สรุป

1. ผลของระดับมันสำปะหลังในอาหารที่ผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพของอาหารอัดเม็ด ซึ่งได้แก่ ความคงทนของเม็ดอาหารมาตรฐาน ความคงทนดัดแปร ความแข็ง และความเป็นฝุ่น อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจสำหรับการผลิตอาหารอัดเม็ด เพื่อลดปัญหาต่างๆ ที่มีในอาหารผง เช่น ความเป็นฝุ่น การแยกชั้นของอาหารเป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรอาหารมันสำปะหลังช่วยลดต้นทุนค่ากระแสไฟฟ้าในการผลิตอาหาร สูตรมันสำปะหลัง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารอัดเม็ดที่ใช้มันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ โดยลดลงจาก 5.93 เป็น 5.04 และ 5.44 กิโลวัตต์/ตัน หรือลดลง 15 และ 8.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่อาหารอัดเม็ดสูตรมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

2. การศึกษาค่าการเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ในอาหารสุกรทั้ง 3 สูตรพบว่า ระดับมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในอาหารก่อนอัดเม็ด มีค่าการเข้าย่อยได้ของเอนไซม์ลดลง แต่เมื่อนำอาหารไปผ่านกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ด พบว่า อาหารที่มีสูตรมันสำปะหลัง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งดีกว่าอาหารสูตรที่มีมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์

3. ระดับมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม

4. ระดับมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น หรือการใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าว ในอาหารสุกรหย่านมที่ระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการกินอาหาร และประสิทธิภาพการใช้อาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารปกติที่ใช้ปลายข้าวเป็นแหล่งพลังงาน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักตัวที่เพิ่ม และน้ำหนักสุดท้ายของลูกสุกรที่ได้รับอาหารสูตรมันสำปะหลังทั้ง 2 ระดับ ให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่ากลุ่มสูตรมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของรูปแบบอาหารพบว่า อาหารผงและอาหารอัดเม็ด ให้ผลที่ใกล้เคียงกันต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรหย่านม แต่อัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรที่ได้รับอาหารอัดเม็ดก็มี

แนวโน้มที่ดี ส่วนประสิทธิภาพการใช้อาหารและต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ของอาหารอัดเม็ดนั้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าอาหารผงอย่างชัดเจน

5. จากการศึกษาระดับมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อค่าการย่อยได้ของลูกสุกรหย่านม ได้แก่ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน โดยพบว่าสูตรอาหารแบบอัดเม็ด ช่วยให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะดีขึ้น เช่นเดียวกับระดับของมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ที่ช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของสารอาหารให้ดีขึ้น

6. ดังนั้นค่าการย่อยได้ของแป้งโดยใช้เอนไซม์ และค่าการย่อยได้ของโภชนะในลูกสุกร ซึ่งได้แก่ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ที่พบว่ามีค่าการย่อยได้สูง ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยจะมีความสัมพันธ์กับระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตในลูกสุกรหย่านมอายุ 4-8 สัปดาห์ มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตที่ดีตามไปด้วยซึ่งทำให้ได้ผลตามที่กล่าวมา

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาระดับมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพของอาหาร อัดเม็ด สมรรถภาพการผลิตสุกร และค่าการย่อยได้ของโภชนะในลูกสุกร พบว่าสูตรอาหารมันสำปะหลังที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ต้องควบคุมอุณหภูมิการคลุกไอน้ำให้อยู่ในช่วง 65-70 องศาเซลเซียส เพื่อลดปัญหาการอัดเม็ดไม่ได้ ส่วนสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกร พบว่ามันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนปลายข้าวได้ 20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งแบบผงและเม็ด โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต แต่ต้องคำนึงถึงระดับเยื่อใยที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นต้องมีการเลือกใช้มันสำปะหลังที่มีคุณภาพดี เยื่อใยรวมไม่ควรเกิน 4 เปอร์เซนต์ และความเป็นฝุ่นที่เพิ่มขึ้นในอาหารสุกรหย่านม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง**. หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 น.

กานดา พันสุรินทร์. 2546. **การศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตรอาหารต่อระดับพีเอชและปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มก่อให้เกิดโรค/ไม่ก่อให้เกิดโรคที่ปลายลำไส้เล็กในสุกรระยะรุ่นและมูลสุกรระยะขุน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 101 น.

_____, อุทัย คันโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2545. การศึกษาหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของมันเส้นคุณภาพต่างๆ กันในอาหารสุกรรุ่น-ขุน *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 40, วันที่ 4-7 กุมภาพันธ์ 2545**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง: การปลูก อุตสาหกรรมการแปรรูป และการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 439 น.

ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2548. **เอกสารประกอบการสอนวิชา เทคโนโลยีการผลิตอาหารสัตว์.** โครงการจัดตั้งภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการเคมีและฟิสิกส์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 143น.

_____, และ ปฐมา จาตกานนนท์. 2547. ผลของอุณหภูมิคลุกไอน้ำอัดเม็ดและระดับมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อต่อความคงทนของเม็ดอาหารและการใช้ประโยชน์ได้ของสารโภชนะแป้ง. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 44, วันที่ 30 มกราคม-2 กุมภาพันธ์ 2547**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันดี ทาตระกูล. 2546. **สุกรและการผลิตสุกร**. งานส่งเสริมการวิจัยและตำรา โครงการตำรา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 374 น.

สาธิต ล้อแก้วมณี, อุทัย คันโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2545. การศึกษาหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของมันเส้นในอาหารไก่กระทง *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 40, วันที่ 4-7 กุมภาพันธ์ 2545**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาโรช ค้าเจริญ และ เยาวมาลย์ ค้าเจริญ. 2531. **การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์ สุกร เป็ด และไก่.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 34 น.

_____,_____, ณรงค์ กิจพาณิชย์, กนก ผลารักษ์ และศุภชัย งามศักดิ์. 2527. คุณภาพผลิตภัณฑ์มันสำ าปะหลังไทย และการใช้มันสำปะหลังทดแทนผลิตภัณฑ์ธัญพืชในอาหารสัตว์, 76-121 น. *ใน* **หนังสือที่ระลึกงานเกษียณอายุราชการ ศ.ดร.สุชีพ รัตนสาร.** โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, อุทัย คันโธ และไพฑูรย์ มูลจิตร. 2544**. การศึกษาผลการใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดเป็นอาหารไก่เนื้อทั้งเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะ**. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สุดารัตน์ สุภาพ, อุทัย คันโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. ผลการใช้กากถั่วเหลืองกะเทาะเปลือกในสูตรอาหารลูกสุกรระยะหย่านมที่ใช้ปลายข้าวและมันสำปะหลังเป็นหลัก *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42, วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2547.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวรรณี แสนทวีสุข, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และปุณฑริกา หะริณสุต. 2543. การใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่กระทง. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของ**

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 38, วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนุชา ชลอกลาง. 2542. **การใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าวในอาหารสุกรระยะหลังหย่านม**. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, อุทัย คันโธ, สมโภชน์ ทับเจริญ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และลอลิต้า เมฆสองสี. 2543. การใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุน. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 38, วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุทัย คันโธ. 2531. การลดต้นทุนค่าอาหารสุกรโดยใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าว. **สุกรสาส์น** 14(55): 40-44.

_____. 2535. **ผลของการใช้ผลพลอยได้จากการผลิตนมถั่วเหลืองในอาหารสุกรระยะรุ่นและขุน**. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 12 น .

_____. 2540. **เอกสารประกอบการสอนวิชา Feed and Feed Stuff Processing.** ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

_____. 2545. อ.อุทัย ฟันธงใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพด 100 เปอร์เซ็นต์. **สัตว์เศรษฐกิจ** 20(44): 10 - 14.

_____. และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย**. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

_____, _____, และไพฑูรณ์ มูลจิตร. 2545. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ปลายข้าว ข้างฟ่างและมันสำปะหลังเป็นอาหารเป็ดเนื้อ. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 42, วันที่ 4-7 กุมภาพันธ์ 2545**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, _____, _____. 2547. การใช้มันสำปะหลัง (มันเส้นสะอาด) เป็นอาหารลูกสุกรหย่านมเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดและข้าวโพดเอ็กทรูด. แหล่งที่มา http// www. Tapiocafeed.com, วันที่ 7 พฤศจิกายน 2548.

A. S. A. E. 1987. Metthod of determining and expressing fineness of feed material by sieving. P. 325 *In* **ASAE Standard S319**, **Agricultural Enginees Yearbook of Standards**. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.

A. O. A. C. 1990. **Official Methods of Analysis of the Association of Offcial Analytical Chemist.** 15th ed. A. O. A. C., Washington, D. C.

Baird, D.M. 1973. Influence of pelleting swine diets on metabolizable energy, growth and carcass characteristic. **J. Anim. Sci.** 36: 516.

Behnke, K. C. 1998. Why pellet? *In*: **Proceeding Kansas State University/American feed Industry**. Assoc. Pellet Conference, Manhatton, KS.

Bolin, D. W, R. P. Ring and E. W. Klosterman. 1952. A simplified method for the determination of chromic oxide ($Cr_2 O_3$) when used as an index substance. **Science** 116:634-635.

Defloor, I., I. Dehenj and J. A. Delcour. 1998. Physico-chemical properties of cassava starch. **Starch/Starke** 50: 58-64.

Devlin, M. T. 1982. **Textbook of Biochemistry with Clinical Correlation**. A Wieley Medical Pub., New York. 1265 p.

Du Thang Hang. 1998. Digestibility and nitrogen retention in fattening pigs fed different levels of ensiled cassava as a protein source and ensiled cassava root as energy source**. Livestock Research for Rural Development** 10(30).

Enriquez, F. Q. and E. Ross. 1967. The value of cassava root meal for chick. **Poultry Sci**. 46: 622-626.

Furuta, K., I. Oku and S. Morimoto. 1980. Effect of steam temperature in the pelleting process of chicken food on the viability of contaminating bacteria. **Lab Anim.** 14(4):293-296.

Georage, J.B. 1989 . **Basic Food Microbiology**. 2nd ed. Champman & Hill, USA. 773 p.

Gibson, T. S., C. J. Kaldor and B. V. Mecleary. 1993. Collaborative evaluation of an enzymatic starch damage assay kit and comparison with other method. **Cereal Chem**. 70: 47 -51.

Gilles, B. 2005. Les polysaccharides. Les molecules de la vie. Available Source: http//www. ici.cegep-ste-foy.qc.ca/. ../glucides_3.htm. December, 18 2005.

Gomez, G. and M. Valdivieso. 1983. Cassava meal for baby pig feeding. **Nutr. Rep**. **Int**. 28: 547-558.

Gomez, G., J. Santos and M. Valdivieso. 1984. Evaluation of methionine supplememtation to diets containing cassava meal for swine. **J. Anim. Sci**. 58: 812-820.

Hongtrakul, K., R. D. Goodband, K. C. Behnke, J. L. Nelssen, M. D. Tokach, J. R. Bergstrom, W. B. Nessmith, Jr. and I. H. Kim. 1997. Effect of starch gelatinization on weaning pig performance. **Swine Day**. 79-81.

Johnston, S. L., R. H. Hines, J. D. Hancock, K. C. Behnke, C. A. Maloney, S. L. Traylor and S. P. Sorrell. 1998. Effects of conditioners (standard, long-term, and expander) on pellet quality and growth performance in nursery pigs. **Swine Day**. 210-212.

Johnston, S. L., R. H. Hines, J. D. Hancock, K. C. Behnke, S. L. Traylor, B. J. Chae and In K. Han. 1999. Effects of conditioners (standard, long-term, and expander) on pellet quality and growth performance in nursery and finishing pigs. Asian-Asus. **J. Anim. Sci.** 12:558-564.

Jordan, K. 1983**. Manioc in livestock feeds Feed Comp**. (Jan): 6-11.

Kenneth, T. 2002. The normal flora of animal. Available Source: http://www.bact. wisc.edu./bact330. htm, August 16, 2005.

Laura, J.F., R. Fuller and G.R. Gibson. 1999. Prebiotics, probiotics and human gut microbiology. **Inter. Dairy. J**. 9: 53 - 61.

Leach, H. W., L. D. McCowen and T. J. Schoch. 1959. Structure of the starch granule I. Swellin and solubility patterns of various starches. **Cereal Chem**. 36: 534-544.

Lekule, F.P., A. Just and L.A. Mtenga. 1988. Total replacement of cereals by cassava and rice polishing in diets of growing-finishing pigs. **Trop. Agric**. 65: 321-324

Lindermann, M. D., S. G. Cornelius, S. M. EI. Kandelgy, R. L. Moser and J. E. Pettigrew. 1986. Effect of age, weaning and diet on digestive enzyme levels in the piglet. **J. Anim. Sci**. 62: 1298 – 1307.

Maner, J.N. 1974. Management and feeding of pigs in the tropics. Proceeding of the International Symposium. *In* **Animal Production in the Tropics**. Heinemann Education Books, Nigena Ltd., Ibadan.

Mavromichalis, I. 2005. การเลี้ยงดูลูกหมูวัยหย่านม. **ธุรกิจอาหารสัตว์** 22: 23-36.

Maxwell, F.J. and C.S. Stewart. 1995. The microbiology of the gut and the role of probiotics. *In* M.A. Varley, ed. 1995. **The Neonatal Pig Development and Survival.** CAB. International Walling Ford.

Medel, P., M. A. Latorre, C. de Blas, R. La'zaro and G.G. Mateos. 2004. Heat processing of cereals in mash or pellet diets for young pigs. **Anim. Feed Sci**. **Tech.** 113:127-140.

Muller, Z., K. C. Chou and K. C. Nah. 1975. Cassava as a total substitute for cereals in livestock and poultry rations, pp. 87-97. *In* **Proceeding of the conference on Animal Feeds of Tropical and subtropical Origin**. Tropical Products Institute, London.

Natey, F. 1973. Biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava (Nanihot spp.), pp. 73-87. *In* **Chonic Cassava Toxicity**. Proceeding of an Interdisciplinary Workshop, London, England, 29-30 January 1973. **Int**. Develop. Res. Center Monogr. IDRC. Ottawa, Canada.

NCR-42 Committee on Swine Nutrition. 1969. Cooperative regional studies with growing swine: Effect of source of ingredient, form of diet and lactation on rate and efficiency of gain in growing swine. **J. Anim. Sci.** 29: 927-931.

Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Sci Tech**. 8: 375-382.

Oke, O. L. 1978. Problem in the use of cassava as animal feed. **Anim. Feed Sci. Tech.** 3: 345-380.

Pipa, F. and G. Frank. 1989. High-pressure conditioning with annular gap expander. A new way of feed processing, pp 22-30. *In* V. M. Schäfer, ed. AdVance in Feed Technology (2), Detmold.

PrestlØkken, E. and W. Sitzmann. n.d. The expander system. Available source. http://www.feedtech.no./internet Education/Course/Expander. Course1.html, April 11, 2005.

Reas, B.P. 1996. **A study on the comparative digestibility of cassava, maize, sorghum and barley in growing pigs**. Master of veterinary studies Thesis, The University of Queensland, Queensland. 52 pp.

Robin, J. P., C. Mercier, R. Charbonniere and J. A. Guilbot. 1974. Lintnerized starch, gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. **Cereal Chem**. 51: 389-406.

Roelof, E. W., A. Veldman, W. A. G. Veen, P. J. Van der Aar and M. W. A. Verstegen. 2001. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs**. J. of Nutr**. 131:2329-2335.

SAS. 2003. **SAS/SAT Guide for Personal Computers**. Version 9.1.3 ed. SAS Institute Inc., North Carolina.

Sander, J. P. M. 1996. Starch manufacturing in the world. *In* **AdVance Post Academic Course on Tapioca Starch Technology**. Jan. 22-26 & Feb. 19-23. 1996. AIT Center, Bangkok.

Skoch, E. R., S. F. Binder, C. W. Deyoe, G. L. Allee and K. C. Behnke. 1983. Effects of pelleting conditions on performance of pigs fed a corn-soybean meal diet. **J. Anim. Sci**. 57: 922-928.

Smith, R. J. 1964. Viscosity of starch paste, pp.114-123. *In* R.L. Whistler, R.L., Smith, J.N., Bemiller and M.L. Wolfrom eds. **Methods in carbohydrate Chemistry Volume II**.

Soniya, E. B., T. A. Omole and A. A. Adeboga. 1982. Effect of methionine supplemented cassava meal diets on performance and carcass characteristics and some organ weights of growing-finishing pigs. **Nutr. Rep**. **Int**. 26:25-33.

Sriroth, K., K. Piyachomkwan, V. Santisopasri and C. G. Oates. 2001. Environmental conditions during root development: Drought constraint on cassava starch quality. **Euphytica** 120: 95-101.

Steidinger, M. U., R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, L. J. McKinney, B. S. Borg and J. M. Campbell. 2000. Effects of pelleting and pellet conditioning temperatures on weanling pig performance. **J. Anim. Sci**. 78: 3014-3018.

Thomas, M. and A. F. B. Van der Pole. 1996. Physical quality of pelleted animal feeds. Part I :Criteria for pellet quality. **Anim. Feed Sci Tech**. 61:89.

Traylor, S. L., K. C. Behnke, J. D. Hancock, R. H. Hines, J. M. DeRouchey, S. L. Johnston, and P. Sorrell. 1998. Effects of diet complexity and processing method on growth performance and nutrient digestibility in nursery. **Swine Day**. 206-209.

_____, _____, _____, P. Sorrell and R.H. Hines. 1996. Effects of pellet size on growth performance in nursery and finishing pigs. **J. Anim. Sci**. 74 (Suppl. 1): 67.

University of Georgia Team. 1972. **A literature review and reseach recommdation on cassava.** AID content no. csd/2497. 326 p.

Van der Poel, A. F. B., H. M. P. Fransen and M. W. Bosch. 1997. Effects of expander conditioning and/or pelleting of a diet contraining tapioca, pea and soybean meal on the total tract digestibility in growing pigs. **Anim. Feed Sci. Tech**. 66:309–320.

Wiseman, J. 1986. **Feeding of Nonruminant Livestock**. Butterworth (publishers) Co., Ltd., London. 241 p.

Wondra K.J., J.D. Hancock, K.C. Behnke, R.H. Hines and C.R. Stark. 1995. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. **J. Anim. Sci**. 73: 757-763.

Wu, J.F. 1991. Energy value of cassava for young swine. **J. Anim. Sci**. 69: 1349-1353.

Zobel, N. F. 1984. Molecules to granules: A comprehensive starch review. **Sarch/Starke**. 40(2): 44-50.

ภาคผนวก

<u>วิธีการวิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและมูล</u> (Bolin *et al*., 1952)

อุปกรณ์

1. เตาย่อย (Kjeldahl apparatus)
2. เจดาห์ฟลาสค์ (Kjeldahl flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 50 100 และ 1000 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง (funnel)
5. กระดาษกรอง (filter paper) เบอร์ 40
6. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย (spectrophotometer)

สารเคมีที่ใช้

1. สารโซเดียมโมลิบเดท (sodium molypdate : $Na_2MoO_4.2H_2O$)
2. กรดซัลฟูริค (H_2SO_4) ความเข้มข้น 96 เปอร์เซ็นต์
3. กรดเปอร์คลอริค ($HCLO_4$) ความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี

สารละลายออกซิไดซิงรีเอเจนต์ (oxidizing reagent)

เตรียมสารที่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยชั่งสารโซเดียมโมลิบเดท (sodium molypdate) ปริมาณ 11.75 กรัม ใส่ลงใน flask ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 150 มิลลิลิตร ลงไปแล้วนำ flask ไปวางลงในอ่างน้ำแข็ง ต่อจากนั้นค่อยๆ ทำการเติมกรดซัลฟูริค(H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 96 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 150 มิลลิลิตร โดยทำการแบ่งใส่ 3 ครั้งๆ ละ 50 มิลลิลิตร (พักครั้งละ 5–10 นาที แล้วค่อยใส่ครั้งต่อไป) และในการเทควรค่อยๆ เทลงตามขอบของ flask เมื่อเสร็จแล้วขั้นตอนต่อมาเติมกรดเปอร์คลอริค ($HCLO_4$) ที่ความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 200 มิลลิลิตร โดยทำการแบ่งใส่ 3 ครั้งๆ ละ 50 มิลลิลิตร เช่นเดียวกัน เสร็จเรียบร้อยแล้วทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย

1.1 ชั่งตัวอย่างใส่เจดาห์ฟลาสค์ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยที่ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 1.5 กรัม และชั่งตัวอย่างมูลประมาณ 0.5 กรัม

1.2 เติมสารละลายออกซิไดซิงรีเอเจนต์ 12 มิลลิลิตร

1.3 นำไปย่อยบนเตาย่อยด้วยไฟขนาดปานกลาง จนสารละลายเป็นสีเหลืองหรือสีส้ม และมีไอน้ำเกาะที่บริเวณผิวด้านในของหลอด ทิ้งไว้สักครู่แล้วจึงนำออกมาใส่ช่องดูดควันทิ้งไว้ให้เย็น โดยที่ในขณะย่อยจะทำการเขย่า flask เป็นครั้งคราว เพื่อให้ตัวอย่างที่ติดอยู่รอบๆ flask ถูกออกซิไดซิงรีเอเจนต์ย่อยจนสมบูรณ์

1.4 เติมกรดเปอร์คลอริค 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยต่ออีกครั้ง จนปรากฏไอน้ำเกาะที่บริเวณผิวด้านในของ flask ทิ้งไว้สักครู่แล้วจึงนำออกมาใส่ช่องดูดควัน แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

2. ขั้นตอนการปรับปริมาตร

เทสารละลายที่ได้จากการย่อยลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 3–4 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น

3. ขั้นตอนการกรอง

นำสารละลายที่ปรับปริมาตรเรียบร้อยแล้วมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40

4. ขั้นตอนการวัดค่าดูดกลืนแสง

นำสารละลายที่กรองเรียบร้อยแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank (โดย blank นั้นทำทุกขั้นเหมือนตัวอย่างแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง) โดยทำการปรับค่าการดูดกลืนแสงของ blank ให้เป็นศูนย์ด้วยการ set auto zero

5. ขั้นตอนการคำนวณ

จากวิธีการดังกล่าวสามารถคำนวณหาปริมาตรโครมิกซ์ออกไซค์ในตัวอย่างและมูลที่ได้จากการทดลอง ดังสมการ

$$\text{ปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{A \times EF \times mlAl \times 1000}{1000 \times W}$$

โดย A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

mlAl = ปริมาณของสารละลายที่ได้หลังจากขั้นตอนการปรับปริมาตร

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ย่อย

$$EF = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโครมิกซ์ออกไซด์ระดับต่างๆ จากการทำ standard curve}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสง}}$$

<u>หมายเหตุ</u>: (ค่า EF โดยปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 389 – 400 มิลลิกรัมต่อลิตร)

<u>วิธีการวิเคราะห์การย่อยได้ของแป้ง</u> (Gibson *et al*., 1993)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาด 16 × 100 mm. หรือ มีความจุ 12 มิลลิลิตร
2. ไมโครปิเปต (micro – pipettor) ขนาด 100 ไมโครลิตร
3. Combitip ขนาด 12.5, 5.0, 50.0 มิลลิลิตร
4. Bench centrifuge ความเร็วรอบ 3,000 rpm
5. spectrophotometer
6. เครื่องชั่ง
7. Vortex mixer
8. thermostatted water bath
9. นาฬิกาจับเวลา

สารเคมีที่ใช้และการเตรียม

1. เอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส (α-amylase) ความเข้มข้น 10 มิลลิลิตร หรือ1000 U ต่อมิลลิลิตร ในแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulphate) 3.2 โมลาล์ ทำการเจือจางโดยใช้เอนไซม์ 20 มิลลิลิตรกับ 100 มิลลิโมลาล์ โซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ (sodium acetate buffer) เขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่เย็น

2. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) ความเข้มข้น 4 มิลลิลิตร หรือ 200 U ต่อมิลลิลิตร ในแอมโมเนียมซัลเฟต 3.2 โมลาล์ เจือจางโดยใช้เอนไซม์ 10 มิลลิลิตร ในโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 100 มิลลิลิตรเก็บไว้ในที่เย็นระหว่างการใช้

3. กลูโคสดีเทอร์มิเนชั่น รีเอเจนท์ (glucose determination reagent) (1 ลิตร) เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารหลังจากแตกตัว

กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) > 12,000 U ต่อลิตร
เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) > 650 U ต่อลิตร
4-อะมิโนแอนตี้ไพริน (4-aminoantipyrine) 0.4 มิลลิโมลาล์

4. กลูโคส รีเอเจนท์บัฟเฟอร์(เข้มข้น) ((glucose reagent buffer (concentrate)) เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานไม่เกิน 1 ปี เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี ใช้กลูโคส รีเอเจนท์บัฟเฟอร์เข้มข้น 50 มิลลิลิตร การเจือจางโดยใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร สารที่ได้เรียกว่า กลูโคสดีเทอร์มิเนชั่น รีเอเจนท์ (glucose determination reagent, GOPOD reagent) ความคงตัวของสาร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งาน 2-3 เดือน เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งาน 12 เดือน

5. กลูโคสสแตนดาร์ดโซลูชั่น (glucose standard solution) ใช้กลูโคส 150 ไมโครกรัม ต่อ 0.1 มิลลิลิตร ในสารละลาย 0.2 เปอร์เซ็นต์ เบนโซอิคแอซิด (benzoic acid)

6. แป้งข้าวสาลี (wheat flour standard)

7. โซเดียมอะซิเตท บัฟเฟอร์ (sodium acetate buffer) 100 มิลลิโมลาล์ pH 5 ใช้แคลเซียมคลอไรด์ 5 มิลลิโมลาล์

7.1 การเตรียมใช้กลาเซี่ยลอะซิติค แอซิด (glacial acetic acid) (5.7 มิลลิลิตร 1.05 กรัมต่อมิลลิลิตร)เติมน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 5 โดยการเติม 2 โมลาล์ (8 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide solution) ปริมาณการใช้ 60 มิลลิลิตร

7.2 แคลเซียมคลอไรด์ ในรูปที่ปราศจากน้ำ 0.74 กรัม เติมลงในสารละลายคนให้ละลาย ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

8. กรดซัลฟูริค เจือจาง 0.2 เปอร์เซ็นต์ (dilute sulphuric acid 0.2 % v/v) ใช้กรดซัลฟูริคเข้มข้น ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 998 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 100 ± 10 มิลลิกรัม ใส่ลงในหลอด centrifuge ที่มีความจุ 12 มิลลิลิตร

2. อุ่นสารละลาย แอลฟ่าอะไมเลส (50 U ต่อมิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (5-10 นาที) ในบิกเกอร์ขนาดเล็ก

3. เติมสารละลายแอลฟ่าอะไมเลสที่อุ่นแล้วในหลอด centrifuge 1.0 มิลลิลิตร ทุกหลอดหลังจากนั้นคนสารละลายกับแป้งให้เข้ากันและนำไปผสมโดยใช้เครื่อง vertex mixer เป็นเวลา 5 นาที และอุ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที (เริ่มจับเวลาตั้งแต่ใส่เอนไซม์แอลฟ่าอะไมเลส)

4. เติมกรดซัลฟูริคเจือจาง 80 มิลลิลิตร และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที หรือนำไปกรอง

5. ดูดสารละลายส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด

6. ใส่สารละลายอะไมโลกลูโคซิเดส 0.1 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

7. เติม GOPOD รีเอเจนท์ 4.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (รวมทั้งในหลอดกลูโคสสแตนดาร์ดและหลอดรีเอเจนท์ blank) และนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

8. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

ขั้นตอนการคำนวณ

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{Starch Damage \%} = \Delta E \times F \times 90 \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180}$$

$$= \Delta E \times \frac{F}{W} \times 8.1$$

ΔE = ผลต่างระหว่างค่าการดูโกกลืนแสงของตัวอย่างและรีเอเจนท์ blank

F = $\frac{\text{150 (นาโนกรัมของกลูโคส)}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสง 150 นาโนกรัมของกลูโคส}}$ (เปลี่ยนหน่วยจากค่าการดูดกลืนแสงเป็นนาโนกรัม)

90 = ปรับปริมาตร (0.1 มิลลิกรัม มาจาก 9.0 มิลลิกรัม)

$\frac{1}{1000}$ = เปลี่ยนหน่วยจากไมโครกรัมเป็นมิลลิกรัม

$\frac{100}{W}$ = เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง

W = น้ำหนักเป็นมิลลิกรัมของแป้งที่ทำการทดสอบ

$\frac{162}{180}$ = การปรับจากกลูโคสอิสระให้มาอยู่ในรูปไฮโดรไรด์กลูโคส

<u>วิธีการวิเคราะห์ค่าดรรชนีความคงทนของเม็ดอาหารด้วยกล่องเขย่า</u>

อุปกรณ์

1. กล่องสี่เหลี่ยมขนาด 5x12x12 นิ้ว หรือ 13x30x30 เซนติเมตร และภายในมีแผ่นโลหะขนาด 2x9 นิ้ว หรือ 5x23 เซนติเมตร วางทแยงภายในกล่องดังภาพที่ และหมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที
2. ตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิดเล็กกว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอาหาร
3. เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหารที่ร่อนฝุ่นออกแล้ว 500 กรัม (น้ำหนักก่อนเขย่า)
2. เทตัวอย่างเม็ดอาหารลงในกล่องและเขย่าเป็นเวลา 10 นาที
3. ร่อนตัวอย่างเม็ดอาหารหลังการเขย่าเพื่อแยกฝุ่นออกจากเม็ดอาหาร
4. ชั่งน้ำหนักเม็ดอาหาที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อน (น้ำหนักหลังเขย่า)
5. คำนวณค่าความคงทนของเม็ดอาหาร

ขั้นตอนการคำนวณ

$$\text{Pellet Durability Index, PDI\%} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเขย่า} \times 100}{\text{น้ำหนักหลังเขย่า}}$$

หมายเหตุ: การวิเคราะห์สามารถใส่น็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 หรือ 1.27 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวในกล่อง เพื่อเพิ่มความรุนแรงในการเขย่า