

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. 2531. พืชไร่. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.
- แก้วตา ธัมอิน. ม.ป.ป. ถั่วมะแฮะ พืชที่มีค่ามากกว่าบำรุงดิน [Online]. แหล่งที่มา: <http://www.food4change.in.th> [31 ตุลาคม 2551].
- ดวงกมล ณ ระนอง. 2551. พื้นฐานวิศวกรรมปฏิกิริยาและการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: อักษรสยามการพิมพ์.
- นิธิยา รัตนापนนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์. มอก. 948-2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งถั่วเขียว. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- วิเชียร วรพุทธิพร. 2525. ศึกษาการทำวนเส้นและซ่าหริ่มจากแป้งถั่วมะแฮะพันธุ์ต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

### ภาษาอังกฤษ

- Agunbiade, S. O., and Longe, O. G. 1999. The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and yambean (*Sphenostylis stenocarpa*). Food Chemistry 65: 469-474.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 17<sup>th</sup> ed. Association of Official Analysis Chemists. Washington, D.C.
- Barichello, V., Yada, R. Y., Coffin, R. H., and Stanley, D. W. 1990. Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. Journal of Food Science 54: 1054-1059.

- Bhunja, P., and Ghangrekar, M. M. 2007. Required minimum granule size in UASB reactor and characteristics variation with size. Bioresource Technology 98: 994-999.
- Bowers, J. 1992. Food Theory and Applications. New York: Macmillan publishing company.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., and Ball, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. International Journal of Biological Macromolecules 23: 85–112.
- Cabrera, E., Pineda, J. C., Duran de Bazua, C., Segurajauregui, J. S., and Vernon, E. J. 1984. Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during corn nixtamalization. In B. M. McKenna (ed.). Engineering and Food, vol. 1. London: Elsevier Applied Science Publishers, pp. 117-123.
- Chen, J. J., Lu, S., and Lii, C. Y. 1999. Effect of milling methods on the physicochemical characteristic of waxy rice in Taiwan. Cereal Chemistry 76 (5): 796-799.
- Chen, Z., Schols, H. A., and Voragen, A. G. J. 2003a. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties of Chinese sweet potatoes. Journal of Food Science 68 (2): 431-437.
- Chen, Z., Schols, H. A., and Voragen, A. G. J. 2003b. Starch granule size strongly determines starch noodle processing and noodle quality. Journal of Food Science 68 (5): 1584-1589.
- Chiotelli, E., and Meste, M. L. 2002. Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behavior of starch. Cereal Chemistry 79: 286-293.
- Collado, L. S., and Corke, H. 1997. Properties of starch noodles as affected by sweet potato genotype. Cereal Chemistry 74 (2): 182-187.
- Donald, A. M. 2004. Understanding starch structure and functionality. In A. C. Eliasson (ed.). Starch in food: Structure, function and applications. Boca Raton, USA: CRC Press, pp. 156–184.
- Freitas, R. A., Paulaa, R. C., Feitosaa, J. P. A., Rochaa, S., and Sierakowskic, M. -R. 2004. Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. Carbohydrate Polymers 55: 3-8.

- Fruton, J.S., and Simmonds, S. 1958. General Biochemistry. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley and Sons.
- Gallant, D. J., Bouchaet, B., and Baldwin, P. M. 1997. Microscopy of starch: Evidence of a new level of granule organization. Carbohydrate Polymers 32: 177-191.
- Ghiasi, K., Varriano-Marston, K., and Hosney, R. C. 1982. Gelatinization of wheat starch. II Starch-surfactant interaction. Cereal Chemistry 59: 86.
- Hamaker, R. B. and Griffin, V. K. 1990. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. Cereal Chemistry 67: 261-264.
- Hermansson, A. M., and Svegmak, K. 1996. Developments in understanding of starch Functionality. Trends in Food Science and Technology 7: 345-353.
- Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. Carbohydrate Research 14: 398-342.
- Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. Carbohydrate Polymers 45: 253-267.
- Hoover, R., Li, Y. X., Hynes, G., and Senanayake, N. 1997. Physicochemical characterization of mung bean starch. Food Hydrocolloids 11: 401-408.
- Hosney, R. C. 1998. Principles of cereal science and technology. 2<sup>nd</sup> ed, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Huang, J., Schols, H. A., Jin, Z., Sulmann, E., Voragen, A. G. J. 2007. Characterization of differently sized granule fractions of yellow pea, cowpea and chickpea starches after modification with acetic anhydride and vinyl acetate. Carbohydrate Polymers 67: 11-20.
- Huang, Y. C., and Lai, H. M. 2010. Noodle quality affected by different cereal starches. Journal of Food Engineering 97: 135-143.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPhetson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry 76 (5): 629-637.

- Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J. A., and Ramos-Ramírez, E. G. 2007. Physical chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starch. Carbohydrate Polymers 68: 679-686.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Science Today 16 (10): 334-360.
- Juliano, B. O. 1984. Rice starch: Production, properties and uses. In R. L. Whistler, J. N. Bemiller, and E. F. Paschell (eds.). Starch Chemistry and Technology. Orlando, USA: Academic Press, pp. 507-528.
- Kaletune, G., and Breslauer, K. J. 2003. Characterization of Cereals and Flour. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Karim, A. A., Norziah, M. H., and Seow, C. C. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry 71: 511-517.
- Kerr, R. W. 1950. Chemistry and Industry of Starch. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Academic Press.
- Kerr, W. L., Ward, C. D. W., McWatters, K. H., and Resurreccion, A. V. A. 2000. Effect of milling and particle size on functionality and physicochemical properties of cowpea flour. Cereal Chemistry 77 (2): 213-219.
- Kim, Y. S., Wiesenborn, D. P., Orr, P. H., and Grant, L. A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. Journal of Food Science 60 (5): 1060-1065.
- Kokini, L. J., Shih, L., and Chedid, L. L. 1992. Effect of starch structure on starch rheological properties. Food Technology 46: 124-139.
- Kubota, K., Hosakawa, Y., Suzuki, K., and Hosaka, H. 1979. Studies on the gelatinization rate of rice and potato starches. Journal of Food Science 44: 1394-1397.
- Kugimiya, M., Donovan, J. W., and Wong, R. Y. 1980. Phase transitions of amylose-lipid complex in starches: A colorimetric study. Starch/Stärke 32: 265.
- Leach, H. W., McCowen, L. D., and Schoch, T. J. 1959. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility pattern of various starches. Cereal Chemistry 36: 534-544.

- Lii, C. Y., Tsai, M. L., and Tseng, K. H. 1996. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. Cereal Chemistry 73: 415-420.
- Lindeboom, N., Chang, P. R., and Tyler, R. T. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. Starch/Stärke 56: 89-99.
- Liu, W., and Shen, Q. 2007. Studies on the physicochemical properties of mung bean starch from sour lipid processing and centrifugation. Journal of Food Engineering 79: 358-363.
- Lund, D., and Wirakartakusumah, M. 1984. A model for starch gelatinization phenomena. In B. M. McKenna (ed). Engineering and Food, vol. 1. New York: Elsevier/Applied Science Publishers, pp. 425-432.
- Maaruf, G. A., Che-Man, Y. B., Asbi, B. A., Junainah, A. H., and Kenedy, J. F. 2001. Effect of water content on the gelatinization temperature of sago starch. Carbohydrate Polymers 46: 331-337.
- Madsen, M. H., and Christensen, D. H. 1996. Changes in viscosity properties of potato starch during growth. Starch/Stärke 48: 245-249.
- Medcalf, D. G., and Gilles, K. A. 1965. Wheat starches I. Comparison of physicochemicals properties. Cereal Chemistry 42: 558-568.
- Mondragón, M., Mendoza-Martínez, A.M., Bello-Pérez, L.A., and Peña, J.L. 2006. Viscoelastic behavior of nixtamalized maize starch gels. Carbohydrate Polymers 65: 314-320.
- Newport scientific. (2007). Rapid visco analyzer series 4 (RVA-4) installation and operation manual. (n.p.).
- Noda, T., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Kim, S. J., Hashimoto, N., Yamauchi, I., and Takeda, Y. 2005. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. Carbohydrate Polymers 60: 245-251.
- Norbert, U. H., Mintus, T., and Detmold, D. W. 1995. Viscosity measurement of potato starch paste with Rapid Visco Analyzer. Starch/Stärke 47: 123-126.
- Oates, C. G. 1997. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends in Food Science and Technology 8: 375-382.

- Okechukwu, P. E., and Rao, M. A. 1996a. Kinetics of corn starch granule swelling in excess water. Presented at the 8<sup>th</sup> International Conference on Gums and Stabilizers for the Food Industry, Wrexham, Wales, July 10-14.
- Okechukwu, P. E., and Rao, M. A. 1996b. Kinetics of cowpea starch gelatinization based on granule swelling. Starch/Stärke 48 (2): 43-47.
- Okechukwu, P. E., and Rao, M. A., Ngoddy, P. O., and McWatters, K. H. 1991. Journal of Food Science 56: 1311-1315. Cited in Okechukwu, P. E., and Rao, M. A. 1996. Kinetics of cowpea starch gelatinization based on granule swelling. Starch/Stärke 48 (2): 43-47.
- Oshodi, A. A., and Ekperigin, M. M. 1989. Functional properties of pigeon pea (*Cajanus cajan*) flour. Food Chemistry 34: 1-5.
- Phillips, O. G., and Williams, P. A. 2000. Handbook of Hydrocolloids. New York: Woodhead Publish Limited.
- Pravisani, C. I., Califano, A. N., and Calvedo, A. 1985. Journal of Food Science 50: 657-663. Cited in Okechukwu, P. E., and Rao, M. A. 1996. Kinetics of cowpea starch gelatinization based on granule swelling. Starch/Stärke 48 (2): 43-47.
- Sanders, J. P. M. 1996. Starch manufacturing in the world. Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology, January 22-26 and February 19-23. AIT center, Bangkok.
- Sandhu, K. S., and Lim, S. T. 2008. Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. Carbohydrate Polymers 71: 245-252.
- Sasaki, T., Yasui, T., and Matsuki, J. 2000. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation, and pasting properties of starches from waxy and nonwaxy wheat and their F1 seeds. Cereal Chemistry 77 (1): 58-63.
- Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In R. L. Whistler, R. J. Smith, and J. N. Bemiller (eds.). Method in Carbohydrates Chemistry, Vol. VI. New York: Academic press, pp. 106-108.
- Schoch, T. J., and Maywald, E. C. 1968. Preparation and properties of various legume starches. Cereal Chemistry 45: 564-573.

- Singh, N., Kaur, L. 2004. Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size. Journal of the Science of Food and Agriculture 84: 1241-1252.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., and Gill, B. S. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chemistry 81: 219-231.
- Smith, R. J. 1979. Food Carbohydrate. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Co.
- Steffe, J. F. 1992. Rheological Methods in Food Process Engineering. Michigan, USA: Freeman Press.
- Swinkels, J. J. M. 1985. Composition and properties of commercial native starches. Starch/Stärke 37: 1-5.
- Suzuki, K., Kubota, K., Domichi, M., and Hosaka, H. 1976. Kinetic studies of cooking of rice. Journal of Food Science 41: 1150-1156.
- Tang, H., Ando, H., Watanabe, K., Takeda, Y., and Mitsunaga, T. 2001. Physicochemical properties and structure of large, medium and small granule starches in fractions of normal barley endosperm. Carbohydrate Research 330: 241-248.
- Tang, H., Mitsunaga, T., and Kawamura, Y. 2004. Relationship between functionality and structure in barley starches. Carbohydrate Polymers 57: 145-152.
- Tang, H., Watanabe, K., and Mitsunaga, T. 2002. Structure and functionality of large, medium and small granule starches in normal and waxy barley endosperms. Carbohydrate Polymers 49: 217-224.
- Tattiyakul, J. 1997. Studies on Granule Growth Kinetics and Characteristics of Tapioca Starch Dispersion During Gelatinization Using Particle Size Analysis and Rheological Methods. Master's Thesis, Department of Food Engineering, Graduate School, Cornell University.
- Tester, R. F. 1997. Influence of growth conditions of barley starch properties. International Journal of Biological Macromolecules 21: 37-45.
- Tester, R. F., Karkalas, J., and Qi, X. 2004. Starch-composition, fine structure and Architecture. Journal of Cereal Science 39: 151-165.

- Tsai, M., Li, C., and Lii, C. 1997. Effect of granular structures on the pasting behaviors of starches. Cereal Chemistry 74 (6): 750-757.
- Whistler, R. L., and BeMiller, J. N. 1999. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. 2<sup>nd</sup> ed. Minnesota, USA: Eagan Press.
- Wootton, M., and Bamunuarachchi, A. 1978. Water binding capacity of commercial produced native and modified starches. Starch/Stärke 33: 159-161.
- Zobel, H. F. 1964a. X-ray analysis of granular starches. In R. L. Whistler, R. L. Smith, J. N. Bemiller, and M. L. Wolform (eds.). Methods in Carbohydrate Chemistry, Vol. IV. New York: Academic Press, pp. 109.
- Zobel, H. F. 1988b. Starch crystal transformations and their industrial importance. Starch/Stärke 40: 1-7.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์

#### ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.03

##### อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Mettler รุ่น W350, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)
4. โถดูดความชื้น (desiccator)

##### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$  โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

#### ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.22

##### อุปกรณ์

1. Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)
2. Buchi scrubber (รุ่น B-414, Switzerland)
3. เครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน (VELP scientific รุ่น UDK 127, USA)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

##### สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (A.R. grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.5 M
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1 M



4. สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4 % (w/v)
5. สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture) (A.R. grade)
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 45% (w/v)
7. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยการละลายเมธิลเรด 1 กรัม ในเมทานอล 100

มิลลิลิตร

#### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.25-1.00 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ใส่ใน Kjeldahl tube
  2. เติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร
  3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi Digestion Unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 แล้วปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอน้ำ (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีน้ำตาลใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
  4. เทสารละลายกรดบอริกปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
  5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น แล้วนำสายสีดำของเครื่องกลั่นจุ่มลงในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ส่วนสายสีขาวจุ่มลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วตั้งโปรแกรม distillation โดย ดังนี้
- |      |    |           |
|------|----|-----------|
| NaOH | 70 | มิลลิลิตร |
| Time | 8  | นาที      |
6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริกในพลาสติก จะได้สารละลายสีเขียวเมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลา
  7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่น ใสลงในพลาสติกที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
  8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในพลาสติกทั้งหมดมาไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.5 M จนถึงจุดยุติ (end point) เป็นสีม่วงแดง
  9. ทำ blank โดยเติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง
  10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times 5.7$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต blank

N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

### ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.05

#### อุปกรณ์

- เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
- ครุชีเบล (Crucible)
- Hot plate
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)
- โถดูดความชื้น

#### วิธีทดลอง

- ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครุชีเบลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
- นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
- นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว หรือน้ำหนักคงที่
- ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

### ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.13

#### อุปกรณ์

- Soxhlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
- เครื่อง evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Japan)

**วิธีทดลอง**

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษ Whatman No.1 ใส่ใน thimble
2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างบรรจุอยู่ในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน
3. เติม Petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 250 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด
4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของตัวทำละลายกลั่นจากคอนเดนเซอร์มีอัตรา 300-360 หยดต่อนาที
5. ระเหยส่วนของ Petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทำให้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.15

**อุปกรณ์**

1. ครูซิเบล
2. ตู้อบลมร้อน (Mettler รุ่น W350, Germany)
3. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)
5. โถดูดความชื้น

**สารเคมี**

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก (A.R. Grade) ความเข้มข้น 1.25% (v/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. Grade) ความเข้มข้น 1.25% (w/v)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

**วิธีทดลอง**

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำร้อน

3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส

4. นำกากมาย่อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำร้อน

5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Bucher funnel ที่กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ต่าง

6. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิตร 2 ครั้ง

7. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่

8. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักจะได้ตัวอย่างน้ำหนักก่อนเผา

9. นำตัวอย่างใส่ในครุชีเบลที่ผ่านการเผา และทราบน้ำหนักที่แน่นอน

10. เผาตัวอย่างบน hot plate จนหมดควัน ก่อนนำเข้าเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนได้เป็นเถ้าสีขาว

11. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใย

ปริมาณเส้นใยหยาบ (%) =

$$\frac{[\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ใช้ในการหาไขมัน (กรัม)}}$$

#### ก.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

##### วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%db)} = 100 - \%(\text{โปรตีน} + \text{เถ้า} + \text{เส้นใยหยาบ} + \text{ไขมัน})$$

#### ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ดัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971)

##### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Thermo Spectronic รุ่น Genesys 10 UV, USA)

2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

### สารเคมี

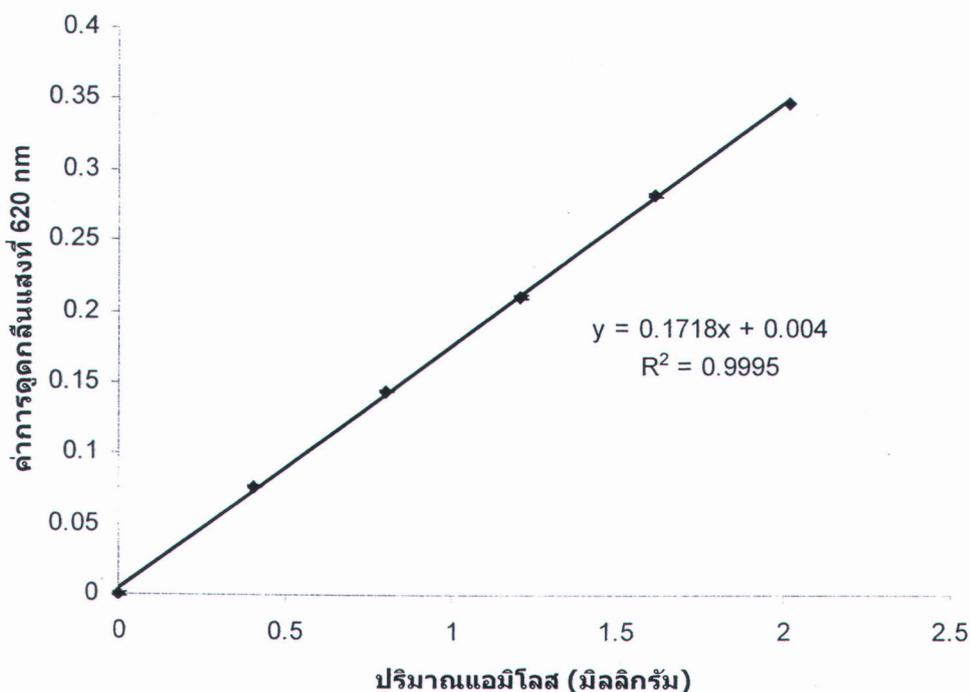
1. แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Amylose type III: from potato) (บริษัท Sigma-ALDRICH, Germany)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
4. สารละลายกรดแอสติก ความเข้มข้น 1 N
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมสารละลายไอโอดีน 0.20 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.00 กรัม ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### วิธีทดลอง

#### การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.0400 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เตรียม blank โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5-10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายแอมิโลสในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายแอมิโลส ออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปิดสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 5 ขวด
6. ปิเปิดสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
8. ชะ blank ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปิเปิดสารละลายมา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank

10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณแอมิโลส ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

#### การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างสตาร์ชซึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แล้วประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5-10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะน้ำแป้งใสในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะน้ำแป้งออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 N มา 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
7. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณแอมิโลส ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณแอมิโลส} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (กรัม)} \times 100 \times 20}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

#### ก.8 การวัดค่าสี (L, a, b) โดยใช้เครื่อง Chroma meter

##### อุปกรณ์

เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR 300 series, Japan)

##### วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที แล้ว calibrate เครื่องวัดสี
2. ตั้งเครื่องให้วัดค่า L (ความสว่าง) +a (ค่าสีแดง) +b (ค่าสีเหลือง) วัดค่าสีของตัวอย่าง โดยนำหัววัดไปสัมผัสกับตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง

#### ก.9 ลักษณะรูปร่าง และพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) (ตามวิธีการวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

##### อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Japan)
2. เครื่องฉาบทอง (ion sputter) (Balzers Union รุ่น SCD 040, Liechtenstein)

##### วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างแปะติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้าหรือกาว
2. ฉาบด้วยทองหนา 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V Sputter Coater
3. บันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ความดันที่ 20 kV ใช้กำลังขยาย 1,000 และ 2,000 เท่า
4. วิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง และพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากภาพที่บันทึกได้

#### ก.10 ลักษณะ birefringence โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (microscope)

##### อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CH30RF200, Japan)
2. แผ่นฟิล์มโพลาไรซ์
3. อุปกรณ์ถ่ายภาพแบบดิจิทัล

### วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายยากลีเซอรินและน้ำในอัตราส่วน 1:1 แล้วหยดลงบนสไลด์ 1-2 หยด
2. นำตัวอย่างสตาร์ชมาละลายกับสารละลายข้อ 1 บนสไลด์ให้ได้ความหนาแน่นของเม็ดสตาร์ชพอดีกับการถ่ายภาพ
3. ปรับระยะภาพโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำสุดแล้วเห็นภาพชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า
4. ปรับเลนส์สไลด์ให้ได้องค์ประกอบของภาพที่ต้องการ และปรับความคมชัดของภาพ โดยดูที่กล้องถ่ายภาพ
5. ตั้งระบบการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายภาพเป็นแบบอัตโนมัติ และปรับเป็นแบบไม่ใช้ flash
6. นำฟิล์มโพลาไรซ์วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ และนำแผ่นฟิล์มอีก 1 แผ่น วางปิดบนสไลด์หรือกั้นระหว่างสไลด์กับอุปกรณ์ถ่ายภาพ
7. หมุนแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์ที่วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงให้ได้สีของพื้นภาพเป็นสีดำ เพื่อให้เห็นลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ช
8. ปรับความคมชัดของภาพแล้วถ่ายภาพเม็ดสตาร์ชภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่เกิดจากแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์

ก.11 การศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช และวิเคราะห์ pattern โดยใช้เครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer ดัดแปลงจากวิธีของ Zobel (1964a)

### อุปกรณ์

เครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer (Bruker รุ่น D8-Discover, Germany)

### วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างสตาร์ชโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้เม็ดสตาร์ชเรียงตัวอัดกันแน่น
2. นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที
3. วัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสถานะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

Target	:	Cu	
Voltage	:	40	kV
Current	:	40	mA
Start Angle	:	4	degree

Stop angle	:	40	degree
Increment	:	0.02	degree/step
Scan speed	:	0.3	sec/step
Detector	:	VANTEC-1 Detector (Super speed detector)	

4. วิเคราะห์ X-ray Diffraction pattern โดยเทียบค่า  $2\theta$ , d-spacing และ Intensity ที่ได้รับลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชที่เป็น pattern มาตรฐาน ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C

Starch X-ray diffraction								
A type			B type			C type		
d-spacing A°	Intensity*	$2\theta$	d-spacing A°	Intensity*	$2\theta$	d-spacing A°	Intensity *	$2\theta$
8.72	w-	10.1	<u>15.80</u>	m	5.59	<u>15.40</u>	w	5.73
7.70	w-	11.5	8.90	w-	9.93	8.82	w-	10.00
<u>5.78</u>	s	15.3	7.84	w-	11.10	7.65	w-	11.50
<u>5.17</u>	s	17.1	6.14	m	14.40	<u>5.78</u>	s	15.30
<u>4.86</u>	s-	18.2	<u>5.16</u>	s	17.20	<u>5.12</u>	s	17.30
4.37	m	20.3	4.54	w+	19.50	<u>4.85</u>	m	18.30
<u>3.78</u>	s	23.5	<u>4.00</u>	m	22.20	4.35	w-	20.40
3.30	w+	27.0	<u>3.70</u>	m-	24.00	<u>3.78</u>	m+	23.50
2.88	w	31.0	3.38	w	26.30	3.32	w	26.80
			2.60	w	34.40			

หมายเหตุ: \* Intensity scale: strong (s), medium (m), weak (w), less than (-), and more than (+)

ที่มา: Zobel (1964a)

5. คำนวณหาค่า degree of crystallinity ดังนี้

$$\text{Degree of crystallinity (\%)} = \frac{A_c}{A_t} \times 100$$

เมื่อ  $A_c$  คือ พื้นที่ใต้กราฟของส่วนผลึก (พื้นที่ใต้พีค)

$A_t$  คือ พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดที่วัดจาก baseline

ก.12 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของสตาร์ชถั่วมะแฮะด้วยเครื่อง Multi-wavelength Particle Size Analyzer with Tornado (Dry Powder Module) System ตามวิธีของ Beckman Coulter

#### อุปกรณ์

เครื่อง Multi-wavelength Particle Size Analyzer with Tornado (Dry Powder Module) System (Beckman Coulter รุ่น LS 13 320, USA)

#### วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที
2. เตรียมตัวอย่างสตาร์ชประมาณ 2-5 กรัม ใส่ลงในภาชนะบรรจุตัวอย่าง และประกอบเข้ากับตัวเครื่อง
3. ประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หาขนาดอนุภาคสตาร์ชที่มีมากที่สุด และสร้างกราฟกระจายตัวของอนุภาคเม็ดสตาร์ช

ก.13 ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) ดัดแปลงจากวิธีของ Medcalf และ Gilles (1965)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

#### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างสตาร์ชที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 1 กรัม ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร
3. ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และกวนเป็นระยะๆ ทุกๆ 5 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่  $5,000 \times g$  เป็นเวลา 20 นาที
5. เทน้ำทิ้ง และคว่ำหลอดทิ้งไว้ 10 นาที
6. ชั่งน้ำหนักสตาร์ชที่ได้
7. คำนวณหาความสามารถในการจับน้ำ (กรัม น้ำ / กรัม ตัวอย่าง) ตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักสตาร์ชหลังการทดลอง} - \text{น้ำหนักสตาร์ชเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักสตาร์ชเริ่มต้น}}$$

ก.14 กำลังการพองตัวและการละลาย (Swelling power and solubility) ตัดแปลงจากวิธี  
ของ Schoch (1964)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA)
2. อ่างน้ำพร้อมส่วนควบคุมอุณหภูมิ (Bath circulator with water bath, Thermo Scientific รุ่น NESLAB EX 10, USA.)
3. ตู้อบลมร้อน (Mettmert รุ่น W 350, Germany)

#### วิธีทดลอง

1. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร อบให้แห้งแล้วทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator
2. ชั่งน้ำหนักแห้งของสตาร์ช 0.5000 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เติมน้ำกลั่นลงในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยง 15 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน
3. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่บรรจุตัวอย่างแล้ว แช่ลงในอ่างน้ำพร้อมส่วนควบคุมอุณหภูมิที่ 70, 75, 80, 85, 90 และ 95 °C
4. ให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้แท่งแก้วกวนทุก ๆ 5 นาที
5. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงมาเช็ดด้านนอกที่เปียกน้ำให้แห้งสนิท
6. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 6,000 × g อุณหภูมิ 4 °C นาน 20 นาที
7. แยกส่วนใสออกจากตะกอน โดยใช้ปิเปตดูดส่วนใสออกมาใส่ในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว พยายามดูดส่วนใสออกให้มากที่สุด (ระวังอย่าให้ตะกอนสตาร์ชติดมาด้วย)
8. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่บรรจุตะกอนสตาร์ชไปชั่งน้ำหนัก
9. นำส่วนใสในภาชนะไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เพื่อระเหยน้ำออก จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักสตาร์ชที่ละลายน้ำ
10. คำนวณหากำลังการพองตัว และการละลายของสตาร์ชตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการละลาย (\% solubility)} = \frac{\text{น้ำหนักสตาร์ชที่ละลายน้ำ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว (swelling power)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนสตาร์ช (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (กรัม)} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

ก.15 จลนศาสตร์การขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช (Starch granule growth kinetics) ดัดแปลงจากวิธีของ Tattiyakul (1997)

อุปกรณ์

1. เครื่อง magnetic stirrer (Framo-Gerätetechnik รุ่น M 21/1, Germany)
2. magnetic bar ขนาด 0.8 × 4.4 cm.
3. ภาชนะอะลูมิเนียม
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่อง Laser particle size analyzer (Malvern รุ่น Mastersizer S, UK)

วิธีทดลอง

1. ชั่งสตาร์ช 4 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงไป คนให้เข้ากัน

2. วัดอุณหภูมิของสารละลายสตาร์ชในบีกเกอร์ ( $T_s$ )

3. เทสารละลายสตาร์ชลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุน้ำร้อนปริมาตร 140 มิลลิลิตร ที่มีอุณหภูมิ  $T_w$  โดยคำนวณหาค่า  $T_w$  ได้จากสมการต่อไปนี้

$$40 T_s + 140 T_w = 180 T_p$$

4. นำบีกเกอร์ในข้อที่ 3 วางลงในภาชนะอะลูมิเนียมที่ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิที่วางอยู่บนเครื่อง magnetic stirrer และมีอุณหภูมิเป็น  $T_p$  ซึ่ง  $T_p$  ที่ใช้ในการทดลองคือ 69, 74 และ 79 °C

5. ปรับความเร็วเครื่อง magnetic stirrer ให้มีความเร็วระดับ 5 ( $\text{min}^{-1} \times 100$ ) กวนสารละลายสตาร์ชอย่างต่อเนื่อง

6. เก็บตัวอย่างที่เวลา 1, 5, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180 และ 210 นาที โดยใช้ปิเปตดูดสารละลายสตาร์ชมา 10 มิลลิลิตร ซึ่งตัวอย่างที่ถูกเก็บขึ้นมาที่เวลาต่าง ๆ จะต้องแช่ในอ่างน้ำแข็งนาน 1 นาที เพื่อหยุดการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ช

7. นำตัวอย่างมาวัดขนาดด้วยเครื่อง Laser particle size distribution analyzer

8. สร้างกราฟระหว่างเวลา (นาที) กับ ขนาด (ไมครอน)

9. สร้างกราฟระหว่างเวลา (นาที) กับ  $\ln [(D_{eT}-D_t) / (D_{eT}-D_0)]$  เพื่อหาอัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช ( $K_r$ )

เมื่อ  $D_{eT}$  คือ ขนาดของเม็ดสตาร์ชที่อิ่มตัว (equilibrium mean diameter)

$D_0$  คือ ขนาดของเม็ดสตาร์ชดิบ

$D_t$  คือ ขนาดของเม็ดสตาร์ชที่เวลาใด ๆ

10. สร้างกราฟระหว่างส่วนกลับของอุณหภูมิ (เคลวิน) กับอัตราการขยายขนาดเม็ดสตาร์ช ( $K_r$ ) เพื่อหาค่า Activation energy ( $E_a$ )

ก.16 การวิเคราะห์สมบัติทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ดัดแปลง จากวิธีของ Norbert และคณะ (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Newport Scientific รุ่น 4D, Australia) พร้อมถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can) และใบพัด (paddle)
2. คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ให้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง
2. ปรับสภาวะการทำงานของเครื่อง RVA โดยใช้ temperature profile: STD 1 ดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 Temperature profile STD 1

เวลา (นาที.วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)
0.00	50	960
0.10	50	160
1.00	50	160
4.42	95	160
7.12	95	160
11.00	50	160
13.00	50	160

ที่มา: Newport scientific (2007)

3. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร  $25.00 \pm 0.1$  มิลลิลิตร (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 14) ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can)
4. ชั่งตัวอย่างสตาร์ช  $3.00 \pm 0.01$  กรัม ใส่ลงใน can ที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้ว นำหนักตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดตัวอย่าง โดยทั่วไปแนะนำตามตารางที่ ก.3
5. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่าง หมุนใบพัดกวนไปมาแรง ๆ และดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรง ๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวหน้าหรือติดที่ใบพัดกวน ให้ทำซ้ำอีกครั้ง

6. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ใส่ใบพัดไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำถ้วยบรรจุตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้

- 6.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
- 6.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) มีหน่วยเป็น °C
- 6.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็น °C
- 6.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น cP
- 6.5 ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น cP
- 6.6 ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น cP
- 6.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด trough (setback from trough) มีหน่วยเป็น cP

ตารางที่ ก.3 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

ชนิดตัวอย่าง	จำนวน (กรัม)
เมล็ดพืชทั้งหมด (บดรวมเปลือก)	4.00
แป้ง (flour)	3.50
สตาร์ชปกติ (native starch)	
จากธรรมชาติชนิดไม่มียาง (non-waxy cereal)	3.00
จากธรรมชาติชนิดมียาง (waxy cereal)	3.00
มันฝรั่ง	2.00 <sup>1</sup>
มันสำปะหลัง	2.50
สตาร์ชดัดแปร (modified starch)	
Acid modified	2.00-4.00 <sup>2</sup>
Oxidised	2.00-4.00 <sup>2</sup>
Substitued	2.50
Cross-linked	2.50

<sup>1</sup> ใช้ 1.2 กรัม ถ้าเป็นสตาร์ชที่ไม่ได้ผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในเชิงพาณิชย์

<sup>2</sup> จำนวนที่ใช้ขึ้นอยู่กับ degree of modification

ก.17 การวิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลลาติโนเซชันด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และคณะ (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Netsch รุ่น 204 F1 Phoenix, Germany)
2. เครื่องมือสำหรับปิดผนึก DSC pan (climber)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Ohaus รุ่น Explorer, Switzerland)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง DSC ทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่ออุ่นเครื่อง
2. ชั่งตัวอย่างที่ทราบความชื้นประมาณ 3 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงใน volatile aluminium pan หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงใน pan โดยคิดเป็นอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำเท่ากับ ร้อยละ 30:70 โดยน้ำหนัก
3. ปิดผนึกฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึก เก็บ pan ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นตัวอย่างภายใน pan เข้าสู่ภาวะสมดุล ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
4. นำ pan ใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และวาง reference pan (pan เปล่า) ให้เครื่อง scan ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 95 °C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที และใช้ indium ในการ calibrate
5. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกาเกิดเจลลาติโนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาติโนเซชัน (onset temperature,  $T_o$  หน่วย °C) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาติโนเซชัน (peak temperature,  $T_p$  หน่วย °C) อุณหภูมิสิ้นสุดในการเกิดเจลลาติโนเซชัน (conclusion temperature,  $T_c$  หน่วย °C) พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลลาติโนเซชัน (enthalpy of gelatinization,  $\Delta H$  หน่วย J/g)

ก.18 การวิเคราะห์สมบัติทางกลของสตาร์ชด้วยเครื่อง Rheometer

อุปกรณ์

1. เครื่อง rheometer พร้อมชุด geometry (Bohlin Instrument รุ่น CVOR 150, UK)
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุม rheometer

## วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 12 (w/w) โดยน้ำหนักแห้ง ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

2. ประกอบส่วน fixed lower plate กับตัวเครื่อง Bohlin Rheometer โดยต่อสายที่มาจากเครื่อง cooler และช่องสำหรับน้ำเข้าที่ฐานของ fixed lower plate โดยต่อสายสี่ลิ่มเข้ากับช่องน้ำเข้าสี่ลิ่ม และสายสีดำเข้ากับช่องน้ำเข้าสีดำ

3. เปิดปั๊มลม เปิดวาล์วลมตัวที่ 1 ให้มีความดันลมอยู่ที่ 4 บาร์ และวาล์วลมตัวที่ 2 ให้มีความดันลมอยู่ที่ 3 บาร์

4. เปิดเครื่อง Bohlin rheometer ใส่ geometry (parallel plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร) เข้ากับตัวเครื่อง

5. กดปุ่ม zero เพื่อตั้ง auto zero แล้วกดปุ่ม gap โดยตั้งค่าไว้ที่ 500 ไมโครเมตร

6. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าโปรแกรม Bohlin rheometer เลือก mode oscillation

### 6.1 Temperature sweep test

stress 40 Pa

frequency 1 Hz

อุณหภูมิตั้งแต่ 50 ถึง 90 °C

50 °C – 90 °C 4 นาที

90 °C – 50 °C 3 นาที

### 6.2 Amplitude sweep test

frequency 1 Hz

minimum strain 1%

maximum strain 200%

isothermal 25 °C

### 6.3 Frequency sweep test

stress 40 Pa

minimum frequency 0.1 Hz

maximum frequency 100 Hz

isothermal 25 °C

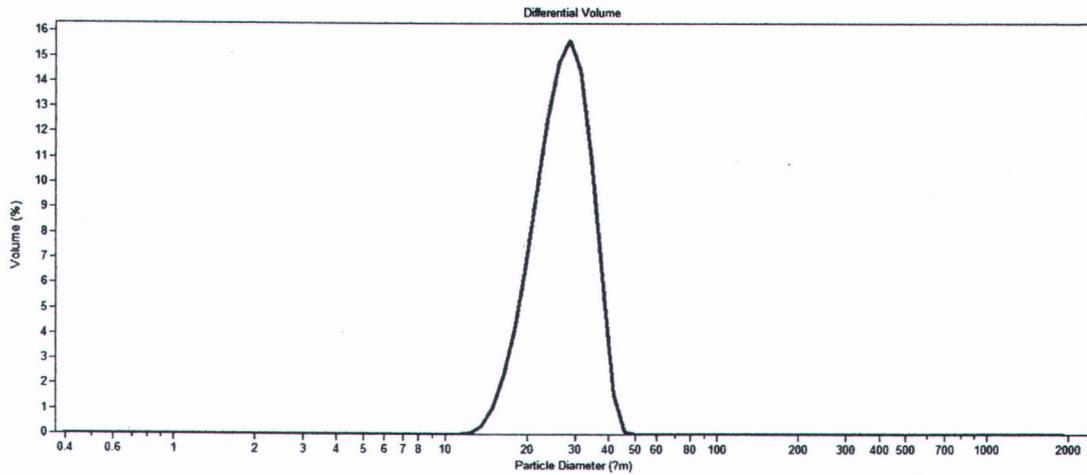
7. load ตัวอย่างสารละลายสตาร์ชที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ลงบน plate ของเครื่อง และปรับให้ geometry อยู่ในระดับ gap size ที่ตั้งไว้ แล้วปิดฝาครอบเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในตัวอย่าง

8. กดปุ่ม start ที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่องตามโปรแกรมของ temperature sweep test

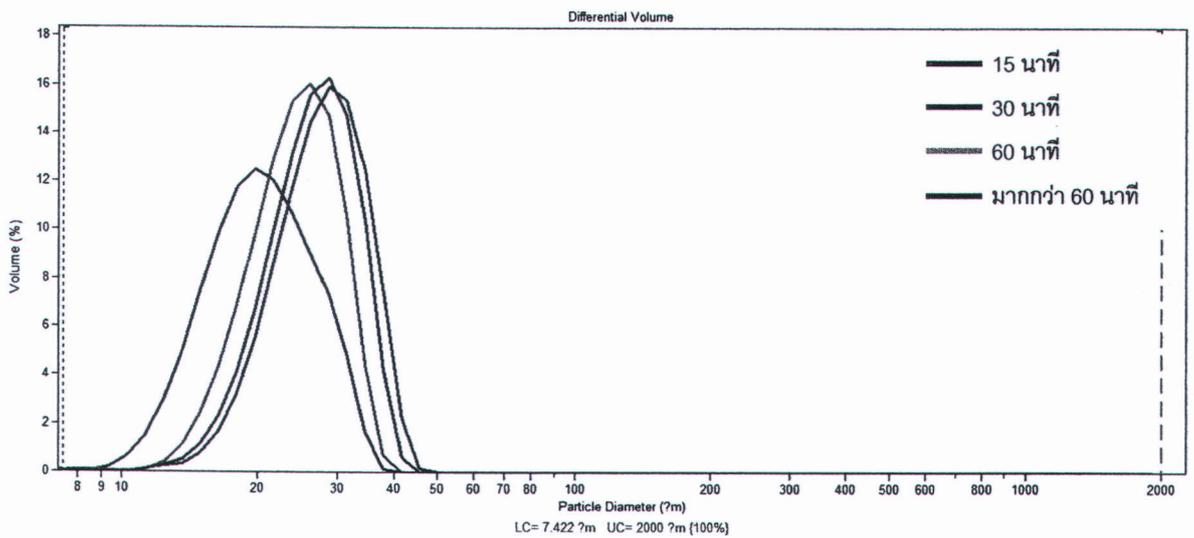
9. ทำการทดลองต่อโดยเปลี่ยนโปรแกรมจาก temperature sweep test เป็น frequency sweep test โดยไม่ต้องเปลี่ยนตัวอย่าง กดปุ่มที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่อง ตามโปรแกรมของ frequency sweep test

## ภาคผนวก ข

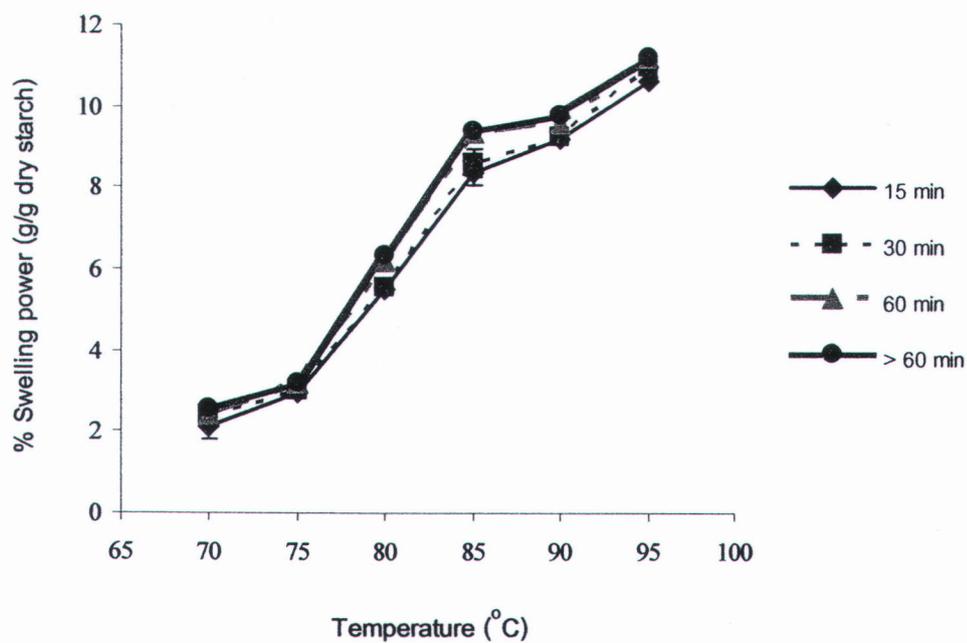
## รายละเอียดรูปภาพและกราฟผลการทดลองเพิ่มเติม



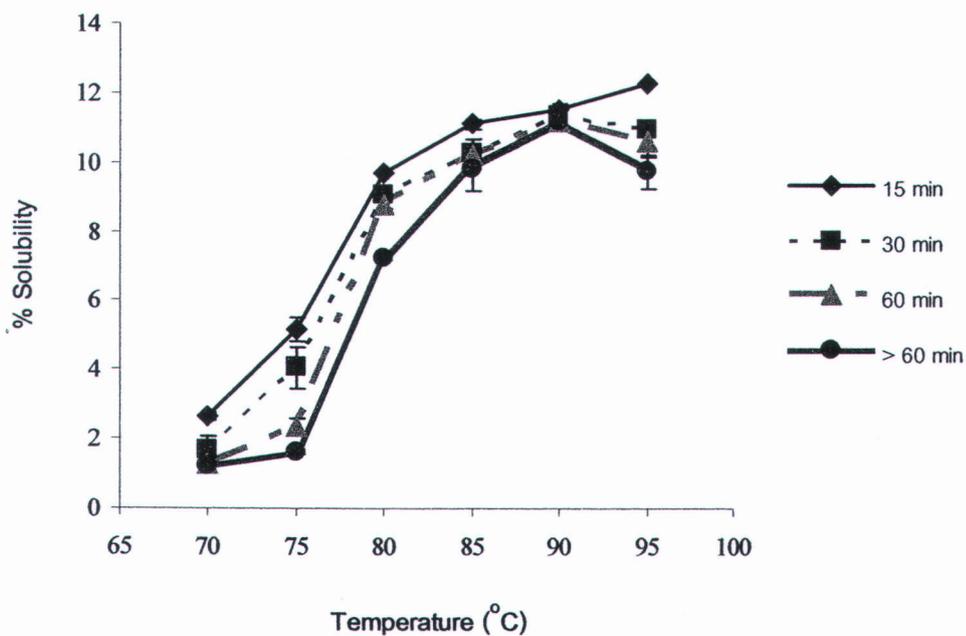
รูปที่ ข.1 ขนาดและการกระจายขนาดของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชถั่วมะแฮะ



รูปที่ ข.2 ขนาดและการกระจายขนาดของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว



รูปที่ ข.3 กำลังการพองตัวของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ช่วงอุณหภูมิ 70 ถึง 95 °C



รูปที่ ข.4 การละลายของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ช่วงอุณหภูมิ 70 ถึง 95 °C

## ภาคผนวก ค

## รายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ยังไม่ได้ผ่านการแยกขนาด

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
5.7634	15.3220	373	21.4
10.0629	8.7831	635	36.4
11.3383	7.7978	757	43.5
14.9660	5.9148	1,394	80.0
15.1984	5.8249	1,432	82.2
17.0447	5.1979	1,674	96.1
17.2487	5.1369	1,742	100.0
17.8050	4.9776	1,582	90.8
18.1325	4.8884	1,527	87.7
19.9013	4.4578	1,029	59.0
22.9087	3.8789	1,297	74.4
23.0864	3.8495	1,302	74.7
23.3165	3.8120	1,302	74.7
23.5785	3.7702	1,236	70.9
25.2855	3.5194	796	45.7
26.5270	3.3575	747	42.9
30.7278	2.9074	691	39.7
33.4297	2.6783	698	40.1
38.4037	2.3421	561	32.2

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลา 15 นาที

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
5.7647	15.3186	356	19.8
10.1946	8.6700	623	34.6
11.1625	7.9202	749	41.6
15.1629	5.8385	1,520	84.4
15.4329	5.7369	1,446	80.3
16.8005	5.2729	1,665	92.5
16.9891	5.2148	1,759	97.7
17.2726	5.1298	1,801	100.0
17.8853	4.9554	1,650	91.6
18.2291	4.8627	1,539	85.5
19.4343	4.5638	1,087	60.4
19.8364	4.4722	1,072	59.5
22.9166	3.8776	1,353	75.1
23.3934	3.7996	1,324	73.5
23.8004	3.7356	1,212	67.3
26.1881	3.4001	751	41.7
30.6895	2.9109	721	40.0
33.1508	2.7002	715	39.7
38.3760	2.3437	590	32.7

**ตารางที่ ค.3** ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลา 30 นาที

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
5.2435	16.8402	378	21.3
5.5987	15.7723	405	22.8
9.2767	9.5257	555	31.3
10.1657	8.6945	660	37.3
11.2654	7.8482	798	45.1
15.1696	5.8359	1,460	82.4
16.9761	5.2187	1,728	97.5
17.1199	5.1752	1,772	100.0
17.2704	5.1305	1,752	98.9
17.8343	4.9695	1,572	88.7
20.1811	4.3966	1,034	58.4
21.6078	4.1094	1,013	57.2
21.9440	4.0472	1,076	60.7
22.0560	4.0269	1,092	61.6
22.8548	3.8879	1,320	74.5
23.1832	3.8336	1,355	76.5
26.5030	3.3604	750	42.3
30.1943	2.9575	723	40.8
33.2971	2.6887	709	40.0
33.9930	2.6352	698	39.4
38.2525	2.3510	583	32.9

ตารางที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลา 60 นาที

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
5.7239	15.4276	389	21.9
10.2872	8.5921	661	37.3
11.2439	7.8631	791	44.6
15.1615	5.8390	1,491	84.1
17.1937	5.1532	1,772	100.0
17.7964	4.9800	1,635	92.3
18.0165	4.9196	1,591	89.8
18.1513	4.8834	1,561	88.1
19.8053	4.4792	1,036	58.5
22.9027	3.8799	1,347	76.0
23.2241	3.8269	1,367	77.2
23.4263	3.7944	1,316	74.3
23.7840	3.7381	1,229	69.4
26.2207	3.3960	767	43.3
30.7073	2.9093	717	40.5
33.1094	2.7035	712	40.2
34.5795	2.5918	677	38.2
38.3445	2.3455	584	33.0

ตารางที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลายาวนานกว่า 60 นาที

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
5.9548	14.8299	364	20.4
10.2136	8.6539	638	35.8
11.3229	7.8084	751	42.1
13.6637	6.4755	940	52.7
15.1842	5.8303	1,485	83.2
17.0422	5.1986	1,771	99.3
17.1745	5.1589	1,783	100.0
17.3661	5.1024	1,725	96.7
17.7966	4.9799	1,619	90.8
18.2454	4.8584	1,521	85.3
22.7609	3.9038	1,278	71.7
22.9570	3.8708	1,311	73.5
23.1517	3.8387	1,309	73.4
23.3405	3.8081	1,286	72.1
26.6395	3.3435	738	41.4
30.3159	2.9459	695	39.0
33.3165	2.6871	682	38.2
38.4822	2.3375	552	30.9
39.1145	2.3011	544	30.5

ตารางที่ ค.6 อัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ชที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตัวอย่าง สตาร์ช	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช					
		ซ้ำที่ 1		ซ้ำที่ 2		ซ้ำที่ 3	
		$K_r$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$	$K_r$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$	$K_r$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$
สตาร์ชที่ยัง ไม่ได้ผ่านการ แยกขนาด	69	0.0008	0.7861	0.0007	0.6558	0.0008	0.7223
	74	0.0053	0.8863	0.0054	0.9149	0.0054	0.8997
	79	0.0231	0.9519	0.0216	0.9676	0.0264	0.9664
สตาร์ชที่ ตกตะกอนที่ เวลา 15 นาที	69	0.0023	0.9445	0.0023	0.9424	0.0023	0.9416
	74	0.0036	0.9637	0.0038	0.9668	0.0038	0.9810
	79	0.0115	0.9174	0.0118	0.9163	0.0119	0.9421
สตาร์ชที่ ตกตะกอนที่ เวลา 30 นาที	69	0.0024	0.9880	0.0024	0.9848	0.0022	0.9898
	74	0.0033	0.9423	0.0034	0.9887	0.0032	0.9655
	79	0.0021	0.9098	0.0027	0.7238	0.0023	0.9386
สตาร์ชที่ ตกตะกอนที่ เวลา 60 นาที	69	0.0007	0.8966	0.0007	0.8877	0.0007	0.8947
	74	0.0004	0.9282	0.0004	0.9285	0.0004	0.9237
	79	0.0008	0.9490	0.0006	0.6162	0.0010	0.9021
สตาร์ชที่ ตกตะกอนที่ เวลา >60 นาที	69	0.0044	0.8583	0.0045	0.8764	0.0044	0.9062
	74	-0.0105	0.8150	-0.0095	0.7881	-0.0106	0.8308
	79	-0.0267	0.7146	-0.0276	0.7700	-0.0253	0.7353

ตารางที่ ค.7 พลังงานก่อกัมมันต์ ( $E_a$ ) ที่ใช้ในการเกิดเจลลาติโนเซชันของสตาร์ชถั่วมะแฮะ

ตัวอย่าง	พลังงานก่อกัมมันต์ ( $E_a$ ) (kJ mole <sup>-1</sup> )		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
สตาร์ชที่ยังไม่ได้ผ่านการแยกขนาด	337.06	343.83	350.39
สตาร์ชที่ตกตะกอนที่เวลา 15 นาที	160.87	163.49	164.33
สตาร์ชที่ตกตะกอนที่เวลา 30 นาที	13.00	12.08	4.79
สตาร์ชที่ตกตะกอนที่เวลา 60 นาที	12.77	15.90	35.02
สตาร์ชที่ตกตะกอนที่เวลามากกว่า 60 นาที	-	-	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าได้



## ภาคผนวก ง

## ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.7)

SOV	df	MS
ปริมาณแอมิโลส	3	15.31*
Error	8	1.24

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.7)

SOV	df	MS
ขนาดเม็ดสตาร์ช	3	22.87*
Error	4	0.02

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีและค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.9)

## ค่าสี

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
ค่าสี	L	3	2.22*
	Error	32	0.00
a		3	0.06*
	Error	32	0.00
b		3	0.13*
	Error	32	0.00

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าดัชนีความขาว

SOV	df	MS
ค่าดัชนีความขาว	3	1.72*
Error	32	0.07

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ๓.4** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชถั่ว  
มะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.10)

SOV	df	MS
ความสามารถในการจับน้ำ	3	0.00*
Error	7	$1.56 \times 10^{-5}$

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ๓.5** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 70 °C ถึง 95 °C ของ  
สตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.11)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
กำลังการพองตัว	70 °C	3	0.11*
	Error	8	0.28
	75 °C	3	0.05
	Error	8	0.02
	80 °C	3	0.53*
	Error	8	0.04
	85 °C	3	0.80*
	Error	8	0.15
	90 °C	3	0.24*
	Error	8	0.01
	95 °C	3	0.22*
	Error	8	0.02

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๓.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายที่อุณหภูมิ 70 °C ถึง 95 °C ของ  
สตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.12)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
การละลาย	70 °C	3	7.82*
	Error	8	0.13
	75 °C	3	1.35*
	Error	8	0.05
	80 °C	3	3.38*
	Error	8	0.01
	85 °C	3	0.92*
	Error	8	0.15
	90 °C	3	0.08*
	Error	8	0.02
	95 °C	3	3.26*
	Error	8	0.11

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.14)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
สมบัติด้านการเกิดเพสต์	Peak viscosity	3	32,4872.33*
	Error	4	379.75
	Trough	3	34,0572.17*
	Error	4	605.25
	Breakdown	3	2,768.50
	Error	4	1,625.00
	Final viscosity	3	1,823,510.33*
	Error	4	1,953.75
	Set back	3	588,799.17*
	Error	4	1,837.50
	Peak time	3	0.00
	Error	4	0.00
	Pasting temperature	3	0.58*
	Error	4	0.07

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๓.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.15)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
สมบัติด้านความร้อน	Onset temperature	3	0.45
	Error	4	0.11
	Peak temperature	3	0.17
	Error	4	0.07
	Conclusion temperature	3	0.69*
	Error	4	0.05
	Enthalpy of gelatinization	3	3.26*
	Error	4	0.19

หมายเหตุ: \* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปณชรีกา วิไลพล เกิดวันที่ 6 ธันวาคม 2528 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

### ผลงานวิจัย

เสนอผลงานเรื่อง ผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ (Effects of granule size on physico-chemical and functional properties of pigeon pea starch) ในการประชุมทางวิชาการ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 29-31 กรกฎาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก



