรติ 52050085
 นางสาวศิริลักษณ์ แก้วมณี 52050089

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2555
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดแนวโน้มของจำนวนผู้ที่ป่วยเป็นโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย ผู้จัดทำได้ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อจะได้เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมโรคทางพันธุกรรมชนิดนี้ในประเทศไทยต่อไป ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้จากการศึกษากลไกการจับคู่กันของเชื้อที่ทำให้เกิดโรคธาลัสซีเมีย ผู้จัดทำได้พิจารณาการแพร่กระจายของโรคตามรายปี ทฤษฎีการจับคู่ของยีน ของระบบและความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนำมาใช้ในการศึกษานี้ แล้วจึงนำข้อมูลของผู้ป่วยและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลเฉลยเชิงตัวเลขได้นำมาแสดงโดยการสร้างเป็นโปรแกรมพล็อตที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางหาวิธีการลดจำนวนผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย

คำสำคัญ: โรคธาลัสซีเมีย, โรคทางพันธุกรรม, พันธุศาสตร์, ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด, สมการเชิงอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Mathematical model of Thalassemia disease transmission caused by Genetics in Thailand

Student Miss Jaruwan Hompuonga 52050014
Miss Wiyada Thanomkiat 52050085
Miss Sirilak Kaewmanee 52050089

Degree Bachelor of Science

Program Applied Mathematics

Academics Year 2012

Special Project Advisor Asst.Prof.Dr.Puntani Pongsumpun

ABSTRACT

The purpose of this special problem is to decrease the trend of Thalassemia disease in Thailand. We apply the mathematical knowledge for finding the appropriated model. This will be helpful for controlling genetic disease in Thailand. The mathematical model is created by learning mechanism of genetic transmission of Thalassemia disease. We consider the yearly distribution of this disease. The genetics and recurrence relation are used in this study. Then we take the real data and mathematical theorem to formulate the mathematical model. The numerical results are shown by creating program. The results of this study would be an alternative way to decrease the case of Thalassemia disease in Thailand.

Keywords : Thalassemia disease, Genetic disease, Genetics, Recurrence relations, Differential equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ซึ่งจะสำเร็จได้เนื่องจากได้รับคำแนะนำ และตอบคำถามต่างๆในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พันธ์ พิเศษพันธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คอยแนะนำให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร. สิริพร แสนนำ วินเทอร์ ดร.วรรณพร สรรประเสริฐ และคณาจารย์ประจำภาคคณิตศาสตร์ทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆให้แก่ผู้จัดทำโดยตลอดมา รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาคทุกท่านที่ช่วยเหลือในด้านการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ ตลอดจนเพื่อนๆทุกคน

ขอขอบพระคุณ รศ.นพ.ธัญชัย สุระ หัวหน้าหน่วยเวชพันธุศาสตร์ ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี และ ผศ.นพ.อดิเทพ เชาว์วิศิษฐ สุติแพทย์ ภาควิชาสูติศาสตร์ นรีเวชวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี ในการให้ข้อมูล แนะนำให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโรคธาลัสซีเมียของปัญหาพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนมาโดยตลอด ในท้ายที่สุดนี้ ความดีงามอันนี้ที่เกิดจากปัญหาพิเศษ คณะผู้จัดทำขอมอบให้บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ
มิถุนายน 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ธาลัสซีเมีย (Thalassemia)	4
2.2 ความชุกชุมของโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย	10
2.3 ชนิดของโรคและความรุนแรง	14
2.4 อาการของโรคธาลัสซีเมีย	16
2.5 อาการแทรกซ้อน	17
2.6 โอกาสเสี่ยง	18
2.7 ระยะติดต่อ	18
2.8 การวินิจฉัยและการรักษา	18
2.9 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	19
2.10 ประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด	22
2.11 การศึกษาพันธุศาสตร์ประชากร	23
2.12 การสร้างแบบจำลองการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การถ่ายทอดของโรคหาลัสซีเมียที่เกิดจากพันธุกรรม	
3.1 ข้อมูลโรคหาลัสซีเมีย	28
3.2 แบบจำลองสำหรับโรคหาลัสซีเมีย	36
3.2.1 แผนภาพแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคหาลัสซีเมีย	36
3.2.2 แผนภาพแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคหาลัสซีเมียชนิดเบต้า	45
3.2.3 แผนภาพแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคหาลัสซีเมีย	55
บทที่ 4 การวิเคราะห์แบบจำลอง	
4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	66
4.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม	71
4.3 ตัวอย่างการทำนาย	113
บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	149
5.2 ข้อเสนอแนะ	150
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงแอลฟาและเบต้าโกลบินอย่างละคู่ในส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน	5
รูปที่ 2.2	แสดงแอลฟาฮีน (ซ้าย) และเบต้าฮีน (ขวา) ของคนปกติ	6
รูปที่ 2.3	แสดงพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 หรือ ($aa / -$)	7
รูปที่ 2.4	แสดงพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 หรือ ($aa / a-$)	7
รูปที่ 2.5ก	แสดงเม็ดเลือดแดงของคนปกติ	9
รูปที่ 2.5ข	แสดงเม็ดเลือดแดงของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย	9
รูปที่ 2.6	แสดงความชุกชุมของโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย	10
รูปที่ 2.7	ระดับฮีโมโกลบินในสภาวะปกติ (baseline Hb level) ในโรคโลหิตจางธาลัสซีเมียที่พบบ่อยและการจำแนกความรุนแรงของโรคธาลัสซีเมีย (phenotypic diagnosis)	13
รูปที่ 2.8	แสดงอาการของโรคธาลัสซีเมีย	17
รูปที่ 2.9	แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	20
รูปที่ 3.1	แสดงจำนวนคู่เสี่ยงของโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน	30
รูปที่ 3.2	แสดงจำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน	31
รูปที่ 3.3	แสดงจำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน	32
รูปที่ 3.4	แสดงจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2536 ถึง พ.ศ.2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน	33
รูปที่ 3.5	แสดงจำนวนผู้ป่วยธาลัสซีเมียแบ่งตามภาค ปี พ.ศ.2536 ถึง พ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 1,000 คน	34
รูปที่ 3.6	กรณีที่เป็นบิดา และมารดาปกติทั้งคู่	38
รูปที่ 3.7	กรณีที่เป็นบิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	39
รูปที่ 3.8	กรณีที่เป็นบิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	40
รูปที่ 3.9	กรณีที่เป็นบิดา และมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่	41
รูปที่ 3.10	กรณีที่เป็นบิดา หรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	42
รูปที่ 3.11	กรณีที่เป็นบิดา และมารดาเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่	43
รูปที่ 3.12	กรณีที่เป็นบิดา และมารดาปกติทั้งคู่	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนแพทย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13	กรณีที่เป็นบิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	48
รูปที่ 3.14	กรณีที่เป็นบิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว	49
รูปที่ 3.15	กรณีที่เป็นบิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่	50
รูปที่ 3.16	กรณีที่เป็นบิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว	51
รูปที่ 3.17	กรณีที่เป็นบิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่	52
รูปที่ 3.18	กรณีที่เป็นบิดา และมารดาปกติทั้งคู่	58
รูปที่ 3.19	กรณีที่เป็นบิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว	59
รูปที่ 3.20	กรณีที่เป็นบิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว	60
รูปที่ 3.21	กรณีที่ทั้งบิดาและมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 ทั้งคู่	61
รูปที่ 3.22	กรณีที่เป็นบิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว	62
รูปที่ 3.23	กรณีที่ทั้งบิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่	63
รูปที่ 4.1	ผังงานแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย	68
รูปที่ 4.2	ผังงานแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา	69
รูปที่ 4.3	ผังงานแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า	70
รูปที่ 4.4	หน้าจอโปรแกรม	71
รูปที่ 4.5	คู่มือการใช้งานโปรแกรม	71
รูปที่ 4.6	หน้าต่างข้อปฏิบัติ	72
รูปที่ 4.7	หน้าต่างโรคธาลัสซีเมีย	72
รูปที่ 4.8	หน้าต่างชนิดของโรค	73
รูปที่ 4.9	หน้าต่างสมการการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	74
รูปที่ 4.10	หน้าต่างลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	74
รูปที่ 4.11	หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาและมารดาปรกติทั้งคู่	76
รูปที่ 4.13 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาหรือมารดาปรกติ และอีกฝ่ายพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	76
รูปที่ 4.14 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาปรกติหรือมารดาปรกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	77
รูปที่ 4.15 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่	77
รูปที่ 4.16 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาหรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	78
รูปที่ 4.17 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาและมารดาเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่	78
รูปที่ 4.18 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมีย	79
รูปที่ 4.19 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมีย	79
รูปที่ 4.20 หน้าต่างแสดงการรับค่าตัวแปรต่างๆ	80
รูปที่ 4.21 หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์	80
รูปที่ 4.22 หน้าต่างแสดงกราฟ x	81
รูปที่ 4.23 หน้าต่างแสดงกราฟ y	81
รูปที่ 4.24 หน้าต่างแสดงกราฟ z	82
รูปที่ 4.25 หน้าต่างแสดงกราฟรวม	82
รูปที่ 4.26 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมีย	83
รูปที่ 4.27 หน้าต่างแสดงข้อมูลของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา	83
รูปที่ 4.28 หน้าต่างแสดงสมการของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา	84
รูปที่ 4.29 หน้าต่างแสดงพหุคูณของธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา	85
รูปที่ 4.30 หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.31 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา และมารดาปกติทั้งคู่	86
รูปที่ 4.32 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็น พาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว	87
รูปที่ 4.33 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่าย เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว	87
รูปที่ 4.34 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 ทั้งคู่	88
รูปที่ 4.35 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว	88
รูปที่ 4.36 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่	89
รูปที่ 4.37 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา	90
รูปที่ 4.38 หน้าต่างแสดงการรับค่าตัวแปรต่าง ๆ	90
รูปที่ 4.39 หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์	91
รูปที่ 4.40 หน้าต่างแสดงกราฟ p	91
รูปที่ 4.41 หน้าต่างแสดงกราฟ q	92
รูปที่ 4.42 หน้าต่างแสดงกราฟ r	92
รูปที่ 4.43 หน้าต่างแสดงกราฟ s	93
รูปที่ 4.44 หน้าต่างแสดงกราฟ t	93
รูปที่ 4.45 หน้าต่างแสดงกราฟ u	94
รูปที่ 4.46 หน้าต่างแสดงกราฟรวม	94
รูปที่ 4.47 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา	95
รูปที่ 4.48 หน้าต่างแสดงข้อมูลของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า	95
รูปที่ 4.49 หน้าต่างแสดงสมการของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า	96
รูปที่ 4.50 หน้าต่างแสดงพามิเตอร์ของธาลัสซีเมียชนิดเบต้า	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.51 หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า	97
รูปที่ 4.52 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา และมารดาปกติทั้งคู่	98
รูปที่ 4.53 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่าย เป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว	98
รูปที่ 4.54 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่าย เป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว	99
รูปที่ 4.55 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่	100
รูปที่ 4.56 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว	100
รูปที่ 4.57 หน้าต่างแสดงกรณีทีบีดา และมารดาเป็นพาหะเบต้า ธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่	101
รูปที่ 4.58 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า	102
รูปที่ 4.59 หน้าต่างแสดงการรับค่าตัวแปรต่าง ๆ	102
รูปที่ 4.60 หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์	103
รูปที่ 4.61 หน้าต่างแสดงกราฟ e	103
รูปที่ 4.62 หน้าต่างแสดงกราฟ f	104
รูปที่ 4.63 หน้าต่างแสดงกราฟ g	104
รูปที่ 4.64 หน้าต่างแสดงกราฟ h	105
รูปที่ 4.65 หน้าต่างแสดงกราฟ i	105
รูปที่ 4.66 หน้าต่างแสดงกราฟ j	106
รูปที่ 4.67 หน้าต่างแสดงกราฟรวม	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.68 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า	107
รูปที่ 4.69 หน้าต่างแสดงข้อมูลสถิติของผู้ป่วย	108
รูปที่ 4.70 หน้าต่างกราฟแสดงจำนวนคู่เสี่ยงของโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน	108
รูปที่ 4.71 หน้าต่างกราฟแสดงจำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน	109
รูปที่ 4.72 หน้าต่างกราฟแสดงจำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน	109
รูปที่ 4.73 หน้าต่างแสดงกราฟจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั่วประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน	110
รูปที่ 4.74 หน้าต่างแสดงกราฟจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั่วประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน	110
รูปที่ 4.75 หน้าต่างคำถามออกจากโปรแกรม	111
รูปที่ 4.76 สัดส่วนยีนของประชากรที่จะเป็นปกติมีแวนโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป	113
รูปที่ 4.77 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)มีแวนโน้มลดลงจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป	113
รูปที่ 4.78 สัดส่วนยีนของประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแวนโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป	114
รูปที่ 4.79 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นปกติ(x) มีแวนโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 2 และเสถียรในรุ่นถัดไป	115
รูปที่ 4.80 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y) มีแวนโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.81 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแฉนวนโน้มลดลงจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป	116
รูปที่ 4.82 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นปกติ(x)มีแฉนวนโน้มเพิ่มขึ้นถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป	116
รูปที่ 4.83 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)มีแฉนวนโน้มลดลง จนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป	117
รูปที่ 4.84 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแฉนวนโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป	117
รูปที่ 4.85 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นปกติ(x)มีแฉนวนโน้มลดลงจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป	118
รูปที่ 4.86 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)มีแฉนวนโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรต่อไป	118
รูปที่ 4.87 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแฉนวนโน้มลดลงในรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป	119
รูปที่ 4.88 สัดส่วนยีนประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแฉนวนโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 มีความเสถียรไปรุ่นที่ 3 และลดลงในรุ่นต่อไป	121
รูปที่ 4.89 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)มีแฉนวนโน้มลดลง	121
รูปที่ 4.90 สัดส่วนยีนของประชากรคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี(g) มีแฉนวนโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 6 และเสถียรในรุ่นต่อไป	122
รูปที่ 4.91 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดไฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) มีแฉนวนโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 ลดลงเรื่อยๆในรุ่นถัดมา	122
รูปที่ 4.92 สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) มีแฉนวนโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.93 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสโฮโมโกลบินอี(j) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา	123
รูปที่ 4.94 สัดส่วนยื่นประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 มีความเสถียรไปรุ่นที่ 3 และลดลงในรุ่นต่อไป	124
รูปที่ 4.95 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่8 และเสถียรรุ่นต่อไป	125
รูปที่ 4.96 สัดส่วนยื่นของประชากรคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียโฮโมโกลบินอี(g) มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 6 และเสถียรในรุ่นต่อไป	125
รูปที่ 4.97 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 ลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมาและเสถียรในรุ่นที่ 6	126
รูปที่ 4.98 สัดส่วนยื่นของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมียโฮโมโกลบิน(i) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา	126
รูปที่ 4.99 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสโฮโมโกลบินอี(j) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา	127
รูปที่ 4.100 สัดส่วนยื่นประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 มีความเสถียรไปรุ่นที่ 3 และลดลงในรุ่นต่อไป	128
รูปที่ 4.101 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่8 และเสถียรรุ่นต่อไป	128
รูปที่ 4.102 สัดส่วนยื่นของประชากรคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียโฮโมโกลบินอี(g) มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 6 และเสถียรในรุ่นต่อไป	129
รูปที่ 4.103 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 ลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมาและเสถียรในรุ่นที่ 6	129
รูปที่ 4.104 สัดส่วนยื่นของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมียโฮโมโกลบิน(i) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.105 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสอีโมโกลบินอี(j) มีแนวโน้มน้ำเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา	130
รูปที่ 4.106 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแนวโน้มน้ำเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มน้ำลดลงเรื่อยๆ	131
รูปที่ 4.107 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)มีแนวโน้มน้ำลดลงถึงรุ่นที่4 และเสถียรในรุ่นถัดมา	132
รูปที่ 4.108 สัดส่วนยื่นของคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียอีโมโกลบินอี(g) มีแนวโน้มน้ำลดลง	132
รูปที่ 4.109 สัดส่วนยื่นของประชาชนเป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) มีแนวโน้มน้ำลดลง	133
รูปที่ 4.110 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/อีโมโกลบิน(i) มีแนวโน้มน้ำลดลงถึงรุ่นที่ 4 และเสถียรในรุ่นต่อไป	133
รูปที่ 4.111 สัดส่วนยื่นของประชากรคนเป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสอีโมโกลบินอี(j) มีแนวโน้มน้ำลดลงถึงรุ่นที่4 และเสถียรในรุ่นต่อไป	134
รูปที่ 4.112 สัดส่วนยื่นของประชากรคนปกติ(p)มีแนวโน้มน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในรุ่นที่ 2 ลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา และเสถียรรุ่นที่ 5 ต่อไปเรื่อยๆ	135
รูปที่ 4.113 สัดส่วนยื่นของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (q) มีแนวโน้มน้ำลดลง	136
รูปที่ 4.114 สัดส่วนยื่นของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (r)มีแนวโน้มน้ำลดลงเรื่อยๆ	136
รูปที่ 4.115 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s) มีแนวโน้มน้ำเป็นศูนย์ เสถียรในทุกุ่น	137
รูปที่ 4.116 สัดส่วนยื่นประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดอีโมโกลบินเอช(t) มีแนวโน้มน้ำลดลงและเสถียรในรุ่นต่อไป	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

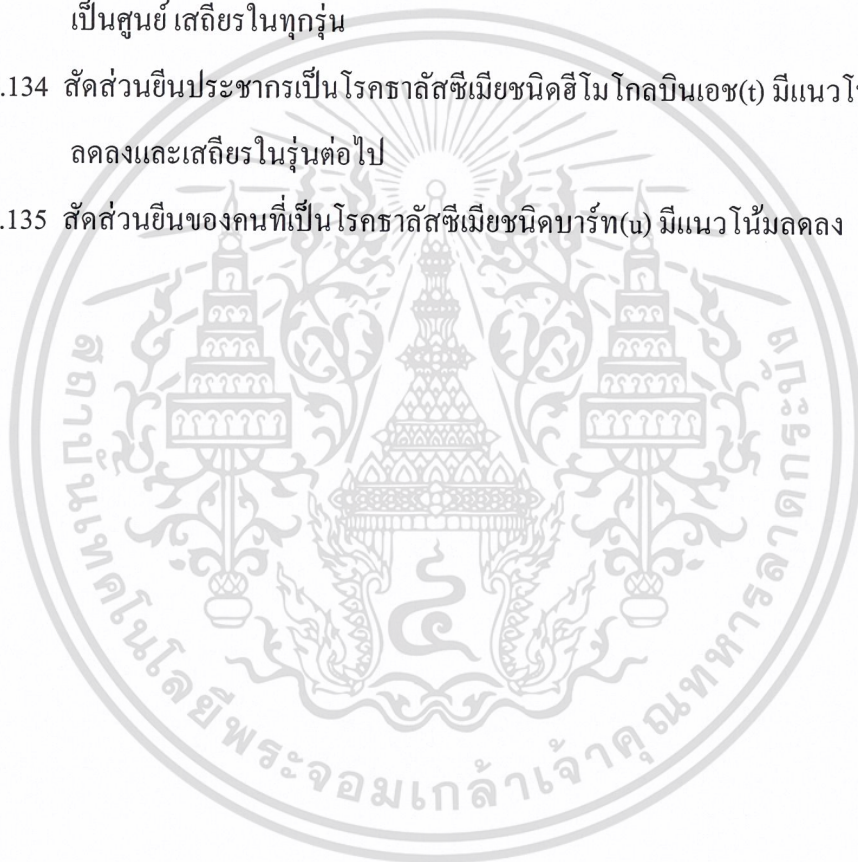
สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.117 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u) มีแนวโน้มน้อยลงถึงรุ่นที่4และเสถียรในรุ่นต่อไป	138
รูปที่ 4.118 สัดส่วนยีนของคนปกติ(p)มีแนวโน้มน้อยลง	139
รูปที่ 4.119 สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย2(q)มีแนวโน้มน้อยลงเรื่อยๆ	139
รูปที่ 4.120 สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย1(r)มีแนวโน้มน้อยลงเรื่อยๆ	140
รูปที่ 4.121 โอกาสของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s) มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มน้อยลงในรุ่นถัดมา	140
รูปที่ 4.122 โอกาสของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดอีโมโกลบินเอช(t) มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มน้อยลงในรุ่นถัดมา	141
รูปที่ 4.123 โอกาสของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u)มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มน้อยลงในรุ่นถัดมา และมีความเสถียรในรุ่นที่ 6	141
รูปที่ 4.124 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นคนปกติ(p)มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นรุ่นที่2 และเสถียรถึงรุ่นที่3และมีแนวโน้มน้อยลงเรื่อยๆ	142
รูปที่ 4.125 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย2(q)มีแนวโน้มน้อยลงเรื่อยๆ	143
รูปที่ 4.126 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย1(r) มีแนวโน้มน้อยลงเรื่อยๆ	143
รูปที่ 4.127 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มน้อยลงในรุ่นถัดมา	144
รูปที่ 4.128 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดอีโมโกลบินเอช(t)มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มน้อยลงในรุ่นถัดมา	144
รูปที่ 4.129 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u)มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มน้อยลงในรุ่นถัดมา	145
รูปที่ 4.130 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นคนปกติ(p)มีแนวโน้มน้อยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในรุ่นที่ 2 ลดลงเรื่อยๆในรุ่นถัดมา	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.131 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (q) มีแนวโน้ม เสถียรในทุกรุ่น	146
รูปที่ 4.132 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (r) มีแนวโน้มลดลง เรื่อยๆ	147
รูปที่ 4.133 สัดส่วนยื่นของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s) มีแนวโน้ม เป็นศูนย์เสถียรในทุกรุ่น	147
รูปที่ 4.134 สัดส่วนยื่นประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t) มีแนวโน้ม ลดลงและเสถียรในรุ่นต่อไป	148
รูปที่ 4.135 สัดส่วนยื่นของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u) มีแนวโน้มลดลง	148



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โรคธาลัสซีเมีย (Thalassemia) เป็นโรคเลือดจางที่มีสาเหตุมาจากความผิดปกติทางพันธุกรรม ทำให้มีการสร้างโปรตีนที่เป็นส่วนสำคัญของเม็ดเลือดผิดปกติ จึงทำให้เม็ดเลือดแดงมีอายุสั้นกว่าปกติ แดงง่าย ถูกทำลายง่าย ผู้ป่วยที่เป็นโรคจึงมีเลือดจาง โรคนี้พบได้ทั้งหญิงและชายปริมาณเท่าๆ กัน ถ่ายทอดมาจากพ่อ และแม่ทางพันธุกรรม โรคนี้พบได้ทั่วโลก และพบมากในประเทศไทยด้วยเช่นกัน เมื่อลูกได้รับการถ่ายทอดจะทำให้มีการสร้างฮีโมโกลบินที่ผิดปกติส่งผลให้เม็ดเลือดแดงแตกง่าย และมีอายุสั้นลง เป็นสาเหตุทำให้ผู้ป่วยเกิดภาวะซีดหรือมีโลหิตจางเรื้อรัง ซึ่งระดับความรุนแรงของโรคจะแตกต่างกันโดยผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรงจะมีอาการซีด ตาเหลือง ตับโต ม้ามโต ใบหน้าเปลี่ยน ตั้งจมูกแบนแฟบ กะโหลกศีรษะหนา โหนกแก้มสูง คางและขากรรไกรกว้าง ฟันบนยื่น กระดูกบางเปราะง่าย ผิวหนังดำคล้ำ ร่างกายเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ ในบางรายอาจมีอาการรุนแรงมากจนถึงขั้นเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือหลังคลอดภายใน 24 ชั่วโมงได้

โรคธาลัสซีเมียถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ เนื่องจากยีนที่ควบคุมการสร้างฮีโมโกลบินที่มีเป็นคู่ นั้นเกิดการผิดปกติ โดยคนที่มียีนการสร้างฮีโมโกลบินผิดปกติเพียงข้างเดียวจะไม่แสดงอาการของโรคแต่ยังคงมียีนผิดปกติแฝงอยู่ ซึ่งเรียกว่าเป็นพาหะ (thalassemia trait หรือ thalassemia carrier) ความผิดปกติของยีนนี้แม้จะเป็นเพียงพาหะก็สามารถถ่ายทอดไปสู่บุตรหลานได้ โดยมีอัตราร้อยละ 30-40 คือประมาณ 20-25 ล้านคน โดยประเทศไทยพบผู้ป่วยโรคนี้ร้อยละ 1 หรือประมาณ 6 แสนคน เมื่อคนที่เป็นพาหะแต่งงานกันและพบยีนผิดปกติร่วมกัน ก็อาจมีลูกที่เกิดโรคนี้ได้ ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีคนไทยเป็นมากถึง 500,000 คน

ผู้ป่วยธาลัสซีเมียที่มีอาการหนักจะมีความทุกข์ทรมานมากจากการมีโลหิตจางเรื้อรัง ความผิดปกติในส่วนต่างๆของร่างกาย จึงเป็นภาระหนักกับแพทย์ พยาบาลที่จะต้องให้การดูแลรักษาโรคที่ไม่มีวันหาย ธาลัสซีเมียจึงเป็นภาระหนักทางการแพทย์ สังคม และเศรษฐกิจของประเทศ

โรคธาลัสซีเมียจึงต้องมีการป้องกันควบคุมเพื่อช่วยลดการเกิดของคนที่เป็นโรคนี้ ดังนั้นจากเหตุผลที่สำคัญนี้ จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ควรจะหาแนวทางลดการระบาดของโรคธาลัสซีเมียเพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับผู้ป่วย โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ

เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคชัลส์ซีเมีย และเขียนโปรแกรมเพื่อประเมินโอกาสของการเกิดโรค

1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ

วิเคราะห์จำนวนผู้ที่เป็นโรคชัลส์ซีเมียที่เกิดจากการถ่ายทอดทางพันธุกรรมในประเทศไทย เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคชัลส์ซีเมียที่เกิดจากพันธุกรรม และเขียนโปรแกรม เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนผู้ที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดโรค เพื่อเป็นแนวทางการควบคุม และป้องกันการเกิดโรคชัลส์ซีเมีย

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการ

1. รวบรวมข้อมูลของโรคชัลส์ซีเมีย
2. รวบรวมข้อมูลทางสถิติการเป็นโรคโดยแยกตามความเสี่ยง
3. วิเคราะห์ข้อมูลสถิติเป็นโรคแยกตามกลุ่มเสี่ยงในเชิงลึก
4. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคชัลส์ซีเมีย
5. วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เพื่อหาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่สามารถควบคุมการเกิดหรือป้องกันการเกิดโรคชัลส์ซีเมีย
6. ทดลองนำแบบจำลองไปใช้กับการคาดการณ์จำนวนผู้เป็นโรค ความเป็นไปได้ในการเกิดโรค

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเสนอแนวทางใหม่ในการลดจำนวนผู้ป่วยโรคชัลส์ซีเมีย
2. เพื่อเฝ้าระวังการเกิดโรคชัลส์ซีเมีย
3. ช่วยในการลดงบประมาณของประเทศไทยในการรักษาผู้ป่วยที่เป็นโรคชัลส์ซีเมีย
4. เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยสำหรับผู้ที่มีความสนใจในหัวข้อ และแนวความคิดเกี่ยวกับการ

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษ

จากเดือนพฤษภาคม 2555 – กุมภาพันธ์ 2555

เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ธ.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ขั้นตอนการดำเนินงาน/ระยะเวลา	↔									
หาหัวข้อปัญหาพิเศษ	↔	↔								
ค้นคว้าหาข้อมูลของปัญหาพิเศษ		↔	↔							
เก็บรวบรวมข้อมูล		↔	↔							
วิเคราะห์ข้อมูลสถิติของโรค			↔	↔						
ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง			↔	↔						
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์			↔	↔						
วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆในการเกิดโรค			↔	↔						
จัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ทดสอบแบบจำลองและคาดการณ์			↔	↔						↔
ทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลจริง										↔
ปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม										↔
พัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสม										↔
หาผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม										↔
สรุปผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง										↔
จัดทำรายงานการทดสอบแบบจำลอง										↔
จัดทำรูปเล่มรายงานที่สมบูรณ์										↔
ตรวจสอบรูปเล่มรายงานปัญหาพิเศษ										↔

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธาลัสซีเมีย (Thalassemia)

ธาลัสซีเมีย เป็นกลุ่มของความผิดปกติทางพันธุกรรมของเม็ดเลือดแดงอันสามารถก่อให้เกิดพยาธิสภาพแทบทุกอวัยวะทั่วทั้งร่างกาย โรคนี้พบมากในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เช่น ประเทศอิตาลี กรีซ ครั้งแรกๆจึงใช้ชื่อว่า “เมดิเตอร์เรเนียน แอนนิเมีย (Mediterranean anemia)” หรือ “คูลีย์แอนนิเมีย(Cooley’s anemia)” หลังจากนั้นยังพบได้ในประเทศต่างๆแถบเอเชีย เช่น ประเทศไทย และจีน เป็นต้น ธาลัสซีเมียพบชุกชุมมากในประชากรของประเทศไทย ในประเทศไทยพบผู้ที่มีกรรมพันธุ์หรือยีน(Gene) ธาลัสซีเมียกว่า 10 ล้านคน ผู้ที่มียีนธาลัสซีเมียมีทั้งผู้ที่เป็นโรค เป็นพาหะและไม่เป็นโรค ผู้ที่เป็นโรคมมีอาการต่างๆกันตั้งแต่มีโลหิตจางเล็กน้อย โลหิตจางมากไปจนถึงเป็นโรคที่รุนแรงมากจนเสียชีวิตทั้งหมดตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือหลังคลอดไม่กี่นาที

คำว่า “ธาลัสซีเมีย” มาจากภาษากรีก “thalassa + emia” นั่นคือ thalassa หมายถึงทะเล ส่วน emia เป็นคำต่อท้ายคำหรือข้อความ หมายถึงเลือด ตัวอย่างเช่น คำว่า anemia มาจาก 2 คำ an + emia (an หมายถึงไม่ emia หมายถึงเลือด) จึงหมายถึง ไม่มีเลือดหรือโรคซีดหรือโลหิตจาง ดังนั้น“ธาลัสซีเมีย” จึงหมายถึง โรคโลหิตจางที่พบในแถบผู้ที่อยู่อาศัยติดกับทะเล ซึ่งพบครั้งแรกในผู้ที่อยู่อาศัยแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า “Med-iteranian anemia” ประวัติความเป็นมาของโรคนี้ กล่าวคือ ถูกค้นพบครั้งแรกโดยกุมารแพทย์ชื่อ โทมัสเบนตันคูลีย์ (Thomas Benton Cooley) ในปี พ.ศ. 2468 เขาได้บรรยายผู้ป่วยที่มีอาการซีดตั้งแต่อายุ 3-4 เดือน และจะซีดลงอย่างมากเรื่อยๆ การเจริญเติบโตและพัฒนาการจะน้อยกว่าเด็กปกติ ผู้ป่วยจะมีปัญหาเรื่องหัวใจล้มเหลวจากภาวะซีด และติดเชื้อง่ายซึ่งเป็นสาเหตุให้การเสียชีวิตที่สำคัญตั้งแต่วัยเด็ก จึงตั้งชื่อโรคนี้ว่า “คูลีย์แอนนิเมีย” (Cooley’s anemia) เพื่อเป็นการให้เกียรติแก่ นายแพทย์ คูลีย์

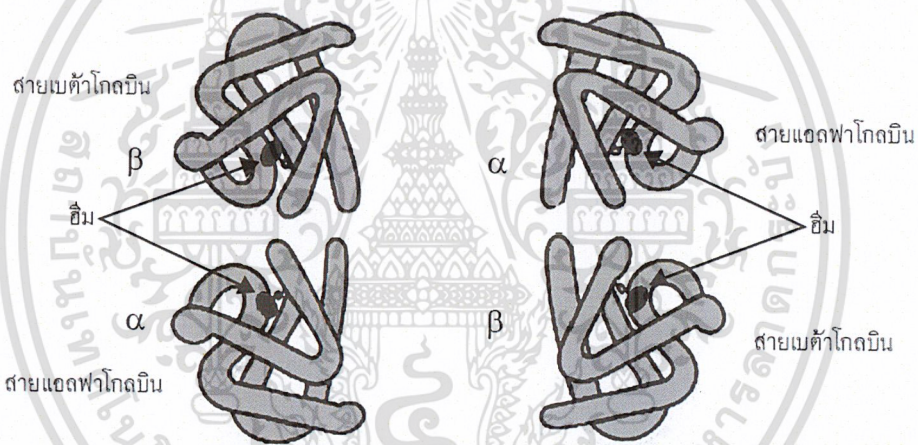
โรคธาลัสซีเมีย เป็นโรคโลหิตจางทางพันธุกรรมอันเนื่องมาจากความผิดปกติของการสร้างฮีโมโกลบินทำให้สร้างน้อยลง หรือสร้างฮีโมโกลบินผิดปกติ (hemoglobinopathy) เป็นผลให้เม็ดเลือดแดงมีลักษณะผิดปกติ และมีอายุสั้นลง (hemolytic anemia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin, Hb) คือ ในเลือดของเรามีส่วนประกอบที่เป็นเม็ดเลือดอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกร็ดเลือด ส่วนฮีโมโกลบิน(haemoglobin) หรือเขียนย่อว่า Hb เป็นสารสีแดงที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในเม็ดเลือดแดง ซึ่งทำหน้าที่นำออกซิเจนที่เราหายใจเข้าไปทางปอดไปสู่ส่วนต่างๆของร่างกาย คนที่เป็นโรคซึด เช่น โรคโลหิตจางธาลัสซีเมียจะมีระดับฮีโมโกลบินต่ำ ร่างกายจะเหนื่อยง่ายเป็นต้น

ฮีโมโกลบินของคนปกติในวัยผู้ใหญ่ มีฮีโมโกลบินอยู่ 2 ชนิดประกอบด้วย ฮีโมโกลบินเอ(Hb A) ประมาณ 97% และฮีโมโกลบินเอ2(Hb A₂) ประมาณ 3% ในที่นี้จะขอกล่าวถึงฮีโมโกลบินเอซึ่งมีโครงสร้างภายในประกอบด้วย

1. โปรตีนหรือสายโกลบินอยู่ 2 ชนิดคือ สายแอลฟาโกลบิน 2 สายและสายเบต้าโกลบิน 2 สาย
 2. ฮีม(Heme) อยู่ติดกับสายโกลบินทั้ง 4 สาย ทำหน้าที่นำออกซิเจนไปสู่ส่วนต่างๆของร่างกาย
- ดังรูปที่ 2.1

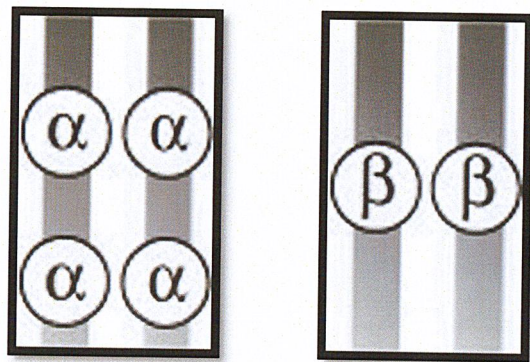


รูปที่ 2.1 แสดงแอลฟาและเบต้าโกลบินอย่างละคู่ในส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน

ยีน(Gene) คือ หน่วยพันธุกรรมที่กำหนดลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิตหรือกำหนดขบวนการสร้างโปรตีนชนิดต่างๆในร่างกายมนุษย์ ตัวอย่างเช่น ยีนสีของตา สีผม หมู่เลือด ชนิดของฮีโมโกลบิน รวมทั้งโรคบางอย่าง เช่น โรคธาลัสซีเมีย เป็นต้น ยีนของมนุษย์อยู่บนโครโมโซม จะร่วมกันทำงานเป็นคู่ ดังนั้นยีนของคนจะเป็นจำนวนคู่ หรือมี 2 ยีน โดยยีนหนึ่งได้รับการถ่ายทอดมาจากมารดา และอีกยีนได้รับมาจากบิดา ยีนที่ควบคุมการสร้างฮีโมโกลบินประกอบด้วย

1. แอลฟายีน ควบคุมเพื่อให้มีการสร้างโปรตีนสายแอลฟาโกลบิน
2. เบต้ายีน ควบคุมเพื่อให้มีการสร้างโปรตีนสายเบต้าโกลบิน เนื่องจากยีนต้องอยู่เป็นคู่

ดังนั้น Hb A จะมียีนควบคุมการสร้าง 2 ชนิดคือ แอลฟายีน 1 คู่และเบต้ายีน 1 คู่ ตัวอย่างยีนที่ควบคุมการสร้างฮีโมโกลบินของคนปกติมีดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแอลฟาอีน (ซ้าย) และเบต้าอีน (ขวา) ของคนปกติ

โรคโลหิตจางธาลัสซีเมีย มีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบยีนด้อย กล่าวคือ ทั้งบิดาและมารดาของผู้ที่เป็นโรคธาลัสซีเมียจะมีธาลัสซีเมียแฝง หรือเรียกว่าเป็นพาหะของธาลัสซีเมีย หรือเป็นโรคธาลัสซีเมีย ดังนั้นถ้าหากผู้เป็นพาหะมาแต่งงานกัน และพบยีนผิดปกติร่วมกัน ลูกก็มีโอกาส 1 ใน 4 ที่เป็นโรคธาลัสซีเมียได้ ธาลัสซีเมียจึงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามลักษณะทางพันธุกรรม คือแอลฟาธาลัสซีเมีย และ เบต้าธาลัสซีเมีย ซึ่งก็คือ ถ้ามีความผิดปกติของสายแอลฟา ก็เรียกแอลฟาธาลัสซีเมีย และถ้ามีความผิดปกติของสายเบตาก็เรียกเบต้าธาลัสซีเมีย

สำหรับผู้มียีนธาลัสซีเมียมีได้ 2 แบบที่สำคัญ คือ

1. เป็นพาหะ หมายถึง มียีนที่ผิดปกติ หรือมียีนที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมไปสู่ลูกหลานได้ ผู้ที่เป็นพาหะ จะเป็นผู้ที่มีความสุขแข็งแรงสามารถดำรงชีวิตได้เหมือนคนปกติไม่มีปัญหาสุขภาพใดๆ ไม่ต้องรับประทานยาใดๆ ผู้ที่เป็นพาหะธาลัสซีเมียไม่สามารถติดต่อจากบุคคลหนึ่งไปอีกบุคคลหนึ่ง ผู้ที่เป็นพาหะของธาลัสซีเมียไม่สามารถกลายเป็นโรคโลหิตจางธาลัสซีเมียได้ และจะยังคงอยู่กับคนๆนั้นตลอดไป พาหะของธาลัสซีเมียมี 2 ชนิด ได้แก่

1. พาหะของแอลฟาธาลัสซีเมียซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดย่อยคือ

1.1 พาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1

1.2 พาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2

2. พาหะของเบต้าธาลัสซีเมีย

2.1 พาหะของฮีโมโกลบิน อี (haemoglobin E trait, Hb E trait)

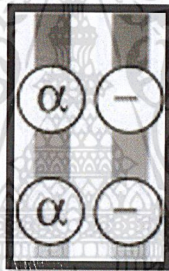
2.2 พาหะของฮีโมโกลบิน คอนสแตนท์สปริง (haemoglobin Constant Spring trait,

Hb CS trait)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

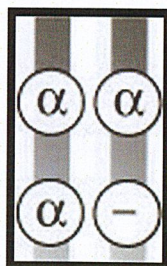
เนื่องจากแอลฟาฮีนในคนปกติ ทำหน้าที่ควบคุมการสร้างสายแอลฟาโกลบิน โดยแอลฟาฮีนที่ทำหน้าที่ มีจำนวน 4 ฮีน (4 working genes) หรือเขียนเป็น (aa/aa) ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นผู้ที่ เป็นพาหะของแอลฟาธาลัสซีเมียจะมีฮีนปกติ และฮีนที่เป็นแอลฟาธาลัสซีเมีย อย่างละ 1 ฮีน พาหะของแอลฟาธาลัสซีเมียแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนแอลฟาฮีนในการทำหน้าที่(working genes) ควบคุมการสร้างแอลฟาโกลบินดังนี้

1. พาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (a-thal 1 trait) มีจำนวนแอลฟาฮีนในการทำหน้าที่ควบคุมการสร้างสายแอลฟาโกลบินจำนวน 2 ฮีน (2 working genes) ดังรูปที่ 2.3 บางครั้งจะเขียน สัญลักษณ์แทนพาหะของแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เป็นดังนี้ (aa / - -) หมายถึงมีฮีนปกติ (aa) และฮีนแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (- -) ที่ผู้ที่เป็นพาหะชนิดนี้จะซีดเล็กน้อย การตรวจความสมบูรณ์ของเลือด หรือ complete blood count (CBC) จะพบว่ามิขนาดเม็ดเลือดแดงเล็ก (MCVมีค่าต่ำกว่าปกติ) แต่จะไม่มีปัญหาเรื่องสุขภาพผู้ที่ เป็นพาหะชนิดนี้สามารถใช้ชีวิตได้เหมือนคนปกติ



รูปที่ 2.3 แสดงพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 หรือ (aa/--)

2. พาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (a-thal 2 trait) มีจำนวนแอลฟาฮีนในการทำหน้าที่ควบคุมการสร้างสายแอลฟาโกลบินจำนวน 3 ฮีน (3 working genes) ดังรูปที่ 2.4 บางครั้งจะเขียนสัญลักษณ์แทนพาหะของแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เป็นดังนี้ (aa/a -) หมายถึงมีฮีนปกติ (aa) และฮีนแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (a -) ผู้ที่เป็นพาหะชนิดนี้จะไม่มีอาการซีด (silent carrier) สามารถดำรงชีวิตได้เหมือนคนปกติไม่มีปัญหาสุขภาพใดๆ การตรวจเลือด(CBC) จะก็อยู่ในเกณฑ์ปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.4 แสดงพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 หรือ (aa/a -) การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เป็นโรค หมายถึง ผู้ที่รับยีนผิดปกติหรือพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียพวกเดียวกันมาจากทั้งบิดาและมารดา ผู้ป่วยจึงมียีนที่คู่กันผิดปกติทั้งสองยีน และจะถ่ายทอดยีนที่ผิดปกติยีนใดยีนหนึ่งต่อไปให้ลูกหลาน

โรคนี้มีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบยีนด้อยตามกฎการถ่ายทอดของเมนเดล(Mendelian inheritance) โดยคนปกติจะมียีนเป็นคู่ยีนด้อยอยู่กับยีนเด่นจะเป็นพาหะไม่แสดงอาการ แต่ถ้ายีนด้อยอยู่ด้วยกันจะแสดงอาการ เช่น โรคซิดในธาลัสซีเมียบิดาและมารดาเป็นพาหะของเบต้าธาลัสซีเมีย (beta-thalassemia trait, beta-thalassemia carrier) ต่างมียีนเบต้าธาลัสซีเมียซึ่งเป็นยีนด้อยร่วมกับยีนปกติ (ยีนเด่น) เมื่อจะมีบุตรจะมีโอกาส 1 ใน 4 ที่จะถ่ายทอดยีนเบต้าธาลัสซีเมียจากทั้งบิดาและมารดาไปให้บุตร ดังนั้นผู้ป่วยที่ได้รับยีนเบต้าธาลัสซีเมียทั้ง 2 ยีนมาจะแสดงอาการของโรคธาลัสซีเมียเราเรียกภาวะที่มียีนที่ทำหน้าที่เหมือนกัน 2 ยีนว่าโฮโมซัยกัส (homozygous) และเป็นยีนเบต้าธาลัสซีเมียจึงเรียกชื่อนี้ว่าเป็น “โฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย (homozygous beta-thalassemia)”

ในร่างกายคนปกติจะมีเม็ดเลือดแดงประมาณ 4-5 ล้านเซลล์ต่อไมโครลิตร ซึ่งเม็ดเลือดแดงจะมีสารสีแดงที่เรียกว่า ฮีโมโกลบิน (hemoglobin : Hb) โครงสร้างหรืออนุของฮีโมโกลบินจะถูกควบคุมโดยยีน (gene) และถ้าเกิดความผิดปกติของยีนเพียง 1 นิวคลีโอไทด์ อาจทำให้เกิดความผิดปกติในการสร้างฮีโมโกลบินได้ โดยปกติร่างกายจะมีการสร้างฮีโมโกลบินเอ (Hb A) ในเม็ดเลือดแดง ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนในฮีโมโกลบิน 2 ชนิด คือ ชนิดอัลฟา 2 สาย และชนิดเบต้า 2 สาย ดังนั้นโรคธาลัสซีเมียโดยทั่วไปจึงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ อัลฟา-ธาลัสซีเมีย (α -thalassemia) และเบต้า-ธาลัสซีเมีย (β -thalassemia)

1. แอลฟา-ธาลัสซีเมีย (α -thalassemia)

เกิดจากการมิวเทชันของยีนแอลฟา-โกลบิน (α -globin gene) บนโครโมโซมคู่ที่ 11 โดยมีการสร้างสายแอลฟา-โกลบินลดลง จนถึงไม่มีการสร้างเลย ทำให้มีสายเบต้า-โกลบินเกิน ลักษณะอาการที่ตรวจพบขึ้นอยู่กับจำนวนของยีนแอลฟา-โกลบินที่ขาดหายไป เช่น

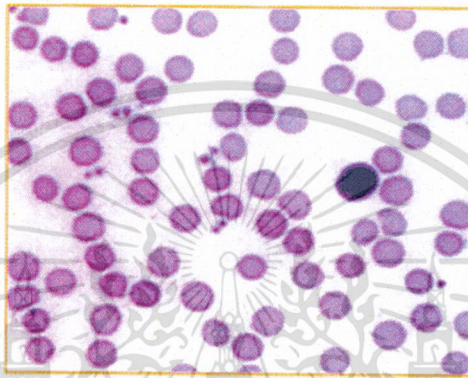
- α -thal 2 trait เกิดจากการขาดหายไปของยีนแอลฟา-โกลบินหนึ่งในสองยีนบนโครโมโซมเดียวกัน ซึ่งจะไม่แสดงอาการของโรคเลย

- α -thal 1 trait เกิดจากการขาดหายไปของยีนแอลฟา-โกลบินทั้งสองยีนบนโครโมโซม

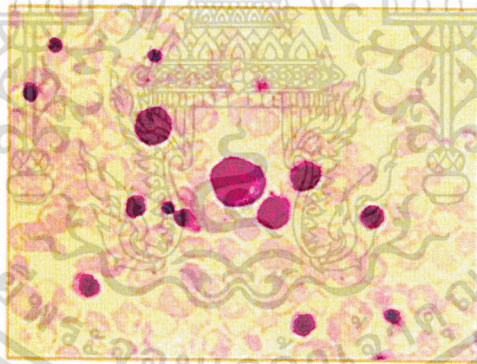
เดียวกัน ลักษณะอาการมีความรุนแรงน้อยมากถึงไม่มีอาการเลย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เบต้า-ธาลัสซีเมีย (β -thalassemia) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากการมิวเทชันของยีนเบต้า-โกลบิน (β -globin gene) ซึ่งมี 1 ยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 11 ของแต่ละโครโมโซม โดยมีการสร้างสายเบต้า-โกลบินลดลงหรือไม่มีการสร้าง ทำให้มีสายอัลฟา-โกลบินเกิน ความรุนแรงของโรคเบต้า-ธาลัสซีเมียขึ้นอยู่กับตำแหน่ง และชนิดของมิวเทชัน เช่น

- β^+ -thalassemia เกิดจากการมิวเทชันที่ทำให้การสังเคราะห์เบต้า-โกลบินยังมีอยู่บ้าง
- β^0 -thalassemia เกิดจากการมิวเทชันที่ทำให้ไม่มีการสังเคราะห์เบต้า-โกลบินเลย



รูปที่ 2.5ก) แสดงเม็ดเลือดแดงของคนปกติ



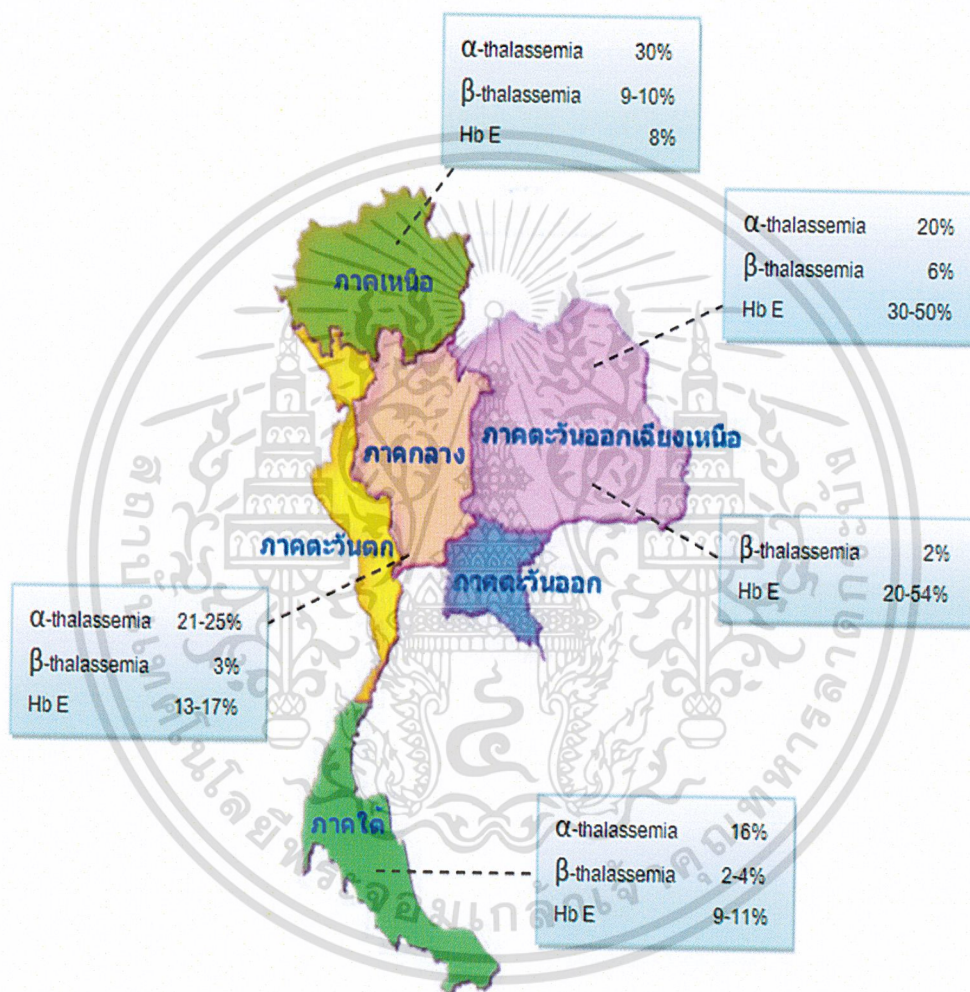
รูปที่ 2.5ข) แสดงเม็ดเลือดแดงของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย

ทั้งแอลฟา และเบต้าธาลัสซีเมีย ยังมีชนิดแยกย่อยลงไปอีกมาก เมื่อกล่าวถึงธาลัสซีเมียจะหมายรวมถึง ทั้งธาลัสซีเมีย และฮีโมโกลบินที่ผิดปกติเพราะมีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความชุกชุมของโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย

ผู้ที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดต่างๆ รวมกันมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 1 ของประชากร ด้วยจำนวนประชากรขณะนี้อยู่ประมาณ 60 ล้านคน ก็จะมีจำนวนผู้ป่วยธาลัสซีเมียประมาณ 600,000 คน



รูปที่ 2.6 แสดงความชุกชุมของโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความชุกชุมของโรคธาลัสซีเมียและฮีโมโกลบินผิดปกติที่พบบ่อยในประเทศไทย

ประเภท	ร้อยละในประชากร
แอลฟา ธาลัสซีเมีย	20% ในคนกรุงเทพฯ 30% ในคนเชียงใหม่
เบต้า ธาลัสซีเมีย	3-9%
ฮีโมโกลบิน อี	13% โดยเฉลี่ย 50% อีสานใต้

แอลฟา ธาลัสซีเมีย พบสูงมากในคนไทยภาคเหนือและลาว ที่เวียงจันทน์พบสูงถึง 40% ส่วนฮีโมโกลบิน อี นั้นพบสูงในคนเชื้อสายเขมรตรงรอยต่อระหว่างไทย-ลาว-เขมร พบฮีโมโกลบินอี สูงถึง 50-60% ในประชากร ส่วนในคนจีนแท้เกือบไม่พบฮีโมโกลบินอี เลย

โรคธาลัสซีเมียที่พบบ่อยในประเทศไทยมี 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. Hb Bart's hydrops fetalis
2. Hb H disease
3. Homozygous β -thalassemia
4. β -thalassemia / Hb E disease

ตารางที่ 2.2 แสดงจำนวนผู้ป่วยธาลัสซีเมียแต่ละชนิดที่เกิดในแต่ละปี และจำนวนที่คาดว่าจะยังมีชีวิตอยู่ (ฮบ.อี = ฮีโมโกลบิน อี)

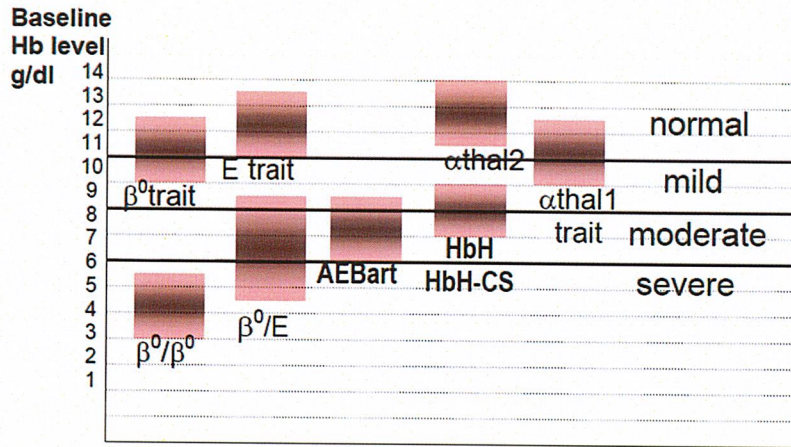
โรค	จำนวนคู่เสี่ยงต่อปี	จำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคต่อปี	จำนวนคนไข้ทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่
1. เบต้า ธาลัสซีเมีย	2,500	625	6,250
2. เบต้า ธาลัสซีเมีย/ฮบ. อี	13,000	3,250	97,500
3. ฮีโมโกลบินบาร์ทส	5,000	1,250	0
4. ฮีโมโกลบิน เอ็ซ	26,000	7,000	420,000
รวม	48,500	12,125	523,750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาลัสซีเมีย จึงอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามลักษณะทางพันธุกรรม(genotypic diagnosis) คือ แอลฟาธาลัสซีเมีย และเบต้าธาลัสซีเมีย แต่การดูแลรักษาโรคโลหิตจางธาลัสซีเมีย จำเป็นต้องตัดสินบนพื้นฐานของความรุนแรงของโรค (phenotypic diagnosis) ว่าเป็นโรคโลหิตจางรุนแรงเพียงใด ดังตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของพันธุกรรมและความรุนแรงของโรคโลหิตจางธาลัสซีเมีย ที่พบบ่อยในประเทศไทย ที่สำคัญมีดังนี้ (รูปที่ 2.7)

1. โรคทารกบวมน้ำขนิดบาร์ท Bart's hydrops fetalis หรือ homozygous alpha-thalassemia 1
มี genotype เป็น α -thal 1/ α -thal 1 หรือ - - / - - เป็นชนิดที่รุนแรงที่สุด เด็กทารกจะเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือเสียชีวิตทันทีหลังคลอด ปัญหาที่พบในมารดาระหว่างตั้งครรภ์คือ ครรภ์เป็นพิษ ความดันโลหิตสูง บวม การคลอดผิดปกติ และตกเลือดหลังคลอด
2. โรคโลหิตจางธาลัสซีเมียชนิดเบต้า ('Homozygous' beta-thalassemia; β -thal/ β -thal)
มีโลหิตจางมากระดับฮีโมโกลบินระหว่าง 3-6 กรัมต่อเดซิลิตร มักเริ่มมีอาการซีดตั้งแต่ขวบปีแรก หากไม่ได้รับการรักษาจะมี ตับ ม้ามโต กระดูกขยายกว้างทำให้รูปใบหน้าเปลี่ยนแบบ thalassemic facies ร่างกายเจริญเติบโตช้า จำเป็นต้องให้เลือดเมื่อถึงวัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่มักมีภาวะแทรกซ้อนจากธาตุเหล็กเกิน ได้แก่ ตับแข็ง เบาหวาน และหัวใจล้มเหลว
3. โรคโลหิตจางธาลัสซีเมียชนิดเบต้า-อี (Beta-thalassemia/Hb E, β -thal/ E)
อาการทางคลินิกมีตั้งแต่เล็กน้อย ปานกลางจนถึงรุนแรงมากเช่นเดียวกับ Homozygous beta-thalassemia
4. โรคโลหิตจางธาลัสซีเมียชนิดเอช Hb H disease (α -thal 1/ α -thal 2, or α -thal 1/Hb CS)
ส่วนใหญ่มีอาการน้อยถึงปานกลางได้แก่ ซีด เหลือง ตับ ม้ามโต แต่ถ้ามีไข้สูง จะมีภาวะซีดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้มีอาการทางสมอง และหัวใจวายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ระดับฮีโมโกลบินในสภาวะปกติ (baseline Hb level) ในโรคโลหิตจางธาลัสซีเมียที่พบบ่อย และการจำแนกความรุนแรงของโรคธาลัสซีเมีย (phenotypic diagnosis) ว่าเป็นโรคโลหิตจางรุนแรงน้อย (mild) ปานกลาง (moderate) หรือชนิดรุนแรง (severe)

ตารางที่ 2.3 โรคโลหิตจางธาลัสซีเมีย และธาลัสซีเมียแฝงที่สำคัญหรือพบบ่อยในประเทศไทย

ตารางที่ 2.3.1 แสดงแอลฟาธาลัสซีเมีย Alpha-thalassemia syndromes

ชื่อโรคหรือภาวะ	ความผิดปกติของยีน	อาการแสดง Phenotype
Hb Bart's hydrops	(- - / - -)	เด็กมักเสียชีวิตตั้งแต่ในครรภ์หรือตายหลังคลอด
Hb H disease	(- - / - α)	โลหิตจางปานกลาง มักไม่ต้องให้เลือดเป็นประจำ
Hb H – Constant Spring (Hb H-CS)	(- - / $\alpha^{CS}\alpha$)	โลหิตจางปานกลาง บางคนอาจต้องให้เลือดเป็นประจำ
Homozygous Hb CS	($\alpha^{CS}\alpha / \alpha^{CS}\alpha$)	โลหิตจางเล็กน้อยถึงปานกลาง มักไม่ต้องให้เลือดเป็นประจำ
α -thal 1 trait	(- - / $\alpha\alpha$)	ระดับฮีโมโกลบินปกติหรือโลหิตจางเล็กน้อย เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็ก (MCVต่ำ)
α -thal 2 trait	(- $\alpha / \alpha\alpha$)	ระดับฮีโมโกลบินปกติ เม็ดเลือดแดงมีขนาดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3.2 แสดงเบต้าธาลัสซีเมีย Beta-thalassemia syndromes

ชื่อโรคหรือภาวะ	ความผิดปกติของยีน genotype	อาการแสดง Phenotype
Homozygous β -thal	(β^0/β^0) , (β^0/β^+) หรือ (β^+/β^+)	โลหิตจางมาก มักต้องให้เลือดเป็นประจำ
β -thalassemia/Hb E	(β^0/β^E) หรือ (β^+/β^E)	โลหิตจางปานกลางถึงมาก บางคนให้เลือดเป็นประจำ แต่บางคนไม่ต้องให้
Homozygous Hb E (HbEE)	(β^E/β^E)	โลหิตจางเล็กน้อย
Hb E trait	(β^E/β)	ระดับฮีโมโกลบินปกติ เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็ก (MCV ต่ำ) หรือขนาดปกติ
β -thalassemia trait	(β^0/β) or (β^+/β)	ระดับฮีโมโกลบินปกติ หรือ โลหิตจางเล็กน้อย เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็ก (MCV ต่ำ)

ตารางที่ 2.3.3 แสดงโรคที่เกิดจากแอลฟาธาลัสซีเมีย และเบต้าธาลัสซีเมียในคนเดียวกัน

Alpha & Beta-thalassemia interaction

ชื่อโรคหรือภาวะ	ความผิดปกติของยีน genotype	อาการแสดง Phenotype	นิยามของโรคหรือภาวะนี้ โดยการตรวจชนิดฮีโมโกลบิน Hb typing
Hb AE Bart's disease	$(-/-\alpha)$ (β^E/β)	โลหิตจางปานกลางถึงมาก บางคนให้เลือดเป็นประจำ แต่บางคนไม่ต้องให้เลือด	Hb AE Bart's
Hb AE Bart's - CS	$(-/-\alpha^{CS})$ (β^E/β)	โลหิตจางปานกลางถึงมาก บางคนให้เลือดเป็นประจำ แต่บางคนไม่ต้องให้เลือด	Hb AE CS Bart's
Hb EF Bart's disease	$(-/-\alpha)$ (β^E/β^E) หรือ $(-/-\alpha)$ (β^0/β^E)	โลหิตจางปานกลางถึงมาก	Hb EF Bart's

2.3 ชนิดของโรคและความรุนแรง

โรคธาลัสซีเมีย และฮีโมโกลบิน ชนิดผิดปกติในประเทศไทยมีมากกว่า 60 ชนิด เป็นโรคกรรมพันธุ์ที่เป็นตลอดชีวิต ที่พบมี 2 ชนิด คือแอลฟา และเบต้าธาลัสซีเมีย มีความรุนแรงของโรคที่แตกต่างกันตั้งแต่ มีอาการน้อยมากจนถึงรุนแรงมากถึงขั้นเสียชีวิตในวัยแรกเกิด วัยเด็ก ผู้ป่วยธาลัสซีเมียชนิดเดียวกันยังมีความรุนแรงของโรคคล้ายคลึงกัน แต่มีข้อยกเว้นบ้าง สามารถแบ่งชนิด

ได้ว่า โรคธาลัสซีเมียที่พบบ่อยในประเทศไทย และความรุนแรงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. แอลฟาธาลัสซีเมีย โรคธาลัสซีเมียที่มีการลดลงของสายโกลบินที่เรียกว่า แอลฟา ที่พบบ่อยมี 2 ชนิด คือ

1.1. ฮีโมโกลบิน บาร์ท (Hemoglobin Bart's disease) ผู้ป่วยมักเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือภายใน 1-2 ชั่วโมงหลังคลอด และในระยะเวลาที่เด็กเหล่านี้อยู่ในครรภ์มารดาอาจมีอาการครรภ์เป็นพิษ มารดามักจะมีอาการบวม ท้องโตมากเนื่องจากมีน้ำมาก มีความดันเลือดสูง และแท้งบุตรบ่อย

1.2. ฮีโมโกลบิน เอช (Hemoglobin H disease) เป็นโรคธาลัสซีเมียที่รุนแรงน้อยที่สุด ซีดเล็กน้อย มีตาเหลืองเล็กน้อย ตับม้ามโตไม่มาก ไม่ต้องให้เลือด โทจนเป็นผู้ใหญ่มีลูกมีหลานได้น้อยกว่าร้อยละ 30 ของผู้ป่วยซึ่งมักจะเป็นชนิด เอช/คอนสแตนต์สปริง (H/Constant Spring) ที่มีอาการรุนแรงคือ ซีดมาก ตับม้ามโตมาก

2. เบต้าธาลัสซีเมีย โรคธาลัสซีเมียที่มีการลดลงหรือสร้างสายโกลบินผิดปกติที่เรียกว่า เบต้า ที่พบบ่อยมี 2 ชนิด คือ

2.1. เบต้าธาลัสซีเมียเมเจอร์ (beta-thalassemia major หรือ Cooley's anemia) เป็นโรคที่มีความรุนแรงมาก ผู้ป่วยจะซีดมาก ตับม้ามโตมาก ต้องให้เลือดบ่อย บางรายมีชีวิตอยู่ได้นาน ต้องรักษาโดยการให้เลือด และยาขับเหล็กทุกวัน มิฉะนั้นอาจจะเสียชีวิตก่อนอายุ 20 ปี เกิดจากทั้งบิดาและมารดามียีนแฝงชนิดเบต้า

2.2. เบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบินอี (beta-thalassemia/hemoglobin E disease) เป็นโรคที่มีความรุนแรงปานกลาง ผู้ป่วยจะซีด ตับม้ามโต บางรายอาจต้องให้เลือดบ่อย ผู้ใหญ่ที่โรคเป็นธาลัสซีเมียในประเทศไทย จึงมักจะเป็นชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบินอี เกิดจากบิดา และมารดามียีนแฝงชนิดเบต้า อีกคนหนึ่งมียีนอี (ฮีโมโกลบินอี)

ถ้าทั้งบิดาและมารดามียีนแฝงชนิดอี (ฮีโมโกลบินอี) อีกทั้งคู่ 25% การมีครรภ์แต่ละครั้งลูกจะมียีนชนิดอี บุคคลเหล่านี้จะมีซีดเล็กน้อย ตับม้ามไม่โต หรือโตเล็กน้อย ยกเว้นเวลาที่มีไข้เรามากจะไม่นับเป็นธาลัสซีเมีย นับว่าเป็นความผิดปกติของฮีโมโกลบิน ซึ่งคนไทยทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบได้บ่อยกว่าภาคอื่น คนเหล่านี้ถ้าแต่งงานกับผู้ที่มียีนแฝงของเบต้าแต่ละครั้งของการมีครรภ์ ก็มีโอกาสที่ลูกจะเป็นธาลัสซีเมียชนิดเบต้า อี ได้ 25%

3. แอลฟาผสมเบต้า เช่น ธาลัสซีเมียชนิดเออีบาร์ท หรืออีเอฟบาร์ท ผู้ป่วยเหล่านี้จะมีอาการซีดปานกลาง ตับม้ามโตไม่มาก ตาเหลืองไม่มาก

4. กรณีอื่นๆ เช่น ฮีโมโกลบินผิดปกติผสมกับยีนของธาลัสซีเมีย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงอาการทางคลินิก และผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการตามความรุนแรงของธาลัสซีเมีย และฮีโมโกลบินชนิดต่างๆ

ความรุนแรง	อาการทางคลินิก	โรคหรือภาวะต่างๆ
รุนแรงที่สุด (most severe)	ทารกจะตายในครรภ์ หรือตายในเวลาไม่นานหลังคลอด ภาวะแทรกซ้อนของการตั้งครรภ์ ได้แก่ ครรภ์เป็นพิษ	Hb Bart's hydrops fetalis
รุนแรงมาก (severe)	มีอาการซีดจนต้องได้รับเลือดภายใน 2 ปีแรก น้ำหนักตัว และความสูง ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน หน้าตาเปลี่ยน ซีด เหลือง ตับม้าม	β -thal/ β -thal (ส่วนใหญ่) และ β -thal/Hb E disease (บาง ราย)
รุนแรงปานกลาง (moderate)	อาจมีม้ามโตมาก	β -thal/ β -thal (บางราย) β -thal/ Hb E (ส่วนใหญ่) Hb H disease (บางราย)
รุนแรงน้อย (mild)	ม้ามโตเล็กน้อย หรือไม่โต	β -thal/ Hb E บางราย, Hb H disease ส่วนใหญ่, Hb A-E-Bart's disease, Homozygous Hb CS
ไม่มีอาการ (Asymptomatic)	ไม่มีภาวะซีด และไม่มีอาการทางคลินิก	พาหะของธาลัสซีเมียหรือฮีโมโกลบินผิดปกติต่างๆ Homozygous α -thal ₂ , Homozygous Hb E
ความรุนแรง	อาการทางคลินิก	โรคหรือภาวะต่างๆ

2.4 อาการของโรคธาลัสซีเมีย

ผู้ป่วยธาลัสซีเมียจะมีเม็ดเลือดแดงที่ไม่แข็งแรง แดกหักจนซีด ทำให้มีธาตุเหล็กในร่างกายมากกว่าคนปกติ นอกจากธาตุเหล็กจะมากเกินไปแล้ว ส่วนการสลายของเม็ดเลือดที่แตกจะเป็นสีเหลือง ทำให้ตาขาวมีสีเหลืองเล็กน้อย ปัสสาวะมักจะมีสีเข้มกว่าคนปกติ ภาวะซีดทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน และอวัยวะต่างๆทำหน้าที่ไม่ดีเท่าคนปกติ การเจริญเติบโตช้า (แต่สมองปกติ)

ไม่มีปัญหาเรื่องปัญญาอ่อน) เมื่อผู้ป่วยอยู่ในภาวะซีด ร่างกายจะพยายามสร้างเม็ดเลือดแดงออกมาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเลือดแดงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชดเชย โพรงกระดูกเป็นอวัยวะส่วนที่สำคัญ ในการสร้างเม็ดเลือดแดง จึงสร้างเม็ดเลือดชดเชย กระดูกหนาขึ้นทำให้ใบหน้าเปลี่ยน หน้าผากนูนสูง โหนกแก้มชัดเจนขึ้น คิ้วงอกแพบ ตาห่างกัน กระดูกโหนกแก้ม หน้าผาก และขากรรไกรด้านบน นูนแน่น ถ้าซีดมากจะมีอาการเหนื่อย ต้องให้เลือด แต่ถ้ารุนแรงมากอาจต้องให้เลือดทุกๆ 2 สัปดาห์หรือทุกเดือน และจะทำให้เลือดที่ได้รับไป ใหม่ๆ ไปทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ และเกิดโรคอื่นๆตามมา เช่น ตับแข็ง เบาหวาน เป็นต้น

โรคเลือดจางธาลัสซีเมีย อาการแบ่งได้ ดังนี้

1. ชนิดรุนแรงมาก ทำให้ทารกเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์
2. ชนิดที่ทำให้ผู้ป่วยซีดมากต้องได้รับเลือดประจำ
3. บางชนิดแทบไม่มีอาการผิดปกติ เพียงซีดเล็กน้อย



รูปที่ 2.8 แสดงอาการของโรคธาลัสซีเมีย

2.5 อาการแทรกซ้อน

ผู้ป่วยธาลัสซีเมียมีอาการแทรกซ้อนหลายอย่าง เช่น

- เป็นโรคติดเชื้อต่างๆ ได้ง่าย
- ความดันโลหิตสูงภายหลังจากการรับการถ่ายเลือดหลายยูนิต
- การมีระดับออกซิเจนในเลือดต่ำและการอุดตันของหลอดเลือดแดงปอด
- การมี Oxidation stress เพิ่มขึ้นทั่วร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 โอกาสเสี่ยง

คู่สามีภรรยาที่เสี่ยงต่อการมีลูกเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดรุนแรง ได้แก่

- คู่สามีภรรยาที่เป็นพาหะชนิดแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 กับแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เสี่ยงต่อการมีลูกเป็นโรคเด็กบวมน้ำจากฮีโมโกลบินบาร์ทส์

- คู่สามีภรรยาที่เป็นพาหะชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย กับเบต้าธาลัสซีเมีย เสี่ยงต่อการมีลูกเป็นโรคเบต้าธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัส

- คู่สามีภรรยาที่เป็นพาหะชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย กับฮีโมโกลบินอี เสี่ยงต่อการมีลูกเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดมีฮีโมโกลบินอี

- คู่สามีภรรยาที่ไม่ใช่พาหะข้างต้นเป็นคู่สามีภรรยาที่เสี่ยงต่อการมีลูกเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดไม่รุนแรง และคู่สามีภรรยาที่ไม่ใช่คู่เสี่ยง

ตารางที่ 2.5 แสดงคู่แต่งงานที่จะมีลูกเป็นโรคธาลัสซีเมีย

ภรรยาที่เป็นพาหะยีน	สามีเป็นพาหะยีน	ลูกในครรภ์เสี่ยงที่จะเป็นโรค
α -thalassemia 1	α -thalassemia 1	Hb Bart' s hydrops
β -thalssemia	β -thalassemia	Homozygous β -thalassemia
β -thalssemia	Hb E	β -thalassemia/Hb E
Hb E	β -thalassemia	β -thalassemia/Hb E

2.7 ระยะติดต่อ

เมื่อเป็นโรคธาลัสซีเมียจะเป็นไปตลอดชีวิต และผู้ที่เป็พาหะก็จะเป็นตลอดไป

2.8 การวินิจฉัยและการรักษา

การวินิจฉัยโรคธาลัสซีเมียอาศัยอาการ และลักษณะทางคลินิกเป็นข้อมูลที่สำคัญ แต่ในรายที่เป็นโรคชนิดไม่รุนแรง ต้องตรวจทางห้องปฏิบัติการจึงจะสามารถวินิจฉัย และแยกชนิดต่างๆของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวินิจฉัยภาวะพาหะ ใช้วิธีการตรวจกรองอย่างง่าย เช่นการตรวจค่าดัชนีเม็ดเลือดแดง (red cell indices) การทดสอบความเปราะของเม็ดเลือดแดง (osmotic fragility test) การตกตะกอนด้วยสาร DCIP (DCIP precipitaton test) และตรวจยืนยันด้วยวิธีมาตรฐาน ได้แก่ การตรวจหาชนิดและปริมาณของฮีโมโกลบิน

ถ้าทั้งสามมีและภรรยาเป็นพาหะ ซึ่งเป็นคู่เสี่ยงต่อการมีบุตรเป็น โรคธาลัสซีเมีย สามารถเลือกใช้การวินิจฉัยโรคก่อนคลอด คือการตรวจเด็กในครรภ์ว่าเป็นโรคหรือไม่ได้ โดยการตรวจวิเคราะห์ยีน

การรักษาโรคธาลัสซีเมียเป็นการรักษาตามอาการ เช่น ให้เลือดอย่างสม่ำเสมอ ให้อาหารเสริมเหล็กและวิตามินซี โดยฉีดเข้าใต้ผิวหนังการรักษาภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น เช่น การติดเชื้อ กระดูกบาง และแตกหักง่าย นิ้วถู่ น้ำดี แผลเรื้อรังที่ขา อัมพาต

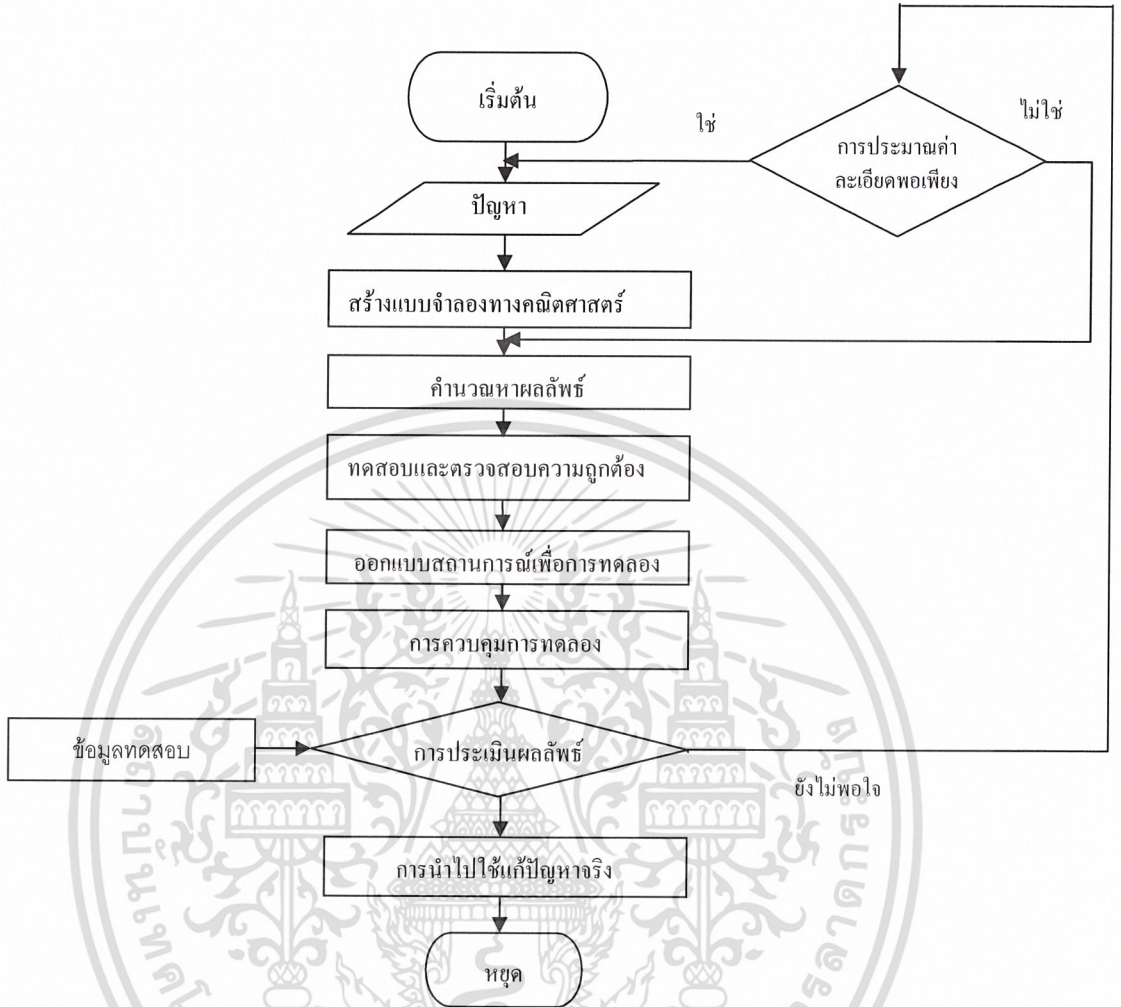
ข้อมูลการศึกษาจากประเทศแถบตะวันตก พบว่า ผู้ป่วยธาลัสซีเมียชนิดรุนแรง ถ้าไม่ได้รับการรักษา มักเสียชีวิตเมื่ออายุราว 2- 8 ปี ถ้าได้รับการรักษาโดยการให้เลือดเพียงอย่างเดียว ไม่ได้รับยาขับธาตุเหล็ก จะเสียชีวิตเมื่ออายุ 20 ปีจากภาวะหัวใจล้มเหลว การได้รับเลือดอย่างสม่ำเสมอ และได้รับยาขับธาตุเหล็ก สามารถช่วยให้มีชีวิที่ยืนยาวขึ้น การปลูกถ่ายเซลล์ต้นกำเนิดจากไขกระดูกหรือเลือดสายสะดือ ซึ่งบริจาคโดยพี่น้องที่เข้ากันได้กับผู้ป่วย (HLA Match) เป็นการรักษาที่ช่วยให้ผู้ป่วยบางรายหายขาดได้ แต่มีค่าใช้จ่ายสูง และก็เสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงถึงแก่ชีวิตได้เช่นกัน

2.9 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mathematical Models) คือ การสร้างหรือออกแบบเพื่อที่จะศึกษาสิ่งที่เราสนใจในระบบหรือปรากฏการณ์ใดๆ ซึ่งการสร้างหรือออกแบบ จะประกอบด้วย การจำลองแบบปัญหา สัญลักษณ์ กราฟต่างๆ และสิ่งที่ได้จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) เป็นการที่แปลงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ วิจัย และการดำเนินงานในภายหลัง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นมาจากเสร็จสิ้นกระบวนการ และคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบนี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อปัญหาที่ต้องการแก้ไข

หลักการสร้างแบบจำลองสถานการณ์

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในที่นี้รวมถึงการสร้างแบบจำลองของระบบขึ้นมาจริง และกระทำการสร้างแล้วทดลองซ้ำหลายครั้งซึ่งการสร้างนั้นแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นิยามปัญหา (Problem Definition) เป็นขั้นตอนที่ผู้ตัดสินใจจะต้องตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นและจัดแบ่งให้เป็นหมวดหมู่ (ซึ่งในที่นี้จะสมมติว่าเป็นปัญหาที่ต้องใช้แบบจำลองใช้

สถานการณ์ เพียงอย่างเดียว เพื่อหาแนวทางการตัดสินใจ) นอกจากนี้ ต้องมีการกำหนดขอบเขตของระบบ รวมทั้งจะต้องปรับให้รูปการของปัญหามีความชัดเจนและเข้าใจได้ง่ายขึ้น

2. สร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model Construction) ในขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดค่าตัวแปร และความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น รวมถึงการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในขั้นตอนนี้ มักนำ Flowchart มาใช้เพื่ออธิบายกระบวนการ จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมตาม Flowchart ที่สร้างขึ้น

3. คำนวณหาผลลัพธ์ (Calculated results) นำมาหาผลลัพธ์

4. ทดสอบและตรวจสอบความถูกต้อง (Model Testing and Validation) เนื่องจากแบบจำลองสถานการณ์ จะต้องถูกนำไปศึกษาแทนเหตุการณ์จริง ดังนั้น ในขั้นตอนนี้ จะต้องทดสอบ และค้นหาสิ่งผิดพลาดทั้งหมด เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถนำไปใช้แทนเหตุการณ์จริงได้อย่างสมบูรณ์

5. ออกแบบสถานการณ์เพื่อการทดลอง (Experimental Design) หลังจากทีแบบจำลองได้รับการพิสูจน์จากขั้นตอนที่แล้ว จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง เพื่อทำการจำลองสถานการณ์ขึ้น 3 กรณี ได้แก่ กรณี Best-case กรณี Worst-case และกรณี Median-case ซึ่งการทำเช่นนี้จะช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการทำงานของแบบจำลองสถานการณ์ได้ และยังช่วยในการแก้ไขจุดบกพร่องในแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างเสร็จแล้วด้วย

6. การควบคุมการทดลอง (Experimental Conduction) ในขั้นตอนนี้ เป็นการทดลองใส่ค่าตัวแปรจริงๆ ในแบบจำลอง เพื่อแสดงสถานการณ์ต่างๆ ตามตัวแปรที่ทดลองเปลี่ยนไป แล้วนำเสนอผลลัพธ์ออกมาให้เห็น

7. การประเมินผลลัพธ์จากการทดลอง (Result Evaluation) จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งหากเป็นที่น่าพอใจก็จะนำไปใช้แก้ปัญหาทันที แต่ถ้าไม่พอใจ อาจเลือกย้อนกลับไปในขั้นตอนที่ 5 หรืออาจย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2 เพื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์ใหม่อีกครั้ง

8. การนำไปใช้แก้ปัญหาจริง (Implementation) นำแบบจำลองมาทดลองใช้กับโอกาสเสี่ยงในการโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด

เราสามารถจำแนกประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ได้ตามคุณสมบัติ 4 ประการของความสัมพันธ์ ดังนี้

1. **อันดับ (order)** ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_{n-k})$ เป็นอันดับที่ k ก็เมื่อตัวย้อนกลับไกลสุดที่ต้องใช้ในการบรรยาย a_n คือตัว a_{n-k} และความสัมพันธ์เวียนบังเกิดจะจัดอยู่ในรูปแบบ

$$a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + c_3 a_{n-3} + \dots + c_k a_{n-k} \quad \text{เมื่อ } c_1, \dots, c_n \neq 0$$

สังเกตว่า สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์เชิงเส้นอันดับ k ที่มีสัมประสิทธิ์คงที่สมการดังกล่าวนี้เมื่อรวมกับเงื่อนไขเริ่มต้น k ค่า $a_0 = c_0, a_1 = c_1, \dots, a_{k-1} = c_{k-1}$ จะให้ลำดับ

$a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ เพียงชุดเดียว

ตัวอย่างเช่น $a_n = 3a_{n-1} + n^2 a_{n-3}$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดอันดับสาม เนื่องจากใช้พจน์ย้อนกลับไกลสุดคือ a_{n-3}

2. **ความเป็นเชิงเส้น (linear/non-linear)** ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด

$a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_{n-k})$ จะเป็นเชิงเส้น (linear recurrence) ก็เมื่อฟังก์ชัน f เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวก่อนหน้าในลำดับ

ตัวอย่างเช่น

$a_n = 2a_{n-1} - a_{n-3} + 5$ หรือ $a_n = 2a_{n-1} + a_{n-3} + n^2$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้น

ในขณะที่ $a_n = 2a_{n-1} / a_{n-2} + 5$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดไม่เชิงเส้น

3. **ความเป็นเอกพันธ์ (homogeneous / non-homogeneous)** ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด

$a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_{n-k})$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์เมื่อ $f(0, 0, 0, \dots, 0) = 0$ หรือ

กล่าวได้ว่าทุกๆพจน์ของความสัมพันธ์ต้องมี a_i ทั้งหมดอยู่ด้วย

4. **ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient)** ในที่นี้เราสนใจว่าสัมประสิทธิ์ที่คูณกับพจน์ a_i ทั้งหมดในความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนั้นเป็นค่าคงตัวหรือไม่

ตัวอย่างเช่น

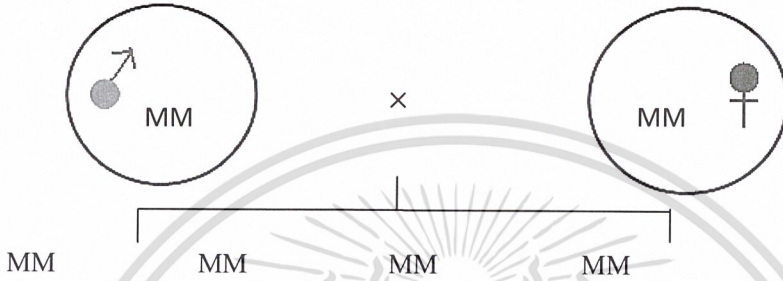
$a_n = 2a_{n-1} + a_{n-3}$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่สัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์ด้านการค้า
ไม่ว่าในกรณีใดๆ ทั้ง $a_n = na_{n-1} + a_{n-3}$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่สัมประสิทธิ์ไม่เป็นค่าคงตัวนำไปใช้

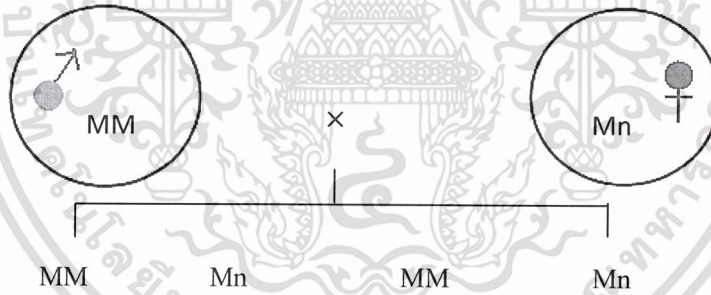
- กำหนด $x = MM$ แทน คนปกติ
- $y = Mn$ แทน คนเป็นพาหะ
- $z = nn$ แทน คนเป็นโรค

การถ่ายทอดโรคจากบิดามารดาสู่ลูกสามารถแยกเป็นกรณีได้ ดังนี้

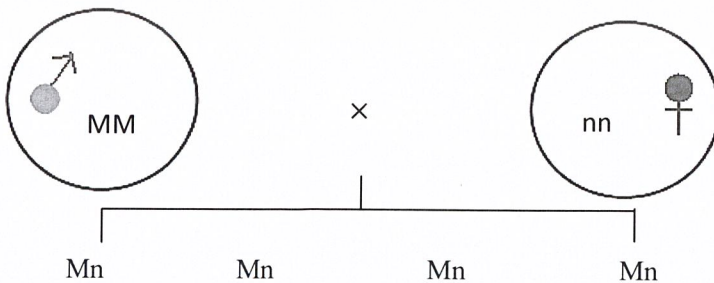
1. บิดาและมารดาปกติทั้งคู่ ลูกจะปกติทั้งหมด 100%



2. ถ้าบิดาหรือมารดาคนใดคนหนึ่งเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียและอีกคนหนึ่งปกติทุกครั้งที่มีการตั้งครรภ์จะมีโอกาสได้ 2 อย่างคือ 50% มีบุตรเป็นปกติและ 50% มีบุตรเป็นพาหะของฮีโมโกลบินอี

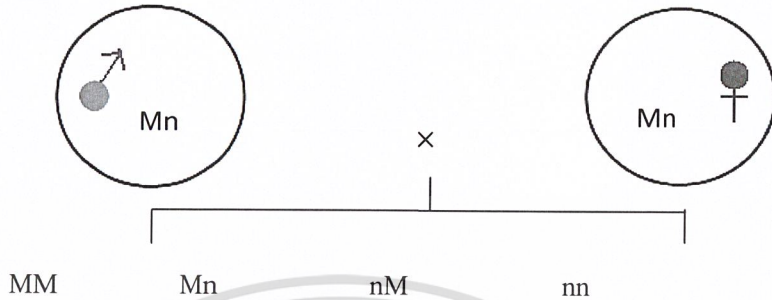


3. บิดาหรือมารดาเป็นปกติหนึ่งคน อีกคนหนึ่งเป็นโรค ทุกครั้งที่มีการตั้งครรภ์จะมีโอกาส 100% มีบุตรที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย

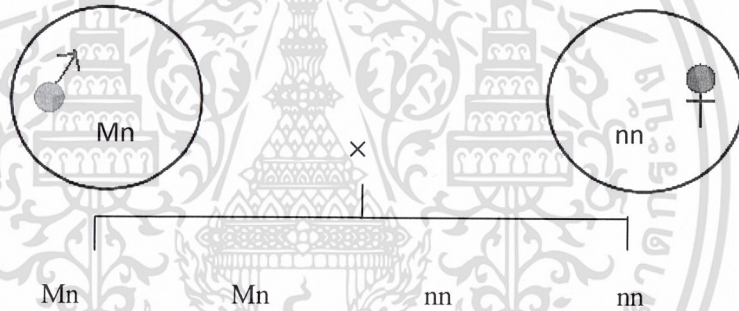


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

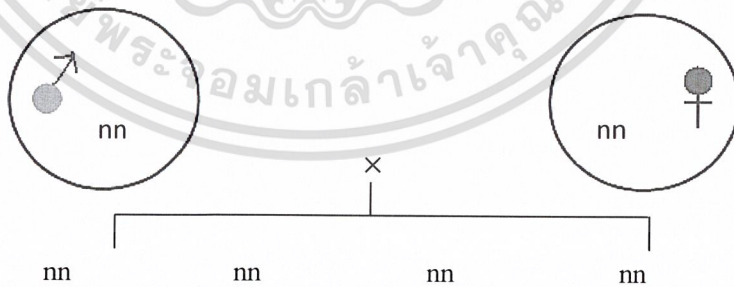
4. ถ้าบิดาและมารดาต่างเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ทุกครั้งที่มีการตั้งครรภ์จะมีโอกาสได้ 3 อย่างคือ 25% มีบุตรเป็นปกติ 50% มีบุตรเป็นพาหะของฮีโมโกลบินอีและ 25% มีบุตรเป็นโฮโมซัยกัสของโรคดังกล่าว



5. ถ้าบิดาหรือมารดาคนใดคนหนึ่งเป็นพาหะ และอีกคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย ทุกครั้งที่มีการตั้งครรภ์จะมีโอกาสได้ 2 อย่างคือ 50% มีบุตรเป็นปกติ 50% เป็นพาหะของโรคและ 50% มีบุตรเป็นโรค



6. บิดาและมารดาปกติเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ ลูกจะเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งหมด 100%



2.12 การสร้างแบบจำลองการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

สมมติว่ามียีน 2 อัลลีล นียามเป็น a และ A และยีนทั้งสองอัลลีลจะส่งต่อไปยังประชากรใน

รุ่นถัดไป เมื่อนำยีนมาจับคู่กันจะได้ลักษณะ AA, aa หรือ aA ซึ่งมีค่า Aa เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำเอกสารให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ.1908 หลังจากที่มีการรื้อฟื้นกฎเกณฑ์การถ่ายทอดพันธุกรรมของเมนเดลไม่นาน นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ จี.เอช.ฮาร์ดี (G.H. Hardy) และนายแพทย์ชาวเยอรมัน ชื่อ ดับเบิลยู ไวน์เบิร์ก (W. Weinberg) ได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่อัลลีล กับค่าความถี่จีโนไทป์ ความจริงแล้วความสัมพันธ์นี้ ดับเบิลยู แคสเทิล (W. Castle) นักพันธุศาสตร์ชาวอเมริกัน ได้ค้นพบมาก่อนแล้ว ในปี ค.ศ.1903 แต่ในปัจจุบันความสัมพันธ์นี้รู้จักกันในชื่อ กฎฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (The Hardy-Weinberg principle) ที่กล่าวว่า ในประชากรที่ปราศจากกระบวนการที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้แก่การกลายพันธุ์ (mutation) การอพยพ (migration) การผกผันทางพันธุกรรม (genetic drift) และการคัดเลือก (selection) ค่าความถี่ของอัลลีลจะยังคงเหมือนเดิม ไม่ว่าจะถ่ายทอดไปที่รุ่นก็ตาม กฎฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก ได้กล่าวอีกว่าถ้าประชากรมีระบบการผสมพันธุ์แบบสุ่ม ค่าความถี่ของจีโนไทป์จะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของอัลลีลด้วยสูตร และค่าความถี่จีโนไทป์ที่สมดุล (equilibrium) ของยีนที่อยู่บนออโตโซมจะเกิดขึ้นเมื่อมีการผสมพันธุ์แบบสุ่ม 1 รุ่น ถ้าความถี่ของอัลลีลเริ่มต้นในเพศทั้งสองมีค่าเท่ากัน

$$p = \text{สัดส่วนของประชากร } A = \frac{\text{จำนวนทั้งหมดของอัลลีล } A}{2N}$$

$$q = \text{สัดส่วนของประชากร } a = \frac{\text{จำนวนทั้งหมดของอัลลีล } a}{2N}$$

เมื่อ $p + q = 1$ และ $N =$ ขนาดประชากร

เราจะได้สมมติฐานดังนี้

1. จับคู่ยีนด้วยวิธีการสุ่ม
2. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงยีนของรุ่นลูกหลานในบิดา-มารดาที่มียีนลักษณะต่างกัน
3. ยีนรุ่นลูกหลานมีค่าเท่ากัน มีโอกาสอยู่รอดเท่ากัน
4. ไม่มีการกลายพันธุ์

กำหนดให้สัดส่วนของลักษณะของยีนเป็น AA, aA และ aa ของประชากร

$u =$ สัดส่วนของ AA

$v =$ สัดส่วนของ aA

$w =$ สัดส่วนของ aa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว $u + v + w = 1$ ซึ่ง Aa มีค่าเท่ากับ aA แสดงว่า

$$p = u + \frac{1}{2}v$$

$$q = \frac{1}{2}v + w$$

ขั้นตอนต่อไปคือคำนวณค่าความน่าจะเป็นของบิดา-มารดาโดยเฉพาะลักษณะที่จะเกิดคู่ ถ้าการจับคู่เป็นแบบสุ่ม คู่ที่เหมือนกันจะขึ้นอยู่กับเพียงแค่ว่าคู่ที่มีลักษณะเหมือนกันจับกัน

ตารางที่ 2.6 ตารางการผสมพันธุ์

ลักษณะของยีน		บิดา			
		<i>AA</i>	<i>Aa</i>	<i>aa</i>	
ยีน%	สัดส่วนของ		<i>u</i>	<i>v</i>	<i>w</i>
	<i>AA</i>	<i>u</i>	u^2	<i>uv</i>	<i>uw</i>
มารดา	<i>Aa</i>	<i>u</i>	<i>uv</i>	v^2	<i>vw</i>
	<i>aa</i>	<i>w</i>	<i>uw</i>	<i>vw</i>	w^2

ตารางที่ 2.7 ตารางของรุ่นลูก

ชนิดยีนของบิดา-มารดา สัดส่วน		สัดส่วนของลักษณะยีนในรุ่นลูก		
		<i>AA</i>	<i>Aa</i>	<i>aa</i>
<i>AA</i> × <i>AA</i>	u^2	u^2	0	0
<i>AA</i> × <i>Aa</i>	$2uv$	$\frac{1}{2} - uv$	$\frac{1}{2} - uv$	0
<i>AA</i> × <i>aa</i>	$2uw$	0	$2uw$	0
<i>Aa</i> × <i>Aa</i>	v^2	$\frac{1}{4} - v^2$	$\frac{1}{2} - v^2$	$\frac{1}{4} - v^2$
<i>Aa</i> × <i>aa</i>	$2uw$	0	<i>vw</i>	<i>vw</i>
<i>aa</i> × <i>aa</i>	w^2	0	0	w^2
รวม		$u^2 + \frac{1}{2}uv + \frac{1}{4}v^2$	$\frac{1}{2} - uv + 2uw + \frac{1}{2}v^2 + vw$	$\frac{1}{4} - v^2 + vw + w^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

การนับผลรวมสัดส่วนของรูนูกแต่ละแบบของยีน เราจะได้ค่าสำหรับ u , v และ w เพื่อคิดต่อในรุ่นถัดไป ซึ่งเราอาจจะเรียกมันว่า u_{n+1} , v_{n+1} และ w_{n+1} สามารถแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนในลูกรุ่นที่ n ด้วยสมการดังนี้

$$u_{n+1} = u_n^2 + u_n v_n + \frac{1}{4} v_n^2$$

$$v_{n+1} = u_n + v_n + 2u_n w_n + \frac{1}{2} v_n^2 + u_n + w_n$$

$$w_{n+1} = \frac{1}{4} v_n^2 + v_n w_n + w_n^2$$

ตัวอย่าง พิจารณาสมการ u_{n+1} และสังเกตจำนวนที่เพิ่มขึ้นของยีน AA ของรูนูกนำไปสู่ความสัมพันธ์

ในปัญหา แสดงว่าสมการดังกล่าวนำไปสู่บทสรุปเรื่องสัดส่วนยีน p และ q ตลอดจนสัดส่วนของ u , v และ w จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใต้การผสมพันธุ์แบบสุ่มโดยมีค่าความเหมาะสมที่เท่ากัน นอกจากนี้สมมูลของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์กยังบรรลุเป้าหมายในการผสมยีนในรุ่นแรกข้อสรุปนี้ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ว่ายีนไม่ตั้งอยู่ในโครโมโซมที่พิจารณาจากเพศของประชากร

บทที่ 3

แบบจำลองของโรคธาลัสซีเมีย

ก่อนที่จะทำการสร้างแบบจำลองของโรคธาลัสซีเมียได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลของโรคธาลัสซีเมีย ดังต่อไปนี้

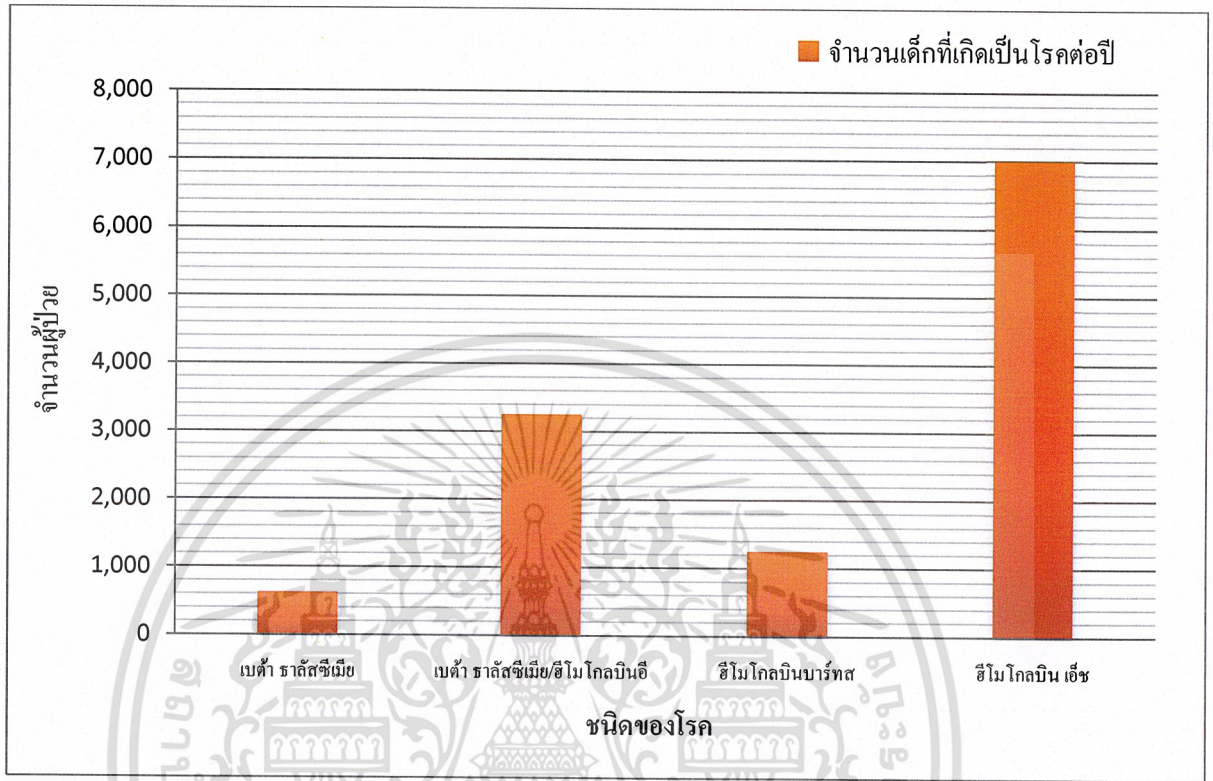
3.1 ข้อมูลโรคธาลัสซีเมีย

ธาลัสซีเมีย(Thalassemia) เป็นกลุ่มของความผิดปกติทางพันธุกรรมของเม็ดเลือดแดง พบชุกชุมมากในประชากรของประเทศไทย และในส่วนอื่นๆของโลก ในประเทศไทยมีผู้ที่เป็นกรรมพันธุ์หรือยีน (Gene) ธาลัสซีเมียกว่า 10 ล้านคน ผู้ที่มียีนธาลัสซีเมียมีทั้งผู้ที่เป็นโรค เป็นพาหะ และไม่เป็นโรค ผู้ที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดต่างๆรวมกันมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 1 ของประชากร ด้วยจำนวนประชากรขณะนี้ 60 ล้านคน ก็จะมีจำนวนผู้ป่วยธาลัสซีเมียประมาณ 600,000 คน ในผู้ที่เป็นพาหะของยีน คือ มียีนปกติเหล่านี้ตัวใดตัวหนึ่งจะไม่มีอาการผิดปกติ แต่จะถ่ายทอดยีนปกติให้ลูกหลานเรื่อยลงไป แต่ถ้าทั้งบิดา และมารดามียีนผิดปกติ ลูกบางคนจะได้ยีนผิดปกติตั้งแต่ 2 ยีนขึ้นไป ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคขึ้นได้ โรคธาลัสซีเมียถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ เนื่องจากยีนที่ควบคุมการสร้างฮีโมโกลบินที่มีเป็นคู่หนึ่งเกิดการผิดปกติ โดยคนที่มียีนการสร้างฮีโมโกลบินผิดปกติเพียงข้างเดียวจะไม่แสดงอาการของโรค แต่ยังคงมียีนผิดปกติแฝงอยู่ ซึ่งเรียกว่า เป็นพาหะ ความผิดปกติของยีนนี้แม้จะเป็นเพียงพาหะก็สามารถถ่ายทอดไปสู่บุตรหลานได้ โดยมีอัตราร้อยละ 30-40 ส่วน อาการของผู้ที่เป็นพาหะของโรคจะเป็นผู้ที่มีสุขภาพเหมือนคนทั่วไป แต่สามารถถ่ายทอดยีนผิดปกติสู่ลูกได้ ภาวะเสี่ยงของโรคธาลัสซีเมียในประเทศไทย พบว่ามีการมพันธุ์ที่ผิดปกติของโรคนี้โดยไม่แสดงอาการเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในคนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อาจมีถึง 40% ของประชากรที่มีกรรมพันธุ์ของโรคนี้ ผู้ที่เป็นโรคธาลัสซีเมียจะมีลักษณะเฉพาะคือ มีอาการซีดเหลือง เหนื่อยง่ายมาตั้งแต่เล็ก ร่างกายเติบโตช้า ตัวเตี้ย น้ำหนักน้อยกว่าเด็กปกติในรุ่นราวคราวเดียวกัน คนไข้จะมีหน้าตาแปลก โดยมีอาการจุกแบน หน้าผากโหนกชัน กระดูกแก้มและขากรรไกรกว้างใหญ่พื่นยื่นเหิน ลูกตาอยู่ห่างกันมากกว่าคนปกติ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากกระดูกมีการหนาตัวขึ้นเพื่อให้ไขกระดูกสร้างเม็ดเลือดแดงขึ้นทดแทนส่วนที่สลายตัว (คนไข้แม้จะมีหน้าตาแปลก แต่ยังคงมีสติปัญญาเป็นปกติ ไม่ใช่ปัญญาอ่อน) เมื่ออายุมาก

ขึ้น ผิวหนังจะมีสีคล้ำออกเป็นสีเทาอมเขียว เนื่องจากมีธาตุเหล็ก (ซึ่งได้มาจากการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง) สะสม ธาตุเหล็กยังสะสมอยู่ในอวัยวะต่าง ๆ ทำให้มีโรคตับ โรคหัวใจ แทรกซ้อนได้ คนไข้มักมีม้ามโต สามารถคลำได้ก้อนแข็งในบริเวณใต้ชายโครงด้านซ้าย นอกจากนี้อาจมีอาการเป็นไข้บ่อย เนื่องจากมีการติดเชื้อง่าย เช่น เป็นไข้หวัด เจ็บคอ เป็นต้น โรคธาลัสซีเมียพบมากในประเทศไทยและพบได้ทั่วโลก ที่พบในบางประเทศเกือบทั้งหมดเป็นแบบเดียวกัน แต่ในประเทศไทยมีความหลากหลายมาก

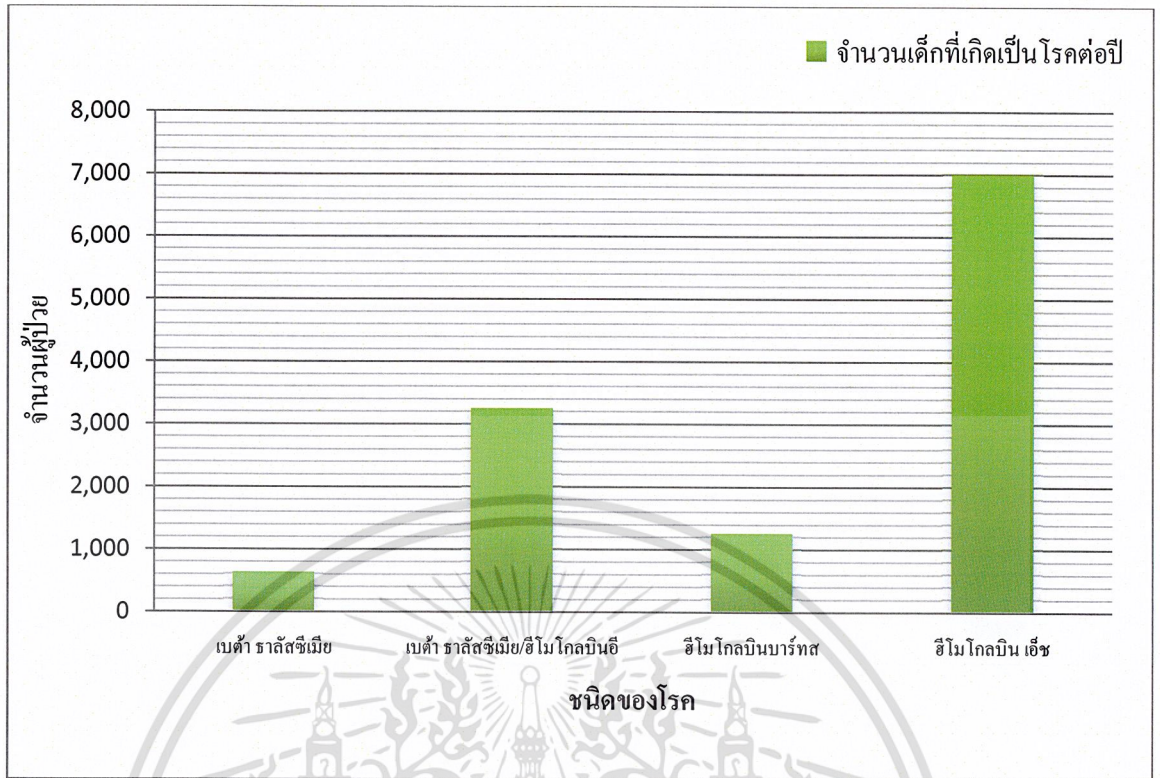
จากการสำรวจธาลัสซีเมียในประเทศไทย สามารถแบ่งเป็นพวกใหญ่ๆ ที่สำคัญ 2 พวก คือ แอลฟาธาลัสซีเมีย และเบต้าธาลัสซีเมีย โดยเฉลี่ยชาวไทยเป็นพาหะของธาลัสซีเมียชนิดใดชนิดหนึ่ง ถึงร้อยละ 30-45 หรือประมาณ 24 ล้านคน เมื่อคนที่ เป็นพาหะแต่งงานกัน เป็นพาหะพวกเดียวกัน อาจมีลูกเป็นโรคได้ ทำให้ในประเทศไทยมีคนเป็นโรคธาลัสซีเมียมากถึง ร้อยละ 1 หรือประมาณ 6 แสนคน ซึ่งผู้เป็นโรคต้องได้รับยีนผิดปกติจากทั้งบิดาและมารดา และยีนผิดปกติทั้งสองนั้นต้องเป็นพวกเดียวกัน คือ แอลฟาธาลัสซีเมียด้วยกัน หรือ เบต้าธาลัสซีเมียด้วยกัน เนื่องจากยีนธาลัสซีเมียมีหลายชนิด การได้รับยีนผิดปกติมาเข้าคู่กันจึงมีหลายชนิดด้วย มีชื่อเรียกต่างกัน ถ้ายีนที่เข้าคู่กันเป็นพวกเดียวกันและเหมือนกันด้วย เรียกว่า โฮโมซัยกัส ถ้าเป็นยีนพวกเดียวกันแต่ไม่เหมือนกัน เรียกว่า คอมปาวน์เฮเทอโรซัยกัส นอกจากนี้ ความรุนแรงยังแตกต่างกันมาก ตั้งแต่เป็นโรครุนแรงมากที่สุด จนถึงไม่มีอาการเลย การสร้างโกลบินควบคุมโดยสารพันธุกรรมที่เรียกว่า ‘ยีน’ ซึ่งยีนแอลฟาควบคุมการสร้างโกลบินแอลฟา และยีนเบต้าควบคุมการสร้างโกลบินเบต้า ยีนดังกล่าวจะถ่ายทอดจากชั่วคนหนึ่งไปอีกชั่วคนหนึ่ง ผู้ที่มียีนที่เปลี่ยนแปลงไป 1 ยีน ส่วนยีนที่คู่กันอีกยีนหนึ่งทำหน้าที่ได้ปกติ โดยที่ตัวเองไม่เป็นโรคนั้น ทางการแพทย์เรียกว่า ‘พาหะ’ ถ้าผู้ที่เป็นพาหะบังเอิญไปแต่งงานกับผู้ที่เป็นพาหะด้วยกัน และถ้าทั้งสองคนถ่ายทอดยีนธาลัสซีเมียไปให้ลูก โอกาส 1 ใน 4 ลูกจะเป็นโรคธาลัสซีเมีย

จากการเก็บข้อมูลของผู้ป่วยโรคธาลัสซีเมียจากกระทรวงสาธารณสุข กรมอนามัย และหนังสือต่างๆ นำข้อมูลมาแสดง ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงจำนวนคู่เสี่ยงของโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

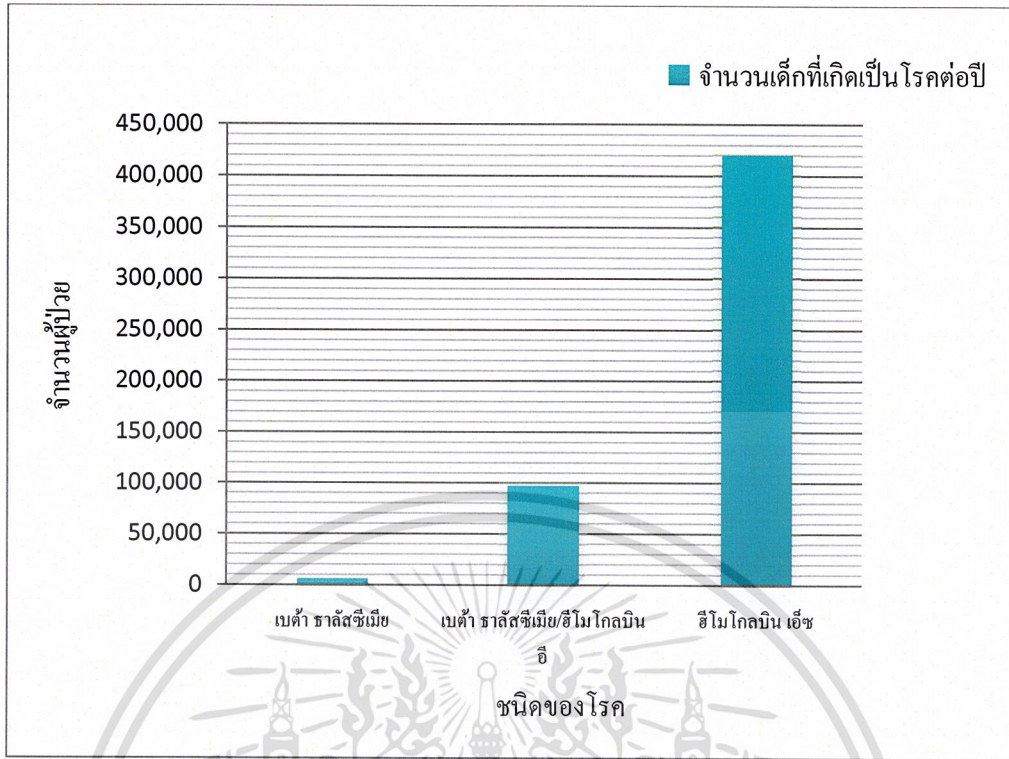
จากกราฟจะเห็นได้ว่า จำนวนคู่เสี่ยงของโรคนี้จะพบมากสำหรับชนิดฮีโมโกลบิน เอ็ช เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดเบต้าธาลัสซีเมียชนิดเบต้า ธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบินอี ชนิดฮีโมโกลบินบาร์ทส คู่เสี่ยงที่สำรวจคาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 3.2 แสดงจำนวนเด็กที่เกิดเป็น โรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภทคาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

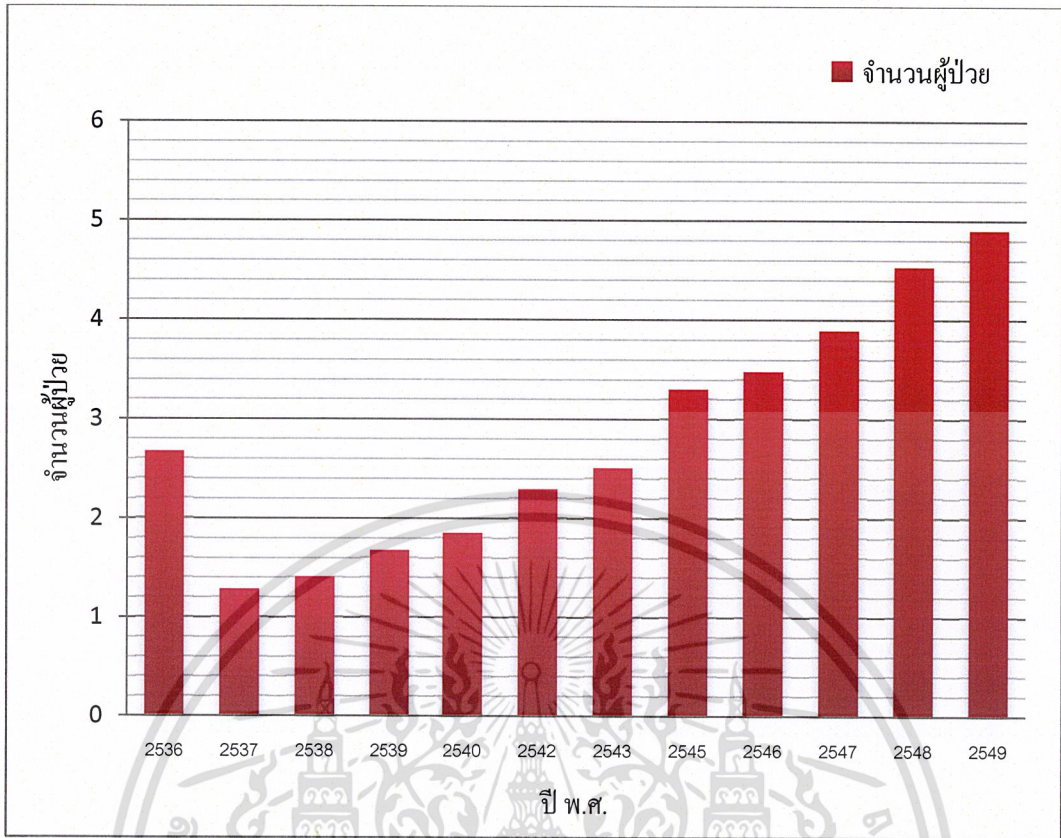
จากกราฟจะเห็นได้ว่า จำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคนี้อาจพบมากในชนิดฮีโมโกลบิน เอช เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย ชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบินอี ชนิดฮีโมโกลบิน-บาร์ทส ซึ่งจำนวนเด็กที่เกิดคาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงจำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภทคาดว่าจะยังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

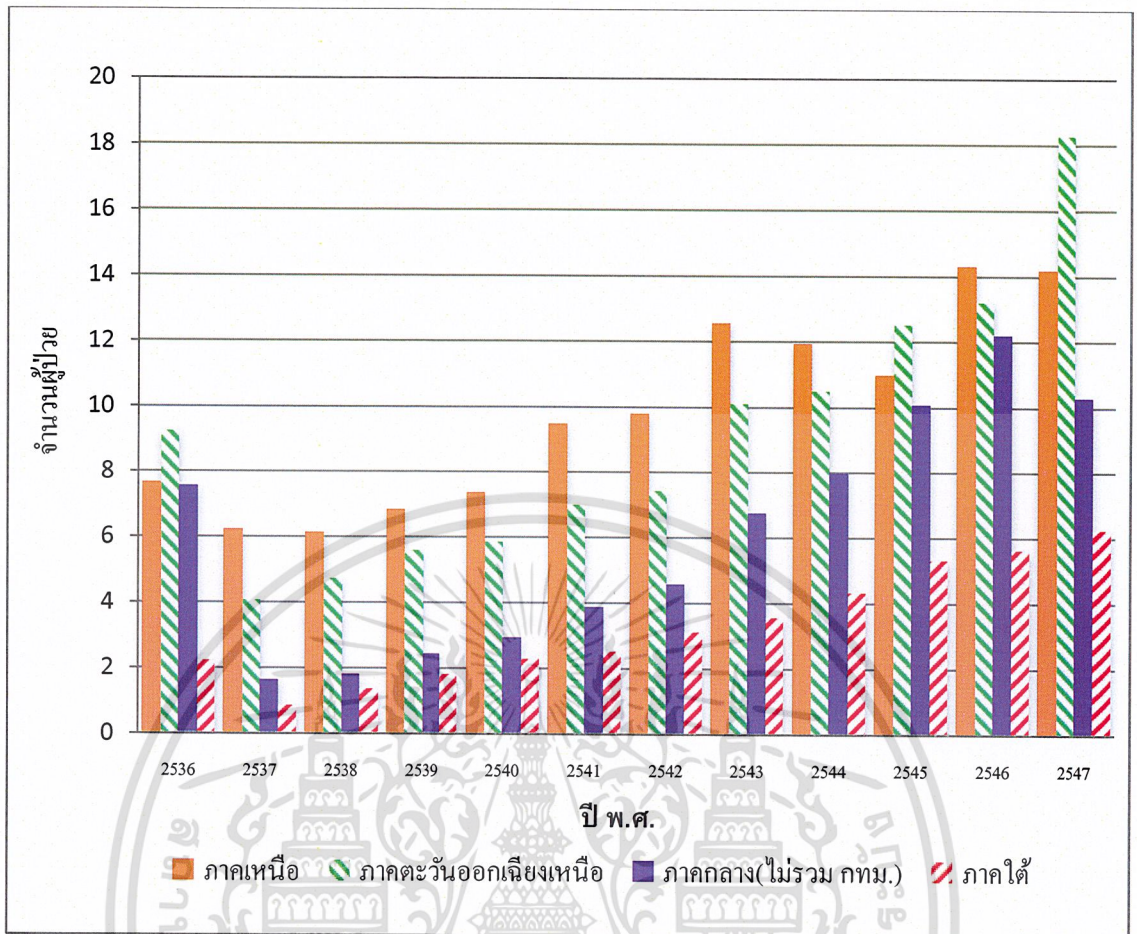
จากกราฟจะเห็นได้ว่า จำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ จะพบมากสำหรับชนิดฮีโมโกลบินอี เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย ชนิดเบต้า ธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบินอี ชนิดฮีโมโกลบินบาร์ท แต่ไม่พบชนิดฮีโมโกลบินบาร์ท ซึ่งเกิดจากการได้รับยีนแอลฟาธาลัสซีเมียชนิดรุนแรงมาจากทั้งบิดาและมารดา เด็กจึงเกิดอาการซีด และบวมตั้งแต่อยู่ในท้องมารดาจนครรภ์ใกล้ครบกำหนดเด็กก็เสียชีวิตในท้อง หรือคลอดออกมาได้ไม่กี่นาทีก็เสียชีวิต โรคธาลัสซีเมียชนิดนี้เป็นโรคนิรันดร์แรงที่สุด คือ เสียชีวิต 100%



รูปที่ 3.4 แสดงจำนวนผู้ป่วยรวมชาติสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน

หมายเหตุ ในการศึกษานี้ไม่ได้มีการพิจารณาจำนวนผู้ป่วยรวมโรคชาติสซีเมียทั้งประเทศในปี พ.ศ.2541 พ.ศ. 2544 และ พ.ศ. 2550 เนื่องจากกระทรวงสาธารณสุข ไม่ได้มีการรวบรวมข้อมูลผู้ป่วยรวมชาติสซีเมียทั้งประเทศไว้

จากกราฟจะเห็นว่า ในปี พ.ศ. 2536 นั้น จำนวนผู้ป่วยสูง หลังจากนั้นจำนวนผู้ป่วยลดลงในปีต่อมาและกลับมาสูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในปี พ.ศ. 2538 ตามลำดับ และจำนวนผู้ป่วยสูงสุดในปี พ.ศ. 2549



รูปที่ 3.5 แสดงจำนวนผู้ป่วยจิตเวชแบ่งตามภาค ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 1,000 คน

หมายเหตุ ในการศึกษารั้งนี้ไม่ได้มีการพิจารณาจำนวนผู้ป่วยจิตเวชแบ่งตามภาค ปี พ.ศ. 2541 พ.ศ. 2544 และ พ.ศ. 2550 เนื่องจากกระทรวงสาธารณสุข ไม่ได้มีการรวบรวมข้อมูลผู้ป่วยรวมจิตเวชที่แบ่งตามภาคไว้

จากกราฟจะเห็นว่า ในปี พ.ศ.2536 นั้น พบจำนวนผู้ป่วยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง จำนวนผู้ป่วยในภาคเหนือเป็นอันดับสอง จำนวนผู้ป่วยในภาคกลาง(ไม่รวม กทม.) เป็นอันดับสาม จำนวนผู้ป่วยในภาคใต้เป็นอันดับสุดท้าย

ในปี พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ.2546 นั้น พบจำนวนผู้ป่วยในภาคเหนือสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง จำนวนผู้ป่วยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นอันดับสอง จำนวนผู้ป่วยในภาคกลาง(ไม่รวม กทม.) เป็นอันดับสาม จำนวนผู้ป่วยในภาคใต้เป็นอันดับสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงนโยบายในเพื่อใช้ในการดำเนินงานนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2547 นั้น พบจำนวนผู้ป่วยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง จำนวนผู้ป่วยในภาคเหนือเป็นอันดับสอง จำนวนผู้ป่วยในภาคกลาง(ไม่รวม กทม.) เป็นอันดับสาม จำนวนผู้ป่วยในภาคใต้เป็นอันดับสุดท้าย

ในปี พ.ศ. 2548 นั้น พบจำนวนผู้ป่วยในภาคเหนือสูงสุดเป็นอันดับสุดท้าย จำนวนผู้ป่วยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นอันดับสอง จำนวนผู้ป่วยในภาคกลาง(ไม่รวม กทม.) เป็นอันดับสาม จำนวนผู้ป่วยในภาคใต้เป็นอันดับสุดท้าย

ในปี พ.ศ. 2549 นั้น พบจำนวนผู้ป่วยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง จำนวนผู้ป่วยในภาคเหนือเป็นอันดับสอง จำนวนผู้ป่วยในภาคกลาง(ไม่รวม กทม.) เป็นอันดับสาม จำนวนผู้ป่วยในภาคใต้เป็นอันดับสุดท้าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลของโรคธาลัสซีเมีย พบว่าในปัจจุบันมีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคนี้มากขึ้น ดังนั้นในปัญหาพิเศษนี้จึงพิจารณาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคธาลัสซีเมีย

3.2 แบบจำลองสำหรับโรคธาลัสซีเมีย

ในการศึกษานี้เราพิจารณาการสร้างแบบจำลองของประชากรโดยพิจารณา ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

3.2.1 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

กำหนดให้

MM แทน คนปกติ

Mm แทน คนที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย ; Mm เท่ากับ mM

mm แทน คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงลักษณะทางพันธุกรรม

ลักษณะทางพันธุกรรม			บิดา		
			MM	Mm	mm
สัดส่วนของยีน%			x	y	z
มารดา	MM	x	x^2	xy	xz
	Mm	y	yx	y^2	yz
	mm	z	zx	zy	z^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย



แทน คนปกติ



แทน คนที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย



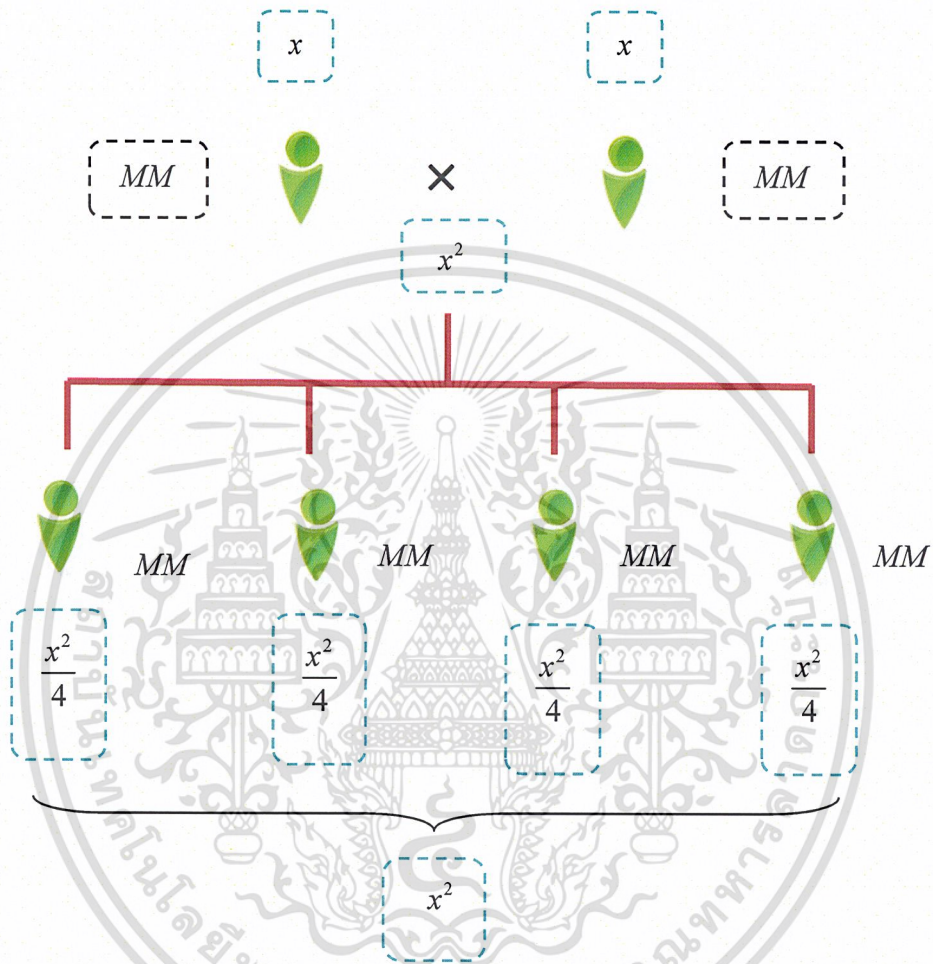
แทน คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย

โดยพิจารณาเป็นกรณีได้ ดังนี้

1. กรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่
2. กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว
3. กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็น โรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว
4. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะของ โรคธาลัสซีเมียทั้งคู่
5. กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะของ โรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็น โรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว
6. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

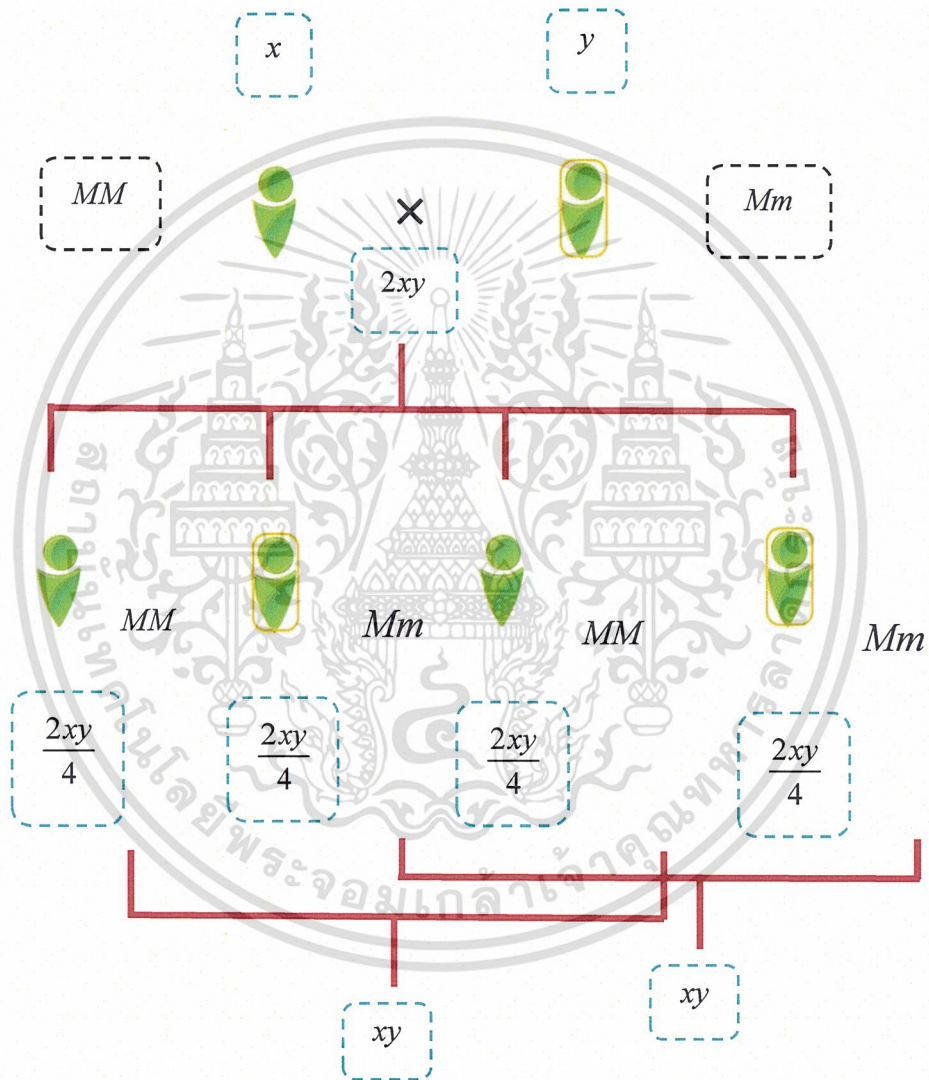
1. กรณีที่บิดาและมารดาปกติทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ให้ ยีนบิดา คือ x และยีนมารดา คือ x ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ x^2



รูปที่ 3.6 แสดงกรณีที่ทั้งบิดาและมารดาปกติทั้งคู่ ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นปกติ เท่ากับร้อยละ 100 ในกรณีนี้จึงไม่มีลูกที่ป่วยเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และไม่มีลูกที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

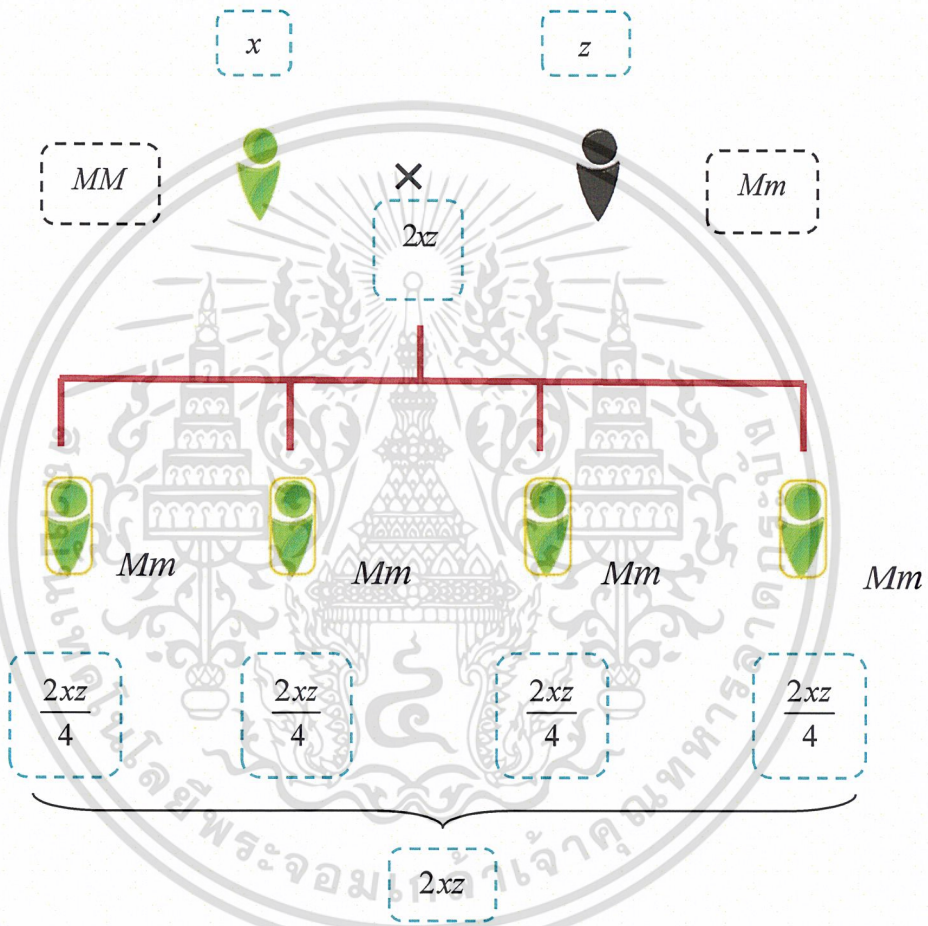
2. กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ x และยีนมารดา คือ y จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา xy กรณีที่ 2 ให้ ยีนบิดา คือ y และยีนมารดา คือ x จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา yx ซึ่ง $xy = yx$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $xy + xy = 2xy$



รูปที่ 3.7 กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว (ปกติ 1 คน เป็นพาหะ 1 คน) ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกปกติเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ของ การตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่จะเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียเท่ากับ ร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

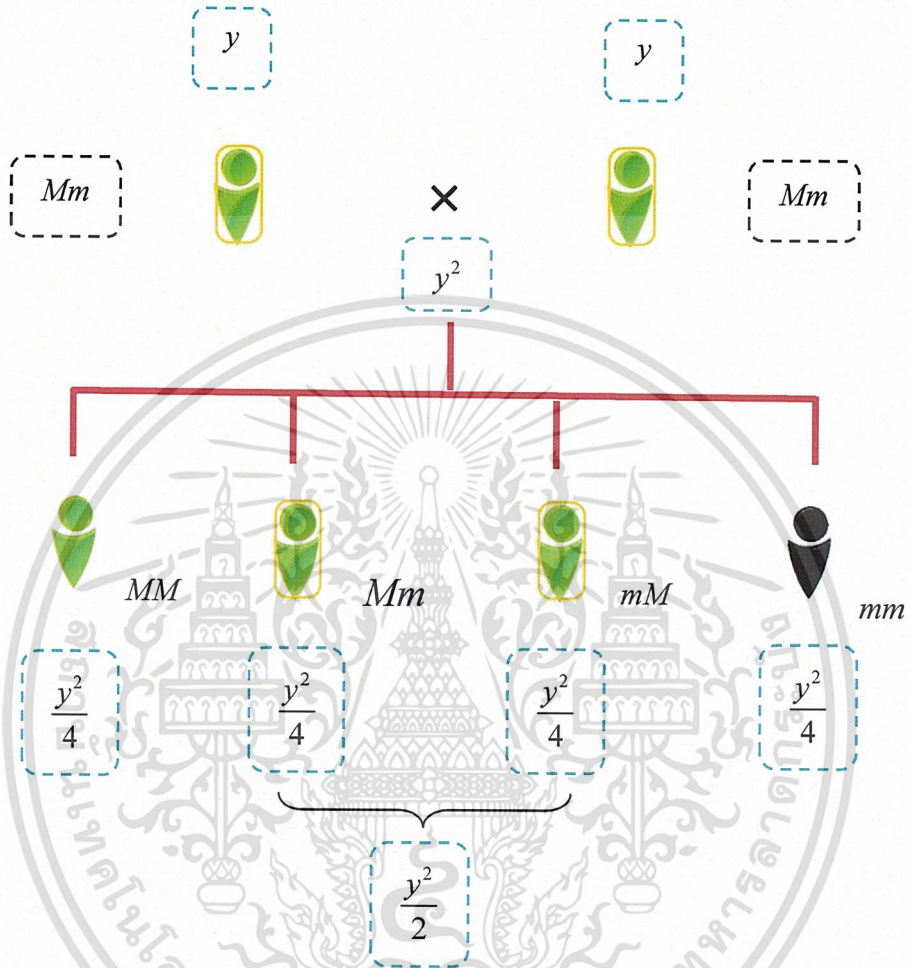
3. กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ x และยีนมารดา คือ z จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา xz กรณีที่ 2 ให้ ยีนบิดา คือ z และยีนมารดา คือ x จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา zx ซึ่ง $xz = zx$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $xz + xz = 2xz$



รูปที่ 3.8 กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว (ปกติ 1 คน เป็นโรค 1 คน) ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งลูกทุกคนจะเป็นพาหะเท่ากับร้อยละ 100 ในกรณีนี้จึงไม่มีลูกที่ป่วยเป็นโรคธาลัสซีเมีย และไม่มีลูกที่เป็นปกติด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

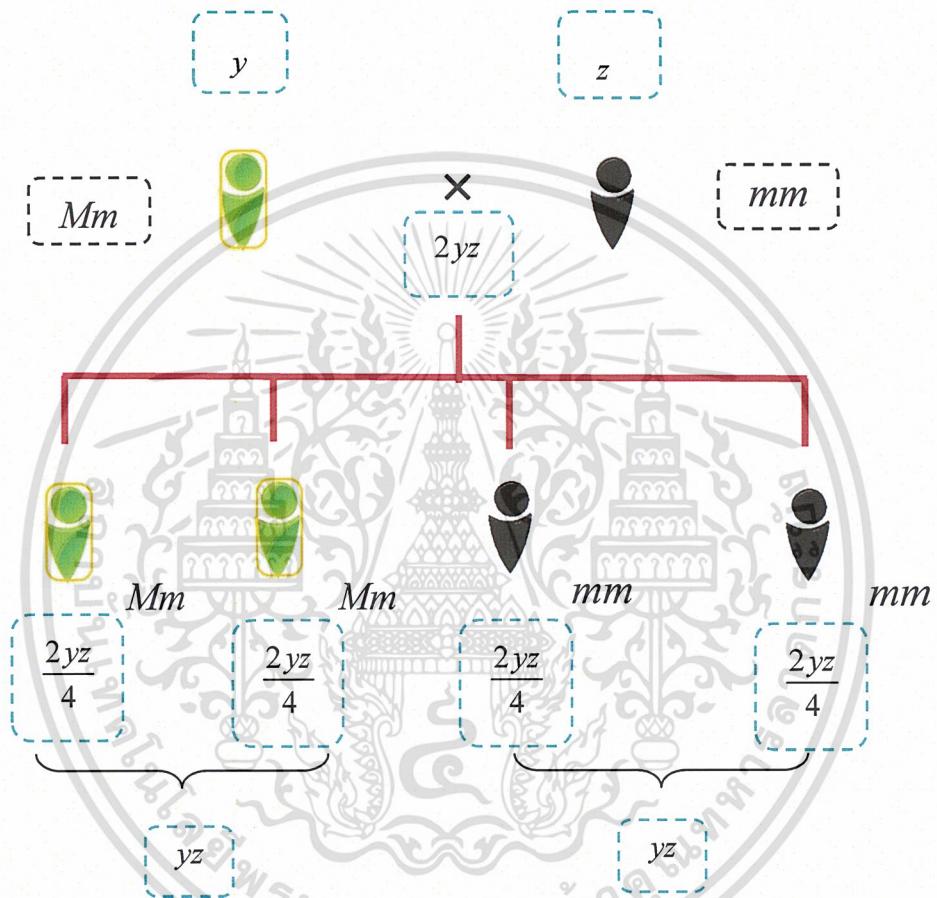
4. กรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ให้ยีนบิดาคือ y และ ยีนมารดา คือ y ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ y^2



รูปที่ 3.9 กรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นปกติ เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะ เท่ากับ ร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่จะมีลูกจะเป็นโรคธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

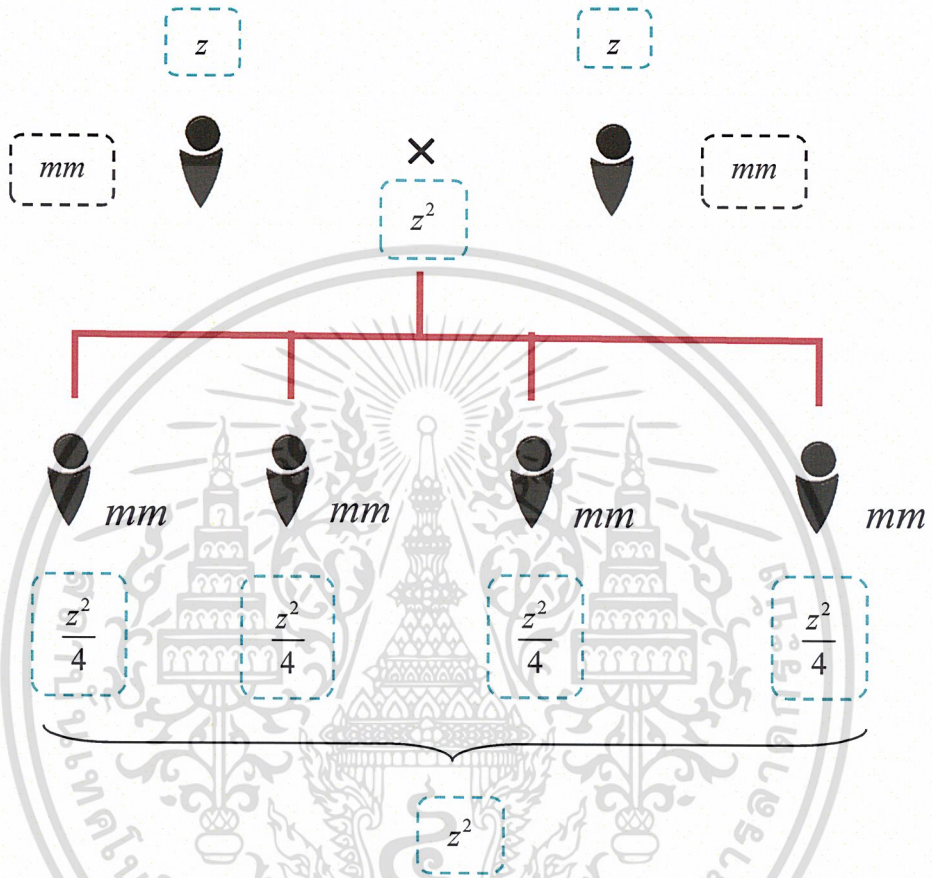
5. กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ y และยีนมารดา คือ z จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา yz กรณีที่ 2 ให้ยีนบิดา คือ z และยีนมารดา คือ y จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา zy ซึ่ง $yz = zy$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $yz + yz = 2yz$



รูปที่ 3.10 กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว(เป็นพาหะ 1 คน เป็นโรค 1 คน) ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะป่วยเป็นโรคเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 1 ใน 2 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 1 ใน 2 ในกรณีนี้จึงไม่มีลูกที่เป็นปกติเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กรณีที่บิดา และมารดาเป็น โรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ให้ยีนบิดา คือ z และยีนมารดา คือ z ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ z^2



รูปที่ 3.11 กรณีที่บิดา และมารดาเป็น โรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งลูกทุกคนจะป่วยเป็นโรคธาลัสซีเมียเท่ากับ ร้อยละ 100 ในกรณีนี้จึงไม่มีลูกที่เป็นปกติเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงสัดส่วนของลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นลูก

ชนิดยีนของ บิดา-มารดา	สัดส่วนของ ยีน	สัดส่วนของลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นลูก		
		<i>MM</i>	<i>Mm</i>	<i>mm</i>
<i>MM</i> × <i>MM</i>	x^2	x^2	0	0
<i>MM</i> × <i>Mm</i>	$2xy$	xy	xy	0
<i>MM</i> × <i>mm</i>	$2xz$	0	$2xz$	0
<i>Mm</i> × <i>Mm</i>	y^2	$\frac{y^2}{4}$	$\frac{y^2}{2}$	$\frac{y^2}{4}$
<i>Mm</i> × <i>mm</i>	$2yz$	0	yz	yz
<i>mm</i> × <i>mm</i>	z^2	0	0	z^2
ผลลัพธ์		$(x^2 + xy + \frac{y^2}{4})$	$(xy + 2xz + \frac{y^2}{2} + yz)$	$(\frac{y^2}{4} + yz + z^2)$

นำมาเขียนแบบจำลองได้ ดังนี้

$$x_{n+1} = x_n^2 + x_n y_n + \frac{1}{4} y_n^2,$$

$$y_{n+1} = x_n y_n + 2x_n z_n + \frac{1}{2} y_n^2 + y_n z_n,$$

$$z_{n+1} = \frac{1}{4} y_n^2 + y_n z_n + z_n^2$$

โดยที่ n แทน ประชากรรุ่นที่ n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

กำหนดให้ β/β แทน คนปกติ

$\beta/\beta^0 = \beta^0/\beta$ แทน คนที่เป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย

$\beta/\beta^E = \beta^E/\beta$ แทน คนที่เป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบิน อี

β^0/β^0 แทน คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสบเบต้าธาลัสซีเมีย

$\beta^0/\beta^E = \beta^E/\beta^0$ แทน คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน

β^E/β^E แทน คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสนฮีโมโกลบินอี

โดยที่ $\beta/\beta =$ สัดส่วนของ e , $\beta^0/\beta^0 =$ สัดส่วนของ h

$\beta/\beta^0 =$ สัดส่วนของ f , $\beta^0/\beta^E =$ สัดส่วนของ i

$\beta/\beta^E =$ สัดส่วนของ g , $\beta^E/\beta^E =$ สัดส่วนของ j

ตารางที่ 3.3 แสดงลักษณะทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า คิดเฉพาะกรณีคนปกติและคนที่เป็นพาหะของโรค

ลักษณะทางพันธุกรรม			บิดา		
			β/β	β/β^0	β/β^E
สัดส่วนของยีน%			e	f	g
มารดา	β/β	e	e^2	ef	eg
	β/β^0	f	fe	f^2	fg
	β/β^E	g	ge	gf	g^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า



แทน คนปกติ



แทน คนที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย



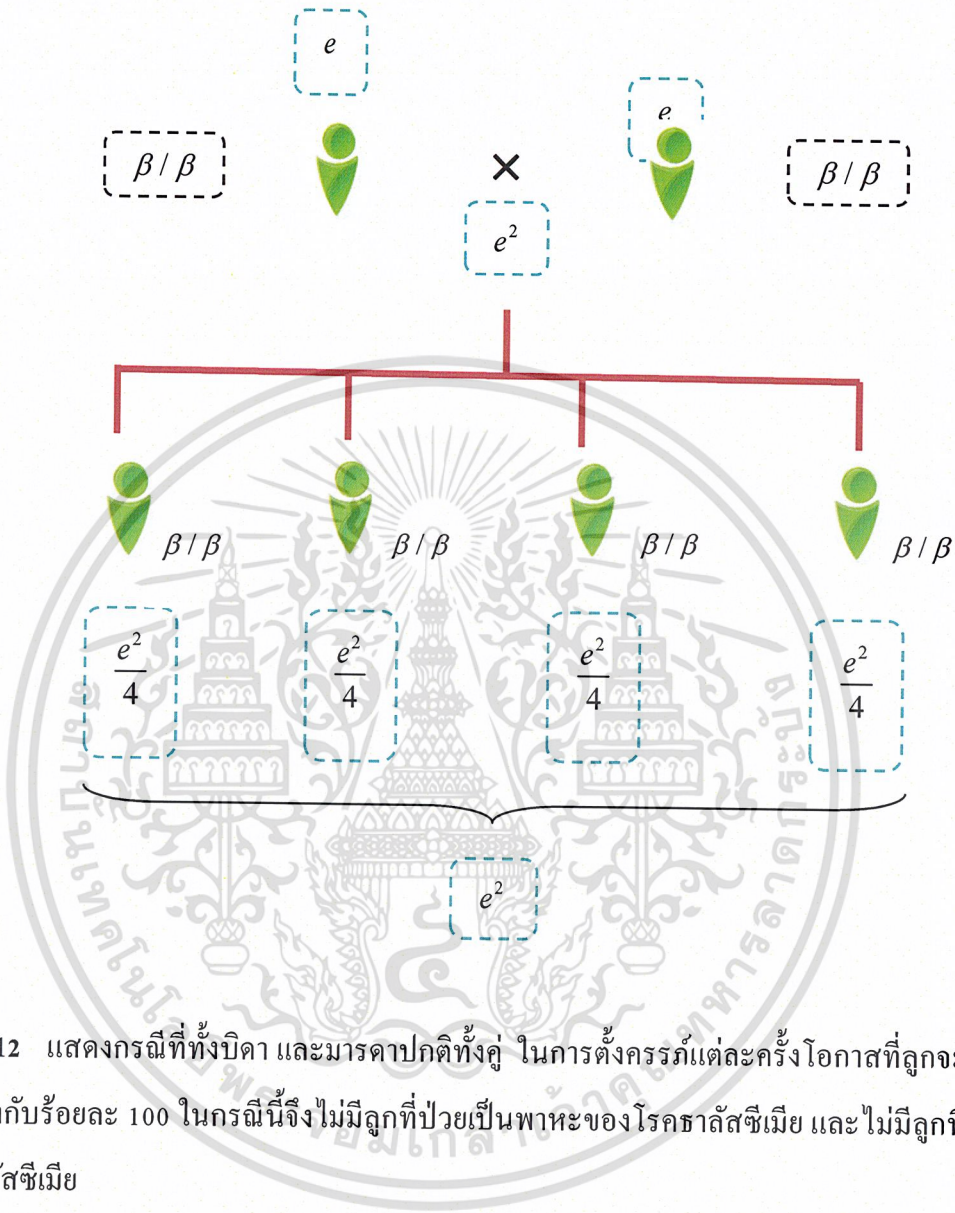
แทน คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย

โดยพิจารณาคนปกติและคนที่ เป็นพาหะ ดังนี้

1. กรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่
2. กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว
3. กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี เพียงคนเดียว
4. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่
5. กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว
6. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่

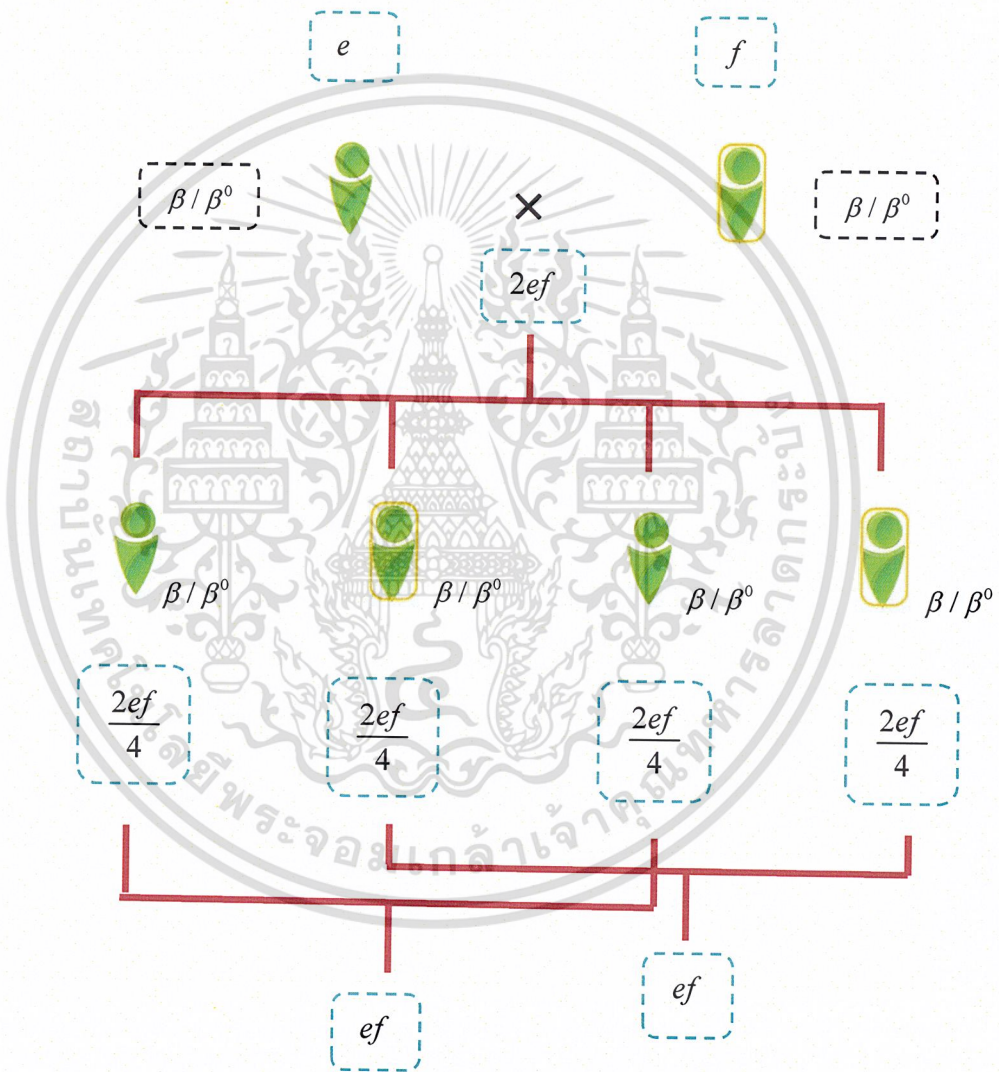
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ให้ ยีนบิดา คือ e และยีนมารดา คือ e ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ e^2



รูปที่ 3.12 แสดงกรณีที่ทั้งบิดา และมารดาปกติทั้งคู่ ในการตั้งครอกแต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นปกติเท่ากับร้อยละ 100 ในกรณีนี้จึงไม่มีลูกที่ป่วยเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และไม่มีลูกที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย

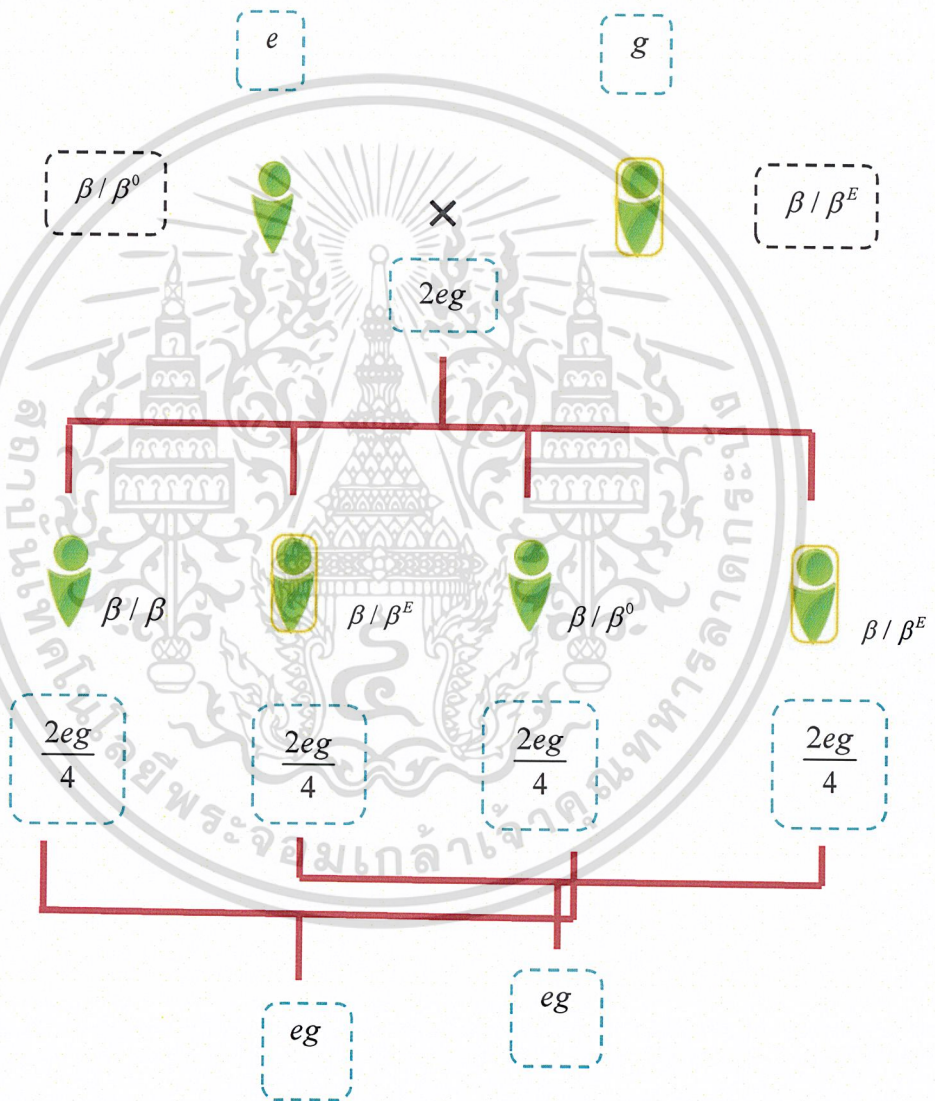
1. กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ e และยีนมารดา คือ f จะได้ การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา ef กรณีที่ 2 ให้ ยีนบิดา คือ f และยีนมารดา คือ e จะได้ การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา fe ซึ่ง $ef = fe$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $ef + ef = 2ef$



รูปที่ 3.13 กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว (ปกติ 1 คน เป็นพาหะ 1 คน) ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกปกติเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 1 ใน 2 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียเท่ากับร้อยละ 50 หรือ

เอกสารนี้ ใน 2เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

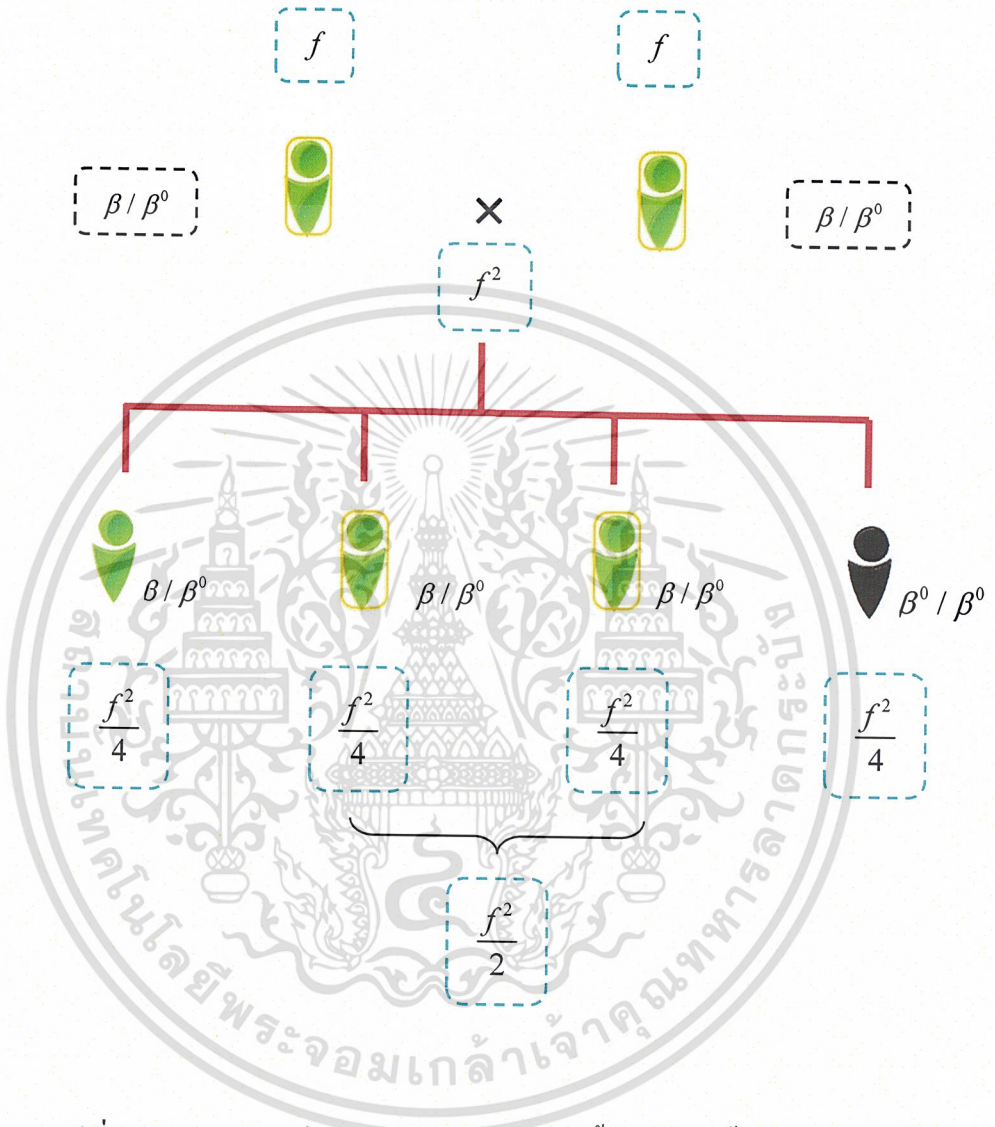
2. กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ e และยีนมารดา คือ g จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา eg กรณีที่ 2 ให้ ยีนบิดา คือ g และยีนมารดา คือ e จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา ge ซึ่ง $eg = ge$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $eg + eg = 2eg$



รูปที่ 3.14 กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว (ปกติ 1 คน เป็นพาหะ 1 คน) ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่จะมีลูกปกติเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

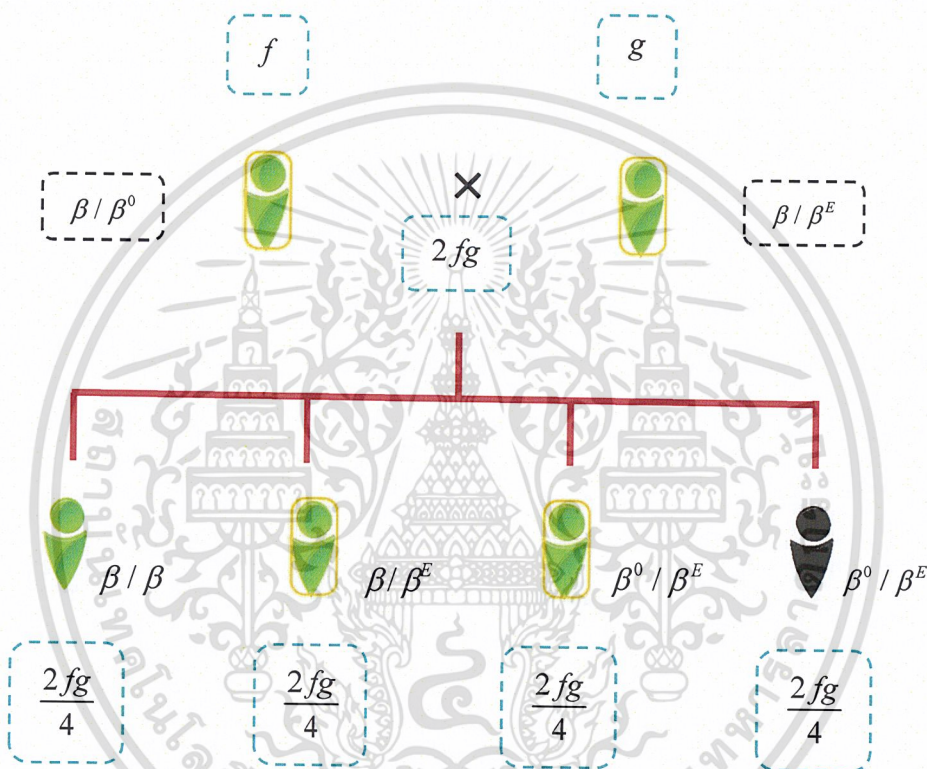
3. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ ให้ยีนบิดา คือ f และยีนมารดา คือ f ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ f^2



รูปที่ 3.15 กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่ ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นปกติเท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่จะมีลูกจะเป็นโรครธาลัสซีเมียเท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

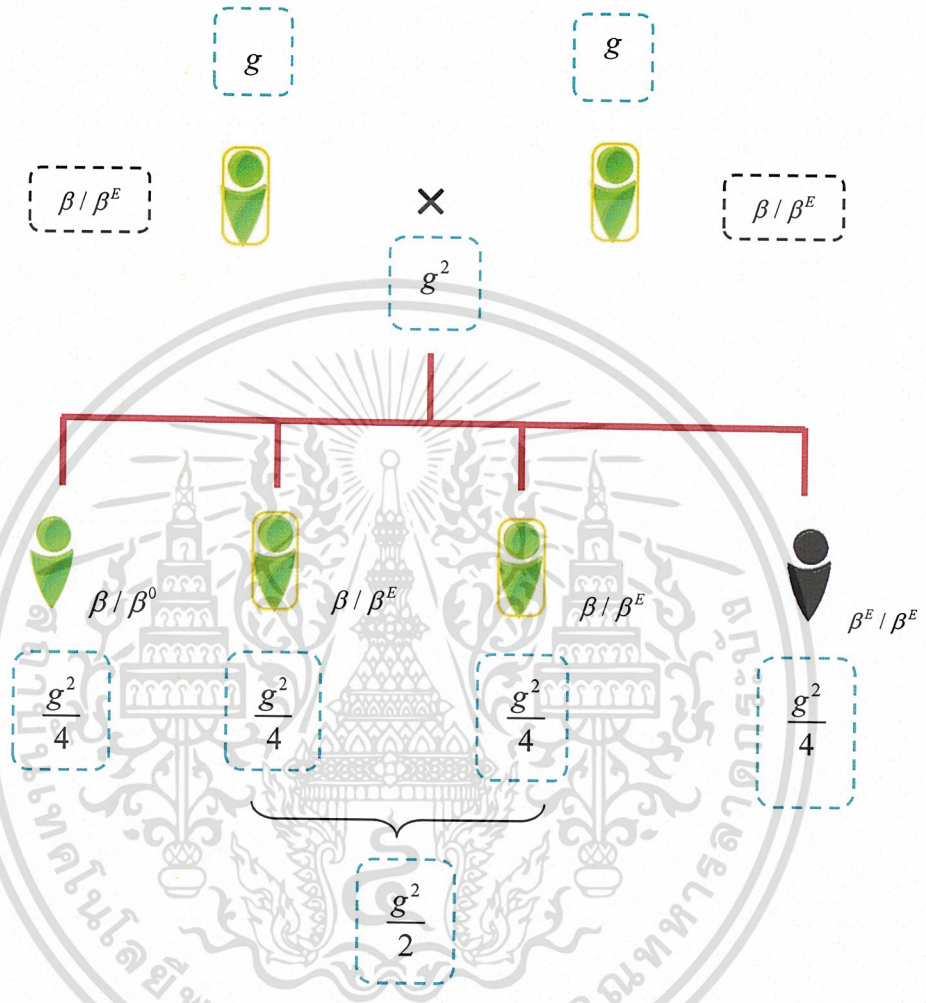
4. กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ f และยีนมารดา คือ g จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา fg กรณีที่ 2 ให้ ยีนบิดา คือ g และยีนมารดา คือ f จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา gf ซึ่ง $fg + gf$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $fg + fg = 2fg$



รูปที่ 3.16 กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นปกติ เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกจะเป็น โรคธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ให้ยีนบิดา คือ g และยีนมารดา คือ g ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ g^2



รูปที่ 3.17 กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่ ในการตั้งครรรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นปกติ เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี เท่ากับ ร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ในการตั้งครรรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่จะมีลูกจะเป็นโรครธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงสัดส่วนของลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นลูก คิดเฉพาะกรณีคนปกติและคนที่ เป็นพาหะของโรค

ชนิดยีนของ บิดา-มารดา	สัดส่วนของ ยีน	สัดส่วนของลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นลูก					
		β/β^0	β/β^0	β/β^E	β^0/β^0	β^0/β^E	β^E/β^E
$\beta/\beta \times \beta/\beta$	e^2	e^2	0	0	0	0	0
$\beta/\beta \times \beta/\beta^0$	ef	ef	ef	0	0	0	0
$\beta/\beta \times \beta/\beta^E$	f	eg	0	eg	0	0	0
$\beta/\beta^0 \times \beta/\beta^0$	f	$\frac{f^2}{4}$	$\frac{f^2}{2}$	0	$\frac{f^2}{4}$	0	0
$\beta/\beta^0 \times \beta/\beta^E$	$2fg$	$\frac{fg}{2}$	$\frac{fg}{2}$	$\frac{fg}{2}$	0	$\frac{fg}{2}$	0
$\beta/\beta^E \times \beta/\beta^E$	g^2	$\frac{g^2}{4}$	0	$\frac{g^2}{2}$	0	0	$\frac{g^2}{4}$

ผลลัพธ์

$$\beta/\beta^0 \quad \text{คือ} \quad e^2 + ef + eg + \frac{f^2}{4} + \frac{fg}{2} + \frac{g^2}{4}$$

$$\beta/\beta^0 \quad \text{คือ} \quad ef + \frac{f^2}{2} + \frac{fg}{2}$$

$$\beta/\beta^E \quad \text{คือ} \quad eg + \frac{fg}{2} + \frac{g^2}{2}$$

$$\beta^0/\beta^0 \quad \text{คือ} \quad \frac{f^2}{4}$$

$$\beta^0/\beta^E \quad \text{คือ} \quad \frac{fg}{2}$$

$$\beta^E/\beta^E \quad \text{คือ} \quad \frac{g^2}{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเขียนแบบจำลองได้ ดังนี้

$$e_{n+1} = e_n^2 + e_n f_n + e_n g_n + \frac{1}{4} f_n^2 + \frac{1}{2} f_n g_n + \frac{1}{4} g_n^2$$

$$f_{n+1} = e_n f_n + \frac{1}{2} f_n^2 + \frac{1}{2} f_n g_n$$

$$g_{n+1} = e_n g_n + \frac{1}{2} f_n g_n + \frac{1}{2} g_n^2$$

$$h_{n+1} = \frac{1}{4} f_n^2$$

$$i_{n+1} = \frac{1}{2} f_n g_n$$

$$j_{n+1} = \frac{1}{4} g_n^2$$

โดยที่ n แทน ประชากรรุ่นที่ n



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กำหนดให้	$\alpha\alpha/\alpha\alpha$	แทน	คนปกติ
	$\alpha\alpha/\alpha-$	แทน	คนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 ; $\alpha-$ เท่ากับ $-\alpha$
	$\alpha\alpha/--$	แทน	คนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1
	$\alpha-/\alpha-$	แทน	คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา ; $\alpha-$ เท่ากับ $-\alpha$
	$\alpha-/--$	แทน	คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช ; $\alpha-$ เท่ากับ $-\alpha$
	$--/--$	แทน	คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท
โดยที่	$\alpha\alpha$	แทน	สัดส่วนของ a ,
	$\alpha- = -\alpha$	แทน	สัดส่วนของ b ,
	$--$	แทน	สัดส่วนของ c
จะได้	$\alpha\alpha/\alpha\alpha$	แทน	สัดส่วนของ aa ,
	$\alpha-/\alpha-$	แทน	สัดส่วนของ bb
	$\alpha\alpha/\alpha-$	แทน	สัดส่วนของ ab ,
	$\alpha-/--$	แทน	สัดส่วนของ bc
	$\alpha\alpha/--$	แทน	สัดส่วนของ ac และ
	$--/--$	แทน	สัดส่วนของ cc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ aa แทน p , bb แทน s

ab แทน q , bc แทน t

ac แทน r และ cc แทน u

ตารางที่ 3.5 แสดงลักษณะทางพันธุกรรมโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา คิดเฉพาะกรณีคนปกติ และคนที่ เป็นพาหะของโรค

ลักษณะทางพันธุกรรม		บิดา																	
		aa	ab	ac															
สัดส่วนของยีน%		p	q	r															
มารดา	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>aa</td> <td>p</td> <td>p^2</td> <td>pq</td> <td>pr</td> </tr> <tr> <td>ab</td> <td>q</td> <td>qp</td> <td>q^2</td> <td>qr</td> </tr> <tr> <td>ac</td> <td>r</td> <td>rp</td> <td>rq</td> <td>r^2</td> </tr> </table>	aa	p	p^2	pq	pr	ab	q	qp	q^2	qr	ac	r	rp	rq	r^2			
aa	p	p^2	pq	pr															
ab	q	qp	q^2	qr															
ac	r	rp	rq	r^2															

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดซิกเนตแอลฟา



แทน คนปกติ



แทน คนที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย



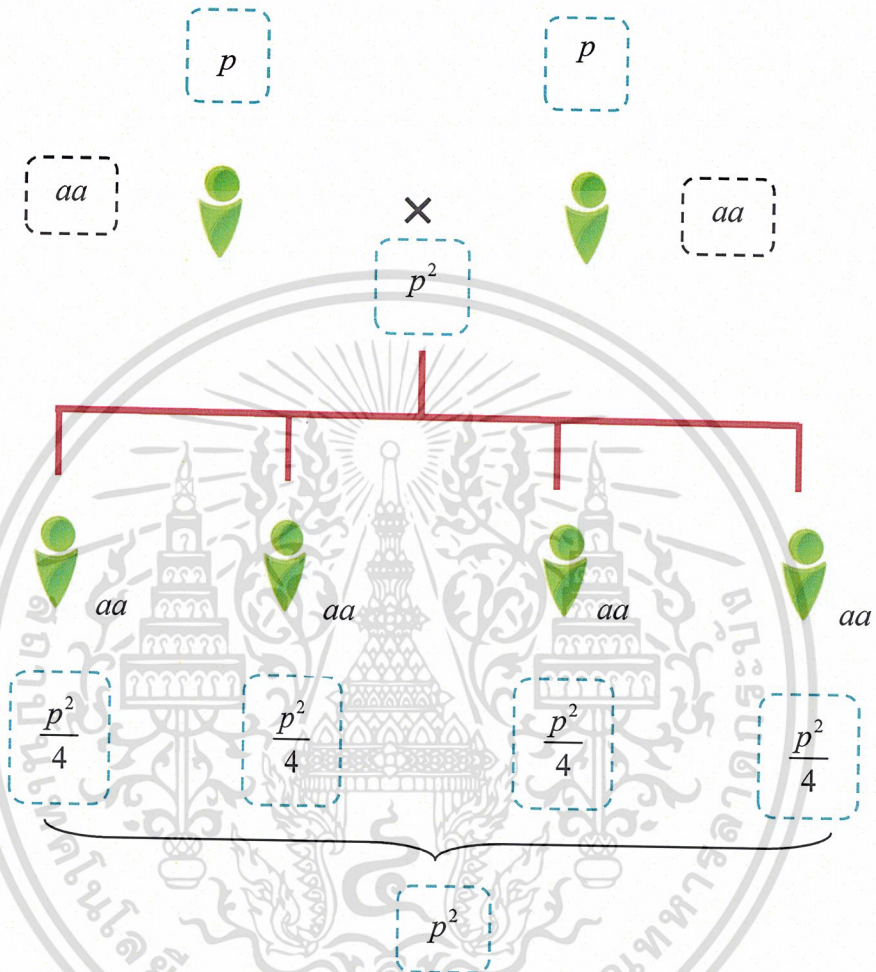
แทน คนที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย

โดยคิดกรณีคนปกติและคนที่เป็นพาหะ ดังนี้

1. กรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่
2. กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว
3. กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว
4. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 ทั้งคู่
5. กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว
6. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

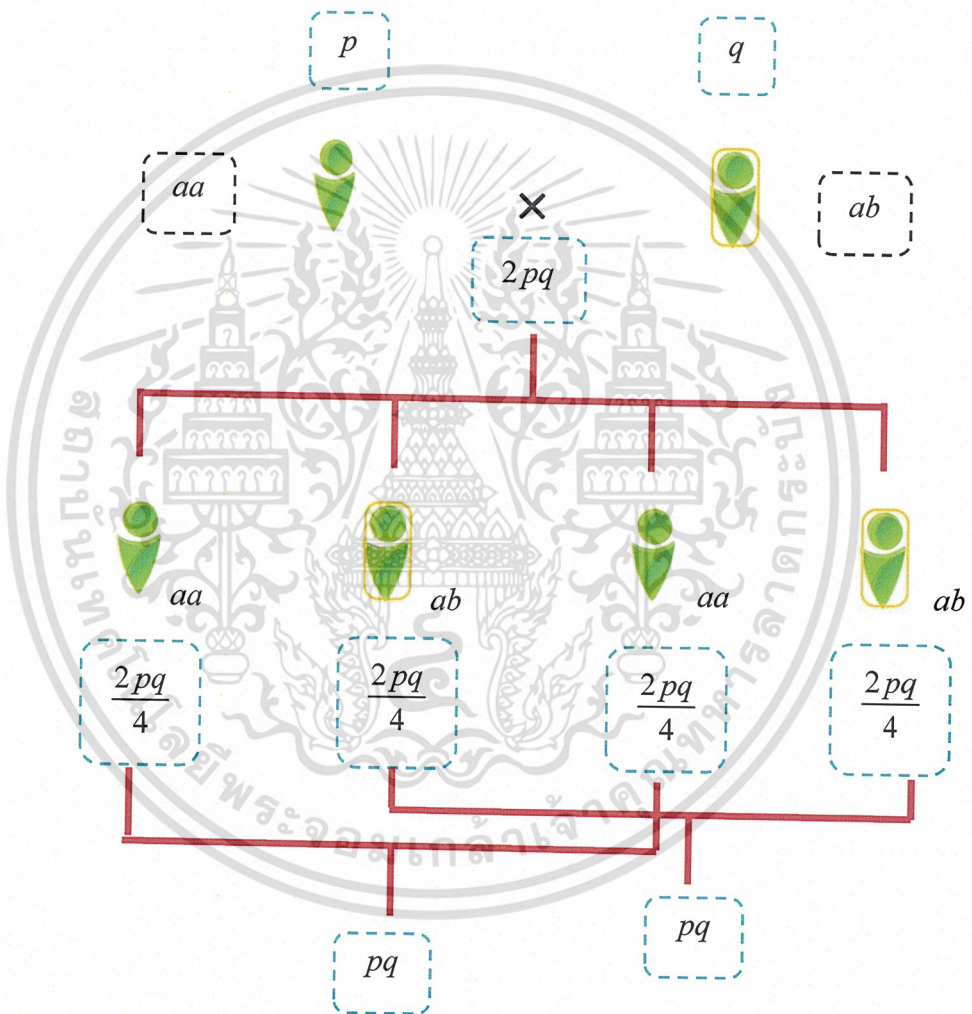
1. กรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ให้ ยีนบิดา คือ p และยีนมารดา คือ p ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ p^2



รูปที่ 3.18 แสดงกรณีที่ยีนบิดา และมารดาปกติทั้งคู่ ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นปกติเท่ากับร้อยละ 100 ในกรณีนี้จึงไม่มีลูกที่ป่วยเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และไม่มีลูกที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

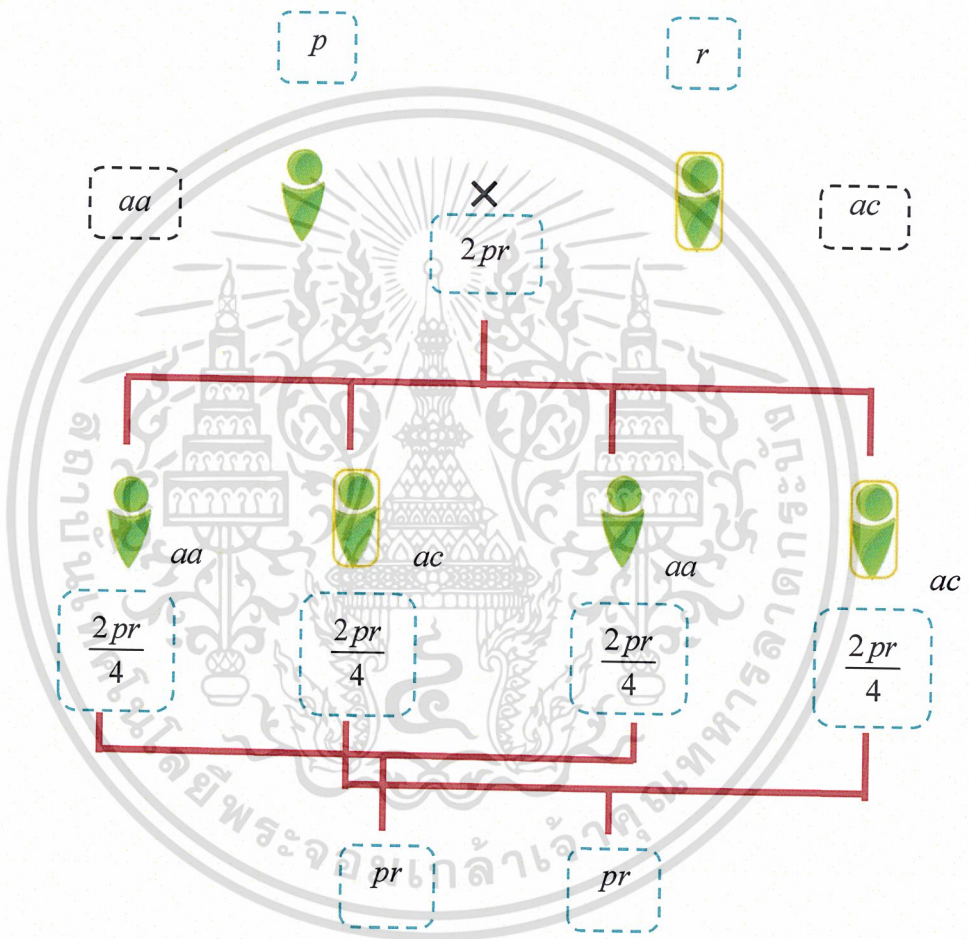
2. กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ p และยีนมารดา คือ q จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา pq กรณีที่ 2 ให้ ยีนบิดา คือ q และยีนมารดา คือ p จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา qp ซึ่ง $pq = qp$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $pq + pq = 2pq$



รูป 3.19 กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว (ปกติ 1 คน เป็นพาหะ 1 คน) ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกปกติเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 1 ใน 2 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เท่ากับร้อยละ 50 หรือ 1 ใน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

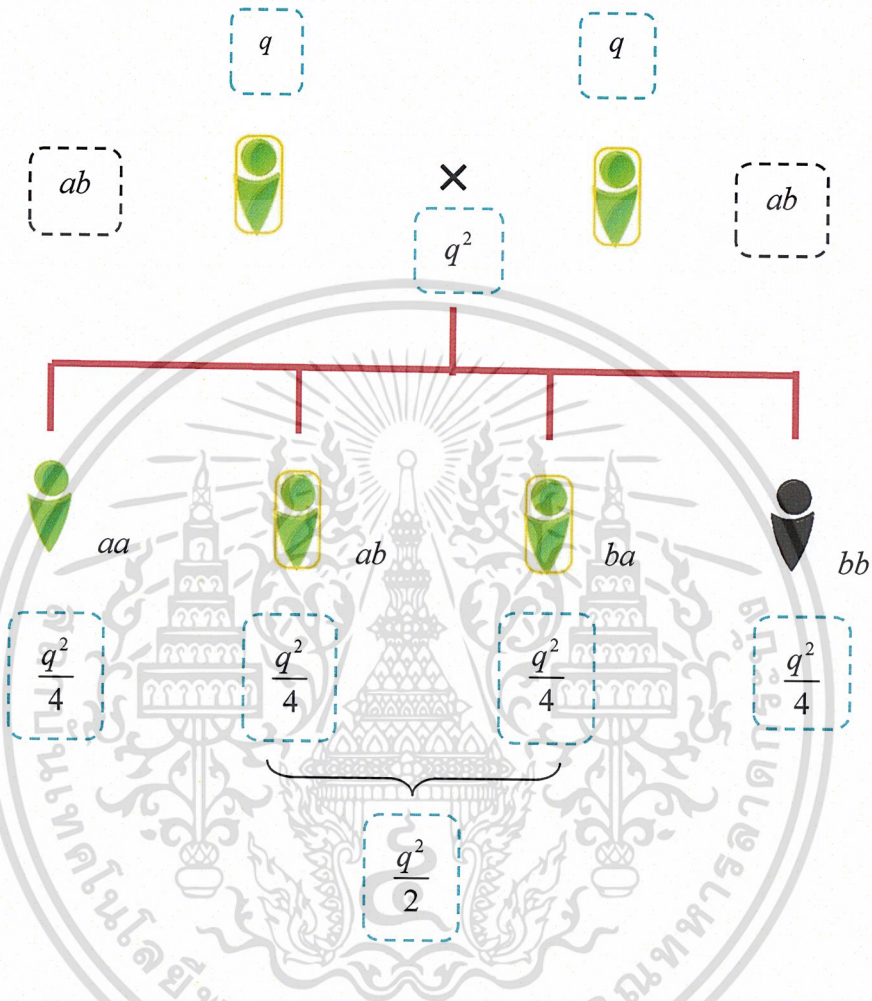
3. กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ p และยีนมารดา คือ r จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา pr กรณีที่ 2 ให้ ยีนบิดา คือ r และยีนมารดา คือ p จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา rp ซึ่ง $pr = rp$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $pr + pr = 2pr$



รูปที่ 3.20 กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว (ปกติ 1 คน เป็นพาหะ 1 คน) ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกปกติเท่ากับร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้งโอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เท่ากับร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

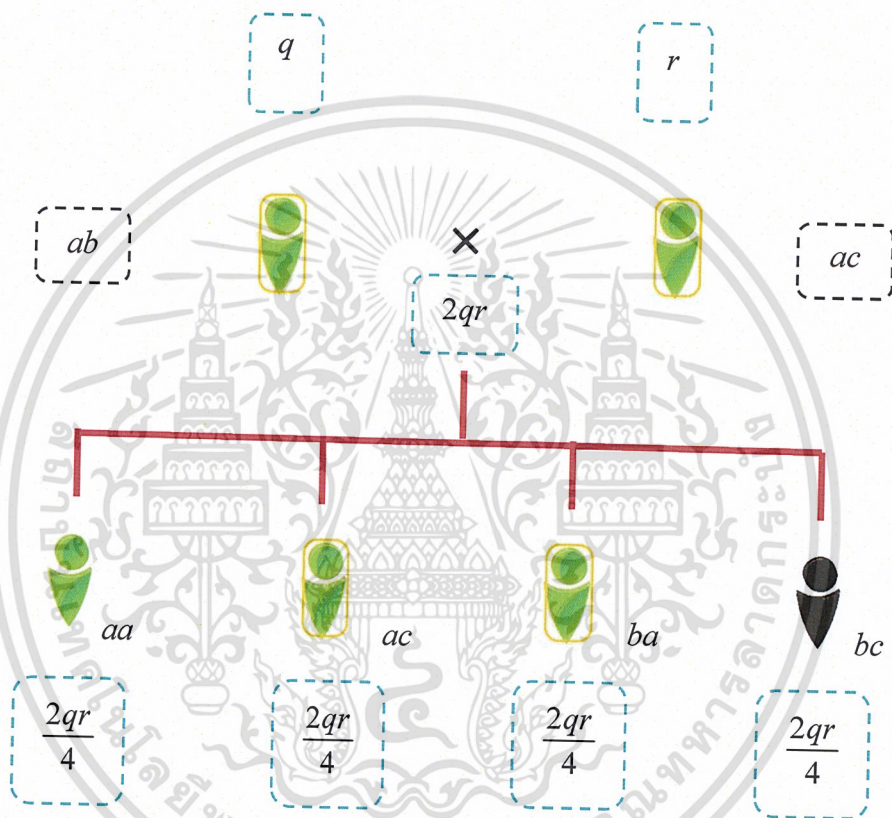
4. กรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 ทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ ให้ ยีนบิดา คือ q และยีนมารดา คือ q ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ q^2



รูปที่ 3.21 กรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 ทั้งคู่ ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นปกติ เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เท่ากับ ร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกจะเป็นโรคธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

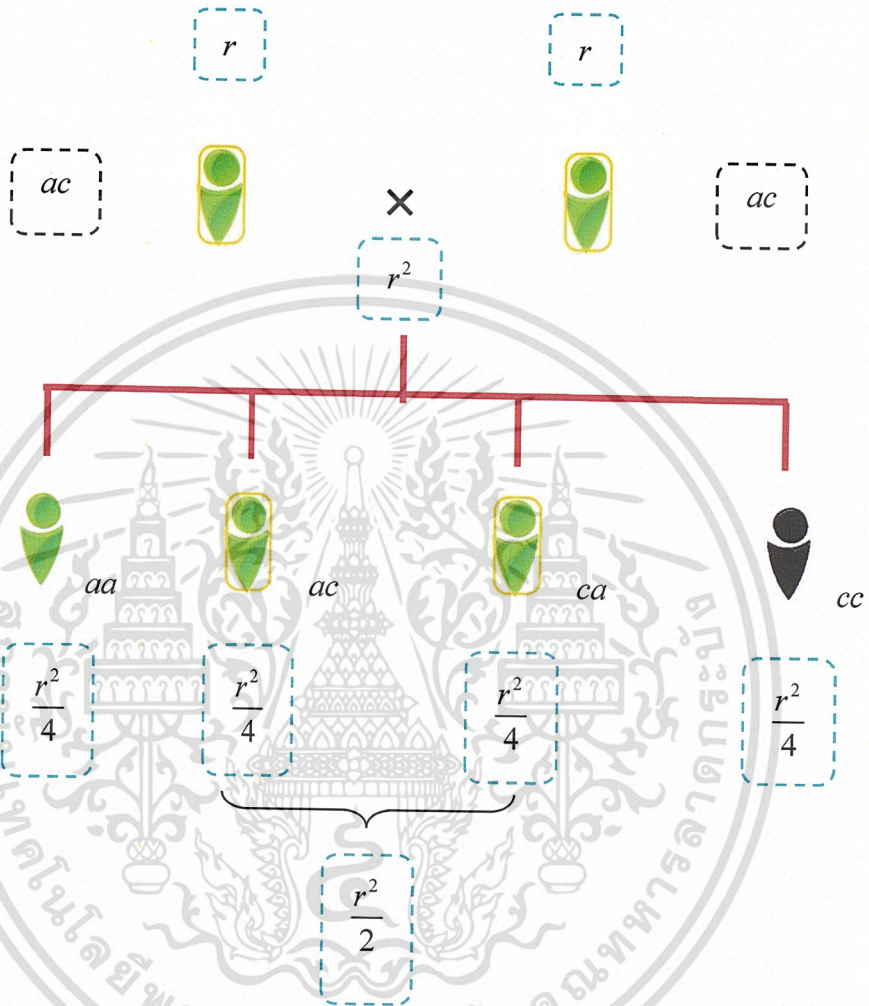
5. กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว สำหรับกรณีนี้สามารถคิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกให้ ยีนบิดา คือ q และยีนมารดา คือ r จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา qr กรณีที่ 2 ให้ยีนบิดา คือ r และยีนมารดา คือ q จะได้การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา rq ซึ่ง $qr = rq$ ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ $qr + qr = 2qr$



รูปที่ 3.22 กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นปกติ เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกจะเป็นโรคธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่ สำหรับกรณีนี้ให้ ยีนบิดา คือ r และยีนมารดา คือ r ดังนั้น การผสมพันธุ์ของยีนบิดาและมารดา จะได้ r^2



รูปที่ 3.23 กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่ ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นปกติ เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่ลูกจะเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เท่ากับ ร้อยละ 50 หรือ 2 ใน 4 ในการตั้งครรภ์แต่ละครั้ง โอกาสที่จะมีลูกจะเป็นโรคธาลัสซีเมีย เท่ากับ ร้อยละ 25 หรือ 1 ใน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงสัดส่วนของลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นลูก คัดเฉพาะกรณีคนปกติและคนที่ เป็นพาหะของโรค

ชนิดยีนของ บิดา-มารดา	สัดส่วนของ ยีน	สัดส่วนของลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นลูก					
		aa	ab	ac	bb	bc	cc
aa × aa	p^2	p^2	0	0	0	0	0
aa × ab	$2pq$	pq	pq	0	0	0	0
aa × ac	$2pr$	pr	0	pr	0	0	0
ab × ab	q^2	$\frac{q^2}{4}$	$\frac{q^2}{2}$	0	$\frac{q^2}{4}$	0	0
ab × ac	$2qr$	$\frac{qr}{2}$	$\frac{qr}{2}$	$\frac{qr}{2}$	0	$\frac{qr}{2}$	0
ac × ac	r^2	$\frac{r^2}{4}$	0	$\frac{r^2}{2}$	0	0	$\frac{r^2}{4}$

ผลลัพธ์

$$aa \text{ คือ } p^2 + pq + pr + \frac{q^2}{4} + \frac{qr}{2} + \frac{r^2}{4}$$

$$ab \text{ คือ } pq + \frac{q^2}{2} + \frac{qr}{2}$$

$$ac \text{ คือ } pr + \frac{qr}{2} + \frac{r^2}{2}$$

$$bb \text{ คือ } \frac{q^2}{4}$$

$$bc \text{ คือ } \frac{qr}{2}$$

$$cc \text{ คือ } \frac{r^2}{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเขียนแบบจำลองได้ ดังนี้

$$p_{n+1} = p_n^2 + p_n q_n + p_n r_n + \frac{1}{4} q_n^2 + \frac{1}{2} q_n r_n + \frac{1}{4} r_n^2$$

$$q_{n+1} = p_n q_n + \frac{1}{2} q_n^2 + \frac{1}{2} q_n r_n$$

$$r_{n+1} = p_n r_n + \frac{1}{2} q_n r_n + \frac{1}{4} r_n^2$$

$$s_{n+1} = \frac{1}{4} q_n^2$$

$$t_{n+1} = \frac{1}{2} q_n r_n$$

$$u_{n+1} = \frac{1}{4} r_n^2$$

โดยที่ n แทน ประชากรรุ่นที่ n



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์แบบจำลอง

4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ในการคำนวณนั้นต้องมีการรับค่า ซึ่งแยกแบบจำลองออกเป็น 3 แบบจำลอง ดังนี้

1. ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย จะรับค่า

- จำนวนประชากรเป็นปกติ (x_n)
- จำนวนประชากรที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย (y_n)
- จำนวนประชากรคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย (z_n)

โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots, 10$

เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมียของประชากรรุ่นถัดไป ($n+1$)

2. ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา จะรับค่า

- จำนวนประชากรเป็นปกติ (p_n)
- จำนวนประชากรที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย 2 (q_n)
- จำนวนประชากรที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย 1 (r_n)
- จำนวนประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา (s_n)
- จำนวนประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช (t_n)
- จำนวนประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท (u_n)

โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots, 10$

เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟาของประชากรรุ่นถัดไป ($n+1$)

3. ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า จะรับค่า

- จำนวนประชากรที่ปกติ (e_n)
- จำนวนประชากรที่เป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย (f_n)

นอกจากนี้ยังมีการรับค่าของประชากรที่เป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบิน อี (g_n) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีจำนวนประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเบต้าธาลัสซีเมีย (h_n)

- จำนวนประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน (i_n)

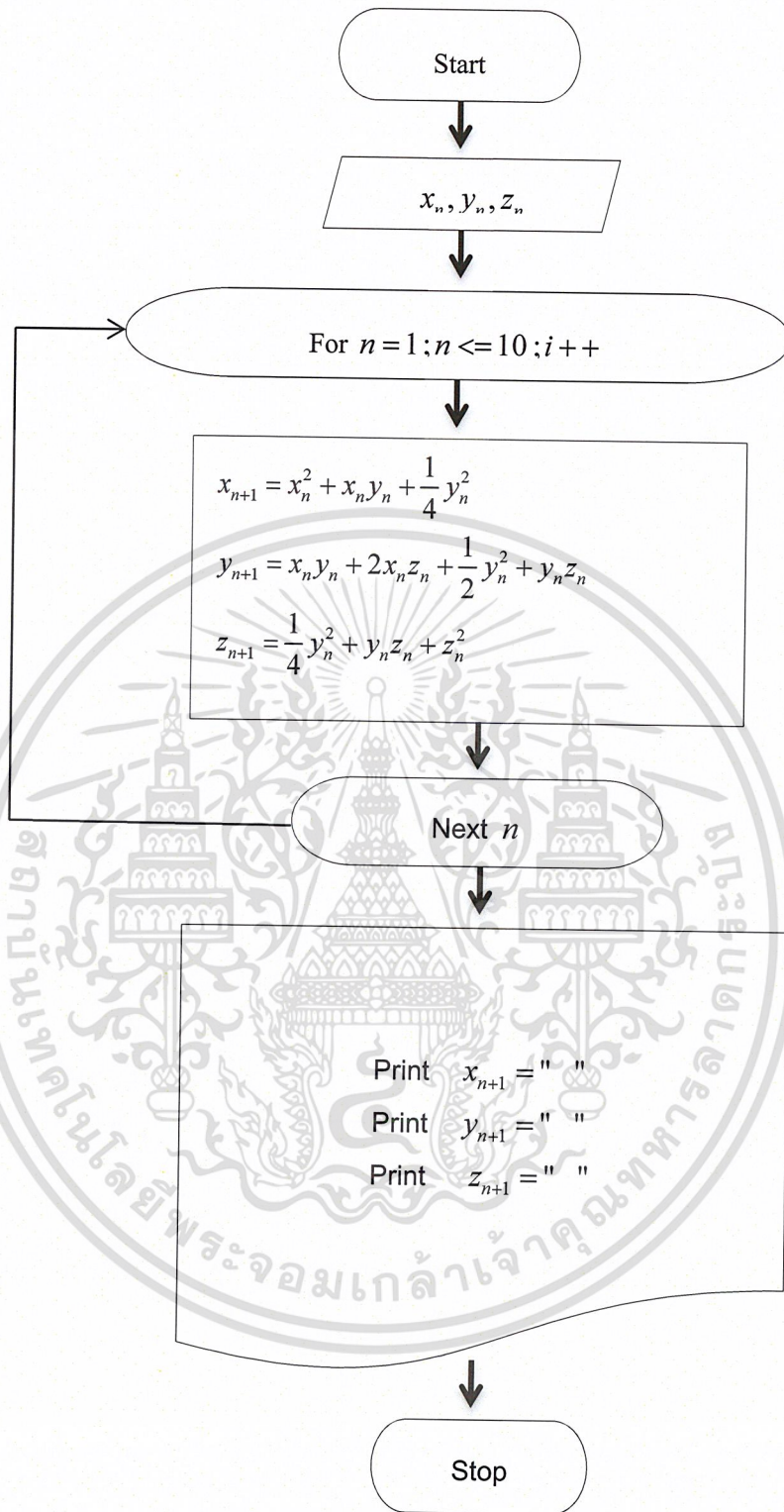
- จำนวนประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสฮีโมโกลบินอี (j_n)

โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots, 10$

เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าของประชากรรุ่นถัดไป ($n+1$)

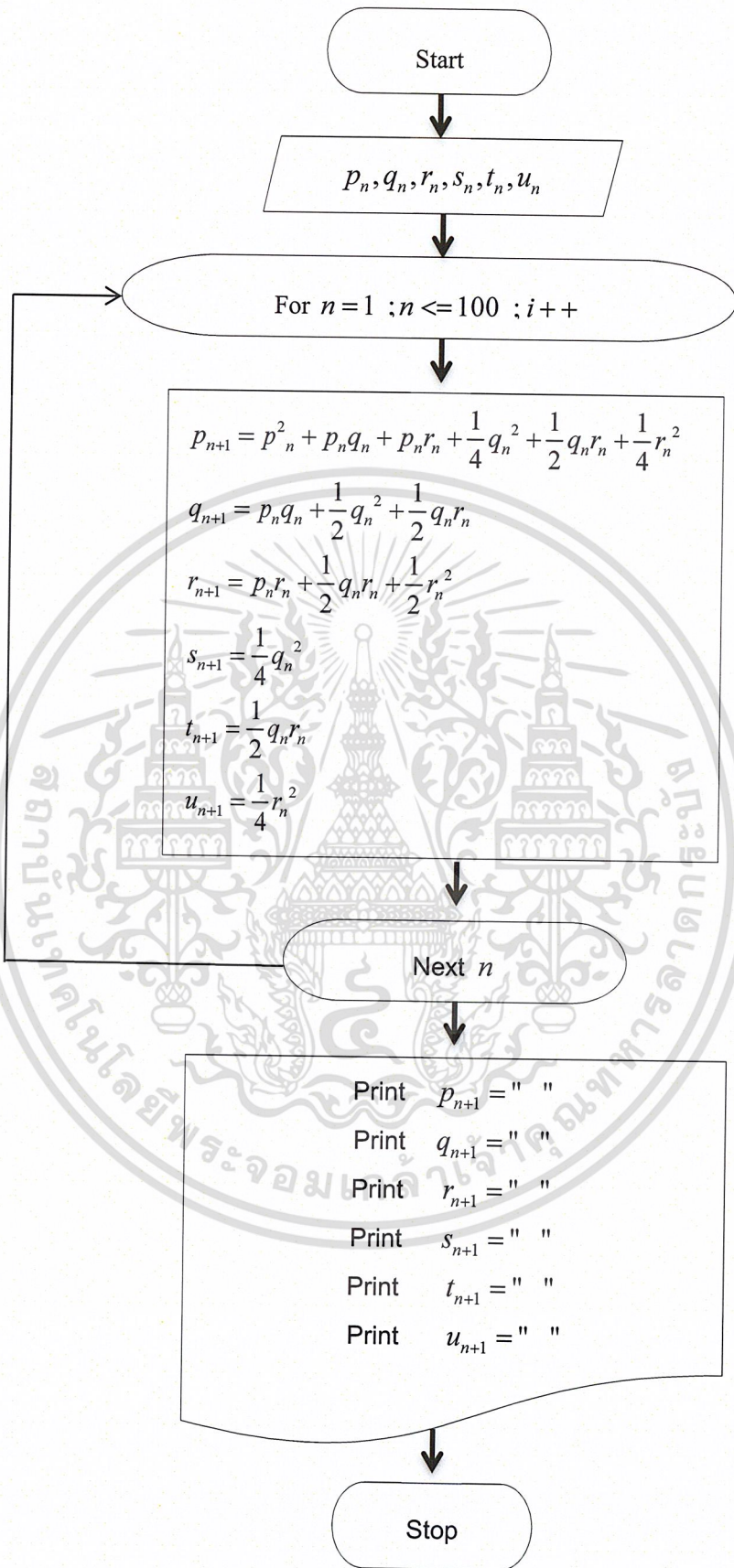


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

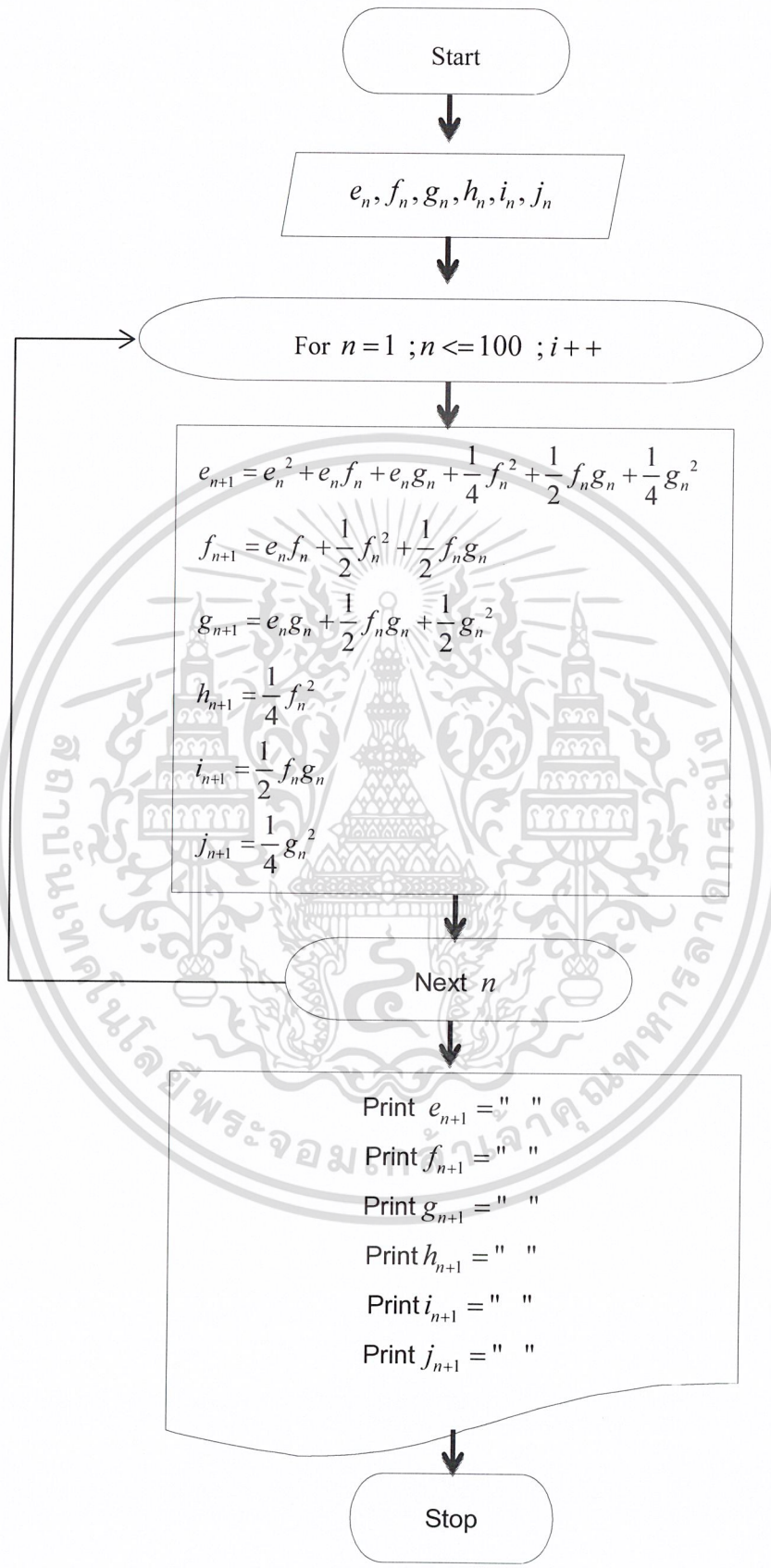


รูปที่ 4.1 ผังงานแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



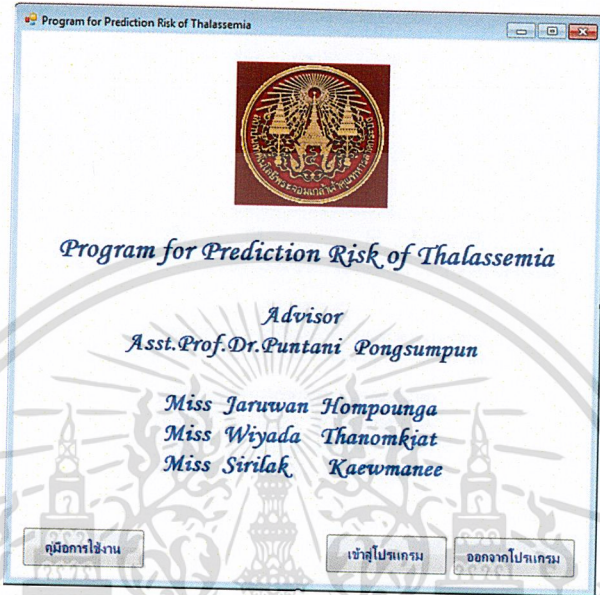
รูปที่ 4.2 ผังงานแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.3 ผังงานแสดงความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของ โรคชาล์สซีเมียชนิดเบต้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

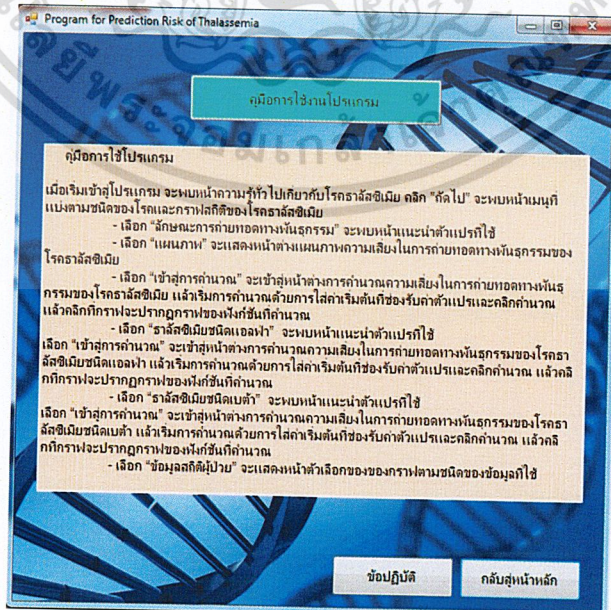
4.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

เมื่อเข้าสู่หน้าจอโปรแกรมหลัก จะประกอบด้วย ชื่อโปรแกรม อาจารย์ที่ปรึกษา คณะผู้จัดทำ ปุ่มคู่มือการใช้ ปุ่มเข้าสู่โปรแกรมต่างๆ และปุ่มออกจากโปรแกรม



รูปที่ 4.4 หน้าจอโปรแกรม

กดปุ่ม **คู่มือการใช้งาน** จะแสดงขั้นตอนการใช้โปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้ศึกษาเข้าใจวิธีใช้โปรแกรมอย่างถูกต้อง



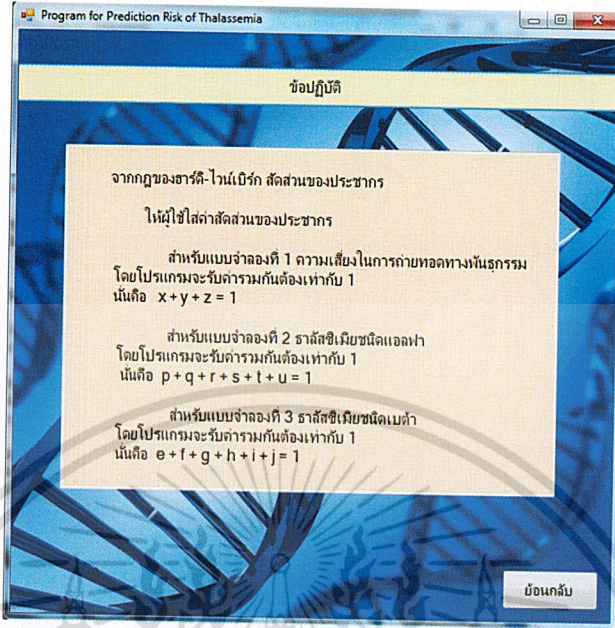
รูปที่ 4.5 หน้าต่างคู่มือการใช้งานโปรแกรม เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กดปุ่ม

ข้อปฏิบัติ

เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าข้อปฏิบัติ



รูปที่ 4.6 หน้าต่างข้อปฏิบัติ

กดปุ่ม

ย้อนกลับ

เมื่อต้องการกลับไปหน้าต่างคู่มือการใช้งาน โปรแกรม

กดปุ่ม

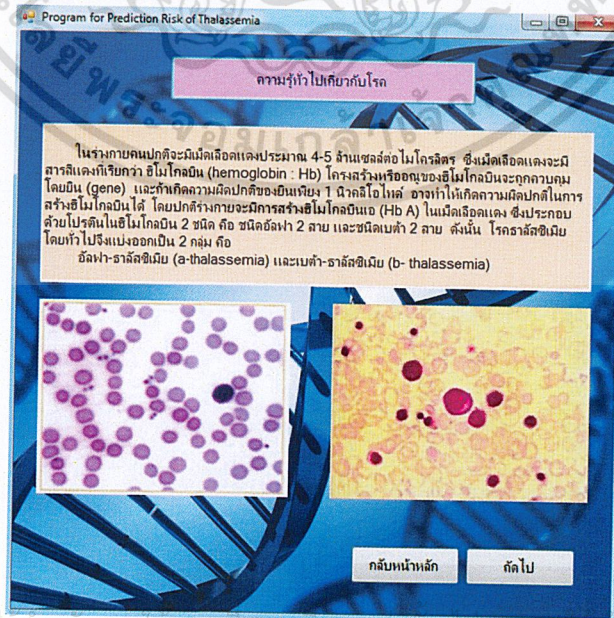
กลับสู่หน้าหลัก

เมื่อต้องการกลับไปหน้าหลักของโปรแกรม

กดปุ่ม

เข้าสู่โปรแกรม

จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคธาลัสซีเมีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 4.7 หน้าต่างโรคธาลัสซีเมียของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **กลับหน้าหลัก** เมื่อต้องการกลับไปหน้าหลักของโปรแกรม

กดปุ่ม **ถัดไป** จะเข้าสู่ชนิดของ โรคธาลัสซีเมีย เพื่อให้ผู้ใช้เลือกตามความต้องการ ซึ่งประกอบ 5 ปุ่ม ได้แก่ ปุ่มลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ปุ่มธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา ปุ่มธาลัสซีเมียชนิดเบต้า ปุ่มสืบค้นข้อมูล และปุ่มย้อนกลับ

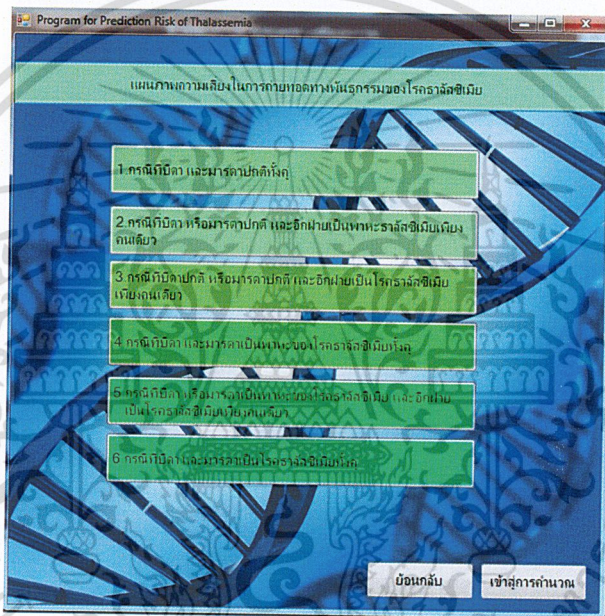


รูปที่ 4.8 หน้าต่างชนิดของโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปหน้าต่างแสดงชนิดของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม จะแสดงหน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย ซึ่งแบ่งได้ 6 กรณี ได้แก่ ปุ่มกรณีที่บิดาและมารดาปกติทั้งคู่ ปุ่มกรณีที่บิดาหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว ปุ่มกรณีที่บิดาปกติหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว ปุ่มกรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ ปุ่มกรณีที่บิดาหรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว และปุ่มกรณีที่บิดาและมารดาเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่

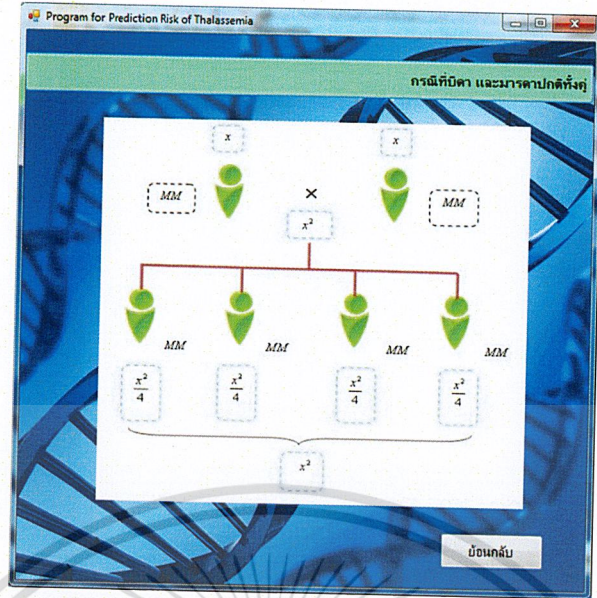


รูปที่ 4.11 หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

กดปุ่ม จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาและมารดาปกติทั้งคู่

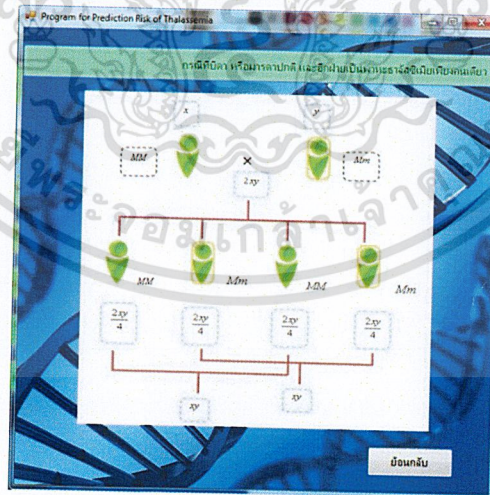
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาและมารดาปกติทั้งคู่

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

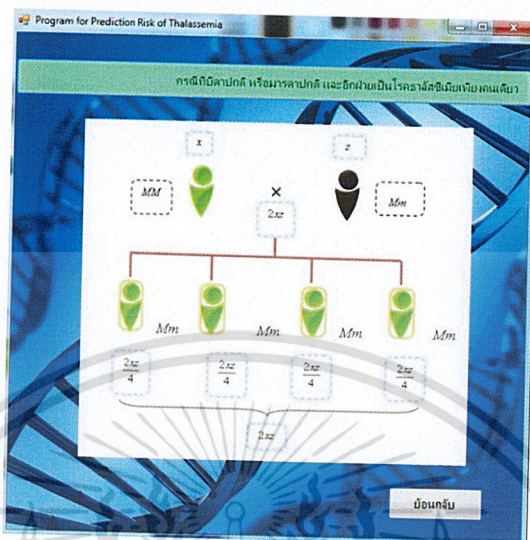
กดปุ่ม จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว



รูปที่ 4.13 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย ไม่ควรเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

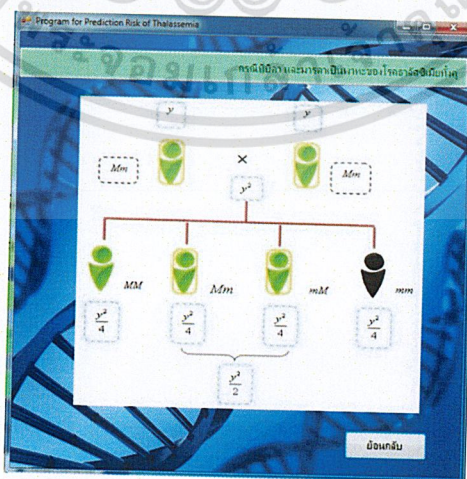
กดปุ่ม **3** กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดาปกติหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว



รูปที่ 4.14 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาปกติหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

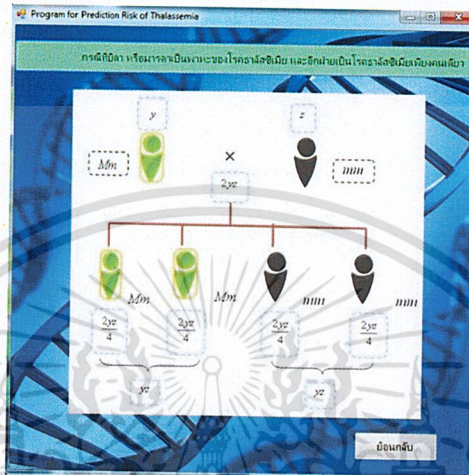
กดปุ่ม **4** กรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่



รูปที่ 4.15 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่นำต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

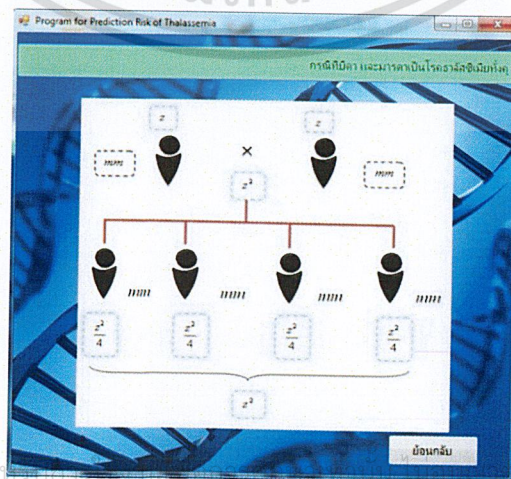
กดปุ่ม **5** กรณีบิดา หรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดาหรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว



รูปที่ 4.16 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาหรือมารดาเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นโรคธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่นำต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

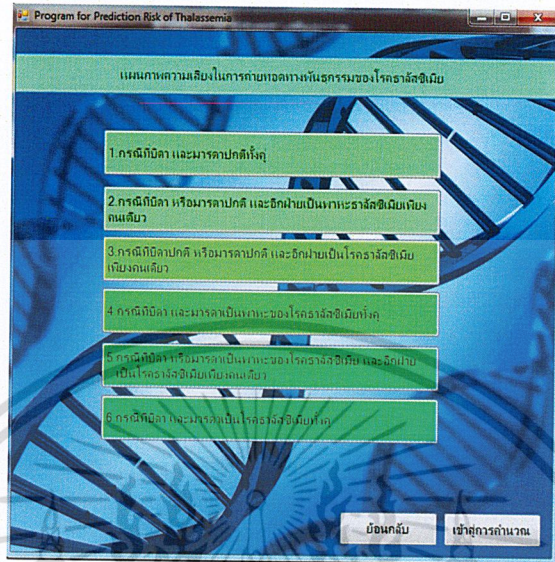
กดปุ่ม **6** กรณีบิดาและมารดาเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่ จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดาและมารดาเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้ อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาหนังสืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

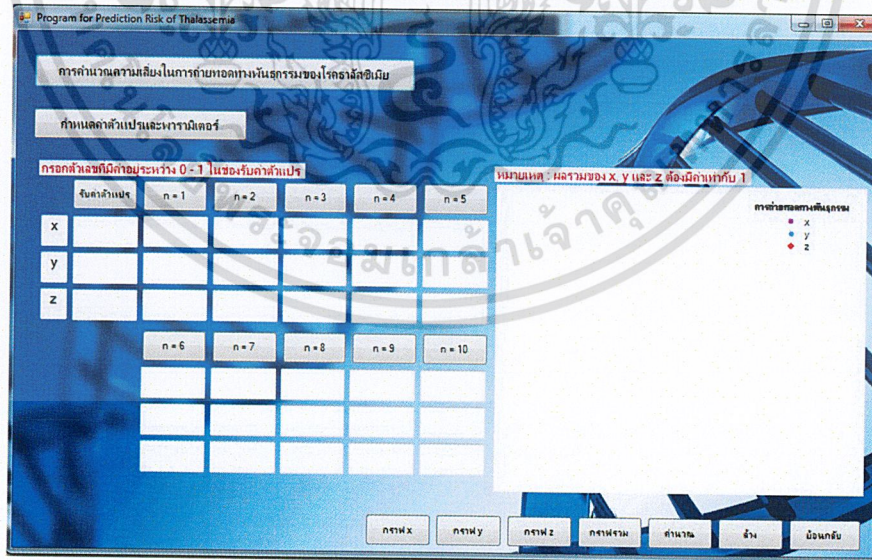
รูปที่ 4.17 หน้าต่างแสดงแผนภาพกรณีที่บิดาและมารดาเป็นโรคธาลัสซีเมียทั้งคู่

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย



รูปที่ 4.18 หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม **เข้าสู่การคำนวณ** จะเข้าสู่หน้าต่างการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย



รูปที่ 4.19 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ รับค่าตัวแปรในช่องรับค่าตัวแปรต่างๆ

รูปที่ 4.20 หน้าต่างแสดงการรับค่าตัวแปรต่างๆ

กดปุ่ม **คำนวณ** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์

รับค่าตัวแปร	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5
x	0.62	0.62	0.540225	0.540225	0.540225
y	0.23	0.23	0.38955	0.38955	0.38955
z	0.15	0.15	0.070225	0.070225	0.070225

	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10
0.540225	0.540225	0.540225	0.5402250000	0.5402250000	0.5402250000
0.38955	0.38955	0.38955	0.3895500000	0.3895500000	0.3895500000
0.070225	0.070225	0.0702250000	0.0702250000	0.0702250000	0.0702250000

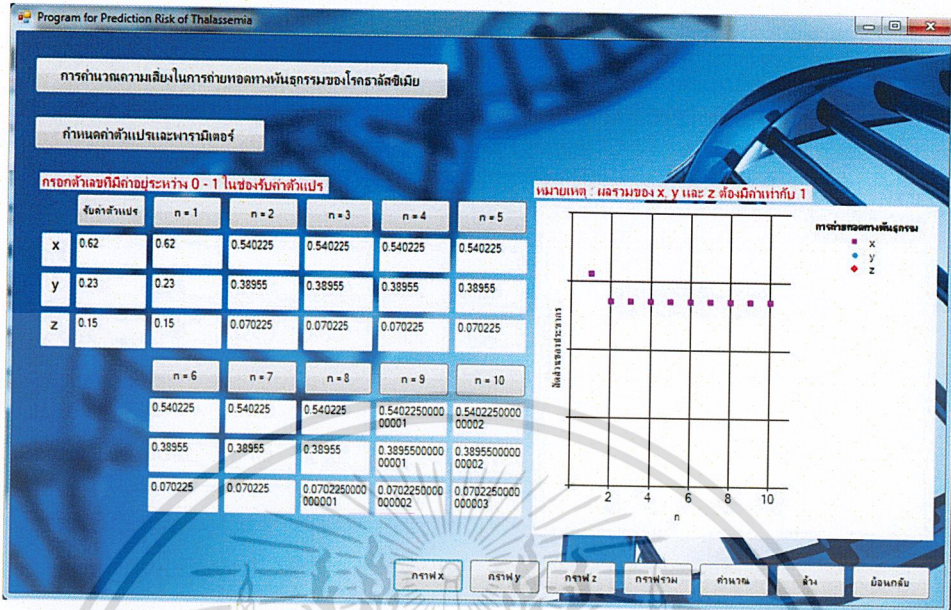
รูปที่ 4.21 หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม

กราฟ x

เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ x

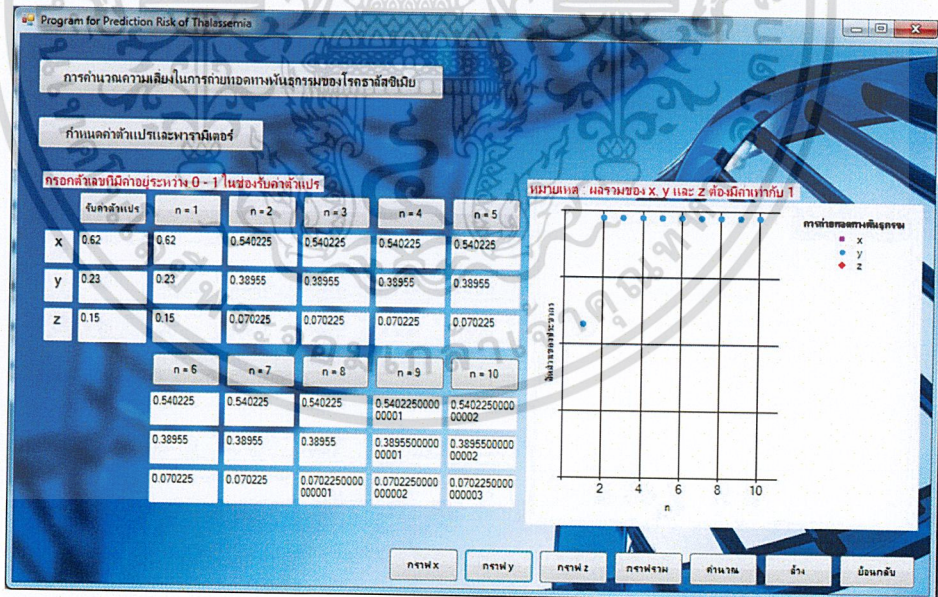


รูปที่ 4.22 หน้าต่างแสดงกราฟ x

กดปุ่ม

กราฟ y

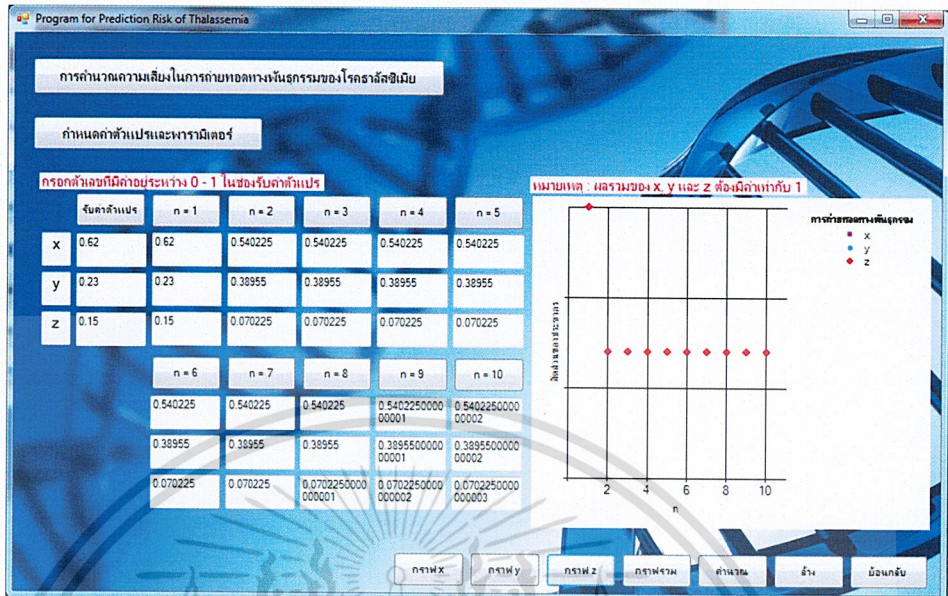
เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ y



รูปที่ 4.23 หน้าต่างแสดงกราฟ y

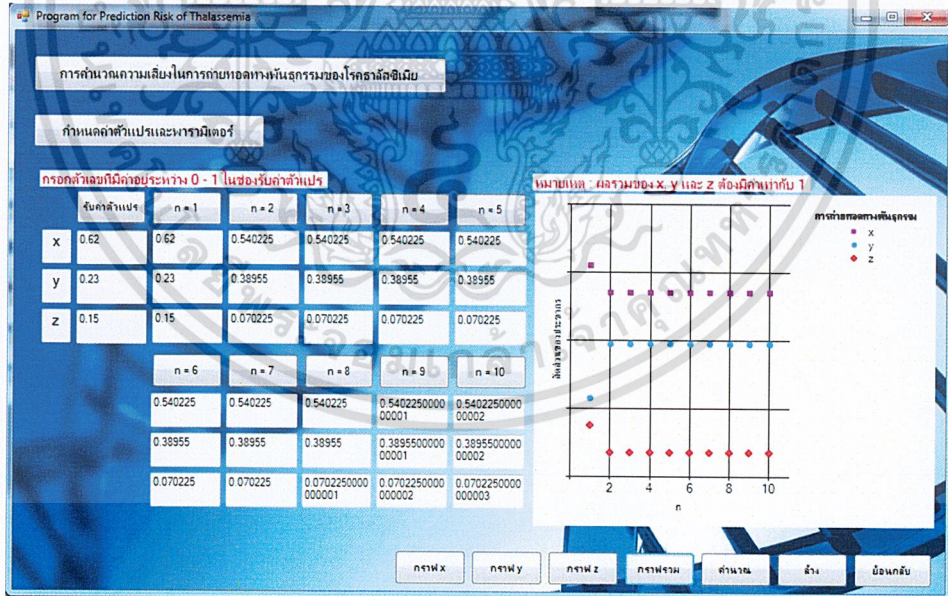
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **กราฟ z** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ z



รูปที่ 4.24 หน้าต่างแสดงกราฟ z

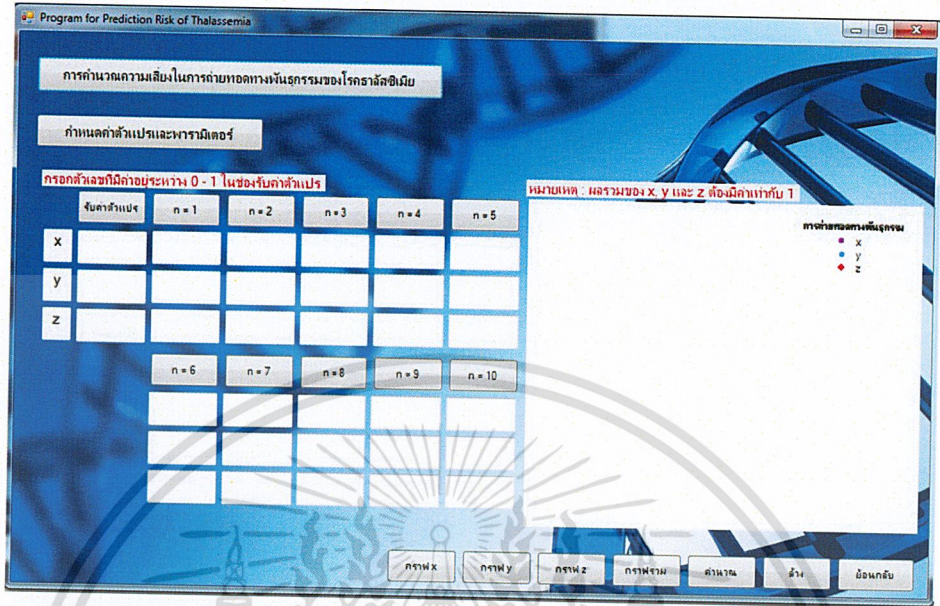
กดปุ่ม **กราฟรวม** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟรวม



รูปที่ 4.25 หน้าต่างแสดงกราฟรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **ล้าง** เพื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย



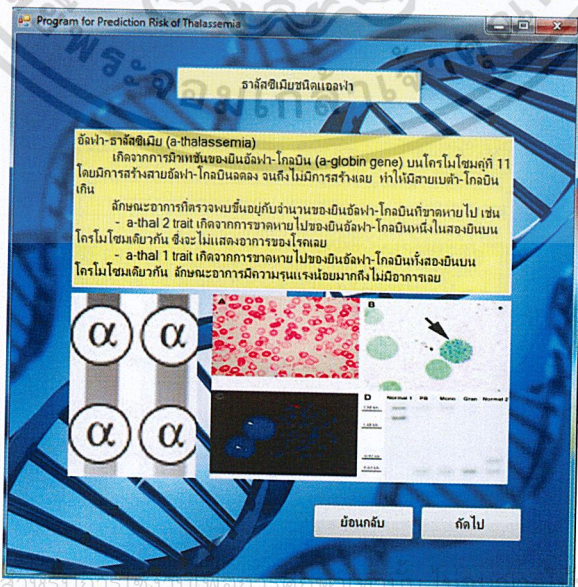
รูปที่ 4.26 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างชนิดของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม **ธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา** จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงข้อมูลของโรคธาลัสซีเมีย

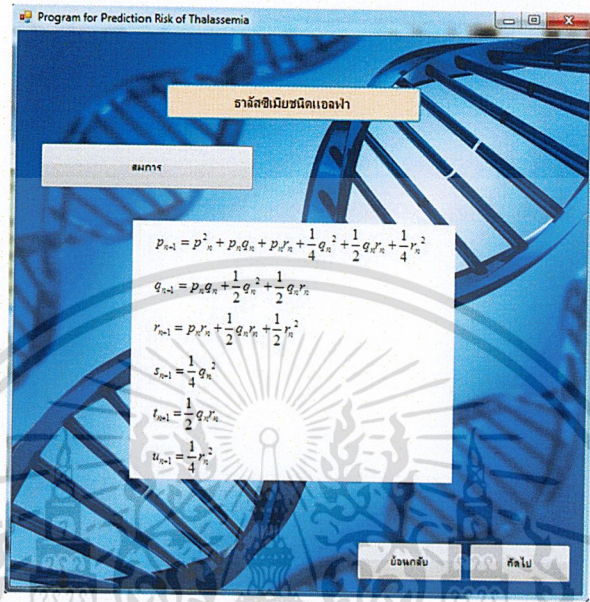
ชนิดแอลฟา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรู๊ปงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และผู้จัดทำนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 4.27** หน้าต่างแสดงข้อมูลของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างชนิดของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา ซึ่งแสดงสมการ
ในหน้าต่าง

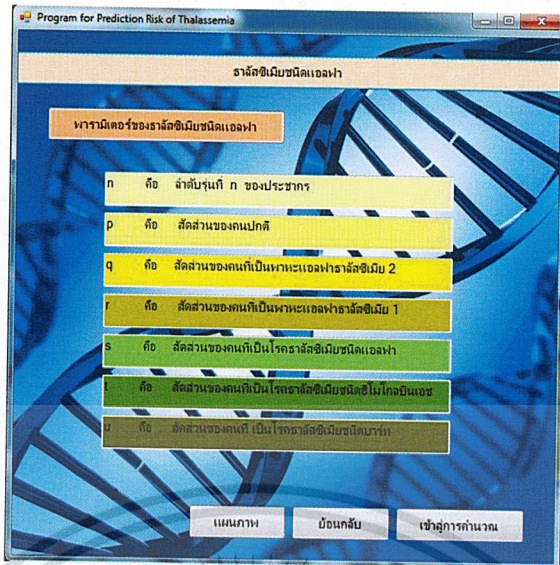


รูปที่ 4.28 หน้าต่างแสดงสมการของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

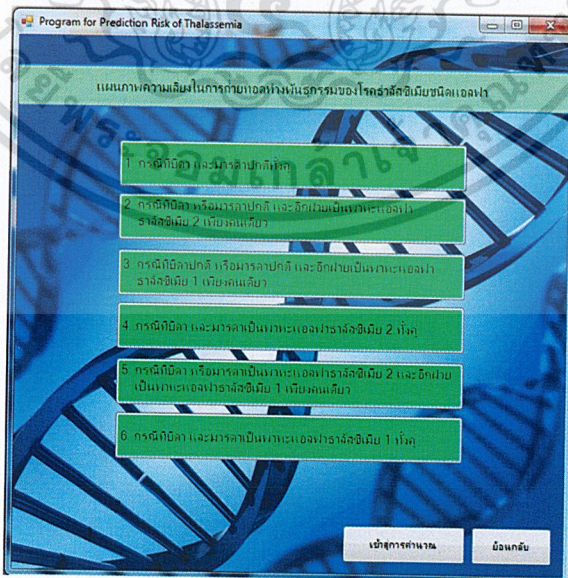
กดปุ่ม จะเข้าสู่หน้าต่างพารามิเตอร์ของธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 หน้าต่างแสดงพารามิเตอร์ของธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กดปุ่ม แผนภาพ จะแสดงหน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา ซึ่งแบ่งได้ 6 กรณี ได้แก่ ปุ่มกรณีที่บิดาและมารดาปกติทั้งคู่ ปุ่มกรณีที่บิดาหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว ปุ่มกรณีที่บิดาปกติหรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว ปุ่มกรณีที่บิดาและมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 ทั้งคู่ ปุ่มกรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว และปุ่มกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่

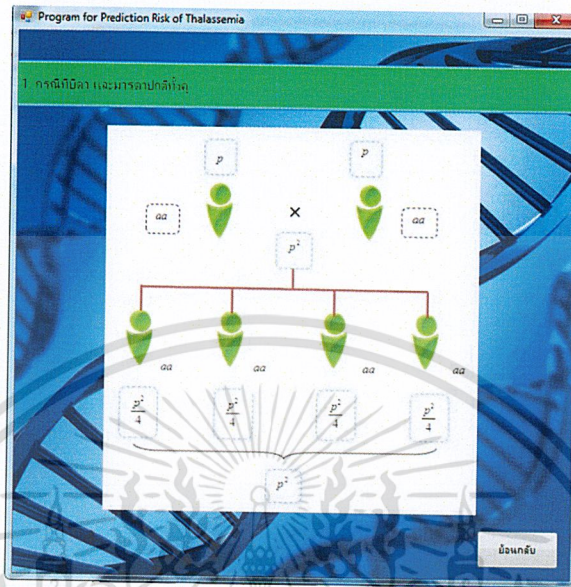


รูปที่ 4.30 หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม 1 กรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่

เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่

บิดา และมารดาปกติทั้งคู่



รูปที่ 4.31 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่

กดปุ่ม

ย้อนกลับ

เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการ

ถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

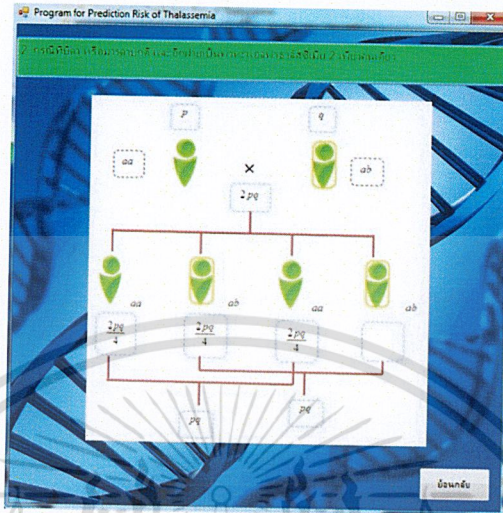
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม

2 กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว

เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่าง

กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 เพียงคนเดียว



รูปที่ 4.32 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซี

เมีย 2 เพียงคนเดียว

กดปุ่ม

ย้อนกลับ

เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการ

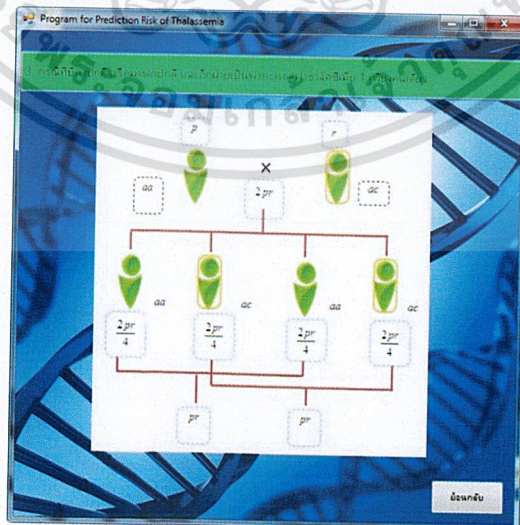
ถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กดปุ่ม

3 กรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว

เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่

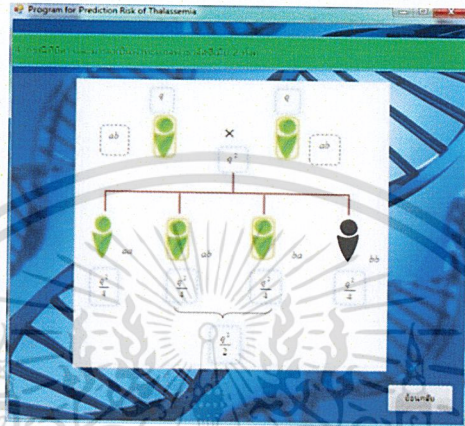
บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.33 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะ
แอลฟาธาลัสซีเมีย 1 เพียงคนเดียว
ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตามผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

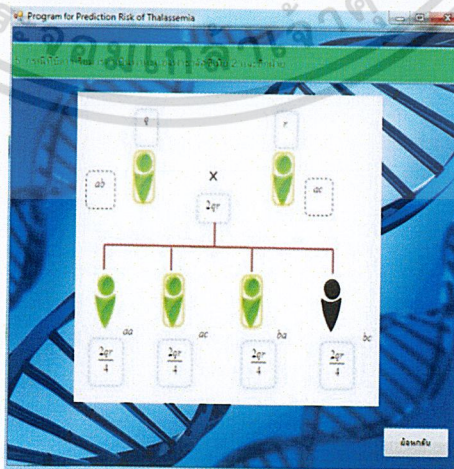
กดปุ่ม **4** กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 รั้งก็ เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 รั้งคู่



รูปที่ 4.34 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 รั้งคู่

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

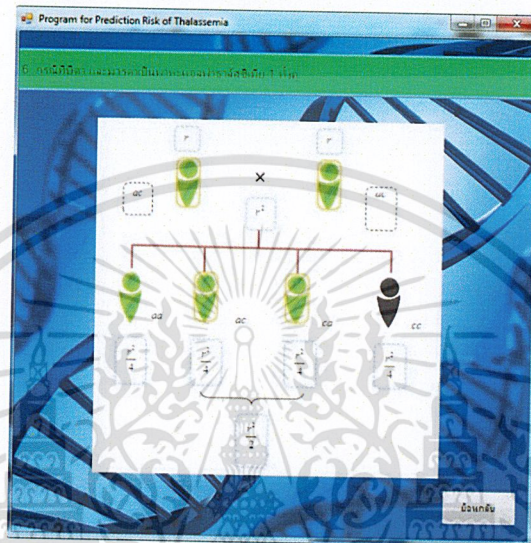
กดปุ่ม **5** กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 รั้งและอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 รั้งเพียงคนเดียว เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 รั้งและอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 รั้งเพียงคนเดียว



เอกสารรูปที่ 4.35 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 รั้งและอีกฝ่ายเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 รั้งเพียงคนเดียว นี้อาหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กดปุ่ม เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่



รูปที่ 4.36 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 ทั้งคู่

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

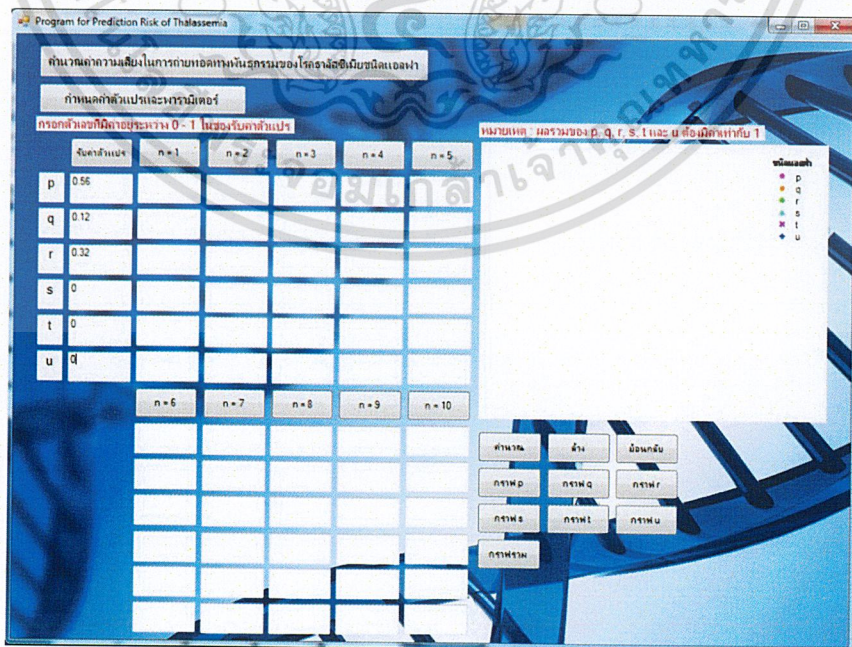
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **เข้าสู่การคำนวณ** จะเข้าสู่หน้าต่างการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา



รูปที่ 4.37 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

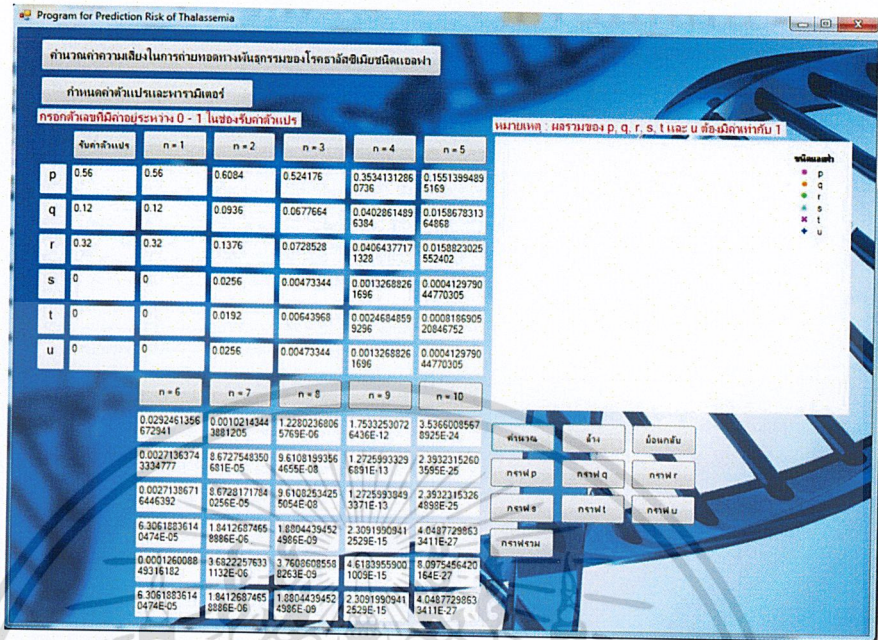
กำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ รับค่าตัวแปรในช่องรับค่าตัวแปรต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ระบุว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างชัดแจ้ง ระวังเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.38 หน้าต่างแสดงการรับค่าตัวแปรต่างๆ

กดปุ่ม **คำนวณ** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์



รูปที่ 4.39 หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์

กดปุ่ม **กราฟ p** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ p



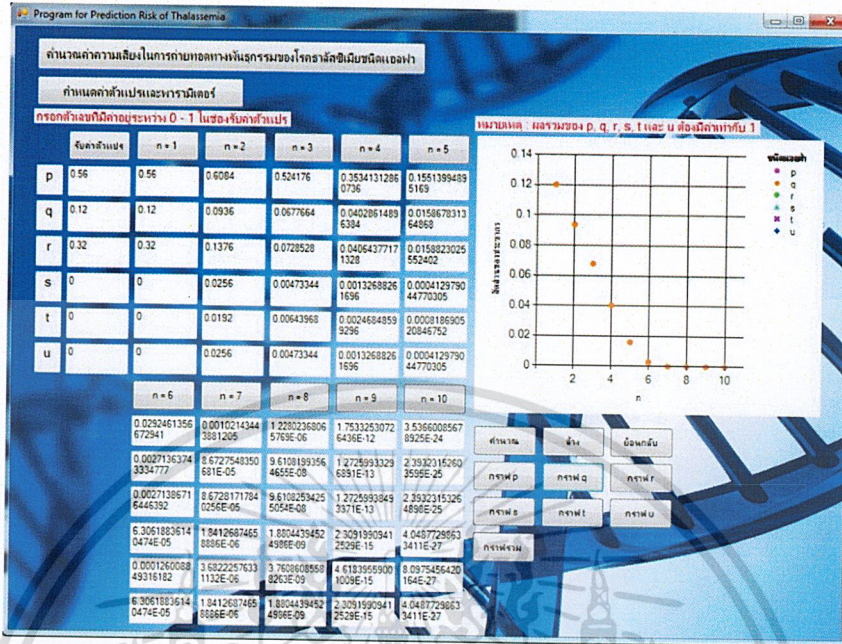
รูปที่ 4.40 หน้าต่างแสดงกราฟ p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม

กราฟ q

เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ q



รูปที่ 4.41 หน้าต่างแสดงกราฟ q

กดปุ่ม

กราฟ r

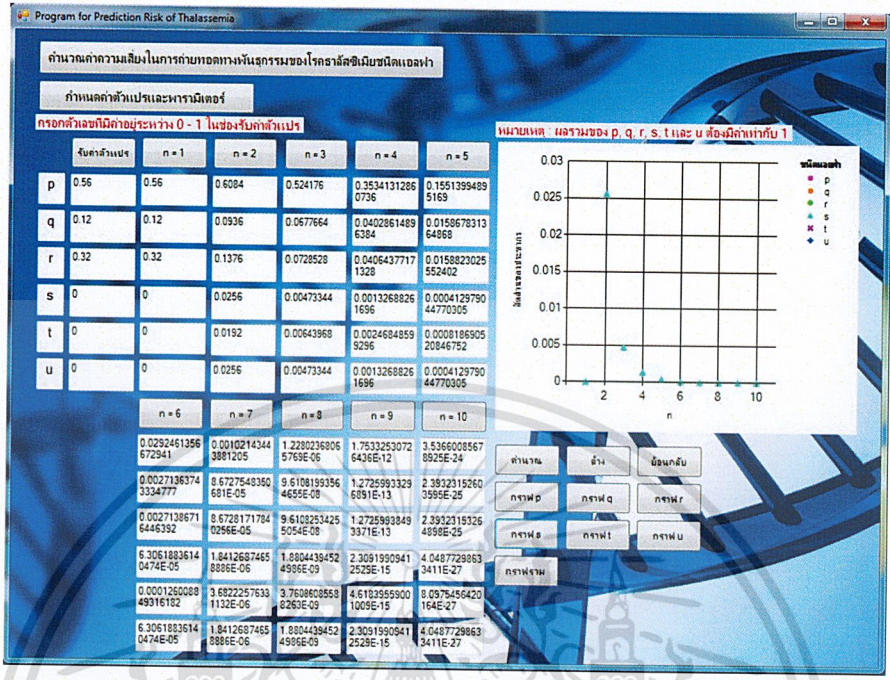
เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ r



รูปที่ 4.42 หน้าต่างแสดงกราฟ r

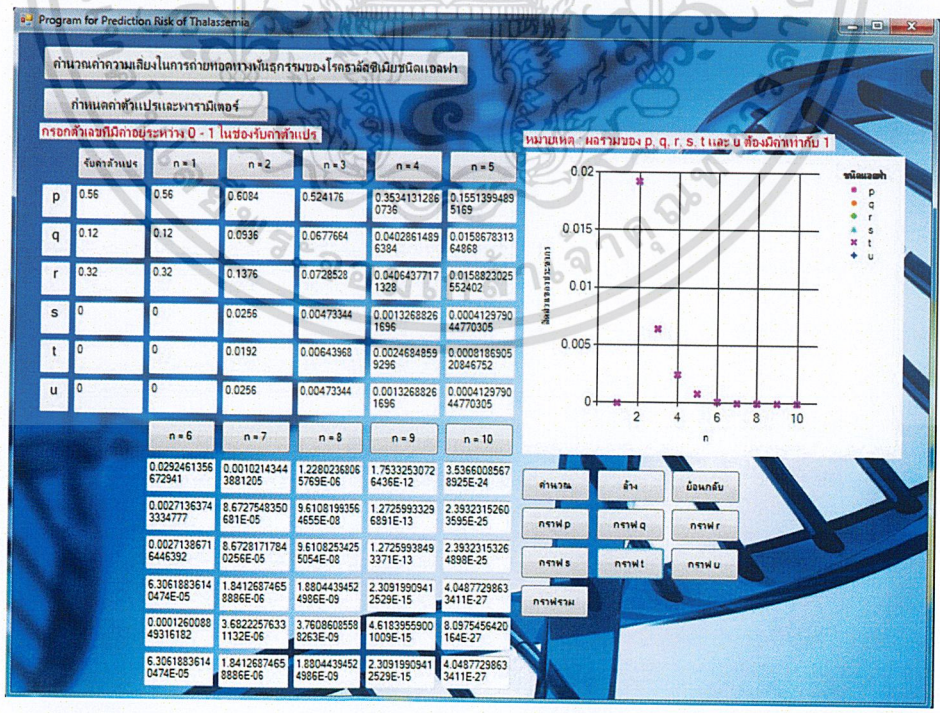
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **กราฟ s** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ s



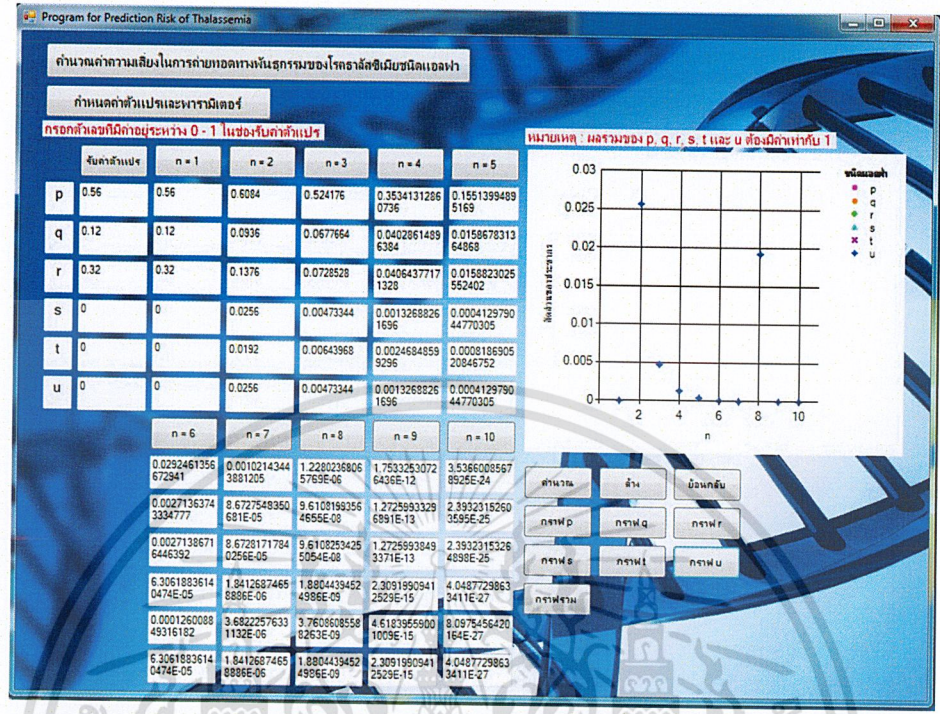
รูปที่ 4.43 หน้าต่างแสดงกราฟ s

กดปุ่ม **กราฟ t** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ t



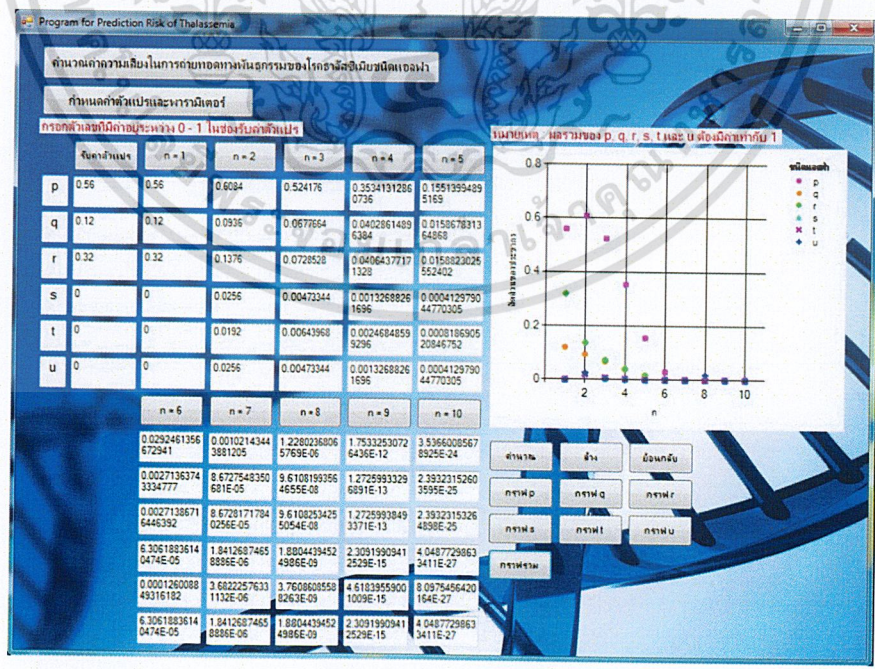
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 4.44** หน้าต่างแสดงกราฟ t อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม กราฟ u เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ u



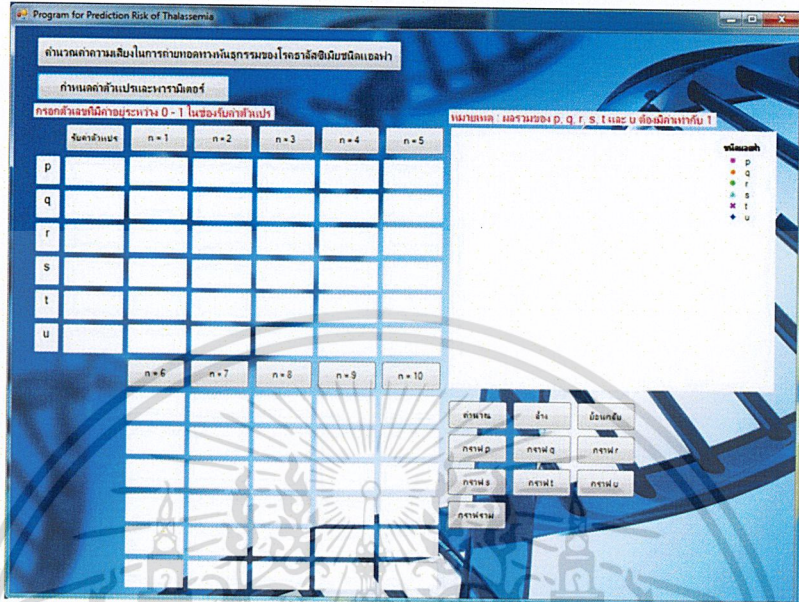
รูปที่ 4.45 หน้าต่างแสดงกราฟ u

กดปุ่ม กราฟรวม เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรูปที่ 4.46 หน้าต่างแสดงกราฟรวม ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **ล้าง** เพื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

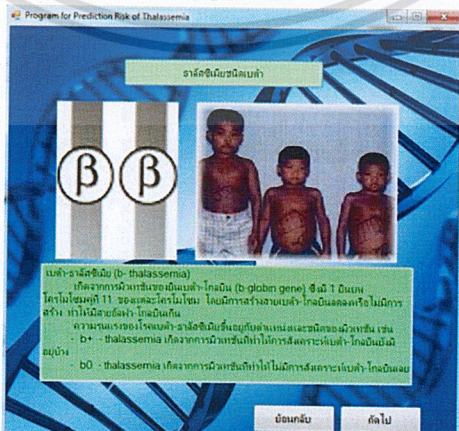


รูปที่ 4.47 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างชนิดของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

กดปุ่ม **ธาลัสซีเมียชนิดเบต้า** จะเข้าสู่หน้าต่างแสดงข้อมูลของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

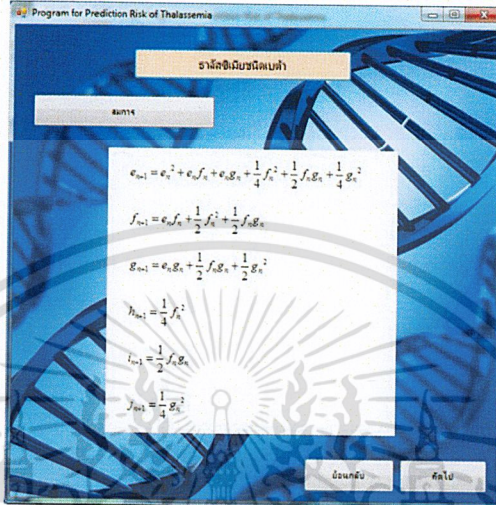


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นทราบโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังได้สงวนลิขสิทธิ์ไว้ด้วย

รูปที่ 4.48 หน้าต่างแสดงข้อมูลของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

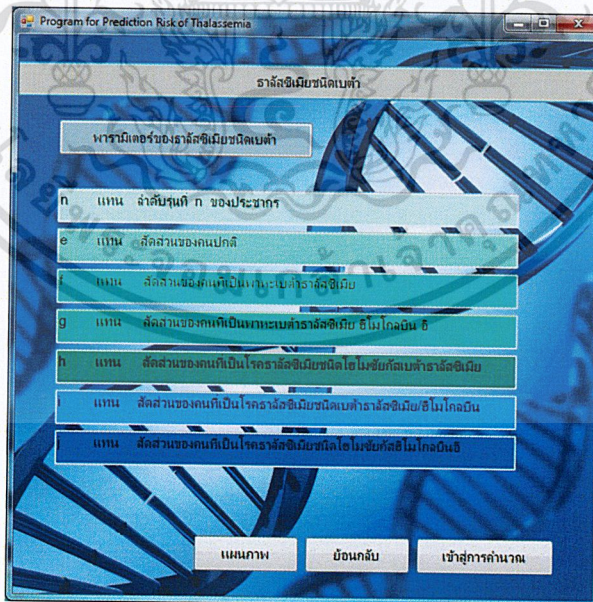
กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างชนิดของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม **ถัดไป** เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างธาลัสซีเมียชนิดเบต้า ซึ่งแสดงสมการในหน้าต่าง



รูปที่ 4.49 หน้าต่างแสดงสมการของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

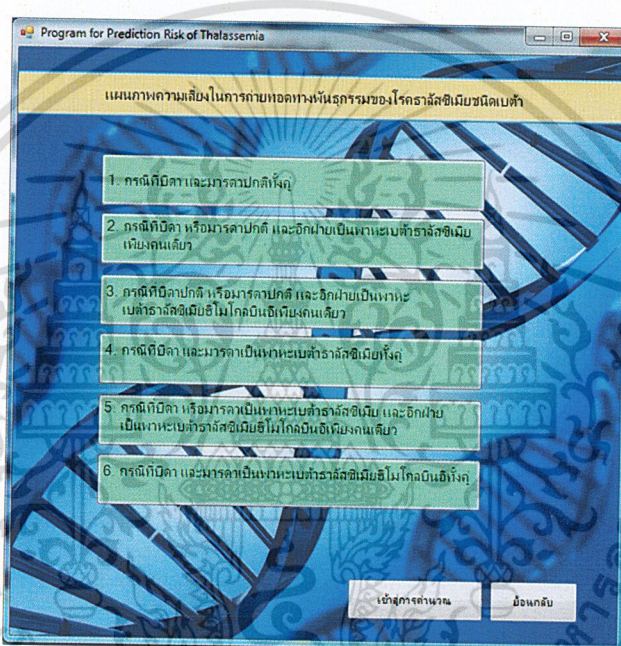
กดปุ่ม **ถัดไป** จะเข้าสู่หน้าต่างพารามิเตอร์ของธาลัสซีเมียชนิดเบต้า



รูปที่ 4.50 หน้าต่างแสดงพารามิเตอร์ของธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **แผนภาพ** จะแสดงหน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า ซึ่งแบ่งได้ 6 กรณี ได้แก่ ปุ่มกรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่ ปุ่มกรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว ปุ่มกรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว ปุ่มกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่ ปุ่มกรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว ปุ่มกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่

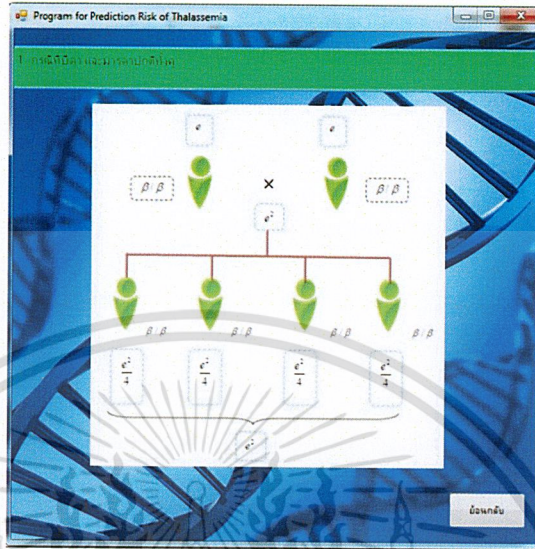


รูปที่ 4.51 หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

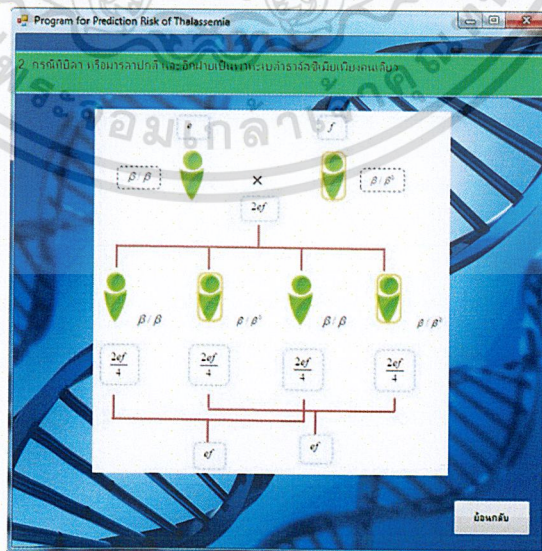
กดปุ่ม 1 กรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่ เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่



รูปที่ 4.52 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา และมารดาปกติทั้งคู่

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

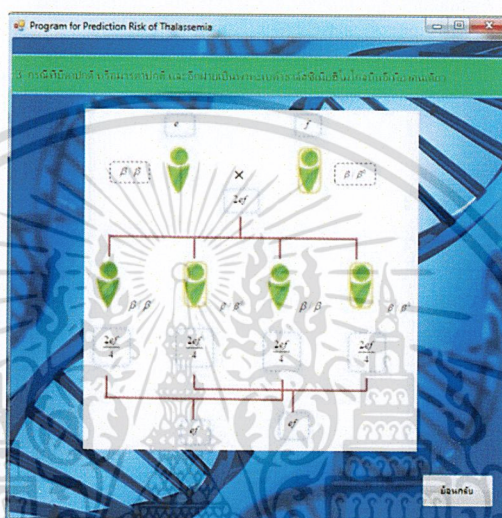
กดปุ่ม 2 กรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว



เอกสารรูปที่ 4.53 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียเพียงคนเดียว ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

กดปุ่ม เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว

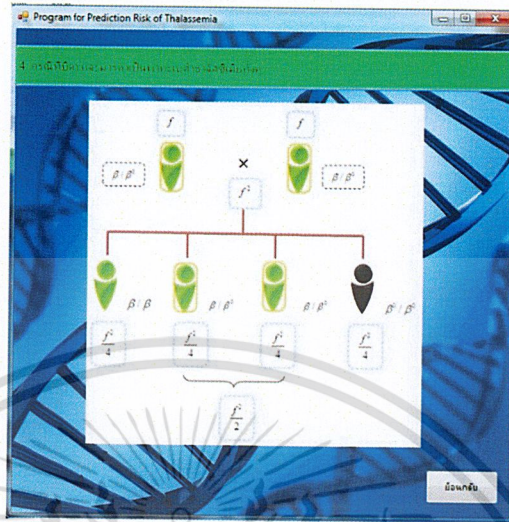


รูปที่ 4.54 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดาปกติ หรือมารดาปกติ และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

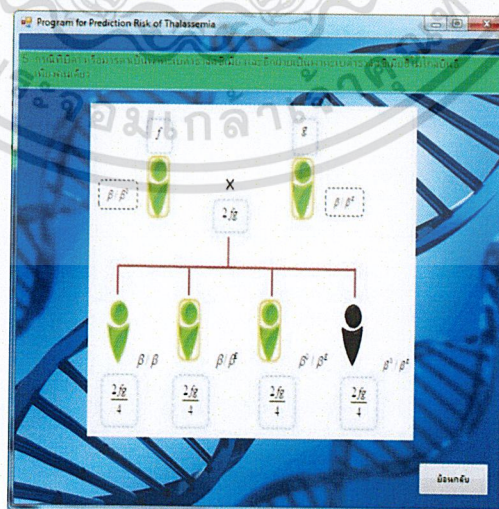
กดปุ่ม 4 กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่ เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่าง กรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่



รูปที่ 4.55 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียทั้งคู่

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการ ถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

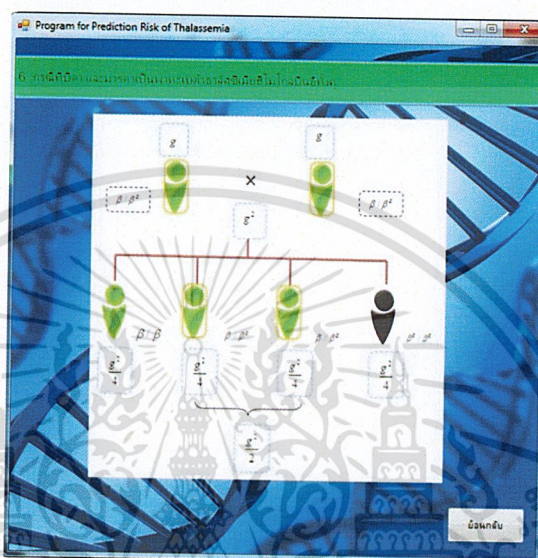
กดปุ่ม 5 กรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่าย เป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว เมื่อต้องการเข้าสู่ หน้าต่างกรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบินอีเพียงคนเดียว



รูปที่ 4.56 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา หรือมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย และอีกฝ่ายเป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ทางอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแสดงแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

กดปุ่ม เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าต่างกรณี
ที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่

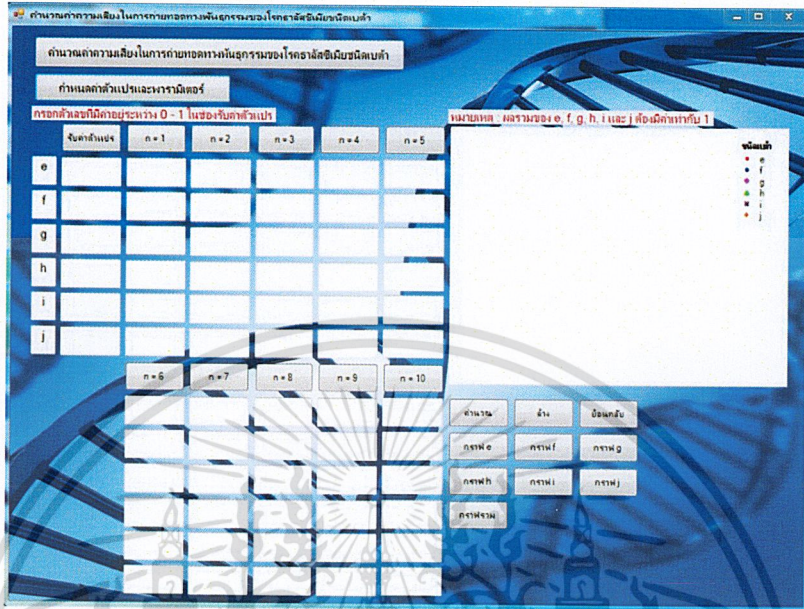


รูปที่ 4.57 หน้าต่างแสดงกรณีที่บิดา และมารดาเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอีทั้งคู่

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างแผนภาพความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

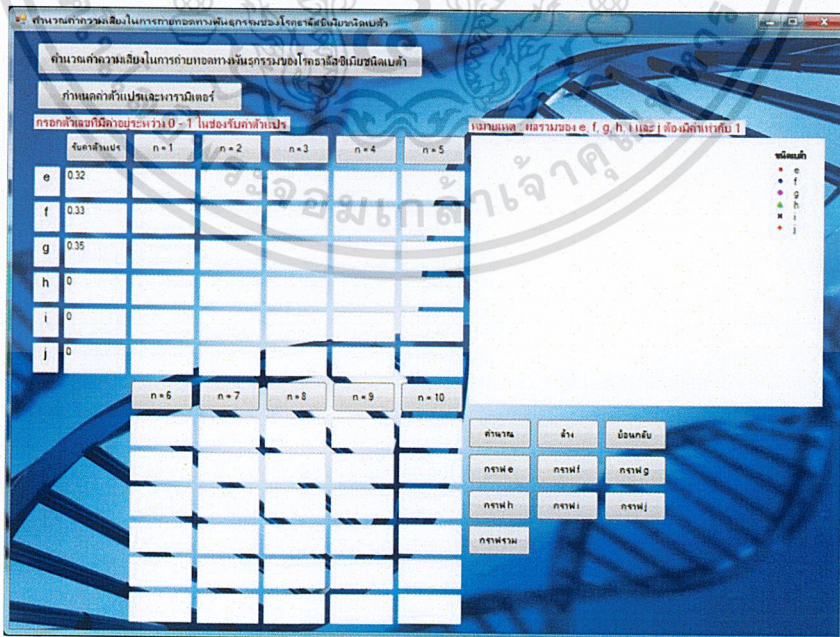
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม เข้าสู่การคำนวณ จะเข้าสู่หน้าต่างการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า



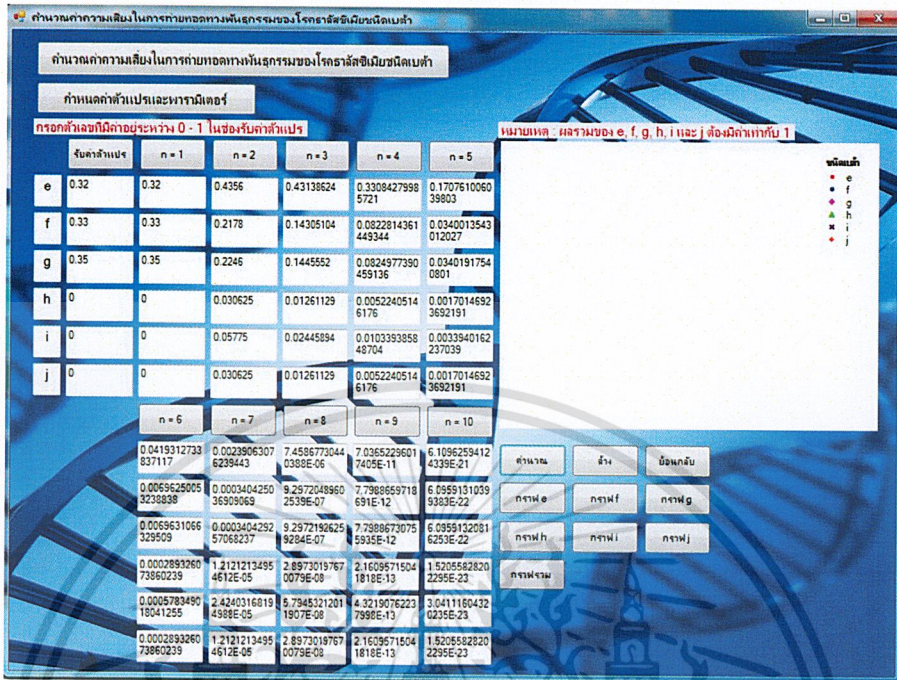
รูปที่ 4.58 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

กำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ รับค่าค่าตัวแปรในช่องรับค่าตัวแปรต่างๆ



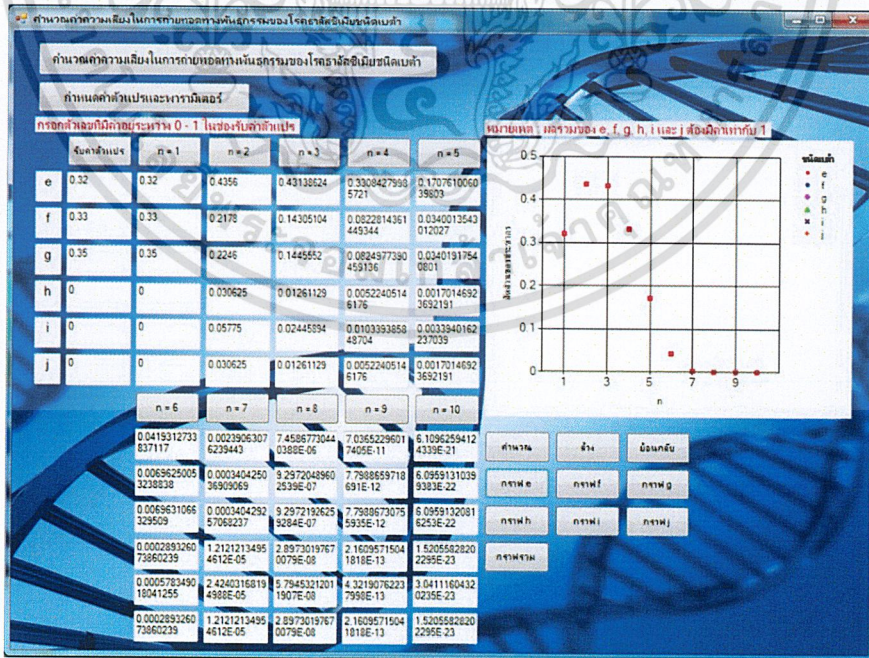
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะงานวิจัยและการศึกษาเท่านั้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.59 หน้าต่างแสดงการรับค่าตัวแปรต่าง ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม **คำนวณ** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์



รูปที่ 4.60 หน้าต่างแสดงค่าผลลัพธ์

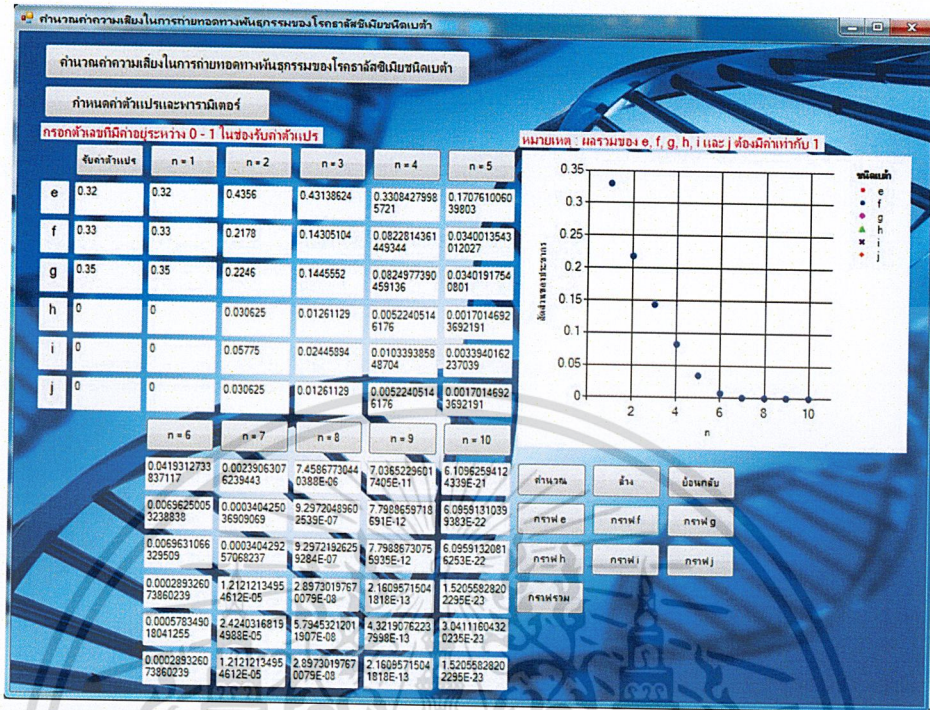
กลุ่ม **กราฟ e** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ e



รูปที่ 4.61 หน้าต่างแสดงกราฟ e

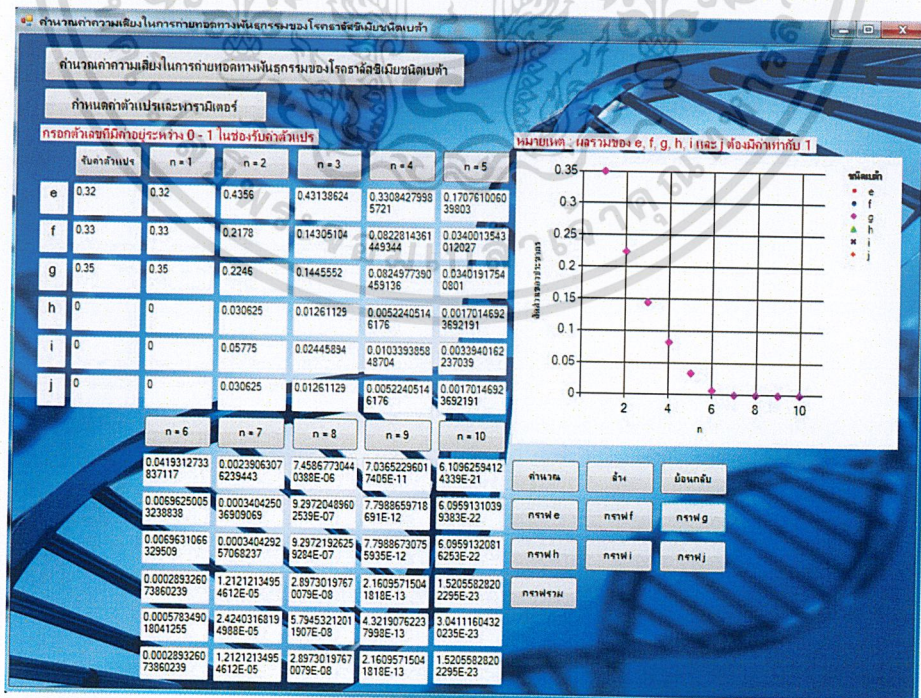
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **กราฟ f** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ f



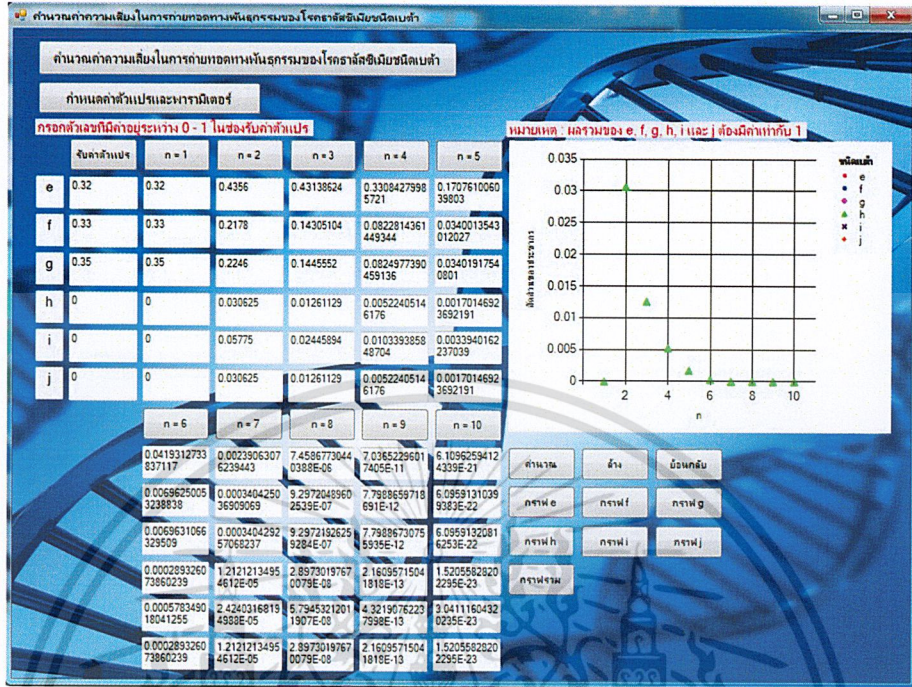
รูปที่ 4.62 หน้าต่างแสดงกราฟ f

กดปุ่ม **กราฟ g** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ g



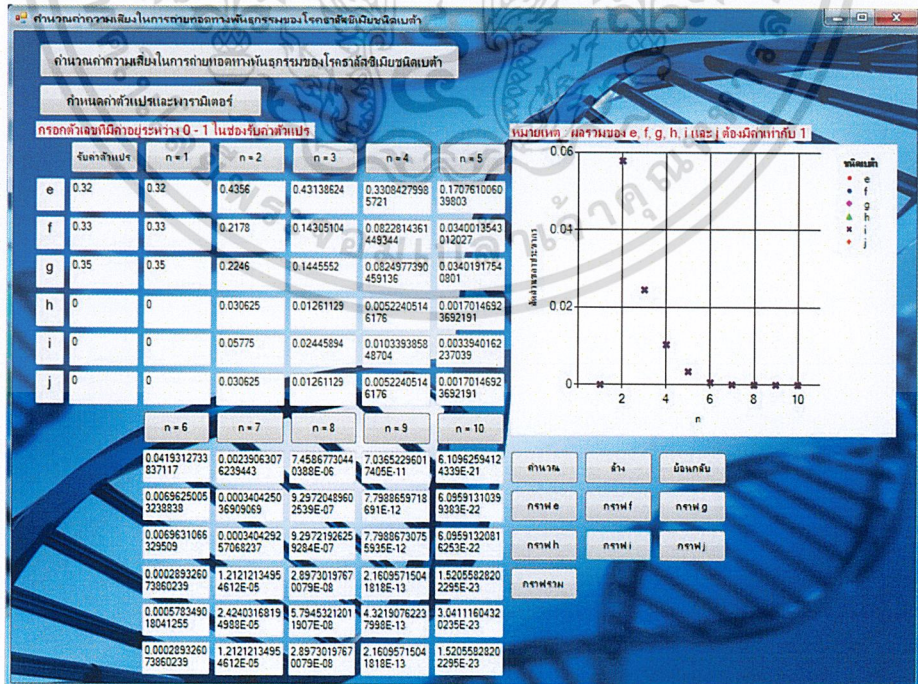
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.63 หน้าต่างแสดงกราฟ g
 ไม่ว่าจะผิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม กราฟ h เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ h



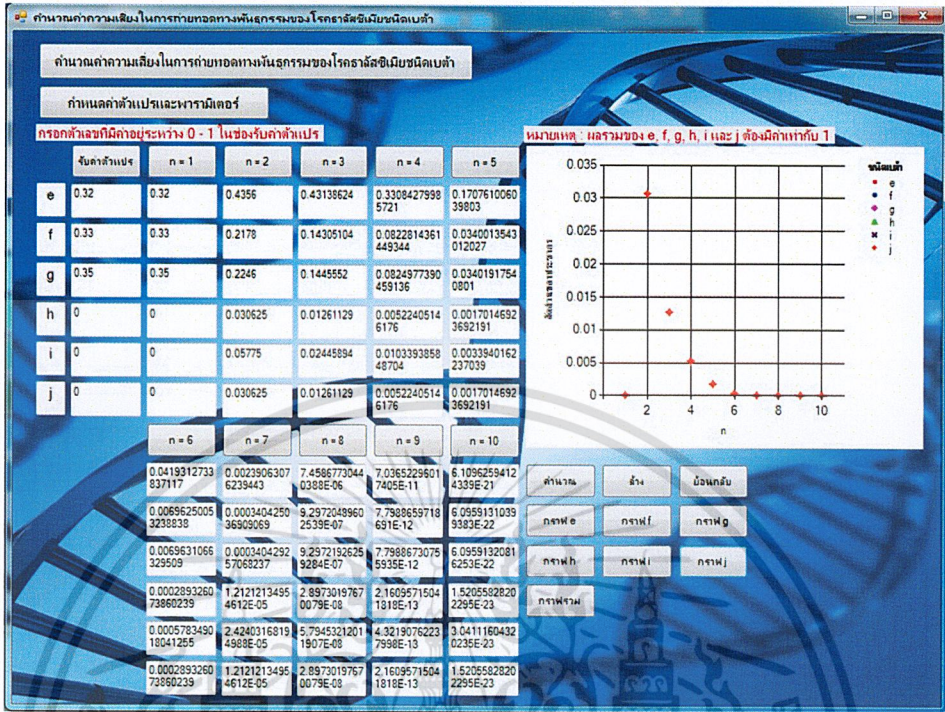
รูปที่ 4.64 หน้าต่างแสดงกราฟ h

กลุ่ม กราฟ i เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ i



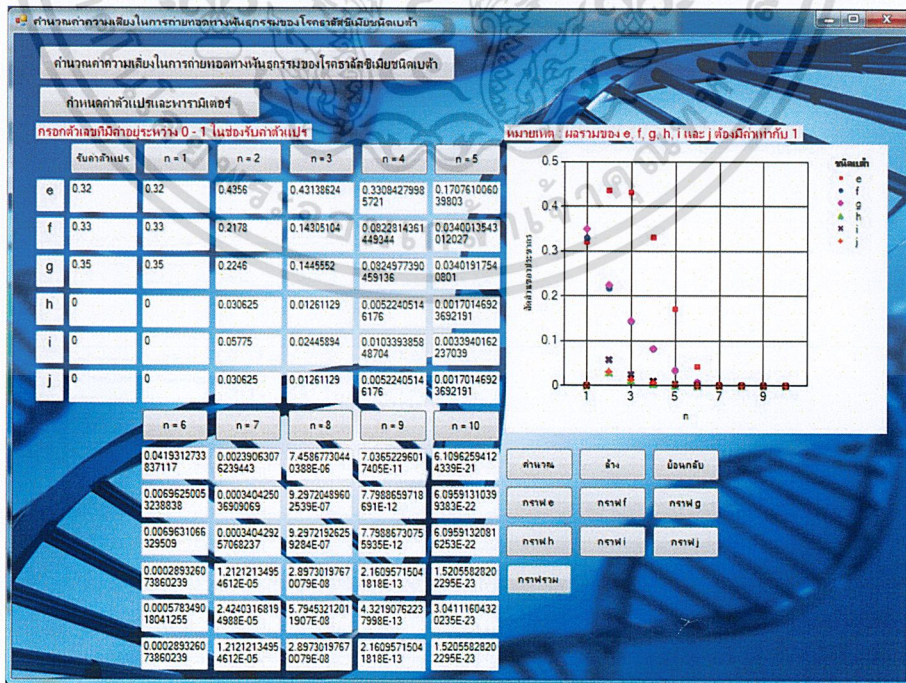
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้บนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.65 หน้าต่างแสดงกราฟ i
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม กราฟ j เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟ j



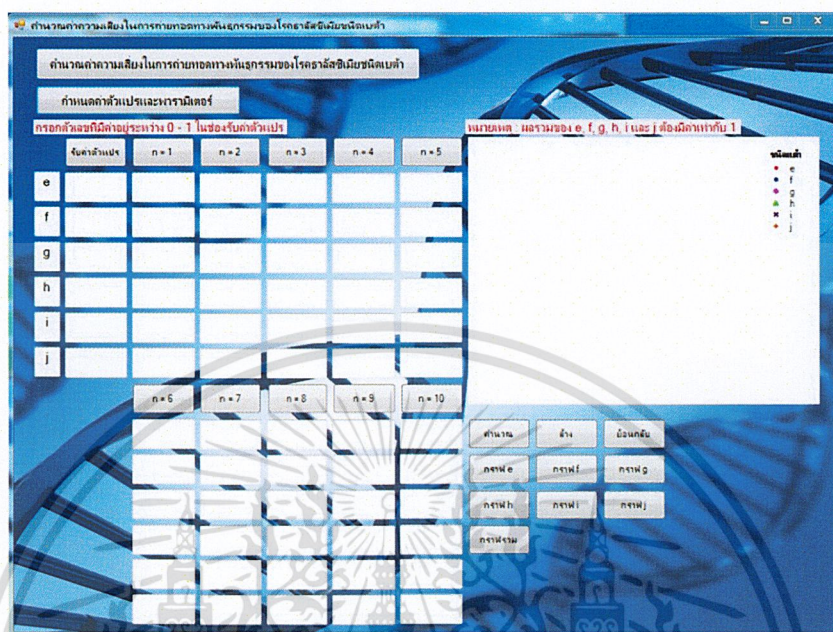
รูปที่ 4.66 หน้าต่างแสดงกราฟ j

กดปุ่ม กราฟรวม เพื่อเข้าสู่หน้าต่างแสดงกราฟรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.67 หน้าต่างแสดงกราฟรวม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดต่อบริลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม เพื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า



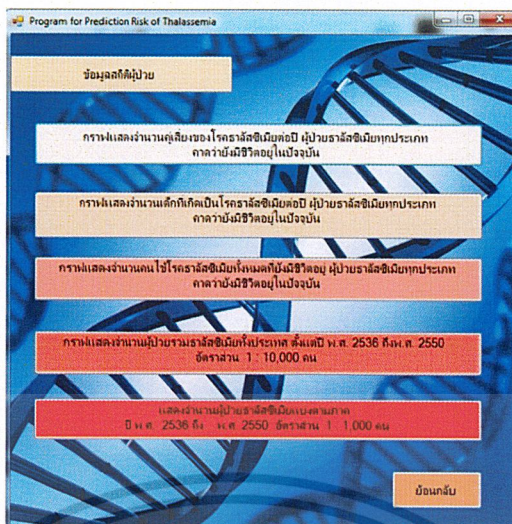
รูปที่ 4.68 หน้าต่างแสดงการคำนวณความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของ โรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างชนิดของ โรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม จะเข้าสู่หน้าต่างข้อมูลสถิติผู้ป่วย จะแสดงกราฟต่างๆ ดังนี้ ปุ่มกราฟแสดงจำนวนคู่เสี่ยงของโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน ปุ่มกราฟแสดงจำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภทคาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน ปุ่มกราฟแสดงจำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภทคาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน ปุ่มกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน และปุ่มกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยธาลัสซีเมียแบ่งตามภาค ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 1,000 คน

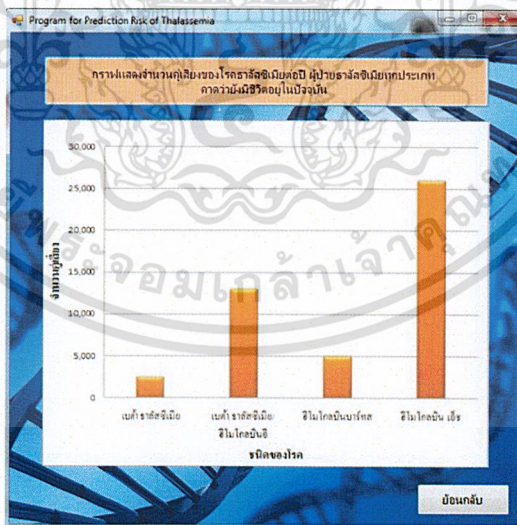
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.69 หน้าต่างแสดงข้อมูลสถิติของผู้ป่วย

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างชนิดของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม เมื่อต้องการดูกราฟแสดงจำนวนคู่เสี่ยงของโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน



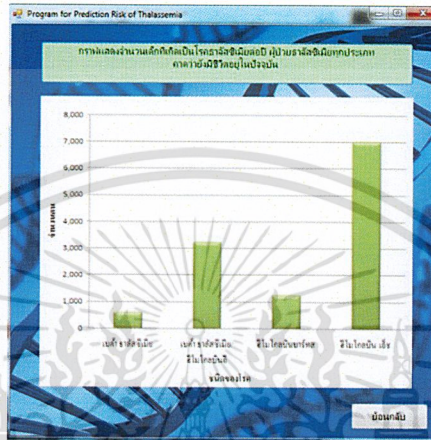
รูปที่ 4.70 หน้าต่างกราฟแสดงจำนวนคู่เสี่ยงของโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างข้อมูลสถิติผู้ป่วย

กดปุ่ม **กราฟแสดงจำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน** เมื่อ

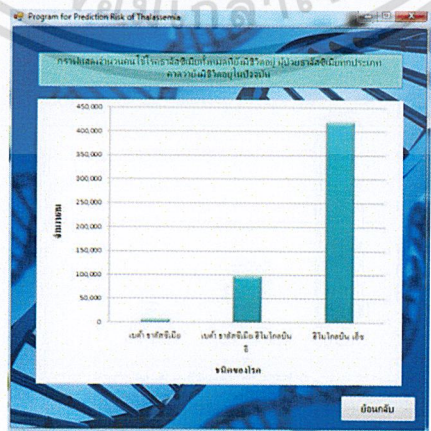
ต้องการดูกราฟแสดงจำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภทคาดว่า ยังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 4.71 หน้าต่างกราฟแสดงจำนวนเด็กที่เกิดเป็นโรคธาลัสซีเมียต่อปี ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภทคาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้าต่างข้อมูลสถิติผู้ป่วย

กดปุ่ม **กราฟแสดงจำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภท คาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน** เมื่อต้องการดูกราฟแสดงจำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกประเภทคาดว่ายังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน

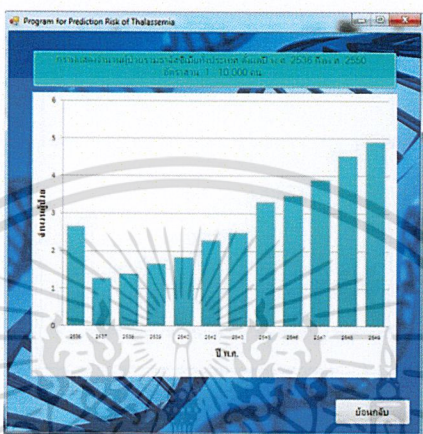


เอกสารรูปที่ 4.72 หน้าต่างกราฟแสดงจำนวนคนไข้โรคธาลัสซีเมียทั้งหมดที่ยังมีชีวิตอยู่ ผู้ป่วยธาลัสซีเมียทุกรายที่รอดชีวิตกลับมาใช้ชีวิตประจำวันและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างข้อมูลสถิติผู้ป่วย

กดปุ่ม **กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน** เมื่อต้องการดูกราฟ

แสดงจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน

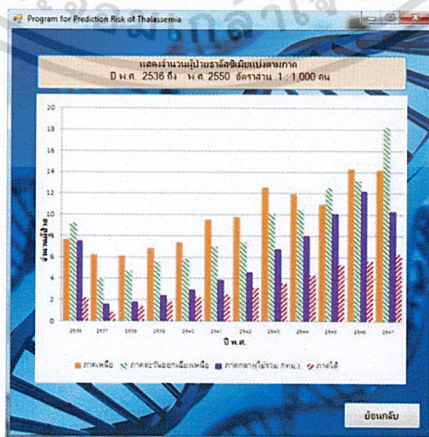


รูปที่ 4.73 หน้าต่างแสดงกราฟจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน

กดปุ่ม **ย้อนกลับ** เมื่อต้องการกลับไปสู่นำหน้าต่างข้อมูลสถิติผู้ป่วย

กดปุ่ม **แสดงจำนวนผู้ป่วยธาลัสซีเมียแบ่งตามภาค ปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 1,000 คน** เมื่อต้องการดู

กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน



เอกสารรูปที่ 4.74 หน้าต่างแสดงกราฟจำนวนผู้ป่วยรวมธาลัสซีเมียทั้งประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ถึงพ.ศ. 2550 อัตราส่วน 1 : 10,000 คน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม กรุณาแจ้งให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่นำต่างข้อมูลสถิติผู้ป่วย

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่นำต่างชนิดของโรคธาลัสซีเมีย

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปหน้าหลักของโปรแกรม

กดปุ่ม ที่หน้าจอ โปรแกรมหลัก จะมีหน้าต่างขึ้นมาถามว่า คุณต้องการออกจากโปรแกรมหรือไม่



รูปที่ 4.75 หน้าต่างคำถามออกจากโปรแกรม

กดปุ่ม จะทำการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ตัวอย่างการทำนาย

จากที่ได้ทำการทดสอบ

แบบจำลองที่ 1 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

สัดส่วนยีนของคนปกติ(x) สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y) และสัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)

แบบจำลองที่ 2 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

สัดส่วนยีนของคนปกติ(e) สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(f) สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบินอี(g) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) และสัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมซัยกัสฮีโมโกลบินอี(j)

แบบจำลองที่ 3 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

สัดส่วนยีนของคนปกติ(p) สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย2(q) สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย1(r) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t) และสัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u)

เราสามารถลดโอกาสเสี่ยงของโรคธาลัสซีเมีย เมื่อพารามิเตอร์แต่ละตัวมีค่าดังนี้

จากแบบจำลองที่ 1 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= x_n^2 + x_n y_n + \frac{1}{4} y_n^2 \\y_{n+1} &= x_n y_n + 2x_n z_n + \frac{1}{2} y_n^2 + y_n z_n \\z_{n+1} &= \frac{1}{4} y_n^2 + y_n z_n + z_n^2\end{aligned}$$

โดยที่ n แทน ประชากรรุ่นที่ n

แบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

กรณี 1 (สัดส่วนยีน $x < y > z$)

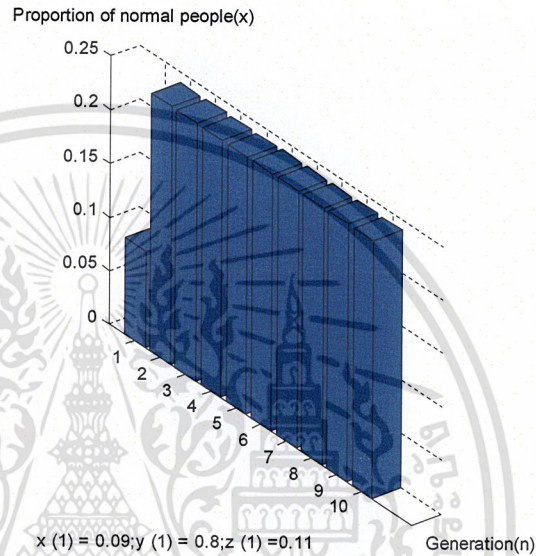
-สัดส่วนยีนของคนปกติ(x) เป็น 0.09

-สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y) เป็น 0.8

-สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z) เป็น 0.11

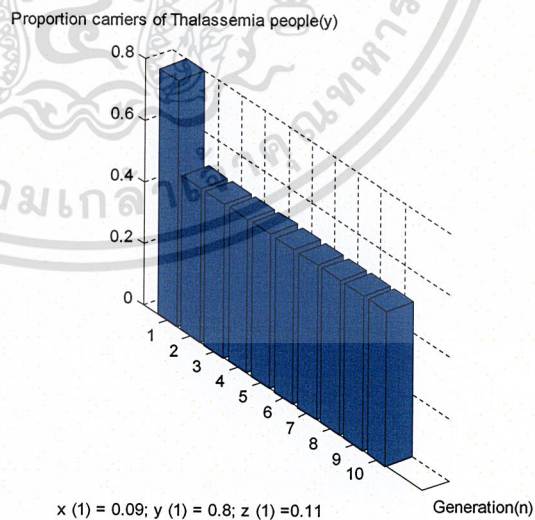
โดยที่ $n = 10$

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนปกติ
1	0.09
2	0.24
3	0.24
4	0.24
5	0.24
6	0.24
7	0.24
8	0.24
9	0.24
10	0.24



รูปที่ 4.76 สัดส่วนยีนของประชากรที่จะเป็นปกติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป

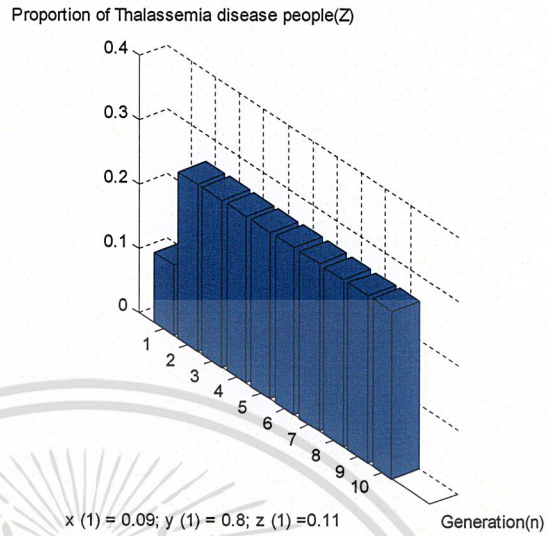
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะ
1	0.8
2	0.5
3	0.5
4	0.5
5	0.5
6	0.5
7	0.5
8	0.5
9	0.5
10	0.5



รูปที่ 4.77 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)มีแนวโน้มลดลงจนถึงรุ่นที่2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคธาลัสซีเมีย
1	0.11
2	0.26
3	0.26
4	0.26
5	0.26
6	0.26
7	0.26
8	0.26
9	0.26
10	0.26



รูปที่ 4.78 สัดส่วนยีนของประชากรที่เป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป

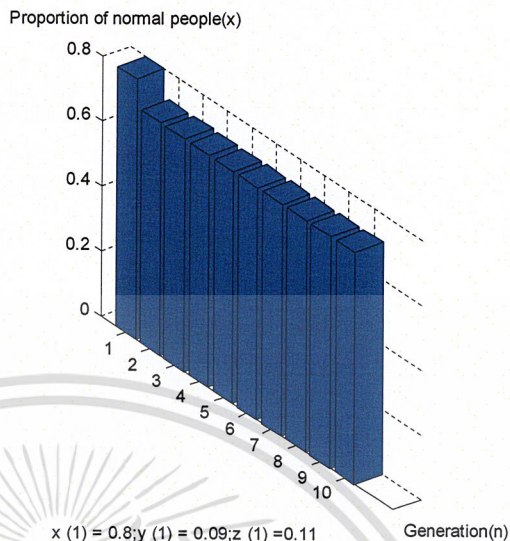
กรณี 2 (สัดส่วนยีน $x > y < z$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(x) เป็น 0.8
- สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y) เป็น 0.09
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z) เป็น 0.11

โดยที่ $n = 10$

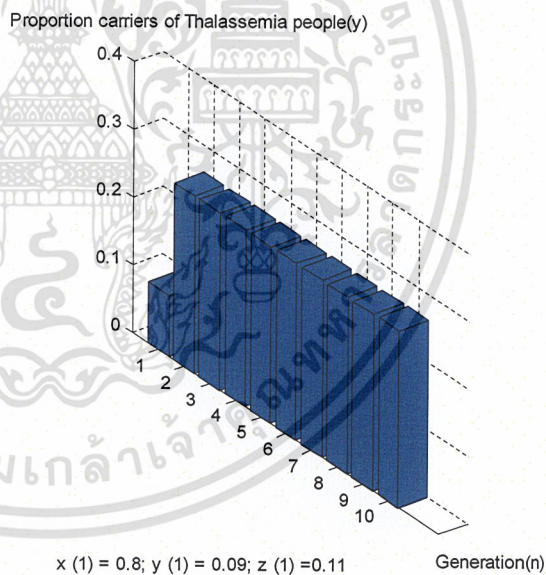
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นคนปกติ
1	0.8
2	0.714
3	0.714
4	0.714
5	0.714
6	0.714
7	0.714
8	0.714
9	0.714
10	0.714



รูปที่ 4.79 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นปกติ(x) มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 2 และเสถียรในรุ่นถัดไป

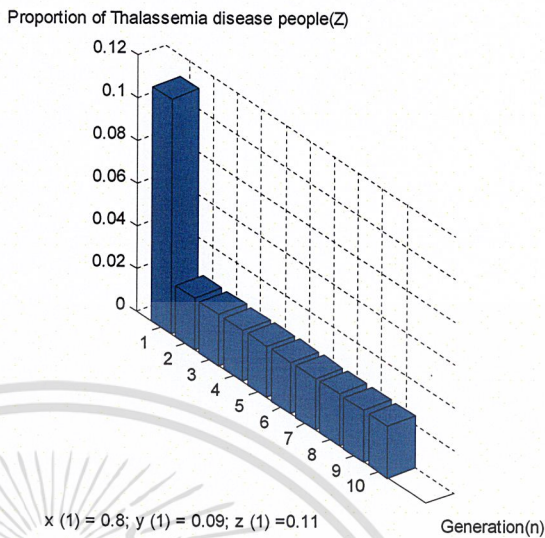
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย
1	0.11
2	0.262
3	0.262
4	0.262
5	0.262
6	0.262
7	0.262
8	0.262
9	0.262
10	0.262



รูปที่ 4.80 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคธาลัสซีเมีย
1	0.11
2	0.024
3	0.024
4	0.024
5	0.024
6	0.024
7	0.024
8	0.024
9	0.024
10	0.024



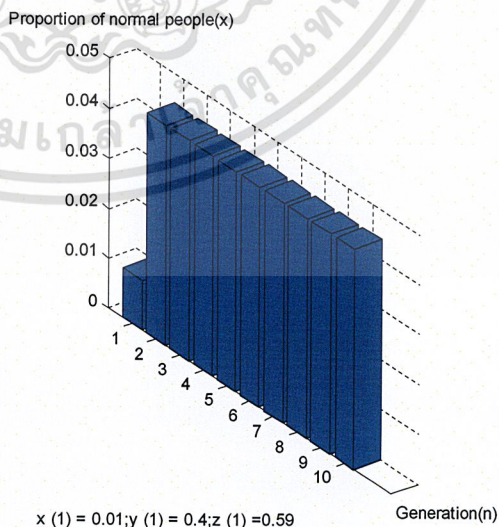
รูปที่ 4.81 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแนวโน้มลดลงจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป

กรณี 3 (สัดส่วนยีน $x < y < z$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(x)เป็น 0.01
- สัดส่วนยีนของคน(y)เป็น 0.4
- สัดส่วนยีนของเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)เป็น 0.59

โดยที่ $n = 10$

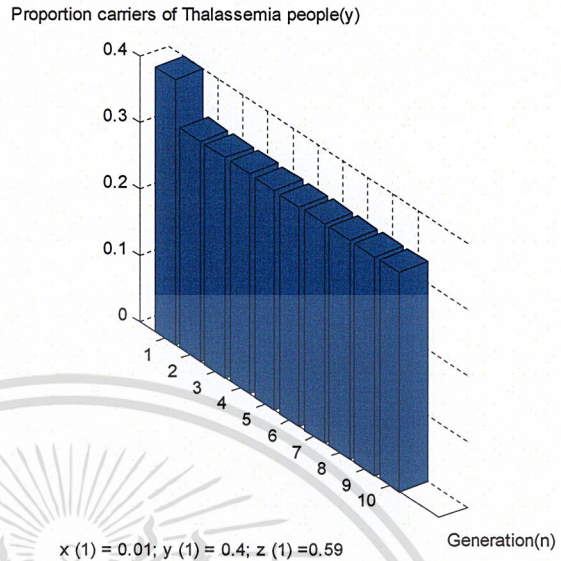
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นคนปกติ
1	0.01
2	0.0441
3	0.0441
4	0.0441
5	0.0441
6	0.0441
7	0.0441
8	0.0441
9	0.0441
10	0.0441



รูปที่ 4.82 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นปกติ(x)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถึงรุ่นที่2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป

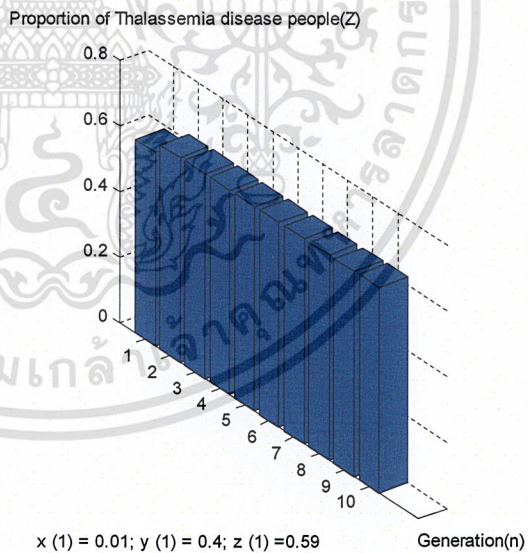
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำเนื้อหาแบบฉบับหรือเนื้อหาการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นพาหะธาลัสซีเมีย
1	0.4
2	0.332
3	0.332
4	0.332
5	0.332
6	0.332
7	0.332
8	0.332
9	0.332
10	0.332



รูปที่ 4.83 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)มีแนวโน้มลดลงจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย
1	0.59
2	0.624
3	0.624
4	0.624
5	0.624
6	0.624
7	0.624
8	0.624
9	0.624
10	0.624



รูปที่ 4.84 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

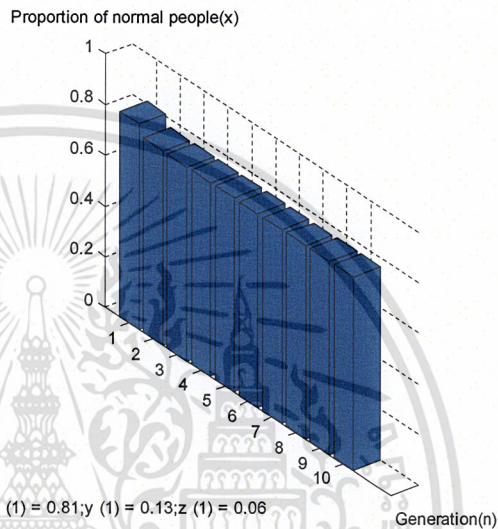
กรณี 4 (สัดส่วนยีน $x > y > z$)

-สัดส่วนยีนของคนปกติ(x)เป็น 0.81

-สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)เป็น 0.13

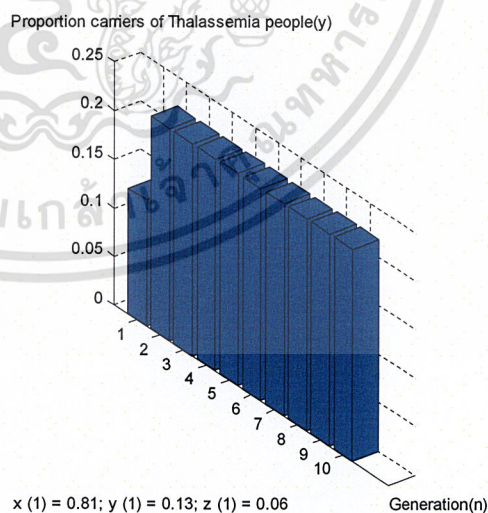
-สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)เป็น 0.06

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย
1	0.81
2	0.766
3	0.766
4	0.766
5	0.766
6	0.766
7	0.766
8	0.766
9	0.766
10	0.766



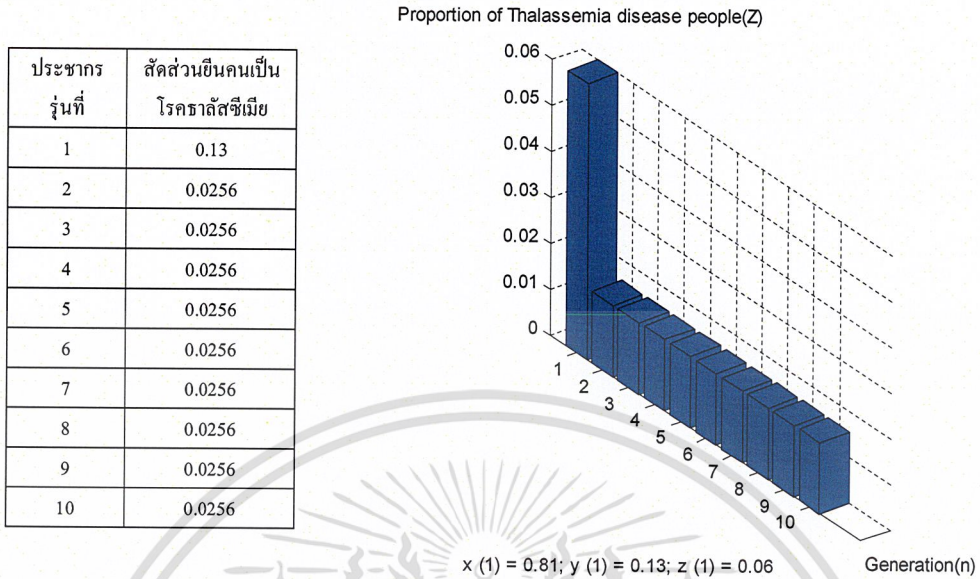
รูปที่ 4.85 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นปกติ(x)มีแนวโน้มลดลงจนถึงรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรในรุ่นต่อไป

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นพาหะธาลัสซีเมีย
1	0.06
2	0.269
3	0.269
4	0.269
5	0.269
6	0.269
7	0.269
8	0.269
9	0.269
10	0.269



รูปที่ 4.86 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.87 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z)มีแนวโน้มลดลงในรุ่นที่ 2 และมีความเสถียรรุ่นต่อไป

จากแบบจำลองที่ 2 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า

$$e_{n+1} = e_n^2 + e_n f_n + e_n g_n + \frac{1}{4} f_n^2 + \frac{1}{2} f_n g_n + \frac{1}{4} g_n^2$$

$$f_{n+1} = e_n f_n + \frac{1}{2} f_n^2 + \frac{1}{2} f_n g_n$$

$$g_{n+1} = e_n g_n + \frac{1}{2} f_n g_n + \frac{1}{2} g_n^2$$

$$h_{n+1} = \frac{1}{4} f_n^2$$

$$i_{n+1} = \frac{1}{2} f_n g_n$$

$$j_{n+1} = \frac{1}{4} g_n^2$$

โดยที่ n แทน ประชากรรุ่นที่ n

แบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

หมายเหตุ: โรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) โรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) และโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสฮีโมโกลบินอี(j) เป็นความผิดปกติในโครงสร้างของสายเบต้าโกลบิน (β -globin) ที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติของยีนเบต้า (β -gene) ผู้ป่วยจะมีอาการซีดเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่แล้วไม่ซีดจนออกเสียจากมีภาวะโลหิตจางจากการขาดเหล็กร่วมด้วย จะมีสุขภาพดีปกติ ไม่มีอาการทางคลินิก ไม่ต้องรักษา สามารถมีชีวิตเหมือนคนปกติ

จึงกำหนดให้

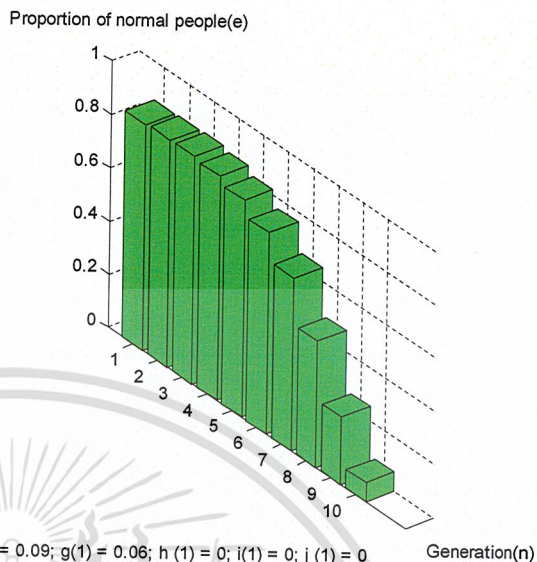
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสฮีโมโกลบินอี(j) เป็น 0

กรณี 1 (สัดส่วนยีน $e > f > g, h=0, i=0$ และ $j=0$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(e) เป็น 0.85
- สัดส่วนยีนของคนพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f) เป็น 0.09
- สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี(g) เป็น 0.06
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสฮีโมโกลบินอี(j) เป็น 0

โดยที่ $n = 10$

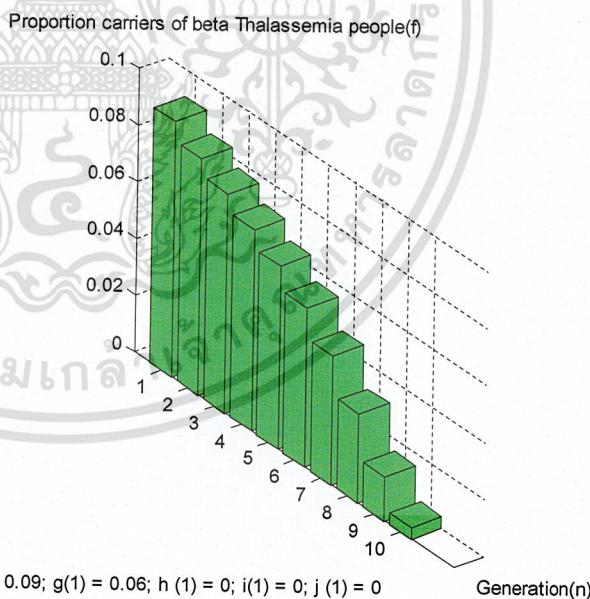
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นปกติ
1	0.85
2	0.856
3	0.856
4	0.846
5	0.819
6	0.761
7	0.653
8	0.477
9	0.253
10	0.0706



$e(1) = 0.85; f(1) = 0.09; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$

รูปที่ 4.88 สัดส่วนยีนประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 มีความเสถียรไปรุ่นที่ 3 และลดลงในรุ่นต่อไป

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย
1	0.09
2	0.0832
3	0.077
4	0.0708
5	0.0641
6	0.0559
7	0.0452
8	0.0452
9	0.0157
10	0.00417



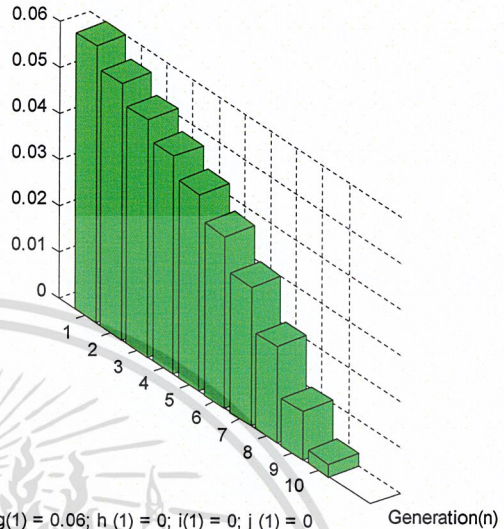
$e(1) = 0.85; f(1) = 0.09; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$

รูปที่ 4.89 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)มีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี
1	0.06
2	0.0555
3	0.0513
4	0.0472
5	0.0427
6	0.0373
7	0.301
8	0.0208
9	0.0105
10	0.00278

Proportion carriers of beta Thalassemia hemoglobin E people(g)

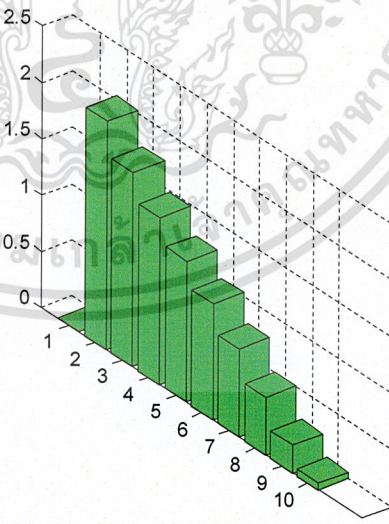


$e(1) = 0.85; f(1) = 0.09; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$

รูปที่ 4.90 สัดส่วนยีนของประชากรคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี(g)มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 6 และเสถียรในรุ่นต่อไป

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นโรคโลหิตจางชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย
1	0
2	0.00202
3	0.00173
4	0.00148
5	0.00125
6	0.00103
7	0.000782
8	0.000511
9	0.000243
10	6.15e-005

Proportion of species Homozygous beta Thalassemia people(h)



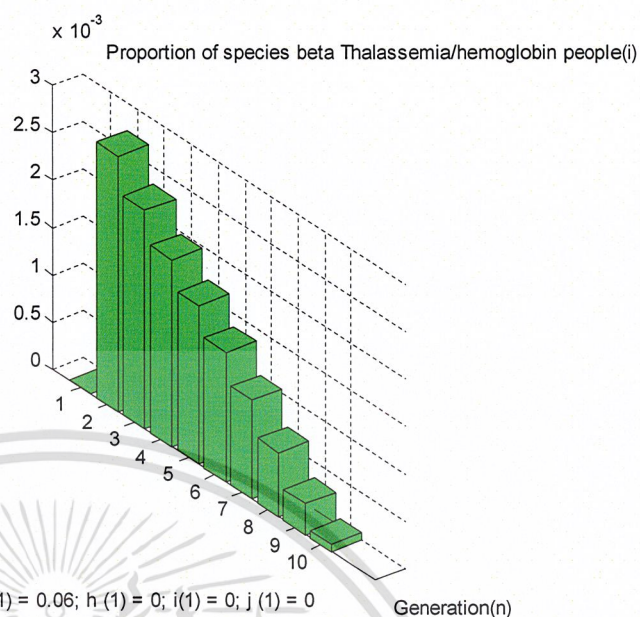
$e(1) = 0.85; f(1) = 0.09; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$

รูปที่ 4.91 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h)มีแนวโน้ม

เพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 ลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

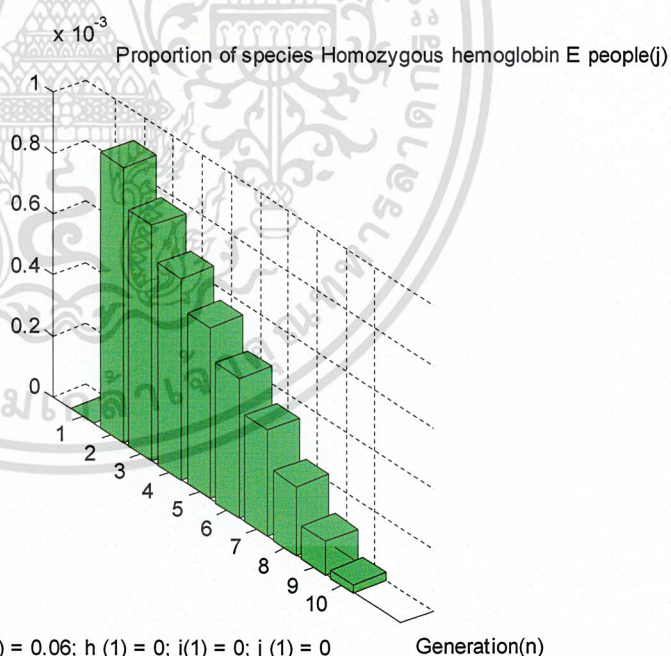
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมียซีโมโกลบิน
1	0
2	0.0027
3	0.00231
4	0.00198
5	0.00167
6	0.00137
7	0.00104
8	0.000681
9	0.000324
10	8.2e-005



รูปที่ 4.92 สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ซีโมโกลบิน(i) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิดโฮโมซัยกัสซีโมโกลบิน อี
1	0
2	0.0009
3	0.00072
4	0.000659
5	0.000557
6	0.000457
7	0.000348
8	0.000227
9	0.000108
10	2.73e-005



รูปที่ 4.93 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสซีโมโกลบินอี(j) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 2 (สัดส่วนยีน $e > f < g$, $h=0, i=0$ และ $j=0$)

-สัดส่วนยีนของคนปกติ(e)เป็น 0.85

-สัดส่วนยีนของคนพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)เป็น 0.06

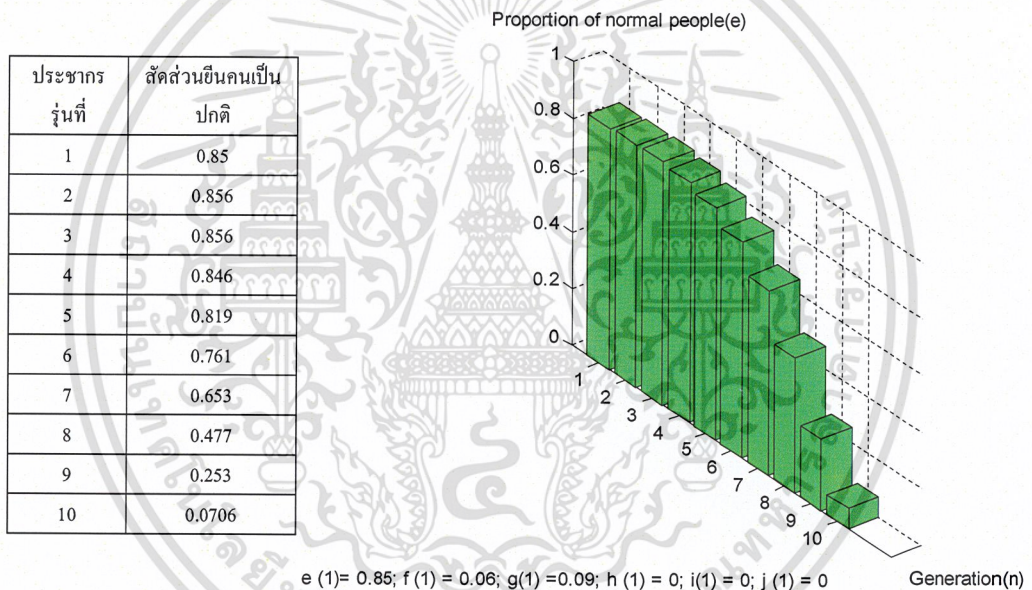
-สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี(g)เป็น 0.09

-สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสบีตาธาลัสซีเมีย(h)เป็น 0

-สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบินอี(i)เป็น 0

-สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัฮีโมโกลบินอี(j)เป็น 0

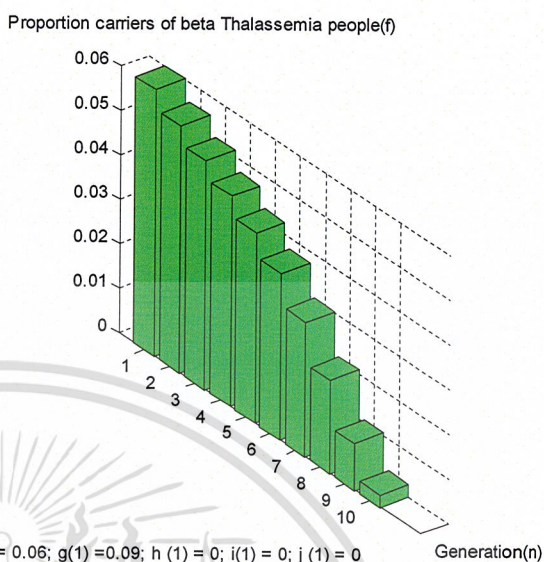
โดยที่ $n = 10$



รูปที่ 4.94 สัดส่วนยีนประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 มีความเสถียรไปรุ่นที่ 3 และลดลงในรุ่นต่อไป

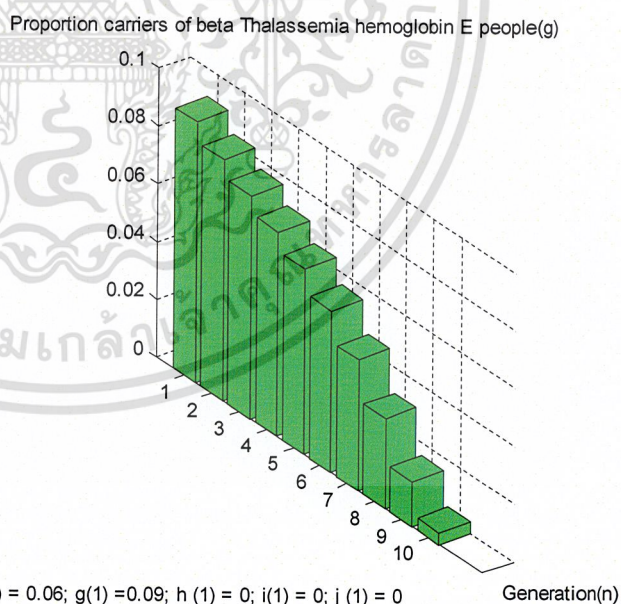
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย
1	0
2	0.0009
3	0.000267
4	7.94e-005
5	1.48e-005
6	8.91e-007
7	4.94e-009
8	2.16e-013
9	5.54e-022
10	4.74e-039



รูปที่ 4.95 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 8 และเสถียรรุ่นต่อไป

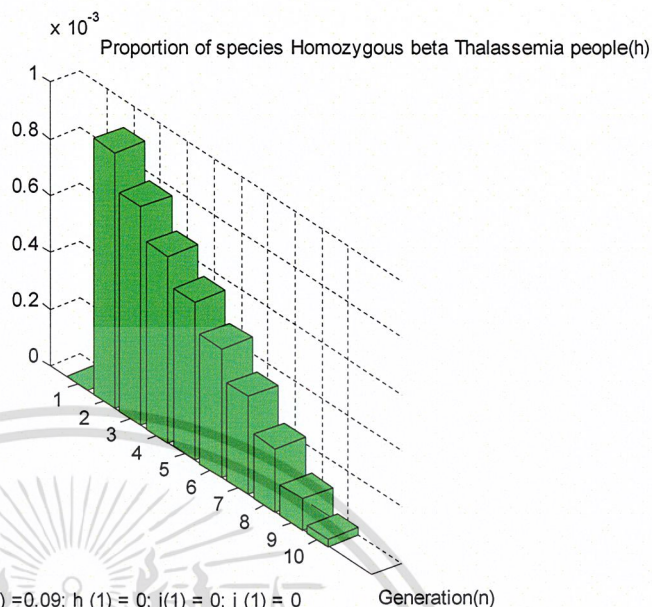
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี
1	0.09
2	0.0327
3	0.0178
4	0.0077
5	0.00189
6	0.000141
7	9.29e-007
8	4.17e-011
9	1.38e-019
10	1.32e-036



รูปที่ 4.96 สัดส่วนยีนของประชากรคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี(g)มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

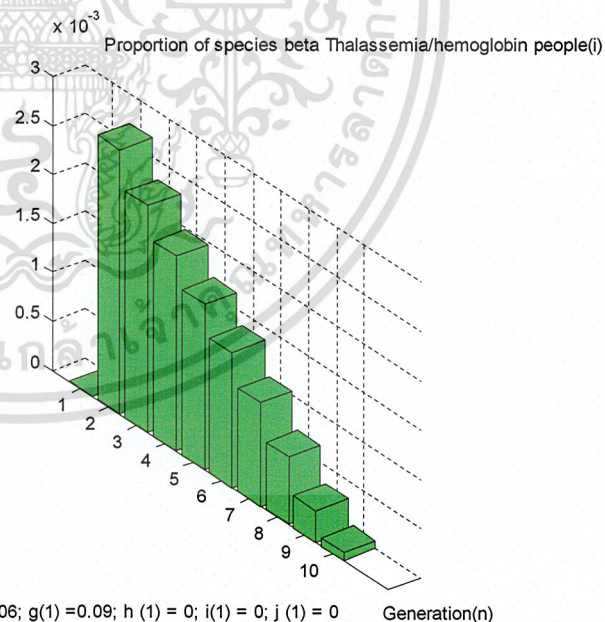
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรค ชนิดโฮโมซัยกัส ฮีโมโกลบิน บี
1	0
2	0.0009
3	0.00077
4	0.000659
5	0.000557
6	0.000457
7	0.000348
8	0.000227
9	0.000108
10	2.73e-005



รูปที่ 4.97 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 ลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมาและเสถียรในรุ่นที่ 6

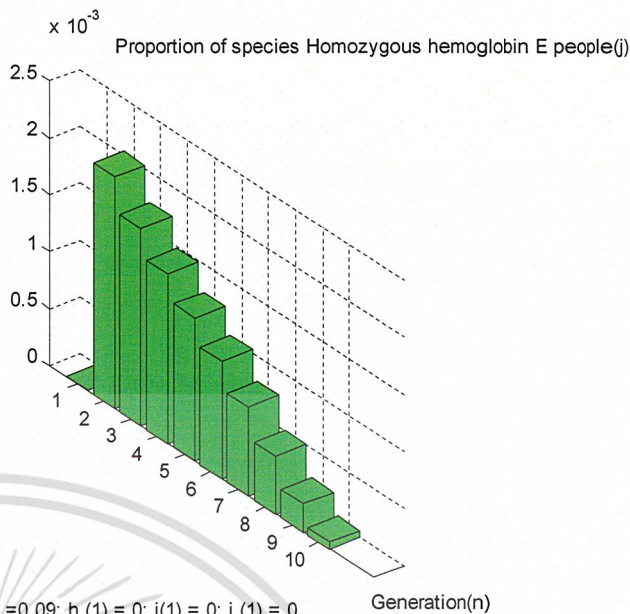
ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิด เบต้าธาลัสซีเมีย/ ฮีโมโกลบิน
1	0
2	0.0255
3	0.00757
4	0.00225
5	0.00042
6	2.53e-0005
7	9.91e-007
8	4.33e-011
9	1.11e-019
10	19.51e-037



รูปที่ 4.98 สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นโรคชนิดโฮโมซัยกัสโฮโมโกลบินอี
1	0
2	0.00202
3	0.00173
4	0.00148
5	0.00125
6	0.00103
7	0.000782
8	0.000511
9	0.000243
10	6.15e-005



รูปที่ 4.99 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสโฮโมโกลบินอี(j) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

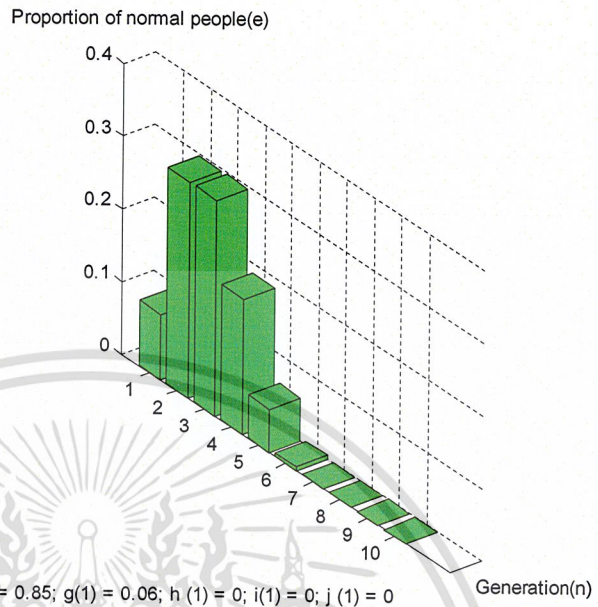
กรณี 3 (สัดส่วนยีน $e < f, h = 0, i = 0$ และ $j = 0$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(e)เป็น 0.09
- สัดส่วนยีนของคนพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)เป็น 0.85
- สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียโฮโมโกลบินอี(g)เป็น 0.06
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/โฮโมโกลบินอี(i)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสโฮโมโกลบินอี(j)เป็น 0

โดยที่ $n = 10$

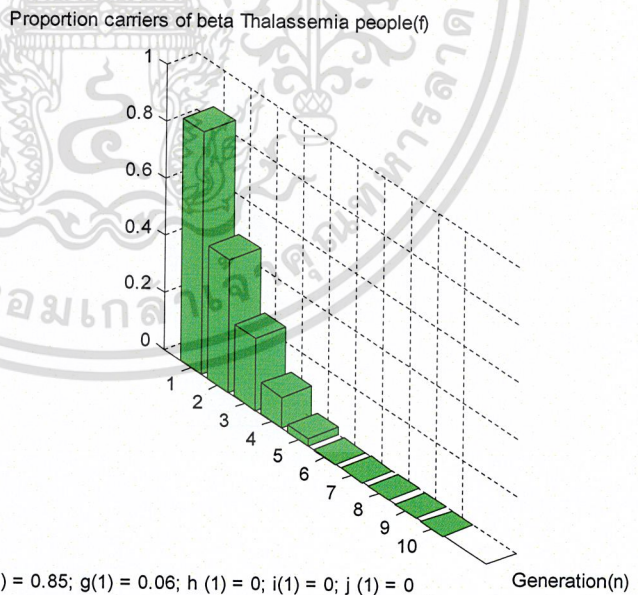
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นปกติ
1	0.09
2	0.297
3	0.297
4	0.187
5	0.0601
6	0.000554
7	4.36e-005
8	2.57e-009
9	8.56e-018
10	9.22e-035



รูปที่ 4.100 สัดส่วนยีนประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 มีความเสถียรไปรุ่นที่ 3 และลดลงในรุ่นต่อไป

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย
1	0.85
2	0.463
3	0.252
4	0.109
5	0.0268
6	0.00199
7	1.32e-005
8	6.67e-010
9	1.95e-018
10	1.87e-035

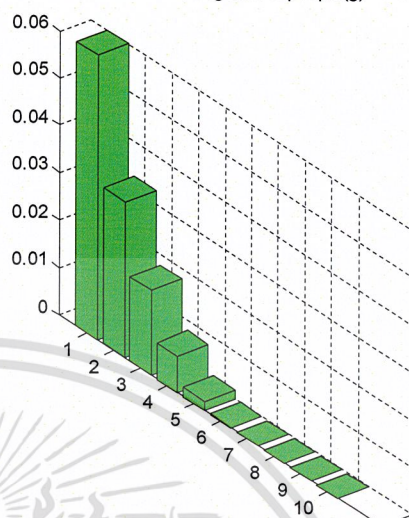


รูปที่ 4.101 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมีย(f)มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่8 และเสถียรรุ่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็น พาหะเบต้า ธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบิน E
1	0.06
2	0.0327
3	0.0178
4	0.0077
5	0.00189
6	0.000141
7	9.29e-007
8	4.17e-011
9	1.38e-019
10	1.32e-036

Proportion carriers of beta Thalassemia hemoglobin E people(g)



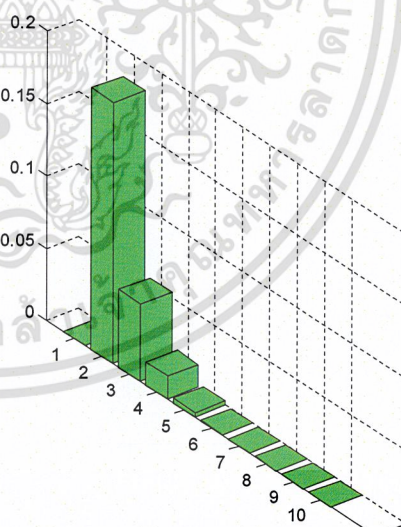
$$e(1) = 0.09; f(1) = 0.85; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$$

Generation(n)

รูปที่ 4.102 สัดส่วนยีนของประชากรคนเป็นพาหะเบต้าธาลัสซีเมียฮีโมโกลบินอี(g)มีแนวโน้มลดลงถึงรุ่นที่ 6 และเสถียรในรุ่นต่อไป

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนคนเป็นโรคฯ ชนิดโฮโมซัยกัสเบต้า ธาลัสซีเมีย
1	0
2	0.181
3	0.0537
4	0.0159
5	0.00298
6	0.000179
7	9.91e-007
8	4.33e-011
9	1.11e-019
10	19.51e-037

Proportion of species Homozygous beta Thalassemia people(h)



$$e(1) = 0.09; f(1) = 0.85; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$$

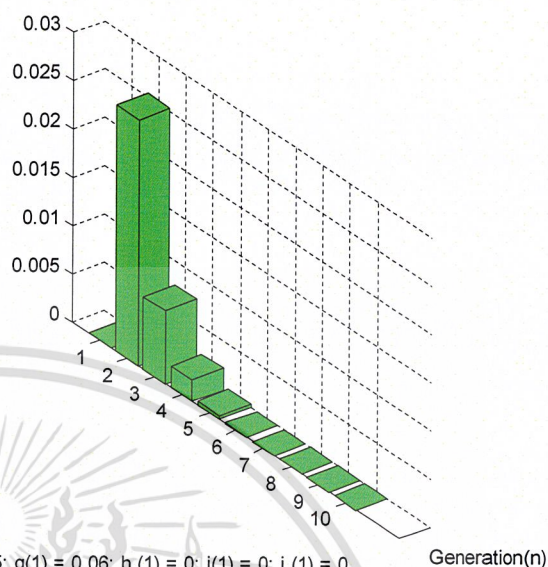
Generation(n)

รูปที่ 4.103 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 ลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมาและเสถียรในรุ่นที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิดโฮ โมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย ฮีโมโกลบิน
1	0
2	0.0255
3	0.00757
4	0.00225
5	0.00042
6	2.53e-0005
7	9.91e-007
8	4.33e-011
9	1.11e-019
10	19.51e-037

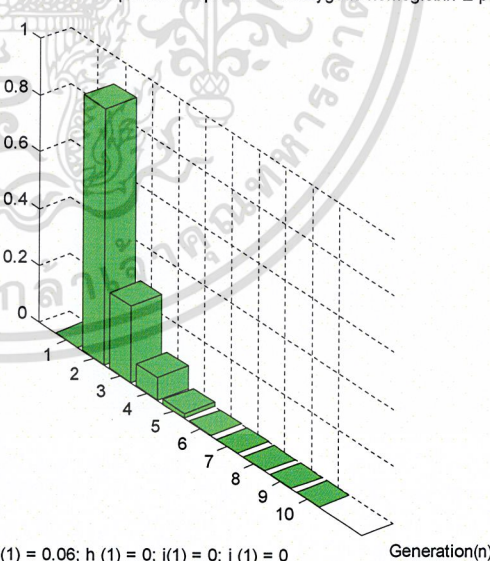
Proportion of species beta Thalassemia/hemoglobin people(i)



$$e(1) = 0.09; f(1) = 0.85; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$$

รูปที่ 4.104 สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรค ชนิดโฮโมซัยกัส ฮีโมโกลบิน E
1	0
2	0.0009
3	0.000267
4	7.94e-005
5	1.48e-005
6	8.91e-007
7	4.94e-009
8	2.16e-013
9	5.54e-022
10	4.74e-039

x 10⁻³ Proportion of species Homozygous hemoglobin E people(j)

$$e(1) = 0.09; f(1) = 0.85; g(1) = 0.06; h(1) = 0; i(1) = 0; j(1) = 0$$

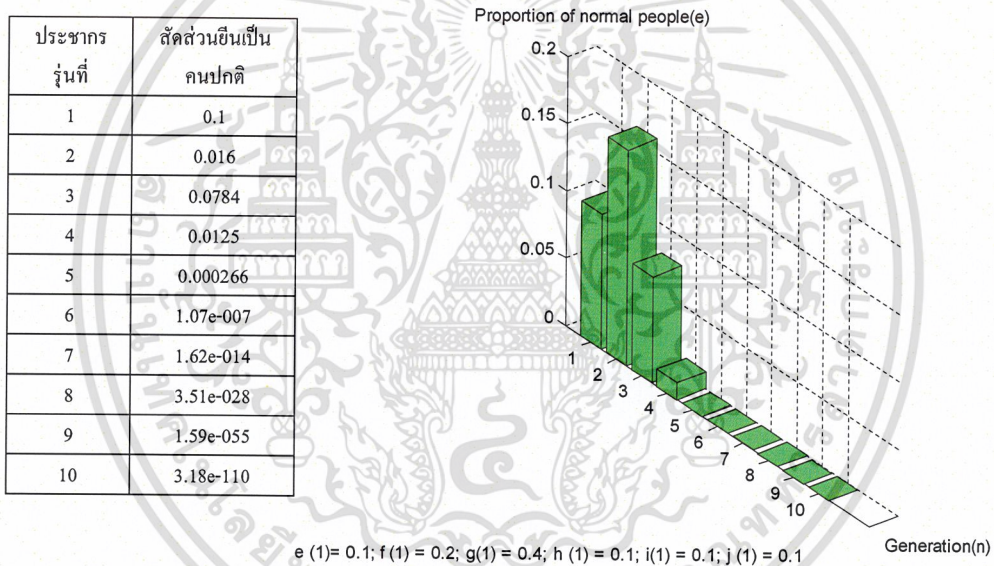
รูปที่ 4.105 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสฮีโมโกลบินอี(j) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 4 (สัดส่วน $e < f < g$, $h=0$, $i=0$ และ $j=0$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(e)เป็น 0.1
- สัดส่วนยีนของคนพาหะโรคราลัสซีเมีย(f)เป็น 0.2
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคราลัสซีเมีย(g)เป็น 0.4
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคราลัสซีเมียโฮโมซัยกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h)เป็น 0.1
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคราลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i)เป็น 0.1
- สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคราลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัสฮีโมโกลบินอี(j)เป็น 0.1

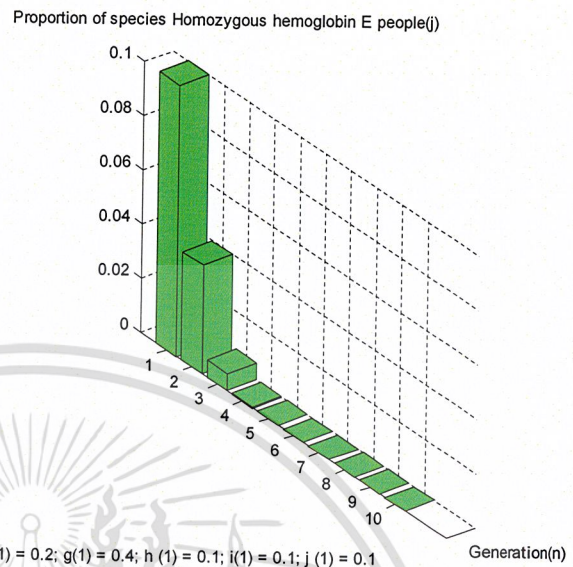
โดยที่ $n = 10$



รูปที่ 4.106 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นคนปกติ(e)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น พาหะเบต้าธาลัสซีเมีย/ ฮีโมโกลบินอี
1	0.1
2	0.01
3	0.0016
4	0.000125
5	1.57e-006
6	4.18e-007
7	4.48e-017
8	7.25e-031
9	2.55e-058
10	4.05e-113



รูปที่ 4.111 สัดส่วนยีนของประชากรคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมซัยกัฮีโมโกลบินอี(j)มีแนวโน้มลดลง

จากแบบจำลองที่ 3 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา

$$p_{n+1} = p_n^2 + p_n q_n + p_n r_n + \frac{1}{4} q_n^2 + \frac{1}{2} q_n r_n + \frac{1}{4} r_n^2$$

$$q_{n+1} = p_n q_n + \frac{1}{2} q_n^2 + \frac{1}{2} q_n r_n$$

$$r_{n+1} = p_n r_n + \frac{1}{2} q_n r_n + \frac{1}{2} r_n^2$$

$$s_{n+1} = \frac{1}{4} q_n^2$$

$$t_{n+1} = \frac{1}{2} q_n r_n$$

$$u_{n+1} = \frac{1}{4} r_n^2$$

โดยที่ n แทน ประชากรรุ่นที่ n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

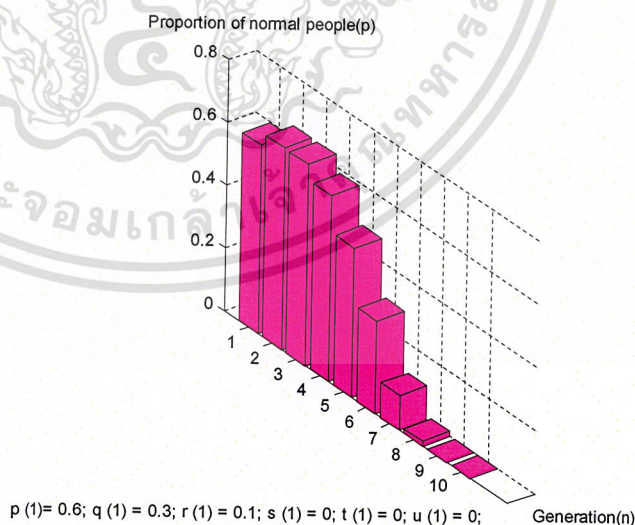
หมายเหตุ: โรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s) โรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t) ส่วนใหญ่มีอาการน้อย ยกเว้นบางรายอาการรุนแรงคล้ายเบ ต้า-ธาลัสซีเมียได้ ผู้ป่วยชนิดเล็กน้อย และ โรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท (u) เป็นชนิดที่รุนแรงที่สุด เด็กทารกจะเสียชีวิตตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือตายทันทีหลังคลอด

- จึงกำหนดให้
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s)เป็น 0
 - สัดส่วนยีนของคนที่เป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t)เป็น 0
 - สัดส่วนยีนของคนที่เป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u)เป็น 0

กรณี 1 ($p > q > r, s=0, t=0$ และ $u=0$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(p)เป็น 0.6
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย2(q)เป็น 0.3
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย1(r)เป็น 0.1
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็น โรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u)เป็น 0

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น คนปกติ
1	0.6
2	0.64
3	0.64
4	0.59
5	0.474
6	0.293
7	0.109
8	0.0145
9	0.000256
10	7.8×10^{-8}

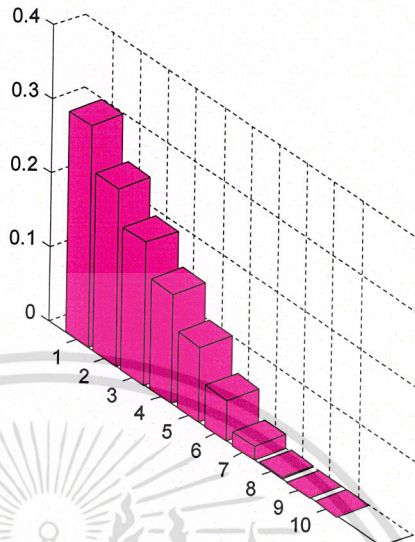


รูปที่ 4.112 สัดส่วนยีนของประชากรคนปกติ(p)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในรุ่นที่2 เสถียรถึงรุ่นที่ 3 และลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะแอลฟา 2
1	0.3
2	0.24
3	0.192
4	0.147
5	0.101
6	0.0549
7	0.0181
8	0.00218
9	3.49e-005
10	9.7e-009

Proportion carriers of alpha Thalassemia 2 people(q)



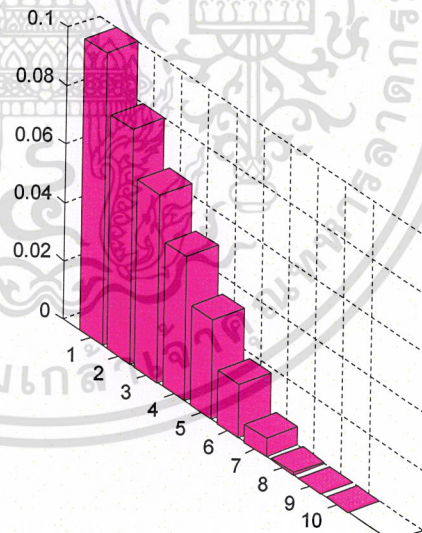
$p(1) = 0.6; q(1) = 0.3; r(1) = 0.1; s(1) = 0; t(1) = 0; u(1) = 0;$

Generation(n)

รูปที่ 4.113 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (q) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะแอลฟา 1
1	0.1
2	0.08
3	0.064
4	0.0492
5	0.0338
6	0.0183
7	0.00603
8	0.000727
9	1.16e-005
10	3.25e-009

Proportion carriers of alpha Thalassemia 1 people(r)



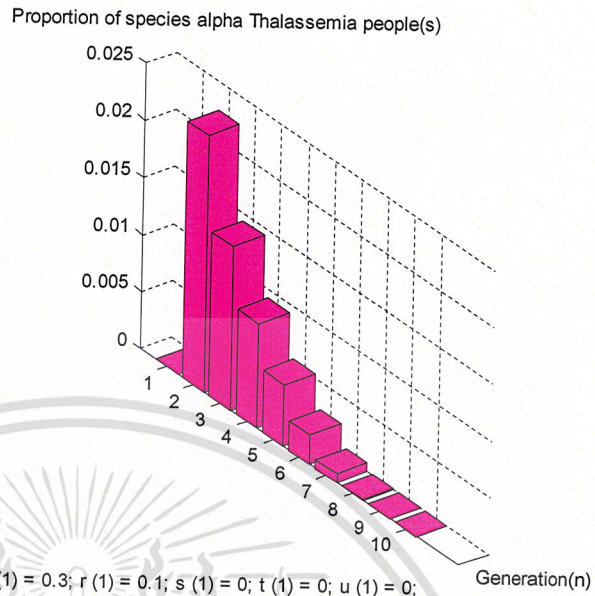
$p(1) = 0.6; q(1) = 0.3; r(1) = 0.1; s(1) = 0; t(1) = 0; u(1) = 0;$

Generation(n)

รูปที่ 4.114 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (r) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

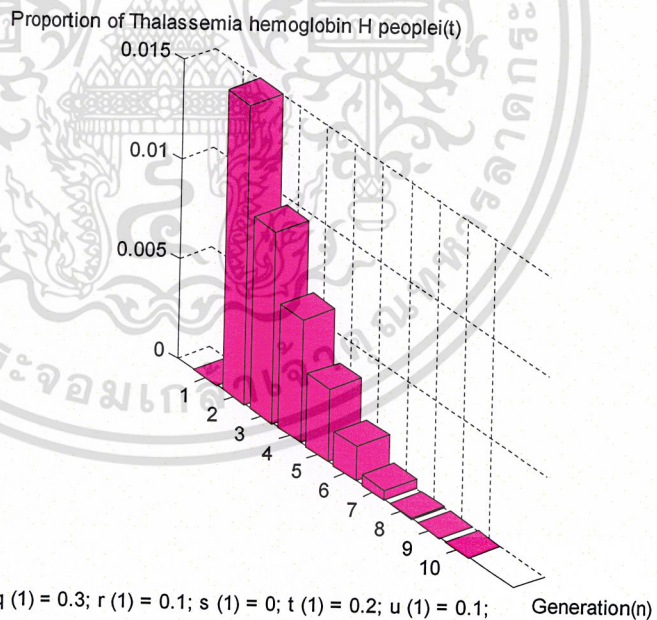
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น โรคชนิดแอลฟา
1	0
2	0.0225
3	0.0144
4	0.00922
5	0.00544
6	0.00257
7	0.000754
8	8.18e-005
9	1.19e-006
10	3.05e-010



รูปที่ 4.115 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเรื่อยๆ

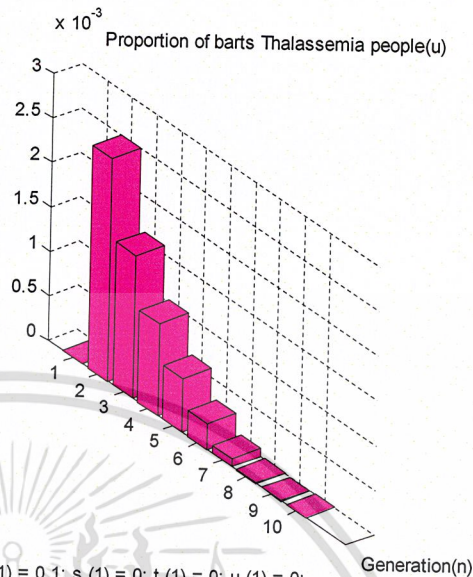
ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น โรคชนิด ฮีโมโกลบินเอช
1	0
2	0.015
3	0.0096
4	0.00614
5	0.06362
6	0.00172
7	0.000503
8	5.46e-005
9	7.94e-007
10	2.03e-010



รูปที่ 4.116 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิดบาร์ท
1	0
2	0.0025
3	0.0016
4	0.00102
5	0.000604
6	0.000286
7	8.38e-005
8	9.09e-006
9	1.32e-007
10	3.39e-011



รูปที่ 4.117 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และลดลงเรื่อยๆรุ่นถัดมา

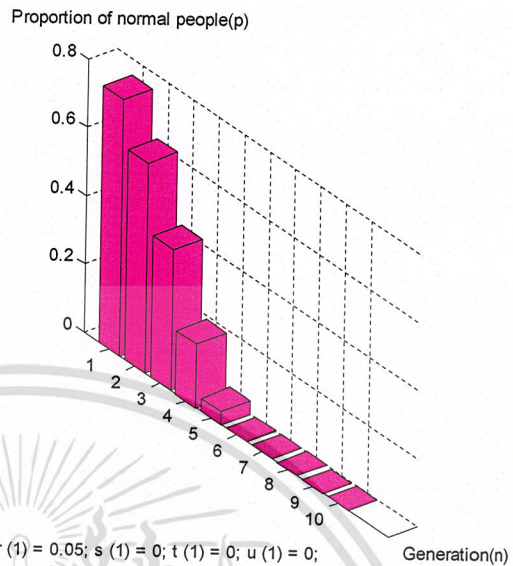
กรณี 2 ($p > q < r$, $s = 0, t = 0$ และ $u = 0$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(p)เป็น 0.75
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (q)เป็น 0.02
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (r)เป็น 0.05
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u)เป็น 0

โดยที่ $n = 10$

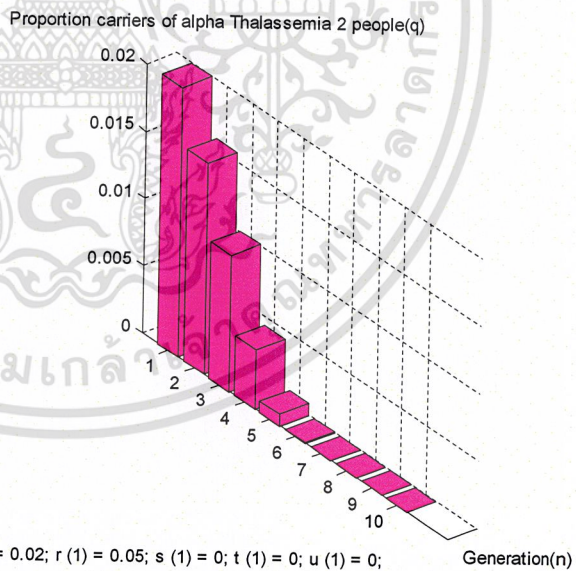
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นคนปกติ
1	0.75
2	0.616
3	0.414
4	0.187
5	0.0378
6	0.00154
7	2.55e-006
8	7e-012
9	5.25e-023
10	2.95e-045



รูปที่ 4.118 สัดส่วนยีนของคนปกติ(p)รุ่นที่1 เป็น 0.75 จำนวนประชากรเป็นคนปกติมีแนวโน้มลดลง

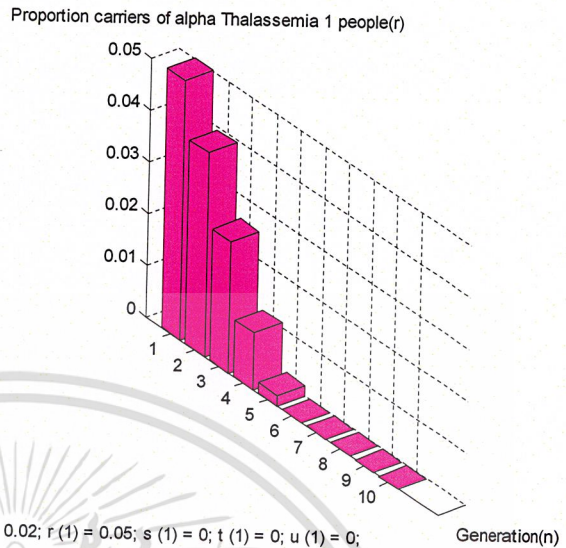
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะแอลฟา2
1	0.02
2	0.0157
3	0.0101
4	0.00437
5	0.000848
6	3.33e-005
7	5.32e-008
8	1.41e-013
9	1.02e-024
10	5.53e-047



รูปที่ 4.119 สัดส่วนยีนของประชากรที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย2(q)รุ่นที่1 เป็น 0.2 จำนวนประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

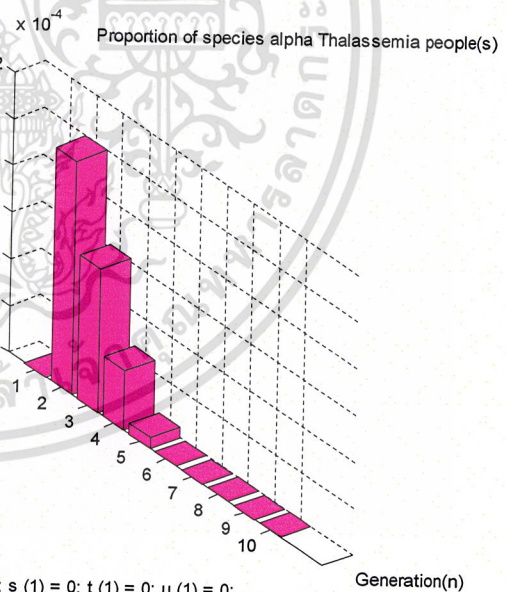
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะแอลฟา
1	0.05
2	0.0393
3	0.0253
4	0.0109
5	0.00212
6	8.32e-005
7	1.33e-007
8	3.52e-013
9	2.55e-024
10	1.38e-046



$p(1) = 0.75; q(1) = 0.02; r(1) = 0.05; s(1) = 0; t(1) = 0; u(1) = 0;$

รูปที่ 4.120 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (r) รุ่นที่ 1 เป็น 0.05 จำนวนประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิดแอลฟา
1	0
2	0.0001
3	6.16e-005
4	2.55e-005
5	4.77e-006
6	1.8e-007
7	2.77e-010
8	7.67e-016
9	4.95e-027
10	2.6e-049

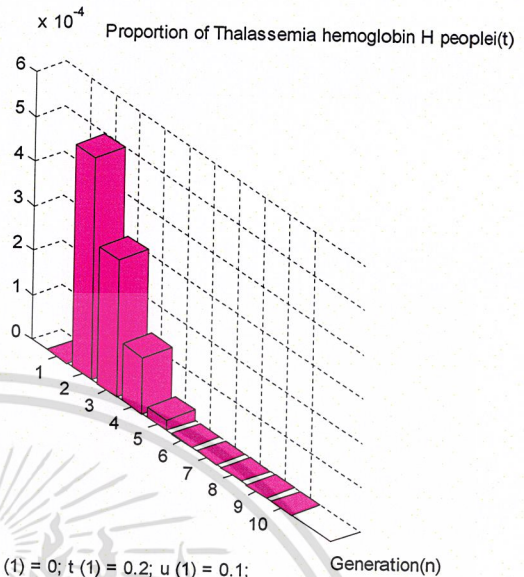


$p(1) = 0.75; q(1) = 0.02; r(1) = 0.05; s(1) = 0; t(1) = 0; u(1) = 0;$

รูปที่ 4.121 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา (s) รุ่นที่ 1 เป็น 0 จำนวนประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และมีแนวโน้มลดลงในรุ่นถัดมา

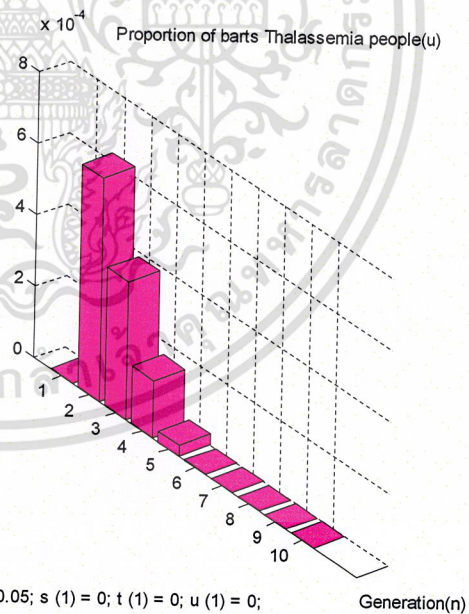
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคซีสเทมิชฮีโมโกลบินเอช
1	0
2	0.0005
3	0.000308
4	0.000128
5	2.38e-005
6	9e-007
7	1.38e-009
8	3.53e-015
9	2.47e-026
10	1.3e-048



รูปที่ 4.122 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และมีแนวโน้มลดลงในรุ่นถัดมา

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคซีสเทมิชฮีโมโกลบินบี
1	0
2	0.0005
3	0.000308
4	0.000128
5	2.38e-005
6	9e-007
7	1.38e-009
8	3.53e-015
9	2.47e-026
10	1.3e-048



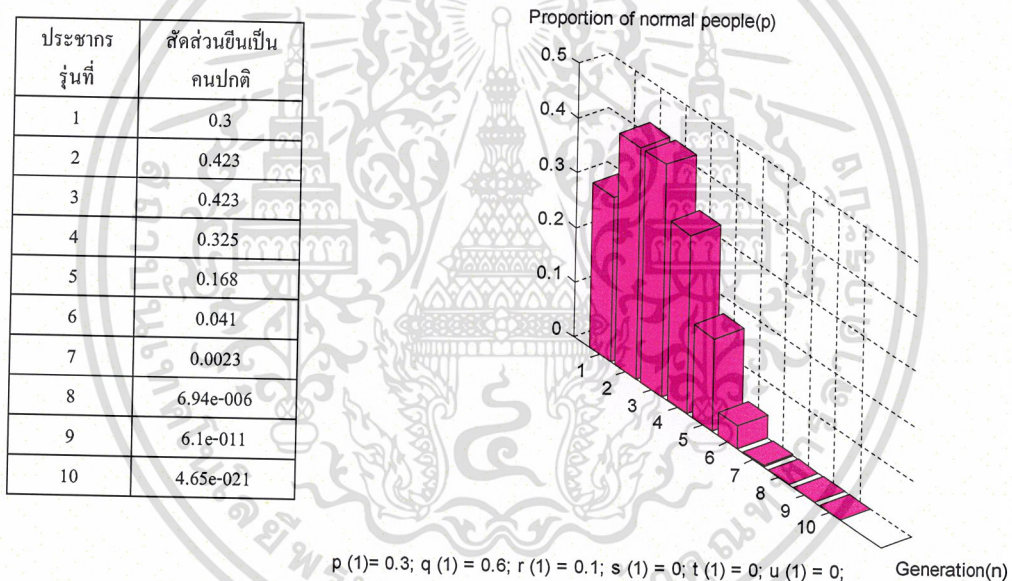
รูปที่ 4.123 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบี(u)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่ 2 และมีแนวโน้มลดลงในรุ่นถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 3 ($p < q > r$, $s=0, t=0$ และ $u=0$)

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(p)เป็น 0.3
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (q)เป็น 0.6
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (r)เป็น 0.1
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา(s)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u)เป็น 0

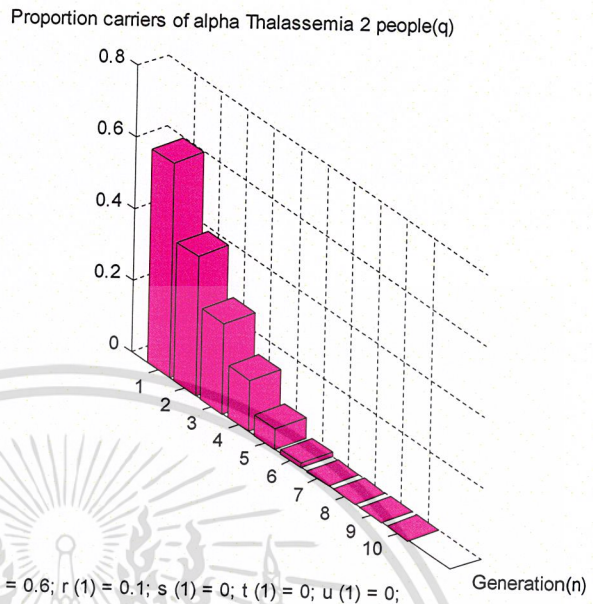
โดยที่ $n = 10$



รูปที่ 4.124 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นคนปกติ(p)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นรุ่นที่ 2 ที่ 3 และเสถียรถึงรุ่นที่ 3 และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

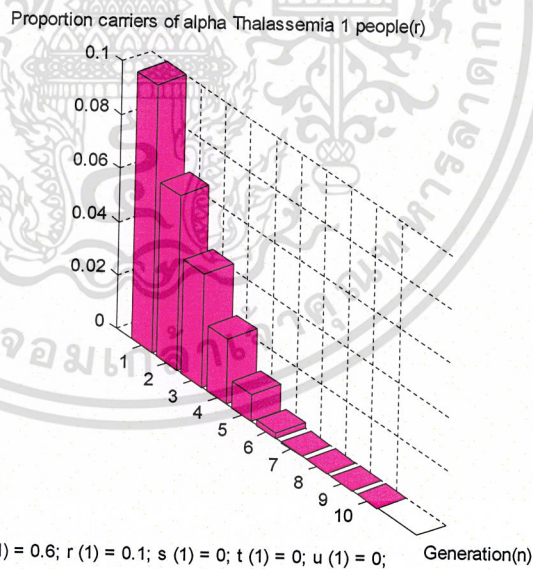
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะแอลฟา 2
1	0.6
2	0.39
3	0.254
4	0.145
5	0.0592
6	0.012
7	0.000575
8	1.51e-006
9	1.19e-011
10	8.08e-022



รูปที่ 4.125 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (q) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

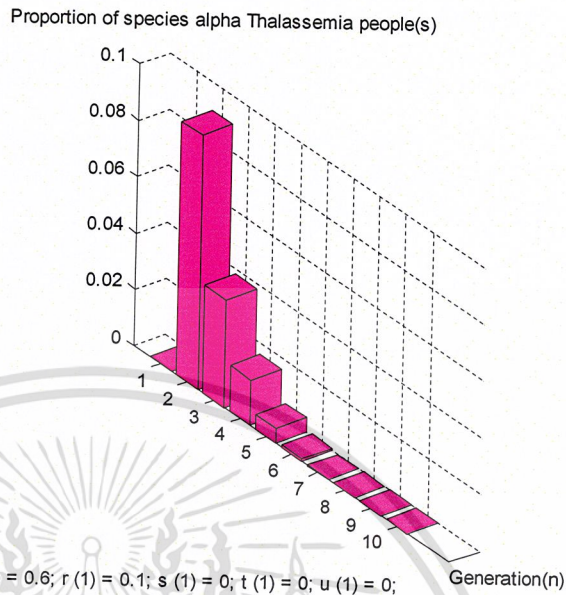
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะแอลฟา 1
1	0.1
2	0.065
3	0.0423
4	0.0241
5	0.00987
6	0.002
7	9.58e-005
8	2.52e-007
9	1.98e-012
10	1.35e-022



รูปที่ 4.126 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 1 (r) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

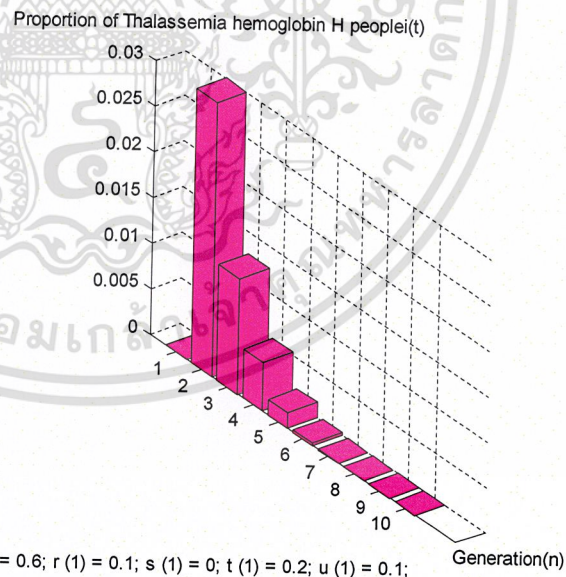
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคฯ ชนิดแอลฟา
1	0
2	0.09
3	0.038
4	0.0161
5	0.00523
6	0.000877
7	3.59e-005
8	8.26e-008
9	5.74e-013
10	3.51e-023



รูปที่ 4.127 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มลดลงในรุ่นถัดมา

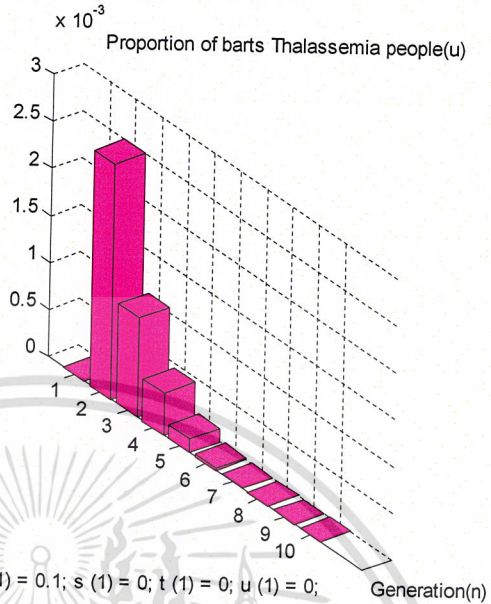
ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น โรคฯชนิด ฮีโมโกลบินเอช
1	0
2	0.03
3	0.0127
4	0.00536
5	0.00174
6	0.000292
7	1.2e-005
8	2.75e-008
9	1.91e-013
10	1.17e-023



รูปที่ 4.128 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มลดลงในรุ่นถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร รุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น โรคซันนิคบาร์ท
1	0
2	0.0025
3	0.00106
4	0.000446
5	0.000145
6	2.44e-005
7	9.98e-007
8	2.29e-009
9	1.59e-014
10	9.76e-025



รูปที่ 4.129 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคซันนิคบาร์ท(u)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรุ่นที่2 และมีแนวโน้มลดลงในรุ่นถัดมา

กรณี 4 ($p < q > r$, $s = 0, t = 0.2$ และ $u = 0.1$)

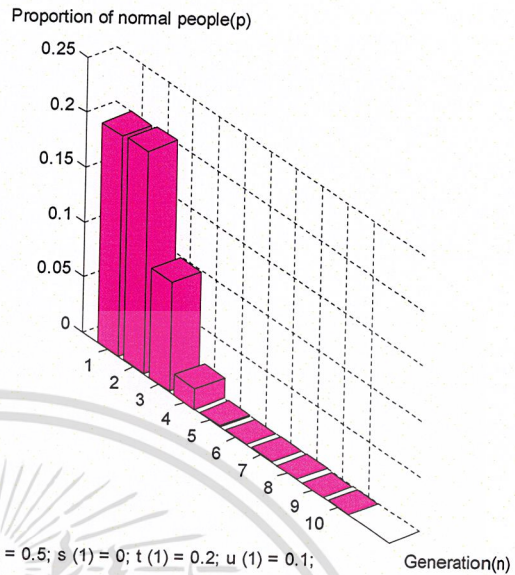
หากสัดส่วนยีนของคนที่ เป็นโรคซันนิคบาร์ท (u) มีค่าเป็น 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ แต่ในทางการแพทย์ ผู้ป่วยจะมีอาการ ซีดเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่แล้วไม่ซีด นอกเสียจากมีภาวะโลหิตจางจากการขาดเหล็กร่วมด้วย สุขภาพ ดีปกติ ไม่มีอาการทางคลินิก ไม่ต้องรักษา สามารถมีชีวิตเหมือนคนปกติ แสดงดังตัวอย่าง

- สัดส่วนยีนของคนปกติ(p)เป็น 0.2
- สัดส่วนยีนของคนที่ เป็นพาหะแอลฟาซันนิคบาร์ท(q)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่ เป็นพาหะแอลฟาซันนิคบาร์ท(r)เป็น 0.5
- สัดส่วนยีนของคนที่ เป็นโรคซันนิคบาร์ทแอลฟา(s)เป็น 0
- สัดส่วนยีนของคนที่ เป็นโรคซันนิคบาร์ทอีโมโกลบินเอช(t)เป็น 0.2
- สัดส่วนยีนของคนที่ เป็นโรคซันนิคบาร์ท(u)เป็น 0.1

โดยที่ $n = 10$

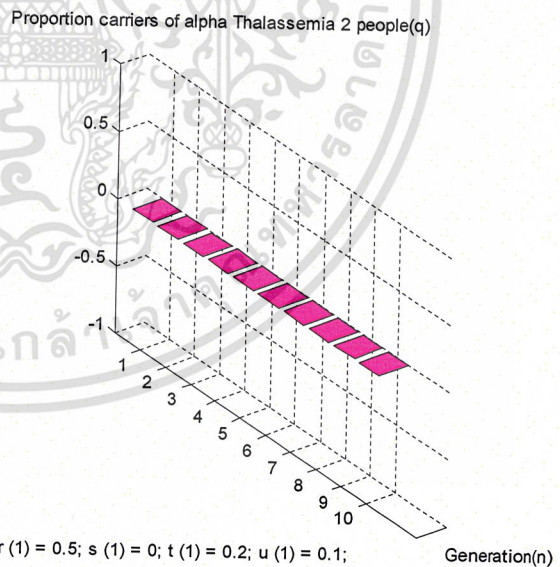
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น คนปกติ
1	0.1
2	0.203
3	0.0992
4	0.0181
5	0.000525
6	4.02e-007
7	2.22e-013
8	6.49e-026
9	5.36e-051
10	3.56e-101



รูปที่ 4.130 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นคนปกติ(p)มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในรุ่นที่ 2 ลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดมา

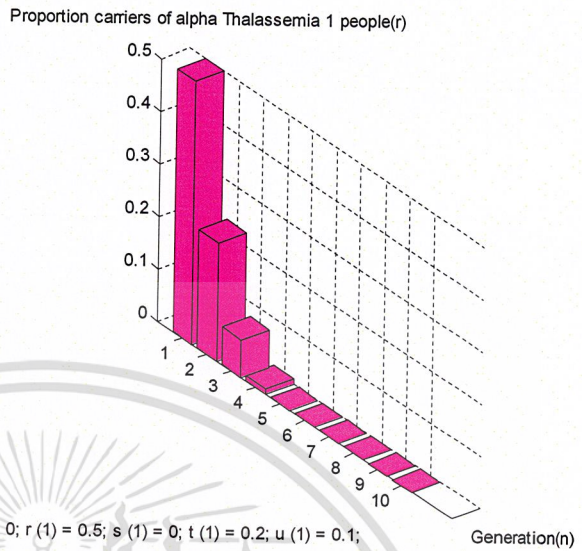
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็น พาหะแอลฟา 2
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0



รูปที่ 4.131 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาธาลัสซีเมีย 2 (q) มีแนวโน้มความเสถียรในทุก รุ่น

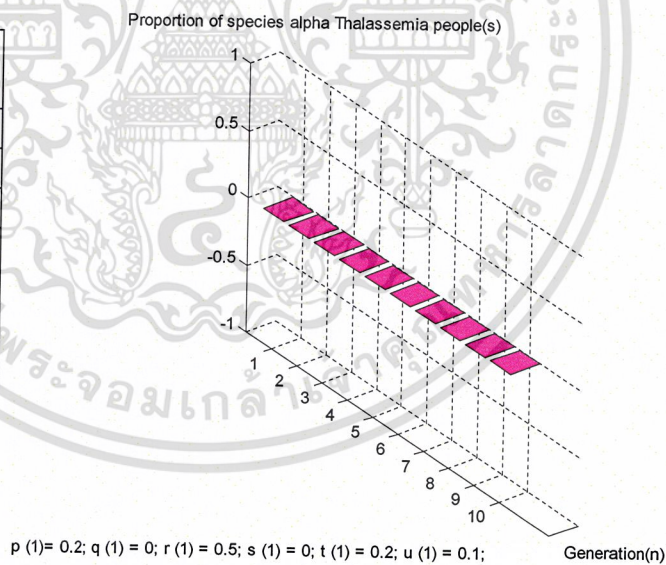
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นพาหะแอลฟา
1	0.5
2	0.225
3	0.0709
4	0.00954
5	0.000219
6	1.39e-007
7	6.53e-014
8	1.66e-026
9	1.22e-051
10	7.27e-102



รูปที่ 4.132 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นพาหะแอลฟาชนิดฮีเมีย 1 (r) มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

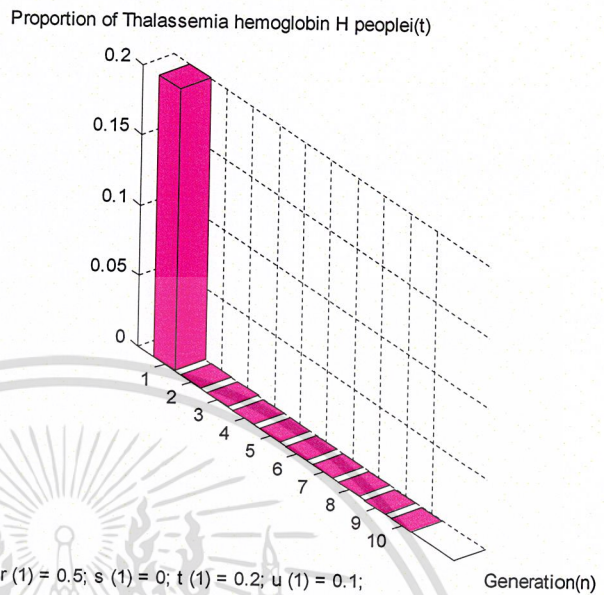
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิดแอลฟา
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0



รูปที่ 4.133 สัดส่วนยีนของประชากรเป็นโรคชนิดฮีเมียชนิดแอลฟา(s) มีแนวโน้มเป็นศูนย์เสถียรในทุกรุ่น

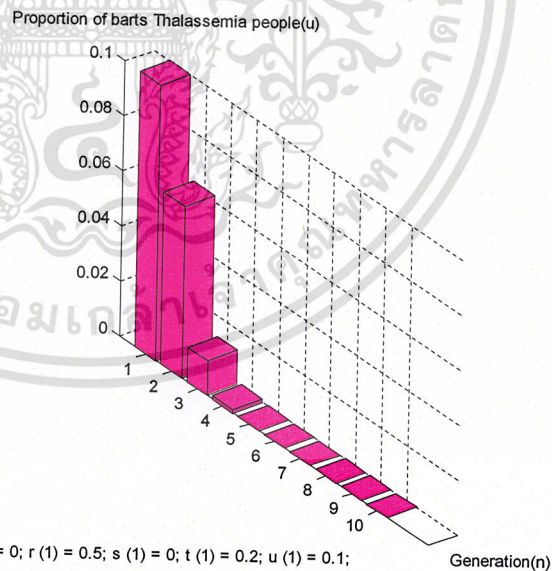
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นโรคชนิดฮีโมโกลบินเอช
1	0.2
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0



รูปที่ 4.134 สัดส่วนยีนประชากรเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดฮีโมโกลบินเอช(t) มีแนวโน้มลดลงและเสถียรในรุ่นต่อไป

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนยีนเป็นคนปกติ
1	0.1
2	0.0625
3	0.0127
4	0.00126
5	2.28e-005
6	1.19e-008
7	4.8e-015
8	1.07e-027
9	6.92e-053
10	3.71e-103



รูปที่ 4.135 สัดส่วนยีนของคนที่เป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดบาร์ท(u) มีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการนำเอาองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้กับการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคของปัญหาพิเศษนี้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโอกาสเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมียในอดีตจนถึงปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นการทำนายโอกาสเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมียล่วงหน้า ที่วางอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีต่างๆ โดยแบบจำลองที่ได้นี้ถูกสร้างขึ้นจากปัจจัยการเกิดโรคและวิทยาการความเสี่ยงในการเกิดโรค ซึ่งมีจุดมุ่งหมายที่จะเกิดประโยชน์ต่อการแพทย์และการสาธารณสุขของไทย ในการลดอัตราผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตจากโรคธาลัสซีเมีย โดยผู้จัดทำได้พยายามสร้างแบบจำลอง ทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเพื่อที่จะให้มีความเหมาะสม และใช้ได้จริงกับการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมีย สำหรับโปรแกรมลดความเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมียเป็น โปรแกรมที่ถูกสร้างจากแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้ได้จริง

ซึ่งแบ่งเป็น 3 แบบจำลอง ดังนี้ แบบจำลองที่ 1 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย โดยโปรแกรมจะรับค่า จำนวนรุ่นประชากร(n) โดยที่ $n = 1,2,3,\dots,10$ สัดส่วนยีนของคนปกติ(x) สัดส่วนยีนของคนเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย(y) และสัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย(z) แบบจำลองที่ 2 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้า โปรแกรมจะรับค่า จำนวนรุ่นประชากร(n) โดยที่ $n = 1,2,3,\dots,10$ สัดส่วนยีนของคนปกติ(e) สัดส่วนยีนของคนพาหะโรคธาลัสซีเมีย(f) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย(g) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียโฮโมไซกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(h) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(i) และสัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมไซกัสฮีโมโกลบิน(j) แบบจำลองที่ 3 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมียชนิดแอลฟา โปรแกรมจะรับค่า จำนวนรุ่นประชากร(n) โดยที่ $n = 1,2,3,\dots,10$ สัดส่วนยีนของคนปกติ(p) สัดส่วนยีนของคนพาหะโรคธาลัสซีเมีย(q) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมีย(r) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียโฮ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมไซกัสเบต้าธาลัสซีเมีย(s) สัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดเบต้าธาลัสซีเมีย/ฮีโมโกลบิน(t) และสัดส่วนยีนของคนเป็นโรคธาลัสซีเมียชนิดโฮโมไซกัสฮีโมโกลบินอี(u) โดยค่าที่ได้จะนำไปคำนวณและแสดงออกมาเป็นกราฟ เพื่อเป็นแนวทางในการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคธาลัสซีเมีย และมีการทำนายของรุ่นลูกหลานว่าจะแนวโน้มเป็นคนปกติ เป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย และเป็นโรคธาลัสซีเมีย เพื่อที่จะช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงการเกิดโรคธาลัสซีเมียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทันทั่วทั้ง

ซึ่งโปรแกรมมีข้อดี คือ สามารถสร้างโปรแกรมและกราฟจากแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และพยากรณ์แนวโน้มจำนวนคนที่จะเป็นคนปกติ จำนวนคนที่จะเป็นพาหะโรคธาลัสซีเมีย และจำนวนคนที่ เป็นโรคธาลัสซีเมีย

ส่วนข้อเสีย คือ โปรแกรมและกราฟที่สร้างจากแบบจำลองนี้ใช้ได้กับการวิเคราะห์และทำนายโรคธาลัสซีเมียในแบบที่จำกัด เนื่องจากโรคธาลัสซีเมียสามารถแบ่งได้หลายชนิด ซึ่งเราได้ทำการศึกษาในขอบเขตของชนิดที่พบเป็นส่วนมากในประเทศไทยเท่านั้น และข้อเสียอีกประการคือรุ่นของประชากรมีจำกัดเพียง 10 รุ่น จึงทำให้สามารถพยากรณ์ได้เพียงรุ่นที่กำหนดไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนการพยากรณ์ควรออกแบบให้โปรแกรมสามารถเพิ่มข้อมูลที่ใช้ทำนายไปเก็บในฐานข้อมูล สร้างกล่องโต้ตอบเพื่อป้องกันข้อผิดพลาด นำโค้ดสำหรับโปรแกรมที่หลากหลายมาใช้เพิ่มจากเดิมเพื่อให้โปรแกรมมีความสลับซับซ้อนมากขึ้นหรือควรมีฟังก์ชันการใช้งานที่สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการนำไปใช้พัฒนาโปรแกรมต่อไปสำหรับผู้สนใจในเรื่องโรคธาลัสซีเมีย

เอกสารอ้างอิง

ต่อพงษ์ สวงนเสริมศรี และคณะ. ธาลัสซีเมีย คู่มือการวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร: เครือข่ายงานธาลัสซีเมียและมูลนิธิโรคโลหิตจางธาลัสซีเมียแห่ง
ประเทศไทย, 2541.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. คู่มือการเขียนแอปพลิเคชันด้วย Visual Basic 2010, พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพฯ:Simplify, 2533.

เพ็ญแข แดงสุวรรณ. โรคธาลัสซีเมีย. กรุงเทพฯ : ไกล่หมอ, 2548. มูลนิธิโลหิตจางธาลัสซีเมียแห่ง
Edelstein-Keshet, Leah. Mathematical models in biology. 1 st ed. New York :
Random House, 1989.

Geletrter, Thoomas D; Geletrter : and Collins, Francis S. Principle of Medical Genetics. 2 nd ed.
Maryland : Lippincott Williams & Wilkins, 1990.

Leah Edelstein. Mathematical models in biology. Newyork: Random House, Inc 1988.
ประเทศไทย. ห้องสมุดกระทรวงสาธารณสุข.

[Online]. ผู้ที่เป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย
สืบค้นจาก: webdb.dmhc.moph.go.th

[Online]. การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคธาลัสซีเมีย
สืบค้นจาก: <http://biology.ipst.ac.th/index.php>

[Online]. Alpha-thalassemia
สืบค้นจาก: www.thalassemia.or.th/magazine/20-3/tf-magazine-20-08.pdf

[Online]. เม็ดเลือดแดง
สืบค้นจาก: sgpt.thai-aip.net/subjects/hematology/rbc.html

[Online]. โรคธาลัสซีเมีย
สืบค้นจาก: <http://www.healthkonthai.com>

[Online]. โรคเลือดจางธาลัสซีเมีย Thalassemia
สืบค้นจาก: <http://www.thaiclinic.com/thalassemia.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[Online].เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับโรคธาลัสซีเมีย

สืบค้นจาก: [http:// www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/article/detail.asp](http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/article/detail.asp)

[Online].ศูนย์ข้อมูลโรคติดเชื้อและพาหะนำโรค

สืบค้นจาก: webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_nih/a_nih_1_001c.asp?info_id

[Online].อาการโรคธาลัสซีเมีย

สืบค้นจาก: medinfo2.psu.ac.th/pathology/Education/Thal/Symptom.html

[Online].อุบัติการณ์ของธาลัสซีเมียและการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

สืบค้นจาก: kanchanapisek.or.th/kp6/New/sub/book/book.php

[Online].แอลฟาธาลัสซีเมีย (Alpha Thalassemia)

สืบค้นจาก: medinfo2.psu.ac.th/pathology/Education/Thal/Alpha.html

[Online].อีโมโกลบินอี

สืบค้นจาก: www.thalassemia.or.th/magazine/17-2/tf-magazine-10-07.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ภาคผนวก ก

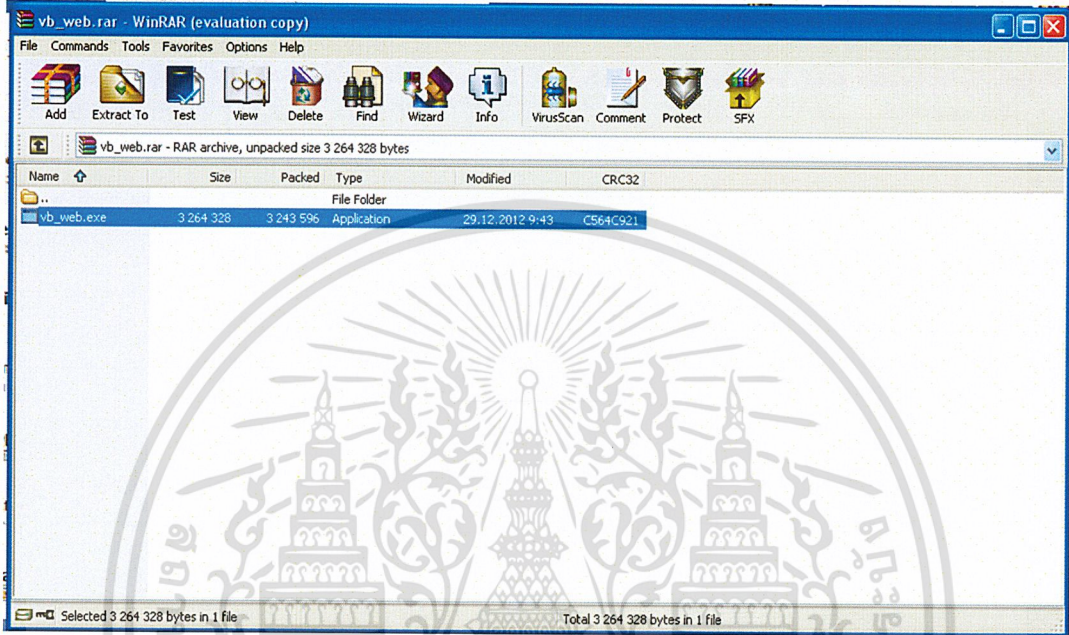


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

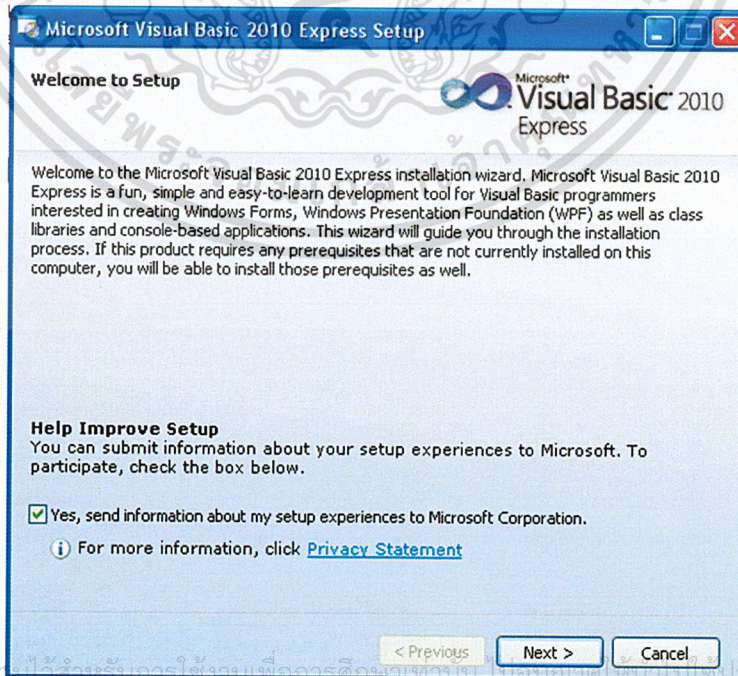
การเตรียมตัวพร้อมก่อนการใช้โปรแกรม

1. ดับเบิ้ลคลิกที่

 vb_web.exe

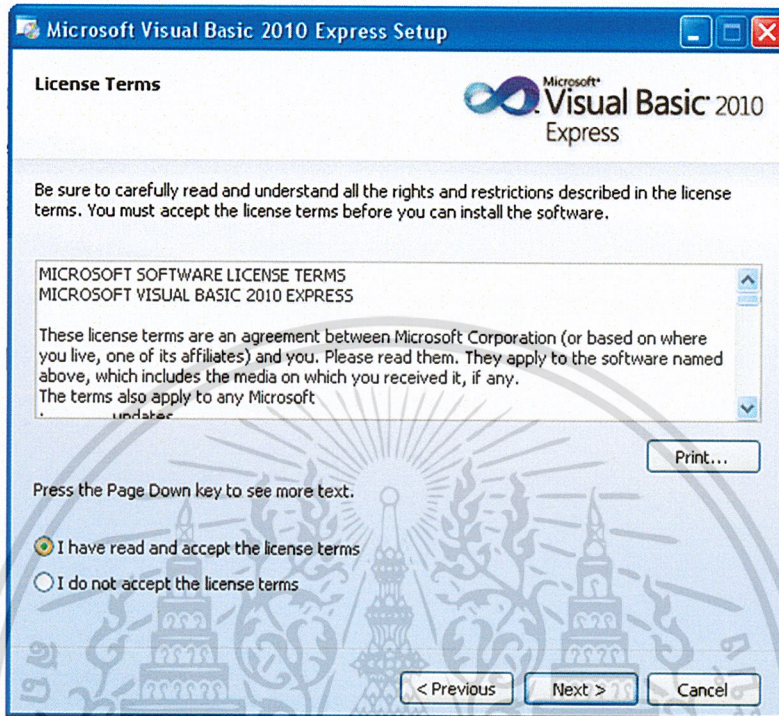


2 .คลิก Next

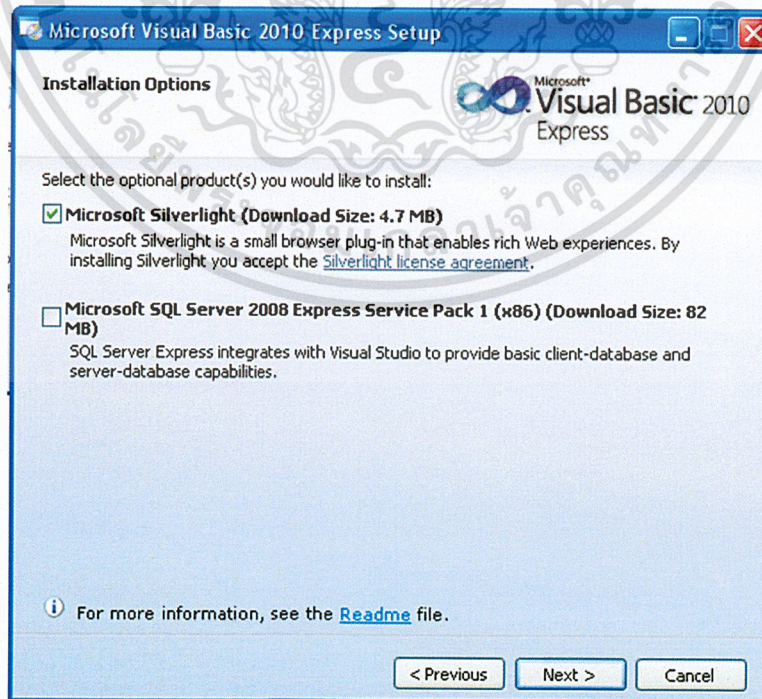


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คลิกเลือก I have read and accept the licence terms และ คลิก Next

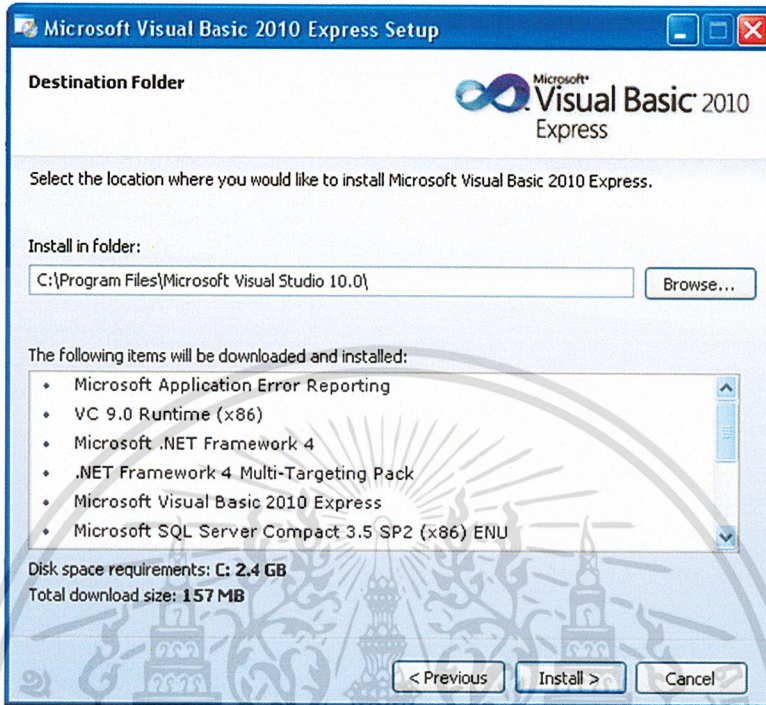


4. คลิกเลือก Microsoft Silverlight และคลิก Next

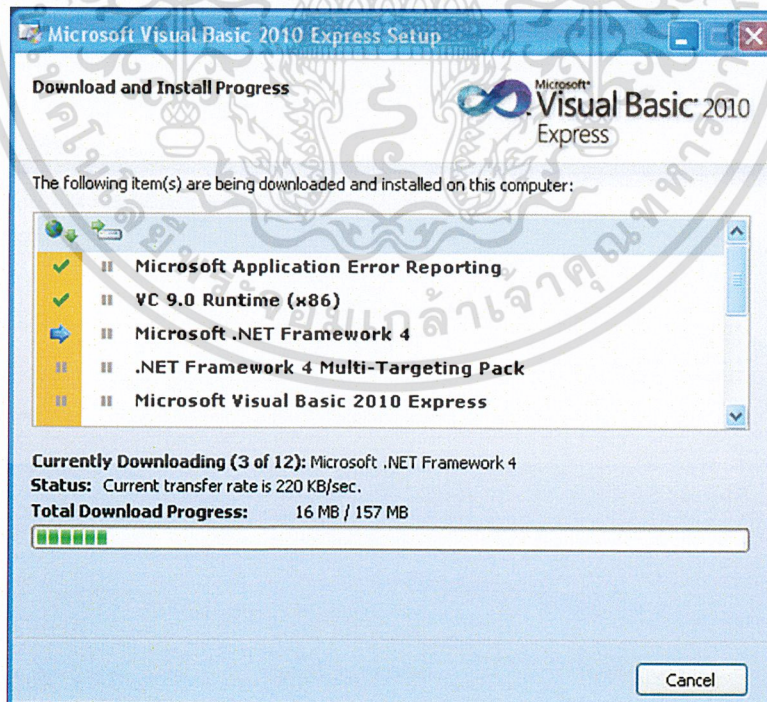


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คลิก Install



6. รอการติดตั้ง



7. การติดตั้งเสร็จสมบูรณ์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

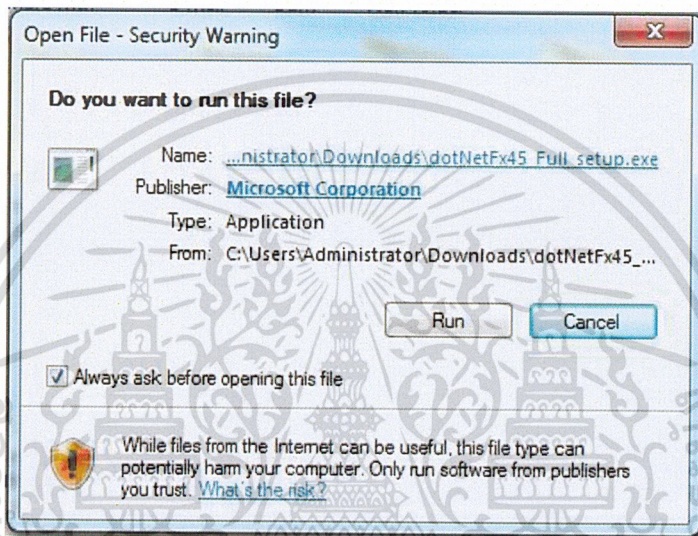


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมพร้อมก่อนการใช้โปรแกรม Program for Prediction Risk of Thalassemia

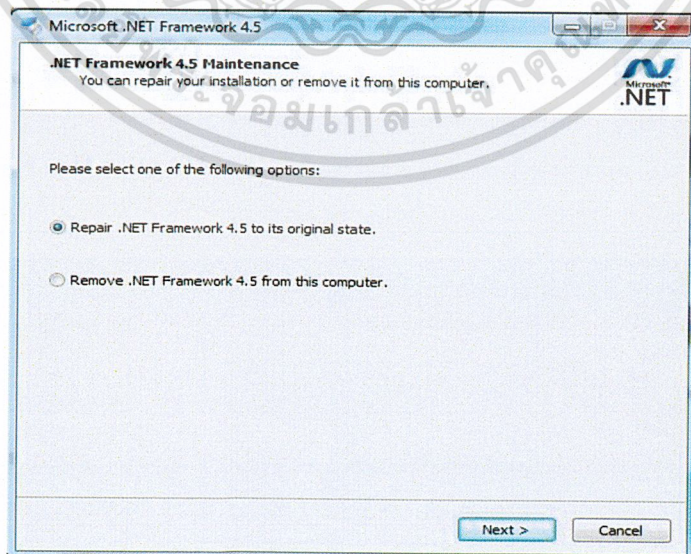
ก่อนการเปิดใช้โปรแกรม Program for Prediction Risk of Thalassemia ต้องทำการติดตั้งโปรแกรม Microsoft .NET Framework ซึ่งช่วยในการสร้างกราฟ มีวิธีการติดตั้งดังนี้

1. คลิกปุ่ม Run เพื่อเริ่มการติดตั้งโปรแกรม



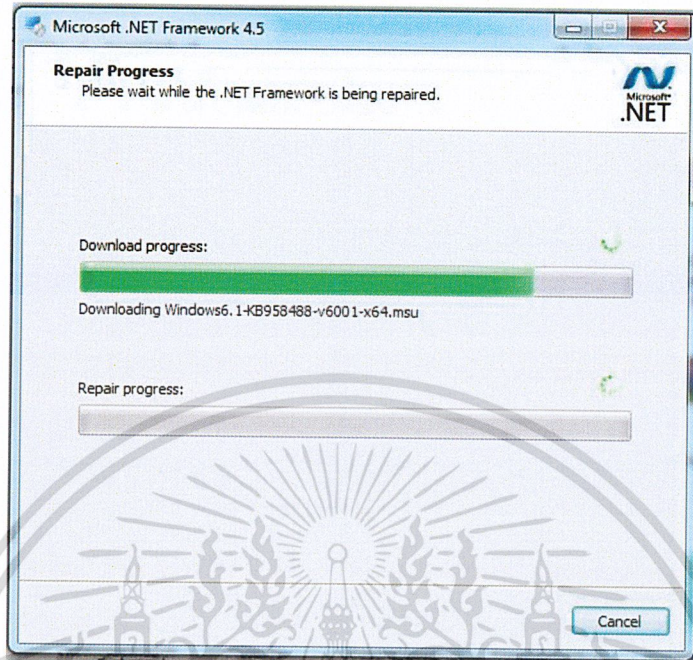
รูปที่ ข-1 หน้าจอการติดตั้งโปรแกรม Microsoft .NET Framework

2. คลิกเลือก Repair .NET Framework 4.5 its original state. แล้วคลิกที่ Next



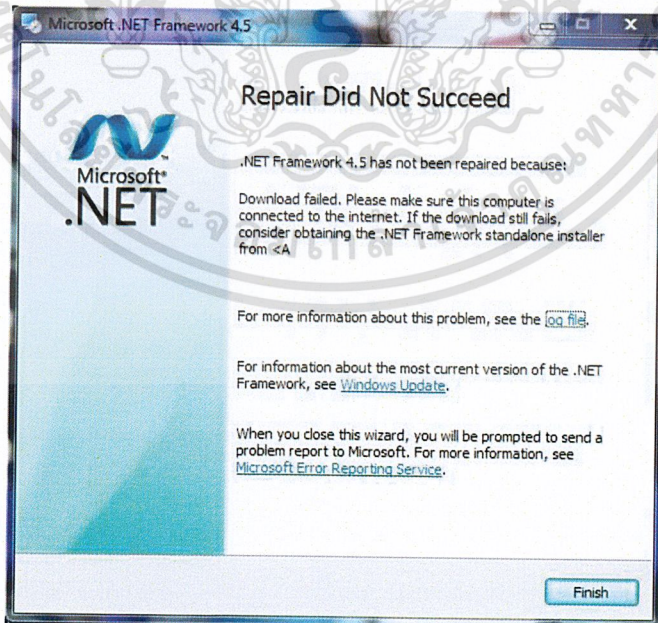
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข-2 หน้าจอการติดตั้งโปรแกรม Microsoft .NET Framework
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รอจนแถบสีเขียวเต็ม



รูปที่ ข-3 หน้าจอการติดตั้งโปรแกรม Microsoft .NET Framework

4. คลิกปุ่ม Finish เป็นอันเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม



รูปที่ ข-4 หน้าจอการติดตั้งโปรแกรม Microsoft .NET Framework

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้