การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยเทคนิคไรโซตรอน

Root Growth Analysis of Corn by Using Rhizotron Technique

วิภาวี จุ้ยแก้วพะเนา[1] มานิกา แย้มสุข[1] นรเศรษ พัฒน์ใหญ่[1] นงภัทร ไชยชนะ[2] และทิวา พาโคกทม[1*]

Wipawee Juykeawpanao[1] Manika Yamsook[1] Norasate Patyai[1] Nongpat Chaichana[2] and Tiwa Pakoktom[1*]

ABSTRACT: The objectives of this study were to compare the growth of the root of 5 corn varieties by using Rhizotron technique and to find out the root characteristic which can increase growth and yield of corn grown in compact soil of paddy field after rice in a dry season. The experiment was designed in CRD. The treatmentg were 5 corn verities as A, B, C, D and E. The corn plants were grown in Rhizotron. Plant growth data were measured every 7 days. The root growth was followed by taking root picture from the transparent cross section of Rhizotron every 7 days. Total root length and projected area were analysed by using WinRhizo. The results showed that plant height and stalk diameter were highest in corn variety B and E, respectively. After analysing the growth of root, 2 characteristics of root growth were found. They were root growth in vertical distribution (A, B and C) and horizontal distribution (D and E). Moreover, The E variety had longest root length. The highest of a projected area was found in corn B variety follow by D and E varieties. Corn E variety has high potential to grow in paddy field after rice in dry season.

Keywords: Root growth, Corn, Rhizotron technique, Compact soil

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 5 พันธุ์ ด้วยเทคนิคไรโซตรอน เพื่อหาลักษณะการเจริญเติบโตของรากข้าวโพดที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตได้ดีในดินดานของพื้นที่หลังนาในช่วงฤดูแล้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ สิ่งทดลองประกอบด้วยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ A, B, C, D และ E ปลูกข้าวโพดในกระบะไรโซตรอน บันทึกการเจริญเติบโตทาง ลำต้นทุก 7 วัน และติดตามการเจริญเติบโตของรากโดยถ่ายภาพรากจากพื้นที่หน้าตัดใสของกระบะไรโซตรอน ทุก 7 วัน วิเคราะห์ความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดด้วยโปรแกรม WinRhizo ผลการทดลองพบว่า ข้าวโพดพันธุ์ B มีความสูงมากที่สุด ส่วนพันธุ์ E มีขนาดลำต้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่น และหลังจากการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของรากพบว่า รากข้าวโพดมี 2 ลักษณะ ได้แก่ 1. รากเจริญในแนวดิ่ง (พันธุ์ A, B และ C) และ 2. รากเจริญออกทางด้านข้าง (พันธุ์ D และ E) โดยพบข้าวโพดพันธุ์ E มีความยาวรากมากที่สุด ในขณะที่ขนาดของรากในพื้นที่ที่กำหนดพบค่าสูงสุดในข้าวโพดพันธุ์ B รองลงมาได้แก่ พันธุ์ D และ E ข้าวโพดพันธุ์ E มีลักษณะการเจริญเติบโตของรากที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆ

คำสำคัญ: การเจริญเติบโตของราก, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, เทคนิคไรโซตรอน, ดินดาน

[1] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom
[2] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม
Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom
[*] Corresponding author: agrtwp@ku.ac.th

Agricultural Science and Management J.2 (1) : 32-39 (2019)

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น น้ำท่วม ฝนทิ้งช่วง หรือฝนแล้ง ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยทำให้ผลผลิตเสียหายหรือผลผลิตลดลง (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2539) การลดการสูญเสียของผลผลิตทางการเกษตรที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การปรับปรุงพันธุ์พืชให้ทนต่อความแห้งแล้ง และศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับความทนทานหรือศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย เนื่องจากมีความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ที่กำลังเติบโตอย่างมากในประเทศไทย (ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์, 2561) ปัจจุบันในประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดหลังนาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นอีกทางเลือกที่ให้เกษตรกรได้ใช้ประโยชน์ของพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการสร้างรายได้เสริมหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าว แต่ปัญหาที่สำคัญในการผลิตข้าวโพด คือปัญหาสภาพฝนแล้งที่ส่งผลกระทบทำให้ผลผลิตของข้าวโพดลดลง (Dong et al. 2014) นอกจากนั้นการปลูกพืชหลังนายังเผชิญกับปัญหาเรื่องดินดาน ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของรากพืช รากไม่สามารถเจริญเพื่อหาธาตุอาหารและน้ำได้ ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (Esser, 2016) ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นข้อจำกัดของเกษตรกรผู้สนใจที่จะปลูกข้าวโพดเป็นพืชหลังนา โดยผลผลิตของข้าวโพดขึ้นอยู่กับระบบราก โดยระบบรากเป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างดิน การทำงานของราก และผลผลิต (Sun et al., 2017) ดังนั้นการแก้ปัญหาหรือการหาทางออกให้กับเกษตรกรจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องศึกษา การศึกษาการเจริญเติบโตและการกระจายตัวของรากในชั้นดินดานหรือในสภาพแห้งแล้งได้มีการศึกษาแพร่หลายในต่างประเทศ โดยมีการศึกษาทั้งแบบทำลายรากและไม่ทำลายราก ปัจจุบันการศึกษาเจริญเติบโตของรากพืชด้วยเทคนิคไรโซตรอนเป็นวิธีการศึกษาที่ไม่ทำลายราก สามารถติดตามการเจริญของราก ความยาวราก การกระจายตัวของราก ได้ตลอดระยะอายุการปลูก (Bohm, 1979; Majdi, 1996; Atwell, 1999) การศึกษาในครั้งนี้จึงใช้เทคนิคไรโซตรอนศึกษาการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากข้าวโพดที่ปลูกในฤดูแล้ง เพื่อหาพันธุ์ที่มีลักษณะรากที่เหมาะสมที่จะปลูกในพื้นที่หลังนา และสามารถให้ผลผลิตที่ดีได้

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 5 สิ่งทดลอง คือ พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์จากหน่วยงานราชการ 1 พันธุ์ (พันธุ์ A) และ พันธุ์ทางการค้า 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ B C D และ E ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ณ แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม ศึกษาในช่วงเดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม 2560

การเตรียมกระบะไรโซตรอน

เตรียมกระบะปลูกไรโซตรอน (Rhizotron) โดยนำแผ่นเหล็กพับขอบทั้งสามด้านขนาด 50x100 ซม. ประกอบกับผ้าสักหลาดสีดำ และแผ่นอะคิลิคใส ขนาด 50x100 ซม. โดยมีช่องว่างระหว่างแผ่นอะคิลิคและแผ่นเหล็กประมาณ 2.54 ซม. ดึงผ้าสักหลาดให้ตึงแนบติดกับแผ่นอะคิลิค บรรจุดินปริมาณ 30 กก. ลงในไรโซตรอนและหุ้มไรโซตรอนด้วยผ้าดำทึบแสง เพื่อป้องกันไม่ให้แสงส่องผ่านเข้าไปในส่วนของราก

การปลูกและการดูแลรักษาข้าวโพด

เตรียมเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 5 พันธุ์ ปลูกบนกระดาษเพาะ รดน้ำ พักไว้ 1 วัน จากนั้นคัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ย้ายลงปลูกในกระบะของไรโซตรอน โดยปลูก 1 ต้นต่อไรโซตรอน พร้อมใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ รดน้ำปริมาณ 231 มม. ทุก 7 วัน หลังปลูก 45 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 50 กก./ไร่ เริ่มเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้นเมื่อข้าวโพดมีอายุ 14 วัน ข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้นประกอบด้วย ความสูงต้น (ซม.) ขนาดลำต้น (ซม.) และความกว้างและความยาวใบ (ซม.) บันทึกข้อมูลทุก 7 วัน ส่วนข้อมูลการเจริญเติบโตของรากเริ่มบันทึกเมื่อข้าวโพดอายุ 28 วัน เนื่องจากเป็นระยะที่เริ่มเห็นรากที่ชัดเจน ข้อมูลการเจริญเติบโตของรากประกอบด้วย ความยาวรากทั้งหมด (total root length: cm) และขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนด (root projected area: cm^2) โดยใช้กล้องถ่ายรูปรากจากหน้าตัดใสของไรโซตรอน และบันทึกข้อมูลทุก 7 วัน นำภาพถ่ายของรากที่ได้มาวิเคราะห์การเจริญเติบโตของราก โดยใช้โปรแกรม WinRhizo 2013 (Regent Instruments Canada, Inc.) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากด้วยโปรแกรม R (R-language and environment for statistical computing and graphics) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ความสูงของข้าวโพด วัดจากโคนต้นเหนือพื้นดิน 10 ซม. พบว่า ความสูงของต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ข้าวโพดอายุ 14 วัน เนื่องจากเป็นช่วงที่ข้าวโพดใช้น้ำและปุ๋ยได้อย่างเต็มที่ (ศิราณี, 2557) จนเมื่อข้าวโพดอายุ 28 วัน ความสูงข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเมื่อข้าวโพดอายุ 42 วัน ความสูงต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ซึ่งเป็นอิทธิพลจากการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 เมื่อข้าวโพดอายุ 45 วัน เมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน ข้าวโพดพันธุ์ B มีความสูงเท่ากับ 100.7 ซม. รองลงมาคือข้าวโพดพันธุ์ E ที่มีความสูงเท่ากับ 98.0 ซม. (Figure 1(A))

ขนาดต้นข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ วัดจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (Figure 1 (B)) พบว่า 14 วันหลังปลูกจนถึง 70 วัน ข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์มีขนาดลำต้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 14–42 วัน หลังจากนั้นขนาดลำต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ปลูกในกระบะไรโซตรอน ซึ่งขนาดลำต้นส่งผลต่อการสร้างผลผลิตของข้าวโพด (Kelly, 2011) และพบความแตกต่างทางสถิติของขนาดลำต้นข้าวโพดที่อายุ 14–21 วันหลังปลูก และพบว่าข้าวโพดพันธุ์ E มีขนาดลำต้นสูงที่สุด เท่ากับ 1.84 ซม.

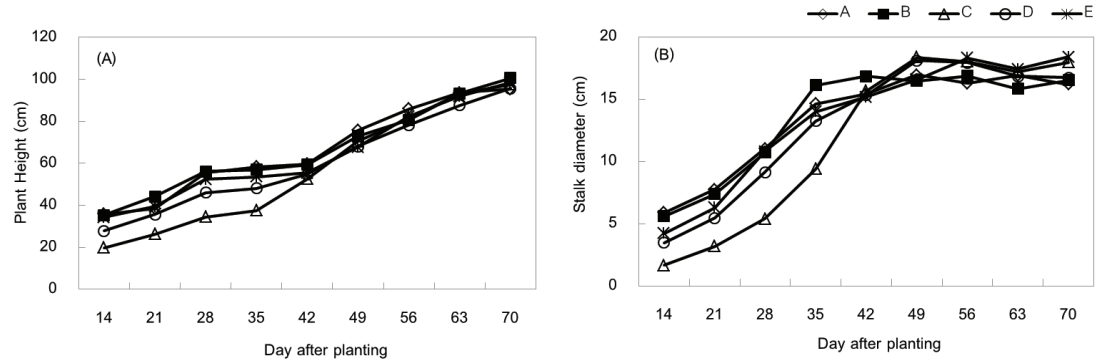

Figure 1 The different of plant height (A) and stalk diameter (B) of 5 corn varieties versus time after planting.

ความกว้างใบและความยาวใบของข้าวโพดแสดงใน Figure 2 (A) และ (B) ตามลำดับ ความกว้างใบข้าวโพดมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตั้งแต่ข้าวโพดอายุ 14 วัน จากนั้นเมื่อข้าวโพดอายุ 28 วัน ความกว้างใบข้าวโพดมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความกว้างใบของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติที่อายุ 14-28 วัน เมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน ความกว้างใบของข้าวโพดทุกพันธุ์มีขนาดสูงสุดเมื่อเทียบกับช่วงอายุอื่นๆ ข้าวโพดพันธุ์ D มีความกว้างใบน้อยที่สุด ส่วนความกว้างใบมากที่สุดพบในข้าวโพดพันธุ์ C ความยาวใบข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ มีความยาวใบเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่อายุ 14-49 วัน หลังจากนั้นความยาวใบจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งความยาวใบข้าวโพดทุกพันธุ์มีค่าสูงที่สุดเมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน ความกว้างและความยาวใบสามารถนำไปหาค่าพื้นที่ใบได้ ซึ่งขนาดของพื้นที่ใบเป็นลักษณะสำคัญที่สามารถบ่งบอกความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชและประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตของพืช (Chaudhary et al., 2012) นอกจากนี้ Lambert et al. (2014) รายงานว่าเมื่อข้าวโพดมีพื้นที่ใบเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มมากขึ้น

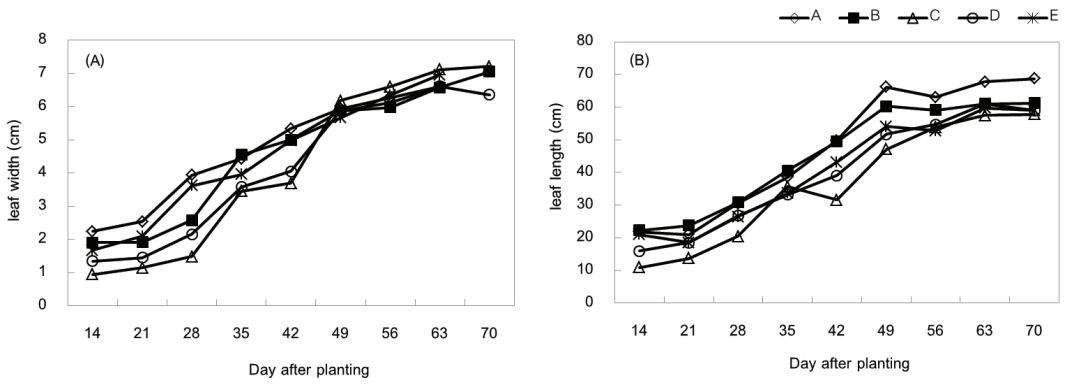

Figure 2 The different of leaf width (cm) (A) and leaf length (cm) (B) of 5 corn varieties versus time after planting.

ลักษณะการเจริญเติบโตของราก

ความยาวรากทั้งหมดของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ ตั้งแต่อายุ 28–70 วันหลังปลูก แสดงใน Table 1 จากตารางพบว่าเมื่อข้าวโพดอายุ 35 หลังปลูก ความยาวรากทั้งหมดของข้าวโพด 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) โดยรากข้าวโพดพันธุ์ C มีความยาวรากน้อยสุด เท่ากับ 177 ซม. ส่วนข้าวโพดพันธุ์ A มีความยาวรากมากที่สุด เท่ากับ 376 ซม. หลังจากนั้นเมื่อข้าวโพดอายุ 49-70 วัน ความยาวรากของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ความยาวรากของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 70 วัน ความยาวรากข้าวโพดพันธุ์ C มีความยาวรากน้อยสุด คือ 1,055 ซม.

Table 1 Summary of the ANOVA (mean squares) results on total root length (cm) on different days after transplantation (DAT).

Varieties	DAT						
	28	35	42	49	56	63	70
A	288	376[ab]	487	575	990	942	1,441
B	183	505[a]	703	824	1,099	1,375	1,555
C	83	177[c]	260	539	848	1,157	1,055
D	143	276[bc]	299	562	944	1,326	1,490
E	218	293[bc]	341	654	987	1,320	1,582
average	183	325	418	631	974	1,224	1,424
c.v. (%)	49.4	23.2	45.3	34.1	37.3	36.0	29.2
F-test	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns

ns = non significantly different

** = significantly different at $p<0.01$, respectively

Means in the same column followed by the same letter are not significant by LSD

Table 2 Summary of the ANOVA (mean squares) results on root projected area (cm^2) on different days after transplantation (DAT).

Varieties	DAT						
	28	35	42	49	56	63	70
A	45	72[a]	147[a]	96	217	170	262
B	65	68[a]	186[a]	156	290	256	374
C	26	28[b]	58[b]	82	145	238	217
D	52	49[ab]	117[ab]	110	172	268	297
E	51	34[b]	128[b]	110	159	246	280
average	47.71	50.33	127.06	110.80	196.39	235.32	285.87
c.v. (%)	48.99	34.95	27.89	36.60	33.75	40.58	40.35
F-test	ns	*	*	ns	ns	ns	ns

ns = non significantly different

* = significantly different at $p<0.05$

Means in the same column followed by the same letter are not significant by LSD

Agricultural Science and Management J.2 (1) : 32-39 (2019)

ขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดของรากข้าวโพด 5 พันธุ์ในทุกช่วงอายุ 28–70 วันหลังปลูกแสดงใน Table 2 ขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดมีขนาดเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่หลังปลูก 14 วัน จนมีค่าสูงสุดเมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน เมื่อข้าวโพดอายุ 35-42 วัน ขนาดในพื้นที่ที่กำหนดของรากข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) เมื่อข้าวโพดมีอายุ 35-45 วันหลังปลูก พบขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดมีค่าน้อยสุดในข้าวโพดพันธุ์ C ส่วนขนาดของรากในพื้นที่ที่กำหนดพบในข้าวโพดพันธุ์ A และ B เมื่อข้าวโพดอายุ 35 และ 42 วัน ตามลำดับ เมื่อข้าวโพดมีอายุเพิ่มมากขึ้นขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวโพดมีขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดสูงที่สุดของทุกพันธุ์เมื่อเทียบกับอายุการเจริญเติบโตอื่นๆ โดยพบข้าวโพดพันธุ์ C มีขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดน้อยที่สุด ส่วนข้าวโพดพันธุ์ B มีขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดสูงที่สุด

เมื่อนำภาพถ่ายของรากข้าวโพดของทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 70 วัน เปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโต การแตกแขนง และการแพร่กระจายของราก แสดงในภาพที่ 3 พบการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากในแต่ละพันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกัน และสามารถแบ่งกลุ่มของรากตามลักษณะการแพร่กระจายได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) รากที่เจริญออกทางแนวดิ่งได้แก่ข้าวโพดพันธุ์ A, B และ C 2) รากที่เจริญออกทางด้านข้าง ได้แก่พันธุ์ D และ E โดยรากที่มีการเจริญเติบโตดี ความหนาแน่นมากและมีลักษณะเจริญออกทางด้านข้าง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารและน้ำได้ดี และเป็นลักษณะของพืชที่มีความสารถในการทนแล้งได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้พืชมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ (Kapulnik *et al*., 2011; Chen *et al*., 2017)

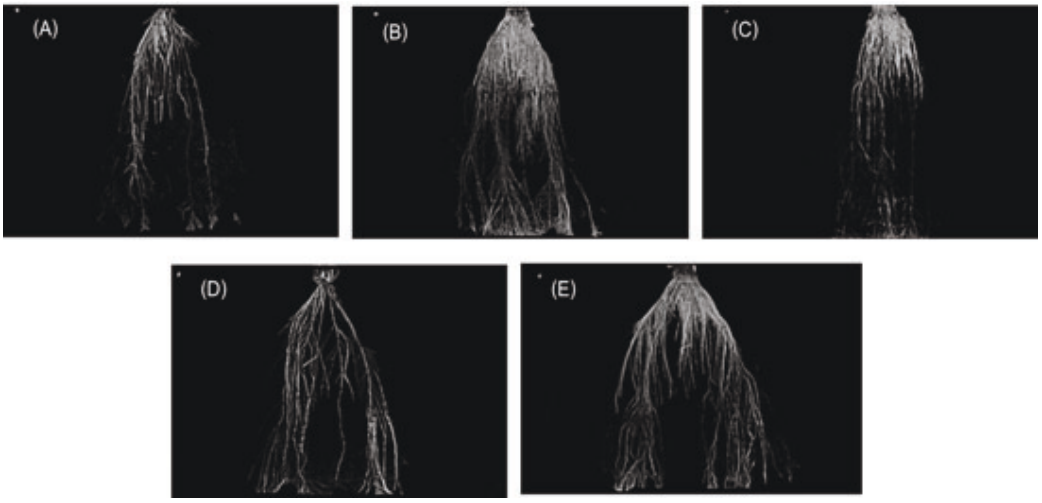

Figure 3 Characteristic of maize root development as observed on rhizotron at 70 days after planting (A), (B), (C), (D) and (E) represented 5 corn varieties.

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเปรียบเทียบเจริญเติบโตของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 5 พันธุ์ ด้วยเทคนิคไรโซตรอน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 5 พันธุ์ มีการเจริญเติบโตทางลำต้นไม่แตกต่างกัน

2. เมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน ข้าวโพดพันธุ์ A มีความยาวรากน้อยที่สุด ส่วนข้าวโพดพันธุ์ E มีความยาวรากมากที่สุด

3. ขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ C มีค่าน้อยที่สุด โดยขนาดที่มากที่สุดพบในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ B รองลงมาได้แก่ พันธุ์ D และ E ตามลำดับ

4. ลักษณะการเจริญเติบโตของรากของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 5 พันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งลักษณะการเจริญเติบโตของรากได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) รากที่เจริญในแนวดิ่ง (พันธุ์ A, B และ C) และ 2) รากที่เจริญออกทางด้านข้าง (พันธุ์ D และ E)

5. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ E มีลักษณะการเจริญเติบโตของรากค่อนข้างดี รากมีความหนาแน่นสูง และมีการกระจายตัวของรากออกทางด้านข้าง ซึ่งเป็นลักษณะที่เหมาะสมต่อการปลูกในพื้นที่ดินดาน และมีข้อจำกัดเรื่องการให้น้ำ เช่น พื้นที่นาหลังการเก็บเกี่ยวได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนทำวิจัย ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. เอ็จ สโรบล ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ศิราณี วงศ์กระจ่าง. 2557. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดในชุดดินบ้านทอน. วารสารแก่นเกษตร 42 (ฉบับพิเศษ): 259-262.

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. 2561. โครงการวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทนแล้ง (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://programming.cpe.ku.ac.th/AgriInformatics/viewProject.php?itemID=2761. (21 พฤษภาคม 2561).

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2539. การปลูกพืชไร่ในนาข้าวเขตชลประทาน. กสิกร 66: 154-155.

Atwell, B.J. 1999. Plants in action: adaptation in nature, performance in cultivation. Macmillan Publishers. Victoria. 664 p.

Bohm. W. 1979. Method of Studying Root System. Springer. Berlin. 188 p.

Chaudhary, P., S. Godara, A.N. Cheeran and A.K. Chaudhari. 2012. Fast and accurate aethod for leaf area measurement. International Journal of Computer Applications 49 : 22-25.

Chen, X., M. Kou, Z. Tang, A. Zhang, H. Li, and M. Wei. 2017. Responses of root physiological characteristics and yield of sweet potato to humic acid urea fertilizer. (Online). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189715 . (September 13, 2108).

Dong, C., Z. Liu, and X. Yang, 2014. Effects of different grade drought on grain yield of spring maize in Northern China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 31 : 157-164.

Esser, K.B. 2016. Hardpan and maize root distribution under conservation and conventional tillage in agro-ecological zone IIA, Zambia. African Crop Science Journal 24: 2670-287.

Kapulnik Y., N. Resnick, E. Mayzlish-Gati, Y.Kaplan, S.Wininger and J. Hershenhorn. 2011. Strigolactones interact with ethylene and auxin in regulating root-hair elongation in Arabidopsis. Journal of Experimental Botany 62 : 2915-2924.

Kelly, J., J.L. Crain and W.R. Raun. 2011. By-plant prediction of corn (*Zea mays L.*) grain yield using height and stalk diameter. Communications in Soil Science and Plant Analysis 46 : 564-575.

Lambert, R., B.D. Mansfield and R.H. Humm. 2014. Effect of leaf area on maize productivity. Maydica 59 : 58-64.

Majdi, H. 1996. Root sampling methods-applications and limitations of the minirhizotron technique. Plant and Soil 185 : 255-258.

Sun, X., Z. Ding, X. Wang, H. Hou, B. Zhou, Y. Yue, W. Ma, J. Ge, Z. Wang and M. Zhao. 2017. Subsoiling practices change root distribution and increase post-anthesis dry matter accumulation and yield in summer maize (Online). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174952. (September 13, 2018).