บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

พันธุ์สุกร

สุกรพื้นเมือง

สุกรพื้นเมืองเป็นสุกรที่เลี้ยงกันในประเทศไทยมานานแล้ว ซึ่งอาจสืบทอดสายพันธุ์มาจากสุกรป่า บางชนิดก็สืบสายพันธุ์มาจากสุกรของประเทศจีน แต่ในปัจจุบันมีจำนวนน้อยลงมาก อันเนื่องมาจากมีการนำเอาสุกรสายพันธุ์ยุโรปมาเลี้ยงในเชิงการค้า หรือนำมาผสมกับสุกรพื้นเมืองเพื่อพัฒนาสายพันธุ์พื้นเมืองให้ดีขึ้น ส่งผลให้สุกรพื้นเมืองเป็นสุกรที่หายาก มีเลี้ยงตามชนบทที่ห่างไกลหรือเลี้ยงโดยชาวเขาเป็นส่วนใหญ่ (จรัญ,2524; Rattanaronachart, 1994)

โดยทั่วไป สุกรพื้นเมืองสามารถแบ่งออกเป็น 4 สายพันธุ์ใหญ่ๆ (ประสบ,2526; อัญชลี, 2548) คือ

1. ไหหลำ (Hainan) เป็นสุกรที่เลี้ยงกันในภาคใต้ของประเทศไทย มีรูปร่างอ้วน ท้องยาน หลังแอ่น ลำตัวมีสีดำกับขาว โดยเฉพาะส่วนท้องมักมีสีขาว หน้าสั้น จมูกสั้นตรง หูตั้ง น้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 110 ถึง 120 กิโลกรัม

2. ราด (Raad) เลี้ยงกันมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเรียกว่า หมูราด และพบบ้างในภาคใต้ ซึ่งเรียกว่า หมูกระโดน เป็นสุกรที่มีสีดำทั้งตัว หลังแอ่นเล็กน้อย หน้าและจมูกยื่นยาว หูเล็กตั้ง น้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 60 ถึง 80 กิโลกรัม

3. พวง (Puang) พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย มีสีดำ ผิวหนังหยาบย่นมาก ขนแข็ง หลังแอ่น น้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 90 ถึง 110 กิโลกรัม

4. ควาย (Kwai) เป็นสุกรพื้นเมืองของไทยที่มีขนาดใหญ่ที่สุด นิยมเลี้ยงกันมากในภาคเหนือ มีสีดำทั้งตัว ยกเว้นแข้งและเท้าจะมีสีขาว รอบตามีวงแหวนสีขาว ใบหูใหญ่ปรกหน้า ลำตัวใหญ่ ตัวผู้น้ำหนักโตเต็มที่ประมาณ 125 ถึง 150 กิโลกรัม และตัวเมียโตเต็มที่หนักประมาณ 110 ถึง 125 กิโลกรัม

บุญลือ (2536) กล่าวว่าสุกรพื้นเมืองของไทยเป็นประเภทมัน (lard type) ส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีสีดำทั้งตัว ขาเล็ก ตัวเตี้ย สั้นป้อม ต้องใช้เวลาเลี้ยงนานประมาณ 12 – 15 เดือนเพื่อให้ได้น้ำหนัก 90 กิโลกรัม โดยทั่วไปสุกรพันธุ์พื้นเมืองมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำมากเมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทียบกับสุกรลูกผสมพื้นเมืองและสายพันธุ์ต่างประเทศ แต่สามารถกินอาหารได้หลากหลายกว่า ไม่เลือกกิน และให้ลูกดก เลี้ยงลูกเก่ง นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อโรคและสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าสุกรลูกผสมสายพันธุ์ยุโรป สอดคล้องกับการสำรวจของ ธีระ และ Falvey (2522) ที่พบว่า สุกรพื้นเมืองจะมีสีดำปลอด ยกเว้นข้อขาและพื้นท้องซึ่งมีสีขาว ลำตัวค่อนข้างสั้น หลังแอ่น หน้าเล็ก แหลมยาว แอ่นขึ้นเล็กน้อย ข้อเท้าเล็ก หูเล็กตั้ง ตัวค่อนข้างเล็ก ส่วนสมรรถภาพการเจริญพันธุ์ พบว่า สุกรพื้นเมืองมีอายุเป็นหนุ่มเป็นสาวเฉลี่ยประมาณ 5.8 เดือน จำนวนลูกต่อครอก 7.1 ตัว จำนวนลูกหย่านม 5.8 ตัวต่อครอก และน้ำหนักลูกแรกเกิดเป็น 864 กรัม

ธีระ และ โชค (2523) ได้สรุปจุดประสงค์ในการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองของกลุ่มชาวไทยภูเขา ดังนี้

1. ใช้บริโภคในงานประเพณีต่างๆ เช่น ทำบุญปีใหม่ ขึ้นบ้านใหม่ แต่งงาน เป็นต้น โดยประเพณีที่ชาวเขาให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกจะเป็นประเพณีฉลองปีใหม่

2. ใช้ในพิธีกรรมเลี้ยงผีต่างๆ เช่น ผีบรรพบุรุษ ผีบ้านผีเรือน ผีไร่นา หรือเลี้ยงผีที่ทำให้เจ็บป่วยหรือ ไม่สบาย ซึ่งการเลี้ยงผีของชาวเขาทุกเผ่าต้องใช้สัตว์ที่มีสีดำเท่านั้น

3. เลี้ยงเพื่อบริโภคในชีวิตประจำวันซึ่งมีน้อยราย

4. เลี้ยงเพื่อเป็นการสะสมทรัพย์สมบัติ โดยถือว่าสุกรเป็นทรัพย์สมบัติที่แสดงถึงความมั่งคั่งของผู้เลี้ยงได้เป็นอย่างดี

5. เลี้ยงไว้จำหน่าย ซึ่งจุดประสงค์นี้จะอยู่อันดับหลังสุด โดยสุกรต้องเหลือจากการทำพิธีหรือมีปริมาณมากพอจึงจะขายได้ ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ ธีรวัฒน์ (2541) ที่กล่าวว่า เกษตรกรชาวเขาที่เลี้ยงสุกรพื้นเมืองในปัจจุบันนิยมเลี้ยงไว้เพื่อจำหน่ายลูกสุกรหย่านม หรือรับจ้างผสมพ่อพันธุ์เป็นหลัก

ธีระ และ Falvey (2522) รายงานอัตราการเจริญเติบโตของสุกรพื้นเมืองที่เลี้ยงแบบพื้นบ้านด้วยหยวกสับผสมรำและหยวกสับผสมข้าวโพด พบว่ามีค่าต่ำมากเพียง 37.77 และ 66.51 กรัมต่อวัน ส่วนอัตราแลกน้ำหนักเป็น 6.66 และ 3.27 ตามลำดับ สอดคล้องกับ บุญลือ (2536) ที่กล่าวว่าสุกรพื้นเมืองต้องใช้อาหารพื้นบ้านมากถึง 6 – 7 กิโลกรัมเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม นอกจากนั้น พลภักดี (2547) รายงานการเจริญเติบโตของสุกรพื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีตามธรรมชาติ นำมาสับและต้มจนเปื่อยผสมกับรำ ในอัตราส่วน 3:1 โดยให้สุกรกินวันละ 2 มื้อ จนกระทั่งได้น้ำหนัก 60 กิโลกรัม พบว่ามีค่าต่ำเพียง 210 กรัมต่อวันเท่านั้น แต่เมื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารให้ดีขึ้น การเจริญเติบโตของสุกรก็จะเพิ่มขึ้นได้บ้างเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของธีรวัฒน์ (2541) ที่กล่าวว่าสุกรพื้นเมืองส่วนใหญ่ที่บ้านห้วยงูสิงห์ อำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน มีลักษณะคล้ายสุกรพันธุ์ควาย ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ได้รับส่วนใหญ่เป็นหยวกกล้วยหรือผักที่ขึ้นในท้องถิ่นผสมกับรำจากโรงสีขนาดเล็กในหมู่บ้าน ในอัตราส่วน 3:1 ใส่น้ำและคนให้เข้ากัน (หยวกกล้วย 1.5 ต่อรำ 0.5 กิโลกรัมต่อมื้อ) ให้กินวันละ 2 มื้อ บางครั้งอาจผสมอาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดเล็กน้อย สุกรพื้นเมืองดังกล่าวจึงมีอัตราการเจริญเติบโตเพียง 360 กรัมต่อวัน

ประภาสและคณะ (2547) ทำการทดสอบสุกรพื้นเมืองที่เลี้ยงในภาคเหนือจำนวน 28 ตัว ในช่วงน้ำหนัก 15 ถึง 50 กิโลกรัม ด้วยการให้กินอาหารที่มีระดับโปรตีน 12% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3.26 กิโลแคลลอรีต่อกรัม แบบเต็มที่และให้หญ้าขนสดเสริมในช่วงกลางวัน พบว่าสุกรพื้นเมืองดังกล่าวมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 347.3 $\pm$ 86.7 กรัม และมีอัตราแลกน้ำหนักเท่ากับ 3.39 $\pm$ 0.7

สุกรพันธุ์เหมยซาน (Meisan)

เหมยซานเป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองชั้นเยี่ยมของสาธารณรัฐประชาชนจีนที่รัฐบาลจีนได้น้อมเกล้าถวายสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เมื่อปีพุทธศักราช 2524 ซึ่งพระองค์ท่านได้พระราชทานสุกรดังกล่าวให้กรมปศุสัตว์เป็นผู้รับผิดชอบดูแลในการขยายพันธุ์และค้นคว้าเพื่อนำไปส่งเสริมให้เลี้ยงในชนบทยากจนทั่วประเทศ สุกรพันธุ์นี้มีลักษณะพันธุกรรมที่ดีเด่นหลายประการ สัมฤทธิ์และคณะ (2530) กล่าวว่า สุกรพันธุ์เหมยซานนิยมเลี้ยงแพร่หลายในเซียงไฮ้ ลักษณะประจำพันธุ์คือ มีลำตัวสีดำ หน้าผากย่น หนังย่นหนา ใบหูยาวใหญ่ปรกหน้า มีเต้านม 16 – 18 เต้า ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินฟ้าอากาศ รวมทั้งกินอาหารได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นเศษอาหาร เศษผัก เศษเหลือจากโรงงาน ตลอดจนหญ้าต่างๆ และที่สำคัญคือ ให้ลูกดก เป็นแม่ที่เลี้ยงลูกเก่ง เป็นหนุ่มเป็นสาวเร็ว เริ่มเป็นสัดเมื่ออายุตั้งแต่ 3 เดือนครึ่ง พ่อพันธุ์โตเต็มที่น้ำหนักประมาณ 140 กิโลกรัม ส่วนแม่พันธุ์ โตเต็มที่น้ำหนักประมาณ 130 กิโลกรัม ให้ลูกดกประมาณ 12 – 18 ตัวต่อครอก

Pei (1985) รายงานว่า สุกรพันธุ์เหมยซาน เป็นสุกรพื้นเมืองของจีนเชื้อสายพันธุ์ไท้หู ลักษณะรูปร่าง หน้าผาก และลำตัวมีรอยย่น ใบหูยาวใหญ่ และปกลงมา ขนตามลำตัวมีสีดำ บางตัวมีสีขาวที่ข้อเท้าทั้งสี่ เต้านมเฉลี่ย 8-9 คู่ เป็นหนุ่ม-สาวเร็วมาก ผสมพันธุ์ได้ตั้งแต่อายุ 3-5 เดือน และให้ลูกมาก ครอกแรกเฉลี่ย 12 ตัว ครอกถัดไปเฉลี่ย 16 ตัว ซึ่งใกล้เคียงกันกับ Legault *et al.* (1990) ซึ่งรายงานว่า สุกรพันธุ์เหมยซาน จะให้ลูกครอกแรกเฉลี่ย 13.1 ตัว มีน้ำหนักทั้งครอกเฉลี่ย 15.3 กิโลกรัม และเนื่องจากความดีเด่นด้านขนาดครอกที่ใหญ่ จึงทำให้สุกรพันธุ์นี้ได้รับความสนใจในการนำไปปรับปรุงพันธุ์ เพื่อเพิ่มขนาดครอกของสายพันธุ์จากยุโรปให้ใหญ่ขึ้น (วันดี, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กองบำรุงพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ (2526) รายงานอัตราการเจริญเติบโตของสุกรพันธุ์เหมยซานแท้เพศผู้ หลังหย่านมเป็นระยะเวลา 159 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 349 กรัมต่อวัน ส่วนเพศเมียมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 412 กรัมต่อวัน ส่วนอัตราการแลกน้ำหนักเป็น 3.28 และ 3.26 ในเพศผู้และเพศเมียตามลำดับ สอดคล้องกับประภาสและคณะ (2537) ที่กล่าวว่า สุกรพันธุ์เหมยซานมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ เฉลี่ยวันละ 350 - 450 กรัม

สุกรพันธุ์ดูร็อค (Duroc)

ดูร็อค หรือดูร็อค เจอร์ซี มีถิ่นกำเนิดในประเทศสหรัฐอเมริกา ลักษณะเด่นคือมีสีแดงหรือผันแปรตั้งแต่สีฟางข้าวไปจนถึงสีแดงเข้ม จึงถูกเรียกอีกชื่อว่า สุกรแดงหรือสุกรทอง ดูร็อคเป็นสุกรที่มีขนาดใหญ่ ขายาวได้สัดส่วนกับความลึกและความยาวของลำตัว หน้าหักเล็กน้อย หูใหญ่ ปานกลาง โคนหูตั้ง ปลายหูปรก รูปร่างได้สัดส่วนแต่สะโพกไม่สวย ข้อดีของสุกรพันธุ์นี้ คือ สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพพื้นที่ ไม่เลือกกินอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดี เหมาะกับการขุนเพื่อจำหน่าย ส่วนข้อเสียคือ มีมันค่อนข้างมาก อ้วนง่าย และมีปัญหาเรื่องหอบบ้างเมื่ออากาศร้อนจัด นอกจากนั้นแม่พันธุ์ดูร็อคยังมีขนาดครอกเล็กกว่าสายพันธุ์อื่น ความสามารถในการเลี้ยงลูกต่ำ อีกทั้งขณะคลอดมักแสดงอาการกระวนกระวาย แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีการคัดเลือกสายพันธุ์ทำให้ปัญหาดังกล่าวหมดไปแล้วดังนั้นสุกรพันธุ์นี้จึงมักถูกใช้ผสมเพื่อผลิตสุกรลูกผสมสามสาย (บุญลือ, 2536; วันดี, 2546)

สุกรพันธุ์เปียแตรง (Pietrain)

เปียแตรงเป็นสุกรของประเทศเบลเยี่ยม ถูกนำเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทยโดยกรมปศุสัตว์ในปีพุทธศักราช 2523 ลำตัวมีสีขาว และมีจุดสีดำอยู่ประปราย ลักษณะเด่นของสายพันธุ์คือ เนื้อแน่น ส่วนไหล่มีเนื้อแดงมาก อัตราส่วนระหว่างเนื้อกับมันดีกว่าสุกรยุโรปพันธุ์อื่นๆ แต่เมื่อนำมาเลี้ยงในประเทศไทยปรากฏว่า มีอัตราการเจริญเติบโตช้าและมีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ทำให้การเลี้ยงยังอยู่ในวงจำกัด นอกจากนั้นสุกรพันธุ์เปียแตรงยังมีข้อเสียคือ ทนต่อความเครียดและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เนื้อสุกรเมื่อชำแหละเกิดภาวะ PSE (pale, soft, exudative) เนื่องมาจากการที่ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อถูกย่อยกลายเป็นกรดแลคติก เร็วกว่าปกติ ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลง ส่งผลให้คุณภาพเนื้อลดลงตามไปด้วย (บุญลือ, 2536)

อัญชลี (2548) กล่าวว่า สุกรพันธุ์เปียแตรงเป็นสุกรที่มีรูปร่างสวยงาม ไหล่และสะโพกหนา ซึ่งบ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงที่สูง ลำตัวมีสีลายสลับขาวดำเหลือง แต่มีข้อเสียที่เกิดภาวะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เครียดและช็อคตายได้ง่าย เนื่องมาจากลักษณะทางพันธุกรรมที่เรียกว่า Porcine stress syndrome (PSS) ซึ่งเป็นปัญหามากต่อการเลี้ยงในเขตที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้นเช่นประเทศไทย ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำสุกรพันธุ์นี้เข้ามาเลี้ยงเป็นพันธุ์แท้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงและคัดเลือกสายพันธุ์ให้มีความต้านทานต่อความเครียด จนกระทั่งปลอดจาก PSS ได้แล้ว แต่ก็ทำให้ความสามารถในการสร้างเนื้อแดงลดลงไประดับหนึ่ง และถูกนำเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น (Rothschild and Ruvinsky,1998; วันดี, 2546)

สมรรถภาพการผลิตของสุกรลูกผสม

จากการที่สุกรพื้นเมืองของไทย หรือของจีนมีจุดเด่นบางประการ เช่น ทนต่อโรค อากาศร้อนและสภาพการเลี้ยงดูที่เลว มีความสมบูรณ์พันธุ์และความสามารถในการเลี้ยงลูกที่ดี แต่มีสมรรถภาพในการผลิตต่ำ และมีคุณภาพซากที่ไม่ดี จึงมีความพยายามในการปรับปรุงพันธุ์โดยการผสมข้ามกับสุกรสายเลือดยุโรป

สัมฤทธิ์และคณะ (2527) ศึกษาลักษณะทางเศรษฐกิจของสุกรเหมยซานพันธุ์แท้และลูกผสมเหมยซานกับสายพันธุ์ยุโรป คือ ดูร็อค แลนด์เรซ ลาร์จไวท์ พบว่า ลูกผสมเหมยซาน × ดูร็อคมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือ ลูกผสมเหมยซาน × แลนด์เรซ ลูกผสมเหมยซาน × ลาร์จไวท์ ส่วนพันธุ์เหมยซานแท้มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันต่ำสุด (621.88, 616.63, 573.75 และ 472.73 กรัมต่อวัน ตามลำดับ; $P<0.05$) ส่วนประสิทธิภาพการใช้อาหารพบว่าลูกผสมเหมยซาน × ดูร็อค และเหมยซาน × แลนด์เรซมีค่าใกล้เคียงกันและดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับลูกผสมเหมยซาน ×ลาร์จไวท์ ($P<0.05$) และเหมยซานพันธุ์แท้ ($P<0.01$) สำหรับลักษณะซากพบว่า สุกรลูกผสมทั้งสามพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงใกล้เคียงกัน คือ 26.34% ในลูกผสมเหมยซาน × ดูร็อค 26.29% ในลูกผสมเหมยซาน × แลนด์เรซ 25.74% ในลูกผสมเหมยซาน × ลาร์จไวท์ ส่วนสุกรเหมยซานพันธุ์แท้มีค่าเป็น 21.59% ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับลูกผสมสายพันธุ์ยุโรปดังกล่าวข้างต้น ($P<0.05$) นอกจากนั้นเมื่อศึกษาลักษณะทางเศรษฐกิจของลูกผสมเหมยซาน × ดูร็อค 50% และลูกผสมเหมยซาน 25% × ดูร็อค 75% พบว่าลูกผสมทั้งสองกลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่ลูกผสมเหมยซาน 25% × ดูร็อค 75% จะให้เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงที่ดีกว่าลูกผสมเหมยซาน × ดูร็อค 50% อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (25.52 vs 28.56; $P<0.01$) ผลจากการทดลองนี้ พอจะสรุปได้ว่า สุกรสายพันธุ์ยุโรปช่วยทำให้สมรรถภาพในการผลิตและคุณภาพซากของสุกรเหมยซานดีขึ้น โดยสุกรพันธุ์ดูร็อคมีความสามารถในการปรับปรุงพันธุ์ดีกว่าพันธุ์แลนด์เรซและพันธุ์ลาร์จไวท์ สำหรับการเพิ่มสายเลือดของพันธุ์ดูร็อคขึ้นนั้น พบว่า ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต และทำให้คุณภาพซากดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายงานของสุภาวัลย์และคณะ (2529) ที่กล่าวว่า สุกรลูกผสมเหมยซาน 25% × ดูร็อค 75% และลูกผสมเหมยซาน 75% × ดูร็อค 25% มีประสิทธิภาพการใช้อาหารอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน แต่อัตราการเจริญเติบโตของสุกรลูกผสมเหมยซาน 25% × ดูร็อค 75% จะดีกว่าลูกผสมเหมยซาน 75% × ดูร็อค 25% (565.38 vs 496.38 กรัมต่อวัน) ในกรณีของคุณภาพซากซึ่งได้แก่ เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงและความหนาไขมันสันหลังก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ มีคุณภาพเพิ่มขึ้นเมื่อสายเลือดดูร็อคเพิ่มขึ้น

Gueblez et al. (1986; อ้างโดย Rothschild and Ruvinsky, 1998) รายงานสมรรถภาพการผลิตของสุกรลูกผสมเหมยซาน×ลาร์จไวท์เทียบกับลูกผสมลาร์จไวท์×แลนด์เรซ พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกน้ำหนักใกล้เคียงกัน (836 vs 858 กรัมต่อวัน; 3.07 vs 3.00) แต่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงต่ำกว่า (49.4 vs 53.6, P<0.01) อีกทั้งยังมีคุณภาพของเนื้อที่ต่ำกว่าด้วย (9.9 vs 10.7, P<0.05)

อย่างไรก็ดีพบว่า ความสามารถในการให้ลูกและเลี้ยงลูกเป็นไปในทางตรงกันข้าม โดยประภาส และคณะ (2537) ได้ศึกษาในสุกรเหมยซานพันธุ์แท้และลูกผสมเหมยซานดูร็อคที่ระดับสายเลือดต่างๆ ปรากฏว่า จำนวนลูกแรกคลอดและจำนวนลูกหย่านมของแม่สุกรแปรผันตามเปอร์เซ็นต์สายเลือดเหมยซานที่มีในแม่สุกร กล่าวคือ แม่สุกรเหมยซานแท้และแม่สุกรเหมยซาน 50% × ดูร็อค 50% จะให้จำนวนลูกแรกคลอดและจำนวนลูกหย่านมสูงกว่าแม่สุกรเหมยซาน 25% × ดูร็อค 75% แม่สุกรเหมยซาน 12.5% × ดูร็อค 87.5% และแม่สุกร เหมยซาน 6.25% × ดูร็อค 93.75% ตามลำดับ (P<0.01) แต่น้ำหนักเมื่อหย่านมของลูกสุกรจะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์สายเลือดเหมยซาน โดยที่แม่สุกรเหมยซานพันธุ์แท้จะให้ลูกที่น้ำหนักตัวน้อยที่สุด และแตกต่างกับแม่สุกรกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

จากการที่สุกรลูกผสมเหมยซาน × ดูร็อคมีสมรรถภาพการผลิตและสืบพันธุ์ดีกว่าเหมยซานพันธุ์แท้ หรือลูกผสมสายพันธุ์อื่น ดังนั้นลูกผสมเหมยซาน × ดูร็อคจึงได้รับความนิยมมากและได้รับพระราชทานนามใหม่โดยสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา สยามบรมราชกุมารี ว่า “สุกรมิตรสัมพันธ์”

สำหรับในกรณีของลูกผสมเปียแตรงนั้นในการทดลองของ Julian (1998) อ้างโดย สมาคมผู้เลี้ยงสุกรแห่งชาติ (2548) พบว่า สมรรถภาพการผลิตของสุกรเพศผู้พันธุ์ดูร็อค เปียแตรง×ลาร์จไวท์ และเปียแตรง×ดูร็อคมีค่าดังนี้ คือ อัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 740, 753 และ 755 กรัมต่อวัน อัตราแลกน้ำหนักมีค่า 2.83, 2.79 และ 2.05 ส่วนเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงมีค่า 53.45, 58.84 และ 58.14% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อมีสายเลือดของเปียแตรง จะทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรสูงขึ้นกว่าดูร็อคพันธุ์แท้ และเมื่อนำพ่อพันธุ์เปียแตรงแท้ เปียแตรง×ลาร์จไวท์ และเปียแตรง×ดูร็อคไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผสมกับแม่สุกรลูกผสมลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ พบว่า ลูกผสมแต่ละสายพันธุ์ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตเป็น 668, 714 และ 711 กรัมต่อวันตามลำดับ ส่วนค่าความหนาไขมันและพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมีค่าเป็น 16.4 และ 58.5, 16.6 และ 55.3 vs 17.3 และ 57.6 มิลลิเมตร ในสุกรลูกผสมเปียแตรงแท้×ลาร์จไวท์×แลนด์เรซ และลูกผสมสี่สายทั้งสอง คือ เปียแตรง×ลาร์จไวท์×ลาร์จไวท์×แลนด์เรซ และเปียแตรง×ดูร็อค×ลาร์จไวท์×แลนด์เรซ ตามลำดับ

โปรตีนและกรดอะมิโน

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ตามลักษณะความจำเป็น หรือความต้องการของสัตว์ (Fuller, 1994 อ้างโดย กัตติกา, 2547) คือ

1. กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non essential or dispensable amino acid) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เองในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จึงไม่จำเป็นต้องได้รับเพิ่มจากอาหาร ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหาร จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณของกรดอะมิโนเหล่านี้เป็นรายตัว แต่ให้มีปริมาณโดยรวมครบตามความต้องการของสัตว์ก็เพียงพอแล้ว กรดอะมิโนประเภทนี้ได้แก่ อะลานีน (alanine) แอสพาราจีน (asparagine) กลูตามีน (glutamine) ไกลซีน (glycine) โพรลีน (proline) และเซอรีน (serine)

2. กรดอะมิโนที่จำเป็น (essential or indispensable amino acid) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสัตว์ชั้นสูงไม่สามารถสังเคราะห์เองได้หรือสังเคราะห์ได้ในปริมาณน้อย จนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จำเป็นต้องได้รับเพิ่มจากอาหาร ซึ่งกรดอะมิโนนี้มีทั้งหมด 10 ชนิด เมื่อขาดกรดอะมิโนประเภทนี้ตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัว จะมีผลทำให้การใช้ประโยชน์ของกรดอะมิโนหรือโปรตีนในอาหารนั้นเสียไป สัตว์จะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่การประกอบสูตรอาหารต้องคำนึงถึงกรดอะมิโนเหล่านี้ ซึ่งได้แก่ ฮีสติดีน (histidine) ไอโซลิวซีน (isoleucine) ลิวซีน (leucine) ไลซีน (lysine) เมทไธโอนีน (methionine) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ทรีโอนีน (threonine) ทริปโตเฟน (tryptophan) และแวลีน (valine)

3. กรดอะมิโนกึ่งจำเป็น (semi-essential or conditionally dispensable amino acid) เป็นกรดอะมิโนที่เคยจัดอยู่ในกลุ่มกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น แต่ต่อมาพบว่า บางตัวสามารถใช้ทดแทนกรดอะมิโนที่จำเป็นได้บางส่วน หรือเรียกว่า มี sparing effect ซึ่งกันและกัน จึงถูกจัดแยกกลุ่มออกมา เช่น tyrosine สามารถใช้แทน phynylalanine ได้ประมาณ 30 % และ cysteine สามารถใช้ทดแทน methionine ได้ประมาณ 50% ในสัตว์หลายชนิด ยกเว้นแมว cysteine สามารถถูกเมตาบอไลซ์ไปเป็น taurine ได้ ส่วนกรดอะมิโนอื่นๆ เช่น arginine ร่างกายสามารถสังเคราะห์เองได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่บางช่วงอัตราการสังเคราะห์ต่ำกว่าความต้องการของร่างกาย จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารเข้าไป กรดอะมิโนประเภทนี้ได้แก่ อาร์จินีน (arginine) ซีสเตอีน (cysteine) ทอรีน (taurine) และไทโรซีน (tyrosine)

กรดอะมิโนที่มีจำกัดในอาหาร (Limiting amino acid)

เนื่องจากธัญพืชที่ใช้ประกอบสูตรอาหารสำหรับสุกร ส่วนใหญ่จะให้โปรตีน 40 – 50% ของโปรตีนทั้งหมดในสูตรอาหารนั้น ดังนั้นกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดธัญพืชนั้นๆ ย่อมมีความสำคัญมาก ซึ่งธัญพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดต่างมีปริมาณ สัดส่วน และชนิดของกรดอะมิโนที่แตกต่างกันออกไป เช่น ข้าวโพดมีไลซีนและทริปโตเฟนต่ำเป็นอันดับหนึ่งและสอง ส่วนข้าวฟ่างและข้าวสาลีมีไลซีนและทรีโอนีนต่ำเป็นอันดับหนึ่งและสองตามลำดับ เป็นต้น (Lewis, 2001) นอกจากนั้น ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของสัตว์ก็ยังมีความต้องการกรดอะมิโนที่แตกต่างกันออกไปด้วย ดังนั้น เมื่อสัตว์ได้รับอาหารชนิดใดแล้วแสดงอาการขาดกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งออกมา ย่อมแสดงว่า กรดอะมิโนชนิดนั้น เป็นกรดอะมิโนที่มีจำกัดในอาหาร (Limiting amino acid) และกรดอะมิโนที่ขาดเป็นอันดับแรกในอาหาร หรือร่างกายของสัตว์ต้องการในปริมาณที่มากกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่นๆ จะจัดว่าเป็น กรดอะมิโนที่มีจำกัดเป็นอันดับแรก (first limiting amino acid)

ในอาหารสุกร lysine, threonine, methionine และ tryptophan จัดเป็น limiting amino acid โดย lysine จัดเป็น first limiting amino acid เนื่องมาจาก ธัญพืชส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร ได้แก่ ข้าวโพด รำละเอียด และปลายข้าว มีปริมาณของกรดอะมิโนเหล่านี้อยู่น้อย จึงจำเป็นต้องเสริมแหล่งโปรตีนจำพวกกากถั่วเหลืองและปลาป่น ที่มีกรดอะมิโนดังกล่าวในปริมาณสูง (Lewis, 2001)

ความสำคัญของโปรตีน

สัตว์ต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต สืบพันธุ์ ให้ผลผลิตทั้งเนื้อ นม และไข่ นอกจากนี้ยังใช้เพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โปรตีนมีหน้าที่หลายประการในร่างกาย เช่น

1. เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในกล้ามเนื้อและอวัยวะต่างๆ
2. เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำนม เนื้อเยื่อ ผม ขน เขา กีบ เล็บ
3. เป็นองค์ประกอบของเลือด ฮอร์โมน เอนไซม์ และภูมิคุ้มกันในรูปของแอนติบอดี

เนื่องจากร่างกายสิ่งมีชีวิตชั้นสูงไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนขึ้นมาได้เอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากการกินอาหาร ถ้าในอาหารมีปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอ จะส่งผลให้สัตว์เกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาวะขาดโปรตีน และมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง หรือสูญเสียน้ำหนักตัว โดยสัตว์ที่ยังเล็กหรืออยู่ในระยะกำลังเจริญเติบโต จะมีความต้องการโปรตีนมากกว่าสัตว์ที่เจริญเติบโตอย่างเต็มที่แล้ว ยกเว้นในกรณีที่ร่างกายต้องการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอหรือในระยะกำลังให้ผลผลิต เช่น ให้น้ำนม หรือระยะตั้งครรภ์ ซึ่งจะมีความต้องการโปรตีนสูงขึ้น และมีเมตาบอลิสมสูงขึ้นด้วย (แสงเดือน, 2548; Pond *et al*., 1995)

การย่อยโปรตีนและการดูดซึมกรดอะมิโน

เมื่ออาหารโปรตีนเข้าสู่ร่างกาย จะถูกย่อยด้วยกระบวนการที่ซับซ้อนจนกระทั่งได้เป็นกรดอะมิโน โดยการทำงานของเอนไซม์ที่มีในร่างกาย โดยการย่อยโปรตีนมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องและแตกต่างกัน 4 ขั้นตอน (Bercovici and Fuller, 1995 อ้างโดย กัตติกา, 2547) คือ

1. กลไกการสลายตัวของอาหาร
2. ปฏิกิริยาทางเคมีของกรด HCl ภายในกระเพาะอาหาร
3. การทำงานของเอนไซม์ที่ทำการสลายสารโมเลกุลเชิงซ้อน
4. การทำงานของจุลินทรีย์ (microbial fermentation)

อาหารโปรตีนจะถูกย่อยเมื่อเริ่มเข้าสู่กระเพาะอาหาร โดยอาหารจะไปกระตุ้นให้เซลล์มิวโคซาที่บุผิวของกระเพาะ (gastric mucosa) หลั่งฮอร์โมนแกสตริน (gastrin) ทำให้เซลล์บุผนังกระเพาะอาหาร (parential cell) หลั่งกรด HCl และกระตุ้นให้ chief cell หลั่งเอนไซม์เปปซิโนเจน (pepsinogen) การหลั่ง HCl ทำให้ pH ภายในกระเพาะลดลงต่ำกว่า 2 เป็นผลให้ทำลายเชื้อโรค จุลินทรีย์ที่อาจติดมากับอาหาร นอกจากนั้นภาวะกรด ยังช่วยทำให้โปรตีนเสียสภาพ จึงถูกย่อยได้ง่ายขึ้นด้วยเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) ซึ่งก็คือ เปปซิน (pepsin) ที่ถูกสังเคราะห์และหลั่งออกมาในรูปเปปซิโนเจนนั่นเอง ซึ่งเปปซิโนเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นเปปซินได้ด้วยการกระตุ้นจาก HCl ผลผลิตที่ได้จากกระเพาะอาหารส่วนใหญ่จะเป็นเปปไทด์สายยาว และกรดอะมิโนอีกเล็กน้อย ไม่มีการดูดซึมสารอาหารเกิดขึ้นในส่วนนี้

เมื่ออาหารที่อยู่ในสภาพเป็นกรดเคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้เล็ก สภาพกรดของอาหารจะไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนซีครีติน (secretin) ที่มีผลกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งสารละลายไบคาร์บอเนต (bicarbonate) สู่ลำไส้เล็ก เพื่อปรับสภาพอาหารให้เป็นกลาง (pH 7 – 8) เมื่ออาหารเคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนบน จะเกิดการหลั่งฮอร์โมนโคลีซีสโตไคนิน (cholecystokinin, CCK) ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งเอนไซม์ทริปซิโนเจน (trypsinogen) ไคโมทริปซิโนเจน (chymotrypsinogen) และโปรคาร์บอกซิเปปติเดส (procarboxypeptidase) ซึ่งเมื่อทริปซิโนเจนเข้าสู่ลำไส้เล็กแล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นทริปซินโดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ขับออกมาจากเซลล์ของลำไส้เล็กเอง ทริปซินที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดขึ้นจะไปกระตุ้นการเปลี่ยนทริปซิโนเจน ไคโมทริปซิโนเจน และโพรคาร์บอกซิเปปติเดสให้เป็นทริปซิน ไคโมทริปซิน และคาร์บอกซิเปปติเดสตามลำดับ โดยเอนไซม์ทั้งหมดมีความจำเพาะเจาะจงในการตัดหรือทำลายพันธะเปปไทด์ในตำแหน่งที่ต่างกันออกไป ทำให้ได้โปรตีนที่มีโมเลกุลสั้นลง เปปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนอิสระมากมาย ซึ่งเปปไทด์สายสั้นจะถูกย่อยต่อโดยเอนไซม์ย่อยเปปไทด์ (peptidase) 2 ชนิด คือ คาร์บอกซิเปปติเดส (carboxypeptidase) และอะมิโนเปปติเดส (aminopeptidase) จากนั้นกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมแบบ active transport และอาศัยพาหะเพื่อลำเลียงเข้าสู่เซลล์ที่เยื่อบุผนังลำไส้เล็ก (intestinal mucosa) และจะดูดซึมได้หมดเมื่อเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนกลาง เพื่อส่งต่อไปยังเส้นเลือดฝอยที่มีอยู่ในวิลไล (villi) ลำเลียงไปยังตับและส่งต่อไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยอาจนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของเนื้อเยื่อนั้นๆ หรืออาจสังเคราะห์เป็นสารประกอบไนโตรเจน (nitrogenous compound) หลายชนิด เช่น พอร์ไฟรินซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีมในฮีโมโกลบิน หรือสังเคราะห์เป็นเบสของนิวคลีโอไทด์ต่างๆ หรืออาจใช้สังเคราะห์เป็นสารสื่อประสาทและฮอร์โมนต่างๆ เป็นต้น แต่หากร่างกายได้รับโปรตีนมากเกินความจำเป็น จึงจะมีการนำไปสลายเพื่อให้เกิดเป็นพลังงาน ซึ่งคิดเป็นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการพลังงานทั้งหมดของร่างกาย (นิโลบล, 2542; กัตติกา, 2547)

สำหรับอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ส่วนใหญ่มักถูกขับออกนอกร่างกาย แต่มีบางส่วนที่อาจถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในลำไส้ใหญ่ได้บ้าง เนื่องจากลำไส้ใหญ่มีการเคลื่อนที่ของอาหารช้า และอาหารยังมีโภชนะเหลืออยู่มากพอต่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์หลายประเภท โดยโปรตีนจะถูกย่อยให้เป็นสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในมูล ได้แก่ อินโดล (indole), สกาโทล (skatole), ฟีนอล (phenol), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide), เอมีน (amine), กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid) และแอมโมเนีย (ammonia) ซึ่งแอมโมเนียและกรดไขมันที่ระเหยได้อาจถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้บ้าง แต่ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้สร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ (microbial protein) และถูกขับออกนอกร่างกายพร้อมกับมูล ทั้งนี้การย่อยที่กล่าวมาข้างต้นมักเกิดขึ้นน้อยมากในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เมื่อเทียบกับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (บุญล้อม, 2541; เทอดชัย, 2542)

คุณภาพของโปรตีนและการประเมินคุณภาพ (Protin quality and the evaluation)

โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากมาต่อกันด้วยพันธะเปไทด์ (peptide bond) แหล่งของโปรตีนสามารถได้มาจากทั้งพืชและสัตว์ โดยโปรตีนในแต่ละวัตถุดิบก็จะมีปริมาณชนิดและลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโนในโมเลกุลที่แตกต่างกันไป โปรตีนที่มีการย่อยได้ดีและมีสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ เรียกว่า โปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพดี (high-quality protein) เพราะสามารถถูกย่อยได้เป็นกรดอะมิโนที่นำไปใช้ในการสร้างโปรตีนของร่างกายอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนโปรตีนที่ขาดกรดอะมิโนจำเป็นบางตัวหรือหลายตัวจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ เรียกว่า โปรตีนคุณภาพเลว (low-quality protein) เพราะสัตว์ไม่สามารถนำกรดอะมิโนที่เหลือเหล่านั้นไปสร้างเป็นโปรตีนได้ เนื่องจากในการสร้างโปรตีนนั้นจำเป็นต้องมีกรดอะมิโนชนิดที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนนั้นอยู่อย่างครบถ้วนและเพียงพอ หากขาดตัวใดตัวหนึ่งไป จะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนถูกยับยั้ง (บุญล้อม, 2541 และ อุทัย, 2529 อ้างโดยกัตติกา, 2547)

ดังนั้นการประเมินคุณภาพโปรตีนจึงเป็นสิ่งสำคัญ วิธีที่นิยม คือ การทดลองกับตัวสัตว์โดยอาศัยสมดุลไนโตรเจนเป็นหลัก โดยวัดความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับ และปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมาทั้งในมูลและในปัสสาวะ รวมทั้งผลผลิตอื่นๆ (Mcdonald *et al*., 2002)

- ถ้าไนโตรเจนที่ได้รับมีค่าเท่ากับไนโตรเจนที่ขับออกมา สัตว์จะอยู่ในภาวะสมดุลของไนโตรเจนเป็นศูนย์ (nitrogen equilibrium หรือ zero nitrogen balance)
- ถ้าไนโตรเจนที่ได้รับมีค่ามากกว่าไนโตรเจนที่ขับออกมา สัตว์จะอยู่ในภาวะสมดุลของไนโตรเจนเป็นบวก (positive nitrogen balance)
- ถ้าไนโตรเจนที่ได้รับมีค่าน้อยกว่าไนโตรเจนที่ขับออกมา สัตว์จะอยู่ในภาวะสมดุลของไนโตรเจนเป็นลบ (negative nitrogen balance)

การประเมินโปรตีนโดยใช้สมดุลไนโตรเจนเป็นหลักนี้มีอยู่หลายวิธี แต่ที่นิยม คือ การวัดค่าทางชีวภาพของโปรตีน (Biological value; BV) ซึ่งบ่งถึงปริมาณไนโตรเจนที่ร่างกายสามารถกักเก็บไว้ใช้เพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต การสร้างเนื้อเยื่อ หรือสารประกอบต่างๆ ในร่างกาย โดยเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม ซึ่งค่า BV สามารถหาได้จากสมการ (Mcdonald *et al*., 2002)

$$\text{BV (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกสะสมไว้ในร่างกาย}}{\text{ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม}} \times 100$$

$$= \frac{[\text{N ที่กิน} - (\text{N ในอุจจาระ} + \text{N ในปัสสาวะ})]}{\text{N ที่กิน} - \text{N ในอุจจาระ}} \times 100$$

แต่เนื่องจากไนโตรเจนที่ขับออกมาในมูลและปัสสาวะนั้น บางส่วนเป็นไนโตรเจนที่ไม่ได้มาจากอาหารแต่มาจากร่างกายของสัตว์ ได้แก่ เยื่อบุทางเดินอาหาร ฮอร์โมน เอนไซม์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งเรียกไนโตรเจนนี้ว่า metabolic fecal nitrogen (MFN) หรือ endogenous fecal nitrogen เช่นเดียวกันกับปัสสาวะที่จะมีส่วนของไนโตรเจนที่มาจากเมตาบอลิสมในร่างกายสัตว์ ที่เรียกว่า endogenous urinary nitrogen (EUN) ค่า MFN และ EUN สามารถหาได้โดยการให้อาหารที่ปราศจากไนโตรเจนแก่สัตว์ แล้ววัดปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายที่ออกมา (Mcdonald *et al*., 2002)

ดังนั้นการหาค่าทางชีวภาพของโปรตีนที่แท้จริง (True biological value; TBV) นั้น จึงจำเป็นต้องนำค่า MFN และ EUN มาหักลบออกด้วย ดังสมการ

$$TBV\ (\%) = \frac{[N\ \text{ที่กิน} - (N\ \text{ในอุจจาระ} - MFN) + (N\ \text{ในปัสสาวะ} - EUN)]}{N\ \text{ที่กิน} - (N\ \text{ในอุจจาระ} - MFN)} \times 100$$

ความต้องการโปรตีนและกรดอะมิโนของสุกร (Protein and amino acid requirement of swine)

เนื่องจากโปรตีนมีความสำคัญต่อสัตว์โดยมีหน้าที่หลายประการดังได้กล่าวมาแล้ว และโปรตีนที่สัตว์ได้รับเข้าไปจะถูกนำไปใช้ทั้งเพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต ดังนั้นอาหารที่ให้แก่สุกรจึงควรมีโปรตีนในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของสุกร เพื่อวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ประการนี้ด้วย

อย่างไรก็ดี ความต้องการโปรตีนของสุกรขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังนี้ (กัตติกา, 2547)

1. ปริมาณหรือการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (availability) และความแปรปรวนของโปรตีนในอาหาร
2. ระยะการผลิตของสุกร เช่น สุกรอายุน้อยต้องการความเข้มข้นของโปรตีนสูงกว่าสุกรอายุมาก เพื่อเร่งนำไปใช้ในการสังเคราะห์เนื้อเยื่อโปรตีนต่างๆ ในร่างกาย
3. สมดุลของกรดอะมิโนและความสัมพันธ์กับโภชนะอื่นๆ ในอาหาร
4. กระบวนการผลิตที่อาจจะมีผลต่อคุณภาพของโปรตีนที่นำไปประกอบสูตรอาหาร

ในการประกอบสูตรอาหาร นอกจากจะพิจารณาถึงปัจจัยดังกล่าว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณอาหารที่ให้สุกรด้วย เนื่องจากส่งผลต่อปริมาณโภชนะที่สุกรได้รับ จากการที่สัตว์แต่ละระยะมีความต้องการระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน สูตรอาหารที่ใช้จึงควรมีระดับโปรตีนที่เหมาะกับระยะการผลิตของสุกรด้วย คำแนะนำในตารางที่ 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 ปริมาณอาหารที่กินได้และปริมาณโปรตีนที่ควรมีในสูตรอาหารของสุกรแต่ละระยะ

Class of swine	Live wieght (kg)	Total feed intake (kg/day)	Crude protein content of diet (%)	Crude protein needed daily (kg)
Growing - finishing	5–10	0.50	23.70	0.12
	10–20	1.00	20.90	0.21
	20-50	1.85	18.00	0.33
	50-80	2.57	15.50	0.4
	80-120	3.07	13.20	0.41
Breeding sow	125-200	1.85	12.00	0.22
Lactating sow	175-200	5.25	18.00	0.94
Active boar	120-200	2.00	13.00	0.26

ที่มา : ดัดแปลงจาก NRC (1998)

ความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหาร

เนื่องจากสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร ไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้ ดังนั้น ในการประกอบสูตรอาหาร นอกจากจะต้องคำนึงถึงปริมาณโปรตีนแล้ว ยังต้องคำนึงถึงระดับของกรดอะมิโนที่จำเป็นด้วย ซึ่งสัตว์ที่มีอายุต่างกันจะมีความต้องการกรดอะมิโนในระดับที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปสัตว์ที่อายุน้อย จะมีความต้องการกรดอะมิโนเมื่อคิดเป็นสัดส่วนของอาหารในปริมาณที่สูงกว่าสัตว์ระยะรุ่นและขุน ความต้องการกรดอะมิโนจะลดลงตามอายุหรือน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ปัจจัยทางพันธุกรรม และสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระดับโปรตีนและพลังงานในอาหาร อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เพศ และระยะการให้ผลผลิตก็มีผลต่อความต้องการกรดอะมิโนด้วย เช่น สัตว์ที่มีพันธุกรรมดี ให้ผลผลิตสูง ย่อมต้องการระดับกรดอะมิโนที่สูงขึ้น สัตว์เพศผู้ย่อมต้องการกรดอะมิโนที่สูงกว่าสัตว์เพศเมีย ดังนั้นจึงควรปรับสูตรอาหารให้มีปริมาณกรดอะมิโนเหมาะสมกับความต้องการของสุกร (กัตติกา, 2547; Bercovici and Fuller, 1995; Lewis, 2001) ตัวอย่างความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นของสุกรระยะต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 ระดับความต้องการกรดอะมิโนของสุกรแต่ละระยะ (กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร)

Amino acids	Growing pig (kgs)			Lactating sows
	10 - 20	25 - 50	50 -110	
Lysine	9.5	7.5	6.0	6.0
Methionine + Cystine	4.8	4.1	3.4	3.6
Threonine	5.6	4.8	4.0	4.3
Tryptophan	1.4	1.2	1.0	1.2
Arginine	4.0	2.5	1.0	4.0
Histidine	2.5	2.2	1.8	2.5
Isoleucine	5.3	4.6	3.8	3.9
Leucine	7.0	6.0	5.0	4.8
Phenylalanine+ Tyrosine	7.7	6.6	5.5	7.0

ที่มา : ดัดแปลงจาก Lewis (2001)

สมดุลของกรดอะมิโนหรือโปรตีนในอุดมคติ (Amino acid balance or Ideal protein)

กรดอะมิโนที่จำเป็นที่สัตว์ได้รับเข้าไปจากอาหารจะถูกนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของร่างกาย ทั้งในการดำรงชีพ การสร้างเนื้อเยื่อ การสังเคราะห์น้ำนม หรือแม้แต่สะสมเอาไว้ในเนื้อเยื่อของร่างกาย ซึ่งแต่ละกิจกรรมต่างก็มีระดับของกรดอะมิโนที่ต้องการแตกต่างกันไป และเนื่องจากสุกรมีไลซีนเป็น first limiting amino acid ดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารสุกร เพื่อให้เกิดความสมดุลของกรดอะมิโน รวมทั้งการพิจารณาสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ควรมีในโปรตีน หรือที่เรียกว่า โปรตีนอุดมคติ จึงนิยมใช้ไลซีนเป็นหลัก แล้วนำกรดอะมิโนตัวอื่นมาคำนวณเป็นร้อยละของไลซีน ดังแสดงในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 สัดส่วนของกรดอะมิโน (คิดเป็นร้อยละของไลซีน) ในโปรตีนอุดมคติเพื่อการดำรงชีพ การสะสมโปรตีน การสังเคราะห์น้ำนม และการสร้างกล้ามเนื้อของสุกร

Amino acid	Maintainance	Protein Accretion	Milk Synthesis	Body Tissue
Lysine	100	100	100	100
Arginine	200	48	66	105
Histidine	32	32	40	45
Isoleucine	75	54	55	50
Leucine	70	102	115	109
Methionine + Cystine	123	55	45	45
Phenylalanine + Tyrosine	121	93	112	103
Threonine	151	60	58	58
Tryptophan	26	18	18	10
Valine	67	68	85	69

ที่มา : NRC (1998)

อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของกรดอะมิโนในโปรตีนอุดมคติที่ศึกษาโดยนักวิจัยแต่ละกลุ่มอาจจะแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสุกรที่ใช้ทดสอบ ตลอดจนอาหารและการจัดการ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัดส่วนของกรดอะมิโนในโปรตีนอุดมคติเพื่อการสะสมโปรตีนจากแหล่งข้อมูลต่างๆ

Amino acid	NRC (1998)	ARC (1981)	Yen *et al.* (1986)	Wang and Fuller (1989)
Lysine	100	100	100	100
Methhionine	27	-	39	-
Methionine + Cystine	55	50	58	63
Threonine	60	60	67	72
Tryptophan	18	15	21	18
Arginine	48	-	-	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 (ต่อ) สัดส่วนของกรดอะมิโนในโปรตีนอุดมคติเพื่อการสะสมโปรตีนจากแหล่งข้อมูลต่างๆ

Amino acid	NRC (1998)	ARC (1981)	Yen *et al.* (1986)	Wang and Fuller (1989)
Histidine	32	33	46	-
Isoleucine	54	55	76	60
Leucine	102	100	140	110
Phenylalanine	50	-	-	-
Phenylalanine + Tyrosine	121	96	95	120
Valine	67	70	97	75

ที่มา : แสงเดือน (2548)

นอกจากนั้น จากการที่สุกรแต่ละระยะมีอัตราการเจริญเติบโตไม่เท่ากัน ทำให้มีความต้องการกรดอะมิโนในสัดส่วนที่ต่างกันด้วย จึงมีการกำหนดสัดส่วนของกรดอะมิโนโดยแบ่งตามระยะการเจริญเติบโตและน้ำหนักตัวของสุกรเพื่อให้ได้รับกรดอะมิโนในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับความต้องการของร่างกายมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดด้วยเช่นกัน (Hollis, 1993) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 รูปแบบของโปรตีนอุดมคติของสุกรระยะต่างๆ

Amino acid	Ideal patterns of amino acid (% of lysine)		
	5-20	20-50	50-100
Lysine	100	100	100
Methhionine	30	30	30
Methionine + Cystine	60	65	70
Threonine	65	67	70
Tryptophan	18	19	20
Arginine	42	36	30
Histidine	32	32	32
Isoleucine	60	60	60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 (ต่อ) รูปแบบของโปรตีนอุดมคติของสุกรระยะต่างๆ

Amino acid	Ideal patterns of amino acid (% of lysine)		
	5-20	20-50	50-100
Leucine	100	100	100
Phynylalanine	95	95	95
Phynylalanine + Tyrosine	68	68	68
Valine	30	35	40

ที่มา : Hollis (1993)

งานวิจัยเกี่ยวกับระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในสูตรอาหารเลี้ยงสุกร

พรรณิภา (2524) กล่าวว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูง จะมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่า มีความหนาไขมันบางกว่า และมีปริมาณเนื้อแดงมากกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม การให้โปรตีนในอาหารต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการของร่างกายสัตว์ การให้โปรตีนมากหรือน้อยเกินไปมักก่อให้เกิดผลเสีย ตามมา

Keith *et al*. (1975) รายงานการให้อาหารโปรตีน 4 ระดับ คือ 12 14 16 และ 18 % แก่สุกรน้ำหนักระหว่าง 23 – 90 กิโลกรัม ปรากฏว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14 และ 16 % มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่า และมีปริมาณเนื้อแดงมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 12 และ 18 % และความหนาไขมันสันหลังจะบางลงตามระดับโปรตีนในอาหารสูงขึ้น

Kerr *et al*. (2003) ศึกษาการใช้โปรตีนระดับต่างๆ เลี้ยงสุกรภายใต้อุณหภูมิสูงและต่ำ (23 vs 33 °C) พบว่า อุณหภูมิไม่มีผลในทางสถิติต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร แต่มีแนวโน้มว่าสุกรที่เลี้ยงในอุณหภูมิต่ำมีสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่า ไม่ว่าจะเป็นอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและปริมาณอาหารที่กิน แต่ระดับโปรตีนในสูตรอาหารมีผลต่อสมรรถภาพการผลิตอย่างชัดเจน กล่าวคือ สุกรที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงจะมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารใกล้เคียงกับกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำเสริมด้วยกรดอะมิโนสังเคราะห์ แต่จะดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำอย่างมีนัยสำคัญ (400 vs 382 vs 279 กรัมต่อวัน และ 400 vs 394 vs 297 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ, $P<0.05$) สำหรับปริมาณอาหารที่กินต่อวันของทุกกลุ่มไม่มีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างกันทางสถิติ (999 vs 968 vs 930 กรัมต่อวัน) สอดคล้องกับการทดลองของ Le Bellego *et al*. (2002)

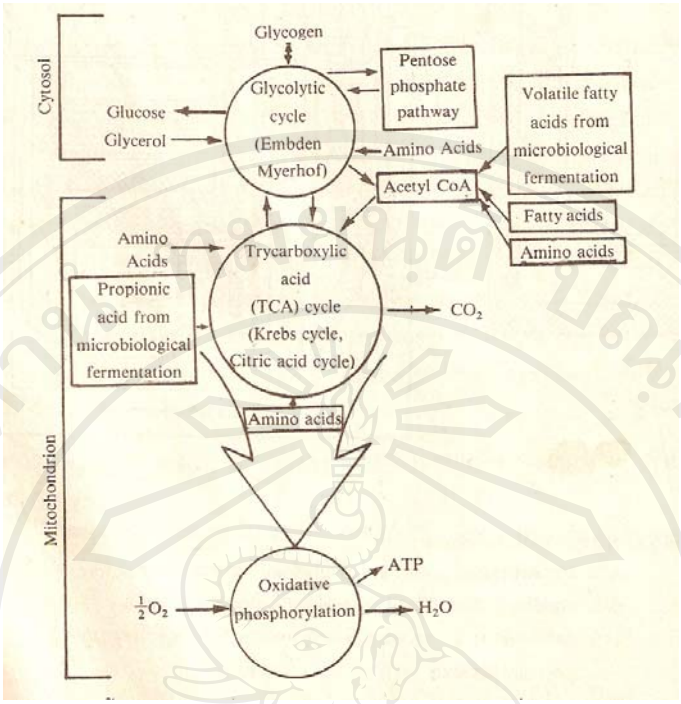
นอกจากนั้น Figueroa *et al*. (2002) ยังพบว่า การเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์ลงในอาหารที่มีโปรตีนต่ำ สามารถช่วยทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรใกล้เคียงกันกับการใช้ระดับโปรตีนที่สูงในสูตรอาหาร ยกเว้นในกรณีที่อาหารมีระดับโปรตีนต่ำเกินไป คือ ต่ำกว่า 4% ซึ่งการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์จะไม่สามารถช่วยในการเพิ่มสมรรถภาพการผลิตได้

ส่วนการศึกษาระดับโปรตีนในอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรที่มีสายเลือดพื้นเมืองโดย ปรัชญา (2534) พบว่าลูกผสมดูร็อค × เหมยซานสามารถใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำที่สุด คือ 14% เลี้ยงในระยะ 20 – 60 กิโลกรัม และใช้อาหารโปรตีน 12% เลี้ยงในระยะ 60 – 100 กิโลกรัมได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต ($P<0.05$) ในขณะที่ไกรสิทธิ์ (2547) ได้ศึกษาผลของระดับโปรตีน 14 และ 16% ในอาหารของสุกรพื้นเมืองพันธุ์แท้ พบว่า ระดับโปรตีนไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรทั้งในด้านอัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกน้ำหนัก พบแต่เพียงแนวโน้มว่าสุกรที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงจะมีสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่าสุกรที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของพรรณิภาและคณะ (2523; อ้างโดยไกรสิทธิ์, 2547)

พลังงาน (Energy)

พลังงานเป็นเรื่องสำคัญในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ เนื่องจากร่างกายต้องการพลังงานไปใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ ทั้งเพื่อดำรงชีพและให้ผลผลิต ในการประกอบสูตรอาหารมักต้องคำนึงถึงพลังงานเป็นอันดับแรก เพราะความเข้มข้นของโภชนะต่างๆ ในอาหารมักแปรผันตามระดับของพลังงาน ซึ่งพลังงานที่สัตว์ได้จากอาหารนั้น ได้มาจากโภชนะในอาหาร 3 ประเภท คือ ส่วนใหญ่มาจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน และมาจากโปรตีนได้บ้างในบางสภาวะ โดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิสมต่างๆ ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 1 ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของโภชนะหลักที่ให้พลังงาน ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1 เมตาบอลิสมของพลังงานและตำแหน่งของเซลล์ที่เกิดกระบวนการ
ที่มา: ศรีสกุลและรณชัย (2539)

คาร์โบไฮเดรต

เป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการทำงานของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากในอาหารสัตว์มักมีไขมันเป็นองค์ประกอบไม่เกิน 5% ดังนั้นพลังงานส่วนใหญ่ในอาหารจึงมาจากคาร์โบไฮเดรต (บุญล้อม, 2541)

การจัดจำพวกคาร์โบไฮเดรตทางโภชนศาสตร์สัตว์

ในทางอาหารสัตว์แบ่งคาร์โบไฮเดรตออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) พบในผนังเซลล์ของพืช ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่ต้นพืช เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยยาก เอนไซม์ของสัตว์ไม่สามารถย่อยได้เอง ต้องอาศัยการย่อยโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่พบในทางเดินอาหารของสัตว์ที่กินพืช เช่น สัตว์เคี้ยวเอื้อง กระต่าย ฯลฯ คาร์โบไฮเดรตประเภทนี้ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เป็นต้น

2. คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non structural carbohydrate) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายด้วยเอนไซม์ของตัวสัตว์เอง ทำให้ใช้ประโยชน์ได้ดีทั้งในสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์เคี้ยวเอื้อง คาร์โบไฮเดรตประเภทนี้ได้แก่ แป้งและน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตขั้นพื้นฐานในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว จะใช้วิธี Proximate analysis ซึ่งจะแบ่งคาร์โบไฮเดรตออกเป็นกลุ่มตามลักษณะความทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่าง ทำให้ได้เป็นเยื่อใย (crude fiber, CF) คือส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง รวมกับลิกนินซึ่งไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต และไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (nitrogen free extract, NFE) คือคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย ได้แก่ แป้งและน้ำตาล

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

เมื่ออาหารคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่ปาก จะถูกคลุกเคล้าด้วยน้ำลายซึ่งประกอบไปด้วยน้ำ 99% และอีก 1% เป็นพวกมิวซิน (mucin) เกลืออนินทรีย์ เอนไซม์ไลโซไซม์ (lysozyme) เอนไซม์ไทยาลินหรือแอลฟาอะไมเลส (ptyalin or α-amylase) สำหรับสุกรเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในน้ำลายมีปริมาณน้อย เนื่องจาก pH ของน้ำลายสูงกว่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทำหน้าที่ย่อย α-1,4 polysaccharide ที่มีกลูโคสตั้งแต่ 3 หน่วยขึ้นไป ได้แก่ แป้งและไกลโคเจน ให้ได้เป็นส่วนผสมของ maltose และ limited dextrin ซึ่งเป็น α-1,6 glucan ที่ต้องอาศัยเอนไซม์จากลำไส้เล็กมาย่อย

การย่อยแป้งในกระเพาะเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจาก สภาพ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส แต่การย่อยอาจเกิดขึ้นได้จากเอนไซม์ในน้ำลายที่ติดไปกับก้อนอาหารเท่านั้น

ในลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์ทั้งจากตัวลำไส้เล็กเองและจากตับอ่อนมาช่วยในการย่อยคาร์โบไฮเดรต เอนไซม์เหล่านั้นได้แก่

Sucrase ย่อย sucrose ให้เป็น glucose และ fructose

Maltase ย่อย maltose ให้เป็น glucose 2 โมเลกุล

Lactose ย่อย lactase ให้เป็น glucose และ galactose

Oligo-1,6-glucosidase ย่อยพันธะα-1,6 ของ limited dextrin

Pancreatic α-amylase ย่อย α-1,4 glucan ให้เป็น maltose, maltriose และ limited dextrin

การย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยตัวสัตว์จะถือว่าสิ้นสุดลงที่ลำไส้เล็กนี้ เมื่ออาหารเดินทางมาถึงลำไส้ใหญ่ น้ำจะถูกดูดซึมกลับไปใช้ประโยชน์ ส่วนที่เป็นกากที่ไม่สามารถย่อยได้ คือ ลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ส่วนใหญ่จะถูกขับออกนอกร่างกาย แต่บางส่วนอาจถูกย่อยต่อโดยน้ำย่อยที่ติดมาจากลำไส้เล็กหรือน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีทั้งกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน ให้สารที่ทำให้เกิดกลิ่นในมูล รวมทั้งวิตามินเคและบี เช่น ไบโอติน (biotin) บ้าง แต่ไม่ค่อยได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสัตว์มากนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรต (ศรีสกุลและรณชัย, 2539)

1. ปริมาณเซลลูโลส ถ้าอาหารนั้นมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบมาก ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ก็จะมีน้อยลง

2. ปริมาณลิกนิน พืชอายุมาก จะมีลิกนินในปริมาณสูง ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ก็จะลดลง

3. สารพิษบางอย่าง เช่น hydrocyanic acid ในมันสำปะหลัง จะทำให้การย่อยคาร์โบไฮเดรตลดลง ตามปกติแล้ว cyanide ในมันสำปะหลังจะอยู่ในรูป cyanogenic glucoside แต่เอนไซม์ linamarase ในพืชจะไฮโดรไลซ์ให้เป็น hydrocyanic acid ซึ่งมีผลต่อกระบวนการใช้พลังงาน โดยยับยั้งการทำงานของ cytochrome oxidase ซึ่งจำเป็นต่อการใช้ออกซิเจนของเซลล์ ทำให้เลือดมีออกซิเจนมาก เนื่องจากเซลล์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ และสัตว์จะตายในที่สุด

4. ขนาดชิ้นของวัตถุดิบอาหารสัตว์ วัตถุดิบที่บดแล้วย่อยง่ายกว่าวัตถุดิบที่ยังเป็นเมล็ด เนื่องจากเมล็ดมีสารต้านการย่อยหุ้มอยู่ เช่น เซลลูโลสและลิกนิน

การดูดซึมคาร์โบไฮเดรต

เมื่อคาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์กระเพาะเคี่ยวถูกย่อยจนได้เป็นโมโนแซกคาไรด์ซึ่งส่วนมากเป็นน้ำตาล hexose และมี pentose บ้างเล็กน้อย น้ำตาลดังกล่าวจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลางเข้าสู่ร่างกาย โดยอาศัยกระบวนการดังนี้

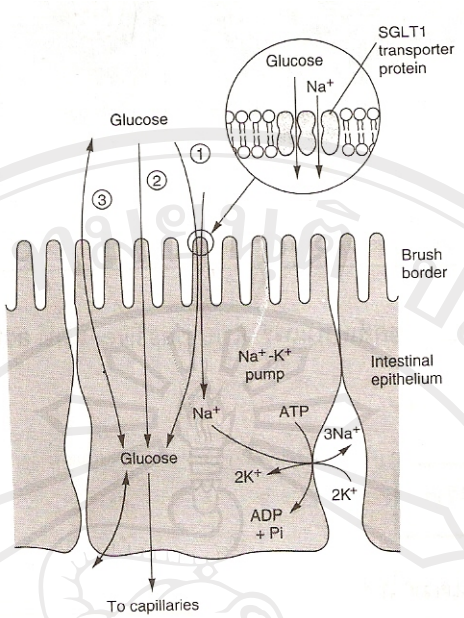
1. การดูดซึมด้วยวิธีการแพร่ (simple diffusion) เป็นการดูดซึมแบบไม่ใช้พลังงาน (passive absorbsion) คือ โมโนแซกคาไรด์ที่ได้จะซึมผ่านผนังลำไส้ได้โดยตรง น้ำตาลที่ดูดซึมด้วยวิธีนี้ได้แก่ mannose, xylose และ arabinose

2. การดูดซึมผ่านผนังลำไส้ด้วยวิธี phosphorylation เป็นการดูดซึมกลูโคสและโมโนแซกคาไรด์ตัวอื่นๆ เช่น galactose ด้วยการแลกเปลี่ยน high energy phosphate group (Pi) ระหว่าง ATP และ ADP โดยอาศัยเอนไซม์ที่ผนังลำไส้เล็ก 2 ชนิด คือ

- hexokinase ช่วยในการทำให้ ATP แตกตัวเป็น ADP และ Pi
- phosphatase ช่วยในการรวมตัวของ ADP และ Pi ได้เป็น ATP

การดูดซึมแบบนี้เป็นการดูดซึมที่ต้องใช้พลังงาน ต้องอาศัยตัวพาซึ่งเป็นโปรตีน และต้องอาศัย Na^+ ซึ่งตัวพาจะจับกับโมเลกุลของ Na^+ และน้ำตาลแล้วพาเข้าสู่เซลล์ โดย Na^+ จะเข้าสู่เซลล์ตามความเข้มข้น แต่น้ำตาลจะเข้าสู่เซลล์แบบต้านความเข้มข้นโดยอาศัยพลังงานจากระบบ Na^+-K^+ ATPase pump ที่จะขับ Na^+ ออกนอกเซลล์แล้วนำ K^+ เข้าสู่เซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2 การดูดซึมกลูโคสผ่านผนังลำไส้ (บุญล้อม, 2541)

1. แบบ active transport โดยอาศัย Na^+-K^+ ATPase pump
2. แบบ active transport โดยไม่อาศัย Na^+-K^+ ATPase pump
3. แบบการแพร่ (diffusion)

เมตาบอลิสมของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารหลักที่ให้พลังงานต่อร่างกาย โดยผ่านในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สำคัญคือ กลูโคส ที่จะถูกนำเข้าสู่วิถีไกลโคไลซิส (glycolysis) วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) และกระบวนการถ่ายทอดอิเลกตรอนหรือระบบลูกโซ่การหายใจ (electron transport system or respiration chain) ตามลำดับ ซึ่งจะได้พลังงานในรูป ATP ทั้งหมด 36 หรือ 38 โมเลกุลต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส

นอกจากนั้นยังมีวิถีรองซึ่งใช้ในการสลายกลูโคส คือ วิถีเพนโตสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) แต่แตกต่างจากวิถีไกลโคไลซิสที่ไม่ได้มุ่งเน้นในการสร้างพลังงานในรูป ATP แต่เพื่อสร้าง NADPH ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ที่สำคัญในการสร้างกรดไขมันและกรดอะมิโน และยังได้น้ำตาลเพนโตสฟอสเฟตเพื่อนำไปสังเคราะห์นิวคลีโอไทด์และกรดนิวคลีอิกด้วย

ส่วนการสร้างกลูโคสขึ้นมาใหม่จะใช้กระบวนการกลูโคนีโอเจนนีซิส (gluconeogenesis) โดยสร้างกลูโคสจากสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต คือ แลคเตท กลีเซอรอล และกรดอะมิโนที่เป็น glucogenic amino acid กระบวนการนี้เกิดขึ้นในตับเป็นส่วนใหญ่และมีความสำคัญต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การรักษาระดับกลูโคสในกระแสเลือด ซึ่งปฏิกิริยาในกระบวนการจะเป็นการย้อนกลับของวิถีไกลโคไลซิส แต่บางขั้นตอนต้องใช้ปฏิกิริยาอื่น

นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตยังมีการเก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับจากอาหารไว้ในรูปของไกลโคเจน กลไกการสังเคราะห์ไกลโคเจนสามารถเกิดได้ในทุกเนื้อเยื่อของร่างกาย โดยเฉพาะที่ตับและกล้ามเนื้อโดยการกระตุ้นของฮอร์โมนอินซูลิน (insulin) ซึ่งเมื่อร่างกายต้องการใช้พลังงานก็สามารถสลายไกลโคเจนให้เป็นกลูโคสได้โดยฮอร์โมนกลูคากอน (glucagon) และเอพิเนฟริน (epinephrine) ดังนั้นการรักษาระดับกลูโคสในเลือดให้คงที่จึงเป็นหน้าที่ของตับไม่ใช่เซลล์กล้ามเนื้อ

น้ำตาลชนิดอื่นๆ เช่น ฟรุกโตส (fructose) กาแลกโตส (galactose) และแมนโนส (mannose) ก็สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดีเหมือนกลูโคส แต่ต้องทำการเปลี่ยนน้ำตาลเหล่านี้ด้วยวิถีที่จำเพาะก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางในวิถีไกลโคไลซิส ซึ่งอาจจะนำไปสลายหรือสังเคราะห์กลับเป็นกลูโคส ขึ้นกับภาวะของร่างกายในขณะนั้นและเมตาบอลิสมของน้ำตาลที่มักเกิดที่ตับเป็นส่วนใหญ่

ไขมัน (Triacyglycerol, triglyceride หรือ neutral fat)

เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล จับกับกรดไขมัน 3 ตัว ซึ่งอาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ก็ได้ ถ้าเป็นชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุลจะเรียกว่า ไขมันเชิงเดี่ยว (simple triacylglycerol) แต่ถ้ากรดไขมันที่มาจับเป็นชนิดต่างๆ กัน จะเรียกว่า ไขมันผสม (mix triacylglycerol) โดยทั่วไป triacylglycerol จะถูกเรียกว่า ไขมัน (fat) หรือ น้ำมัน (oil) ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ คือ ไขมันจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและมีกรดไขมันจำพวกอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบ ส่วนน้ำมันจะมีสถานะเป็นของเหลวและมีกรดไขมันจำพวกไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบ แต่ในด้านสมบัติทางเคมียังคงเหมือนกันทุกประการ

ไขมันมีหน้าที่หลายประการ อาทิเช่น เป็นแหล่งสะสมพลังงาน โดยสามารถให้พลังงานได้มากว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า เป็นตัวให้กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid, EFA) และช่วยในการดูดซึมและกักเก็บวิตามินที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามิน A, D, E และ K เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์และเป็นฉนวนเก็บรักษาความร้อนให้ร่างกาย ช่วยในการถ่ายทอดสัญญาณทางระบบประสาท นอกจากนั้นยังช่วยลดความเป็นฝุ่นของอาหาร ทำให้อาหารมีความน่ากิน และง่ายต่อการอัดเม็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การย่อยและการดูดซึมไขมัน

เมื่อไขมันจากอาหารเข้าสู่กระเพาะจะไม่ถูกย่อยแม้ว่าจะมี gastric lipase ก็ตาม แต่การย่อยที่แท้จริงจะเริ่มจากส่วนของลำไส้เล็ก โดยที่ลำไส้เล็กส่วนต้นจะมีน้ำดีจากตับส่งมาคลุกเค้ากับไขมันในอาหารให้กลายเป็นอิมัลชั่น (emulsion) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของไขมันให้สัมผัสกับน้ำย่อยมากยิ่งขึ้น เมื่ออาหารมาถึงลำไส้เล็กจะมีเอนไซม์หลายกลุ่ม เช่น เอนไซม์ pancreatic lipase จากตับอ่อน ที่ย่อยพันธะเอสเทอร์ในไตรเอซิลกลีเซอรอลให้แตกออกให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน 3 โมเลกุล เอนไซม์กลุ่ม phospholipase จากตับอ่อนย่อยฟอสโฟไลปิด และเอนไซม์กลุ่ม choresteryl hydrolase สลายพันธะเอสเทอร์ในคลอเรสเตอริลเอสเทอร์ให้ได้เป็นคลอเรสเตอรอลและกรดไขมันอิสระ จากนั้นกรดไขมันอิสระที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 12 อะตอมและกลีเซอรอลจะถูกดูดซึมผ่านเข้าสู่เซลล์เยื่อบุผนังลำไส้ เพื่อขนส่งในกระแสเลือดโดยตรง แต่กรดไขมันโมเลกุลยาว ซึ่งอยู่ในรูปไมเซลล์จะถูกดูดซึมด้วยวิธี passive diffusion หลังจากดูดซึมเข้าสู่เซลล์เยื่อบุลำไส้แล้ว กรดไขมันและกลีเซอรอลจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วกลับเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งต่อมาจะรวมตัวกับคลอเรสเตอริลเอสเทอร์ ฟอสโฟไลปิดและโปรตีนได้เป็นไลโปโปรตีนชนิดไคโลไมครอน (chylomicron) แล้วถูกปล่อยสู่ระบบน้ำเหลืองเข้าสู่กระแสเลือดและไปสู่เนื้อเยื่อสำคัญต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อ ตับ และเนื้อเยื่อไขมันซึ่งที่เส้นเลือดฝอยของเนื้อเยื่อเหล่านี้จะมีเอนไซม์ lipoprotein lipase ย่อยไตรเอซิลกลีเซอรอลให้กลายเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลอีกครั้ง ซึ่งกรดไขมันจะถูกนำเข้าสู่เซลล์เพื่อนำไปสลายต่อให้ได้พลังงานที่ไมโตรคอนเดรียหรืออาจจะนำไปเก็บไว้ในรูปไตรเอซิลกลีเซอรอลอีกก็ได้

เมตาบอลิสมของกรดไขมัน

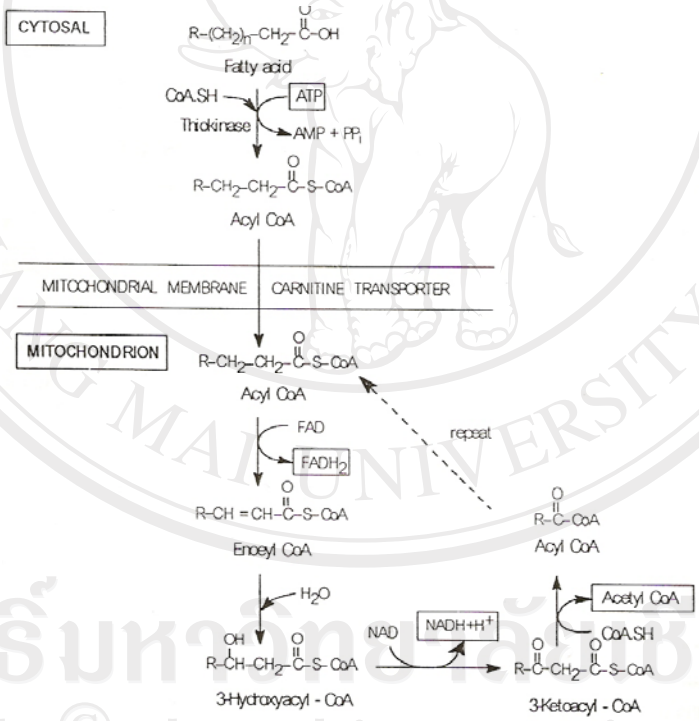
กรดไขมันที่ถูกขนย้ายเข้าสู่ไมโตคอนเดรียจะถูกสลาย ในภาวะที่ร่างกายขาดพลังงานให้ได้เป็นพลังงานโดยวิถีเบต้าออกซิเดชั่น (β-oxidation) ซึ่งในแต่ละรอบของวิถีนี้ กรดไขมันจะถูกตัดคาร์บอนออกทีละ 2 อะตอม และได้ $FADH_2$, NADH และอะเซทิลโคเออย่างละ 1 โมเลกุล ซึ่งสารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูป ATP ต่อไป แต่ในสภาวะที่ร่างกายมีพลังงานอย่างเพียงพอแล้ว อะเซทิลโคเอที่ได้รับจากอาหารคาร์โบไฮเดรตจะถูกนำมาสังเคราะห์เป็นกรดไขมันโดยใช้เอนไซม์ fatty acid synthase complex แล้วเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งกรดไขมันที่เอนไซม์นี้สังเคราะห์ได้จะมีความยาวของคาร์บอนไม่เกิน 16 อะตอม หากต้องการกรดไขมันที่ยาวกว่านี้หรือมีพันธะคู่ต้องใช้เอนไซม์ตัวอื่นๆ ต่อไป อย่างไรก็ตาม ร่างกายไม่มีเอนไซม์ที่สามารถใช้สร้างกรดไขมันที่มีพันธะคู่ที่เกินกว่าคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 ได้ จึงจำเป็นต้องได้รับกรดไขมันดังกล่าวจากอาหารเท่านั้น และเป็นที่มาของกรดไขมันที่เรียกว่า กรดไขมันจำเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรณีที่เซลล์มีอะเซทิลโคเอในไมโตรคอนเดรียมากเกินไป และไม่สามารถนำออกสู่ไซโตพลาสมได้ทัน อะเซทิลโคเอจะถูกเปลี่ยนเป็นคีโตนบอดี (ketone body) และขนส่งไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ซึ่งสามารถสลายให้ได้พลังงานได้ในภายหลัง

สำหรับการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลจะใช้อะเซทิลโคเอเป็นสารตั้งต้นเช่นกัน และมีปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ซึ่งคอเลสเตอรอลที่สร้างได้จะถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดน้ำดี วิตามินดีและสารสเตียรอยด์ต่างๆ ต่อไป

ส่วนกลีเซอรอล (glycerol) ที่เป็นส่วนประกอบของลิปิดเช่นเดียวกับกรดไขมัน จะสามารถเปลี่ยนเป็นกลูโคสได้ โดยเข้าสู่วิถีไกลโคไลซิสในรูปของไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต (dihydroxyacetone phosphate) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้เป็นไพรูเวทและ acetyl CoA แล้วเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ เผาผลาญให้ได้พลังงานในที่สุด



รูปที่ 3 วิถีเบต้าออกซิเดชั่น (β-oxidation) (บุญล้อม, 2541)

การใช้ประโยชน์ได้ของไขมันในสุกร (วันดี, 2546)

หลักการพิจารณาการใช้แหล่งไขมันในอาหารสัตว์ ได้แก่ ต้องปลอดภัยต่อสัตว์โดยไม่มีส่วนของสารพิษปะปนอยู่ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการนำไขมันไปใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. ระดับของความไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation of fatty acid)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันมีความสำคัญโดยเฉพาะในอาหารสุกรและสัตว์ปีก ในส่วนผสมของอาหารสัตว์ควรมีทั้งกรดไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้มีการย่อยได้สูงและมีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด

2. ความยาวของสายโซ่กรดไขมัน (fatty acid chain length)

ในอาหารสุกรมีการใช้แหล่งของไขมันที่หลากหลายและมีความยาวของสายโซ่กรดไขมันที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร เช่น

- น้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นซึ่งแม้จะมีการย่อยได้ค่อนข้างสูง แต่มีความน่ากินต่ำ
- น้ำมันปาล์มนิยมใช้กันในสูตรอาหาร เพราะมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวอยู่สูง แต่ก็มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวอยู่ในปริมาณสูงด้วยเช่นกัน
- น้ำมันปลาส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว มีการย่อยได้ดี แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปอาจจะทำให้เนื้อสุกรมีกลิ่นคาวปลาได้

3. อัตราส่วนของกรดไขมันอิสระและกลีเซอไรด์ (free fatty acid : glyceride ratio)

ไขมันควรมีกรดไขมันอิสระอยู่ไม่เกิน 50% เนื่องจากโมโนและไดกลีเซอไรด์เป็นรูปสำคัญในการเกิดไมเซลล์ (micells) ซึ่งมีบทบาทในการช่วยดูดซึมไขมันในลำไส้เล็ก นอกจากนั้นแหล่งไขมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง จะทำให้สามารถพ่นไขมันให้เป็นฝอยในระหว่างการอัดเม็ดอาหารได้ดี และจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายกว่าไขมันที่มีกรดไขมันอิสระอยู่ต่ำ

4. ระดับที่ใช้ผสมในสูตรอาหาร (level of inclusion)

ควรพิจารณาตามความเหมาะสมหลายอย่าง เช่น อายุของสัตว์ สภาพแวดล้อม ความน่ากินของอาหาร และคุณภาพซากตามความต้องการของตลาด เป็นต้น

เมตาบอลิสมผสมผสานระหว่างโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน

อาจกล่าวได้ว่า สารอาหารที่ให้พลังงานนั้นมีอยู่ 4 ประเภท คือ กลูโคส กรดไขมัน กรดอะมิโน และคีโตนบอดี ซึ่งร่างกายจะมีการผสมผสานในการใช้งานทั้งเพื่อผลิตขึ้นมาใหม่และเพื่อสลายให้ได้เป็นพลังงาน โดยจะสอดคล้องกับสภาวะของร่างกายและการได้รับอาหาร เช่น ในภาวะที่ร่างกายกำลังได้รับอาหาร มีการย่อยและดูดซึม กลูโคสและกรดอะมิโนที่ได้จากอาหารเมื่อส่งผ่านไปตามกระแสเลือดไปยังตับและถูกส่งต่อไปยังอวัยวะต่างๆ โดยเฉพาะสมอง กลูโคสที่มีมากเกินพอจะถูกนำไปเก็บสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจนที่ตับ อีกส่วนหนึ่งจะนำไปสร้างเป็นกรดไขมันเพื่อนำไปเก็บสะสมไว้ในรูปไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เนื้อเยื่อไขมัน ส่วนกรดไขมันจากอาหารจะถูกส่งผ่านกระแสเลือดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ โดยเฉพาะเนื้อเยื่อไขมันเพื่อนำไปเก็บไว้ในรูปของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไตรเอซิลกลีเซอรอล หรือส่งต่อไปยังกล้ามเนื้อและหัวใจเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง แต่เมื่อร่างกายอยู่ในภาวะหลังการดูดซึม คือ ประมาณ 3-6 ชั่วโมงหลังจากมื้ออาหาร ไกลโคเจนที่ตับจะถูกสลายเพื่อเป็นกลูโคสส่งเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อไปเป็นแหล่งพลังงานของอวัยวะต่างๆ โดยเฉพาะสมอง ในขณะเดียวกัน ตับก็เริ่มสร้างกลูโคสด้วยกระบวนการกลูโคนีโอเจนีซิส โดยใช้แลคเตทและกรดอะมิโนอะลานีนที่ได้จากกล้ามเนื้อเป็นวัตถุดิบสำคัญ ในช่วงต้นของภาวะนี้จะมีการสลายโปรตีนมาเป็นแหล่งพลังงานน้อยมาก ต่อมาเมื่อร่างกายอยู่ในภาวะอดอาหารหรือประมาณ 6-8 ชั่วโมงหลังมื้ออาหารสุดท้าย ร่างกายจะนำสารอาหารมาสลายเป็นพลังงานสำรองมากขึ้น เนื่องจากมีการสะสมไกลโคเจนในปริมาณที่จำกัด ดังนั้นไตรเอซิลกลีเซอรอลจากเนื้อเยื่อไขมันจะถูกสลายให้เป็นกรดไขมัน เพื่อส่งไปเป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อต่างๆ กรดไขมันบางส่วนถูกนำไปสร้างเป็นคีโตนบอดีที่ตับ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อได้เช่นกัน ในภาวะนี้ สมองยังคงใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานหลัก และอาจใช้คีโตนบอดีได้หากมีเป็นปริมาณสูงในกระแสเลือด สำหรับภาวะขาดอาหาร คือ ร่างกายไม่ได้รับอาหารตั้งแต่ 2-3 วันขึ้นไป ในระยะนี้กระบวนการต่างๆ จะคล้ายกับภาวะอดอาหาร แต่กระบวนการกลูโคนีโอเจนีซิสที่มีกรดอะมิโนเป็นวัตถุดิบจะเริ่มลดลง เนื่องจาก ร่างกายต้องสำรองโปรตีนไว้ใช้เพื่อทำหน้าที่อื่นๆ แหล่งพลังงานสำคัญจึงมาจากกรดไขมันจากเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งจะนำมาเป็นแหล่งพลังงานโดยตรง และนำไปเปลี่ยนเป็นคีโตนบอดีที่ตับ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อประสาทต่างๆ

จากการที่เซลล์ต่างๆ ภายในร่างกายต้องการพลังงานอย่างสม่ำเสมอ การควบคุมกระบวนการสะสมหรือการใช้สารอาหารพลังงานจึงต้องอยู่ในภาวะสมดุลตลอดเวลา ซึ่งการควบคุมแมตาบอลิสมของสารอาหารพลังงานมีอยู่ 2 ระดับ ได้แก่ ควบคุมโดยสัญญาณ (signal control) คือ ระดับของสารอาหารพลังงานที่มีอยู่ในกระแสเลือดจะไปเป็นตัวกระตุ้นหรือยับยั้งการหลั่งและการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้อง เช่น อินซูลิน กลูคากอน เป็นต้น และควบคุมโดยผ่านทางเอนไซม์ควบคุมต่างๆ (regulatory enzyme) โดยฮอร์โมนจะไปกระตุ้นสัญญาณภายในเซลล์ เช่น cAMP ซึ่งจะไปกระตุ้นหรือควบคุมการทำงานของเอนไซม์อีกต่อหนึ่ง

การวัดพลังงานในอาหาร

การวัดปริมาณพลังงานทั้งหมดในอาหาร กระทำได้โดยการวัดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำอาหารไปเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเครื่องมือ bomb calorimeter ซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้จากการสันดาปนี้เรียกว่า พลังงานรวมหรือพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ (gross energy หรือheat of combustion) ซึ่งหมายถึง ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ได้จากการสลายพันธะเคมีที่อยู่ในอาหารนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปคาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน จะมีพลังงานจากการเผาไหม้เฉลี่ยประมาณ 4.1, 9.4 และ 5.7 กิโลแคลอรีต่อกรัมตามลำดับ (บุญเสริมและบุญล้อม, 2542; บุญล้อม, 2542) จะเห็นได้ว่า ไขมันมีพลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า ทั้งนี้เพราะ คาร์โบไฮเดรตมีโมเลกุลออกซิเจนเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนแล้วได้เป็นน้ำ ดังนั้นพลังงานที่ได้จึงเกิดจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเท่านั้น ในขณะที่ไขมันมีออกซิเจนในโมเลกุลน้อย จึงต้องนำออกซิเจนจากภายนอกมาทำปฏิกิริยาทั้งกับไฮโดรเจนและคาร์บอน ซึ่งในการเผาผลาญไฮโดรเจน 1 กรัมจะให้พลังงานมากกว่าการเผาผลาญคาร์บอนที่น้ำหนักเท่ากันถึง 4 เท่า จึงทำให้ไขมันมีพลังงานมากกว่า (บุญล้อม, 2542)

อย่างไรก็ดีค่าพลังงานหยาบไม่ได้บอกถึงพลังงานที่ร่างกายสัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง เนื่องจาก พลังงานในอาหารบางส่วนไม่สามารถถูกย่อยได้ ทำให้ถูกขับออกไปกับมูล ดังนั้นเมื่อนำพลังงานที่สูญเสียไปกับมูล (fecal energy; FE) มาหักออก จะได้เป็น พลังงานย่อยได้ (digestible energy; DE) ซึ่งหาได้จากการเลี้ยงสัตว์ใน metabolic cage แล้วทำการวัดปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ขับออก แล้วนำมาหาพลังงานที่มีในมูลนั้น

สำหรับตัวสัตว์ เมื่ออาหารถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โภชนะส่วนที่ไม่ถูกใช้จะถูกขับออกไปพร้อมกับปัสสาวะ เกิดการสูญเสียพลังงานในปัสสาวะ (urinary energy; UE) ถ้านำไปหักออกจากค่าพลังงานย่อยได้ จะเรียกว่า พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy; ME) ซึ่งนิยมนำมาใช้ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยเฉพาะสัตว์ปีก

นอกจากนี้ยังมีพลังงานบางส่วนที่สูญเสียไปในรูปของความร้อนที่เรียกว่า heat increment (HI) ที่เป็นภาระให้สัตว์ต้องหาทางระบายออกไปนอกร่างกายอีกด้วย โดยค่าดังกล่าวจะแปรผันไปตามชนิดสัตว์ ประเภทของอาหารและระดับพลังงานที่สัตว์ได้รับ ตลอดจนสมดุลของโภชนะในอาหารนั้น กล่าวคือ ถ้ามีอาหารมีโภชนะสมดุล ร่างกายจะนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ค่า HI ลดลง

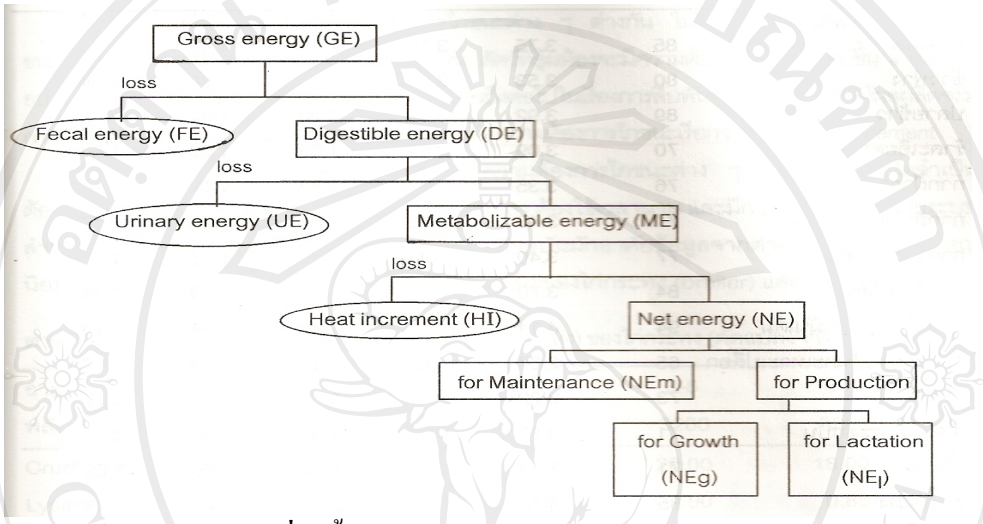
สาเหตุของการเกิด heat increment มาจากกระบวนการเผาผลาญโภชนะภายในร่างกายให้เป็นพลังงานไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอโดยเฉพาะอย่างในสัตว์ที่อดอาหารแล้วได้กินอาหารใหม่ๆ

กระบวนการย่อยอาหารก็มีส่วนทำให้เกิด HI เช่นกัน เนื่องจาก การเคี้ยว การขับดันอาหารผ่านทางเดินอาหาร การดูดซึมสารอาหารล้วนแล้วแต่ต้องใช้พลังงานในการทำงานทั้งสิ้น

กระบวนการสร้างเนื้อเยื่อและองค์ประกอบของร่างกายก็ทำให้เกิด HI ได้โดยพบว่า การสร้างโปรตีน 1 กิโลกรัมจากการนำกรดอะมิโนและเปปไทด์มาเชื่อมต่อกันต้องเสียพลังงานในรูปความร้อนถึง 2.5 MJ (บุญล้อม, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า HI ที่ได้ เมื่อนำไปหักออกจากพลังงานใช้ประโยชน์ได้จะได้เป็น พลังงานสุทธิ (net energy; NE) ซึ่งจะเป็นพลังงานที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริงในการดำรงชีพ (net energy for maintainnace, NE_M) การให้ผลผลิต (net energy for production, NE_p) หรือสะสมไว้ในร่างกาย (enegy retention)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนพลังงาน (บุญเสริมและบุญล้อม, 2542)

ความต้องการพลังงานของสัตว์

สัตว์ต้องการพลังงานเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ทาง คือ การดำรงชีพและการให้ผลผลิต อันได้แก่ การเจริญเติบโต การขุน การสืบพันธุ์ การให้นม และการให้ไข่ (ศรีสกุลและรณชัย, 2539)

พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Energy requirement for maintainance, E_M)

หมายถึง ปริมาณพลังงานต่ำสุดที่สัตว์ต้องการเพื่อให้ร่างกายอยู่ในสภาพสมดุลที่ไม่มีการสูญเสียและไม่ได้รับพลังงานเพิ่ม (energy equilibrium) เป็นพลังงานที่สัตว์ต้องการเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต เช่น การหายใจ การหมุนเวียนโลหิต การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบ การทำงานของระบบประสาท เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

1. Basal metabolism หมายถึง ปริมาณพลังงานต่ำสุดที่สัตว์ต้องการเพื่อดำรงกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต ในสภาพที่ สัตว์มีสุขภาพปกติ แข็งแรง ไม่เจ็บป่วย ไม่มีภาวะทางสรีรวิทยาที่ผิดปกติ และถูกอดอาหารมานานพอควร อย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง กล้ามเนื้อมีการทำงานที่ต่ำที่สุด และเลี้ยงในสภาวะที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิที่เหมาะสม สบายตัว (ศรีสกุลและรณชัย, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. Activity increment เป็นพลังงานที่ร่างกายต้องการเพื่อทำกิจกรรมอื่นๆ เพื่อดำรงชีพนอกเหนือจาก basal metabolism เช่น การกินและเคี้ยวอาหาร การเดิน การนอน การลุกนั่ง เป็นต้น

พลังงานเพื่อการให้ผลผลิต (Productive energy, PE)

คือ พลังงานที่สัตว์นำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต ทั้งในการเพิ่มจำนวนเซลล์ (hyperplasia) และ/หรือการขยายขนาดของเซลล์ (hypertrophy) โดยในช่วงแรกการเจริญเติบโตจะมีมากในกลุ่มของกระดูกที่เป็นโครงร่างของร่างกาย ต่อมากล้ามเนื้อจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเจริญเติบโตได้เต็มที่แล้วจึงให้ผลผลิตอื่นๆ เช่น น้ำนม ไข่ หรือแม้แต่ลูกสัตว์

ความต้องการพลังงานของสุกร

พลังงานสำหรับสุกรส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการเมตาบอลิสมของแป้ง น้ำตาลและไขมัน ระดับพลังงานควรมีความสัมพันธ์กับโภชนะอื่นๆ และเหมาะสมกับความต้องการของสุกร เพื่อให้สุกรมีสมรรถภาพการผลิตได้เต็มที่ โดยรูปแบบของพลังงานที่นิยมใช้กับสุกร คือ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy)

ในสุกร พบว่า ความต้องการพลังงานจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด คือ ระยะหลังหย่านมจนถึงน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม (วันดี, 2546) หลังจากนั้นความต้องการพลังงานจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง เนื่องมาจากปริมาณอาหารที่กินได้ต่อวันเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องมีการปรับระดับโปรตีนและไลซีนในอาหารให้เหมาะสมด้วย

ตารางที่ 6 ความต้องการพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสุกรต่อวัน ที่สัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กินได้ ปริมาณโปรตีนและไลซีนของสุกรระยะเจริญเติบโต

นน.สุกร (kg)	ปริมาณอาหารที่กิน (g/d)	พลังงานใช้ประโยชน์ (kcal/d)	โปรตีนรวม (%CP)	ไลซีนย่อยได้[1/] (g/d)
3 - 5	250	820	26	3.2
5 – 10	200	1620	23	5.5
10 -20	1000	3265	20	9.4
20 - 50	1885	6050	18	14.2
50 - 80	2575	8410	15	15.8
80 - 120	3075	10030	13	14.4

[1/] คำนวณจากค่าการย่อยได้ปรากฏที่ปลายลำไส้เล็ก

ที่มา : ดัดแปลงจาก วันดี (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะของสัตว์ที่ขาดพลังงาน

ปกติสัตว์มีแนวโน้มที่จะกินอาหารได้มากขึ้นหากพลังงานในอาหารลดลง ดังนั้นการขาดพลังงานจะเกิดขึ้นต่อเมื่ออาหารที่ให้นั้นมีระดับพลังงานต่ำและมีเยื่อใยมาก ฟ่าม และย่อยได้ยาก เนื่องจากเยื่อใยเป็นตัวจำกัดปริมาณอาหารที่กินเข้าไป เพราะกระเพาะมีความจุอย่างจำกัด ทำให้สัตว์ไม่สามารถกินอาหารเพิ่มได้อีกตามที่ต้องการเพื่อให้เพียงพอต่อการดำรงชีวิตและให้ผลผลิต

เมื่อสัตว์ขาดพลังงาน ร่างกายจะดึงแหล่งพลังงานที่สำรองไว้ในรูปไกลโคเจนมาใช้ จากนั้นจะดึงเอาไขมันที่เก็บสะสมไว้มาใช้และท้ายสุดจะดึงโปรตีนของเนื้อเยื่อมาใช้เพื่อสร้างเป็นพลังงานให้กับร่างกาย

อาการของสัตว์ที่ขาดพลังงานจะเริ่มจากแคระแกร็น เติบโตช้า การสะสมไขมันในซากลดลง และถ้าพลังงานในอาหารลดต่ำกว่าที่สัตว์ต้องใช้ในการดำรงชีพ สัตว์จะแสดงอาการเพิ่มขึ้นอีก คือ น้ำหนักลด เพราะสัตว์จะสลายโปรตีนจากเนื้อเยื่อไปใช้เป็นพลังงาน และถ้าขาดพลังงานมากขึ้นเรื่อยๆ อาจทำให้สัตว์ตายได้

ลักษณะของสัตว์ที่ได้รับพลังงานสูงเกินไป

การได้รับพลังงานในอาหารสูงมากเกินไปจะแสดงออกก็ต่อเมื่ออาหารนั้นมีอัตราส่วนของพลังงานและโปรตีนรวมทั้งแร่ธาตุอื่นๆ ไม่สมดุล โดยการได้รับพลังงานสูงเกินกว่าที่ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อย สัตว์จะไม่แสดงอาการใดๆ นอกจากเปอร์เซ็นต์ไขมันในซากที่สูงขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตลดลงเล็กน้อย แต่ในกรณีที่สัตว์ได้รับพลังงานจากอาหารสูงมาก จะทำให้สัตว์กินอาหารลดลงเพียงเพื่อให้ได้พลังงานตามที่ต้องการ ส่งผลให้ขาดโปรตีนและโภชนะอื่นๆ เป็นเหตุให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงมาก

งานวิจัยเกี่ยวกับระดับพลังงานในสูตรอาหารเลี้ยงสุกร

Cromwell (1978; อ้างโดย พรรณิภา, 2524) รายงานการให้อาหารที่มีพลังงานใช้ประโยชน์แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 2,900 3,240 และ 3,670 กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม แก่สุกรน้ำหนักระหว่าง 20 – 90 กิโลกรัม ปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิตของสุกรสูงขึ้นตามระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้น แต่ความหนาของไขมันสันหลังจะเป็นไปในทางตรงกันข้าม คือ จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อให้อาหารที่มีระดับพลังงานต่ำที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของสุทัศน์และคณะ (2542) และ กิตติพงษ์และคณะ (2545)

Bee *et al.* (2002) รายงานผลของระดับพลังงานในอาหารที่มีต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร พบว่า อาหารที่มีพลังงานสูง (14.0 MJ DE /kg) ทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ดีกว่าอาหารพลังงานต่ำ (8.8 MJ DE /kg) (845.5 vs 460.5 กรัมต่อวัน และ 0.41 vs 0.21, P<0.01) ตามลำดับ แต่มีค่าปริมาณอาหารที่กิน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงต่ำกว่า (193.2 vs 366.9 กรัมต่อวัน และ 55.5 vs 60.0%; P<0.01) ซึ่งสอดคล้องกับ Urynek and Buraczewska (2003) ที่พบว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงานใช้ประโยชน์สูงกว่า (14.5 vs 13.5 MJ/kg) จะมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารพลังงานต่ำ (P<0.01) คือ 621 vs 564 กรัมต่อวันและ 546 vs 503 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

Brumm and Miller (1996) ทำการเสริมไขมันที่ระดับ 0, 2.5 และ 5.0% ในอาหารสุกรรุ่นขุน ซึ่งเมื่อคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้เป็น 3,282 3,392 และ 3,502 kcal/kg พบว่า สุกรที่ได้รับอาหารเสริมไขมัน 5% มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมไขมัน 2.5 และ 0% คือ 789.0 vs 787.0 vs 764.0 กรัมต่อวัน (P<0.01) และ 312.0 vs 306.0 vs 290.0 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (P<0.001) ส่วนปริมาณอาหารที่กินได้ต่อวันน้อยลงตามลำดับ (P<0.005) คือ 2.48 vs 2.57 vs 2.64 กิโลกรัม ในขณะที่เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (45.8 vs 45.8 vs 46.4)

Hastard *et al*. (2005) รายงานผลการเสริมไขมัน 3 ระดับ คือ 0, 3 และ 6% ลงในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุนที่ประกอบด้วยข้าวโพด 3 ชนิด ได้แก่ yellow corn dent, high lysine corn และ low phytate -high lysine corn โดยอาหารทดสอบมีระดับพลังงานใช้ประโยชน์อยู่ในช่วง 3,276 – 3,721 kcal/kg พบว่า ชนิดของข้าวโพดไม่มีผลทางสถิติต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินได้ และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แต่ระดับไขมันซึ่งเป็นตัวกำหนดความแตกต่างของระดับพลังงานในสูตรอาหารกลับมีผลต่อปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการใช้พลังงานในสูตรอาหารอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหาร (Protein – energy relationship)

เนื่องจากปริมาณอาหารที่กินได้ของสุกรที่ได้รับอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ขึ้นกับระดับของพลังงานสุทธิ (net energy; NE) ในอาหาร ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานในอาหารจึงมีผลต่อปริมาณโภชนะต่างๆ รวมไปถึงกรดอะมิโนที่สัตว์ได้รับด้วย นอกจากนั้น การที่พลังงานในอาหารมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ จะส่งผลให้สัตว์นำเอาโภชนะอื่นๆ ในอาหาร เช่น โปรตีนไปสร้างเป็นพลังงานทดแทนให้กับร่างกาย แทนที่จะนำไปสร้างเป็นโปรตีนของเนื้อเยื่อ ซึ่งนับเป็นการใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่ไม่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างยิ่ง ส่วนระดับของโปรตีนที่สัตว์ต้องการขึ้นกับปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่สัตว์ต้องนำไปใช้ในการดำรงชีพและให้ผลผลิต ในทำนองเดียวกัน สัตว์ต้องการพลังงานในอาหารเพื่อเป็นแหล่งให้พลังงานสำหรับใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในกิจกรรมของร่างกาย โดยสัตว์ที่มีอายุมากจะมีความต้องการพลังงานสูง เนื่องจากต้องนำไปใช้ในการดำรงชีวิตมาก เพราะมีขนาดตัวใหญ่ขึ้น ในขณะที่การเจริญของเนื้อเยื่อในร่างกายมีอัตราลดลง ส่งผลให้มีความต้องการกรดอะมิโนและโปรตีนลดลงไปด้วย สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงาน (Protein – energy ratio) ที่ต้องการจึงมีค่าลดลง แต่ในสัตว์อายุน้อยซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อในอัตราที่สูงมาก ทำให้ต้องการโปรตีนและกรดอะมิโนในระดับสูง สัดส่วนของโปรตีนและพลังงานที่ต้องการจึงมีค่าสูง ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานและไลซีนต่อพลังงานในอาหารสุกรระยะต่างๆ

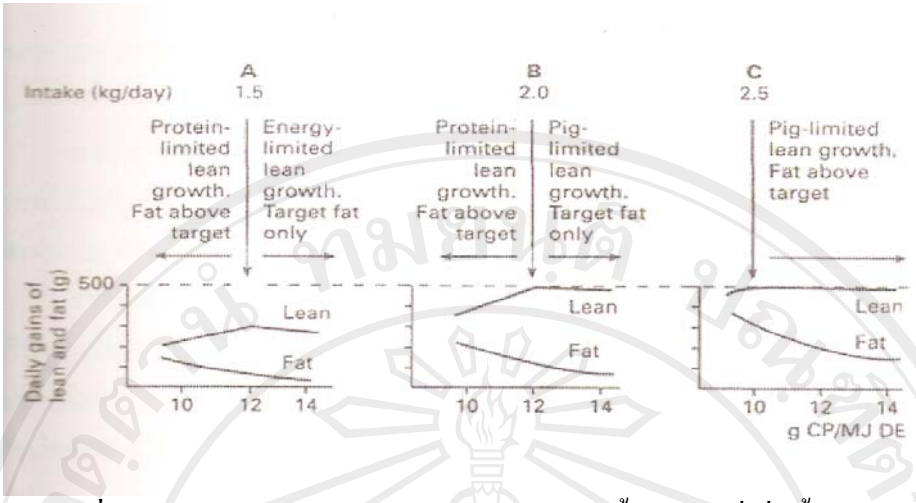
Period	DE density (MJ/kg)	CP density (g/kg)	CP (g) / MJ DE	Lysine (g/kg)	Lysine (g/MJ DE)
Starter (up to 15 kg)	15.5	250	16.0	14.8	0.95
Young grower (up to 30 kg)	15.0	225	15.0	12.8	0.85
Finisher (up to 100 kg)	14.0	200	14.0	10.5	0.75
Finisher (up to 160 kg)	14.0	170	12.0	8.4	0.60
Pregnant breeder	12.5	150	12.0	6.9	0.55
Lactating breeder	13.5	165	12.5	8.1	0.60
Improve male grower (40 kg)	15.0	225	15.0	12.8	0.85
Unimprove castrated male grower (40kg)	13.0	160	12.0	7.8	0.60

ที่มา : Whittemore (1993)

การที่สุกรระยะเจริญเติบโตได้รับโปรตีนและพลังงานอย่างพอเพียง จะทำให้มีการสร้างเนื้อแดงสูงสุด แต่ทั้งนี้ การเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารมากเกินกว่าความต้องการของสัตว์ก็ไม่สามารถเพิ่มการสร้างเนื้อแดงให้สูงกว่านี้ได้ เพราะเนื้อแดงมีการเจริญอย่างจำกัด

Whittemore (1993) ได้ทำการศึกษาสุกรที่มีน้ำหนัก 60 กก. และมีอัตราการสร้างเนื้อแดง 500 ก./วัน โดยให้อาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน 3 ระดับตามปริมาณอาหารที่กินในแต่ละวัน และมีพลังงานในอาหาร 12.5 MJ DE/kg ซึ่งมีสัดส่วนของโปรตีน:พลังงานผันแปรอยู่ในช่วง 10-14 g CP/MJ DE

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 ผลของสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของสุกร
ที่มา : Whittermore (1993)

ภาพ A สุกรได้รับอาหาร 1.5 กก./วัน โดยอาหารมีโปรตีน 10 g CP/MJ DE พบว่า สัตว์จะได้รับโปรตีนไม่เพียงพอต่อการสร้างเนื้อแดง การเพิ่มระดับโปรตีนเป็น 12 g CP/MJ DE ช่วยให้การเจริญของเนื้อแดงดีขึ้น ซึ่งเป็นจุดที่สัดส่วนของโปรตีนและพลังงานมีความสมดุล เพราะถ้าเพิ่มระดับโปรตีนถึง 14 g CP/MJ DE จะทำให้การสะสมโปรตีนลดลง เนื่องจากมีระดับพลังงานไม่เพียงพอ

ภาพ B สุกรได้รับอาหาร 2.0 กก./วัน โดยอาหารมีโปรตีน 12 g CP/MJ DE จะมีประสิทธิภาพในการสะสมเนื้อแดงดีที่สุด แต่ถ้าระดับต่ำกว่านี้ จะมีปริมาณโปรตีนไม่พอเพียงต่อการเจริญของเนื้อแดง และพลังงานที่มากเกินไปจะถูกนำไปสะสมเป็นไขมัน ดังนั้นอาหารที่มีระดับโปรตีน 12 g CP/MJ DE จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญของเนื้อแดงเมื่อสัตว์ได้รับอาหาร 2.0 กิโลกรัมต่อวัน เพราะทำให้มีการสะสมไขมันน้อยที่สุดด้วย แต่ถ้าอาหารมีระดับโปรตีนมากกว่า 12 g CP/MJ DE ก็ไม่สามารถสะสมเนื้อแดงได้มากกว่านี้ เพราะ การเจริญของเนื้อแดงถูกจำกัดไว้ด้วยศักยภาพการผลิตของตัวสุกรเอง (500 g/day) ในขณะที่ปริมาณไขมันที่สะสมไว้จะลดลงเรื่อยๆ เพราะไม่ได้รับพลังงานมากเกินไป ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ซากที่ดีขึ้น

ภาพ C ถ้าสุกรได้รับอาหารเพิ่มขึ้นเป็น 2.5 กก./วัน แม้ว่าจะได้รับโปรตีนระดับสูงกว่า 10 g CP/MJ DE ก็ไม่ทำให้การเจริญของเนื้อเยื่อโปรตีนมีมากกว่าสุกรที่ได้รับโปรตีนระดับ 10 g CP/MJ DE และพลังงานที่มากเกินไปก็จะถูกนำไปเก็บสะสมไว้ในรูปของไขมันส่วนเกิน

กล่าวโดยสรุปคือ ถ้าในอาหารมีค่าของสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานน้อยมาก จะทำให้การเจริญของเนื้อแดงลดลง โดยเฉพาะในสุกรที่ได้รับอาหารปริมาณต่ำ ในขณะที่ถ้าสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานมีค่ามาก จะทำให้มีอัตราการเจริญของเนื้อแดงสูงขึ้น และการที่สุกรมีไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

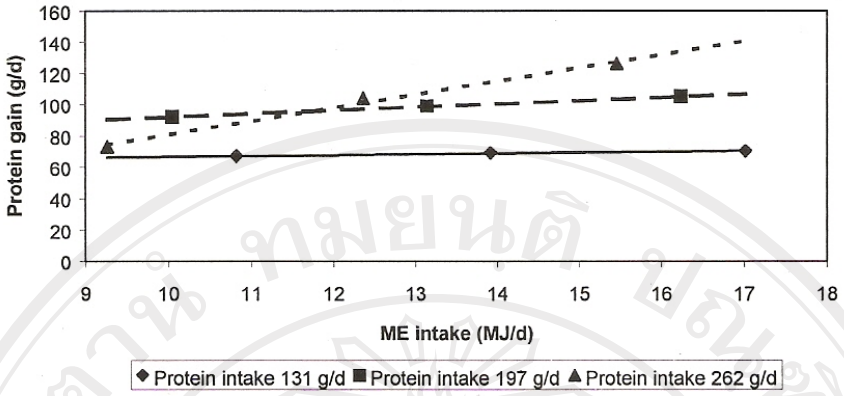
สะสมมากอาจเกิดจากปริมาณอาหารโปรตีนที่ได้รับไม่เพียงพอ หรือได้รับอาหารในปริมาณที่มากเกินไป โดยสามารถลดปริมาณไขมันในซากลงได้ด้วยการเพิ่มสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานในอาหารหรือลดการให้อาหารลง

สอดคล้องกับ Kyriazakis and Emmans (1992) ที่กล่าวว่า การเสริมแหล่งพลังงานในอาหารที่มีโปรตีนระดับต่ำและปานกลาง สามารถช่วยให้มีการสะสมโปรตีนในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากระดับของโปรตีนที่มีจำกัด ส่วนการเพิ่มระดับโปรตีนไปพร้อมๆ กับการเพิ่มระดับพลังงานในอาหารสามารถทำให้การสะสมโปรตีนในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ในทำนองเดียวกัน ถ้าอาหารมีระดับโปรตีนที่สูง แต่มีระดับพลังงานต่ำเกินไป ก็ไม่สามารถทำให้การสะสมโปรตีนในร่างกายเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ เนื่องจาก มีระดับพลังงานในอาหารเป็นตัวจำกัดนั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 6

Seerley *et al*. (1993) รายงานว่า อัตราการเพิ่มน้ำหนักของสุกรหรือการเจริญเติบโตของสุกรที่กินอาหารโปรตีนสูงจะมากกว่าสุกรกลุ่มที่ได้อาหารโปรตีนต่ำ ปริมาณอาหารที่กินต่อวันมีค่าลดลงตามปริมาณพลังงานในอาหารที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าอาหารนั้นจะมีโปรตีนต่ำหรือสูง ส่วนประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นเมื่อระดับพลังงานในอาหารเพิ่มขึ้นทั้งในโปรตีนต่ำและสูง และประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะลดลงเมื่อระดับของพลังงานสูงขึ้นโดยเฉพาะในอาหารที่มีโปรตีนระดับต่ำ ส่วนคุณภาพของซาก พบว่า อาหารโปรตีนสูงให้เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงและพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันที่สูงกว่า แต่มีไขมันสันหลังบางกว่า ในขณะที่การเพิ่มพลังงานทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงลดลงและไขมันสันหลังหนากว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารพลังงานต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

นอกจากนั้น Apple *et al.* (2004) พบว่า อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรในระยะขุนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของไลซีนต่อพลังงานที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีคุณภาพซากดีขึ้นด้วย คือ มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาไขมันลดลง ($P<0.01$) แต่อย่างไรก็ตาม สูตรอาหารที่มีอัตราส่วนของไลซีนต่อพลังงานที่สูงเกินไป คือ มากกว่า 3 g lysine/Mcal ME จะมีผลทำให้คุณภาพเนื้อที่ปรุงสุกแล้วลดลง โดยมีไขมันแทรกในเนื้อลดลง ทำให้เนื้อเหนียว ไม่อ่อนนุ่ม และไม่น่ากิน

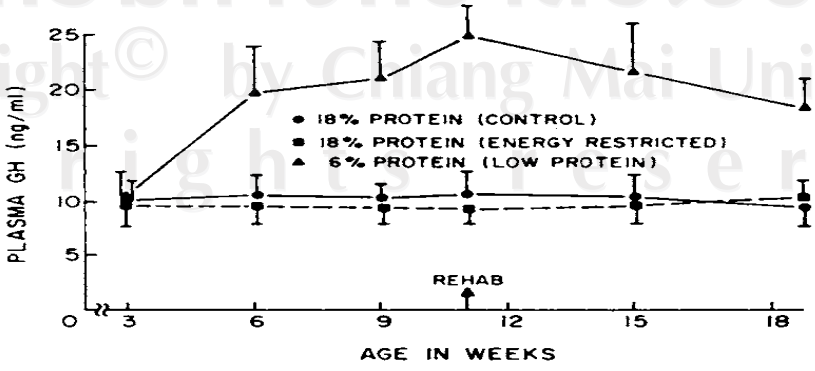
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในสูตรอาหาร กับการสะสมโปรตีนในร่างกาย (Kyriazakis and Emmans,1992)

ผลของระดับโปรตีนและพลังงานที่มีต่อฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์

Atinmo *et al.* (1976) ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหารต่อระดับฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต คือ growth hormone (GH) โดยการให้สุกรได้รับอาหาร 3 สูตร คือ อาหารโปรตีนปกติ (18% CP) อาหารโปรตีนต่ำ (6% CP) และ อาหารโปรตีนปกติแต่จำกัดพลังงาน พบว่า อาหารระดับโปรตีนต่ำทำให้ GH ในพลาสมาสูงขึ้นอย่างชัดเจน แต่สามารถปรับระดับให้ลดลงได้หลังจากการเพิ่มระดับโปรตีนเข้าไปในสูตรอาหาร นอกจากนั้นสุกรจะแสดงอาการของโรค kwashiorkor-like syndrome คือ มีระดับของโปรตีนในกระแสเลือดต่ำ (hypoproteinemia) บวมน้ำ (edema) ผิวหนังอักเสบรุนแรง ส่วนการให้อาหารที่มีโปรตีนปกติและอาหารพลังงานต่ำจะมีระดับ GH ในพลาสมาใกล้เคียงกัน แต่จะต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ ในขณะที่สุกรที่ขาดพลังงานแสดงอาการของโรค marasmic โดยระดับโปรตีนในกระแสเลือดปกติ ไม่มีอาการบวมน้ำและผิวหนังอักเสบ แต่การเจริญเติบโตจะชะงักอย่างรุนแรง จะเห็นได้ว่าระดับ GH ในพลาสมาไม่ได้ขึ้นอยู่กับการปรับพลังงานในสูตรอาหารขึ้นแต่อย่างใด ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหารต่อระดับ growth hormone

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การขาดโปรตีนมีผลอย่างรุนแรงต่อเมตาบอลิสมของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตเมื่อเทียบกับการขาดพลังงาน โดยระดับโปรตีนที่มีน้อยในอาหารจะไปกระตุ้นให้เกิดการหลั่งฮอร์โมน GH และลดการสลายฮอร์โมน GH ที่มีอยู่ในกระแสเลือด เป็นผลให้ยังมีเมตาบอลิสมของโปรตีนอยู่ในระดับใกล้เคียงกับการได้รับอาหารโปรตีนสูง และการได้รับอาหารโปรตีนต่ำอาจจะมีสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นในอาหารไม่เพียงพอต่อการนำไปสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายด้วย นอกจากนั้น พบว่า การขาดโปรตีนทำให้ตับมีการสะสมไขมันไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลให้การทำหน้าที่ของตับเสียไป จนไม่สามารถจะทำลายฮอร์โมนที่มีมากเกินความจำเป็นในพลาสมาตามไปด้วย

การมี GH สูงสามารถกระตุ้นให้ตับสร้างฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตชนิดอื่นๆ ต่อไปได้ โดยเฉพาะกลุ่มโซมาโตมิดิน (somatomedin) เช่น insulin-like growth factor (IGF-1) ซึ่งมีผลเกี่ยวข้องกับการสร้างส่วน epiphyseal plate ของกระดูก ทำให้ระบบอื่นๆ ในร่างกายผิดปกติตามไปด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานกับการสะสมไขมันและโปรตีน

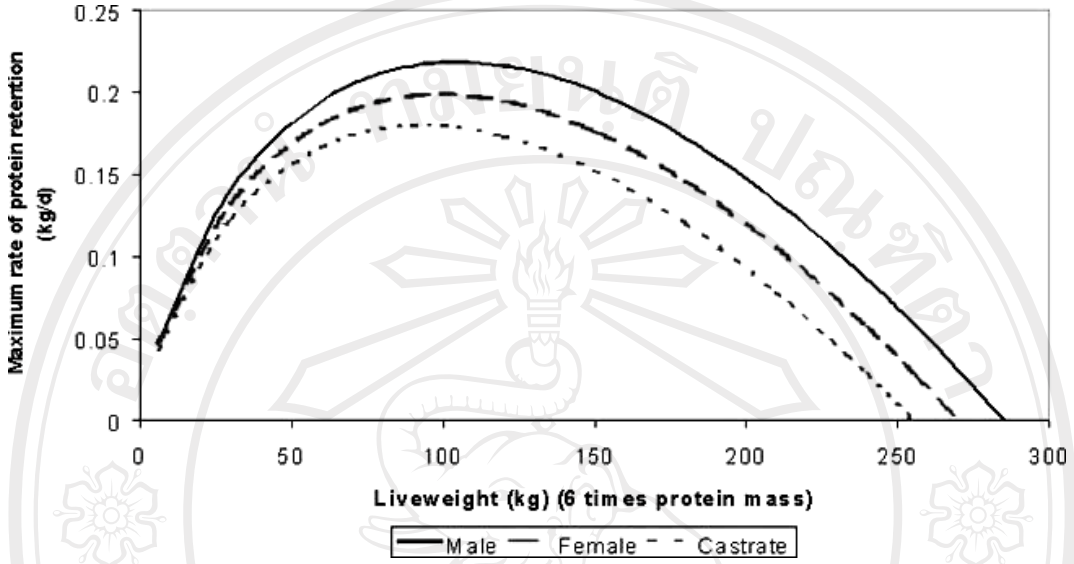
การสะสมไขมันมีความสำคัญต่อคุณภาพซาก อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานสะสมที่ให้พลังงานสูงกว่าสารอาหารประเภทอื่นๆ โดยประสิทธิภาพของการเปลี่ยนสารอาหารแต่ละชนิดไปเป็นไขมันที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายมีค่าเป็น 0.88, 0.84 และ 0.52 สำหรับไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนตามลำดับ (Van *et al*., 2001) หรือ 0.90, 0.82 และ 0.58 ตามรายงานของ Noblet *et al*. (1994)

สำหรับโปรตีนและกรดอะมิโน ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการสะสมเป็นโปรตีนของร่างกาย และโปรตีนส่วนที่เกินกว่าความต้องการก็จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานและเก็บสะสมไว้ในรูปของแป้ง ไกลโคเจน และไขมันในร่างกายต่อไป ถึงแม้ว่ากรดอะมิโนไม่ได้เป็นแหล่งให้พลังงานที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับกลูโคสและกรดไขมัน นอกจากนั้นการเผาผลาญโปรตีนยังทำให้ร่างกายสูญเสียพลังงานในรูป heat increment มากกว่าการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรให้สัตว์ได้รับโปรตีนเกินความต้องการ Bellego *et al.* (2001) รายงานว่า การแทนที่โปรตีน 1 กรัมในสูตรอาหารด้วยอาหารจำพวกแป้ง สามารถลดการสูญเสีย heat increment ได้ถึง 7 กิโลจูล

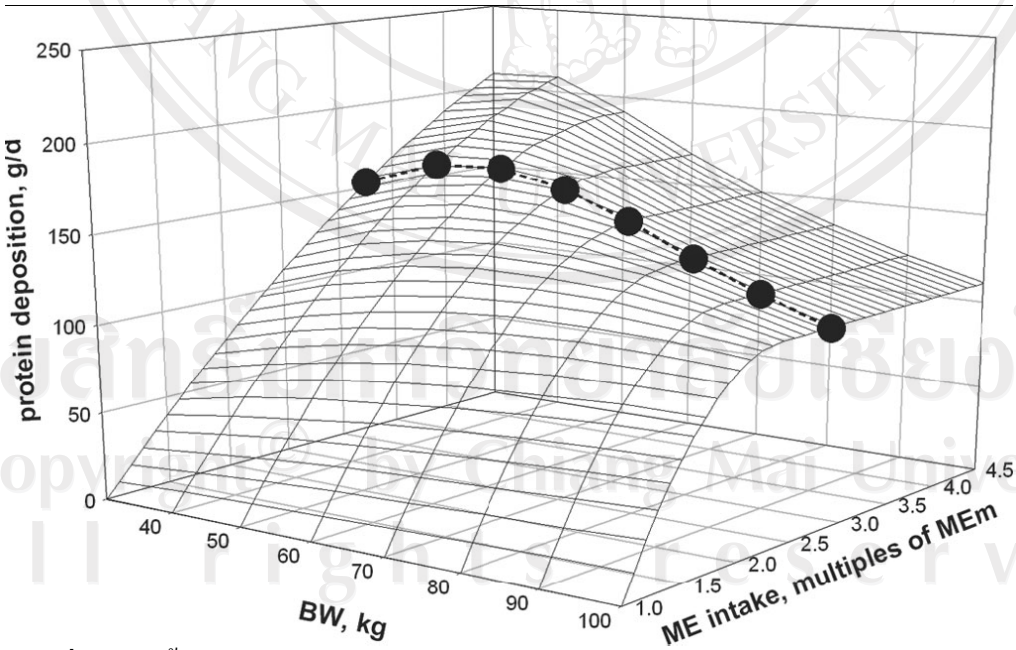
อย่างไรก็ดี การสะสมโปรตีนในสุกรไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดอะมิโนที่ได้รับเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่ได้รับด้วย โดยระดับการสะสมโปรตีนจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามระดับพลังงาน จนกระทั่งถึงจุดที่ปัจจัยอื่นๆ เริ่มเข้ามากระทบต่อการสะสมโปรตีนของสัตว์ ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้แก่ ค่าการสะสมโปรตีนสูงสุด (PD_{max}) ที่ขึ้นอยู่กับเพศ อายุ ช่วงน้ำหนัก และพันธุ์ของสุกร (Van *et al*., 2003) ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การสะสมโปรตีนของสุกรแต่ละเพศในช่วงน้ำหนักต่างๆ กัน (Whittemore *et al*., 2001)



ภาพที่ 9 พื้นผิวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมโปรตีนในร่างกายกับปริมาณพลังงานในสูตรอาหารและน้ำหนักตัวของสุกรเพศผู้ตอน พันธุ์ Large White โดยจุดที่พล๊อตและลากต่อกันคือ ความสามารถในการกินอาหาร (Van *et al*., 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่า ในสัตว์อายุน้อยและกำลังเจริญเติบโต ซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่ามีค่า PD_{max} สูงมากและสูงกว่าความสามารถในการกินอาหารหรือปริมาณอาหารที่กินเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว ทำให้สารอาหารที่มีทั้งหมดในสูตรอาหารสามารถถูกนำไปใช้ในการสะสมโปรตีนเพื่อให้เกิดเป็นเนื้อเยื่อของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่สัตว์ที่อายุมาก ความสามารถในการกินอาหารเมื่อเทียบกับนำหนักตัวมีค่าต่ำกว่าและใกล้เคียงกับค่า PD_{max} จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว จึงทำให้การสะสมโปรตีนในร่างกายมีค่าต่ำลง นอกจากนั้น สัตว์ที่น้ำหนักน้อยกว่าจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานในสูตรอาหารมากกว่าเมื่อเทียบกับสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว และการลดปริมาณอาหารที่กินได้ก็จะไปมีผลทั้งต่อการสะสมโปรตีนและไขมันในสุกรเล็ก ในขณะที่ในสุกรตัวใหญ่ การลดปริมาณอาหารจะมีผลต่อการสะสมไขมันเท่านั้น (Van and Noblet., 2003; Fredrik *et al*., 2005)

เพศ (Sex)

เพศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการผลิตสุกร เนื่องจาก สุกรแต่ละเพศล้วนแล้วแต่มีสภาพทางกายวิภาคและสรีรวิทยาที่แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของอวัยวะในระบบสืบพันธุ์และฮอร์โมนที่ควบคุมการทำงานของอวัยวะเหล่านั้น ซึ่งจะส่งผลไปถึงสมรรถภาพการผลิตที่แตกต่างกันออกไป

ฮอร์โมนในระบบสืบพันธุ์เพศเมีย ที่สำคัญประกอบด้วย

เอสโตรเจน มีหน้าที่หลักในการควบคุมการเป็นสัดและทำให้สัตว์แสดงพฤติกรรมทางเพศระดับ 2 (secondary sex characteristic) ของเพศหญิง เช่น การเพิ่มไขมันในมัดกล้ามเนื้อ ช่วยทำให้ผิวหนังอ่อนนุ่มขึ้น นอกจากนี้เอสโตรเจนยังมีหน้าที่ในการเพิ่มการสะสมแคลเซียมที่กระดูก จึงเป็นสาเหตุให้หญิงวัยหมดประจำเดือน มีความเสี่ยงต่อภาวะกระดูกพรุนเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาวิจัยในปัจจุบัน เช่น Lawrence and Fowler (1998) กลับพบว่าฮอร์โมนเอสโตรเจนมีบทบาทในการจำกัดการเจริญของกระดูกยาว (long bone) โดยไปเร่งการปิดของปลายกระดูกตรงบริเวณ epiphyseal plate ส่งผลให้ร่างกายหยุดการเพิ่มขนาดหรือความสูง

โปรเจสเตอโรน ทำหน้าที่ต่อจากเอสโตรเจนในการเตรียมมดลูกเพื่อฝังตัวของตัวอ่อน โดยไปเพิ่มการเจริญของกล้ามเนื้อและต่อมต่างๆ นอกจากนั้นยังไปลดปริมาณเอสโตรเจนลง ทำให้มดลูกไม่บีบตัวเพื่อรักษาสภาพการตั้งท้องจนกว่าจะคลอด ช่วยเพิ่มการผลิตเซลล์ในต่อมน้ำนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฮอร์โมนในระบบสืบพันธุ์เพศผู้ ที่สำคัญประกอบด้วย

แอนโดรเจน ทำหน้าที่กระตุ้นและรักษาสภาพลักษณะทางเพศขั้นที่ 2 (secondary sex characteristic) เช่น การมีขน การหนาตัวของแถบเส้นเสียง การแสดงพฤติกรรมทางเพศ สนใจเพศเมีย การมีพฤติกรรมก้าวร้าว นอกจากนั้นยังทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ เช่น กระตุ้นการเจริญเติบโตของท่ออสุจิ อัณฑะ รวมไปถึงต่อมสำรองต่างๆที่พบในร่างกาย อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความอยากอาหาร และกระตุ้นการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อและกระดูกทั้งในด้านขนาดและความหนาแน่นของเนื้อกระดูกด้วย (Hollis, 1993)

ตารางที่ 8 ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของระบบสืบพันธุ์

แหล่งผลิต	ฮอร์โมน	หน้าที่
ไฮโปทาลามัส	รีลิสซิ่งฮอร์โมน	ทำให้เกิดการหลั่งเอฟเอสเอช (FSH) และแอลเอช (LH) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า
	โซมาโตสเตติน	ยับยั้งการหลั่งจีเอช (GH)
	พีไอเอฟ (PIF)	ยับยั้งการหลั่งโปรแลกติน
	ออกซิโตซิน	กระตุ้นการบีบตัวของมดลูก การคลอด การลำเลียงอสุจิ การหลั่งน้ำนม
ต่อมใต้สมองส่วนหน้า	เอฟเอสเอช	กระตุ้นการเจริญของกระเปาะไข่ การสร้างตัวอสุจิ การหลั่งเอสโตรเจน
	แอลเอช	กระตุ้นการตกไข่ การทำหน้าที่ของคอร์ปัสลูเตียม การหลั่งโปรเจสเตอโรน เอสโตรเจน และแอนโดรเจน
	โปรแลกติน	ทำให้เกิดการหลั่งน้ำนม กระตุ้นคอร์ปัสลูเตียมและการหลั่งโปรเจสเตอโรนในสัตว์บางชนิด ยับยั้งการหลั่งเอสโตรเจน
	จีเอช	กระตุ้นการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อและกระดูก ให้สัตว์โตเต็มวัยเร็วขึ้น
	ทีเอสเอช	กระตุ้นต่อมไทรอยด์หลั่งไทรอกซิน
รก	เอชซีจี	ช่วยเสริมฤทธิ์ของแอลเอช
	พีเอ็มเอสจี	เสริมฤทธิ์เอฟเอสเอช กระตุ้นการสร้างคอร์ปัสลูเตียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 (ต่อ) ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของระบบสืบพันธุ์

แหล่งผลิต	ฮอร์โมน	หน้าที่
รังไข่	เอสโตรเจน	กระตุ้นลักษณะทางเพศระดับ 2 กระตุ้นการเจริญเติบโตของทางเดินระบบสืบพันธุ์ การบีบตัวของมดลูก การเจริญของท่อน้ำนม ควบคุมการหลั่งโกนาโดโทรปิน กระตุ้นการสะสมแคลเซียม
	โปรเจสเตอโรน	ทำงานร่วมกับเอสโตรเจน สร้างพฤติกรรมทางเพศ จัดทางเดินระบบสืบพันธุ์ให้พร้อมสำหรับการฝังตัวของตัวอ่อน รักษาสภาพการตั้งท้อง กระตุ้นการเจริญของเต้านม ควบคุมการหลั่งโกนาโดโทรปิน
อัณฑะ	แอนโดรเจน	ทำให้ต่อมสำรองเจริญ ควบคุมลักษณะทางเพศระดับ 2 พฤติกรรมทางเพศ การสร้างอสุจิ ช่วยในการเจริญของเนื้อเยื่อและกระดูก

ที่มา : พีรศักดิ์ (2548)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการโตเต็มวัยของสุกรสาว

1. อายุ น้ำหนัก และอัตราการเจริญเติบโต

อายุ น้ำหนักและการเจริญเติบโตล้วนแต่มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด อันเป็นผลต่อความสมบูรณ์ทางสรีรวิทยาของตัวสุกร ซึ่งสุกรสาวจะโตเต็มวัยเมื่อมีอายุประมาณ 200 -210 วัน (อรรณนพ, 2545; พีรศักดิ์, 2548)

2. อาหาร

อาหารและการให้อาหารสุกรสาวเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลถึงระยะเวลาในการเป็นสัด รวมไปถึงจำนวนไข่ที่ตกในแต่ละวงรอบของการเป็นสัดด้วย

2.1 พลังงาน การให้อาหารแบบจำกัด หรือให้อาหารที่มีพลังงานต่ำเกินไปจะทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตช้าและโตเต็มวัยช้าลงถึง 1-2 สัปดาห์ แต่การจำกัดอาหารจะไม่มีผลกระทบต่อสุกรเมื่อมีน้ำหนักตัว 90 กิโลกรัมขึ้นไปแล้ว (อรรณนพ, 2545)

2.2 โปรตีน ปริมาณโปรตีนในอาหารที่ต่ำเกินไปก็มีผลกระทบต่อการโตเต็มวัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้อาหารพลังงานและโปรตีนให้กับสุกรสาว 10 -14 วัน ก่อนการผสมพันธุ์มีผลต่ออัตราการตกไข่ด้วย ซึ่งเรียกว่า ช่วงการปรน (flushing) ซึ่งจะได้ผลดีโดยเฉพาะกับสุกรที่เคยได้รับอาหารแบบจำกัดมาก่อน โดยอาหารที่ให้จะเป็นพวกพลังงานสูงกากน้อย ซึ่งจะทำให้เพิ่มการตกของไข่ได้ 2-3 ฟอง แต่ส่วนมากไม่ได้มีผลต่อขนาดของครอก เนื่องจากถูกจำกัดด้วยขนาดของมดลูกของหมูสาวที่ยังเจริญไม่เต็มที่ แต่การปรนนี้ต้องลดลงหลังจากผสม เพราะการให้อาหารปริมาณสูงเกินไปจะเพิ่มอัตราการตายของตัวอ่อน

3. พันธุกรรม

สุกรต่างสายพันธุ์กัน ก็จะมีอายุโตเต็มวัยต่างกัน แต่แม่สุกรสาวที่เป็นลูกผสม (crossbred gilt) จะโตเต็มวัยเร็วกว่าแม่สุกรสาวพันธุ์แท้ (อรรณนพ, 2545; พีรศักดิ์, 2548)

4. ฤดูกาลและอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้สุกรเป็นสัดลดลง มีอัตราการตายของตัวอ่อนสูงขึ้น ตลอดจนปัญหาการผสมไม่ติดที่เพิ่มมากขึ้น

5. การจัดการ

5.1 โรงเรือน สุกรที่เลี้ยงในคอกขังเดี่ยวมักจะโตเต็มวัยช้ากว่าสุกรที่เลี้ยงรวมกันเป็นกลุ่ม นอกจากนั้นการย้ายโรงเรือนหรือแบ่งกลุ่มสุกรใหม่ก็สามารถเร่งการเจริญเต็มวัยได้ด้วย เนื่องจากกระตุ้นให้สุกรมีการจัดลำดับทางสังคม

5.2 พ่อสุกร การเลี้ยงสุกรสาวให้อยู่ใกล้พ่อสุกรจะเร่งการเป็นสัดและอายุโตเต็มวัยให้เร็วขึ้น เนื่องจากแม่สุกรจะได้กลิ่น เสียง สัมผัส และมองเห็นพ่อสุกร โดยอาจจัดให้พ่อสุกรเข้าไปในคอกสุกรสาวในระยะสั้นๆทุกวันและควรใช้พ่อสุกรที่อายุมากกว่า 1 ปีขึ้นไป เนื่องจากมีกลิ่นแรงกว่าสุกรหนุ่ม

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการโตเต็มวัยของสุกรเพศผู้ (อรรณนพ, 2545)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการโตเต็มวัยของพ่อสุกรมีทั้งปัจจัยโดยตรงและโดยอ้อม คล้ายกันกับในสุกรเพศเมีย กล่าวคือ

1. พันธุกรรม สุกรเพศผู้ลูกผสมจะเจริญเติบโตได้เร็วกว่าสุกรพันธุ์แท้ ทำให้โตเต็มวัยและสามารถผลิตตัวอสุจิได้เร็วกว่า

2. อาหาร อาหารที่มีโภชนะเพียงพอตามที่สุกรต้องการสามารถทำให้สุกรเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและโตเต็มวัยได้ตามพันธุกรรม

3. สิ่งแวดล้อม สิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการโตเต็มวัยของสุกร โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่สูงขึ้นจะทำให้สัตว์เกิดความเครียดและสร้างฮอร์โมนคอร์ติซอล (cortisol) ที่สามารถไปกดการสร้างและหลั่งโกรทฮอร์โมน (growth hormone) ทำให้สุกรเจริญเติบโตช้า และโตเต็มวัยช้าตามไปด้วย นอกจากนั้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สุกรกินอาหารลดลง ทำให้ได้รับสารอาหารไม่เพียงพออีกด้วย

แสงสว่าง เป็นปัจจัยที่มาพร้อมกับเรื่องอุณหภูมิ โดยเชื่อกันว่า แสงสว่างมาก จะไปเร่งการสร้างฮอร์โมนเมลาโตนิน (melatonin) ซึ่งสามารถไปกดการสร้างและการหลั่งโกรทฮอร์โมน (growth hormone) ได้เช่นกัน

การอยู่ร่วมกัน (social environment) การเลี้ยงสุกรรวมกันจะทำให้สุกรมีการแสดงออกทางเพศได้ดีกว่าสุกรที่ขังแยก และสุกรที่เลี้ยงไว้ใกล้กับเพศเมียจะโตเต็มวัยได้เร็วกว่าสุกรที่เลี้ยงแยก

4. การจัดการและสุขภาพ การจัดการที่ดีตั้งแต่การให้อาหาร การเลี้ยงดู การฝึกให้สุกรผสมพันธ์ได้อย่างถูกต้อง รวมไปถึงการป้องกันดูแลโรคให้กับสุกร โดยเฉพาะโรคที่ทำให้เกิดปัญหาในระบบสืบพันธุ์ เช่น ลูกอัณฑะเสื่อมหรืออักเสบ ติดเชื้อ เป็นแผล ฯลฯ ก็มีผลต่อการโตเต็มวัยของสุกรเช่นกัน

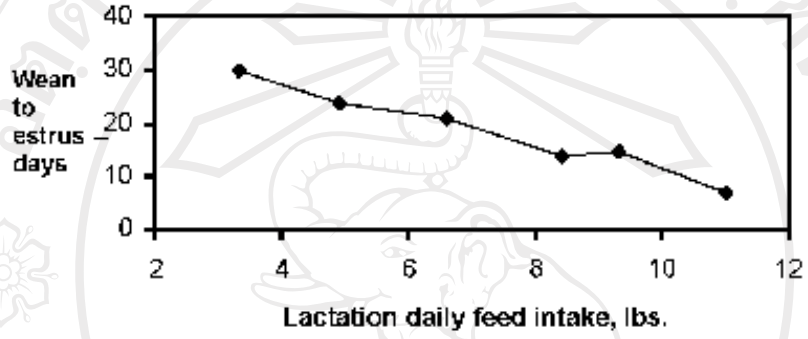
ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนและพลังงานต่อความสมบูรณ์พันธุ์ของสุกร

Harper (1999) กล่าวว่า สุกรที่ถูกลดปริมาณอาหารที่ให้กินในช่วงให้นมลูกจะกลับสัดช้าลง และผลกระทบดังกล่าวจะมีมากขึ้นในสุกรที่เพิ่งให้ลูกเป็นครอกแรกเมื่อเทียบกับสุกรที่เคยใช้งานมาหลายครั้งแล้ว อันเนื่องมาจากการขาดพลังงานในอาหารนั่นเอง โดยอ้างถึงการทดลองของ Reese et al. (1982) ที่ทำการให้อาหารที่มีพลังงานต่างกัน 3 ระดับ คือ 8, 12 และ 16 Mcal/d แต่มีโปรตีนเพียงพอต่อสุกรระยะให้นม ปรากฏว่าสุกรที่ได้พลังงาน 8 Mcal/d มีน้ำหนักตัวลดลงถึง 57 ปอนด์ระหว่างให้นม และไขมันสันหลังลดลง 8.4 เซนติเมตร และมีสุกรจำนวน 65% กลับสัดภายใน 8 วันหลังหย่านม แต่กลุ่มที่ได้พลังงาน 12 Mcal/d จะมีน้ำหนักตัวและไขมันสันหลังลดลงเพียงครึ่งหนึ่งของกลุ่มแรก โดยมีสุกรจำนวน 91% กลับสัดภายใน 8 วัน ส่วนกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 16 Mcal/d จะมีน้ำหนักตัวและไขมันสันหลังลดลงน้อยกว่าสองกลุ่มแรก และมีสุกรจำนวนถึง 96% ที่กลับสัดได้ภายใน 8 วัน ดังนั้นจึงควรเพิ่มพลังงานในอาหารสุกรระยะให้นมโดยการเติมไขมันลงในสูตรอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอากาศร้อน ที่สุกรมักกินอาหารได้น้อยกว่าปกติ

ในขณะที่การทดสอบเรื่องโปรตีน ได้ทำโดยแบ่งอาหารเป็นกลุ่ม ดังนี้ คือ อาหารโปรตีนและพลังงานสูง พลังงานต่ำโปรตีนสูง พลังงานสูงโปรตีนต่ำ และทั้งโปรตีนพลังงานต่ำ พบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับโปรตีนและพลังงานสูง (13 Mcal และ 650 g CP/d) ใช้เวลากลับสัดน้อยกว่า 7 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในขณะที่กลุ่มอื่นต้องใช้ระยะเวลากลับสัดประมาณ 15 วันหรือมากกว่า ดังนั้นสรุปได้ว่า สุกรระยะให้นมลูกต้องการสารอาหารสูงเพื่อใช้ในการผลิตน้ำนม การได้รับอาหารอย่างไม่เพียงพอหรือกินได้น้อยทำให้สุกรต้องเอาพลังงานในรูปไขมันหรือโปรตีนในกล้ามเนื้อที่เก็บสะสมไว้มาใช้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักตัวและไขมันสันหลังลดลงนั่นเอง และหากยังคงเป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ ระดับฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธ์ก็จะได้รับผลกระทบ ทำให้การกลับสัดมีความผิดปกติได้



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารที่ได้รับกับระยะเวลาที่ใช้ในการกลับสัด

อิทธิพลของเพศต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร

สุทัศน์ (2525) กล่าวว่า เพศเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเนื้อเยื่อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของฮอร์โมนเพศผู้ โดยสุกรเพศผู้จะมีปริมาณเนื้อแดงมากกว่าเพศเมียและเพศผู้ตอน เนื่องจากในเพศผู้มีฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนซึ่งจะกระตุ้นให้มีการสร้างโปรตีนหรือเนื้อเยื่อในร่างกายมากขึ้น ตรงกันข้ามกับสุกรเพศเมียและเพศผู้ตอนที่มีการสะสมไขมันเป็นส่วนใหญ่ สอดคล้องกับปลีโรจน์ (2527) ที่ยืนยันว่าฮอร์โมนเพศผู้นอกจากจะควบคุมการแสดงออกทางพฤติกรรมของเพศผู้แล้วยังมีผลในการเสริมสร้างการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่ออีกด้วย

สมภพ (2542) ทำการศึกษาอิทธิพลของเพศต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกรขุน พบว่า ในช่วงสุกรรุ่น เพศไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต แต่อัตราแลกเนื้อของสุกรเพศผู้ตอนดีกว่าเพศผู้และเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญ (2.33 vs 2.84 vs 3.02 ตามลำดับ) ($P<0.05$) แต่ในระยะขุนกลับพบว่า สุกรเพศผู้มีอัตราการเจริญเติบโต ระยะเวลาการเลี้ยง และอัตราแลกเนื้อที่ดีกว่าสุกรเพศเมียและสุกรเพศผู้ตอนตามลำดับ ($P<0.05$)

Henry *et al*. (1996) พบว่า สุกรเพศผู้ตอนมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าและปริมาณอาหารที่กินมากกว่าเพศผู้และเพศเมียตามลำดับ (636.0 vs 537.0 vs 489 กรัมต่อวัน และ 1.80 vs 1.59 vs

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.55 กิโลกรัมต่อวัน;P<0.05) รวมทั้งมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่าสุกรเพศเมียและเพศผู้ตามลำดับ (P<0.05) คือ 0.344, 0.324 และ 0.304 กรัมต่อกิโลกรัม

Ssu *et al.* (2004) รายงานสมรรถภาพการผลิตที่ต่างกันของสุกรเพศเมียและเพศผู้ตอนที่ได้รับอาหารโปรตีน 16% และ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3280 kcal/kg พบว่า สุกรเพศผู้ตอนมีอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณอาหารที่กินได้มากกว่าสุกรเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.001) คือ 911 vs 827 กรัมต่อวัน และ 2.614 vs 2.393 กิโลกรัม แต่มีเปอร์เซนต์เซนต์เนื้อแดงและความหนาไขมันน้อยกว่าเพศเมีย (P<0.001) คือ 48.3 vs 51.5% และ 15.6 vs 11.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการเพิ่มของเนื้อแดง และเปอร์เซนต์ซากไม่มีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับ Bee *et al.* (2006) ที่กล่าวว่า สุกรเพศผู้ตอนจะมีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่าสุกรเพศเมีย (0.98, 2.71 กิโลกรัม และ 0.36 vs 0.85, 2.42 กิโลกรัม และ 0.35 ตามลำดับ; P<0.01) แต่ระดับของ available carbohydrate ในสูตรอาหารกลับไม่มีผลใดๆ ในทางสถิติต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved