

โครงการคณิตศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการสร้างสูตรอาหารชั้นสำหรับแพะ
ที่มีต้นทุนต่ำสุดและมีสารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนาการ

โดย

นายบุญญวัต	หนูฤกษ์
นายปวิศร์	เพชรดา
นายพงศ์พันธุ์	นวลเกลี้ยง

ครูที่ปรึกษาโครงการ

นางสาวอาริยาภรณ์ ชุมคง

นายอรรถกร สุขรัตน์

โรงเรียนพัทลุง สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาพัทลุง

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนประกอบของโครงการคณิตศาสตร์
ประเภทบูรณาการ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

เนื่องในการประกวดโครงการคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
งานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติส่วนภูมิภาค ประจำปี พ.ศ. 2569
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

โครงการคณิตศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการสร้างสูตรอาหารชั้นสำหรับแพะ
ที่มีต้นทุนต่ำสุดและมีสารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนาการ

โดย

นายบุญวัฒน์	หนูฤกษ์
นายปวิศร์	เพชรระดา
นายพงศ์พันธุ์	นวลเกลี้ยง

ครูที่ปรึกษาโครงการ

นางสาวอาริยาภรณ์ ชุมคง

นายอรรถกร สุขรัตน์

โรงเรียนพัทลุง สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาพัทลุง

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนประกอบของโครงการคณิตศาสตร์

ประเภทบูรณาการ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

เนื่องในการประกวดโครงการคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

งานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติส่วนภูมิภาค ประจำปี พ.ศ. 2569

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ชื่อโครงการ	การพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการสร้างสูตรอาหารชั้นสำหรับแพะที่มีต้นทุนต่ำสุดและมีสารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนาการ
ผู้จัดทำโครงการ	1. นายบัญญัติ หนูฤกษ์ 2. นายปวิศร์ เพชรธาดา 3. นายพงศ์พันธุ์ นวลเกลี้ยง
ครูที่ปรึกษาโครงการ	นางสาวอารียาภรณ์ ชุมคง ครูที่ปรึกษาหลัก นายอรรถกร สุขรัตน์ ครูที่ปรึกษาร่วม
ระดับชั้น	มัธยมศึกษาตอนปลาย
ประเภทโครงการ	บูรณาการ

บทคัดย่อ

โครงการคณิตศาสตร์เรื่อง การพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการสร้างสูตรอาหารชั้นสำหรับแพะที่มีต้นทุนต่ำที่สุดและมีสารอาหารเหมาะสมตามหลักโภชนาการ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรอาหารชั้นสำหรับแพะนมพันธุ์แองโกลนูเบียนระยะให้นม โดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นจังหวัดพัทลุง และประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ร่วมกับวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) เพื่อหาสัดส่วนของวัตถุดิบที่ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านความต้องการสารอาหารของแพะนม ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส

กำหนดให้ตัวแปร x_1, x_2, x_3, x_4 และ x_5 แทนปริมาณวัตถุดิบได้แก่ อาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16 กากถั่วเหลือง รำละเอียด ใบกระถินแห้งป่น และใบตำลึงแห้งบด ตามลำดับ โดยกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายให้มีต้นทุนต่ำที่สุด และกำหนดข้อจำกัดด้านปริมาณสารอาหาร รวมทั้งข้อจำกัดด้านปริมาณการใช้วัตถุดิบและน้ำหนักรวมของสูตรอาหารชั้น 400 กรัมต่อมื้อ

ผลการคำนวณพบว่า สูตรอาหารชั้นที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วยอาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16 จำนวน 20 กรัม กากถั่วเหลือง 182.22 กรัม รำละเอียด 100 กรัม ใบกระถินแห้งป่น 80 กรัม และใบตำลึงแห้งบด 17.78 กรัม รวมเป็น 400 กรัมต่อมื้อ มีต้นทุนการผลิต 6.92 บาทต่อมื้อ และเป็นไปตามข้อจำกัดด้านสารอาหารที่กำหนดไว้ในตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

ผลการศึกษาครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นสามารถช่วยออกแบบสูตรอาหารชั้นที่มีต้นทุนต่ำและมีองค์ประกอบของสารอาหารเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสูตรอาหารสัตว์หรือปรับเปลี่ยนตามราคาวัตถุดิบในอนาคตได้ อย่างไรก็ตาม สูตรอาหารที่ได้เป็นผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงควรมีการทดลองภาคสนามเพิ่มเติมเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานจริงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำนมของแพะต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการคณิตศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ด้วยความวิริยะอุตสาหะ ความร่วมมือ และความสามัคคีของสมาชิกคณะผู้จัดทำทุกคน ที่ได้ร่วมกันศึกษาค้นคว้า ตลอดจนแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จนกระทั่งการดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณครูอารียาภรณ์ ชุมคง คุณครูโรงเรียนพัทลุง เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นครูที่ปรึกษาโครงการ สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนะนำแนวทางการแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนตรวจทานบทความวิชาการและรูปแบบโครงการฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	13
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ	16
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	23
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	27

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1 ข้อมูลสารอาหารและราคาของวัตถุดิบต่อหนึ่งกิโลกรัม	7
ตารางที่ 2 ความต้องการสารอาหารของแพะนมพันธุ์แองโกลนูเบียนในช่วงให้นม	13
ตารางที่ 3 ข้อมูลวัตถุดิบ	13
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะโดยใช้สารละลายไบยูเรต	21

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
ภาพที่ 1 แพะพันธุ์แองโกลนูเบีย(Anglo-Nubian Goat)	3
ภาพที่ 2 ผลการทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะด้วยสารละลายไบยูเรต	20

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การเลี้ยงแพะนมเป็นอาชีพปศุสัตว์ที่มีความสำคัญต่อภาคการเกษตรของประเทศไทย และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากน้ำนมแพะเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ย่อยง่าย และมีองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยเฉพาะผู้ที่แพ้นมวัว ผู้สูงอายุ และผู้รักสุขภาพ ในปัจจุบันเกษตรกรหลายพื้นที่ได้หันมาเลี้ยงแพะนมเพื่อสร้างรายได้เสริมและประกอบอาชีพหลัก ส่งผลให้การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมและการลดต้นทุนการเลี้ยงแพะกลายเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจ

แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน (Anglo-Nubian) เป็นแพะนมที่ได้รับความนิยมในการเลี้ยง เนื่องจากมีจุดเด่นด้านคุณภาพน้ำนม โดยน้ำนมมีปริมาณไขมันและโปรตีนค่อนข้างสูง เหมาะสำหรับการบริโภคและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การที่แม่แพะจะสามารถผลิตน้ำนมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องได้รับสารอาหารที่เพียงพอและเหมาะสม โดยเฉพาะในช่วงระยะให้นม ซึ่งเป็นช่วงที่ร่างกายต้องใช้สารอาหารจำนวนมากในการผลิตน้ำนม หากได้รับอาหารไม่เพียงพอหรือมีคุณค่าทางโภชนาการไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้ปริมาณและคุณภาพของน้ำนมลดลง กระทั่งต่อการเจริญเติบโตของลูกแพะ สุขภาพของแม่แพะ และประสิทธิภาพในการเลี้ยงโดยรวม

เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจริง คณะผู้จัดทำลงพื้นที่ศึกษาข้อมูล ณ ศูนย์เครือข่ายศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) ด้านปศุสัตว์ อำเภอสรีบรรพต จังหวัดพัทลุง และได้สัมภาษณ์นายสุชาติ ดำแก้ว ซึ่งเป็นปราชญ์ชาวบ้านและผู้มีประสบการณ์ด้านการเลี้ยงแพะ จากการสัมภาษณ์พบว่า ต้นทุนค่าอาหารสัตว์เป็นต้นทุนหลักของการเลี้ยงแพะ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้เกษตรกรมีภาระต้นทุนการผลิตสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าในช่วงที่แม่แพะอยู่ในระยะให้นม โดยเฉพาะแม่แพะที่ให้กำเนิดลูกหลายตัว ความต้องการสารอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตน้ำนม หากได้รับอาหารที่มีสารอาหารไม่เพียงพอ อาจทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง ส่งผลให้ลูกแพะได้รับน้ำนมไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และอาจส่งผลต่อสภาพร่างกายของแม่แพะในระยะยาว ดังนั้น ผู้เลี้ยงจึงให้ความสำคัญกับการจัดสูตรอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสม ในขณะที่ยังสามารถควบคุมต้นทุนการผลิตให้อยู่ในระดับที่คุ้มค่า

จากการศึกษาคู่มีอาหารเลี้ยงแพะของกรมปศุสัตว์ และเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้อง พบว่า การจัดสูตรอาหารสำหรับแม่แพะระยะให้นมจำเป็นต้องคำนึงถึงสารอาหารสำคัญ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งล้วนมีบทบาทสำคัญต่อการผลิตน้ำนม การทำงานของระบบย่อยอาหาร การเสริมสร้างกระดูก และการรักษาสสมดุลของร่างกาย อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดมีคุณค่าทางโภชนาการและราคาที่แตกต่างกัน การเลือกใช้วัตถุดิบในสัดส่วนที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาหลายปัจจัยพร้อมกัน ทั้งด้าน

ต้นทุน คุณค่าทางโภชนาการ และข้อจำกัดของวัตถุดิบ ทำให้การคำนวณด้วยวิธีทั่วไปมีความซับซ้อนและอาจไม่สามารถหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดได้

จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง โดยใช้ การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ร่วมกับ วิธีซิมเพล็กซ์แบบสองขั้นตอน (Two-Phase Simplex Method) เพื่อสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับหาสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารชั้นที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับแม่แพะพันธุ์แองโกลนูเบียนระยะให้นม โดยกำหนดให้วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16 กากถั่วเหลือง รำละเอียด ใบกระถินแห้งป่น และใบตำลึงแห้งบด ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถจัดหาได้ในท้องถิ่น มีคุณค่าทางโภชนาการ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตอาหารชั้นได้

โครงการนี้จึงเป็นการบูรณาการองค์ความรู้ด้านคณิตศาสตร์และการเกษตร โดยนำปัญหาที่ได้จากการลงพื้นที่ศึกษาจริงมาสร้างเป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกสัดส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาคาดว่าจะช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารชั้นสำหรับแม่แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการด้านโภชนาการ ส่งเสริมการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถนำแนวคิดของแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับสัตว์เศรษฐกิจชนิดอื่น หรือปรับเปลี่ยนสูตรอาหารตามการเปลี่ยนแปลงของราคาวัตถุดิบในอนาคตได้

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อสร้างสูตรอาหารชั้นแพะทางเลือก สำหรับแพะนมพันธุ์แองโกลนูเบียน ที่มีต้นทุนต่ำที่สุด สารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนาการ จากวัตถุดิบท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุง โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างสูตรอาหารชั้นแพะทางเลือกที่มีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสม สำหรับแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน ในช่วงให้นมบุตร
2. สร้างสูตรอาหารชั้นแพะทางเลือกที่มีส่วนผสมของอาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16 ,รำละเอียด , กากถั่วเหลือง ,ใบกระถินแห้งป่นและใบตำลึงแห้งบด ซึ่งเป็นพืชในท้องถิ่นพัทลุงเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรอาหารชั้นแพะทางเลือก สำหรับแพะนมพันธุ์แองโกลนูเบียน ที่มีต้นทุนต่ำที่สุด สารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนาการจากวัตถุดิบท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุง

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำโครงการเพื่อสร้างสูตรอาหารชั้นแพะทางเลือก สำหรับแพะนมพันธุ์แองโกลนูเบียนที่ต้นทุนต่ำที่สุด สารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนาการ จากวัตถุดิบท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุง โดยประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และวิธีซิมเพล็กซ์แบบสองขั้นตอน (Two-Phase Simplex Method) คณะผู้จัดทำได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน (Anglo Nubian Goat)



ภาพที่ 1 แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน (Anglo-Nubian Goat)

แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน (Anglo-Nubian Goat) เป็นแพะนมที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์ในประเทศอังกฤษจากการผสมพันธุ์ระหว่างแพะพื้นเมืองของอังกฤษกับแพะจากแถบตะวันออกกลางและแอฟริกาเหนือ ทำให้เป็นสายพันธุ์ที่มีความแข็งแรง สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศได้ดี และได้รับความนิยมเลี้ยงในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทย เพื่อใช้ในการผลิตน้ำนมและปรับปรุงพันธุ์ (กรมปศุสัตว์, 2567)

ลักษณะเด่นของแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน คือ มีใบหูยาวห้อย จมูกโค้งงอ (Roman Nose) ลำตัวแข็งแรง และสามารถพบได้หลายสี เช่น สีดำ สีน้ำตาล สีขาว สีแดง หรือสีผสม อย่างไรก็ตาม จุดเด่นที่สำคัญของสายพันธุ์นี้คือ น้ำนมมีปริมาณไขมันและโปรตีนค่อนข้างสูง จึงเหมาะสำหรับการบริโภคและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นม เช่น นมพาสเจอร์ไรส์ โยเกิร์ต และชีส (กรมปศุสัตว์, 2567; Nicory et al., 2023)

ในระยะให้นม แม่แพะพันธุ์แองโกลนูเบียนมีความต้องการสารอาหารสูงกว่าระยะอื่น เนื่องจากต้องใช้สารอาหารในการสังเคราะห์น้ำนมและรักษาสภาพร่างกาย หากได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ อาจส่งผลให้ปริมาณและคุณภาพของน้ำนมลดลง รวมถึงส่งผลต่อสุขภาพและสภาพร่างกายของแม่แพะ ดังนั้น การจัดสูตรอาหารจึงต้องคำนึงถึงการได้รับสารอาหารที่เพียงพอและสมดุล โดยเฉพาะโปรตีน ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญต่อการผลิตน้ำนมและการดำรงสภาพร่างกายของแม่แพะ (National Research Council [NRC], 2007; กรมปศุสัตว์, 2567)

2. อาหารแพะ

อาหารแพะจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อาหารหยาบ และ อาหารข้น

2.1 อาหารหยาบ

ในทางสัตวบาล หมายถึง อาหารที่มีสัดส่วนของเยื่อใยหยาบ (Crude Fiber) สูงกว่าร้อยละ 18 ของน้ำหนักแห้ง ได้แก่ พืชอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูง เช่น หญ้าสด พืชตระกูลถั่ว ใบไม้ พางข้าว ชานอ้อย และเปลือกข้าวโพด เป็นต้น

อาหารหยาบจะให้สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) เป็นหลัก ซึ่งคาร์โบไฮเดรตคือแหล่งพลังงานพื้นฐานที่ขับเคลื่อนกิจกรรมทุกอย่างของร่างกาย แบ่งออกเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (เยื่อใย) และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (แป้งและน้ำตาล) สำหรับแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมีความจำเป็นต่อการรักษาความร้อนในร่างกาย การเคลื่อนไหว และการทำงานของระบบสืบพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแม่แพะระยะอุ้มท้องและระยะให้ผลผลิต ซึ่งต้องการพลังงานสูงเป็นพิเศษเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและการสร้างผลผลิต นอกจากนี้ คาร์โบไฮเดรตยังเป็นแหล่งอาหารสำคัญของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Rumen) เพื่อเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acids: VFAs) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของตัวแพะเอง

แหล่งอาหารหลักที่ให้คาร์โบไฮเดรตแก่แพะคือหญ้าสดและพืชอาหารสัตว์ท้องถิ่น โดยแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนในระยะให้ผลผลิต จำเป็นต้องได้รับอาหารหยาบคุณภาพดีอย่างเต็มที่ (Ad libitum) เพื่อกระตุ้นระบบทางเดินอาหารและคงระดับไขมันในนํ้านม โดยทั่วไปแม่แพะสายพันธุ์นี้มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยประมาณ 50-60 กิโลกรัม ควรได้รับอาหารหยาบในรูปน้ำหนักแห้ง (Dry Matter) ประมาณ 1.5 - 2.0 กิโลกรัมต่อวัน หรือหากคิดเป็นปริมาณหญ้าสดคุณภาพดีเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 4 - 5 กิโลกรัมต่อวัน ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักตัวและการกินได้ของสัตว์เพื่อไม่ให้ร่างกายเกิดภาวะสมดุลพลังงานติดลบ (กรมปศุสัตว์, 2569)

2.2 อาหารข้น

อาหารเพื่อการผลิต (Production Feed) ที่ถูกปรุงแต่งขึ้นให้มีความหนาแน่นของสารอาหารสูงมีเยื่อใยต่ำ และมีความสามารถในการย่อยได้สูง เนื่องจากแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนที่อยู่ในระยะให้ผลผลิต มีอัตราเมตาบอลิซึมและการใช้โภชนะในร่างกายสูง ลำพังการบริโภคอาหารหยาบเพียงอย่างเดียวจึงมักส่งผลให้เกิดสภาวะพลังงานติดลบ (Negative Energy Balance) ทำให้อัตราการเจริญเติบโตชะงักงัน ระยะการให้ผลผลิตสั้นลง และร่างกายซูบผอม อาหารข้นจึงเข้ามามีบทบาทในการเติมเต็มส่วนขาดของพลังงานและโปรตีน เพื่อรักษาสภาพร่างกาย (Body Condition Score) ของแม่แพะให้คงที่ตลอดช่วงการให้ผลผลิตวัตถุประสงค์หลักที่เป็นฐานข้อมูลในแบบจำลองคณิตศาสตร์ของโครงการนี้ คือ กลุ่มแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง เช่น กากถั่วเหลือง เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สมดุลและจำเป็นต่อการสร้างเนื้อ ช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อ และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกายจากการตั้งท้องและผลิตนํ้านม นอกจากนี้ในอาหารข้นจำเป็นต้องเติมแคลเซียมและฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่เหมาะสม จะช่วยป้องกันโรคไข้นม และรักษาความหนาแน่นของกระดูก ในแม่แพะพันธุ์แองโกลนูเบียนที่มีโครงสร้างตัวหนาใหญ่และมีอัตราการให้ผลผลิตสูงซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ มักจะพบปัญหาอาหารข้นทางการค้ามีราคาสูง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้การพัฒนา

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณสูตรอาหารชั้นจากวัตถุดิบท้องถิ่นในปริมาณ 400 กรัมต่อมื่อ โดยคำนึงถึงความต้องการสารอาหารพื้นฐาน อันได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษามาตรฐานสุขภาพและประสิทธิภาพการผลิต (กรมปศุสัตว์, 2569) โดยสารอาหารที่จำเป็นในอาหารชั้น มีดังนี้

1) โปรตีน

โปรตีน (Protein) เป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการซ่อมแซมเซลล์ส่วนที่สึกหรอสำหรับแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนซึ่งเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้อง โปรตีนจะถูกนำไปใช้ในสองรูปแบบ คือ โปรตีนที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสังเคราะห์ขึ้น และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักแต่ไปดูดซึมที่ลำไส้เล็ก โปรตีนมีหน้าที่หลักในการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ การผลิตเอนไซม์และฮอร์โมน รวมถึงการสร้างภูมิคุ้มกันโรค ที่สำคัญที่สุดคือโปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญของ "เคซีน" ในน้ำนม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ เนื่องจากแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนเป็นสายพันธุ์ที่มีจุดเด่นด้านการให้ผลผลิตน้ำนมที่มีองค์ประกอบของโปรตีนนมและไขมันนมสูง หากแพะขาดโปรตีนจะทำให้การเจริญเติบโตชะงักงัน และปริมาณน้ำนมลดลงอย่างรวดเร็ว

ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมที่แม่แพะพันธุ์แองโกลนูเบียนควรได้รับจากอาหารชั้นในสูตรสำหรับ 1 มื่อ (ปริมาณรวม 400 กรัม) ควรมีระดับโปรตีนเฉลี่ยในอาหารชั้นไม่น้อยกว่า 16 - 18% เพื่อให้สอดคล้องต่อการดำรงชีพและการผลิตน้ำนมที่มีคุณภาพสูงได้อย่างสมบูรณ์ (กรมปศุสัตว์, 2569)

2) ไขมัน

ไขมัน (Fat หรือ Lipid) เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนถึง 2.25 เท่า ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนในการรักษาสมดุลพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมที่มีความเข้มข้นสูง ไขมันจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่ถูกย่อยและเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และส่วนที่เป็นไขมันผ่านรูเมน (Bypass Fat) ที่จะไปดูดซึมโดยตรงที่ลำไส้เล็ก ไขมันมีหน้าที่หลักในการเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นตัวละลายวิตามิน (A, D, E, K) และเป็นแหล่งพลังงานสำรองที่สำคัญสำหรับการผลิตน้ำนม นอกจากนี้ กรดไขมันที่ได้รับจากอาหารถือเป็นปัจจัยต้นทางที่ส่งผลโดยตรงต่อการกำหนดสัดส่วน "กรดไขมันในน้ำนม" ซึ่งช่วยเพิ่มความเข้มข้นและคุณภาพทางโภชนาการของน้ำนมอันเป็นจุดเด่นหลักของสายพันธุ์แองโกลนูเบียน หากแพะได้รับไขมันไม่เพียงพอร่างกายจะดึงไขมันสะสมออกมาใช้จนทำให้สุขภาพทรุดโทรม น้ำหนักตัวลดลงอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้ปริมาณน้ำนมและเปอร์เซ็นต์ไขมันในนมลดต่ำลง

สำหรับแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน ควรได้รับไขมันจากอาหารชั้นในสูตรสำหรับ 1 มื่อ (ปริมาณรวม 400 กรัม) ในสัดส่วนประมาณ 2 - 4% ของวัตถุดิบ (หรือคิดเป็นปริมาณไขมันประมาณ 8 - 16 กรัมต่อมื่อ) และไม่ควรให้ระดับไขมันรวมเกิน 5% เพื่อป้องกันการขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยเยื่อใย (กรมปศุสัตว์, 2569)

3) เยื่อใย

เยื่อใย (Fiber) โดยเฉพาะในรูปของเยื่อใยที่ไม่ละลายในด่าง (NDF) และเยื่อใยที่ละลายในกรด (ADF) เป็นสารอาหารที่สำคัญต่อระบบการย่อยอาหารของแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนซึ่งเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้อง เยื่อใยจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ผ่านกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในรูเมน (กระเพาะหมัก) เพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) โดยเฉพาะกรดอะซิติก (Acetic acid) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการสังเคราะห์ "ไขมันนม" เยื่อใยมีหน้าที่หลักในการกระตุ้นกระบวนการเคี้ยวเอื้อง (Rumination) และการหลั่งน้ำลายเพื่อรักษาภาวะสมดุลความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก ช่วยให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากแพะได้รับเยื่อใยที่มีคุณภาพและมีความยาวที่เหมาะสม จะส่งผลโดยตรงต่อการคงระดับเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมและสุขภาพโดยรวม หากแพะขาดเยื่อใยที่เหมาะสมจะทำให้ระบบการเคี้ยวเอื้องหยุดชะงัก เกิดภาวะเป็นกรดในกระเพาะ (Acidosis) และทำให้คุณภาพของน้ำนม (โดยเฉพาะไขมันนม) ลดลงอย่างรวดเร็ว

สำหรับแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน ควรได้รับเยื่อใยหยาบ (Crude Fiber) จากอาหารชั้นไม่ต่ำกว่า 10% หรือหากพิจารณาในรูปของเยื่อใย NDF ในอาหารชั้นสูตรม้อละ 400 กรัมนี้ ควรควบคุมสัดส่วนให้อยู่ในช่วง 40 กรัม เพื่อรักษาระดับการกินได้และช่วยให้ระบบทางเดินอาหารทำงานได้อย่างปกติ (กรมปศุสัตว์, 2569)

4) แคลเซียมและฟอสฟอรัส

แร่ธาตุแคลเซียม (Calcium: Ca) และฟอสฟอรัส (Phosphorus: P) จัดเป็นหมู่แร่ธาตุ (Macrominerals) หลักที่มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดและส่งผลต่อกันโดยตรงในทางสรีรวิทยา โดยอัตราส่วนที่สมดุลมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการสร้างและซ่อมแซมกระดูกและฟัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักในการรองรับน้ำหนักตัวที่ค่อนข้างหนาใหญ่ของแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน รวมถึงรองรับระบบเต้านมในแพะระยะให้ผลผลิต แคลเซียมมีบทบาทสำคัญทางชีวเคมีในการเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำนม หากร่างกายได้รับแคลเซียมจากสารอาหารไม่เพียงพอ กลไกโฮมีโอสตาซิสจะกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนเพื่อดึงแคลเซียมสำรองจากกระดูกมาใช้ในกระแสเลือด ส่งผลให้เกิดภาวะไข้นม (Milk Fever หรือ พาร์ทูริเอนต์ พาราเรซิส) หรือเกิดโรคกระดูกอ่อน (Osteomalacia) ในแม่แพะ ในขณะที่ฟอสฟอรัสมีบทบาทหลักในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพลังงานในระดับเซลล์ (เป็นส่วนประกอบของ ATP) และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมน (Rumen) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายอาหารที่มีกากใยสูง

สำหรับแพะพันธุ์แองโกลนูเบียนที่เลี้ยงในประเทศไทย อัตราส่วนระหว่างแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส (Ca:P Ratio) ที่ปลอดภัยและเหมาะสมในสูตรอาหารควรอยู่ในช่วง 1.5:1 ถึง 2:1 ทั้งนี้ ในสูตรอาหารชั้นปริมาณ 400 กรัมต่อม้อ คณะผู้จัดทำได้กำหนดขอบเขตข้อจำกัดของสมการเพื่อควบคุมระดับแคลเซียมให้อยู่ที่ประมาณ 0.60 - 0.80% ของวัตถุดิบและฟอสฟอรัสอยู่ที่ประมาณ 0.30 - 0.40% ของวัตถุดิบ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของสรีรวิทยาในการผลิตน้ำนมที่มีองค์ประกอบโภชนะสูง และเพื่อป้องกันความเสี่ยงในการเกิดโรคนิ่วในระบบทางเดินปัสสาวะ (Urinary Calculi) ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อสัดส่วนแร่ธาตุฟอสฟอรัสสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน (เมธา วรรณพัฒน์, 2558)

3. องค์ประกอบทางโภชนาและคุณสมบัติของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการศึกษา

ในการจัดทำสูตรอาหารสำหรับแม่แพะพันธุ์แองโกลนูเบียน จำเป็นต้องพิจารณาคุณค่าทางโภชนาศาสตร์ของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของร่างกายในสถานะที่ให้ผลผลิตและช่วยยกระดับเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันในน้ำนมซึ่งเป็นลักษณะเด่นของสายพันธุ์นี้ โดยมีรายละเอียดข้อมูลเชิงวิชาการและคุณสมบัติของวัตถุดิบทั้ง 5 ชนิด ดังนี้ :

อาหารข้นสำเร็จรูป สูตร 991-16 (Concentrate Feed 991-16) คือ อาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ด ผ่านการคำนวณสัดส่วนโภชนาให้เหมาะสมกับความต้องการของแพะนมระยะให้นม และระยะอุ้มท้องช่วงปลาย เพื่อรักษาสภาวะสมดุลของร่างกาย (Body Homeostasis)

กากถั่วเหลือง คือ แหล่งโปรตีนคุณภาพสูงที่มีความน่ากิน มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สมบูรณ์และย่อยได้ง่าย ช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อและสนับสนุนการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รำละเอียด คือ ผลพลอยได้จากการสีข้าว เป็นแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันตามธรรมชาติ มีฟอสฟอรัสสูง และมีส่วนช่วยเพิ่มความน่ากินในสูตรอาหารข้น

กระถินแห้งป่น คือ พืชตระกูลถั่วท้องถิ่นที่เป็นแหล่งโปรตีนและแคลเซียมชั้นดี มีเยื่อใยหยาบที่ช่วยกระตุ้นการเคี้ยวเอื้องและการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดด้านปริมาณสารโมโนซิน

ใบตำลึงแห้งบด คือ พืชผักสวนครัวในท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันและเพิ่มความหลากหลายของโภชนาในมื้ออาหาร

ตารางที่ 1 ข้อมูลสารอาหารและราคาของวัตถุดิบต่อหนึ่งกิโลกรัม

วัตถุดิบ	องค์ประกอบทางเคมี (ต่อ 1 กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง)					ราคา (ต่อ 1 กิโลกรัม)
	โปรตีน รวม(กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เยื่อใยรวม (กรัม)	แคลเซียม (กรัม)	ฟอสฟอรัส (กรัม)	
อาหารแพะ สำเร็จรูป สูตร 991-16	160	25	130	7	4.5	19
กากถั่วเหลือง	476	32	66	3.8	6.6	16.15
รำละเอียด	120	120	110	0.6	14	9.8
ใบกระถิน แห้งป่น	226	58	142	16	2.5	25
ใบตำลึงแห้งบด	363	35	101	30.6	3.9	35

หมายเหตุ: ราคาวัตถุดิบทั้งหมดเป็นราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุน โดยราคาอาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16 กากถั่วเหลือง และรำละเอียด อ้างอิงจากข้อมูลราคาตลาดกลางสินค้าเกษตร กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2569 ส่วนราคาใบกระถินแห้งป่นและใบตำลึงแห้งบด อ้างอิงจากราคาเฉลี่ยของแหล่งจำหน่ายวัตถุดิบทางการเกษตรในช่วงเดือนมิถุนายน–กรกฎาคม พ.ศ. 2569

4. ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical model)

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ คือ ตัวแทนสถานการณ์หรือโจทย์ปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องการหาคำตอบซึ่งเขียนในรูปแบบสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ ฟังก์ชันหรือ สมการทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจสถานการณ์หรือปัญหานั้น ๆ ทั้งเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพมากขึ้น และเพื่อทำนายพฤติกรรมหรือกลไกทางพลศาสตร์ของสถานการณ์นั้น ๆ มากขึ้น หลังจากที่ได้ตัวแบบมาก็จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ วิเคราะห์ และใช้กฎเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์แก้ปัญหานั้น ๆ เพื่อใช้คำตอบที่ได้มาเป็นตัวแทนคำตอบในการตอบปัญหาสถานการณ์จริง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับสาขาวิชาต่าง ๆ นอกจากนี้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์มีระดับความยาก-ง่ายที่ต่างกัน ซึ่งมีตั้งแต่ ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรเดียว ฟังก์ชันเดียว ไปจนถึงตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่มีหลายตัวแปรและมีฟังก์ชันนับพัน โดยองค์ประกอบของตัวแบบจะประกอบไปด้วย

- ตัวแปร (Variable) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรอื่น ๆ
- ตัวแปรเสริม (parameter) หรือพารามิเตอร์ เป็นตัวแปรที่มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ เป็นค่าคงที่
- รูปแบบฟังก์ชันต่าง ๆ (relational function) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและตัวแปรเสริม
- ข้อจำกัด (constraint) คือ ข้อจำกัดของค่าตัวแปรต่าง ๆ

5. ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Models)

ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น นำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อที่จะให้กิจกรรมสามารถดำเนินการได้โดยใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยด้วยการนำเอาเงื่อนไขข้อกำหนดต่างๆ ทั้งด้านของจำนวนคน จำนวนวัตถุดิบ เป็นต้น นำมาสร้างเป็นสมการหรือสมการ จากนั้นนำตัวแบบที่ได้ไปแก้ปัญหาด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้คำตอบที่สอดคล้องกับเป้าหมายที่ต้องการและเงื่อนไขข้อกำหนดต่างๆ การจัดสรรทรัพยากรด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์โปรแกรมเชิงเส้น ได้ถูกสร้างขึ้นมามุ่งหวังจะให้ได้ผลประโยชน์มากที่สุด (Optimum) ภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่ในขณะนั้น เช่นการทำการใดให้ได้มากที่สุด การทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานน้อยที่สุด โดยมีตัวแปรในการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น เป้าหมายที่ต้องการเราเรียกว่าฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งประกอบไปด้วย 2 รูปแบบ ได้แก่ เป้าหมายในการหาค่าต่ำสุดและเป้าหมายในการหาค่าสูงสุด โดยอยู่ภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ของทรัพยากรหรือข้อจำกัดที่มีอยู่ในขณะนั้น

6. การแก้ปัญหาโดยวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method)

การใช้วิธีซิมเพล็กซ์เพื่อแก้ปัญหาคำถามการกำหนดการเชิงเส้น เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของการแก้ปัญหาด้วยวิธีการที่ สามารถใช้ได้สำหรับตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นที่มีตัวแปรเพื่อการตัดสินใจเพียง 2 ตัวแปร ใน

ที่นี้สามารถแบ่งลักษณะของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น เพื่อการศึกษาการใช้วิธีซิมเพล็กซ์สำหรับแก้ปัญหา กำหนดการเชิงเส้นออกเป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

1) ปัญหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าสูงสุด ($MaxZ$) เงื่อนไขบังคับเป็นเครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ($\leq$) ทุกสมการ

2) ปัญหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าต่ำสุด ($MinZ$) เงื่อนไขบังคับเป็นเครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ($\leq$) ทุกสมการ

3) ปัญหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าสูงสุด ($MaxZ$) หรือค่าต่ำสุด ($MinZ$) เงื่อนไขบังคับเป็นเครื่องหมายมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$)

4) ปัญหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าสูงสุด ($MaxZ$) หรือค่าต่ำสุด ($MinZ$) บังคับเป็นเครื่องหมายเท่ากับ (=)

เงื่อนไขของวิธีซิมเพล็กซ์และการจัดให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน

ไม่ว่าตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจะมีลักษณะแบบใดทั้ง 4 ลักษณะ มีหลักในการจัดให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อาจจะเป็นค่าสูงสุด ($MaxZ$) หรือค่าต่ำสุด ($MinZ$) อย่างใดอย่างหนึ่ง

2) เงื่อนไขบังคับทุกข้อต้องมีเครื่องหมายเท่ากับ (=)

2.1) ถ้าเงื่อนไขบังคับเดิมมีเครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ($\leq$) ให้บวก (+) ตัวแปรส่วนขาด (Slack Variable) เข้าไปในสมการเงื่อนไขบังคับนั้น แล้วจึงเปลี่ยนเครื่องหมายจาก น้อยกว่าหรือเท่ากับ เป็นเครื่องหมายเท่ากับ (=)

2.2) ถ้าเงื่อนไขบังคับเดิมมีเครื่องหมายมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) ให้ลบ (-) ตัวแปรส่วนเกิน (Surplus Variable: S) เข้าไปในสมการเงื่อนไขบังคับนั้น และทำการบวก (+) ตัวแปรเทียม (Artificial Variable: A) เข้าไปด้วยแล้วจึงทำการเปลี่ยนเครื่องหมายจากมากกว่าหรือเท่ากับ เป็นเครื่องหมายเท่ากับ (=)

2.3) ถ้าเงื่อนไขบังคับเดิมมีเครื่องหมายเท่ากับ (=) อยู่แล้ว ให้บวก (+) ตัวแปรเทียม (Artificial Variable: A) เข้าไปในสมการเงื่อนไขบังคับนั้นเลย

3) ค่าทางขวามือของสมการเงื่อนไขบังคับทุกข้อต้องไม่ติดลบหรือมีค่าเป็นบวก

4) ตัวแปรทุกตัวต้องไม่ติดลบ

ขั้นตอนในการแก้ปัญหาของซิมเพล็กซ์ มีขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การจัดให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน ประกอบด้วย

1.1 ขั้นตอนการเปลี่ยนเครื่องหมายสมการ (หรือ 2) ในสมการเงื่อนไขบังคับ ให้เป็นเครื่องหมายเท่ากับ (=)

1.2 ขั้นตอนการนำ OS บวกเพิ่มเข้าไปในสมการเป้าหมาย แล้วย้ายข้างสมการ เป้าหมายไปด้านซ้ายมือของสมการเดิม

1.3 นำสมการเงื่อนไขบังคับและสมการเป้าหมายที่เปลี่ยนเครื่องหมายและย้ายข้าง แล้วไปลงตารางซิมเพล็กซ์เบื้องต้น

ขั้นที่ 2 การตรวจสอบผลลัพธ์ (Optimality Criterion) ซึ่งมีหลักในการตรวจสอบดังนี้

- 2.1 ถ้าผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้ว จะถือว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นคำตอบ
- 2.2 ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ถ้าเป็นปัญหาการหาค่าไรสูงสุด แสดงว่าสามารถเพิ่มกำไรหรือผลตอบแทนได้อีก แต่ถ้าเป็นกรณีของการหาต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายต่ำสุด แสดงว่ายังสามารถลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายลงได้อีก

ขั้นที่ 3 การปรับผลลัพธ์เพื่อให้ค่าตามสมการเป้าหมายดีขึ้น โดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข บังคับทุกข้อที่มีอยู่ โดยการกลับไปทบทวนในขั้นที่ 2 เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์อีกครั้งว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดหรือยัง ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาตัวแบบโดยวิธีซิมเพล็กซ์ในแต่ละลักษณะ มีรายละเอียดดังนี้

ปัญหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ค่าสูงสุด ($MaxZ$) หรือค่าต่ำสุด ($MinZ$) เงื่อนไขบังคับเป็นเครื่องหมายมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) ทุกสมการ

จากการแก้ปัญหาวิธีซิมเพล็กซ์ใน 2 ลักษณะแรกที่มีเงื่อนไขบังคับเป็นเครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ มีวิธีการส่วนใหญ่เหมือนกันต่างกันเพียงขั้นตอนการเลือกตัวแปรเข้าและการ เลือกตัวแปรออกในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการแก้ปัญหาวิธีซิมเพล็กซ์ กรณีที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าเป็นค่าสูงสุด ($MaxZ$) หรือค่าต่ำสุด ($MinZ$) ที่มีเครื่องหมายมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) เหมือนกัน ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบผลลัพธ์และการพัฒนาผลลัพธ์ที่เหมือนกันแต่จะแตกต่างกันเพียงขั้นตอนเดียวคือ ขั้นตอนการตั้งผลลัพธ์เบื้องต้นหรือขั้นตอนที่ 1 นั่นเอง วิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา 2 วิธี คือ วิธี Big-M และวิธีปัญหาควบคู่ (Dual Problem) ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้ (สุกัญญา เรืองสุวรรณ, 2542).

วิธี Big-M มีวิธีการดังนี้

หลักการตั้งผลลัพธ์เบื้องต้นหรือการจัดให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน กรณีเงื่อนไขบังคับ เป็นเครื่องหมายมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) ซึ่งมีวิธีการดังนี้ (สุทธิมา, 2555: 82-83 และสมพล, 2544: 90-91)

1) เติมตัวแปรส่วนเกิน (Surplus Variable) ในเงื่อนไขบังคับข้อนั้นโดยการลบ แล้วเปลี่ยนเงื่อนไขบังคับนั้นให้มีเครื่องหมายเท่ากับ ($=$)

2) บวก (+) ตัวแปรเทียม (Artificial Variable) ในเงื่อนไขบังคับข้อนั้น โดยใช้ สัญลักษณ์ “A”

3) เติม OS ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยการบวก (+)

4) พิจารณาว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นเป็น Max หรือ Min โดย

4.1) ถ้าเป็น $MaxZ$ ให้เติม $-A$ ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์

4.2) ถ้าเป็น $MinZ$ ให้เติม $+A$ ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์

โดยที่ A คือเลขบวกที่มีค่ามาก หรือ $A \rightarrow \infty$

จากที่มีการเติมตัวแปรส่วนเกินโดยการลบเข้าไปในสมการเงื่อนไขบังคับ และระหว่างนี้ต้องบวกตัวแปรเทียม (A) เข้าไปในสมการเงื่อนไขบังคับก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นเครื่องหมายเท่ากับ ($=$)

หลักการเกี่ยวกับตัวแปรเทียม (Artificial Variable)

1) ตัวแปรเทียมเป็นตัวแปรที่ไม่ได้มีค่าทางตัวเลขที่แท้จริง เพราะการบวกเพิ่มเข้าไปยังคงทำให้สมการเงื่อนไขบังคับมีเครื่องหมายเท่ากับเช่นเดิม แต่จำเป็นต้องใส่เข้ามาในสมการ เงื่อนไขบังคับเพื่อช่วยให้การตั้งผลลัพธ์เบื้องต้นหรือการตั้งตามรูปแบบมาตรฐาน

2) ตัวแปรเทียมจะทำหน้าที่เป็นตัวแปรพื้นฐาน

3) ในตารางสุดท้ายที่มีคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ตัวแปรเทียม (A) จะต้องมีค่า เท่ากับศูนย์

4) เมื่อนำตัวแปรเทียมบวกเข้าไปในสมการเงื่อนไขบังคับ จะต้องนำตัวแปรเทียม เดิมเข้าไปในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วย โดยให้มีสัมประสิทธิ์เป็น

4.1) -A สำหรับกรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าสูงสุด ($MaxZ$)

4.2) +A สำหรับกรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าต่ำสุด ($MinZ$)

ส่วนหลักการเปลี่ยนเครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ($\leq$) ให้เป็นเครื่องหมายเท่ากับ ($=$) ใช้หลักการเดิม คือ การบวกตัวแปรส่วนขาด (S) เข้าไปในเงื่อนไขบังคับ พร้อมกับบวกเพิ่ม (OS) เข้าไปในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทั้งนี้หลักการแก้ปัญหาทั้งกรณีที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าสูงสุด ($MaxZ$) และฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าต่ำสุด ($MinZ$) จะมีใช้หลักการเดียวกัน

วิธีปัญหาควคู่ (Dual Problem)

เป็นวิธีการหาคำตอบที่ง่าย เหมือนกับวิธีการหาคำตอบโดยค่าสูงสุดกรณีที่เงื่อนไขบังคับเป็นเครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ($\leq$) หรือกรณี ก แต่มีขั้นตอนเพิ่มขึ้นมา 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกต้องเปลี่ยนปัญหาเดิม ($\leq$) ให้เป็นปัญหาควคู่ ($\geq$) แล้วหาค่าโดยวิธีซิมเพล็กซ์เช่นเดียวกับกรณีวิธี Big-M ก็จะได้คำตอบที่ดีที่สุดเป็นค่าที่เท่ากับปัญหาเดิม แต่คำตอบจะไม่อยู่ตำแหน่งเดิม

7. การทดสอบไบยูเรต (Biuret Test)

เป็นการทดสอบที่ใช้ตรวจหาพันธะเปปไทด์ในตัวอย่างและใช้ทดสอบการมีอยู่ของโปรตีนหรือเปปไทด์ โปรตีนและเปปไทด์เป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโนพวกมันเป็นสายโซ่ของกรดอะมิโน รวมถึงโมเลกุลชีวภาพ ไอออน หรือสารประกอบอื่นๆ กรดอะมิโนจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่เรียกว่าพันธะเปปไทด์ระหว่างคาร์บอนหมายเลขหนึ่ง (C_1 ,ของกรดอะมิโนหนึ่งกับไนโตรเจนหมายเลขสอง (N_2 ,ของกรดอะมิโนที่อยู่ติดกัน การเกิด พันธะเปปไทด์เป็นปฏิกิริยาควแน่นในกระบวนการนี้ หมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอะมิโน ตัวหนึ่งจะสูญเสียไฮโดรเจนและออกซิเจน หมู่เอ มีนของกรดอะมิโนอีกตัวหนึ่งจะสูญเสียไฮโดรเจนและคาร์บอนที่เปิดเผยของ กรดอะมิโน ตัว แรกและไนโตรเจนที่เปิดเผยของกรดอะมิโนตัวที่สองจะรวมกันเพื่อสร้างไดเปปไทด์ที่มีพันธะเปปไทด์ ($-CO-NH-$)อะตอมไนโตรเจนในพันธะเปปไทด์ของโปรตีนและเปปไทด์มีอิเล็กตรอนที่ไม่ใช้ร่วมกันอิเล็กตรอนที่ไม่ใช้ร่วมกันเหล่านี้ในพันธะเปปไทด์ในสภาพแวดล้อมที่เป็นด่างสามารถถูกใช้โดยไอออนคิวปริก (Cu^{2+}) ที่มีอยู่ในรีเอเจนต์ไบยูเรต เพื่อสร้างสารเชิงซ้อนที่มีสีม่วงหรือสีม่วงเข้มการทดสอบทางเคมีแบบวัดสีที่ใช้ตรวจจับพันธะเปปไทด์โดยใช้รีเอเจนต์ไบยูเรต เรียกว่าการทดสอบไบ

ยูเรตหรือเรียกอีกอย่างว่าปฏิกิริยาของปิโอโตรฟสกีตามชื่อของกุสตาฟ ปิโอโตรฟสกี นักสรีรวิทยาชาวโปแลนด์ ผู้สังเกตปรากฏการณ์นี้ใน ปี 1857 และนำมาใช้ตรวจจับโปรตีนในตัวอย่างในการทดสอบด้วยสารละลายไบยูเรตนั้น ไม่ได้ใช้สารประกอบไบยูเรตโดยตรง ไบยูเรตเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตรโมเลกุล

$HN(CONH_2)_2$ ซึ่งเกิดจากการควบแน่นของโมเลกุลยูเรียสองโมเลกุลเมื่อยูเรียถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C ปฏิกิริยาที่คล้ายกัน ซึ่งให้สารประกอบเชิงซ้อนสีม่วงนั้นถูกสังเกตพบครั้งแรกเมื่อไบยูเรตทำปฏิกิริยากับไอออน Cu^{+2} เนื่องจากไบยูเรตมีพันธะที่คล้ายกับพันธะเปปไทด์ดังนั้นการทดสอบนี้จึงถูกตั้งชื่อว่าการทดสอบไบ ยูเรตเนื่องจากความคล้ายคลึงกันของผลิตภัณฑ์

สุดท้ายการทดสอบนี้ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจหาการมีอยู่ของเปปไทด์หรือโปรตีนในตัวอย่างเป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ ซึ่งสามารถระบุได้เพียงการมีอยู่หรือไม่มีอยู่ของพันธะเปปไทด์เท่านั้น แต่ไม่ได้แสดงถึงปริมาณและชนิดของโปรตีนที่แน่นอน (Dahal, 2024)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ (2561) ได้สร้างสูตรอาหารต้นทุนต่ำของเบ็ดไขโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบที่ดีที่สุด ผลการศึกษาพบว่า สูตรอาหารสำหรับเบ็ดไขในช่วงอายุ 9 - 20 สัปดาห์ ประกอบด้วย วัตถุดิบ 5 ชนิด ได้แก่ มันสำปะหลัง (มันเส้น) 0.459 กิโลกรัม กากถั่วเหลือง 0.154 กิโลกรัม กากเมล็ดทานตะวัน 0.278 กิโลกรัม เปลือกหอยป่น 0.011 กิโลกรัม และกระดูกป่น 0.024 กิโลกรัม โดยราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับ 8.486 บาท ในขณะที่วัตถุดิบสำหรับสูตรอาหารสำหรับเบ็ดไขในช่วงอายุ 24 - 48 สัปดาห์ มี 4 ชนิด ประกอบด้วย มันสำปะหลัง (มันเส้น) กากเมล็ดทานตะวัน เปลือกหอยป่น และกระดูกป่น จำนวนเท่ากับ 0.326, 0.675, 0.049 และ 0.023 ตามลำดับ ราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับ 8.598 บาท

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) โดยประยุกต์ใช้หลักการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อพัฒนาสูตรอาหารชั้นสำหรับแพะนมพันธุ์แอ่งโกลนุเบียนในช่วงให้นม ที่มีต้นทุนต่ำที่สุดและมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์ ภายใต้ข้อจำกัดด้านสารอาหาร และข้อกำหนดของวัตถุดิบ โดยใช้วิธี Two-Phase Simplex Method ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

การออกแบบการทดลอง

1. ข้อมูลสารอาหาร

แพะพันธุ์แอ่งโกลนุเบียน ในช่วงให้นมบุตรจำเป็นต้องได้กินหญ้าสดอย่างเต็มที่ และเสริมด้วยอาหารชั้น ปริมาณ 800 กรัมต่อวัน หรือ 400 กรัมต่อมือ ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และ ฟอสฟอรัส ในปริมาณ ดังนี้

ตารางที่ 2 ความต้องการสารอาหารของแพะนมพันธุ์แอ่งโกลนุเบียนในช่วงให้นม

สารอาหาร	ปริมาณในอาหารชั้น	ความต้องการต่อวัน (กรัม)	ความต้องการต่อมือ (กรัม)
โปรตีน	16%	128	64
ไขมัน	3%	24	12
เยื่อใย	10%	80	40
แคลเซียม	0.7%	5.6	2.8
ฟอสฟอรัส	0.45%	3.6	1.8

2. ข้อมูลวัตถุดิบ

ตารางที่ 3 ข้อมูลวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ตัวแปร (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เยื่อใย (กรัม)	แคลเซียม (กรัม)	ฟอสฟอรัส (กรัม)	ราคาต่อ 1 กรัม (บาท)
อาหารแพะ สำเร็จรูปสูตร 991-16	x_1	0.16	0.025	0.13	0.007	0.0045	0.019
กากถั่วเหลือง	x_2	0.476	0.032	0.066	0.0038	0.0066	0.01615
รำละเอียด	x_3	0.12	0.12	0.11	0.0006	0.014	0.0098
ใบกระถินแห้งป่น	x_4	0.226	0.058	0.142	0.016	0.0025	0.025
ใบตำลึงแห้งบด	x_5	0.363	0.035	0.107	0.0306	0.0039	0.035

3. การสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นและการหาคำตอบด้วยวิธีTwo phase method (Simplex)

กำหนดตัวแปรทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 แสดงถึงปริมาณวัตถุดิบที่จะใส่ลงไปในอาหาร สำหรับแพะ ดังนี้

x_1 แสดงถึงปริมาณอาหารแพะสูตร 991-16 (กรัม)

x_2 แสดงถึงปริมาณกากถั่วเหลือง (กรัม)

x_3 แสดงถึงปริมาณรำละเอียด (กรัม)

x_4 แสดงถึงปริมาณใบกระถินแห้งป่น (กรัม)

x_5 แสดงถึงปริมาณใบตำลึงแห้งบด (กรัม)

โดยมีฟังก์ชันเป็นราคาต้นทุนที่ต่ำที่สุดในรูปแบบอสมการเชิงเส้น ดังนี้

$$\text{Min } Z = 0.019x_1 + 0.016x_2 + 0.01x_3 + 0.025x_4 + 0.035x_5$$

$$\text{โปรตีน} \quad 0.16x_1 + 0.476x_2 + 0.12x_3 + 0.226x_4 + 0.363x_5 \geq 64$$

$$\text{ไขมัน} \quad 0.025x_1 + 0.032x_2 + 0.12x_3 + 0.058x_4 + 0.035x_5 \geq 12$$

$$\text{เยื่อใย} \quad 0.13x_1 + 0.066x_2 + 0.11x_3 + 0.142x_4 + 0.107x_5 \leq 40$$

$$\text{แคลเซียม} \quad 0.007x_1 + 0.004x_2 + 0.001x_3 + 0.016x_4 + 0.031x_5 \geq 2.8$$

$$\text{ฟอสฟอรัส} \quad 0.005x_1 + 0.007x_2 + 0.014x_3 + 0.003x_4 + 0.004x_5 \geq 1.8$$

$$x_2 + x_5 \geq 200$$

$$x_4 \geq 40$$

$$x_4 \leq 80$$

$$x_2 + x_3 \geq 50$$

$$x_1 + x_4 \geq 100$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq 400$$

$$\text{และ } x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0 ;$$

4. กระบวนการผลิตและขึ้นรูปอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับแพะ

1. เตรียมวัตถุดิบและชั่งตวงส่วนผสมแต่ละชนิดตามอัตราส่วนที่กำหนดในสูตร

2. นำส่วนผสมทั้งหมดผสมให้เข้ากันจากนั้นเติมน้ำปริมาณเล็กน้อยและคลุกเคล้ากับส่วนผสมเพื่อให้ส่วนผสมจับตัวเป็นก้อนง่ายขึ้น

3. บรรจุส่วนผสมที่ผสมแล้วลงในกระบอกฉีดยาที่ใช้เป็นอุปกรณ์ขึ้นรูปหลังจากนั้นอัดส่วนผสมออกจากกระบอกฉีดยาเพื่อขึ้นรูปเป็นเม็ดอาหารให้มีขนาดใกล้เคียงกัน

4. นำเม็ดอาหารที่ขึ้นรูปแล้วไปตากแดดจนแห้งและมีความแข็งเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและการนำไปใช้

5. นำไปบรรจุใส่ภาชนะเพื่อรักษาคุณภาพและป้องกันความชื้น

5. การทดสอบประสิทธิภาพและการนำอาหารเม็ดไปใช้ในฟาร์มจริง

1. คัดเลือกแพะจำนวน 2 ตัวพันธุ์เดียวกัน วัยเดียวกัน ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน และแยกเลี้ยงในคอกที่มีสภาพแวดล้อมเดียวกัน เพื่อควบคุมตัวแปร
2. กำหนดให้แพะตัวที่ 1 ได้รับอาหารขั้นสำเร็จรูปทั่วไป
กำหนดให้แพะตัวที่ 2 ได้รับอาหารขั้นสูตรที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนม
ให้อาหารทั้งสองสูตรในปริมาณและระยะเวลาเท่ากันและจัดการด้านน้ำดื่มและการเลี้ยงดูเหมือนกัน
3. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง เก็บตัวอย่างน้ำนมจากแพะทั้งสองตัวในปริมาณเท่ากัน
4. นำตัวอย่างน้ำนมไปตรวจสอบคุณภาพ โดยทดสอบปริมาณโปรตีนด้วยสารละลายไบยูเรต

6. การทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะโดยใช้สารละลายไบยูเรต

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. หลอดทดลอง
2. ขันวางหลอดทดลอง
4. ปีกเกอร์
5. กระบอกตวง
7. นาฬิกาจับเวลา
8. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำนม
10. น้ำนมแพะ (น้ำนมแพะที่กินอาหารขั้นแพะทางเลือกจากการทดลองสูตรที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมและน้ำนมแพะจากการกินอาหารขั้นสำเร็จรูป)
11. สารละลายไบยูเรต
12. น้ำกลั่น

วิธีการดำเนินการทดสอบ

1. นำน้ำกลั่น นมแพะที่กินอาหารเม็ดทดลอง และนมแพะที่กินอาหารปกติ ที่เตรียมไว้ใส่ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด หลอดละ 1 mL
2. เติมสารละลายไบยูเรตจำนวน 5 mL ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ ประมาณ 30 นาที
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายในแต่ละหลอดและบันทึกผล

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

จากการนำ Two phase Simplex Method มาแก้สมการเชิงเส้นเพื่อหาสูตรอาหารชั้นสำหรับแพะนมพันธุ์แอ่งโคลนเบียน กำหนดตัวแปรทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ แสดงถึงปริมาณวัตถุดิบที่จะใส่ลงไปในอาหารชั้นสำหรับแพะ ดังนี้

x_1 แสดงถึงปริมาณอาหารแพะสูตร 991-16 (กรัม)

x_2 แสดงถึงปริมาณกากถั่วเหลือง (กรัม)

x_3 แสดงถึงปริมาณรำละเอียด (กรัม)

x_4 แสดงถึงปริมาณใบกระถินแห้งป่น (กรัม)

x_5 แสดงถึงปริมาณใบตำลึงแห้งบด (กรัม)

โดยมีฟังก์ชันเป็นราคาต้นทุนที่ต่ำที่สุดในรูปแบบสมการเชิงเส้น ดังนี้

$$\text{Min } Z = 0.019x_1 + 0.016x_2 + 0.01x_3 + 0.025x_4 + 0.035x_5$$

โปรตีน $0.16x_1 + 0.476x_2 + 0.12x_3 + 0.226x_4 + 0.363x_5 \geq 64$

ไขมัน $0.025x_1 + 0.032x_2 + 0.12x_3 + 0.058x_4 + 0.035x_5 \geq 12$

เยื่อใย $0.13x_1 + 0.066x_2 + 0.11x_3 + 0.142x_4 + 0.107x_5 \leq 40$

แคลเซียม $0.007x_1 + 0.004x_2 + 0.001x_3 + 0.016x_4 + 0.031x_5 \geq 2.8$

ฟอสฟอรัส $0.005x_1 + 0.007x_2 + 0.014x_3 + 0.003x_4 + 0.004x_5 \geq 1.8$

$$x_2 + x_5 \geq 200$$

$$x_4 \geq 40$$

$$x_4 \leq 80$$

$$x_2 + x_3 \geq 50$$

$$x_1 + x_4 \geq 100$$

$$\text{และ } x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0 ;$$

จัดระบบสมการให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานโดยเติม ตัวแปรขาด (s_n) และตัวแปรเทียม (A_n) โดยที่ n เป็นจำนวนนับ จะได้ระบบสมการดังนี้

After introducing slack,surplus,artificial variables

$$\text{Min } Z = 0.019x_1 + 0.016x_2 + 0.01x_3 + 0.025x_4 + 0.035x_5 + 0S_1 + 0S_2 + 0S_3 + 0S_4 + 0S_5 + 0S_6 + 0S_7 + 0S_8 + 0S_9 + 0S_{10} + 0S_{11} + MA_1 + MA_2 + MA_3 + MA_4 + MA_5 + MA_6 + MA_7 + MA_8 + MA_9$$

subject to

$$\begin{array}{rcll} 0.16x_1 + 0.476x_2 + 0.12x_3 + 0.226x_4 + 0.363x_5 - S_1 & & + A_1 & = 64 \\ 0.025x_1 + 0.032x_2 + 0.12x_3 + 0.058x_4 + 0.035x_5 - S_2 & & + A_2 & = 12 \\ 0.13x_1 + 0.066x_2 + 0.11x_3 + 0.142x_4 + 0.107x_5 + S_3 & & & = 40 \\ 0.007x_1 + 0.004x_2 + 0.001x_3 + 0.016x_4 + 0.031x_5 - S_4 & & + A_3 & = 2.8 \\ 0.005x_1 + 0.007x_2 + 0.014x_3 + 0.003x_4 + 0.004x_5 - S_5 & & + A_4 & = 1.8 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 - S_6 & & + A_5 & = 400 \\ x_2 + x_3 + x_4 + x_5 - S_7 & & + A_6 & = 200 \\ x_4 - S_8 & & + A_7 & = 40 \\ x_4 + S_9 & & & = 80 \\ x_2 + x_3 - S_{10} & & + A_8 & = 50 \\ x_1 + x_4 - S_{11} & & + A_9 & = 100 \end{array}$$

$$\text{and } x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9 \geq 0$$

เป็นจุดหมุนของคอลัมน์นั้น ดังนั้น R_{10} จะเป็นจุดหมุนและตอนนี้จุดหมุนมีค่าเป็น 1 แล้ว ดังนั้นดำเนินการตัวอื่นๆในคอลัมน์ให้เป็น 0 ตัวอย่างเช่น ในแถว R_5 จะได้ $R_5 - 0.007R_{10}$

Tableau-2	C_j	0.019	0.016	0.01	0.025	0.035	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M			
C_B	Basis	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	RHS	Ratio = $\frac{RHS}{x_4}$	
$R_1\ M$	A_1	0.16	0	-0.356	0.226	0.363	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.476	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.476	0	40.2	$\frac{40.2}{0.226} = 177.8761$
$R_2\ M$	A_2	0.025	0	0.088	0.058	0.035	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.032	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.032	0	10.4	$\frac{10.4}{0.058} = 179.3103$
$R_3\ 0$	s_3	0.13	0	0.044	0.142	0.107	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.066	0	36.7	$\frac{36.7}{0.142} = 258.4507$
$R_4\ M$	A_3	0.007	0	-0.003	0.016	0.031	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0.004	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.004	0	2.6	$\frac{2.6}{0.016} = 162.5$
$R_5\ M$	A_4	0.005	0	0.007	0.003	0.004	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0.007	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.007	0	1.45	$\frac{1.45}{0.003} = 483.3333$
$R_6\ M$	A_5	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	350	$\frac{350}{1} = 350$	
$R_7\ M$	A_6	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	150	$\frac{150}{0}$ (ignore, denominator is 0)	
$R_8\ M$	A_7	0	0	0	(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	40	$\frac{40}{1} = 40 \rightarrow$	
$R_9\ 0$	s_9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	$\frac{80}{1} = 80$	
$R_{10}\ 0.016$	x_2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	50	$\frac{50}{0}$ (ignore, denominator is 0)	
$R_{11}\ M$	A_9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	$\frac{100}{1} = 100$	
	Z_j	2.197M	0.016	-1.264M + 0.016	3.303M	2.433M	-M	-M	0	-M	-M	-M	-M	0	2.519M - 0.016	-M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-2.519M + 0.016	M	$Z = 694.65M + 0.8$	
	$C_j - Z_j$	-2.197M + 0.019	0	1.264M - 0.006	-3.303M + 0.025 ↑	-2.433M + 0.035	M	M	0	M	M	M	M	0	-2.519M + 0.016	M	0	0	0	0	0	0	0	0	3.519M - 0.016	0			

จากนั้นดำเนินการโดยใช้วิธีซิมเพล็กซ์ จะได้ตารางสุดท้ายดังนี้

Tableau-11	C_j	0.019	0.016	0.01	0.025	0.035	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
C_B	Basis	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	RHS	Ratio
R_1 0	S_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	37.037	0	-1.037	-0.1111	0	0.3333	1	0.7778	0	0	-37.037	0	1.037	0.1111	0	-1	-0.7778	232.2222	
R_2 0.01	x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-1	0	0	-1	100	
R_3 0	S_3	0	0	0	0	0	0	0	1	1.5185	0	0.1085	-0.0486	0	0.0017	0	0.0109	0	0	-1.5185	0	-0.1085	0.0486	0	0	-0.0109	1.1111	
R_4 0.035	x_5	0	0	0	0	1	0	0	0	-37.037	0	0.037	0.1111	0	-0.3333	0	0.2222	0	0	37.037	0	-0.037	-0.1111	0	0	-0.2222	17.7778	
R_5 0	S_2	0	0	0	0	0	0	1	0	-0.1111	0	-0.1199	0.0883	0	0.032	0	0.0957	0	-1	0.1111	0	0.1199	-0.0883	0	0	-0.0957	11.5933	
R_6 0	S_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1111	1	-0.0141	0.0067	0	-0.001	0	0.0083	0	0	-0.1111	-1	0.0141	-0.0067	0	0	-0.0083	1.2867	
R_7 0	S_1	0	0	0	0	0	1	0	0	4.1852	0	-0.1242	-0.3686	0	0.1037	0	-0.0651	-1	0	-4.1852	0	0.1242	0.3686	0	0	0.0651	62.4711	
R_8 0.025	x_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	
R_9 0	S_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	40	
R_{10} 0.016	x_2	0	1	0	0	0	0	0	0	37.037	0	-0.037	-1.1111	0	0.3333	0	-0.2222	0	0	-37.037	0	0.037	1.1111	0	0	0.2222	182.2222	
R_{11} 0.019	x_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	
	Z_j	0.019	0.016	0.01	0.025	0.035	0	0	0	-0.7037	0	-0.0093	-0.0039	0	-0.0003	0	-0.0048	0	0	0.7037	0	0.0093	0.0039	0	0	0.0048	$Z = 6.9178$	
	$C_j - Z_j$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7037	0	0.0093	0.0039	0	0.0003	0	0.0048	M	M	$M - 0.7037$	M	$M - 0.0093$	$M - 0.0039$	M	M	$M - 0.0048$		

Since all $C_j - Z_j \geq 0$

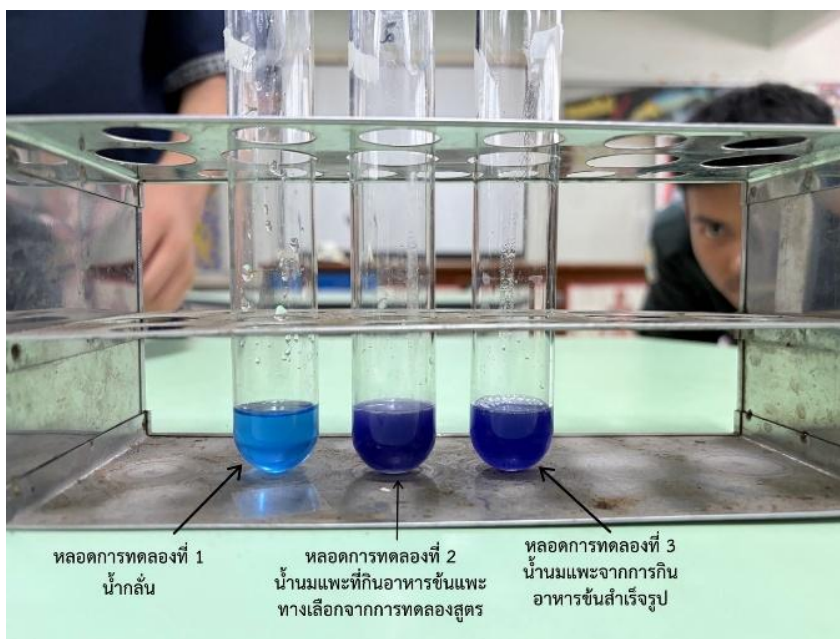
Hence, optimal solution is arrived with value of variables as :

$$x_1 = 20, x_2 = 182.2222, x_3 = 100, x_4 = 80, x_5 = 17.7778$$

$$\text{Min } Z = 6.9178$$

จากการทดสอบประสิทธิภาพและการนำอาหารเม็ดไปใช้ในฟาร์มจริง ผลปรากฏว่าแพะที่ได้กินอาหารชั้นแพะทางเลือกสูตรที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำนมนั้น แพะได้กินแบบปกติเหมือนกับการกินอาหารชั้นแพะสำเร็จรูปทั่วไป โดยที่ไม่ได้มีการเลือกกินแต่อย่างใด

ผลการทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะโดยใช้สารละลายไบยูเรต



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะด้วยสารละลายไบยูเรต

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะโดยใช้สารละลายไบยูเรต

หลอดที่	สารที่นำมาทดสอบ	ปริมาณสารที่ทดสอบ (mL)	ปริมาณสารละลายไบยูเรต (mL)	ผลการทดลอง
1	น้ำกลั่น	1	5	ไม่เปลี่ยนสี
2	น้ำนมแพะที่กินอาหารชั้นแพะทางเลือกจากการทดลองสูตร	1	5	สีม่วงเข้ม
3	น้ำนมแพะจากการกินอาหารชั้นสำเร็จรูป	1	5	สีม่วงแกมน้ำเงิน

การวิเคราะห์ผล

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของแพะที่ได้รับอาหารสูตรที่พัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพน้ำหนักแพะเมื่อนำมาทดสอบด้วยสารละลายไบยูเรตให้สีม่วงเข้มกว่าน้ำหนักของแพะที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปทั่วไปทั้งที่ใช้ปริมาณน้ำหนักและสารละลายไบยูเรตเท่ากันแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของแพะที่ได้รับอาหารสูตรที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเนื่องจากสารละลายไบยูเรตทำปฏิกิริยากับพันธะเปปไทด์ในโปรตีน ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนสีม่วง โดยความเข้มของสีสามารถใช้เปรียบเทียบแนวโน้มของปริมาณโปรตีนในตัวอย่างได้แต่การทดสอบไบยูเรตเป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ จึงไม่สามารถระบุปริมาณโปรตีนที่แน่นอนได้

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผล

การจัดทำโครงการคณิตศาสตร์ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสูตรอาหารขั้นต้นทุนต่ำสุดที่มีสารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนศาสตร์สำหรับแม่แพะพันธุ์แองโกลนูเบียนจากวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นจังหวัดพัทลุงโดยการประยุกต์ใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) หาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบอสมการเชิงเส้น ซึ่งกำหนดให้ตัวแปร x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 แทนปริมาณวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่อาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16,กากถั่วเหลืองรำละเอียด, ใบกระถินแห้งป่น และใบตำลึงแห้งบด ตามลำดับจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมคำนวณซิมเพล็กซ์เมื่อเงื่อนไขทุกตัวแปร พบว่า สูตรอาหารขั้นต้นที่เหมาะสมสำหรับแม่แพะในปริมาณ 400 กรัมต่อมื้อประกอบด้วยสัดส่วนวัตถุดิบดังนี้:

อาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16 (x_1): 20 กรัม

กากถั่วเหลือง (x_2): 182.22 กรัม

รำละเอียด (x_3): 100 กรัม

ใบกระถินแห้งป่น (x_4): 80 กรัม

ใบตำลึงแห้งบด (x_5): 17.78 กรัม

โดยสูตรอาหารดังกล่าวมีราคาต้นทุนต่ำที่สุด (Minimal Cost) ประมาณ 7 บาท ต่อมื้อ

จากการตรวจคุณภาพน้ำนม พบว่าตัวอย่างน้ำนมทุกกลุ่มมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ โดยการทดสอบด้วยสารละลายไบยูเรตให้สีม่วง ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนในน้ำนม ทั้งนี้ กลุ่มที่ให้สีม่วงเข้มกว่ามีแนวโน้มว่ามีปริมาณโปรตีนสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การประเมินจากความเข้มของสีเป็นเพียงการประเมินเชิงคุณภาพหรือกึ่งเชิงปริมาณ จึงไม่สามารถระบุค่าปริมาณโปรตีนที่แน่นอนได้ และควรใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือห้องปฏิบัติการหากต้องการผลเชิงปริมาณที่แม่นยำ

อภิปรายผล

จากผลการคำนวณด้วยวิธีซิมเพล็กซ์แสดงให้เห็นว่าระบบได้ทำการจัดสรรวัตถุดิบโดยเน้นการใช้กากถั่วเหลือง ($x_2 = 182.22$ กรัม) เป็นสัดส่วนหลักร่วมกับรำละเอียด ($x_3 = 100$ กรัม) เพื่อตอบสนองความต้องการโปรตีนและพลังงานที่สูงของแพะพันธุ์แองโกลนูเบียน ในขณะที่ใช้พืชอาหารสัตว์ท้องถิ่นอย่างใบกระถินแห้งป่น ($x_4 = 80$ กรัม) และใบตำลึงแห้งบด ($x_5 = 17.78$ กรัม) ถูกนำมาเสริมในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งช่วยลดการใช้อาหารแพะสำเร็จรูปสูตร 991-16 ($x_1 = 20$) เหลือเพียง 20 กรัมเท่านั้น

การลดสัดส่วนอาหารสำเร็จรูปและแทนที่ด้วยวัตถุดิบท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุงนี้สามารถควบคุมต้นทุนให้อยู่ที่ 6.92 บาทต่อมื้อ ได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าในความเป็นจริงราคาวัตถุดิบอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามกลไกตลาด แต่ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีความยืดหยุ่นสูงเกษตรกรสามารถปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ราคาในฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อคำนวณหาสัดส่วนใหม่ที่คุ้มค่าที่สุดได้ตลอดเวลา

ผลการทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะโดยใช้สารละลายไบยูเรตพบว่า กลุ่มแพะที่ได้รับสูตรอาหารชั้นที่มีปริมาณโปรตีนเพียงพอมีแนวโน้มให้น้ำนมที่ให้สีม่วงเข้มกว่าจากการทดสอบด้วยสารละลายไบยูเรต ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณโปรตีนในน้ำนมมากกว่า ผลดังกล่าวสอดคล้องกับหลักโภชนาศาสตร์สัตว์ที่ระบุว่า แพะระยะให้นมจำเป็นต้องได้รับโปรตีนอย่างเพียงพอ เนื่องจากโปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสังเคราะห์เคซีน (Casein) ซึ่งเป็นโปรตีนหลักในน้ำนม หากได้รับโปรตีนจากอาหารเพียงพอ จะช่วยรักษาคุณภาพและองค์ประกอบของน้ำนมได้นอกจากนี้ งานวิจัยยังรายงานว่า การลดระดับโปรตีนในอาหารของแพะนมมากเกินไป ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในน้ำนมลดลง จึงสนับสนุนว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกับสูตรอาหารที่ใช้ในการศึกษา

ข้อเสนอแนะ

1. องค์ความรู้และตัวแบบคณิตศาสตร์เชิงเส้นตรงนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณสูตรอาหารเพื่อลดต้นทุนในแพะระยะอื่นๆ ได้ เช่น แพะขุน หรือปรับใช้กับสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดอื่นๆ ในท้องถิ่น
2. เนื่องจากสูตรอาหารนี้มีสัดส่วนของกากถั่วเหลืองและรำละเอียดค่อนข้างสูง เกษตรกรควรจัดการให้อาหารร่วมกับอาหารหยาบ (หญ้าสด) อย่างเต็มที่เพื่อรักษาสมดุลเยื่อใยและป้องกันสภาวะกระเพาะเป็นกรด
3. ควรปรับปรุงสูตรอาหารชั้นให้มีความสมดุลของสารอาหาร โดยเฉพาะโปรตีนและพลังงาน เพื่อช่วยให้แพะได้รับสารอาหารเพียงพอสำหรับการสร้างน้ำนมที่มีคุณภาพ
4. ควรเพิ่มระยะเวลาการทดลองและจำนวนแพะที่ใช้ศึกษา เพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กว้างขึ้น ซึ่งเป็นหลักการทั่วไปของงานวิจัยด้านการผลิตสัตว์
5. ควรตรวจคุณภาพน้ำนมในหลายด้าน เช่น โปรตีน ไขมัน แลคโตส และของแข็งไม่รวมไขมัน (SNF) เพื่อให้สามารถประเมินคุณภาพน้ำนมได้ครบถ้วนยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- บุญเสริม ชีวะอิสระกุล. (2541). การปรับตัวและการให้ผลผลิตของแพะพันธุ์นมจากยุโรปในจังหวัด เชียงใหม่. คณะเกษตรศาสตร์ ม.เชียงใหม่
https://archive.lib.cmu.ac.th/full/res/2541/tressct490430_41_full.pdf
- กองบรรณาธิการสารานุกรมบริแทนนิกา. (1998). การเขียนโปรแกรมเชิงเส้น สืบค้นเมื่อ 30 ธันวาคม 2568 จาก <https://www.britannica.com/science/linear-programming-คณิตศาสตร์>.
- ทรงวิทย์ สุวรรณธาดา. (2560). หนังสือเรียน รายวิชาพื้นฐาน คณิตศาสตร์ เล่ม3 ชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 4-6. กรุงเทพฯ: แม็คเอ็ดดูเคชั่น.
- พิทยุทธ์ คงพ่วง และสุรชาติพิทย์ เลิศวิวัฒน์ชัยพร. (2561). การประยุกต์โปรแกรมเชิงเส้นตรงเพื่อหา สัดส่วนวัสดุธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกเห็ด.
- พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์. (2561). การวางแผนส่วนประกอบอาหารสำหรับเปิดไข่โดยใช้ตัวแบบทาง คณิตศาสตร์. ฟ้าอากาศ. (2556). การวิเคราะห์เชิงปริมาณ.
- [เอกสารประกอบการสอน]. อดุลธำนิ: คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- รัชฎา วิริยะพงศ์. (2564). ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ด้วยสมการเชิงอนุพันธ์เบื้องต้น. พิษณุโลก : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- รองศาสตราจารย์ ดร.พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์. (2560). กำหนดการเชิงเส้น.
- สุกัญญา เรืองสุวรรณ. (2542). การแก้ปัญหาการกำหนดการเชิงเส้น(Linear Programming) ด้วย Excel Solver. 76-83.
- สติเฟน เจ. ไรท์. (2009). วิธีซิมเพล็กซ์ 30 ธันวาคม 2568 จาก <https://www.britannica.com/topic/simplex-method>
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). (2566). การปรับปรุงพันธุ์แพะเนื้อ สมรรถภาพ การเจริญเติบโตและคุณภาพซากของแพะลูกผสม 50 % แองโกลนูเบียน-พื้นเมือง 50 % ชาเนน-พื้นเมือง. ระบบคลังข้อมูลวิจัยการเกษตร (TARR). สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2569
https://hectortarr.arda.or.th/api/uploaded_file/7Gw5uGM6x3-nMyeYEIDDV
- HDmall Team. (2567). นมแพะ ประโยชน์ สารอาหาร สรรพคุณ ข้อควรระวัง. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2569 จาก <https://hdmall.co.th/blog/c/goat-milk>
- กรมปศุสัตว์. (2546). การเลี้ยงแพะ . โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2569จากhttps://hectortarr.arda.or.th/api/uploaded_file/P3UHpCAoS43PmHLF0iJPG

สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์. (2567). คู่มือการปฏิบัติงานแพะและแกะ ประจำปี 2567. กลุ่มวิจัยและพัฒนาแพะและแกะ. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2569 จาก

https://breeding.dld.go.th/images/Manual/2567/Manual_Goatsheep_67.pdf

บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). CPFFeed Online Store. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2569 จาก <https://www.cpffeedonline.com/welcome>

ซีพีเอฟ ฟีด. (ม.ป.ป.). ราคาวัตถุดิบรายวัน. สืบค้นเมื่อ 6 กรกฎาคม 2569, จาก

<https://www.cpffeed.com/material3/>

กรมปศุสัตว์. (2567). คู่มือการเลี้ยงแพะและแกะ.

https://breeding.dld.go.th/images/Manual/2567/Manual_Goatsheep_67.pdf

National Research Council. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academies Press.

<https://doi.org/10.17226/11654>

Nicory, I. M. C., et al. (2023). Nutritional attributes of goat milk obtained from Anglo-Nubian, Moxotó, and Saanen breeds in different lactation phases. International Dairy Journal, 145, 105720. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105720>

Dahal, P. (2024, May 22). Biuret test for protein: Principle, procedure, results, uses.

Microbe Notes. <https://microbenotes.com/biuret-test-for-protein/>

ภาคผนวก

ภาพกระบวนการจัดทำโครงการคณิตศาสตร์

1.การประชุมวางแผนและการออกแบบแนวคิด



2.การลงพื้นที่สำรวจและศึกษาข้อมูลจากฟาร์มแพะ



3. การออกแบบโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์



3.กระบวนการผลิตและขึ้นรูปอาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับแพะ



4.การทดสอบประสิทธิภาพและการนำอาหารเม็ดไปใช้ในฟาร์มจริง



5.การทดสอบโปรตีนในน้ำนมแพะโดยใช้สารละลายไบยูเรต

