อิทธิพลของอัตราปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในไรโซตรอน

Effects of Chemical Fertilizer Rates on Shoot and Root Growth of Corn in Rhizotron

ทิวา พาโคกทม[1*] นรเศรษฐ พัฒน์ใหญ่[2] วิภาวี จุ้ยแก้วพะเนา[1] มานิกา แย้มสุข[1] และ นงภัทร ไชยชนะ[3]

Tiwa Pakoktom[1] Norasat Phatyai[2] Wipawee Juykeawpanao[1] Manika Yamsook[1] and Nongpat Chaichana[3]

Abstract: The objectives of this study were to study the growth of stem and root of corn by using Rhizontron technique and study the effects of fertilizer application on corn root growth and development. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design (CRD) consisting of 4 treatments with 3 replications. The four treatments were chemical fertilizer (16-20-0) at the rate of 0, 25, 50 and 75 kg/rai applied at planting date. The growth and development of corn root during the study were captured on Rhizotron by camera and analyzed the total root length and projected area by using WinRhizo program. The results indicated that the corn with no fertilizer application gave the lowest value for plant height, stalk diameter, leaf greenness and leaf area, when compared with other rates. The growth of root showed that the corn root length and projected area were gradually increased after planting and reached the highest at 70 days after planting (DAP). Moreover, the growth of corn root that the application of fertilizer (16-20-0) at the rate 0 kg/rai showed lowest when compared with other rates. The highest was the application rate at 75 kg/rai and this rate produced the total root length of 7,936 cm and projected area was 867 cm^2. Futuremore, the application of fertilizer (16-20-0) at the rate of 0 kg/rai resulted in the lowest yield per plant. The highest yield per plant obtained with the application of fertilizer (16-20-0) at the rate of 25 kg/rai. In addition, the Rhizotron technique performs suitably through the season without damaging the plant samples when the growth of corn root system response to fertilizer application is considered.

Keywords: Root growth, Corn, Rhizotron, Chemical fertilizer rate

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของลำต้นและรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในไรโซตรอน และเพื่อศึกษาการตอบสนองของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เมื่อได้รับปุ๋ยเคมีอัตราที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ และ 4 สิ่งทดลอง ประกอบด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 0, 25, 50 และ 75 กก./ไร่

[1]ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

[2]ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkhen Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

[3]ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agrtwp@ku.ac.th

บันทึกความยาวรากทั้งหมดและขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนด (root projected area) ด้วยกล้องถ่ายรูป วิเคราะห์ภาพถ่ายของรากด้วยโปรแกรม WinRhizo ผลการทดลองพบว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ไม่ได้รับปุ๋ยรองพื้น มีค่าความสูงของต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ค่าความเขียวใบ และขนาดใบ น้อยกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตราอื่น ส่วนความยาวราก และ root projected area มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีอายุเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดเมื่ออายุ 70 วันหลังปลูก ความยาวราก และ root projected area ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ แตกต่างจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ โดยที่เมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 70 วันหลังปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 75 กก./ไร่ มีความยาวรากทั้งหมดมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 7,936 ซม. ส่วน Projected area มีค่าเท่ากับ 867 ซม.^{2} นอกจากนั้นยังพบว่าผลผลิตต่อต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราอื่นๆ และพบว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กก./ไร่ มีผลผลิตต่อต้นสูงที่สุด การใช้เทคนิคไรโซตรอนศึกษาการเจริญเติบโตของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถติดตามการเจริญเติบโตและพัฒนาการของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ตลอดฤดูปลูกโดยไม่ทำให้ตัวอย่างพืชเสียหาย และสามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาประเมินผลจากอิทธิพลของอัตราปุ๋ยเคมีในการศึกษาในครั้งนี้ได้

คำสำคัญ: การเจริญเติบโตของราก, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, ไรโซตรอน, อัตราปุ๋ยเคมี

คำนำ

ในประเทศไทยพื้นที่การทำนาส่วนใหญ่อยู่นอกเขตชลประทาน ต้องอาศัยน้ำฝนอย่างเดียว คิดเป็นประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ทำนาทั้งหมด ในบางพื้นที่เกษตรกรจะทำนาในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งหากปริมาณน้ำไม่เพียงพอผลผลิตจะเสียหาย ทำให้เกษตรกรขาดโอกาสในการปลูกพืชครั้งที่ 2 (Suwanmontri et al., 2020) ในบางพื้นที่หากพื้นที่นาหลังการเก็บเกี่ยวมีระดับน้ำใต้ดินเพียงพอ เกษตรกรสามารถปลูกพืชหลังนาได้ ซึ่งเป็นการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ (สมชาย, 2554) แต่การปลูกพืชหลังนามักจะพบปัญหาดินดาน เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมดินปลูกข้าว การไถพรวนในระดับเดิมบ่อยๆ ในขณะที่ดินเปียกหรือแห้งเกินไป ทำให้ดินใต้ชั้นไถพรวนแน่นขึ้นจนกลายเป็นแผ่นแข็ง น้ำ อากาศ และรากพืชหยั่งลงไปไม่ได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) ลักษณะนี้จะจำกัดการเจริญเติบโตของรากและผลผลิตของพืชที่ปลูกหลังนา โดยจำกัดการดึงน้ำและธาตุอาหารในดินมาใช้ (Vial et al., 2013) แต่การปลูกพืชหลังนา เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หากข้าวโพดมีระบบรากที่ดีและรากสามารถหยั่งลึกลงในดินที่ระดับความลึกถึง 30 ซม. รากข้าวโพดจะสามารถเจริญเติบโต มีผลผลิตเพิ่มมากขึ้น และมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้นได้ (Kukal and Aggarwal, 2003)

จากความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และปริมาณข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตภายในประเทศมีไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2562) สอดคล้องกับนโยบายแก้ไขปัญหาภัยแล้งของรัฐบาล โดยขอความร่วมมือเกษตรกรงดการปลูกข้าวนาปรัง และให้ปลูกพืชใช้น้ำน้อยทดแทน เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาผลผลิตเสียหายจากปัญหาภัยแล้ง ซึ่งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่ทางกรมส่งเสริมการเกษตรแนะนำให้ปลูกทดแทนการปลูกข้าวนาปรัง เพื่อให้เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ลดพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ไม่ถูกต้อง และเพิ่มพื้นที่ปลูกทดแทนในฤดูแล้ง (กรมการข้าว, 2563) การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งให้ได้ผลผลิตสูง โดยอาศัยการจัดการดิน น้ำ และปุ๋ย อาจจะมีข้อจำกัด เนื่องจากอาจจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้น แต่หากเกษตรกรมีทางเลือกในการเลือกใช้พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสมและการจัดการปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อให้ผลผลิตที่สูงได้ น่าจะเป็นแนวทางการปฏิบัติให้แก่เกษตรกรผู้สนใจปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาได้

การศึกษาระบบรากพืชเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากระบบรากพืชเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช และการเจริญเติบโตของรากพืชมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตทางลำต้น ซึ่งการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากพืชนั้นเป็นผลจากปริมาณธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจนที่อยู่ในดิน (Costa et al., 2000; Prudente et al., 2008; Chen et al., 2020) และในปัจจุบันมีเทคนิคการศึกษาการเจริญเติบโตและการพัฒนาของรากด้วยกันหลายวิธีและเทคนิคที่สามารถเห็นลักษณะรากได้โดยไม่มีผลกระทบต่อราก คือเทคนิคไรโซตรอน (Caldwell and Virginia, 1989) การศึกษาการเจริญเติบโตและการพัฒนาของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของลำต้นและรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกันด้วยเทคนิคไรโซตรอน สำหรับใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีการจัดการปุ๋ยเคมีที่เหมาะสำหรับในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาของเกษตรกร เพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าและยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 3 ซ้ำ (replication) จำนวน 4 สิ่งทดลอง (treatment) คือ อัตราปุ๋ยเคมี ที่ใส่เพื่อเป็นปุ๋ยรองพื้นพร้อมวันปลูก ดังต่อไปนี้ สิ่งทดลองที่ 1 ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่, สิ่งทดลองที่ 2 ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กก./ไร่, สิ่งทดลองที่ 3 ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กก./ไร่ และสิ่งทดลองที่ 4 ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 75 กก./ไร่ ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในกระบะไรโซตรอน จัดวางในสถานที่ที่แสงเพียงพอ ณ แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม ศึกษาในช่วงเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2561

การเตรียมกระบะไรโซตรอน

นำแผ่นสังกะสีพับขอบทั้งสามด้านขนาด 50x100x 2.54 ซม. ประกอบกับผ้าสักหลาดสีดำ และแผ่นอะคริลิคใสขนาด 50x100 ซม. ยึดด้วยน็อตขนาด 1/2 นิ้ว โดยมีช่องว่างระหว่างแผ่นอะคิลิคและแผ่นเหล็ก 2.54 ซม. ดึงผ้าสักหลาดให้ตึงแนบติดกับแผ่นอะคิลิค เมื่อประกอบเสร็จนำไรโซตรอนตั้งวางบนราวเหล็ก นำดิน 30 กก. ที่ผ่านการผึ่งแห้งและบดละเอียดบรรจุลงในไรโซตรอนระหว่างแผ่นเหล็กกับผ้าสักหลาดสีดำ ปรับไรโซตรอนมีความเอียง 45 องศา ไปทางด้านหน้าแผ่นอะคิลิคเพื่อให้ดินดันรากแนบชิดติดกับแผ่นอะคิลิคมากที่สุด (Figure 1 and 2) ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks) เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง โดยมีปฏิกิริยาดินเป็นกลาง (pH 6.8) ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายสกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำต่ำ (1.29 ds m^{-1}) อินทรียวัตถุค่อนข้างสูง (3.5%) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง (616.2 mg kg^{-1}) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (1,160.6 mg kg^{-1})

การปลูกและดูแลข้าวโพด

เพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดบนกระดาษเพาะรดน้ำให้ชุ่มทิ้งไว้ 1 วัน คัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์และมีตุ่มรากงอกขึ้นมาเล็กน้อย ย้ายปลูกในไรโซตรอน โดยปลูก 1 เมล็ด/ไรโซตรอน หุ้มไรโซตรอนด้วยผ้าสักหลาดสีดำปิดด้านแผ่นอะคิลิคใสเพื่อป้องกันไม่ให้แสงส่องผ่านเข้าไปในส่วนของราก นำคลิบหนีบกระดาษหนีบผ้าที่ห่อหุ้มกับกระบะไรโซตรอนเพื่อป้องกันผ้าหุ้มไรโซตรอนหลุดออก รดน้ำทุก 3 วัน ปริมาณน้ำที่รดรวมตลอดการปลูก 2,748 ซม.^{3} ใส่ปุ๋ยแบบแถวโดยทำร่องเล็กๆ แล้วโรยปุ๋ยเป็นแถวที่ก้นหลุมตามแนวของกระบะไรโซตรอนแล้วกลบดินบางๆ โดยใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 0, 25, 50 และ 75 กก./ไร่ ในกระบะไรโซตรอน สิ่งทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกและหลังปลูก 28 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กก./ไร่ ในทุกๆ กระบะไรโซตรอน

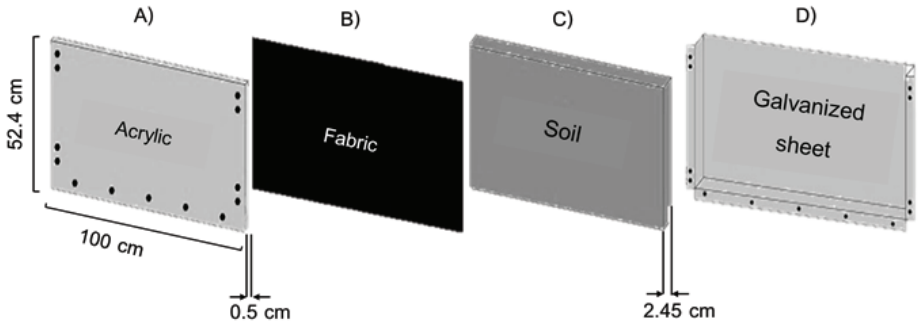

Figure 1 Rhizotron design system composed of (A) acrylic sheet (B) black fabric (C) soil sample and (D) aluminum flat bar and corner shaped aluminum bar.

Figure 2 Overview of Rhizotron system in the experimental field and corn growing in soil-filled Rhizotron.

การบันทึกข้อมูล

เริ่มเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตเมื่อข้าวโพดมีอายุ 14 วัน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้น ได้แก่ ความสูงต้น (ซม.) โดยใช้ตลับเมตรวัดจากผิวดินจนถึงส่วนที่สูงที่สุดของต้นข้าวโพด ขนาดลำต้น (ซม.) วัดโดยใช้ vernier caliper วัดขนาดลำต้นที่ตำแหน่งความสูง 5 ซม. จากผิวดิน พื้นที่ใบ (ซม.^{2}) ประเมินตามวิธีของ Pearce et al. (1975) โดยนำใบที่เป็นตัวแทนมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง x ความยาวใบ กับพื้นที่ใบที่วัดได้จากเครื่องวัดพื้นที่ใบ (รุ่น Li-3100, LI-COR, Inc. USA) และสร้างสมการเชิงเส้น (regression) สำหรับประเมินพื้นที่ใบอื่นๆ และค่าความเขียวใบ (SPAD Unit) วัดด้วยเครื่องมือ Chlorophyll meters (รุ่น SPAD 502, Konica Minolta, Inc. USA) บันทึกการเจริญเติบโตของราก ได้แก่ ความยาวรากทั้งหมด (Total root length: cm) และขนาดรากในพื้นที่ที่กำหนด (Projected area: cm^2) โดยใช้กล้องถ่ายรูปถ่ายภาพรากด้านหน้าตัดใสของไรโซตรอน และบันทึกข้อมูลทุก 7 วัน เมื่อเก็บเกี่ยว บันทึกน้ำหนักสดของราก ลำต้น และใบ ต่อต้นหลังการเก็บเกี่ยว บันทึกน้ำหนักแห้งของราก ลำต้น และใบต่อต้นหลังอบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักฝักปอกเปลือกและน้ำหนัก 100 เมล็ด ที่ความชื้นร้อยละ 14 โดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์การเจริญเติบโตของราก ด้วยโปรแกรม Winrhizo 2013 (Regent Instruments Canada, Inc.) วิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้น ราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิต โดยใช้โปรแกรม R (R-language and environment for statistical computing and graphics) (R Core Team, 2013) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวโพด

ข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้น ได้แก่ ความสูงต้น เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ค่าความเขียวใบ (leaf greenness : SPAD Unit) และพื้นที่ใบ จากการวัดความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในแต่ละสิ่งทดลองพบว่า ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มมากขึ้น ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไม่มีความแตกต่างกันที่อายุ 14, 63, 70, 77, 84, 91 และ 98 วันหลังปลูก แต่พบความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 21, 35, 42 และ 56 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ มีความสูงมากกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตรา 0 กก./ไร่ ทุกช่วงอายุ และพบความสูงต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 49 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตรา 0 กก./ไร่ มีความสูงน้อยที่สุดเท่ากับ 145.2 ซม. และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ มีความสูงเท่ากับ 168.0, 151.9 และ 168.7 ซม. ตามลำดับ (Figure 3 (A)) ความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ไม่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 ที่มีค่าน้อยกว่าข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยรองพื้น 16-20-0 เนื่องจากอิทธิพลของปุ๋ยรองพื้นส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวโพด (บูรณา และคณะ, 2558) นอกจากนั้น ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ พรนภา และคณะ (2561) ได้ศึกษาการประเมินอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินตาคลี ว่าความสูงของต้นที่อายุ 50 และ 80 วันหลังปลูก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในดินมีปริมาณสูงกว่าค่าวิกฤตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จึงมีผลทำให้ความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากการวัดตั้งแต่อายุ 14 วันหลังปลูก พบว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 77 วันหลังปลูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่พบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีความแตกต่างกันที่อายุ 14, 21, 28, 35, 42, 56, 63, 70, 84, 91 และ 98 วันหลังปลูก และพบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ที่อายุ 49 วันหลังปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตรา 0 กก./ไร่ มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 2.8 ซม. ส่วนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเท่ากับ 3.0, 3.6 และ 3.3 ซม. ตามลำดับ (Figure 3 (B))

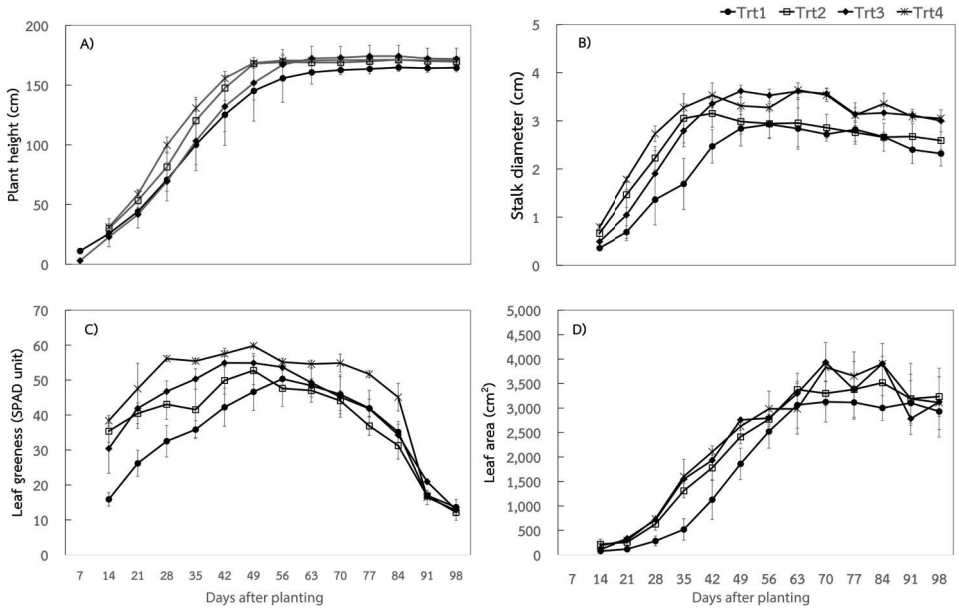

Figure 3 Plant height (cm) (A), Stalk diameter (cm) (B), Leaf greenness (SPAD Unit) (C) and Leaf area (cm^2) (D) of corn as affected by chemical fertilizer rates for the whole growth period. Bars indicated standard errors (n=5).

Figure 3 (C) แสดงค่าความเขียวใบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละสิ่งทดลอง พบว่าค่าความเขียวใบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละสิ่งทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่อายุ 14-49 วันหลังปลูก จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงหลังข้าวโพดอายุ 56 วันหลังปลูก เมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีอายุ 14-49 วันค่าความเขียวใบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 ในอัตราที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) โดยที่ 14 วันหลังปลูกข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ มีค่าความเขียวใบน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 15.9 SPAD unit ส่วนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ มีค่าความเขียวใบ เท่ากับ 35.4, 30.4 และ 38.4 SPAD Unit ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ ชูเกียรติ และคณะ (2560) ที่ได้ศึกษาค่าความเขียวของใบข้าวโพด (SPAD reading) โดยการเปรียบเทียบกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 รองพื้นเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 รองพื้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 โดยแบ่งใส่ 1, 2 และ 3 ครั้ง เมื่อข้าวโพดอายุ 15, 30, 45 และ 60 วัน พบว่ากรรมวิธีที่ ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ความเขียวของใบในทั้ง 3 กรรมวิธี มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม และ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 รองพื้นเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ขนาดของพื้นที่ใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละสิ่งทดลองแสดงใน Figure 3 (D) จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ใบมีขนาดเพิ่มขึ้นตามอายุตั้งแต่อายุ 14-84 วันหลังปลูก จากนั้นพื้นที่ใบค่อยๆ ลดลง ตั้งแต่อายุ 91 วันหลังปลูก พบขนาดพื้นที่ใบมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) เมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 14, 42 และ 49 วันหลังปลูก โดยเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีอายุ 49 วันหลังปลูก ขนาดพื้นที่ใบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 0, 25, 50 และ 75 กก./ไร่ มีค่าเท่ากับ 1,859, 2,411, 2,756 และ 2,626 ซม.^{2} ตามลำดับ ขนาดพื้นที่ใบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความสัมพันธ์กับพื้นที่รับแสง หากพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น พื้นที่ในการรับแสงของใบจะมีมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสง การสะสมน้ำหนักแห้ง และการสร้างชีวมวล เพิ่มมากขึ้น (ธนวัฒน์ และคณะ, 2559; Williams, 2012) เมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุประมาณ 70 วันหลังปลูกการพัฒนาทางลำต้นและใบจะสิ้นสุด และเข้าสู่ระยะการ

เจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ (Reproductive stage) ซึ่งเป็นระยะที่ค่าความเขียวของและขนาดใบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะลดลง (Gong et al., 2015)

2. การเจริญเติบโตของรากข้าวโพด

ภาพถ่ายหน้าตัดรากของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตราที่ต่างกันเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 70 วันหลังปลูก แสดงใน (Figure 4) จากภาพจะพบว่าความยาวรากทั้งหมดและ Projected area ของรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ มีค่าน้อยที่สุด ส่วนรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 75 กก./ไร่ มีค่าสูงที่สุด ซึ่งภาพที่ได้นำไปประเมินความยาวราก และ root projected area ด้วยโปรแกรม WinRhizo 2013 และวิเคราะห์ทางสถิติ ความยาวรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละสิ่งทดลองแสดงใน (Table 1) จากตารางพบว่ารากของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละสิ่งทดลองมีความยาวเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 28 วันหลังปลูก จนกระทั่งความยาวรากมีค่าสูงสุดเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 70 วันหลังปลูก จากนั้นความยาวรากจะมีค่าลดลง นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 70 วันหลังปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้น 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ มีความยาวรากน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการได้รับปุ๋ยรองพื้นอัตราอื่น โดยมีค่าความยาวรากเท่ากับ 4,744 ซม. ส่วนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ มีความยาวรากเท่ากับ 7,433, 5,291 และ 7,936 ซม. ตามลำดับ Table 2 แสดง projected area ของรากข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ในอัตราที่แตกต่างกัน พบ projected area ในแต่ละสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ตั้งแต่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 28-63 วันหลังปลูก และ 77-98 วันหลังปลูก เมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 77 วันหลังปลูก พบว่า Projected area มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.05$) โดยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ มีค่า projected area น้อยที่สุดเท่ากับ 602 ซม.^{2} และข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 75 กก./ไร่ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 867 ซม.^{2} จากผลที่ได้จะพบว่าทั้งความยาวรากและ Projected area ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ไม่ได้รับปุ๋ยรองพื้นจะมีค่าที่น้อยกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้น เนื่องจากการเจริญเติบโตของรากพืชที่ได้รับธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอตั้งแต่ระยะแรก การเจริญเติบโตในระยะแรกจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยส่วนเหนือดินจะเจริญเติบโตได้เร็วกว่าส่วนราก (Novoa and Loomis, 1981) นอกจากนั้นความยาวรากจะลดลงเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ หรือประมาณ 70 วันหลังปลูก ซึ่งระยะนี้การเจริญเติบโตทางลำต้นจะลดลง และส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากลดลง เช่นกัน (Ogawa et al., 2005; Peng et al., 2012)

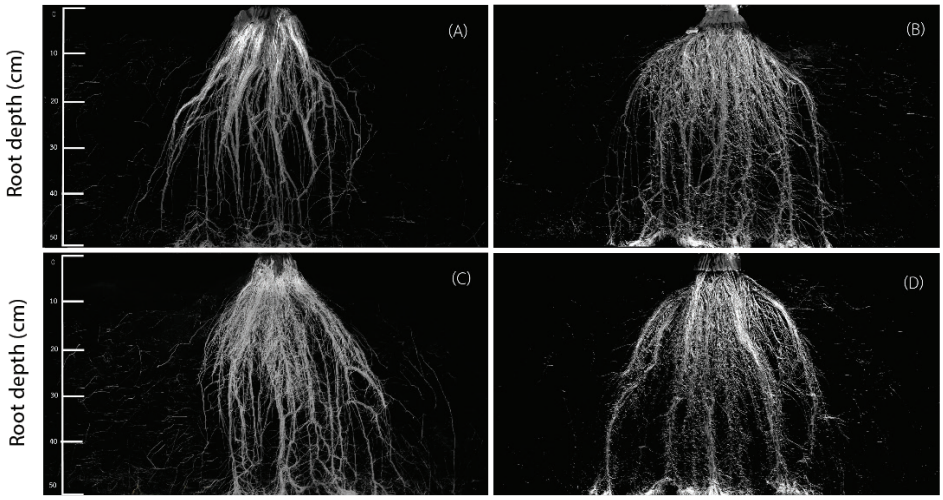

Figure 4 The characteristic of corn root growth in Rhizotron at 70 days after planting under different rate of 16-20-0 chemical fertilizer. (A) 0, (B) 25, (C) 50 and (D) 75 kg/rai.

Table 1 Effects of different rate of 16-20-0 chemical fertilizer on Total root length (cm) of corn root in Rhizotron.

Treatment	Days after planting										
	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
0 kg/rai	426^{c}	600b	1,027^{b}	1,963^{b}	3,439^{b}	3,887^{b}	4,744^{c}	3,690^{c}	3,894^{b}	3,842^{b}	3,456^{b}
25 kg/rai	804^{b}	1,756^{a}	2,644^{ab}	3,907^{a}	5,613^{a}	7,632^{a}	7,433^{ab}	5,380^{b}	4,928^{ab}	6,853^{a}	4,682^{a}
50 kg/rai	528^{c}	1,216^{ab}	1,898^{b}	4,098^{a}	5,982^{a}	6,847^{a}	5,291^{bc}	4,878^{b}	5,775^{a}	5,369^{ab}	4,087^{ab}
75 kg/rai	1,008^{a}	2,158^{a}	4,013^{a}	3,781^{a}	5,820^{a}	6,214^{a}	7,936^{a}	6,756^{a}	6,093^{a}	7,333^{a}	5,197^{a}
Mean	691.4	1,432.5	2,395.6	3,437.4	5,213.4	6,144.9	6,351.0	5,175.9	5,172.5	5,89.2	4,355.5
F-test	**	*	**	*	**	**	**	**	**	**	*
C.V. (%)	10.38	39.13	29.92	18.48	10.79	8.72	13.90	8.02	9.57	15.28	14.23

Note: * = Significantly different at $p<0.05$

** = Significantly different at $p<0.01$

Means with the same letters in each column indicate no significant difference between treatments at the 5% level of significance according to LSD.

Table 2 Effects of different rate of 16-20-0 chemical fertilizer on Projected area (cm^2) of corn root in Rhizotron.

Treatment	Days After Planting										
	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
0 kg/rai	44^{b}	79^{c}	126^{b}	235^{b}	345^{b}	474^{b}	577	602^{b}	595^{c}	498^{c}	495^{b}
25 kg/rai	88^{b}	204^{b}	306^{ab}	560^{ab}	743^{a}	934^{a}	681	986^{a}	966^{a}	880^{ab}	797^{a}
50 kg/rai	56^{c}	160^{b}	296^{ab}	488^{ab}	672^{a}	728^{ab}	707	747^{ab}	734^{bc}	758^{bc}	673^{ab}
75 kg/rai	166^{a}	331^{a}	591^{a}	755^{a}	789^{a}	1,016^{a}	695	867^{ab}	801^{ab}	1,077^{a}	902^{a}
Mean	88.4	193.5	329.6	212.2	636.8	787.9	665.0	800.3	774.2	803.1	716.6
F-test	**	**	**	**	**	*	ns	**	*	*	**
C.V. (%)	5.06	10.58	35.89	24.38	8.72	20.80	10.60	12.40	12.74	19.47	14.68

Note: * = Significantly different at $p<0.05$

** = Significantly different at $p<0.01$

Means with the same letters in each column indicate no significant difference between treatments at the 5% level of significance according to LSD.

3. องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าวโพด

ข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เก็บในการศึกษานี้ ประกอบด้วย น้ำหนักแห้งของ รากข้าวโพด ลำต้นข้าวโพด ใบข้าวโพด น้ำหนักฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด แสดงใน Table 3 ผลการศึกษา พบว่า น้ำหนักใบและน้ำหนัก 100 เมล็ด ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนน้ำหนักราก น้ำหนักลำต้น และน้ำหนักฝักปอกเปลือกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) และยังพบว่าน้ำหนักรากและน้ำหนักลำต้น มีค่าน้อยที่สุดเมื่อได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ ซึ่งเท่ากับ 42.8 และ 44.9 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักราก และน้ำหนักลำต้น ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 75 กก./ไร่ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 73 และ 91 กรัม/ต้น

ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างสิ่งทดลองที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0 และอัตราอื่นๆ ยกเว้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กก./ไร่ โดยน้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0 และ 50 กก./ไร่ มีค่าเท่ากับ 93.3 และ 80 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักฝักของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 25 และ 75 กก./ไร่ มีค่าเท่ากับ 138.3 และ 141.5 กรัม/ต้น ตามลำดับ ผลผลิตต่อต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0 กก./ไร่ มีค่าแตกต่างกันกับการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ โดยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 0, 25, 50 และ 75 กก./ไร่ มีผลผลิตต่อต้นเท่ากับ 78.9, 126.7, 122.2 และ 121.8 กรัม/ต้น ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าผลผลิตต่อต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้ใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 ในอัตรา 25, 50 และ 75 กก./ไร่ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ผลที่ได้สอดคล้องกับการรายงานของชูเกียรติ และคณะ (2560) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีที่ศึกษาจะให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยและพบว่าธาตุไนโตรเจนเป็นตัวกำหนดผลผลิต ถ้าหากพืชได้รับธาตุไนโตรเจนอย่างเพียงพอก็จะสร้างเมล็ดได้มากและมีคุณภาพดี การที่พืชสร้างผลผลิตได้มากขึ้นเนื่องจากเมื่อพืชได้รับปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอกับความต้องการในแต่ระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะเริ่มงอกจนถึงระยะปลายของการสะสมแป้งในเมล็ด ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่เหมาะสมในแต่ละระยะนั้นมีผลให้การเจริญของใบ ดรรชนีพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ใบหรือความเขียวของใบ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงสุทธิเพื่อสร้างผลผลิตได้มากขึ้นด้วย (Piekielek, 1997; Arunah et al., 2014)

Table 3 Dry weight of root, stem, leaf, husked ear, 100 seeds and yield under different rate of 16-20-0 chemical fertilizer of corn grown in Rhizotron.

Treatment	Dry weight					Yield (g/plant)
	Root (g/plant)	Stem (g/plant)	Leaf (g/plant)	Husked ear (g/plant)	100 seeds (g/plant)	
0 kg/rai	42.8[b]	44.9b	24.2[b]	93.3[b]	30.2	78.9[b]
25 kg/rai	66.7[a]	65.0[ab]	41.5[a]	138.3[a]	32.0	126.7[a]
50 kg/rai	61.4[a]	68.4[ab]	40.5[a]	80.0[b]	32.2	122.2[a]
75 kg/rai	75.0[a]	91.0[a]	42.1[a]	141.5[a]	32.0	121.8[a]
Mean	61.5	67.3	37.1	113.3	31.6	112.4
LSD	**	*	ns	*	ns	**
C.V. (%)	11.01	21.15	19.18	9.04	11.70	5.38

Note: ns = No significantly different
* = Significantly different at $p<0.05$
** = Significantly different at $p<0.01$
Means with the same letters in each column indicate no significant difference between treatments at the 5% level of significance according to LSD.

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในไรโซตรอนที่ได้รับอิทธิพลของอัตราปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 ในอัตราที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้เทคนิคไรโซตรอนสามารถทำให้เห็นการเจริญเติบโตรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ดี และไม่ทำให้ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียหาย และการเจริญเติบโตของความยาวรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในไรโซตรอนเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีอายุเพิ่มมากขึ้น และมีค่าสูงที่สุดเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีอายุ 70 วันหลังปลูก โดยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 75 กก./ไร่ มีความยาวรากและ projected area สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราอื่น และการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 ทำให้รากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เจริญเติบโตได้มากกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ไม่ได้รับปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนทำวิจัย ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์เอ็จ สโรบล ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิจัย ขอขอบคุณศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการระหว่างไทย-ฝรั่งเศส (DORAS center) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรม Win-Rhizo 2013 และขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยพืชไร่นา ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน ที่ให้ทุนอุดหนุนทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2563. การจัดการดินและปุ๋ยในนานข้าว (ระบบออนไลน์) แหล่งข้อมูล: www.ricethailand.go.th/ rkb3/title-index.php-file=content.php&id=0731.htm. (1 ตุลาคม 2563).

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. การเพิ่มผลผลิตพืชที่ปลูกในดินที่มีชั้นดาน. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 2 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2562. การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาในเขตพื้นที่ภาคกลาง (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: www.doa.go.th/share/showthread.php?tid=2431&pid=2451. (1 ตุลาคม 2563).

ชูเกียรติ พระดาเวช ณัฐพล คงดี และวันวิสาข์ ปั้นศักดิ์. 2560. ผลของระยะเวลาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด. น. 110-118. ใน: การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5., กรุงเทพฯ.

ธนวัฒน์ เสนเผือก สกุลกานต์ สิมลา และพรชัย หาระโคตร. 2559. อิทธิพลของความหนาแน่นประชากรต่อผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (35): 123-132.

บูรณา วาษาราม, อรุณศิริ กำลัง, จันทร์จรัส วีรสาร และรจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. 2558. ผลของการจัดการดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 (2): 14-28.

พรนภา ขาวมาก สุชัญญา เจริญเส็ง สุภาพร สุภีโส และอรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. 2561. การประเมินอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินตาคลี. วารสารดินและปุ๋ย. 40, (2): 39-48.

สมชาย บุญประดับ. 2554. การปลูกพืชไร่หลังนา, น. 79-87. ใน ประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2554. กรุงเทพฯ.

Arunah, U.L., E. B. Amans, M. Mahmud, A. Ahmed, G. L. Luka, A. S. Isah, B. A. Babaji and E.C. Odion. 2014. Yield and

yield components of maize as influenced by row arrangement, nitrogen and phosphorus levels in maize (*Zea mays* L)/ castor (*Ricinus communis*) mixture. Agriculture and Veterinary Science 7: 45-49.

Caldwell, M.M. and R.A. Virginia. 1989. Field method and instrumentation. PP. 367-398. *In* J. Ehleringer, H.A. Mooney, R.W. Pearcy and P. Rundel (eds.). Plant Physiology Ecology. Chapman and Hall Publ., London.

Chen, J., L. Kiu, Z. Wang, Y. Zhang, H. Sun, S. Song, Z. Bai, Z. Lu, and C. Li. 2020. Nitrogen fertilization increases root growth and coordinates the root-shoot relationship in cotton. Frontiers in Plant Science 11:880. doi: 10.3389/ fpls.2020.00880.

Costa, C., L.M. Dwyer, R.I. Hamilton, C. Hamel, L. Nantais and D.L. Smith. 2000. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis. Agronomy Journal 92: 621–627.

Kukal, S.S. and G.C. Aggardwal. 2003. Puddling depth and intensity effects in rice-wheat system on sandy loam soil: I. Development of subsurface compaction. Soil and Tillage Research 71(1): 1-8.

Novoa, R. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. Plant and Soil 58: 177-204.

Pearce, R.B., J.J. Mock and T.B. Bailey. 1975. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. Crop Science 15: 691-694.

Piekielek, W. 1997. The early season chlorophyll meter test corn. (Online). https://www. specmeters.com/assets/1/7/SPAD_on_ corn.pdf. (1 October, 2020).

Prudente, J.A., G. C. Sigua, M. Kongchum and A.D. Prudente. 2008. Improving yield and nutrient uptake potentials of Japonica and Indica rice varieties with nitrogen fertilization. World Journal of Agriculture Sciences. 4: 427-434.

R Core Team. 2013. R: A Language and environment for statistical computing, R foundation for statistical computing, Veinna, Australia. (Online) https:// www.r-project.org/. (10 Mar,2019).

Suwanmontri, P., A. Kamoshita and S. Fukai. 2020. Recent changes in rice production in rainfed lowland and irrigated ecosystems in Thailand. (Online). https://www.tandfonline.com/ doi/ full/ 10.1080/1343943X.2020.1787182. (1 October, 2020).

Vial, L.K., R.D.B. Lefroy and S. Fukai. 2013. Effects of hardpan disruption on irrigated dry-season maize and on subsequent wet season lowland rice in Lao PDR. Field Crops Research 152: 65-73.

Williams, M.M. 2012. Agronomics and economics of plant population density on processing sweet corn. Field Crops Research 128: 55-61.