

ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมของปริมาณแอนโทไซยานินและ
ผลผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง^{1/}

Genotype by environmental interaction for anthocyanin content and yield
of purple waxy corn^{1/}

ผู้ทำสัมมนา

นายมนชัย คำแดง^{2/}

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.อนนท์ จันทร์เกตุ^{3/}

บทคัดย่อ

อิทธิพลของสถานที่ปลูก และพันธุกรรม มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมากที่สุด เท่ากับ 44% และ 42% ตามลำดับ ขณะที่ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 13% การศึกษาปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและฤดูกาล พบว่าฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินเพียง 0.2% ซึ่งน้อยกว่าพันธุ์ที่มีสัดส่วนถึง 97.5% ขณะที่ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและฤดูกาลมีสัดส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงเพียง 2.1% ทั้งนี้ข้อมูลอาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งเชื้อพันธุกรรม และสถานที่ที่ทดสอบ จากการค้นคว้าพบว่าพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ปลูกในแต่ละสถานที่จะให้ผลผลิตแตกต่างกัน คู่ผสม UPW×4 และ UPW5×6 เป็นคู่ผสมที่ให้ผลผลิตสูงสุดเกือบทุกสถานที่ ความแตกต่างของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมก่อความยุ่งยากต่อการประเมินความดีเด่นของพันธุ์พืช การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่มีเสถียรภาพของพันธุ์ดีในทุกสภาพแวดล้อมจะเป็นคุณสมบัติที่ดีในการแนะนำให้เกษตรกรปลูกในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่มีเสถียรภาพการดีในบางสภาพแวดล้อม อาจจะแนะนำให้เกษตรกรเพาะปลูกเฉพาะในบางพื้นที่ นอกจากนี้พบว่า การประเมินเชื้อพันธุกรรม สามารถใช้ลักษณะของสีเปลือก และฝักเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีสหสัมพันธ์กันสูง ข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักปรับปรุงพันธุ์พืชในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ และเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงต่อไป

คำสำคัญ : แอนโทไซยานิน; พันธุกรรม; สิ่งแวดล้อม; ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

^{1/} เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนาทางพืชไร่

^{2/} นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

^{3/} อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (*Zea mays ceratina*) เป็นข้าวโพดรับประทานฝักสดพันธุ์ใหม่ที่อยู่ในความสนใจของ ผู้บริโภค ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาด้านสุขภาพในปัจจุบันทำให้ผู้บริโภคหันมาบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพกันมากขึ้น ในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงอุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานินสูงทั้งในซึ่งเปลือก ไหม และเมล็ดสารนี้มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นการบริโภคข้าวโพดสีม่วงสามารถลดความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรังบางชนิดได้ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน ชนิดที่ 2 โรคความดันโลหิตสูงและโรคมะเร็งบางชนิด เป็นต้น (Jones 2005; He and Guisti, 2010; Tsuda *et al.*, 2003)

จากศักยภาพของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงในด้านการใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ จึงได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมาอย่างต่อเนื่องอย่างไรก็ตามการปรับปรุงหรือคัดเลือกพันธุ์พืชเพื่อตัดสินใจเลือกพันธุ์ที่ดี ต้องมีการคำนึงถึงการปรับตัวของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญด้วย บางครั้งสภาพแวดล้อมอาจลดอิทธิพลของพันธุกรรมทำให้ไม่เห็นความแตกต่างระหว่างพันธุ์ที่ทดสอบได้อย่างเด่นชัด หรือบางพันธุ์อาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม หรือที่เรียกว่าพันธุ์ที่มีเสถียรภาพที่ดี (ประวิตร, 2548 อ้างโดย จานุลักษณ์, 2557) ทั้งนี้จะนำไปสู่คำแนะนำในการเลือกใช้พันธุ์เพื่อให้ทราบว่าพันธุ์ใดที่สามารถปลูกได้ทั่วไปหรือปลูกได้เฉพาะในพื้นที่ที่เจาะจงเท่านั้น (กฤษฎา, 2551) ดังนั้นสมมติฐานข้อนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออภิปรายการประเมินปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อมของปริมาณแอนโทไซยานิน และผลผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

3. ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (*Zea mays ceratina*) มีถิ่นกำเนิดบริเวณเทือกเขา Andes ประเทศเปรู ข้าวโพดสีม่วงนั้นถูกนำมาใช้เป็นอาหารและเครื่องดื่มมาแต่โบราณโดยเฉพาะในชาวอเมริกันอินเดียนที่อยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปอเมริกา ต่อมาได้มีการนำข้าวโพดสีม่วงไปใช้เป็นอาหารในรัฐนิวเม็กซิโก ประเทศสหรัฐอเมริกาและแพร่กระจายสู่เขตต่างๆ ในปัจจุบันประเทศไทยมีความนิยมบริโภคข้าวโพดข้าวเหนียวมากขึ้นซึ่งมีหลายสายพันธุ์ด้วยกันสีม่วงเข้มในเมล็ดข้าวโพดนั้นเป็นสารแอนโทไซยานินซึ่งมีคุณสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระได้ในระดับสูงช่วยลดโอกาสในการเกิดโรคมะเร็งเสริมความคุ้มกันให้ร่างกายรักษาแผลเพิ่มการทำงานของเม็ดเลือดแดงชะลอการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ลดภาวะการเป็นโรคหัวใจชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและชะลอความแก่ (หัตถ์กาญจน์ และคณะ, 2559)

3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

Koopmans *et al.* (1996) เป็นพืชปีเดียวลำต้นสูงตั้งตรงความสูงประมาณ 2-3 เมตร ระบบรากเป็นแบบระบบรากฝอย มีรากพิเศษเจริญจากข้อล่างๆ ของลำต้นทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและใต้ดิน โดยทั่วไปมักพบรากพิเศษอยู่สูงจากลำต้นเหนือดินไม่เกิน 75 เซนติเมตร รากแต่ละรากสามารถเจริญเติบโตลงดินได้ยาวถึง 200 เซนติเมตรหรือมากกว่า

ลำต้นเจริญเป็นต้นเดี่ยวตั้งตรงแข็งแรงเห็นข้อและปล้องชัดเจนมีใบจำนวน 12-20 ใบ การเรียงใบแบบสลับ เจริญออกมาจากทางด้านข้างของลำต้น โดยมีกาบใบหุ้มซ้อนกันทางด้านนอกของลำต้น มีไข้วใบอยู่ทางด้านบนของกาบใบ แผ่นใบเป็นรูปแถบคล้ายหอก ยาวประมาณ 30-150 เซนติเมตร กว้าง 5-15 เซนติเมตรปลายใบเรียวแหลม มีเส้นใบหลักอยู่ตรงกลางแผ่นใบเส้นใบใสไม่มีสีเขียวประมาณ 5 มิลลิเมตร

ช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมียอยู่บนต้นเดียวกันแต่ต่างตำแหน่งกัน ช่อดอกเพศผู้เป็นช่อดอกแบบแยกแขนง อยู่ตรงส่วนปลายสุดของลำต้น มีความยาวประมาณ 40 เซนติเมตรมีช่อดอกย่อยแตกแขนงออกจากแกนกลางจำนวนหลายช่อ มีช่อดอกย่อยแบบช่อเชิงหลั่นเจริญออกมาจากทางด้านข้างของช่อดอกย่อยเหล่านี้ ช่อดอกย่อยที่แยกแขนงออกมานี้ประกอบด้วย ช่อดอกย่อยที่ไม่มีก้านดอกย่อย 1 ช่อ และช่อดอกย่อยที่มีก้านดอกสั้นๆ 1 ช่อ แต่ละช่อมีความยาว 8-13 เซนติเมตร ประกอบด้วย กาบช่อดอกย่อย 2 กาบ และดอกย่อย 2 ดอก แต่ละดอกมีกาบล่างรูปไข่ 1 กาบ กาบบนผอมบาง 1 กาบ กลีบเกล็ดอ่อนนุ่ม 2 กลีบ เกสรเพศผู้ 3 อัน ช่อดอกเพศเมียเป็นแบบช่อเชิงหลั่น มีประมาณ 1-3 ช่อ ต่อต้น พัฒนาขึ้นมาเป็นบริเวณชอกใบของใบที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งอยู่ที่ระดับกึ่งกลางความสูงของลำต้น ประกอบด้วยดอกย่อยที่ไม่มีก้านดอกย่อยอยู่ติดกันเป็นคู่ มีกาบช่อดอกย่อย 2 กาบ หุ้มดอกย่อยทั้งสองไว้ ดอกย่อยที่อยู่ด้านล่างเป็นหมัน ดอกย่อยที่อยู่ทางด้านบนมีกาบล่างและกาบบนขนาดใหญ่ มีเกสรเพศเมีย 1 อัน ประกอบด้วยรังไข่ 1 อัน และก้านเกสรเพศเมียที่เป็นเส้นผอมยาว เรียกว่าเส้นไหม อาจยาวได้ถึง 45 เซนติเมตร ซึ่งเจริญโผล่ออกมาทางด้านบนของช่อดอก ช่อดอกเพศเมียที่ดอกย่อยได้รับการปฏิสนธิแล้วจะพัฒนาเป็นฝัก ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกนอก ฝักมีความยาวตั้งแต่ 8-12 เซนติเมตร กว้าง 3-7.5 เซนติเมตร ผลเป็นผลแบบธัญพืช (caryopsis) แต่นิยมเรียกว่าเมล็ดมีจำนวน

ประมาณ 30-100 เมล็ดต่อฝัก ลักษณะรูปร่างคล้ายรูปไข่กลับแผ่แบน มีสีขาว เหลืองอ่อน เหลืองสด เหลืองเข้ม แดง ม่วง และเกือบดำ (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2)



ที่มา: Koopmans *et. al.* (1996)

ภาพที่ 1 ภาพวาดแสดงลักษณะส่วนต่างๆของข้าวโพด (*Zea mays*) ประกอบด้วย 1.ส่วนโคนลำต้น 2. ส่วนกลางลำต้นที่มีช่อดอกเพศเมียเจริญออกมา 3. ส่วนปลายยอดสุดของลำต้นที่มีช่อดอกเพศผู้ 4. ฝักแก่ที่เจริญจากช่อดอกเพศเมีย



ที่มา: Koopmans *et. al.* (1996)

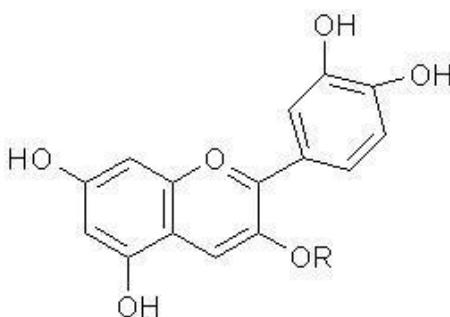
ภาพที่ 2 แสดงส่วนต่างๆของลำต้นข้าวโพดที่ประกอบด้วยใบช่อดอกเพศเมียช่อดอกเพศผู้และฝักที่มีผลและเมล็ดติดอยู่โดยมีเปลือกหุ้มฝักไว้หลายชั้น

4. แอนโทไซยานินและความสำคัญทางอาหารเพื่อสุขภาพ

4.1 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) มีชื่อมาจากรากศัพท์เดิมของกรีกคือ anthos แปลว่า ดอกไม้ และ kyanos แปลว่า สีน้ำเงิน แอนโทไซยานิน จึงหมายถึงดอกไม้สีน้ำเงินแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง สามารถพบแอนโทไซยานินได้ทั่วไปในแคว้นโอลและเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอก ผล และใบของพืชดอก (angiosperms) ยกเว้นในพืชพวกตะบองเพชร ผักกาดหัว ผักโขมและพืชพวกสาหร่าย บางครั้งปรากฏในส่วนของเนื้อเยื่อพืช (plant tissue) ไต แก่ ราก หัวไตดินของพืช ลำต้น (tuber) หน่อ (bulbil) และ พืช เม ลี ต เ ป ลี อ ย (gymnosperms) ต่างๆ เช่น เฟิร์นและไบโอไฟต์ (bryophytes) นอกจากแอนโทไซยานินจะทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามแล้วยังช่วยป้องกันพืชไม่ให้ได้รับอันตรายจากสิ่งแวดล้อมและแมลงต่างๆแอนโทไซยานินจากธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อื่นๆได้หลายชนิด แต่ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) จึงมีแนวโน้มนำมาประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพและความงาม โดยช่วยทำให้ลดการเกิดริ้วรอยของผิวจากรังสียูวีและมลภาวะ อีกทั้งช่วยป้องกันเซลล์เส้นผมไม่ให้อ่อนแอและทำให้เส้นผมเงางามแข็งแรง (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

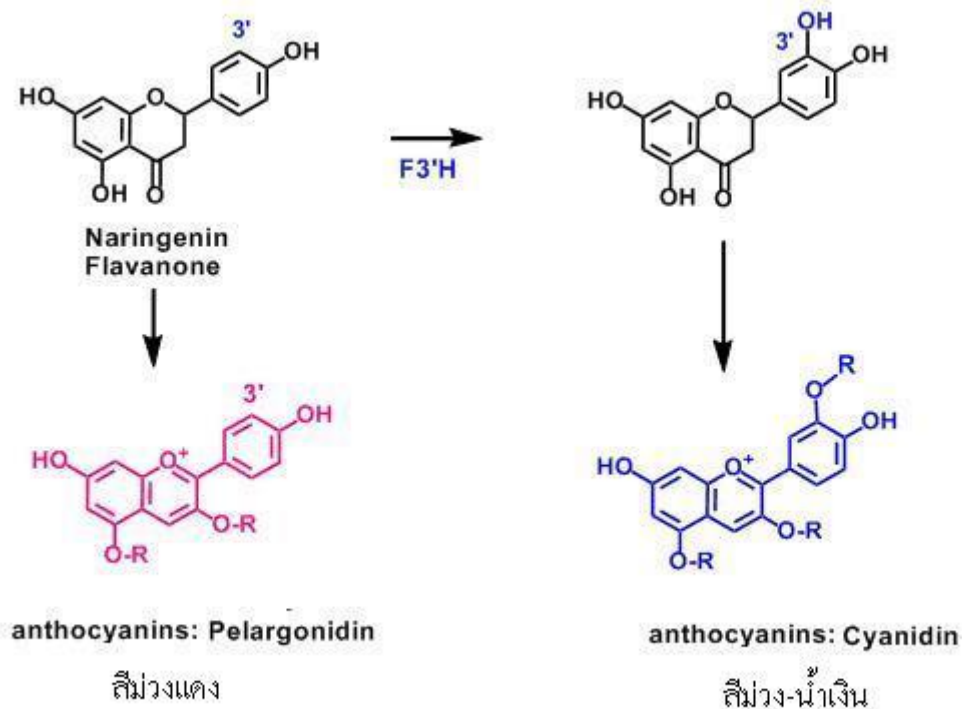
แอนโทไซยานิน (anthocyanins) จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) กลุ่มพอลิฟีนอล (polyphenol) ฟิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (ม.ป.ป.) (ภาพที่ 3)



ที่มา: ฟิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (ม.ป.ป.)

ภาพที่ 3 โมเลกุลของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน เป็นสารสีที่พบได้ทั่วไปในดอกไม้ ผลไม้บางชนิด ใบหรือลำต้นของพืชบางชนิดที่มีสีตั้งแต่สีแดงถึงน้ำเงินเข้ม ในสภาพที่เป็นกรดมีค่า pH ต่ำกว่า 3 (เป็นกรดสูง) จะทำให้แอนโทไซยานินมีสีแดง ในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกลาง หรือมีค่า pH ประมาณ 7-8 แอนโทไซยานินจะมีสีม่วง และเมื่อสภาพเป็นเบสหรือมีค่า pH มากกว่า 11 (เป็นเบสสูง) แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ฟิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (ม.ป.ป.) (ภาพที่ 4)



ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (ม.ป.ป.)

ภาพที่ 4 สีของแอนโทไซยานิน

5. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม เป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักปรับปรุงพันธุ์ในการผลิตพันธุ์ใหม่ เมื่อทำการปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป ความสามารถในการแสดงออกของแต่ละพันธุ์และลักษณะต่างๆ ซึ่งมีประจำในแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อม เนื่องจากการตอบสนองของแต่ละพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมต่างๆไม่เท่ากัน ถ้าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมมีมากขึ้นเท่าใดการคัดเลือกพันธุ์ก็จะลำบากทำได้ลำบากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการคัดเลือกในลักษณะผลผลิตและลักษณะอื่นๆที่มีอิทธิพลต่อผลผลิต (ประภัสร์, 2532) มีการศึกษาพบว่าการใช้วิธีการทางสถิติแสดงให้เห็นถึงผลของความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับปี พันธุกรรมกับสถานที่ และพันธุกรรมกับปีและสถานที่ ซึ่งถ้ามีมากเกินไปจะลดความก้าวหน้าในการคัดเลือกพันธุ์ ทำให้การคัดเลือกพันธุ์มีความยุ่งยากมากขึ้น การตรวจสอบพันธุ์การเปรียบเทียบหรือการคัดเลือกพันธุ์ในหลายสภาพพื้นที่และหลายฤดูปลูกซึ่งบางครั้งพบว่าหากเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมหรือพื้นที่ปลูก จากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมจะทำให้ลำดับของผลผลิตเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมนั้นๆ และอาจลดอิทธิพลของพันธุกรรมทำให้ไม่เห็นความ

แตกต่างระหว่างพันธุ์ที่ทดสอบได้ ซึ่งพันธุ์พืชที่รักษาระดับการแสดงออกของลักษณะใดลักษณะหนึ่งคงที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมเรียกว่าเป็นพันธุ์ที่มีการปรับตัวได้กว้างขวางหรือเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพคือลักษณะที่สนใจมีปฏิริยาระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ประวิตร (2548) อ้างโดย จานุลักษณ์ (2557)

5.1 ปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมของปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

Suchittra *et al.* (2015) ปลุกทดสอบ 5 สายพันธุ์ใน 4 สถานที่ พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสถานที่ พันธุกรรม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสถานที่ โดยพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis) ทั้งนี้จากผลทดลองนี้ยังชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลของสถานที่ปลูกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด (44%) รองลงมาคือพันธุ์ (42%) และอิทธิพลของปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (13%) ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ขณะที่การศึกษาของ Duangpapeng *et al.* (2019) ได้ทำการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 50 พันธุ์ที่สถานีวิจัยผักมหาวิทยาลัยขอนแก่น ใน 2 ฤดูกาลคือ ฤดูฝน และฤดูแล้งทดสอบ 2 ปี พบว่าฤดูกาลมีผลของการเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (0.2%) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับพันธุกรรมมากที่สุดเท่ากับ 97.5% และพบว่าปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอนโทไซยานินเพียง 2.1% (ตารางที่ 2) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ก่อความยุ่งยากต่อการประเมินความดีเด่นของพันธุ์พืช เพราะลำดับที่ของผลผลิตของพันธุ์ที่ทดสอบอาจเปลี่ยนไปในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เพราะฉะนั้นคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่มีเสถียรภาพของพันธุ์ดีในทุกสภาพแวดล้อม จะเป็นคุณสมบัติที่ดีในการแนะนำให้เกษตรกรปลูกในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันได้ โดยที่จากการศึกษาของ Suchittra *et al.* (2015) พบว่าสายพันธุ์ KNDM4 เป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพการปริมาณแอนโทไซยานินสูงในทุกสภาพแวดล้อม

ตารางที่ 1 ค่า Mean square จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวโพดข้าวเหนียว 6 สายพันธุ์ที่ปลูกใน 4 สถานที่

Sov	df	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด
		Mg/100gDW
Location(L)	3	1,004,062** (44)
Replication	8	432
Genotype	4	15,975** (42)
GxL	12	75,107** (13)
Error(b)	32	2,726
C.V. (%) (a)		4.1
C.V. (%) (b)		10.3

** ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญอย่างยิ่งที่ $p \leq 0.01$ ค่าในวงเล็บคือเปอร์เซ็นต์ของผลรวมกำลังสอง

ที่มา: Suchittra *et al.* (2015)

ตารางที่ 2 ค่า Mean square จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของแอนโทไซยานินทั้งหมดในข้าวโพดข้าวเหนียว 50 สายพันธุ์ที่ประเมินใน 2 ฤดูกาล

Sov	df	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด
		Mg/100gDW
Season (S)	1	404,390**(0.2)
Genotype(G)	49	3,864,741**(97.5)
S x G	49	82,648**(2.1)
Error	169	1,519(0.2)
C.V. (%)		10.98

ตัวเลขในวงเล็บคือเปอร์เซ็นต์ของผลรวมของกำลังสอง *, ** มีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ

ที่มา: Duangpapeng *et al.* (2019)

5.2 ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและสภาพแวดล้อมของผลผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

กิตติพันธ์ และคณะ (2559) มีการปลูกทดสอบผลผลิตข้าวโพดข้าวเหนียว 21 สายพันธุ์ ร่วมกับพันธุ์เปรียบเทียบการค้า ในระดับสถานีในฤดูต้นฝนปี 2558 จำนวน 3 สถานี ดังนี้ 1) วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา 2) วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเชียงราย และ 3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตน่าน พบว่า การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวโพดขึ้นอยู่กับสถานที่ พันธุ์กรรม และยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและสถานที่ โดยภาพรวมพบว่าจังหวัดเชียงรายให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตทั้งเปลือกสูงที่สุดเท่ากับ 1,691 กก./ไร่ ขณะที่จังหวัดพะเยาและน่านให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตรองลงมาเท่ากับ 1,685 และ 1,652 กก./ไร่ ตามลำดับ โดยคู่ผสม UPW2 x 4 นั้นมีแนวโน้มให้ผลผลิตทั้งเปลือกสูงสุดในทุกสถานที่ ขณะที่พันธุ์เปรียบเทียบให้ผลผลิตทั้งสามจังหวัด (พะเยา น่าน และเชียงราย) เท่ากับ 1,626, 1,598 และ 1,645 กก./ไร่ ตามลำดับ ในส่วนของผลผลิตปอกเปลือก พบว่า จังหวัดพะเยาให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตทั้งเปลือกสูงที่สุดเท่ากับ 1,074 กก./ไร่ ขณะที่จังหวัดน่าน และเชียงรายให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตรองลงมาเท่ากับ 1,064 และ 1,061 กก./ไร่ ตามลำดับ โดยคู่ผสม UPW5 x 6 นั้นมีแนวโน้มให้ผลผลิตปอกเปลือกสูงสุดในทุกสถานที่ (ตาราง 3) ซึ่งทั้งสองสายพันธุ์นี้น่าจะเป็นสายพันธุ์ที่สามารถส่งเสริมเกษตรกรต่อไปได้ เนื่องจากมีเสถียรภาพของการให้ผลผลิตที่ดี

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตฝักทั้งเปลือก และผลผลิตฝักปอกเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม 21 สายพันธุ์ และพันธุ์ตรวจสอบที่ปลูกใน 3 สถานที่

พันธุ์ลูกผสม	ผลผลิตฝักทั้งเปลือก(กก./ไร่)			ผลผลิตฝักปอกเปลือก(กก./ไร่)		
	พะเยา	น่าน	เชียงราย	พะเยา	น่าน	เชียงราย
UPW1 x 2	1,286	1,222	1,278	768	756	712
UPW1 x 3	1,406	1,389	1,378	867	902	834
UPW1 x 4	1,177	1,098	1,198	668	690	623
UPW1 x 5	2,059	2,179	2,123	1,448	1,543	1,411
UPW1 x 6	1,433	1,467	1,491	946	823	911
UPW1 x 7	1,505	1,453	1,498	629	786	672
UPW2 x 3	1,380	1,365	1,845	828	812	812
UPW2 x 4	2,127	2,067	2,234	1,260	1,238	1,267
UPW2 x 5	1,776	1,734	1,723	1,123	1,201	1,102
UPW2 x 6	1,480	1,456	1,423	663	712	701
UPW2 x 7	1,917	1,934	1,908	1,157	1,056	1,178
UPW3 x 4	1,864	1,903	1,845	1,108	1,167	1,113
UPW3 x 5	1,926	1,823	1,811	1,181	1,098	1,189
UPW3 x 6	1,979	1,867	1,945	1,147	1,056	1,109
UPW3 x 7	1,632	1,611	1,634	1,034	1,113	1,014
UPW4 x 5	1,572	1,478	1,555	1,408	1,356	1,389
UPW4 x 6	1,798	1,765	1,734	1,179	1,112	1,168
UPW4 x 7	1,552	1,523	1,511	1,072	1,113	1,134
UPW5 x 6	1,931	1,856	1,845	1,528	1,432	1,523
UPW5 x 7	1,763	1,723	1,723	1,187	1,034	1,134
UPW6 x 7	1,820	1,789	1,811	1,352	1,343	1,278
Mean	1,685	1,652	1,691	1,074	1,064	1,061
Big White	1,626	1,598	1,645	1,243	1,211	1,189
F-test	**	**	**	**	**	**
LSD (0.01)	35	78	69	58	44	67
CV (%)	12.9	17.8	19.1	12.5	15.4	17.2

** = มีนัยสำคัญที่ระดับความน่าจะเป็น 0.01

ที่มา: กิตติพันธ์ และคณะ (2559)

5.3 ความสำคัญระหว่างสีฝักและปริมาณแอนโทไซยานิน

Khamphasan *et al.* (2018) ได้ปลูกทดสอบข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 53 สายพันธุ์ในสภาพไร่ใน 2 สถานที่ และได้ทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสีเปลือกและสีซัง โดยทำการวัดในส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนปลายของฝักทำการกำหนดสีเป็นค่า chroma (C^*) ซึ่งจะบอกเป็นความเข้มของสี และค่า Hue (H°) โดยแสดงเป็นค่าระหว่าง 0-360 degree (0 degree= สีแดง 90 degree= สีเหลือง 180 degree=สีเขียว 270degree=สีฟ้า) พบว่าลักษณะของสีสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกพันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าค่าปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับ chroma ในเปลือกและในฝัก โดยมีค่า $r = -0.54^{**}$ และ 0.42^{**} ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบค่าปริมาณแอนโทไซยานินในฝักมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับค่า H° ของฝัก โดยมีค่า $r = -0.33^{**}$ และปริมาณแอนโทไซยานินในฝักมีความสัมพันธ์สูงกับลักษณะสี chroma ของฝัก และลักษณะของ Hue ของฝักโดยมีค่า $r = -0.69^{**}$ และ -0.55^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของสีเปลือก และซัง และปริมาณปริมาณแอนโทไซยานิน ในเปลือก และซังของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 53 สายพันธุ์

	Color Parameters			
	C^* in Husk	C^* in Cob	H° in Husk	H° in Cob
MAC in husk	-0.54 **	-0.42 **	-0.12 *	-0.33 **
MAC in cob	-0.02 ns	-0.69 **	0.10 ns	-0.55 **

C^* chroma, H° hue angle, MAC monomeric anthocyanin content
ns, *, ** non-significant and Significant at $P \leq 0.05$ and 0.01 , respectively

ที่มา: Khamphasan *et al.* (2018)

สรุป

ปริมาณแอนโทไซยานิน และผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสถานที่ พันธุ์กรรม ฤดูกาล ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและสถานที่ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและฤดูกาล อิทธิพลของสถานที่และพันธุ์กรรมมีส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด เท่ากับ 44% และ 42% ตามลำดับ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและสถานที่มีค่าเท่ากับ 13% ขณะที่การศึกษาเรื่องอิทธิพลของฤดูกาลพบว่า ฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานิน เพียง 0.2% ซึ่งน้อยกว่าอิทธิพลของพันธุ์มาก โดยพบว่าพันธุ์มีสัดส่วนถึง 97.5% และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและฤดูกาลมีค่าเท่ากับ 2.1% พันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ปลูกในแต่ละสถานที่ให้ผลผลิตแตกต่างกันออกไป พบว่าพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยทั้งเปลือกและปอกเปลือกมากที่สุดคือ UPW×4 และ UPW5×6 ตามลำดับเกือบทุกสถานที่ จากความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมและสภาพแวดล้อมก่อความยุ่งยากต่อการประเมินความดีเด่นของพันธุ์พืช เพราะฉะนั้นการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่มีเสถียรภาพของพันธุ์ดีในทุกสภาพแวดล้อมจะเป็นคุณสมบัติที่ดีในการแนะนำให้เกษตรกรปลูกในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ โดยที่พบว่าสายพันธุ์ KNDM4 เป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพการปริมาณแอนโทไซยานินสูงในทุกสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามบางสายพันธุ์เช่น KGW1, KGW2, KGW3 และ Fancy111 มีเสถียรภาพการให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงในบางสภาพแวดล้อม อาจจะแนะนำให้เกษตรกรเพาะปลูกเฉพาะในบางพื้นที่ นอกจากนี้พบว่าลักษณะของสีเปลือก และชัง สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินได้ดีและมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่ไดรรวบรวมนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อนักปรับปรุงพันธุ์พืชในการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์และเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวม่วงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กิตติพันธ์ เพ็ญศรี, สุรศักดิ์ ปิดความลับ, วรชมน มงคล และ บุญฤทธิ์ สิ้นค้างาม. 2559. การทดสอบผลผลิตเพื่อการคัดเลือกข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมสำหรับเป็นพันธุ์ส่งเสริมในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน. วารสารแก่นเกษตร 44 (1) (พิเศษ): 898-904
- กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. 2551. **ปรับปรุงพันธุ์พืช พื้นฐาน วิธีการ และแนวคิด**. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- จานุลักษณ์ ขนบดี, กนกกาญจน์ รักษาศักดิ์ และสาวิตร มีจ้อย. 2557. เสถียรภาพผลผลิตของพันธุ์พริกกระเหรียงพันธุ์ศรีราชบุรี. วารสารแก่นเกษตร 4 (3) (พิเศษ): 725-729.
- ประวัศร์ ชันธทัต. 2532. การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม ในบางลักษณะของข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธยา รัตนพานนท์. ม.ป.ป. anthocyanin / แอนโทไซยานิน. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1103/anthocyanin>. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2565.
- ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้แอนโทไซยานิน (Anthocyanin). แหล่งที่มา: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR21.pdf>. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2565.
- หทัยกาญจน์ กกแก้ว. 2559. **ปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรักชัน**. มหาวิทยาลัยนครพนม, นครพนม.
- He, J. and M. M. Giusti. 2010. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. Ann. Rev. Food Sci. Tech. 1: 163-187
- Jones, K. 2005. The potential health benefits of purple corn. Herbal Gram. 65: 46-49
- Koopmans, A., H. ten Have and Subandi. 1996. Plant Resources of South-East Asia. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. No. 10. PROSEA Foundation, Indonesia.
- Ponsawan Khamphasan, Khomsorn Lomthaisong, Bhornchai Harakotr, Danupol Ketthaisong, Marvin Paul Scott Kamol Lertrat and Bhalang Suriarn. 2018. Genotypic Variation in Anthocyanins, Phenolic Compounds, and Antioxidant Activity in Cob and Husk of Purple Field Corn. Agronomy. 8(11), 271
- Prakasit Duangpapeng, Kamol Lertrat, Khomsorn Lomthaisong, Marvin Paul Scott and Bhalang Suriarn. 2019. Variability in Anthocyanins, Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity in the Tassels of Collected Waxy Corn Germplasm. Agronomy. 9(3), 158

Suchittra khampas, Kamol lertrat, Khomsorn lomthaisong, Sakunkan simla, Bhalang suriharn. 2015. Effect of location, genotype and their interactions for anthocyanins and antioxidant activities of purple waxy corn cobs. Turkish Journal Of Field Crops. 20:1 15-23.