ศักยภาพของชุดดินต่างๆ ต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของข้าวโพดหวาน ในภูมิภาคตะวันตกของประเทศไทย

Potential of various soil series on Beta carotene of sweet corn in western region of Thailand

ศิระประภา แก้วเรือง [1], ปุญญิศา ตระกูลยิ่งเจริญ [1*] และ กุมุท สังขศิลา [1]

Siraprapa Kaewruang [1], Punyisa Trakoonyingcharoen [1*] and Kumut Sangkhasila [1]

(Received 11 Oct. 2019 ; Accepted 6 Nov. 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของสมบัติและสภาพแวดล้อมของดินจากหน่วยดินต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบออกฤทธิ์เชิงชีวภาพ (เบต้าแคโรทีน) ขนาด (ความยาวฝัก) และรส (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด) และน้ำหนักสดของข้าวโพดหวานที่ปลูกในภูมิภาคตะวันตกของประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างดินและข้าวโพดหวานจากแปลงข้าวโพดหวาน 21 แปลง ภายใต้พันธุ์ อายุเก็บเกี่ยว และการจัดการน้ำแบบเดียวกัน วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างและไม่รบกวนโครงสร้าง และจำแนกตัวอย่างดินเป็นหน่วยดิน Typic Haplustalfs with clay loam จาก 3 แปลง Typic Haplustalfs with sandy clay loam จาก 7 แปลง Typic Haplustalfs with loam จาก 3 แปลง Typic Haplustalfs with sandy loam จาก 4 แปลง Chromic Haplusterts 2 แปลง และ Typic Paleustults 2 แปลง ตัวอย่างข้าวโพดหวานอย่างละ 4 ฝักต่อแปลงถูกชั่งน้ำหนักสด วัดความยาวฝักปอกเปลือก วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) และปริมาณเบต้าแคโรทีน ข้อมูลรายวันในการปลูกข้าวโพดหวานของแต่ละแปลงรวบรวมจากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศจาก 4 สถานีในเขตภูมิภาคตะวันตก โดยเก็บข้อมูลต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝน อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม สำหรับจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุด สูงกว่า 30 องศาเซลเซียส กำหนดให้เป็น heat degree day และจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส กำหนดให้เป็น chilling requirement การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติของแต่ละปัจจัย วิเคราะห์ด้วย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น (α) 0.05 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของคุณภาพข้าวโพดหวานกับสมบัติดินและข้อมูลสภาพอากาศด้วย Pearson's correlation

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณโซเดียมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักฝักสดปอกเปลือก

คำสำคัญ: สมบัติดิน, ข้อมูลสภาพอากาศ, ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน, ข้าวโพดหวาน, ภูมิภาคตะวันตกของประเทศไทย

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1] Soil Science Department, Faculty of Agriculture at Kamphang Saen, Kasetsart University Kamphang Saen Campus Nakhonpathom, 73140

[*] Corresponding author: punyisat@yahoo.com

ความยาวฝักสดปอกเปลือกและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ r > -0.53 แต่สัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ r = 0.43 รวมทั้งปัจจัยด้านสภาพอากาศมีความสัมพันธ์กับคุณภาพข้าวโพดหวานเช่นกัน โดยพบว่า chilling requirement มีผลต่อความยาวฝักสดปอกเปลือกและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ r = 0.75 และ 0.42 ตามลำดับ และพบว่า heat degree day มีผลเชิงลบต่อความยาวฝักสดปอกเปลือก ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณโซเดียมและสภาพอากาศในหน่วยดิน Typic Haplustalfs with sandy clay loam และหน่วยดิน Typic Haplustalfs with loam มีผลในการผลิตข้าวโพดหวานเชิงคุณภาพในด้านสารอาหารสูงสุด สำหรับการผลิตเชิงปริมาณข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดิน Chromic Haplusterts มีน้ำหนักผลผลิตสูงสุด

Abstract

This research studied the effect of soil properties and soil environmental condition on bioactive compound (beta carotene), size (length), taste (total soluble solid) and fresh weight of sweet corn. Twenty one sweet corn fields located in western Thailand were selected. Corns from those were similar in terms of their variety, age, planting period and water management (well watered). Disturbed and undisturbed soil samples were collected from those fields and analyzed for their chemical and physical properties. Their soils were classified as Typic Haplutalfs with clay loam 3 locations, Typic Haplutalfs with sandy clay loam 7 locations, Typic Haplutalfs with loam 3 locations, Typic Haplutalfs with sandy loam 4 locations, Chromic Haplusterts 2 locations and Typic Paleustults 2 locations. Four samples of sweet corn from each location were determined for their fresh weight, length, total soluble solid (TSS) and beta carotene content. Climatic data were collected from 4 stations located in western regions. Data was complied to be daily min-max-mean rainfall, temperature, humidity and wind speed. Daily temperature of planting period was used to compute for their heat degree day (a number of day which their daily temperature were above 30°C) and chilling requirement (a number of day which their daily temperature were below 25°C). Multiple comparisons of means for each parameter were performed using Duncan's Multiple Range Test at the significance level (α) of 0.05. Correlation analysis of sweet corn quality and soil and climatic parameters were performed using Pearson's correlation procedure.

Results showed that soil Na content had negatively correlated with fresh weight, length and TSS at r > -0.53

Kewords: soil properties, climatic data, beta carotene, sweet corn, western region of Thailand

but positively with beta carotene content, r = 0.43. Climatic condition also played the important role on corn quality (TSS, length and beta carotene). Chilling requirement affected length and TSS of corn at r = 0.75 and 0.42, respectively. Heat degree day negatively impacted to length, beta carotene content and TSS. Na content and climatic condition induce the highest bioactive compound in Typic Haplustalfs with sandy clay loam and Typic Haplustalfs with loam while Chromic Haplusterts soils presented the highest of quantity corn production.

บทนำ

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* var. saccharata) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในการบริโภคฝักสด มีอายุสั้น (ประมาณ 75-80 วัน) ให้ผลตอบแทนค่อนข้างสูง มีการแปรรูปส่งออกไปขายต่างประเทศ โดยมีปริมาณส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวโพดหวานเป็นอันดับหนึ่งของโลก มูลค่าการส่งออกปี พ.ศ. 2556 คิดเป็น 5,400 ล้านบาท (สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป, 2556) ถึงแม้ประเทศไทยจะมีปริมาณการส่งออกข้าวโพดหวานเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่เมื่อพิจารณามูลค่าการส่งออกต่อหน่วยผลผลิตจะเป็นรองหลายประเทศอยู่มาก แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของข้าวโพดหวานยังไม่สามารถตั้งราคาให้สูงได้ ทั้งๆ ที่ข้าวโพดหวานเป็นธัญพืชที่เมล็ดมีรสชาติหวาน บริโภคง่าย ประกอบด้วยคุณค่าทางอาหารในปริมาณสูง โดยมีสารเบต้าแคโรทีนเป็นกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคต้อกระจก ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคจอประสาทตาเสื่อม ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจได้ถึง 40% ช่วยป้องกันและรักษามะเร็งบางชนิดได้ เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ จึงเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกาย (อรชุน, 2539) ปัจจุบันสินค้าอาหารที่ตลาดต้องการและมีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้นคืออาหารคุณภาพสูง มีสารอาหารสูง ปลอดภัยจากสารพิษ โลหะหนัก มีสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ตลอดจนคำนึงถึงกระบวนการผลิตที่มีการรักษาสิ่งแวดล้อม เพราะทำให้สุขภาพของผู้บริโภคดี ไม่เจ็บป่วยง่าย และช่วยรักษาสภาพแวดล้อมให้ยั่งยืนได้ ตลาดประเภทนี้สามารถตั้งราคาสินค้าให้สูงได้ เพราะคนมีกำลังซื้อมาก การวิจัยที่มุ่งเน้นการผลิตเพื่อให้ได้สารอาหารสำคัญปริมาณสูง จึงตรงต่อความต้องการผู้บริโภค

ปริมาณเบต้าแคโรทีนในผลผลิตพืชขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ พันธุ์พืช (Hannoufa and Hossain, 2012) และสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตาม จากการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยยังไม่พบว่ามีการศึกษาสภาพภูมิอากาศและสมบัติดินที่ส่งผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีน แต่เป็นไปได้ว่าการปลูกในสภาพพื้นที่แวดล้อมต่างกันจะทำให้ได้ข้าวโพดหวานที่มีปริมาณสารฯ ต่างกัน (BjÖrkman *et al*., 2011; Hardinge, 2001) โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมที่ทำให้พืชเกิดความเครียด เช่น ความชื้นในดินต่ำเกิน อุณหภูมิสูงเกิน ความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ค่าปฏิกิริยาดิน ฯลฯ สภาพแวดล้อมดังกล่าวจะทำให้เซลล์พืชส่งสัญญาณเรื่องการเกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมไปกระตุ้นระบบการป้องกันตัว ทำให้เกิดการสร้าง

อนุมูลอิสระซึ่งมีหลายกลุ่ม แต่กลุ่มที่สำคัญและมีบทบาทมากคือออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) โดยธรรมชาติพืชมีกลไกการควบคุมปริมาณ ROS คือการสร้างภาวะสมดุล (equilibrium) ระหว่างการเกิด ROS กับการสลายให้เหลือน้อย โดยควบคุมปริมาณ ROS 2 ระบบ (Sharma *et al*., 2011) คือ 1) ผลิตสารต้านออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ซึ่งมี 6 ชนิด ที่มีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพมนุษย์ ได้แก่ กลูตาไทโอน แอสคอเบต โทโคฟีรอล แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน และสารฟีโนลิก ซึ่งแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินเป็นกลุ่มสารสีสำคัญในการปกป้องแสงของพืชด้วย (Young, 1991; Pietrini *et al*., 2002) 2) การผลิตเอนไซม์มาทำลาย ROS เช่น คาทาเลส ซูเปอร์ออกไซด์ดีมิวเทส ดังนั้นพืชที่ได้รับความเครียดจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกันจะสร้างสารต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์ออกมาในปริมาณไม่เท่ากัน

เมล็ดของข้าวโพดหวานอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด และเบต้าแคโรทีนเป็นหนึ่งในสารต้านอนุมูลอิสระที่พบปริมาณมากรองจากลูทีนและคริปโตแซนทิน (USDA, 2018) เบต้าแคโรทีนมีความสำคัญต่อสุขภาพมนุษย์และพืชมาก เพราะเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Pro vitamin A) จึงเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกายกรณีของพืช ช่วยทำให้ใบพืชไม่เป็นอันตรายแม้ในสภาพความเข้มแสงสูงกว่าปกติ (ยงยุทธ, 2558) เบต้าแคโรทีนจึงเป็นสารที่น่าสนใจศึกษา ภูมิภาคตะวันตกของประเทศไทยมีความหลากหลายของสภาพแวดล้อมจึงทำให้เกิดดินมากมายกว่าร้อยหน่วยดินในภูมิภาคนี้ (ณรงค์, 2544) ซึ่งน่าจะมีผลต่อสารเบต้าแคโรทีนในข้าวโพดหวานที่ปลูกในภูมิภาคนี้ สมบัติดินแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันโดยได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยการเกิดดิน (soil forming factors) เช่น วัตถุต้นกำเนิดดิน ความสูง สภาพภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยเฉพาะพื้นที่และส่งผลโดยตรงกับสมบัติดิน โดยเฉพาะสมบัติที่เปลี่ยนแปลงยาก เช่น เนื้อดิน ช่องว่าง ความลึกดิน ชนิดและปริมาณแร่ในดิน ฯลฯ ซึ่งสมบัติดินเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เช่น การปลูกข้าวหอมมะลิในดินที่เกิดในบริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ จะได้ข้าวที่หอม นุ่มมากกว่าที่ปลูกในดินบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นดินที่เกิดในสภาพที่มีความเค็ม มีช่วงระยะเวลาแล้งนาน ความยาวนานช่วงแสงและอุณหภูมิที่เหมาะสม (Yoshihashi *et al*., 2004) ซึ่งสภาพแวดล้อมเฉพาะท้องถิ่นดังกล่าวเป็นปัจจัยสร้างมูลค่าของสินค้าและสามารถขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าที่มีสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์หรือจีไอได้ เช่น ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง กาแฟดอยช้าง มะขามหวานเพชรบูรณ์ (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2562) ดังนั้นการเลือกบริเวณปลูกพืชที่ต้องการทั้งปริมาณและคุณภาพสูง จำเป็นต้องมีการศึกษาทั้งสมบัติดินและปัจจัยสภาพแวดล้อมด้วย ดินในภูมิภาคตะวันตกเกิดจากสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมีทั้งดินเกิดจากตะกอนแบบต่างๆ เคลื่อนที่มาทับถม หรือจากการผุพังโดยตรงของหินและแร่ชนิดต่างๆ ภายใต้บริเวณที่มีฝน แสงและอุณหภูมิต่างกัน กล่าวคือบางพื้นที่อับฝน หรือบางที่มีฝนตกมาก ทำให้ดินภูมิภาคนี้มีสมบัติหลากหลายและเฉพาะตัว (ณรงค์, 2544) ซึ่งเรื่องของสภาพแวดล้อมและสมบัติดินมีผลอย่างมากต่อการสังเคราะห์ปริมาณสารอาหารในพืช (BjÖrkman *et al*., 2011; Hardinge, 2001) เนื่องจากมีผลต่อกิจกรรม

ของเอนไซม์ในการสร้างสารอาหารในพืช เช่น การปลูกต้นอ่อนบล็อคโคลี่ ภายใต้พื้นที่มีความยาวนานแสง 16 ชม. ส่งผลให้ปริมาณวิตามินซี สารฟีโนลิก (phenolic) และสารกลูโคซิโนเลต (glucosinolate) สูงกว่าปลูกในที่มืดอย่างชัดเจน (Perez-Balibrea *et al*., 2008) นอกจากนี้ความเข้มข้นแสงและความยาวคลื่นแสงล้วนมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งละติจูด (latitude) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณสารกลูโคซิโนเลตด้วย (BjÖrkman *et al*., 2011) ช่วงวันยาวที่มีคลื่นแสงสีแดงทำให้สารอาหารในผักสลัดน้ำ (watercress) สูงเพิ่มขึ้นมาก และความเข้มข้นแสงที่ 440 นาโนเมตร มีส่งต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุดในพืช kale (Lefsrud *et al*., 2008)

แต่การศึกษาผลของสมบัติดินและสภาพแวดล้อมต่อปริมาณสารอาหารในพืชของประเทศไทยนั้นมีน้อยมาก จะมีการศึกษาอยู่บ้าง เช่น (วุฒิพงษ์, 2557) พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินในหม่อนผลสดที่ปลูกในดินเกิดจากตะกอนน้ำกร่อย ในพื้นที่มีแสงแดดจัด ความชื้นในดินและอากาศสูง ทำให้การสะสมสารแอนโทไซยานินสูงกว่าดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดชนิดอื่นที่มีความชื้นต่ำกว่า การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของดินในหน่วยดินต่างๆ ซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมต่างกันในภูมิภาคตะวันตกทำให้ปริมาณสารอาหารกลุ่มเบต้าแคโรทีนในข้าวโพดหวานมีปริมาณต่างกันหรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพสูง และใช้ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบสิ่งชี้บ่งทางภูมิศาสตร์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้สินค้าหรือใช้เป็นข้อมูลประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์เฉพาะท้องถิ่นเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. รวบรวมข้อมูลพื้นที่การปลูกพืชและพันธุ์ที่ใช้ปลูกข้าวโพดหวานในปัจจุบันและคัดเลือกพื้นที่ศึกษาให้มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน โดยได้ติดต่อสำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรผู้ใหญ่บ้าน และผู้รับซื้อข้าวโพดหวาน (ล้ง) ได้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 21 พื้นที่ ดังภาพที่ 1 จากนั้นเก็บข้อมูลภาคสนามโดยรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมธรรมชาติ เช่น ชนิดวัตถุต้นกำเนิด/หินต้นกำเนิด ความสูง ความลาดชัน ตำแหน่งภูมิลักษณ์ ตามวิธีการสำรวจดินมาตรฐาน (เอิบ, 2552) และสอบถามประวัติการใช้ที่ดิน การจัดการดินและผลผลิตข้าวโพดหวานด้วยวิธีการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่

จากการจำแนกตัวอย่างดินที่ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์เดียวกันและอายุเก็บเกี่ยวใกล้เคียงกัน (75-80 วัน) นำมาจัดกลุ่มได้ 6 หน่วยดิน ดังนี้

หน่วยดินที่ 1 จำแนกเป็น Typic Haplutalfs with sandy clay จำนวน 3 จุด

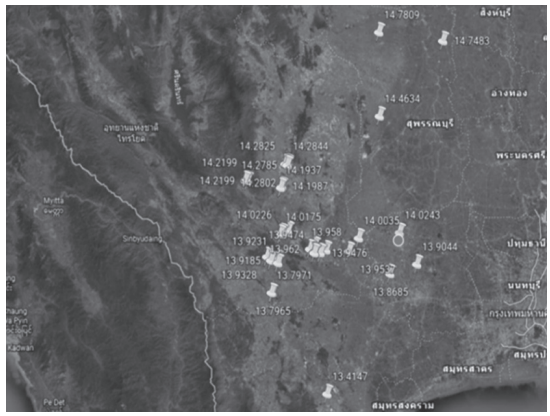
หน่วยดินที่ 2 จำแนกเป็น Typic Haplutalfs with sandy clay loam จำนวน 7 จุด

หน่วยดินที่ 3 จำแนกเป็น Typic Haplutalfs with loam จำนวน 3 จุด

หน่วยดินที่ 4 จำแนกเป็น Typic Haplutalfs with sandy loam จำนวน 4 จุด

หน่วยดินที่ 5 จำแนกเป็น Chromic Haplusterts จำนวน 2 จุด

หน่วยดินที่ 6 จำแนกเป็น Typic Paleustults จำนวน 2 จุด



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งจุดพิกัดและสถานที่เก็บตัวอย่างดินและข้าวโพดหวานครอบคลุมทั้ง 4 จังหวัดของภูมิภาคตะวันตก คือ จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี สุพรรณบุรี และนครปฐม

2. รวบรวมข้อมูลสภาพอากาศจาก www.tmd.go.th ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณฝน ความชื้นสัมพันธ์ ความเร็วลม ซึ่งเก็บข้อมูลเป็นค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ย โดยเลือกเก็บข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจากสถานีรอบๆ ที่ใกล้แปลงเก็บตัวอย่างมากที่สุด

3. เก็บตัวอย่างดินและข้าวโพดหวานเพื่อนำมาวิเคราะห์

3.1 ตัวอย่างดิน ทั้งแบบไม่ทำลายโครงสร้างเพื่อพิจารณาสี ชนิด ปริมาณ และความแข็งแรงของโครงสร้าง ส่วนตัวอย่างแบบทำลายโครงสร้างนำไปวิเคราะห์สมบัติดิน ดังนี้

3.1.1 สมบัติฟิสิกส์

- การกระจายอนุภาคดินด้วยวิธี pipette and sieving method (Gee and Bauder, 1986)

- ความหนาแน่นดินรวม (ρb) ด้วยวิธี core method (Blake and Harte, 1986)

- ความพรุน (porosity) จากการคำนวณ $E = 1 - \frac{\rho b}{\rho s}$

- ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water capacity) โดยการทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วผลักน้ำออกด้วยแรงดันอากาศที่ทำให้ดินมีความชื้นจุสนามและจุดเหี่ยวถาวร เพื่อคำนวณค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

3.1.2 สมบัติเคมี ค่าพีเอชดินวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดพีเอชที่อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 ปริมาณคาร์บอนในดิน (soil carbon) วัดโดยวิธี wet digestion (Walkley and Black, 1934) ค่า CEC สกัดด้วย 1 N Ammonium acetate ที่ pH 7.0 (Thomas, 1982) ปริมาณธาตุองค์ประกอบด้วยวิธี X-ray fluorescence (Karathanasis and Hajel, 1996)

3.2 ตัวอย่างข้าวโพดหวาน เลือกเก็บข้าวโพดหวานขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 4 ฝักต่อแปลง (Thom and Plank, 2000) เพื่อชั่งน้ำหนักสดปอกเปลือก วัดความยาวฝักปอกเปลือก วิเคราะห์ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS) ด้วยเครื่อง refractometer

และปริมาณสารเบต้าแคโรทีน วิเคราะห์โดยวิธีการดูดกลืนช่วงแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer แล้วคำนวณด้วยวิธีการของ Nagata and Yamashita, 1992

4. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของสารเบต้าแคโรทีนระหว่างสภาพแวดล้อมธรรมชาติกับสมบัติดิน

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติดินและสภาพอากาศ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมบัติดินจากตัวอย่างดินบน ที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร ในหน่วยดินต่างกัน พบว่าปริมาณซิลิกา อะลูมินา เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ไททาเนียม แมงกานีส แบเรียม และเซอร์คอน มีความแตกต่างกันระหว่างหน่วยดิน ซึ่งสัมพันธ์กับชนิดวัตถุต้นกำเนิดดินและการจัดการธาตุอาหารของเกษตรกร ดังตารางที่ 1 สำหรับสมบัติฟิสิกส์เกือบทุกสมบัติมีความแตกต่างทางสถิติเช่นกัน ยกเว้น AWCA ดังตารางที่ 2 อย่างไรก็ตาม สภาพอากาศในแต่ละหน่วยดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 3 โดยอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยระหว่าง 22.40-25.20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยระหว่าง 34.45-35.19 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 27.17-28.43 องศาเซลเซียส จำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ระหว่าง 53-72 วัน จำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ระหว่าง 61-72 วัน ปริมาณฝนตกสะสม 40.9-58.9 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 64-70 ความเร็วลมเฉลี่ย 6.70-7.53 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2. ผลผลิตข้าวโพดหวาน

ผลผลิตด้านน้ำหนัก ความยาวฝัก ปริมาณเบต้าแคโรทีน และค่า TSS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยน้ำหนักสดสูงสุดในหน่วยดินที่ 5 หนัก 342 กรัม และหน่วยดินที่ 6 มีความยาวฝักสูงสุดที่ 28 เซนติเมตร หน่วยดินที่ 3 มีน้ำหนักสดและความยาวฝักต่ำที่สุด 274 กรัมและ 18 เซนติเมตร ตามลำดับ ตรงข้ามกับปริมาณเบต้าแคโรทีนในข้าวโพดที่ปลูกในหน่วยดินที่ 3 มีปริมาณสูงสุด และหน่วยดินที่ 5 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนต่ำที่สุด สำหรับค่า TSS สูงสุดในตำรับการทดลองที่ 1 มีค่า 16.04°Brix และต่ำสุดในหน่วยดินที่ 3 มีค่า 13.59°Brix แสดงในตารางที่ 3

3. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน

ผลวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation matrix) พบว่า เฉพาะปริมาณโซเดียมมีความสัมพันธ์ผกผันกับน้ำหนักฝัก ความยาวฝัก และค่า TSS โดยมีค่า r -0.53 ถึง -0.55 และสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเบต้าแคโรทีน ที่ r = 0.43 ในตารางที่ 4 การที่โซเดียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเบต้าแคโรทีนนั้นเกี่ยวข้องกับการสร้างความเครียดภายในพืช นำไปสู่การส่งสัญญาณไปที่เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เบต้าแคโรทีน (Beta carotene biosynthesis) ของข้าวโพด เพื่อใช้ในการปรับตัวให้ทนต่อสภาวะเครียดได้ (Soussi *et al*., 1998) ความเครียดจากความชื้นดินและความเค็ม ชักนำให้มีการสังเคราะห์ phytoene synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสร้าง phytoene อันเป็นขั้นตั้งต้นในการสังเคราะห์สารแคโรทีน การสร้าง phytoene ถูกชักนำในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยสมบัติดินทางเคมีแต่ละหน่วยการจำแนกดิน

Soil unit	pH (1:1)	OM (%)	Extr. Zn	Extr. Cu	Extr. B	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	Na_2O	MnO	ZrO_2	Application		
																N	P	K
		(---------- mg/kg ----------)				(---------- % by wt. ----------)										(--------- kg/rai --------)		
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}	14^{ab}	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

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยสมบัติดินทางฟิสิกส์แต่ละหน่วยการจำแนกดิน

Soil unit	AWCA (%)	Porosity (%)	Bulk density (g/cm^3)	Clay (%)
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

ในแต่ละพืช เช่น ข้าว สภาพแสงเป็นปัจจัยในการควบคุม (Hannoufa and Hossain, 2012) อย่างไรก็ตาม ถ้าเกิดความเครียดเนื่องจากปริมาณเกลือที่สูงเกินไป ส่งผลให้ยับยั้งการเกิดแคโรทีนได้ รวมทั้งปริมาณเกลือที่สูงมาก ทำให้พื้นที่ใบเล็กผิดปกติ เป็นผลให้ผลผลิตสัมผัสโดยตรงกับแสงที่รุนแรงมาก (De Pascale *et al*., 2001) ทำให้เกิดการสลายตัวของสารแคโรทีนได้ (De Azevedo and Rodriguez-Ayama, 2005) ในการทดลองนี้ปริมาณโซเดียมในดินมีค่าระหว่าง 0.05-0.53% โดยน้ำหนัก ซึ่งจากการสอบถามเกษตรกรพบว่าไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวโพดหวาน 1.5-2.5 ตันต่อไร่ โซเดียมยังส่งผลต่อความยาวฝักและน้ำหนักข้าวโพด โดยพบความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนักฝักและความยาวฝักค่อนข้างเด่นชัดที่ r = -0.53 และ r = -0.55 เนื่องจากปริมาณโซเดียมที่มากทำให้รากดูดน้ำได้น้อยลง พืชเกิดสภาวะขาดน้ำ เกิดการปิดปากใบเพื่อทำให้อัตราการคายน้ำลดลง การลำเลียงธาตุอาหารในดินมายังใบเพื่อการสังเคราะห์แสงและหายใจจึงลดลง ในสภาพขาดทั้งน้ำและการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้การเจริญเติบโตของฝักและการสร้างอาหารในผลผลิตลดลง (Takemura *et al*., 2000) น้ำหนักและความยาวฝักจึงลดลง สัมพันธ์กับปริมาณโซเดียมที่เพิ่มขึ้น นอกจากธาตุโซเดียมมีผลต่อผลผลิตข้าวโพดหวานแล้ว ปัจจัยด้านสภาพอากาศก็ส่งผลต่อผลผลิตข้าวโพดหวานเช่นกัน พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ความยาวฝักและค่า TSS ลดลง ที่ r = -0.74 และ -0.46 ตามลำดับ และหน่วยดินที่มีจำนวนวันอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ยิ่งนานมีแนวโน้มให้คุณภาพข้าวโพดหวานโดยเฉพาะด้านค่า TSS

ตารางที่ 3 ผลผลิตข้าวโพดหวานและสภาพภูมิอากาศในแต่ละหน่วยการจำแนกดิน

Soil unit	Ear fresh weight without husk (g/pod)	Length without husk (cm/pod)	Beta carotene (mg/100g)	TSS (°Brix)	$\overline{T}$min (°C)	$\overline{T}$max (°C)	$\overline{T}$avg (°C)	Day with Tmin <25	Day with Tmax >30	Day with RH <60%	$\overline{Wind}$ speed (km/h)	Total rain (mm)	$\overline{RH}$ avg (%)	$\overline{RH}$ min (%)	$\overline{RH}$ max (%)
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

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน

Item	Beta-carotene (mg/100g FW)	TSS (°Brix)	Ear fresh wt. (g/ear)	Length (cm/ear)
Na_2O (% by wt.)	0.43	-0.54	-0.53	-0.55
$\overline{T}$min (°C)	0.00	-0.46	-0.01	-0.74
Day with $\overline{T}$ <25 (°C) (Chilling requirement)	0.04	0.42	0.05	0.75
Day with $\overline{T}$ >30 (°C) (Heat degree day)	-0.13	-0.48	0.07	-0.36

ลดลง r = -0.48 จากผลการทดลองของ Bhullar and Jenner, 1986 พบว่าอุณหภูมิ 15-35 องศาเซลเซียสมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากซูโครสเป็นแป้ง ความหวานของข้าวจึงลดลง ซึ่ง Yang *et al*., (2004) รายงานว่าการเปลี่ยนรูปของซูโครสเป็นแป้งสัมพันธ์กับความร้อนที่ให้กับเมล็ดข้าวโดยผ่านกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (SuSase) และ soluble starch synthase (SSS) ขณะที่พื้นที่ปลูกที่มีจำนวนวันอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียสมากวัน ทำให้ค่า TSS และความยาวฝักมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยที่ r = 0.42 และ 0.75 ตามลำดับ ถึงแม้งานวิจัยนี้ไม่ปรากฏความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาณเบต้าแคโรทีน แต่ในหลายงานวิจัยพบว่าอุณหภูมิอากาศที่สูง โดยเฉพาะที่สูงมากกว่า 32 องศาเซลเซียส (Dumas *et al*., 2003; De Azevedo Rodriguez-Ayama, 2005) มีผลต่อการยับยั้งการสังเคราะห์เบต้าแคโรทีนและเกิดการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีในธรรมชาติของผักผลไม้อยู่แล้ว เป็นเอนไซม์ที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา oxidative degradation ของเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน ซึ่งจะเปลี่ยนสารทั้งสองให้อยู่ในรูปสารอื่นที่ไม่เป็นสารต้านออกซิเดชันอีกต่อไป (Baysal and Demirdöven, 2007) อุณหภูมิที่สูงยังส่งผลเชิงลบกับความยาวฝักด้วยที่ r = -0.74

4. การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis)

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเพื่อสร้างสมการทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานจากสมบัติทางเคมี ธาตุองค์ประกอบ และสมบัติฟิสิกส์ดินจากแหล่งปลูกแถบภาคตะวันตก พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนสัมพันธ์กับปริมาณโซเดียมและฟอสฟอรัสในดิน ดังสมการที่ 1 และทำนายค่า TSS ได้จากค่าโพแทสเซียมและโซเดียม ดังสมการที่ 2 ซึ่งเป็นไปตามเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน สำหรับการทำนายเบต้าแคโรทีนในสมการที่ 1 ปรากฏว่าฟอสฟอรัสเป็นตัวแปรร่วมด้วย ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับวิถีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ อันมีสาร isopentenyl

pyrophosphate (IPP) เป็นสารตั้งต้น ก่อนที่จะเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบต่างๆ จนเป็นสารแคโรทีนอยด์ในลำดับต่อๆ ไป (Hannoufa and Hossain, 2012) ซึ่งในโมเลกุลของสาร IPP มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ

$$\text{Beta carotene} = 0.43Na + 0.24P + 0.042 \quad R^2 = 0.24 \text{ [1]}$$

$$TSS = 0.54K - 0.53Na + 15.35 \quad R^2 = 0.58 \text{ [2]}$$

สรุป

ในการสำรวจเก็บข้อมูลแหล่งปลูกข้าวโพดหวานในภูมิภาคตะวันตก พบว่า ดินที่มีปริมาณธาตุโซเดียมสูงและจำนวนวันที่มีอุณหภูมิต่ำหรือสูงนานวัน มีอิทธิพลร่วมกันต่อการผลิตข้าวโพดหวานทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ปริมาณโซเดียมส่งผลให้น้ำหนักฝักสดปอกเปลือก ความยาวฝัก และค่า TSS ลดลงได้ แต่ปริมาณโซเดียมที่สูงในระดับหนึ่งและจำนวนวันที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้คุณภาพเชิงสารอาหาร ได้แก่ เบต้าแคโรทีน และความยาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยสมบัติดินและสภาพอากาศบางประการในหน่วยดิน Typic Haplutalfs with sandy clay loam และหน่วยดิน Typic Haplutalfs with loam มีผลในการผลิตข้าวโพดหวานเชิงคุณภาพในด้านสารอาหารสูงสุด สำหรับการผลิตเชิงปริมาณข้าวโพดหวานที่ปลูกในหน่วยดิน Chromic Haplusterts มีน้ำหนักผลผลิตสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพย์สินทางปัญญา. 2562. สิ่งชี้บ่งทางภูมิศาสตร์. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2562 จากเวปไซต์ https://www.ipthailand.go.th/th/gi-001.html

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์ ครั้งที่ 12. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณรงค์ ตรีสุวรรณ. 2544. ข้อมูลดินในประเทศไทย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 492 กองสำรวจและจำแนกดิน 108 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. บทบาทของอีลิซิเตอร์ด้านสรีระของพืช. วารสารดินและปุ๋ย 37: 6-29.

วุฒิพงษ์ ตาเป้ง. 2557. ผลของการจัดการดินและสมบัติดินบางประการต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินในหม่อนผลสด. ปัญหาพิเศษ (วท.บ. เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 43 หน้า.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป. 2556. สถานการณ์การผลิตและการแบ่งปันทางการค้าข้าวโพดหวานระหว่างประเทศ. https://www.google.co.th/?gws_rd=cr,ssl&ei=R15QVJPgKsPGmAX2iIDADQ#

อรชุน เลียววัฒนะผล. 2539. มะเร็งพ่าย. สำนักพิมพ์รวมทรรศน์. 244 หน้า.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2552. คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 6. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 180 หน้า.

Baysal, T. and A. Demirdöven. 2007. Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review.

Enzyme
microbial technology 40: 491-196.

Bhullar SS. and Jenner C. 1986. Effects of a brief episode of elevated temperature on grain filling in wheat ears cultured on solutions of sucrose. Functional Plant Biology 13(5): 617-626.

Björkman M., I. Klingen, A.N. Birch, A.M. Bones, T.J. Bruce, T.J. Johansen, R. Meadow, J. Mølmann, R. Seljåsen, L.E. Smart and D. Stewart. 2011. Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health-influences of climate, environment and agronomic practice. Phytochemistry 72(7): 538-56.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363–382. In: A. Klute et al. (eds.). Method of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Edition. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.

De Azevedo, C.H. and D.B. Rodriguez-Amaya. 2005. Carotenoid composition of kale as influenced by maturity, season and minimal processing. Journal of Science, Food and Agriculture. 85: 591-597.

De Pascale, D., A. Maggio, V. Fogliano, P. Ambrosino and A. Ritieni. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 76(4): 447-453.

Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca and P. Grolier. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. Journal of Science, Food and Agriculture 83: 369-382.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle–sized analysis, pp. 383–411. In: A. Kulte et al. (eds.). Method of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Edition. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.

Hannoufa, A. and Z. Hossain. 2012. Regulation of carotenoid accumulation in plants. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 1(3):198-202.

Hardinge, M.G. 2001. A Physician Explains Ellen White's Counsel on Drugs, Herbs, and Natural Remedies. Review and Herald Publishing Association. 224 p.

Karathanasis, A.D. and B.F. Hajek. 1996. Element analysis by x–ray fluorescence spectroscopy, pp.161-223. In D.L. Sparks et al. eds. Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Agronomy No. 5. SSSA Book Series., Madison, WI.

Lefsrud, M.G., D.A. Kopsell and C.E. Sams. 2008. Irradiance from distinct wavelength light emitting diodes affects secondary metabolites in kale. Hortscience 43: 2243-2244.

Nagata, M. and I. Yamashita. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 39: 925-928.

Pérez Balibrea, S., D.A. Moreno and C.G. Viguera. 2008. Influence of light on health promoting phytochemicals of broccoli sprouts. Journal of the Science of Food and Agriculture 88(5): 904-910.

Pietrini, F., M.A. Iannelli and A. Massacci. 2002. Anthocyanin accumulation in the

illuminated surface of maize leaves enhances protection from photo-inhibitory risks at low temperature, without further limitation to photosynthesis. Plant, Cell and Environment 25, 1251-1259.

Sharma, P., A. Bhushan and R.S. Dubey. 2011. Oxidative stress and antioxidative defense system in plants growing under abiotic stresses. In Handbook of Plants and Crop Stress (M. Pessarakli ed.). CRC Press. Taylor and Francis Group. New York.

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.

Takemura, T., N. Hanagata, K. Sugihara, S. Baba, I. Karube and Z. Dubinsky. 2000. Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove, Bruguiera gymnorrhiza. Aquatic Botany 68: 15-28.

Thom, W.O. and C.O. Plank. 2000. Sampling for Corn Plant Tissue Analysis. National Corn Handbook.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 159-165. In A.L. Page et al. (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd Edition. Agronomy No. 9. ASA and SSSA. Inc., Madison, WI.

USDA. 2018. National Nutrient database. Home page: https://www.nutrition-and-you.com /sweet-corn.html.

Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of degtjureff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. Soil Sci. 37:29–35.

Yang J., J. Zhang, Z. Wang, G. Xu and Q. Zhu. 2004. Activities of Key Enzymes in Sucrose-to-Starch Conversion in Wheat Grains Subjected to Water Deficit during Grain Filling. Plant Physiol. 135(3): 1621-1629.

Yoshihashi, T., T.T.H Nguyen and N. Kabaki. 2004. Area dependency of 2-acetyl-1-pyrroline content in an aromatic rice variety, Khao Dawk Mali 105. JARQ 38: 105-109.

Young, A.J. 1991. The protective role of carotenoids in higher plants. Physiologia Plantarum 83:702-708.