

วิชาสัมมนา (1201-480)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในเมล็ดข้าวโพด

Factors Affecting Production of Carotenoid from Corn Kernel

โดย

นางสาวปรมาภรณ์ วงศ์คำชาญ

รหัสนักศึกษา 61120040871

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ภัทรลดา สุธรรมวงศ์

ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาคการศึกษาที่ 1/2564

วันที่ 15 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2564

หลักสูตร : วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
 วิชา : 1201 480 สัมมนา
 ปีการศึกษา : ภาคการศึกษาที่ 1/2564
 ชื่อเรื่อง : ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในเมล็ดข้าวโพด
 : Factors Affecting Production of Carotenoid from Corn Kernel
 โดย : นางสาวปรมาภรณ์ วงศ์คำชาญ รหัสนักศึกษา 61120040871
 อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ภัทรลดา สุธรรมวงศ์

บทคัดย่อ

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบตามธรรมชาติที่มีอยู่ในพืชผัก ผลไม้ ที่ทำให้มีสีแดง สีส้ม สีเขียว และสีเหลือง เช่น แครอท แคนตาลูป ผักโขม ฟักทอง สาหร่าย ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่เป็นตัวการสำคัญ ที่ทำให้เกิดการเสื่อมของเซลล์และอวัยวะต่างๆ ด้วยเหตุนี้จึงรวบรวมข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในเมล็ดข้าวโพด ซึ่งเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในผลผลิตของข้าวโพดขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ พันธุ์พืช และสภาพแวดล้อม จากการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยโดยการปรับปรุงพันธุ์ การคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนจำนวน 8 สายพันธุ์ ทำการผสมทดสอบแบบพบก้นหมด จำนวน 28 คู่ ผสมร่วมกับพันธุ์ทางการค้า จำนวน 3 ซ้ำ ได้คู่ผสมที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงสุด (2,370 กก./ไร่) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับพันธุ์ทางการค้า และมีสารเบต้า-แคโรทีนในเมล็ดมากกว่าพันธุ์ทางการค้า และปัจจัยทางสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะสมบัติของดินที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ พบว่าปริมาณโซเดียมสูงและจำนวนวันที่มีอุณหภูมิต่ำหรือสูงเป็นเวลานาน มีอิทธิพลต่อการผลิตข้าวโพดหวานเชิงปริมาณ นอกจากการปรับปรุงพันธุ์และการศึกษาสมบัติของดิน ยังได้วิเคราะห์องค์ประกอบของไลซีน ทรีปโตเฟน และโปรวิตามินเอในระยะเวลาพัฒนาเมล็ด ศึกษาระยะเวลาหวานและเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของข้าวโพดหวานให้อุดมด้วยสารอาหาร เมื่อพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการและความหวาน 20 วัน(หลังผสมเกสร) เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดหวาน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ในข้าวโพดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งสภาพแวดล้อมและการปรับปรุงพันธุ์ต่างมีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์

คำสำคัญ: แคโรทีนอยด์, เบต้าแคโรทีน, ข้าวโพด, การปรับปรุงพันธุ์, สมบัติดิน

บทนำ

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับสามของโลก รองมาจากข้าวสาลี และข้าว สามารถปลูกได้ทั่วไปในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เขตกึ่งร้อนชื้น และพื้นที่ราบเขตร้อน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547) สำหรับประเทศไทยข้าวโพดถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เนื่องจากมีพื้นที่เพาะปลูกครอบคลุมอยู่ทั่วทุกภาค ทำให้สามารถสร้างรายได้เป็นจำนวนมากให้กับประเทศ ผู้บริโภคนิยมรับประทาน คือ ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว และข้าวโพดข้าวเหนียว โดยนำมาต้มสุกรับประทาน ใช้ประกอบอาหารหรือทำขนมหวาน นอกจากรสชาติหวานอร่อยแล้ว ข้าวโพดยังประกอบไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดที่ช่วยป้องกันหรือยับยั้งความเสียหายของเซลล์ที่เกิดขึ้นจากอนุมูลอิสระ อันเป็นปัจจัยก่อโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือด เป็นต้น ข้าวโพดหวานที่คนส่วนใหญ่นิยมรับประทานประกอบด้วยกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) และสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นสารสีที่ให้สีเหลือง สีส้ม และสีแดงแก่พืชพบได้ในข้าวโพด เช่น ซีแซนทีน (zeaxanthin) ลูทีน (lutein) คริปโตแซนทีน (cryptoxanthin) และเบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอที่มีบทบาทสำคัญในการบำรุงร่างกาย ช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกันเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจ โดยที่ร่างกายสามารถเปลี่ยนเบต้า-แคโรทีนเป็นวิตามินเอได้ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ ปริมาณของเบต้า-แคโรทีนที่ควรรับประทานต่อวันเพื่อรักษาสุขภาพให้แข็งแรงนั้น คือ 15 มิลลิกรัม นอกจากเบต้า-แคโรทีนจะมีประโยชน์ต่อร่างกายและผิวพรรณ ยังสามารถทำอันตรายต่อร่างกายได้ เนื่องจากเบต้า-แคโรทีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) เมื่อร่างกายได้รับมากกว่าความต้องการ จะหันไปทำหน้าที่ในทางตรงกันข้าม โดยกลายเป็น pro-oxidant ซึ่งเป็นสารที่ส่งเสริมการเกิดอนุมูลอิสระ การบริโภคเบต้า-แคโรทีนที่มากเกินไปอาจเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง โดยเฉพาะการรับประทานเบต้า-แคโรทีนในรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ในปัจจุบันมีรายงานว่าปริมาณของแคโรทีนอยด์ในพืชมีความสำคัญต่อร่างกาย ดังนั้นจึงได้อภิปรายเกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ในข้าวโพด

แคโรทีนอยด์

บทบาทของแคโรทีนอยด์ในพืช

หน้าที่หลักของแคโรทีนอยด์ในพืช คือ ดูดกลืนแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง และป้องกันคลอโรฟิลล์จากการถูกทำลายจากแสงที่มีความเข้มสูง นอกจากนี้ยังมีส่วนในการส่งสัญญาณให้เซลล์ผลิตกรดแอบไซซิก (abscisic acid) หรือ ABA ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการงอกของเมล็ด การแบ่งเซลล์ และการเจริญเติบโตของพืช

ประเภทและโครงสร้างของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มย่อยดังนี้

1. แคโรทีน (carotene)

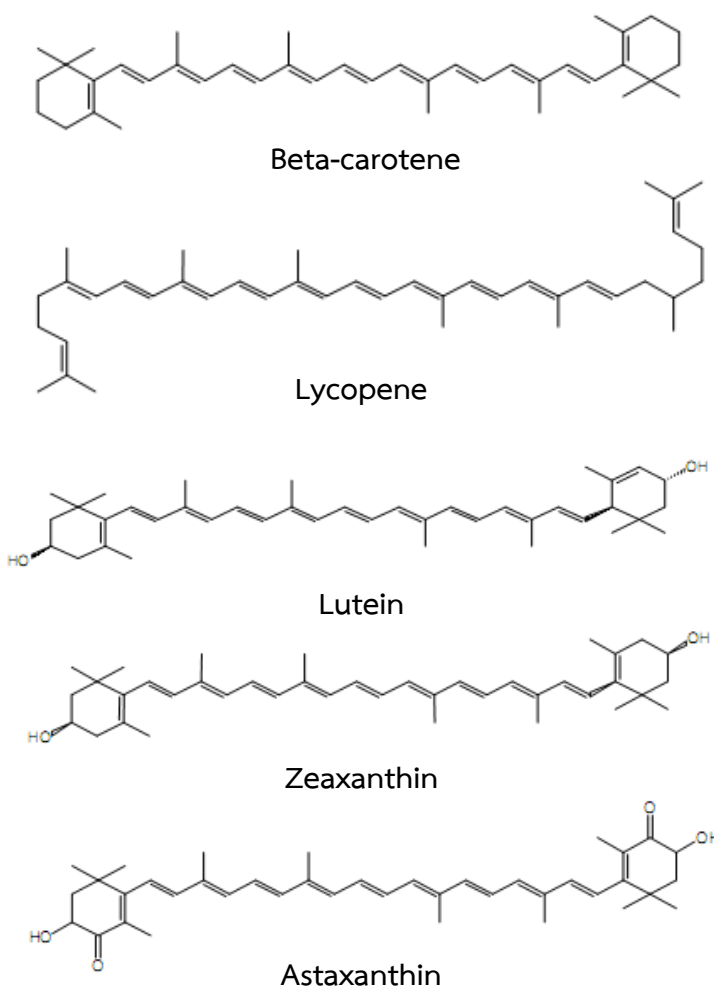
เป็นรงควัตถุที่มีสี่ส้อมหรือส้อม-แดงเป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอนมีโครงสร้างทางเคมีเป็นสองไอโซเมอร์หลัก คือ แอลฟา-แคโรทีน (alpha-carotene) และเบต้า-แคโรทีน (beta-carotene)

2. แซนโทฟิลล์ (xanthophyll)

มีสี่เหลี่ยมหรือส้อม-เหลืองเป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งแซนโทฟิลล์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับระดับ oxidation ของโมเลกุลแคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติมีประมาณ 600 ชนิดที่พบมากมี 6 ชนิด คือ แอลฟา-แคโรทีน (alpha-carotene) เบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) เบต้า-คริปโตแซนทีน (beta-cryptoxanthin) ไลโคพีน (lycopene) ลูทีน (lutein) และซีแซนทีน (zeaxanthin) (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2561)

โครงสร้างของแคโรทีนอยด์

โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน จำนวน 8 หน่วย ที่เกิดพันธะโควาเลนต์และทำให้เกิดคอนจูเกชันของพันธะคู่เป็นสายยาว ระบบคอนจูเกชัน ที่ทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงสีขาวย ทำให้แคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีสีและมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจเป็นเส้นตรง สามารถจำแนกแคโรทีนอยด์เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่ม hydrogenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแคโรทีน เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอน ทำให้เป็นสารไม่มีขั้วและละลายได้ในไขมัน ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน และไลโคพีน กลุ่มที่ 2 คือ oxygenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแซนโทฟิล มีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล จึงมีขั้วมากกว่าและละลายในไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์กลุ่มแรก ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ลูทีน ซีแซนทีน และแอสตาแซนทีน (Simpson *et al.*, 1989)



ที่มา: Fox and Ververse (1960)

ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของ Hydrogenated และ Oxygenated carotenoid derivatives

ประโยชน์ของเบต้า-แคโรทีน

เบต้า-แคโรทีนช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน เบต้า-แคโรทีนในระดับสูงสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคต่อกระจกและโรคจอประสาทตาเสื่อม ลูทีนและซีแซนทีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่สะสมอยู่บริเวณเรตินาของดวงตาทำหน้าที่ปกป้องเรตินาและจอประสาทตาจากกระบวนการ oxidative stress จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคจอประสาทตาเสื่อม สารอาหารแคโรทีนอยด์ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแคโรทีนอยด์รวมสามารถเพิ่มการต่อต้านไม่ให้เกิดปฏิกิริยา oxidation กับไขมันเลว (Low Density Lipoprotein, LDL) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อนุพันธ์และแหล่งที่พบของแคโรทีนอยด์

แหล่งแคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติที่พบมากมี 6 ชนิด คือ

1. แอลฟา-แคโรทีน

ร่างกายสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นวิตามินเอ เพื่อนำไปใช้ได้มีการศึกษาพบว่า แครอท และ ฟักทอง สารแอลฟาแคโรทีนสามารถลดขนาดของเนื้องอกในสัตว์ได้ชัดเจน ยังมีประสิทธิภาพมากกว่า เบต้า-แคโรทีนถึง 10 เท่า ในการปกป้องผิว ดวงตา ตับ และเนื้อเยื่อปอด จากการถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ

2. เบต้า-แคโรทีน

พบมากในผักที่มีสีส้มสดใส เช่น บรอกโคลี แคนตาลูป ฟักทอง แครอท มะม่วง ลูกพีช มันเทศ และผักขม เบต้า-แคโรทีนถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้เมื่อร่างกายต้องการ และส่วนที่ไม่ถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอจะทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีการศึกษาพบว่าเบต้าแคโรทีน มีบทบาทสำคัญในการป้องกันมะเร็ง โดยยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระและยังพบว่าเบต้าแคโรทีนช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของระบบภูมิคุ้มกัน ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง กล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลัน เส้นโลหิตในสมองตีบ และยังช่วยป้องกันโรคต่อกระเจก

3. ครีโบโตแซนทิน

พบมากใน ลูกพีช มะละกอ และส้ม ครีโบโตแซนทินจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้เมื่อร่างกายต้องการ มีการศึกษาเปรียบเทียบระดับแคโรทีนอยด์ในเลือดของผู้หญิงที่เป็นมะเร็งปากมดลูก กับผู้หญิงที่ไม่ได้เป็นมะเร็งปากมดลูกพบว่า ผู้หญิงที่ไม่เป็นมะเร็งมีระดับของครีโบโตแซนทินในเลือดสูงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าครีโบโตแซนทินอาจช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งชนิดนี้ได้ และการสูบบุหรี่จะทำให้ระดับของครีโบโตแซนทินต่ำลง เมื่อนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการเปรียบเทียบระดับของครีโบโตแซนทินในผู้ที่สูบบุหรี่กับผู้ที่ไม่สูบบุหรี่

4. ไลโคปีน

เป็นสารที่ทำให้ มะเขือเทศ แดงโม องุ่น และผลไม้หลายชนิดมีสีแดง ไลโคปีน ไม่มีคุณสมบัติเป็น “โปรวิตามินเอ” หมายถึง ร่างกายของเราไม่สามารถเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอได้ ไลโคปีนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเบต้า-แคโรทีนมาก ช่วยยับยั้งเซลล์มะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งต่อมลูกหมากในผู้ชาย ช่วยปกป้องเราจากสารก่อมะเร็งจากควันบุหรี่ และต้านอนุมูลอิสระจากรังสียูวี (UV) ในแสงแดด จากงานวิจัยใหม่ๆยังพบว่าไลโคปีนช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจได้อีกด้วย

5. ลูทีน

พบมากในผักขม กะหล่ำปลี และดอกดาวเรือง ไม่มีคุณสมบัติเป็น “โปรวิตามินเอ” เหมือนไลโคปีนแต่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่น่าประทับใจมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณประโยชน์ในการปกป้องดวงตา พบว่าลูทีนช่วยจัดการกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากรังสียูวี (UV) ที่เป็นอันตรายต่อดวงตา และช่วยชะลอการเสื่อมของศูนย์กลางจอประสาทตา อันเป็นสาเหตุอันดับหนึ่งของการตาบอดในผู้ที่มีอายุ 65 ปีขึ้นไป

6. ซีแซนทีน

แคโรทีนอยด์ชนิดนี้ ช่วยปกป้องดวงตาจากโรคจอประสาทตาเสื่อม เนื่องจากถูกอนุมูลอิสระทำลายยังช่วยป้องกันมะเร็งอีกหลายชนิด ช่วยลดการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อร้าย ซีแซนทีนพบมากในผักขม และกระเจี๊ยบเขียว

แคโรทีนอยด์ในข้าวโพด

ข้าวโพดมีสารลูทีนและซีแซนทีน ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสารรงควัตถุที่มีสีในตระกูลของสารแคโรทีนอยด์ แต่ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอได้ ซึ่งต่างจากเบต้า-แคโรทีนที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองถึงแดงที่พบในข้าวโพดเป็นชนิดสีเหลือง สารประเภทลูทีนและซีแซนทีนซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ 2 ชนิดเท่านั้นที่พบในจุดรับภาพของลูกตา (macula) ในจอตา โดยทั้งคู่ทำหน้าที่ช่วยป้องกันรังสีจากแสงแดดที่เป็นอันตรายต่อดวงตาช่วยปกป้องเซลล์ของจอประสาทตาไม่ให้ถูกทำลาย โดยการลดอนุมูลอิสระและกรองแสงสีน้ำเงินที่จะทำลายดวงตาจึงช่วยลดความเสี่ยงในการเป็นโรคต้อกระจกและโรคจอตาเสื่อมมีการวิจัยพบว่าการรับประทานลูทีนในปริมาณสูงเพิ่มความสามารถในการมองเห็นของผู้ป่วยที่เป็นต้อกระจกนอกจากนี้ยังพบว่าทั้งลูทีนและซีแซนทีนต่างก็มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถลดความเสี่ยงในโรคที่เกิดจากการมีสารอนุมูลอิสระสูงได้

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเบต้า-แคโรทีนในข้าวโพด

ปริมาณเบต้า-แคโรทีนในผลผลิตพืชขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ พันธุ์พืช (Hannoufa and Hossain, 2012) และสภาพแวดล้อม ซึ่งสมบัติดินแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันโดยได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยที่เกิดจากดิน เช่น วัตถุต้นกำเนิดดิน ความสูง สภาพภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยเฉพาะพื้นที่และส่งผลโดยตรงกับสมบัติดิน โดยเฉพาะสมบัติที่เปลี่ยนแปลงยาก เช่น เนื้อดิน ช่องว่าง ความลึกดิน ชนิดและปริมาณแร่ในดิน ซึ่งสมบัติดินเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต

แนวทางการเพิ่มสารแคโรทีนอยด์

เพิ่มปริมาณด้วยการปรับปรุงพันธุ์

ชฎามาศและคณะ (2561) กล่าวว่า เพื่อการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวให้มีคุณค่าเพิ่มขึ้น จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวให้มีปริมาณเบต้า-แคโรทีน พร้อมทั้งทดสอบสมรรถนะการผสม ผลผลิตและคุณภาพการรับประทาน

ผลการศึกษาการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว

รวบรวมสายพันธุ์จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประเมินปริมาณโปรวิตามินเอ การวิเคราะห์สารเบต้า-แคโรทีนในเมล็ด ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ช่วงความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร (nm) คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในเมล็ด เพื่อนำมาสกัดสายพันธุ์โดยการผสมตัวเองและผสมกลับ จากนั้นผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะทางการเกษตรดีแข็งแรงและต้านทานโรค มีคุณภาพการรับประทานดี พัฒนาสายพันธุ์ S₅ และ BC₁S₄ คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนจำนวน 8 สายพันธุ์ ผสมแบบพบกันหมดได้ 28 คู่ผสม และทดสอบสมรรถนะการผสมพร้อมทั้งทดสอบผลผลิตเปรียบเทียบกับพันธุ์ทางการค้า ได้แก่ พันธุ์สามสีในฤดูแล้งปี 2561 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ปลุก 4 แถวต่อ 1 แปลงย่อย แถวยาว 5 เมตร ระยะปลุก 75 x 25 เซนติเมตร บันทึกผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก เปอร์เซ็นต์เมล็ดเนียน และให้คะแนนลักษณะคุณภาพการรับประทาน โดยแบ่งออกเป็นความเหนียว ความนุ่ม และความชอบ มีระดับการให้คะแนน 1-5 คือ 1 หมายถึงไม่ดี และ 5 หมายถึงดีมาก

ผลผลิตของลูกผสมร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบ พบว่าคู่ผสมที่มีผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก สูงสุด 10 อันดับแรกมีผลผลิตอยู่ระหว่าง 2,005-2,370 กก./ไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ 1,165 กก./ไร่ ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ 1,077-1,354 กก./ไร่ และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดเนียน 39-47% (ตารางที่ 1) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน พบว่ามีปริมาณ 0.02-0.07 mg/100gFW ซึ่งมากกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ ซึ่งคู่ผสม Kwbsx6201 และ Kwbsx6224 มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนในเมล็ดสูงสุด (ตารางที่ 1) สำหรับการประเมินคุณภาพการรับประทาน พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ นอกจากนั้นคู่ผสม Kwbsx6202, Kwbsx6210 และ Kwbsx6212 มีความเหนียวและความนุ่มอยู่ในระดับดี (ระดับ 4) เทียบเท่ากับพันธุ์เปรียบเทียบ (ตารางที่ 1)

เมื่อประเมินสมรรถนะการผสมพบว่าสายพันธุ์ Kwi107-3 มีค่าสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) ของผลผลิตสูงสุด คู่ผสม Kwbsx6209 เป็นคู่ผสมที่มีค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) สูงสุด (ตารางที่ 2) การพิจารณาคัดเลือกคู่ผสมข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีสารเบต้า-แคโรทีนและศักยภาพที่ดินนั้นควรพิจารณาถึงคุณภาพการรับประทาน ผลผลิต และปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนในเมล็ดพบว่าคู่ผสม Kwbsx6202, Kwbsx6210 และ Kwbsx6212 เป็นคู่ผสมที่มีความดีเด่นและมีปริมาณเบต้า-แคโรทีนในเมล็ด 0.04-0.05 mg/100gFW มีคุณภาพการรับประทานอยู่ในระดับดี และมีผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 2,059 กก./ไร่, 2,032 กก./ไร่ และ 2,099 กก./ไร่ ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยผลผลิต น้ำหนักฝักสดทั้งเปลือก, ฝักสดปอกเปลือก, เมล็ดเหนียว (%), เบต้า-แคโรทีนในเมล็ด, ความเหนียว, ความนุ่ม และรสชาติของลูกผสม 10 อันดับแรก

พันธุ์ลูกผสม	ผลผลิต (กก./ไร่)		เมล็ดเหนียว (%)	เบต้า-แคโรทีน mg/100FW	ความเหนียว	ความนุ่ม	รสชาติ
	ฝักสดทั้งเปลือก	ฝักสดปอกเปลือก					
Kwbsx6201	2194	1192	44	0.07	3	3	3
Kwbsx6202	2059	1253	44	0.05	4	4	3
Kwbsx6205	2005	1273	47	0.04	3	3	2
Kwbsx6210	2032	1226	40	0.05	4	4	3
Kwbsx6211	2208	1212	46	0.03	3	3	3
Kwbsx6212	2099	1226	44	0.04	4	4	2
Kwbsx6213	2181	1233	39	0.04	3	3	3
Kwbsx6214	2005	1077	47	0.05	3	3	3
Kwbsx6224	2086	1165	46	0.06	3	3	2
Kwbsx6226	2370	1354	45	0.04	3	3	3
พันธุ์สามสี	1165	833	46	0.01	4	4	4
ค่าเฉลี่ย	2037	1186	44	0.04	3	3	3
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD (0.05)	761.7	453.78	15.67	0.04	1.29	1.59	1.5
LSD (0.01)	1013.9	604.03	20.86	0.06	1.72	2.12	2
C.V. (%)	24.17	24.75	20.86	50.21	26.5	37.43	36.8

หมายเหตุ : ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่มา: ชฎามาศ และคณะ (2562)

ตารางที่ 2 สมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของผลผลิต
8 สายพันธุ์

สายพันธุ์	KwiC18	Kwi107-3	Kwi117-3	Kwi130-1	Kwi134-1	Kwi136-3	Kwi139-3	Kwi145-2
KwiC18	-	3.12	61.57	-289.37*	83.34	-26.09	224.01*	-76.59
Kwi107-3	-	-	2.46	403.51**	-238.76*	-64.20	-201.09	94.96
Kwi117-3	-	-	-	28.96	-166.98	163.90	-229.98	140.07
Kwi130-1	-	-	-	-	227.07	-31.70	-323.92*	-14.54
Kwi134-1	-	-	-	-	-	175.68	-52.54	-27.81
Kwi136-3	-	-	-	-	-	-	231.01	-448.59**
Kwi139-3	-	-	-	-	-	-	-	332.51*
Kwi145-2	-	-	-	-	-	-	-	-
GCA	-53.87	187.56**	-114.87	33.06	25.68	26.79	55.01	-159.37*

หมายเหตุ : ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* คือ ข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

** คือ ข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

ที่มา : ชฎามาศ และคณะ (2562)

เพิ่มปริมาณสารเบต้าแคโรทีนด้วยดินปลูกที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวโพดหวาน

สมบัติและสภาพแวดล้อมของดินจากหน่วยดินต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบออกฤทธิ์เชิงชีวภาพ (เบต้า-แคโรทีน) ขนาด (ความยาวฝัก) และรส (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด) และน้ำหนักรสของข้าวโพดหวาน โดยเก็บตัวอย่างดินและข้าวโพดหวานจากแปลงข้าวโพดหวาน 21 แปลง ภายใต้พันธุ์อายุเก็บเกี่ยวและการจัดการน้ำแบบเดียวกัน วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ของตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างและไม่รบกวนโครงสร้าง และจำแนกตัวอย่างดินเป็นหน่วยดิน

จากการจำแนกตัวอย่างดินที่ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์เดียวกันและอายุเก็บเกี่ยวใกล้เคียงกัน (75-80 วัน) นำมาจัดกลุ่มได้ 6 หน่วยดิน ดังนี้

หน่วยดินที่ 1 Typic Haplustalfs with sandy clay (ชุดดินทราย) จำนวน 3 แปลง

หน่วยดินที่ 2 Typic Haplustalfs with sandy clay loam (ชุดดินร่วนปนทราย) จำนวน 7 แปลง

หน่วยดินที่ 3 Typic Haplustalfs with loam (ชุดดินร่วน) จำนวน 3 แปลง

หน่วยดินที่ 4 Typic Haplustalfs with sandy loam (ชุดดินร่วนปนทราย) จำนวน 4 แปลง

หน่วยดินที่ 5 Chromic Haplusterts จำนวน (ชุดดินวังชมพู) 2 แปลง

หน่วยดินที่ 6 Typic Paleustults (ชุดดินเนินสูง) จำนวน 2 แปลง

ตัวอย่างข้าวโพดหวานอย่างละ 4 ฝัก ต่อแปลงถูกชั่งน้ำหนักสดวัด ความยาวฝักปอกเปลือก วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) และปริมาณเบต้าแคโรทีน วิเคราะห์ความแตกต่างของมีค่าเฉลี่ยสมบัติดิน จากตัวอย่างดินในหน่วยดินต่างกันพบว่าปริมาณ ซิลิกา อะลูมิเนียม เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ไททานเนียม แมงกานีส แบเรียม และเซอร์คอน มีความแตกต่างกันระหว่างหน่วยดิน ซึ่งสัมพันธ์กับชนิดวัตถุต้นกำเนิดดินและการจัดการธาตุอาหารของเกษตรกร (ตารางที่ 3) สำหรับสมบัติฟิสิกส์มีความแตกต่างทางสถิติเช่นกันยกเว้นความจุความชื้น (AWCA) (ตารางที่ 4) สภาพอากาศในแต่ละหน่วยดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5) ผลผลิตด้านน้ำหนักความยาวฝักปริมาณเบต้า-แคโรทีนและค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยน้ำหนักสดสูงสุดในหน่วยดินที่ 5หนัก 342 กรัม และหน่วยดินที่ 6 มีความยาวฝักสูงสุดที่ 28 เซนติเมตร หน่วยดินที่ 3 มีน้ำหนักฝักสดและความยาวฝักต่ำที่สุด 274 กรัม และ 18 เซนติเมตร ปริมาณเบต้า-แคโรทีนในข้าวโพดที่ปลูกในหน่วยดินที่ 3 มีปริมาณสูงสุด และหน่วยดินที่ 5 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนต่ำที่สุด สำหรับค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด สูงสุดในหน่วยดินที่ 1 มีค่า 16.04 °Brix และต่ำสุดในหน่วยดินที่ 3 มีค่า 13.59 °Brix (ตารางที่ 5)

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวโพดหวานพบว่าเฉพาะปริมาณโซเดียมมีความสัมพันธ์ผกผันกับน้ำหนักฝัก ความยาวฝักและค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยมีค่า r -0.53 ถึง -0.55 และสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเบต้า-แคโรทีนที่ $1=0.43$ (ตารางที่ 6) การที่โซเดียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเบต้า-แคโรทีนนั้นเกี่ยวข้องกับการสร้างความเครียดภายในพืช นำไปสู่การส่งสัญญาณไปที่เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เบต้า-แคโรทีน (Beta-carotene biosynthesis) ของข้าวโพด เพื่อใช้ในการปรับตัวให้ทนต่อสภาวะเครียดได้ (Soussi *et al.*, 1998) ความเครียดจากความชื้นดินและความเค็มชักนำให้มีการสังเคราะห์ phytoene synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสร้าง phytoene อันเป็นขั้นตั้งต้นในการสังเคราะห์สารแคโรทีนอยด์ การสร้าง phytoene ถูกชักนำในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (ศิริประภา และคณะ, 2562)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยสมบัติดินทางเคมีแต่ละหน่วยการจำแนกดิน

ชุดดิน	pH (1:1)	OM (%) (mg/kg)	Extr. Zn (mg/kg)	Extr. Cu (mg/kg)	Extr. B (mg/kg)	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ K ₂ O P ₂ O ₅ CaO MgO Na ₂ O MnO ZrO ₂ (----- % by wt.-----)										Application		
																N (-----kg/rai-----)	P	K
1	7.2	2.13 ^{bc}	33.46	0.39	0.31	68 ^{ab}	18 ^{bc}	6.76 ^{bc}	4.03 ^b	0.26	0.99 ^{ab}	1.01 ^b	0.20 ^{ab}	0.15 ^a	0.06 ^a	19.01	6.39	4.51
2	7.6	1.57 ^{ab}	34.49	0.22	0.29	71 ^{abc}	16 ^{bc}	5.34 ^{bc}	4.20 ^b	0.23	0.93 ^{ab}	1.00 ^b	0.32 ^{abc}	0.14 ^a	0.06 ^a	33.32	5.54	2.35
3	7.8	1.35 ^a	28.08	0.37	0.53	72 ^{bc}	15 ^{abc}	4.38 ^b	4.25 ^b	0.35	1.16 ^b	0.94 ^b	0.53 ^c	0.15 ^a	0.07 ^b	28.02	5.48	1.75
4	7.6	0.99 ^a	29.52	0.17	0.39	82 ^d	10 ^a	2.12 ^a	3.65 ^b	0.12	0.51 ^a	0.50 ^a	0.45 ^{bc}	0.09 ^a	0.06 ^a	35.99	4.52	0.00
5	7.4	2.64 ^c	22.35	0.15	0.28	63 ^a	20 ^c	7.41 ^c	4.87 ^b	0.16	1.90 ^c	1.04 ^b	0.18 ^{ab}	0.31 ^b	0.05 ^a	14.75	5.25	0.00
6	8.0	1.38 ^a	26.44	0.42	0.24	78 ^{cd}	14a ^b	4.82 ^b	0.68 ^a	0.33	1.11 ^b	0.36 ^a	0.05 ^a	0.15 ^a	0.08 ^b	33.50	7.50	0.00
F-test	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**	**	ns	**	**	*	*	**	ns	ns	ns
P-value	0.241	0.001	0.205	0.358	0.143	0.005	0.010	0.001	0.000	0.252	0.004	0.000	0.020	0.024	0.010	0.439	0.986	0.460

หมายเหตุ : ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* คือ ข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

** คือ ข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

ที่มา: ศิระประภา และคณะ (2562)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยสมบัติดินทางฟิสิกส์แต่ละหน่วยการจำแนกดิน

ชุดดิน	ความจุความชื้น (%)	ความพรุน (%)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ดินเหนียว (%)
1	14	0.43 ^a	1.50 ^b	36 ^{cd}
2	13	0.39 ^a	1.61 ^b	24 ^{bc}
3	13	0.41 ^a	1.56 ^b	18 ^{ab}
4	11	0.38 ^a	1.65 ^b	10 ^a
5	13	0.52 ^b	1.28 ^a	39 ^d
6	10	0.40 ^a	1.59 ^b	24 ^{bc}
F-test	ns	*	*	**
P-value	0.877	0.018	0.018	0.002

หมายเหตุ : ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* คือ ข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

** คือ ข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

ที่มา: ศิริประภา และคณะ (2562)

ตารางที่ 5 ผลผลิตข้าวโพดหวานและสภาพภูมิอากาศในแต่ละหน่วยการจำแนกดิน

หน่วยดิน	น้ำหนักสด ทั้งเปลือก (กรัม/ฝัก)	ความยาวฝัก ไม่ปอก เปลือก (ซม./ฝัก)	เบต้า-แคโรทีน (mg/100g)	TSS (°Brix)	Tmin (-----°C-----)	Tmax	Tavg	Day with			Wind speed (km/h)	Total Rain (mm)	RH avg (%)	RH Min (%)	RH Max (%)
								Tmin <25	Tmax >30	RH <60%					
1	322	27.63	0.053	16.04	25.20	34.45	27.64	53	61	6	7.53	58.9	70	41	94
2	321	22.21	0.069	14.85	23.05	34.95	27.17	59	65	13	7.06	56.2	67	39	91
3	274	17.98	0.069	13.59	23.01	35.19	28.42	65	70	18	6.70	49.1	64	36	89
4	329	23.28	0.053	13.94	22.91	35.07	28.31	67	70	18	6.70	47.3	64	36	89
5	342	21.79	0.041	14.58	23.04	35.17	28.43	66	72	19	6.70	49.3	64	36	89
6	323	28.13	0.060	15.38	22.40	34.52	27.80	72	68	17	6.70	40.9	65	37	89
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P-value	0.818	0.140	0.304	0.064	0.053	0.149	0.200	0.239	0.319	0.217	0.276	0.358	0.477	0.334	0.233

หมายเหตุ : ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่มา: ศิริประภา และคณะ (2562)

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน

Item	เบต้า-แคโรทีน (mg/100g FW)	TSS (°Brix)	น้ำหนักฝักสด (กรัม/ฝัก)	ความยาว (ซม./ฝัก)
Na ₂ O (% by wt.)	0.43	-0.54	-0.53	-0.55
Tmin (°C)	0.00	-0.46	-0.01	-0.74
Day with T <25 (°C) (Chilling requirement)	0.04	0.42	0.05	0.75
Day with T >30 (°C) (Heat degree day)	-0.13	-0.48	0.07	-0.36

ที่มา: ศิระประภา และคณะ (2562)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของไลซีน ทริปโตเฟน และโปรวิตามินเอ ในระยะการพัฒนามะลัด

ข้าวโพดหวานแบบดั้งเดิมนั้นขาดสารอาหารที่จำเป็น เช่น ไลซีนและทริปโตเฟน ในขณะที่ข้าวโพดหวานสีเหลืองที่มีอยู่นั้นขาดโปรวิตามินเอ (pro-vitamin A) การเสริมฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวโพดหวานพันธุ์ต่างๆสามารถให้อาหารที่สมดุลในลักษณะที่ยั่งยืนและคุ้มค่า ข้าวโพดไร่ที่ได้รับการเสริมชีวภาพ (สำหรับเมล็ดแห้ง) พันธุ์ที่อุดมไปด้วยโปรวิตามินเอ และกรดอะมิโนที่จำเป็นได้รับการพัฒนาและเผยแพร่เพื่อการเพาะปลูกในหลายประเทศ ข้าวโพดหวานต่างจากพันธุ์ข้าวโพดไร่ตรงที่ข้าวโพดหวานไม่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของโปรวิตามินเอทางความร้อนและภาพถ่ายมากนักในเมล็ดที่เก็บเกี่ยว เนื่องจากเมล็ดพืชจะถูกบริโภคสดหรือเก็บไว้ที่อุณหภูมิเยือกแข็ง การผลิตและการบริโภคข้าวโพดหวานที่เสริมฤทธิ์ทางชีวภาพจะช่วยให้เกษตรกรสร้างรายได้มากขึ้นและมีส่วนทำให้เกิดความมั่นคงทางโภชนาการ

ผลการศึกษาการสะสมของไลซีน ทริปโตเฟน และโปรวิตามินเอ ในระยะการพัฒนามะลัด

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในเมล็ดของน้ำตาล, เบต้า-แคโรทีน, เบต้า-คริปโตแซนทินและโปรวิตามินเอในกลุ่มพันธุ์ข้าวโพดหวาน เวลาหวานและเวลาเก็บเกี่ยวมีผลอย่างมากต่อลักษณะคุณภาพเหล่านี้ทั้งหมด มีการสังเกต จีโนไทป์ × เวลาหวานเมล็ด และจีโนไทป์ × เวลาเก็บเกี่ยว ยีน × เวลาหวาน × เวลาเก็บเกี่ยว มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อน้ำตาล, เบต้า-แคโรทีน, เบต้า-คริปโตแซนทินและโปรวิตามินเอ (ตารางที่ 7) วิเคราะห์ข้าวโพดหวานลูกผสมที่พัฒนาขึ้นใหม่เพื่อ ศึกษาการสะสมของน้ำตาล ไลซีน ทริปโตเฟน เบต้า-แคโรทีน เบต้า-คริปโตแซนทิน และวิตามินเอ ในระยะการพัฒนาของเมล็ด และศึกษาระยะเวลาหวาน

และการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของข้าวโพดหวานให้อุดมด้วยสารอาหาร หลังวันที่หวานเมล็ดสามวัน ลูกผสมที่เสริมฤทธิ์ทางชีวภาพมีไลซีนสูงกว่า ทริปโตเฟน เบต้า-แคโรทีน เบต้าคริปโตแซนทีน และวิตามินเอตามลำดับ ข้าวโพดลูกผสมให้คุณค่าสารชีวภาพมากกว่าข้าวโพดหวานสีเหลืองแบบดั้งเดิม เวลาหวาน เวลาเก็บเกี่ยวและปฏิสัมพันธ์มีอิทธิพลอย่างมากต่อลักษณะทางโภชนาการ มีแนวโน้มการสะสมของไลซีน ทริปโตเฟน เบต้า-แคโรทีน คริปโตแซนทีน และวิตามินเอลดลง จากการสังเกตพบว่า 20, 24 และ 28 วัน ค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 24 วัน ตามด้วย 20 วัน และ 28 วัน (หลังผสมเกสร) (ตารางที่ 8) เมื่อพิจารณาถึงคุณค่าทางโภชนาการและความหวาน 20 วัน (หลังผสมเกสร) เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดหวาน ลักษณะทางโภชนาการมีความเข้มข้นสูงขึ้นและใช้เวลาในการหวานเมล็ดช้า

ตารางที่ 7 ลักษณะคุณภาพของเมล็ด

Source of variations	df	MSS					
		ความหวาน	ไลซีน	ทริปโตเฟน	เบต้า-แคโรทีน	เบต้าคริปโตแซนทีน	วิตามินเอ
Replication	1	19.1708**	0.00113**	0.00001	0.04647	0.06517	0.12128
เวลาหว่าน	2	170.15169**	0.001**	0.0001**	1.22671**	3.67467**	3.62597**
เวลาเก็บเกี่ยว	2	29.71135**	0.05913**	0.00577**	119.50164**	92.73051**	247.59696**
จีโนไทป์	21	61.90213**	0.10735**	0.00862**	653.03783**	384.50852**	1220.561**
จีโนไทป์ X เวลาหว่าน	42	1.89745**	0.00101**	0.00004	1.50128**	1.51523**	2.28293**
จีโนไทป์ X เวลาเก็บเกี่ยว	42	0.88325**	0.00137**	0.00013**	5.9441**	5.94867**	10.70339**
เวลาหว่าน X เวลาเก็บเกี่ยว	4	2.57825**	0.0003	0.0001**	3.97389**	0.47614**	5.09431**
จีโนไทป์ X เวลาหว่าน X เวลาเก็บเกี่ยว	84	0.52662**	0.00016	0.00001	1.13463**	1.12016**	1.74904**
Error	197	0.29848**	0.00014	0.00001	0.07385	0.11371	0.10128
Total	395	4.93413**	0.00638	0.00052	36.43989	22.02389	68.01778

**Significance at 1%; df: degrees of freedom; MSS: mean sum of squares; BC: β -cryptoxanthin; ProA: Provitamin A.

ที่มา: Mehta *et al.* (2020)

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพและการตรวจสอบวันที่หวานเมล็ดของข้าวโพดหวาน ที่ผสมปุ๋ยชีวภาพของ
ลูกผสมร่วมกับพ่อแม่พันธุ์

ลำดับ	ลูกผสม	ความหวาน (%)			ไลซีน (%)			ทริปโตเฟน (%)		
		20-DAP	24-DAP	28-DAP	20-DAP	24-DAP	28-DAP	20-DAP	24-DAP	28-DAP
1	ASKH-1-A	17.61	18.40	17.84	0.388	0.362	0.343	0.081	0.075	0.061
2	ASKH-1-B	18.03	18.56	17.66	0.322	0.347	0.298	0.087	0.084	0.073
3	ASKH-1-C	18.12	18.87	17.86	0.336	0.308	0.282	0.079	0.074	0.067
4	ASKH-1-D	17.55	18.19	17.54	0.227	0.194	0.180	0.038	0.042	0.033
5	ASKH-1-E	17.65	18.10	17.08	0.211	0.181	0.169	0.039	0.035	0.032
6	ASKH-1-F	18.05	18.72	17.83	0.185	0.208	0.185	0.038	0.041	0.031
7	ASKH-1-G	17.60	18.33	18.86	0.428	0.382	0.358	0.103	0.083	0.069
8	ASKH-1-H	17.42	18.70	17.18	0.392	0.367	0.345	0.101	0.085	0.073
9	ASKH-1-I	17.44	18.81	17.63	0.384	0.358	0.338	0.079	0.068	0.061
10	ASKH-1 (OH)	17.67	18.53	17.29	0.235	0.242	0.212	0.041	0.036	0.032
11	ASKH-2-A	17.85	17.68	17.39	0.316	0.352	0.308	0.088	0.081	0.072
12	ASKH-2-B	17.53	18.29	17.13	0.371	0.308	0.282	0.084	0.078	0.065
13	ASKH-2-C	17.85	18.37	17.47	0.367	0.331	0.308	0.074	0.067	0.061
14	ASKH-2-D	18.05	18.93	17.48	0.185	0.210	0.180	0.036	0.039	0.033
15	ASKH-2-E	18.37	18.35	17.11	0.173	0.155	0.151	0.035	0.033	0.029
16	ASKH-2-F	17.62	18.77	17.25	0.215	0.198	0.183	0.039	0.037	0.029
17	ASKH-2-G	18.79	19.01	17.80	0.358	0.307	0.287	0.085	0.076	0.067
18	ASKH-2-H	18.46	18.13	17.64	0.335	0.345	0.288	0.099	0.084	0.077
19	ASKH-2-I	17.48	19.31	18.01	0.406	0.370	0.343	0.073	0.082	0.068
20	ASKH-2 (OH)	17.81	18.21	17.12	0.203	0.193	0.173	0.036	0.034	0.027
21	PSSC-1 (Check)	17.48	18.24	17.25	0.222	0.198	0.169	0.030	0.035	0.030
22	PVQ9I (Check)	10.03	9.25	8.74	0.352	0.315	0.302	0.082	0.076	0.071
23	LSD (5%)	0.13	0.13	0.13	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001

ที่มา: Mehta *et al.* (2020)

ตารางที่ 8 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพและการตรวจสอบวันที่หวานเมล็ดของข้าวโพดหวาน ที่ผสม
ปุ๋ยชีวภาพของลูกผสมร่วมกับพ่อแม่พันธุ์

ลำดับ	ลูกผสม	เบต้า-แคโรทีน ($\mu\text{g/g}$)			เบต้า- คริปโตแซนทิน($\mu\text{g/g}$)			วิตามินเอ ($\mu\text{g/g}$)		
		20-DAP	24-DAP	28-DAP	20-DAP	24-DAP	28-DAP	20-DAP	24-DAP	28-DAP
1	ASKH-1-A	1.88	2.36	1.82	2.36	2.28	2.06	3.06	3.50	2.85
2	ASKH-1-B	2.08	1.91	1.60	2.26	2.50	2.03	3.21	3.16	2.62
3	ASKH-1-C	2.06	1.86	1.67	2.21	2.45	1.84	3.16	3.09	2.59
4	ASKH-1-D	16.18	13.94	11.67	11.16	10.92	10.32	21.76	19.40	16.83
5	ASKH-1-E	15.85	15.77	13.39	15.61	14.66	10.73	23.66	23.10	18.76
6	ASKH-1-F	17.06	14.24	12.33	13.88	13.62	12.24	24.00	21.05	18.45
7	ASKH-1-G	11.66	12.16	10.74	13.10	10.96	9.87	18.21	17.64	15.67
8	ASKH-1-H	11.46	9.69	8.53	11.77	11.73	9.96	17.34	15.55	13.68
9	ASKH-1-I	11.46	12.28	10.83	9.44	10.21	9.75	16.18	17.39	16.04
10	ASKH-1 (OH)	2.07	1.90	1.70	2.34	2.58	2.06	3.24	3.19	2.73
11	ASKH-2-A	2.14	2.15	1.75	2.42	2.79	2.05	3.35	3.54	2.77
12	ASKH-2-B	2.04	2.34	2.13	2.46	2.47	1.88	3.27	3.58	3.07
13	ASKH-2-C	2.49	1.98	1.38	2.38	2.34	1.97	3.68	3.15	2.37
14	ASKH-2-D	17.31	16.54	14.23	8.73	11.00	9.64	21.67	22.03	19.05
15	ASKH-2-E	16.04	16.54	14.88	9.56	9.41	7.61	20.83	21.25	18.69
16	ASKH-2-F	17.57	16.47	14.27	13.54	11.59	9.35	24.34	22.26	18.94
17	ASKH-2-G	16.55	13.06	10.97	14.55	11.01	8.94	23.83	18.57	15.44
18	ASKH-2-H	13.56	13.01	11.95	11.58	9.51	8.67	19.35	17.77	16.28
19	ASKH-2-I	17.46	14.29	11.64	14.45	13.13	10.79	24.68	20.86	17.03
20	ASKH-2 (OH)	1.84	2.34	1.92	2.45	2.64	2.14	3.07	3.66	2.99
21	PSSC-1 (Check)	1.89	2.18	1.81	2.05	2.46	2.21	2.93	3.41	2.92
22	PVQ9I (Check)	11.47	10.54	9.64	13.49	11.10	9.83	18.22	16.09	14.55
23	LSD (5%)	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

ที่มา: Mehta *et al.* (2020)

สรุป

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ เป็นสารสีจากธรรมชาติที่มีความสำคัญและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถพบได้ในพืชผักหลายชนิดมีบทบาทและคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์มาก นอกจากการใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มสีในอาหาร ยังมีคุณสมบัติการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประโยชน์ทางโภชนาการนับเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดความสนใจในการศึกษา เพื่อหาวิธีการให้ได้ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จากการอภิปรายปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในเมล็ดข้าวโพดพบว่า การผลิตแคโรทีนอยด์ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ สภาพแวดล้อมต่างๆ สมบัติดิน อุณหภูมิ ช่วงวันในการเก็บเกี่ยวผลผลิตและสายพันธุ์ของข้าวโพดที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์และสารอาหารอย่างมาก การผลิตข้าวโพดยังสามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถใช้วัตถุดิบหรือสารตั้งต้นราคาถูก เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่งด้วย

บรรณานุกรม

- คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ไร่นา. 2547. พืชเศรษฐกิจ (พิมพ์ครั้งที่ 2). ภาควิชาพืชไร่ไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- แคโรทีนอยด์ (Carotenoid). 2564. (http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science2_2/more/carotenoid_1.php). สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2564.
- ชฎามาศ จิตต์เลขา พิทยาภรณ์ สุภรพัฒน์ สดใส ช่างสลัก และชูศักดิ์ จอมพุท. 2562. การพัฒนาและทดสอบสมรรถนะการผสมของข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีสารเบต้าแคโรทีน.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 50(2) : 62-64.
- เบต้าแคโรทีน. 2553.(<https://www.sanook.com/campus/921488/?fbclid=IwAR0y6LYOJYodcTm9VRDDXt8D0VtP3RP0zxzp-3uQ3cbZERsHaAQSwH95wFk>). สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2564.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. 2561. Carotenoid/แคโรทีนอยด์. (<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1228/carotenoid-แคโรทีนอยด์>). สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2564.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2564. แคโรทีนอยด์.(<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B8%94%E0%B9%8C>). สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2564.
- ศิริประภา แก้วเรือง ปุญญา ตระกูลยิ่งเจริญ และ กุมุท สังขศิลา. 2562. ศักยภาพของชุดดินต่างๆต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของข้าวโพดหวานในภูมิภาคตะวันตกของประเทศไทย. วารสารดินและปุ๋ย 41(2): 4-17.
- สุทธิรักษ์ รักษา. 2561. การใช้ข้าวโพดที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงเพื่อเป็นแหล่งสารสีในอาหารไก่เนื้อ. นักศึกษาระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.14-1 - 14-13.
- Mehta ,B.K., V. Muthusamy., A. Baveja., H.S. Chauhan., R. Chhabra., V. Bhatt., G.Chand., R.U. Zunjare., A.K. Singh and F. Hossain. 2020. Composition analysis of lysine, tryptophan and provitamin-A during different stages of kernel development in biofortified sweet corn. Journal of Food Composition and Analysis. 94: 1-9.
- Hannoufa, A. and Z. Hossain. 2012. Regulation of carotenoid accumulation plants. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 1(3): 198-202.

- Simpson, K. L., Tsou I.S.T.C., and Chichester, C.O. 1989. Biochemical methodology for the assessment of carotene. The International Vitamin A Consultative Group (IVACG).
- Soussi, M., A. Ocana and C. Lluch. 1998. Effect of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.). J. Exp. Bot. 325: 1329-1337.