ผลและวิจารณ์

ผลของฝนจำลองที่เกิดจากอนุมูลซัลเฟตต่อดินและกระเจี๊ยบเขียว

ผลวิเคราะห์ทางสถิติถึงอิทธิพลของฝนจำลองที่เกิดจากอนุมูลซัลเฟตความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสมบัติต่าง ๆ ของดิน รวมทั้งปริมาณทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเหล่านั้นไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างความลึก 0-10 และ 10-20 เซนติเมตร จึงได้รวมข้อมูลทั้ง 2 ความลึกไว้ด้วยกัน และเมื่อนำมาวิเคราะห์ที่เวลาต่าง ๆ กันหลังจากเริ่มทดลอง (ตารางผนวกที่ 4-19) ชี้ชัดว่าอิทธิพลของฝนจำลองดังกล่าวมีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อชุดดิน เพราะปฏิกิริยาสัมพันธ์ของสิ่งทดลองที่วิเคราะห์มีค่า P-value ต่ำกว่า 0.001 ทั้งสิ้น เมื่อเป็นเช่นนี้จึงต้องแยกอธิบายถึงอิทธิพลของฝนจำลองที่เกิดจากอนุมูลซัลเฟตแยกเป็นชุดดิน ๆ ไป ผลการทดลองและวิจารณ์ผลแสดงได้ดังต่อไปนี้

ชุดดินอยุธยา

สมบัติดินเริ่มต้นก่อนการทดลอง

ค่าวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นพบว่า มีค่า pH เท่ากับ 7.02 ค่า EC เท่ากับ 0.45 dS m^{-1} ปริมาณ P_2O_5 เท่ากับ 32.56 mg kg^{-1} ปริมาณ K_2O เท่ากับ 0.59 mg kg^{-1} ปริมาณ Total N, Total P และ Total K เท่ากับ 0.959, 1.670 และ 1.950 % ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ชี้ว่าชุดดินอยุธยาที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเป็นกลาง ไม่ได้รับอิทธิพลของความเค็มดิน มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง และความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมต่ำมาก (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2546)

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดินช่วงทดลองที่เกิดจากฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต

ผลพบว่าค่าความเป็นกรดด่างดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 6.57-6.69, 6.72-6.63, 6.15-6.24 และ 6.54-6.21 สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 6, ตารางผนวกที่ 20-21) แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างของสิ่งทดลองเหล่านี้อยู่ในช่วงแคบ ๆ ซึ่งคิดเป็นปริมาณ H^+ ไม่มากพอที่จะมีผลต่อกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในดิน จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดด่างดินที่เกิดจากอิทธิพลของความเข้มข้นของอนุมูลซัลเฟตและเวลามีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดด่างดังกล่าว

สำหรับทุกสิ่งทดลองไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักในระยะเวลาสั้น กล่าวคือ สำหรับธาตุไนโตรเจน ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงนี้ (5.87-6.79) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปอินทรียวัตถุเป็น NH_4^+ (ammonification) แล้วเปลี่ยนเป็นอนุมูล NO_3^- (nitrification) และเปลี่ยนเป็น N_2 สูญหายไปจากดิน (denitrification) (ยงยุทธ และคณะ, 2541) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการชีวเคมีที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และค่าความเป็นกรดด่างดินในช่วงดังกล่าวไม่ได้ทำให้กิจกรรมและกลุ่มของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (มุกดา, 2544) ประกอบกับการที่ความเป็นกรดด่างดินในช่วงนี้ยังไม่ต่ำพอที่จะส่งผลต่อกระบวนการ nitrification ซึ่งหากความเป็นกรดด่างดินต่ำกว่า 5.5 กระบวนการนี้จะเกิดได้ช้า (Bohn et al., 2001) ส่งผลให้ค่า ${}_NK_d$ ไม่ค่อยแตกต่างกันนัก (ภาพที่ 7, ตารางผนวกที่ 20-21) โดยจะพบว่าช่วงแรกของการทดลองมีค่า NH_4^+ และ NO_3^- สูงเนื่องจากผลของปุ๋ยที่ใส่ก่อนหน้าทำการทดลอง 2 สัปดาห์ จากนั้นธาตุอาหารในดินจะค่อยๆ ลดปริมาณลง เพราะเกิดการสูญเสียไปพร้อมกับน้ำชะและถูกพืชดูดไปใช้ โดยไนโตรเจนในดินของสัปดาห์ก่อนหน้าที่จะทำการเก็บฝักจะส่งผลต่อการสะสมธาตุไนโตรเจนภาย ในพืช ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับค่า $N_{T,pt}$ ในฝักรุ่นถัดไปซึ่งได้รับผลจากธาตุอาหารในดินก่อนหน้า 1 สัปดาห์ ส่วนเหตุที่ค่า $N_{T,pt}$ ช่วงหลังกลับสูงขึ้น (ภาพที่ 7, ตารางผนวกที่ 22-23) น่าจะเป็นเพราะการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากส่วนที่กำลังจะเสื่อมสภาพคือ ใบ ไปยังฝัก (remobilization) (ยงยุทธ, 2546)

ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก เพราะในช่วงดังกล่าวฟอสฟอรัสจะถูกละลายออกมาในรูปอนุมูลของโมโนเบสิกออโธฟอสเฟต (monobasic orthophosphate; $H_2PO_4^-$) และไดเบสิกออโธฟอสเฟต (dibasic orthophosphate; HPO_4^{2-}) หรือถูกตรึงด้วยไฮดรัสออกไซด์ของเหล็ก อลูมินัมและแมงกานีส หรือถูกตรึงโดยขอบผลึกของซิลิกา (ยงยุทธ และคณะ, 2541; Bohn et al., 2001) การเปลี่ยนแปลงรูปที่เป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจึงเป็นไปตามหลักการรักษาสมดุลของธาตุอาหารภายในดิน ซึ่งขึ้นกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีที่บริเวณราก (Harrison, 1982) และขึ้นกับปริมาณฟอสฟอรัสในต้นพืชที่ลดต่ำลง พืชจึงเร่งดูดฟอสฟอรัสมากขึ้น มีผลในการเร่งให้เกิดกิจกรรมแปรรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากดิน (Barber, 1980) ดังสังเกตได้จากค่า P_2O_5 และค่า ${}_PK_d$ ที่มีการปรับค่าขึ้นลงตลอดช่วงการทดลอง (ภาพที่ 8, ตารางผนวกที่ 20-21) ส่วนการดูดกินฟอสฟอรัสของฝักกระเจี๊ยบเขียวสอดคล้องกับค่า ${}_PK_d$ คือถ้าสัปดาห์ก่อนหน้ามีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่สูง ฝักกระเจี๊ยบเขียวก็จะมีการสะสมฟอสฟอรัสในฝักสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า $P_{T,pt}$ สูง (ภาพที่ 8, ตารางผนวกที่ 22-23) ซึ่งโดยทั่วไปฟอสฟอรัสมีความสำคัญกับการติดดอกออกผลของพืช (ยงยุทธ, 2546)

ส่วนโพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก โดยทั่วไปความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมอยู่ในช่วงความเป็นกรดด่างของดินค่อนข้างกว้าง ความเป็นประโยชน์จะลดต่ำลงเมื่อดินมีค่าความเป็นกรดด่างของดินต่ำกว่า 5.5 (ยงยุทธ และคณะ, 2541) เนื่องจาก H^+ สามารถไล่ที่ K^+ ให้หลุดออกมาและถูกชะล้างได้ (มุกดา, 2544) ส่วนการดูดกินโพแทสเซียมของฝักกระเจี๊ยบเขียวจะเห็นว่ามีการดูดกินค่อนข้างมาก (ภาพที่ 9, ตารางผนวกที่ 22-23) ซึ่งโดยปกติแล้วพืชมักดูดกินโพแทสเซียมเข้าไปในปริมาณมากกว่าธาตุอื่น (ยงยุทธ, 2546)

<u>การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของดินช่วงทดลองที่เกิดจากอิทธิพลของฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต</u>

ผลพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 0.43-0.39, 0.49-0.42, 0.44-0.55 และ 0.51-0.60 dS m^{-1} สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 6, ตารางผนวกที่ 20-21) แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าของสิ่งทดลองเหล่านี้มีค่าต่ำ (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546) จึงไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

<u>ผลผลิตฝักกระเจี๊ยบเขียว</u>

พบว่าตำรับทดลอง pH 3.0 มีผลผลิตฝักแห้งสูงกว่าตำรับทดลองอื่น รวมถึงตำรับทดลองฝนควบคุมด้วย (ตารางที่ 2-3) ซึ่งอาจเกิดจากต้นกระเจี๊ยบเขียวในตำรับทดลองฝนควบคุมได้รับละอองฝนกรดจำลองจากตำรับทดลองข้างเคียงคือฝน pH 5.0 ส่งผลให้ใบเหลืองและร่วงเช่นเดียวกับตำรับทดลองอื่นๆ นอกจากนี้ผลผลิตแห้งฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ได้จากตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 เมื่อคิดเป็นผลผลิตต่อ 1 ฤดูปลูกแล้วได้ค่าเฉลี่ยผลผลิตฝักแห้งประมาณ 10.63, 10.42, 10.05 และ 12.54 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อฤดูปลูกตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าที่เกษตรกรปลูกได้จริงถึง 27-45 เท่า (ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร, 2549) จึงคาดว่าเป็นเพราะอิทธิพลของฝนจำลองที่ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกระเจี๊ยบเขียวผิดปกติไป เห็นได้จากการที่ต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนจำลอง pH 3.0 มีลำต้นอวบอ้วนใหญ่กว่าปกติ ต้นเตี้ย แตกใบเป็นกระจุก ใบเล็กและเหลือง ส่วนดินที่ใช้ปลูกเป็นดินเหนียวจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียวเป็นผลให้ผลผลิตต่ำ

ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของกระเจี๊ยบเขียว

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนการนำธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไปใช้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่าในส่วนของลำต้นและตำรับทดลองฝน pH 3.0 มีค่าสูงที่สุด (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่ได้ นอกจากนี้การสะสมธาตุหลักในส่วนต่าง ๆ ของพืช (ตารางที่ 4, ตารางผนวกที่ 3) ยังมีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าค่าปกติของพืชในตระกูล Malvaceae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกันกับกระเจี๊ยบเขียวอีกด้วย (Mill and Jones, 1996) จึงทำให้ผลผลิตจากการทดลองนี้ต่ำ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกระเจี๊ยบเขียว

ใบ

พบว่าต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนควบคุมบางส่วนมีอาการผิดปกติ (ภาพผนวกที่ 3(a)) เนื่องจากได้รับละอองฝนจำลอง pH 5.0 ซึ่งอยู่ข้างเคียง จึงพบอาการใบเหลืองจากขอบใบเข้ามาในใบ ส่วนกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนจำลอง pH 5.0 4.0 และ 3.0 จะพบการร่วงของใบล่างซึ่งมีขนาดเล็ก ใบเหลืองซีด แต่ไม่มีอาการใบไหม้ และมักร่วงก่อนใบบนซึ่งสัมผัสกับน้ำฝนอย่างเต็มที่ จึงคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการขาดธาตุไนโตรเจนที่ทำให้ใบล่างร่วง (ยงยุทธ, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในใบที่ต่ำกว่าค่าปกติของพืชในตระกูลเดียวกัน ใบที่อยู่ส่วนกลางของลำต้นและสัมผัสกับน้ำฝนเต็มที่จะพบอาการใบเหลืองจากขอบใบลุกลามเข้ามาภายในใบ ขอบใบไหม้ และมีบางใบที่หลุดร่วงเมื่อได้รับการสัมผัสเบา ๆ โดยใบที่ได้รับฝนเต็มที่จะเริ่มแสดงอาการก่อน จึงคาดว่าฝนจำลองทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อพืช และน่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยฝน pH 3.0 จะแสดงความเสียหายของต้นมากที่สุด ส่วนฝน pH 5.0 และ 4.0 โดยภาพรวมแล้วไม่ค่อยแตกต่างกัน (ภาพผนวกที่ 3(b)-(d))

ฝัก

พบว่าฝนควบคุมไม่ทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะผิดปกติ (ภาพผนวกที่ 5(a)) แต่จะพบอาการดังกล่าวในตำรับทดลองฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 คือ ฝักมีผิวขรุขระ เป็นตุ่มนูนขึ้นมา สีเขียวซีด ด่าง และพบมากที่สุดในฝน pH 3.0 รองลงมาคือ ฝน pH 4.0 และ 5.0 ตามลำดับ (ภาพผนวกที่ 5(b))

ดอก

พบอาการแห้งและหลุดร่วงของดอกที่พัฒนาตัวได้ประมาณ 1 สัปดาห์ (ความยาวของดอกประมาณ 0.7-0.8 mm) ในทุกตำรับทดลอง (ภาพผนวกที่ 6(b)) โดยมีความรุนแรงที่สุดในฝน pH 3.0 และ 4.0 ส่วนฝนควบคุมและฝน pH 5.0 พบการร่วงของดอกเล็กน้อย ส่วนดอกที่สามารถพัฒนาตัวจนเจริญเติบโตได้เต็มที่ของทุกตำรับทดลองมีสภาพของดอกและการบานของดอกปกติ (ภาพผนวกที่ 6(a))

<u>องค์ประกอบพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในรอบวัน</u>

เนื่องจากทำการวัดค่าพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในช่วงระหว่างการเก็บฝักรุ่นที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นตัวแทนของระยะ reproductive ก่อนหน้านั้นต้นกระเจี๊ยบเขียวได้รับฝนจำลองเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว จึงอาจมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดทำให้ได้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานศักย์น้ำรวมของใบ พลังงานศักย์สารละลาย และพลังงานศักย์ความดันภายในใบกระเจี๊ยบเขียวเป็นดังต่อไปนี้

พลังงานศักย์น้ำรวมของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_t)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_t คล้ายกัน (ภาพที่ 10) คือ ψ_t มีค่าสูงที่สุดที่เวลา 14:00 น. ซึ่งโดยปกติแล้วควรมีค่าต่ำที่สุดที่ช่วงเวลาดังกล่าว เพราะเป็นช่วงที่อากาศแห้งที่สุด แต่ในช่วง 10:00-14:00 น. เป็นช่วงเวลาให้ฝนจำลอง จึงทำให้ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น แม้ในช่วงนี้พืชมีความต้องการน้ำมากกว่าช่วงเวลาอื่น แต่ค่า ψ_t จะเพิ่มขึ้นไม่สูงนัก และจากนั้น ψ_t มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากความชื้นในดินลดลง และพบว่า ψ_t กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์คล้ายกันคือเป็นโพลิโนเมียล (ภาพที่ 11) นั่นคือเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้ค่า ψ_t กลับลดลงไปอีกครั้ง เป็นเช่นนี้ตลอดช่วงของ VPD เพราะเมื่อค่า VPD สูงนั้น เป็นเวลาหลังการให้น้ำในการทดลองนี้พอดี ดินจึงมีความชื้นสูง พืชไม่จำเป็นต้องลด ψ_t มากนัก

พลังงานศักย์สารละลายในเซลล์ใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_π)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π คล้ายกัน (ภาพที่ 10) ค่า ψ_π เพิ่มขึ้นในช่วง 10:00-14:00 น. ดังที่กล่าวไว้แล้วเป็นช่วงหลังจากให้ฝนจำลอง ประกอบค่า VPD ในขณะนั้นมีค่าสูง ส่งเสริมให้ใบมีการคายน้ำเพิ่มขึ้น เกิดแรงดึงน้ำของใบที่สูงตามมา ส่งผลให้สารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงสูงขึ้น พลังงานศักย์สารละลายในใบพืชจึงมีค่าลดลง (สุนทรี,

2535) และพบว่า ψ_π กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 11) ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์นี้น่าจะเป็นด้วยเหตุผลเดียวกันกับค่า ψ_t ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการที่กระเจี๊ยบเขียวต้องการรักษาแรงดันน้ำในเซลล์ใบ หรือแรงเต่งของเซลล์ใบให้คงที่อยู่เสมอสำหรับการดำเนินกิจกรรมของเซลล์ใบ (สุนทรี, 2535)

พลังงานศักย์ความดันของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_p)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_p คล้ายกัน (ภาพที่ 10) โดยค่า ψ_p ของใบกระเจี๊ยบเขียวค่อนข้างคงที่ แม้ว่าหลังจากเวลา 11:00 น. จะหยุดให้ฝนจำลองแล้ว แต่เซลล์ของใบพืชยังคงรักษาสภาพแต่งของเซลล์ไว้ได้ และพบว่า ψ_p กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 11) โดยพบว่าเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้น ψ_p จะปรับค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลดังกล่าว (ψ_t และ ψ_π) บ่งถึงความไม่แน่นอนในความต้องการที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π เพื่อให้ ψ_p มีค่าคงที่ได้ แต่จะเพิ่มในอัตราสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับสภาพความเต่งของเซลล์พืชในขณะนั้น

ชุดดินบางกอก

สมบัติดินเริ่มต้นก่อนการทดลอง

ค่าวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นพบว่า มีค่า pH เท่ากับ 7.57 ค่า EC เท่ากับ 0.14 dS m^{-1} ปริมาณ P_2O_5 เท่ากับ 19.12 mg kg^{-1} ปริมาณ K_2O เท่ากับ 0.41 mg kg^{-1} ปริมาณ Total N, Total P และ Total K เท่ากับ 0.950, 3.010 และ 1.020 % ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ชี้ว่าชุดดินบางกอกที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเป็นด่างเล็กน้อย ไม่ได้รับอิทธิพลของความเค็มดิน มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุไนโตรเจนสูง ส่วนฟอสฟอรัสมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง และความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมต่ำมาก (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดินช่วงทดลองที่เกิดจากฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต

ผลพบว่าค่าความเป็นกรดด่างดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 6.89-7.00, 7.03-7.10, 6.68-6.48 และ 6.65-6.80 สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 12, ตารางผนวกที่ 24-25) แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างของสิ่งทดลองเหล่านี้อยู่ในช่วงแคบ ๆ ซึ่ง

คิดเป็นปริมาณ H^+ ไม่มากพอที่จะมีผลต่อกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในดิน จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดด่างดินที่เกิดจากอิทธิพลของความเข้มข้นของอนุมูลซัลเฟตและเวลามีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดด่างดังกล่าวสำหรับทุกสิ่งทดลองไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักในระยะเวลาอันสั้น กล่าวคือ สำหรับธาตุไนโตรเจน ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงนี้ (6.43-6.92) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปอินทรียวัตถุไปเป็น NH_4^+ และ NO_3^- ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในชุดดินอยุธยา ส่วนค่า ${}_NK_d$ ไม่ค่อยแตกต่างกันนัก (ภาพที่ 13, ตารางผนวกที่ 24-25) โดยจะพบว่าช่วงแรกของการทดลองมีค่าสูงเนื่องจากผลของปุ๋ยที่ใส่ก่อนหน้าทำการทดลอง 2 สัปดาห์ จากนั้นธาตุอาหารในดินจะค่อย ๆ ลดปริมาณลง เพราะเกิดการสูญเสียไปพร้อมกับน้ำชะและถูกพืชดูดไปใช้ โดยไนโตรเจนในดินของสัปดาห์ก่อนหน้าที่จะทำการเก็บฝักจะส่งผลต่อการสะสมธาตุไนโตรเจนภายในพืช ซึ่งสอดคล้องกับค่า $N_{T,pt}$ ในฝักรุ่นถัดไปซึ่งได้รับผลจากธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินก่อนหน้าการเก็บฝักนั้น ๆ 1 สัปดาห์ (ภาพที่ 13, ตารางผนวกที่ 26-27)

ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก (ภาพที่ 14, ตารางผนวกที่ 24-25) เนื่องด้วยเหตุผลเดียวกันกับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในชุดดินอยุธยา การเปลี่ยนแปลงรูปที่เป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจึงเป็นไปตามหลักการรักษาสมดุลของธาตุอาหารภายในดิน สังเกตได้จากค่า P_2O_5 และค่า ${}_PK_d$ ที่มีการปรับค่าขึ้นลงตลอดช่วงการทดลอง (ภาพที่ 14) แต่จะไม่ลดต่ำอย่างชัดเจนเหมือนธาตุไนโตรเจน เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ช้า จึงสูญหายได้ยากกว่า (ยงยุทธ และคณะ, 2541) ส่วนการดูดกินฟอสฟอรัสของฝักกระเจี๊ยบเขียวพบว่ามีการนำไปสะสมในฝักซึ่งผกผันกับค่า ${}_PK_d$ ของสัปดาห์ก่อนหน้า (ภาพที่ 14, ตารางผนวกที่ 26-27) ซึ่งอาจเป็นพฤติกรรมที่เฉพาะเจาะจงของพืชในการใช้ธาตุอาหารในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต ซึ่งแสดงออกไม่เหมือนกันในแต่ละชุดดินที่ใช้ปลูก

ส่วนธาตุโพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก เนื่องด้วยเหตุผลเดียวกับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในชุดดินก่อนหน้า ส่วนการดูดกินโพแทสเซียมของฝักกระเจี๊ยบเขียวจะเห็นว่ามีการดูดกินค่อนข้างมาก (ภาพที่ 15, ตารางผนวกที่ 26-27) ซึ่งปกติแล้วพืชมักดูดกินโพแทสเซียมจากดินเข้าไปในปริมาณมาก ๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของดินช่วงทดลองที่เกิดจากอิทธิพลของฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต

ผลพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 0.81-1.04, 0.61-0.57, 0.78-1.07 และ 1.72-0.67 dS m^{-1} สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 12, ตารางผนวกที่ 24-25) แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าของสิ่งทดลองเหล่านี้มีค่าต่ำ (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546) จึงไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

ผลผลิตฝักกระเจี๊ยบเขียว

พบว่าตำรับทดลอง pH 4.0 มีผลผลิตฝักแห้งสูงกว่าตำรับทดลองอื่น รวมถึงตำรับทดลองฝนควบคุมด้วย (ตารางที่ 2-3) เนื่องจากต้นกระเจี๊ยบเขียวในตำรับทดลองฝนควบคุมอาจได้รับละอองฝนกรดจำลองจากตำรับทดลองข้างเคียงด้วย ส่งผลให้ใบเหลืองและร่วงเช่นเดียวกับตำรับทดลองอื่นๆ นอกจากนี้ผลผลิตแห้งฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ได้จากการทดลองเมื่อคิดเป็นผลผลิตต่อ 1 ฤดูปลูกแล้วพบว่าได้ผลผลิตแห้งเท่ากับ 9.65, 9.31, 11.18 และ 8.81 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อฤดูปลูก สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0, 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าที่เกษตรกรปลูกได้จริงถึง 30-51 เท่า (ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร, 2549) จึงคาดว่าเป็นเพราะอิทธิพลของฝนจำลองที่ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกระเจี๊ยบเขียวผิดปกติไปดังพบได้จากลักษณะของต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนจำลอง pH 3.0 พบว่าต้นมีลักษณะอวบอ้วน ลำต้นใหญ่กว่าปกติ ต้นเตี้ย แตกใบเป็นกระจุกติดๆ กัน ใบเล็กกว่าปกติ นอกจากนี้ดินที่ใช้ปลูกเป็นดินเหนียวจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียวจึงทำให้ผลผลิตต่ำ

ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของกระเจี๊ยบเขียว

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนการนำธาตุอาหารหลักไปใช้ในส่วนต่างๆ พบว่ามีค่าสูงที่สุดในตำรับทดลองฝน pH 4.0 และสะสมมากที่สุดในส่วนของลำต้น (ตารางที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างธาตุอาหารหลักในส่วนต่างๆ ของกระเจี๊ยบเขียวที่ใช้ทดลองกับพืชในตระกูลเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนกระเจี๊ยบเขียวที่ใช้ทดลองมีปริมาณธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าค่าปกติ (ตารางที่ 5, ตารางผนวกที่ 3) จึงเป็นเหตุให้ผลผลิตที่ได้ต่ำนั่นเอง

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกระเจี๊ยบเขียว

ใบ

พบว่าต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนควบคุมบางส่วนมีอาการผิดปกติ (ภาพผนวกที่ 3(a)) เนื่องจากได้รับละอองฝนจำลอง pH 5.0 ซึ่งอยู่ข้างเคียง จึงพบอาการใบเหลืองจากขอบใบเข้ามาในใบ ส่วนกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนจำลอง pH 5.0 4.0 และ 3.0 จะพบการร่วงของใบล่างซึ่งมีขนาดเล็ก ใบเหลืองซีด แต่ไม่มีอาการใบไหม้ และมักร่วงก่อนใบบนซึ่งสัมผัสกับน้ำฝนอย่างเต็มที่ จึงคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการขาดธาตุไนโตรเจนที่ทำให้ใบล่างร่วง (ยงยุทธ, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในใบที่ต่ำกว่าค่าปกติของพืชในตระกูลเดียวกัน ใบที่อยู่ส่วนกลางของลำต้นและสัมผัสกับน้ำฝนเต็มที่จะพบอาการใบเหลืองจากขอบใบลุกลามเข้ามาภายในใบ ขอบใบไหม้ และมีบางใบที่หลุดร่วงเมื่อได้รับการสัมผัสเบา ๆ โดยใบที่ได้รับฝนเต็มที่จะเริ่มแสดงอาการก่อน จึงคาดว่าฝนจำลองทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อพืช และน่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยฝน pH 3.0 จะแสดงความเสียหายของต้นมากที่สุด ส่วนฝน pH 5.0 และ 4.0 โดยภาพรวมแล้วไม่ค่อยแตกต่างกัน (ภาพผนวกที่ 3(b) –(d))

ฝัก

พบว่าฝนควบคุมทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะปกติ (ภาพผนวกที่ 5(a)) ส่วนตำรับทดลองฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 คือ ฝักมีผิวขรุขระ เป็นตุ่มนูนขึ้นมา สีเขียวซีด ด่าง และพบมากที่สุดในฝน pH 3.0 รองลงมาคือ ฝน pH 4.0 และ 5.0 ตามลำดับ (ภาพผนวกที่ 5(b))

ดอก

พบอาการแห้งและหลุดร่วงของดอกที่พัฒนาตัวได้ประมาณ 1 สัปดาห์ (ความยาวของดอกประมาณ 0.7–0.8 mm) ของทุกตำรับทดลอง (ภาพผนวกที่ 6(b)) โดยมีความรุนแรงที่สุดในฝน pH 3.0 และ 4.0 ส่วนฝนควบคุมและฝน pH 5.0 พบการร่วงของดอกเล็กน้อย ส่วนดอกที่สามารถพัฒนาตัวจนเจริญเติบโตได้เต็มที่ของทุกตำรับทดลองมีสภาพของดอกและการบานของดอกปกติ (ภาพผนวกที่ 6(a)) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับชุดดินก่อนหน้า

องค์ประกอบพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในรอบวัน

ดังได้กล่าวไว้แล้วว่าได้ทำการวัดค่าพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในช่วงระหว่างการเก็บฝักรุ่นที่ 1 และ 2 ซึ่งก่อนหน้านั้นต้นกระเจี๊ยบเขียวได้รับฝนจำลองเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว จึง

อาจมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดทำให้ได้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานศักย์น้ำรวมของใบ พลังงานศักย์สารละลาย และพลังงานศักย์ความดันภายในใบกระเจี๊ยบเขียวเป็นดังต่อไปนี้

พลังงานศักย์น้ำรวมของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_t)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_t คล้ายกัน (ภาพที่ 16) คือ ψ_t มีค่าสูงสุดที่เวลา 14:00 น. ซึ่งเป็นเพราะเหตุผลเดียวกันกับชุดดินอยุธยา และจากนั้น ψ_t มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากความชื้นในดินลดลง พืชเริ่มขาดน้ำ และพบว่า ψ_t กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์คล้ายกันคือเป็นโพลิโนเมียล (ภาพที่ 17) นั่นคือเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้ค่า ψ_t กลับลดลงไปอีกครั้ง เป็นเช่นนี้ตลอดช่วงของ VPD เพราะเมื่อค่า VPD สูงนั้น เป็นเวลาหลังการให้น้ำในการทดลองนี้พอดี ดินจึงมีความชื้นสูง พืชไม่จำเป็นต้องลด ψ_t มากนัก

พลังงานศักย์สารละลายในเซลล์ใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_π)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π คล้ายกัน (ภาพที่ 16) ค่า ψ_π เพิ่มขึ้นในช่วง 10:00-14:00 น. ดังที่กล่าวไว้แล้วในชุดดินก่อนหน้า และพบว่า ψ_π กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 17) ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์นี้น่าจะเป็นด้วยเหตุผลเดียวกันกับค่า ψ_t ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการที่กระเจี๊ยบเขียวต้องการรักษาแรงดันน้ำในเซลล์ใบหรือแรงเต่งของเซลล์ใบให้คงที่อยู่เสมอสำหรับการดำเนินกิจกรรมของเซลล์ใบ (สุนทรี, 2535)

พลังงานศักย์ความดันของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_p)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_p คล้ายกัน (ภาพที่ 16) โดยค่า ψ_p ของใบกระเจี๊ยบเขียวค่อนข้างคงที่ แม้ว่าหลังจากเวลา 11:00 น. จะหยุดให้ฝนจำลองแล้ว แต่เซลล์ของใบพืชยังคงรักษาสภาพแต่งของเซลล์ไว้ได้ และพบว่า ψ_p กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 17) โดยพบว่าเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้น ψ_p จะปรับค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลดังกล่าว (ψ_t และ ψ_π) บ่งถึงความไม่แน่นอนในความต้องการที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π เพื่อให้ ψ_p มีค่าคงที่

ชุดดินกำแพงแสน

สมบัติดินเริ่มต้นก่อนการทดลอง

ค่าวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นพบว่า มีค่า pH เท่ากับ 6.87 ค่า EC เท่ากับ 5.30 dS m^{-1} ปริมาณ P_2O_5 เท่ากับ 43.82 mg kg^{-1} ปริมาณ K_2O เท่ากับ 0.19 mg kg^{-1} ปริมาณ Total N, Total P และ Total K เท่ากับ 1.030, 1.210 และ 1.020 % ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ชี้ว่าชุดดินกำแพงแสนที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเป็นกลาง ได้รับอิทธิพลของความเค็มดินปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมต่ำมาก (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดินช่วงทดลองที่เกิดจากฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต

ผลพบว่าค่าความเป็นกรดด่างดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 6.73-6.83, 6.88-7.31, 6.84-6.94 และ 6.85-6.69 สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 18, ตารางผนวกที่ 28-29) แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างของสิ่งทดลองเหล่านี้อยู่ในช่วงแคบ ๆ ซึ่งคิดเป็นปริมาณ H^+ ไม่มากพอที่จะมีผลต่อกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในดิน จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดด่างดินที่เกิดจากอิทธิพลของความเข้มข้นของอนุมูลซัลเฟตและเวลามีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดด่างดังกล่าวสำหรับทุกสิ่งทดลองไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักในระยะเวลาอันสั้น กล่าวคือสำหรับธาตุไนโตรเจน ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงนี้ (6.29-7.18) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปอินทรียวัตถุเป็น NH_4^+, NO_3^- และ N_2 ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในชุดดินอยุธยา ส่วนสาเหตุที่ค่า OM เพิ่มสูงขึ้นนั้น (ภาพที่ 18) เป็นเพราะมีการหลุดร่วงของใบกระเจี๊ยบเขียวลงมาในกระถาง ส่วนค่า $_NK_d$ ไม่ค่อยแตกต่างกันนัก (ภาพที่ 19, ตารางผนวกที่ 28-29) โดยจะพบว่าช่วงแรกของการทดลองมีค่าสูงเนื่องจากผลของปุ๋ยที่ใส่ก่อนหน้าทำการทดลอง 2 สัปดาห์ จากนั้นธาตุอาหารในดินจะค่อย ๆ ลดปริมาณลง เพราะเกิดการสูญเสียไปพร้อมกับน้ำชะและถูกพืชดูดไปใช้ โดยไนโตรเจนในดินของสัปดาห์ก่อนหน้าที่จะทำการเก็บฝักจะส่งผลต่อการสะสมธาตุไนโตรเจนภายในพืช จะเห็นว่าสอดคล้องกับค่า $N_{T,pt}$ ของฝักรุ่นถัดไปซึ่งได้รับผลจากธาตุอาหารในดินก่อนหน้า 1 สัปดาห์ (ภาพที่ 19, ตารางผนวกที่ 30-31)

ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก เนื่องด้วยเหตุผลเดียวกับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในชุดดิน

อยุธยา ค่า P_2O_5 และค่า ${}_pK_d$ มีการปรับค่าขึ้นลงตลอดช่วงการทดลอง (ภาพที่ 20, ตารางผนวกที่ 28-29) และไม่ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเหมือนธาตุไนโตรเจน เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยากดังได้กล่าวไปแล้วเบื้องต้น ส่วนการดูดกินฟอสฟอรัสของฝักกระเจี๊ยบเขียวสอดคล้องกับค่า ${}_pK_d$ คือถ้าสัปดาห์ก่อนหน้ามีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่สูง กระเจี๊ยบเขียวจะสะสมฟอสฟอรัสในฝักสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า $P_{T,nt}$ สูง (ภาพที่ 20, ตารางผนวกที่ 30-31) เพราะฟอสฟอรัสมีความสำคัญกับการติดดอกออกผลของพืช (ยงยุทธ, 2546) และนอกจากนี้การที่ ค่า $P_{T,nt}$ สูงในช่วงท้ายอาจเป็นเพราะการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากส่วนที่กำลังจะเสื่อมสภาพมายังส่วนสืบพันธุ์ (remobilization) (ยงยุทธ, 2546)

ส่วนโพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในชุดดินอยุธยา ส่วนการดูดกินโพแทสเซียมของฝักกระเจี๊ยบเขียวจะเห็นว่ามีการดูดกินค่อนข้างมาก (ภาพที่ 21, ตารางผนวกที่ 28-31) แต่การนำไปใช้ในฝักไม่สอดคล้องกับค่า ${}_KK_d$ ของดิน ซึ่งอาจเป็นเพราะลักษณะของการเจริญเติบโตบนชุดดินกำแพงแสนและช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของพืชทำให้มีรูปแบบการนำโพแทสเซียมไปใช้ในฝักเป็นเช่นนี้

<u>การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของดินช่วงทดลองที่เกิดจากอิทธิพลของฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต</u>

ผลพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 0.57-0.48, 0.27-0.37, 0.38-0.59 และ 0.28-0.39 dS m^{-1} สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0, 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 18, ตารางผนวกที่ 28-29) แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าของสิ่งทดลองเหล่านี้มีค่าต่ำ (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546) จึงไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

<u>ผลผลิตฝักกระเจี๊ยบเขียว</u>

พบว่าตำรับทดลองฝนควบคุมมีผลผลิตฝักแห้งสูงกว่าตำรับทดลองอื่น (ตารางที่ 2-3) เนื่องจากต้นกระเจี๊ยบเขียวในตำรับทดลองฝนควบคุมถือได้ว่ามีสุขภาพของต้นดีกว่าต้นที่ปลูกในตำรับทดลองอื่น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่เกษตรกรทั่วไปปลูกได้จะมีค่าน้อยกว่ามาก โดยพบว่าตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 มีค่าผลผลิตแห้งเท่ากับ 10.75, 10.02, 10.24 และ 9.08 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อฤดูปลูก ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตที่เกษตรกร

ผลิตได้จริง 30–50 เท่า (ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร, 2549) เป็นเพราะความจำกัดในเรื่องของพื้นที่หาอาหารของรากเนื่องจากเป็นการปลูกในกระถาง อีกทั้งต้นพืชอยู่ในโรงเรือนซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก จึงอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และอิทธิพลของ H^+ จากฝนจำลอง

ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของกระเจี๊ยบเขียว

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนการนำธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไปใช้มากที่สุดในส่วนของลำต้นและตำรับทดลองฝน pH 3.0 (ตารางที่ 6) ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่ได้ เนื่องจากพืชในตำรับทดลองฝน pH 3.0 มีการสะสมธาตุอาหารในส่วนอื่น ๆ สูงกว่าตำรับทดลองฝนควบคุม แสดงว่าฝนจำลองอนุมูลซัลเฟตอาจมีผลต่อการให้ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างธาตุอาหารหลักในส่วนต่าง ๆ ของกระเจี๊ยบเขียวที่ใช้ทดลองกับพืชในตระกูลเดียวกัน พบว่า กระเจี๊ยบเขียวที่ใช้ทดลองนี้มีปริมาณธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าค่าปกติ (ตารางที่ 6, ตารางผนวกที่ 3) จึงน่าจะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตต่ำ

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกระเจี๊ยบเขียว

ใบ

พบว่าต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนควบคุมบางส่วนมีอาการผิดปกติ (ภาพผนวกที่ 3(a)) เนื่องจากได้รับละอองฝนจำลอง pH 5.0 ซึ่งอยู่ข้างเคียง จึงพบอาการใบเหลืองจากขอบใบเข้ามาในใบ ส่วนกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนจำลอง pH 5.0 4.0 และ 3.0 จะพบการร่วงของใบล่างซึ่งมีขนาดเล็ก ใบเหลืองซีด แต่ไม่มีอาการใบไหม้ และมักร่วงก่อนใบบนซึ่งสัมผัสกับน้ำฝนอย่างเต็มที่ จึงคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการขาดธาตุไนโตรเจนที่ทำให้ใบล่างร่วง (ยงยุทธ, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในใบที่ต่ำกว่าค่าปกติของพืชในตระกูลเดียวกัน ใบที่อยู่ส่วนกลางของลำต้นและสัมผัสกับน้ำฝนเต็มที่จะพบอาการใบเหลืองจากขอบใบลุกลามเข้ามาภายในใบ ขอบใบไหม้ และมีบางใบที่หลุดร่วงเมื่อได้รับการสัมผัสเบา ๆ โดยใบที่ได้รับฝนเต็มที่จะเริ่มแสดงอาการก่อน จึงคาดว่าฝนจำลองทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อพืช และน่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยฝน pH 3.0 จะแสดงความเสียหายของต้นมากที่สุด ส่วนฝน pH 5.0 และ 4.0 โดยภาพรวมแล้วไม่ค่อยแตกต่างกัน (ภาพผนวกที่ 3(b) –(d))

ฝัก

พบว่าฝนควบคุมไม่ทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะผิดปกติ (ภาพผนวกที่ 5(a)) ส่วนตำรับทดลองฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 คือ ฝักมีผิวขรุขระ เป็นตุ่มนูนขึ้นมา สีเขียวซีด ด่าง และพบมากที่สุดในฝน pH 3.0 รองลงมาคือ ฝน pH 4.0 และ 5.0 ตามลำดับ (ภาพผนวกที่ 5(b))

ดอก

พบอาการแห้งและหลุดร่วงของดอกที่พัฒนาตัวได้ประมาณ 1 สัปดาห์ (ความยาวของดอกประมาณ 0.7–0.8 mm) ของทุกตำรับทดลอง (ภาพผนวกที่ 6(b)) โดยมีความรุนแรงที่สุดในฝน pH 3.0 และ 4.0 ส่วนฝนควบคุมและฝน pH 5.0 พบการร่วงของดอกเล็กน้อย ส่วนดอกที่สามารถพัฒนาตัวจนเจริญเติบโตได้เต็มที่ของทุกตำรับทดลองมีสภาพของดอกและการบานของดอกปกติ (ภาพผนวกที่ 6(a)) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับชุดดินก่อนหน้า

<u>องค์ประกอบพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในรอบวัน</u>

ดังได้กล่าวไว้แล้วว่าได้ทำการวัดค่าพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในช่วงระหว่างการเก็บฝักรุ่นที่ 1 และ 2 ซึ่งก่อนหน้านั้นต้นกระเจี๊ยบเขียวได้รับฝนจำลองเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว จึงอาจมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดทำให้ได้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานศักย์น้ำรวมของใบ พลังงานศักย์สารละลาย และพลังงานศักย์ความดันภายในใบกระเจี๊ยบเขียวเป็นดังต่อไปนี้

พลังงานศักย์น้ำรวมของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_t)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_t คล้ายกัน (ภาพที่ 22) คือ ψ_t มีค่าสูงสุดที่เวลา 14:00 น. ซึ่งเป็นเพราะเหตุผลเดียวกันกับชุดดินอยุธยาและชุดดินบางกอก จากนั้น ψ_t มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากความชื้นในดินลดลง พืชเริ่มขาดน้ำ และพบว่า ψ_t กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์คล้ายกันคือเป็นโพลิโนเมียล (ภาพที่ 23) นั่นคือเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้ค่า ψ_t กลับลดลงไปอีกครั้ง เป็นเช่นนี้ตลอดช่วงของ VPD เพราะเมื่อค่า VPD สูงนั้น เป็นเวลาหลังการให้น้ำในการทดลองนี้พอดี ดินจึงมีความชื้นสูง พืชไม่จำเป็นต้องลด ψ_t มากนัก

พลังงานศักย์สารละลายในเซลล์ใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_π)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π คล้ายกัน (ภาพที่ 22) ค่า ψ_π เพิ่มขึ้นในช่วง 10:00-14:00 น. ดังที่กล่าวไว้แล้วในชุดดินก่อนหน้า และพบว่า ψ_π กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 23) ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์นี้น่าจะเป็นด้วยเหตุผลเดียวกันกับค่า ψ_t ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการที่กระเจี๊ยบเขียวต้องการรักษาแรงดันน้ำในเซลล์ใบหรือแรงเต่งของเซลล์ใบให้คงที่อยู่เสมอสำหรับการดำเนินกิจกรรมของเซลล์ใบ (สุนทรี, 2535)

พลังงานศักย์ความดันของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_p)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_p คล้ายกัน (ภาพที่ 22) โดยค่า ψ_p ของใบกระเจี๊ยบเขียวค่อนข้างคงที่ แม้ว่าหลังจากเวลา 11:00 น. จะหยุดให้ฝนจำลองแล้ว แต่เซลล์ของใบพืชยังคงรักษาสภาพแต่งของเซลล์ไว้ได้ และพบว่า ψ_p กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 23) โดยพบว่าเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้น ψ_p จะปรับค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลดังกล่าว (ψ_t และ ψ_π) บ่งถึงความไม่แน่นอนในความต้องการที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π เพื่อให้ ψ_p มีค่าคงที่ได้

ชุดดินสัตหีบ

สมบัติดินเริ่มต้นก่อนการทดลอง

ค่าวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นพบว่า มีค่า pH เท่ากับ 7.67 ค่า EC เท่ากับ 1.30 dS m^{-1} ปริมาณ P_2O_5 เท่ากับ 27.23 mg kg^{-1} ปริมาณ K_2O เท่ากับ 0.17 mg kg^{-1} ปริมาณ Total N, Total P และ Total K เท่ากับ 0.420, 0.920 และ 0.410 % ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ชี้ว่าชุดดินบางกอกที่ใช้ในการทดลองนี้ค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย ไม่ได้รับอิทธิพลของความเค็มดิน มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมต่ำมาก (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดินช่วงทดลองที่เกิดจากฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต

ผลพบว่าค่าความเป็นกรดด่างดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 6.57-6.31, 6.66-5.84, 6.19-5.79 และ 6.31-5.70

สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 24, ตารางผนวกที่ 32-33) แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่างของสิ่งทดลองเหล่านี้อยู่ในช่วงแคบ ๆ ซึ่งคิดเป็นปริมาณ H^+ ไม่มากนักที่จะมีผลต่อกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในดิน จากการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดด่างดินที่เกิดจากอิทธิพลของความเข้มข้นของอนุมูลซัลเฟตและเวลามีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดด่างดังกล่าวสำหรับทุกสิ่งทดลองไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักในระยะเวลาอันสั้น กล่าวคือ สำหรับธาตุไนโตรเจน ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงนี้ (5.67-6.63) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปอินทรียวัตถุไปเป็น NH_4^+, NO_3^- และ N_2 ดังเหตุผลที่ได้กล่าวถึงความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในชุดดินก่อนหน้า ส่งผลให้ค่า ${}_NK_d$ ไม่ค่อยแตกต่างกันนัก (ภาพที่ 25, ตารางผนวกที่ 32-33) โดยจะพบว่าช่วงแรกของการทดลองมีค่า NH_4^+, NO_3^- และ ${}_NK_d$ สูงเนื่องจากผลของปุ๋ยที่ใส่ก่อนหน้าทำการทดลอง 2 สัปดาห์ จากนั้นธาตุอาหารในดินจะค่อย ๆ ลดปริมาณลง เพราะเกิดการสูญเสียไปพร้อมกับน้ำชะเนื่องจากชุดดินสัตหีบเป็นดินทราย ปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ จึงไม่สามารถดูดยึดธาตุอาหารไว้ได้ และส่วนหนึ่งจะถูกพืชดูดไปใช้ โดยไนโตรเจนในดินของสัปดาห์ก่อนหน้าที่จะทำการเก็บฝักจะส่งผลต่อการสะสมธาตุไนโตรเจนภายในพืช ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า ${}_NK_d$ และค่า $N_{T,pt}$ คือเมื่อในดินมีไนโตรเจนลดน้อยลง พืชก็จะดูดไปใช้ได้น้อยลงตามไปด้วย (ภาพที่ 25, ตารางผนวกที่ 32-35)

ธาตุฟอสฟอรัส ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วถึงความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในชุดดินก่อนหน้า และพบว่าปริมาณ P_2O_5 ไม่ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเหมือนธาตุไนโตรเจน เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยาก จึงสูญหายได้ยากกว่า (ยงยุทธ และคณะ, 2541) ส่วนการนำธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ในฝักกระเจี๊ยบเขียวพบว่ามีรูปแบบเดียวกับค่า ${}_PK_d$ ของสัปดาห์ก่อนหน้า คือถ้ามีฟอสฟอรัสในดินมาก พืชก็จะดูดไปใช้มากด้วย (ภาพที่ 26, ตารางผนวกที่ 32-35)

ส่วนธาตุโพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดด่างในช่วงดังกล่าวไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก เนื่องด้วยเหตุผลเดียวกับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในชุดดินก่อนหน้า ส่วนการดูดกินโพแทสเซียมของฝักกระเจี๊ยบเขียวจะเห็นว่ามีการดูดกินค่อนข้างมาก (ภาพที่ 27, ตารางผนวกที่ 32-35) ซึ่งโดยปกติแล้วพืชมักดูดกินโพแทสเซียมจากดินเข้าไปในปริมาณมาก ๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของดินช่วงทดลองที่เกิดจากอิทธิพลของฝนจำลองอนุมูลซัลเฟต

ผลพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินสำหรับตำรับทดลองฝนจากเริ่มทดลองถึงสิ้นสุดการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 0.26-0.41, 0.17-0.50, 0.31-0.33 และ 0.24-0.57 dS m^{-1} สำหรับตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 24, ตารางผนวกที่ 32-33) ถึงแม้ว่าในตำรับทดลองฝนควบคุม และฝน pH 5.0 จะมีการเปลี่ยนแปลงค่า ECe ในช่วงค่อนข้างกว้าง แต่ค่าดังกล่าวยังไม่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเคมีภายในหน้าตัดดิน (ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546) จึงไม่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

ผลผลิตฝักกระเจี๊ยบเขียว

พบว่าตำรับทดลอง pH 4.0 มีผลผลิตฝักแห้งสูงกว่าตำรับทดลองอื่น รวมถึงตำรับทดลองฝนควบคุมด้วย (ตารางที่ 2-3) สาเหตุที่ผลผลิตของตำรับทดลองฝนควบคุมมีค่าต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น เพราะต้นกระเจี๊ยบเขียวในตำรับทดลองฝนควบคุมอาจได้รับละอองฝนกรดจำลองจากตำรับทดลองข้างเคียง ส่งผลให้ใบเหลืองและร่วงเช่นเดียวกับตำรับทดลองอื่นๆ นอกจากนี้ผลผลิตแห้งฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ได้จากการทดลองเมื่อคิดเป็นผลผลิตต่อ 1 ฤดูปลูกแล้ว พบว่าตำรับทดลองฝนควบคุม ฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 มีค่าเท่ากับ 6.44, 7.50, 8.69 และ 7.23 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อฤดูปลูก ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าที่เกษตรกรปลูกได้จริง 40-66 เท่า (ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร, 2549) จึงคาดว่าเป็นเพราะอิทธิพลของฝนจำลองที่ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกระเจี๊ยบเขียวผิดปกติไป โดยพบว่าต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝน pH 3.0 จะมีลำต้นอ้วน ต้นเตี้ย ใบเล็กและแตกใบเป็นกระจุก อีกทั้งดินที่ใช้ปลูกเป็นดินทรายซึ่งไม่สามารถเก็บรักษาธาตุอาหารและน้ำไว้ได้นานจึงทำให้กระเจี๊ยบเขียวมีผลผลิตต่ำ

ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของกระเจี๊ยบเขียว

พบว่าค่าสัดส่วนการนำธาตุอาหารหลักไปใช้ในส่วนต่างๆ ของพืชมีค่าสูงที่สุดในตำรับทดลองฝน pH 4.0 (ตารางที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่ได้ และยังพบการสะสมสูงที่สุดในส่วนของลำต้นอีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างธาตุอาหารหลักในส่วนต่างๆ ของกระเจี๊ยบเขียวที่ใช้ทดลองกับพืชในตระกูลเดียวกัน พบว่า กระเจี๊ยบเขียวที่ใช้ทดลองนี้มีปริมาณธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าค่าปกติ (ตารางที่ 7, ตารางผนวกที่ 3) จึงทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวต่ำกว่าที่เกษตรกรปลูกได้

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกระเจี๊ยบเขียว

ใบ

พบว่าต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนควบคุมบางส่วนมีอาการผิดปกติ (ภาพผนวกที่ 3(a)) เนื่องจากได้รับละอองฝนจำลอง pH 5.0 ซึ่งอยู่ข้างเคียง จึงพบอาการใบเหลืองจากขอบใบเข้ามาในใบ ส่วนกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับฝนจำลอง pH 5.0 4.0 และ 3.0 จะพบการร่วงของใบล่างซึ่งมีขนาดเล็ก ใบเหลืองซีด แต่ไม่มีอาการใบไหม้ และมักร่วงก่อนใบบนซึ่งสัมผัสกับน้ำฝนอย่างเต็มที่ จึงคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการขาดธาตุไนโตรเจนที่ทำให้ใบล่างร่วง (ยงยุทธ, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในใบที่ต่ำกว่าค่าปกติของพืชในตระกูลเดียวกัน ใบที่อยู่ส่วนกลางของลำต้นและสัมผัสกับน้ำฝนเต็มที่จะพบอาการใบเหลืองจากขอบใบลุกลามเข้ามาภายในใบ ขอบใบไหม้ และมีบางใบที่หลุดร่วงเมื่อได้รับการสัมผัสเบา ๆ โดยใบที่ได้รับฝนเต็มที่จะเริ่มแสดงอาการก่อน จึงคาดว่าฝนจำลองทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อพืช และน่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยฝน pH 3.0 จะแสดงความเสียหายของต้นมากที่สุด ส่วนฝน pH 5.0 และ 4.0 โดยภาพรวมแล้วไม่ค่อยแตกต่างกัน (ภาพผนวกที่ 3(b) –(d))

ฝัก

พบว่าฝนควบคุมทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะปกติ (ภาพผนวกที่ 5(a)) ส่วนตำรับทดลองฝน pH 5.0 4.0 และ 3.0 คือ ฝักมีผิวขรุขระ เป็นตุ่มนูนขึ้นมา สีเขียวซีด ด่าง และพบมากที่สุดในฝน pH 3.0 รองลงมาคือ ฝน pH 4.0 และ 5.0 ตามลำดับ (ภาพผนวกที่ 5(b))

ดอก

พบอาการแห้งและหลุดร่วงของดอกที่พัฒนาตัวได้ประมาณ 1 สัปดาห์ (ความยาวของดอกประมาณ 0.7–0.8 mm) ของทุกตำรับทดลอง (ภาพผนวกที่ 6(b)) โดยมีความรุนแรงที่สุดในฝน pH 3.0 และ 4.0 ส่วนฝนควบคุมและฝน pH 5.0 พบการร่วงของดอกเล็กน้อย ส่วนดอกที่สามารถพัฒนาตัวจนเจริญเติบโตได้เต็มที่ของทุกตำรับทดลองมีสภาพของดอกและการบานของดอกปกติ (ภาพผนวกที่ 6(a)) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับชุดดินก่อนหน้า

องค์ประกอบพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในรอบวัน

ดังได้กล่าวไว้แล้วว่าได้ทำการวัดค่าพลังงานศักย์น้ำในใบกระเจี๊ยบเขียวในช่วงระหว่างการเก็บฝักรุ่นที่ 1 และ 2 ซึ่งก่อนหน้านั้นต้นกระเจี๊ยบเขียวได้รับฝนจำลองเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว จึง

อาจมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดทำให้ได้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานศักย์น้ำรวมของใบ พลังงานศักย์สารละลาย และพลังงานศักย์ความดันภายในใบกระเจี๊ยบเขียวเป็นดังต่อไปนี้

พลังงานศักย์น้ำรวมของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_t)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_t คล้ายกัน (ภาพที่ 28) คือ ψ_t มีค่าสูงสุดที่เวลา 14:00 น. ซึ่งเป็นเพราะเหตุผลเดียวกันกับชุดดินก่อนหน้า จากนั้น ψ_t มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากความชื้นในดินลดลง พืชเริ่มขาดน้ำ และพบว่า ψ_t กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์คล้ายกันคือเป็นโพลิโนเมียล (ภาพที่ 29) นั่นคือเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้ค่า ψ_t กลับลดลงไปอีกครั้ง เป็นเช่นนี้ตลอดช่วงของ VPD เพราะเมื่อค่า VPD สูงนั้น เป็นเวลาหลังการให้น้ำในการทดลองนี้พอดี จึงมีความชื้นดินสูง พืชไม่จำเป็นต้องลด ψ_t มากนัก

พลังงานศักย์สารละลายในเซลล์ใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_π)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π คล้ายกัน (ภาพที่ 28) ค่า ψ_π เพิ่มขึ้นในช่วง 10:00-14:00 น. ดังที่กล่าวไว้แล้วในชุดดินก่อนหน้า และพบว่า ψ_π กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 29) ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์นี้น่าจะเป็นด้วยเหตุผลเดียวกันกับค่า ψ_t ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการที่กระเจี๊ยบเขียวต้องการรักษาแรงดันน้ำในเซลล์ใบหรือแรงเต่งของเซลล์ใบให้คงที่อยู่เสมอสำหรับการดำเนินกิจกรรมของเซลล์ใบ (สุนทรี, 2535)

พลังงานศักย์ความดันของใบกระเจี๊ยบเขียว (ψ_p)

พบว่าทุกตำรับทดลองทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_p คล้ายกัน (ภาพที่ 28) โดยค่า ψ_p ของใบกระเจี๊ยบเขียวค่อนข้างคงที่ แม้ว่าหลังจากเวลา 11:00 น. จะหยุดให้ฝนจำลองแล้ว แต่เซลล์ของใบพืชยังคงรักษาสภาพแต่งของเซลล์ไว้ได้ และพบว่า ψ_p กับ VPD ของแต่ละตำรับทดลองมีความสัมพันธ์ในเชิงโพลิโนเมียล (ภาพที่ 29) โดยพบว่าเมื่อค่า VPD เพิ่มขึ้น ψ_p จะปรับค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลดังกล่าว (ψ_t และ ψ_π) บ่งถึงความไม่แน่นอนในความต้องการที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า ψ_π เพื่อให้ ψ_p มีค่าคงที่ได้

ดังนั้นความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินไม่ได้ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของฝนจำลองที่เกิดจากอนุมูลซัลเฟต เนื่องจากค่า K_d ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารของแต่

ละตำรับทดลองแสดงค่าไม่แตกต่างกัน พบว่าความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินขึ้นอยู่กับชุดดินที่ใช้ทำการทดลอง โดยการให้ฝนจำลองที่ระดับความรุนแรงต่าง ๆ ในระยะเวลาสั้น ๆ ไม่สามารถทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในแต่ละชุดดินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ความเป็นประโยชน์จะมากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ในการทดลองนี้พบว่าชุดดินสัตหีบซึ่งเป็นดินทรายมีค่า $_{N}K_{d}$, $_{P}K_{d}$ และ $_{K}K_{d}$ สูงกว่าชุดดินอื่น (ตารางผนวกที่ 14-16) เนื่องจากชุดดินนี้มีอินทรียวัตถุต่ำ จึงมีความสามารถในการยึดเกาะกับธาตุอาหารได้น้อย เมื่อปฏิกิริยาดินเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ธาตุอาหารเหล่านั้นก็สามารถหลุดออกมาได้โดยง่าย ในขณะที่ชุดดินอยุธยาและชุดดินบางกอกซึ่งเป็นดินเหนียว มีอินทรียวัตถุสูง มีแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 และ 2:1 อยู่ในปริมาณมาก (สถิระ และคณะ, 2546) จึงยึดเกาะธาตุอาหารไว้ด้วยแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่า จึงหลุดออกมาได้ยากกว่า ส่วนชุดดินกำแพงแสนซึ่งเป็นดินร่วน มีปริมาณอินทรียวัตถุและแร่ดินเหนียวน้อยกว่าและต่างชนิดกันกับชุดดินอยุธยาและชุดดินบางกอก จึงปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เร็วกว่าชุดดินทั้งสอง นอกจากนี้ยังพบว่าฝนจำลองมีผลโดยตรงต่อปริมาณผลผลิต ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกระเจี๊ยบเขียวซึ่งเป็นพืชที่ไวต่อฝนกรด และพบว่าฝนจำลองที่เกิดจากอนุมูลซัลเฟตไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานศักย์น้ำภายในใบกระเจี๊ยบเขียวในรอบวันอีกด้วย ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นเพราะพันธุกรรมของพืชเป็นตัวกำหนด