บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

เมื่อพิจารณาส่วนผสมของอาหารทดลองใน Table 9 ตามหลักการแล้วควรมีค่าโภชนะใกล้เคียงกัน เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารมีค่าเท่ากันในทุกระยะ แต่แตกต่างกันในส่วนของสารสกัดที่ใช้เสริมลงในสูตรอาหาร คือ แกมมา-โอไรซานอล (T2) โปรแอนโธไซยานิดิน (T3) และแกมมา-โอไรซานอลร่วมกับโปรแอนโธไซยานิดิน (T4) ตามลำดับ ส่วนในอาหารสูตรที่ 5-7 (T5-7) เป็นสูตรที่เสริมรำข้าวเหนียวก่ำ 2% 4% และ 6% ซึ่งรำข้าวเหนียวก่ำจะมีค่าโภชนะ ทั้งโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และธาตุเหล็กสูงกว่ารำข้าวขาว ส่งผลให้ค่าโภชนะของอาหารสูตรที่มีการเสริมรำข้าวเหนียวก่ำ (T5-7) มีค่าสูงว่ากลุ่มอื่นๆ (T1-4) แต่จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่ใช้พบว่า ค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย มีแนวโน้มแตกต่างกันเล็กน้อย สาเหตุอาจมาจากการเก็บ และการวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่ก็ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ ดังจะเห็นได้จากสมรรถภาพการผลิตที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับอาหาร ทั้งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต (ดังแสดงใน Table 4.3)

5.2 การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน

ระบบภูมิคุ้มกันในทางเดินอาหารจะป้องกันมิให้มีการแทรกซึมของสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย ตรงข้ามกับการสร้างภูมิคุ้มกันโดยทั่วไป ซึ่งต้องใช้แอนติเจนที่ถูกย่อยสลาย ไปกระตุ้นการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกัน มีทั้งแบบไม่จำเพาะ เช่น ความเป็นกรดในทางเดินอาหาร น้ำดี น้ำเมือก และแบบจำเพาะโดยเป็นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันชนิดเซลล์ และภูมิคุ้มกันจากแอนติบอดี ระบบภูมิคุ้มกันในช่องทางเดินอาหารประกอบด้วย lymphoid tissue คือ tonsil และ Payer's patches โดยมี epithelial cell ที่มีลักษณะพิเศษที่สามารถรับแอนติเจนจากลำไส้ได้ แล้วส่งต่อไปยัง B cell ในชั้น lamina propria เพื่อสร้างแอนติบอดีได้ (โสมทัต, 2538; Abbas *et al.*, 1994) ปกติการทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันต้องมีการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid: PUFA) ที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stress) เป็นส่วนประกอบ เมื่อไขมันถูกออกซิเดชันแล้วจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติในการคงรูป และการรับส่งสัญญาณของเซลล์ ทำให้ความสามารถในการทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันลดลง นำไปสู่ความล้มเหลวของระบบป้องกันตัวเองของร่างกาย (the body's defense mechanisms) (ธวัชชัย และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คณะ, 2547) สาเหตุหลักของปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ อนุมูลอิสระทั้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกาย และที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม โดยปกติแล้ว ร่างกายก็จะมีกลไกการป้องกันหรือยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระในส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนเยื่อหุ้มเซลล์ จากการทำงานของเอนไซม์และสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในร่างกายและที่ได้รับจากอาหาร (Calder *et al.*, 2002) ซึ่งปัจจุบันพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในร่างกายอาจมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ของร่างกาย เนื่องจากร่างกายมีการโอกาสได้รับสิ่งแปลกปลอมจากสิ่งแวดล้อมที่จะกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ทั้งจากความเครียด มลภาวะเป็นพิษ หรือจากอาหาร ดังนั้นร่างกายจึงจำเป็นจะต้องได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกาย ซึ่งก็คือจากอาหารที่บริโภคโดยเฉพาะในผักและผลไม้ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ที่มีรายงานว่าสามารถช่วยลดความตึงเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เนื่องจากอุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ รวมถึงสารกลุ่ม phytochemical ชนิดต่างๆ (Lotito *et al.*, 2004) และยังพบว่ารงควัตถุที่ทำให้ผักและผลไม้มีสีต่างๆ กัน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ เช่น เบตาแคโรทีน แอนโธไซยานิน

รำข้าวเหนียวก่ำเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด โดยเฉพาะ GON และ PA ซึ่งมีรายงานว่าสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากคุณสมบัติการละลายได้ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ การละลายได้ของ GON คล้ายกับคุณสมบัติของวิตามินอีที่ละลายได้ในไขมัน และ PA ที่ละลายได้ในน้ำคล้ายกับวิตามินซี ตามลำดับ จึงส่งผลต่อการทำหน้าที่ภายในร่างกายของสารทั้งสองชนิด ซึ่งโดยปกติวิตามินอีจะพบอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่รักษาความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ให้เป็นปกติ ในขณะที่วิตามินซีจะพบมากในเม็ดเลือดขาวและจะทำหน้าที่ได้รวดเร็วเมื่อพบว่าร่างกายมีการติดเชื้อหรือได้รับสิ่งแปลกปลอม (Calder *et al.*, 2002)

เมื่อทำการทดลอง โดยนำเอา GON และ PA ในรูปสารสกัด และในรูปธรรมชาติที่พบมากในรำข้าวเหนียวก่ำ มาใช้เสริมลงในอาหารสุกรและวัดการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันจากค่า IgG titer ในซีรัม ซึ่งพบว่า GON จะช่วยกระตุ้นการทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน โดยเฉพาะบีเซลล์ เพื่อสร้างแอนติบอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเห็นได้ชัดในช่วง 28 วันแรกของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติการละลายได้ในไขมัน และค่าความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกลุ่ม GON ที่มีค่าสูงกว่ากลุ่ม PA กลุ่ม GON+PA และ กลุ่ม CONT ตามลำดับ (วิไลวรรณ, 2550) และมีคุณสมบัติที่ละลายได้ในไขมัน ทำให้กลุ่ม GON สามารถทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระในส่วนของผนังเซลล์ที่มี PUFA เป็นองค์ประกอบได้ดีกว่ากลุ่ม PA กลุ่ม GON+PA ซึ่ง PA มีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ จึงทำให้ PA เริ่มทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างทางเดินอาหารได้ก่อน GON และเหลือค่าความเป็นสารต้านอนุมูลมูลอิสระลดลง ส่งผลให้กลุ่ม GON กระตุ้นการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกันในระบบทางเดินอาหาร ทั้งเซลล์ที่อยู่บริเวณฐานของวิลไลขึ้นไปถึงส่วนยอดของวิลไล ในชั้นมิวโคซาและซับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มิวโคซา ที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดบีเซลล์และทีเซลล์ และเซลล์น้ำเหลืองที่อยู่ระหว่างเซลล์ผิว (epithelial cells) ให้สร้างสารต้านทานสิ่งแปลกปลอมหรือแอนติบอดีได้ดีกว่ากลุ่ม PA (Figure 4.1) ในขณะที่กลุ่ม GON+PA มีค่า IgG titer ในซีรัมในช่วง 14 วันแรกของการทดลองต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่นๆ และมีแนวโน้มค่า IgG titer ในซีรัมเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่ากลุ่ม PA ในสัปดาห์ถัดมา ก่อนจะลดลงเล็กน้อยในวันที่ 42 ของการทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม CONT จะพบว่ากลุ่ม GON+PA มีค่า IgG titer ในซีรัมแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่ม CONT ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงแรกของการทดลองเป็นช่วงที่ลูกสุกรเพิ่งหย่านม มีการเปลี่ยนที่อยู่ อาหาร และสิ่งแวดล้อมใหม่ๆ ทำให้มีโอกาสได้รับอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจากปกติ เนื่องจากความเครียดที่เกิดขึ้นและอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป จึงอาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายเพิ่มขึ้น ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในร่างกายไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากภายนอกหรือจากอาหาร ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระลงในอาหารที่ระดับต่างๆ (Table 3.1) แต่เมื่อพิจารณาผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน พบว่าการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของกลุ่มทดลองที่เสริมสารต้านอนุมูลอิสระจะดีกว่ากลุ่ม CONT ซึ่งใช้อาหารฟาร์มในช่วงแรกของการทดลอง แต่หลังจากนั้นกลุ่ม CONT จะมีค่า IgG titer ในซีรัมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดการทดลอง แต่มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม GON และกลุ่ม 2% PRB เล็กน้อยตลอดการทดลอง จึงอาจกล่าวได้ว่าอาหารที่ใช้ปกติในฟาร์มทดลองซึ่งใช้เป็นอาหารกลุ่ม CONT เป็นอาหารที่มีคุณภาพดี มีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในสูตรอาหารที่อยู่ในรูปของแร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียม เหล็ก และวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เป็นต้น รวมถึงสุขภาพของลูกสุกรที่ได้รับภูมิคุ้มกันจากแม่ผ่านทางนมน้ำเหลืองมาก่อนหย่านม แล้วเปลี่ยนมาให้อาหารทดลองพร้อมๆ กับการเปลี่ยนที่อยู่ ส่งผลให้ลูกสุกรเครียดร่างกายอ่อนแอ การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันต่อสิ่งแปลกปลอมเมื่อได้รับอาหารทดลอง ในรูปของ IgG titer ช่วง 28 วันแรกของการทดลองจึงชัดเจน (Figure 4.1) แต่เมื่อผ่านไประยะหนึ่ง หรือหลังจากวันที่ 28 ของการทดลองสุกรมีการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมได้แล้ว การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันจึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในกลุ่ม PA และกลุ่ม 4 % PRB ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากค่าความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกลุ่ม PA ที่มีค่าต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่น คุณภาพของอาหารที่มีการเสริม PA ลงไปในรูปที่ผสมกับสื่อ รวมถึงรสสัมผัสของ PA ซึ่งถ้ามี PA มากอาจทำให้อาหารมีรสฝาด ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ที่พบว่ามีค่าต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่นเช่นเดียวกัน (Figure 4.3) ส่วนกลุ่ม 4 % อาจเป็นผลมาจากน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยก่อนการทดลอง (Figure 4.3) ที่พบว่ามีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสุกรกลุ่มนี้น่าจะมีสุขภาพแข็งแรง กินอาหารได้ดีกว่าสุกรกลุ่มอื่นๆ ทำให้มีการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมได้รวดเร็วในช่วงแรก (14 วันแรกของการทดลอง) จะเห็นได้จากค่า IgG titer ที่มีค่าสูงรองลงมาจากกลุ่ม GON

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Figure 4.1) แล้วมีการปรับตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่า IgG titer ที่วัดได้ในครั้งถัดมามีค่าไม่สูงมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองอื่นๆ ที่เวลาเดียวกัน หลังจากนั้นจะมีระดับ IgG titer ที่ค่อนข้างคงที่

สำหรับกลุ่มที่เสริมรำข้าวเหนียวก่ำ ในช่วงแรกของการทดลองพบว่าค่า IgG titer ในซีรัม ของกลุ่ม 2 % PRB มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมสารสกัด (กลุ่ม GON กลุ่ม PA กลุ่ม GON+PA) ในช่วง 28 วัน แรกของการทดลอง แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่ม 4 % PRB และกลุ่ม 6 % PRB ตลอดการทดลอง สอดคล้องกับงานทดลองของ Teltathum (2004) ที่พบว่าหนูที่ได้รับอาหารเสริม GON 800 mg/kg มีค่าเฉลี่ยล็อคฐานสองของ IgG titer สูงกว่ากลุ่มอื่น (กลุ่ม control กลุ่มที่เสริม GON 280 และ 1340 mg/kg) และในระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีรำข้าวเหนียวก่ำพบว่า กลุ่ม 8% PRB (GON 1800, PA 80 mg/kg) มีค่าเฉลี่ยล็อคฐานสองของ IgG titer สูงกว่ากลุ่ม 6% PRB (GON 1340, PA 60 mg/kg) เมื่อเทียบกับหนูในกลุ่มควบคุม และหนูในกลุ่มที่ได้รับการเสริมแกมมา-โอไรซานอลบริสุทธิ์ 1,340 mg/kg อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สันนิษฐานว่าการใช้รำข้าวเหนียวก่ำซึ่งประกอบด้วย GON และ PA ปริมาณสูงในรูปธรรมชาติ สารบางส่วนอาจถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในทางเดินอาหาร รวมถึงการสร้างแอนติบอดีชนิดไอจีเอ ซึ่งเป็นแอนติบอดีที่มีความสำคัญที่สุดของภูมิคุ้มแบบจำเพาะ เพื่อทำหน้าที่ต้านสิ่งแปลกปลอมในทางเดินอาหาร (โสมทัต, 2538) หรืออาจเนื่องมาจากสัดส่วนของอนุมูลอิสระในอาหารโดยเฉพาะในรำข้าวเหนียวก่ำ กับสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในทางเดินอาหาร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสมรรถภาพการผลิต พบว่าการใช้รำข้าวเหนียวก่ำเพิ่มขึ้นจะทำให้สุกรมีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น ทั้งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต และอัตราแลกเนื้อ (Table 4.3) นั่นคือ สารสำคัญที่มีในรำข้าวเหนียวก่ำ นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันแล้ว ยังส่งผลต่อการทำงานของเซลล์ในระบบอื่นๆ ด้วย ส่งผลให้สัตว์มีการเจริญเติบโตดีขึ้น

นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Nares (1998) การใช้สารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นเสริมลงในอาหารลูกสุกร เช่น วิตามินอี จะทำให้การตอบสนองของแอนติบอดี ต่อวัคซีนพิษสุนัขบ้าเทียม (AD) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และทำให้คุณลักษณะทางเศรษฐกิจมีแนวโน้มดีขึ้น แต่การใช้วิตามินอีเพิ่มขึ้นไม่มีความสัมพันธ์กับการตอบสนองต่อวัคซีนเอดีแบบเส้นตรง เนื่องจากพบว่า การใช้ที่ระดับ 110 และ 177 mg/kg เป็นเวลา 28 วัน สุกรมีการตอบสนองต่อวัคซีนเอดีต่ำกว่าการใช้ที่ระดับ 35 และ 75 mg/kg สอดคล้องกับพันทิพา (2541) ที่กล่าวถึง ความสำคัญของสารอาหารต่อระบบภูมิคุ้มไว้ว่า สารอาหารมีทั้งพวกที่กระตุ้นภูมิคุ้มกัน กับพวกที่กดภูมิคุ้มกัน และสารอาหารที่เป็นประโยชน์ในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน หากให้มากเกินไป ก็จะกดภูมิคุ้มกันได้ รวมถึงวิธีการให้สารอาหารตามระดับของ NRC หรือมากกว่า ไม่ได้ทำให้การตอบสนองทางภูมิคุ้มเกิดขึ้นที่ระดับสูงสุด (Figure 5.1) แต่จะต้องเป็นการให้ในระดับที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้เกิดการตอบสนองของภูมิที่เหมาะสม ประหยัดต้นทุน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และให้ผลผลิตสูงสุด ดังใน Figure 5.2 (พันทิพา, 2541) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าสมรรถภาพการผลิตทั้งน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ซึ่งมีค่าต่ำมาก เช่นเดียวกับค่าสหสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล (Figure 5.3-5.4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีจำนวนข้อมูลและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองยังไม่มากพอที่จะชี้ให้เห็นถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันอย่างชัดเจน แต่สามารถกล่าวได้ว่าภูมิคุ้มกันในทางเดินอาหารมีความสำคัญสำหรับการเลี้ยงสัตว์ เพราะเป็นการทำงานร่วมกันของระบบต่างๆ ในร่างกาย ที่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์ ดังนั้นผู้เลี้ยงสัตว์ควรมีวางแผนจัดการอาหารที่ดี ใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพในการเลี้ยงสัตว์ ทำให้สัตว์ได้รับสารอาหารเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จะสามารถประหยัดต้นทุนการผลิตได้ และไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ อาจมีการถอนวิตามินหรือลดปริมาณการใช้วิตามินในสูตรอาหารในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เนื่องจากมีรายงานว่าการถอนวิตามินในช่วงสุกรขุนที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 60 กก. สามารถถอนวิตามินได้ในวันที่ 20 และวันที่ 33 ของการทดลอง โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต (รัตนา, 2543) และยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

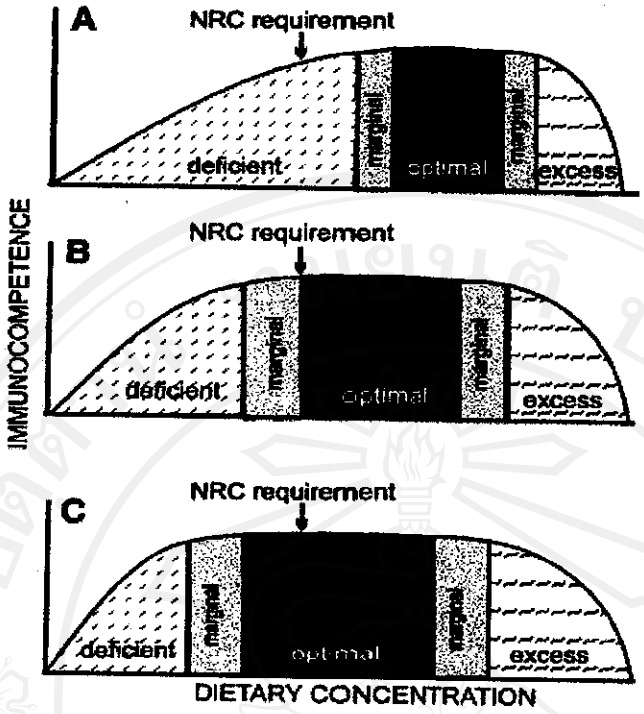


Figure 5.1. Dietary requirements set by the National Research Council (NRC) (shown as arrows) are usually based on concentrations that maximize growth and reproduction and prevent known deficiency pathologies. Optimal immunocompetence may occur at nutrient levels that are: higher than the NRC requirement (panel A); equal to the NRC requirement (panel B); or less than the NRC requirement (panel C). (Klasing, 2002)

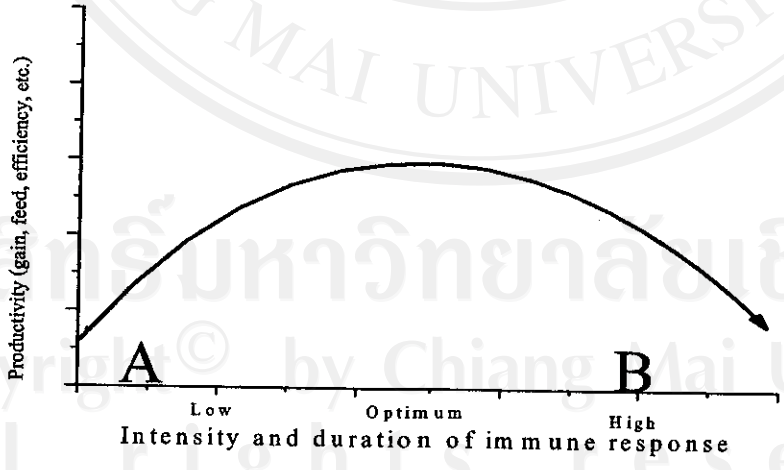


Figure 5.2 Effect of Intensive and duration of immune response on productivity. (A : region of increased susceptibility to disease, B : region of excessive pathology due to vigorous response) (อ้างโดย พันทิพา, 2541; edited from Klasing, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

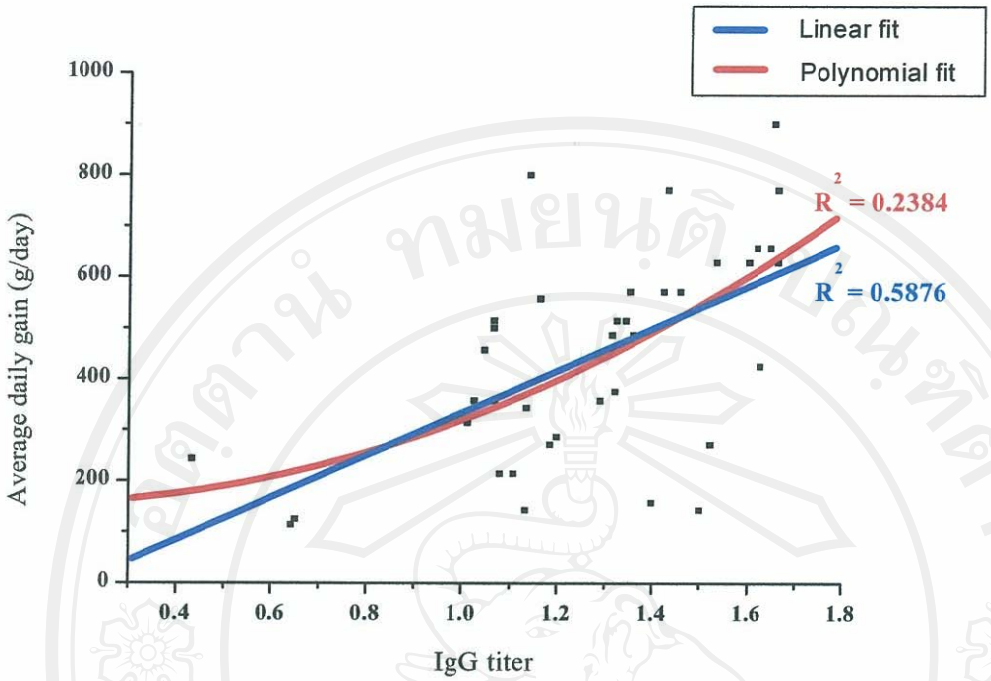


Figure. 5.3 Effects of CONT group on immune response and average daily gain (data from Appendix table 6).

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

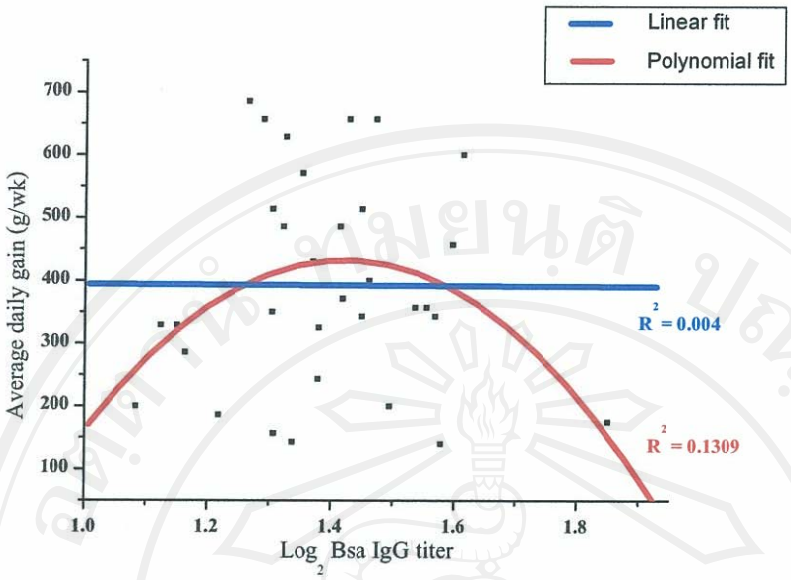
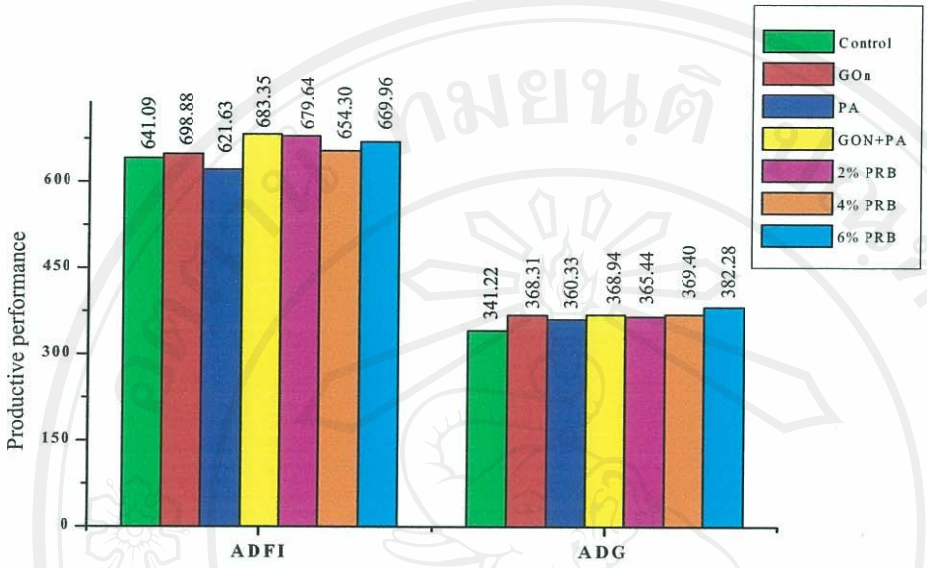


Figure. 5.4 Effects of GON group on immune response and average daily gain (data from Appendix table 7).

5.3 ปริมาณธาตุเหล็กในซีรัม

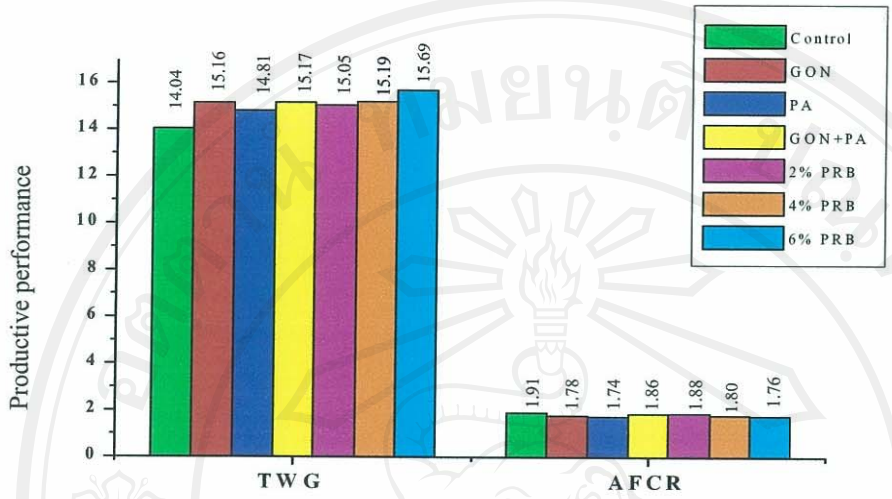
มีรายงานว่าการใช้รำข้าวขาวในอาหารสัตว์ จะทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของธาตุเหล็กลดลง เนื่องจากในรำมีสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของธาตุเหล็ก โดยเฉพาะไฟเตท (Hallberg *et al.*, 1987; Simpson *et al*, 1981) จากผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมโดยการนำค่าปริมาณธาตุเหล็กในซีรัมก่อนการทดลองมาพิจารณาเป็นตัวแปรร่วม พบว่าค่าระดับธาตุเหล็กของทุกกลุ่มการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในลักษณะฟันปลาตลอดการทดลอง (Figure 4.2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระบบการดูดซึมและการใช้ประโยชน์จากธาตุเหล็กในอาหารของสุกร ถูกกำหนดโดยความต้องการธาตุเหล็กเพื่อใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดงเป็นหลัก ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่น วิตามินซี ไฟเตท มีความสำคัญรองลงมา ส่งผลให้กลไกการดูดซึมธาตุเหล็กของร่างกายจะดูดซึมให้เพียงพอกับความต้องการเท่านั้น และหยุดดูดซึมเมื่อร่างกายเก็บสะสมธาตุเหล็กจนเต็มที่แล้ว (Emerit *et al.*, 2001) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงอาหารหลังหย่านม จากเดิมที่ได้รับน้ำนมจากแม่และกินอาหารเลียราง เป็นอาหารสำหรับลูกสุกรอนุบาลที่มีการเสริมธาตุเหล็กในสูตรอาหาร ซึ่งโดยปกติแล้ว ปริมาณธาตุเหล็กเปรียบเทียบกับธาตุเหล็กที่ได้รับจากอาหารมีค่าไม่เกิน 10% ของธาตุเหล็กในอาหาร เป็นการดูดซึมธาตุเหล็กเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ตามปกติของร่างกาย โดยธาตุเหล็กเหล่านี้ 70% จะอยู่ในรูปฮีโมโกลบินในส่วนของเม็ดเลือดแดง และอีก 30% จะเก็บสะสมอยู่ในตับ, ม้าม และไขกระดูก (Ensminger *et al.*, 1990) รวมถึงความต้องการธาตุเหล็กของสุกรในช่วงน้ำหนัก 3-10 kg มีความต้องการธาตุเหล็กสูงถึง 100 mg/kg diet สุกรจึงมีการเพิ่มขึ้นของธาตุเหล็กในซีรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



Appendix figure 1. Average daily feed intake (ADFI) and average daily gain (ADG). CONT: farm standard diet, GON : farm standard diet with 3,000 mg/kg gamma-oryzanol, PA : farm standard diet with 82 mg/kg proanthocyanidin, GON+PA : farm standard diet with 100 mg/kg gamma-oryzanol and 65 mg/kg proanthocyanidin; and 2, 4, 6% PRB were farm standard diet supplemented with 2, 4, 6 % purple rice bran, respectively. (data from table 4.3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



Appendix figure 2. Total weight gain (TWG) and average feed conversion ratio (AFCR). CONT: farm standard diet, GON : farm standard diet with 3,000 mg/kg gamma-oryzanol, PA : farm standard diet with 82 mg/kg proanthocyanidin, GON+PA : farm standard diet with 100 mg/kg gamma-oryzanol and 65 mg/kg proanthocyanidin; and 2, 4, 6% PRB were farm standard diet supplemented with 2, 4, 6 % purple rice bran, respectively.

Appendix table 6. Effects of CONT group on immune response and average daily gain

IgG titer	ADG	IgG titer	ADG	IgG titer	ADG	IgG titer	ADG
0.651	125	1.135	343	1.655	900	1.163	557
0.642	114	1.184	271	1.351	571	1.046	457
0.432	243	1.107	214	1.198	286	1.32	375
1.399	157	1.342	514	1.647	657	1.625	425
1.068	357	1.14	800	1.663	629	1.457	571
1.078	214	1.29	357	1.663	771	1.314	486
1.499	143	1.522	271	1.619	657	1.534	629
1.012	314	1.065	514	1.323	514	1.431	771
1.026	357	1.065	500	1.601	629		
1.133	143	1.423	571	1.358	486		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปรียบเทียบธาตุเหล็กที่ได้รับจากอาหารสูง แต่เมื่อสุกรมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10-20 kg ความต้องการธาตุเหล็กจะลดลงเป็น 80 mg/kg diet (NRC, 1998) แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับสมรรถภาพการผลิต ทั้งน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับธาตุเหล็กในซีรัมที่ค่อนข้างคงที่ ซึ่งในการทดลองนี้คือ กลุ่ม 6 % PRB และมีแนวโน้มของระดับธาตุเหล็กในซีรัมเพิ่มขึ้นทุก 14 วัน (วันที่ 14 28 42 ของการทดลอง) (Figure 4.2) มีแนวโน้มสมรรถภาพการผลิตดีกว่ากลุ่มทดลองอื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น-ลดลงไม่แน่นอน นองลงมาคือ กลุ่ม 2 % PRB และกลุ่มที่มี GON สกัดในสูตรอาหาร ส่วนการเสริม GON พบว่าจะทำให้ระดับธาตุเหล็กในซีรัมสูงกว่ากลุ่ม CONT ในช่วง 14 วันแรกของการทดลองเท่านั้น แต่หลังจากนั้นจะให้ผลไม่ต่างกัน ในขณะที่กลุ่ม GON+PA จะทำให้ระดับธาตุเหล็กในซีรัมสูงรองลงมาจากกลุ่ม GON ในช่วง 14 วันแรก แต่ในวันที่ 28 พบว่ากลุ่ม GON+PA จะทำให้ระดับธาตุเหล็กในซีรัมสูงสุด ส่วนกลุ่ม PA แม้ว่าจะมีระดับธาตุเหล็กในซีรัมต่ำกว่ากลุ่ม CONT แต่มีสมรรถภาพการผลิตดีกว่ากลุ่ม CONT ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การใช้ PA เสริมลงในอาหารสัตว์ (กลุ่ม PA และกลุ่ม GON+PA) แม้ว่าจะทำให้ปริมาณธาตุเหล็กในซีรัมลดลง แต่ก็ไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตลดลงต่ำกว่ากลุ่ม CONT ส่วนการใช้รำข้าวเหนียวก่ำที่ 6 % ในสูตรอาหาร แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับสมรรถภาพการผลิต จะเห็นว่ากลุ่ม 6 % PRB มีแนวโน้มดีที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากมารำข้าวเหนียวก่ำมีสารต้านอนุมูลอิสระ และธาตุเหล็กสูงกว่ารำข้าวขาว สอดคล้องกับงานทดลองของกาญจนา (2550) ที่พบว่าการใช้รำข้าวเหนียวก่ำในสูตรอาหารที่ 6% จะทำให้วิลไลในลำไส้เล็กมีความสูงมากกว่าการใช้รำข้าวขาว ซึ่งจะส่งผลให้พื้นที่ผิวในการดูดซึมสารอาหารเพิ่มขึ้น จึงทำให้ระดับธาตุเหล็กในซีรัมของกลุ่มที่ใช้รำข้าวเหนียวก่ำมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มที่ใช้รำข้าวขาว เนื่องมาจากสารต้านอนุมูลอิสระทั้ง GON PA และธาตุเหล็กในรำข้าวเหนียวก่ำที่มีมากกว่าในรำข้าวขาวที่ทำหน้าที่ร่วมกันในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ส่งผลดีต่อสมรรถภาพการผลิต (Kaneda, 2007) ส่วนกลุ่ม 4% PRB จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของระดับธาตุเหล็กในซีรัม ปริมาณธาตุเหล็กในซีรัมเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ได้รับต่อวัน และมีค่าไม่สอดคล้องกับกลุ่ม 2% PRB และกลุ่ม 6 % PRB ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณอาหารที่กินได้ของสุกรกลุ่มนี้มีค่าต่ำกว่า 2 กลุ่มข้างต้น ทำให้ปริมาณสารอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะปริมาณธาตุเหล็กที่พบสูงในรำข้าวเหนียวก่ำที่สุกรได้รับมีค่าต่ำกว่า 2 กลุ่มดังกล่าว จึงอาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณธาตุเหล็กในซีรัมที่ตรวจวัดได้ จากการทดลองนี้อาจกล่าวได้ว่าการใช้ PA เสริมลงในอาหารสัตว์แม้ว่าจะมีผลต่อระดับธาตุเหล็กในซีรัม แต่เนื่องจากกลไกการดูดซึมธาตุเหล็กที่ดูดซึมธาตุเหล็กตามความต้องการของร่างกาย ดังนั้นปริมาณธาตุเหล็กที่ได้รับซึ่งวัดได้จากการทดลองนี้ จึงไม่สามารถใช้บ่งชี้ถึงสมรรถภาพการผลิตของสุกรได้โดยตรง เนื่องจากกลไกการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดูดซึมธาตุเหล็กของร่างกายถูกควบคุมโดยความต้องการใช้เพื่อการสร้างเม็ดเลือดแดงเป็นหลัก ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

สรุปผลการทดลอง

1. ด้านระบบภูมิคุ้มกัน พบว่าการใช้แกมมา-โอไรซานอลเสริมลงในอาหารสุกรที่ระดับ 3,000 mg/kg จะช่วยกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน โดยเฉพาะการผลิตแอนติบอดีชนิดไอจีจี เนื่องมาจากค่าความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกลุ่ม GON มีค่าสูงที่สุด ส่งผลให้เซลล์ภูมิคุ้มกัน โดยเฉพาะเซลล์เม็ดเลือดขาวในทางเดินอาหารไม่ถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ และทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง ทำให้การตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมดีและมีประสิทธิภาพมากกว่ากลุ่มทดลองอื่นตลอดการทดลอง ในขณะที่ PA ที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ จึงอาจทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างที่เคลื่อนตัวผ่านทางเดินอาหาร อีกทั้งมีความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่า GON ส่งผลให้ค่าความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของ PA ลดลง ทำให้ประสิทธิภาพของ PA ต่อเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันต่ำกว่า GON ตลอดการทดลอง ส่วนการใช้รำข้าวเหนียวก่ำ (GON และ PA ในสภาพธรรมชาติ) พบว่าการใช้รำข้าวเหนียวก่ำที่ระดับ 2% จะช่วยกระตุ้นการตอบสนองของภูมิคุ้มกันอย่างช้าๆ ดังจะเห็นได้จากค่าล็อคฐานสองของไอจีจีไตเตอร์ที่เพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มทดลองอื่นในช่วงท้ายของการทดลอง (วันที่ 35 และ 42) ในขณะที่กลุ่ม 4 % PRB และกลุ่ม 6 % PRB แม้ว่าจะมีค่าล็อคฐานสองของไอจีจีไตเตอร์ต่ำกว่ากลุ่ม 2 % PRB แต่เมื่อพิจารณาสมรรถภาพการผลิตจะพบว่ากลุ่ม 6 % PRB และกลุ่ม 4 % PRB มีสมรรถภาพการผลิตดีกว่ากลุ่มทดลองอื่นตลอดการทดลอง ดังนั้นจากการทดลองนี้ จึงกล่าวได้ว่า การใช้สาร GON ที่ 3,000 mg/kg diet เป็นระดับที่เหมาะสมที่จะใช้เพื่อกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้ม แต่การใช้ PA พบว่าที่ระดับ 82 mg/kg diet ไม่ทำให้การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มดีกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนการใช้รำข้าวเหนียวก่ำเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกัน ควรใช้ที่ 2 % เพื่อลดต้นทุน เนื่องจากสมรรถภาพการผลิตมีค่าไม่ต่างจากกลุ่ม 6 % PRB และกลุ่ม 4 % PRB อย่างมีนัยสำคัญ

2. การใช้ PA ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเสริมลงในอาหารสุกรในการทดลองนี้ เพื่อกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ทั้งรูปที่เป็นสารสกัดและรูปธรรมชาติไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของธาตุเหล็กในลูกสุกร ดังจะเห็นได้จากค่าระดับธาตุเหล็กในซีรัม และปริมาณธาตุเหล็กเปรียบเทียบกับธาตุเหล็กที่ได้รับจากอาหาร ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตลอดการทดลอง เนื่องมาจากกลไกการควบคุมปริมาณการดูดซึมธาตุเหล็กของร่างกายที่ถูกควบคุมโดยความต้องการใช้ธาตุเหล็กเพื่อการนำไปสร้างเป็นเม็ดเลือดแดงเป็นหลัก การใช้รำข้าวเหนียวก่ำซึ่งมี PA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นองค์ประกอบอยู่สูงก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อีกทั้งยังพบว่าการใช้รำข้าวเหนียวก่ำในปริมาณสูงนอกจากจะไม่มีผลกระทบต่อการดูดซึมธาตุเหล็กแล้ว การใช้รำข้าวเหนียวก่ำที่ 6% ยังให้แนวโน้มของสมรรถภาพการผลิตดีที่สุด ทั้งปริมาณอาหารที่กินได้ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโต

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องระดับที่เหมาะสมของ PA และสัดส่วนของ GON+PA เพื่อการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน และไม่ส่งผลกระทบต่อการดูดซึมธาตุเหล็ก

2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องระดับที่เหมาะสมของรำข้าวเหนียวก่ำที่จะกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันได้ดี มีสมรรถภาพภาพการผลิตดีที่สุด และลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะการใช้รำข้าวเหนียวก่ำในสูตรอาหาร

3. การศึกษาในครั้งถัดไป ควรเลือกสุกรที่มีน้ำหนักเริ่มต้นใกล้เคียงกัน เริ่มเลี้ยงที่เวลาเดียวกัน และมีสุขภาพแข็งแรงเท่าๆ กัน เพื่อลดความแตกต่างในส่วนที่กล่าวมาข้างต้น และอาจเพิ่มจำนวนสัตว์ทดลองและระยะเวลาในการทดลองเพื่อจะได้เห็นผลของอาหารทดลองที่ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเฉพาะความสัมพันธ์ของระบบภูมิคุ้มกันกับสมรรถภาพการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved