รายงานโครงการวิจัย

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและประเมินคุณภาพมันสำปะหลัง
Post Harvest Technology and quality evaluation in cassava

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย
จารุวรรณ บางแวก
Charuwan Bangwaek

ปี พ.ศ. 2561

รายงานโครงการวิจัย

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและประเมินคุณภาพมันสำปะหลัง
Post Harvest Technology and quality evaluation in cassava

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

จารุวรรณ บางแวก
Charuwan Bangwaek

ปี พ.ศ. 2561

ผู้วิจัย

จารุวรรณ บางแวก Charuwan Bangwaek
อนุวัฒน์ รัตนชัย Anuwat Rattanachai
อรวรรณ จิตต์ธรรม Orawan Jittham
จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ Jarurat Pumprasert
ภัควิไล ยอดทอง Phakwilai Yodthong

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ เพื่อหาแนวทางการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญสียผลผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพและเพิ่มมูลค่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดำเนินการที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร และแปลงเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา และนครสวรรค์ ตั้งแต่ปี 2560-61 ผลการทดลองสรุปได้ว่า การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ คือ **อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม**ที่ทำให้ปริมาณและคุณภาพสูง ต้องเก็บเกี่ยวไม่เกิน 44 วันหลังออกดอก ความชื้นเมล็ด ประมาณ 25-28% คุณภาพที่เปลี่ยนแปลงตามอายุเก็บเกี่ยว ถ้าเก็บเกี่ยวล่าช้า คุณภาพจะต่ำลง คือ ความหนืดสูงสุดของแป้งสุก โปรตีน น้ำตาล เมื่อเก็บเกี่ยวล่าประมาณ 51 วันหลังออกดอกจะทำให้มีการสูญเสียทั้งปริมาณและคุณภาพมากที่สุด **ความชื้นที่เหมาะสม**สำหรับการเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ไพโอเนียร์ ที 60 และพันธุ์แปซิฟิก 339 ควรเก็บที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 14% มีโอกาสพบสารแอฟลาทอกซินในปริมาณน้อย **วิธีลดความชื้น**ที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์3 โดยไม่ทำให้คุณภาพเมล็ดเปลี่ยนแปลงไปเพื่อเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน คือวิธีการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาสั้นที่สุดคือ 10 ชั่วโมง พบปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินต่ำที่สุด คือ 14.08 ppb ถึงแม้ว่าโครงสร้างเปลือกหุ้มเมล็ดจะถูกทำลายโดยความร้อนแต่ก็ไม่มีผลต่อโครงสร้างของเม็ดแป้งและคุณสมบัติทางเคมีอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง **การเก็บรักษา**เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในโรงเก็บที่ไม่สามารถควบคุมควบคุมได้ บรรจุเมล็ดในภาชนะรูปแบบต่าง ๆ คือ การกอง big bag ขนาด 500 กิโลกรัม กระสอบปุ๋ยพลาสติก กระสอบป่าน ขนาด 50 กิโลกรัม การสูญเสียด้านคุณภาพและปริมาณจะไม่ต่างกัน ควรเก็บนานไม่เกิน 1 เดือน เพื่อรักษาคุณภาพและปริมาณการสูญเสียต่ำ การเพิ่มมูลค่าทั้งแป้งจากเมล็ดและวัสดุเหลือใช้ คือ แป้ง ฟลาวข้าวโพดสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าได้ เช่น ขนมปังกรอบปราศจากกลูเตน สตาร์ชแป้งข้าวโพดสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ ประเภทเส้นเพื่อลดปริมาณแป้งถั่วเขียว และแป้งสาลีได้ เช่น ซ่าหริ่ม พาสต้า แต่ยังต้องผสมแป้งถั่วเขียว และแป้งสาลี ตามลำดับ แป้ง และวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด เช่น ซังและเปลือกข้าวโพดสามารถนำมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนในรูปของเอทานอลได้ แป้งข้าวโพดสามารถผลิตเอทานอลได้ 1.60-2.40% ใช้เอนไซม์ α-amylase และยีสต์ขนมปังในกระบวนการหมักและการย่อย ตามลำดับ ซังและเปลือกข้าวโพดควรใช้กรดซัลฟิวริคเข้มข้น 0.5% (v/v) ปรับสภาพตัวอย่างก่อนนำมาย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและหมักด้วยยีสต์ขนมปังซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้ 0.20-0.30% ซึ่งปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยกว่าแป้งข้าวโพด 4.60% เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้ง สามารถประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดได้ โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) สามารถนำมาใช้ โดยใช้หลักการสะท้อนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น คือ ประเมินความชื้น โปรตีน อมิโลส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส ค่าความหืน และปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพด และประเมินความชื้น ค่าความหนืดสูงสุด น้ำตาลซูโครส ค่าความเป็นกรดและปริมาณสารแอฟลาทอกซินในแป้งฟลาวข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร ประเมินโปรตีน อมิโลส กลูโคสในแป้งฟลาว และค่าความหนืดสูงสุด ค่าความเป็นกรดในเมล็ดข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ประเมินค่าความหืนในแป้งฟลาวข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร

ABSTRACT

The objectives of this project were to find out the appropriated postharvest technologies to reduce both quantity and quality losses of maize and increase yield and waste values. They were conducted at Postharvest and Processing Research Development Division, Department of Agriculture and maize farmer field at Nakorn Ratchsima and Nakorn Sawan province during 2017-2018. They were concluded that the appropriated postharvest technologies which reduced both quantity and quality losses in maize production were such as suitable harvesting date should not beyond 44 days after flowering (DAF) with moisture content about 25-28%. The qualities such as maximum viscosity, protein, sugar would be decreased. The max. of qualities losses if harvesting later than 51 DAF. Optimized moisture content was 14% for both varieties, Pioneer T60 and Pacific339, resulted to less aflatoxin contamination. Oven at 150°C for 5 mins and then oven at 50 °C until 14%of moisture content was the suited method for drying, 10 hours used. The grains from this method was getting low aflatoxin contamination (14.08 ppb) but qualities were not changed. It caused of seed coat texture changes. In storage, many types of container such as pile, big bag 500 kg, plastic fertilizer bag for 50 kg and sack for 50 kg, were not affected the quantity and qualities losses of maize if stored for 1 month. If stored longer, the qualities had loosened much. Moreover, added values for flour and maize waste should be processed to be some bakeries without gluten, but could not replace 100% of wheat or mungbean starch in biscuit and salim, pasta, etc. Ethanol could be produced from starch getting 1.60-2.40%, husk and cob of maize. Alpha amylase, sulfuric acid, yeast were used in alcohol processing. Near Infrared spectroscopy (NIRS) was effective method to evaluate moisture content, protein (%), glucose (%), sucrose (%), rancid (%), aflatoxin (ppb) in maize grain. Moisture content (%), %Protein, amylose content(%) were evaluated at wavelength 800-2500 nm. Rancid in maize flour was evaluated at wavelength 1000-2500 nm.

คำนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญของโลก มนุษย์รู้จักและนำมาใช้เป็นอาหารเป็นเวลานานแล้ว นำมาใช้เป็นอาหารและอาหารสัตว์ (วันชัย, 2542) ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของไทย ปี 2559 มี 5.85 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 5.72 ล้านตัน ในปี 2558 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.27 เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น การส่งออกของไทย ปี 2559 มีปริมาณ 0.58 ล้านตัน มูลค่า 4,855.34 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจาก 0.08 ล้านตัน มูลค่า716.74 ล้านบาท ในปี 2558 โดยปริมาณเพิ่มขึ้น 7.25 เท่า และมูลค่าเพิ่มขึ้น 6.77 เท่า เนื่องจากมีการส่งออกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไปตลาดอาเซียน เช่น ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และเวียดนาม ซึ่งเป็นประเทศคู่ค้าของไทยเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

การผลิตข้าวโพดเมล็ดแห้ง ซึ่งมีความต้องการในปริมาณมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี สำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ใช้เมล็ดเป็นอาหาร ซึ่งมีแป้ง โปรตีน และไขมัน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ แต่ละพันธุ์จะมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ทำให้สามารถทำผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ แต่เมื่อเก็บเกี่ยวแล้ว การจัดการที่ไม่เหมาะสม เช่น อายุเก็บเกี่ยวอ่อนไป หรือล่าไป การเก็บรักษาเมล็ดที่มีความชื้นไม่เหมาะสมจะทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน ปริมาณลดลง เกิดความสูญเสียในระหว่างขั้นตอนการจัดกรหลังการเก็บเกี่ยว จะทำให้ปริมาณผลผลิตเสียหายเป็นจำนวนมาก การสุกแก่ของข้าวโพดแบ่งได้ 2 ระดับ คือ การสุกแก่ทางสรีรวิทยา และการสุกแก่เก็บเกี่ยว การสุกแก่ทางสรีรวิทยาเป็นระยะที่ข้าวโพดสิ้นสุดการเจริญเติบโตและมีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุด โดยทั่วไปประมาณ 45 วันหลังออกไหม หรือสังเกตได้จากส่วนโคนเมล็ดจะมีเนื้อเยื่อสีดำ เรียกว่า black layer เกิดขึ้น ทำให้การส่งผ่านธาตุอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวโพดสู่เมล็ดสิ้นสุดลง เมล็ดจะมีความชื้นร้อยละ 35-40 หลังจากนั้นความชื้นภายในเมล็ดจะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนการเก็บเกี่ยวที่ระดับการสุกแก่เก็บเกี่ยว หมายถึง การเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ความชื้นของเมล็ดต่ำกว่าร้อยละ 25 ถ้าสังเกตภายนอกจะเห็นกาบหุ้มฝักเป็นเป็นสีน้ำตาลและแห้ง (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560)

การสูญเสียผลผลิตสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษา จนกระทั่งการขายให้แก่พ่อค้าในท้องถิ่น โดยการสูญเสียผลผลิตมีทั้งในรูปของปริมาณและคุณภาพ นอกจากนี้แล้วการสูญเสียผลผลิตยังอยู่ในรูปของการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร การสูญเสียความงอก

สาเหตุของการสูญเสียข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวโพดมีแป้ง โปรตีน และน้ำมันสูง ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมี ขึ้นกับพันธุ์และชนิดพืช เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ทำให้เกิดกลิ่นหืน มีโรค แมลงทำลาย เป็นต้น ถ้ามีการจัดการที่เหมาะสมก็จะสามารถลดความสูญเสียด้านปริมาณและคุณภาพผลผลิตได้ เช่น การร่วงหล่นและแตกหักของฝักละเมล็ดระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ การทำลายของแมลง นก หนู การทำลายของเชื้อรา และการปนเปื้อนของสารพิษ การสูญเสียน้ำหนักที่ขายได้ เป็นต้น

สาเหตุการสูญเสียผลผลิตข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยว

พันธุ์ พันธุ์ที่ต่างกัน อายุการเก็บเกี่ยว ลักษณะฝัก ขนาดเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดต่างกัน จะทำให้การจัดการต่างกัน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างกัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์3 เป็นพันธุ์ที่ถูกปรับปรุงพันธุ์โดยศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ กรมวิชาการเกษตร เกิดจากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์แท้พันธุ์ ตากฟ้า1 (พันธุ์แม่) และ สายพันธุ์แท้พันธุ์ ตากฟ้า3 (พันธุ์พ่อ) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์3 ให้

ผลผลิตเฉลี่ย 1,106 กิโลกรัมต่อไร่ มีความทนทานแล้งในระยะออกดอก ต้านทานโรคราน้ำค้างและราสนิม เก็บเกี่ยวด้วยมือง่าย (ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์, 2551) พันธุ์นครสวรรค์ 3 และพันธุ์ CP888 New ซึ่งเป็นพันธุ์อายุยาว มีอายุวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 54-57 วัน มีอายุวันออกไหมระหว่าง 55-57 วัน และความชื้นขณะเก็บเกี่ยวระหว่าง 26.61-28.81% ผลผลิตเฉลี่ย 1,236 และ 1209 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (สุริพัฒน์ และคณะ, 2554)

การจัดการที่ไม่เหมาะสม ทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยวมีความสำคัญ แต่การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น

เก็บเกี่ยวล่าช้า จะมีผลต่อการสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ซึ่งเกิดจากปัจจัยทางสรีรวิทยาและลักษณะทางสัณฐานวิทยา ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดนั้นอาจสูงเมื่อ เมื่อผลผลิตถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา หากเก็บเกี่ยวล่าช้า มีความชื้นเมล็ดต่ำกว่าร้อยละ 20 อาจทำให้น้ำหนักลดลง (Kaaya *et al*., 2005; Lauren *et al*., 2007)

วิธีการเก็บเกี่ยว

อายุเก็บเกี่ยวอ่อนหรือแก่เกินไป เครื่องมือในการเก็บเกี่ยว เช่น ขนาดเครื่องจักร ขบวนการของเครื่องจักร เช่น นวด กะเทาะ เป็นต้น ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะมีผลต่อการสูญเสียผลผลิตและคุณภาพผลผลิต ทำให้เมล็ดร่วงหล่นในแปลง เมล็ดแตกหักเสียหายจากใช้วิธีการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม

การเคลื่อนย้ายของความชื้นในกอง

ถ้าเก็บรักษาในสภาพกองขนาดใหญ่ เมื่อกองไว้นานๆ การหายใจของเมล็ดภายใน และความชื้นจากพื้นจะเกิดการสะสมความชื้นและความร้อนภายในกอง ทำให้เมล็ดภายเกิดการสะสมความร้อนในกองมีความชื้นสูง เชื้อราจะเจริญเติบโต จึงต้องคำนึงถึงการเคลื่อนย้ายความชื้นภายในกอง ในระยะแรกความชื้นเมล็ดอาจอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและสม่ำเสมอกันทั้งกอง (วีรวัฒน์, 2547) โดยอาจจะกลับกองทุก 3 เดือน

การขนส่ง ถ้าไม่มีการดูแลในระหว่างการขนส่ง ไม่มีภาชนะบรรจุ กองมากับรถขนส่ง ก็จะมีการร่วงหล่น มีการปนเปื้อนกับผลผลิตพืชอื่นที่รถเคยขนส่งมาก่อน หรือรถไม่สะอาดก็จะทำให้มีการปนเปื้อนโรคแมลงได้ ซึ่งการปนเปื้อนก็จะเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตเสียหายทั้งปริมาณและคุณภาพได้

การลดความชื้นเมล็ด เป็นปัจจัยที่สำคัญมาก เนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ทางชีววิทยาจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยความชื้น แต่ละกิจกรรมต้องการความชื้นที่แตกต่างกัน เช่น เมื่อเมล็ดมีความชื้นสูง 30-40% เมล็ดจะงอก ความชื้นต่ำกว่า 13% จะยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และไร ความชื้นต่ำกว่า 10% จะจำกัดการพัฒนาของแมลงในโรงเก็บทุกชนิด(พิเชษฐ์ และคณะ, 2547) ดังนั้นการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาข้าวโพดที่ความชื้นในเมล็ดที่เหมาะสม จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาคุณภาพของข้าวโพด

ลดความชื้นช้า ทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสารพิษแอฟลาทอกซิน เพราะเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน เมล็ดมีความชื้นสูง สภาพอากาศที่มีฝนตกตลอด ความชื้นอากาศสูง การลดความชื้นเป็นไปได้ยาก ทำให้เกิดเชื้อราสร้างพิษสารแอฟลาทอกซิน และการที่เมล็ดข้าวโพดดูดความชื้นเมื่อฝนตก และแห้งสลับกัน เป็นผลให้คุณภาพแป้งเสื่อม อัตราความงอกลดลงได้

วิธีการลดความชื้น ข้าวโพดที่ เก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ จะมีความชื้นที่สูงมากประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ ถ้าลดความชื้นช้าจะทำให้เกิดเชื้อราและมีการสร้างสารพิษได้ แต่การใช้อุณหภูมิสูงในการลดความชื้นทำให้ความชื้นลดลงได้อย่างรวดเร็วแต่ก็ส่งผลให้คุณภาพของเมล็ดมีการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นการลดความชื้นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญโดยวิธีการลดความชื้นแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การตากแดด เป็นวิธีที่นิยมกันทั่วไป เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มักมีปัญหาจากฝนที่ตกอยู่เสมอในช่วงต้นฤดูการเก็บเกี่ยวข้าวโพด การใช้เครื่องลดความชื้น คือการเป่าลมและการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้ผ่านเข้าไปในกองเมล็ดพืชการเก็บรักษา เมื่อเก็บข้าวโพดมาใหม่ๆ ความชื้นในเมล็ดยังสูง อัตราการหายใจสูง ทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น เป็นผลให้เกิดสภาวะที่

เหมาะสมสำหรับเชื้อราในการสร้างสารแอฟลาทอกซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงที่สุดสารหนึ่ง (โครงการศูนย์วิจัยการปรับปรุงคุณภาพข้าวโพด, 2535)

เชื้อรา มีมากกว่า 100 ชนิดที่เจริญบนเมล็ดพืช และแต่ละชนิดมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตแตกต่างกัน สามารถแบ่งเชื้อราออกได้เป็น 2 ประเภท ตามสถานที่เข้าทำลาย คือ เชื้อราในไร่ เจริญเติบโตและทำความเสียหายแก่เมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงขณะอยู่ในแปลง และจะหยุดเจริญเติบโตเมื่อถูกเก็บเกี่ยว เชื้อราในโรงเก็บ เข้าทำลายเมล็ดพืชขณะอยู่ในโรงเก็บ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความร้อนและกลิ่นเหม็นหืน เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี สูญเสียน้ำหนักแห้ง และที่สำคัญคือการสร้างสารพิษจากเชื้อราบางชนิด

สารแอฟลาทอกซินเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่งที่เกิดจากเชื้อรามีอันตรายต่อคนและสัตว์ เป็นสารพิษที่มีความคงทนไม่ถูกทำลายหรือทำให้เสื่อมสลายไปได้ง่ายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อรา คือ อาหาร เชื้อราสามารถเจริญเติบโตบนอาหารหรือเมล็ดพืชต่างๆ ความชื้น ความชื้นในอาหารต่ำทำให้เชื้อราเจริญและสร้างแอฟลาทอกซินได้น้อย ความชื้นในอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราและสร้างสารพิษประมาณ 70-90% (อมรา, 2547) อุณหภูมิ เชื้อราที่สร้างสารพิษเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างสารพิษ คือ 25-35 องศาเซลเซียส ออกซิเจน เชื้อราต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตถ้าได้ออกซิเจนที่เพียงพอทำให้เชื้อราเจริญและสร้างแอฟลาทอกซินได้ดี (อนงค์, 2546)

การกำหนดปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินในประเทศไทยที่มีการปนเปื้อนในผลิตผลการเกษตร จากประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ.2537 ชนิดวัตถุดิบข้าวโพดเมล็ด ข้าวโพดป่น ระดับที่กำหนดตามประกาศฯ ปริมาณแอฟลาทอกซิน 100 ppb ระดับที่กำหนดตามสหภาพยุโรป 20 ppb (กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์, 2544)

การควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อราและการสร้างสารพิษสามารถทำได้โดยการจัดการก่อนการเก็บเกี่ยว โดยการจัดระบบการปลูกให้เหมาะสม ป้องกันการเข้าทำลายของแมลงเพราะเมื่อเมล็ดพืชถูกทำลายเกิดรอยแผลทำให้เชื้อราเข้าทำลายได้ง่าย การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว การปนเปื้อนของเชื้อราสามารถเกิดได้ตลอดการผลิต การจัดการที่ดีสามารถช่วยป้องกันและลดการเจริญของเชื้อราได้ เช่นการลดความชื้นของผลผลิตโดยการตากแดด อบให้แห้ง การคัดเลือกวัตถุดิบที่มีคุณภาพ การรักษาความสะอาดเป็นต้น (โครงการศูนย์วิจัยการปรับปรุงคุณภาพข้าวโพด, 2535)

เมื่อความชื้นของเมล็ดลดลงมีผลทำให้อัตราการหายใจของเมล็ดลดลงลดการเกิดเชื้อราและการเข้าทำลายของแมลงในโรงเก็บซึ่งระดับความชื้นของเมล็ดที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดคือร้อยละ 12-14 (วันชัย, 2542; Hill, 1999) ปริมาณ แอฟลาทอกซินรวม (total aflatoxin) ที่ปนเปอนได้สูงสุดในข้าวโพดเมล็ดแห้งทุกชั้นคุณภาพ ให้เปนไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และปริมาณแอฟลาทอกซินรวมในเมล็ดข้าวโพดชั้นคุณภาพ 1 2 และ 3 ต้องมีปริมาณสูงสุดไม่เกิน 15 20 และ 50 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552)

การเก็บรักษา

สภาพการเก็บรักษา ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระยะเวลา ภาชนะบรรจุ เป็นต้น อัตราการลดลงจะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยสภาพแวดล้อมหลายอย่าง ในสภาพการเก็บรักษาควรมีอุณหภูมิต่ำเพราะจะไม่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเมล็ดหรือองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด เช่น แป้ง (อาจเกิดรสเปรี้ยว) ไขมัน (สาเหตุของการหืน) เป็นต้น และทำให้แมลงและโรคเจริญเติบโตช้า ไม่ทำให้เกิดสารพิษ

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการสูญเสียคุณภาพผลผลิต เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมอัตราของ

ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด เช่น ปฏิกิริยาทางเคมี การหายใจ และการระเหยของน้ำ นอกจากนี้แล้ว อุณหภูมิยังเป็นตัวควบคุมการเจริญของเชื้อรา และกิจกรรมต่าง ๆ ของแมลงศัตรูในโรงเก็บอีกด้วย เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น 2-3 เท่าตัว อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลงอยู่ระหว่าง 30-32 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส แมลงหลายชนิดจะชะลอการเจริญเติบโต และจะตายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนเชื้อราในโรงเก็บทุกชนิดเจริญได้ดีที่ 25-35 องศาเซลเซียส และจะหยุดเจริญเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

เกษตรกรส่วนมากมียุ้งไว้สำหรับเก็บฝักข้าวโพด และฝักข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวมาจะถูกนำเข้ายุ้งโดยไม่มีการจัดการใด ๆ ทั้งสิ้น ระยะการเก็บรักษาโดยเฉลี่ยนานประมาณ 1 เดือน แบบของยุ้งเก็บข้าวโพดจะมีหลายแบบ เช่น ทำคอกบริเวณใต้ถุนบ้าน หรือยุ้งแยกต่างหากจากบ้าน พื้นเสมอดินหรือยกพื้น พื้นยุ้งอาจทำด้วยไม้ไผ่ ไม้กระดาน หรือพื้นคอนกรีตและบางยุ้งไม่มีพื้นกองกับดินโดยตรง

เมื่อเก็บข้าวโพดมาใหม่ ๆ ความชื้นในเมล็ดยังสูง อัตราการหายใจสูง ทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น การเก็บรักษาข้าวโพดไว้ในยุ้ง อุณหภูมิภายในจะสูงกว่าภายนอก 2-5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มีมากถึง 90-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเชื้อราในการสร้างสารพิษแอฟลาทอกซินออกมา อัตราการลดความชื้นโดยธรรมชาติภายในกองข้าวโพดภายในยุ้งนั้น ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ต่อสัปดาห์และต้องใช้ระยะเวลานานกว่า 1 เดือน ความชื้นจึงจะลดลงถึงระดับ 14 เปอร์เซ็นต์

การปรับปรุงยุ้งเก็บข้าวโพดให้มีการถ่ายเทอากาศที่ดี สามารถระบายความร้อนและความชื้นออกจากกองข้าวโพดได้อย่างเพียงพอ จะทำให้บริเวณผิวของฝักข้าวโพดแห้งขึ้น ซึ่งช่วยลดการเกิดสารแอฟลาทอกซินได้ ส่วนการทำท่อระบายอากาศภายในยุ้ง พบว่าในทางปฏิบัติแล้วมีความยุ่งยากมาก

แมลงศัตรูในโรงเก็บจะเริ่มพบการเข้าทำลายหลังจากเก็บรักษาไว้นานประมาณ 1 เดือน และปริมาณการเข้าทำลายจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (วีรวัฒน์, 2553)

ภาชนะบรรจุสุญญากาศ ไม่มีก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่ช่วยในการหายใจ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีสูง เช่น การสลายแป้งเป็นน้ำตาลและเป็นแอลกอฮอล เป็นต้น เมื่อไม่มีก๊าซออกซิเจนเชื้อโรคและแมลงก็ไม่สามารถเจริญได้

ดังนั้นระยะเวลา และสภาพการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีผลต่อคุณภาพ จึงควรทำการศึกษาวิธีการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อลดการสูญเสีย โดยผลที่คาดว่าจะได้รับ คือ ได้วิธีการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสม และสามารถเผยแพร่สู่นักวิชาการ เกษตรกร ผู้ประกอบการ และ ผู้ส่งออก

การประเมินคุณภาพ

แป้งมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ วุ้นเส้น ซ่าหริ่ม ขนมจีน อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร การเลือกวัตถุดิบสำหรับผลิตแป้งและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ องค์ประกอบทางเคมีเป็นสิ่งสำคัญที่จะบอกถึงคุณภาพว่าเหมาะสมที่จะใช้ประโยชน์อย่างไร เช่น ความชื้นเมล็ด จะบอกว่าเมล็ดอยู่ในความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายถ้าเมล็ดมีความชื้นสูง ปริมาณไขมัน โปรตีน สารพิษแอฟลาทอกซิน อยู่ในสถานะใด เช่น การวิเคราะห์ปริมาณแป้ง (starch) (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550) วิธี โพลาริเมตริก (Polarimetric methods) (มอก. 52-2516) วิธีทางอ้อม ได้แก่ การย่อยแป้งเป็นน้ำตาล โดยกรด หรือเอนไซม์ แล้ววัดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เกิดขึ้น จากการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ ความสามารถในการรีดิวซ์ และการใช้เอนไซม์มาวัดน้ำตาลเป็นต้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) หรือการวิเคราะห์หาค่าความหนืดแป้ง ทำได้โดย การใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) เครื่องวัดความหนืดแบบหลอด (Capillary

viscometer) เครื่องบราเบนเดอร์ อมิโลกราฟ (Brabender amylograph) และ เครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) และการวิเคราะห์หาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง วิธีการวิเคราะห์ต่างๆ เหล่านี้เป็นวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อนต้องมีความชำนาญ ต้นทุนสูง ใช้สารเคมี ใช้เวลานาน ใช้อุปกรณ์ที่จำเพาะเจาะจง และทำลายตัวอย่าง

แต่การวิเคราะห์ค่อนข้างยุ่งยาก การวิเคราะห์แต่ละชนิดต้องมีเครื่องมือเฉพาะ ใช้สารเคมีที่อันตราย ใช้เวลานาน แต่ก็ยังมีความผิดพลาดต้องใช้คนที่มีความชำนาญในการวิเคราะห์ ในต่างประเทศมีการใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ในการประเมินปริมาณและคุณภาพผลผลิตได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว เช่น ใช้ในการวัดปริมาณโปรตีนในข้าว (Osborne *et al*., 1993) ถั่วเหลือง (Tajuddin *et al*., 2002) ปริมาณความหวานในมะม่วง (Saranwong *et al.* 2003) ส้ม (Kawano *et al*., 1993) และปริมาณเชื้อแบคทีเรียในกระหล่ำปลี (Suthiluk *et al*., 2005) มะเขือเทศ (Saranwong and Kawano, 2005) เป็นต้น การวัดปริมาณแป้งในข้าว (Bao *et al*., 2001) ประเมินปริมาณแป้งในน้ำเกรวี่ (Wei *et al*.,1996) วัดความเหลว (fluidity) ของแป้ง ที่ถูกลดขนาดด้วยกรด (Hoeil and Mark 2000) การวัดประเมินอมิโลสในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร (จารุวรรณ และคณะ, 2552)

การเพิ่มมูลค่า

การแปรรูปเป็นอาหารหรือพลังงานทดแทน เป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิต ควรศึกษาหาวิธีการ และสภาพการเก็บรักษาวัตถุดิบเพื่อทำให้มีประสิทธิภาพในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ

แป้งฟลาว เป็นแป้งที่มีส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ ครบถ้วน และแป้งสตาร์ช คือแป้งที่มีการกำจัดเอาโปรตีน ไขมัน เส้นใย จึงทำให้แป้งมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป การนำแป้งฟลาวและสตาร์ชมาทำผลิตภัณฑ์จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆกัน ทั้งส่วนต่างๆ ของข้าวโพด เช่น ลำต้น เปลือก ซัง ข้าวโพด สามารถนำมาแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ทำให้ปริมาณขยะลดลง เป็นการรักษาสภาพแวดล้อม

ขบวนการแปรรูป ซึ่งอาจต้องใช้ การล้าง การต้ม การอบ ที่ใช้อุณหภูมิสูง จะทำให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี และสารสำคัญ เปลี่ยนแปลงไป จึงควรหาวิธีการแปรรูปที่เหมาะสม

คุณค่าทางอาหารของข้าวโพด

มีแป้ง 65% เยื่อใยต่ำ มีพลังงานแบบเมตาโบไลซ์ (ME) สูงมีไขมัน 3-6% มีกากไขมันไม่อิ่มตัวสูง มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดไขมันเหลวในสัตว์ได้ โปรตีนรวม 8-13% มีอยู่ 2 ชนิด คือซีนหรือ เซอีน (Zein) ซึ่งพบในเนื้อใน (Endosperm) ในปริมาณมาก แต่โปรตีนชนิดนี้ขาด (Lysine) และ (Tryptophan) ส่วนกลูเทนิน จะพบใน Endosperm น้อย และคัพภะ มีอยู่บ้าง แต่มีส่วนประกอบของ EAA ดีกว่า Zein เพราะมีไลซีนและ ทริปโตเฟน ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูงกว่า (พันทิพา, 2547)

แป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพด (corn flour อาจเรียกว่า maize flour) เป็นแป้ง (flour) ที่ผลิตจากเมล็ดข้าวโพดโดยการบดแห้ง (dry milling) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีไขมันและโปรตีนสูงกว่าสตาร์ซข้าวโพด (corn starch) ซึ่งมีแต่คาร์โบไฮเดรต หรือสตาร์ชเท่านั้น แป้งข้าวโพดใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อแปรรูปเป็นอาหาร เช่น แผ่นข้าวโพดกรอบ (tortilla chip) (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2561)

การแปรรูปข้าวโพด

แป้งข้าวโพด

ได้จากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้ว ผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวโพดมีอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น ขนมปังข้าวโพด หรือนำไปทำขนม ใช้เป็นแป้งข้าวโพดซุปผักหรือเนื้อทอด หรือจะใช้เป็นน้ำซุปข้นราดบนอาหารหลายชนิด แป้งที่ได้จากการโม่เมล็ดข้าวโพดแบบแห้ง เรียกว่า คอร์นมีล (cornmeal) เมื่อร่อนแยก

ขนาดและแยกเอ็มบริโอออก เรียกว่า คอร์นฟลาวร์ (corn flour) มีโปรตีน และแร่ธาตุสูง เหมาะที่จะใช้ประกอบอาหาร คอร์นสตาร์ช (cornstarch) ได้จากการนำเมล็ดข้าวโพดแช่น้ำเป็นเวลา 36-50 ชั่วโมง เพื่อให้เปลือกนุ่ม แล้วนำเมล็ดไปบดหยาบเพื่อแยกเปลือกชั้นนอกออก แล้วผ่านไปยังถังแช่น้ำเพื่อแยกเอ็มบริโอออก จะได้แป้งและโปรตีนกลูเตนได้จากการโม่เปียก โดยต้องแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำที่มีส่วนผสมของกำมะถันเผาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปผ่านเครื่องเหวี่ยง จะได้แป้งในรูปสารแขวนลอยเข้มข้นที่มีโปรตีนกลูเตน (gluten) ที่เป็นเม็ดขนาดเล็กปนอยู่เล็กน้อย เมื่อนำสารแขวนลอยมาปั่นแยกอีกครั้งด้วยเครื่องเหวี่ยงแรงสูงล้างแป้ง แล้วทำให้แห้งจะได้คอร์นสตาร์ช คอร์นสตาร์ชช่วยทำให้อาหารข้น (thickener) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ ซอส ใช้เป็นแป้งรีดผ้าและใช้ในอุตสาหกรรมการทอผ้า และผลิตเด็กซ์ตริน

น้ำมันข้าวโพด

เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้ว ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว และมีกรดไขมันที่จำเป็นอยู่มาก น้ำมันข้าวโพดจัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี และมีประโยชน์ ในการผลิตต้องแยกเอมบริโอออกจากเมล็ดโดยการนึ่งและบดก่อน เสร็จแล้วจึงนำเอมบริโอมาบีบหรือสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

น้ำมันข้าวโพดมีสีเหลืองและกลิ่นหอม เมื่อเย็นจะไม่มีกลิ่น แต่ถ้าได้รับความร้อนมากขึ้นจะเริ่มมีกลิ่นของข้าวโพดบางๆ หากต้องการจะปรุงอาหารประเภทผัด น้ำมันข้าวโพดก็จะช่วยทำให้อาหารมีรสชาติอร่อยโดยยังคงคุณค่าของสารอาหารที่จำเป็น และสารธรรมชาติที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เพราะเป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated vegetable oil) เช่นเดียวกับน้ำมันงา น้ำมันเมล็ดคำฝอย น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น

ด้วยความที่น้ำมันข้าวโพดเป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน การบริโภคน้ำมันข้าวโพดจึงเป็นดีต่อสุขภาพ เพราะจะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดอุดตัน โรคหัวใจ และโรคมะเร็งได้

น้ำเชื่อมข้าวโพด

เป็นน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม และขนมหวานต่าง ๆ เป็นสารให้รสหวาน ที่ผลิตโดยนำสตาร์ชข้าวโพดมาทำการไฮโดรไลซ์บางส่วนด้วยกรดที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นของเหลวข้นหนืดที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส มอลโทส เดกซ์ทริน มอลโทเด็กซ์ทริน และพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ degree of hydrolysis จะขึ้นอยู่กับการนำน้ำเชื่อมข้าวโพดไปใช้ประโยชน์ เช่น น้ำเชื่อมข้าวโพดที่พันธะถูกไฮโดรไลซ์ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ จะมี dextrose equivalent (DE) ระหว่าง 40-60 มีรสหวานประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส หาก degree of hydrolysis เพิ่มขึ้นน้ำเชื่อมข้าวโพดที่ได้จะมีรสหวานมากขึ้น (ปิยนันท์, 2561)

ผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ

ขนมปังกรอบ (Biscuit) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ทำจากแป้งสาลีเป็นหลักกับส่วนประกอบอื่น อาจปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยหรือไม่ก็ได้ มีรูปร่างขนาด ชื่อและวิธีการทำต่างๆกัน ขนมปังกรอบแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ แครกเกอร์ และคุกกี้ แต่ละประเภทแบ่งเป็น 2 ชนิดคือชนิดธรรมดาและชนิดปรุงแต่ง (มอก., 2538) โดยปกติในการทำผลิตขนมปังกรอบใช้แป้งสาลีเป็นหลัก ซึ่งแป้งสาลีจะมีกลูเตนที่เกิดจากการรวมตัวของโปรตีนในแป้งกับน้ำ ดังนั้น กลูเตนเป็นสิ่งที่มีลักษณะยางยืดหยุ่นได้ มีความเหนียวเป็นตัวกักก๊าซคาร์บอไดออกไซด์ทำให้แป้งโดพองตัวในเวลาหมัก คือตัวเนื้อขนมปัง (อรอนงค์ นัยวิกุล,2540)

กลูเตนเป็นโปรตีนส่วนผสมระหว่าง gliadins และ glutenis พบในข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เล่ย์ ในขณะเดียวกันกลูเตนเป็นสารที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ได้จึงเรียกโรคนี้ว่า โรคซิลิเอ็ค ดีซิส (Celiac disease) ซึ่งโรคนี้มีอาการท้องเดิน ปวดท้อง มีก๊าซในลำไส้ ท้องอืดเรื้อรัง ซีด อุจจาระมีกลิ่นผิดปกติหรือมีไขมัน น้ำหนักลด

หรือเพิ่ม โลหิตจางอย่างไม่มีสาเหตุ ปวดกระดูก หรือข้อ ชาเสียวซ่าที่ขา กล้ามเนื้อเป็นตะคริว ชัก ฟันเหลือง หรือขาดเคลือบฟัน ขึ้นผื่นคัน เรียกว่า dermatitis herpetiformis (โรคผิวหนังอักเสบ ที่เกิดคล้ายเม็ดพุพอง) จากการค้นพบโรคดังกล่าวเป็นวินิจฉัยของ Dr. Griffin Rodger จาก National Institute of Diabetes and and Digestive and Kidney Diseases ซึ่งส่วนมากเป็นโรคที่พบในแถบยุโรป อเมริกา แต่ในเอเชีย เช่น ไทย จีน ญี่ปุ่น มีแนวโน้มรับประทานแบบตะวันตกมากขึ้น เช่น รับประทานขนมปัง เกี๊ยวซ่า แผ่นเกี๊ยว หรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งสาลีเป็นส่วนผสม มีโอกาสแพ้กลูเตนได้ (Groce, 2009) ทางผู้วิจัยได้ศึกษาผลิตบิสกิตที่ใช้แป้งที่ไม่มีกลูเตน (gluten free) แทนแป้งสาลี เช่น แป้งข้าว แป้งข้าวโพด แป้งมัน แป้งมันฝรั่ง แป้งท้าวยายม่อม แป้งถั่วเหลือง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อผลิตเฉพาะให้ผู้บริโภคที่เป็นโรคแพ้กลูเตนจากแป้งสาลี ซึ่งได้ต่อยอดจากรายงานผลการวิจัยเรื่องการศึกษาสูตรที่เหมาะสมสำหรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบิสกิตสมุนไพร ของ ชมดาว (2552)

วรรณวรางค์ และ กิตติพงษ์ (2545) ได้ทดลองผลิตคอร์นชิพจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าการใช้น้ำและแป้งข้าวโพดในปริมาณ 60 และ 37 % ตามลำดับ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวที่เหมาะสม ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

ดังนั้นจึงทำการศึกษาวิธีการแปรรูปแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชข้าวโพดให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร และผลิตบิสกิตที่ใช้แป้งที่ไม่มีกลูเตน (gluten free) แทนแป้งสาลี เพื่อใช้แป้งข้าว แป้งมัน แป้งถั่วเหลือง หรือแป้งอื่น ๆ ที่มีอยู่ในประเทศมาทดแทนแป้งสาลี และลดการนำเข้าโดยเพิ่มมูลค่าแป้งสาลี โดยผลที่คาดว่าจะได้รับ คือ ได้วิธีการแปรรูปแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชข้าวโพดให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร และสามารถเผยแพร่สู่นักวิชาการ และเกษตรกร การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตสูตรบิสกิตที่ใช้แป้งข้าวโพดฟลาวและแป้งข้าวโพดสตาร์ช และเพื่อเพิ่มมูลค่าแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อหาวิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียทั้งปริมาณและคุณภาพ
- เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
- เพื่อนำส่วนต่างๆ ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อทำผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร และพลังงานทดแทน
- เพื่อนำเอาเทคนิค NIRS มาใช้ประเมินคุณภาพเมล็ดโดยไม่ทำลายตัวอย่าง
- เพื่อเผยแพร่และขยายผลต่อเกษตรกร นักวิชาการ ผู้ประกอบการ และบุคคลทั่วไป

.

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

กิจกรรมที่ 1 การจัดการหลังเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียด้านปริมาณและคุณภาพข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การทดลองที่ 1.1 อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่าง ๆ(2559-2560)

1. ข้าวโพดพันธุ์ นครสวรรค์3 และ CP 888 New
2. ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 และ ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0
3. สารเคมีควบคุมวัชพืชอาทราซีน และอะลาคลอร์

การทดลองที่ 1.2 ความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์(2559-2560)

1. เมล็ดข้าวโพด พันธุ์ไพโอเนียร์ ที 60 และ พันธุ์แปซิฟิก 339
2. กระสอบพลาสติก

3. ตู้อบ (oven)

4. เครื่องชั่ง

การทดลองที่ 1.3 วิธีการลดความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ปี 2560)

1.ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3

2.ตู้อบความร้อนไฟฟ้า

3. โรงเรือนและตะแกรงตาก

4. ถุงปุ๋ย

5. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพ

การทดลองที่ 1.4 วิธีและระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดที่เหมาะสมในข้าวโพด (ปี 2559-2560)

1. เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2. กระสอบปุ๋ย

3. กระสอบป่าน

4. ถุง big bag

5. อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ เช่น เครื่องวิเคราะห์ความหนืด เครื่องวิเคราะห์ไขมัน เมทานอล กรดซัลฟูริค เป็นต้น

6. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

กิจกรรมที่ 2 การแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การทดลองที่ 2.1 วิธีการแปรรูปแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชข้าวโพดให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร (ปี 2561)

1. เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ CP508

2. เครื่องบดตัวอย่าง

3. อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ เช่น เครื่องวิเคราะห์ความหนืด เครื่องวิเคราะห์ไขมัน เมทานอล กรดซัลฟูริค เป็นต้น

4. อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำผลิตภัณฑ์

5. เครื่องวัดสี

6. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyser: TAXT.plus, Stable Micro Systems, USA.) โดยใช้หัว Cylinder (P/25) โดยใช้ Mode Force in compression, Pre-test Speed 1.0 mm/s, Test Speed 0.5 mm/s, Post Test Speed 10.0 mm/s, Distance 2mm

การทดลองที่ 2.2 วิธีการแปรรูปส่วนต่างๆของข้าวโพดเพื่อเป็นพลังงานทดแทน (ปี 2560-2561)

กิจกรรมที่ 3 การประเมินคุณภาพและสารสำคัญในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

การทดลองที่ 3.1 การประเมิน ความชื้น ปริมาณโปรตีน ความหนืด อมิโลส น้ำตาล คุณภาพน้ำมัน ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ในเมล็ดและแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (ปี 2559-2561)

1. เมล็ดข้าวโพดและแป้งฟลาวข้าวโพด

2. เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer จากบริษัท FOSS รุ่น 6500

3. ตู้อบ เครื่องบด เครื่องชั่ง เครื่องแก้ว

4. อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์โปรตีน ความหนืด อมิโลส น้ำตาล น้ำมัน และสารแอฟลาทอกซิน

วิธีการ

กิจกรรมที่ 1 การจัดการหลังเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียด้านปริมาณและคุณภาพข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การทดลองที่ 1.1 อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่าง ๆ (2559-2560)

1. ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนกรกฎาคม และเก็บเกี่ยวเดือนตุลาคม ปี 2559 โดยวางแผนการทดลองแบบ Split plot โดยมีปัจจัยหลัก คือ พันธุ์จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ นครสวรรค์3 (พันธุ์ของกรมวิชาการเกษตร) และ CP 888 New (พันธุ์การค้า) มีปัจจัยรอง คืออายุเก็บเกี่ยว 4 ระยะ คือ 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอกตัวผู้ จำนวน 4 ซ้ำ ปลูก 2 แห่ง คือ จังหวัด นครสวรรค์ และ นครราชสีมา เตรียมพื้นที่ปลูกไถ 1 ครั้ง ตากดิน 7-10 วัน พรวน 1 ครั้ง กำจัดวัชพืชออกจากแปลง ปลูกด้วยแรงงานคน ใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร ใช้เมล็ดประมาณ 4 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใช้จอบขุดเป็นหลุม หยอดเมล็ดหลุมละ 3 เมล็ด เมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 14 วัน ถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น
2. ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นหลุมพร้อมปลูก และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ โรยข้างแถวหลังปลูก 20-25 วัน แล้วพรวนดินกลบ
3. การใช้สารควบคุมวัชพืช พ่นอาทราซีน อัตรา 200 กรัมต่อไร่ อะลาคลอร์ อัตรา 300 ซีซีต่อไร่พ่นคลุมดินหลังปลูก ขณะดินมีความชื้น
4. เก็บเกี่ยวตามกรรมวิธี บันทึกข้อมูลน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นเมล็ดร้อยละ14 พื้นที่เก็บเกี่ยว 9 ตารางเมตรต่อซ้ำ นำผลผลิตมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้นเมล็ด โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า อมิโลส ความหนืดสูงสุด ปริมาณและชนิดน้ำตาล สารแอฟลาทอกซิน

การทดลองที่ 1.2 ความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์(2559-2560)

1. วางแผนการทดลองแบบ Split plot โดยมีปัจจัยหลัก คือ ความชื้นเมล็ด 4 ระดับ คือ ความชื้นเมล็ดร้อยละประมาณ 10 14 16 และ 18 (ทดลองปี 2559) และเพิ่มระดับความชื้นเมล็ดเป็น 5 ระดับ คือ ความชื้นเมล็ดร้อยละประมาณ 10 12 14 16 และ 18 (ทดลองปี 2560) ปัจจัยรอง คือ อายุการเก็บรักษา นาน 12 เดือน จำนวน 4 ซ้ำ
2. นำข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เก็บเกี่ยวทันทีจากจังหวัดนครราชสีมา ปี 2559 ทดลองพันธุ์ไพโอเนียร์ ที 60 และ ปี 2560 ทดลองพันธุ์แปซิฟิก 339 จำนวนประมาณ 1,000 กก. นำมาวัดความชื้นเมล็ดเริ่มต้น นำไปลดความชื้นด้วยการตากแดดจนได้ความชื้นตามกรรมวิธี นำเมล็ด บรรจุในถุงกระสอบพลาสติกปิดสนิท จำนวน 3 กก.ต่อถุง เก็บในสภาพอุณหภูมิห้อง ที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
3. สุ่มตัวอย่างทุกเดือน นำตัวอย่างของแต่ละกรรมวิธี หาน้ำหนัก ความชื้น วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า อมิโลส ความหนืด ปริมาณและชนิดน้ำตาล สารแอฟลาทอกซิน

การทดลองที่ 1.3 วิธีการลดความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ปี 2560)

วางแผนการทดลองแบบ Split plot โดยมีปัจจัยหลัก คือ วิธีการลดความชื้นเมล็ด 4 แบบ และปัจจัยรอง คือ อายุการเก็บรักษา 6 เดือน จำนวน 4 ซ้ำการทดลอง ทำในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์3

1. เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ นำมาลดความชื้นเมล็ดทันทีโดยวิธีการต่างๆ 4 แบบ คือ

1) ตากแดด 2) อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 3) อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 4) อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทุกกรรมวิธีทำจนเมล็ดมีความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ บันทึกระยะเวลาในการอบแต่ละกรรมวิธี เก็บเมล็ดในถุงปุ๋ยปิดสนิทกรรมวิธีละ 24 ถุง ๆละ 2 กก. เก็บในสภาพอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6เดือน

2. ทุก 2 เดือนตรวจสอบแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรถ้าพบว่ามีแมลงปนเปื้อนทำการรมด้วยฟอสฟีน ความชื้นเมล็ด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคุณภาพ คือ อมิโลส สารแอฟลาทอกซิน เป็นต้น

การทดลองที่ 1.4 วิธีและระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดที่เหมาะสมในข้าวโพด (ปี 2559-2560)

1.วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยมีวิธีการเก็บรักษาแบบต่าง ๆ 4 แบบ และระยะเวลาการเก็บรักษา จำนวน 4 ซ้ำ ทำการทดลอง ในโรงเก็บของเอกชน

2. เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลดความชื้นเมล็ดนำเมล็ดไปเก็บรักษา 4แบบ คือ 1. กองเมล็ดขนาด 1 ตัน จำนวน 1 กอง 2. บรรจุกระสอบป่าน กระสอบละ 50 กก. จำนวน 50 กระสอบ3. บรรจุกระสอบปุ๋ย กระสอบละ 50 กก. จำนวน 50 กระสอบ4. บรรจุถุง big bag ถุงละ 500 กก. จำนวน 2 ใบ นำกระสอบวางบนพาเลท เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน บันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเก็บ อุณหภูมิภายในกอง

3. ทุกเดือนสุ่มตัวอย่างโดย เมล็ดข้าวโพดที่บรรจุในกระสอบปุ๋ย กระสอบป่าน ถุง big bag สุ่มถุงละ 4 จุด ๆ ละ 1 กก. การกองสุ่มตัวอย่างจำนวน 4 จุด จุด ๆ ละ 1 กก. นำมาวัดความชื้นเมล็ด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคุณภาพแป้งในเมล็ด คือ อมิโลส ความหนืดแป้งสุก และสารแอฟลาทอกซิน

กิจกรรมที่ 2 การแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การทดลองที่ 2.1 วิธีการแปรรูปแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชข้าวโพดให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร (ปี 2561)

วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีอัตราส่วนของแป้งเป็นปัจจัย โดย

1.นำเมล็ดข้าวโพดมาทำเป็นแป้งฟลาวโดย อบเมล็ดให้แห้งที่ความชื้นร้อยละ 12 นำไปบดให้ละเอียดร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh

การทำแป้งสตาร์ชโดย นำแป้งฟลาวมาแช่น้ำพร้อมกวนทิ้งไว้ 1 คืน ให้แป้งตกตะกอน เทน้ำใสทิ้ง ทำเช่นนี้ 2-3 ครั้ง นำแป้งที่ตกตะกอนอบให้แห้งเหลือความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 นำไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh

2.นำแป้งทั้ง 2 ประเภท ทำผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารแบบต่าง ๆ

ขนมปัง

- นำแป้งข้าวโพดฟลาวผสมกับแป้งสาลีในอัตราส่วน คือ 0:10 1:9 2:8 3:7 4:6 5:5 6:4 7:3 8:2 9:1

และ 10:0 โดยปรับส่วนผสมอื่นตามคุณสมบัติขนมปัง

แพนเค้ก

- นำแป้งข้าวโพดฟลาวผสมกับแป้งสาลีในอัตราส่วน คือ 0:10 1:9 2:8 3:7 4:6 5:5 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 10:0 โดยปรับส่วนผสมอื่นตามคุณสมบัติแพนเค้ก

ขนมปังกรอบปราศจากกลูเตน

- ทดลองสูตรพื้นฐานผลิตขนมปังกรอบ (บิสกิต) โดยดัดแปลงสูตรของชมดาว (2552) โดยมี

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ แป้งมันฝรั่ง 10-13 % แป้งข้าวเจ้า 17-30% แป้งข้าวโพดสตาร์ช 5-11 % แป้งข้าวโพดฟลาว 5-11% นมสด 15-25% เนยขาวจากรำข้าว 8-12% และปัจจัยคงที่ ได้แก่ แซนแทนกัม ผงฟู เบคกิ้งโซดา เกลือ น้ำตาลทรายป่น ไข่ไก่เบอร์ 2

ผลิตภัณฑ์ประเภทเส้น

- นำแป้งสตาร์ชข้าวโพดผสมกับแป้งสตาร์ชถั่วเขียวในอัตราส่วน 0:10 1:9 2:8 3:7 4:6 5:5 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 10:0 นำไปทำวุ้นเส้น ลอดช่อง ซ่าหริ่ม ตามวิธีการของแต่ละผลิตภัณฑ์

- นำแป้งสตาร์ชข้าวโพดผสมกับสาลีในอัตราส่วน 0:10 1:9 2:8 3:7 4:6 5:5 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 10:0 นำไปทำเส้นพาสต้า

-วัดคุณภาพผลิตภัณฑ์ คือ คุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น สี ความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค จำนวนไม่ต่ำกว่า 25 คน

การทดลองที่ 2.2 วิธีการแปรรูปส่วนต่าง ๆของข้าวโพดเพื่อเป็นพลังงานทดแทน (ปี 2560-2561)

1. การเตรียมตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวโพดจากโครงการปรับปรุงพันธ์ จากศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ จำนวน 11 สายพันธุ์ ดังนี้ Pacific339, Pacific559, CP888, CP301, S328, DK7979, DK6818, Suwan4452, Nakonsawan3, P 4546 และ P4544 ซัง และเปลือกจำนวน 2 สายพันธุ์ คือ Nakonsawan3 และCP888 นำมาอบให้แห้ง บดให้ละเอียด เพื่อเตรียมวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณเอทานอล

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต ความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน น้ำมัน เถ้า เยื่อใย ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005) น้ำตาลกลูโคส ซูโครสและฟรุกโตส ด้วยเครื่อง HPLC

3. การผลิตเอทานอลจากแป้งข้าวโพด

3.1 การย่อยและการหมักที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล

ทดสอบเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งข้าวโพดโดยใช้แอลฟาอมิเลส (α-amylase) จาก *Bracillus licheniformis*(Sigma, Aldrich) และ เอนไซม์จาก *Aspergillus flavas* ชนิดที่ไม่สร้างสารพิษ ซึ่งผลิตที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสารพิษจากเชื้อรา กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่ความเข้มข้น 10^{-6} โดยชั่งตัวอย่างแป้งฟลาวข้าวโพดสายพันธุ์ Nakonsawan3 ตัวอย่างละ 5 กรัม เติมเอนไซม์ α-amylase ปริมาตร 500 ไมโครลิตร (µl) และเอนไซม์จาก *Aspergillus* ปริมาตร 200 300 500 และ 600 µl ตามลำดับ เขย่าที่ 150 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศา จากนั้นนำไปวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ทดสอบประสิทธิภาพของยีสต์ 4 ชนิดในการหมักแป้งข้าวโพด ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ผู้ผลิตเอทานอลนิยมใช้ คือยีสต์ขนมปัง (Baker's yeast), *Saccharomyces cerviceae* BAwine ซึ่งคัดเลือกพันธุ์โดยห้องปฏิบัติการแปรรูป กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร, M1 และ EDM โดยยีสต์ขนมปังเติมปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 33 ppb ส่วน *Saccharomyces cerviceae* BAwine, M1 และ EDM ที่ความเข้มข้น 20 ppb ตามคำแนะนำ และใช้เวลาในการหมัก 48 ชั่วโมง วัดปริมาณเอทานอลด้วย Ebulliometer เมื่อได้วิธีที่เหมาะสมทำการผลิตเอทานอลจากแป้งฟลาวข้าวโพดทั้ง 11 สายพันธุ์

4. การผลิตเอทานอลจากซังและเปลือกข้าวโพด

4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพก่อนการย่อย และการหมักซังและเปลือกข้าวโพด

นำส่วนของซังและเปลือกข้าวโพดที่บดละเอียด นำมาผลิตเอทานอลด้วยวิธีการดัดแปลงจาก Kahar และคณะ (2010) โดยชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการปรับสภาพซังและเปลือกข้าวโพดก่อนการย่อยโดยการปรับสภาพตัวอย่างก่อนการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.5 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด นาน 20 นาที กรองเอาสารละลายออก จากนั้นนำมาปรับสภาพด้วย Citric buffer ที่ PH=5 และนำมาย่อยด้วยเอนไซม์ Cellulase จาก *Aspergillus niger* (Sigma, Aldrich) ที่ความเข้มข้น 0.024g/น้ำ 1 ลิตร จากนั้นเขย่าที่ 150 rpm เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกก่อนการย่อย

4.2 ศึกษาผลของยีสต์และระยะเวลาในการหมักต่อปริมาณเอทานอล

ศึกษาผลของยีสต์และระยะเวลาในการหมัก โดยทำการทดลองในยีสต์ 2 ชนิด คือยีสต์ขนมปัง (baker's yeast) และ *S. cereviciae* BAwine ในตัวอย่างซังและเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก 0.5 โดยปริมาตร (v/v) และย่อยด้วยเอนไซม์ cellulase จากกรรมวิธี 4.1 โดยการเติมยีสต์ขนมปังที่ความเข้มข้น 33 ppb และ *S. cereviciae* BAwine ที่ความเข้มข้น 20 ppb ปริมาตร 2 มิลลิลิตร โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 24 48 72 96 และ 120 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองและวัดปริมาณเอทานอลที่ได้

กิจกรรมที่ 3 การประเมินคุณภาพและสารสำคัญในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

การทดลองที่ 3.1 การประเมิน ความชื้น ปริมาณโปรตีน ความหนืด อมิโลส น้ำตาล คุณภาพน้ำมัน ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ในเมล็ดและแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (ปี 2559-2561)

1. การเตรียมตัวอย่าง รวบรวมตัวอย่างเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดที่มีคุณภาพต่างๆกันจำนวน 250 ตัวอย่าง นำไปวัดการดูดซับแสงโดยบรรจุในเซลสำหรับวัดการดูดซับแสงของเครื่อง Near Infrared Spectrometer รุ่น 6500 โดยใช้หลักการสะท้อนแสง (Reflection) ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี nitrogen combustion (AOAC, 2006) วิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brabender Micro Visco-Amylo-Graph อมิโลส (Juliano, 1979) น้ำตาล ด้วยเครื่อง HPLC วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันจากค่า Acid value (AV) และ Peroxide value (PV) (AOAC, 1995) และสารแอฟลาทอกซินด้วย ELISA test kit

3. สร้างสมการ สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler® version 9.7 (CAMO, Oslo, Norway) พร้อมทั้งปรับปรุงสมการ โดยคัดเลือกสมการที่มีค่าความสัมพันธ์ (R) สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration: SEC) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสมการประเมินต่ำ (SEP) ต่ำ

4. ทดสอบสมการ โดยนำสมการไปใช้ประเมินปริมาณความชื้น โปรตีน ความหนืด อมิโลส น้ำตาล คุณภาพน้ำมันและสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด

ระยะเวลา ตค. 2559 –กย. 2561

สถานที่ดำเนินงานที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

ผลการทดลอง

กิจกรรมที่ 1 การจัดการหลังเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียด้านปริมาณและคุณภาพข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การทดลองที่ 1.1 อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่าง ๆ (2559-2560)

น้ำหนักเมล็ด

จากการทดลองเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อายุเก็บเกี่ยว 4 ระยะ 2 พันธุ์ จากแหล่งปลูก 2 แหล่ง พื้นที่เก็บเกี่ยว 9 ตารางเมตร พบว่า ผลผลิตพันธุ์นครสวรรค์3 ที่ปลูกในจังหวัด**นครสวรรค์** เก็บเกี่ยว30 37 44 และ 51วันหลังออกดอก น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 3.35 6.12 6.80 และ 5.08 กิโลกรัมต่อ 9 ตารางเมตร หรือคิดเป็น 595.55 1,088 1,208.88 และ 903.11 กิโลกรัมต่อไร่ พันธุ์ CP 888 New ที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์ ที่เก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 1.22 2.85 3.61 และ 4.74 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 216.88 506.66 641.77 และ 842.66 กิโลกรัมต่อไร่ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยพันธุ์นครสวรรค์3 ที่เก็บเกี่ยว 44 วันหลังออกดอก สูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 37 วันหลังออกดอก ส่วนพันธุ์ CP 888 New ที่เก็บเกี่ยว 51 วันหลังออกดอก มีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่าง ที่เก็บเกี่ยว 44 วันหลังออกดอก และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พันธุ์ พบว่า น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยของพันธุ์นครสวรรค์3 สูงกว่าพันธุ์ CP 888 New ที่เก็บเกี่ยว 30 37 และ 44 วันหลังออกดอก ส่วนที่เก็บเกี่ยว 51 วันหลังออกดอก ไม่แตกต่างกัน (Table 1) ส่วนการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์จะต้องปฏิบัติในเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะเวลาในการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ตามหลักการเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์คือระยะที่มีความสุกแก่ทางสรีรวิทยา ในระยะนี้เมล็ดพันธุ์มีน้ำหนักแห้งสูงสุด มีความงอก และความมีชีวิตความแข็งแรงสูงสุด และมีการเสื่อมคุณภาพน้อยที่สุด (จวงจันทร์, 2529)

พันธุ์นครสวรรค์3 ที่ปลูกในจังหวัด**นครราชสีมา** ที่เก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก น้ำหนักเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติเฉลี่ย 8.82 8.63 7.26 และ 6.24 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 1,568 1,534.22 1,290.66 และ 1,109.33 กิโลกรัมต่อไร่ แต่มีแนวโน้มว่าเก็บเกี่ยวที่อายุ 30 และ 37 วันหลังออกดอกสูงกว่าที่อายุ 44 และ 51 วันหลังออกดอก เช่นเดียวกันพันธุ์ CP 888 New ที่เก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก น้ำหนักเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติเฉลี่ย 9.82 8.89 8.77 และ 7.21 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 1,745.77 1,580 1,559.11 และ 1,281.77 กิโลกรัมต่อไร่ แต่มีแนวโน้มว่าเก็บเกี่ยวที่อายุ 30 และ 37 วันหลังออกดอกสูงกว่า ที่อายุ 44 และ 51 วันหลังออกดอก น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมา พันธุ์ CP 888 New มีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New และแตกต่างทางสถิติ ที่อายุเก็บเกี่ยว 30 วันหลังออกดอก น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างที่อายุเก็บเกี่ยว 37 วันหลังออกดอก (Table 1) ซึ่งการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่จังหวัดนครราชสีมา ปลูกกลางเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงฝนทิ้งช่วง จึงมีการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าที่ปลูกที่จังหวัดนครสวรรค์ทั้ง 2 พันธุ์ ที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน เนื่องจากสภาพการได้รับน้ำของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่างกัน

ความชื้นเมล็ด ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน (interaction) ระหว่างพันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวพันธุ์นครสวรรค์3 แต่พบว่า เมื่อเก็บเกี่ยวล่าความชื้นเมล็ดจะลดลง เก็บเกี่ยวที่ 30 วันหลังปลูก มีความชื้นเมล็ด 36.50% เมื่อเก็บเกี่ยวที่ 51 วันหลังปลูก มีความชื้นเมล็ด 21.00% ส่วนพันธุ์ที่ต่างกัน จะมีความชื้นต่างกัน พันธุ์นครสวรรค์ 3 จะมีความชื้นต่ำกว่า คือ 27.69 และ 28.81% ตามลำดับ (Table 2) เช่นเดียวกัน การเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมา พบว่า เก็บเกี่ยวช้าทำให้ความชื้นเมล็ดลดลง เก็บเกี่ยวที่ 30 และ 51 วันหลังปลูก มีความชื้นเมล็ด 34.12 และ 24.95% ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งสูงกว่าจังหวัดนครสวรรค์เพราะให้น้ำแบบน้ำหยดทำให้ความชื้นพอเพียง

ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกที่จังหวัดนครสวรรค์พบ ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน สูงสุด 23.09 ppb เมื่อเก็บเกี่ยวที่ 37 วันหลังปลูก และปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ต่ำสุด 8.32 ppb เมื่อเก็บเกี่ยวล่าที่ 51 วันหลังปลูก จากมาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวโพดเมล็ดแห้งกำหนดปริมาณสารพิษแอฟลา

ทอกซินในข้าวโพดเมล็ดแห้งไม่เกิน 50 ppb. (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552) การเข้าทำลายเชื้อราและการปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซิน เนื่องจากความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว ทั้งขึ้นอยู่กับอายุ พันธุ์ และสภาพแวดล้อม ในขณะเดียวกันมีพันธุ์ข้าวโพดที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดเป็นจำนวนมาก พบว่า หลังจากที่ใบข้าวโพดแห้งหรือเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าวหมดทั้งแปลงแล้วข้าวโพดจะมีความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้นอีก 7 วัน ข้าวโพดจะมีความชื้นต่ำกว่า 23 เปอร์เซ็นต์ (วีรวัฒน์, 2547)

ที่จังหวัดนครราชสีมาพบว่า เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์นครสวรรค์ 3 และ CP888new ที่เก็บเกี่ยวที่ 30 วันหลังปลูก มีปริมาณสารแอฟลาทอกซินสูงที่สุด คือ 13.70 และ 69.27 ppb เพราะความชื้นเมล็ดสูง เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก ปริมาณสารแอฟลาทอกซินต่ำแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ ต่ำกว่า 9 ppb ทั้ง 2 พันธุ์ (Table 3) แอฟลาทอกซินในข้าวโพดส่วนมากจะเกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวแต่การปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซินในแปลงข้าวโพดนั้นสามารถเกิดขึ้นได้เช่นกัน การที่เชื้อรา *Aspergillus flavus* ซึ่งเป็นเชื้อราที่ทำให้เกิดสารแอฟลาทอกซินในข้าวโพดจะสามารถเข้าทำลายเจริญเติบโตและสร้างสารพิษในข้าวโพดได้นั้น จะต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในเมล็ด ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ก๊าซออกซิเจน สภาพความเป็นกรดด่างของเมล็ด ระยะเวลาสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อราและสร้างสารพิษ และสภาพความสมบูรณ์ของเมล็ด ถ้าหากว่าปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมีสภาพไม่เหมาะสม เชื้อราก็จะเจริญเติบโตได้ช้าลงหรือไม่สามารถเจริญเติบโตและสร้างสารพิษได้เลย (วีรวัฒน์, 2547)

องค์ประกอบทางเคมี

โปรตีน พบว่า พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ทั้งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์และนครราชสีมา ซึ่งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์ พันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 8.28 % ตามลำดับ (Table 4) ส่วนปริมาณโปรตีนเฉลี่ยที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมาพันธุ์นครสวรรค์3 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าพันธุ์ CP 888 New เล็กน้อย คือ 9.05 และ 7.69% ตามลำดับ แต่ไม่ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆ (Table 4) อาจเนื่องจากที่อายุเก็บเกี่ยว 30 วันหลังออกดอก เป็นระยะการสุกแก่ทางสรีรวิทยาเป็นระยะที่ข้าวโพดสิ้นสุดการเจริญเติบโตและมีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดการส่งผ่านธาตุอาหารจากส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวโพดสู่เมล็ดสิ้นสุดลง จึงทำให้คุณภาพไม่ต่างกัน (Knight, 1969)

ไขมัน พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์นั้น พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวมีปฏิสัมพันธ์กัน พบว่าเมื่อเก็บเกี่ยวล่าช้า ปริมาณไขมันในเมล็ดจะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งพันธุ์นครสวรรค์3 อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก มีปริมาณไขมันเฉลี่ยแตกต่างกัน คือ 10.73 9.63 7.30 และ 8.74% ตามลำดับ และพันธุ์พันธุ์ CP 888 New มีปริมาณไขมันเฉลี่ยแตกต่างกัน คือ 8.79 7.53 7.65 และ 6.17% ตามลำดับ ปริมาณไขมันจะต่างกันขึ้นกับพันธุ์ พันธุ์นครสวรรค์3 มีปริมาณไขมันสูงกว่าพันธุ์ CP 888 New (Table 5)

เช่นเดียวกัน ที่จังหวัดนครราชสีมา พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อปริมาณไขมันไม่มีความแตกต่างกัน แต่พบว่า พันธุ์นครสวรรค์3 มีปริมาณไขมันสูงกว่า พันธุ์ CP 888 New คือ 10.08 และ 7.40% ตามลำดับ อายุเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน (Table 5)

เยื่อใย พบว่า ปริมาณเยื่อใยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์และนครราชสีมา จะลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวล่า ที่ 51 วันหลังออกดอก พันธุ์นครสวรรค์3 อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยแตกต่างกัน คือ 1.94 2.37 2.03 และ 1.44% ตามลำดับ ที่อายุเก็บเกี่ยว 37 วันหลังออกดอก มีปริมาณ เยื่อใยเฉลี่ยมากที่สุด แต่ที่อายุเก็บเกี่ยว 51 วันหลังออกดอก มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยน้อยที่สุด และ พันธุ์ CP 888 New มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยแตกต่างกัน คือ 1.92 1.71 2.06 และ 0.85% ตามลำดับ ที่อายุเก็บเกี่ยว 44 วันหลังออกดอก มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างที่อายุเก็บเกี่ยว 30 วันหลัง

ออกดอก (Table 6) พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ซึ่งพันธุ์นครสวรรค์3 และ พันธุ์ CP 888 New มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ 1.81 และ 2.00% ตามลำดับ (Table 6) ข้าวโพดมีปริมาณเยื่อใยประมาณ 2.2% (Knight, 1969)

เถ้า พบว่า พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ทั้งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์และนครราชสีมา ซึ่งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์ พันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New มีปริมาณเถ้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ 2.05 และ 2.03% ตามลำดับ อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอกไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าในทั้ง 2 จังหวัด มีปริมาณเถ้าเฉลี่ย 2.16 2.04 1.78 และ 2.17% ตามลำดับ ที่อายุเก็บเกี่ยว 30 37 และ 51 วันหลังออกดอก มีปริมาณเถ้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (Table 7) ส่วนปริมาณเถ้าเฉลี่ยที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมา พบว่า พันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New มีปริมาณเถ้าเฉลี่ยแตกต่างกัน คือ 3.18 และ 2.09% ตามลำดับ อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก มีปริมาณเถ้าเฉลี่ย 2.14 2.44 2.91 และ 3.05% ที่อายุเก็บเกี่ยว 44 และ 51 วันหลังออกดอก มีปริมาณเถ้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (Table 7)

อมิโลส พบว่า พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ทั้งพันธุ์ และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อปริมาณอมิโลสในข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ ทั้งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์และนครราชสีมา ซึ่งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์ พันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New มีปริมาณอมิโลสเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ 20.71 และ 21.74% ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าแป้งในข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ เป็นลักษณะนุ่ม ไม่แข็ง (Table 8)

ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งฟลาวของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าพันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ทั้งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งพันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New มีค่าความหนืดสูงสุดเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ 275.38 และ 284.50 Brabender Unit (BU) ตามลำดับ ค่าความหนืดสูงสุดไม่ต่างกัน ที่อายุเก็บเกี่ยวต่างๆ ที่ 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก มีความหนืดสูงสุดเฉลี่ย คือ 280.00 286.13 275.63 และ 278.00 BU ตามลำดับ (Table 9) ส่วนค่าความหนืดสูงสุดเฉลี่ยที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมานั้น พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวมีปฏิสัมพันธ์กัน พันธุ์ CP 888 New มีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าพันธุ์นครสวรรค์3 และเมื่อเก็บเกี่ยวล่าความหนืดสูงสุดจะลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวล่า ที่อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก มีค่าความหนืดสูงสุด คือ 288.00 249.25 225.75 และ 247.50 BU ตามลำดับ ในพันธุ์นครสวรรค์3 ส่วนพันธุ์ CP 888 New มีค่าความหนืดสูงสุด 332.00 313.75 311.75 และ 301.00 BU ตามลำดับ ที่อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก (Table 9) แป้งข้าวโพดจะมีความหนืดสูงสุดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีการพองตัวระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณ อมิโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) แตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอมิโลสและอมิโลเพคตินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอกันทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน แป้งชนิดต่างๆ มีลักษณะการเกิดเจลที่ต่างกันไป (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550)

น้ำตาลซูโครส พบว่า พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวมีปฏิสัมพันธ์กัน พบว่า จังหวัดนครสวรรค์ ข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวล่ามีปริมาณน้ำตาลซูโครสต่ำกว่า พันธุ์นครสวรรค์3 มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ย คือ 1.44 1.30 1.25และ 1.27% ที่อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก ตามลำดับ (Table 10) เช่นเดียวกัน พันธุ์ CP 888 New ปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ย มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ย คือ 1.65 1.33 1.24 และ 1.16% ตามลำดับ ที่อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก ตามลำดับ (Table 10) ข้าวโพดมีปริมาณน้ำตาลประมาณ 2.2% (Knight, 1969) ส่วนปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ยที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมานั้น พบว่า พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน มีค่าปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ย 2 พันธุ์ไม่แตกต่างกัน คือ พันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New มีค่าปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ย 1.25 และ 1.24% ตามลำดับ และ

ไม่ต่างเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ย คือ 1.18 1.25 1.23 และ 1.32% ตามลำดับ (Table 10)

น้ำตาลกลูโคส พบว่า พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ทั้งที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์และนครราชสีมา ทั้งอายุเก็บเกี่ยวก็ไม่มีผลต่อปริมาณกลูโคส พันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ย ที่อายุเก็บเกี่ยว 30 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก คือ 0.80 1.19 1.24 และ 1.25% ตามลำดับ ซึ่งที่อายุเก็บเกี่ยว 37 44 และ 51 วันหลังออกดอก ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบ 2 พันธุ์ พบว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ยไม่แตกต่างกันเช่นกัน (Table 10)

น้ำตาลฟรุคโตส ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์นั้น พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวมีปฏิสัมพันธ์กัน ซึ่งพบว่า ข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์3 จะลดลเมื่อเก็บเกี่ยวล่าที่ 51 วันหลังออกดอก ทั้ง 2 พันธุ์ และจะไม่พบน้ำตาลฟรุคโตสในพันธุ์ CP 888 New (Table 10) ในจังหวัดนครราชสีมานั้น พบว่า พันธุ์และอายุเก็บเกี่ยวไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน มีค่าปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสเฉลี่ย 2 พันธุ์ไม่แตกต่างกัน คือ พันธุ์นครสวรรค์3 และพันธุ์ CP 888 New เฉลี่ย 0.5% ใกล้เคียงกับข้าวโพดหวานที่มีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสประมาณ 0.3% (สำนักโภชนาการ, 2557) แต่จะพบน้ำตาลฟรุคโตสมากในผลไม้ที่มีรสหวาน และมีแนวโน้มว่าปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสจะลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวช้า คือ 0 และ 0.64% เมื่อเก็บเกี่ยวที่ 51 วันหลังออกดอก

การทดลองที่ 1.2 ความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2559-2560)

เก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ไพโอเนียร์ ที 60 ที่ลดความชื้นเมล็ดโดยการตากแดด เหลือความชื้นเริ่มต้นประมาณ 4 ระดับ คือ 10 13.5 15.69 และ 18% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 8 เดือน ทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลง ดังนี้

ความชื้นเมล็ด (Moisture content) พบว่าเมื่อเก็บเมล็ดนานขึ้นความชื้นเมล็ดจะลดลงตั้งแต่เดือนที่ 1 และความชื้นเมล็ดจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก เมล็ดที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้นต่างกัน คือ 10 13.5 และ15.69% เมื่อเก็บรักษาในสภาพเดียวกันนาน 8 เดือน ความชื้นเมล็ดไม่แตกต่างกันมากนัก ไม่เกิน 10%ในทุกกรรวิธี (Table 11)

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในสถานที่เก็บรักษามีผลต่อความชื้น สอดคล้องกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในเขตร้อนชื้น เมล็ดพันธุ์จะดูดและคายความชื้นกับสภาพอากาศรอบๆ เมล็ด ทำให้ความชื้นของเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล (Harrington, 1973)

เมื่อเก็บเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% นั้นมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10% มีความชื้นเมล็ดเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 12 14 16 และ 18% นั้น ความชื้นเมล็ดจะลดลง เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ในเดือนที่ 10 ความชื้นจะลดลงเหลือ 10.21 9.91 11.03 และ 10.85% ตามลำดับ (Table 13) การที่เมล็ดมีความชื้นลดลงเป็นเพราะความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ จะทำให้ความชื้นเมล็ดลดลงสู่สมดุล

สารแอฟลาทอกซิน (Aflatoxin) พบว่า เมล็ดข้าวโพดที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้นต่างๆ มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 8 เดือน พบว่า เมล็ดที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำที่ 10 13.5 % นั้น เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 8 เดือน พบว่า ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินในเมล็ดจะไม่สูงขึ้นมากนัก มีปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินไม่เกิน 10 ppb เฉลี่ย 5.86 ppb. ไม่แตกต่างจากที่เมล็ดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 13.5 % สามารถเก็บได้นาน 7 เดือนที่ปริมาณสารแอฟลาทอกซินต่ำกว่า 10 ppb แต่จะสูงขึ้นถึง 42.67 ppb ในเดือนที่ 8 แต่เมล็ดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นสูง 15.69% มีปริมาณสารแอฟลาทอกซินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บ

รักษานาน 1 เดือนเท่านั้น เฉลี่ยสูงมากคือ 88.85 ppb. และจะสูงขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น (Table 11) จะเห็นได้ว่าความชื้นเมล็ดเริ่มต้นที่สูงมีผลทำให้เมล็ดเกิดเชื้อราและมีการสร้างสารแอฟลาทอกซินเกิดขึ้นได้ ความชื้นตามมาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวโพดเมล็ดแห้ง ไม่เกิน 14.5% (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552) หากความชื้นเมล็ดเริ่มต้นสูงจะทำให้เมล็ดมีโอกาสเกิดเชื้อราและพบสารแอฟลาทอกซินปริมาณมาก

พบว่าเมล็ดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% นั้นมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน ปริมาณสารแอฟลาทอกซินเริ่มต้นเฉลี่ยสูงทุกกรรมวิธี คือ 218.42 214.45 137.7 188.67 และ 220.35 ppb ตามลำดับ เนื่องจากช่วงก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตมีฝนตกอย่างต่อเนื่อง ทำให้เมล็ดเกิดเชื้อราบางส่วนที่ฝักข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่ในแปลงก่อนเก็บเกี่ยว แต่ทุกกรรมวิธีเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นปริมาณสารแอฟลาทอกซินลดลงเรื่อยๆ (Table 13) แต่เมล็ดที่มีปริมาณสารแอฟลาทอกซินเริ่มต้น ปริมาณสารแอฟลาทอกซินสูง จึงทำให้ปริมาณสารลดลงเมื่อเก็บรักษานานถึง 10 เดือน แต่ปริมาณสารก็ยังสูงอยู่ ยกเว้น เมล็ดที่เมื่อเริ่มต้นที่ความชื้น 14 และ 18 ppb เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน10 เดือน ปริมาณสารแอฟลาทอกซินจะเหลือ 2.62 และ 6.925 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณเมล็ดที่ถูกทำลายด้วยเชื้อราในโรงเก็บเมล็ดข้าวโพดที่ถูกทำลายโดยเชื้อราในโรงเก็บเมื่อนำไปเก็บรักษาเมล็ดจะถูกทำลายและมีความเสื่อมของเมล็ดเกิดขึ้นเร็วกว่าเมล็ดข้าวโพดที่ปราศจากเชื้อราในโรงเก็บ แม้เมล็ดจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 อัตราการเจริญของเชื้อราเหล่านี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ และความชื้นของเมล็ดตลอดจนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเก็บด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเชื้อราในโรงเก็บ 25-32 องศาเซลเซียส (Christensen, 1965)

เมล็ดดี (Good grain) ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 13.5 และ15.69% นั้นมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 8 เดือน พบว่า เมล็ดข้าวโพดที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 และ 13.5% เดือนที่ 0 มีปริมาณเมล็ดดีสูงสุด 98.24 และ 97.70% ตามลำดับ เมื่อเก็บนานขึ้น ปริมาณเมล็ดดีจะลดลงเรื่อยๆ แต่เมล็ดดียังสูงถึง 80 % เมื่อเก็บนาน 6 เดือน ในขณะที่เมล็ที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นสูง 15.69% ปริมาณเมล็ดดีสูงสุด 91.24% และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมล็ดดีต่ำกว่า 80% เมื่อเก็บนานเพียง 3 เดือน (Table 11) การเปลี่ยนแปลงอาจเป็นเพราะการทำลายของโรคและแมลง

เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% และระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10% แต่เนื่องจากเก็บเกี่ยวที่เมล็ดความชื้นสูงเนื่องจากฝนตก จึงทำให้เมล็ดดีเริ่มต้นต่ำเพียง 65.58 68.94 66.40 65.45 และ 65.87% เท่านั้น แต่ทุกกรรมวิธีเมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน ปริมาณเมล็ดดีก็ยังไม่ต่างทางสถิติจากเริ่มต้นมากนัก คือ 61.12 64.57 65.66 57.36 และ 65.84% ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน (Table 14) เมล็ดดีลดลงเนื่องจากระดับความชื้นที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษานานทำให้เมล็ดเกิดการเน่าเสียมีเชื้อรา เมล็ดลีบและเกิดการแตกหักได้ (วันชัย, 2542 และ Hill, 1999)

อมิโลส (Amylose) พบว่าเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 13.5 และ15.69% นั้นถึงแม้จะเก็บรักษานาน 8 เดือน ปริมาณอมิโลสก็ไม่ต่างกันมากนัก เฉลี่ย 22.86 22.97 และ 23.56% ตามลำดับ (Table 11)

เมื่อทดลองนำเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 ที่มีความชื้นต่างๆ มาเก็บรักษาเป็นเวลานาน 10 เดือน พบว่าที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% นั้นมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน ต่อปริมาณอมิโลส เมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน มีปริมาณอมิโลสลดลงต่ำกว่าเริ่มต้นประมาณ 3% ในทุกกรรมวิธี คือ 23.18 23.41 24.30 22.73 และ 25.12% ตามลำดับ (Table 14)

ค่าความหนืดสูงสุด (Maximum viscosity) พบว่า ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาเก็บรักษา ทุกกรรมวิธีเมื่อเก็บรักษานานกว่า 6 เดือน ค่าความหนืดสูงสุด จะลดลง ต่ำกว่า 300 BU (Table 11)

เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ18% กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน นั้น ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% มีค่าความหนืดสูงสุดเฉลี่ย คือ 471.25 508.50 497.75 517.25 และ 520.00 BU ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน แป้งของเมล็ดข้าวโพดทุกกรรมวิธี จะมีค่าความหนืดสูงสุดลดลงใกล้เคียงกัน คือ 355.25 365.50 400.75 349.00 และ 433.50 BU ตามลำดับ (Table 14)

โปรตีน (Protein) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นต่างกัน 10 13.5 และ15.69% นั้นไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 8 เดือน ไม่แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษานานขึ้นปริมาณโปรตีนเฉลี่ยแตกต่างกันไม่มากนัก โดยเฉลี่ยมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยประมาณ 7-8% (Table 12) ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 8.20 8.14 และ 8.33% ตามลำดับ

เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือนและ ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% ต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลือง แต่ปริมาณโปรตีนจะไม่ต่างกันมากจากปริมาณโปรตีนเริ่มต้น คือ ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% เดือนที่ 0 มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 5.43 4.85 4.76 4.26 และ 4.34% ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันมาก มีปริมาณโปรตีน คือ 5.59 5.46 4.97 6.33 และ 4.76% ตามลำดับ (Table 15)

ไขมัน (Fat) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นต่างกัน 10 13.5 และ15.69% ที่ นั้นไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 8 เดือน มีปริมาณไขมันเฉลี่ย 4.85 4.68 และ 4.75% ตามลำดับ (Table 12)

เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% นั้นกับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน แต่ปริมาณไขมันเริ่มต้นและ เมื่อเก็บรักษานน 10 เดือน จะไม่ต่างกันมากนัก ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% มีปริมาณไขมันเฉลี่ย 4.80 3.95 3.96 2.72 และ 3.09% ตามลำดับ เมื่อเก็บนาน 10 เดือน มีปริมาณไขมันเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 5.19 4.34 4.18 4.01 และ 3.42% ตามลำดับ (Table 15)

เถ้า (Ash) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นต่างกัน 10 13.5 และ15.69% ที่ นั้นไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 8 เดือน ปริมาณเถ้าเฉลี่ย 1.55 1.51 และ 1.47% ตามลำดับ (Table 12)

เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% นั้นพบว่ามีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน ต่อปริมาณเถ้า พบว่าปริมาณเถ้าของเมล็ดข้าวโพดที่เก็บรักษานานขึ้นปริมาณเถ้าจะสูงขึ้น เมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นทุกกรรมวิธี 10 12 14 16 และ 18% เมื่อเก็บรักษานานขึ้นถึง 10 เดือน มีปริมาณเถ้าเฉลี่ยสูงไม่ต่างจากเริ่มต้น คือ 1.77 1.65 1.49 1.83 และ 1.30% ตามลำดับ (Table 15)

เยื่อใย (Fiber) ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% นั้นมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน พบว่าที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 และ 14% มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยสูงเมื่อเก็บรักษานาน 3 เดือน คือ 1.76 1.71 และ 1.64% ตามลำดับ ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 16% มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยสูงเมื่อเก็บรักษานาน 2 เดือน คือ 1.47% ส่วนที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 18% มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ยสูงเมื่อเก็บรักษานาน 4 เดือน คือ 1.45% และที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 12 14 และ 16% เมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน มีปริมาณเยื่อใยเฉลี่ย 1.20 1.26 และ 1.39% ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับเริ่มต้นมากนัก (Table 16)

น้ำตาลซูโครส พบว่า เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นต่างกัน 10 13.5 และ15.69% นั้นมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 8 เดือน ต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส แต่ไม่ต่างกันมากนัก แต่มีแนวโน้มว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสจะลดลงเล็กน้อยจากปริมาณน้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 1.35 1.33 และ 1.15% ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษานานขึ้น 8 เดือน เหลือปริมาณน้ำตาลซูโครสฟ 1.25 1.21 และ 1.19% ตามลำดับ (Table 12)

เช่นเดียวกันเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 พบว่า ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ18% นั้นมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือน ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ยเดือนที่ 0 คือ 1.21 1.19 1.18 1.14 และ 1.21% ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเฉลี่ยลดลงไม่แตกต่างจากเดือนเริ่มต้น คือ 1.17 1.16 1.17 1.13 และ 1.16% ตามลำดับ (Table 16)

น้ำตาลกลูโคส พบว่า เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นเมล็ดเริ่มต้นต่างกัน 10 13.5 และ15.69% นั้นไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 8 เดือน ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ย 1.21 1.22 และ 1.22% ตามลำดับ (Table 12)

พบว่าที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ18% นั้นไม่มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 10 เดือนต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ย คือ 1.29 1.33 1.29 1.26 และ 1.27% ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมล็ดข้าวโพดพันธุ์ แปซิฟิค 339 มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเฉลี่ย 1.29% (Table 16)

การสูญเสียน้ำหนัก เก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 339 ที่มีความชื้นเมล็ดหลังเก็บเกี่ยวเริ่มต้นประมาณ 24.77% เมื่อนำมาลดความชื้นเมล็ด 5 ระดับ คือ 10 12 14 16 และ 18% พบว่า เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพด ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้นสูงขึ้น ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักจะสูงถึง 12.99 และ 8.12% ของเมล็ที่มีความชื้นเริ่มต้น 16 และ 18% เมื่อเก็บนาน 10 เดือน (Table 13) จากผลการทดลองเห็นได้ว่า เมล็ดที่มีความชื้น 10 12 และ14% เมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน โดยที่ปริมาณการสูญเสียไม่ต่างกัน คือ 1.82 3.88 และ 2.55% ตามลำดับ (Table 13)

การตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อรา พบว่า เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีการปนเปื้อนของเชื้อรา 4 กลุ่ม ได้แก่ *Aspergillus Fusarium Penicillium* และ *Rhizopus* ซึ่งพบ *Aspergillus* 2 สายพันธุ์ คือ *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus niger* ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% เมื่อเริ่มเก็บรักษาที่ 0 เดือน พบเชื้อรา *A. flavus* 24 31 31 31 และ 58% ตามลำดับ *A. niger* 0 0 3 4 และ 1% ตามลำดับ *Fusarium* 1 1 0 0 และ 0% ตามลำดับ *Penicillium* spp. 14 13 4 11 และ 9% ตามลำดับ และ *Rhizopus* sp. 14 8 25 1 และ 0% ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษานาน 10 เดือน พบเชื้อรา *A. flavus* 58 37 23 100 และ 45% ตามลำดับ และพบสูงมากเมื่อเก็บรักษานาน 2-6 เดือน *A. niger* 6 1 3 18 และ 14% ตามลำดับ ส่วน *Fusarium* ไม่พบตั้งแต่เดือนที่ 9 *Penicillium* spp. 0 0 2 0 และ 4% ตามลำดับ และ *Rhizopus* sp. 88 100 100 0 และ 93% ตามลำดับ สอดคล้องกับ ปิยฉัตรและคณะ (2553) พบว่า มีเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดข้าวโพดที่สำคัญ ได้แก่ เชื้อรา *Aspergillus* spp. และ *Penicillium* spp. สาเหตุโรคเมล็ดเน่าในโรงเก็บ นอกจากนี้ยังมีเชื้อราที่เข้าทำลายในแปลงปลูกอีกด้วย เช่น เชื้อรา *Fusarium* sp. และ *Rhizopus* spp.

เปอร์เซ็นต์ความงอก พบว่าที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% เดือนที่ 0 มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 92.30 92.80 94.50 89.30 และ 94.30% ตามลำดับ ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 14% มีเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงมาก คือ 50.30% เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน แต่ที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 16 และ 18% มี

เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงมาก เมื่อเก็บรักษานาน 2 เดือน คือ 64.80 66.80 43.50 และ 62.30% ตามลำดับ และที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 12 14 16 และ 18% เมื่อเก็บรักษานาน 11 เดือน มีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำมาก คือ 1 5 2 0 และ 0% ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษานาน 12 เดือน มีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำมาก คือ 4 3 3 5 และ 0% ตามลำดับ แสดงว่าเมล็ดมีความสมบูรณ์ต่ำมาก เมล็ดข้าวโพดที่เก็บรักษานานเพียง 2 เดือนไม่สามารถใช้ทำเมล็ดพันธุ์ได้เพราะเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำกว่า 80%

การทดลองที่ 1.3 วิธีการลดความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ปี 2560)

เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30% นำมาลดความชื้นเมล็ดทันทีโดยวิธีการต่างๆ 4 แบบ คือ 1) ตากแดด 2) อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 3) อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 4) อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนเมล็ดมีความชื้นที่เหมาะสม คือความชื้นประมาณ 14 %แต่ละกรรมวิธีเก็บเมล็ดในถุงปุ๋ยปิดสนิทกรรมวิธีละ 24 ถุงๆ ละ 2 กก. เก็บในสภาพอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 29-37 องศาเซลเซียส สุ่มมาวิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 2 เดือน เป็นเวลา 6 เดือน

ระยะเวลาในการลดความชื้น

ระยะเวลาในการลดความชื้นให้เหลือความชื้นที่ประมาณ 14% พบว่า วิธีการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาสั้นที่สุดคือ 10 ชั่วโมง และวิธีการตากแดดใช้เวลามากที่สุด คือ 86 ชั่วโมง (Table 17)

เมื่อนำเมล็ดจากกรรมวิธีต่างๆ เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า วิธีการลดความชื้นและระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซิน แต่วิธีการลดความชื้นและระยะเวลาเก็บรักษาไม่มีผลต่อความชื้นเมล็ด ปริมาณโปรตีน น้ำมัน ไฟเบอร์ เถ้า และ อมิโลส

ความชื้นเมล็ด

วิธีการลดความชื้นและระยะเวลาเก็บรักษาไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อความชื้นเมล็ด แต่ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความชื้นเมล็ดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนพบว่า วิธีการลดความชื้นโดยการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสทำให้เมล็ดมีความชื้นเฉลี่ยต่ำสุดกว่าทุกกรรมวิธี คือ 11.20% ขณะที่กรรมวิธีตากแดด อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีความชื้นเฉลี่ย 12.37 12.21 และ 11.95%ตามลำดับ (Table 18) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ด

ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซิน

วิธีการลดความชื้นและระยะเวลาเก็บรักษามีปฏิสัมพันธ์กันต่อปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินพบว่า การลดความชื้นโดยอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ทำให้มีปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินต่ำที่สุดในเดือนแรกของการเก็บรักษา คือ 22.15 ppb และเมื่อเก็บรักษาไปเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินไม่มีแตกต่างกันทางสถิติกับค่าเริ่มต้นส่วนการลดความชื้นโดยวิธีการตากแดดใช้ระยะเวลานานที่สุด 86 ชั่วโมง และพบว่ามีปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินสูงที่สุดในเดือนแรกของการเก็บรักษา คือ 64.85 ppb ส่วนวิธีการลดความชื้นโดยการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินใกล้เคียงกัน คือ 45.55 และ 43.68 ppb ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 3 เป็นระยะเวลานาน 6 เดือน พบว่า วิธีอบที่อุณหภูมิต่างๆ ทั้ง 3 วิธีปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินมีปริมาณลดลง แต่วิธีการลดความชื้นโดยการตาก

แดดพบว่าปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินมีปริมาณมากขึ้นและมากที่สุดในการเก็บรักษาเดือนที่ 4 คือ 112.13 ppb (Table 19) โดยการปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซินในระยะเริ่มต้นที่มีปริมาณค่อนข้างต่ำ หลังจากเก็บรักษานานขึ้นนั้นจะพบการปนเปื้อนในปริมาณที่สูงขึ้น และปริมาณที่พบจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆ ด้วย

องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ ปริมาณโปรตีน น้ำมัน เส้นใย และ เถ้าพบว่าวิธีการลดความชื้นแบบต่างๆ และระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณโปรตีน7.50%ปริมาณน้ำมัน 7.57% ปริมาณเส้นใย1.78% และปริมาณเถ้า 1.79% (Table 20-23)

ปริมาณอมิโลส

วิธีการลดความชื้นแบบต่างๆ และระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อปริมาณอมิโลส โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณอมิโลส คือ22.75% จัดว่าเป็นแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแข็ง เช่นเดียวกับกล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2550) พบว่า แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอมิโลสสูงประมาณ 22-30%

โครงสร้างของเมล็ดและแป้ง

เมื่อนำเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ ไปตรวจสอบโครงสร้างภายในของเมล็ดด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) 10 กิโลโวลต์ (kv) ที่ กำลังขยาย 300 และ 1000 เท่า สเกล 50 และ 100 ไมครอน (μm) พบว่าทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อโครงสร้างของเม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวโพด(Figure 1) แต่การอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีผลต่อโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดเสียโครงสร้างจากการถูกความร้อนหลอมรวมกันเป็นแผ่นและเกิดการหดตัวเกิดเป็นช่องว่างระหว่างเปลือกหุ้มเมล็ดและเม็ดแป้ง (Figure2d) จึงมีผลทำให้ความชื้นเมล็ดลดลงเร็วกว่ากรรมวิธีอื่น แต่ไม่ทำให้คุณภาพหรือองค์ประกอบางเคมีของเมล็ดข้าวโพดเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับการทดลองของไซนีย๊ะ (2556) พบว่าเซลล์จะถูกทำลายโดยความร้อนที่อุณหภูมิสูงและทำให้เสียสภาพ ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆ ใช้ความร้อนที่ไม่สูงมากนักทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนเมื่อเกิดการแตกจึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสแตกหักเห็นเป็นเส้น (Figure 2a-c)

การทดลองที่ 1.4 วิธีและระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดที่เหมาะสมในข้าวโพด (ปี 2559-2560)

สภาพอากาศในโรงเก็บ

ในโรงเก็บที่ทำการทดลอง พบว่า มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 21–37.9 °C มีความชื้นสัมพัทธ์ 35–92 % โดยในช่วงกลางคืนจะมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าในตอนกลางวัน

การเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษา

ทำการเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในโรงสีแบบเปิดที่ไม่มีการควบคุมสภาพอากาศ เป็นเวลา 6 เดือน ในสภาพการบรรจุเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แบบต่าง ๆ ดังนี้

การกอง (Table 1)

เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เก็บรักษาโดยการกอง ขนาด 1000 กก. ในสภาพที่ไม่ควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า

ความชื้นเมล็ด เมื่อทำการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในสภาพการกองบนพื้นซีเมนต์ เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าความชื้นเมล็ดจะแปรปรวนเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษานาน 1 เดือน ความชื้นจะลดลงจาก 10.73 % เป็น 8.81 % และความชื้นเมล็ดจะสูงขึ้นเมื่อเก็บนาน 2 เดือน และไม่แตกต่างกันทางสถิติตั้งแต่เดือนที่ 3 เป็นต้นไป ความชื้นประมาณ 9.31 – 11.12 %

โปรตีน ในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณโปรตีนจะไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อเก็บไว้นานกว่า 2 เดือน ปริมาณโปรตีนจำสูงขึ้นเล็กน้อยจาก 7 % เป็น 8 %

ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งสุก เมื่อเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นเวลานานขึ้น ค่าความหนืดแป้งสุกสูงสุดจะลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานกว่า 2 เดือน ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ อาจเกิดจากทำให้แป้งถูกย่อยไปบ้าง เพราะสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ย่อยแป้งในเมล็ด

ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เริ่มต้นถึงเมื่อเก็บไว้นาน 4 เดือน ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นานกว่า 5 เดือน ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะสูงมากขึ้นถึง 22.05 ppb แสดงว่าเมื่อเก็บรักษานาน สภาพการกองส่งเสริมให้เชื้อราเจริญเติบโตและสร้างสารพิษได้ดี ซึ่ง Hell *et al.* (2000) รายงานว่า 9.9% ถึง 32.2% ของตัวอย่างข้าวโพดที่เก็บรักษามีระดับ aflatoxin มากกว่า 5 ppb และระดับเพิ่มขึ้น 15% และ 32.2% หลังจากเก็บรักษา 6 เดือน

ปริมาณอมิโลส ของแป้งในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เริ่มต้นประมาณ 24.86 % แต่เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน ปริมาณอมิโลสจะลดลงเรื่อย ๆ เหลือประมาณ 20 % มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงว่าเมื่อเก็บนานขึ้นแป้งข้าวโพดจะถูกย่อยให้สายโมเลกุลแป้งถูกย่อยให้สั้นลง หรือเป็นน้ำตาลมากขึ้นจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ในเมล็ด เช่น ความชื้นเมล็ด และอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เอนไซม์ทำงานได้ดีที่สุดอยู่ที่ประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส (medthai, 2017)

ปริมาณไขมันในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างเดือนที่เก็บรักษา โดยมีปริมาณไขมันเฉลี่ยอยู่ที่ 6.54 %

ปริมาณเส้นใย เมื่อทำการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จนถึงเดือนที่ 6 พบว่า ปริมาณเส้นใยไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.72%

ปริมาณเถ้า เมื่อทำการเก็บรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จนถึงเดือนที่ 6 พบว่า ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานถึง 6 เดือน โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติเล็กน้อย ปริมาณเถ้าเริ่มต้นจาก 1.31% และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ประมาณ 2.04 2.11 และ1.71% ในเดือนที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ

ถุง big bag (Table 26)

ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่อเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในถุง big bag ขนาดบรรจุ 500 กก. ที่มีลักษณะป้องกันการซึมผ่านอากาศหรือก๊าซออกซิเจน ในสภาพที่ไม่ควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า

ความชื้นเมล็ด เริ่มต้นเก็บจะอยู่ที่ 10.73 % ซึ่งถือว่าเป็นความชื้นต่ำ เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือนในถุง big bag ความชื้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บไว้นาน 5 เดือน แต่ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะสูงขึ้นมากถึง 33.55 ppb เมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือน

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ CP888 New ประมาณ 7 % และจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานถึง 6 เดือน

ปริมาณไขมัน เส้นใย และเถ้าในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์นี้เฉลี่ยประมาณ 6.63 1.70 และ 1.64 % และจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานถึง 6 เดือน

ปริมาณอมิโลสของแป้งในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เริ่มต้นประมาณ 24.86 % แต่เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานปริมาณอมิโลสจะลดลงเรื่อย ๆ เหลือเพียง 21.82 % เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน 6 เดือน

ความหนืดสูงสุดของแป้งสุกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะลดลงค่อนข้างมาก เมื่อเก็บเมล็ดไว้เป็นเวลานาน 6 เดือน จาก 332.75 BU เป็น 161.38 BU

กระสอบปุ๋ย (Table 3)

เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เก็บรักษาในกระสอบปุ๋ย ขนาดบรรจุ 50 กก. ที่มีลักษณะป้องกันการซึมผ่านอากาศหรือก๊าซออกซิเจนได้ค่อนข้างน้อย ในสภาพที่ไม่ควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า

ความชื้นเมล็ด เริ่มต้นเก็บจะอยู่ที่ 10.73 % ซึ่งถือว่าเป็นความชื้นต่ำ เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือนในกระสอบปุ๋ย ความชื้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บไว้นาน 5 เดือน แต่ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะสูงขึ้นมากถึง 23.55 ppb เมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือน

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ CP888 New ประมาณ 7 % และจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานถึง 6 เดือน

ปริมาณไขมัน เส้นใย และเถ้าในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์นี้เฉลี่ยประมาณ 6.63 1.70 และ 1.64 % และจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานถึง 6 เดือน

ปริมาณอมิโลสของแป้งในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เริ่มต้นประมาณ 24.86 % แต่เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานปริมาณอมิโลสจะลดลงเรื่อย ๆ เหลือเพียง 20.19 % เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน 6 เดือน

ความหนืดสูงสุดของแป้งสุกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะลดลงเมื่อเก็บเมล็ดไว้เป็นเวลานาน 6 เดือน จาก 332.75 BU เป็น 243.25 BU

กระสอบป่าน (Table 27)

เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เก็บรักษาในกระสอบป่าน ขนาดบรรจุ 50 กก. ที่มีลักษณะไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านอากาศหรือก๊าซออกซิเจนได้ ในสภาพที่ไม่ควบคุมสภาพบรรยากาศเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า

ความชื้นเมล็ด เริ่มต้นเก็บจะอยู่ที่ 10.73 % ซึ่งถือว่าเป็นความชื้นต่ำ เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือนในกระสอบป่าน ความชื้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บไว้นาน 5 เดือน แต่ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินจะสูงขึ้นมากถึง 24.15 ppb เมื่อเก็บไว้นาน 6 เดือน

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ CP888 New ประมาณ 7 % และจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานถึง 6 เดือน

ปริมาณไขมัน เส้นใย และเถ้าในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์นี้เฉลี่ยประมาณ 6.63 1.70 และ 1.64 % และจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานถึง 6 เดือน

ปริมาณอมิโลสของแป้งในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เริ่มต้นประมาณ 24.86 % แต่เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานปริมาณอมิโลสจะลดลงเรื่อย ๆ เหลือเพียง 20.19 % เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน 6 เดือน

ความหนืดสูงสุดของแป้งสุกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะลดลงเมื่อเก็บเมล็ดไว้เป็นเวลานาน 6 เดือน จาก 332.75 BU เป็น 243.25 BU

การเจริญของเชื้อรา

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่นำมาทดลอง ทำการลดความชื้นเมล็ดจนต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ นำมาเก็บตามกรรมวิธีในโรงเก็บเป็นเวลา 6 เดือนพบว่า เริ่มพบเชื้อราตั้งแต่เดือนเริ่มต้นของการเก็บรักษา เนื่องจากมีสภาพอากาศแปรปรวนตั้งแต่ระยะเก็บเกี่ยวจนถึงในเดือนที่ 2 ของการเก็บรักษา ซึ่งจะมีผลต่อการเข้าทำลายของโรคแมลง โดยในเดือนเริ่มต้นพบเชื้อรา 23 % และเพิ่มขึ้นเป็น 100 % ตั้งแต่เดือนที่ 2 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไป

การสูญเสียน้ำหนักเมล็ด

น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สูญเสียไปเมื่อเก็บรักษาในโรงเก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าทุกเดือนจะมีน้ำหนักเมล็ดที่สูญเสียเพิ่มขึ้นทุกเดือน โดยในเดือนที่ 3 การสูญเสียจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยไม่ต่างกันมากนักระหว่างกระสอบปุ๋ยและกระสอบป่าน ซึ่งการสูญเสียทั้งหมดเมื่อเก็บในกระสอบปุ๋ยและกระสอบป่านเก็บรักษานาน 6 เดือน เท่ากับ 17.70 และ 15.71 % ตามลำดับ (Table 29)

ลักษณะการเก็บรักษาในทุกสภาพ ไม่ทำให้คุณภาพเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีความชื้นเริ่มต้น 10 % มีคุณภาพ เช่น ปริมาณเส้นใย ไขมัน และเถ้า เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 5 เดือน แต่เมื่อเก็บนาน 6 เดือน สภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อาจทำให้เชื้อราเจริญมากขึ้น สร้างสารพิษแอฟลาทอกซินมากขึ้นในเดือนที่ 6 ทั้งนี้ อาจเนื่องจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น ทำให้มีผลต่อคุณภาพทางเคมีภายในเมล็ด คือ ปริมาณอมิโลส โปรตีน ความหนืดสูงสุดของแป้งสุก อาจเป็นเพราะสภาพอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้ อุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในเวลากลางคืนและกลางวันที่แตกต่างกันมาก ความชื้นเมล็ดที่เปลี่ยนแปลงถึงแม้จะเล็กน้อย ก็จะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีขององค์ประกอบทางเคมีเกิดขึ้นได้ คือเหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยแป้ง เช่น เอนไซม์อไมเลส เป็นต้น ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น อมิโลส และความหนืดแป้งลดลง ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เหมาะต่อเอนไซม์ย่อยไขมัน และเส้นใย ทั้งสภาพอากาศเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราทำให้เกิดสารพิษมากขึ้นจะมีผลทำให้ทำงานทำให้ปริมาณอมิโลสลดลงได้ ทำให้ความหนืดแป้งสุกลดลง ส่วนโปรตีนที่พบว่าเพิ่มขึ้นในเดือนหลัง ๆ ของการเก็บรักษา หรืออาจเป็นเพราะมีการทำลายของแมลงที่อยู่ในเมล็ดในเดือนที่ 3 ปริมาณโปรตีนจึงเป็นโปรตีนของแมลง

ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินที่พบในแต่ละแบบของการเก็บรักษาพบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินเพิ่มขึ้นถึงสภาพแต่ในการเก็บในสภาพ big bag บรรจุ 500 กิโลกรัม มีปริมาณสารพิษสูงกว่าสภาพอื่น อาจเป็นเพราะเมล็ดมีปริมาณมากไม่สามารถระบายคามชื้นเมล็ดได้ ทำให้เมล็ดเกิดสะสมความชื้น และเชื้อราเจริญเติบโตได้ดีกว่าสภาพอื่นที่ระบายความชื้นได้

กิจกรรมที่ 2 การแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การทดลองที่ 2.1 วิธีการแปรรูปแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชข้าวโพดให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร (ปี 2561-2563)

คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่า

- แป้งฟลาว มีความชื้น 11.97 % ปริมาณคาร์โบไฮเดรท 68.18 % โปรตีน 7.03 % เส้นใย ไขมัน และเถ้า มีค่าเท่ากับ 1.60 8.79 และ 2.45 % ตามลำดับ (Table 30)
- แป้งสตาร์ช มีความชื้น 5.99 % ปริมาณคาร์โบไฮเดรท 80.19 % โปรตีน 7.03 % เส้นใย ไขมัน และเถ้า มีค่าเท่ากับ 2.53 5.03 และ 0.53 % ตามลำดับ (Table 30)

คุณภาพแป้ง

ปริมาณอมิโลส แป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชมีปริมาณอมิโลส 21.75 และ 25.76 % ตามลำดับ แสดงว่าทั้งแป้งฟลาวมีความนุ่ม และแป้งสตาร์ชของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแข็ง (Table 30)

ความหนืดแป้ง พบว่าแป้งฟลาวและแป้งสตาร์ชมีค่าความหนืดสูงสุด เท่ากับ 253 และ 442 BU ตามลำดับ ค่า set back เท่ากับ 10.5 และ 202.5 BU ตามลำดับ (Table 30)

ผลิตภัณฑ์จากแป้งฟลาว

- นำแป้งฟลาวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาทำขนมปัง ซึ่งจากเดิมที่ใช้แป้งสาลี นำมาปรับส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งในการทำขนมปังพบว่า เมื่อนำมาทำขนมปังแบบก้อน ขนมปังที่ได้มีลักษณะแข็งกระด้าง ร่วน ไม่มีความนุ่ม ฟู (Figure 4) แต่เมื่อนำมาทดลองทำเป็นขนมปังแบบแผ่น พบว่าขนมปังที่ได้มีความเหนียว นุ่ม ฟู เมื่อผสมกับแป้งสาลีในอัตราส่วน 8 : 2 คล้ายกับขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี 100 % แต่เนื้อขนมปังมีความแน่นมากกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี (Figure 5)
- ทดลองทำแพนเค้ก โดยปรับส่วนผสมในอัตราต่าง ๆ ซึ่งในการทำแพนเค้กพบว่า การใช้แป้งข้าวโพดในอัตราส่วน 10:0 มีเนื้อสัมผัสเหมือนกับแพนเค้กที่ทำจากแป้งสาลีแต่มีรสขมเกิดขึ้น (Figure 6)
- ทดลองนำแป้งฟลาวมาทำแป้งพรีเจล จากนั้นนำมาทดลองทำอาหารเหลว โดยนำมาผสมกับนมและน้ำผึ้ง พบว่าละลายได้ดี เนื้อผลิตภัณฑ์มีความข้น ไม่ตกตะกอน ไม่แขวนลอยหรือแยกตัวกับนม

ผลิตภัณฑ์จากแป้งสตาร์ช

- นำแป้งสตาร์ชข้าวโพดผสมกับแป้งสตาร์ชถั่วเขียวในอัตราส่วนต่าง ๆ นำไปทำซ่าหริ่ม พบว่า เมื่อใช้แป้งสตาร์ชข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอัตราส่วนตั้งแต่ 6 : 4 ขึ้นไป เส้นซาหริ่มที่ได้จะเละ สีเหลืองเข้ม แต่เมื่อใช้แป้งสตาร์ชข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอัตราส่วนที่น้อยลง เส้นซาหริ่มที่ได้มีความยืดหยุ่น เหนียว นุ่ม มีสีที่ใสมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้แป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ผสมกับแป้งถั่วเขียวในอัตรา 3 : 7 ลักษณะเส้นที่ได้มีความคล้ายเส้นซาหริ่มที่ทำจากแป้งสตาร์ชถั่วเขียว โดยเหนียว นุ่ม มีสีที่ใสมากขึ้น (Figure 7)
- นำแป้งสตาร์ชข้าวโพดไปทำเส้นพาสต้า พบว่า เมื่อใช้แป้งสตาร์ชข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 100 % ไม่สามารถรีดแป้งเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ เนื่องจากแป้งมีลักษณะร่วน ไม่มีความเหนียว และไม่เกาะกันเป็นแผ่น เมื่อผสมแป้งอเนกประสงค์ลงไปในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า แป้งมีความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถรีดเป็นเส้นได้ จึงทดลองเติมกัม อาราบิก จำนวน 3 % โดยน้ำหนักแป้งลงไป พบว่าในส่วนผสมแป้งในอัตราส่วน 5 : 5 เส้นมีความเหนียวมากขึ้นสามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ แต่เมื่อนำไปต้มแล้วเนื้อสัมผัสที่ได้ยังมีความร่วนอยู่ (Figure 8) เมื่อผสมในอัตราส่วน 3 : 7 และเติมกัม อาราบิก 3% โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าเส้นที่ได้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น

ผลิตภัณฑ์จากแป้งสตาร์ชผสมแป้งฟลาว

- ทดลองทำบิสกิตปราศจากกลูเตนโดยนำแป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวเจ้า แป้งฟลาวข้าวโพด แป้งสตาร์ชข้าวโพด แซนแทนกัม ผงฟู เบคกิ้งโซดา น้ำตาลทรายป่น ผสมรวมกันในโถ ใช้ความเร็วต่ำ เติมเนยขาว น้ำมันรำข้าว นวดให้แป้งเป็นเม็ดเล็กๆ จากนั้นเติมไข่ และนมที่ละลายกับเกลือแล้ว ผสมเป็นเนื้อเดียวกันเป็นก้อนโด จากนั้นนำมารีดเป็นแผ่นบางที่มีความหนาประมาณ 0.5 ซม. กดพิมพ์รูปต่าง ๆ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากการทดลองทำบิสกิตจำนวน 4 สูตร พบว่าตัวอย่าง A เนื้อสัมผัสของบิสกิต แข็งเกินไป กระด้าง และตัวอย่าง C บิสกิตที่ได้มีลักษณะกรอบ ร่วน แห้งเกินไป ไม่เหมาะสมเป็นบิสกิตข้าวโพด ตัวอย่าง B และ D บิสกิตที่ได้ลักษณะเนื้อสัมผัส แข็ง กรอบ ไม่หวานมาก (Table 31, Figure 9) จากนั้นจึงนำตัวอย่าง B และ D ไปทดสอบประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบระดับปฏิบัติการจำนวน 27 ราย พบว่าทั้งสองตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับ 0.05 ทางด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และ

ความชอบโดยรวม ส่วนสีบิสกิตมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่โดยภาพรวมแล้วทั้งสองตัวอย่างไม่ต่างกันแต่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความคิดเห็นว่าตัวอย่าง B รับประทานแล้วไม่ฝืดคอ มีสีสัน กลิ่นหอม จึงเลือกตัวอย่าง B เป็นสูตรที่ได้พัฒนาแล้ว (Table 32) จากนั้นนำไปทดสอบวัดสีและเนื้อสัมผัส พบว่า ตัวอย่าง B มีค่าแรงกดมากกว่าตัวอย่าง D แสดงว่าความแข็งมากกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นในขณะเดียวกันสีของบิสกิตข้าวโพดสองตัวอย่างไม่แตกต่างกัน (Table 33) เช่นเดียวกันในด้านคุณภาพทางเคมีซึ่งไม่มีความแตกต่างกันระหว่างทั้งสองตัวอย่าง (Table 34)

การทดลองที่ 2.2 วิธีการแปรรูปส่วนต่างๆของข้าวโพดเพื่อเป็นพลังงานทดแทน (ปี 2560-2561)

1. องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง ซัง และเปลือกข้าวโพด

เมล็ดข้าวโพดสายพันธุ์ต่างๆจำนวน 11 สายพันธุ์ ซังและเปลือกข้าวโพดจำนวน 4 ตัวอย่าง อบแห้งและนำมาบดเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น ผลการวิเคราะห์แสดงยัง Table 35 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดทั้ง 11 สายพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 66.35-72.38% ความชื้น 13.21-14.59% โปรตีน 6.68-8.69% น้ำมัน 4.19-8.49% เถ้า 1.41-3.17% และไฟเบอร์ 1.13-1.76% สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของซังข้าวโพดสายพันธุ์ Nakonsawan3 และ CP 888 พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 83.53 และ 87.52% ความชื้น 8.46 และ 4.26% โปรตีน 2.72 และ 3.02% น้ำมัน 0.25 และ 0.17% เถ้า 1.87 และ 2.01% ไฟเบอร์ 2.72 และ 3.02% ตามลำดับ องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพดสายพันธุ์ Nakonsawan3 และ CP888 พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 85.19 และ 83.30% ความชื้น 6.37 และ 8.74% โปรตีน 2.38 และ 2.36% น้ำมัน 0.37 และ 0.36% เถ้า 3.31 และ 3.80% ไฟเบอร์ 2.38 และ 2.36% ตามลำดับ

ปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครส ในแป้งฟลาวข้าวโพดทั้ง 11 สายพันธ์ พบว่า แป้งฟลาวข้าวโพดมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 1.20-1.40% โดยข้าวโพดสายพันธุ์ Pacific 339ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุด คือ 1.40% สำหรับปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส มีค่าอยู่ในช่วง 0.82-0.88% โดยข้าวโพดสายพันธุ์ S328 ในปริมาณน้ำตาล ฟรุกโตสสูงสุด คือ 0.88% และปริมาณน้ำตาลน้ำตาลซูโครสในแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่าอยู่ในช่วง 1.16-1.38% โดยข้าวโพดสายพันธุ์ Pacific 339 ให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงสุด คือ 1.38% (Table 36)

ปริมาณน้ำตาลกลูโคสน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลซูโครสในซังข้าวโพดสายพันธุ์ Nakonsawan 3 และ CP888 พบว่า มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส 0.98% และ 1.02% น้ำตาลฟรุกโตส 0.75% และ 1.01%น้ำตาลซูโครส 1.37% และ 1.32% ตามลำดับ (Table 2) ปริมาณน้ำตาลในเปลือกข้าวโพดพันธุ์ Nakonsawan 3 และ CP888 พบว่า มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส 0.88% และ 0.90% น้ำตาลฟรุกโตส 0.75% และ 0.78% น้ำตาลซูโครส 1.10% และ 1.09% ตามลำดับ (Table 37) เนื่องจากแอลกอฮอล์สามารถผลิตได้จากวัถุดิบที่มีองค์ประกอบในส่วนของแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลส เป็นหลัก ซึ่งเมล็ดประกอบด้วยแป้ง ต้นอ่อน ซังและเปลือกประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งสามารถนำมาผลิตเอทานอลได้ (Schwietzke *et al*., 2009)

2. การผลิตเอทานอลจากแป้งข้าวโพด

2.1 การย่อยและการหมักที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล

กระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นเอทานอลมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลโดยใช้อไมโลไลติกจุลินทรีย์หรือเอนไซม์ เช่น glucoamylase และ α-amylase ขั้นตอนที่สอง คือ การหมักโดยขั้นตอนนี้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerviceae* (Inlow *et al., 1988* and Knox *et al.,* 2004) ซึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยแป้งฟลาวข้าวโพดโดยใช้เอนไซม์ α-amylase

และ เอนไซม์จาก *Aspergillus flavas* ผลการทดลอง พบว่าเอนไซม์ α-amylase มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ดีกว่าเอนไซม์จาก *Aspergillus flavas* โดย ให้ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 5.85% และ 2.85% ตามลำดับ เมื่อเติมปริมาตร 500 µl (Table3) จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพการหมักของยีสต์ โดยทดลองหมักแป้งข้าวโพด ด้วยยีสต์ 4 ชนิด ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ผู้ผลิตแอลกอฮอล์นิยมใช้ คือยีสต์ขนมปัง *Saccharomyces cerviceae* BAwine M1 และ EDM การทดลองพบว่ายีสต์ขนมปัง และยีสต์ *S. cerviceae* BAwine มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ดีกว่า M1 และ EDM ซึ่งสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 1.65%, 1.45%, 1.05% และ 0.65% ตามลำดับ (Table 38)

นำแป้งฟลาวข้าวโพดทั้ง 11 สายพันธุ์ นำมาย่อยด้วยเอนไซม์ α-amylase พบว่า ให้ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 5.0-6.4% และเมื่อนำมาหมักด้วยยีสต์ขนมปัง และยีสต์สายพันธุ์ *S. cerviceae* BAwine เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล พบว่ายีสต์ขนมปังมีความสามารถในการหมักแป้งข้าวโพดได้ดีกว่ายีสต์สายพันธุ์ *S. cerviceae* BAwine โดยยีสต์ขนมปังสามารถหมักเอทานอลได้ 1.60-2.40% ในแป้งข้าวโพดทั้ง 11 สายพันธุ์ โดยข้าวโพดสายพันธุ์ Pacific 559 และ CP 301 สามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุดคือ 2.40% ในขณะที่ยีสต์ *S. cerviceae* BAwine สามารถผลิตเอทานอลได้ 1.20-2.15% สำหรับข้าวโพดสายพันธุ์ Pacific 559 และ CP 888 สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงสุดคือ 2.15% จากตัวอย่างแป้ง 5 กรัม (Table 39)

3. การผลิตเอทานอลจากซังและเปลือกข้าวโพด

3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพก่อนการย่อยซังและเปลือกข้าวโพด

ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการปรับสภาพซังและเปลือกข้าวโพดก่อนการย่อย โดยใช้กรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.5 โดยปริมาตร (v/v) พบว่า ซังและเปลือกข้าวโพดที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก โดยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 0.70 และ 0.80 ในตัวอย่างซังข้าวโพดสายพันธุ์ CP888 และ Nakonsawan3 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างซังข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 0.50 และ 0.55 ในข้าวโพดข้าวโพดสายพันธุ์ CP888 และ Nakonsawan3 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 0.25 และ 0.40 ในข้าวโพดสายพันธุ์ CP888 และ Nakonsawan3 เปลือกข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก พบว่า มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ 0.50 และ 0.55 ในข้าวโพดสายพันธุ์ CP888 และ Nakonsawan3 ตามลำดับ (Table 4) จากผลดังกล่าวเห็นได้ว่าการปรับสภาพตัวอย่างก่อนการย่อยเป็นสิ่งสำคัญซึ่งเป็นการปรับโครงสร้างของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในตัวอย่างให้เหมาะสม ทำให้ตัวอย่างมีรูพรุนและช่วยให้เอนไซม์สามารถทำปฏิกริยากับตัวอย่างได้ดียิ่งขึ้น (Xie *et al*.,2014) ดังนั้นจึงควรมีการปรับสภาพตัวอย่างด้วยกรดซัลฟิวริกก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อย

3.3 ศึกษาชนิดของยีสต์และระยะเวลาในการหมักต่อปริมาณเอทานอล

ทำการศึกษาในยีสต์ 2 ชนิด คือ ยีสต์ขนมปัง และ *S. cerviceae* BAwine ในตัวอย่างซังและเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และย่อยด้วยเอนไซม์ cellulase โดยให้ระยะเวลาในการหมัก 24 48 72 96 และ120 ชั่วโมง พบว่า เมื่อนำซังและเปลือกข้าวโพดสายพันธุ์ CP888 และ Nakonsawan3 มาทำการหมักและย่อยด้วยวิธีที่เหมาะสม ซังและเปลือกข้าวโพดสามารถผลิตเอทานอลได้ 0.20-0.30% ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างแป้งข้าวโพด 4.60% โดยยีสต์ขนมปังสามารถหมักซังข้าวโพดได้ผลผลิตเอทานอลสูงสุด 0.25% ที่ระยะเวลาในการหมักที่ 72 ชั่วโมง และคงที่จนถึง 96 ชั่วโมง สำหรับการใช้ยีสต์ *S. cereviciae* BAwine ในการหมักซังข้าวโพด พบว่า ใช้เวลา 48 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเอทานอลสูงสุด คือ 0.20 % (Figure 10) ส่วนในเปลือกข้าวโพด พบว่า ได้ผลผลิตเอทานอลสูงสุด 0.30% ที่ระยะเวลาในการหมักที่ 48 ชั่วโมง และคงที่จนถึง

96 ชั่วโมง เมื่อหมักด้วยยีสต์ขนมปัง สำหรับยีสต์ *S. cereviciae* BAwine พบว่าใช้เวลาในการหมัก 96 ชั่วโมง ได้เอทานอลสูงสุด คือ 0.20% จากตัวอย่าง 10 กรัม (Figure 11)

กิจกรรมที่ 2 การประเมินคุณภาพและสารสำคัญในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

การทดลองที่ 2.1 การประเมิน ความชื้น ปริมาณโปรตีน ความหนืด อมิโลส น้ำตาล คุณภาพน้ำมัน ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ในเมล็ดและแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (ปี 2559-2561)

คุณสมบัติของตัวอย่างในการทำสมการ

เก็บตัวอย่างข้าวโพดที่เป็นแป้งและเมล็ดจำนวน 253 ตัวอย่าง ไปวัดค่าการดูดซับแสงในย่าน Near Infrared ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร (Figure 12) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ค่าความหนืดสูงสุด ปริมาณ อมิโลส น้ำตาล 2 ชนิด คือ กลูโคส และซูโครส คุณภาพน้ำมันด้านค่าความเป็นกรด (AV) และค่าความหืน (PV) และปริมาณสารแอฟลาทอกซินตามวิธีในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดข้าวโพด มีความชื้นอยู่ในช่วง 6.89-37.98% โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 7.24-9.22% ปริมาณน้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 1.13-1.46% ซูโครส 1.08-1.32% คุณภาพน้ำมันด้านค่าความเป็นกรด (AV) มีค่าอยู่ในช่วง 4.70-135.41 มิลลิกรัม KOH/กรัมน้ำมัน (mgKOH/g) ค่าความหืน (PV) มีค่าอยู่ในช่วง 1.03-40.97 มิลลิกรัมสมบูรณ์/น้ำมัน 1 กิโลกรัม (mEq/kg) และปริมาณสารแอฟลาทอกซินอยู่ในช่วง 0-307 ppb (Table 42)

คุณสมบัติของตัวอย่างแป้งฟลาวข้าวโพดที่ใช้ในการทำสมการความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 10.75-16.77% โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 6.05-10.20% ปริมาณน้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 1.13-1.46% ซูโครส 1.08-1.31% คุณภาพน้ำมันด้านค่าความเป็นกรด (AV) มีค่าอยู่ในช่วง 4.70-135.41 มิลลิกรัม KOH/กรัมน้ำมัน (mgKOH/g) ค่าความหืน (PV) มีค่าอยู่ในช่วง 1.03-40.97 มิลลิกรัมสมบูรณ์/น้ำมัน 1 กิโลกรัม (mEq/kg) และปริมาณสารแอฟลาทอกซินมีค่าอยู่ในช่วง 0-164.40 ppb (Table 43)

การสร้างสมการประเมินคุณภาพเมล็ดและแป้งข้าวโพดด้วยเทคนิค NIRS

สร้างสมการประเมินปริมาณความชื้น โปรตีน อมิโลส ความหนืดสูงสุด คุณภาพน้ำมัน น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และปริมาณสารแอฟลาทอกซิน ด้วยวิธี PLS regression แบบ Full cross validation

ความชื้น

สมการประเมินความชื้นในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่าความสัมพันธ์สูง โดยมีค่า R เท่ากับ 0.96 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งค่า R ที่อยู่ในช่วง ± 0.96-0.98 หมายถึงสมการสามารถใช้ในการประกันคุณภาพได้ (William, 2007) สมการประเมินความชื้นในเมล็ดมีค่า SEC และ SEP สูงกว่าสมการสำหรับประเมินแป้งฟลาว (SEC = 2.06% และ 0.28%; SEP=2.13% และ 0.34% ในสมการประเมินเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดตามลำดับ) ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRS (Averages of difference between actual and NIR values, Bias) เท่ากับ -0.0092% และ 0.0063 ตามลำดับ และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสมการ (Factor, F) จำนวน 3 และ 15 ปัจจัย ในสมการประเมินความชื้นของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดตามลำดับ และความยาวคลื่นที่ใช้คือ 400-2500 นาโนเมตร (Table 44)

โปรตีน

สมการประเมินปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร พบว่า มีค่าความสัมพันธ์สูงโดย R = 0.87 ค่า SEC=1.95%, SEP=2.33%, Bias=-0.014% ค่า F เท่ากับ 16 และ SD=3.89% สมการประเมินโปรตีนในแป้งฟลาวข้าวโพดใช้ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร มีค่า

ความสัมพันธ์สูงกว่าสมการที่ใช้ในการประเมินปริมาณโปรตีนในเมล็ด โดยมีค่า R = 0.94 ค่า SEC=0.30%, SEP=0.32%, Bias=-0.0005% ค่า F เท่ากับ 7 และ SD=0.91% (Table44)

อมิโลส

สมการปริมาณอมิโลสในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยมีค่า R = 0.93 และ 0.88 ค่า SEC=0.70% และ 0.74% SEP=0.98% และ 0.83% Bias=0.0085% และ 0.013% ค่า F เท่ากับ 16 และ 7 ค่า SD=1.87% และ 0.1.54% ใช้ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร และ 800-2500 นาโนเมตร สำหรับสมการปริมาณอมิโลสในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดตามลำดับ (Table 44) ในขณะที่การประเมินปริมาณอมิโลสในข้าวหอมมะลิ 105 ใช้ความยาวคลื่นช่วงคลื่น 940-2222 นาโนเมตร (Siriphollakul *et al.,* 2017)

ค่าความหนืดสูงสุด

สมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดในเมล็ดข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร พบว่า มีค่าความสัมพันธ์สูงโดย R = 0.83 ค่า SEC=27.04 BU, SEP=35.02 BU, Bias=0.038 BU มีค่า F เท่ากับ 16 และ ค่า SD=47.91 BU. สมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดในแป้งฟลาวข้าวโพดใช้ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร โดยมีค่า R = 0.94 ค่า SEC=29.79%, SEP=31.91%, Bias=0.46% ค่า F เท่ากับ 7 และ SD=87.59% (Table 44)

น้ำตาลซูโครสและกลูโคส

สมการประเมินน้ำตาลกลูโคสมีค่า R สูงกว่าน้ำตาลซูโครส โดยสมการประเมินน้ำตาลกลูโคสในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่า R= 0.85 และ 0.95 ตามลำดับ มีค่า SEC(0.04% และ 0.02%) และ SEP(0.05% และ0.06%) ต่ำ และมีค่า Bias=0.00001% และ 0.0009% ค่า F เท่ากับ 12 และ 19 และ SD=0.08% ตามลำดับ (Table 44) สำหรับสมการประเมินน้ำตาลซูโครสที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร มีค่า R=0.84 และ 0.91 ในการประเมินเมล็ดและแป้งฟลาวตามลำดับ และในสมการที่ใช้ประเมินเมล็ดมีค่า SEC=0.03%, SEP=0.04%, Bias=-0.00002% ค่า F เท่ากับ 8 และ SD=0.06% สมการที่ใช้ประเมินน้ำตาลซูโครสในแป้งฟลาวมีค่า SEC=0.02%, SEP=0.03%, Bias=-0.0015% ค่า F เท่ากับ 18 และ SD=0.05% ตามลำดับ (Table 44)

คุณภาพน้ำมัน

สมการประเมินค่าความเป็นกรดและค่าความหืนในเมล็ดข้าวโพด ใช้ความยาวคลื่น 800-2500 และ 400-2500 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยสมการประเมินค่าความเป็นกรด (AV) มีค่า R = 0.92 ค่า SEC=17.42 mgKOH/g, SEP=22.82 mgKOH/g, Bias=-0.763 mgKOH/g มีค่า F เท่ากับ 12 และ ค่า SD=43.64 mgKOH/g. สมการประเมินค่าความหืน (PV) มีค่า R = 0.92 ค่า SEC=3.37 mEq/kg, SEP=4.32 mEq/kg, Bias=-0.090 mEq/kg มีค่า F เท่ากับ 10 และ ค่า SD=8.16 mEq/kg. สำหรับสมการประเมินค่าความเป็นกรด (AV) และค่าความหืน (PV) ในแป้งฟลาวข้าวโพด ใช้ความยาวคลื่น 400-2500 และ 1000-2500 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยสมการประเมินค่าความเป็นกรด (AV) มีค่า R = 0.93 ค่า SEC=15.47 mgKOH/g, SEP=18.44 mgKOH/g, Bias=-0.178 mgKOH/g มีค่า F เท่ากับ 13 และ ค่า SD=42.33 mgKOH/g. สมการประเมินค่าความหืน (PV) มีค่า R = 0.97 ค่า SEC=2.37 mEq/kg, SEP=4.92 mEq/kg, Bias=0.033 mEq/kg มีค่า F เท่ากับ 19 และ ค่า SD=10.31 mEq/kg. (Table 44)

แอฟลาทอกซิน

สมการประเมินปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดใช้ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร โดยมีค่า R = 0.87 และ 0.93 ตามลำดับ สมการประเมินสารแอฟลาทอกซินในเมล็ด มีค่า

SEC=37.33 ppb, SEP=41.34 ppb, Bias=-0.026 ppb มีค่า F เท่ากับ 12 และ ค่า SD=76.33 ppb. สมการประเมินสารแอฟลาทอกซินในแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่า SEC=11.48 ppb, SEP=22.48 ppb, Bias=0.852 ppb ค่า F เท่ากับ 17 และ SD=32.52 ppb (Table 44)

ค่า Regression coefficient

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี PLS แบบ full cross validation พบว่า Regression coefficient ของสมการประเมินความชื้นเมล็ด มีค่าสูงที่ความยาวคลื่น 970 1152 1410 และ 1940 นาโนเมตร (Figure 13-14) สอดคล้องกับ Mesic *et al*. (2005) ที่ใช้ความยาวคลื่น 1940 นาโนเมตร ในการสร้างสมการประเมินความชื้นในข้าวสาลี ในขณะที่สมการประเมินความชื้นแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 760 1098 1395 1510 และ 2000 นาโนเมตร(Figure 13-14) ซึ่งที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Osborne *et al*., 1993)

สมการประเมินโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดและแป้งฟลาวข้าวโพดมีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 970 1490 1528 1940 2030 2050 และ 2180 นาโนเมตร สมการประเมินปริมาณอมิโลสของเมล็ดและแป้งข้าวโพดข้าวโพด มีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 990 1528 1900 และ 2276 นาโนเมตร สำหรับสมการที่ใช้ในเมล็ด และให้ค่าสูงที่ความยาวคลื่น 990 1900 2100 และ 2276 นาโนเมตร สำหรับสมการที่ใช้ในแป้งฟลาว (Figure 13-14) สมการประเมินค่าความหนืดสูงสุดของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด มีค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 938 990 1450 1528 1540 1900 2100 2276 และ 2461 นาโนเมตร (Figure 13-14)

ในสมการประเมินปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด ค่า Regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 913 990 1020 1395 1480 1780 1900 1940 2050 2310 และ 2323 นาโนเมตร ซึ่งที่ความยาวคลื่น 1480 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับน้ำตาลกลูโคสในเมล็ดข้าวโพด (Figure 13-14) (Osborne *et al*., 1993) สมการประเมินปริมาณน้ำตาลซูโครสในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด โดยความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 790 970 1360 1415 1430 1490 1510 1765 1900 2000 2050 2280 และ 2323 นาโนเมตร (Figure 13-14)

ในสมการประเมินปริมาณค่าความเป็นกรด (AV) ในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด โดยความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 900 1020 1215 1360 1450 1580 1705 1900 1940 2100 2110 และ 2280 2310 และ 2347 นาโนเมตร (Figure 2-3) สมการประเมินปริมาณค่าความหืน (PV) ในเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด ความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 713 915 1053 1037 1215 1395 1410 1510 1533 1705 1900 1908 1980 และ 2276 และ 2323 นาโนเมตร (Figure 13-14)

สมการประเมินปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพด พบว่า ความยาวคลื่นที่มีการดูดซับแสงสูงคือ 790 970 990 1152 1360 1430 1490 1510 1765 1900 2000 2050 2160 2252 2280 2323 และ 2336 นาโนเมตร (Figure 13-14)

Osborne *et al*. (1993) รายงานว่า ที่ความยาวคลื่น 990 1528 1900 2000 2100 2252 และ2276 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับแป้ง ที่ความยาวคลื่น 1030 1360 1490 1510 1695 1980 2030 2050 และ 2180 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน ที่ความยาวคลื่น 1440 และ1480 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับ นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคส ที่ความยาวคลื่น 1490 และ 2336 นาโนเมตร ความสัมพันธ์ cellulose ที่ความยาวคลื่น 970 1450 และ1948 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับน้ำ ที่ความยาวคลื่น 928 1037 2323 และ 2347 นาโนเมตรมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของน้ำมัน จะ

เห็นได้ว่า สมการเหล่านี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของ น้ำ โปรตีน น้ำตาล แป้งสตาร์ช เซลลูโลส และน้ำมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในตัวอย่างเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพด

การประเมินความถูกต้องแม่นยำของสมการ

เมื่อนำสมการมาใช้ประเมินตัวอย่างอื่น พบว่าสมการที่ใช้ประเมินแป้งมีความแม่นยำกว่าสมการที่ใช้ในการประเมินเมล็ด และสมการทั้ง 18 สมการมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของสมการประเมิน (SEP) ต่ำกว่าค่าความเบี่ยงมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (SD) โดยเมล็ดข้าวโพดสมการที่ใช้ประเมินความชื้นมีค่า SEP=2.13% และSD=7.79% โปรตีน SEP=0.34% และSD=0.61% อมิโลส SEP=0.98% และ SD=1.87% ค่าความหนืดสูงสุด SEP=35.02(BU) และSD=47.91(BU) น้ำตาลกลูโคส SEP=0.05% และ SD=0.08% น้ำตาลซูโครส SEP=0.04% และSD=0.06% ค่าความเป็นกรด SEP=22.84 mgKOH/g และ SD=43.64 mgKOH/g ค่าความหืน SEP=4.32 mEq/kg และSD=8.16 mEq/kg สารแอฟลาทอกซิน SEP=37.33 ppb และSD=76.33 ppb ตามลำดับ (Figure 15)

โดยเมล็ดแป้งฟลาวข้าวโพดสมการที่ใช้ประเมินความชื้นมีค่า SEP=0.34% และSD=1.10% โปรตีน SEP=0.32% และSD=0.91% อมิโลส SEP=0.83% และ SD=1.54% ค่าความหนืดสูงสุด SEP=31.91(BU) และSD=87.59 (BU) น้ำตาลกลูโคส SEP=0.06% และSD=0.08% น้ำตาลซูโครส SEP=0.03% และ SD=0.05% ค่าความเป็นกรด SEP=18.44 mgKOH/g และSD=42.33 mgKOH/g ค่าความหืน SEP=4.92 mEq/kg และSD=10.31 mEq/kg สารแอฟลาทอกซิน SEP=22.48 ppb และSD=32.52 ppb ตามลำดับ (Figure 16)

สรุปผลการทดลอง

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ดังนี้

อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณและคุณภาพสูง ต้องเก็บเกี่ยวไม่เกิน 44 วันหลังออกดอก ความชื้นเมล็ด ประมาณ 25-28%

-คุณภาพที่เปลี่ยนแปลงตามอายุเก็บเกี่ยว ถ้าเก็บเกี่ยวล่าช้า คุณภาพจะต่ำลง คือ ความหนืดสูงสุดของแป้งสุก โปรตีน น้ำตาล

-เมื่อเก็บเกี่ยวล่าประมาณ 51 วันหลังออกดอกจะทำให้มีการสูญเสียทั้งปริมาณและคุณภาพมากที่สุด

ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ไพโอเนียร์ ที 60 และพันธุ์แปซิฟิก 339 ควรเก็บที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 14% มีโอกาสพบสารแอฟลาทอกซินในปริมาณน้อย ถึงแม้ว่าที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10% มีโอกาสพบสารแอฟลาทอกซินในปริมาณน้อยกว่า แต่เพิ่มต้นทุนในการลดความชื้น คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกับที่ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10% ไม่ควรเก็บเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 339 ความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 14% นานเกิน 10 เดือน ความสมบูรณ์ของเมล็ดจะลดลงมาก

วิธีลดความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์3 โดยไม่ทำให้คุณภาพเมล็ดเปลี่ยนแปลงไปเพื่อเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน คือวิธีการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเปลี่ยนมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาสั้นที่สุดคือ 10 ชั่วโมง พบปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินต่ำที่สุด คือ 14.08 ppb ถึงแม้ว่าโครงสร้างเปลือกหุ้มเมล็ดจะถูกทำลายโดยความร้อนแต่ก็ไม่มีผลต่อโครงสร้างของเม็ดแป้งและคุณสมบัติทางเคมีอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในโรงเก็บที่ไม่สามารถควบคุมควบคุมได้ บรรจุเมล็ดในภาชนะรูปแบบต่าง ๆ คือ การกอง big bag ขนาด 500 กิโลกรัม กระสอบปุ๋ยพลาสติก กระสอบป่าน ขนาด 50 กิโลกรัม การสูญเสียด้านคุณภาพและปริมาณจะไม่ต่างกัน แต่แนะนำว่าควรบรรจุในภาชนะบรรจุเพื่อสะดวก

ในการขนย้ายและการทำความสะอาด ควรเก็บไม่นานเกิน 1 เดือน เพื่อรักษาคุณภาพและปริมาณการสูญเสียต่ำ

แป้งฟลาวข้าวโพดสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าได้ เช่น ขนมปังกรอบปราศจากกลูเตน

สตาร์ชแป้งข้าวโพดสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ ประเภทเส้นเพื่อลดปริมาณแป้งถั่วเขียว และแป้งสาลีได้ เช่น ซ่าหริ่ม พาสต้า แต่ยังต้องผสมแป้งถั่วเขียว และแป้งสาลี ตามลำดับ

แป้ง และวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด เช่น ซังและเปลือกข้าวโพดสามารถนำมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนในรูปของเอทานอลได้

แป้งข้าวโพดสามารถผลิตเอทานอลได้ 1.60-2.40% ใช้เอนไซม์ α-amylase และยีสต์ขนมปังในกระบวนการหมักและการย่อย ตามลำดับ

ซังและเปลือกข้าวโพดควรใช้กรดซัลฟิวริคเข้มข้น 0.5% (v/v) ปรับสภาพตัวอย่างก่อนนำมาย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและหมักด้วยยีสต์ขนมปังซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้ 0.20-0.30% ซึ่งปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยกว่าแป้งข้าวโพด 4.60% เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามวัตถุดิบประเภทเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเอทานอลที่ยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากผลิตได้น้อยและอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาเชิงการค้า

เทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) สามารถนำมาใช้ประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดและแป้งฟลาวข้าวโพดได้ โดยใช้หลักการสะท้อนแสงที่ความยาวช่วงคลื่นดังนี้

-สำหรับการประเมินความชื้น โปรตีน อมิโลส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส ค่าความหืน และปริมาณสารแอฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพด และประเมินความชื้น ค่าความหนืดสูงสุด น้ำตาลซูโครส ค่าความเป็นกรด และปริมาณสารแอฟลาทอกซินในแป้งฟลาวข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร

-สำหรับการประเมินโปรตีน อมิโลส กลูโคสในแป้งฟลาว และค่าความหนืดสูงสุด ค่าความเป็นกรดในเมล็ดข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร

-สำหรับประเมินค่าความหืนในแป้งฟลาวข้าวโพด ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร

เอกสารอ้างอิง

กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์. 2544. การวิจัยเพื่อสำรวจปริมาณอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ ที่ใช้เลี้ยงโคนม : การแก้ปัญหาอะฟลาทอกซินในอาหารโคนมตามโครงการการแก้ปัญหาอะฟลาทอกซินในอาหาร และอาหารสัตว์แบบครบวงจรในส่วนรับผิดชอบของกรมปศุสัตว์ ปีงบประมาณ 2539-3543. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 207 หน้า

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. *เทคโนโลยีแป้ง*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 303 หน้า.

โครงการศูนย์วิจัยการปรับปรุงคุณภาพข้าวโพด. 2535. การป้องกันสารพิษแอฟลาทอกซินในข้าวโพดของประเทศไทย**.** กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. *เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์*. กลุ่มหนังสือเกษตร กรุงเทพฯ. 210 หน้า.

จารุวรรณ บางแวก อรวรรณ จิตต์ธรรม อรณิชา สุวรรณโฉม และจารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ. 2552. การประเมินคุณภาพผลผลิตเกษตรโดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy. หน้า 256-272. ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2552 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

ชมดาว สิกขะมณฑล. 2552. การศึกษาสูตรที่เหมาะสมสำหรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของบิสกิตสมุนไพรที่ไม่มีกลูเตน. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 35 หน้า.

ไซนีย๊ะ สะมาลา. 2556. ผลของวิธีกลและความร้อนต่อการงอกของเมล็ดฟักข้าว. การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏสุราษฎร์ธานีวิจัย ครั้งที่ 9.

ปิยฉัตร อัครนุชาต สุภามาศ ช่างแต่ง ปิติพงษ์ โตบันลือภพ สุชาดา เวียร์ศิลป์ และสงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์. 2553. *ผลของการเคลือบเมล็ดด้วยน้ำมันหอมระเหยต่อเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. ว. วารสารเกษตร*. 26: 85-92.

ปิยนันท์ ชาวกงจักร. 2561. การผลิตข้าวโพดในประเทศไทยเพื่อการส่งออก. แหล่งที่มา https://sites.google.com/site/karphlitkhawphod. สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2561.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2547. หลักการอาหารสัตว์ หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิเชษฐ์ กรุดลอยมา และ สุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนเสวี. 2547. เอกสารวิชาการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 116 หน้า.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2561. Corn flour/แป้งข้าวโพด. แหล่งที่มา www.foodnetworksolution.com. สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2561.

มอก. 2538. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมปังกรอบ มอก.742-2538.

วรรณวรางค์ วัชรานันท์ และ กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2545. การผลิตคอร์นชิพจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 หน้า 79-86.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2542. *เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 104 หน้า.

วีรวัฒน์ นิลรัตนคุณ. 2553. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร

วีรวัฒน์ นิลรัตนคุณ. 2547. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. หน้า 79-95 ใน: *เอกสารวิชาการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ.

วีรวัฒน์ นิลรัตนคุณ . 2547. เอกสารวิชาการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์ กรุงเทพฯ. 116 หน้า.

สถาบันวิจัยและพัฒนแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2560. *ข้าวโพด: การเก็บเกี่ยว*. แหล่งที่มา: http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17123, 22 ธันวาคม 2560.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ พิเชษฐ์ กรุดลอยมา สุทัศนีย์ วงศ์ศุปไทย ทัศนีย์ บุตรทอง เพ็ญรัตน์ เทียมเพ็ง อานนท์ มลิพันธุ์ กิตติมา อินทะเคห. 2554. การเปรียบเทียบเบื้องต้นพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุสั้นพันธุ์ดีเด่นทนทานแล้ง. หน้า 64-74. *ใน: รายงานผลการทดลองสิ้นสุด ปีงบประมาณ 2554. สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน*. กรมวิชาการเกษตร.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2552. *มาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวโพดเมล็ดแห้ง*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 13 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 206 หน้า.

สำนักโภชนาการ. 2557. *ปริมาณของน้ำตาลในผลไม้ไทย*. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก กรุงเทพฯ. 32 หน้า

อนงค์ บิณฑวิหก. 2546. สารพิษจากเชื้อรา : อะฟลาทอกซิน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 322 หน้า

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. จำนวน 290 หน้า.

อมรา ชินภูติ. 2547. สารพิษจากเชื้อรา และการจัดการ : เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการการตรวจวิเคราะห์สารแอฟลาทอกซินในผลิตผลเกษตรอย่างรวดเร็ว โดยใช้ชุดตรวจสอบสำเร็จรูป DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร.

Bao, J. S., Y. Z. Cai, and H. Corke. 2001. Prediction of rice starch quality parameters by near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Food Sci*. 66 (7): 936-939.

Christensen C. M. 1965. Fungi in cereal grains and their products. Pages 9–14. *In*: *Mycotoxins in foodstuffs*. Wogan G. N. ed. M.I.T. press, Cambridge, Massachusetts.

Groce, V. 2009. Food Allergies. (online) Available : http//foodallergies.

Harrington, J. F. 1973. Biochemical basis of seed longevity. *J. Seed Sciences and Technology*. 1: 453-461.

Hell, K., Cardwell, K.F., Setamou, M. and Poehling, H. (2000). The Influence of storage practices on aflatoxin contamination in maize in four agroecological zones of Benin, West Africa; J. of Stored Products Res.34(4): 1-2

Hill. M. 1999. The *Drying and Storage of Grain and Herbage Seeds*. Foundation of Arable Research pub., Lincoln. 210 p.

Hoeil. C and A.A. Mark 2000. Near-Infrared Spectroscopy for Monitoring Starch Hydrolysis Applied Spectroscopy. 54: 277-283

Inlow, D., J. McRae, and A. Ben-Bassat. 1988. Fermentation of corn starch to ethanol with genetically engineered yeast. Biotechnol. Bioeng. 32:227–234.

Kaaya, A. N., H. L. Warren, S. Kyamanywa and W. Kyamuhangire. 2005. The effect of delayed harvest on moisture content, insect damage, moulds and aflatoxin contamination of maize in Mayuge district of Uganda. *J. the Science of Food and Agriculture*. 85 (1): 2595-2599.

Kawano S., T. Fujiwara and M. Iwamoto. 1993. Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. J. Japan Soc. Hort. Sci. 62(2) : 465-470.

Knight, J.W. 1969. *The Starch Industry*. Pergamon Press, Oxford. 189 p.

Knox, A. M., J. C. Preez, and S. G. Kilian. 2004. Starch fermentation characteristics of Saccharomyces cerevisiae strains transformed with amylase genes from *Lipomyces kononenkoa* and *Saccharomycopsis fibuligera*. Enzyme Microb. Technol. 34:453–460.

Lauren, D. R., W. A. Smith and M. Di Menna. 2007. Influence of harvest date and hybrid on the mycotoxin content of maize (*Zea mays*) grain grown in New Zealand. *J. Crop and Horticultural Science*. 35(2): 331-340.

Medthai. 2017. เอนไซม์ (Enzyme) คืออะไร? ประโยชน์ของเอนไซม์ 11 ข้อ. สืบค้นจาก https://medthai.com/ วันที่ 10 มีนาคม 2561.

Mesic, M., Corluka, V., & Valter, Z. 2005. Analysis of some parameters influencing moisture quantity measurements in wheat with NIR technique. In *Applied Electromagnetics and Communications.* ICECom 2005. 18th International Conference on IEEE. 1-4.

Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis, 2nd Edition. Longman Scientific and Technical, Singapore. 227.

Saranwong S. and S. Kawano. 2005. Rapid detection of fungicide contaminated on fruit surface using NIR-DESIR technique: Part II Applications on Euparen detection of fresh tomatoes. Proceedings of the 21st NIR Forum. Japan Council of NIR Spectroscopy (JCNIRS). p.162.

Saranwong S., J. Sornsrivichai and S. Kawano. (2003). Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. J. Near Infrared Spectrosc. 11, 175-181.

Schwietzke S., Y.M. Kim, E. Ximenes, N. Mosier, M. Ladisch. 2009. *Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement* Biotechnology in Agriculture and Forestry. A.L. Krize, B.A. Larkins(eds.) vol.63 Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.

Siriphollakul, P., Nakano, K., Kanlayanarat, S., Ohashi, S., Sakai, R., Rittiron, R., & Maniwara, P. 2017. Eating quality evaluation of Khao Dawk Mali 105 rice using near-infrared spectroscopy. LWT-Food Science and Technology, 79, 70-77.

Suthiluk P.,T. Satake, S. Saranwong and S. Kawano. 2005. Assessment of bacterial contamination in shredded cabbage with NIR spectroscopy. Proceedings of the 21st NIR Forum. Japan Council of NIR Spectroscopy (JCNIRS). p. 164.

Tajuddin T., S. Watanabe, R. Masuda, K. Harada and S. Kawano. 2002. Application of near infrared transmittance spectroscopy to the estimation of protein and lipid contents in single seeds of soybean recombinant inbred lines for quantitative trait loci analysis. J. Near Infrared Spectrosc. 10, 315-325.

Wei. Z., Z. Z. Hui- C. L. Tung. 1996. Direct Determination of the Starch Content in Gravy by Near- Infrared Spectroscopy. Jouenal of Agri. and food Chem. 44 (6): 1460–1463.

Xie N., N. jiang, M. zhang, W. Qi, RX. Su and Z. He. 2014. Effect of different pretreatment methods of corncob on bioethanol production and enzyme recovery. Cellulose Chem. Technol., 48 (3-4), 313-319.