

ความหลากหลายของเงินเคซินของแพะนมในประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ประยุกต์ ภาควิชาสัตวบาล

คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CASEIN GENE POLYMORPHISMS OF DAIRY GOAT IN THAILAND



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Animal Science

Department of Animal Husbandry

FACULTY OF VETERINARY SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความหลากหลายของเงินเคซินของแพะนมในประเทศไทย
โดย	น.ส.นภารัตน์ เนาวนัต
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร.ดวงสมร สุวัฑฒน

คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์.ดร.รุ่งโรจน์ ธนาวงษ์นุเวช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลินี อัมบุญตา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร.ดวงสมร สุวัฑฒน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร.นารีรัตน์ วิเศษกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สายัณห์ บัวบาน)

นภรัตน์ เนาวนัต : ความหลากหลายของจีนเคซีนของแพะนมในประเทศไทย. (CASEIN GENE POLYMORPHISMS OF DAIRY GOAT IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. สพ.ญ. ดร.ดวงสมร สุวัฑฒน

การศึกษาความหลากหลายของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิดในฐานะของจีนแคนต์เดท ที่มีผลต่อลักษณะการปริมาณน้ำนมในแพะจำนวน 65 ตัวแบ่งเป็นกลุ่มแพะที่มีบันทึกการให้ผลผลิตแล้วอย่างน้อย 1 ลำดับการให้นมและมีข้อมูลของลูกแพะ จำนวน 26 ตัว และกลุ่มแพะที่ไม่มีบันทึกการให้ผลผลิตจำนวน 35 ตัว จากการตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมของจีนทั้ง 4 ชนิดด้วยวิธี DNA sequencing พบอัลลีลของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีนทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ A, C และ E มีความถี่ของอัลลีลเท่ากับ 0.577, 0.177 และ 0.246 ตามลำดับ มีความถี่จีโนไทป์ของ AA, AC, AE, CC และ EE เท่ากับ 0.292, 0.292, 0.277, 0.031 และ 0.108 ตามลำดับ จีนเบต้าเคซีน พบอัลลีลทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ A และ F มีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.538 และ 0.462 ตามลำดับ มีความถี่จีโนไทป์ของ AA, AF และ FF เท่ากับ 0.246, 0.585 และ 0.169 ตามลำดับ จีนอัลฟาเอส 2 เคซีน พบอัลลีลทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ A และ B มีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.862 และ 0.138 ตามลำดับ มีความถี่จีโนไทป์ของ AA และ AB เท่ากับ 0.723 และ 0.277ตามลำดับ และจีนแคปปาเคซีน พบอัลลีลทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ A, B, D, H, F, N1, N2 และ N3 มีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.592, 0.215, 0.154, 0.008, 0.008, 0.008, 0.008 และ 0.008 ตามลำดับ มีความถี่จีโนไทป์ของ AA, AB, BB, AD, DD, AH, BD, BF, AN1, AN2 และ AN2/BN3 เท่ากับ 0.369, 0.200, 0.092, 0.200, 0.046, 0.015, 0.015, 0.015, 0.015 และ 0.015 ตามลำดับ พบรูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ทั้งหมด 41 รูปแบบ โดยรูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ที่พบมากที่สุด ในแพะทั้งสองพันธุ์ คือ AAAA การประมาณค่าอิทธิพลของจีนทั้ง 4 ชนิดต่อลักษณะปริมาณน้ำนม พบว่า จีนอัลฟาเอส 2 เคซีนมีแนวโน้มที่จะมีอิทธิพลต่อลักษณะปริมาณน้ำนม และจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน และแคปปาเคซีนอาจจะไม่มีอิทธิพลต่อลักษณะปริมาณน้ำนม เนื่องจากกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีจำนวนน้อย ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประชากรที่จำนวนมากขึ้น เพื่อสามารถประมาณค่าอิทธิพลจีนเคซีนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

สาขาวิชา สัตวศาสตร์ประยุกต์

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6075320931 : MAJOR APPLIED ANIMAL SCIENCE

KEYWORD: Casein gene, Dairy Goat, Haplotype, Polymorphism

Naparat Naowanat : CASEIN GENE POLYMORPHISMS OF DAIRY GOAT IN THAILAND.

Advisor: Assoc. Prof. Dr. DUANGSMORN SUWATTANA, Ph.D.

In this experiment, the researcher selected the casein gene as a candidate from 4 types of genes that affect to characteristics of 65 goats that record production rate at least 1 sequence. 26 goats that did not record production rate at least 1 sequence. but 39 goats did not record production. DNA sequencing method testing results were found allele which has 3 of alpha S1 casein gene included A, C and E. allele frequency will be 0.577, 0.177 and 0.246 as respectively. Genotype frequency of AA, AC, AE, CC and EE will be 0.292, 0.292, 0.277, 0.031 and 0.108 as respectively. Beta casein gene was found in 2 allele types, for instance, A and F, Genotype frequency will be 0.538 and 0.462 as respectively. Genotype frequency of AA, AF, and FF will be 0.246, 0.585, and 0.169 as respectively. Alpha-S2 casein found 2 allele types like A and B, Genotype frequency will be 0.862 and 0.138 as respectively. Genotype frequency of AA and AB equal 0.723 and 0.277 as respectively. Kappa casein found 8 allele types for instance A, B, D, H, F, N1 N2 and N3 allele frequency will be 0.592, 0.215, 0.154, 0.008, 0.008, 0.008, 0.008 and 0.008 as respectively. Genotype frequency of AA, AB, BB, AD, DD, PH, BD, BF, AN1 AN2 and AN2/BN3 will be 0.369, 0.200, 0.092, 0.200, 0.046, 0.015, 0.015, 0.015, 0.015 and 0.015 as respectively. Casein haplotype had 41 forming, the most common form that found be AAAA. Estimating the influence of the casein gene on milk yield characteristics It was found that alpha S2 casein tended to influence milk yield characteristics. and alpha S1 casein, beta casein, and kappa casein gene may not influence milk yield characteristics. Because the population in this study is small. Therefore, further studies are needed in larger populations. to be able to accurately estimate the influence of casein genes

Field of Study: Applied Animal Science

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ. ส.พญ. ดร.ดวงสมร สุวิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาสัตวบาลทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าของฟาร์มมนตรีฟาร์มแพะนม จังหวัดนครศรีธรรมราช คุณบุญณรงค์ สุภาพ นักวิชาการ ศูนย์วิจัยและปรับปรุงพันธุ์สัตว์ จังหวัดกระบี่ และ เจ้าหน้าที่ภาควิชาสัตวบาลประจำศูนย์ฝึกนิสิตจังหวัดนครปฐมที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล และการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณคุณจุฑารัตน์ จิระศุภโชค เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเซลล์พันธุศาสตร์ ภาควิชาสัตวบาล คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการอำนวยความสะดวกด้านการปฏิบัติการแลป และวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัย 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ด้านสนับสนุนการศึกษาวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัว โดยเฉพาะคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาเสมอมา

ความช่วยเหลือและกำลังใจจากทุก ๆ คนทั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว และไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ นับได้ว่ามีส่วนสำคัญที่ทำให้การทำงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านด้วยใจไว้ ณ ที่นี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นภรัตน์ เนาวนัต

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
1. แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2. แพะที่เลี้ยงในประเทศไทย.....	5
2.1. แพะพันธุ์พื้นเมือง.....	5
2.2. แพะนมพันธุ์ต่างประเทศที่มีเลี้ยงอยู่ในประเทศไทย.....	6
3. องค์ประกอบน้ำนม.....	7
3.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำนมแพะ.....	7
3.2 สมบัติทางเคมีของน้ำนมแพะ.....	7
3.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ.....	9
4. โปรตีนในน้ำนม (Milk Protein).....	11

5. โครงสร้างของโปรตีนเคซีนในน้ำนม.....	12
5.1 โครงสร้างทางเคมีของโปรตีนเคซีน (The chemical structure of casein protein)..	12
5.2 โครงสร้างของจีนเคซีนในระดับโมเลกุล (The structure of casein genes in a molecular level)	13
6. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของจีนที่ควบคุมลักษณะเคซีนในน้ำนม (genetic polymorphism of milk casein loci).....	16
6.1. จีนอัลฟาเอส 1 เคซีน (Alpha S1 casein)	16
6.2. จีนเบต้าเคซีน (Beta casein)	21
6.3. จีนอัลฟาเอส 2 เคซีน (Alpha S2 casein)	24
6.4. จีนแคปปาเคซีน (Kappa casein)	27
7. ความสัมพันธ์ระหว่างจีนเคซีนกับลักษณะผลผลิตน้ำนม (Relationship between casein genes and milk production).....	28
ผลการวิเคราะห์.....	41
4.1 ความหลากหลายของจีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซีน).....	41
4.1.1 รูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด ของกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษา	41
4.1.2 ความถี่จีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า..... และแคปปาเคซีน)	44
4.2 ความหลากหลายทางพันธุกรรมของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และ แคปปาเคซีน)	46
4.3 เคซีนแฮปโลไทป์.....	48
4.4 ลักษณะการให้ผลผลิตน้ำนม (milk production traits)	54
4.5 การวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซีน	55
เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และ แคปปาเคซีน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม	55
วิจารณ์ผล.....	56

5.1 รูปแบบจีโนมโทปของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซิน)..	56
5.1.1 ความถี่จีโนมโทปของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซิน).....	56
5.2 ความหลากหลายทางพันธุกรรมของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซิน)	58
5.3 เคซินแอสปโกลโทป.....	60
5.4 การวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนมโทปของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และ แคปปาเคซิน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม	61
สรุปผลการวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ.....	62
6.1 รูปแบบจีโนมโทปของอัลฟา เอส1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และแคปปาเคซินที่พบในการศึกษา	62
6.2 รูปแบบอัลลีลของอัลฟา เอส1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และแคปปาเคซินที่พบในการศึกษา	63
6.3 รูปแบบเคซินแอสปโกลโทปที่พบในการศึกษา	64
6.4 วิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนมโทปของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และ แคปปาเคซิน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม	64
6.5 ข้อเสนอแนะ	64
แนวทางการศึกษาหาอิทธิพลของรูปแบบจีโนมโทปของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซินเบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และ แคปปาเคซิน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม	64
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	73
ประวัติผู้เขียน.....	124

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำนมที่มีผลทำให้น้ำนมมีฤทธิ์เป็นกรด.....	8
ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของแพะนมในพันธุ์ต่าง ๆ	10
ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบอัลลีลของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด	15
ตารางที่ 2.4 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสาย โปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนอัลฟาเอส1 เคซีน.....	18
ตารางที่ 2.4 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสาย โปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนอัลฟาเอส1 เคซีน.....	19
ตารางที่ 2.5 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีนในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ	20
ตารางที่ 2.6 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสาย โปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนเบต้าเคซีน	22
ตารางที่ 2.7 แสดงความถี่อัลลีลของจีนเบต้าเคซีนในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ	23
ตารางที่ 2.8 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสาย โปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนอัลฟาเอส2 เคซีน.....	25
ตารางที่ 2.9 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ	26
ตารางที่ 2.10 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสาย โปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนแคปปาเคซีน	28
ตารางที่ 2.10 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสาย โปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนแคปปาเคซีน	29
ตารางที่ 2.10 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสาย โปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนแคปปาเคซีน	30
ตารางที่ 2.11 แสดงความถี่อัลลีลของจีนแคปปาเคซีนในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ	31
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคป ปาเคซีนของแพะรายตัวในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย.....	41

ตารางที่ 4.2 ความถี่จีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีนที่พบในประชากรแพะ	44
ตารางที่ 4.3 แสดงความถี่จีโนไทป์ของจีนเบต้าเคซีนที่พบในประชากรแพะ	45
ตารางที่ 4.4 แสดงความถี่จีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนที่พบในประชากรแพะ	45
ตารางที่ 4.5 แสดงความถี่จีโนไทป์ของจีนแคปปาเคซีนที่พบในประชากรแพะ.....	46
ตารางที่ 4.6 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีนที่พบในประชากรแพะ	47
ตารางที่ 4.7 แสดงความถี่อัลลีลของจีนเบต้าเคซีนที่พบในประชากรแพะ	47
ตารางที่ 4.8 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนที่พบในประชากรแพะ	48
ตารางที่ 4.9 แสดงความถี่อัลลีลของจีนแคปปาเคซีนที่พบในประชากรแพะ	48
ตารางที่ 4.10 แสดงรูปแบบจีโนไทป์ และรูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ที่พบในประชากรแพะที่ ทำการศึกษาทั้งหมด	50
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 150 วัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation S.D.) ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) โดยจำแนกตามพันธุ์ที่ ศึกษา	55
ตารางที่ 4.12 แสดงอิทธิพลของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปา เคซีน ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม.....	55

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปภาพผนวกที่ 1 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2 จีโนมไทป์ AA.....	76
รูปภาพผนวกที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3 จีโนมไทป์ AA.....	77
รูปภาพผนวกที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีโนมไทป์ AA.....	78
รูปภาพผนวกที่ 4 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีโนมไทป์ AA.....	79
รูปภาพผนวกที่ 5 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีโนมไทป์ AA.....	80
รูปภาพผนวกที่ 6 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีโนมไทป์ AA.....	81
รูปภาพผนวกที่ 7 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2 จีโนมไทป์ AC.....	82
รูปภาพผนวกที่ 8 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3 จีโนมไทป์ AC.....	83
รูปภาพผนวกที่ 9 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีโนมไทป์ AC.....	84
รูปภาพผนวกที่ 10 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีโนมไทป์ AC.....	85
รูปภาพผนวกที่ 11 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีโนมไทป์ AC.....	86
รูปภาพผนวกที่ 12 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีโนมไทป์ AC.....	87

รูปภาคผนวกที่ 13 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2 จีโนมไทป์ AE	88
รูปภาคผนวกที่ 14 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3 จีโนมไทป์ AE	89
รูปภาคผนวกที่ 15 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีโนมไทป์ AE	90
รูปภาคผนวกที่ 16 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีโนมไทป์ AE	91
รูปภาคผนวกที่ 17 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีโนมไทป์ AE	92
รูปภาคผนวกที่ 18 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีโนมไทป์ AE	93
รูปภาคผนวกที่ 19 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2 จีโนมไทป์ CC.....	94
รูปภาคผนวกที่ 20 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3 จีโนมไทป์ CC.....	95
รูปภาคผนวกที่ 21 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีโนมไทป์ CC.....	96
รูปภาคผนวกที่ 22 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีโนมไทป์ CC.....	97
รูปภาคผนวกที่ 23 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีโนมไทป์ CC.....	98
รูปภาคผนวกที่ 24 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีโนมไทป์ CC.....	99
รูปภาคผนวกที่ 25 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2 จีโนมไทป์ EE.....	100

รูปภาคผนวกที่ 26 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3 จีโนไทป์ EE.....	101
รูปภาคผนวกที่ 27 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีโนไทป์ EE.....	102
รูปภาคผนวกที่ 28 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีโนไทป์ EE.....	103
รูปภาคผนวกที่ 29 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีโนไทป์ EE	104
รูปภาคผนวกที่ 30 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีโนไทป์ EE	105
รูปภาคผนวกที่ 31 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนเบต้าเคซีน บน Exon 7 จีโนไทป์ AA.....	106
รูปภาคผนวกที่ 32 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนเบต้าเคซีน บน Exon 7 จีโนไทป์ AF.....	107
รูปภาคผนวกที่ 33 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนเบต้าเคซีน บน Exon 7 จีโนไทป์ FF	108
รูปภาคผนวกที่ 34 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีโนไทป์ AA	109
รูปภาคผนวกที่ 35 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีโนไทป์ AB	110
รูปภาคผนวกที่ 36 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีโนไทป์ AA	111
รูปภาคผนวกที่ 37 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีโนไทป์ AB	112
รูปภาคผนวกที่ 38 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซีน บน Exon 4 จีโนไทป์ AA.....	113

รูปภาคผนวกที่ 39 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ AB.....	114
รูปภาคผนวกที่ 40 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ AD.....	115
รูปภาคผนวกที่ 41 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ AH.....	116
รูปภาคผนวกที่ 42 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ AN1	117
รูปภาคผนวกที่ 43 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ AN2	118
รูปภาคผนวกที่ 44 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ BB	119
รูปภาคผนวกที่ 45 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ BD.....	120
รูปภาคผนวกที่ 46 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ BF	121
รูปภาคผนวกที่ 47 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ DD	122
รูปภาคผนวกที่ 48 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปปาเคซิน บน Exon 4 จี โนไทป์ AN2/BN3.....	123

.บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แพะเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็กสามารถกินอาหารได้หลากหลาย ทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี จึงทำให้แพะสามารถเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งสามารถให้ผลผลิตได้เร็วทั้งเนื้อและนม ซึ่งในส่วนของน้ำนมแพะพบว่า มีประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการสูงเหมาะแก่การบริโภค เนื่องจากเป็นแหล่งของโปรตีนที่ดี มีคุณภาพ ร่างกายสามารถดูดซึมได้ง่าย ไม่ทำให้ท้องเสีย และผู้บริโภคไม่เกิดอาการแพ้ น้ำนม

ประเทศไทยมีการเลี้ยงแพะนมคิดเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ของการเลี้ยงแพะทั้งหมด โดยแพะพื้นเมืองไทยให้ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 0.5-1.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน (กรมปศุสัตว์, 2560) การจำหน่ายน้ำนมแพะและผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ จึงมีปริมาณน้อยทำให้ราคาค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม พบว่าคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมแพะสูงกว่าน้ำนมโค กล่าวคือ น้ำนมแพะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงถึง 3.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำนมโคมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 3.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (Sacchi et al., 2005)

ปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ กรมปศุสัตว์มีนโยบายปรับปรุงพันธุ์ และส่งเสริมการเลี้ยงแพะนมให้มีผลผลิตเพิ่มมากขึ้น เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตแก่เกษตรกร และช่วยให้ราคาผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างเหมาะสม เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงผลิตภัณฑ์จากนมแพะได้ ทั้งนี้ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น สำหรับเป้าหมายในการปรับปรุงพันธุ์แพะนมของกรมปศุสัตว์มุ่งเน้นผลิตพันธุ์แพะนมที่ให้ปริมาณน้ำนมมากขึ้น และให้น้ำนมที่มีคุณภาพดีขึ้น ในด้านการเพิ่มปริมาณน้ำนม กรมปศุสัตว์ได้มีการนำแพะนมพันธุ์ดีที่ให้ปริมาณน้ำนมสูง เช่น พันธุ์ซาแนน และพันธุ์ซามี เข้ามาผสมกับแพะพื้นเมืองไทยได้ลูกผสมที่มีผลผลิตสูงขึ้น และปัจจุบันนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงเพิ่มมากขึ้น ในด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำนม ปริมาณโปรตีนเป็นตัวชี้วัดหลักตัวหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำนมที่ผลิตได้ ดังนั้น กรมปศุสัตว์ได้มีการนำแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน และพันธุ์บอร์ เข้ามาผสมกับแพะพื้นเมืองไทยได้ลูกผสมที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูง และปัจจุบันส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้โดยใช้วิธีการผสมเทียมซึ่งใช้น้ำเชื้อแพะพันธุ์แท้ของกรมปศุสัตว์ และเพื่อเป็นการยกระดับสายเลือดแพะพื้นเมืองไทยให้มีผลผลิตทั้งด้านปริมาณน้ำนม และคุณภาพน้ำนมดีขึ้น

องค์ประกอบน้ำนมแพะพบว่าส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยน้ำ ประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือ ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ ประกอบไปด้วย ไขมัน โปรตีน แลคโตส และวิตามิน (Sawaya et al., 1984) Greppi และคณะ (2008) ได้กล่าวไว้ว่า โปรตีนคือองค์ประกอบสำคัญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับลักษณะปรากฏที่แตกต่างกัน โดยโปรตีนนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เคซีน (casein)

มีสัดส่วนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย อัลฟาเอส 1 เคซีน (alpha S1 casein) อัลฟาเอส 2 เคซีน (alpha S2 casein) เบต้าเคซีน (beta casein) และแคปปาเคซีน (kappa casein) และอีก 20 เปอร์เซ็นต์คือ เวย์โปรตีน (whey protein) ซึ่งประกอบด้วย อัลฟาแลคตัลบูมิน (alpha – lactalbumin) และ เบต้าแลคโตโกลบูลิน (beta – lactoglobulin)

จากการศึกษาวิจัยต่าง ๆ พบว่า ความหลากหลายของเคซีนแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับลักษณะปรากฏที่แตกต่างกันไป Vacca และคณะ (2014) รายงานไว้ว่า แพนเนมที่ให้ปริมาณน้ำนมมากและแพนเนมที่ให้ปริมาณน้ำนมน้อย พบรูปแบบอัลลีลของเบต้าเคซีนต่างกัน กล่าวคือ แพนเนมที่ให้ปริมาณน้ำนมมาก ส่วนใหญ่พบรูปแบบเบต้าเคซีนอัลลีล B ในขณะที่แพนเนมที่ให้ปริมาณน้ำนมน้อย ส่วนใหญ่พบรูปแบบเบต้าเคซีนอัลลีล A Prinzenberg และคณะ (2005) รายงานไว้ว่า แพนเนมที่ให้ปริมาณน้ำนม ปริมาณโปรตีน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่แตกต่างกัน พบความแตกต่างของรูปแบบอัลลีลของแคปปา เคซีนเช่นกัน กล่าวคือ แพนเนมที่ให้ปริมาณน้ำนม ปริมาณโปรตีน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนมาก ส่วนใหญ่พบรูปแบบแคปปาเคซีนอัลลีล B ในขณะที่แพนเนมที่ให้ผลผลิตดังกล่าวในปริมาณน้อย พบรูปแบบแคปปาเคซีนอัลลีล A

(Walstra, 1999) ได้รายงานเปรียบเทียบสัดส่วนขององค์ประกอบของเคซีนในน้ำนมระหว่างน้ำนมโคและน้ำนมแพะ ไว้ว่าสัดส่วนของอัลฟาเอส 1 เคซีน และอัลฟาเอส 2 เคซีนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ อัลฟาเอส 1 เคซีน และอัลฟาเอส 2 เคซีน ในน้ำนมโคมีสัดส่วนของอัลฟาเอส 1 เคซีน และอัลฟาเอส 2 เคซีน คือ 30 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่น้ำนมแพะมีสัดส่วนของอัลฟาเอส 1 เคซีน และอัลฟาเอส 2 เคซีน คือ 4 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเบต้าเคซีน และแคปปาเคซีน ในน้ำนมโคและน้ำนมแพะมีสัดส่วนที่ไม่แตกต่างกัน Clarck และ Sherbon (2000a) ได้ศึกษาและให้ข้อสังเกตไว้ว่า สัดส่วนอัลฟาเอส 1 เคซีน และอัลฟาเอส 2 เคซีน ในน้ำนมโค และในน้ำนมแพะที่แตกต่างกันนี้น่าจะมีอิทธิพลเกี่ยวข้องกับอาการท้องเสียในผู้บริโภคนมโคแต่ไม่พบอาการเหล่านี้ในผู้บริโภคนมแพะ

Caffaro และคณะ (2012) รายงานความสัมพันธ์ระหว่างอัลฟาเอส 1 เคซีน และแคปปาเคซีนต่อคุณภาพและองค์ประกอบน้ำนมในแพะ กล่าวคือ อัลฟาเอส 1 เคซีนมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม และแคปปาเคซีนมีผลต่อการคงตัว การรวมตัวของเคซีน ไมเซลล์ และการทำชีส

ข้อมูลทางด้านพันธุศาสตร์โมเลกุลของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด Ramunno และคณะ (2001b) พบว่าจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด ตั้งอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 6 มีขนาด 250 กิโลเบส เรียงตัวต่อเนื่องกัน ได้แก่ อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และแคปปาเคซิน ตามลำดับ โดยเคซินทั้ง 4 ชนิดนี้ แสดงคุณสมบัติเป็น linkage gene โดยรูปแบบเคซินแฮปโลไทป์ที่ถ่ายทอดจากพ่อ และแม่ไปยังรุ่นถัดไป จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเคซินแฮปโลไทป์ ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีการเกิด crossing over ระหว่างจีนกัน จึงเป็นที่น่าสนใจว่ารูปแบบเคซินแฮปโลไทป์ที่มีความแตกต่างกันอาจจะมีอิทธิพลต่อลักษณะผลผลิตที่แตกต่างกัน

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหารูปแบบความหลากหลายของเคซินแฮปโลไทป์ในประชากรแพะที่เลี้ยงอยู่ในประเทศไทย ซึ่งอาจจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ของรูปแบบเคซินแฮปโลไทป์กับลักษณะปริมาณน้ำนม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์แพะต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบความหลากหลายของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิดในประชากรแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย
2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบจีโนไทป์ของเคซินทั้ง 4 ชนิดกับปริมาณน้ำนมของแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบรูปแบบความหลากหลายและความถี่อัลลีลของเคซินทั้ง 4 ชนิด ในประชากรแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย ซึ่งจะเป็นข้อมูลทางพันธุกรรมสำคัญสำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์แพะนมต่อไป
2. ทราบรูปแบบจีโนไทป์ของเคซินทั้ง 4 ชนิด ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์แพะนมต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดและทฤษฎี

ลักษณะปรากฏ (phenotype) ที่ควบคุมด้วยยีนที่สัตว์แสดงออกมาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ลักษณะคุณภาพ (qualitative traits) เป็นลักษณะที่แปรผันไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variation) สามารถแยกเป็นหมวดหมู่ได้อย่างชัดเจนที่ถูกควบคุมด้วยหนึ่งหรือสองยีน (ยีนจำนวนน้อยคู่) เช่น ลักษณะสีของขน หมูเลือด การมีเขาไม่มีเขา เป็นต้น และลักษณะปริมาณ (quantitative traits) ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายคู่โดยยีนแต่ละคู่มีอิทธิพลต่อการแสดงออกของลักษณะปรากฏน้อย และมีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมมาเกี่ยวข้องกับการแสดงลักษณะปรากฏมาก จะทำให้ลูกที่ได้มีลักษณะปรากฏแตกต่างกันออกไปมาก ทำให้เกิดความแปรปรวนของลักษณะปริมาณมีลักษณะต่อเนื่อง (continuous variation) ทำให้ไม่สามารถแยกกลุ่มของลักษณะเหล่านั้นได้อย่างเด่นชัดเหมือนในลักษณะคุณภาพ ลักษณะปริมาณจะมีการกระจายความถี่ของลักษณะปรากฏเป็นแบบปกติ (normal distribution) ลักษณะปริมาณไม่อาจจำแนกได้โดยใช้สายตาเพียงอย่างเดียว ต้องอาศัยวิธีการชั่ง ตวง วัด หรืออาศัยเทคนิคเฉพาะเป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีระวิทยา เช่น ลักษณะความสมบูรณ์พันธุ์ลักษณะความดกของไข่ (เรียวเดชะ, 2534)

ลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจ (economic traits) ในแพะ เช่น ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นลักษณะเชิงปริมาณ ซึ่งความแปรปรวนของลักษณะปรากฏที่วัดได้มีอิทธิพลมาจากพันธุกรรม (genetic) และอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่สัตว์ได้รับ เช่น อาหาร การจัดการสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ (falconer and Mackay, 1996)

$$P = G + E + (G \times E) \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ	P	=	ลักษณะปรากฏ
	G	=	ลักษณะทางพันธุกรรม
	E	=	สิ่งแวดล้อม
	Gx E	=	ปฏิกริยาระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม

จากสมการ (2.1) อิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมนั้นไม่สามารถถ่ายทอดได้ แต่ในขณะที่อิทธิพลจากพันธุกรรมนั้นสามารถถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่งได้ โดยลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจจะได้รับอิทธิพลมาจากปัจจัยทางพันธุกรรมต่าง ๆ (Sivarajasingam, 1998)

ในการปรับปรุงพันธุ์สำหรับลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจต่าง ๆ ที่ผ่านมา เพื่อให้ได้สัตว์ที่มีพันธุกรรมที่ตรงตามวัตถุประสงค์ จึงได้นำเอาวิธีการต่าง ๆ มาใช้ในการทดสอบลักษณะโดยใช้ข้อมูลจากลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ ในการประเมินค่าการผสมพันธุ์ (estimated breeding values ; EBV) ของสัตว์แต่ละตัว เพื่อนำมาคัดเลือกสัตว์ในฝูง ซึ่งการคัดเลือกแบบนี้จะใช้เวลานาน และมีค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงดูค่อนข้างมาก ในปัจจุบันมีการนำความรู้ด้านพันธุศาสตร์โมเลกุล (molecular genetic) มาใช้ในการคัดเลือกสัตว์ โดยเฉพาะลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจต่าง ๆ เช่น ลักษณะปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์โปรตีน และไขมันแทรก เป็นต้น เนื่องจากวิธีนี้มีความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือสูง อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงดูสัตว์ได้มาก

2. แพะที่เลี้ยงในประเทศไทย

แพะเป็นสัตว์สี่เท้ามีขนาดเล็ก ขยายพันธุ์ได้เร็ว และระยะตั้งท้องสั้น (150 วัน) สามารถให้ลูกครั้งละ 1-4 ตัว และให้ลูกได้ปีละ 2 ครั้ง ใช้พื้นที่เลี้ยงต่อตัวน้อย มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะทนความร้อนจากแสงแดดได้ดีกว่าสัตว์ชนิดอื่น และที่สำคัญแพะเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย กินอาหารและพืชหลายชนิด รวมทั้งวัสดุเหลือใช้จากเกษตร ด้วยเหตุนี้จึงเหมาะที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงแพะเพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร โดยในอดีตที่ผ่านมาการเลี้ยงแพะในประเทศไทยจำกัดอยู่ในกลุ่มชาวไทยมุสลิมใน 3 จังหวัด ชายแดนภาคใต้เท่านั้น เพื่อใช้ในการบริโภคและประกอบพิธีทางศาสนา แต่ในปัจจุบัน ประชาชนมีการบริโภคนมแพะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากนมแพะสามารถช่วยลดการเกิดโรคมะเร็งได้ จึงทำให้เกษตรกรมีการเลี้ยงแพะกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยพันธุ์แพะที่เลี้ยงอยู่ในประเทศไทย มีดังนี้

2.1. แพะพันธุ์พื้นเมือง

ปัจจุบันแพะพันธุ์พื้นเมืองที่เลี้ยงอยู่ในประเทศไทย คือแพะพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ (Southern Thai native) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแพะกัตจังของประเทศมาเลเซีย นิยมเลี้ยงในพื้นที่ภาคใต้ ในด้านลักษณะประจำพันธุ์แพะพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 2 พันธุ์นั้นมีน้ำหนักเมื่อโตเต็มที่แตกต่างกันเล็กน้อยและสามารถผสมพันธุ์ได้ทุกฤดูกาล ซึ่งให้ลูกประมาณ 2 ตัวต่อครอก และสามารถให้ลูกประมาณ 2 ครั้งต่อปี แต่ให้ผลผลิตต่ำทั้งด้านเนื้อ และนม ซึ่งแพะพื้นเมืองจะให้น้ำนมประมาณ 120 วัน ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 1.00-1.50 กิโลกรัมต่อวัน (กรมปศุสัตว์, 2560)

2.2. แพนนมพันธุ์ต่างประเทศที่มีเลี้ยงอยู่ในประเทศไทย

มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์แพนพื้นเมืองไทยให้ปริมาณน้ำนมและคุณภาพน้ำนมที่ดีขึ้น โดยมีพันธุ์แพนมนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด 6 พันธุ์ (กรมปศุสัตว์, 2560) ได้แก่

2.2.1 แพนพันธุ์ซาแนน (Saanen)

มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งเป็นแพนนมขนาดใหญ่ และเป็นพันธุ์ที่ให้ปริมาณน้ำนมสูงมากจนกระทั่งได้รับฉายาว่าเป็นราชินีแห่งปริมาณน้ำนม ให้ผลผลิตนมเฉลี่ย 5.50 กิโลกรัมต่อวัน ระยะเวลาการรีดนม 200 วัน น้ำนมมีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 3.50 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 2.90 เปอร์เซ็นต์ และแพนพันธุ์ซาแนนนี้มีอัตราของการคลอดลูกแฝดที่ค่อนข้างสูง

2.2.2 แพนพันธุ์ชามี (Shami)

มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศไซปรัส ซีเรีย และกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออก ให้ผลผลิตนมเฉลี่ย 5.33 กิโลกรัมต่อวัน ระยะเวลาการรีดนม 200 วัน น้ำนมมีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 4.00 - 4.50 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 2.90 เปอร์เซ็นต์ และแพนพันธุ์ชามีปรับตัวง่ายในภูมิอากาศที่แตกต่างกันมาก จึงสามารถพัฒนาสายพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพการผลิตของประเทศไทย

2.2.3 แพนพันธุ์อัลไพน์ (Alpine)

มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ และออสเตรเลีย ให้ผลผลิตนมเฉลี่ย 5.13 กิโลกรัมต่อวัน ระยะเวลาการรีดนม 200 วัน น้ำนมมีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 4.1 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 2.90 เปอร์เซ็นต์ แพนพันธุ์อัลไพน์เหมาะสำหรับเลี้ยงให้น้ำนม และเนื้อเป็นหลัก

2.2.4 แพนพันธุ์ทอกเกนเบอร์ก (Toggenburg)

มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ให้ผลผลิตนมเฉลี่ย 4.79 กิโลกรัมต่อวัน ระยะเวลาการรีดนม 200 วัน น้ำนมมีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 3.40 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 2.70 เปอร์เซ็นต์

2.2.5 แพนพันธุ์หลาวซาน (Laoshan)

แพนพันธุ์นี้มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีนที่พัฒนามาจากแพนพันธุ์ซาแนน ซึ่งได้นำเข้ามาในประเทศไทยครั้งแรกในปี พ.ศ. 2545 โดยรัฐบาลจีน จากจังหวัด Shandong จำนวน 2 คู่ เพื่อถวายสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ ในรัชกาลที่ 9 โดยนำไปเลี้ยงและขยายพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ จ.นครราชสีมา ซึ่งให้ผลผลิตนมเฉลี่ย 2.30 กิโลกรัมต่อวัน ระยะเวลาการรีดนม 200 วัน และมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 2.90 เปอร์เซ็นต์

2.2.6 แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน (Anglo-Nubian)

มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศสหราชอาณาจักร ให้เนื้อเป็นหลัก มีผลผลิตนมเฉลี่ย 1.98 กิโลกรัม ต่อวัน ระยะเวลาการรีดนม 165-200 วัน น้ามนมีเปอร์เซ็นต์ไขมัน 5.00 เปอร์เซ็นต์ โดย และมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 3.50 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเลี้ยงเพื่อผลิตนม และให้เนื้อเป็นหลัก

3. องค์ประกอบน้ำนม

น้ำนมจัดเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญที่มีบทบาทต่อสุขภาพ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีประโยชน์ต่อร่างกาย ปัจจุบันน้ำนมแพะได้เข้ามามีบทบาท และเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษทางโภชนาการ เช่น มีกรดไขมันสายโซ่สั้นและเม็ดไขมันขนาดเล็ก สามารถย่อยสลายและดูดซึมได้ง่าย อีกทั้งน้ำนมแพะเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงเป็นแหล่งของวิตามิน และแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด (Ceballos et al., 2009)

3.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำนมแพะ

น้ำนมแพะดิบที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช.6006-2551 ต้องมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่ในสภาพปกติ สะอาด มีสีขาวหรือสีขาวนวล มีกลิ่นรส (flavor) ตามธรรมชาติ ปราศจากสิ่งแปลกปลอม (foreign matter) และการปลอมปน (adulteration) เมื่อตรวจโดยวิธีทดสอบด้วยแอลกอฮอล์ (alcohol test) ดูปฏิกิริยาของน้ำนมแพะดิบ กับเอทิลแอลกอฮอล์ ตะกอนต้องมีขนาดละเอียดหรือขนาดเล็กเท่านั้น มีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ระหว่าง 6.5 ถึง 6.8 ปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนย (solids not fat) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.25 มีจุดเยือกแข็งไม่สูงกว่า -0.530 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ไม่ต่ำกว่า 1.028 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาการเปลี่ยนสีของเมทิลีนบลูต้องมากกว่า 4 ชั่วโมง การเปลี่ยนสีของริชาซูรินที่ 1 ชั่วโมงต้องไม่น้อยกว่า เกรด 4.5 (มกอช.6006, 2551)

3.2 สมบัติทางเคมีของน้ำนมแพะ

ในธรรมชาติน้ำนมมีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อยคือ มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 6.3-6.9 หรือ 6.6 โดยเฉลี่ย ค่าความเป็นกรดของน้ำนมนอกจากจะวัดเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างแล้วยังวัดได้จากค่าปริมาณกรด โดยปกติน้ำนมมีปริมาณกรดระหว่างร้อยละ 0.14-0.18 (คำนวณในรูปกรดแลคติก) การที่น้ำนมดิบ มีสภาพเป็นกรดในธรรมชาติ เนื่องจากองค์ประกอบในน้ำนมแต่ละองค์ประกอบทำให้เกิดความเป็นกรดได้ คือ ซิเตรต คาร์บอนไดออกไซด์ แอลบูมิน เคซีน และฟอสเฟต (ดังแสดงตารางที่ 2.1) ซึ่งหากค่าความเป็นกรดของน้ำนมสูงถึงร้อยละ 0.25 แสดงว่าน้ำนมมีคุณภาพไม่ดีและจะเกิดการตกตะกอนเป็นก้อน เนื่องจากเคซีนในน้ำนมตกตะกอนเมื่อค่าความเป็นกรดของน้ำนมสูงถึงร้อยละ 0.50

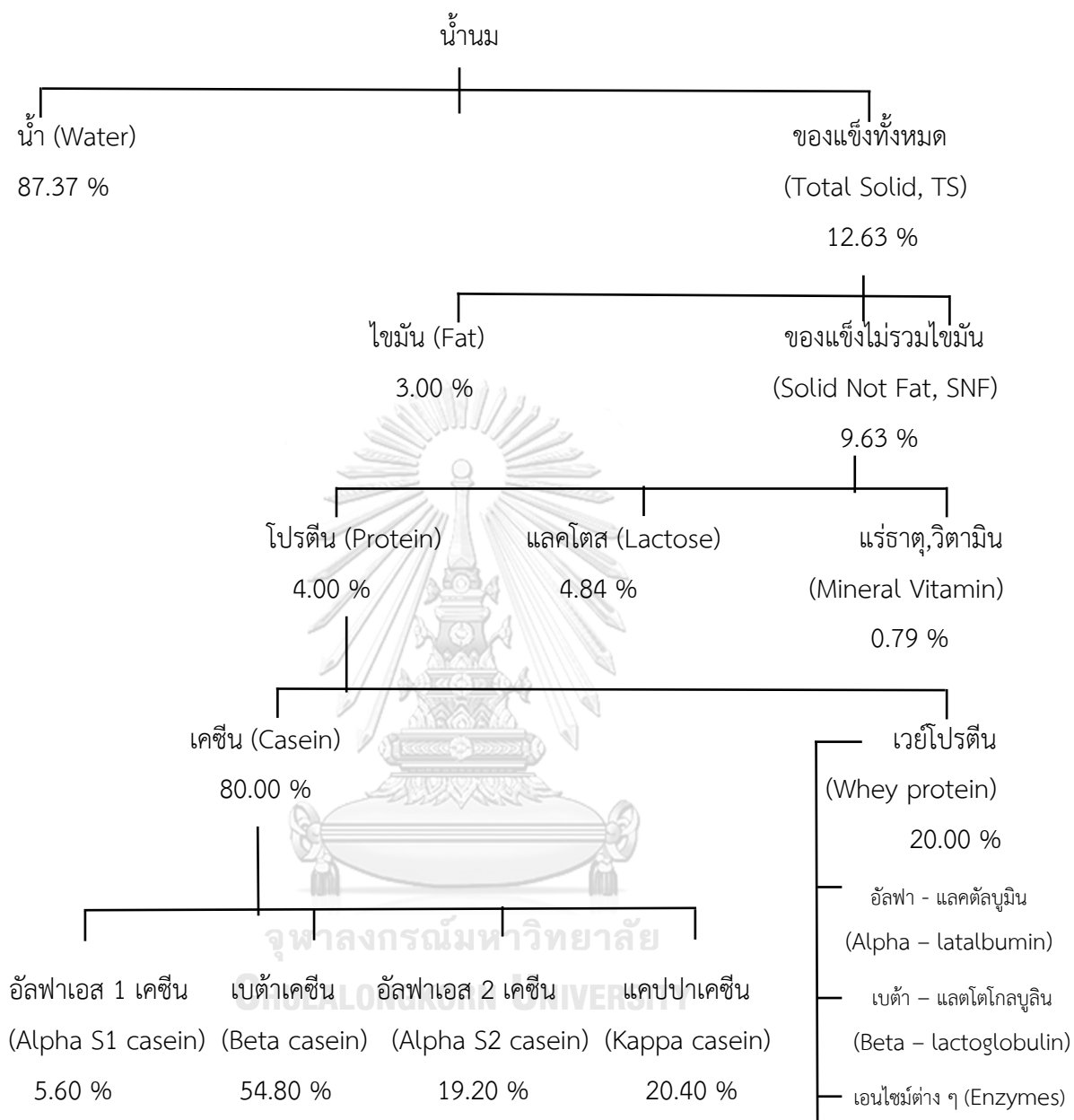
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำนมที่มีผลทำให้น้ำนมมีฤทธิ์เป็นกรด

องค์ประกอบ	ร้อยละความเป็นกรดที่เกิดจากองค์ประกอบ
ซีเตรต	0.01
คาร์บอนไดออกไซด์	0.01-0.02
แอลบูมิน	0.01
เคซีน	0.05-0.08
ฟอสเฟต	0.04-0.10

ที่มา : (กาวิละ, 2531)



3.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ



รูปที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ

ที่มา : Jenness (1980)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ (แสดงดังรูปที่ 1) ประกอบด้วย น้ำเป็นส่วนใหญ่คิดเป็น 87.37 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือจัดเป็นของแข็ง 12.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในส่วนนี้ประกอบด้วย ไขมันคิดเป็น 3.00 เปอร์เซ็นต์ และส่วนของของแข็งไม่รวมไขมัน 9.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนของของแข็งไม่รวมไขมันประกอบด้วยโปรตีน 4.00 เปอร์เซ็นต์ แลคโตส วิตามิน และแร่ธาตุ 5.63 เปอร์เซ็นต์ โดยในส่วนของโปรตีนประกอบด้วยโปรตีน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ เคซีน ในสัดส่วนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย อัลฟาเอส 1 เคซีน 5.60 เปอร์เซ็นต์ เบต้าเคซีน 19.20 เปอร์เซ็นต์ อัลฟาเอส- 2 เคซีน 19.20 เปอร์เซ็นต์ และแคปปาเคซีน 20.40 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนที่เหลือ ได้แก่ เวย์โปรตีน มีสัดส่วนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย อัลฟา - แลคตัลบูมิน และ เบต้า - แลคโตโกลบูลิน (Jenness, 1980) โดยส่วนประกอบของน้ำนมทั้งหมดจะผันแปรไปตามพันธุ์ของสัตว์ ฤดูกาล และระยะเวลาการให้นม ดังแสดงตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของแพะนมในพันธุ์ต่าง ๆ

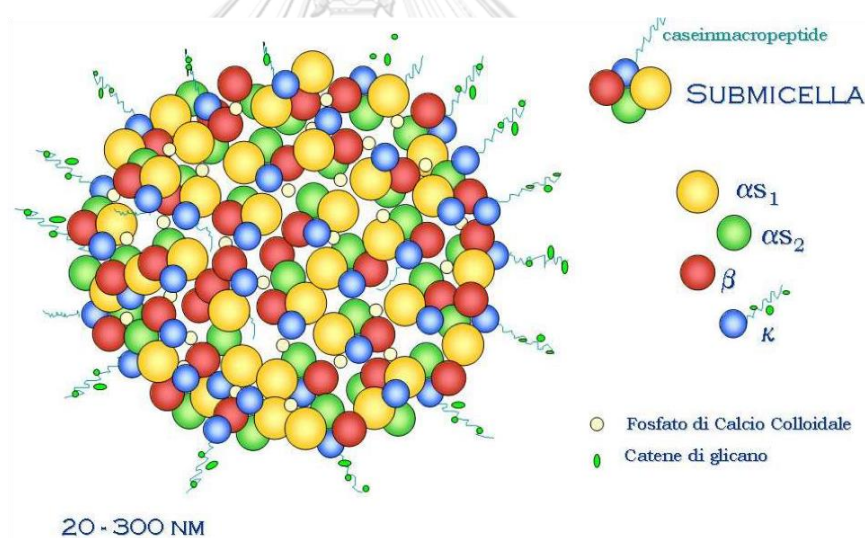
พันธุ์	ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม)	ระยะเวลาการให้นม (วัน)	ปริมาณน้ำนมต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)	องค์ประกอบน้ำนม (เปอร์เซ็นต์)	
				ไขมัน	โปรตีน
ซาแนน	1243	290	4.29	3.70	2.80
โทเคนเบอร์ก	1169	295	3.96	3.70	2.70
แองโกล-นูเบียน	459	295	1.56	5.00	3.50
อัลไพน์	1099	290	3.79	4.10	3.00
โกลเดน	992	292	3.40	4.10	2.00
พื้นเมือง	162	200	0.81	4.00	-

ที่มา :กรมปศุสัตว์ (2560)

4. โปรตีนในน้ำนม (Milk Protein)

โปรตีนในน้ำนมที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ เคซีน และเวย์โปรตีน หรือโปรตีนหางนม ประกอบด้วย แลคตัลบูมิน และแลคโตโกลบูลิน โดยโปรตีนหางนมจะได้หลังจากตกตะกอนเคซีนออกไปแล้ว

โปรตีนเคซีนเป็นโปรตีนหลักซึ่งมีอยู่ 80 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด แยกออกเป็น อัลฟาเอส 1 เคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน เบต้าเคซีน และแคปปาเคซีน โดย อัลฟาเอส1เคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน เบต้าเคซีน มีโครงสร้างที่คล้ายกัน และมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำหรือไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ (hydrophobic) และจะถูกล้อมรอบโดยแคปปาเคซีน ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำหรือสามารถรวมตัวกับน้ำได้ (hydrophilic) แสดงดังรูปที่ 2 ดังนั้นจึงทำให้เคซีนทั้งหมดสามารถลอยตัวอยู่ในน้ำนมได้ ซึ่งจะลอยตัวอยู่ในรูปของเคซีนไมเซลล์ (casein micelles) และการตกตะกอนเคซีนทำได้โดยการปรับค่า pH ของน้ำนมให้เท่ากับ 4.6 - 4.7 ซึ่งเป็น Isoelectric point ของโปรตีนเคซีน



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ (casein micelles) ของ Horne model

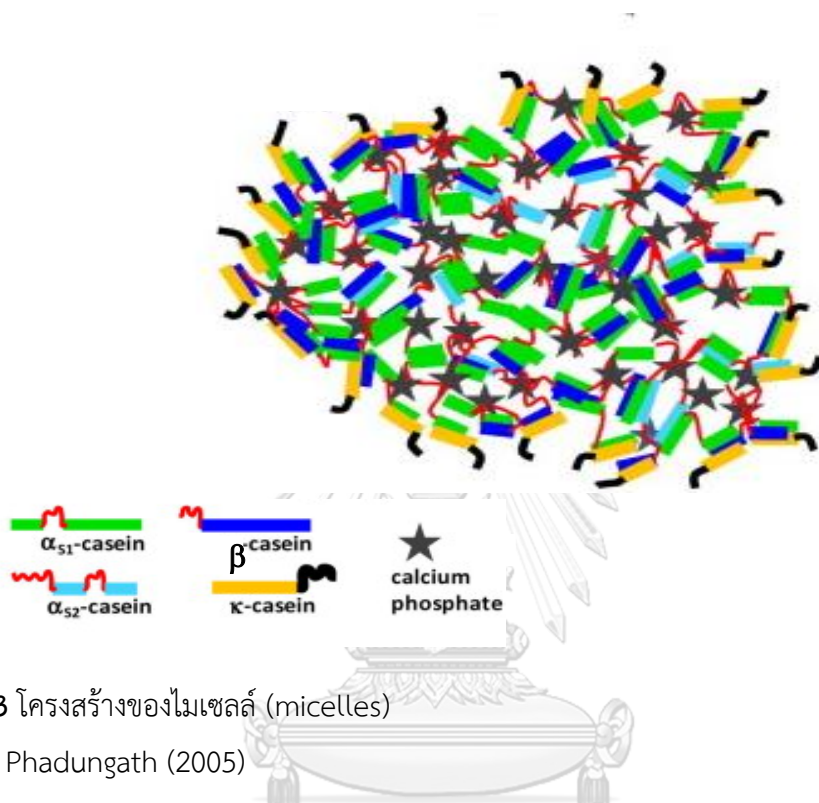
ที่มา : Martin et al. (1999)

5. โครงสร้างของโปรตีนเคซีนในน้ำนม

5.1 โครงสร้างทางเคมีของโปรตีนเคซีน (The chemical structure of casein protein)

Greppi และคณะ (2008) ได้รายงานว่ โปรตีนเป็นของแข็งที่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ในรูปแบบเคซีนไมเซลล์ มีลักษณะเป็นทรงกลมทำให้น้ำนมมีสีขาวขุ่น โดยเคซีนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในน้ำนมเท่านั้น และมีปริมาณมากที่สุดของโปรตีนในนม เคซีนมีลักษณะเป็นทรงกลมเป็นเม็ดสีขาวเหลือง ในสภาพบริสุทธิ์จะมีสีขาว ไม่มีกลิ่นและรส เคซีนเป็นตัวช่วยให้เกิดความขาวในน้ำนม และรวมตัวกับแคลเซียมอยู่ในรูปแคลเซียมเคซีเนท (calcium caseinate) โมเลกุลของเคซีนทำให้นมเห็นเป็นสีขาว โครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ในน้ำนมมีสภาพหลวมๆ เนื่องจากภายในมีน้ำอยู่มากประมาณ 3.7 กรัมต่อกรัมของโปรตีน เคซีนไมเซลล์ประกอบด้วยซับไมเซลล์ (submicelles) หลากหลายหน่วยมารวมกัน ซับไมเซลล์หน่วยย่อยนี้มีรูปร่างกลมซึ่งเกิดจากนิวเคลียสที่ไม่ชอบน้ำล้อมรอบด้วยชั้นที่มีขั้ว (ชอบน้ำ) โดยซับไมเซลล์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ประเภทที่ไม่มีแคปทาเคซีน ประกอบด้วย อัลฟาเอส 1 เคซีน โดยโปรตีนชนิดที่มีขั้ว (polar head) อัลฟาเอส 2 เคซีน เป็นโปรตีนชนิดที่มีขั้วและไม่มีขั้ว (apolar tail) และเบต้าเคซีน เป็นโปรตีนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยปลายข้างหนึ่งของสายโพลีเปปไทด์เป็นพวกมีขั้วและส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นพวกไม่มีขั้ว ซึ่งเมื่อเคซีนทั้ง 3 ชนิดนี้รวมตัวกันจะมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และซับไมเซลล์อีกประเภทคือ ซับไมเซลล์ที่มีแคปทาเคซีน ประกอบด้วย อัลฟาเอส 1 เคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน เบต้าเคซีน และล้อมรอบด้วยแคปทาเคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดที่ไม่มีขั้ว มีคุณสมบัติที่สามารถละลายได้ในสารละลายแคลเซียมไอออน ดังนั้นจึงมีบทบาทในการรักษาสภาพของเคซีนไมเซลล์ เพราะแคปทาเคซีนช่วยป้องกันไม่ให้เคซีนชนิดอื่นละลายในสารละลายแคลเซียมจึงทำให้คงตัวอยู่ในไมเซลล์ โดยซับไมเซลล์ประเภทนี้จะมีคุณสมบัติชอบน้ำ นอกจากนี้พบว่าซับไมเซลล์จะหยุดรวมตัวกันเมื่อไมเซลล์ถูกปกคลุมไปด้วยซับไมเซลล์ชนิดที่มีแคปทาเคซีน เพราะไกลโคเปปไทด์ (glycopeptide) ของแคปทาเคซีนเป็นส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิก ซึ่งมีลักษณะเป็นสายยื่นออกไปปกคลุมนอกพื้นผิวของไมเซลล์ช่วยป้องกันการเชื่อมกันของเคซีนไมเซลล์ด้วยแรงผลักแบบสเตอริก (steric repulsion) (Sawaya et al., 1984)

โดยซับไมเซลล์ทั้ง 2 ประเภทนี้จะมีการจับตัวในรูปทรงกลม และแต่ละซับไมเซลล์สามารถรวมกันได้ด้วยการดึงดูดของแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate briges) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการคงตัวของ เคซีนไมเซลล์ จึงทำให้เคซีนทั้งหมดสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ในรูปแบบของไมเซลล์ (Phadungath, 2005) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างของไมเซลล์ (micelles)

ที่มา : Phadungath (2005)

5.2 โครงสร้างของจีนเคซีนในระดับโมเลกุล (The structure of casein genes in a molecular level)

Marini และคณะ (2011) ได้รายงานไว้ว่าจีนเคซีนของแพะมีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 6 ดีเอ็นเอมีขนาดประมาณ 250 กิโลเบส โดยจะมีการเรียงตัวของจีนเคซีน กล่าวคือ อัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีน ตามลำดับ (แสดงดังรูปที่ 4) โดยมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 4 โครงสร้างทางพันธุศาสตร์โมเลกุลของจีนเคซีนในน้ำนมแพะ

ที่มา : Martin และคณะ (2002)

5.2.1 อัลฟาเอส 1 เคซีน (alpha S1 casein) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 23.60 กิโลดาลตัน ประกอบด้วย ประกอบด้วย 19 exon และ 18 intron กรดอะมิโนจำนวน 212 หน่วย และมีลำดับเบสทั้งหมด 19,408 คู่เบส พบความหลากหลายของอัลลีลทั้งหมด 11 อัลลีล ประกอบด้วย A, B, C, D, E, F, G, H, L, M และ N

5.2.2 เบต้าเคซีน (beta casein) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 24.50 กิโลดาลตัน ประกอบด้วย 9 exon และ 8 intron กรดอะมิโนจำนวน 181 หน่วย และมีลำดับเบสทั้งหมด 10,785 คู่เบส พบความหลากหลายของอัลลีลทั้งหมด 5 อัลลีล ประกอบด้วย A, C, D, E และ O

5.2.3 อัลฟาเอส 2 เคซีน (alpha S2 casein) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 25.15 ประกอบด้วย 18 exon และ 17 intron กรดอะมิโนจำนวน 223 หน่วย และมีลำดับเบสทั้งหมด 18,2046 คู่เบส พบความหลากหลายของอัลลีลทั้งหมด 7 อัลลีล ประกอบด้วย A, B, C, D, E, F และ O

5.2.4 แคปป์ตาเคซีน (kappa casein) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 19.00 กิโลดาลตัน ประกอบด้วย 5 exon และ 4 intron กรดอะมิโนจำนวน 192 หน่วย และมีลำดับเบสทั้งหมด 9,619 คู่เบส พบความหลากหลายของอัลลีลทั้งหมด 14 อัลลีล ประกอบด้วย A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M และ N

ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบอัลลีลของเงินเคซีนทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของเงินเคซีน	รูปแบบของอัลลีล	อ้างอิง
อัลฟาเอส 1 เคซีน	A, B, C, D, E, F, G, H, L, M และ N	Boulanger et al.(1984), Brignon et al. (1989), Mahé and Grosclaude (1989), Leroux et al. (1992), Martin and Leroux (1994), Pérez et al. (1994), Chianese et al. (1997), Cosenza et al. (2003), Ramunno et al. (2005) และ Selvaggi et al. (2014),
เบต้าเคซีน	A, C, D, E และ O	(Boulanger et al., 1984), Persuy et al. (1999), Neveu et al. (2002), Galliano et al. (2004), Caroli et al. (2006) และ Cosenza et al. (2007)
อัลฟาเอส 2 เคซีน	A, B, C, D, E, F และ O	Boulanger et al. (1984), Bouniol et al. (1994), Ramunno et al. (2001a), Ramunno et al. (2001b), Lagonigro et al. (2002) และ Cunsolo et al. (2006)
แคปปาเคซีน	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M และ N	Coll et al. (1993), Angiolillo et al. (2002), Angiolillo et al. (2002), Caroli et al. (2001), Jann et al. (2004), Prinzenberg et al. (2005), Yahyaoui et al. (2001), Yahyaoui et al. (2003)

6. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของจีนที่ควบคุมลักษณะเคซีนในน้ำนม (genetic polymorphism of milk casein loci)

ความหลากหลายทางพันธุกรรมระดับโมเลกุลของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด เกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดของเบสบางตำแหน่ง เช่น point mutation deletion และ insertion บนสายดีเอ็นเอทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโน ณ ตำแหน่งนั้นบนสายโปรตีน

6.1. จีนอัลฟาเอส 1 เคซีน (Alpha S1 casein)

จีนอัลฟาเอส 1 พบความหลากหลายของอัลลีลทั้งหมด 12 อัลลีล พบความหลากหลายของอัลลีลต่าง ๆ โดยเกิด point mutation หรือ deletion โดยมีรายละเอียดดังนี้

อัลลีล A พบอยู่บน exon 2 มีขนาด 63 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 1 เป็นเบส T exon 3 มีขนาด 33 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 10-11 เป็นเบส CA exon 4 มีขนาด 39 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 8 เป็นเบส T exon 9 มีขนาด 54 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 23 เป็นเบส C exon 11 มีขนาด 24 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 38 เป็นเบส 38 exon 12 มีขนาด 42 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 14 เป็นเบส T และ exon 17 มีขนาด 156 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 139

อัลลีล B พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 1 บน exon 2 จากเบส T เป็น G และตำแหน่ง 8 บน exon 4 จากเบส T เป็น C

อัลลีล C พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 16-17 บน exon 3 จากเบส CA เป็น AT ตำแหน่ง 8 บน exon 4 จากเบส T เป็น C ตำแหน่ง 14 บน exon 12 จากเบส G เป็น A และตำแหน่ง 139 บน exon 17 จากเบส A เป็น G

อัลลีล D พบการหายไปของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 59-65 บน exon 9 และพบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 8 บน exon 4 จากเบส T เป็น C

อัลลีล E พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 8 บน exon 4 จากเบส T เป็น C ตำแหน่ง 14 บน exon 12 จากเบส G เป็น A และตำแหน่ง 139 บน exon 17 จากเบส A เป็น G

อัลลีล F พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 8 บน exon 4 จากเบส T เป็น C และพบการหายไปของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 59-65 บน exon 9

อัลลีล G พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 22 บน exon 10 จากเบส G เป็น C

อัลลีล H พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 1 บน exon 2 จากเบส T เป็น G

อัลลีล L พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 8 บน exon 4 จากเบส T เป็น C และตำแหน่ง 38 บน exon 11 จากเบส G เป็น A

อัลลีล M พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 23 บน exon 9 จากเบส C เป็น T และตำแหน่ง 38 บน exon 11 จากเบส G เป็น A

อัลลีล N พบการหายไปของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 23 บน exon 9

นอกจากนี้ความถี่ของอัลลีลต่าง ๆ ที่พบในประชากรแพะ มีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 2.4



ตารางที่ 2.5 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสายโปรตีนแตกต่างกันไปบางส่วนตำแหน่งของจีนอัลฟาเอส1 เคซีน (ต่อ)

Exon Position	Nucleotide position	Protein position	A	B	C	D	E	F	G	H	L	M	N	Referents
11	38	105	G								A	A		Chianese et al. (1997), Ramunno et al. (2005) และ Cosenza et al. (2003)
12	14	115	G (Arg)		A (Lys)									Pérez et al. (1994), Cosenza et al. (2003); Rahmatalla et al. (2021) และ Ramunno et al. (2005)
17	139	195	A (Thr)		G (Ala)						G (Ala)			Pérez et al. (1994), Cosenza et al. (2003), Rahmatalla et al. (2021) และ Ramunno et al. (2005)

อัลฟาเอส 1 เคซีน พบอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐาน (common allele) ในประชากรแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ มีความถี่ของแต่ละอัลลีล ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีนในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ

Breeds	Allele											Referents	
	A	B	C	D	E	F	G	N					
Saanen	0.680	0.210	0.110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yahyaoui et al. (2003)
Teramana	-	0.700	0.020	0.100	-	0.140	0.040	-	-	-	-	-	Yahyaoui et al. (2003)
Montefalcone	-	0.590	-	-	0.410	-	-	-	-	-	-	-	Yahyaoui et al. (2003)
Girgentana	0.340	0.450	-	0.050	-	-	0.050	-	-	-	-	-	Yahyaoui et al. (2003)
Saanen	0.030	0.050	-	-	0.420	0.370	-	-	0.070	-	-	-	Torres-Vázquez et al. (2008)
Alpine	0.190	0.140	-	-	0.240	0.280	-	-	0.150	-	-	-	Torres-Vázquez et al.(2008)
Saanen	0.890	0.110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kiplagat et al. (2010)
Alpine	0.594	0.406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kiplagat et al. (2010)
Toggenberg	0.121	0.879	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kiplagat et al. (2010)
Saanen	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Scheepers et al. (2010)
Sarda	0.277	0.678	0.045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Vacca et al.(2014)
Ardi	0.830	0.170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	El-Shazly et al. (2017)
Syrian	0.780	-	0.220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	El-Shazly et al. (2017)

6.2. จีนเบต้าเคซีน (Beta casein)

อัลลีล A พบอยู่บน exon 7 มีขนาด 492 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 325 เป็นเบส C ตำแหน่ง 361 เป็นเบส G ตำแหน่ง 373 เป็นเบส C ตำแหน่ง 404 เป็นเบส T และตำแหน่ง 457-459 เป็นเบส G

อัลลีล C พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 361 จากเบส G เป็น T

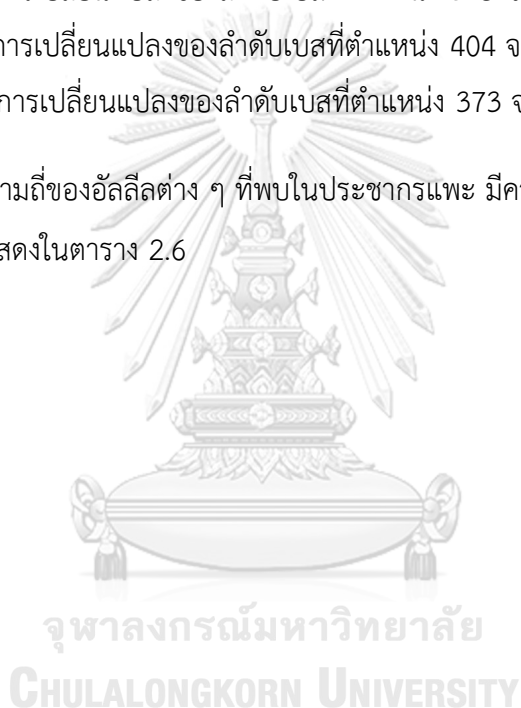
อัลลีล D พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 361 และ 457-459 จากเบส G เป็น T และ GTA เป็น AAT ตามลำดับ

อัลลีล E พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 325 จากเบส C เป็น A

อัลลีล F พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 404 จากเบส T เป็น C

อัลลีล O พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 373 จากเบส C เป็น A

นอกจากนี้ความถี่ของอัลลีลต่าง ๆ ที่พบในประชากรแพะ มีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 2.6



ตารางที่ 2.7 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสายโปรตีนแตกต่างกันไปบางตำแหน่งของซีเนบต้าเคซิน

Nucleotide position	Protein position	A	C	D	E	O	Referents
CSN2 exon 7							
325	107	C (Leu)			A (Ile)		Boulanger et al. (1984) และ Caroli et al. (2006)
361	177	G (Leu)	T (Leu)	T (Leu)			Neveu et al. (2002), Persuy et al. (1999) และ Cosenza et al. (2007)
373	181	C (Glu)				A (Lsy)	
457-459	210	GTA (Val)		AAT (Asn)			Galliano et al. (2004)

เบต้าเคซีน พบอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐานในประชากรแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ มีความถี่ของแต่ละอัลลีล ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.8 แสดงความถี่อัลลีลของจีนเบต้าเคซีนในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ

Breeds	Allele						Referents
	A	C	D	E	O		
Saanen	0.92	0.080	-	-	-	-	Chiatti et al. (2005)
Garganica	0.512	0.479	-	-	-	-	Caroli et al.(2006)
Frisa	0.200	-	0.721	0.079	-	-	Caroli et al.(2006)
Orobica	0.008	-	0.992	-	-	-	Caroli et al.(2006)
Camosciata	0.341	-	0.659	-	-	-	Caroli et al.(2006)
Verzasca	0.254	-	0.746	-	-	-	Caroli et al.(2006)
Sarda	0.375	-	0.625	-	-	-	Vacca et al.(2014)
Girgentana	0.023	0.597	0.326	-	-	0.054	Tortorici et al. (2014)

6.3. จีนอัลฟาเอส 2 เคซีน (Alpha S2 casein)

อัลลีล A พบอยู่บน exon 9 มีขนาด 24 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 10 และ 325 เป็นเบส G และ C ตามลำดับ exon 11 มีขนาด 123 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 80 113 และ 115-123 เป็นเบส G C และ CCCACGTG ตามลำดับ exon 16 มีขนาด 120 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 27 และ 83 เป็นเบส A และ C ตามลำดับ

อัลลีล B พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 10 บน exon 9 จากเบส G เป็น A

อัลลีล C พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 27 บน exon 16 จากเบส A เป็น T

อัลลีล D พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 113 บน exon 11 จากเบส C เป็น A และพบการหายไปของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 115-123 บน exon 11

อัลลีล E พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 27 และ 83 บน exon 16 จากเบส A เป็น T และ C เป็น G ตามลำดับ

อัลลีล O พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 80 บน exon 11 จากเบส G เป็น A

นอกจากนี้ความถี่ของอัลลีลต่าง ๆ ที่พบในประชากรแพะ มีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 2.8

ตารางที่ 2.9 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสายโปรตีนแตกต่างกันไปบางตำแหน่งของซีโนอัลฟาเอส2 เคซีน

Exon Position	Nucleotide position <i>Alpha S2 casein</i>	Protein position	A	B	C	D	E	F	O	Referents
3	14	22	T (Val)					A (Ile)		Boulanger et al. (1984) และ Ramunno et al. (2001a)
9	10	79	G (Glu)	A (Lys)						Bouniol et al. (1994), Cunsolo et al. (2006) และ Ramunno et al. (2001b)
11	80	125	G (Trp)						A (Stop)	Ramunno et al. (2001a)
	113	136	C (Thr)							Ramunno et al. (2001a)
	115-123	137-139	CCCACGTG (Pro Thr Leu)							Ramunno et al. (2001a)
16	27	189	A (Lys)				T (Val)			Bouniol et al. (1994), Lagonigro et al. (2002)
	83	208	C (Pro)				G (Arg)			Lagonigro et al. (2002)

อัลฟาเอส 2 เคซีน พบอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐานในประชากรแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ มีความถี่ของแต่ละอัลลีล ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.10 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ

Breeds	Allele										Referents
	A	B	C	D	E	F	O				
Naples Native	0.382	0.025	0.233	0.019	-	0.261	0.080				Ramunno et al.(2001b)
Saanen	0.920	0.080	-	-	-	-	-				Chiatti et al. (2005)
Frisa	0.820	0.120	0.030	-	0.030	-	-				Chiatti et al. (2005)
Orobica	0.910	0.070	0.020	-	-	-	-				Chiatti et al. (2005)
Verzasca	0.900	0.010	0.090	-	-	-	-				Caroli et al.(2006)
Frisa	0.250	0.114	0.014	-	0.057	0.564	-				Caroli et al.(2006)
Orobica	0.008	-	-	-	-	0.992	-				Caroli et al.(2006)
Camosciata	0.568	0.051	0.057	-	-	0.324	-				Caroli et al.(2006)
Sarda	0.313	0.006	0.271	-	0.018	0.392	-				Vacca et al.(2014)
Saanen	0.500	-	0.200	-	-	0.300	-				Grobler et al.(2017)
Alpine	0.700	0.025	0.050	-	-	0.225	-				Grobler et al.(2017)
Toggenburg	0.625	0.225	0.050	-	-	0.075	-				Grobler et al.(2017)
Girgentana	0.722	-	0.051	-	0.002	0.225	-				Grobler et al.(2017)

6.4. จีนแคปปาเคซีน (Kappa casein)

อัลลิล A พบอยู่บน exon 4 มีขนาด 584 bp ลำดับเบสที่ตำแหน่ง 102 เป็นเบส T ตำแหน่ง 104 เป็นเบส A ตำแหน่ง 131 เป็นเบส A ตำแหน่ง 141 เป็นเบส G ตำแหน่ง 155 เป็นเบส A ตำแหน่ง 166 เป็นเบส G ตำแหน่ง 242 เป็นเบส A ตำแหน่ง 328 เป็นเบส G ตำแหน่ง 366 เป็นเบส A ตำแหน่ง 440 เป็นเบส C และตำแหน่ง 448 เป็นเบส T

อัลลิล B พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 102, 104, 166 และ 448 จากเบส T เป็น C, A เป็น G, G เป็น A และ T เป็น C ตามลำดับ

อัลลิล C พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 102, 104, 141, 166, 366, 440 และ 448 จากเบส T เป็น C, A เป็น G, G เป็น A, G เป็น A, A เป็น G, C เป็น T และ T เป็น C ตามลำดับ

อัลลิล E พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 242 จากเบส A เป็น G

อัลลิล F พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 102 และ 448 จากเบส T เป็น C และ T เป็น C ตามลำดับ

อัลลิล G พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 102, 166 และ 448 จากเบส T เป็น C G เป็น A และ T เป็น C ตามลำดับ

อัลลิล H พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 131 จากเบส A เป็น G

อัลลิล I พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 131 และ 166 จากเบส A เป็น G และ G เป็น A ตามลำดับ

อัลลิล J พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 155 และ 166 จากเบส A เป็น G และ G เป็น A ตามลำดับ

อัลลิล K พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 104 จากเบส A เป็น G อัลลิล L พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสที่ตำแหน่ง 242 จาก A เป็น G

อัลลิล M พบการเปลี่ยนแปลงของเบสที่ตำแหน่ง 102, 104, 166 และ 448 จากเบส T เป็น C, A เป็น G, G เป็น A และ T เป็น C ตามลำดับ

นอกจากนี้ความถี่ของอัลลิลต่าง ๆ ที่พบในประชากรแพะ มีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 2.10

ตารางที่ 2.11 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสายโปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนแคปโปเดซิน

Nucleotide position	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Referents
CSN3 exon 4														
Protein position														
102	T (Tyr)	C (Tyr)	C (Tyr)				C (Tyr)						C (Tyr)	Coll et al. (1993), Caroli et al. (2001), Jann et al. (2004), Prinzenberg et al. (2005), Yahyaoui et al. (2001) และ Yahyaoui et al. (2003)
104	A (Gln)	G (Arg)	G (Arg)								G (Arg)		G (Arg)	Jann et al. (2004), Prinzenberg et al. (2005) และ Yahyaoui et al. (2001)
131	A (Asn)							G (Ser)	G (Ser)					Jann et al. (2004)
141	G (Leu)		A (Leu)											Prinzenberg et al. (2005)
155	A (Tyr)									G (Cys)				Jann et al. (2004)

ตารางที่ 2.12 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสายโปรตีนแตกต่างกันไปในบางตำแหน่งของจีนแคปโปลาเคซิน (ต่อ)

Nucleotide position	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Referents
CSN3 exon 4														
Protein position														
166	G	A	A				A		A				A	Jann et al. (2004), Prinzenberg et al. (2005), Yahyaoui et al. (2001), Yahyaoui et al. (2003)
166	(Val)	(Ile)	(Ile)				(Ile)		(Ile)				(Ile)	
242	G	A	A				A		A				A	Jann et al. (2004), Prinzenberg et al. (2005), Yahyaoui et al. (2001) และ Yahyaoui et al. (2003)
242	(Val)	(Ile)	(Ile)				(Ile)		(Ile)				(Ile)	
328	G	A	A				A		A				A	Angiolillo et al. (2002) และ Jann et al. (2004), Caroli et al. (2001), Angiolillo et al. (2002), Jann et al. (2004), Prinzenberg et al. (2005), Yahyaoui et al. (2001) และ Yahyaoui et al. (2003)
328	(Ile)	(Val)	(Val)				(Val)		(Val)				(Val)	

ตารางที่ 2.13 แสดงความแตกต่างของชนิดเบสบางตำแหน่งบนสายดีเอ็นเอที่ทำให้กรดอะมิโนในสายโปรตีนแตกต่างกันไปบางตำแหน่งของซีนแคปโปลาเคซิน (ต่อ)

Nucleotide position CSN3 exon 4	Protein position	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Referents
366	155	A (Ser)		G (Gly)											Prinzenberg et al. (2005),
440	177	C (Ala)		T (Val)											Prinzenberg et al. (2005), Coll et al. (1993), Jann et al. (2004), (Ser)
448	180	T (Pro)	C (Ser)	C (Ser)		C (Ser)									Prinzenberg et al. (2005), Yahyaoui et al. (2001) และ Yahyaoui et al. (2003)

แคปพาเคซิน พบอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐานในประชากรแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ มีความถี่ของแต่ละอัลลีล ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.14 แสดงความถี่อัลลีลของจีนแคปพาเคซินในแพะนมพันธุ์ต่าง ๆ

Breeds	Allele										Referents
	A	B	C	D	E	F	M				
Saanen	0.160	-	-	-	0.410	0.430	-	-	-	-	Grosclaude et al. (1987)
Toggenburg	0.470	0.210	-	-	-	0.320	-	-	-	-	Grosclaude et al. (1987)
Alpine	0.190	-	-	-	0.340	0.410	-	-	-	-	Grosclaude et al. (1987)
Alpine	0.140	0.050	0.010	0.340	0.050	0.410	-	-	-	-	Jordana et al. (1996)
Saanen	0.250	0.660	0.090	-	-	-	-	-	-	-	Prinzenberg et al. (2005)
Red Sokoto	0.387	0.586	-	-	-	-	-	-	0.016	-	Prinzenberg et al. (2005)
Shorthair	0.303	-	-	-	0.085	0.612	-	-	-	-	Sztankóová et al.(2006)
Saanen	0.031	0.108	-	-	0.418	0.371	-	-	-	-	Torres-Vázquez et al. (2008)
Toggenburg	0.141	0.212	-	-	0.147	0.321	-	-	-	-	Torres-Vázquez et al. (2008)
Alpine	0.185	0.142	-	-	0.241	0.278	-	-	-	-	Torres-Vázquez et al. (2008)
Katjang	0.250	0.135	-	-	0.442	0.115	-	-	-	-	Marini et al.(2011)
Sarda	0.202	0.520	-	-	0.030	0.242	-	-	-	-	Vacca et al.(2014)

7. ความสัมพันธ์ระหว่างจีนเคซีนกับลักษณะผลผลิตน้ำนม (Relationship between casein genes and milk production)

ลักษณะผลผลิตที่ถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนมากคู่ จำเป็นต้องพิจารณาอื่นหลายๆ ตำแหน่งไปพร้อมกัน ทั้งนี้เพราะความหลากหลายของรูปแบบอัลลีลในแต่ละยีน อาจจะมีผลต่อลักษณะผลผลิตที่แตกต่างกัน

Vacca และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายของเบต้าเคซีนต่อลักษณะปริมาณน้ำนมแพะพันธุ์ Sarda ในประเทศอิตาลี พบว่า แพะนมที่ให้ปริมาณน้ำนมมาก ส่วนใหญ่พบรูปแบบเบต้าเคซีนอัลลีล B ในขณะที่แพะนมที่ให้ปริมาณน้ำนมน้อย ส่วนใหญ่พบรูปแบบเบต้าเคซีนอัลลีล A

Prinzenberg และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายของแคปปาเคซีนต่อลักษณะปริมาณน้ำนม ปริมาณโปรตีน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนของแพะนมในประเทศอิตาลี พบว่า แพะนมที่ให้ปริมาณน้ำนม ปริมาณโปรตีน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนมาก ส่วนใหญ่พบรูปแบบแคปปาเคซีนอัลลีล B ในขณะที่แพะนมที่ให้ผลผลิตน้อย ส่วนใหญ่พบรูปแบบแคปปาเคซีนอัลลีล A ทำทองเกี่ยวกับการศึกษาของ Yahyaoui และคณะ (2003) ในขณะที่ El-Shazly และคณะ (2017) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายของแคปปาเคซีนต่อลักษณะปริมาณน้ำนม และปริมาณโปรตีน พบว่าแพะนมที่มีรูปแบบแคปปาเคซีนอัลลีล A ให้ปริมาณน้ำนมและปริมาณโปรตีนสูงกว่าแพะนมที่มีรูปแบบแคปปาเคซีนอัลลีล B ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chiatti และคณะ (2007)

Clark และ Sherbon (2000b) ได้ศึกษาถึงสัดส่วนของอัลฟาเอส 1 เคซีน และอัลฟาเอส 2 เคซีนในน้ำนมโค และน้ำนมแพะต่อลักษณะอาการแพ้ น้ำนมของผู้บริโภค พบว่า สัดส่วนของอัลฟาเอส 1 เคซีน 30 % และอัลฟาเอส 2 เคซีน 12 % ต่อเคซีนทั้งหมดในน้ำนมโค ในขณะที่น้ำนมแพะมีสัดส่วนของอัลฟาเอส 1 เคซีน 4 % และอัลฟาเอส 2 เคซีน 40 % น่าจะมีอิทธิพลเกี่ยวข้องกับอาการท้องเสียของผู้บริโภคน้ำนมโค แต่ในผู้บริโภคน้ำนมแพะไม่พบอาการท้องเสีย

Caffaro และคณะ (2012) รายงานความสัมพันธ์ระหว่างอัลฟาเอส 1 เคซีน และแคปปาเคซีนต่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนและปริมาณน้ำนมในแพะ กล่าวคือ อัลฟาเอส 1 เคซีนมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม และแคปปาเคซีนมีผลต่อการคงตัว การรวมตัวของเคซีนไมเซลล์ และการทำชีส

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1. กลุ่มตัวอย่างประชากร และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 กลุ่มตัวอย่างประชากร

กลุ่มตัวอย่างประชากรแพะที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ แพะพันธุ์ซาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย รวมทั้งสิ้นจำนวน 65 ตัว โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 แพะพันธุ์ซาแนน จำนวน 23 ตัว จากจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 5 ตัว แบ่งเป็นแม่แพะ จำนวน 4 ตัว ลูกแพะ จำนวน 1 ตัว และจากศูนย์ฝึกนิสิตสัตวแพทย คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 18 ตัว แบ่งเป็นแม่แพะ จำนวน 13 ตัว ลูกแพะ จำนวน 5 ตัว

3.1.2 แพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 42 ตัว แบ่งเป็นแม่แพะ จำนวน 21 ตัว ลูกแพะจำนวน 21 ตัว จากศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ จังหวัดกระบี่ โดยในแม่ 1 ตัวจะเก็บตัวอย่างลูก 1 ตัว

ในการศึกษาค้างนี้เลือกใช้ตัวอย่างดีเอ็นเอของแพะ 2 พันธุ์ ข้างต้น เนื่องจาก แพะพันธุ์ซาแนน จัดเป็นแพะที่ให้ปริมาณน้ำนมมากที่สุด (เฉลี่ย 5.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) ส่วนแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยให้ปริมาณน้ำนมน้อยที่สุด (เฉลี่ย 0.5-1.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) ซึ่งผลผลิตของปริมาณน้ำนมที่แตกต่างกันมากของแพะทั้ง 2 พันธุ์นี้น่าจะมีส่วนทำให้การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมตามเป้าหมายที่ต้องการ และมีโอกาสประสบความสำเร็จได้มากขึ้น

3.1.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

1 ข้อมูลทางด้านพันธุ์ประวัติ (Pedigree data) ทำการเก็บข้อมูลพันธุ์ประวัติของแพะรายตัว ดังข้อ 3.3 และนอกจากนี้เก็บพันธุ์ประวัติลูกแพะ เนื่องจากในการศึกษาค้างนี้ใช้มีการเก็บตัวอย่างดีเอ็นเอจากลูกแพะเพื่อนำมายืนยันรูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ของแม่แพะที่ทำการศึกษา โดยไม่ต้องเก็บตัวอย่างของพ่อพันธุ์แพะ

2. ลักษณะการให้ผลผลิต (Production data) คือ ลักษณะปริมาณน้ำนม ซึ่งจะเก็บข้อมูลปริมาณน้ำนมของแม่แพะทั้งหมด จำนวน 26 ตัว จากแพะพันธุ์ซาแนน จำนวน 5 ตัว และจากแพะ

พันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 21 ตัว โดยในแพะพันธุ์ซาแนนเก็บปริมาณน้ำนมในตอนเช้า และตอนเย็น และในแพะพันธุ์พื้นเมืองทำการเก็บปริมาณน้ำนมในตอนเช้าของทุกวันติดต่อกันตลอดระยะเวลาการให้น้ำนมของแม่แพะ และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทุกครั้ง ซึ่งปริมาณน้ำนมในระยะเวลาให้นม 150 วันจะเป็นปริมาณน้ำนมจริงที่แพะให้ โดยแม่แพะที่ให้ปริมาณน้ำนมเกิน 150 วันจะคิดปริมาณน้ำนมเพียง 150 วัน แต่หากแม่แพะให้ปริมาณน้ำนมไม่ถึง 150 วันจะตัวเลขนั้นเป็นการให้ปริมาณน้ำนม 150 วัน โดยคำนวณจากปริมาณน้ำนมในวันทดสอบด้วยวิธี test interval method (Everett and Carter, 1968; Sargent et al., 1968)

3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างดีเอ็นเอที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยทำการเก็บตัวอย่างจากเลือด หรือเยื่อกระดูกซี่โครง หรือเยื่อช่องคลอด สำหรับการเก็บตัวอย่างเลือด ใช้เข็มฉีดยาเบอร์ 18 (1.5 นิ้ว) เจาะที่เส้นเลือดดำบริเวณคอ (Jugular vein) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร บรรจุในหลอดสุญญากาศที่มีส่วนประกอบของสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (EDTA) จากนั้นเก็บไว้ในตู้แช่เย็นที่ -20°C สำหรับการเก็บตัวอย่างเยื่อกระดูกซี่โครง หรือเยื่อช่องคลอด โดย swab บริเวณที่ต้องการ ใส่หลอดที่บรรจุด้วย sterile water จำนวน 2 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในตู้แช่เย็น 4°C จนกว่าจะทำการสกัดดีเอ็นเอ

3.3 โครงสร้างของข้อมูล (Data structure)

ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย 2 แฟ้มข้อมูล ดังนี้

1 ข้อมูลทางด้านพันธุ์ประวัติ (Pedigree file) ประกอบด้วย

- 1.1 เบอร์ประจำตัวสัตว์ (Animal ID)
- 1.2 เบอร์ประจำตัวแม่พันธุ์แพะ (Dam ID)
- 1.3 เบอร์ประจำตัวพ่อพันธุ์แพะ (Sire ID)
- 1.4 วันเดือนปีเกิดของตัวสัตว์แต่ละตัว (Date of Birth)

2 ข้อมูลทางการให้ผลผลิต (Production file) ประกอบด้วย

- 2.1 เบอร์ประจำตัวสัตว์ (Animal ID)
- 2.2 พันธุ์ (Breed)
- 2.3 วัน เดือน ปี ที่คลอดลูก (Calving of date) โดยข้อมูลส่วนนี้จะนำไปใช้ในการหาฤดูที่คลอดลูกซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะมีผลต่อการให้ปริมาณน้ำนมของสัตว์แต่ละตัว

2.4 ลำดับที่ของการให้นม (Lactation number) เนื่องจากแต่ละลำดับการให้นมของสัตว์แต่ละตัวนั้นมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำนมของสัตว์อย่างมาก โดยสัตว์ที่ให้น้ำนมในช่วงลำดับการให้นมที่ 2-3 สัตว์จะให้ปริมาณน้ำนมที่มาก และสำหรับในช่วงลำดับการให้นมที่ 1 และ 4-5 สัตว์จะให้ปริมาณน้ำมนที่น้อย

2.5 อายุเมื่อให้ลูก (Age at calving)

2.6 ข้อมูลลักษณะการให้ผลผลิตน้ำนม (Milk yield)

2.7 ข้อมูลรูปแบบจีโนไทป์ (Genotype)

จากกลุ่มตัวอย่างประชากรแพะที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. แม่แพะที่มีข้อมูลลูก และข้อมูลลักษณะปริมาณน้ำนม จำนวน 26 ตัว แบ่งเป็นแพะพันธุ์ซาแนน จำนวน 5 ตัว และเป็นแพะพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 21 ตัว ซึ่งสัตว์กลุ่มนี้มีข้อมูลทางด้านพันธุ์ประวัติ และข้อมูลทางการให้ผลผลิต

2. แพะที่ไม่มีข้อมูลลักษณะปริมาณน้ำนม จำนวน 39 ตัว แบ่งเป็นแพะพันธุ์ซาแนน จำนวน 18 ตัว และเป็นแพะพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 21 ตัว ซึ่งสัตว์กลุ่มนี้มีเพียงข้อมูลทางด้านพันธุ์ประวัติ

3.4 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.4.1 การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือด และเนื้อเยื่อ

ทำการสกัดดีเอ็นเอ ด้วยชุดน้ำยาสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูปสำหรับตัวอย่างเลือด และเนื้อเยื่อ (QIAamp® DNA Blood and Tissue Mini Kit) โดยใช้ตัวอย่างเลือด 200 ไมโครลิตร และสำหรับตัวอย่างเนื้อเยื่อทำการผสมส่วนของเนื้อเยื่อและ sterile water เข้าด้วยกัน และดูดตัวอย่างมา 200 ไมโครลิตร จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการทำลายผนังเซลล์และย่อยโปรตีนด้วย Protease K และ buffer AL ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 56 °C โดยแช่ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นทำการล้างเพื่อให้ได้ดีเอ็นเอที่สะอาด ซึ่งในขั้นตอนนี้ทำการปั่นเหวี่ยง (centrifugation) โดยใช้ spin column ซึ่งดีเอ็นเอจะถูกดูดซับไว้ที่ silica-gel membrane ทั้งนี้โปรตีนและสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ จะถูกชะล้างออกไปด้วย buffer AW1/AW2 จากนั้นทำการชะล้างดีเอ็นเอออกจาก silica-gel membrane ด้วย buffer AE และเก็บดีเอ็นเอที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะใช้งาน

3.4.2 การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอเป้าหมาย

ทำการเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอเป้าหมายของจีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีน) ด้วยวิธีการ polymerase chain reaction (PCR) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้หาจีโนมไทป์ของจีน โดยเป็นการเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อบริเวณที่ต้องการของแต่ละจีน ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมความหลากหลายของอัลลีลทั้งหมด ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความผันแปร (mutation) ในตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละอัลลีล โดยแต่ละจีนประกอบไปด้วยไพรเมอร์ ดังต่อไปนี้

การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอเป้าหมายของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน ด้วยไพรเมอร์ (AS1E2F AS1E2R), (AS1E3F AS1E3R), (AS1E4F AS1E4R), (AS1E9F AS1E9R), (AS1E12F AS1E12R) และ (S1E17F AS1E17R) จะได้ชิ้นส่วนขนาด 280 386 637 223 364 และ 240 bp ตามลำดับ โดยครอบคลุมจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บริเวณ exon 2 3 4 9 12 และ 17 ทั้งหมด ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความผันแปร (mutation) ในตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละอัลลีล

Forward primer 1

AS1E2F 5'-CAT AAT ATA CTC CTT TGT TG-3'

Reverse primer 1

AS1E2R 5'-AAT AGC TAT TTA GAG ACC AT-3'

Forward primer 2

AS1E3F 5'- GGT GTC AAA TTT AGC TCT TAA A -3'

Reverse primer 2

AS1E3R 5'-GCC CTC TTC TCT AAA AAG GTT T-3'

Forward primer 3

AS1E4F 5'- AAT GGA GAA TTT GTG TTC AA -3'

Reverse primer 3

AS1E4R 5'- GCT TTG TTA ATT CTG CAG TA -3'

Forward primer 4

AS1E9F 5'- TTC TAA AAG TCT CAG AGG CAG -3'

Reverse primer 4

AS1E9R 5'- GGG TTG ATA GCC TTG TAT GT-3'

Forward primer 5

AS1E12F 5'- CCA-GTG AAT ATT CAG GAC TGA T- 3'

Reverse primer 5

AS1E12R 5'- AGG CTC TAG CAT GAT TTG ATG T- 3'

Forward primer 6

AS1E17F 5'- TGA TTT CTC ATA CAC TGT TG-3'

Reverse primer 6

AS1E17R 5'- TTG ATA AGG CAA CAA TAT GC-3'

การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอของจีนเบต้าเคซีน ด้วยไพรเมอร์ BCNF และ BCNR จะได้ชิ้นส่วนขนาด 374 bp โดยครอบคลุมจีนเบต้าเคซีนบริเวณ exon 7 ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความผันแปร (mutation) ในตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละอัลลีล

Forward primer 7

BCNF 5'-CCC AAA GTG AAG GAG ACT ATG-3'

Reverse primer 7

BCNR 5'-CTG TGC TGT TTA ACT TCT GAT G -3'

การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน ด้วยไพรเมอร์ AS2E9F และ AS2E9R จะได้ชิ้นส่วนขนาด 790 bp โดยครอบคลุมจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนบริเวณ exon 9 ถึง 11 ทั้งหมด ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความผันแปร (mutation) ในตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละอัลลีล

Forward primer 9

AS2E9F 5'- CTC AGT AGT AGT AGC TGG GAC TC -3'

Reverse primer 9

AS2E9R 5'- CGT TGG GAC ATT TTA TCT C -3'

การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอของจีนแคปปาเคซีน ด้วยไพรเมอร์ KP1 และ KP2 จะได้ชิ้นส่วนขนาด 584 bp โดยครอบคลุมจีนแคปปาเคซีนบริเวณ exon 4 ทั้งหมด ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความผันแปร (mutation) ในตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละอัลลีล

Forward primer 11

KP1 5'-AAG AAA TAA TAC CAT TCT GCA TAA TTT ATT TTT TTA CAG-3'

Reverse primer 11

KP2 5'-CAG GTA AAT AAG GCA AAA TGA ATA ACA GCC-3'

การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอเป้าหมาย โดยใช้ดีเอ็นเอต้นแบบจำนวน 1 ไมโครลิตร และสารประกอบต่าง ๆ ในปฏิกิริยา ประกอบด้วย 10X PCR-buffer 2.5 ไมโครลิตร dNTP's (1.25 mM) 4 ไมโครลิตร forward primer/Reverse primer (20 mM) อย่างละ 0.5 ไมโครลิตร Taq DNA polymerase 0.5 ไมโครลิตร และปรับปริมาณรวมด้วย sterile water ให้ได้ 25 ไมโครลิตร ก่อนเริ่มปฏิกิริยาในช่วง PCR (initial denaturation) จะเริ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเข้าสู่ปฏิกิริยาหลัก โดยทำปฏิกิริยา 35 รอบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ denaturation ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที ต่อด้วยขั้นตอน annealing ที่อุณหภูมิ 48 - 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และต่อด้วยขั้นตอน extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาในช่วง PCR แล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้าย (final extension) ด้วยอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้วเก็บ PCR Product ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้งาน

เมื่อได้ชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ต้องการแล้ว จากนั้นทำการแยกขนาดของดีเอ็นเอที่ได้เพื่อหาจีโนมไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิด ด้วยวิธี Agarose gel electrophoresis โดยใช้ PCR product 25 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากับ Blue/Orange 6X loading dye 3 ไมโครลิตร หยอดลงในหลุมของแผ่น agarose gel 2 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแยกขนาดของดีเอ็นเอด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 100 V เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำ agarose gel ไปดูการเคลื่อนที่ของแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV และถ่ายรูปเพื่อบันทึกผล

3.4.3 การ Purified PCR product

ทำการ purified PCR product ด้วยชุดน้ำยา PCR Purification QIAquick® โดยเริ่มจากการตัดชิ้นส่วน PCR product บริเวณที่ต้องการ โดยตัดเฉพาะบริเวณที่แสดงแถบสีแสดง PCR product เท่านั้น จากนั้นละลาย และตกตะกอนดีเอ็นเอโดยใช้ buffer QC และ Isopropanol ที่อุณหภูมิ 65 °C นาน 15 นาทีหรือจนกว่าเจลจะละลาย จากนั้นทำการล้างเพื่อให้ได้ดีเอ็นเอที่สะอาด ซึ่งในขั้นตอนนี้ทำการปั่นเหวี่ยง (centrifugation) โดยใช้ spin column โดยดีเอ็นเอจะถูกดูดซับไว้ที่ silica-gel membrane โดยสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ถูกชะล้างด้วย buffer QC และล้างเกลือด้วย buffer PE ทั้งไว้นาน 5 นาที แล้วจึงทำการชะล้างดีเอ็นเอด้วย buffer EB และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บดีเอ็นเอที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะใช้งาน และตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยวิธี Agarose gel electrophoresis โดยใช้ดีเอ็นเอบริสุทธิ์ 3 µl ผสมให้เข้ากับ

Blue/Orange 6X loading dye 2 μ l หยอดลงในหลุมของแผ่น agarose gel 2 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแยกขนาดของดีเอ็นเอด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 100 V เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำ agarose gel ไปดูการเคลื่อนที่ของแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV และถ่ายรูปเพื่อบันทึกผล

3.4.4 การทำ DNA sequencing

1. การเพิ่มขึ้นส่วนดีเอ็นเอเป้าหมาย

ในการทำ DNA sequencing โดยใช้ purified PCR product 5 ไมโครลิตร และสารประกอบต่าง ๆ ในปฏิกิริยา ประกอบด้วย purified PCR product Terminator Ready Reaction Mix 2 ไมโครลิตร Sequencing Buffer (5X) 3 ไมโครลิตร forward primer หรือ reverse primer (0.8 μ M) 2 ไมโครลิตร และปรับปริมาณรวมด้วย sterile water ให้ได้ 20 ไมโครลิตร ก่อนเริ่มปฏิกิริยาในช่วง PCR (initial denaturation) จะเริ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเข้าสู่ปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยทำปฏิกิริยา 25 รอบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ denaturation ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วินาที ต่อด้วยขั้นตอน annealing ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที และต่อด้วยขั้นตอน extension ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้วเก็บ PCR Product ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้งาน

2. การตกตะกอน DNA product

หลังจากที่ได้ PCR product จากข้อ 3.3.4 จากนั้นนำมาตกตะกอน DNA โดยใช้สารประกอบต่าง ๆ ดังนี้ 95 % Ethanol 62.5 ไมโครลิตร 3M Sodium Acetate 3.0 ไมโครลิตร PCR Product 20.0 ไมโครลิตร และ deionized water 14.5 ไมโครลิตร รวมปริมาตรทั้งหมด 100 ไมโครลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วย vortex และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 13 000 รอบ 20 นาที จากนั้นเทสารละลายทิ้ง และเติม 70% ethanol 250 ไมโครลิตร เขย่าขึ้น-ลง เบาๆ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 13 000 รอบ 20 นาที เมื่อทำการปั่นเหวี่ยงเสร็จแล้วใช้ pipette ขนาด 200 μ l ดูดสารละลายทิ้ง จากนั้นนำไปทำให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 5 นาที จากนั้นปิดด้วยพาราฟิล์ม และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะใช้งาน

3. การตรวจสอบ DNA Sequencing

นำตะกอนจากข้อ 3.5.5 ผสมกับ Hi-Di™ Formamide 12 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำสารละลายที่ได้หยอดลงใน Sample plate และปิดด้วย Plate septa และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Applied Biosystems 3130 Series System.

4. การแปลผล base sequences

เมื่อทราบลำดับเบสที่ได้จากการตรวจสอบ DNA sequencing แล้ว จากนั้นนำข้อมูลลำดับเบสที่ได้เทียบกับลำดับเบสของแต่ละอัลลีลของแต่ละจีนที่รายงานไว้ใน GeneBank ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอัลลีล และรูปแบบจีโนไทป์ของแต่ละจีนของสัตว์แต่ละตัว

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางพันธุศาสตร์

3.5.1 การตรวจหาอัลลีล

เมื่อทราบรูปแบบจีโนไทป์ของเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีน) ของสัตว์ในแต่ละตัว ซึ่งจะทำให้ทราบอัลลีลของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิดในตัวสัตว์ โดยการหาอัลลีล แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

1. รูปแบบจีโนไทป์เป็น homozygote สามารถหาอัลลีล ทั้ง 2 อัลลีลในตัวสัตว์ได้โดยการนำลำดับเบสที่วิเคราะห์ได้เทียบกับลำดับเบสของแต่ละอัลลีลในแต่ละจีนที่มีอยู่ใน data base (GeneBank) โดยลำดับเบสที่ได้ต้องเหมือนกับลำดับเบสของอัลลีลนั้น ๆ โดยจะไม่ลักษณะเหมือนกับอัลลีลอื่น ซึ่งลักษณะเช่นนี้รูปแบบจีโนไทป์ที่ได้เป็น homozygote และอัลลีลทั้ง 2 อัลลีลในตัวสัตว์มีลักษณะเหมือนกัน

2. รูปแบบจีโนไทป์เป็น heterozygote สามารถหาอัลลีลทั้ง 2 อัลลีลในตัวสัตว์ได้โดยการนำลำดับเบสที่วิเคราะห์ได้เทียบกับลำดับเบสของแต่ละอัลลีลในแต่ละจีนที่มีอยู่ใน data base (GeneBank) โดยลำดับเบสที่วิเคราะห์ได้ต้องมีลำดับเบสเหมือนกับ ลำดับเบสของอัลลีล 2 อัลลีล ซึ่งทำให้ทราบรูปแบบจีโนไทป์ และทำให้ทราบอัลลีลทั้ง 2 อัลลีลในตัวสัตว์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน

3.5.2 การตรวจหารูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

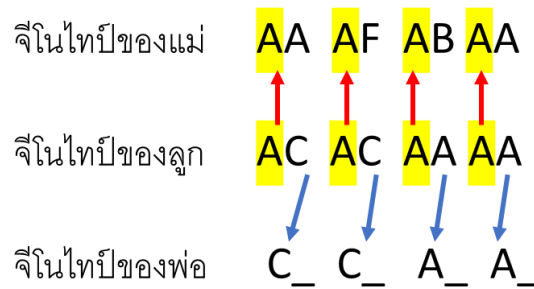
1. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น homozygote ทั้ง 4 จีน ซึ่งจะมีรูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ในตัวสัตว์เพียง 1 รูปแบบเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 5

จีโนไทป์ของแม่ AA BB CC DD

เคซีนแอสโปไลไทป์ของแม่ ABCD และ ABCD

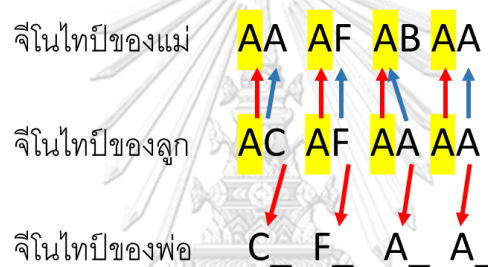
รูปที่ 5 แสดงการหารูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ที่พบรูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ 1 รูปแบบ

2. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote เพียง 1 จีน ซึ่งจะทำให้ทราบรูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ทั้ง 2 รูปแบบในตัวสัตว์ ซึ่งแพะกลุ่มนี้ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลรูปแบบจีโนไทป์ของลูก โดยวิธีการหารูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ แสดงดังรูปที่ 6



เคซีนแอสไปลไธลท์ของลูกที่เป็นไปได้ AAAA (รูปแบบที่ได้รับจากแม่) เคซีนแอสไปลไธลท์ของแม่ AAAA (รูปแบบที่ถ่ายทอด)
 CCAA (รูปแบบที่ได้รับจากพ่อ) AFBA (รูปแบบที่ไม่ถ่ายทอด)

รูปที่ 7 แสดงการหารูปแบบเคซีนแอสไปลไธลท์ที่พบรูปแบบเคซีนแอสไปลไธลท์ในตัวสัตว์ 2 รูปแบบ



เคซีนแอสไปลไธลท์ของลูกที่เป็นไปได้ AAAA (รูปแบบที่ได้รับจากแม่) เคซีนแอสไปลไธลท์ของแม่ AAAA (รูปแบบที่ถ่ายทอด)
 CFAA (รูปแบบที่ได้รับจากพ่อ) AFBA (รูปแบบที่ไม่ถ่ายทอด)

ถ้าเคซีนแอสไปลไธลท์ของลูกที่เป็นไปได้ AFAA (รูปแบบที่ได้รับจากแม่) เคซีนแอสไปลไธลท์ของแม่ AFAA (รูปแบบที่ถ่ายทอด)
 CABD (รูปแบบที่ได้รับจากพ่อ) AABA (รูปแบบที่ไม่ถ่ายทอด)

รูปที่ 8 แสดงการหารูปแบบเคซีนแอสไปลไธลท์ที่พบรูปแบบเคซีนแอสไปลไธลท์ในตัวสัตว์ที่มีโอกาส
 เป็นไปได้มากกว่า 2 รูปแบบ

3.5.3 หางค์ประกอบของจีนในประชากร

การคำนวณหาความถี่อัลลีล ความถี่จีโนไทป์ และความถี่เคซีนแฮปโพลไทป์ในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยที่ทำการศึกษ โดยใช้สูตรดังนี้

1. การหาความถี่จีโนไทป์ (Genotype frequency)

$$\text{การหาความถี่จีโนไทป์} = \frac{\text{จำนวนสัตว์ที่มีจีโนไทป์ของจีนที่กำหนด}}{\text{จำนวนจีโนไทป์ทั้งหมด}}$$

2. การหาความถี่อัลลีล (Allele frequency)

$$\text{ความถี่อัลลีล} = \frac{\text{จำนวนของอัลลีลของจีนที่กำหนด}}{\text{จำนวนอัลลีลทั้งหมด}}$$

3.6 การจัดการและการเตรียมข้อมูล (Data editing and manipulation)

ข้อมูลทั้งหมดของแพะที่ทำการศึกษา โดยจะเลือกแม่แพะที่มีการบันทึกข้อมูลการให้ผลผลิต โดยในแต่ละแม่ต้องให้มาแล้วอย่างน้อย 1 ลำดับการให้ผลผลิต แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะเก็บตัวอย่างจากแม่ที่ให้ 2 ลำดับการให้ผลผลิตขึ้นไป ได้จำนวนทั้งหมด 26 ตัว (แพะพันธุ์ชาแนน 5 ตัว และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย 21 ตัว) บันทึกข้อมูลพันธุ์ประวัติ และบันทึกลักษณะการให้ผลผลิตน้ำหนักของแพะที่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง จากนั้นแปลงเพิ่มข้อมูลดังกล่าวให้เป็นแฟ้มตัวอักษร หรือ file text ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูล ดังนี้

3.4.1 ข้อมูลพันธุ์ประวัติ โดยข้อมูลส่วนนี้จัดอยู่ในแฟ้มตัวอักษรชื่อ pedigree file

3.4.2 ข้อมูลผลผลิต ลักษณะการให้ผลผลิตน้ำหนักของแพะที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ คือ ปริมาณน้ำหนักปรับที่ 150 วัน ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จัดอยู่ในแฟ้มตัวอักษรชื่อ production file

3.7. หาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และ แคปปาเคซิน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม

ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และแคปปาเคซิน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนมของประชากรแม่แพะทั้งสองพันธุ์ที่ทำการศึกษา (26 ตัวอย่าง) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Analysis System (SAS, 2002) วิธี PROC GLM ดังสมการ

$$y = X_1\beta_1 + X_2\beta_2 + \varepsilon$$

โดยที่

- y = เวกเตอร์ของค่าสังเกต คือ ลักษณะปริมาณน้ำนม
- β_1 = เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ เนื่องจาก เบอร์พ่อ เบอร์แม่ ปีเกิด ฤดูกาล และลำดับครั้งของการให้นม
- β_2 = เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ เนื่องจากการรวมกันของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และแคปปาเคซิน)
- X_1 = เมตริกซ์ที่แสดงการปรากฏของอิทธิพลคงที่ β_1 ในแต่ละค่าสังเกต
- X_2 = เมตริกซ์ที่แสดงการปรากฏของอิทธิพลคงที่ β_2 ในแต่ละค่าสังเกต
- ε = เวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อน

ในการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และแคปปาเคซิน ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม ในกลุ่มตัวอย่างแพะ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละรูปแบบจีโนไทป์ด้วยวิธี Tukey's Multiple Comparison test

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

4.1 ความหลากหลายของจีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซิน)

4.1.1 รูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด ของกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด ในกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบรูปแบบจีโนไทป์ จำนวน 49 รูปแบบ สำหรับแพะพันธุ์ซาแนน พบจำนวน 19 รูปแบบ คิดเป็นร้อยละ 38.78 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบจำนวน 37 รูปแบบ คิดเป็นร้อยละ 75.51 อย่างไรก็ตามพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิดเหมือนกัน ในแพะพันธุ์ซาแนน จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ AE-AF-AA-AB, EE-AF-AA-AA และ AC-AF-AA-AA คิดเป็นร้อยละ 15.79 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ AA-AF-AA-AA, AE-AA-AA-AA, AE-AF-AA-AA และ AC-AA-AA-AA คิดเป็นร้อยละ 10.81 ในประชากรแพะทั้งหมดที่ทำการศึกษาพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิดเหมือนกัน จำนวน 11 รูปแบบ ได้แก่ AC-AF-AA-AA, AA-AF-AA-AA, AE-AA-AA-AA, AE-AF-AA-AA, AE-AF-AA-AB, AE-AF-AB-AB, EE-AF-AA-AA, AA-AF-AB-AA, AC-AF-AB-AB, AC-AF-AA-AD และ AC-AA-AA-AA คิดเป็นร้อยละ 22.45 ดังแสดงตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูลจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และแคปปาเคซินของแพะรายตัวในแพะพันธุ์ซาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย

No.	sample	Breeds	Genotype			
			CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN
1	DAO	Saanen	AC	AF	AA	AA
2	N.6	Thai Native	AC	AF	AA	AA
3	G.01	Saanen	AC	AF	AA	AA
4	G.010	Saanen	AC	AF	AA	AA
5	N.1	Thai Native	AA	AF	AA	AA
6	N.10	Thai Native	AA	AF	AA	AA
7	N.07	Thai Native	AA	AF	AA	AA
8	N.2	Thai Native	AE	AA	AA	AA
9	N.7	Thai Native	AE	AA	AA	AA

ตาราง 4.1 แสดงข้อมูลจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีนของแพะรายตัวในแพะพันธุ์ซาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย (ต่อ)

No.	sample	Breeds	Genotype			
			CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN
10	G.7	Saanen	AE	AA	AA	AA
11	G.2	Saanen	AE	AF	AA	AA
12	N.17	Thai Native	AE	AF	AA	AA
13	N.06	Thai Native	AE	AF	AA	AA
14	G.6	Saanen	AE	AF	AA	AB
15	OU	Saanen	AE	AF	AA	AB
16	G.0	Saanen	AE	AF	AB	AB
17	N.20	Thai Native	AE	AF	AB	AB
18	OB	Saanen	EE	AF	AA	AA
19	TI	Saanen	EE	AF	AA	AA
20	G.8	Saanen	AA	AF	AB	AA
21	N.02	Thai Native	AA	AF	AB	AA
22	G.5	Saanen	AC	AF	AB	AB
23	N.016	Thai Native	AC	AF	AB	AB
24	G.05	Saanen	AC	AF	AA	AD
25	N.08	Thai Native	AC	AF	AA	AD
26	N.010	Thai Native	AC	AA	AA	AA
27	N.03	Thai Native	AC	AA	AA	AA
28	G.10	Saanen	AA	AA	AA	AB
29	N.15	Thai Native	AA	AA	AA	BB
30	N.8	Thai Native	AA	AA	AA	AD
31	N.13	Thai Native	AA	AA	AA	AN2/BN3
32	N.014	Thai Native	AA	AA	AB	AH
33	G.08	Saanen	AA	AA	AB	AA
34	G.4	Saanen	AA	AF	AA	AN1
35	N.4	Thai Native	AA	AF	AB	AD
36	N.9	Thai Native	AA	AF	AA	AB

ตาราง 4.1 แสดงข้อมูลจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีนของแพะรายตัวในแพะพันธุ์ซาเนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย (ต่อ)

No.	sample	Breeds	Genotype			
			CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN
37	N.12	Thai Native	AA	AF	AA	BD
38	N.015	Thai Native	AA	AF	AA	BB
39	N.09	Thai Native	AA	AF	AA	AD
40	N.18	Thai Native	AA	FF	AA	AD
41	N.04	Thai Native	AA	FF	AB	AA
42	DA	Saanen	AC	AA	AA	DD
43	G.03	Saanen	AC	AA	AA	AB
44	G.04	Saanen	AC	AF	AA	AD
45	N.012	Thai Native	AC	AF	AB	BB
46	N.19	Thai Native	AC	AF	AB	AD
47	N.05	Thai Native	AC	AF	AA	AB
48	G.07	Saanen	AC	FF	AA	AD
49	N.011	Thai Native	AC	FF	AB	AB
50	N.021	Thai Native	AC	FF	AB	BB
51	N.14	Thai Native	AE	AA	AA	AB
52	N.022	Thai Native	AE	AA	AB	AN2
53	N.21	Thai Native	AE	AF	AA	BB
54	G.3	Saanen	AE	AF	AA	DD
55	N.3	Thai Native	AE	AF	AB	AD
56	N.01	Thai Native	AE	FF	AA	AA
57	N.16	Thai Native	AE	FF	AA	BB
58	N.018	Thai Native	AE	FF	AA	DD
59	N.11	Thai Native	CC	FF	AA	BF
60	N.019	Thai Native	CC	AF	AA	AD
61	N.22	Thai Native	EE	AA	AA	AD
62	N.020	Thai Native	EE	AF	AB	AA

ตาราง 4.1 แสดงข้อมูลจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีนของแพะรายตัวในแพะพันธุ์ซาเนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย (ต่อ)

No.	sample	Breeds	Genotype			
			CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN
63	G.12	Saanen	EE	AF	AA	AD
64	N.017	Thai Native	EE	FF	AB	AA
65	G.02	Saanen	EE	FF	AA	AB

4.1.2 ความถี่จีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้าและแคปปาเคซีน)

อัลฟาเอส1 เคซีน จากผลการศึกษาพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน ในแพะพันธุ์ซาเนน จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ AA, AC, AE และ EE มีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.174, 0.391, 0.261 และ 0.174 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 5 รูปแบบ ได้แก่ AA, AC, AE, CC และ EE มีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.357, 0.238, 0.286, 0.048 และ 0.071 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน จำนวน 5 รูปแบบ ได้แก่ AA, AC, AE, CC และ EE โดยมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.292, 0.292, 0.277, 0.031 และ 0.108 ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.16 ความถี่จีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีนที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Genotype				
	AA	AC	AE	CC	EE
ซาเนน	0.174	0.391	0.261	0.000	0.174
พื้นเมือง	0.357	0.238	0.286	0.048	0.071
แพะทั้งฝูง	0.292	0.292	0.277	0.031	0.108

จีนเบต้าเคซีน จากผลการศึกษาพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเบต้าเคซีน ในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ AA, AF และ FF พบเหมือนกันทั้งสองพันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ชาแนนมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.217, 0.696 และ 0.087 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.262, 0.524 และ 0.214 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.246, 0.585 และ 0.169 ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.17 แสดงความถี่จีโนไทป์ของจีนเบต้าเคซีนที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Genotype		
	AA	AF	FF
ชาแนน	0.217	0.696	0.087
พื้นเมือง	0.262	0.524	0.214
แพะทั้งฝูง	0.246	0.585	0.169

จีนอัลฟาเอส 2 เคซีน จากผลการศึกษาพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน ในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 2 รูปแบบ ได้แก่ AA และ AB พบเหมือนกันทั้งสองพันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ชาแนนมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.826 และ 0.174 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.667 และ 0.333 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.723 และ 0.277 ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.18 แสดงความถี่จีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Genotype	
	AA	AB
ชาแนน	0.826	0.174
พื้นเมือง	0.667	0.333
แพะทั้งฝูง	0.723	0.277

จีนแคปปาเคซิน จากผลการศึกษาพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนแคปปาเคซิน ในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 5 รูปแบบ ได้แก่ AA, AB, AD, DD และ AN1 มีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.391, 0.034, 0.174, 0.087 และ 0.043 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 10 รูปแบบ ได้แก่ AA, AB, BB, AD, DD, AH, BD, BF, AN2 และ AN2/BN3 มีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.357, 0.143, 0.143, 0.214, 0.024, 0.024, 0.024, 0.024, 0.024 และ 0.024 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนแคปปาเคซิน จำนวน 11 รูปแบบ ได้แก่ AA, AB, BB, AD, DD, AH, BD, BF, AN1, AN2 และ AN2/BN3 โดยมีความถี่ของจีโนไทป์ เท่ากับ 0.369, 0.200, 0.092, 0.200, 0.046, 0.015, 0.015, 0.015, 0.015, 0.015 และ 0.015 ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.19 แสดงความถี่จีโนไทป์ของจีนแคปปาเคซินที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Genotype										
	AA	AB	BB	AD	DD	AH	BD	BF	AN1	AN2	AN2/BN3
ชาแนน	0.391	0.304	0.000	0.174	0.087	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000
พื้นเมือง	0.357	0.143	0.143	0.214	0.024	0.024	0.024	0.024	0.000	0.024	0.024
แพะทั้งฝูง	0.369	0.200	0.092	0.200	0.046	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015

4.2 ความหลากหลายทางพันธุกรรมของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซิน)

การตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic polymorphism) ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 เบต้า อัลฟาเอส2 และแคปปาเคซิน) ในประชากรแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยที่ทำการศึกษาทั้งหมด 65 ตัว จากแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 23 ตัว และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 42 ตัว โดยวิธี DNA sequencing ได้ผลดังนี้

จีนอัลฟาเอส 1 เคซิน จากผลการศึกษาพบความหลากหลายของจีนอัลฟาเอส 1 เคซิน ในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 3 อัลลีล ได้แก่ A, C และ E พบเหมือนกันทั้งสองพันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ชาแนนมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.500, 0.196 และ 0.304 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.619, 0.167 และ 0.214 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.577, 0.177 และ 0.246 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.20 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีนที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Allele		
	A	C	E
ซาแนน	0.500	0.196	0.304
พื้นเมือง	0.619	0.167	0.214
แพะทั้งฝูง	0.577	0.177	0.246

จีนเบต้าเคซีน จากผลการศึกษาพบความหลากหลายของจีนเบต้าเคซีน ในแพะพันธุ์ซาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 2 อัลลีล ได้แก่ A และ F พบเหมือนกันทั้งสองพันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ซาแนนมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.565 และ 0.435 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความถี่ของอัลลีลเท่ากับ 0.524 และ 0.476 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.538 และ 0.462 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.21 แสดงความถี่อัลลีลของจีนเบต้าเคซีนที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Allele	
	A	F
ซาแนน	0.565	0.435
พื้นเมือง	0.524	0.476
แพะทั้งฝูง	0.538	0.462

จีนอัลฟาเอส 2 เคซีน จากผลการศึกษาพบความหลากหลายของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน ในแพะพันธุ์ซาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 2 อัลลีล ได้แก่ A และ B พบเหมือนกันทั้งสองพันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ซาแนนมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.913 และ 0.087 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.833 และ 0.167 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดมีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.862 และ 0.138 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.22 แสดงความถี่อัลลีลของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Allele	
	A	B
ชาแนน	0.913	0.087
พื้นเมือง	0.833	0.167
แพะทั้งฝูง	0.862	0.138

จีนแคปปาเคซีน จากผลการศึกษาพบความหลากหลายของจีนแคปปาเคซีน ในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 4 อัลลีล ได้แก่ A, B, D และ N1 มีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.652, 0.152, 0.174 และ 0.022 ตามลำดับ และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 7 อัลลีล ได้แก่ A, B, D, H, F, N2 และ N3 มีความถี่ของอัลลีล เท่ากับ 0.560, 0.250, 0.143, 0.012, 0.012, 0.012 และ 0.012 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบความหลากหลายของจีนแคปปาเคซีน จำนวน 8 อัลลีล ได้แก่ A, B, D, H, F, N1, N2 และ N3 โดยมีความถี่ของ อัลลีล เท่ากับ 0.592, 0.215, 0.154, 0.008, 0.008, 0.008, 0.008 และ 0.008 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

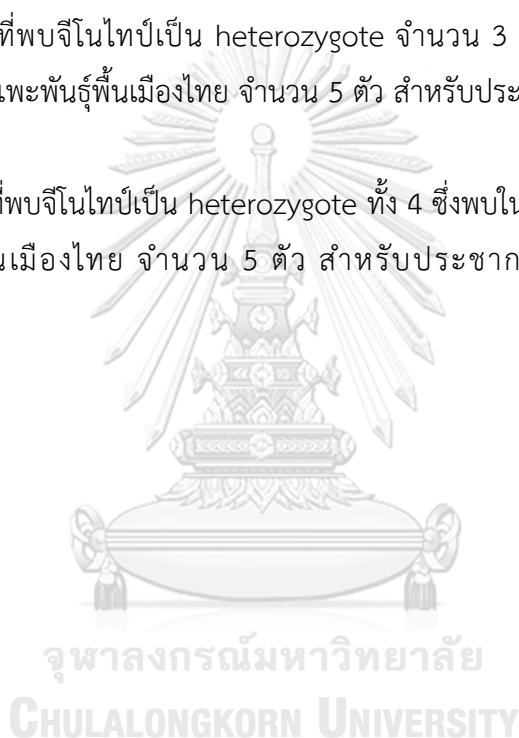
ตารางที่ 4.23 แสดงความถี่อัลลีลของจีนแคปปาเคซีนที่พบในประชากรแพะ

พันธุ์	Allele							
	A	B	D	H	F	N1	N2	N3
ชาแนน	0.652	0.152	0.174	0	0	0.022	0	0
พื้นเมือง	0.560	0.250	0.143	0.012	0.012	0	0.012	0.012
แพะทั้งฝูง	0.592	0.215	0.154	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008

4.3 เคซีนแฮปโลไทป์

ผลการวิเคราะห์รูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 65 ตัว จากแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 23 ตัว และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 42 ตัว พบรูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ในประชากรแพะทั้งหมด 41 รูปแบบ และสามารถแบ่งกลุ่มชุดรูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ในประชากรแพะที่ทำการศึกษานี้ได้ออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้ ดังแสดงตารางที่ 4.10

1. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น homozygote ทั้ง 4 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 1 ตัว
2. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote เพียง 1 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 8 ตัว และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 17 ตัว ตัว สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาพบ จำนวน 25 ตัว
3. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote จำนวน 2 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 8 ตัว และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 14 สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาพบ จำนวน 22 ตัว
4. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote จำนวน 3 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 2 ตัว และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 5 ตัว สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาพบ จำนวน 7 ตัว
5. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote ทั้ง 4 ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 5 ตัว และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 5 ตัว สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาพบ จำนวน 10 ตัว



ตารางที่ 4.24 แสดงรูปแบบจีโนไทป์ และรูปแบบเคซีนแฮปโลไทป์ที่พบในประชากรแพะที่ทำการศึกษาทั้งหมด

No.	ID number	Genotype				Casein haplotype
		CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN	
กลุ่มที่ 1 พบจีโนไทป์เป็น homozygote ทั้ง 4 จีน						
1	N.15	AA	AA	AA	BB	AAAB / AAAB
กลุ่มที่ 2 พบจีโนไทป์เป็น heterozygote เพียง 1 จีน						
2	N.1	AA	AF	AA	AA	AAAA / AFAA
3	N.10	AA	AF	AA	AA	AAAA / AFAA
4	N.07	AA	AF	AA	AA	AAAA / AFAA
5	N.2	AE	AA	AA	AA	AAAA / AEAA
6	N.7	AE	AA	AA	AA	AAAA / AEAA
7	G.7	AE	AA	AA	AA	AAAA / EAAA
8	OB	EE	AF	AA	AA	EAAA / EFAA
9	TI	EE	AF	AA	AA	EAAA / EFAA
10	G.10	AA	AA	AA	AB	AAAA / AAAB
11	DA	AC	AA	AA	DD	AAAD / CAAD
12	N.11	CC	FF	AA	BF	CFAB / CFAF
13	G.02	EE	FF	AA	AB	EFAA / EFAB
14	N.18	AA	FF	AA	AD	AFAD / AFAA
15	N.22	EE	AA	AA	AD	EAAA / EAAD
16	G.08	AA	AA	AB	AA	AABA / AAAA
17	N.01	AE	FF	AA	AA	AFAA / EFAA
18	N.03	AC	AA	AA	AA	AAAA / CAAA
19	N.04	AA	FF	AB	AA	AFAA / AFBA
20	N.010	AC	AA	AA	AA	AAAA / CAAA
21	N.015	AA	AF	AA	BB	AAAB / AFAB
22	N.017	EE	FF	AB	AA	EFAA / EFBD
23	N.018	AE	FF	AA	DD	AFAD / EFAD

ตารางที่ 4.10 แสดงรูปแบบจีโนไทป์ และรูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ที่พบในประชากรแพะที่ทำการศึกษาทั้งหมด (ต่อ)

No.	ID number	Genotype				Casein haplotype
		CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN	
กลุ่มที่ 2 พบจีโนไทป์เป็น heterozygote เพียง 1 จีน (ต่อ)						
24	N.8	AA	AA	AA	AD	AAAA / AAAD
25	G.2	AE	AF	AA	AA	AAAA / EFAA
26	N.17	AE	AF	AA	AA	AAAA / EFAA
กลุ่มที่ 3 พบจีโนไทป์เป็น heterozygote 2 จีน						
27	N.02	AA	AF	AB	AA	AAAA / AFBA
28	N.16	AE	FF	AA	BB	AFAB / EFAB
29	N.21	AE	AF	AA	BB	AFAB / EAAB
30	N.14	AE	AA	AA	AB	AAAA / EAAB
31	G.03	AC	AA	AA	AB	AAAA / CAAB
32	G.010	AC	AF	AA	AA	AAAA / CFAA
33	N.014	AA	AA	AB	AH	AAAA / AABH
34	N.021	AC	FF	AB	BB	AFAB / CFBB
35	DAO	AC	AF	AA	AA	AAAA / CFAA
36	G.07	AC	FF	AA	AD	AFAA / CFAD AFAD / CFAA AAAA / EFAA
37	N.06	AE	AF	AA	AA	AFAA / EAAA
38	N.6	AC	AF	AA	AA	AAAA / CFAA AFBA / AAAD
39	G.01	AC	AF	AA	AA	AAAA / CFAAA AFAA / CAAA
40	G.4	AA	AF	AA	AN1	AAAA / AFAN1 AFAA / AAAN1
41	G.8	AA	AF	AB	AA	AAAA / AFBA AFAA / AABA
42	N.9	AA	AF	AA	AB	AAAA / AFAB AFAA / AAAB

ตารางที่ 4.10 แสดงรูปแบบจีโนไทป์ และรูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ที่พบในประชากรแพะที่ทำการศึกษาทั้งหมด (ต่อ)

No.	ID number	Genotype				Casein haplotype
		CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN	
กลุ่มที่ 3 พบจีโนไทป์เป็น heterozygote จำนวน 2 จีน						
43	N.12	AA	AF	AA	BD	AAAB / AFAD AFAB / AAAD
44	N.09	AA	AF	AA	AD	AAAA / AFAD AAAA / AAAD
45	N.13	AA	AA	AA	AN2/BN3	AAAA / AAAN2 AAAB / AAAN3
46	N.020	EE	AF	AB	AA	EAAA / EFBA EABA / EFAA
47	N.019	CC	AF	AA	AD	CAAA / CFAD CAAD / CFAA
48	G.3	AE	AF	AA	DD	AAAD / EFAD AFAD / EAAD
กลุ่มที่ 4 พบจีโนไทป์เป็น heterozygote จำนวน 3 จีน						
49	N.022	AE	AA	AB	AN2	EAAA / AABN2
50	G.6	AE	AF	AA	AB	AAAA / EFAB
51	N.011	AC	FF	AB	AB	AFAB / CFBA
52	N.4	AA	AF	AB	AD	AFAA / AABD AFBA / AAAD
53	N.08	AC	AF	AA	AD	AAAA / CFAD AAAD / CFAA
54	N.05	AC	AF	AA	AB	AAAA / CFAB AAAB / CFAA
55	OU	AE	AF	AA	AB	AAAA / EFAB AAAB / EFAA AFAA / EAAB AFAB / EAAA

ตารางที่ 4.10 แสดงรูปแบบจีโนไทป์ และรูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ที่พบในประชากรแพะที่ทำการศึกษาทั้งหมด (ต่อ)

No.	ID number	Genotype				Casein haplotype
		CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN	
กลุ่มที่ 5 พบจีโนไทป์เป็น heterozygote ทั้ง 4 จีน						
56	G.04	AC	AF	AA	AD	AAAA / CFAD
						AAAD / CFAA
						AFAD / CAAA
						AFAA / CAAD
57	G.12	EE	AF	AA	AD	EAAA / EFAD
						EFAA / EAAD
						AAAA / CFAD
58	G.05	AC	AF	AA	AD	CAAA / AFAD
						AFAA / CAAD
						CFAA / AAAD
59	N.016	AC	AF	AB	AB	AFAB / CABA
60	N.3	AE	AF	AB	AD	AAAA / EFBD
						CAAA / AFBD
						CAAD / AFBD
61	N.19	AC	AF	AB	AD	CFAA / AABD
						CFAD / AABA
						EAAA / AFBB
						EABA / AFAB
62	N.20	AE	AF	AB	AB	EFAA / AABB
						EFBA / AAAB
						AAAB / CFBB
63	N.012	AC	AF	AB	BB	AFAB / CABB

ตารางที่ 4.10 แสดงรูปแบบจีโนไทป์ และรูปแบบเคซีนแอสโปไลไทป์ที่พบในประชากรแพะที่ทำการศึกษาทั้งหมด (ต่อ)

No.	ID number	Genotype				Casein haplotype
		CSN1S1	CSN2	CSN1S2	KCN	
กลุ่มที่ 5 พบจีโนไทป์เป็น heterozygote ทั้ง 4 จิน						
64	G.5	AC	AF	AB	AB	AAAA / CFBB
						AAAB / CFBA
						AABA / CFAB
						AFAA / CABB
						AFBB / CAAA
						AFAB / CABA
						AFBA / CAAB
						AABB / CFAA
						AAAA / EFBB
						AAAB / EFBA
65	G.0	AE	AF	AB	AB	AABA / EFAB
						AABB / EFAA
						AFAA / EABB
						AFAB / EABA
						AFBA / EAAB
						AFBB / EAAA

4.4 ลักษณะการให้ผลผลิตน้ำนม (milk production traits)

ลักษณะปริมาณน้ำนมที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ คือปริมาณน้ำนมปรับที่ 150 วัน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นในแพะพันธุ์ซาแนน มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำนม เท่ากับ 328.04 ± 30.74 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน แพะพันธุ์พื้นเมืองไทย มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำนม เท่ากับ 114.71 ± 14.13 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน สำหรับของประชากรแพะทั้งหมด เท่ากับ 155.73 ± 87.54 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าเฉลี่ย (mean) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 150 วัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation S.D.) ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) โดยจำแนกตามพันธุ์ที่ศึกษา

พันธุ์	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ชาแนน	5	328.04	30.74	308.22	308.07
พื้นเมืองไทย	21	114.71	14.13	84.58	139.03
ทั้งหมด	26	155.73	87.54	84.58	380.07

4.5 การวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และ แคลปาคเคซีน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด ต่อลักษณะปริมาณน้ำนมในแพะพันธุ์ชาแนน และ แพะพันธุ์พื้นเมืองไทย ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 26 ตัว (แพะพันธุ์ชาแนน 5 ตัว และแพะพันธุ์พื้นเมือง 21 ตัว) พบว่า จีนอัลฟาเอส 2 เคซีน มีค่า p - value เท่ากับ 0.0958 ซึ่งมีค่า $0.05 < P < 0.10$ กล่าวคือ จีนอัลฟาเอส 1 เคซีน อาจจะมีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะปริมาณน้ำนม อย่างไรก็ตามพบว่าจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน และ แคลปาคเคซีน มีค่า p - value เท่ากับ 0.7022, 0.2758 และ 0.6569 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า $P > 0.05$ และ $P > 0.10$ กล่าวคือ จีนเบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคลปาคเคซีน อาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะปริมาณน้ำนม ดังแสดงตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.26 แสดงอิทธิพลของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคลปาคเคซีน ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม

Effect (gene)	p- value
Alpha S1 casein	0.7022
Beta casein	0.2758
Alpha S2 casein	0.0958
Kappa casein	0.6569

บทที่ 5

วิจารณ์ผล

5.1 รูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซิน)

จากผลการศึกษาแบบจีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด ในกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบรูปแบบจีโนไทป์ จำนวน 49 รูปแบบ พบว่าในแพะพันธุ์ชาแนน พบจำนวน 19 รูปแบบ คิดเป็นร้อยละ 38.78 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบจำนวน 37 รูปแบบ คิดเป็นร้อยละ 75.51 อย่างไรก็ตามพบรูปแบบจีโนไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิดเหมือนกันทั้งในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 7 รูปแบบ ได้แก่ AC-AF-AA-AA, AE-AA-AA-AA, AE-AF-AA-AA, AE-AF-AB-AB, AA-AF-AB-AA, AC-AF-AA-AD และ AC-AF-AA-AD คิดเป็นร้อยละ 14.29 นอกจากนี้พบว่ารูปแบบจีโนไทป์ในแพะพันธุ์ชาแนนและในแพะพันธุ์พื้นเมืองพบที่แตกต่างกันจำนวน 30 รูปแบบ คิดเป็นร้อยละ 61.22 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแพะพันธุ์พื้นเมืองไทยมีความหลากหลายของรูปแบบจีโนไทป์มากกว่าในแพะพันธุ์ชาแนน

5.1.1 ความถี่จีโนไทป์ของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และแคปปาเคซิน)

1 อัลฟาเอส 1 เคซิน

จากผลการศึกษาความหลากหลายของจีนอัลฟาเอส 1 เคซินในแพะพันธุ์ชาแนน พบจีโนไทป์ AC มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 39.10 และรูปแบบจีโนไทป์ AC และ AE รวมกัน คิดเป็นร้อยละ 65.20 ในขณะที่แพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบจีโนไทป์ AA มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 35.70 และรูปแบบจีโนไทป์ AA, AC และ AE รวมกันคิดเป็นร้อยละ 88.10 ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมือง จะเห็นว่า แพะพันธุ์พื้นเมืองพบรูปแบบจีโนไทป์ AA ในสัดส่วนที่สูงกว่าประมาณ 2 เท่าของแพะพันธุ์ชาแนน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Kumar และคณะ (2007) ได้ศึกษาหาความหลากหลายของอัลฟาเอส 1 เคซิน พบจีโนไทป์ AA มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50.00 - 100.00 ในขณะที่จีโนไทป์ BB, AD และ AF คิดเป็นร้อยละ 9.80 - 23.10, 2.90 - 20.00 และ 3.80 - 15.00 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบที่มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Božidarka และคณะ (2009) และ Albenzio และคณะ (2009) พบจีโนไทป์ AF มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 47.42 และ 23.94 ตามลำดับ ในขณะที่ Jemali และคณะ (2012) พบจีโนไทป์ CC มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 60.50 ในขณะที่จีโนไทป์ DD และ AA คิดเป็นร้อยละ 12.80 และ 12.50 ตามลำดับ

2 เบต้าเคซีน

จากผลการศึกษาความหลากหลายของจีนเบต้าเคซีนในแพะพันธุ์ซาแนน และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบจีโนไทป์ AF มากที่สุด เหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 69.60 และ 52.40 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบจีโนไทป์ AF มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58.50

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าขัดแย้งกับการศึกษาของ Albenzio และคณะ (2009) ซึ่งพบจีโนไทป์ AA มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 28.17 ในขณะที่จีโนไทป์ AO, AB, BB, BO และ OO คิดเป็นร้อยละ 23.94, 23.94, 12.68, 8.45 และ 2.82 ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบจีโนไทป์ AF เป็นครั้งแรก เนื่องจาก อัลลีล F เป็นอัลลีลใหม่ของจีนเบต้าเคซีนในแพะ

3 อัลฟาเอส 2 เคซีน

จากผลการศึกษาความหลากหลายของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนในแพะพันธุ์ซาแนน และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบจีโนไทป์ AA มากที่สุด เหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 82.60 และ 66.70 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมด พบจีโนไทป์ AA มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 72.30

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Palmeri และคณะ (2014) ซึ่งพบจีโนไทป์ AA มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 51.2 ในขณะที่จีโนไทป์ AF, AC, FF, CF และ EF คิดเป็นร้อยละ 33.80, 8.20, 4.30, 2.00 และ 0.50 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่ามีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Albenzio และคณะ (2009) ซึ่งพบจีโนไทป์ AO มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 36.70 ในขณะที่จีโนไทป์ AF, AA, FF และ FO คิดเป็นร้อยละ 33.80, 23.94, 4.22 และ 1.41 ตามลำดับ

4 แคปทาเคซีน

จากผลการศึกษาความหลากหลายของจีนแคปทาเคซีนในแพะพันธุ์ซาแนน และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบจีโนไทป์ AA มากที่สุด เหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ คิดเป็นร้อยละ 39.10 และ 35.70 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบจีโนไทป์ AA มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 36.90

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Chessa และคณะ (2007) พบจีโนไทป์ AA มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 51.20 ในขณะที่จีโนไทป์ AB และ BB คิดเป็นร้อยละ 37.7 และ 11.19 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นอกจากนี้พบว่าการศึกษาของ Patel และคณะ (2013) พบจีโนไทป์ AA เพียงจีโนไทป์เดียว คิดเป็นร้อยละ 100

5.2 ความหลากหลายทางพันธุกรรมของจีนเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส1 อัลฟาเอส2 เบต้า และ แคปปาเคซิน)

1 อัลฟาเอส 1 เคซิน

จากผลการศึกษาความหลากหลายของจีนอัลฟาเอส 1 เคซินในแพะพันธุ์ซาแนน และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบอัลลีล A มีสัดส่วนความถี่มากกว่าอัลลีล C และ E เหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ซาแนน มีสัดส่วนที่มากกว่า เท่ากับ 2.6 และ 1.6 เท่า และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย มีสัดส่วนที่มากกว่า เท่ากับ 3.7 และ 2.9 เท่า สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมด พบว่า อัลลีล A มีสัดส่วนความถี่มากกว่าอัลลีล C และ E เท่ากับ 3.3 และ 2.4 เท่า ตามลำดับ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Sacchi และคณะ (2005) ได้ศึกษาหาความหลากหลายของอัลฟาเอส 1 เคซิน พบอัลลีล A มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล A มีความถี่เท่ากับ 0.41 ในขณะที่อัลลีล B, E และ F มีความถี่เท่ากับ 0.16, 0.06 และ 0.37 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ของ Albenzio และคณะ (2009) พบอัลลีล A มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล A มีความถี่เท่ากับ 0.43 นอกจากนี้อัลลีล B, C, E, F และ N มีความถี่เท่ากับ 0.20, 0.09, 0.01, 0.24 และ 0.03 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามพบที่มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Torres-Vázquez และคณะ (2008) พบอัลลีล E มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล E มีความถี่เท่ากับ 0.40 ในขณะที่อัลลีล A, B, F และ N มีความถี่เท่ากับ 0.03, 0.11, 0.37 และ 0.07 ตามลำดับ อีกทั้งพบความขัดแย้งกับการศึกษาของ Grosclaude และคณะ (1987) และ Martin และคณะ (2002) และ Leroux และคณะ (2000) โดยพบอัลลีล E มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล E มีความถี่เท่ากับ 0.41 และ 0.46 ตามลำดับ

2 เบต้าเคซิน

จากผลการศึกษาความหลากหลายของจีนเบต้าเคซินในแพะพันธุ์ซาแนน และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบว่าอัลลีล A มีสัดส่วนมากกว่าอัลลีล F เหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ซาแนน มีสัดส่วนที่มากกว่า เท่ากับ 1.3 เท่า และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย มีมากกว่า เท่ากับ 1.1 เท่า สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมด พบว่า อัลลีล A จะมีสัดส่วนความถี่ที่มากกว่าอัลลีล F เท่ากับ 1.2 เท่า โดยอัลลีล F คืออัลลีลใหม่ที่พบในการศึกษาครั้งนี้

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Sacchi และคณะ (2005) ได้ศึกษาหาความหลากหลายของเบต้าเคซินในแพะพันธุ์ Maltese และ Jonica คือ พบอัลลีล A มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดย อัลลีล A มีความถี่เท่ากับ 0.964 และในขณะเดียวกันแพะพันธุ์ Vallesana และ Roccaverano ซึ่งพบเพียงอัลลีล A เท่านั้น โดยมีความถี่เท่ากับ 1.000 อย่างไรก็ตามพบที่มีความ

ขัดแย้งกับการศึกษาของ Caroli และคณะ (2006) ซึ่งพบอัลลีล C มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล C มีความถี่เท่ากับ 0.721 ในขณะที่อัลลีล A และ E มีความถี่เท่ากับ 0.200 และ 0.079 ตามลำดับ

3 อัลฟาเอส 2 เคซีน

จากผลของการศึกษาความหลากหลายของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีนในแพะพันธุ์ซาแนน และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบว่า อัลลีล A จะมีสัดส่วนที่มากกว่าอัลลีล B เหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ โดยในแพะพันธุ์ซาแนน มีสัดส่วนที่มากกว่า เท่ากับ 10.5 เท่า และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย มีสัดส่วนที่มากกว่า เท่ากับ 5.0 เท่า สำหรับกลุ่มประชากรแพะทั้งหมดพบว่า อัลลีล A จะมีสัดส่วนความถี่ที่มากกว่าอัลลีล B เท่ากับ 6.3 เท่า

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Othman and Ahmed (2006) ได้ศึกษาหาความหลากหลายของอัลฟาเอส 2 เคซีน คือ พบอัลลีล A มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล A มีความถี่เท่ากับ 0.73 ในขณะที่อัลลีล B มีความถี่เท่ากับ 0.66 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Grobler และคณะ (2017) โดย พบอัลลีล A มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ คือ อัลลีล A มีความถี่เท่ากับ 0.644 ในขณะที่ความถี่ของอัลลีล B, C และ F เท่ากับ 0.094, 0.094 และ 0.169 ตามลำดับ

4 แคปปาเคซีน

จากผลของการศึกษาหาความหลากหลายของจีนแคปปาเคซีนในแพะพันธุ์ซาแนน พบว่า อัลลีล A จะมีสัดส่วนความถี่มากกว่าอัลลีล B, D และ N1 เท่ากับ 4.3, 3.8 และ 29.6 เท่า และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบว่าอัลลีล A จะมีสัดส่วนความถี่มากกว่าอัลลีล B, D, H, F, N2 และ N3 เท่ากับ 2.2, 3.9, 24.6, 46.6, 46.6 และ 46 เท่า สำหรับกลุ่มประชากรทั้งหมด พบว่า อัลลีล A มีสัดส่วนความถี่มากกว่าอัลลีล B, D, H, F, N1, N2 และ N3 เท่ากับ 2.8, 3.8, 39.5, 74, 74, 74 และ 74 เท่า โดยอัลลีล N1, N2 และ N3 คือ อัลลีลใหม่ที่พบในการศึกษาครั้งนี้

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Di Gerlando และคณะ (2015) ได้ศึกษาหาความหลากหลายของแคปปาเคซีน คือ พบอัลลีล A มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล A มีความถี่เท่ากับ 0.48 ในขณะที่ความถี่ของ อัลลีล B, D, G และ N เท่ากับ 0.36, 0.16, 0.005 และ 0.034 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chiatti และคณะ (2007) ซึ่งพบอัลลีล A มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล A มีความถี่เท่ากับ 0.663 ในขณะที่ อัลลีล B มีความถี่เท่ากับ 0.337 อย่างไรก็ตามพบว่ามี ความขัดแย้งกับการศึกษาของ Prinzenberg และคณะ. (2005) ซึ่งพบอัลลีล B มากกว่าอัลลีลอื่น ๆ โดยอัลลีล B มีความถี่เท่ากับ 0.660 ในขณะที่อัลลีล A และ C มีความถี่เท่ากับ 0.250 และ 0.090 ตามลำดับ

5.3 เคซีนแอสปิโลไทป์

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบว่า

1. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น homozygote ทั้ง 4 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 1 ตัว จากทั้งหมด 65 ตัว คิดเป็นร้อยละ 1.75

2. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote เพียง 1 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 8 ตัว คิดเป็นร้อยละ 32.00 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 17 ตัว คิดเป็นร้อยละ 68.00 สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาคพบ จำนวน 25 ตัว จากทั้งหมด 65 ตัว คิดเป็นร้อยละ 38.46

3. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote จำนวน 2 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 8 ตัว คิดเป็นร้อยละ 36.36 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 14 ตัว คิดเป็นร้อยละ 63.64 สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาคพบ จำนวน 22 ตัว จากทั้งหมด 65 ตัว คิดเป็นร้อยละ 33.85

4. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote จำนวน 3 จิน ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 2 ตัว คิดเป็นร้อยละ 28.57 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 5 ตัว คิดเป็นร้อยละ 71.43 สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาคพบ จำนวน 7 ตัว จากทั้งหมด 65 ตัว คิดเป็นร้อยละ 10.77

5. กลุ่มแพะที่พบจีโนไทป์เป็น heterozygote ทั้ง 4 ซึ่งพบในแพะพันธุ์ชาแนน จำนวน 5 ตัว คิดเป็นร้อยละ 50.00 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 5 ตัว คิดเป็นร้อยละ 50.00 สำหรับประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษาคพบ จำนวน 10 ตัว จากทั้งหมด 65 ตัว คิดเป็นร้อยละ 15.39

ผลการวิเคราะห์พบรูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ในแพะพันธุ์ชาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 46 รูปแบบ พบในแพะพันธุ์ชาแนน พบจำนวน 29 รูปแบบ คิดเป็นร้อยละ 63.04 และในแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย พบจำนวน 38 รูปแบบ คิดเป็นร้อยละ 82.61 ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่ามี 3 รูปแบบ เคซีนแอสปิโลไทป์ที่พบมากที่สุดในประชากรที่ทำการศึกษา ได้แก่ AAAA พบจำนวน 31 ตัว คิดเป็นร้อยละ 47.69

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษา Sacchi และคณะ (2005) พบรูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ทั้งหมด 18 รูปแบบ โดยมีรูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ที่พบมากที่สุด จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ FAFD EACD และ AAAD และรูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ที่พบน้อยที่สุด จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ EABA AAED และ BAAB นอกจากนี้ Kupper et al. 2010 ทำการศึกษารูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ของแพะในประเทศเยอรมันนี โดยพบรูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ทั้งหมด 55 รูปแบบ โดยรูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ที่พบมากที่สุด ได้แก่ ACAD BCAD และ EAAD โดยคิดเป็นร้อยละ 35 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่ารูปแบบเคซีนแอสปิโลไทป์ที่พบในแต่ละการศึกษาในรูปแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ

ได้แก่ พันธุ์ ระดับสายเลือด พื้นที่เลี้ยง เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลให้แต่ละการศึกษาพบรูปแบบ และสัดส่วนของเคซีนแฮปโลไทป์ที่แตกต่างกัน

5.4 การวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และ แคปปาเคซีน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนมในแพะพันธุ์ชานน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย อาจกล่าวได้ว่าจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน มีแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะปริมาณน้ำนม ($0.05 < P < 0.10$) อย่างไรก็ตาม พบว่าจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน เบต้าเคซีน และแคปปาเคซีน อาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะปริมาณน้ำนม ($P > 0.05$) นอกจากนี้การศึกษา (Caffaro et al., 2012) รายงานว่ารูปแบบจีโนไทป์ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน และแคปปาเคซีน ไม่มีอิทธิพลต่อลักษณะปริมาณน้ำนม ($P > 0.05$) แต่มีผลต่อลักษณะเปอร์เซ็นต์โปรตีน ($P < 0.05$)

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถระบุอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิด ต่อลักษณะปริมาณน้ำนมได้อย่างชัดเจน เนื่องจากกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีจำนวนน้อยมากสำหรับการศึกษาในด้านนี้

บทที่ 6

สรุปผลการวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

6.1 รูปแบบจีโนไทป์ของอัลฟา เอส1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีนที่พบในการศึกษา

ในประชากรแพะที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ 65 ตัว พบจีโนไทป์ของอัลฟา เอส1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีน ดังนี้

จिनอัลฟาเอส 1 เคซีน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 5 รูปแบบ ได้แก่ AA, AC, AE, CC และ EE โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.292, 0.292, 0.277, 0.031 และ 0.108 ตามลำดับ โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่ AA, AC, AE และ EE โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.174, 0.391, 0.261 และ 0.174 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบจีโนไทป์ทั้งหมด 5 รูปแบบ ได้แก่ AA, AC, AE, CC และ EE โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.357, 0.238, 0.286, 0.048 และ 0.071 ตามลำดับ

จินเบต้าเคซีน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ AA, AF และ FF โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.246, 0.585 และ 0.169 ตามลำดับ โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ AA, AF และ FF โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.217, 0.696 และ 0.087 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบจีโนไทป์ทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ AA, AF และ FF โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.262, 0.524 และ 0.214 ตามลำดับ

จินอัลฟาเอส 2 เคซีน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 2 รูปแบบ ได้แก่ AA และ BB โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.723 และ 0.277 ตามลำดับ โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 2 รูปแบบ ได้แก่ AA และ BB โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.826 และ 0.174 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบจีโนไทป์ทั้งหมด 2 รูปแบบ ได้แก่ AA และ BB โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.667 และ 0.333 ตามลำดับ

จินแคปปาเคซีน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 11 รูปแบบ ได้แก่ AA, AB, AD, AH, BB, BD, BF, DD, AN1, AN2 และ AN2/BN3 โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.369, 0.200, 0.200, 0.015, 0.092, 0.015, 0.15, 0.046, 0.015, 0.015 และ 0.015 ตามลำดับ โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบจีโนไทป์ทั้งหมด 5 รูปแบบ ได้แก่ AA, AB, AD, DD และ AN1 โดยมีความถี่จีโนไทป์เท่ากับ 0.391, 0.304, 0.174, 0.087 และ 0.043 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบจีโนไทป์ทั้งหมด 10 รูปแบบ ได้แก่ AA, AB,

AD, AH, BB, BD, BF, DD, AN2 และ AN2/BN3 โดยมีความถี่จโนไทป์เท่ากับ 0.357, 0.143, 0.214, 0.024, 0.143, 0.024, 0.024, 0.024, 0.024 และ 0.024 ตามลำดับ

6.2 รูปแบบอัลลีลของอัลฟา เอส1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีนที่พบในการศึกษา

ในประชากรแพะที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ 65 ตัว พบอัลลีลของอัลฟา เอส1 เคซีน เบต้าเคซีน อัลฟาเอส 2 เคซีน และแคปปาเคซีน ดังนี้

จันอัลฟาเอส 1 เคซีน พบอัลลีลทั้งหมด 3 อัลลีล ได้แก่ A, C และ E โดยมีอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐานที่พบมากที่สุดในประชากร และมีความถี่อัลลีลเท่ากับ 0.577 นอกจากนี้พบอัลลีล C และ E มีความถี่เท่ากับ 0.177 และ 0.246 ตามลำดับ โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบอัลลีล A, C และ E เท่ากับ 0.500, 0.196 และ 0.304 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบอัลลีล A, C และ E เท่ากับ 0.619, 0.167 และ 0.214 ตามลำดับ

จันเบต้าเคซีน พบอัลลีลทั้งหมด 2 อัลลีล ได้แก่ A และ F โดยมีอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐานที่พบมากที่สุดในประชากร และมีความถี่อัลลีลเท่ากับ 0.538 ทั้งนี้อัลลีล F คืออัลลีลใหม่ที่พบในการศึกษาครั้งนี้ มีความถี่เท่ากับ 0.462 โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบอัลลีล A และ F เท่ากับ 0.565 และ 0.435 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบอัลลีล A และ F เท่ากับ 0.524 และ 0.476 ตามลำดับ

จันอัลฟาเอส 2 เคซีน พบอัลลีลทั้งหมด 2 อัลลีล ได้แก่ A และ B โดยมีอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐานที่พบมากที่สุดในประชากร และมีความถี่อัลลีลเท่ากับ 0.862 นอกจากนี้พบอัลลีล B มีความถี่เท่ากับ 0.138 โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบอัลลีล A และ B เท่ากับ 0.913 และ 0.087 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบอัลลีล A และ B เท่ากับ 0.833 และ 0.167 ตามลำดับ

จันแคปปาเคซีน พบอัลลีลทั้งหมด 8 อัลลีล ได้แก่ A, B, D, H, F, N1, N2 และ N3 โดยมีอัลลีล A เป็นอัลลีลพื้นฐานที่พบมากที่สุดในประชากร และมีความถี่อัลลีลเท่ากับ 0.592 นอกจากนี้พบอัลลีล B, D, H และ F มีความถี่เท่ากับ 0.215, 0.154, 0.008 และ 0.008 ตามลำดับ ทั้งนี้อัลลีล N1, N2 และ N3 คือ อัลลีลใหม่ที่พบในการศึกษาครั้งนี้ มีความถี่เท่ากับ 0.008, 0.008 และ 0.008 ตามลำดับ โดยแพะพันธุ์ซาแนน พบอัลลีล A, B, D และ N1 เท่ากับ 0.652, 0.154, 0.174 และ 0.022 ตามลำดับ และแพะพันธุ์พื้นเมือง พบอัลลีล A, B, D, H, F, N2 และ N3 เท่ากับ 0.560, 0.250, 0.143, 0.012, 0.012 และ 0.012 ตามลำดับ

6.3 รูปแบบเคซินแฮปโพลไทป์ที่พบในการศึกษา

รูปแบบเคซินแฮปโพลไทป์ในแพะพันธุ์ซาแนน และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 65 ตัว จากแพะพันธุ์ซาแนน จำนวน 23 ตัว และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 42 ตัว พบรูปแบบเคซินแฮปโพลไทป์ในประชากรแพะทั้งหมด 41 รูปแบบ โดยพบในแพะพันธุ์ซาแนนพบจำนวน 15 รูปแบบ และแพะพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 38 รูปแบบ โดยรูปแบบเคซินแฮปโพลไทป์ที่พบมากที่สุดทั้งสองพันธุ์ คือ AAAA คิดเป็นร้อยละ 30.60 และ 16.70 ตามลำดับ สำหรับรูปแบบเคซินแฮปโพลไทป์ของประชากรแพะพบรูปแบบเคซินแฮปโพลไทป์มากที่สุด คือ AAAA คิดเป็นร้อยละ 19.90

6.4 วิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของเงินเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และ แคปปาเคซิน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม

ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถระบุอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของเงินเคซินทั้ง 4 ชนิด ต่อลักษณะปริมาณน้ำนมได้อย่างชัดเจน เนื่องจากกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีจำนวนน้อยมากสำหรับการศึกษาในด้านนี้

6.5 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการศึกษาหาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของเงินเคซินทั้ง 4 ชนิด (อัลฟาเอส 1 เคซิน เบต้าเคซิน อัลฟาเอส 2 เคซิน และ แคปปาเคซิน) ต่อลักษณะปริมาณน้ำนม

ในการศึกษาหาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของเงินเคซินทั้ง 4 ชนิดต่อลักษณะปริมาณน้ำนม ซึ่งในการศึกษาด้านการวิเคราะห์ทางสถิติในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าเงินเคซินชนิดใดมีอิทธิพลต่อลักษณะปริมาณน้ำนม ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ศึกษานั้นมีจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่จะหาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของเงินเคซินทั้ง 4 ชนิดต่อลักษณะปริมาณน้ำนมได้

ดังนั้นแนวทางเพื่อที่จะช่วยในการคัดเลือกแพะสำหรับลักษณะดังกล่าว คือควรเพิ่มจำนวนประชากรที่จะศึกษาให้มากขึ้น และเก็บตัวอย่างจากประชากรแพะให้มีความหลากหลาย เช่น ในส่วนของพันธุ์ ฟาร์มหรือพื้นที่เลี้ยง และระดับสายเลือด เป็นต้น ทั้งนี้สามารถพบความหลากหลายของรูปแบบอัลลีล และจีโนไทป์ของเคซินแต่ละชนิด รวมถึงสามารถพบความหลากหลายของจีโนไทป์ได้อีกทั้งสามารถวิเคราะห์หาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ต่อลักษณะปริมาณน้ำนมได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น รวมถึงอาจจะบอกถึงอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ต่อลักษณะปริมาณน้ำนมได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

แนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

การหาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิดต่อลักษณะปริมาณน้ำนมที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เป็นการเชื่อมโยงความรู้ทางด้านพันธุศาสตร์โมเลกุล และความรู้ทางด้านพันธุศาสตร์ปริมาณเข้าด้วยกัน โดยอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ของจีนทั้ง 4 ชนิดต่อลักษณะปริมาณน้ำนมเพื่อใช้ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์แพะ ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มานั้นยังไม่สามารถสรุปได้ว่าจีนเคซีนทั้ง 4 ชนิดมีอิทธิพลต่อลักษณะปริมาณน้ำนม เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลตัวอย่างจากประชากรแพะส่วนหนึ่งของประเทศไทยซึ่งมีจำนวนเพียง 26 ตัว เท่านั้น ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยมากสำหรับการศึกษาในด้านนี้ ตลอดจนมีข้อจำกัดต่าง ๆ ดังนี้

1. ประชากรแพะ ควรทำการศึกษาความสัมพันธ์ของจีนในจำนวนประชากรที่มากขึ้น เพื่อให้เป็นตัวแทนในแต่ละกลุ่มรูปแบบจีโนไทป์ที่เพียงพอ ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของจีนต่อลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ตลอดจนได้ข้อสรุปที่ถูกต้องจากกลุ่มตัวอย่างที่สามารถเป็นตัวแทนของประชากรก่อนนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้ในการคัดเลือกแพะในแต่ละกลุ่มประชากรนั้น ๆ

2. พื้นที่ ในการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาหาความหลากหลายของจีนแต่ละชนิด ควรที่จะมีการกระจายการเก็บตัวอย่างในหลายๆพื้นที่ เพื่อเพิ่มโอกาสในการพบความหลากหลายของจีนแต่ละชนิดในแพะแต่ละพันธุ์ ทั้งนี้ยังสามารถหาความสัมพันธ์ของจีนต่อลักษณะต่าง ๆ ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

3. ลักษณะ ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ของจีนต่อลักษณะที่มีความสำคัญอื่น ๆ ในแพะเพิ่มเติม เนื่องจากจีนอาจจะมียอิทธิพลต่อลักษณะมากกว่า 1 ลักษณะ (pleiotropy) การคัดเลือกรูปแบบจีโนไทป์ของจีนอาจจะมียผลกระทบต่อลักษณะอื่น ๆ ในแพะด้วย

4. การเก็บตัวอย่าง ในการศึกษาหาอิทธิพลของรูปแบบจีโนไทป์ต่อลักษณะการให้ผลผลิตนั้น ควรที่จะเก็บตัวอย่างของ พ่อ แม่ และลูกแพะ เพื่อที่นำมาตรวจหารูปแบบจีโนไทป์ อีกทั้งยังสามารถยืนยันรูปแบบแฮปโลไทป์ที่มีอยู่ในตัวสัตว์ได้ทั้ง 2 รูปแบบได้อย่างชัดเจน

บรรณานุกรม

- Albenzio M, Santillo A, d'Angelo F and Sevi A 2009. Focusing on casein gene cluster and protein profile in Garganica goat milk. *Journal of dairy research*. 76(1): 83-89.
- Angiolillo A, Yahyaoui MH, Sánchez A, Pilla F and Folch JM 2002. Short communication: characterization of a new genetic variant in the caprine kappa-casein gene. *J Dairy Sci*. 85(10): 2679-2680.
- Boulanger A, Grosclaude F and Mahé M-F 1984. Polymorphisme des caséines α S1 et α S2 de la chèvre (*Capra hircus*). *Génétique, sélection, évolution*. 16(2): 157.
- Bouniol C, Brignon G, Mahé M and Printz C 1994. Biochemical and genetic analysis of variant C of caprine α S2-casein (*Capra hircus*). *Animal Genetics*. 25(3): 173-177.
- Božidarka M, M. M, S. J and M. K 2009. GENE FREQUENCIES OF CAPRINE ALPHA S 1 CASEIN POLYMORPHISM IN MONTENEGRIAN BALKAN GOAT. 613-619.
- Brignon G, Mahé MF, Grosclaude F and Ribadeau-Dumas B 1989. Sequence of caprine alpha S1-casein and characterization of those of its genetic variants which are synthesized at a high level, alpha S1-CnA, B and C. *Protein Seq Data Anal*. 2(3): 181-188.
- Caffaro ME, Sud rez C, Roldan D and Poli M 2012. Milk Casein Alleles, Haplotypes and QTL Effect on Protein and Fat Content and Milk Yield in Argentinean Criollo and Cross Goats. *จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*
- Caroli A, Chiatti F, Chessa S, Rignanese D, Bolla P and Pagnacco G 2006. Focusing on the goat casein complex. *Journal of Dairy Science*. 89(8): 3178-3187.
- Caroli A, Jann O, Budelli E, Bolla P, Jäger S and Erhardt G 2001. Genetic polymorphism of goat kappa-casein (CSN3) in different breeds and characterization at DNA level. *Anim Genet*. 32(4): 226-230.
- Ceballos LS, Morales ER, de la Torre Adarve G, Castro JD, Martínez LP and Sampelayo MRS 2009. Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and analyzed by identical methodology. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22(4): 322-329.
- Chianese L, Ferranti P, Garro G, Mauriello R and Addeo F 1997. IV.3 - Occurrence of three novel α S1-casein variants in goat milk. *International Dairy Federation*

special issue. 259-267.

- Chiatti F, Chessa S, Bolla P, Caroli A and Pagnacco G 2005. Casein genetic polymorphisms in goat breeds of Lombardy. *Italian Journal of Animal Science*. 4(sup2): 46-48.
- Chiatti F, Chessa S, Bolla P, Cigalino G, Caroli A and Pagnacco G 2007. Effect of **K**-casein polymorphism on milk composition in the Orobica goat. *Journal of Dairy Science*. 90(4): 1962-1966.
- Clarck S and Sherbon J 2000a. Genetic variants of alpha S1-CN in goat milk: breed distribution and associations with milk composition and coagulation properties. *Small Rum Res*. 38(1): 135-143.
- Clarck S and Sherbon J 2000b. Genetic variants of alpha S1-CN in goat milk: breed distribution and associations with milk composition and coagulation properties. *Small Ruminant Research*. 38(1): 135-143.
- Coll A, Folch J and Sanchez A 1993. Nucleotide sequence of the goat kappa-casein cDNA. *Journal of animal science*. 71: 2833.
- Cosenza G, Illario R, Rando A, di Gregorio P, Masina P and Ramunno L 2003. Molecular characterization of the goat CSN1S101 allele. *Journal of Dairy Research*. 70(2): 237-240.
- Cosenza G, Pauciuolo A, Colimoro L, Mancusi A, Rando A, Di Berardino D and Ramunno L 2007. An SNP in the goat CSN2 promoter region is associated with the absence of beta-casein in milk. *Anim Genet*. 38(6): 655-658.
- Cunsolo V, Muccilli V, Saletti R, Marletta D and Foti S 2006. Detection and characterization by high-performance liquid chromatography and mass spectrometry of two truncated goat **αS2**-caseins. *Rapid Communications in Mass Spectrometry: An International Journal Devoted to the Rapid Dissemination of Up-to-the-Minute Research in Mass Spectrometry*. 20(7): 1061-1070.
- Di Gerlando R, Tortorici L, Sardina MT, Monteleone G, Mastrangelo S and Portolano B 2015. Molecular Characterisation of **K**-Casein Gene in Girgentana Dairy Goat Breed and Identification of Two New Alleles. *Italian Journal of Animal Science*. 14(2): 3464.

- El-Shazly SA, Ahmed MM and Amer SA 2017. Genetic polymorphism in some milk protein genes and its impact on milk composition of Saudi Arabian goat breeds reared in Taif region. *Romanian Biotechnological Letters*. 22(5): 12860.
- Everett RW and Carter HW 1968. Accuracy of Test Interval Method of Calculating Dairy Herd Improvement Association Records. *Journal of Dairy Science*. 51(12): 1936-1941.
- falconer DS and Mackay aTFC 1996. Introduction to quantitative genetic. Vol 4 th ed. In: Longman House. Eng, Jarlow.
- Galliano F, Saletti R, Cunsolo V, Foti S, Marletta D, Bordonaro S and D'Urso G 2004. Identification and characterization of a new β -casein variant in goat milk by high-performance liquid chromatography with electrospray ionization mass spectrometry and matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry. *Rapid communications in mass spectrometry*. 18(17): 1972-1982.
- Greppi G, Roncada P and Fortin R 2008. Protein components of goat's milk. *Dairy goats feeding and nutrition*. 2: 71-94.
- Grobler R, Visser C, Chessa S and van Marle-Köster E 2017. Genetic polymorphism of CSN1S2 in South African dairy goat populations. *South African Journal of Animal Science*. 47(1): 72-78.
- Grosclaude F, Mahé M-F, Brignon G, Di Stasio L and Jeunet R 1987. A Mendelian polymorphism underlying quantitative variations of goat α S1-casein. *Genetique, selection, evolution*. 19(4): 399.
- Jann OC, Prinzenberg E-M, Luikart G, Caroli A and Erhardt G 2004. High polymorphism in the **K**-casein (CSN3) gene from wild and domestic caprine species revealed by DNA sequencing. *Journal of Dairy Research*. 71(2): 188-195.
- Jemmali B, Mounir K, Haddar a, Gara a, Selmi H, Hammami a, Amraoui a, Rouissi H and Rekik B 2012. Genetic polymorphism of casein alpha-S1 gene in Tunisian local Goat. *BIOMIRROR*.
- Jenness R 1980. Composition and characteristics of goat milk: review 1968– 1979. *Journal of Dairy Science*. 63(10): 1605-1630.
- Jordana J, Amills M, Diaz E, Angulo C, Serradilla J and Sanchez A 1996. Gene frequencies of caprine α S1-casein polymorphism in Spanish goat breeds. *Small*

- ruminant research. 20(3): 215-221.
- Kiplagat S, Agaba M, Kosgey I, Okeyo M, Indetie D, Hanotte O and Limo M 2010. Genetic polymorphism of kappa-casein gene in indigenous Eastern Africa goat populations. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*. 2(1): 001-005.
- Kumar A, Rout, P., Mandal, A., & Roy, R 2007. Identification of the CSN1S1 allele in Indian goats by the PCR-RFLP method. 1(8): 1099-1104.
- Lagonigro R, Pietrola E, D'Andrea M, Veltri C and Pilla F 2002. Molecular genetic characterization of the goat s(2)-casein E allele. *Animal genetics*. 32: 391-393.
- Leroux C, Mazure N and Martin P 1992. Mutations away from splice site recognition sequences might cis-modulate alternative splicing of goat alpha S1-casein transcripts. Structural organization of the relevant gene. *J Biol Chem*. 267(9): 6147-6157.
- Mahé MF and Grosclaude F 1989. α (S1)-Cn(D), another allele associated with a decreased synthesis rate at the caprine α (S1)-casein locus. *Genetics, Selection, Evolution : GSE*. 21(2): 127-129.
- Marini AA, Rashid BA, Musaddin K and Zawawi I 2011. α S1-Casein gene polymorphism in Katjang, Jamnapari, Boer and Boer-feral goats in Malaysia. *J. Trop. Agric. and Fd. Sc.* 39(1): 000-000.
- Martin P and Leroux C 1994. Characterization of a further alpha-S1-casein variant generated by exon-skipping. *in XXIV International Conference on Animal Genetics*. International Society for Animal Genetics, Prague
Inconnu.
- Martin P, Ollivier-Bousquet M and Grosclaude F 1999. Genetic polymorphism of caseins: a tool to investigate casein micelle organization. *International Dairy Journal*. 9(3-6): 163-171.
- Martin P, Szymanowska M, Zwierzchowski L and Leroux C 2002. The impact of genetic polymorphisms on the protein composition of ruminant milks. *Reproduction nutrition development*. 42(5): 433-459.
- Neveu C, Mollé D, Moreno J, Martin P and Léonil J 2002. Heterogeneity of caprine beta-casein elucidated by RP-HPLC/MS: Genetic variants and phosphorylations.

- Journal of Protein Chemistry. 21(8): 557-567.
- Othman O and Ahmed S 2006. Analysis of Genetic Polymorphisms in the Egyptian Goats CSN1S2 Using Polymerase Chain Reaction. Journal of Biological Sciences. 6: 238-241.
- Palmeri M, Mastrangelo S, Sardina MT and Portolano B 2014. Genetic Variability at α S2-casein Gene in Girgentana Dairy Goat Breed. Italian Journal of Animal Science. 13(1): 2997.
- Patel S, Pande A, Rank DN, Arya J and Jacob N 2013. Kappa casein gene polymorphism in Zalawadi goats. Indian Journal of Biotechnology. 10: 235-237.
- Pérez MJ, Leroux C, Bonastre AS and Martin P 1994. Occurrence of a LINE sequence in the 3' UTR of the goat alpha S1-casein E-encoding allele associated with reduced protein synthesis level. Gene. 147(2): 179-187.
- Persuy MA, Printz C, Medrano J and Mercier JC 1999. A single nucleotide deletion resulting in a premature stop codon is associated with marked reduction of transcripts from a goat β -casein null allele. Animal Genetics. 30(6): 444-451.
- Phadungath C 2005. Casein micelle structure: a concise review. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 27(1): 201-212.
- Prinzenberg E-M, Gutscher K, Chessa S, Caroli and Erhardt G 2005. Caprine **K**-casein (CSN3) polymorphism: New developments in molecular knowledge. Journal of Dairy Science. 88(4): 1490-1498.
- Rahmatalla SA, Arends D, Said Ahmed A, Hassan L, Krebs S, Reissmann M and Brockmann GA 2021. Capture Sequencing to Explore and Map Rare Casein Variants in Goats. Frontiers in genetics. 12: 98.
- Ramunno L, Cosenza G, Pappalardo M, Longobardi E, Gallo D, Pastore N, Di Gregorio P and Rando A 2001a. Characterization of two new alleles at the goat CSN1S2 locus. Anim Genet. 32(5): 264-268.
- Ramunno L, Cosenza G, Rando A, Pauciullo A, Illario R, Gallo D, Di Bernardino D and Masina P 2005. Comparative analysis of gene sequence of goat CSN1S1 F and N alleles and characterization of CSN1S1 transcript variants in mammary gland. Gene. 345(2): 289-299.
- Ramunno L, Longobardi E, Pappalardo M, Rando A, Di Gregorio P, Cosenza G, Mariani P,

- Pastore N and Masina P 2001b. An allele associated with a non-detectable amount of α S2 casein in goat milk. *Animal Genetics*. 32(1): 19-26.
- Sacchi P, Chessa S, Budelli E, Bolla P, Ceriotti G, Soglia D, Rasero R, Cauvin E and Caroli A 2005. Casein haplotype structure in five Italian goat breeds. *Journal of Dairy Science*. 88(4): 1561-1568.
- Sargent FD, Lytton VH and Wall OG 1968. Test Interval Method of Calculating Dairy Herd Improvement Association Records. *Journal of Dairy Science*. 51(1): 170-179.
- SAS 2002. The SAS System for Windows: version 9.0 In: Cary, NC, USA
- Sawaya W, Safi W, Al-Shalhat A and Al-Mohammad M 1984. Chemical composition and nutritive value of goat milk. *Journal of Dairy Science*. 67(8): 1655-1659.
- Scheepers RC, van Marle-Köster E and Visser C 2010. Genetic variation in the kappa-casein gene of South African goats. *Small ruminant research*. 93(1): 53-56.
- Selvaggi M, Laudadio V, Dario C and Tufarelli V 2014. Major proteins in goat milk: an updated overview on genetic variability. *Molecular biology reports*. 41(2): 1035-1048.
- Sivarajasingam s, Kignkorn, and J. van der werf. 1998. Animal breeding and genetic for the topics. In: University of New England Armidale, NSW, Australia.
- Sztankóová Z, Kott T, Czerneková V, Dudková G, Mátlová V and Soldát J 2006. A new allele specific polymerase chain reaction method (AS-PCR) for detection of the goat CSN1S101 allele. *Small ruminant research*. 66(1-3): 282-285.
- Torres-Vázquez JA, Vázquez Flores F, Montaldo HH, Ulloa-Arvizu R, Valencia Posadas M, Gayosso Vázquez A and Alonso Morales RA 2008. Genetic polymorphism of the α S1-casein locus in five populations of goats from Mexico. *Electronic Journal of Biotechnology*. 11(3): 62-72.
- Tortorici L, Di Gerlando R, Mastrangelo S, Sardina MT and Portolano B 2014. Genetic Characterisation of CSN2 Gene in Girgentana Goat Breed. *Italian Journal of Animal Science*. 13(4): 3414.
- Vacca GM, Dettori ML, Piras G, Manca F, Paschino P and Pazzola M 2014. Goat casein genotypes are associated with milk production traits in the Sarda breed. *Animal genetics*. 45(5): 723-731.

Walstra P 1999. Dairy technology: principles of milk properties and processes. In: CRC Press.

Yahyaoui M, Angiolillo A, Pilla F, Sanchez A and Folch J 2003. Characterization and genotyping of the caprine **K**-casein variants. Journal of Dairy Science. 86(8): 2715-2720.

Yahyaoui MH, COLL A, SANCHEZ A and FOLCH JM 2001. Genetic polymorphism of the caprine kappa casein gene. Journal of Dairy Research. 68(2): 209-216.

เรียวเดชะ จ 2534. เรื่องความรู้เกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์สัตว์. In: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ภาควิชาสัตวบาล, คณะสัตวแพทยศาสตร์. 123.

กรมปศุสัตว์ 2560. โครงการคลินิกเกษตรเคลื่อนที่ในพระราชานุเคราะห์ สมเด็จพระบรมโอรสาธิราชฯ สยามมกุฎราชกุมาร. กองงานพระราชดำริและกิจกรรมพิเศษ กรมปศุสัตว์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 1(กรุงเทพฯ): 42.

กาวีละ วตแหว 2531. นมและผลิตภัณฑ์นม. In: กรุงเทพฯ, โอ.เอส.พรีนติ้งเฮาส์.

มกอช.6006 ม 2551. "Subject: น้ํานมแพะดิบ" (online). Available: <http://acfs.go.th>.



วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

การเก็บตัวอย่างเลือด และสกัดดีเอ็นเอ

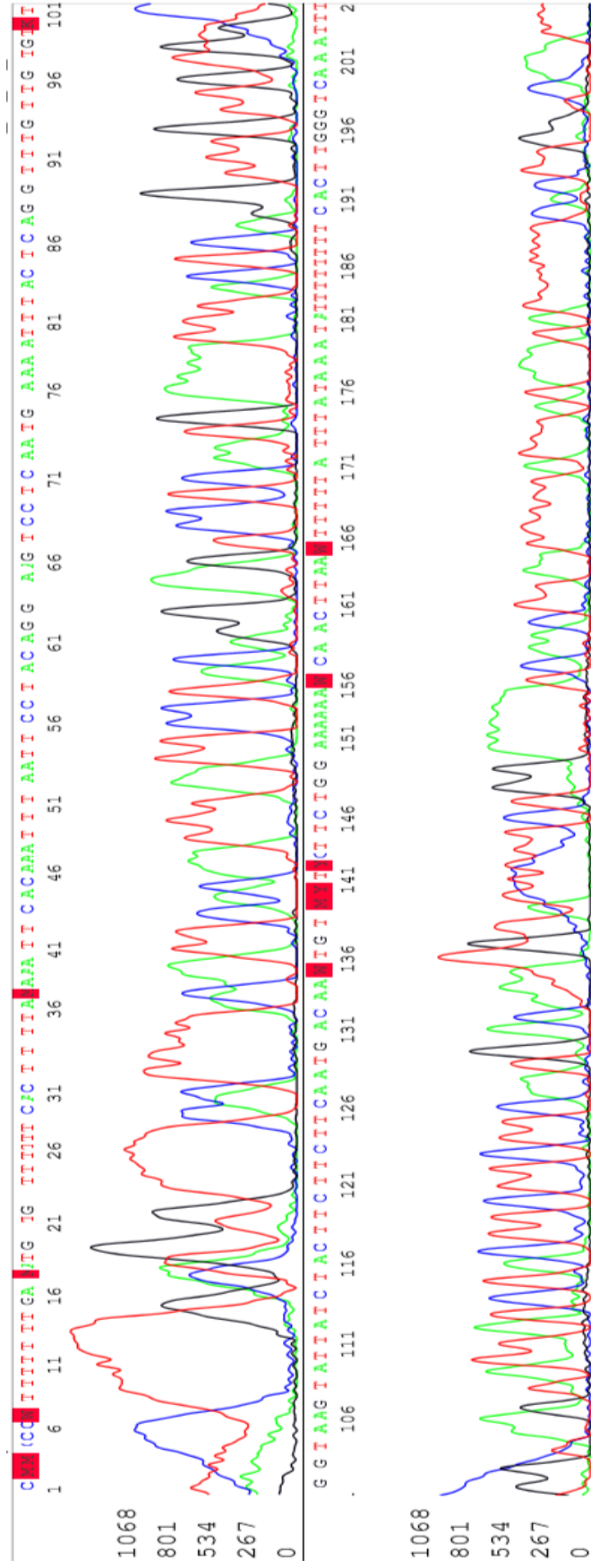
1. เข็มและหลอดสุญญากาศ (vacutainer)[®] ที่เคลือบด้วยสารป้องกันการแข็งตัว (EDTA)
2. QIAamp[®] DNA Blood and Tissue MiniKit (QIAGEN[®] Germany)
3. หลอดพาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 5 มิลลิลิตร
4. หลอดพาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 1.5 มิลลิลิตร
4. Microcentrifuge รุ่น EBA 12 (Hettich Germany)
5. Vortex Mixer รุ่น Vortex Genie 2 (Scientific Industres Inc U.S.A.)

การตรวจหาจีโนไทป์ด้วยวิธี DNA Sequencing

1. Taq DNA polymerase (5U/ μ l) และ 10xPCR buffer (MBI Fermentas U.S.A.)
2. dNTP's 100 mM : dATP dCTP dGTP dTTP (Amersham Pharmacia Biotech U.S.A.)
3. Oligonucleotide Primer (Microsynth Switzerland)
4. เครื่อง Thermal Cycler รุ่น GeneAmp PCR system9600 (Perkin Elmer U.S.A.)
5. Agarose gel สำหรับอิเล็กโตรโพลีซิส (USB Spain)
6. 0.5XTBE
7. Blue/Orange 6Xloading dye (Promega U.S.A.)
8. ชุด Gel Electrophoresis ชนิดแนวนอน ประกอบด้วย
 - Power Supply รุ่น 300 plus (Wealtec Taiwan)
 - Gel Electrophoresis System รุ่น miniGes (Wealtec Taiwan)
9. Ethidium bromide (Sigma U.S.A.)
10. 100 bp DNA Ladder (Invitrogen U.S.A.)
11. หลอดพาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 1.5 มิลลิลิตร
12. PCR tube ขนาด 0.2 มิลลิลิตร
13. Hotplate Stirrer รุ่น HS-101 (GEM Thailand)
14. ตู้อบ Microwave รุ่น MO-034 (Imarflex Thailand)
15. เครื่อง Spectrophotometer รุ่น Genesys5 (Spectronic U.S.A.)
16. Water Bath รุ่น W350 (Mettler Germany)

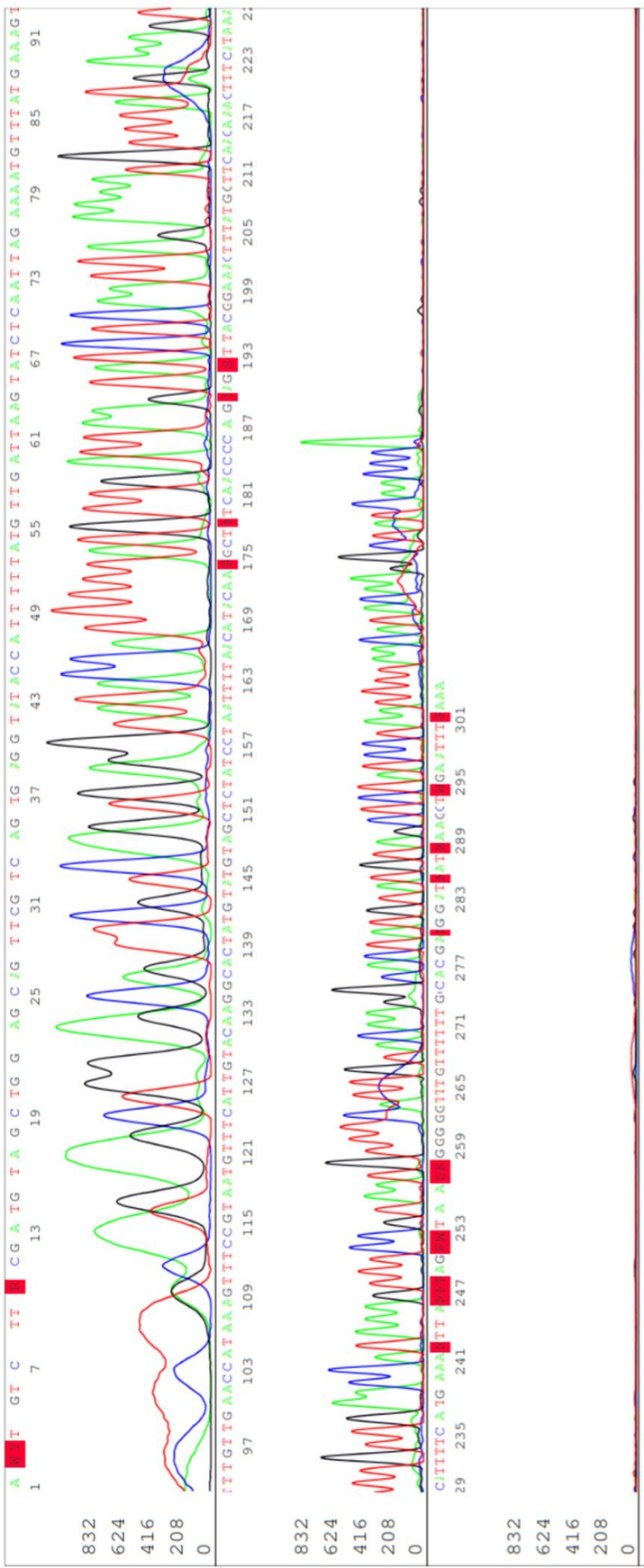
17. ตู้แช่เย็น -20°C รุ่น FZ-189GYN (Mirage Thailand)
18. ตู้แช่เย็น -70°C (Revco)
19. Parafilm (Parafilm M U.S.A.)
20. Pipette Tips รุ่น Diamond Tips แบบ Blue Tip Yellow Tip และ White tip (Gilson Inc. France)
21. 70 % Isopropanol
22. QIAquick PCR Purification kit (QIAGEN GmbH Germany)
23. Terminator Ready Reaction Mix
24. Sequencing Buffer (5X)
25. 95 % Ethanol
26. 3M Sodium Acetate
27. Hi-Di™ Formamide
28. plate
39. Applied Biosystems 3130 Series System
30. QIAquick® Gel Extraction Kit (QIAGEN GmbH Germany)
31. BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems™ USA)
32. SafeView™ FireRed (abmGood Canada)

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4



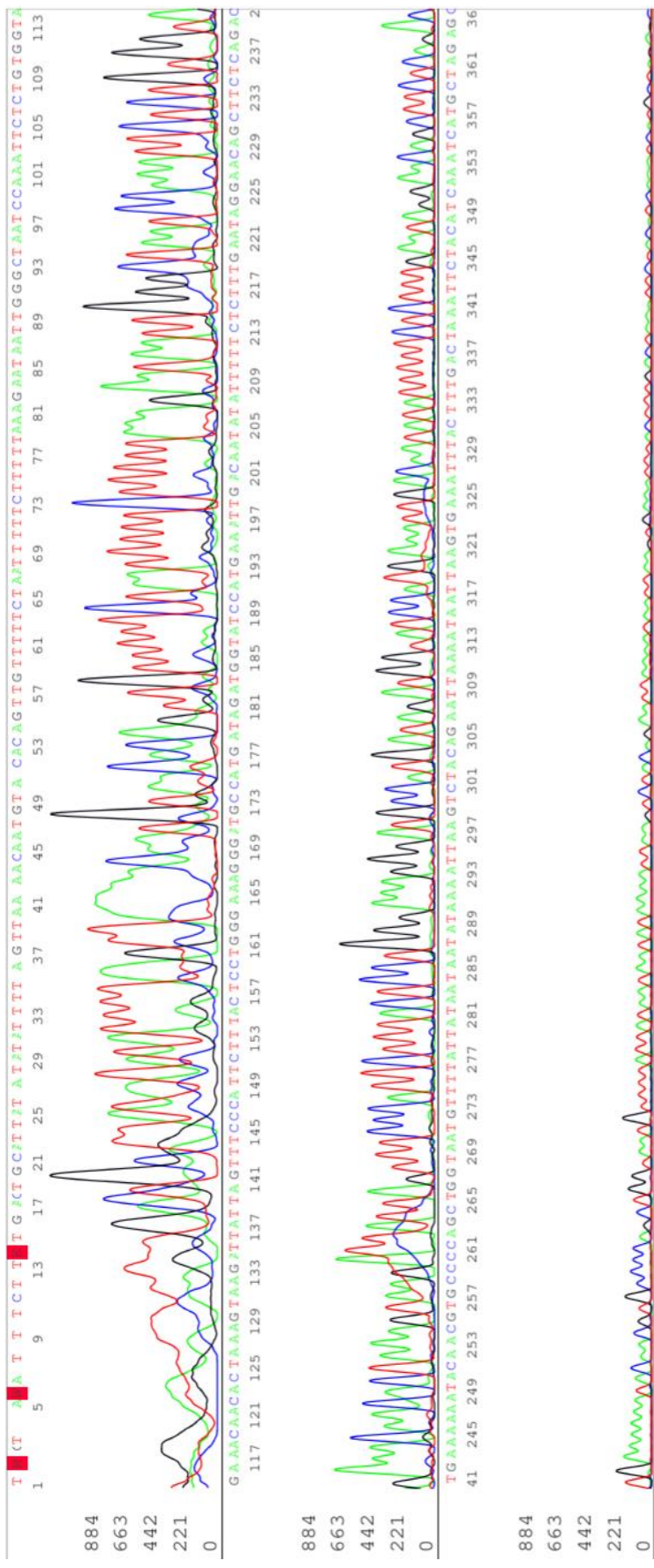
รูปภาพผนวกที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีนโมแทบี AA

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9



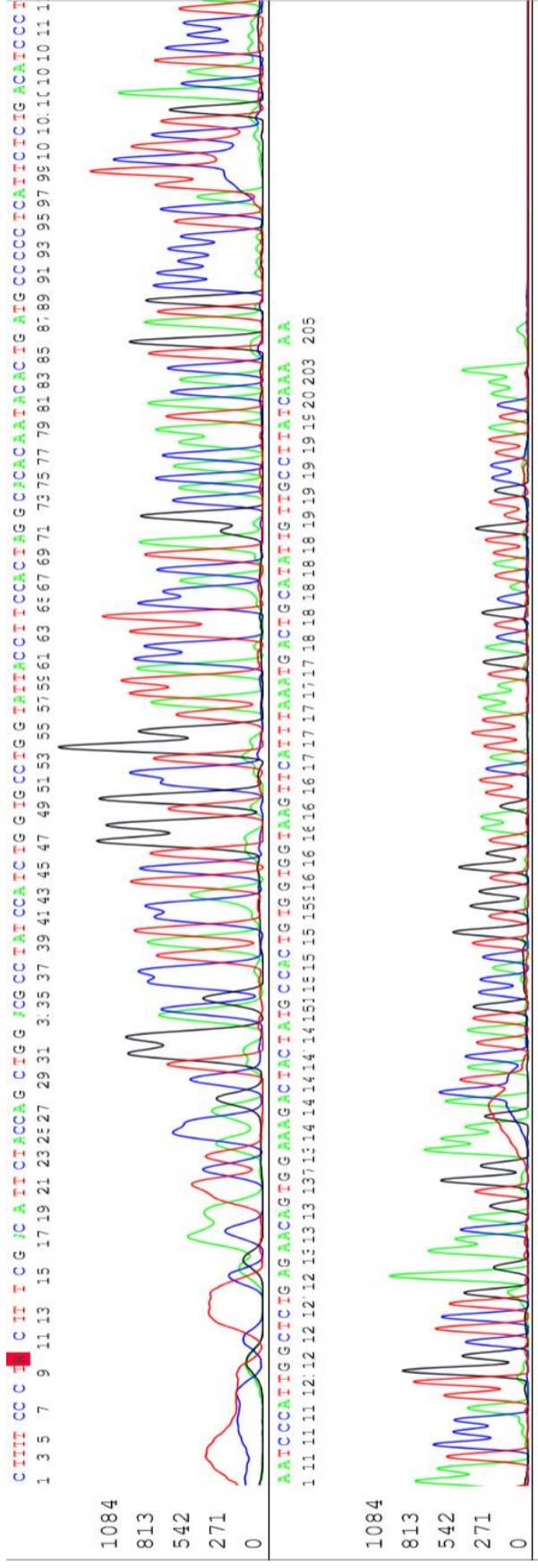
รูปภาพผนวกที่ 4 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีนไทป์ AA

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12



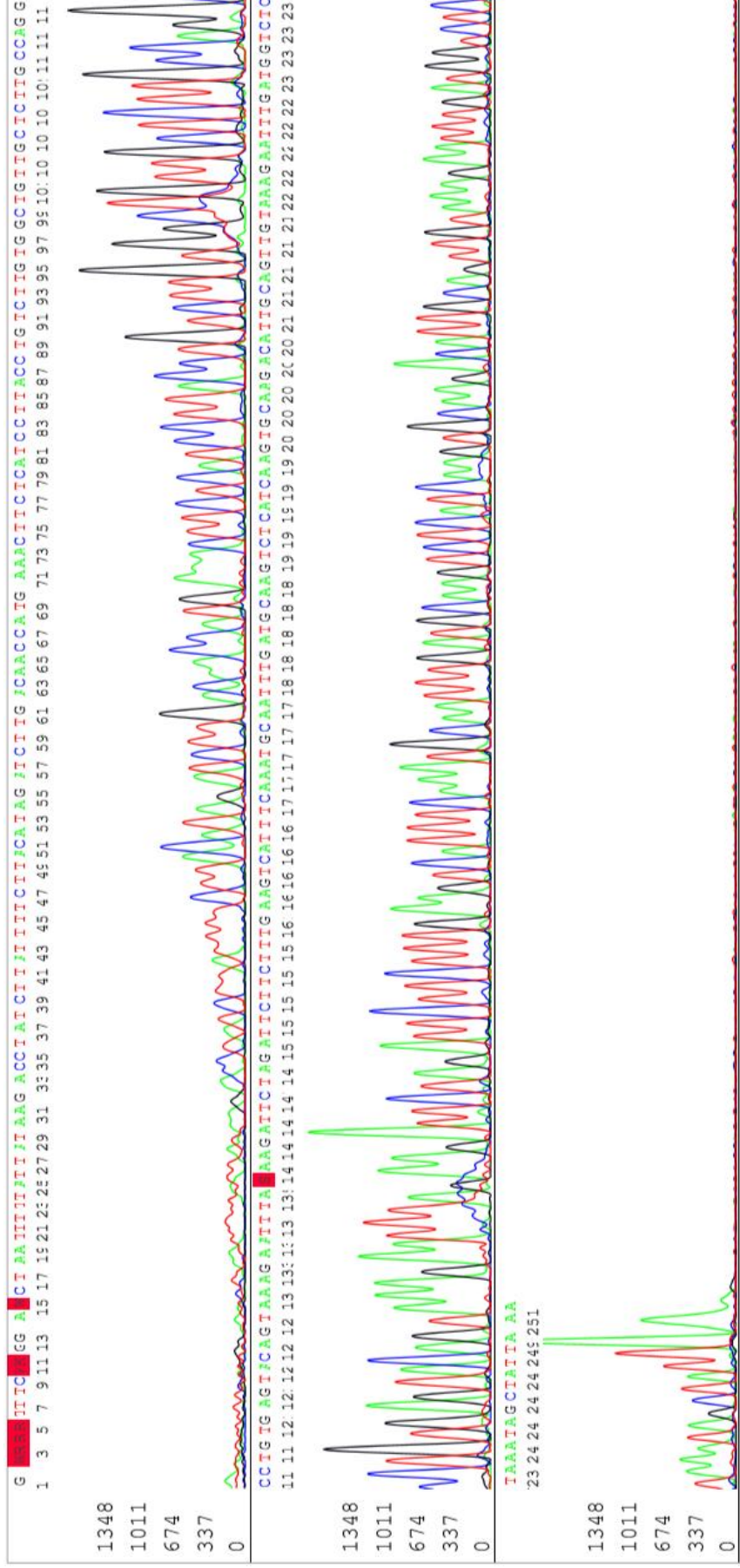
รูปภาพผนวกที่ 5 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีนไปทับ AA

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17



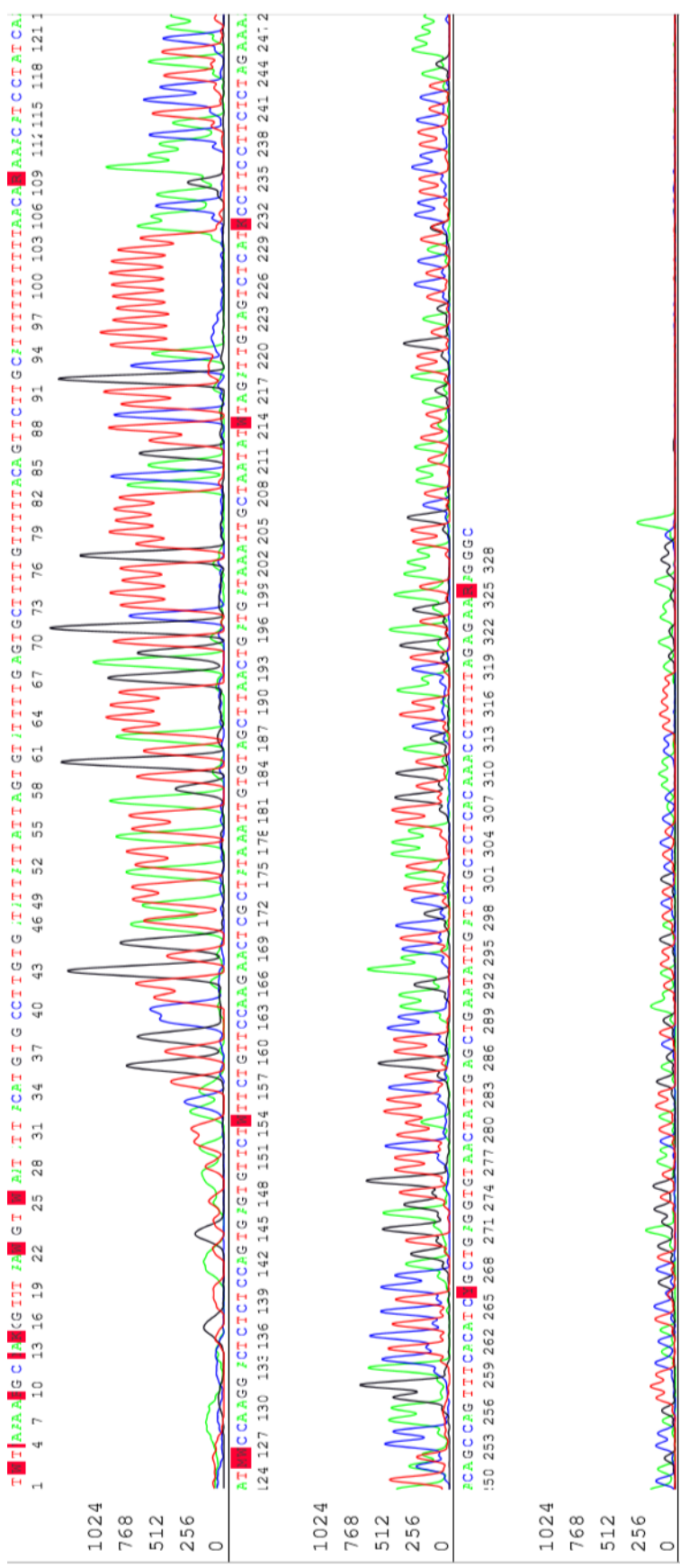
รูปภาพผนวกที่ 6 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีนไทป์ AA

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2



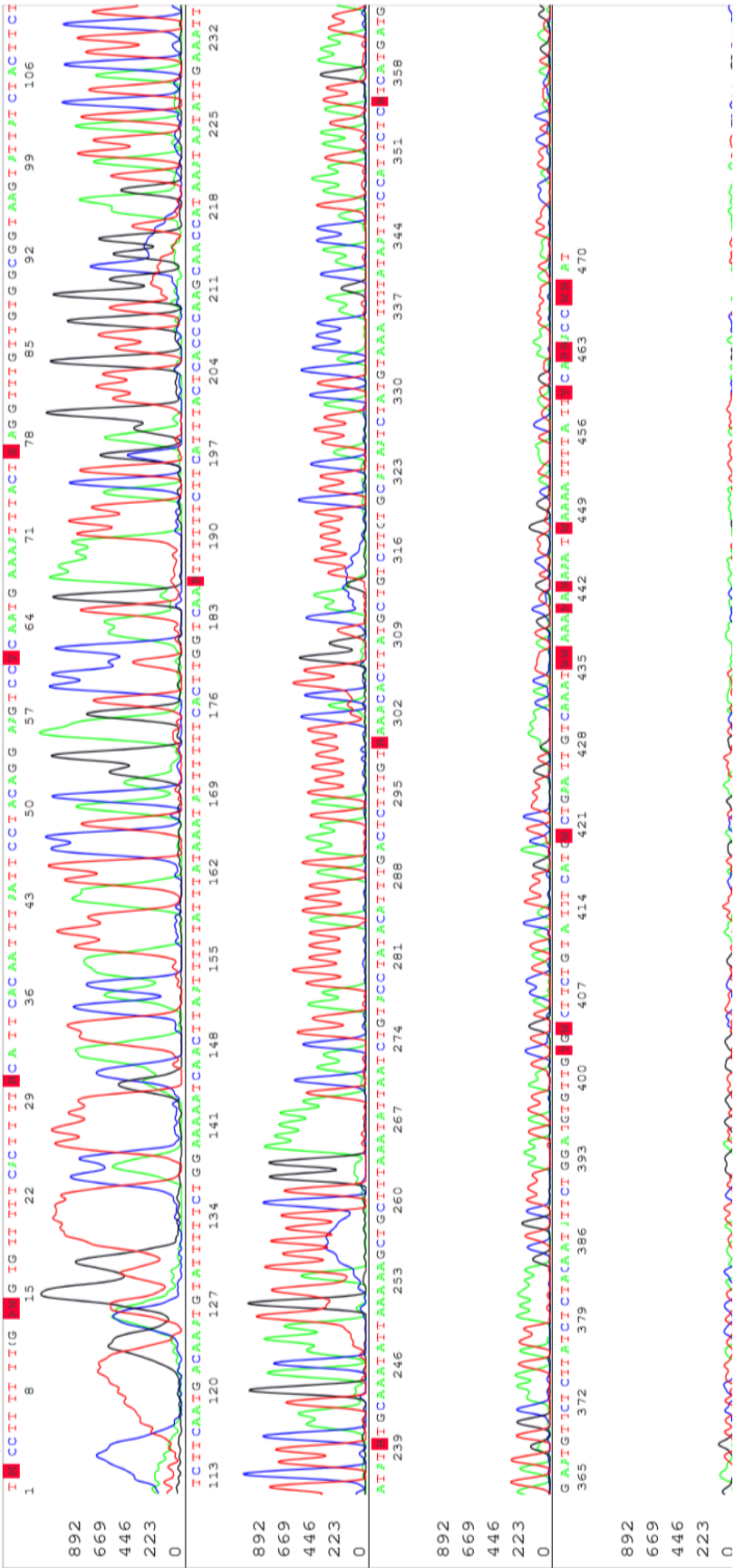
รูปภาพผนวกที่ 7 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2 จีนไทป์ AC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3



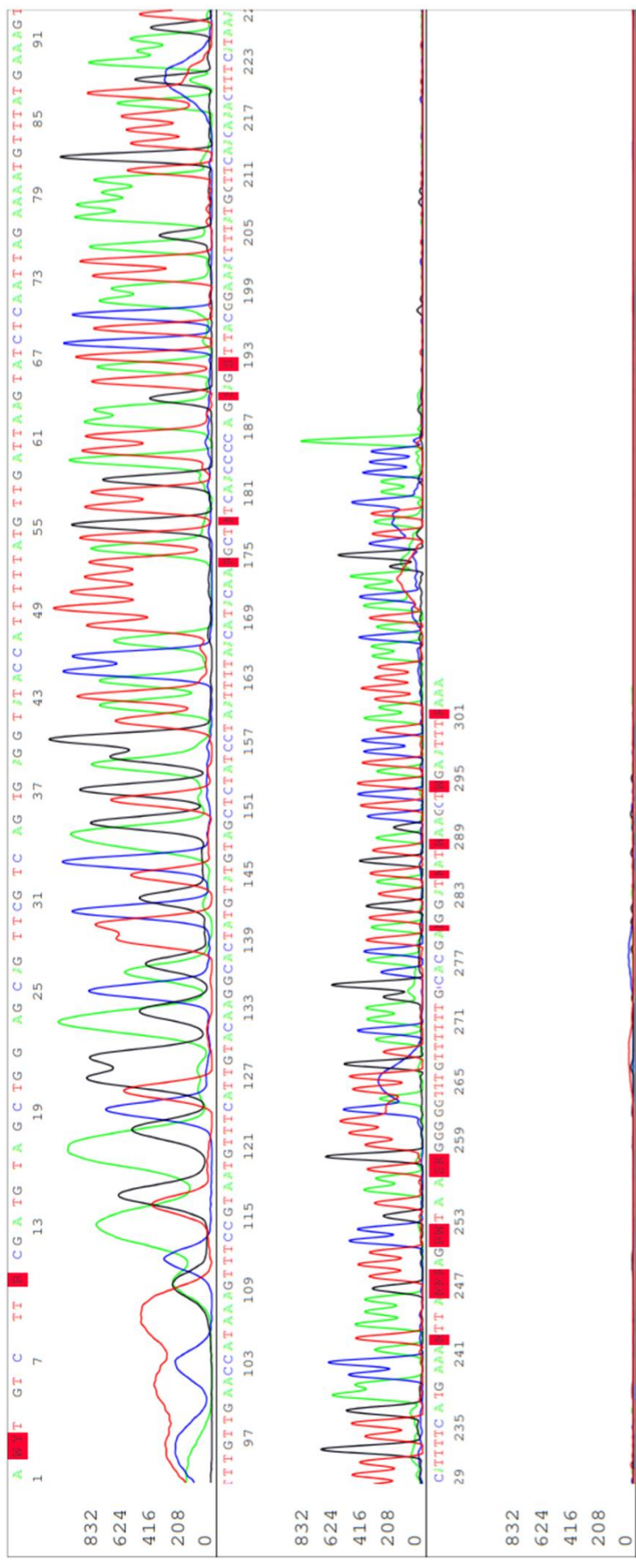
รูปภาพผนวกที่ 8 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3 จีโนมแท่ง AC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4



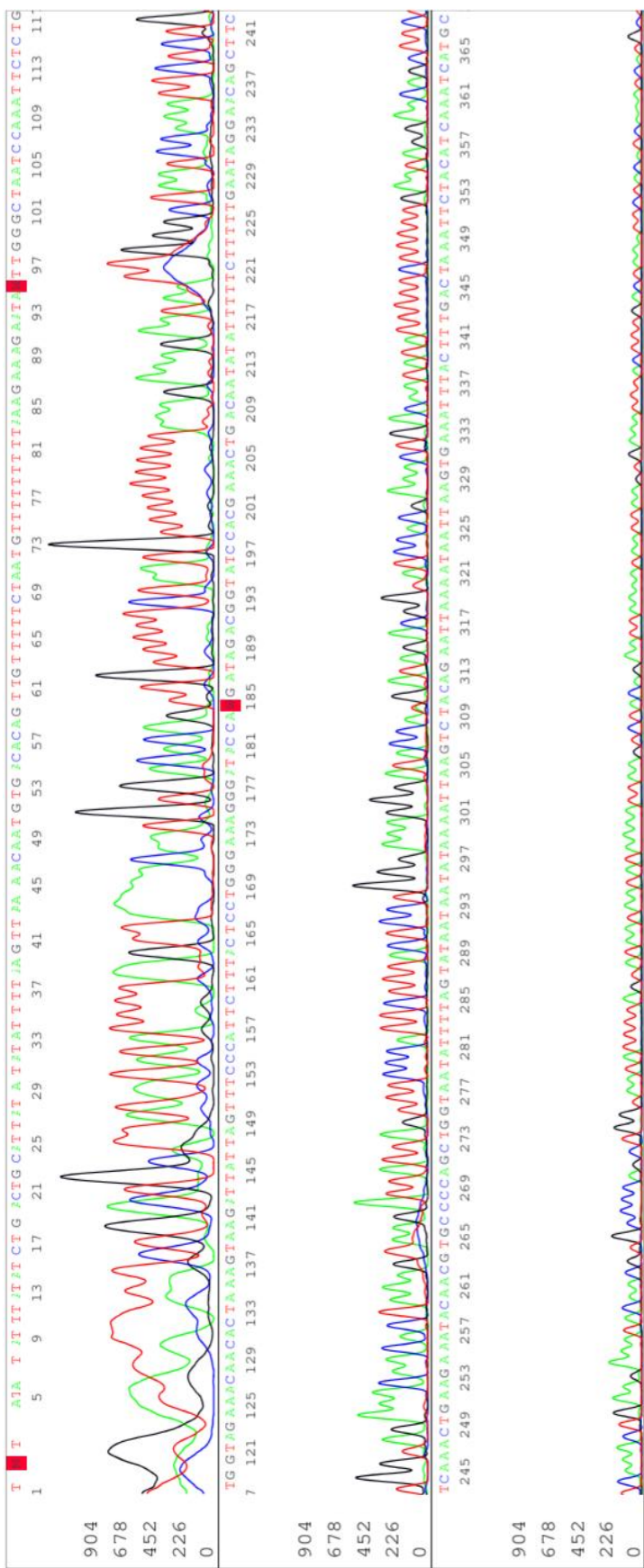
รูปภาพผนวกที่ 9 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีนไทป์ AC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9



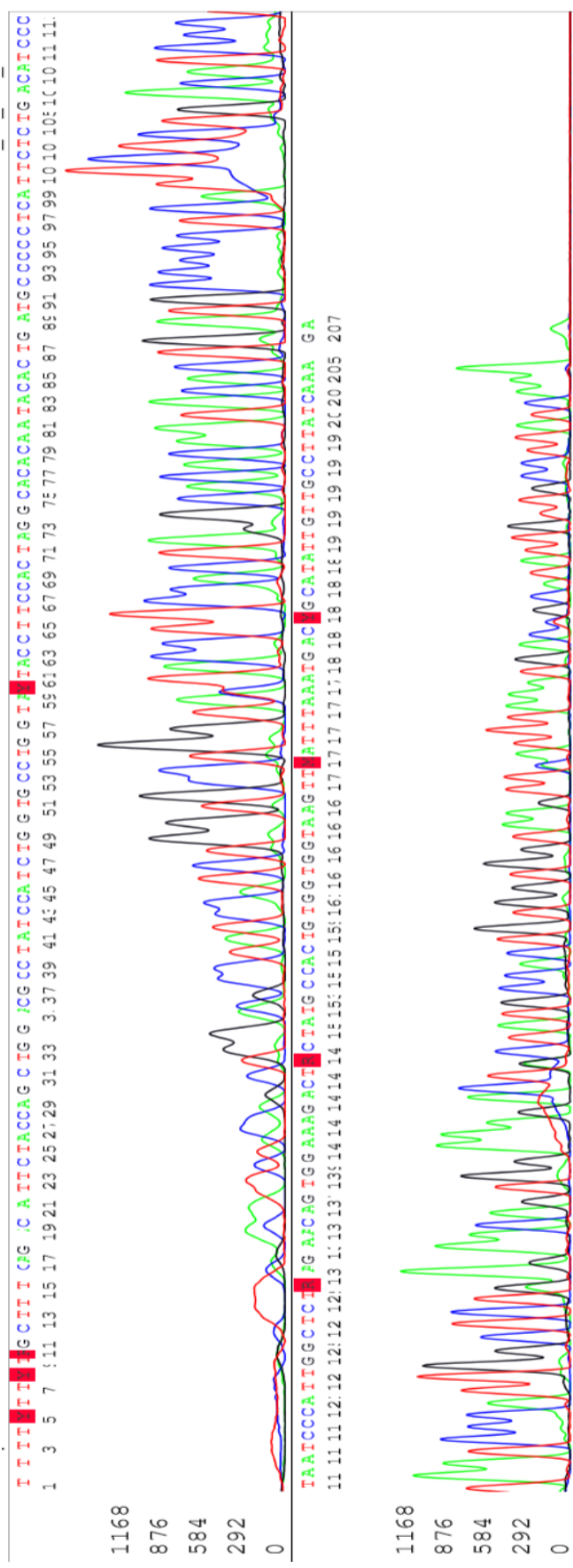
รูปภาพผนวกที่ 10 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีนไนท์พี AC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12



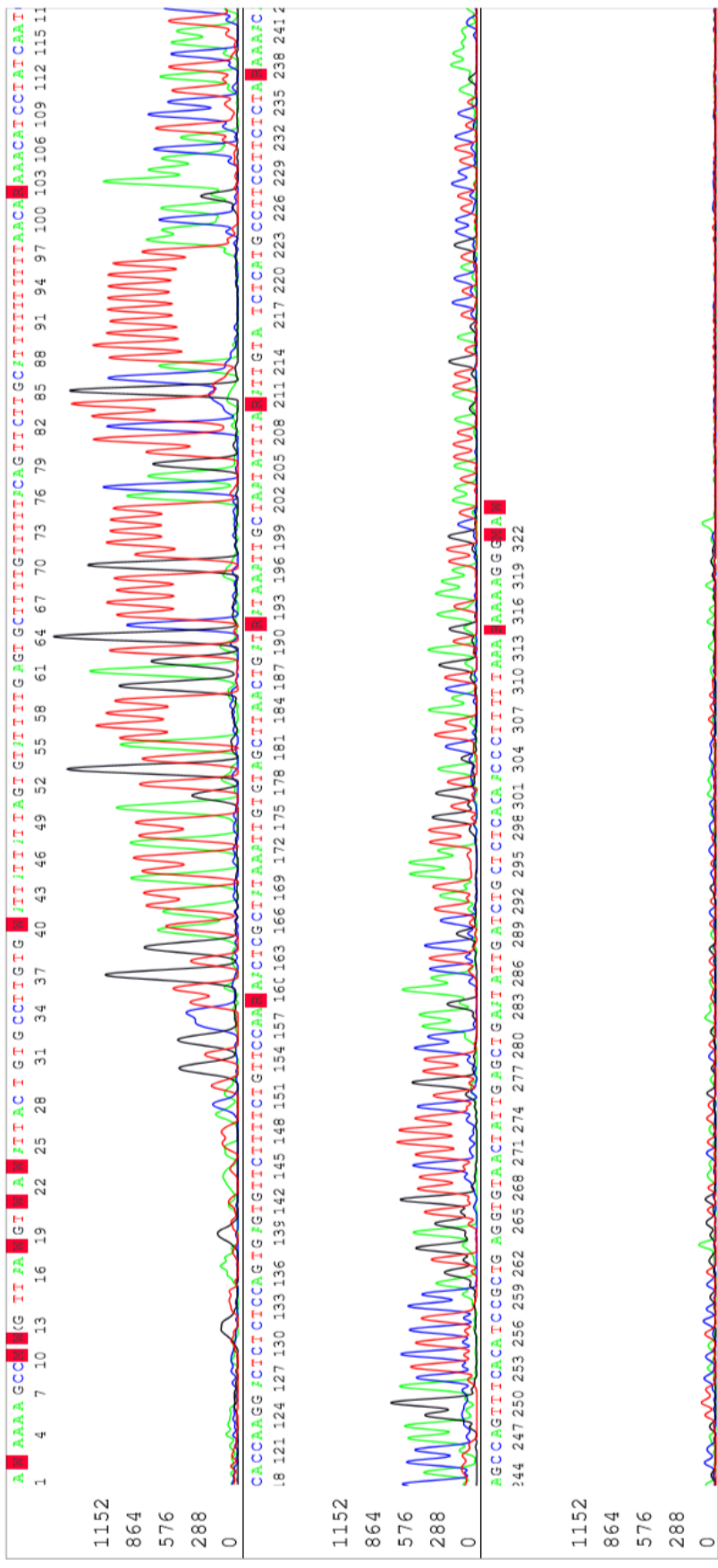
รูปภาพผนวกที่ 11 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีนไทป์ AC

DNA Sequencing ของจีโนมอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17



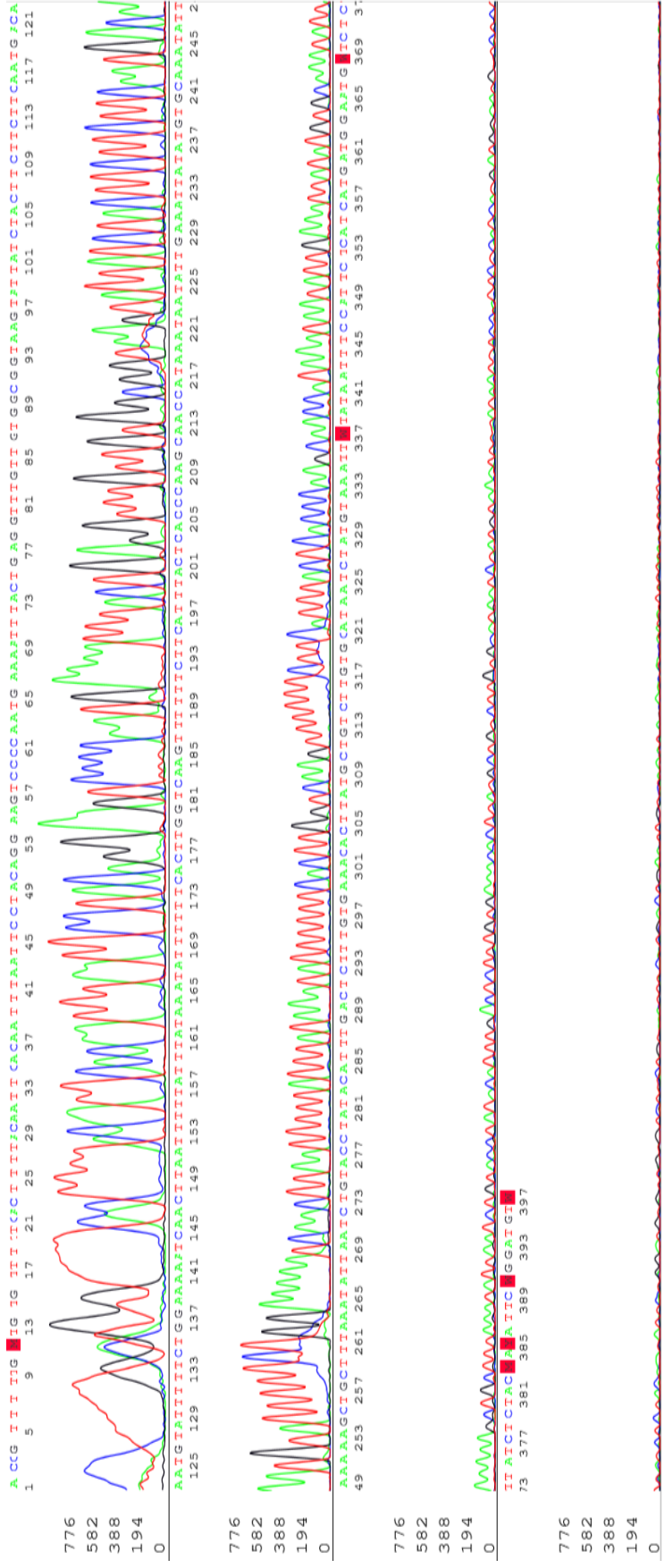
รูปภาพหมวดที่ 12 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีโนมอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีโนมไทป์ AC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3



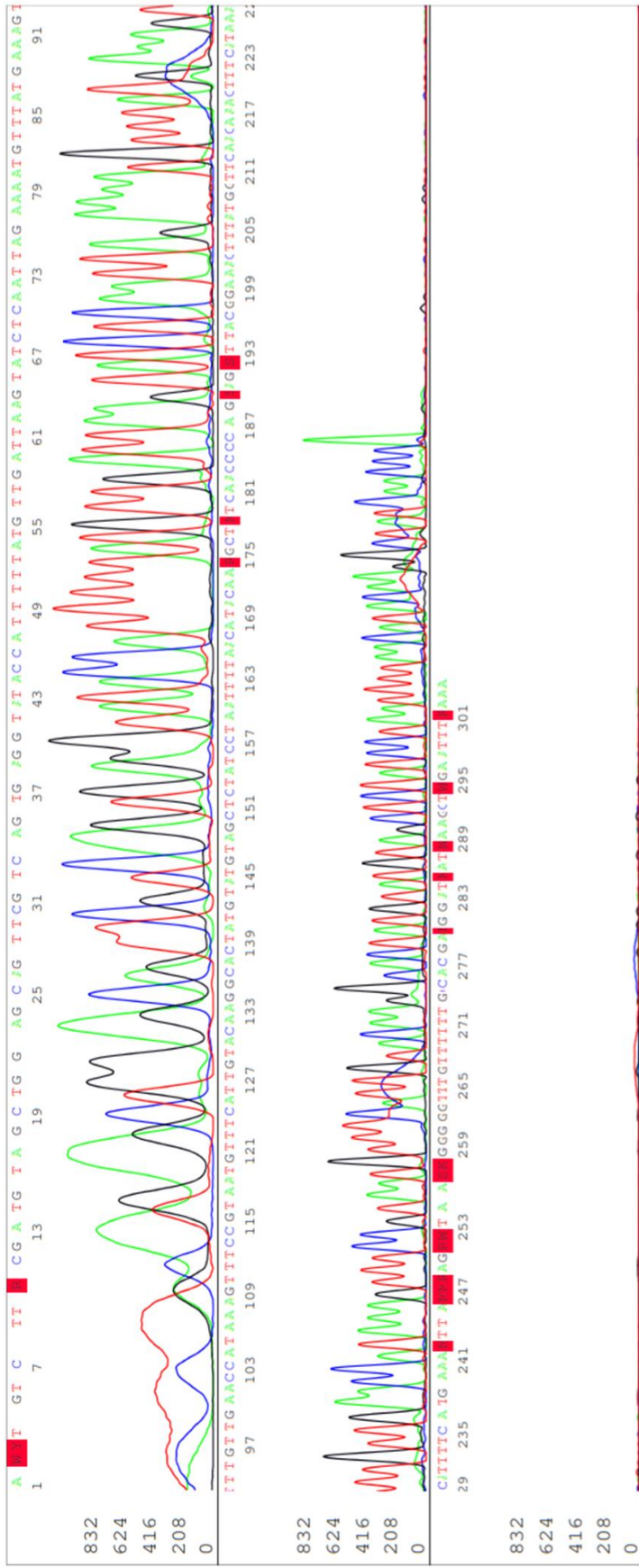
รูปภาพผนวกที่ 14 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 3 จีนไทป์ AE

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4



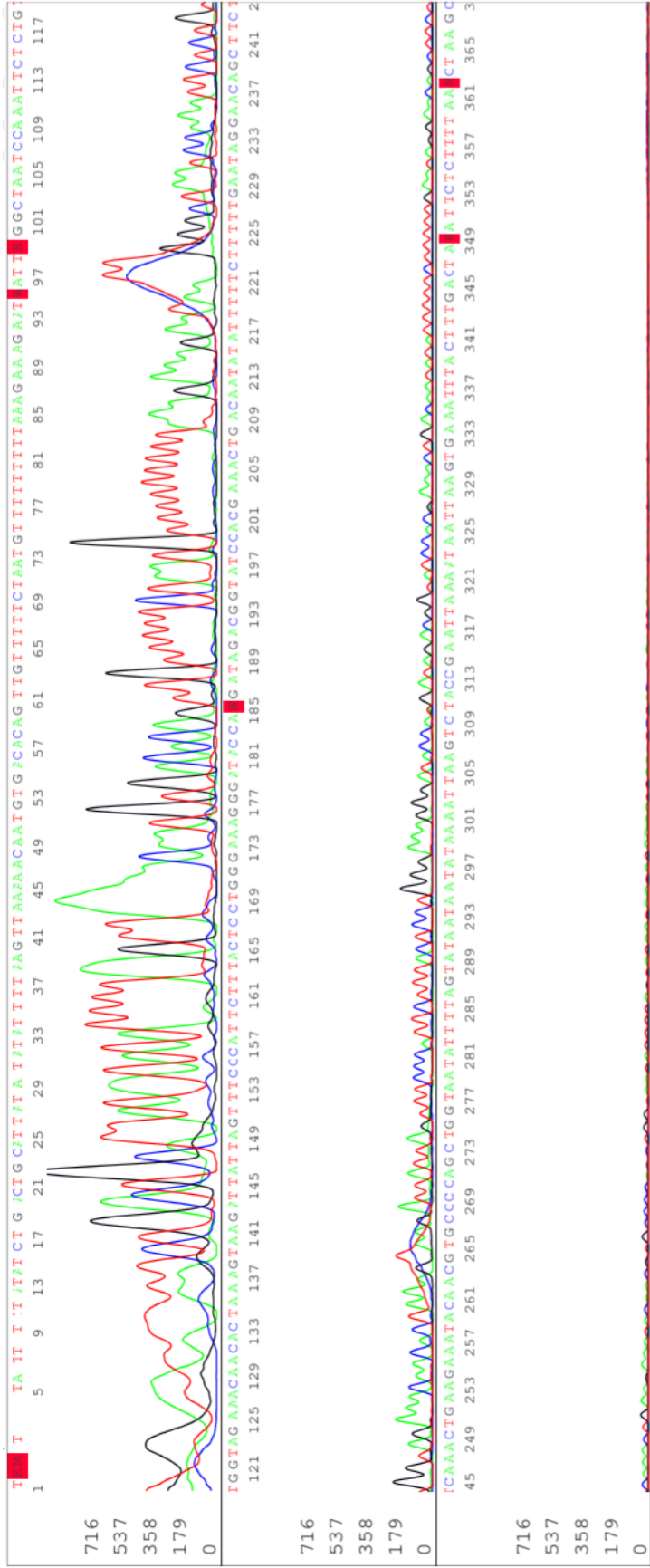
รูปภาพผนวกที่ 15 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีโนมแท็บ AE

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9



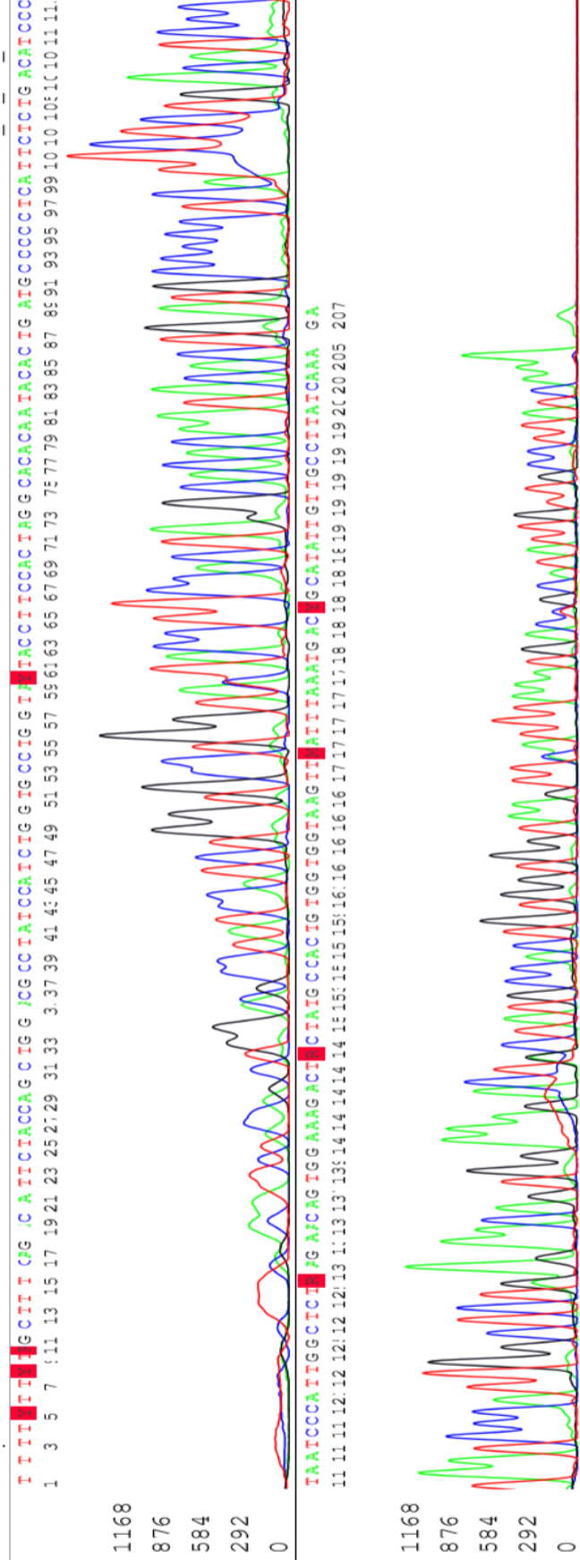
รูปภาพผนวกที่ 16 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีนในแท็บ AE

DNA Sequencing ของจีโนมอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12



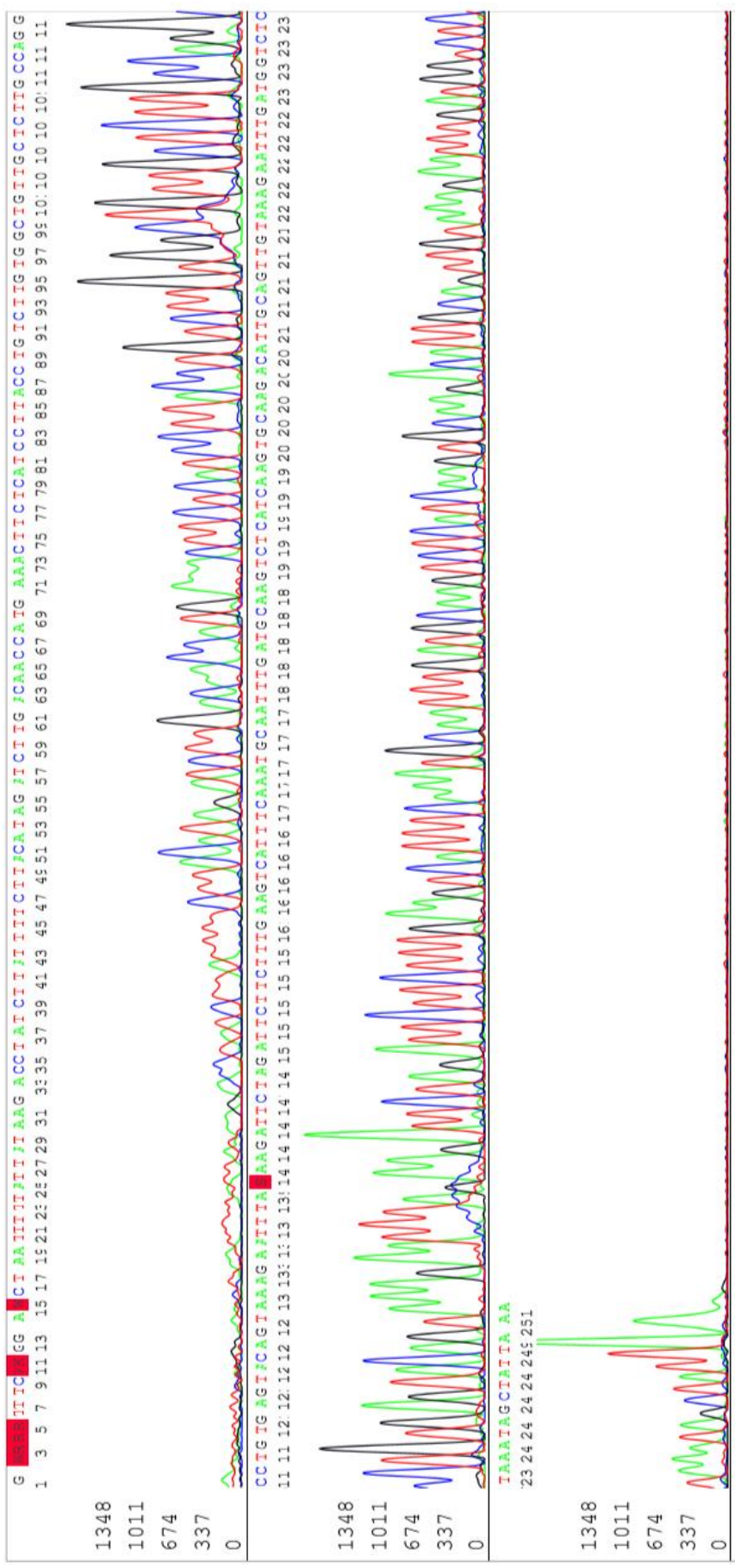
รูปภาคผนวกที่ 17 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีโนมอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีโนมแท้ AE

DNA Sequencing ของจิ้นอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17



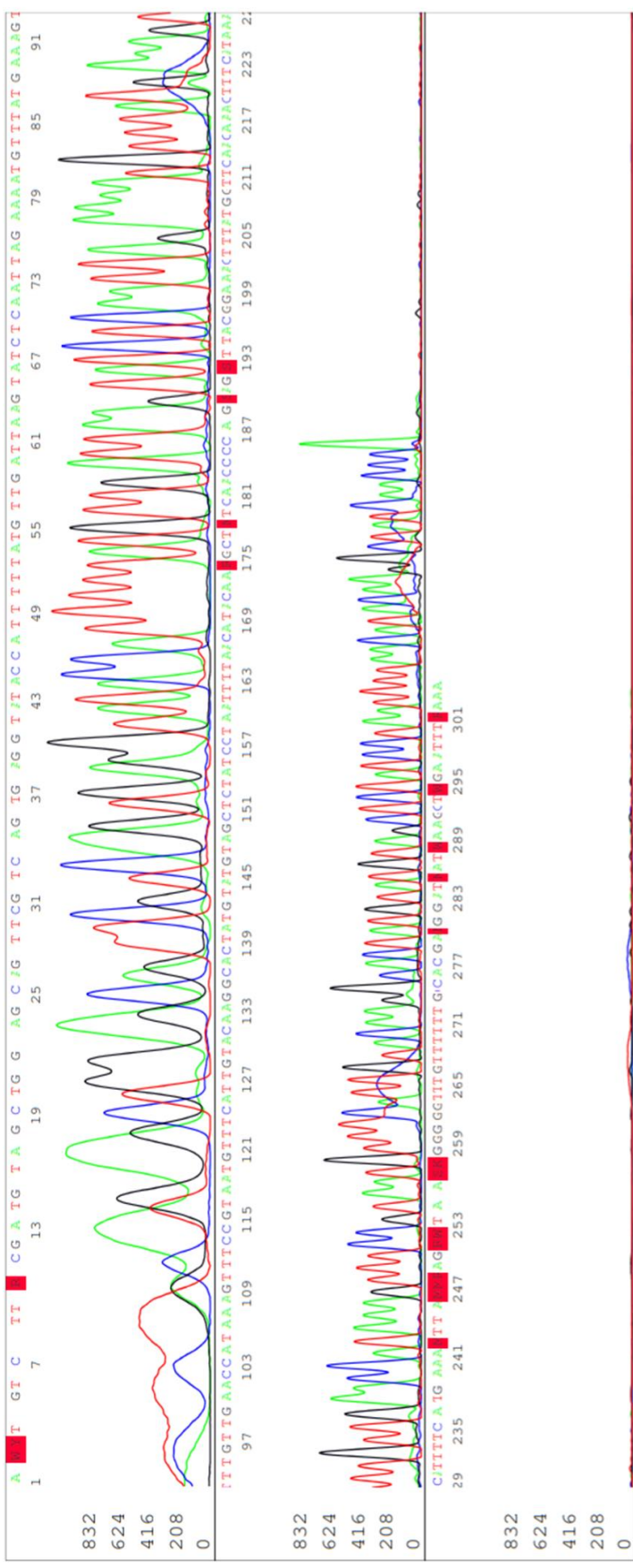
รูปภาพนวนกที่ 18 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจิ้นอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จิ้นเทพ AE

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2



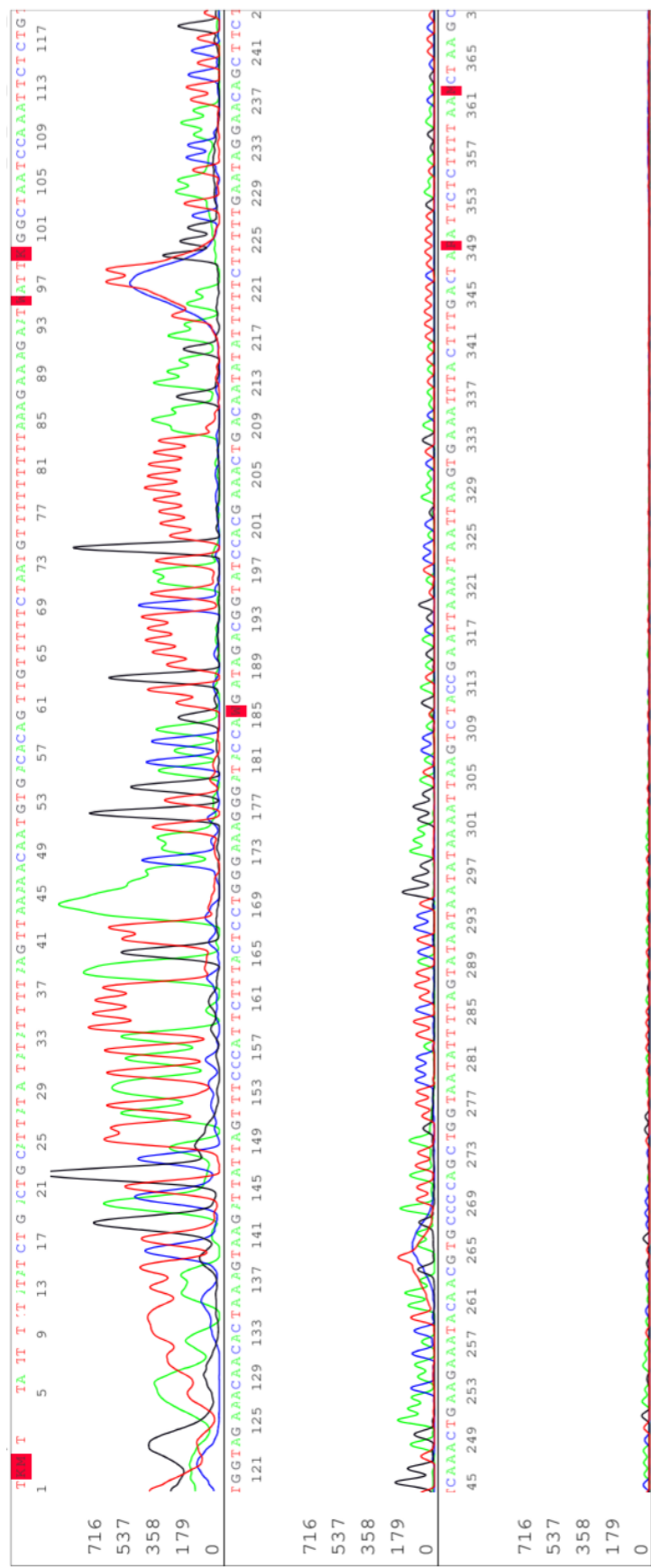
รูปภาพผนวกที่ 19 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 2 จีนไทย CC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9



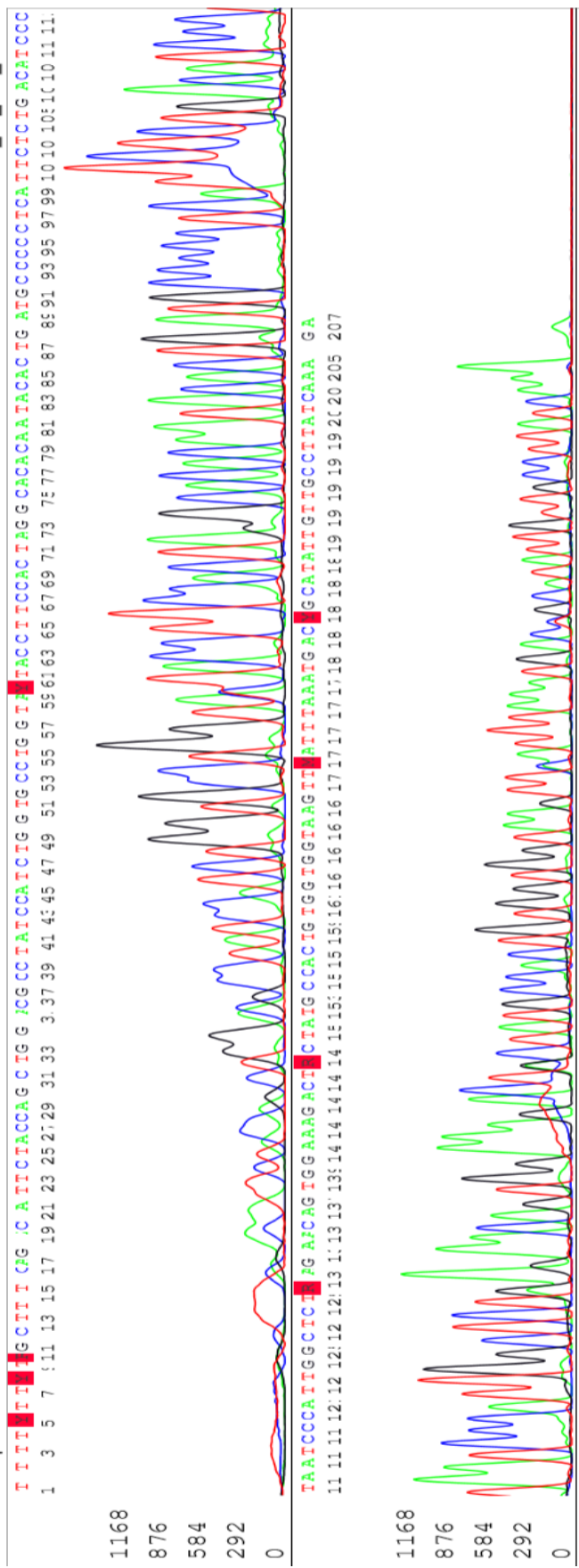
รูปภาพผนวกที่ 22 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีนในแทป์ CC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12



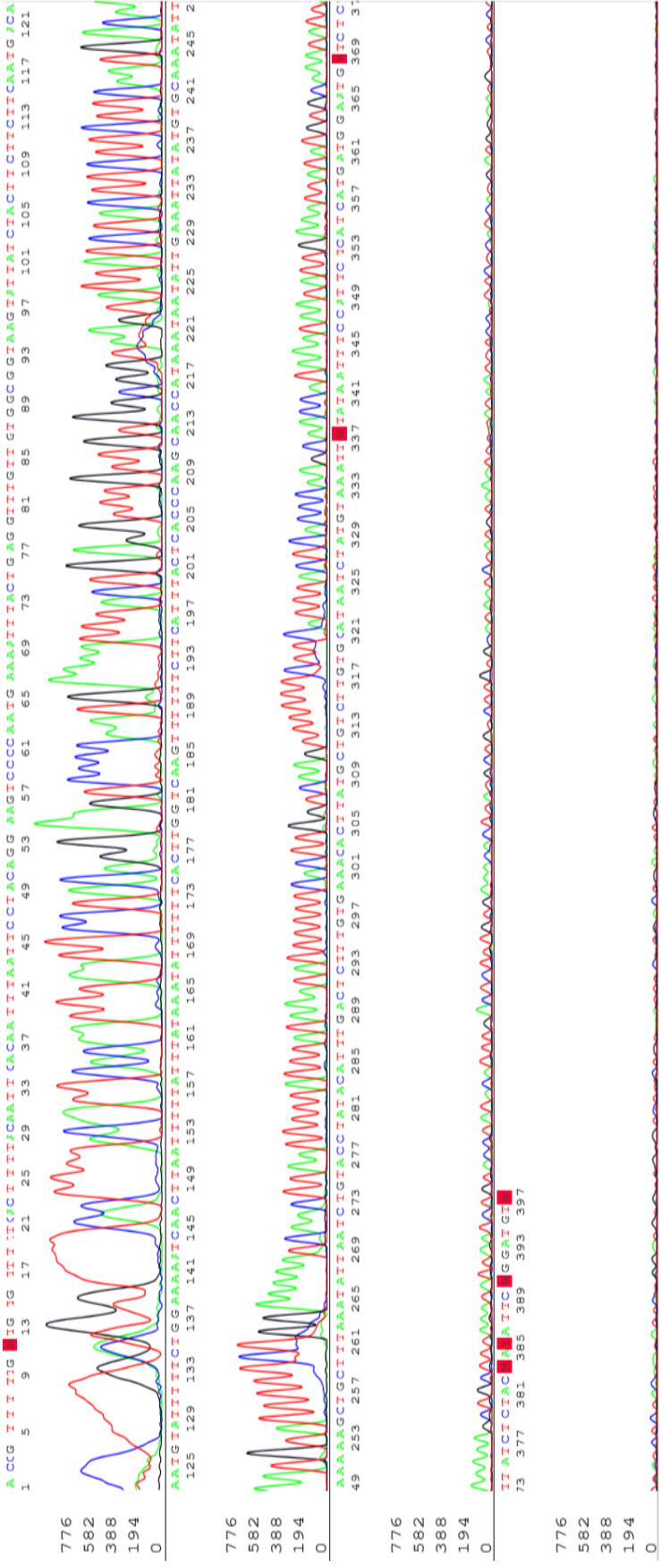
รูปภาพผนวกที่ 23 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีนใหญ่ CC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17



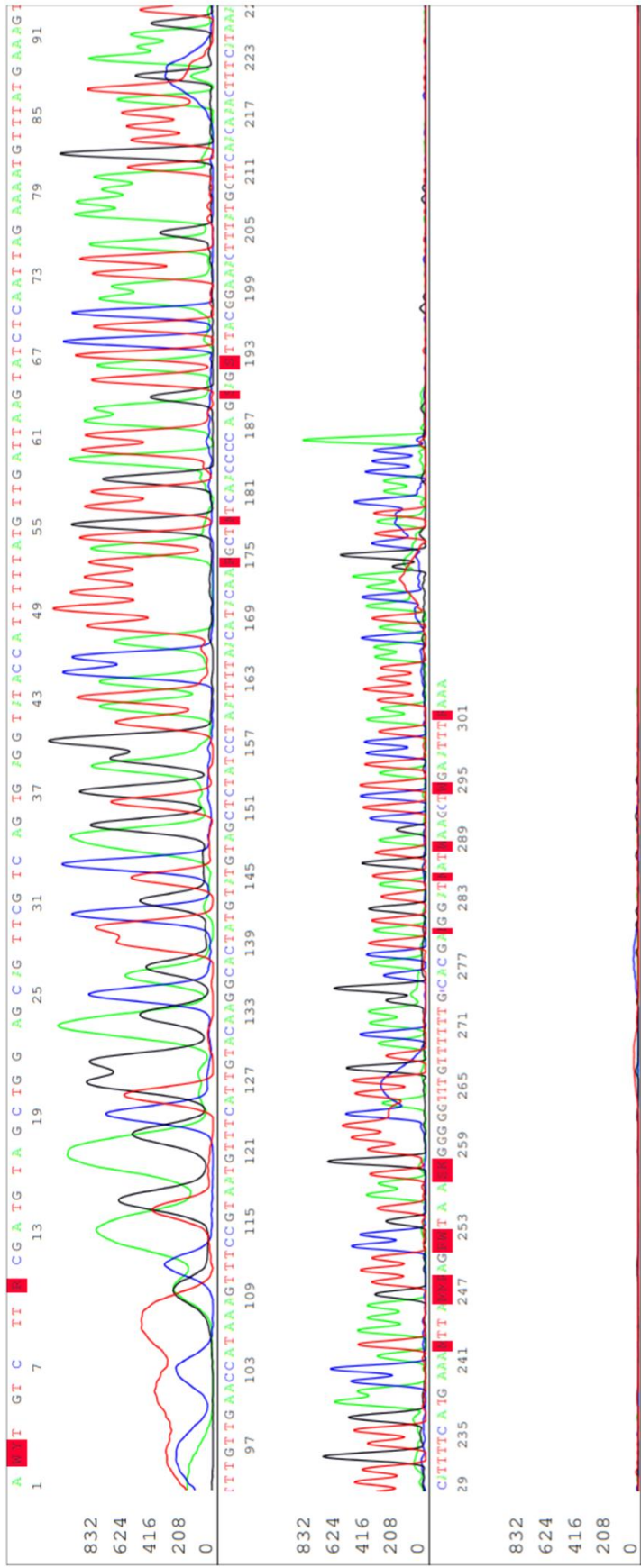
รูปภาพหมวดที่ 24 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีนไทป์ CC

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4



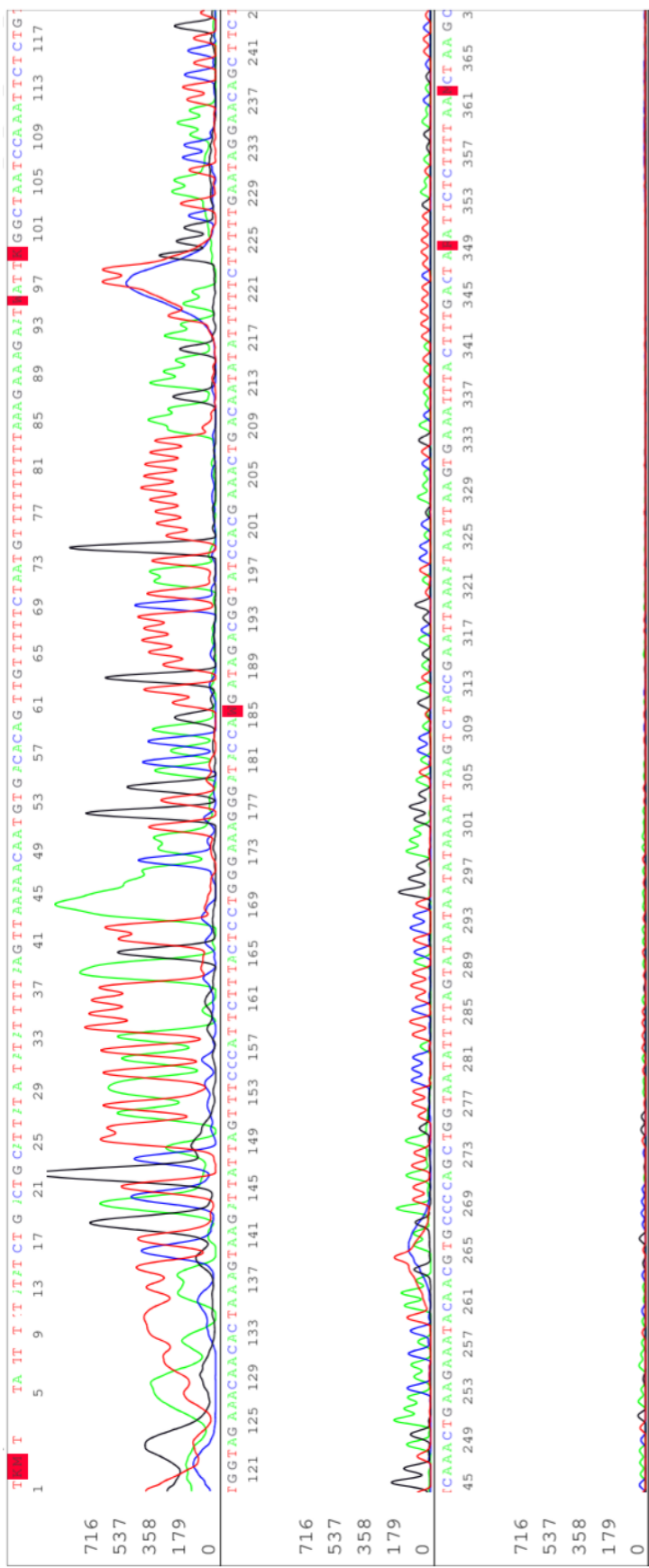
รูปภาพผนวกที่ 27 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 4 จีโนมแทป EE

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9



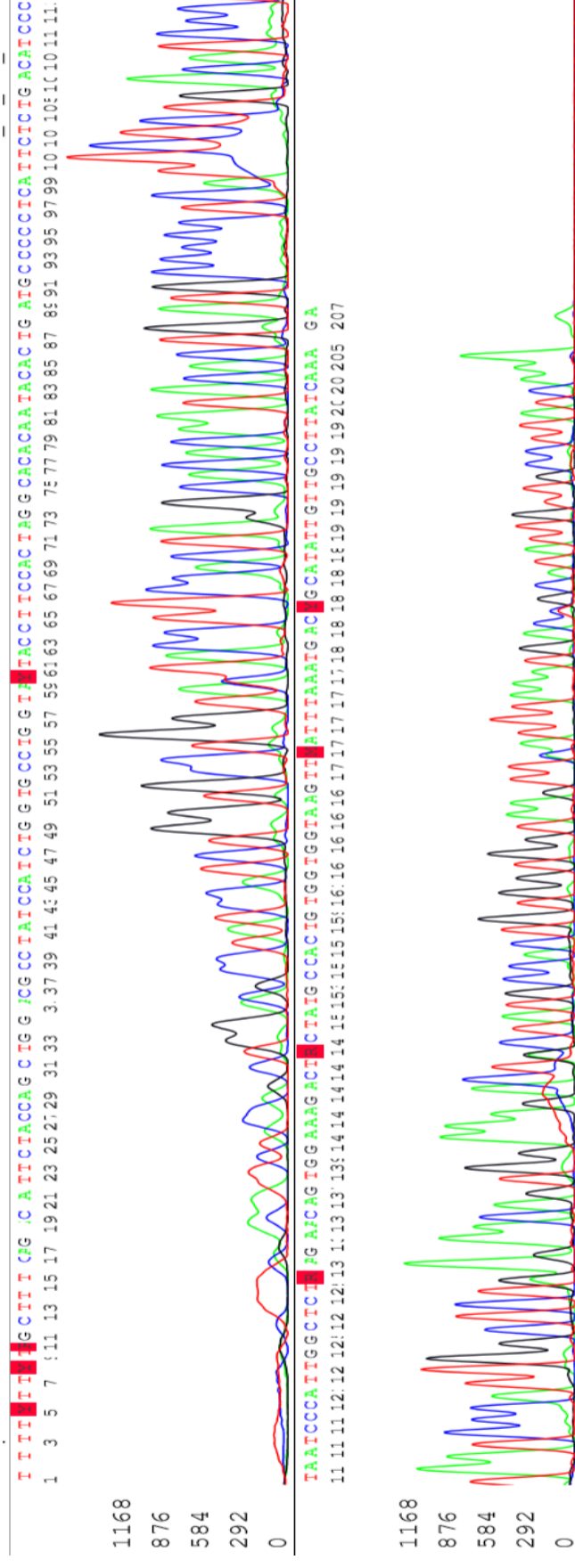
รูปภาพผนวกที่ 28 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 9 จีโนมเทย์ EE

DNA Sequencing ของจีโนมอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12



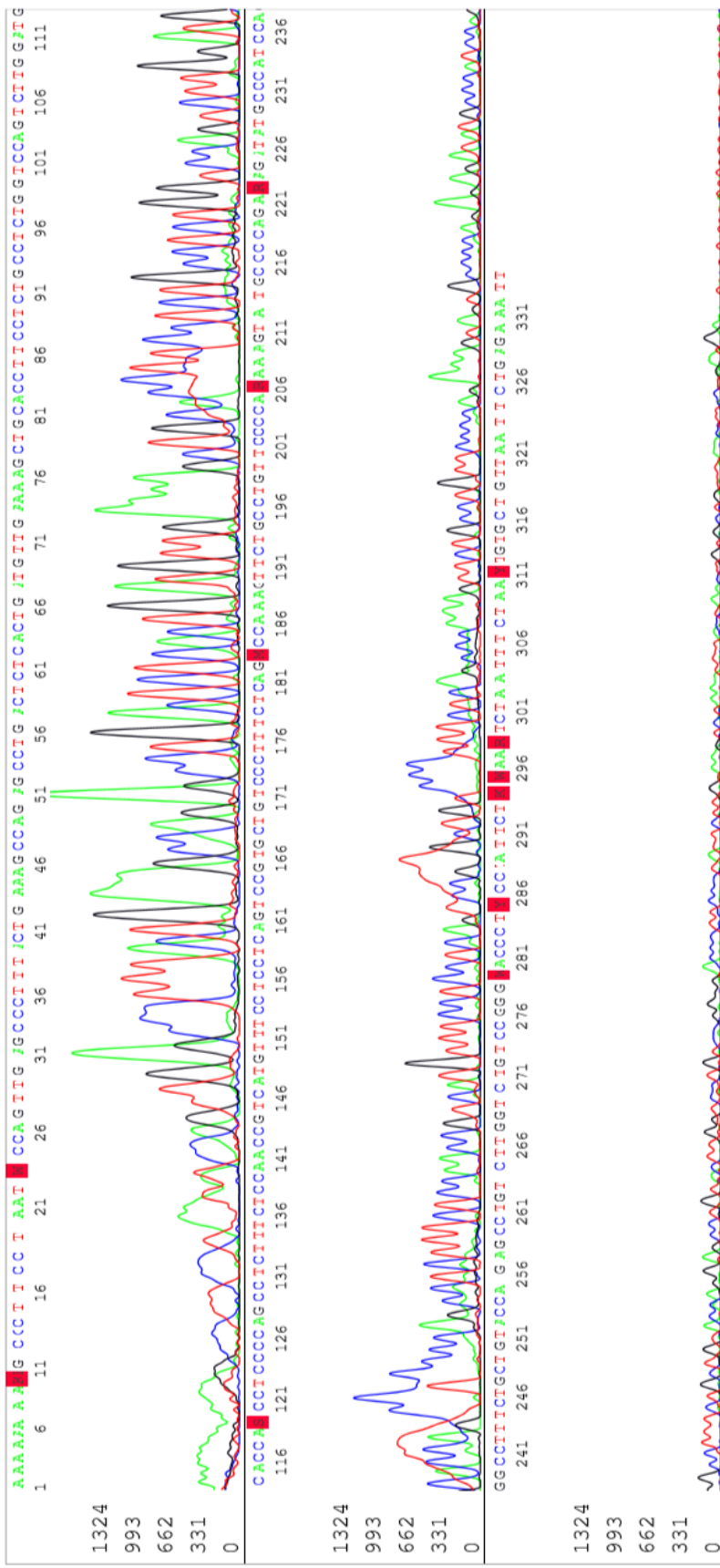
รูปภาพผนวกที่ 29 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีโนมอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 12 จีโนมแทป EE

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17



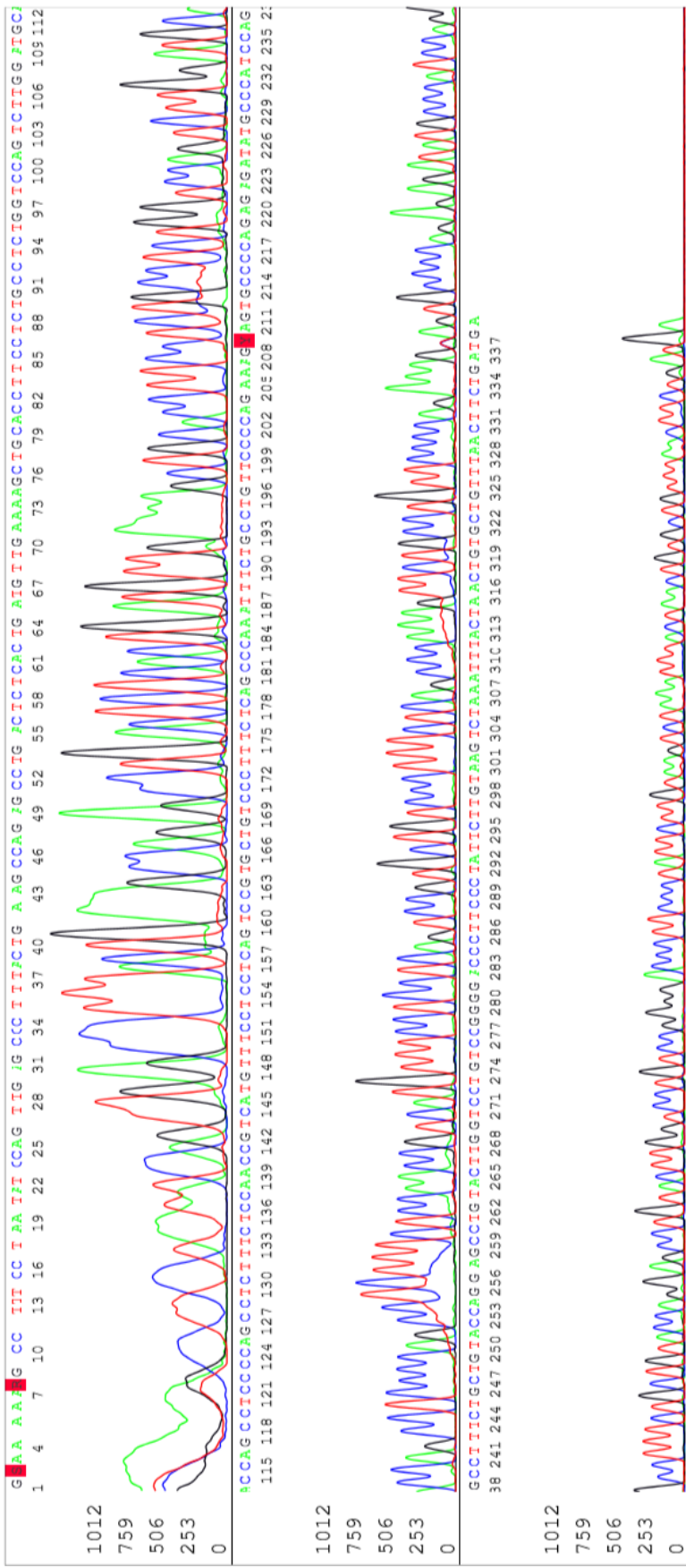
รูปภาพหมวดที่ 30 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 1 เคซีน บน Exon 17 จีนใหญ่ EE

DNA Sequencing ของจีนแบบตัดาเคซิน บน Exon 7



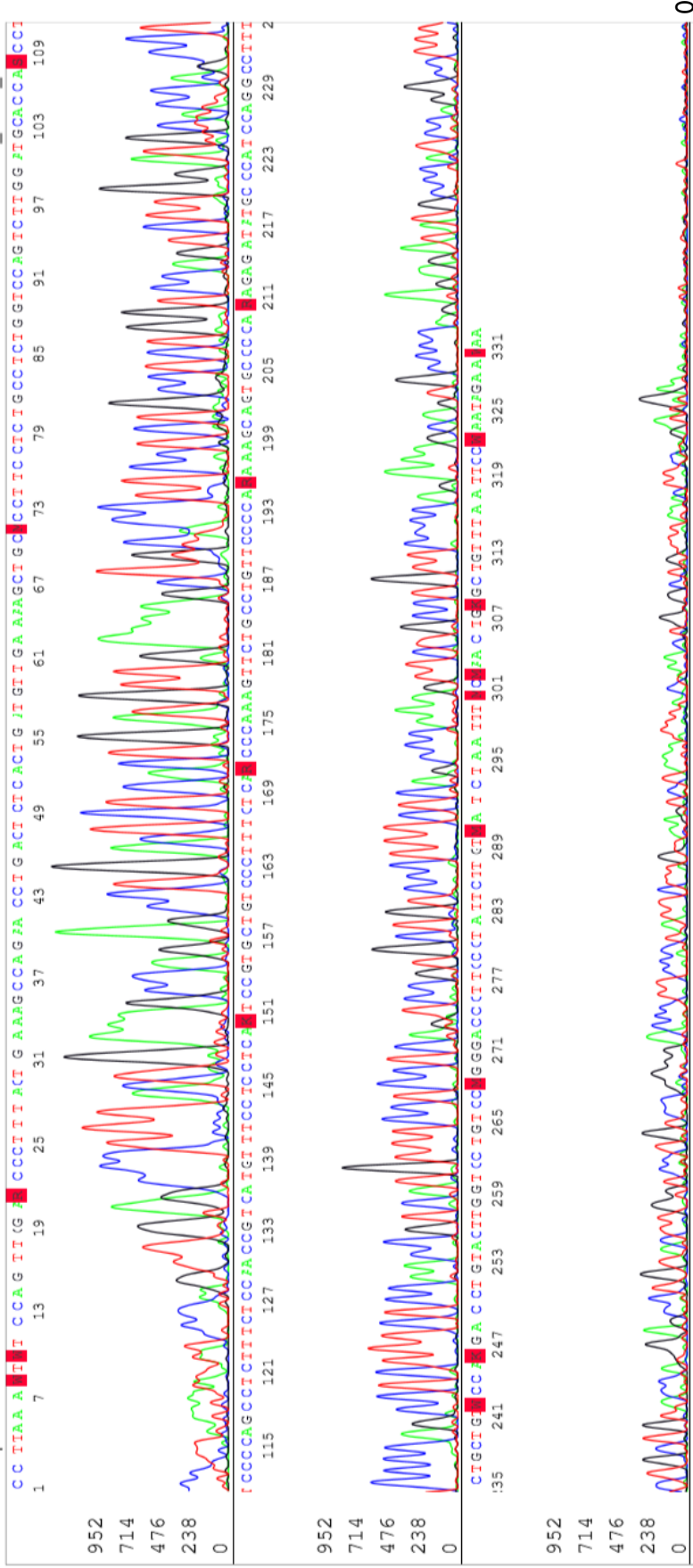
รูปภาพผนวกที่ 31 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแบบตัดาเคซิน บน Exon 7 จีโนไทป์ AA

DNA Sequencing ของจีนเบต้าเคซิน บน Exon 7



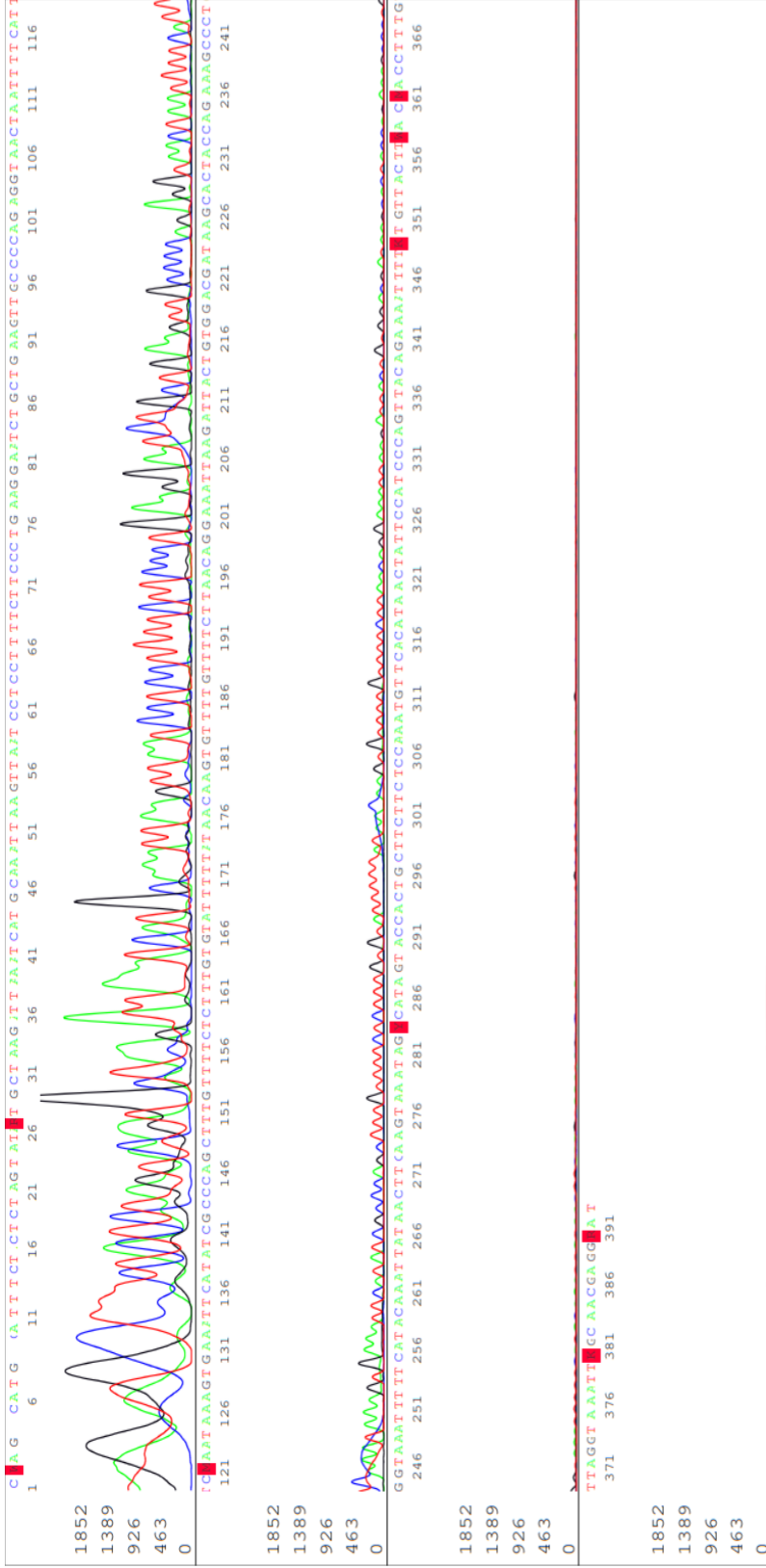
รูปภาพผนวกที่ 32 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนเบต้าเคซิน บน Exon 7 จีนไทป์ AF

DNA Sequencing ของจีนเบต้าเคซิน บน Exon 7



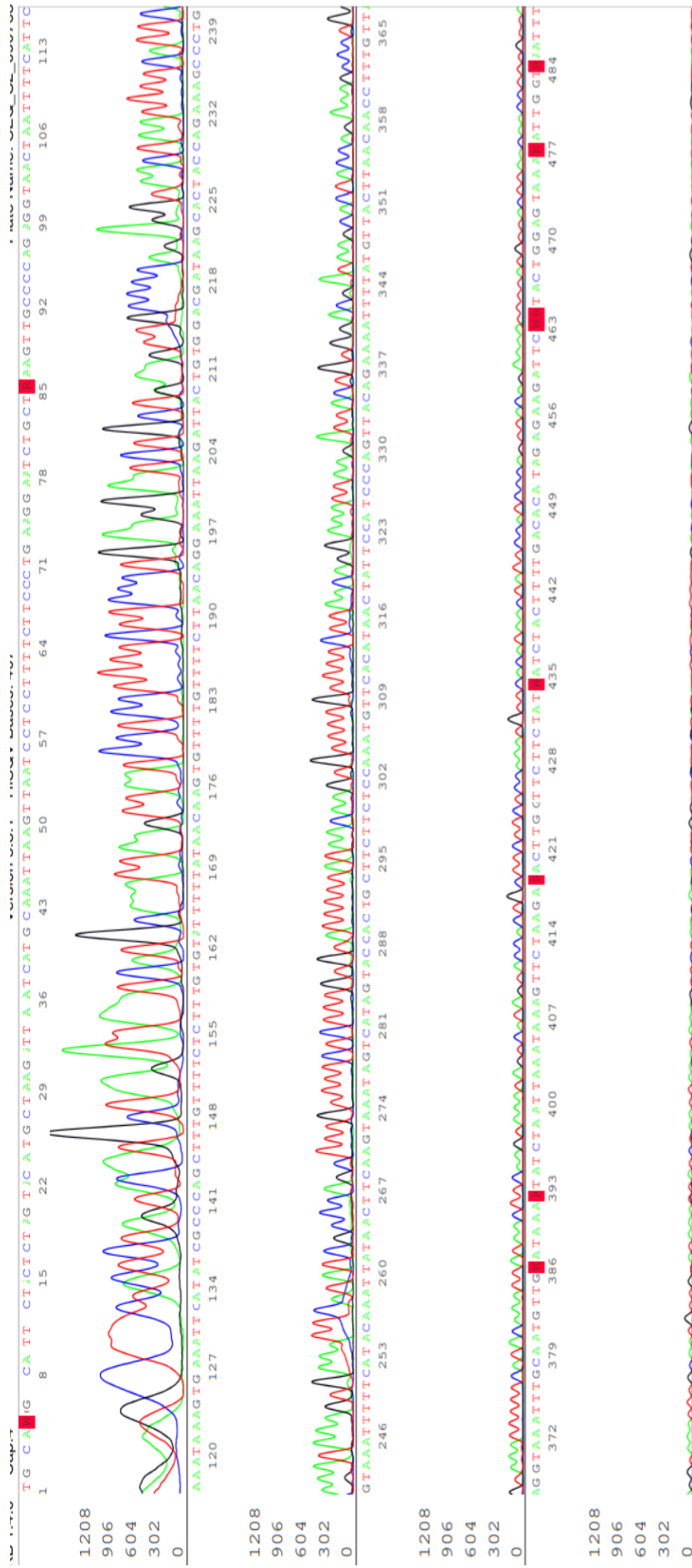
รูปภาพผนวกที่ 33 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนเบต้าเคซิน บน Exon 7 จีนไทป์ FF

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9



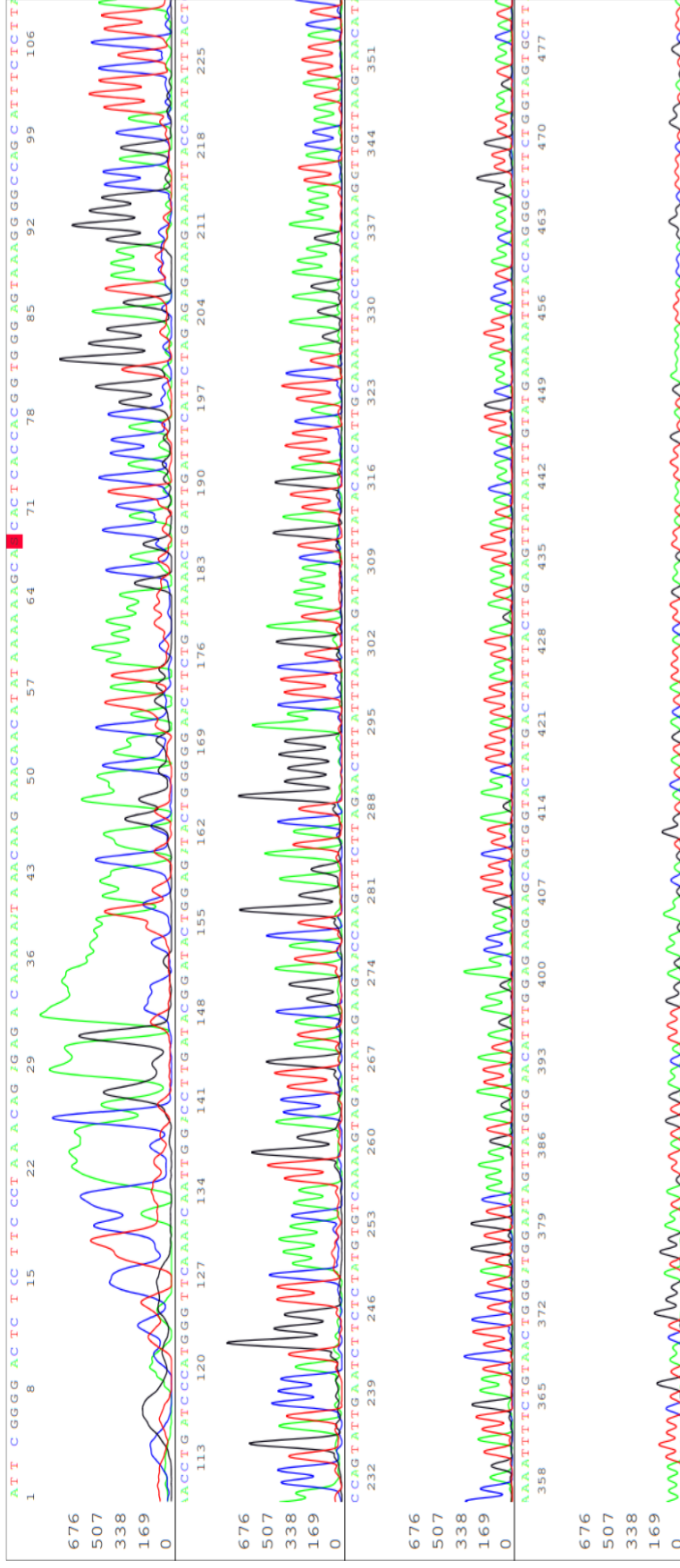
รูปภาพหมวดที่ 34 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีนไทป์ AA

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9



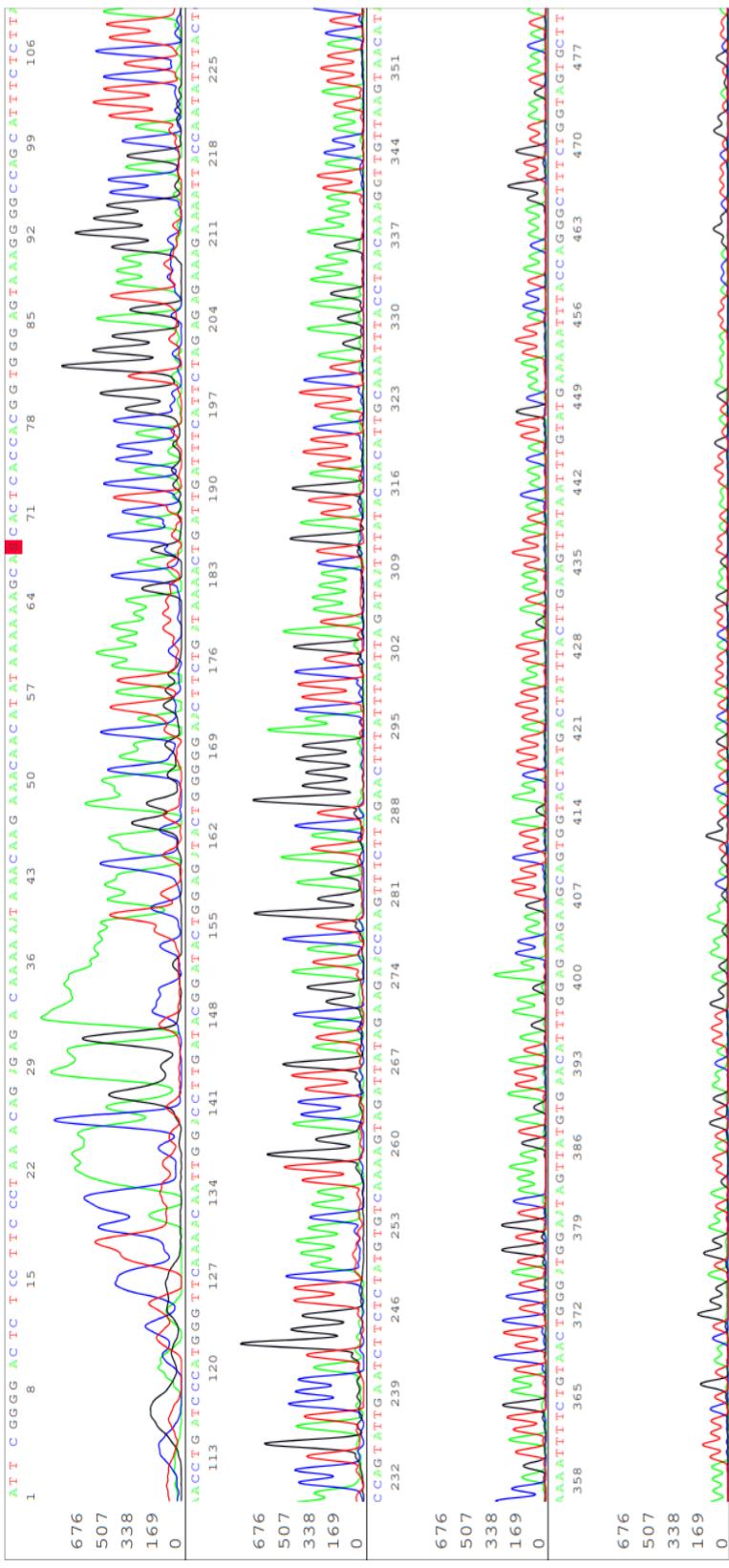
รูปภาพผนวกที่ 35 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีโนมไทป์ AB

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 11



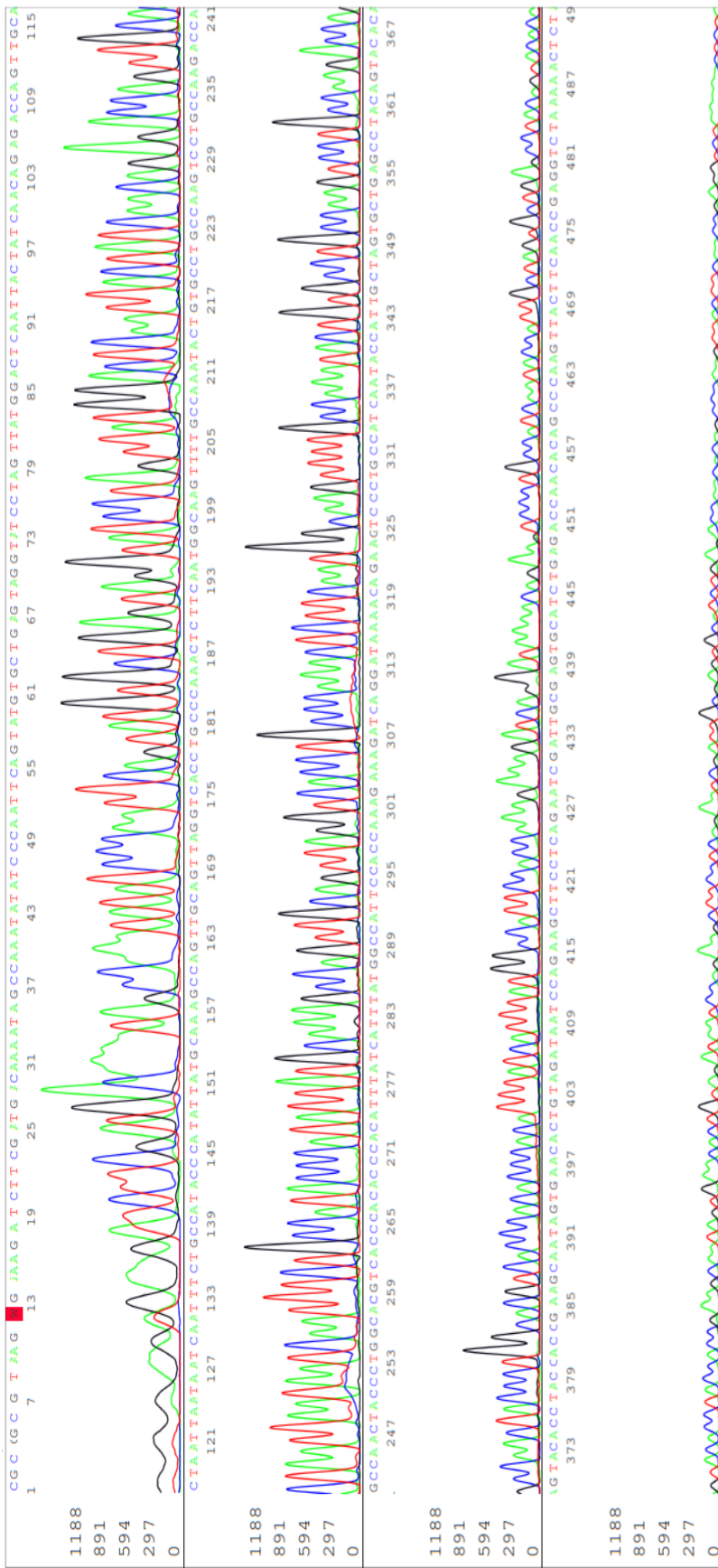
รูปภาพผนวกที่ 36 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีโนมไทป์ AA

DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 11



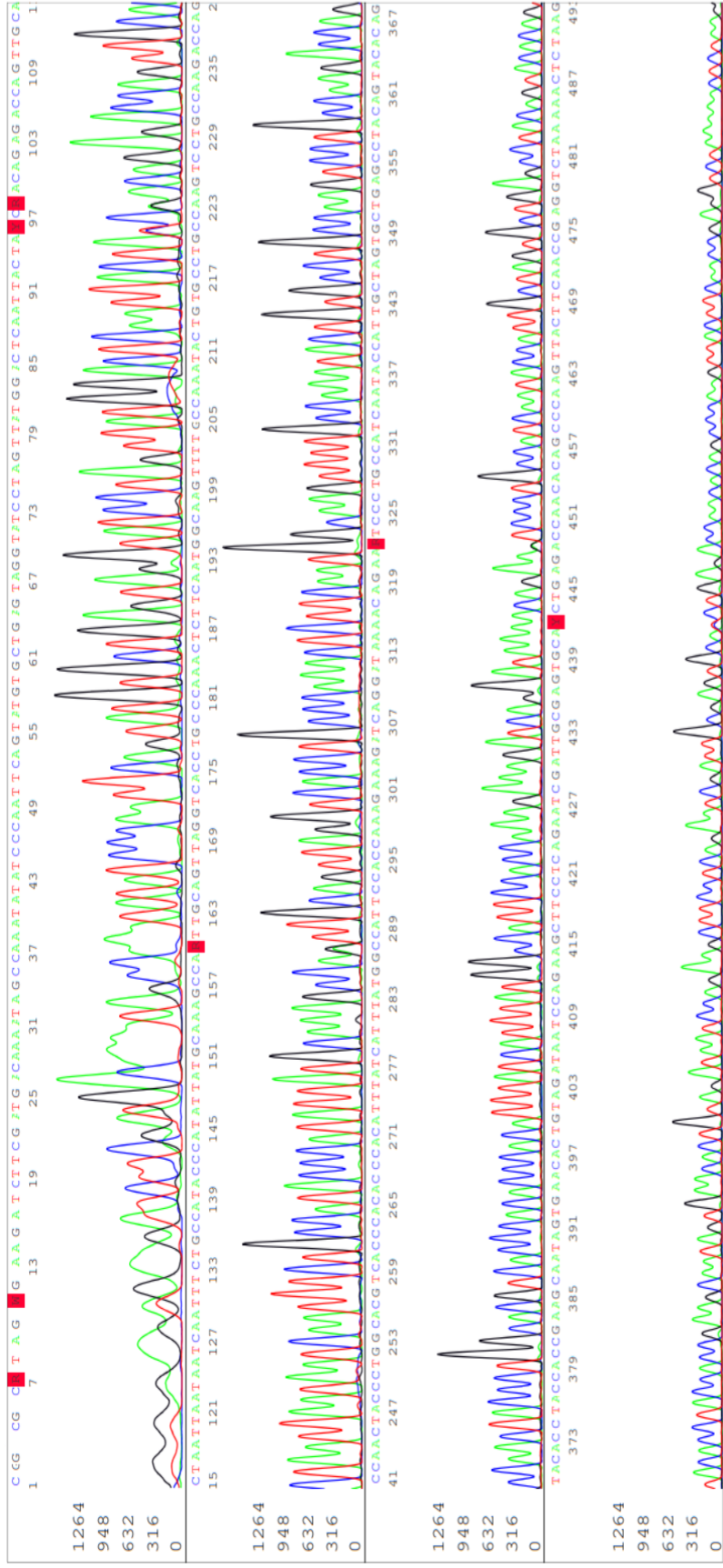
รูปภาพผนวกที่ 37 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนอัลฟาเอส 2 เคซีน บน Exon 9 และ 11 จีโนมไทป์ AB

DNA Sequencing ของจีนแคปทาเคซิน บน Exon 4



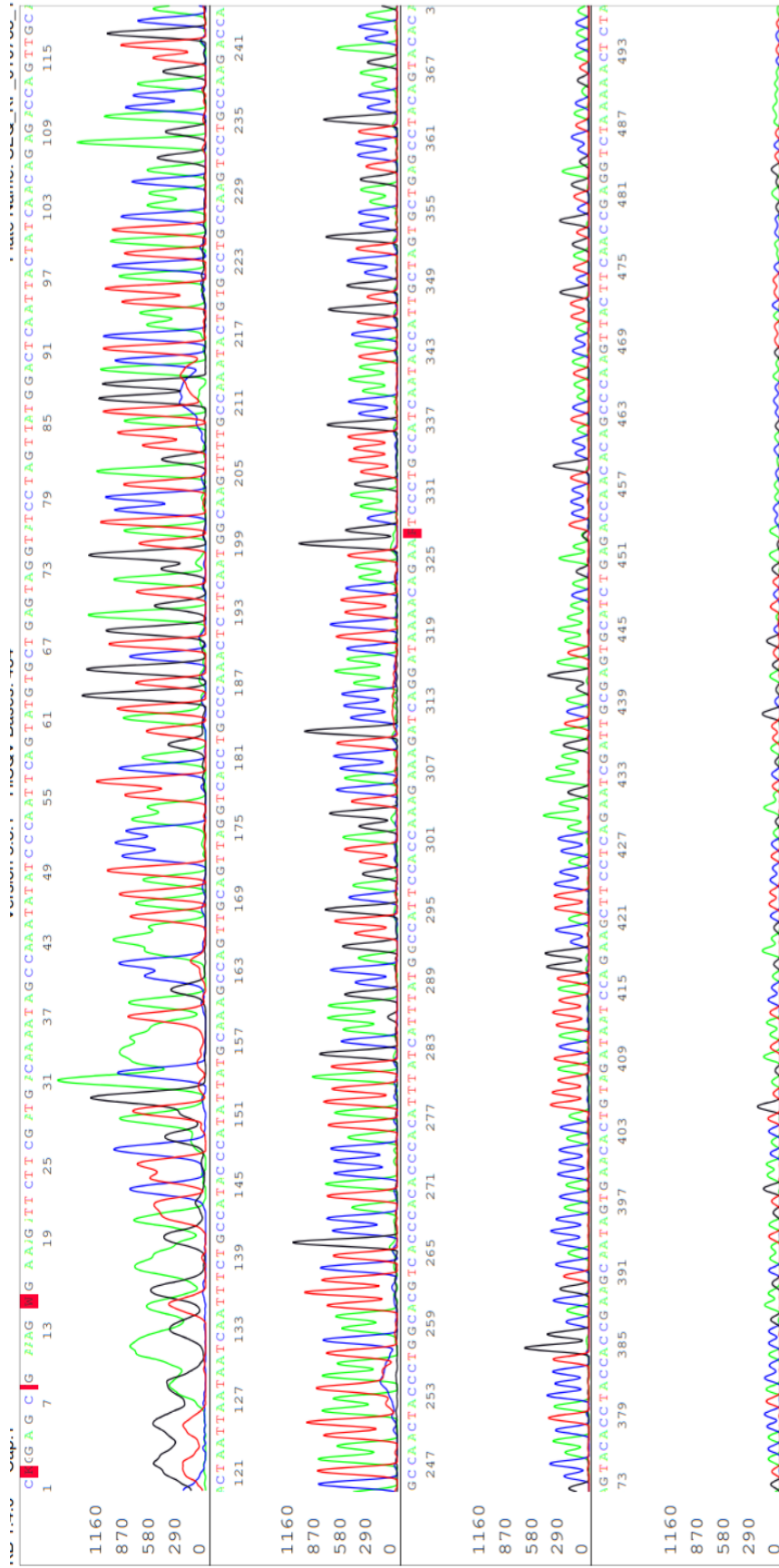
รูปภาพผนวกที่ 38 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปทาเคซิน บน Exon 4 จีนไทป์ AA

DNA Sequencing ของจีนแคปตาเคซิน บน Exon 4



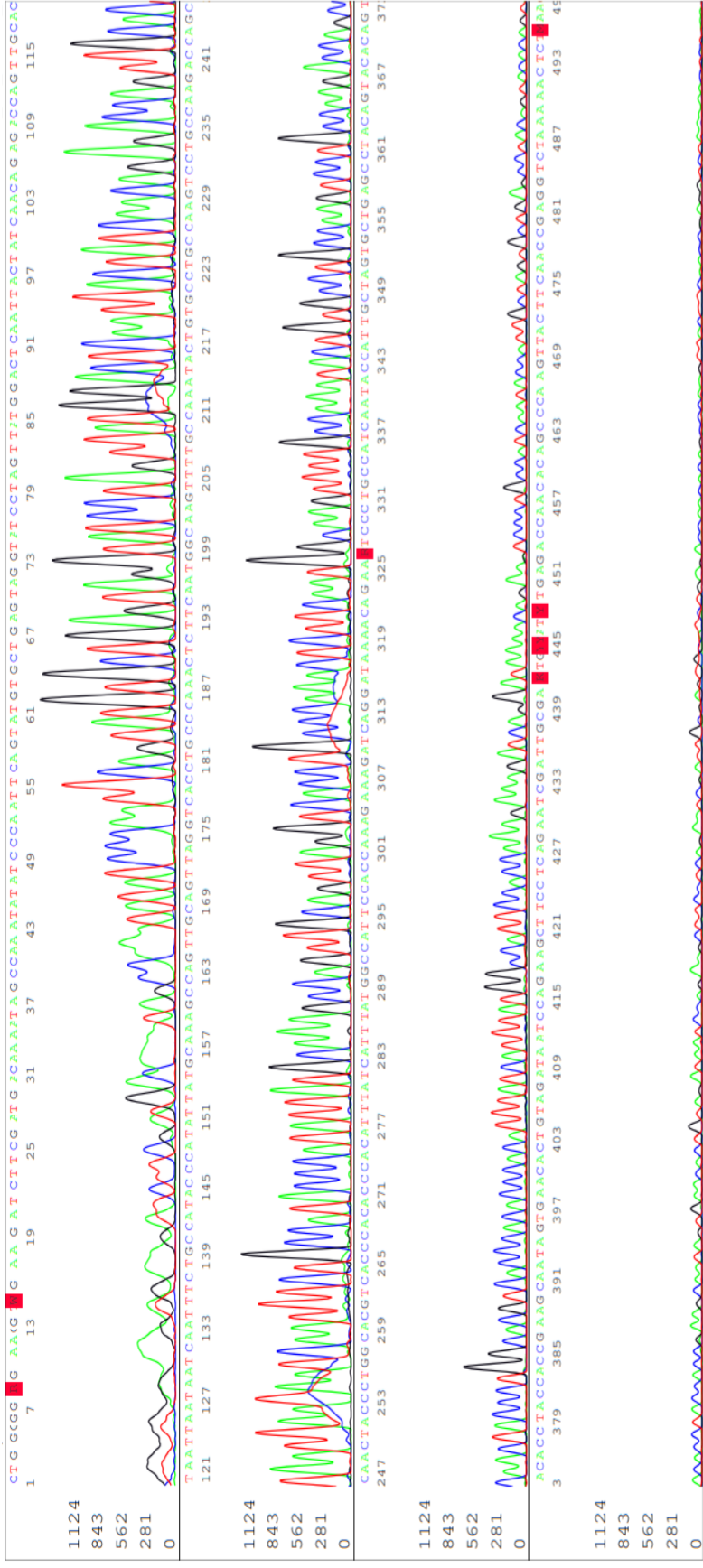
รูปภาพผนวกที่ 39 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปตาเคซิน บน Exon 4 จีนไทป์ AB

DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4



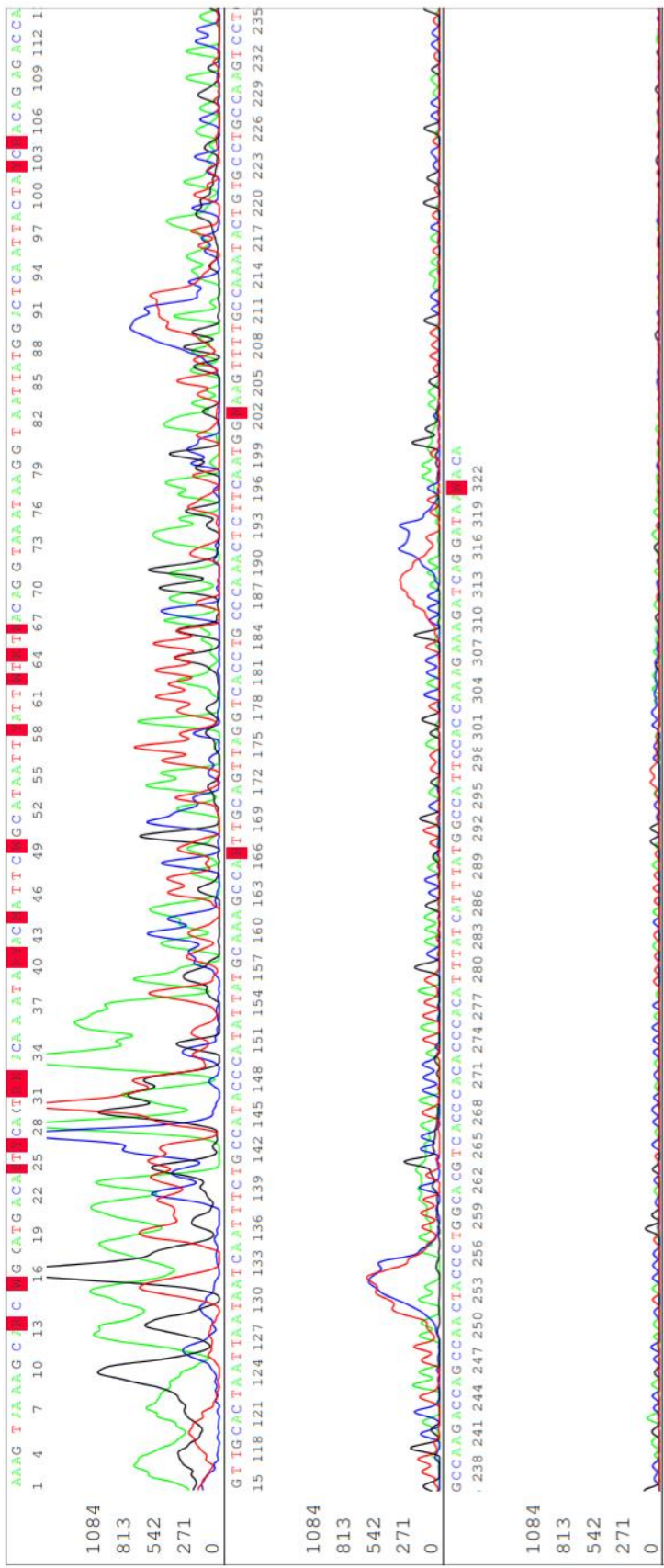
รูปภาพผนวกที่ 40 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4 จีนไทป์ AD

DNA Sequencing ของจีโนมแคปทาเคซิน บน Exon 4



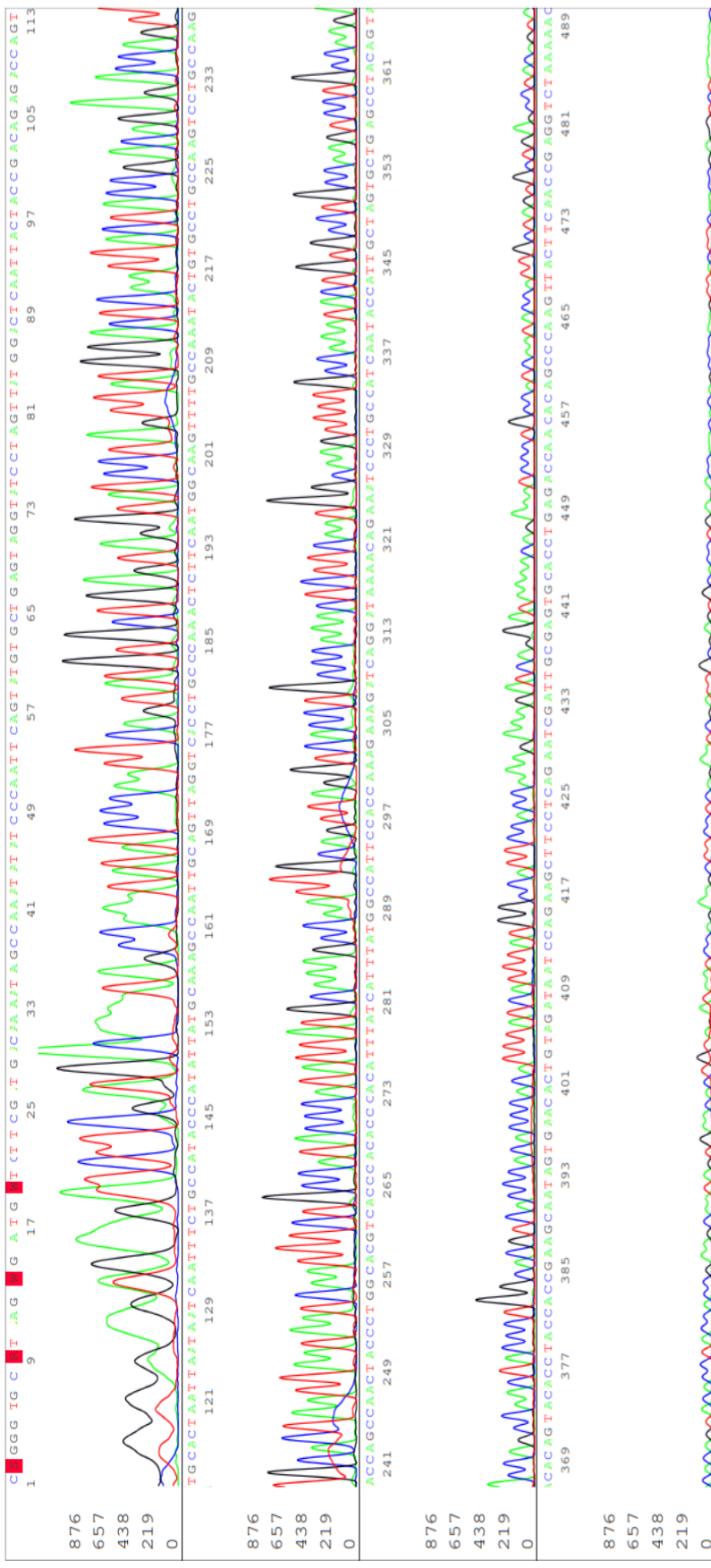
รูปภาพผนวกที่ 42 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีโนมแคปทาเคซิน บน Exon 4 จีโนมไทป์ AN1

DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4



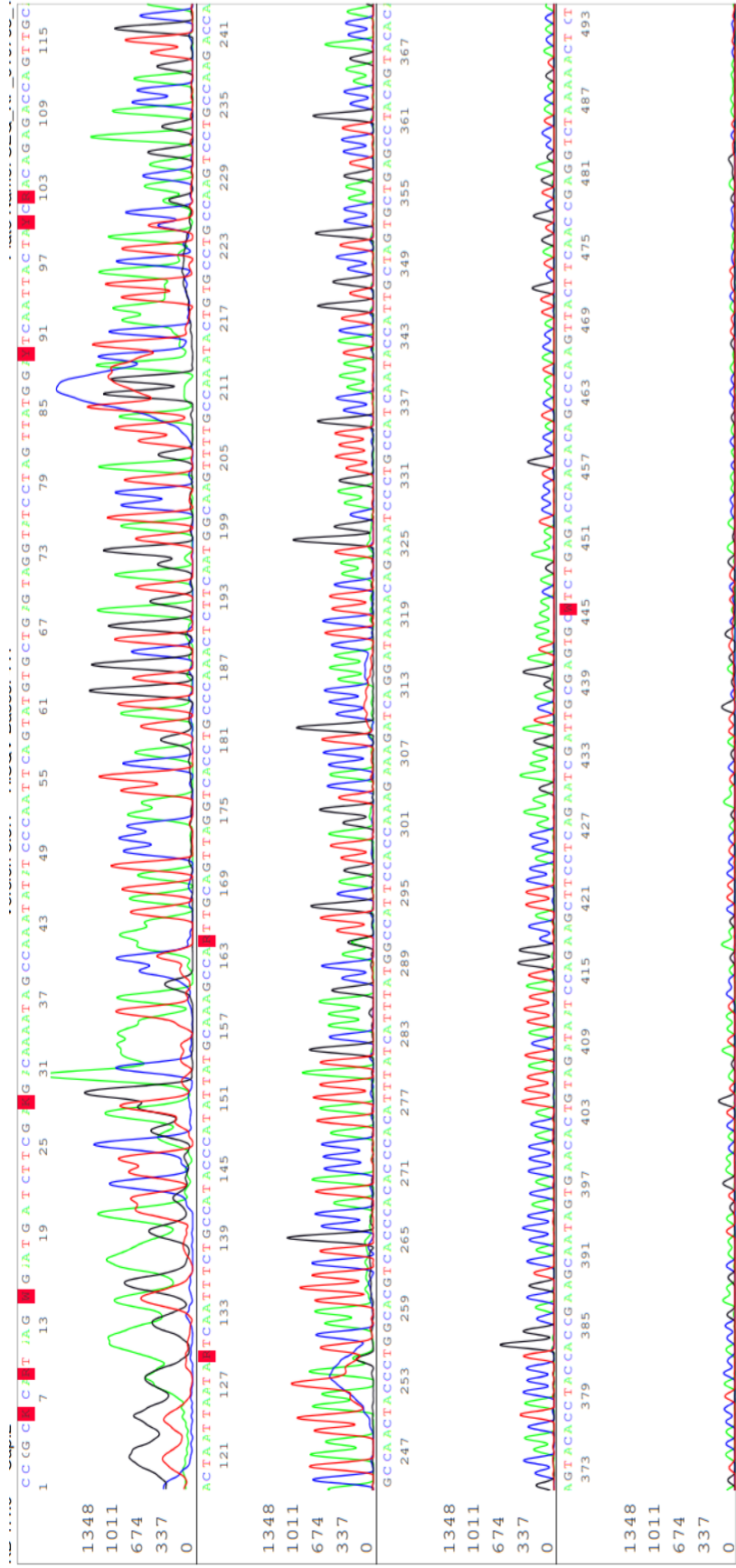
รูปภาพผนวกที่ 43 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4 จีนไทป์ AN2

DNA Sequencing ของจีนแคปเปเคซิน บน Exon 4



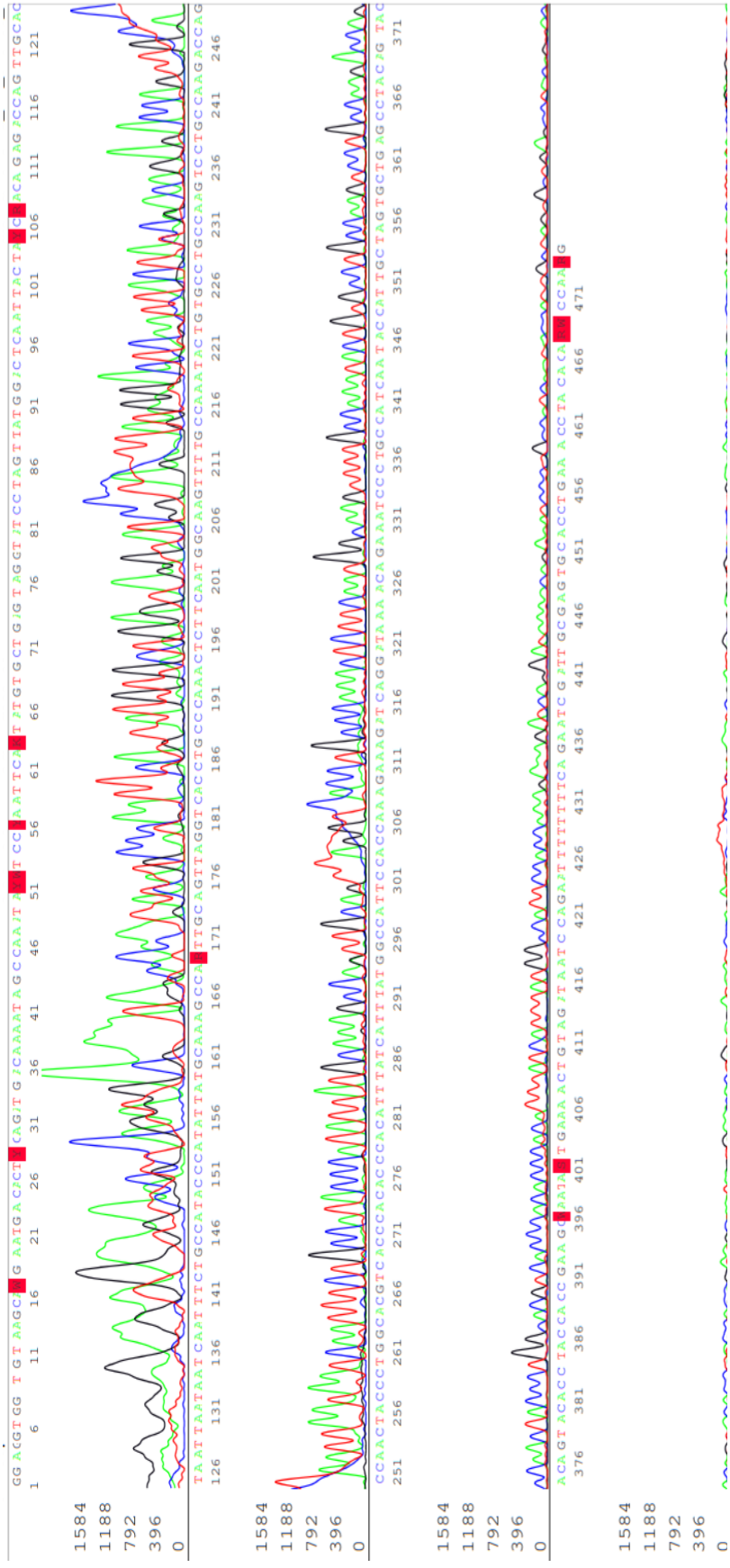
รูปภาพผนวกที่ 44 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปเปเคซิน บน Exon 4 จีโนมไทป์ BB

DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4



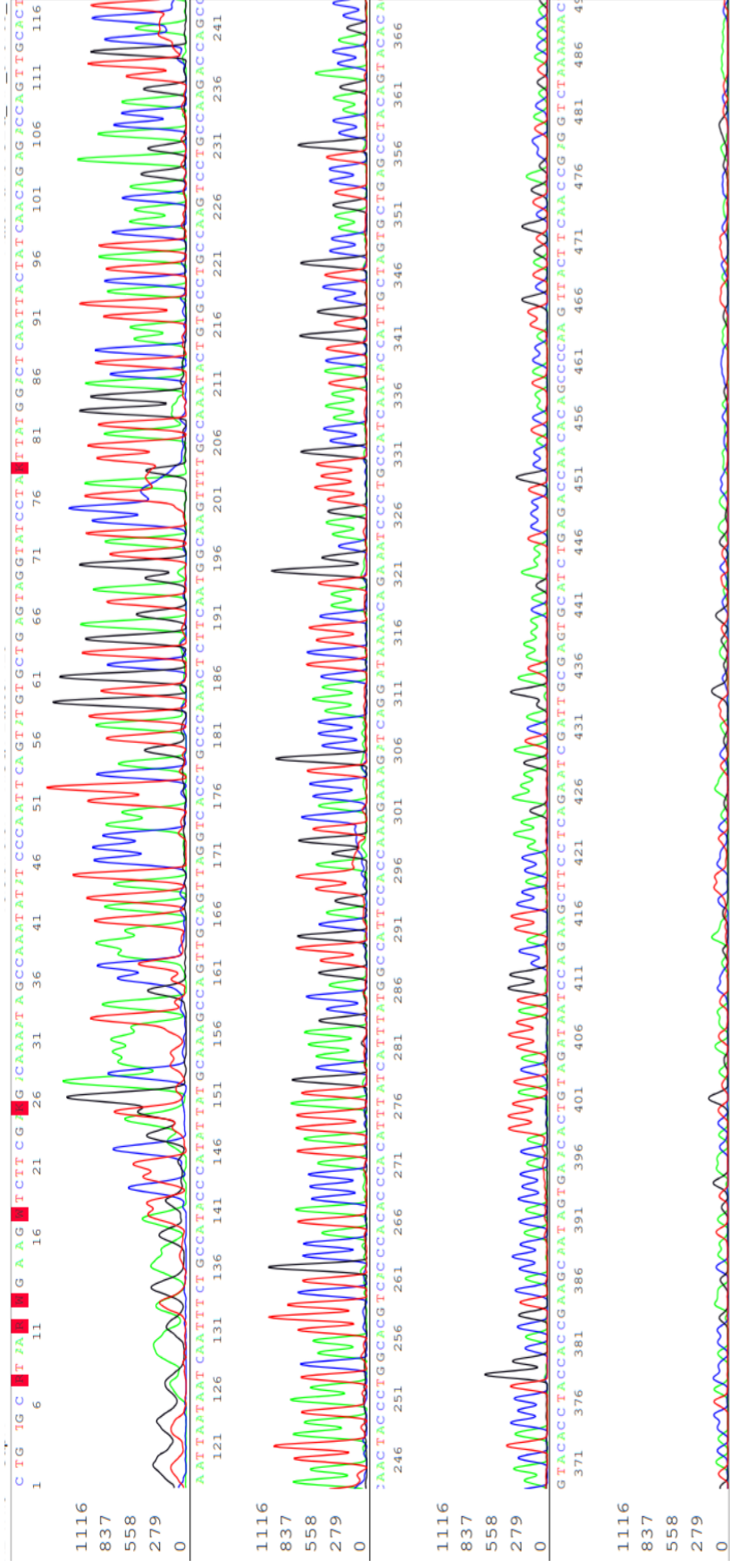
รูปภาพผนวกที่ 45 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4 จีโนมป์ BD

DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4



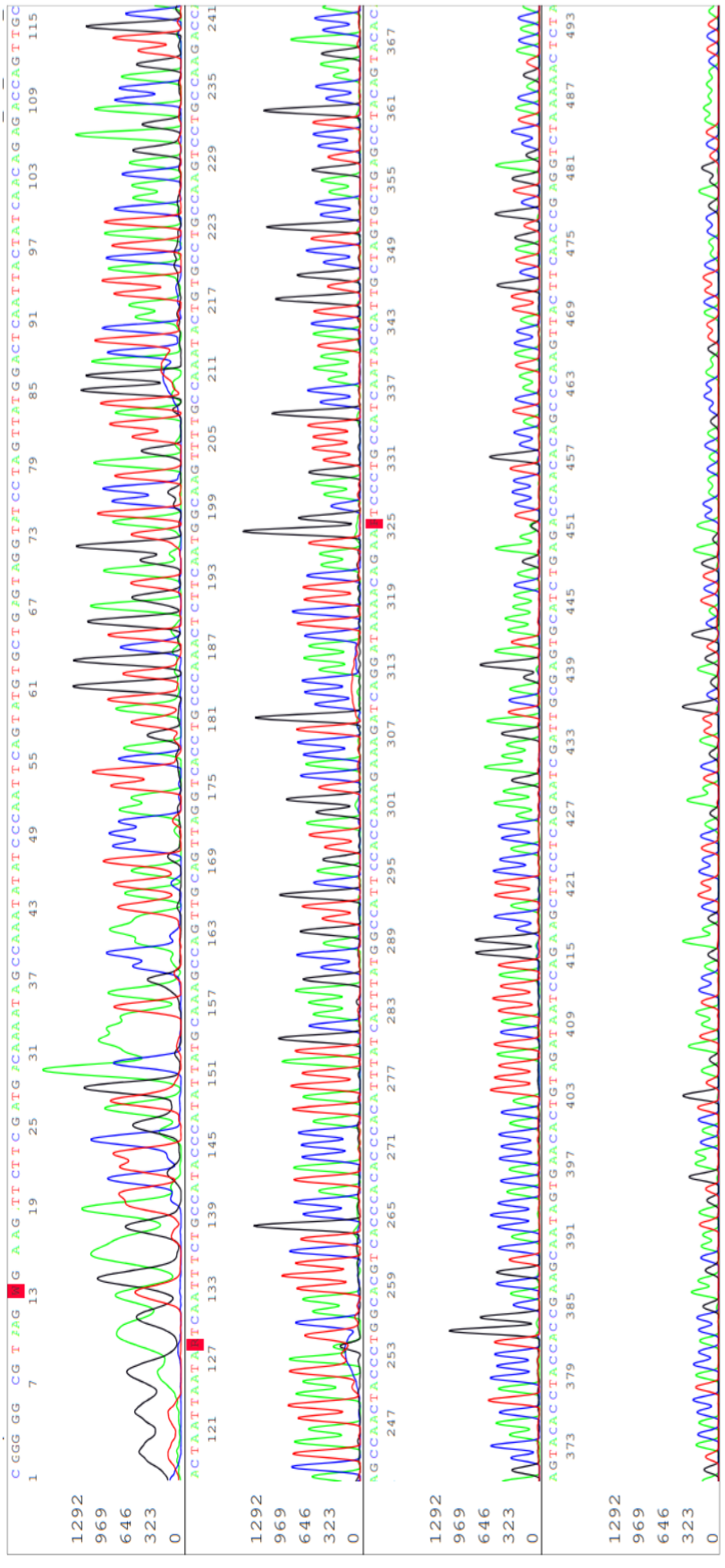
รูปภาพผนวกที่ 46 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4 จีนไทป์ BF

DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4



รูปภาพผนวกที่ 47 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4 จีโนไทป์ DD

DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4



รูปภาพผนวกที่ 48 แสดงผลที่ได้จากการทำ DNA Sequencing ของจีนแคปเปาเคซิน บน Exon 4 จีโนมไทป์ AN2/BN3

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล Naparat Naowanat
วัน เดือน ปี เกิด 03 November 1994
ที่อยู่ปัจจุบัน 89/244, Village No.9, KANASIRI BANGNA Village, Bang Bo Sub-district, Bang Bo District, Samut Prakan, 10560



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY