การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยเทคนิคไรโซตรอน

Comparisons of maize root growth by using Rhizotron technique

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

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

บทคัดย่อ: การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของรากด้วยเทคนิคไรโซตรอนมีการใช้อย่างแพร่หลายในพืชไร่ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเจริญเติบโตของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อค้นหาลักษณะของรากที่ดีและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่เป็นดินดาน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ และ 5 สิ่งทดลอง ประกอบด้วยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ A, B, C, D และ E บันทึกความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนด ด้วยเทคนิคไรโซตรอน วิเคราะห์ภาพถ่ายของรากด้วยโปรแกรม WinRhizo ผลการทดลองพบว่าความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันในช่วงอายุ 28 - 49 วันหลังปลูก แต่จะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อข้าวโพดอายุ 56 - 70 วันหลังปลูก โดยเมื่อข้าวโพดอายุ 70 วันหลังปลูกพบค่าความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดสูงสุดในพันธุ์ C นอกจากนี้พบว่าความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดมีความสัมพันธ์เชิงบวก ($R^2 = 0.98$, $P < 0.05$) และจากภาพถ่ายรากด้วยเทคนิคไรโซตรอนสามารถจำแนกการเจริญเติบโตของรากเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ รากที่เจริญเติบโตออกทางด้านข้าง (A, D และ E) และรากที่เจริญเติบโตในแนวดิ่ง (B และ C) จากการศึกษาพบว่าการรากของข้าวโพดพันธุ์ C มีลักษณะของรากที่มีแนวโน้มที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ดินดาน

คำสำคัญ: ไรโซตรอน, การเจริญเติบโตของราก, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, ดินดาน

ABSTRACT: The Rhizotron technique has been used to measure the root growth and development of field crop. The objective of this study was to evaluate the root growth of maize. To find the good characteristic and suitable varieties for growing in hard and compact soil. The experiment used Completely Randomize Design (CRD) with 3 replications. The treatment was consisted of the 5 maize varieties as A, B, C, D and E. The data was measure about root growth using Rhizotron technique and analyse image of root growth using WinRhizo. The result showed that total root length and projected area of 5 varieties were not significantly at 28 - 49 days after planting (DAP). On the other hand, the results were significantly at 56 - 70 DAP. The results showed highest values of total root length and projected area on C variety. In addition, there was a significant correlation between total root length and projected area on C variety at 70 DAP. We found the positive correlation ($R^2 = 0.98$, $P < 0.05$) between total root length and projected area. Moreover, the 2 root growth characteristic was found as root growth in horizontal distribution (A, D and E) and in vertical distribution (B and C). The results of this study indicate that the root growth characteristic of C verity suitable for growing in hard and compact soil.

Key words: rhizotron, root growth, maize, compact soil

[1] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom

[2] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom

* Corresponding author: agrtwp@ku.ac.th

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้, 2549) ทำให้เกิดความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรลดลง (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2539) พืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศไทยได้แก่ข้าว แต่จากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทำให้รัฐบาลต้องลดการใช้น้ำ โดยลดการปลูกข้าวนาปรัง และแนะนำให้ปลูกพืชไร่ที่ใช้น้ำน้อยแทนการปลูกข้าว (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2539 และ กรีนพีซ-เอเชียตะวันออกเฉียงใต้, 2549) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นพืชที่มีศักยภาพการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีในดินนา (สมชาย, 2549) และเนื่องจากภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น โดยความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี 2559 เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.27 จากปี 2558 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) การปลูกพืชหลังนา มีปัญหาเรื่องดินดาน ซึ่งนาเป็นพื้นที่ที่ถูกไถพรวนหน้าดินเป็นเวลานาน ทำให้ดินชั้นล่างถูกอัดแน่นเกิดเป็นดินดาน ปัญหาเรื่องดินดานจึงเป็นตัวจำกัดเรื่องการเจริญเติบโตและส่งผลถึงผลผลิต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) การศึกษาโดยใช้มินิไรโซตรอนเป็นการสังเกตการเจริญเติบโตของรากพืช และได้รับข้อมูลเกี่ยวกับรากในดิน (Danneels et. al., 1987) การพัฒนาการของรากทั้งขนาดและการกระจายตัว นับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ข้าวโพดสามารถอยู่รอดได้ในสภาพน้ำน้อย ซึ่งรากเป็นอวัยวะที่สำคัญของพืช และช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตพัฒนาได้เป็นปกติ (Turner et al., 1974) ปัญหาของดินดานในนาจึงเป็นที่มาของการศึกษารากข้าวโพดที่มีผลต่อการเจริญเติบโต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมในการปลูก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและเปรียบเทียบการสร้างรากข้าวโพดในแต่ละพันธุ์และหาความสัมพันธ์ระหว่างรากและการเจริญเติบโตของข้าวโพดในแต่ละพันธุ์

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 5 สิ่งทดลอง คือ พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์จากหน่วยงานราชการ 1 พันธุ์ (พันธุ์ A) และพันธุ์ทางการค้า 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ B C D และ E ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ณ แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม ทำการศึกษาในช่วงเดือน กรกฎาคม ถึงเดือนตุลาคม 2560 เตรียมกระบะปลูก ไรโซตรอน (Rhizotron) โดยนำแผ่นเหล็กพับขอบทั้งสามด้าน ขนาด 50 x 100 ซม. ประกอบกับผ้าสักหลาดสีดำ และแผ่นอะคิลิคใสขนาด 50 x 100 ซม. โดยมีช่องว่างระหว่างแผ่นอะคิลิค และแผ่นเหล็กประมาณ 2.54 ซม. ดึงผ้าสักหลาดให้ตึงแนบติดกับแผ่นอะคิลิค บรรจุดินลงในไรโซตรอนและหุ้มไรโซตรอนด้วยผ้าดำทึบแสง เพื่อป้องกันไม่ให้แสงส่องผ่านเข้าไปในส่วนของราก เตรียมเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 5 พันธุ์ ปลูกบนกระดาษเพาะ รดน้ำทุกวันเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นคัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ย้ายลงปลูกในกระบะของไรโซตรอน โดยปลูก 1 ต้นต่อไรโซตรอน พร้อมใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 50 กก./ไร่ รดน้ำทุก 7 วัน หลังปลูก 45 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 16 - 0 - 0 อัตรา 50 กก./ไร่ เริ่มเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต เมื่อข้าวโพดมีอายุ 14 เริ่มบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้น ได้แก่ ความสูงต้น (ซม.) ขนาดลำต้น (ซม.) จำนวนใบต่อต้น และความกว้างใบ (ซม.) ทำการบันทึกข้อมูลทุก 7 วัน เมื่อข้าวโพดอายุ 28 เริ่มบันทึกการเจริญเติบโตของราก ได้แก่ ความยาวรากทั้งหมด (total root length: cm.) และขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนด (root projected area: cm^2) โดยใช้กล้องถ่ายรูปรากจากหน้าตัดใสของไรโซตรอน และทำการบันทึกข้อมูลทุก 7 วัน นำภาพของรากที่ได้มาวิเคราะห์การเจริญเติบโตของราก โดยใช้โปรแกรม WinRhizo 2013 (Regent Instruments Canada, Inc.) ข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม R

(R-language and environment for statistical computing and graphics) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ความสูงต้นข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ (Figure 1(A)) พบว่า 14 วันหลังงอกจนถึง 70 วัน ข้าวโพดทุกพันธุ์มีความสูงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อข้าวโพดอายุ 56 วัน มีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อข้าวโพดมีอายุ 70 วัน ซึ่งอยู่ในระยะที่มีจุดเจริญของช่อดอกและการยืดตัวของลำต้นสูงสุด (ราเชนทร์, 2539) พบว่าความสูงของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์มีไม่แตกต่างทางสถิติ แต่พบว่าข้าวโพดพันธุ์ B มีความสูงน้อยสุด ส่วนข้าวโพดพันธุ์ E มีความสูงมากสุด ค่าเฉลี่ยความสูงของข้าวโพดพันธุ์ B และ E เท่ากับ 100 และ 136 ซม. ตามลำดับ

การขยายขนาดของลำต้นข้าวโพด วัดจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น พบว่าขนาดลำต้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ข้าวโพดมีอายุ 28-42 วัน หลังจากนั้นขนาดของลำต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (Figure 1 (B)) และพบความแตกต่างทางสถิติของขนาดลำต้นข้าวโพดเมื่อข้าวโพดอายุ 70 วัน โดยข้าวโพดพันธุ์ B มีขนาดลำต้นน้อยสุด เท่ากับ 1.95 ซม. ส่วนข้าวโพดพันธุ์ C มีขนาดลำต้นสูงสุดเท่ากับ 2.41 ซม.

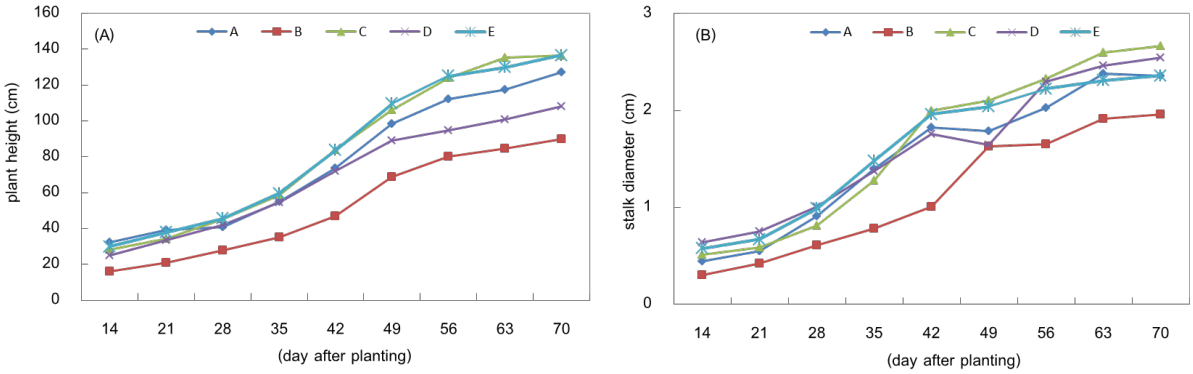

Figure 1 The different of plant height (cm) (A) and stalk diameter (cm) (B) of 5 maize verities versus time after planting

ขนาดใบของข้าวโพดเป็นดัชนีชี้วัดถึงความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชได้ โดยพืชที่มีใบขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าใบที่มีขนาดเล็ก (Singh et al., 2009) จาก Figure 2 (A) พบว่าใบของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นเมื่อข้าวโพดมีอายุเพิ่มมากขึ้น เมื่อ 70 วันหลังปลูก ความกว้างใบของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์มีไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวโพดพันธุ์ B มีความกว้างใบแคบที่สุด ส่วนพันธุ์ C มีใบที่กว้างที่สุด ค่าเฉลี่ยของความกว้างใบของพันธุ์ B และ C เท่ากับ 6.2 และ 7.2 ซม. ตามลำดับ ความยาวใบของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ ที่ตั้งแต่ข้าวโพดมีอายุ 14 - 70 วันหลังปลูกไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อข้าวโพดอายุ 70 วันหลังปลูกความยาวใบของข้าวโพดพันธุ์ B มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 53 ซม. ส่วนพันธุ์ C และ E มีความยาวใบสูงสุด เท่ากับ 67 ซม. (Figure 2 (B))

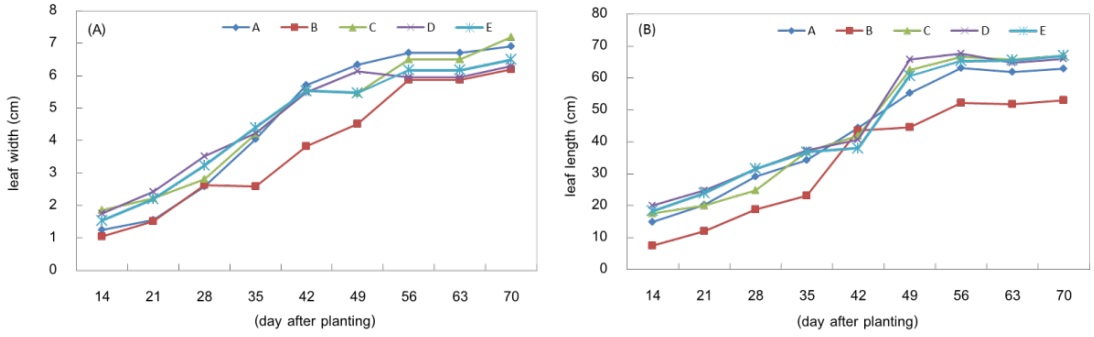

Figure 2 The different of leaf width (cm.) (A) and leaf length (cm) (B) of 5 maize verities versus time after planting

ลักษณะการเจริญเติบโตของราก

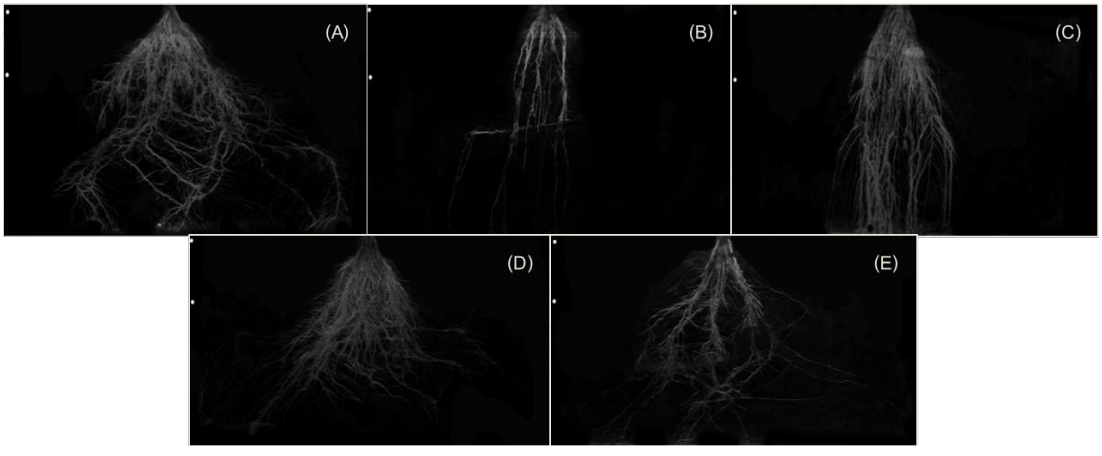

Figure 3 Characteristic of maize root development as observed on rhizotron at 63 days after planting. (A), (B), (C), (D) and (E) represented 5 maize varieties

ภาพการเจริญเติบโตของราก เมื่อข้าวโพดมีอายุ 63 วัน ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WinRhizo แสดงใน **Figure 3** จากภาพพบว่าการเจริญเติบโตของรากข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน และสามารถแบ่งกลุ่มของรากได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) รากเจริญเติบโตออกทางด้านข้าง และ 2) รากเจริญเติบโตในแนวดิ่ง ซึ่งกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย พันธุ์ A, C และ D ส่วนพันธุ์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม 2 ได้แก่ พันธุ์ B และ E ซึ่งรากที่มีลักษณะเจริญเติบโตออกทางด้านข้าง และมีรากแขนงที่มีความยาวและความหนาแน่นสูง จะช่วยทำให้พืชมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส ได้ดี (Burton et al., 2012) และช่วยให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มมากขึ้น (Hammer et al., 2009)

ความยาวรากทั้งหมดของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ ในแต่ละอายุหลังปลูกแสดงใน **Table 1** จากตารางพบว่าเมื่อข้าวโพดอายุ 28 - 70 วันหลังปลูก ความยาวรากทั้งหมดของข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อข้าวโพดมีอายุ 70 วันหลังปลูก ข้าวโพดพันธุ์ B มีความยาวรากทั้งหมดน้อยที่สุด ส่วนข้าวโพดพันธุ์ C มีความยาวรากทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 6,012 ซม.

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

	DAT						
Varieties	28	35	42	49	56	63	70
A	280[a]	612[ab]	1,139[ab]	1,876[ab]	2,570[ab]	4,032[ab]	3,782[ab]
B	228[ab]	281[b]	416[b]	722[b]	1,109[b]	1,098[b]	1,283[b]
C	228[ab]	984[a]	1,866[a]	3,306[a]	4,213[a]	5,805[a]	6,012[a]
D	122[b]	426[b]	884[ab]	1,324[b]	1,776[b]	3,212[ab]	3,348[ab]
E	202[ab]	465[b]	1,214[ab]	2,347[ab]	2,860[ab]	4,161[ab]	3,530[ab]
average	212	553.6	1,104	1,915	2,506	3,662	3,591
c.v. (%)	33.8	43.38	48.03	46.76	37.04	39.39	43.33
F-test	*	**	*	*	**	**	*

ns = non significantly different

*,** = significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD

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

	DAT						
varieties	28	35	42	49	56	63	70
A	52[a]	96[ab]	333[a]	345	502[ab]	737[ab]	818[ab]
B	38[ab]	44[b]	79[b]	106	262[b]	180[b]	248[b]
C	38[ab]	124[a]	343[a]	588	890[a]	1,389[a]	1,276[a]
D	16[b]	62[b]	167[ab]	209	329[b]	592[b]	809[ab]
E	31[ab]	70[ab]	261[ab]	432	596[ab]	731[ab]	787[ab]
average	35	79.2	236.6	336	515.8	725.8	787.6
c.v. (%)	42.93	36.80	45.09	66.70	51.16	51.08	38.17
F-test	**	**	*	ns	*	**	**

ns = non significantly different

*,** = significantly different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by LSD

ขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดของข้าวโพดทั้ง 5 พันธุ์ ในทุกช่วงอายุ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นเมื่อข้าวโพดอายุ 49 วันหลังปลูกขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อข้าวโพดอายุ 70 วันหลังปลูกพบว่าขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดของพันธุ์ B มีค่าต่ำสุดและพันธุ์ C มีค่าสูงสุด โดยขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดของพันธุ์ B และ C มีค่าเท่ากับ 248 และ 1,276 ซม.^{2} จากข้อมูลการเจริญเติบโตของรากข้าวโพดพันธุ์ C ใน **Table 1** และ **Table 2** พบว่าความยาวทั้งหมดของรากและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดมีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อข้าวโพดความยาวรากทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ($R^2 = 0.98$, $P < 0.05$) ดังแสดงใน **Figure 4**

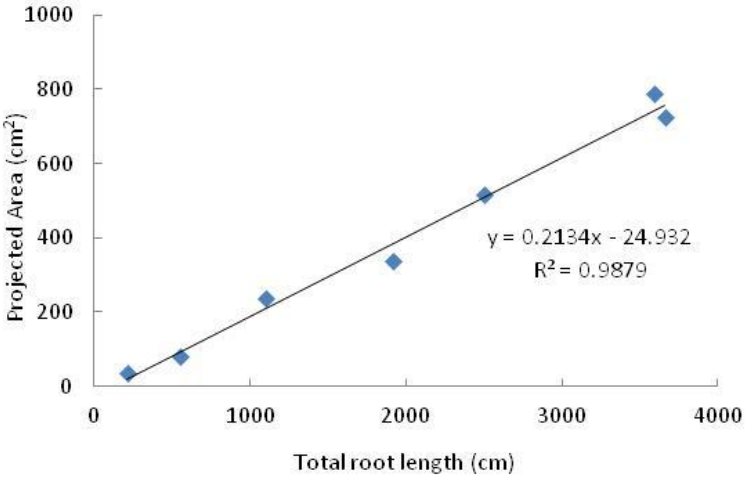

Figure 4 Correlation between Total root length (cm) and Projected Area (cm^2)

สรุป

จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของรากของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 5 พันธุ์พบว่า ความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวโพดพันธุ์ C มีความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดมากที่สุด ส่วนพันธุ์ B มีความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดน้อยที่สุด ในข้าวโพดพันธุ์ C พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนด โดยเมื่อรากมีความยาวทั้งหมดเพิ่มขึ้น ขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สามารถแบ่งกลุ่มการเจริญเติบโตของรากได้ 2 ประเภท ได้แก่ รากที่เจริญเติบโตออกทางด้านข้าง (พันธุ์ A, D และ E) และรากที่เจริญเติบโตลงในแนวดิ่ง (พันธุ์ B และ C) ซึ่งลักษณะรากที่เจริญเติบโตออกทางด้านข้างนั้นมีความเหมาะสมและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินดาน หรือดินหลังนา ดังนั้นข้าวโพดพันธุ์ C มีแนวโน้มที่เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในดินที่มีลักษณะเป็นดินดาน นอกจากนี้ ผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้นำไปใช้ในการประเมินและศึกษาการให้ปุ๋ยและการให้น้ำในพืชที่ปลูกในพื้นที่ดินดานเพื่อให้ได้ผลผลิตดีได้

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. เอ็จ สโรบล ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนงบในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2560. การไถพรวนเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการ, กรุงเทพฯ.

กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้. 2549. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: https://goo.gl/1RHjrZ. ค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2560.

ราเชนทร์ ถิรพร. 2539. ข้าวโพด. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ด่านสุทธาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

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

สมชาย บุญประดับ. 2549. ปลูกข้าวโพดหลังนาอย่างไรให้ได้ไร่ละ 1,000 กิโลกรัม. กสิกร. 79: 54-56.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2559. แหล่งข้อมูล: https://goo.gl/eVmxgk. ค้นเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2560.

Burton, A. L., M. Williams, J. P. Lynch, and K. M. Brown. 2012. Root Scan: Software for high-throughput analysis of root anatomical traits. Plant and Soil. 357: 189-203.

Danneels, P., B. Demuynck, W. Van Cothem, P. Vervalcke, and Q. Vyvey. 1987. The influence of soil conditioning on the germination and plant growth on some European and African marginal soils. Biol. Jb. 55: 69-85.

Hammer, G. L., Z. Dong, G. McLean, A. Doherty, C. Messina, J. Schussler, C. Zinselmeire, S. Pazkiewicz, and M. Cooper. 2009. Can Changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the U.S. corn belt?. Crop Sci. 49: 299-312.

Singh, P., M. Agrawal, and S. B. Agrawal. 2009. Evaluation of physiological growth and yield response of a tropical oil crop (*Brassica campestris* L. var. Kranti) under ambient ozone pollution at varing NPK levels. Environ. Pollut. 157: 871-880.

Turner, N. C.1974. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. Plant Physiol. 53: 360-365.