

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณา สุเมธะ. 2552. ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อมอดหัวป้อม *Rhizopertha dominica* (F.) และคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 69 หน้า.
- กรกิตต์ เฉลยถ้อย. 2552. การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อกำจัดเชื้อรา *Aspergillus flavus* ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 98 หน้า.
- กรมการข้าวกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. การจัดการแมลงศัตรูโรงเก็บ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.ricethailand.go.th/rkb/data__007/rice_xx27_gatherNew_005.html (10 ตุลาคม 2554).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. เอกสารเผยแพร่ หมวดที่ 5 การให้ความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ; ชุดการจัดแสดงที่ 15 การให้ความร้อนโดยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Dielectric Heating) [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial\(PDF\)/Bay%2015%20Radio%20Frequency%20Dielectric%20Heating.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay%2015%20Radio%20Frequency%20Dielectric%20Heating.pdf) (12 ตุลาคม 2553).
- กรรณิการ์ บัวลอย. 2552. การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst) ในอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 49 หน้า.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด, วิไล สันติโสภาสรี และกาญจนา ภูโรจนวงศ์. 2541. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งในหัวมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยว. โครงการของหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. 166 หน้า.

- กาญจนา สิริกุลรัตน์ และนรินทร์ สิริกุลรัตน์. 2551. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง สมบัติไดอิเล็กทริกของพืชผลทางการเกษตร (Dielectric Properties of Agricultural Crops). สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 11-18.
- กาญจนา สิริกุลรัตน์ และนรินทร์ สิริกุลรัตน์. 2552. สมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวเปลือกเหนียว (*Oryza sativa* Linn) (Dielectric Properties of Glutinous Rice Paddy). วารสารวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 37(2): 192-201.
- งามชื่น คงเสรี. 2546. การอบรมหลักสูตรหลักและวิธีการวิเคราะห์คุณภาพข้าว. สถาบันวิจัยข้าว. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 70 หน้า
- ใจทิพย์ อุไรชื่น. 2550. ทางเลือกทดแทนสารเมทิลโบรไมด์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/public/plibai/plibai_46/november%2046/metil.html (10 สิงหาคม 2550).
- ชุมพล กันทะ. 2533. หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 249 หน้า.
- ณณณ ลือชัย. 2551. การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมผีเสื้อข้าวสาร *Corcyra cephalonica* (Stainton) และผลต่อคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 77 หน้า.
- ดวงเดือน อาจองค์. 2546. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ MTEC. 30: 13-17.
- บุญมี ศรี, สุกัญญา วงศ์พรชัย, ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และศิริพร ศรีล้อม. 2548. ผลของวิธีการลดความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพการขัดสีและความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 37(3): 112-115.
- บุษรา พรหมสิดิต. 2529. การศึกษาการเข้าทำลายในแปลงปลูก รูปแบบของตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียว [*Callosobruchus maculatus* (F.)] และด้วงถั่วเหลือง [*Callosobruchus chinensis* (L.)] และปัจจัยที่ชักนำให้เกิดรูปแบบที่แตกต่างกันของตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขากีฏวิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 84 หน้า.
- ปรัชญา วาสนาเจริญ. 2548. ผลของการใช้คลื่นเรดิโอฟ्रीควอนซ์ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อสาเหตุโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์งา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 98 หน้า.
- ปิยวรรณ สุรัญขนาจรกุล. 2548. สมบัติทางกลแบบพลวัตของโพลิเมอร์. Polymer Science (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ). 62-64.

- พลากร ตำรารายฤทธิ์, สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์ และสุชาดา เวียร์ศิลป์. 2551. การดัดแปลงคุณภาพการงอกตัวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 39 (3): 354-358.
- พรทิพย์ วิสารทานนท์. 2535. ดั้วถั่วเขียวและการป้องกันกำจัด. วารสารกสิกร 65(2): 201-203.
- พระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2545. สารแนะนำ วิทยาการเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวและถั่วเหลือง. ข้าวสารเมล็ดพันธุ์พืช. [Online]. Available: URL:<http://www.seed.or.th/SeedNews/index.html> (August 12, 2010).
- พรทิพย์ วิสารทานนท์, กุสุมา นวลวัฒน์, บุษรา จันทรแก้วมณี, ใจทิพย์ อุไรชื่น, รังสิมา เก่งการพานิช, กรรณิการ์ เฟื่องคุ้ม, จิราภรณ์ ทองพันธ์, ดวงสมร สุทธิสุทธิ, ถักขณา ร่มเย็น และภาวิณี หนูชนะภัย. 2548. แม่ลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด, กรุงเทพฯ. 150 หน้า.
- พัทธา จันทรแห่ง. 2550. ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 82 หน้า.
- พัทธา จันทรแห่ง และสุชาดา เวียร์ศิลป์. 2549. การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมเชื้อราและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37(2)(พิเศษ): 77-80.
- พินิจ กุลมมงคล. 2538. ภาวะการผลิตและการตลาดถั่วเขียว, น. 1-20. ในรายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ งานวิจัยถั่วเขียว ครั้งที่ 6, 14-16 มิถุนายน 2538. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม. 2531. ถั่วเขียว. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ 72 หน้า.
- ไพฑูรย์ พูลสวัสดิ์ และสุภาดา สุนทรภิมย์ ณ พัทลุง. 2538. การประเมินความต้านทานต่อการกินใบของหนอนกระทู้ผักในถั่ว *Vigo spp.* พันธุ์ป่าบางชนิดในห้องปฏิบัติการ. หน้า 182-190. ใน: รายงานวิจัยถั่วเขียวครั้งที่ 6. 14-16 มิถุนายน 2538. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- มยุรา ภูริพันธุ์กัญญา. 2532. การศึกษานิเวศวิทยาของด้วงถั่วเหลือง [*Callosobruchus chinensis* (L.)] ด้วงถั่วเขียว [*Callosobruchus maculatus* (F.)] และการป้องกันกำจัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 106 หน้า.

- ยุทธพงศ์ เพียรโรจน์. 2549. การพัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟสำหรับอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. 89 หน้า.
- วันชัย จันทรประเสริฐ, สุวิมล ถนอมทรัพย์ และธีระพล ศีตกุล. 2538. งานวิจัยเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว และถั่วเขียวผิวดำ. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการถั่วเขียวแห่งชาติ ครั้งที่ 6. กรมวิชาการเกษตร.
- วิเชียร เสงส์สวัสดิ์. 2525. แผลงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 75 หน้า.
- วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ, 270-293.
- วุฒิไกร จำรัสแนว, ปานหทัย บัวศรี และกิตติพงษ์ ดันมิตร. 2551. ศึกษาคุณสมบัติไดโอดเลเซอร์เพื่อใช้ในการวัดระดับความเข้มข้นของน้ำยางพารา. การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน 28-29 มกราคม 2551. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://tisd.en.kku.ac.th/tisd2008/data/fullpaper/uploadFile/08/08_007_2008T.pdf (10 ตุลาคม 2554).
- สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2551. รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.phtnet.org/download/phtic-research/110.pdf>. (1 สิงหาคม 2554).
- สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2535. การใช้ประโยชน์และการแปรรูปถั่วเขียว. วารสารกสิกร. 65(2):104-209. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติการส่งออกสินค้าที่สำคัญ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php (8 สิงหาคม 2552).
- สุภารดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง และอานันท์ วัฒนาสิทธิ. 2538. การประเมินความต้านทานต่อด้วงถั่วในสายพันธุ์ถั่วเขียวที่เกิดจากการผสมระหว่างถั่วเขียวพันธุ์ดีกับถั่วพันธุ์ป่า TC 1966. หน้า 182-190 ใน: รายงานการสัมมนาเชิงวิชาการงานวิจัยถั่วเขียวครั้งที่ 6. วันที่ 14-16 มิถุนายน 2538. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- อินทวัฒน์ บุรีคำ, (ผู้รวบรวม). 2537. บทปฏิบัติการกีฏวิทยาการเกษตร. โรงพิมพ์รุ่งวัฒนา กรุงเทพฯ.
- อุดม อริชชาติ. 2521. แผลงศัตรูผลผลิตการเกษตรในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยา, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 74 หน้า.

- Abbott, W.S. 1925. Method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18: 256-267.
- Adams, J. M. 1976. Weight loss caused by development of *Sitophilus zeamais* Motsch. In maize. *Journal of Stored Products Research* 12(4): 269-272.
- Akaranuchat, P., P. Noimanee, N. Krittigamas, D. Von Horsten and S. Vearasilp. 2007. Control seed-borne fungi by radio frequency heat treatment as alternative seed treatment in barley (*Hordeum vulgare*). Deutcher Tropentag 2007, Stuttgart-Hohenheim, Germany. (No page).
- Anderson, A.K. and H.S. Guraya. 2006. Effects of microwave heat-moisture on properties of waxy and non-waxy rice starches. *Food Chemistry* 97(2): 318-323.
- AOAC. 1990. *Official Method of Analysis*. 12th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, ED, USA. 122 pp.
- Barker, A. V. and L. E. Craker. 1991. Inhibition of weed seed germination by microwaves. *Agronomy Journal* 83: 302-305.
- Baker, V. H., D. E. Wiant and O. Taboada. 1956. Some effect of microwaves on certain insects which infest wheat and flour. *Journal of Economic Entomology* 49(1):33-37.
- Banks, H. J. & P. Fields. 1995. Physical Methods for Insect Control in Stored-grain Ecosystems, Chap. 11, pp. 353 - 409 in: Jayas, D.S.; N.D.G. White & W.E. Muir (Eds.): *Stored Grain Ecosystems*. New York
- Borchers, R., L.D. Manage, S.O. Nelson and L.E. Stetson. 1972. Rapid improvement in nutritional quality of soybeans by dielectric heating. *Journal of Food Science* 37(2): 333-334.
- Cathcart, W. H., J. J. Parker and H. G. Beattie. 1947. The treatment of packaged bread with high frequency heat. *The Journal of Food Technology* 1: 174-178.
- Chapman, R.F. 1998. Reproductive system: male. pp. 268-294. In: R. F. Chapman(ed.), *The insect: structure and function*. Cambridge University, Cambridge. 770 pp.
- Chaudhry, M. Q. 2000. Phosphine resistance. *Journal Pesticide Outlook* 11: 88-91.
- Christoph Oberndorfer, Elke Pawelzik and Wolfgan Lücke. 2000. Prospects for the application of dielectric heating processes in the pre-treatment of oilseed. *Eur. Journal of Lipid Science and Technology*. 120: 487-493.

- Chung, K.M., T.W., Moon and J. K., Chun. 2000. Influence of annealing on gel properties of mung bean starch. *Cereal Chemistry Journal*. 77 (5): 567-571.
- Copson, D. A. 1975. Theory of microwave heating. 2nd ed. Puctto Rico, 325-331.
- Cwiklinski, M. 2001. Effect of exposure to radio-frequency electric field on *Fusarium graminea* in Wheat Seed. ASAE/CSGR Annual International Meeting 2001. Paper No. 016171.
- Cwiklinski, M. and K. Von Höersten. 1999. Thermal Treatment of Seed Using Microwave or Radio Frequency Energy for Eradication Seedborne Fungi. Paper presented at the 1999 ASAE/CSAE-CSGR Annual International Meeting. ASAE paper No.997010.
- David, L. D. and D. Y. George. 2007. Physiology of heat sensitivity. [online]. Available: <http://cipm.ncsu.edu/IPMtext/chap2.pdf> (November 7, 2010)
- Fordham, J. R., C. E. Wells, and L. H., Chen. 1975. Sprouting of seed and nutrient composition of seed and sprouts., *Journal of Food Science*, 40, 552 p.
- Francesco, M., L. James, R. Vittorio and M. Brian. 2006. Radio-frequency heating of foodstuff : Solution and validation of a mathematical model. [Online]. Available: <http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng> (April 20, 2010).
- Freeman, J.A. 1974. Infestation of stored food in temperature countries with special reference to Great Britain. *Outlook on Agriculture* 8: 34-41.
- Guo, W., G. Tiwari, J. Tang and S. Wang, 2008. Frequency moisture and temperature-dependent dielectric properties of chickpea flour. *Biosystems Engineering*, 10: 217-224.
- Guo, W., S. Wang, G. Tiwari, J. A. Johnson and J. Tang, 2010. Temperature and moisture dependent dielectric properties of legume flours associated with dielectric heating. *LWT-Food Science and Technology*, 43: 193-201.
- Hastea, J. B., Ritson, D. M. and Colie, C. H. 1988. Dielectric properties of ionic solution part I, II. *Journal Chemical Physics*, 16: 1-21.
- Hoover, R. Li, Y.X., Hynes and N., Senanayake. 1997. Physicochemical characterization of mung bean starch. *Food Hydrocolloids*. 11(4): 401-408.
- Howe, R. W. 1962. A study of the heating of grain caused by insects. *Annals of Applied Biology* 50: 137-158.

- Irfan, I. and P. Elke. 1999. The effect of rapeseed treatment by microwave and radio frequency application on oil extraction and oil quality. Part II : Influence on oil quality, *Fat/Lipid* 101.No.5 : 168-171.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2006. *International Rules for Seed Testing*. Seed Science and Technology. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland. 540 pp.
- Jaiwal, K. P. and A. Gulati. 1995. Current status and future strategies of in vitro culture Techniques for genetic improvement of Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Euphytica* 86: 167-181.
- Janhang, P., N. Krittigamas, W. Lücke and S. Vearasilp. 2005. Using Radio Frequency Heat Treatment to Control the Insect *Rhyzopertha dominica* (F.) During Storage in Rice Seed (*Oryza sativa* L.). Paper presented at the Conference on International Agricultural Research for Development. October 11-13, 2005. Stuttgart-Hohenheim, Germany. (No page).
- Jiao, S., J. A. Johnson, J. Tang, G. Tiwari and S. Wang. 2011. Dielectric properties of cowpea weevil, black-eyed peas and mung beans with respect to the development of radio frequency heat treatments. *Biosystems Engineering*, 108: 280-291.
- Jolicoeur, G., Hackam, R., and Tu, J. C. 1982. The selective inactivation of seed borne soybean mosaic virus by exposure to microwaves. *Microwave Power*. 17: 341-344.
- Johnson, J. A., K. A. Valero, S. Wang and J. Tang. 2004. Thermal Death Kinetics of Red Flour Beetle (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(6): 1868-1873.
- Juliano, B. O., C. M. Perez, A. B. Blakeney. T. Castillo, N. Kongseree, B. Laignelet, E. T. Lapis, V. V. S. Murty, C. M. Paule and B. D. Webb. 1981. International cooperative testing on the amylose content of milled rice. *Starch*, 33: 157-162.
- Keita, S. M., V. Charles., P. S. Jean., R. Sonny. And B. Andre. 2000. Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 36: 355-364.
- Khare, B. P., R. N. Chaudhaey, K. N., Singh and C.S., Sengar. 1976. Loss of protein due to insect feeding in maize (*Zea may* L.) *Journal of Economic Entomology*, 36(4): 312-315.

- Knipper, N.V. 1959. Use of high-frequency currents for grain drying. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 4: 349–360.
- Kraszewski, A. W. 1991. “ Microwave Aquametry-Needs and Perspectives ”, *IEEE Transactions on Microwave Theory Technology*, 39(5): 828-835.
- Lambert, D. W., W. W. Worzella, R. C. Kinch and J. N. Cheadle. 1950. Devitalization of cereal and weed seeds by high frequency. *Agronomy Journal*, 42(6): 304–306.
- Lücke W. and Von Hörsten D. 2007. Radio Frequency and Microwave Application. Paper Presented at Thermal Methods for Quality assurance in Postharvest Technology. February 25-March 4 2007. Chiang Mai University, Thailand.
- Mahroof, R., Bh. Subramanyam and D. Eustace. 2003a. Temperature and relative humidity profiles during heat treatment of mills and its efficacy against *Tribolium castaneum* (Herbst) life stages. *Journal of Stored Products Research*, 39: 555-569.
- Mahroof, R., Bh. Subramanyam, J. E. Throne, and A. Menon. 2003b. Time-mortality relationships for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) life stages exposed to elevated temperatures. *Journal of Economic Entomology*, 96: 1345-1351.
- Marra, F. L., Zhang and J.G., Lyng. 2008. Radio frequency treatment of food: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering*, 91(4): 497-508.
- Marzall, A., J. M. Oscal, V. Castell, J. Martínez, C. Benedito, J. V. Balbastre and D. Sánchez-Hernández. 2005. Effect of microwave energy on grain quality of four Spanish rice varieties. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(3): 310-318.
- Mason, L. J. and C. A. Strait. 1998. Stored Product Integrated Pest Management with Extreme Temperatures. [online]. Available: <http://pestdata.ncsu.edu/ipmtext/chap6.pdf> (December 22, 2010).
- Meiners, C. R., N. L. Derise, H. C. Lua, S. J. Richey and E. W. Murphy. 1976. The content of nine mineral in raw and cooked mature dry legumes., *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 24(6): 1126-1130.
- Menon, A. and Bh., Subramanyam. 2000. Heat sterilization-can it effectively control insects. pp. 91-1 to 91-4. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, November 6-9, 2000. Orlando, Florida.

- Metaxas, R. 1988. RF and microwave energy hots up. *Intelligent Energy Europe Review* 34(5):185-7.
- Mitcham, E. J., R. H. Veltman, X. Feng, E. de Casto, J. A. Johnson, T. L. Simpson, W. V. Biasi, S. Wang and J. Tang. 2004. Application of radio frequency treatments to control insects in in-shell walnuts. *Postharvest Biology and Technology*, 33: 93-100.
- Monzona, M.E., B. Biasia, T.L. Simpsona, J. Johnsonb, X. Fenga, D.C. Slaughterc and E.J. Mitchama. 2004. Effect of radio frequency heating as a potential quarantine treatment on the quality of 'Bing' sweet cherry fruit and mortality of codling moth larvae. [Online]. Available: <http://www.elsevier.com/locate/postharvbio>. (April 17, 2010.)
- Nelson, S.O. 1976. Use of microwave and lower frequency RF energy for improving alfalfa seed germination. *Journal of Microwave Power* 11(3): 271-277.
- Nelson, S.O. 1981. Review of factors influencing the dielectric properties of cereal grains. *Cereal Chemistry Journal* 58: 487-492.
- Nelson, S.O. 1992. Measurement and Application of Dielectric Properties of Agricultural Products. Instrumentation and Measurement, *IEEE Transaction*. 41(1): 55-64.
- Nelson, S. O. 1996. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Transactions of the ASAE*, 39(4): 1475-1484.
- Nelson S. O. and B. H. Kantack. 1966. Stored-grain insect control studies with radio-frequency eenergy. *Journal of Economic Entomology*, 59(3):588-594.
- Nelson, S.O., and L.F. Charity. 1972. Frequency dependence of energy absorption by insects and grain in electric fields. *Trans of the ASAE*, 15(6): 1099-1102.
- Nelson, S.O., P.G. Jr Bartley and K.C. Lawrence. 1998. RF and microwave dielectric properties of stored-grain insects and their implications for potential insect control. *Transactions of the ASAE*, 41(3): 685-692.
- Nelson, S.O., Trabelsi, S. and Kraszewski, A. W. 2001. "RF Sensing of Grain and Seed Moisture Content", *IEEE Sensors Journal*, 1(2): 119-126.
- Neven, L. G., 2000, Physiological responses of insects to heat, *Postharvest Biology and Technology*, 21: 103-111.
- Orsat, V. 1999. Radio-frequency thermal treatments for agri-food products. Ph.D. dissertation, Agricultural and Biosystems engineering, McGill University. 256 pp.

- Pour-El, A. 1981. Protein functionality: classification, definition, and methodology. pp. 1-5. In: J.P. Cherry, (ed.), Protein Functionality in Foods. American Chemical Society Symposium Series 147. Washington DC.
- Pyon, J.Y., J.O. Guh and Y.C. Ku. 1997. Environment-friendly cultural and mechanical practices for weed management. *Korean Journal of Weed Science*, 17(1): 124–134.
- Roesli, R., Bh. Subramanyam, F. J. Fairchild and K. C. Behnke. 2003. Trap catches of stored-product insects before and after heat treatment in a pilot feed mill. *Journal of Stored Products Research*, 39: 521-540.
- Rodionova, O.P., G.A. Troshina, I.G. Fedorova and M.M. Shvartsman. 1990. Use of radiofrequency electromagnetic field energy for soil sterilization. *Tekhnika V Sel'Skom Khozyaistve* 1: 62–63.
- Rosenberg, U. and W. Bögl. 1987. Microwave pasteurization, sterilization, blanching and pest control in the food industry. *Food Technology*, 41(6): 92–99.
- Ryynänen, S. 1995. The electromagnetic properties of food materials: A review of the basic principles. *Journal of Food Engineering*, 26: 409–429.
- Sagnia, S. B. 1994. Mortality factors affecting *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) under field conditions in niger. *Journal of Stored Products Research* 30(1): 71-74.
- Sanon, A., A. P. Ouedraogo, Y. Tricault, P. F. Credland, and J. Huignard. 1998. Key References Biological control of *Dinamus basalis* (Hymenoptera : Pteromalidae) adult. *Environ. Entomol.* 27 (3) : 717-725.
- Santos, J. P., J. D. G. Maia and I. Cruz. 1990. Damage to germination of seed corn caused by maize weevil (*Sitophilus zeamais*) and Angoumois grain moth (*Sitotroga cerealella*). *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 25(12): 1687–1692.
- Schiffman, R., 1990. Microwave foods: basic design consideration. *Tappi Journal*, 73(3): 209-212.
- Singh, S. R., R. A. Luse, K. Leuschner and D. Nangju. 1978. Groundnut oil treatment for the control of *Callosobruchus maculatus* (F.) during corpea storage. *Journal of Stored products Research* 14: 77-80.

- Shivhare, U., Ranhaven, S.V., Bosisio, R.G. and Mujumdar, A.S. 1992. Microwave drying of corn II. Constant power intermittent operation. *Transactions of the American Society of Agriculture Engineers*. 35: 959-962.
- Stetson L.E. and S.O. Nelson. 1972. Effectiveness of hot air, 39 MHz dielectric and 2450 MHz microwave heating for hard-seed reduction in alfalfa. *Transactions of the ASAE* 15(3): 530-535.
- Tang, J., J. N. Ikediala, S. Wang, J. D. Hansen and R. P. Cavalieri. 2000. High temperature short time thermal quarantine methods. *Postharvest Biology and Technology* 21: 129-145.
- Tang, J., S. Wang, E. J. Mitcham, J. A. Johnson, J. D. Hansen and G. Hallman. 2004. Update on development of postharvest pest control treatments for nuts, citrus and tropical fruits using RF energy. [Online]. Available: <http://mbao.org/2004/Proceedings/04/075%20WangS%20Abstract-Tang-et-al04-final.pdf> (August 5, 2010).
- Theanjumol, P., S. Thanapornpoonpong, E. Pawelzik and S. Vearasilp. 2007. Milled rice physical properties after various radio frequency heat treatment. Paper presented at the Conference on International Agricultural Research for Development. October 9-11, 2007. University of Kassel-Witzenhausen and University of Gottingen, Germany.
- Von Hörsten D. 2007. The control of rice weevil by radio frequency. DAAD Workshop "Thermal methods for quality assurance in postharvest technology" Chiang Mai (Thailand) 25th Feb. -4th Mar. 2007.
- Wang, S. and J. Tang. 2001. Radio frequency and microwave alternative treatments for insect control in nuts: a review. *Agricultural Engineering Journal* 10(3 and 4):105-120.
- Wang, S. and J. Tang. 2004. Radio frequency heating: a potential method for post-harvest pest control in nuts and dry products. *Journal of Zhejiang University SCIENCE* 5(10): 1169-1174.
- Wang, S., J. N. Ikediala, J. Tang, J. D. Hansen, E. Mitcham, R. Mao and B. Swanson. 2001. Radio frequency treatments to control codling moth in in-shell walnuts. *Postharvest Biology and Technology* 22: 29-38.
- Wang, S., J. Tang, J. A. Johnson and J. D. Hansen. 2002. Thermal-death kinetics of fifth-instar *Amyelois transitella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research* 38(5): 427-440.

- Wang, S., J. Tang, R. P. Cavalieri and D. C. Davis. 2003. Differential heating of insects in dried nuts and fruits associated with radio frequency and microwave treatments. *Transaction of the ASAE* 46(4): 1175-1182.
- Wang, S., M. Monzon, J.A. Johnson, E.J. Mitcham, and J.Tang. 2007a. Industrialscale radio frequency treatment for insect control in walnut I: Heating uniformity and energy efficiency. *Postharvest Biology and Technology*. 45:240-246.
- Wang, S., M. Monzon, J. A. Johnson, E. J. Mitcham and J. Tang. 2007b. Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts II: Insect mortality and product quality. *Postharvest Biology and Technology* 45: 247-253.
- Webber, H. H., R. P. Wagner and A. G. Pearson. 1946. High-frequency electric fields as lethal agents for insects. *Journal of Economic Entomology* 39:487-498.
- Zheng, G. H. and F. W., Sosulski. 1998. Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze-thaw. *Journal of Food Sciences* 63(1): 134-139.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายของถั่วเขียว

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายของถั่วเขียว

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธี Oven drying

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) เครื่องบดตัวอย่าง (sample mill; Cemotec Foss Tecator, Germany)
- 2) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AB204-S; Mettler-Toledo (Thailand) Ltd., Thailand)
- 3) กระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝา (can aluminium)
- 4) ตู้อบลมร้อน (hot air oven; UM500 Memmert, Germany)
- 5) โถดูดความชื้น (desiccator)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

- 1) บดเมล็ดถั่วเขียวด้วยเครื่องบด
- 2) นำกระป๋องอะลูมิเนียมและฝาไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
- 3) ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักจนมีค่าแน่นอน
- 4) ชั่งตัวอย่างถั่วเขียวที่บดละเอียด 5 กรัม บันทึกน้ำหนัก ปิดฝาอบแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส พร้อมฝาในตู้อบลมร้อน (hot air oven) นาน 2 ชั่วโมง
- 5) เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) ชั่งน้ำหนัก กระป๋อง อะลูมิเนียมพร้อมฝา

คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(B-C) \times 100}{(B-A)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝา

B = น้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝา และถั่วเขียวก่อนอบ

C = น้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝา และถั่วเขียวหลังอบ

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Crude Protein)

เมล็ดพืชทุกชนิดจะมีอาหารสะสมในรูปแบบต่าง ๆ กัน อาหารที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดจะถูกนำมาใช้ในระยะแรกของการเจริญเติบโตและพัฒนาของต้นอ่อน ชนิดและปริมาณของอาหารที่เก็บสะสมในเมล็ดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช พันธุ์ และอายุการสุกแก่ของเมล็ด โปรตีนเป็นอาหารหลักชนิดหนึ่งที่เมล็ดพืชเก็บสะสมไว้ จะพบในส่วนของโปรตีนบอดี (protein body) โปรตีนที่เก็บสะสมในเมล็ดพืชแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

- (1) albumins ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำและสามารถทำให้ตกตะกอนได้ด้วยความร้อน เช่น leucosin, legumelin และ ricin
- (2) globulins มีคุณสมบัติในการละลายได้ในสารละลายเกลือ ไม่สามารถละลายได้ในน้ำและไม่สามารถตกตะกอนด้วยความร้อน เช่น legumelin, glycinin, vicinin และ arachin
- (3) glutelins มีคุณสมบัติในการละลายได้ในสารละลายกรดเข้มข้นหรือสารละลายหรือสารละลายด่าง ไม่ละลายในน้ำ สารละลายเกลือ หรือเอทิลแอลกอฮอล์ เช่น glutenin และ oryzenin
- (4) prolamins มีคุณสมบัติในการละลายได้ในเอทิลแอลกอฮอล์ 70-90% เช่น gliadine และ zein

การวิเคราะห์โปรตีนในเมล็ดพืช สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดก่อนแล้วนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์คูณด้วยค่าแฟกเตอร์ ค่าที่ได้จึงเป็นปริมาณโปรตีนในเมล็ดพืช

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) ชุดเครื่องย่อย (Gerhardt Kjeldatherm Digestion Unit; KB)
- 3) ชุดเครื่องกลั่น (Gerhardt Vapodest ; VAP 30)
- 4) ตู้ดูดไอสารเคมี (Laboratory Fume Cupboard)

สารเคมี

- 1) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. sulfuric: H₂SO₄)
- 2) สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 N
- 3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 32% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

- 4) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 15% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
- 5) สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
- 6) สารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst; $\text{CuSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ 1:10)
- 7) สารละลายอินดิเคตอร์บอริกแอซิด (Indicating boric acid)

การเตรียมสารละลายอินดิเคตอร์บอริกแอซิด

- 1) ชั่ง Methyl red 200 mg. ละลายใน 95% เอทิลแอลกอฮอล์ 100 ml.
- 2) ชั่ง Methylene blue 100 mg. ละลายใน 95% เอทิลแอลกอฮอล์ 50 ml.
- 3) ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน นำมิกซ์อินดิเคเตอร์ 10 ml. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 ml.

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- 1) บดเมล็ดถั่วเขียวด้วยเครื่องบด แล้วชั่งน้ำหนักบนกระดาษชั่งสาร 1.5000 กรัมใส่ใน Kjeldahl tube
- 2) เติมสารเร่งปฏิกิริยา 10 g. และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ml.
- 3) นำไปย่อยด้วยเครื่อง Kjeldahltherm ซึ่งใช้อุณหภูมิในการย่อย 400°C จนตัวอย่างเป็นสีเขียวใส
- 4) ทิ้งให้ Kjeldahl tube เย็น
- 5) ต่อ Kjeldahl tube เข้ากับเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่นลงไป 40 มิลลิลิตร เพื่อละลายตะกอนที่เกิดขึ้น เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 32 ลงไป 50 มิลลิลิตร หรือจนตัวอย่างกลายเป็นสีดำ
- 6) รองรับสารที่กลั่นด้วยสารละลายกรดบอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด สารละลายที่ได้จะมีสีม่วงอ่อน
- 7) กลั่นตัวอย่างประมาณ 4 นาทีหรือจนไอของ NH_3 ถูกกลั่นจนหมด
- 8) หยดกลั่น จากนั้นนำสารละลายในขวดรองรับที่เปลี่ยนจากสีม่วงอ่อนกลายเป็นสีเขียวอ่อน มาไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวอ่อนเป็นสีม่วงอ่อน
- 9) คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีน

ปริมาณไนโตรเจน

$$N(\%) = \frac{\text{ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรต(มล.)} \times \text{ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดพืช

$$\text{Protein}(\%) = \text{ปริมาณ N}(\%) \times 6.25$$

6.25 คือค่า Factor ที่ใช้ในการเทียบปริมาณโปรตีนจากไนโตรเจนที่ได้

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Total Lipid Analysis)

ไขมันที่เก็บสะสมในเมล็ดพืชอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งเป็นเอสเตอร์ (ester) ของกลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมัน (fatty acid) ไขมันที่พบมีทั้ง fat และ oil คุณสมบัติของไขมันคือ สามารถละลายได้ใน organic solvent เช่น diethyl ether, petroleum ether, dichloromethane หรือ hexane

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) ชุดกลั่นแบบซอกเลท (Soxtec System HT) ประกอบด้วย เครื่อง servive unit และ cooling unit
- 2) กระดาษกรองไขมัน
- 3) ทิมเบิล (thimble)
- 4) โถดูดความชื้น(desiccator)
- 5) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AB204-S; Mettler-Toledo (Thailand) Ltd., Thailand)
- 6) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (hot air oven)

สารเคมี

สารเฮกเซน (n-hexane)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

- 1) บดตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C 48 ชั่วโมง
- 2) นำ extraction cup ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 90 นาที (W₂)
- 3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจากข้อ 1 มาประมาณ 3 กรัม (W₁) บันทึกลง

- 4) ห่อด้วยกระดาษกรอง แล้วใส่ใน thimble
- 5) นำ thimble สวมรับ adapter เพื่อประกอบกับ Soxtec system HT
- 6) ชั่งน้ำหนัก extraction cup บันทึกผล จากนั้นเติม hexane ลงใน extraction cup (ที่ได้จากข้อ 2)
- 7) นำ extraction cup ประกอบกับ Soxtec system HT พร้อมยกคันโยก
- 8) เปิดสวิตช์ เครื่อง cooling unit
- 9) เปิดสวิตช์ เครื่อง service unit
- 10) เลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง boiling นาน 2 ชั่วโมง
- 11) เลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง rinsing นาน 1 ชั่วโมง
- 12) เลื่อนคันโยกขึ้นจนสุด พร้อมเก็บ Hexane ไว้ใช้ต่อ
- 13) นำ extraction cup ไปอบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 90 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator)
- 14) ชั่งน้ำหนัก extraction cup บันทึกผล (W_3)

คำนวณหาปริมาณไขมันที่ได้จาก

$$\% \text{ไขมัน} = \frac{W_3 - W_2 \times 100}{W_1}$$

4. การวิเคราะห์เยื่อใย (Crude Fiber)

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) crucible (Crucible)
- 2) ตู้อบลมร้อน
- 3) เตาเผา
- 4) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AB204-S; Mettler-Toledo (Thailand) Ltd., Thailand)
- 5) โถดูดความชื้น

สารเคมี

- 1) สารละลายกรดซัลฟูริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (v/v)
- 2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25 % (w/v)
- 3) เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อยีส

- 1) นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที สังเกตไม่ให้เกิดฟองปริมาณของสารละลายลดลงหากลดลงปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน
- 3) กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด
- 4) นำกากมาย่อยต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยควบคุมปริมาตรของสารละลายเช่นเดียวกับข้อ 2
- 5) กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Bucher funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง
- 6) กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
- 7) ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
- 8) นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
- 9) ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจะได้ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
- 10) นำตัวอย่างใส่ในครุชีเบิลที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
- 11) เผาตัวอย่างบน hot plate จนหมดควัน ก่อนนำเข้าเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนได้เป็นเถ้าสีขาว
- 12) ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใย

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

5. การวิเคราะห์เถ้า (Ash)

เถ้า (Ash) เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากที่แยกเอาสารประกอบอินทรีย์ออกไปหมดแล้ว บางครั้งมิได้หมายถึงส่วนของแร่ธาตุ ถ้าเป็นสารตั้งต้นในการวิเคราะห์แร่ธาตุเฉพาะอย่างต่อไป ดังนั้นโดยทั่วไปจะถือว่าเถ้าเป็นปริมาณแร่ธาตุรวมในตัวอย่าง เถ้าที่มีทราย (sand) และสารประกอบซิลิคอน (silicon) ประกอบอยู่ด้วยซึ่งมีคุณสมบัติจะไม่ละลายในกรด

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) เตาเผา (Muffle furnace)
- 2) ครุชีเบิล (Crucible)
- 3) Hot plate Stirrer (Hot plate Stirrer, LMS)
- 4) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AB204-S; Mettler-Toledo (Thailand) Ltd., Thailand)
- 5) โถดูดความชื้น

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

- 1) ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครุชีเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
- 2) นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ Hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
- 3) นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
- 4) ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5) ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

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

6. การวิเคราะห์ NFE (Nitrogen Free Extract)

Nitrogen Free Extract (NFE) หรือ Non Structural carbohydrate เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่สัตว์ทุกชนิดย่อยได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วยแป้ง และน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินปนอยู่บ้าง ค่านี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์โดยตรง แต่ได้จากการคำนวณ โดยนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ และเถ้าที่ได้จากการวิเคราะห์รวมกัน แล้วหักออกจาก 100 จะได้ค่าของ NFE การคำนวณ

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

7. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์อะไมโลส (apparent amylose content)

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)
- 2) เครื่องชั่ง HR Analytical Balance (HR-200) ความละเอียด 0.0001
- 3) เครื่องกวนระบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
- 4) เครื่องบดตัวอย่าง (sample mill; Cemotec Foss Tecator, Germany)
- 5) ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask) ขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร
- 6) ปิเปตแบบ volumetric pipette ขนาดความจุ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร
- 7) ปิเปต แบบ measuring pipette ขนาดความจุ 1-10 มิลลิลิตร
- 8) ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช (mesh)

สารเคมี

- 1) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol: C_2H_5OH) 95%
- 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: NaOH) 2 นอร์มัล
- 3) กรดกลacialอะซิติก (glacial acetic: CH_3COOH) 1 นอร์มัล
- 4) โปเตโตอะไมโลส (potato amylose)
- 5) ไอโอดีน (iodine : I_2)
- 6) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide : KI)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

นำถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดด้วงถั่วเขียวที่สมบูรณ์ที่สุด คือ ถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ เวลา 220 วินาที มาตรวจสอบคุณภาพของถั่วเขียวที่เปลี่ยนไปเปรียบเทียบกับคุณภาพของถั่วเขียวที่ไม่ได้รับคลื่นความถี่วิทยุ โดยเป็นวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส ศึกษาโดยการนำถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 ที่ต้องการทดสอบมาบดให้ละเอียด นำแป้งถั่วเขียวที่ได้มาวิเคราะห์ทางเคมี โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงจากสารละลายสีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลส และไอโอดีน ซึ่งมีวิธีการดังนี้

- 1) นำถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (sample mill) นำตัวอย่างที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช
- 2) ชั่งแป้งที่ผ่านการร่อนมา 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิทเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ
- 3) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร
- 4) ปั่นกวนตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็กนาน 10 นาที ให้เป็นน้ำแป้งแล้วปรับปริมาตรด้วยกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร
- 5) เตรียมขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร สารละลายกรดอะซิติก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
- 6) ใส่น้ำแป้งที่เตรียมไว้ในข้อ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ตามข้อ 5 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วตั้งไว้ 10 นาที
- 7) นำขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ในข้อ 5 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นโดยไม่ต้องใส่น้ำแป้งเพื่อใช้เป็นแบล็ก (blank)
- 8) วัดความเข้มข้นของสีของสารละลายตามข้อ 6 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยอ่านค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร

- 9) อ่านค่าเทียบกับกราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโปเตไตอะไมโลสที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

วิธีการเตรียมสารละลาย

- 1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 นอร์มัล (N)

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 80.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้ว ปริมาตรขนาดความจุ 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

- 2) สารละลายกรดเคดเซียลอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มัล (N)

ละลายกรดเคดเซียลอะซิติกปริมาณ 60 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตรขนาดบรรจุ 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

- 3) สารละลายไอโอดีน

ชั่งไอโอดีน 0.2 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชา ปริมาตรขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน หรือจนไอโอดีนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

การเขียนกราฟมาตรฐานอะไมโลส

- 1) ชั่งโปเตไตอะไมโลส (potato amylose) 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมเอทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นความเข้มข้น 2 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากันเป็นสารละลายมาตรฐาน
- 2) เตรียมขวดแก้วปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 5 ขวด แต่ละขวดเติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร สารละลายกรดอะซิติกปริมาณ 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ในแต่ละขวด
- 3) ปิเปตแบ่งสารละลายมาตรฐาน 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 2) ปรับ

ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้มีค่าดูดกลืน เท่ากับ 0

- 4) นำการดูดกลืนแสงกับปริมาณอะไมโลสในสารละลายมาตรฐานตามข้อ 3) มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน
- 5) นำเส้นกราฟที่ได้จากข้อ 4) มาใช้แปลงค่าการดูดกลืนแสงให้เป็นปริมาณ (ร้อยละ) อะไมโลส

$$\text{ปริมาณอะไมโลสในแป้งที่มีความชื้น 14\%} = \frac{A \times 86}{100 - M}$$

เมื่อ A = ปริมาณอะไมโลสในแป้งที่วิเคราะห์ได้เป็นร้อยละ

B = ปริมาณความชื้นของถั่วเขียวที่วิเคราะห์ได้เป็นร้อยละ

8. การวิเคราะห์สมบัติทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) เครื่องวิเคราะห์ความหนืดของผลิตภัณฑ์แป้ง (Rapid Visco Analyser, RVA-4)
- 2) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AB204-S; Mettler-Toledo (Thailand) Ltd., Thailand)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) เปิดเครื่อง RVA ให้นาน 30 นาทีเพื่ออุ่นเครื่อง และปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้

Profile : STD 1

อุณหภูมิเริ่มต้น	50	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ	50	องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 นาที
อุณหภูมิ	50-95	องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3.75 นาที
อุณหภูมิ	95	องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2.5 นาที
อุณหภูมิ	95-50	องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3.75 นาที
อุณหภูมิ	50	องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 นาที

รวมระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด

13 นาที

ความเร็วรอบของการกววน 0-10 วินาทีแรก 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจะลดลงมาที่ 160 รอบต่อนาที จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

อัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที

- 1) ตัวอย่างแป้งที่ใช้วิเคราะห์ ต้องผ่านการบดจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปหาความชื้น
- 2) ชั่งแป้งจำนวน 3 กรัมใส่ลงใน can และตวงน้ำปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร (± 0.1 มิลลิลิตร) ใส่ใน can (คำนวณที่ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์) แต่ถ้าตัวอย่างแป้งมีความชื้นไม่เท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณปริมาณน้ำและแป้งที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามสูตร

$$\text{สำหรับปริมาณแป้ง} \quad S = \frac{88 \times 3.0}{100 - M}$$

$$\text{สำหรับปริมาณน้ำ} \quad W = 25 + (3.0 - S)$$

โดย S = น้ำหนักตัวอย่างที่ปรับค่าแล้ว

W = น้ำหนักน้ำที่ปรับค่าแล้ว

M = ปริมาณความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง (เปอร์เซ็นต์)

- 3) ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างหมุนใบพัดกววนไปมาแรง ๆ และดึงขึ้นเพื่อกววนตัวอย่างแรง ๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดที่ใบพัดกววนให้ทำซ้ำอีกครั้ง
- 4) นำ can ที่ใส่ใบพัดไว้สอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้ RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำถ้วยบรรจุตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่าง ๆ (หน่วย RVU) ดังนี้

4.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที

4.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 2 RVU

ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

4.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

4.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU

4.5 ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

4.6 ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วย RVU

4.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด trough (setback from trough) มีหน่วยเป็น RVU

9. การวัดค่าสี

ค่าสีของถั่วเขียววัดด้วยเครื่องวัดสีแบบ Hunter โดยใช้โดยใช้เครื่องรุ่น Color Quest XE วัดสีออกมาเป็นค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* หรือความสว่าง (Lightness) มีค่าในช่วง 0-100 แสดงถึงความมืดถึงความสว่าง ค่า a^* หรือความแดง (Redness) มีค่าในช่วง -60 ถึง +60 แสดงถึงโทนสีเขียวถึงสีแดง และค่า b^* หรือค่าความเหลือง (Yellowness) มีค่าในช่วง -60 ถึง +60 แสดงถึงโทนสีน้ำเงินถึงสีเหลือง

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) ภาชนะใส่ตัวอย่าง
- 2) เครื่องวัดสี (Color Quest XE; HunterLab, USA)

ขั้นตอนการวัดค่าสี

- 1) การใช้งานเครื่อง Color Quest XE เปิดโปรแกรม Universal Software
- 2) สร้าง Database

2.1 เข้าเมนู File เลือก New Data Base

2.2 เข้า path C:\UNIVERSE ที่ช่อง Directions

2.3 ตั้งชื่อ ที่ต้องการในช่อง New Database Name แล้ว คลิกปุ่ม OK เมื่อหน้าจอ

ปรากฏหน้าต่าง Finished ให้กดปิดหน้าต่าง

3) การทำ Standardization

- 3.1 กดปุ่ม Standardization หรือไปที่เมนู Senser แล้วเลือก Standardize
- 3.2 ตั้ง Mode, Area View และ Port Size ที่ต้องการ แล้วคลิกปุ่ม OK
- 3.3 เลือก Mode RSEX ไว้ ดังนั้นเครื่องจะให้ใส่ Light trap เสร็จแล้วคลิก OK
- 3.3 จากนั้นใส่ White Standard เสร็จแล้ว คลิก OK
- 4) ใส่ตัวอย่างเมล็ดถั่วเขียวลงในภาชนะใส่ตัวอย่างจนเต็ม นำไปวางบนแท่งวางตัวอย่าง แล้วกดอ่านค่า

10. การทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyzer

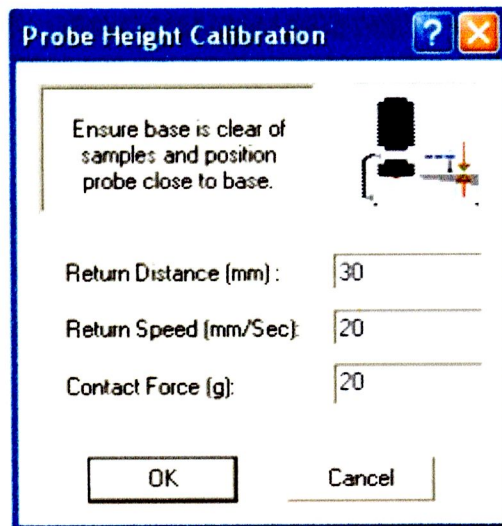
เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

- 1) เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture analyzer; TA-Xtplus)
- 2) หัวกดแบบ Cylinder Probe

ขั้นตอนการวัดทางด้านเนื้อสัมผัส

- 1) เปิดเครื่อง Computer
- 2) เปิดเครื่อง Texture Analyzer
- 3) เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32
- 4) เปิด Graph Texture โดยเลือก File Menu → New
- 5) Calibrate Force สังเกตค่า Capacity ว่าถูกต้องหรือไม่ → Next พิมพ์น้ำหนักลูกตุ้มที่ใช้ → วางตุ้มน้ำหนัก → Next → Finish
- 6) Calibrate Height ควรตั้ง Return distance สูงกว่าความสูงของตัวอย่าง





7) T.A. Setting เลือก Library เพื่อกำหนดรูปแบบการวัด และตั้งค่า Value เพื่อกำหนดการเคลื่อนที่ของ Probe

8) T.A. Run a Test

- เขียนรายละเอียดและเลือก Drive ที่ต้องการบันทึกข้อมูล เพื่อให้สามารถเรียกใช้ได้

Test Configuration.

Archive Information | Probe Selection | Parameters | Data Acquisition | Pre-Test | Post Test

File Name

File ID:

File Number: Format =

Auto Save ☐ Automatically Create Directory When Required: ☐

Path:

=

Title:

Batch: ☒ Use File ID

- เลือกชนิด Probe ให้ตรงกับ Probe ที่ใช้อยู่เสมอ (หัววัด HDP/BSK : BLADE SET WITH KNIFE)

Test Configuration.

Archive Information | Probe Selection | Parameters | Data Acquisition | Pre-Test | Post Test

P/40 ; 40mm CYLINDER ALUMINIUM

Supplied By: Stable Micro Systems Ltd

Address: Vienna Court
Lammas Road
Godalming
Surrey GU7 1YL
England

Contact Area: 1256.64 mm²

Add Delete Modify

Run a Test Cancel Apply Help



- เลือก Parameter ที่ต้องการวัดขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่ต้องการวัด

Test Configuration.

Archive Information | Probe Selection | Parameters | Data Acquisition | Pre-Test | Post Test

Parameter	Value	Units	Options	Use
Product Height	3.0	cm	Manual	☒
Product Width	0.0	mm		☐
Product Length	0.0	mm		☐
Contact Area	0.0	mm ²	User Value	☐
Product Weight	30.0	g		☒
Data 1	0.0	?C	Manual	☐
Data 2	0.0	?C	Manual	☐
Compliance	0.0			☐
Inertial Probe Mass	0.0			☐
Inherent Elasticity	0.0			☐
Inherent Viscosity	0.0			☐

Use All
Use None

Run & Test Cancel Apply Help

- เลือก Data acquisition เพื่อกำหนดอัตราการเก็บข้อมูล

9) การ Run Macro

1. ไม่มีสูตร

- เลือก Graph ที่ต้องการ กด View Select Only
- ทดสอบเขียนสูตรเพื่อให้ได้สูตรที่ถูกต้อง
- เลือก Record Macro เพื่อเขียนสูตร
- บันทึก Macro โดยตั้งชื่อสูตรตามค่าที่วิเคราะห์
- เลือก Graph ทุก Graph ที่ต้องการ

2. มีสูตร

- ตรวจสอบชื่อสูตร
- เลือก Graph ทุก Graph ที่ต้องการ

10) กด Run Macro

- 11) แสดง Graph ที่ละ Graph ตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งที่ Cursor ชี้ Click OK เมื่อตำแหน่งที่ชี้ถูกต้อง

- 12) วิเคราะห์ผลที่ได้

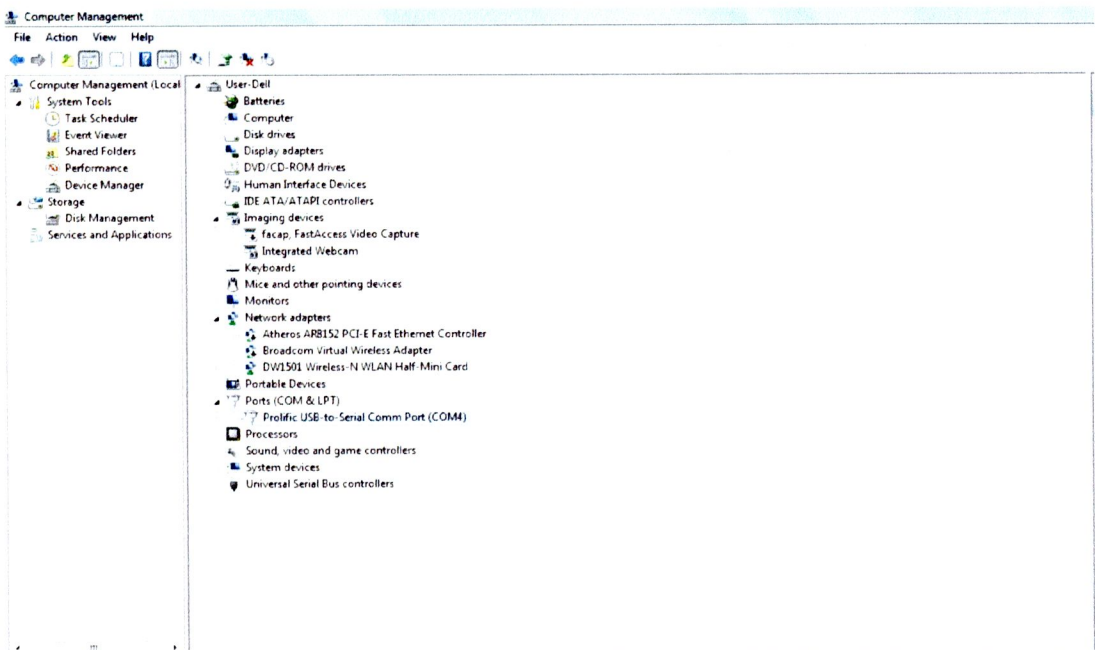
11. การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก

เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

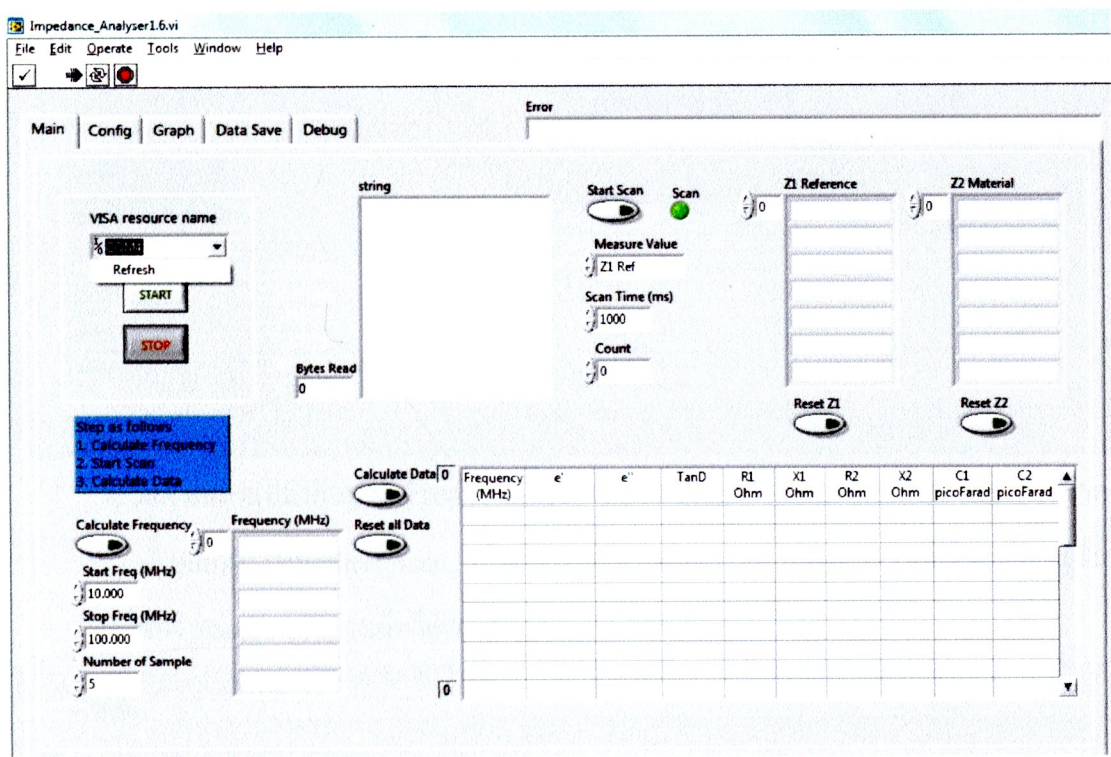
- 1) เครื่องวิเคราะห์หีอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง (impedance analyzer)
- 2) ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทคู่ขนาน เพลทขนาด 10 x 10 เซนติเมตร
- 3) หัววัดแบบ open-ended coaxial
- 4) Forcep ปากกิปไม่มีเขี้ยว

ขั้นตอนการวัด

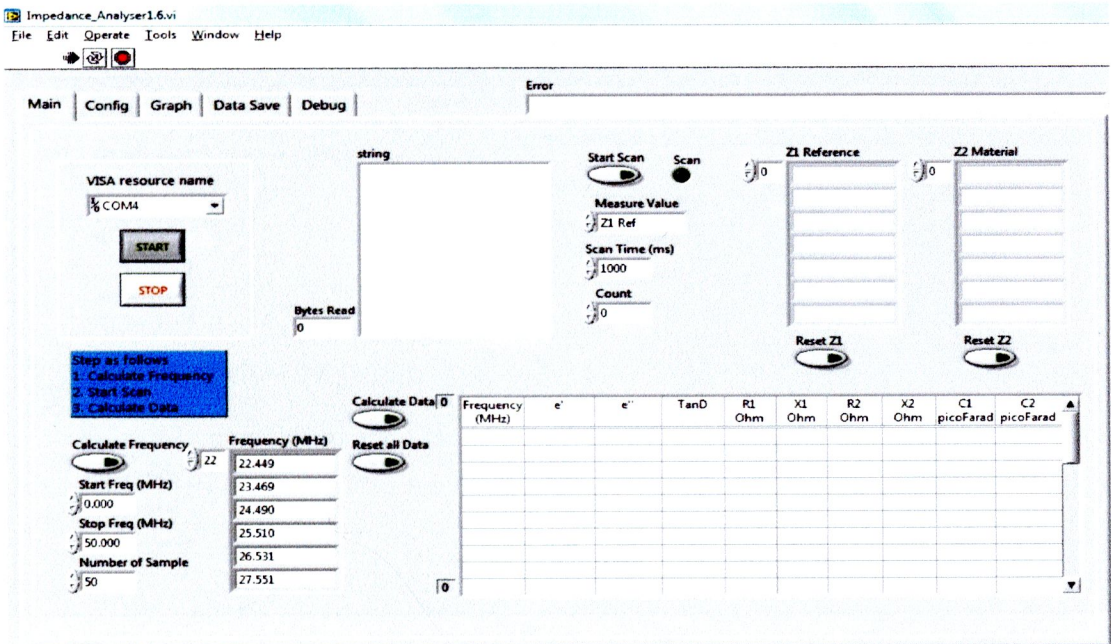
- 1) เปิดเครื่อง Computer
- 2) เปิดเครื่อง Impedance Analyzer
- 3) เข้าโปรแกรม Impedance Analyser 1.6.vi
- 4) ตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างเครื่อง Computer กับเครื่อง Impedance Analyzer
 - เลือก Computer Management
 - เข้าไปที่ Device Manager ตรวจสอบการเชื่อมต่อตรงที่ Ports (COM & LPT)



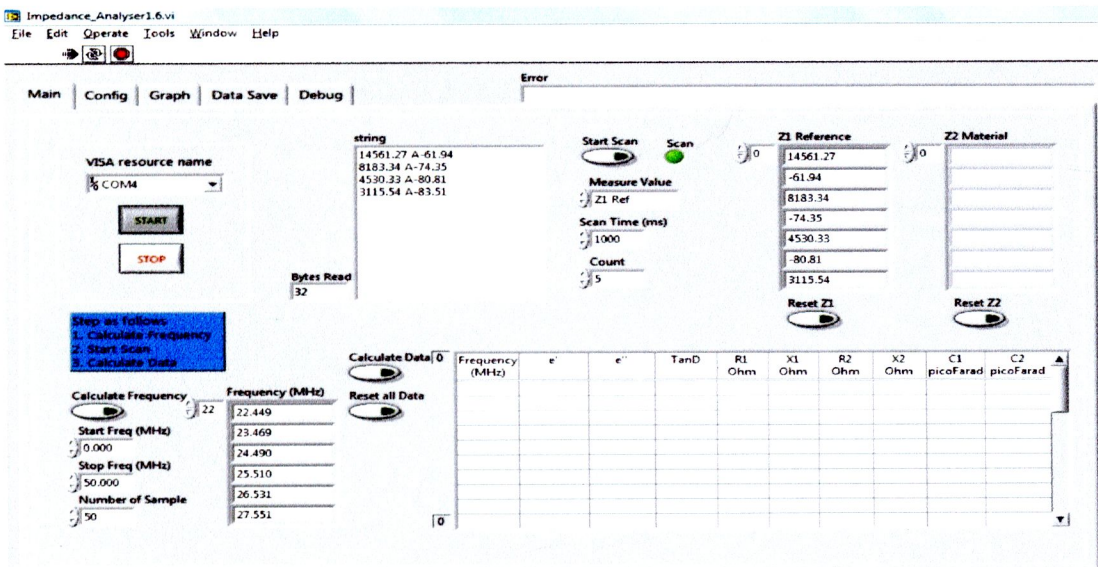
5) ใส่การเชื่อมต่อระหว่างเครื่อง Computer กับเครื่อง Impedance Analyzer ลงในช่อง VISA resource name



6) ใส่ช่วงความถี่ (frequency) ลงในช่อง Start Freq (MHz) , Stop Freq (MHz) และ Number of Sample หลังจากนั้นกดปุ่ม Calculate Frequency



7. วัดค่าเพลาเพล่าก่อนใส่ตัวอย่าง คลิกตรงช่อง Measure Value เลือก Z1 Ref หลังจากนั้นคลิกตรงปุ่ม Start Scan เมื่อโปรแกรมเริ่มวิเคราะห์ สัญญาณไฟสีเขียวปรากฏในช่อง Scan และดับลงเมื่อวิเคราะห์เสร็จ



8. ใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัด หลังจากนั้นคลิกตรงช่อง Measure Value เลือก Z2 หลังจากนั้นคลิกตรงปุ่ม Start Scan เมื่อโปรแกรมเริ่มวิเคราะห์ สัญญาณไฟสีเขียวปรากฏในช่อง Scan และดับลงเมื่อวิเคราะห์เสร็จ
9. หลังจากนั้นคลิกตรงปุ่ม Calculate Data ค่าที่ได้จากการวัดก็จะปรากฏแสดงในช่องบันทึกผลที่ได้โดยคลิก Data Save

Impedance_Analyser1.6.vi

File Edit Operate Tools Window Help

Main | Config | Graph | Data Save | Debug | Error

VISA resource name

COM4

START

STOP

string

14561.27 A -61.94
8183.34 A -74.35
4530.33 A -80.81
3115.54 A -83.51
2359.68 A -84.98
1893.53 A -86.08
1576.68 A -86.93
1346.50 A -87.61
1174.83 A -87.80
1039.18 A -87.98
930.12 A -88.22
842.41 A -88.42

Bytes Read

14

Calculate Frequency

Start Freq (MHz)

Stop Freq (MHz)

Number of Sample

22

23.449

24.490

25.510

26.531

27.551

Calculate Data

Reset all Data

Frequency (MHz)

e'

e''

TanD

R1 Ohm

X1 Ohm

R2 Ohm

X2 Ohm

C1 picoFarad

C2 picoFarad

18

18.367

2.061

1.463

0.710

15.590

-496.075

20.934

-240.731

17.468

35.996

19.388

2.055

1.541

0.750

20.619

-466.635

20.222

-227.031

17.592

36.158

20.408

2.053

1.631

0.795

27.915

-442.460

21.289

-215.571

17.626

36.177

21.429

2.056

1.727

0.840

26.145

-422.477

22.536

-205.448

17.580

36.151

22.449

2.082

1.838

0.883

43.579

-410.493

24.072

-197.186

17.271

35.954

23.469

2.109

1.915

0.908

44.612

-404.095

23.969

-191.617

16.782

35.391

24.490

2.137

1.976

0.924

39.107

-398.124

22.213

-186.280

16.323

34.887

25.510

2.144

2.025

0.945

26.900

-385.653

19.923

-179.880

16.178

34.684

26.531

2.135

2.076

0.972

20.361

-368.808

17.974

-172.747

16.265

34.726

27.551

2.127

2.144

1.008

18.214

-352.249

17.030

-165.647

16.400

34.874

Start Scan

Scan

Measure Value

Z2

Scan Time (ms)

Count

0

1000

0

Z1 Reference

14561.27

-61.94

8183.34

-74.35

4530.33

-80.81

3115.54

Z2 Material

6409.71

-58.58

3536.91

-71.25

1981.18

-78.19

1377.29

Reset Z1

Reset Z2

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงผลการทดลอง

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางภาคผนวก 1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') แฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.4721
1.034	2.3443	0.7433	0.3170
2.069	2.4036	0.7337	0.3051
3.103	2.4103	0.8422	0.3494
4.138	2.3913	0.9831	0.4109
5.172	2.3763	1.1412	0.4799
6.207	2.3574	1.3031	0.5524
7.241	2.3391	1.4687	0.6273
8.276	2.3314	1.6437	0.7043
9.310	2.3210	1.8164	0.7820
10.345	2.3073	1.9823	0.8587
11.379	2.3011	2.1576	0.9368
12.414	2.2957	2.3331	1.0157
13.448	2.2922	2.5122	1.0952
14.483	2.2908	2.6949	1.1756
15.517	2.2820	2.8662	1.2551
16.552	2.2771	3.0424	1.3352
17.586	2.2721	3.2219	1.4171
18.621	2.2667	3.4016	1.4996

ตารางภาคผนวก 1 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') แฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
19.655	2.2682	3.6022	1.5870
20.690	2.2703	3.8023	1.6737
21.724	2.2712	3.9992	1.7596
22.759	2.2716	4.1916	1.8439
23.793	2.2794	4.3959	1.9273
24.828	2.3001	4.6162	2.0054
25.862	2.3152	4.8221	2.0812
26.897	2.3230	5.0310	2.1639
27.931	2.3222	5.2313	2.2508
28.966	2.3171	5.4239	2.3390
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 2 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วใยระยะไข่ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.4970
1.034	2.2543	0.7644	0.3391
2.069	2.3013	0.7486	0.3252
3.103	2.2993	0.8444	0.3670
4.138	2.2764	0.9669	0.4243
5.172	2.2548	1.1091	0.4916
6.207	2.2356	1.2561	0.5616
7.241	2.2187	1.4088	0.6346
8.276	2.2049	1.5654	0.7094
9.310	2.1963	1.7273	0.7859
10.345	2.1810	1.8777	0.8602
11.379	2.1737	2.0383	0.9370
12.414	2.1694	2.2001	1.0132
13.448	2.1634	2.3629	1.0912
14.483	2.1642	2.5338	1.1699
15.517	2.1562	2.6923	1.2477
16.552	2.1481	2.8526	1.3269
17.586	2.1457	3.0189	1.4058
18.621	2.1424	3.1854	1.4852
19.655	2.1466	3.3712	1.5692
20.690	2.1473	3.5599	1.6563
21.724	2.1393	3.7263	1.7403
22.759	2.1444	3.9157	1.8247

ตารางภาคผนวก 2 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วเบียร์ระยะไข่ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.1550	4.0859	1.8948
24.828	2.1592	4.2673	1.9750
25.862	2.1644	4.4641	2.0608
26.897	2.1726	4.6741	2.1496
27.931	2.1813	4.8632	2.2278
28.966	2.1793	5.0343	2.3082
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 3 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของตัวฉนวนใยพอร์ซเลน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.4777
1.034	2.4638	0.8312	0.3373
2.069	2.5230	0.8387	0.3324
3.103	2.5190	0.9542	0.3784
4.138	2.4967	1.1008	0.4407
5.172	2.4724	1.2656	0.5118
6.207	2.4506	1.4331	0.5846
7.241	2.4348	1.6158	0.6636
8.276	2.4187	1.7943	0.7418
9.310	2.4049	1.9720	0.8200
10.345	2.3897	2.1460	0.8980
11.379	2.3809	2.3298	0.9783
12.414	2.3729	2.5114	1.0583
13.448	2.3662	2.6976	1.1398
14.483	2.3709	2.8956	1.2210
15.517	2.3596	3.0747	1.3030
16.552	2.3532	3.2557	1.3831
17.586	2.3478	3.4434	1.4667
18.621	2.3421	3.6344	1.5516
19.655	2.3494	3.8500	1.6384
20.690	2.3468	4.0551	1.7277
21.724	2.3462	4.2598	1.8152
22.759	2.3449	4.4601	1.9020

ตารางภาคผนวก 3 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วเขียวระยะหนอน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.3557	4.6604	1.9782
24.828	2.3627	4.8742	2.0628
25.862	2.3661	5.0977	2.1542
26.897	2.3727	5.3322	2.2474
27.931	2.3887	5.5646	2.3294
28.966	2.3946	5.7656	2.4073
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 4 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วเขียวระยะดักแด้ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.4638
1.034	2.5786	0.8554	0.3318
2.069	2.6052	0.8666	0.3326
3.103	2.5888	0.9870	0.3811
4.138	2.5578	1.1417	0.4462
5.172	2.5298	1.3124	0.5187
6.207	2.5011	1.4864	0.5941
7.241	2.4814	1.6690	0.6724
8.276	2.4681	1.8566	0.7520
9.310	2.4547	2.0422	0.8318
10.345	2.4308	2.2138	0.9107
11.379	2.4138	2.3943	0.9920
12.414	2.3949	2.5713	1.0739
13.448	2.3858	2.7581	1.1562
14.483	2.3827	2.9513	1.2388
15.517	2.3531	3.1078	1.3210
16.552	2.3143	3.2483	1.4042
17.586	2.2960	3.4173	1.4892
18.621	2.3090	3.6380	1.5762
19.655	2.3831	3.9650	1.6638
20.690	2.3919	4.1883	1.7509
21.724	2.3927	4.3907	1.8350
22.759	2.3886	4.5937	1.9230

ตารางภาคผนวก 4 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วใยระยะดักแด้ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 0.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.3937	4.8138	2.0108
24.828	2.4133	5.0606	2.0967
25.862	2.4359	5.3019	2.1763
26.897	2.4467	5.5286	2.2592
27.931	2.4418	5.7324	2.3474
28.966	2.4364	5.9343	2.4351
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 5 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.5887
1.034	2.3572	0.8296	0.3518
2.069	2.3770	0.6638	0.2793
3.103	2.3672	0.6622	0.2799
4.138	2.3472	0.7108	0.3029
5.172	2.3323	0.7806	0.3347
6.207	2.3161	0.8627	0.3723
7.241	2.2954	0.9487	0.4131
8.276	2.2840	1.0452	0.4577
9.310	2.2708	1.1408	0.5023
10.345	2.2562	1.2374	0.5482
11.379	2.2400	1.3317	0.5944
12.414	2.2319	1.4297	0.6404
13.448	2.2200	1.5289	0.6887
14.483	2.2159	1.6279	0.7347
15.517	2.2093	1.7272	0.7816
16.552	2.1981	1.8233	0.8293
17.586	2.1889	1.9238	0.8789
18.621	2.1852	2.0357	0.9314
19.655	2.1796	2.1473	0.9853
20.690	2.1821	2.2674	1.0390
21.724	2.1814	2.3847	1.0929
22.759	2.1812	2.4914	1.1420

ตารางภาคผนวก 5 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.1892	2.5957	1.1854
24.828	2.2192	2.7142	1.2229
25.862	2.2353	2.8162	1.2596
26.897	2.2453	2.9291	1.3044
27.931	2.2373	3.0300	1.3540
28.966	2.2266	3.1307	1.4058
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 6 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วเซียร์ระยะไข่ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.6159
1.034	2.4218	0.9129	0.3771
2.069	2.4417	0.7441	0.3049
3.103	2.4337	0.7423	0.3051
4.138	2.4109	0.7909	0.3281
5.172	2.3854	0.8593	0.3600
6.207	2.3630	0.9407	0.3980
7.241	2.3377	1.0252	0.4384
8.276	2.3190	1.1204	0.4830
9.310	2.3067	1.2214	0.5296
10.345	2.2862	1.3172	0.5762
11.379	2.2730	1.4184	0.6239
12.414	2.2563	1.5136	0.6707
13.448	2.2460	1.6138	0.7183
14.483	2.2436	1.7212	0.7673
15.517	2.2374	1.8269	0.8163
16.552	2.2283	1.9269	0.8647
17.586	2.2191	2.0243	0.9122
18.621	2.2169	2.1371	0.9638
19.655	2.2099	2.2444	1.0156
20.690	2.2080	2.3662	1.0714
21.724	2.2087	2.4926	1.1283
22.759	2.2133	2.6167	1.1822

ตารางภาคผนวก 6 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วใยระยะไข่วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.2329	2.7282	1.2217
24.828	2.2337	2.8296	1.2667
25.862	2.2363	2.9428	1.3158
26.897	2.2478	3.0803	1.3702
27.931	2.2650	3.2008	1.4129
28.966	2.2609	3.2976	1.4586
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 7 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วใยระยะหอน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.6016
1.034	2.3941	0.8816	0.3680
2.069	2.6518	0.7931	0.2991
3.103	2.5722	0.7908	0.3063
4.138	2.5116	0.8390	0.3327
5.172	2.4650	0.9114	0.3686
6.207	2.4263	0.9933	0.4084
7.241	2.3930	1.0822	0.4514
8.276	2.3667	1.1783	0.4970
9.310	2.3458	1.2794	0.5448
10.345	2.3217	1.3774	0.5927
11.379	2.3049	1.4803	0.6417
12.414	2.2862	1.5764	0.6889
13.448	2.2714	1.6786	0.7384
14.483	2.2668	1.7880	0.7882
15.517	2.2610	1.8958	0.8380
16.552	2.2502	1.9956	0.8864
17.586	2.2413	2.1031	0.9379
18.621	2.2353	2.2154	0.9908
19.655	2.2263	2.3272	1.0448
20.690	2.2266	2.4521	1.1010
21.724	2.2182	2.5698	1.1582
22.759	2.2183	2.6842	1.2097

ตารางภาคผนวก 7 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของด้างถั่วเขียวระยะหย่อน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.2430	2.8113	1.2531
24.828	2.2471	2.9219	1.3000
25.862	2.2499	3.0416	1.3514
26.897	2.2532	3.1657	1.4046
27.931	2.2730	3.2952	1.4494
28.966	2.2728	3.4022	1.4968
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 8 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วใยระยะดักแด้ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.5647
1.034	2.5771	0.9301	0.3609
2.069	2.5536	0.7723	0.3026
3.103	2.5240	0.7796	0.3088
4.138	2.4930	0.8338	0.3346
5.172	2.4591	0.9036	0.3674
6.207	2.4342	0.9940	0.4084
7.241	2.4089	1.0871	0.4514
8.276	2.3940	1.1889	0.4966
9.310	2.3737	1.2908	0.5437
10.345	2.3567	1.3917	0.5906
11.379	2.3340	1.4906	0.6386
12.414	2.3189	1.5906	0.6860
13.448	2.3076	1.6960	0.7350
14.483	2.3031	1.8027	0.7827
15.517	2.2952	1.9111	0.8327
16.552	2.2820	2.0121	0.8817
17.586	2.2700	2.1186	0.9332
18.621	2.2653	2.2381	0.9879
19.655	2.2624	2.3543	1.0406
20.690	2.2712	2.4791	1.0912
21.724	2.2684	2.5919	1.1427
22.759	2.2612	2.7020	1.1950

ตารางภาคผนวก 8 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วใยระยะดักแค้ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.00 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.2639	2.8277	1.2492
24.828	2.2920	2.9693	1.2957
25.862	2.3198	3.0882	1.3313
26.897	2.3290	3.1974	1.3729
27.931	2.3199	3.3016	1.4231
28.966	2.3123	3.4064	1.4731
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 9 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.6638
1.034	2.0761	0.7691	0.3706
2.069	2.0717	0.5529	0.2669
3.103	2.0589	0.5060	0.2458
4.138	2.0482	0.5082	0.2482
5.172	2.0349	0.5381	0.2643
6.207	2.0229	0.5764	0.2849
7.241	2.0052	0.6226	0.3103
8.276	1.9962	0.6763	0.3387
9.310	1.9842	0.7324	0.3690
10.345	1.9699	0.7908	0.4013
11.379	1.9607	0.8513	0.4342
12.414	1.9490	0.9080	0.4659
13.448	1.9403	0.9690	0.4993
14.483	1.9352	1.0313	0.5330
15.517	1.9287	1.0932	0.5669
16.552	1.9240	1.1577	0.6019
17.586	1.9143	1.2193	0.6369
18.621	1.9063	1.2822	0.6726
19.655	1.8969	1.3507	0.7119
20.690	1.8957	1.4291	0.7539
21.724	1.8959	1.5137	0.7982
22.759	1.9013	1.6021	0.8426

ตารางภาคผนวก 9 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมล็ดถั่วเขียวที่ความชื้นเฉลี่ย 11 เปอร์เซ็นต์ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	1.9184	1.6516	0.8608
24.828	1.9271	1.7101	0.8873
25.862	1.9293	1.7750	0.9200
26.897	1.9337	1.8439	0.9537
27.931	1.9474	1.9063	0.9790
28.966	1.9403	1.9566	1.0083
30.000	NaN	NaN	1.63318E+16

ตารางภาคผนวก 10 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของคั้วงถั่วเขียวระยะไข่ วัดจากเครื่องมือพีแคนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.6671
1.034	2.3852	0.9371	0.3928
2.069	2.3552	0.6993	0.2968
3.103	2.3256	0.6538	0.2812
4.138	2.3029	0.6614	0.2873
5.172	2.2774	0.6954	0.3052
6.207	2.2527	0.7417	0.3292
7.241	2.2273	0.7966	0.3576
8.276	2.2116	0.8577	0.3877
9.310	2.1956	0.9253	0.4214
10.345	2.1799	0.9916	0.4548
11.379	2.1624	1.0577	0.4891
12.414	2.1469	1.1242	0.5238
13.448	2.1370	1.1968	0.5599
14.483	2.1339	1.2711	0.5958
15.517	2.1252	1.3472	0.6341
16.552	2.1156	1.4198	0.6711
17.586	2.1038	1.4883	0.7074
18.621	2.0929	1.5626	0.7466
19.655	2.0803	1.6388	0.7879
20.690	2.0786	1.7279	0.8313
21.724	2.0800	1.8166	0.8733
22.759	2.0836	1.9141	0.9187

ตารางภาคผนวก 10 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วเขียวระยะไข่ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric Constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.1063	1.9921	0.9457
24.828	2.1113	2.0640	0.9777
25.862	2.1132	2.1410	1.0133
26.897	2.1239	2.2322	1.0511
27.931	2.1420	2.3086	1.0778
28.966	2.1431	2.3836	1.1122
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 11 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของค้ำงถั่วเขียวระยะหอนน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลาท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.6956
1.034	2.3476	0.9541	0.4064
2.069	2.3384	0.7079	0.3028
3.103	2.3207	0.6569	0.2831
4.138	2.3010	0.6647	0.2889
5.172	2.2797	0.6982	0.3063
6.207	2.2583	0.7457	0.3302
7.241	2.2320	0.8011	0.3588
8.276	2.2136	0.8609	0.3890
9.310	2.1990	0.9296	0.4227
10.345	2.1844	1.0004	0.4579
11.379	2.1656	1.0656	0.4920
12.414	2.1508	1.1349	0.5274
13.448	2.1401	1.2071	0.5638
14.483	2.1372	1.2838	0.6006
15.517	2.1279	1.3574	0.6380
16.552	2.1200	1.4331	0.6760
17.586	2.1096	1.5069	0.7144
18.621	2.0958	1.5817	0.7547
19.655	2.0866	1.6608	0.7958
20.690	2.0858	1.7544	0.8409
21.724	2.0881	1.8449	0.8834
22.759	2.1033	1.9500	0.9270

ตารางภาคผนวก 11 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วเขียวระยะหนอน วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.1236	2.0216	0.9519
24.828	2.1246	2.0924	0.9844
25.862	2.1257	2.1728	1.0221
26.897	2.1287	2.2636	1.0633
27.931	2.1502	2.3492	1.0924
28.966	2.1554	2.4271	1.1262
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 12 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วใยระยะดักแด้ วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.6820
1.034	2.4349	0.9872	0.4054
2.069	2.3930	0.7322	0.3061
3.103	2.3591	0.6811	0.2888
4.138	2.3301	0.6846	0.2939
5.172	2.2999	0.7177	0.3120
6.207	2.2750	0.7628	0.3353
7.241	2.2462	0.8190	0.3646
8.276	2.2312	0.8812	0.3948
9.310	2.2142	0.9461	0.4272
10.345	2.1972	1.0136	0.4611
11.379	2.1770	1.0797	0.4958
12.414	2.1631	1.1469	0.5300
13.448	2.1501	1.2169	0.5660
14.483	2.1466	1.2941	0.6028
15.517	2.1361	1.3653	0.6390
16.552	2.1287	1.4402	0.6766
17.586	2.1134	1.5091	0.7140
18.621	2.1036	1.5843	0.7530
19.655	2.0922	1.6622	0.7944
20.690	2.0856	1.7492	0.8389
21.724	2.0910	1.8442	0.8819
22.759	2.0946	1.9362	0.9243

ตารางภาคผนวก 12 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของฉนวนแก้วเขียวระยะดักदै วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ระยะเพลท 1.50 เซนติเมตร ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
23.793	2.1183	2.0134	0.9506
24.828	2.1270	2.0914	0.9831
25.862	2.1303	2.1688	1.0179
26.897	2.1384	2.2590	1.0563
27.931	2.1522	2.3353	1.0850
28.966	2.1478	2.3994	1.1171
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 13 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมสติดัวเขียวผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ เป็นระยะเวลา 220 วินาที วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
0	NaN	NaN	0.670
1.034	2.369	0.928	0.392
2.069	2.320	0.674	0.291
3.103	2.289	0.619	0.270
4.138	2.267	0.623	0.275
5.172	2.246	0.652	0.290
6.207	2.224	0.694	0.312
7.241	2.205	0.742	0.337
8.276	2.182	0.800	0.367
9.310	2.171	0.865	0.398
10.345	2.158	0.932	0.432
11.379	2.145	0.994	0.464
12.414	2.126	1.054	0.496
13.448	2.114	1.121	0.530
14.483	2.103	1.188	0.565
15.517	2.099	1.260	0.600
16.552	2.093	1.335	0.638
17.586	2.083	1.406	0.675
18.621	2.067	1.474	0.713
19.655	2.062	1.550	0.752
20.690	2.060	1.634	0.793
21.724	2.061	1.723	0.836

ตารางภาคผนวก 13 (ต่อ) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') และค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$) ของเมสிடัว์เขียวผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ เป็นระยะเวลา 220 วินาที วัดจากเครื่องอิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ด้วยหัววัดแบบ open-ended coaxial ที่ช่วงความถี่ 0-30 MHz

ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ')	แฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'')	ค่าลอสมแทนเจน ($\tan \delta$)
22.759	2.070	1.820	0.879
23.793	2.083	1.900	0.913
24.828	2.112	1.978	0.937
25.862	2.129	2.031	0.954
26.897	2.126	2.086	0.981
27.931	2.120	2.155	1.017
28.966	2.112	2.231	1.056
30.000	NaN	NaN	1.63E+16

ตารางภาคผนวก 14 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ (°C) (ค่าเฉลี่ย ± SD) ในการตอบสนองของตัวชีวภาพขึ้น 11 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงานต่าง ๆ

เวลา (วินาที)	ระดับพลังงาน (วัตต์)									
	530	560	590	620	640	670	730			
20	29.3 ± 5.9	25.8 ± 0.1	24.1 ± 0.1	27.1 ± 1.1	25.2 ± 0.4	27.0 ± 1.1	23.9±0.1			
40	32.5 ± 5.2	29.9 ± 0.3	28.5 ± 0.0	31.2 ± 0.3	28.8 ± 0.5	32.5 ± 1.1	29.6±0.1			
60	36.8 ± 5.2	34.6 ± 0.4	33.4 ± 0.1	35.8 ± 0.1	34.3 ± 0.6	37.8 ± 1.6	36.0±0.3			
80	39.9 ± 5.7	38.9 ± 0.2	38.2 ± 0.1	40.8 ± 0.1	39.3 ± 0.3	43.2 ± 1.3	41.7±0.1			
100	44.4 ± 3.6	43.3 ± 0.2	42.9 ± 0.4	45.8 ± 1.3	44.6 ± 0.4	48.7 ± 1.7	48.0±0.4			
120	47.7 ± 3.0	47.9 ± 0.4	47.6 ± 0.6	50.4 ± 0.1	49.9 ± 0.4	54.1 ± 2.5	53.4±0.1			
140	51.3 ± 2.1	52.1 ± 0.0	52.0 ± 1.0	54.1 ± 2.0	54.9 ± 0.4	59.6 ± 1.8	59.1±0.1			
160	54.3 ± 0.8	56.4 ± 0.1	56.5 ± 1.2	60.2 ± 0.5	59.9 ± 0.6	65.2 ± 1.9	65.0±0.2			
180	57.5 ± 0.4	60.9 ± 1.1	60.8 ± 1.3	64.6 ± 0.7	65.0 ± 0.1	70.6 ± 2.2	70.8±0.2			

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวก 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant; ϵ') ใน
ระยะห่างเพลทที่ 0.50, 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร

Source	SS	df	MS	F	P
Corrected Model	1.869a	11	.170	142.688	.000
Intercept	535.264	1	535.264	4.4955	.000
Stage	.331	3	.110	92.768	.000
Plate	1.201	2	.601	504.261	.000
Stage * Plate	.337	6	.056	47.124	.000
Error	.114	96	.001		
Total	537.248	108			
Corrected Total	1.984	107			

a. R Squared = .942 (Adjusted R Squared = .936)

ตารางภาคผนวก 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย (loss factor; ϵ'') ใน
ระยะห่างเพลทที่ 0.50, 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร

Source	SS	df	MS	F	P
Corrected Model	1.869a	11	.170	142.688	.000
Intercept	535.264	1	535.264	4.4955	.000
Stage	.331	3	.110	92.768	.000
Plate	1.201	2	.601	504.261	.000
Stage * Plate	.337	6	.056	47.124	.000
Error	.114	96	.001		
Total	537.248	108			
Corrected Total	1.984	107			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .988)

ตารางภาคผนวก 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าลอสมแทนเจน (loss tangent; $\tan \delta$) ในระยะห่าง
เฟลทที่ 0.50, 1.00 และ 1.50 เซนติเมตร

Source	SS	df	MS	F	P
Corrected Model	26.573a	11	2.416	1.9553	.000
Intercept	253.828	1	253.828	2.0545	.000
Stage	.161	3	.054	43.417	.000
Plate	26.367	2	13.183	1.067	.000
Stage * Plate	.045	6	.007	6.068	.000
Error	.119	96	.001		
Total	280.519	108			
Corrected Total	26.691	107			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .985)

ตารางภาคผนวก 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงถั่วเขียว
Callosobruchus maculatus ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโตที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ
27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที

Source	df	SS	MS	F	P
Stage	2	387.255	193.628	.791	.471
Error	15	3669.640	244.643		
Total	17	4056.895			

ตารางภาคผนวก 5 ตาราง LSD ของผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วง
ถั่วเขียว *Callosobruchus maculatus* ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโตที่ผ่านคลื่น
ความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที

	(I) treatment	(J) treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
LSD	1	2	-3.01833	9.03037	.743
	(ไข่)	3	7.97667	9.03037	.391
	2	1	3.01833	9.03037	.743
	(หนอน)	3	10.99500	9.03037	.242
	3	1	-7.97667	9.03037	.391
	(ดักแด้)	2	-10.99500	9.03037	.242

ตารางภาคผนวก 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจำนวนแมลงรุ่นลูกด้วงถั่วเขียว *Callosobruchus maculatus* ทั้ง 3 ระยะการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz
ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที หลังจากเก็บรักษาเป็น
ระยะเวลา 4 สัปดาห์

Source	SS	df	MS	F	P
Corrected Model	13181.222a	5	2636.244	54.021	.000
Intercept	78586.778	1	78586.778	1.6103	.000
state	11692.056	2	5846.028	119.796	.000
treatment	1296.000	1	1296.000	26.557	.000
state * treatment	193.167	2	96.583	1.979	.156
Error	1464.000	30	48.800		
Total	93232.000	36			
Corrected Total	14645.222	35			

a. R Squared = .900 (Adjusted R Squared = .883)

ตารางภาคผนวก 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วงถั่วเขียวระยะ
ดักแด้ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์
ระยะเวลา 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที

Source	df	SS	MS	F	P
Time	5	8665.019	1733.004	16.577	.000
Error	30	3136.372	104.546		
Total	35	11801.391			

ตารางภาคผนวก 8 ตาราง LSD ของผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การตายเฉลี่ยของด้วง
ถั่วเขียวระยะดักแด้ ที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640
วัตต์ ระยะเวลา 120, 140, 160, 180, 200 และ 220 วินาที

		(I) treatment	(J)treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
LSD	1	RF 120 วินาที	2	-14.10833*	5.90327	0.023
			3	-8.68500	5.90327	0.152
			4	-15.04500*	5.90327	0.016
			5	-24.45667*	5.90327	0.000
			6	-49.14167*	5.90327	0.000
	2	RF 140 วินาที	1	14.10833*	5.90327	0.023
			3	5.42333	5.90327	0.366
			4	-0.93667	5.90327	0.875
			5	-10.34833	5.90327	0.090
			6	-35.03333*	5.90327	0.000
	3	RF 160 วินาที	1	8.68500	5.90327	0.152
			2	-5.42333	5.90327	0.366
			4	-6.36000	5.90327	0.290
			5	-15.77167*	5.90327	0.012
			6	-40.45667*	5.90327	0.000
	4	RF 180 วินาที	1	15.04500*	5.90327	0.016
			2	0.93667	5.90327	0.875
			3	6.36000	5.90327	0.290

5	RF 200 วินาที	5	-9.41167	5.90327	0.121
		6	-34.09667*	5.90327	0.000
		1	24.45667*	5.90327	0.000
		2	10.348330	5.90327	0.090
		3	15.77167*	5.90327	0.012
		4	9.41167	5.90327	0.121
6	RF 220 วินาที	6	-24.68500*	5.90327	0.000
		1	49.14167*	5.90327	0.000
		2	35.03333*	5.90327	0.000
		3	40.45667*	5.90327	0.000
		4	34.09667*	5.90327	0.000
		5	24.68500*	5.90327	0.000

หมายเหตุ * แสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α 0.05)

ตารางภาคผนวก 9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	5.203	0.029	18.698	34	.00000	0.42000	0.02246
Equal variances not assumed			18.698	29.539	.00000	0.42000	0.02246

ตารางภาคผนวก 10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Hardness (N) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.007	.936	2.727	358	.007	8.56259	3.13994
Equal variances not assumed			2.727	357.866	.007	8.56259	3.13994

ตารางภาคผนวก 11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า L* ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
L* Equal variances assumed	.051	.822	16.409	430	.000	1.05287	.06417
Equal variances not assumed			16.409	429.791	.000	1.05287	.06417

ตารางภาคผนวก 12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า a* ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
a*	Equal variances assumed	.525	.469	-3.793	430	.000	-.11931	.03145
	Equal variances not assumed			-3.793	429.552	.000	-.11931	.03145

ตารางภาคผนวก 13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า b* ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
b*	Equal variances assumed	58.626	.000	-14.823	430	.000	-1.76190	.11887
	Equal variances not assumed			-14.823	347.44	.000	-1.76190	.11887

ตารางภาคผนวก 14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.175	.685	-1.555	10	.151	-99.16667	63.77064
Equal variances not assumed			-1.555	9.458	.151	-99.16667	63.77064

ตารางภาคผนวก 15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความคงทนต่อการกรวนของแป้ง (Breakdown) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.065	.804	-2.473	10	.033	-24.50000	9.90651
Equal variances not assumed			-2.473	9.949	.033	-24.50000	9.90651

ตารางภาคผนวก 16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.371	.556	-1.143	10	.280	-134.33333	117.52182
Equal variances not assumed			-1.143	9.388	.281	-134.33333	117.52182

ตารางภาคผนวก 17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการคืนตัวของแป้ง (Setback) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.677	.430	-.642	10	.535	-35.16667	54.78529
Equal variances not assumed			-.642	9.296	.536	-35.16667	54.78529

ตารางภาคผนวก 18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอุณหภูมิเริ่มต้นความหนืด (pasting temperature) ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	10.654	.009	-1.200	10	.258	-2.49167	2.07706
Equal variances not assumed			-1.200	5.465	.280	-2.49167	2.07706

ตารางภาคผนวก 19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	24.026	.000	-2.423	88	.017	-.00842	.00348
Equal variances not assumed			-2.423	60.353	.018	-.00842	.00348

ตารางภาคผนวก 20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแฟกเตอร์การสูญเสีย (ϵ'') ในถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.462	.499	-2.060	88	.042	-.01129	.00548
Equal variances not assumed			-2.060	86.083	.042	-.01129	.00548

ตารางภาคผนวก 21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.042	.842	-5.007	10	.001	-1.26333	.25233
Equal variances not assumed			-5.007	9.997	.001	-1.26333	.25233

ตารางภาคผนวก 22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์โปรตีนของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.017	.899	2.919	10	.015	.49167	.16841
Equal variances not assumed			2.919	9.998	.015	.49167	.16841

ตารางภาคผนวก 23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ไขมันของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.008	.931	4.677	22	.000	.24864	.05316
Equal variances not assumed			4.677	21.380	.000	.24864	.05316

ตารางภาคผนวก 24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ข้อไขของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.066	.803	2.824	10	.018	.20000	.07083
Equal variances not assumed			2.824	9.885	.018	.20000	.07083

ตารางภาคผนวก 25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์เถ้าของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	1.243	.291	-1.164	-1.164	.272	-.09543	.08201
Equal variances not assumed			-1.164	9.091	.274	-.09543	.08201

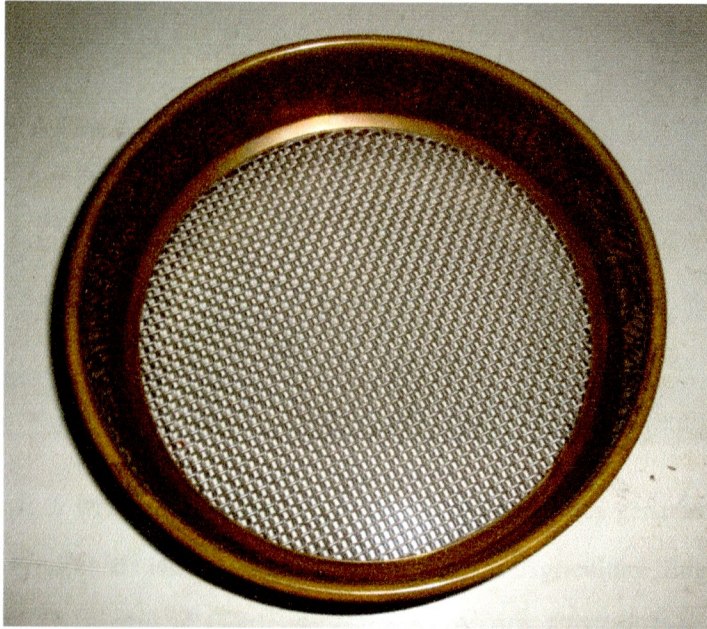
ตารางภาคผนวก 26 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเปอร์เซ็นต์อะไมโลสของถั่วเขียวที่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ที่ระดับพลังงาน 640 วัตต์ ระยะเวลา 220 วินาที และถั่วเขียวที่ไม่ผ่านคลื่น (ชุดควบคุม)

Independent Samples Test							
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed			.547	2	.639	.06500	.11885
Equal variances not assumed				1.135	.672	.06500	.11885

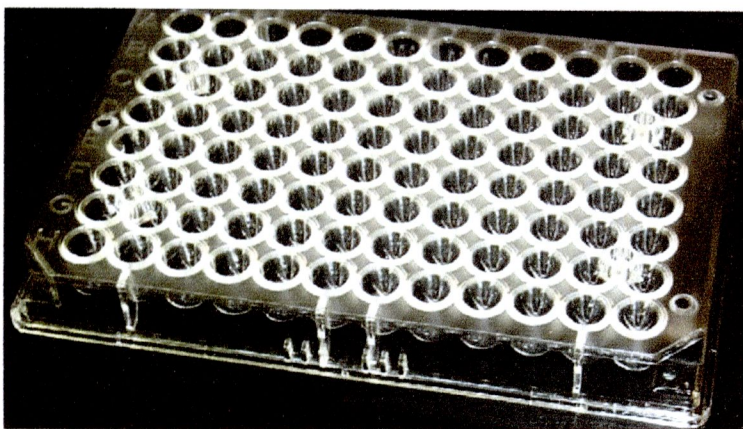
ภาคผนวก ง
ภาพเครื่องมือ

ภาคผนวก ง

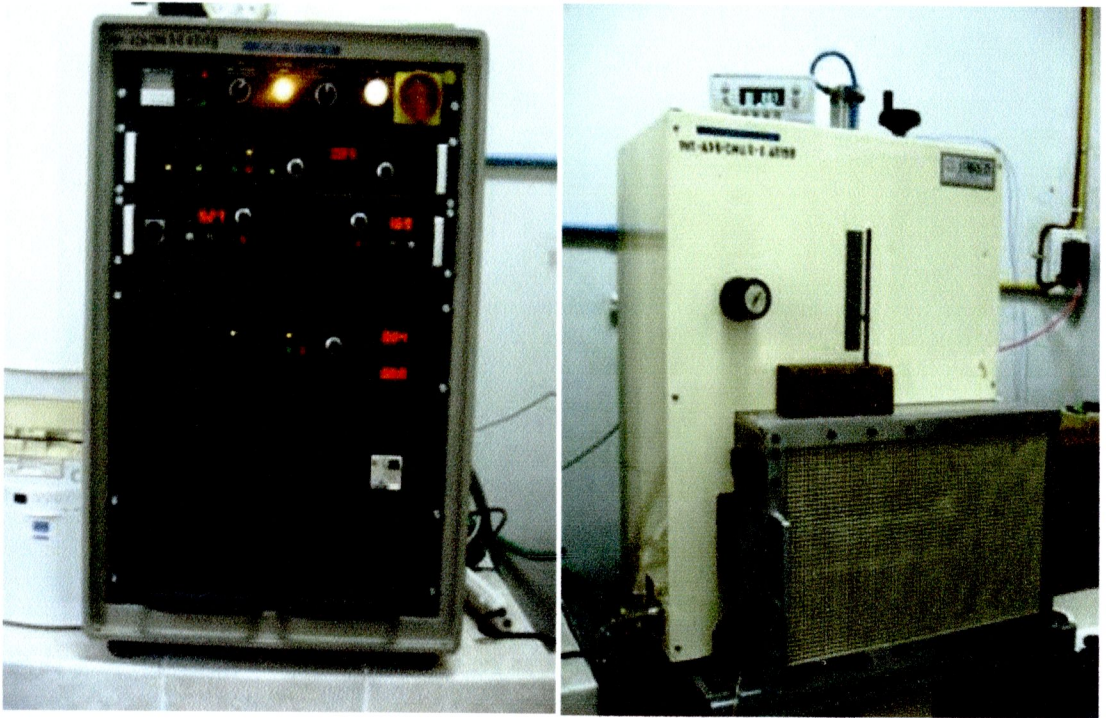
ภาพเครื่องมือ



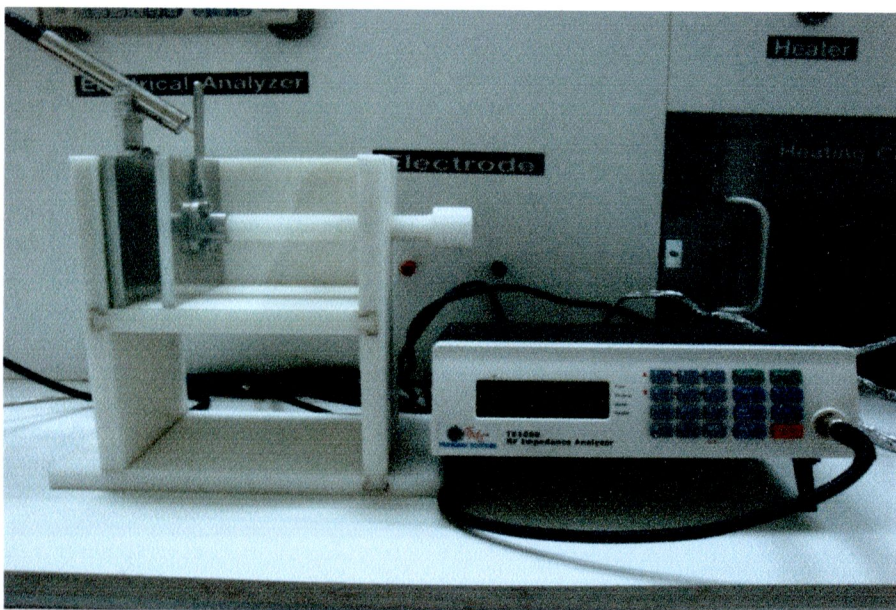
ภาพ 1 ตะแกรง Laboratory test sieve ที่มีช่องเปิดขนาด 2.80 มิลลิเมตร



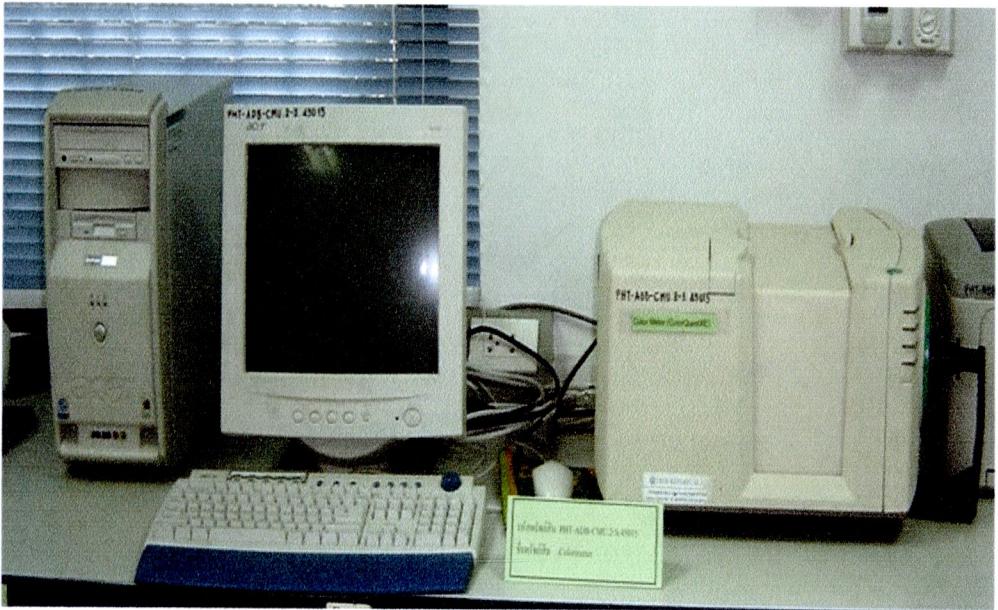
ภาพ 2 96 well plate ใช้ในการเลี้ยงดั่งัวเขียวตั้งแต่ระยะไข่จนถึงระยะหนอนและระยะดักแด้



ภาพ 3 เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency generator)
(Sairem, France) สร้างและปรับปรุงโดย Institute of Agriculture Engineering,
University of Göttingen, Germany ความถี่ 27.12 MHz



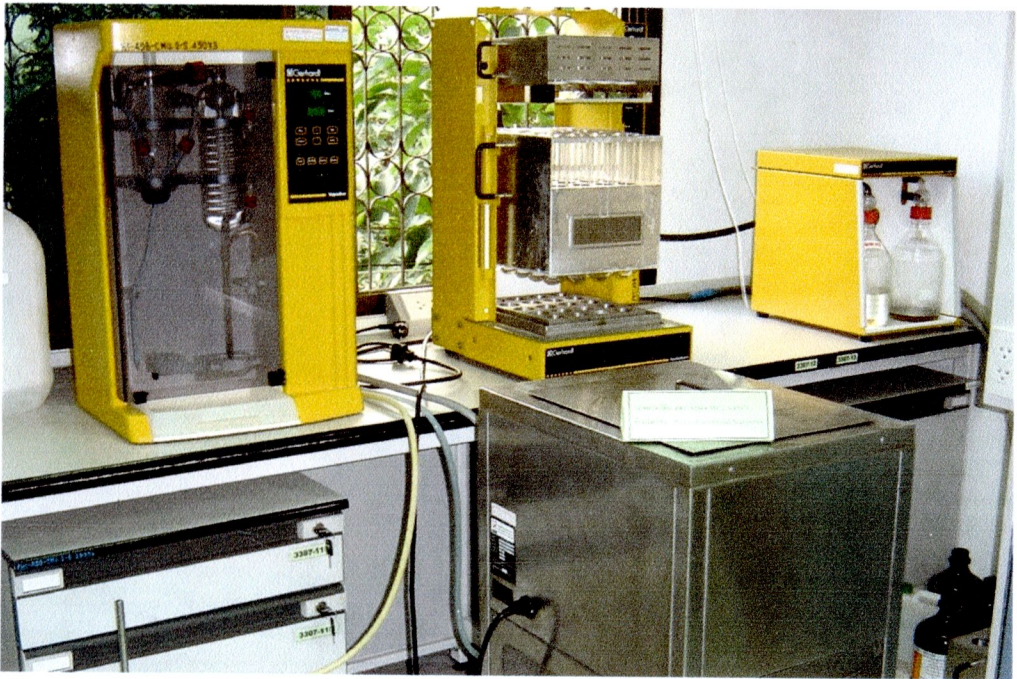
ภาพ 4 เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง (impedance analyzer) ตัวเก็บประจุแบบแผ่น
เฟลทกู่ขนานและหัววัดแบบ open-ended coaxial



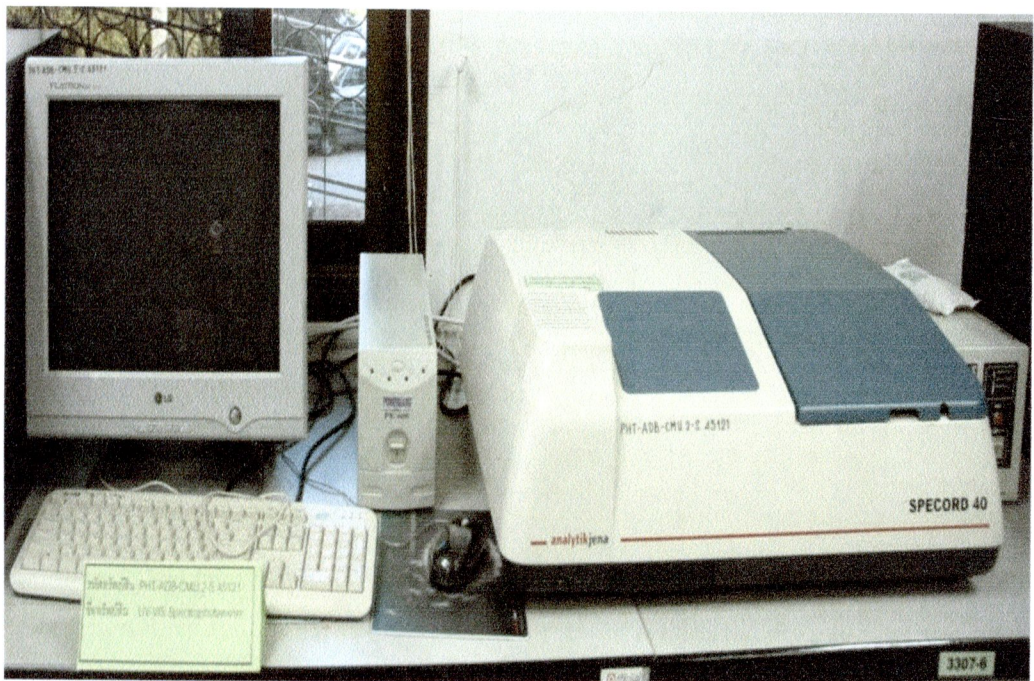
ภาพ 5 เครื่องวัดสี (Color Quest XE; HunterLab, USA)



ภาพ 6 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture analyzer; TA-Xtplus)



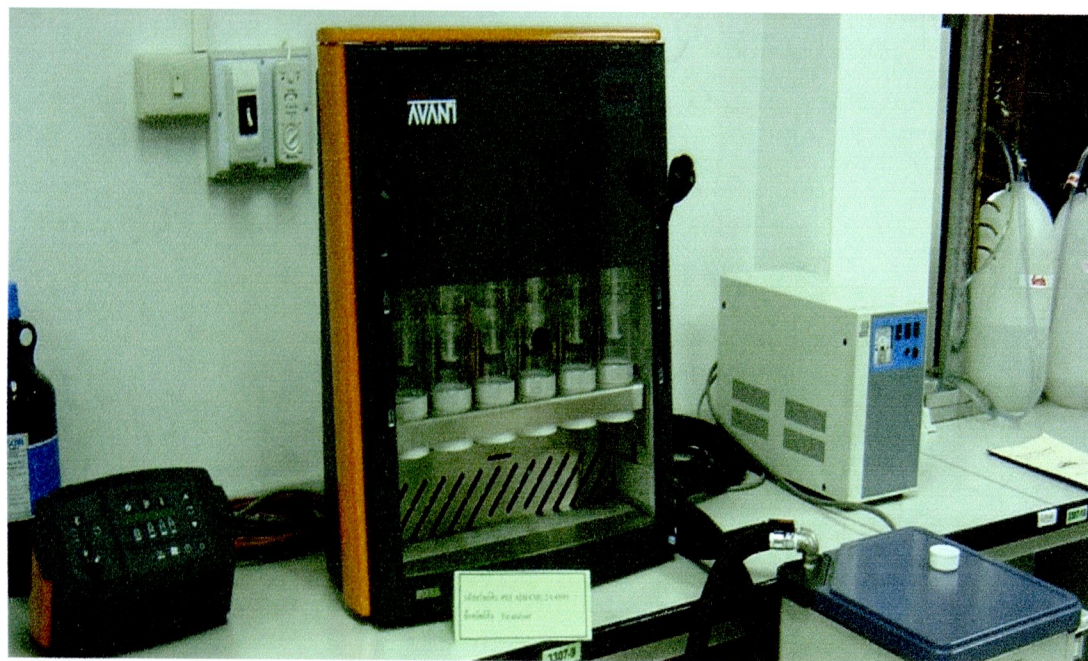
ภาพ 7 ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Protein Analyzer and Accessories)



ภาพ 8 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer; SPE CORD 40, Analytik jena AG)



ภาพ 9 เครื่องวิเคราะห์เส้นใยอาหาร (Fiber analyser; Fiber System E)



ภาพ 10 เครื่องวิเคราะห์ไขมันทั้งหมด (Fat analyser; AVANTI 2055, Foss Teactor, Sweden)



ภาพ 11 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดของผลิตภัณฑ์แป้ง (Rapid Visco Analyser, RVA-4)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นายภราดร ณ พิจิตร

วัน เดือน ปี เกิด

19 ตุลาคม 2529

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

สาขาวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

จากโรงเรียนพัทลุง จังหวัดพัทลุง

ปีการศึกษา 2547

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ปีการศึกษา 2552

