



ปัญหาพิเศษ

ประสิทธิภาพของระบบแสง II และพารามิเตอร์การแลกเปลี่ยนก๊าซของ
ต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 ที่ได้รับสังกะสีและเจลาติน
รีไซเคิลภายใต้สภาพการให้น้ำจำกัด

Photosystem II Efficiency and Gas Exchange Parameters of Suwan 5720
Maize Seedling Treated with Soil-Applied Zinc and Recycled Gelatin
under Water-Limited Condition

ณัฐนันท์ แก้วไพศาล

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์เกษตร)

ปริญญา

..... วิทยาศาสตร์เกษตร

สาขา

..... ฟิสิกส์

ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพของระบบแสง II และพารามิเตอร์การแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นกล้า
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 ที่ได้รับสังกะสีและเจลาตินรีไซเคิลภายใต้สภาพ
การให้น้ำจำกัด

Photosystem II Efficiency and Gas Exchange Parameters of Suwan 5720 Maize Seedling
Treated with Soil-Applied Zinc and Recycled Gelatin under Water-Limited Condition

นามผู้วิจัย ฐนันท์ แก้วไพศาล

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณี วงษ์แก้ว, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วม

(..... รองศาสตราจารย์กมล งามศิริ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรีชาดิ พรหมโชติ, Ph.D.)

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2569

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ประสิทธิภาพของระบบแสง II และพารามิเตอร์การแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
พันธุ์สุวรรณ 5720 ที่ได้รับสังกะสีและเจลาตินภายใต้สภาพการให้น้ำจำกัด

Photosystem II Efficiency and Gas Exchange Parameters of Suwan 5720 Maize Seedling Treated
with Soil-Applied Zinc and Recycled Gelatin under Water-Limited Condition

โดย

ณัฐนันท์ แก้วไพศาล

เสนอ

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY

บทคัดย่อ

ณัฐนันท์ แก้วไพศาล 2568: ประสิทธิภาพของระบบสังเคราะห์แสง II และพารามิเตอร์การแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 ที่ได้รับสังกะสีและเจลาตินรีไซเคิลภายใต้สภาพการให้น้ำจำกัด ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์เกษตร ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรณี วงษ์แก้ว, Ph.D. 23 หน้า.

ภาวะแล้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในระยะต้นกล้า โดยเฉพาะความสามารถในการรักษาประสิทธิภาพของระบบสังเคราะห์แสงและการแลกเปลี่ยนก๊าซ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการให้สังกะสีในรูปแบบซิงค์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) และเจลาตินรีไซเคิลจากแคลปซูลยา (recycled gelatin: RGeI) ทางดินภายใต้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถาง (pot water holding capacity: pot WHC) ที่แตกต่างกันของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 5720 ผลการทดลองในระยะ 14 วันหลังปลูก พบว่าค่าประสิทธิภาพการใช้แสง อัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อได้รับน้ำจำกัดที่ระดับ 50% pot WHC ปริมาณคลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์รวมลดลง 26% และ 29% ตามลำดับ สำหรับพารามิเตอร์การแลกเปลี่ยนก๊าซพบว่าต้นกล้าที่ได้รับน้ำระดับ 100% pot WHC มีค่าการนำไหลของปากใบเท่ากับ $0.084 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ และอัตราการคายน้ำเท่ากับ $0.983 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ ซึ่งสูงกว่าระดับ 50% pot WHC คิดเป็น 36% และ 26% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าแรงดึงระเหยน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง สรุปได้ว่าแม้ระบบแสงบางส่วนจะยังคงทำงานได้ตามปกติในระยะต้นกล้า แต่สภาวะขาดน้ำส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของรงควัตถุและการปิดของปากใบ โดยที่การเสริมสังกะสีและเจลาตินรีไซเคิลในช่วงเวลาที่ศึกษายังไม่ปรากฏผลในการบรรเทาผลกระทบจากภาวะแล้งอย่างชัดเจน

ณัฐนันท์ แก้วไพศาล

ลายมือชื่อนิสิต

อรรณี วงษ์แก้ว

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก

ABSTRACT

Nattanan Kaewpaisan. 2025: Photosystem II Efficiency and Gas Exchange Parameters of Suwan 5720 Maize Seedling Treated with Soil-Applied Zinc and Recycled Gelatin under Water-Limited Condition. Bachelor's special problem in Agricultural Science, Department of Agronomy. Special problem advisor: Assistant Professor Arunee Wongkaew, Ph.D. 23 pages.

Drought is a critical factor affecting the growth of maize seedlings, particularly their ability to maintain photosynthetic efficiency and gas exchange capacity. This study aimed to evaluate the soil application of zinc in the form of zinc sulfate heptahydrate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) and recycled gelatin from medicinal capsules (recycled gelatin: RGel) under varying soil pot water holding capacities (pot water holding capacity: pot WHC) using the Suwan 5720 hybrid maize variety. The results revealed that 14 days after planting indicated that quantum yield, electron transport rate, and chlorophyll *a* content showed no significant differences compared to the control group. However, under limited water conditions at 50% pot WHC, chlorophyll *b* and total chlorophyll contents decreased by 26% and 29%, respectively. Regarding gas exchange parameters, seedlings receiving 100% pot WHC exhibited a stomatal conductance of $0.084 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ and a transpiration rate of $0.983 \text{ mol/m}^2/\text{s}$, which were 36% and 26% higher than those at 50% pot WHC, respectively. In contrast, vapor pressure deficit showed no statistical difference among treatments. In conclusion, while certain components of the photosynthetic apparatus remained functional during the seedling stage, water deficit directly resulted in pigment degradation and stomatal closure. The soil application of $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and RGel during the study period did not clearly demonstrate any alleviating effects on the impacts of drought stress.

Nattanan Kaewpaisan

Student's signature



Special Problem Advisor's signature

31 / 03 / 2025

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ โครงการวิจัย “การพัฒนาสารเคลือบเมล็ดพันธุ์พอลิเมอร์ชีวภาพเพื่อบรรเทาความเสียหายของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้สภาพขาดน้ำ” ปีงบประมาณ 2568 สำนักงานพัฒนาวิจัยการเกษตร และ “โครงการประเมินผลผลิต ลักษณะทางการเกษตร คุณค่าทางโภชนาของข้าวโพดต้นสดและข้าวโพดหมักของข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวพันธุ์ สุวรรณ 5189 สุวรรณ 5720 และ สุวรรณ 5821 และการประเมินการยอมรับของเกษตรกร และการพัฒนาเกษตรกรผู้ผลิต” ปีงบประมาณ 2567 สำนักงานพัฒนาวิจัยการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนวัสดุสำหรับดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท เซอร์วิส แพค แมนูแฟคเจอร์ริง ที่อนุเคราะห์เจลาตินเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแคปซูลยา

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณี วงษ์แก้ว และรองศาสตราจารย์กมล คังคีล อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนการตรวจแก้และชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ดี

ณัฐนันท์ แก้วไพศาล

มีนาคม 2569

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	8
อุปกรณ์	8
วิธีการ	9
สถานที่และระยะเวลาการทําวิจัย	12
ผลและวิจารณ์	13
สรุป	20
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	21
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	23

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ประสิทธิภาพการใช้แสงและอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน	15
2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และรวม ในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 7 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน	16
3 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน	17
4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และรวม ในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน	18
5 การนำไหลของปากใบ อัตราการคายน้ำ และความต่างของความดันไอ ในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน	19

**ประสิทธิภาพของระบบแสง II และพารามิเตอร์การแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นกล้า
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 ที่ได้รับสังกะสีและเจลาตินรีไซเคิลทางดิน
ภายใต้สภาพการให้น้ำจำกัด**

**Photosystem II Efficiency and Gas Exchange Parameters of Suwan 5720
Maize Seedling Treated with Soil-Applied Zinc and Recycled Gelatin under
Water-Limited condition**

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตอาหารสัตว์ทั้งในประเทศและระดับโลก อย่างไรก็ตามการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มักประสบปัญหาจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะภาวะขาดแคลนน้ำหรือความเครียดจากความแห้งแล้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช การสังเคราะห์แสง และกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะในระยะต้นกล้า ซึ่งเป็นระยะที่มีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก

ภาวะการขาดน้ำส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยทำให้ประสิทธิภาพของระบบแสง II ลดลง รวมทั้งมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบ การแลกเปลี่ยนก๊าซ และการคายน้ำของพืช นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการสร้างรงควัตถุคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการดูดกลืนพลังงานแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นการศึกษปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดจากการขาดน้ำจึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช

ธาตุสังกะสี เป็นธาตุอาหารเสริมที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด การสังเคราะห์โปรตีน และการสร้างคลอโรฟิลล์ในใบพืช การให้สังกะสีในรูปของซิงค์ซัลเฟตไฮดรอกไซด์สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชได้

เจลาตินรีไซเคิลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการผลิตแคปซูลยา มีศักยภาพในการนำมาใช้ทางการเกษตร เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนและสารอินทรีย์ที่สามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช และอาจช่วยเพิ่มความสามารถของพืชในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

ดังนั้น การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สังกะสีร่วมกับเจลาตินรีไซเคิลภายใต้สภาพการให้น้ำที่แตกต่างกัน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะในด้านประสิทธิภาพของระบบแสง II และพารามิเตอร์การแลกเปลี่ยนก๊าซ ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคนิคการจัดการธาตุอาหารและการจัดการน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในสภาวะที่มีข้อจำกัดด้านน้ำในอนาคต

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินผลการให้สังกะสีในรูปแบบซิงค์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตและเจลาตินรีไซเคิลทางดินภายใต้การให้น้ำที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกันของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 5720

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลกและเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตและพลังงาน จึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบหลักในสูตรอาหารสัตว์หลายชนิด เช่น สุนัข ไก่ และโค (FAO, 2021) นอกจากนี้ข้าวโพดยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร การผลิตแป้ง น้ำตาล กลูโคส และเชื้อเพลิงชีวภาพ (bioethanol) ทำให้ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและความมั่นคงทางอาหารของหลายประเทศทั่วโลก

ในประเทศไทย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งมีความต้องการวัตถุดิบจำนวนมากในแต่ละปี อย่างไรก็ตาม ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มักได้รับผลกระทบจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาวะขาดน้ำหรือภัยแล้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (Farooq et al., 2009)

2. ผลของความเครียดจากการขาดน้ำต่อพืช

ความเครียดจากการขาดน้ำจากภาวะแล้ง (drought stress) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช เนื่องจากน้ำมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การลำเลียงสารอาหาร และการควบคุมอุณหภูมิของพืช (Taiz et al., 2015) เมื่อพืชได้รับน้ำไม่เพียงพอ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายประการ เช่น การปิดของปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนก๊าซและการตรึงคาร์บอนลดลง

ภาวะขาดน้ำส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรง เนื่องจากการปิดปากใบทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในใบลดลง ส่งผลให้กระบวนการตรึงคาร์บอนในวัฏจักรคัลวินลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อโครงสร้างของคลอโรพลาสต์และการทำงานของระบบสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะระบบแสง II ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการดูดกลืนพลังงานแสงและถ่ายโอนอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Baker, 2008)

3. ประสิทธิภาพของระบบแสง II

ระบบแสง II (Photosystem II, PSII) เป็นองค์ประกอบสำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ โดยมีหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงและถ่ายโอนอิเล็กตรอนเพื่อใช้ในการสร้างพลังงานเคมีในรูปของ ATP และ NADPH ซึ่งนำไปใช้ในกระบวนการตรึงคาร์บอนในวัฏจักรคัลวิน (Maxwell and Johnson, 2000)

การวัดประสิทธิภาพของระบบแสง II มักใช้เทคนิค chlorophyll fluorescence ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถประเมินสถานะทางสรีรวิทยาของพืชได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างพืช พารามิเตอร์ที่นิยมใช้ในการประเมิน ได้แก่ quantum efficiency of PSII และ electron transport rate (ETR) ซึ่งสามารถสะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานแสงของพืชได้ (Baker, 2008)

ภายใต้สภาวะความเครียดจากการขาดน้ำ ประสิทธิภาพของระบบแสง II มักลดลง เนื่องจากเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของคลอโรพลาสต์และระบบถ่ายโอนอิเล็กตรอน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง และทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงตามไปด้วย (Flexas and Medrano, 2002)

4. การแลกเปลี่ยนก๊าซของพืช

การแลกเปลี่ยนก๊าซของพืช (gas exchange) เป็นกระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำของพืช โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นผ่านปากใบ (stomata) ซึ่งเป็นโครงสร้างขนาดเล็กที่อยู่บนผิวใบ พารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษาการแลกเปลี่ยนก๊าซ ได้แก่ การนำไหลของปากใบ (stomatal conductance) อัตราการคายน้ำ (transpiration rate) และความต่างของความดันไอ (vapor pressure deficit; VPD) (Taiz et al., 2015)

ภายใต้สภาวะขาดน้ำพืชมักตอบสนองโดยการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำผ่านการคายน้ำ ส่งผลให้ค่า stomatal conductance และ transpiration rate ลดลง ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช (Flexas and Medrano, 2002)

5. บทบาทของธาตุสังกะสีต่อพืช

ธาตุสังกะสี (zinc, Zn) เป็นธาตุอาหารเสริมมีบทบาทเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช เช่น การสังเคราะห์โปรตีน การสร้างฮอร์โมนพืช และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (Cakmak, 2000)

นอกจากนี้ธาตุสังกะสียังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันความเสียหายจากอนุมูลอิสระ โดยช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น superoxide dismutase ซึ่งช่วยลดความเสียหายของเซลล์พืชภายใต้สภาวะความเครียดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความเครียดจากการขาดน้ำ (Alloway, 2008)

งานวิจัยหลายงานรายงานว่า การเสริมธาตุสังกะสีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการทนต่อสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำได้ (Li et al., 2020)

6. สารกระตุ้นชีวภาพและการใช้ธาตุในพืช

สารกระตุ้นชีวภาพ (biostimulant) เป็นสารหรือจุลินทรีย์ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยไม่ใช่ปุ๋ยหรือสารกำจัดศัตรูพืชโดยตรง โดยสารเหล่านี้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร เพิ่มความทนทานต่อสภาวะความเครียด และปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต (du Jardin, 2015)

เจลาตินเป็นสารที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจนซึ่งเป็นโปรตีนจากสัตว์ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น glycine, proline และ hydroxyproline ซึ่งสามารถเป็นแหล่งของไนโตรเจนให้กับพืชได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากแหล่งอินทรีย์สามารถทำหน้าที่เป็น biostimulant ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มความทนทานต่อสภาวะความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (Calvo et al., 2014)

การนำเจลาตินเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ในระบบการเกษตรจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของของเหลือใช้ทางอุตสาหกรรม และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของพืชได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การปลูก

- 1.1 กระจกปลูก 5.5 นิ้ว
- 1.2 ถาดรองกระจก
- 1.3 ผ้ากรองไนลอนเมมเบรน 50 micron
- 1.4 กระบอกลูกสูบ (cylinder)

2. อุปกรณ์เตรียมตัวอย่างใบ

- 2.1 กรรไกรตัดตัวอย่างใบ
- 2.2 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2.3 ไมโครปิเปต (micropipette)
- 2.4 หลอด microfuge tube ขนาด 1.5 mL

3. อุปกรณ์การตรวจวัดและวิเคราะห์

- 3.1 เครื่อง SM150T Soil Moisture Sensor (Delta-T Devices, สหราชอาณาจักร)
- 3.2 เครื่อง Li-600 Porometer/Fluorometer (บริษัท Li-COR, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3 เครื่อง Spectrophotometer

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized completely block design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ จัดสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 x 4 (factorial 2 x 4) ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 การให้น้ำ จำนวน 2 กรรมวิธี ได้แก่ (1) การให้น้ำที่ระดับ 50% ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถาง (pot water holding capacity: pot WHC) และ (2) การให้น้ำที่ระดับ 100% pot WHC และปัจจัยที่ 2 การให้สังกะสีในรูปแบบของซิงค์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) และเจลาตินรีไซเคิล (recycled gelatin: RGel) ทางดิน จำนวน 4 กรรมวิธี ได้แก่ (1) ใส่ปุ๋ย $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.5 กรัม/ดิน 1 กก. (2) ใส่ RGel อัตรา 2% W/V (3) ใส่ปุ๋ย $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.5 กรัม/ดิน 1 กก. ร่วมกับ RGel อัตรา 2% W/V และ (4) การไม่ใส่ทั้ง $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ RGel เป็นชุดควบคุม (control) ทั้งนี้เจลาตินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเจลาตินเหลือใช้จากการผลิตแคปซูลยา โดยได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท เซอร์วิส แพค เมนูแฟกเจอร์ริง

2. การทดสอบสถานะการให้น้ำจำกัดภายใต้สภาพโรงเรือน

เตรียมดิน 1 กก. ใส่กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 นิ้ว ใส่ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยรองพื้น โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรีย (46-0-0) อัตรา 0.75 กรัม/ดิน 1 กก. ปุ๋ยฟอสฟอรัสรูปไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) อัตรา 0.12 กรัม/ดิน 1 กก. และปุ๋ยโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อัตรา 0.93 กรัม/ดิน 1 กก. โดยให้ปุ๋ย $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ RGel ตามกรรมวิธีที่กำหนด ปลูกลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 5720 (Suwan 5720, SW5720) จำนวน 3 เมล็ดต่อกระถาง ระยะห่างระหว่างกระถาง 20 ซม. และระยะห่างระหว่างแถวกระถาง 70 ซม. โดยถอนแยกเหลือ 1 ต้นต่อกระถาง

ให้น้ำเริ่มต้นโดยการรดด้วยมือตามค่า pot WHC ของแต่ละกรรมวิธี ติดตามค่าความชื้นดินทุกวัน ด้วยเครื่อง SM150T Soil Moisture Sensor (Delta-T, สหราชอาณาจักร) เพื่อกำหนดปริมาณการให้น้ำและรักษาระดับความชื้นตั้งต้นตามกรรมวิธีที่กำหนด ตลอดระยะเวลาดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วัน

3. การเก็บข้อมูล

3.1 ประสิทธิภาพของระบบแสง II และการแลกเปลี่ยนก๊าซ ระดับใบพืช

เมื่อต้นกล้า SW5720 อายุ 14 วันหลังปลูก (day after planting: DAP) เลือกตัวอย่างใบที่มีการขยายขนาดเต็มที่ (ปรากฏ leaf collar) เพื่อหาค่าทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบแสง II ได้แก่ ประสิทธิภาพการใช้แสงขณะมีแสง (quantum efficiency in light) และอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (electron transport rate, ETR) และค่าทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ ได้แก่ ค่าน้ำไหลปากใบ (stomatal conductance) อัตราการคายน้ำ (transpiration rate) และแรงดึงระเหยน้ำ (vapor pressure deficit, VPD) ด้วยเครื่อง Li-600 Porometer/Fluorometer (บริษัท Li-COR, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในช่วงเช้า เวลา 7:00 – 8:00 น.

3.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

เก็บตัวอย่างใบที่มีการขยายขนาดเต็มที่อายุ 7 และ 14 DAP ตัดใบขนาด 1 ตร.ซม. นำตัวอย่างใบมาสกัดคลอโรฟิลล์ด้วย *N,N*-dimethylformamide (DMF) และคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีการของ Moran (1982) โดยความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์จะแสดงในหน่วยต่อพื้นที่

$$\text{ปริมาณ Chlorophyll } a \text{ (mg/cm}^2\text{)} = (12.64 A_{664} - 2.99A_{647}) \times (\text{Vol} \times Y/(\text{Area}))$$

$$\text{ปริมาณ Chlorophyll } b \text{ (mg/cm}^2\text{)} = (23.26 A_{647} - 5.6A_{664}) \times (\text{Vol} \times Y/(\text{Area}))$$

$$\text{ปริมาณ Total chlorophyll (mg/cm}^2\text{)} = (7.04 A_{664} + 20.27A_{647}) \times (\text{Vol} \times Y/(\text{Area}))$$

เมื่อ

A_{664} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 nm

A_{647} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 nm

Vol คือ ปริมาณของ *N,N*-dimethylformamide (DMF) ที่ใช้ในการสกัด (mL)

Y คือ Dilution factor หรือปริมาณก่อนการเจือจางหารด้วยปริมาณการเจือจาง

(ใช้เมื่อสารละลายที่ได้จากการสกัดมีความเข้มข้นสูง คือ มีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่า 0.8)

Area คือ พื้นที่แผ่นใบตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดคลอโรฟิลล์ (cm²)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่าวิเคราะห์ ความแปรปรวนรวม และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงต่าง ๆ ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรม STAR (Statistical Tool for Agricultural Research) software, version 2.0.1

สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย

1. สถานที่การทำวิจัย

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ระยะเวลาการทำวิจัย

ตั้งแต่ มีนาคม – เมษายน พ.ศ. 2568

ผลและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพของระบบแสงและการทำงานของระบบแสง II

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบแสง II โดยวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสง (quantum efficiency in light) และอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (electron transport rate; ETR) พบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงและอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในใบของต้นกล้า SW5720 อายุ 14 วัน หลังปลูกไม่แตกต่างกันทางสถิติภายใต้ปัจจัยด้านระดับน้ำและการใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าระดับความเครียดจากการจัดการน้ำในการทดลองนี้ยังไม่ส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อ Photochemical process ของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก รวมถึงการใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ในระดับที่ทำการศึกษานี้ ไม่ส่งผลกระทบเชิงลบหรือเชิงบวกต่อ Photochemical process

2. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และรวม

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบของต้นกล้า ข้าวโพด พบว่า ปัจจัยด้านระดับการให้น้ำและการใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบของต้นกล้า SW5720 อายุ 7 วันหลังปลูก (ตารางที่ 2)

อย่างไรก็ตาม พบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับการให้น้ำและการใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของต้นกล้า SW5720 อายุ 14 วันหลังปลูก โดยพบว่าการใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ร่วมกับ RGel ภายใต้สภาพการให้น้ำที่ระดับ 50% pot WHC ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์เอของใบต้นกล้า SW5720 อายุ 14 วันหลังปลูก สูงที่สุด คือ $38.7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ แต่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (ตารางที่ 3) ในขณะที่ระดับการให้น้ำเพียงปัจจัยเดียวส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) โดยการให้น้ำที่ระดับ 100% pot WHC ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมเฉลี่ยสูงกว่าการให้น้ำที่ระดับ 50% pot WHC คิดเป็น 26% และ 29% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่า ภายใต้สภาวะการทดลองนี้ ปัจจัยด้านระดับน้ำและการเสริมสารในทุกชุดการทดลอง ยังไม่ส่งผลกระทบต่อที่รุนแรงจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบอย่างชัดเจน พืชยังคงสามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอไว้ได้ในระดับที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านระดับน้ำที่ลดลงกลับส่งผลกระทบต่อเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ โดยทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์รวมลดลง จึงมีความเป็นไปได้ว่าคลอโรฟิลล์บีมีความไวต่อความเครียดการลดลงของระดับน้ำ (จาก 100% เป็น 50% pot WHC) มากกว่าคลอโรฟิลล์เอ ในระยะการเจริญเติบโตของต้นกล้า SW5720 อายุ 14 วันหลังปลูก

3. การแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำของใบ

จากการศึกษาการนำไหลของปากใบ อัตราการคายน้ำ และความต่างของความดันไอของใบต้นกล้า SW5720 อายุ 14 วันหลังปลูก พบว่าระดับการให้น้ำส่งผลต่อค่าการนำไหลของปากใบและอัตราการคายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำที่ระดับ 100% pot WHC ส่งผลให้ค่าการนำไหลของปากใบเฉลี่ย เท่ากับ $0.084 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ สูงกว่าการให้น้ำที่ระดับ 50% pot WHC ที่มีค่าการนำไหลของปากใบเฉลี่ย เท่ากับ $0.064 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ คิดเป็น 36% และการให้น้ำที่ระดับ 100% pot WHC มีอัตราการคายน้ำเฉลี่ย เท่ากับ $0.983 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ สูงกว่าการให้น้ำที่ระดับ 50% pot WHC ที่มีอัตราการคายน้ำเฉลี่ย เท่ากับ $0.778 \text{ mol/m}^2/\text{s}$ คิดเป็น 26% (ตารางที่ 5) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างระดับการให้น้ำและการใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือรวม RGeI ต่อค่าแรงดึงระเหยน้ำ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ใบของต้นกล้า SW5720 อายุ 14 วันหลังปลูก มีการตอบสนองต่อสภาวะเครียดจากการลดลงของระดับน้ำโดยการปิดปากใบ เพื่อรักษาแรงดันเต่งและลดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ ซึ่งกลไกการปิดปากใบดังกล่าวอาจมีส่วนช่วยลดโอกาสการเกิดความเสียหายต่อระบบแสง II สอดคล้องกับค่าอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ยังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

นอกจากนี้ การที่ค่าความต่างของความดันไอไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การลดลงของอัตราการคายน้ำนั้นมิสาเหตุมาจากปัจจัยภายในของพืช คือการควบคุมการปิดเปิดปากใบ มากกว่าอิทธิพลจากปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอก

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการใช้แสงและอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/รวม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน

Material (M)	Quantum efficiency in		M-MEAN	Electron transport rate		M-MEAN
	light			(mmol/m ² /s ¹)		
	50%	100%		50%	100%	
	pot WHC	pot WHC		pot WHC	pot WHC	
ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.711	0.716	0.713	23.25	23.29	23.27
Rgel	0.722	0.715	0.719	25.03	27.17	26.10
ZnSO ₄ 7H ₂ O+RGel	0.724	0.718	0.721	22.51	26.04	24.27
Control	0.724	0.716	0.720	23.54	23.67	23.61
WHC-MEAN	0.720	0.716		23.59	25.04	
F-test (WHC)		ns			ns	
F-test (M)		ns			ns	
F-test (WHC × M)		ns			ns	
MEAN		0.718			24.31	
CV(%)		0.647			7.76	

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี LSD

ตารางที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และรวม ในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 7 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ ร่วม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน

Material (M)	Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		M-MEAN	Chlorophyll <i>b</i> ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		M-MEAN	Total Chlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		M-MEAN
	50%	100%		50%	100%		50%	100%	
	pot WHC	pot WHC		pot WHC	pot WHC		pot WHC	pot WHC	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	26.3	25.6	25.9	8.7	8.2	8.4	35.0	33.7	34.4
RGel	26.6	29.1	27.8	8.9	9.5	9.2	35.5	38.6	37.0
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{RGel}$	21.8	23.3	22.6	7.3	7.7	7.5	29.2	31.0	30.1
Control	27.8	26.8	27.3	9.5	8.6	9.0	37.3	35.3	36.3
WHC-MEAN	25.6	26.2		8.6	8.5		34.2	34.7	
F-test (WHC)		ns			ns			ns	
F-test (M)		ns			ns			ns	
F-test (WHC $\times$ M)		ns			ns			ns	
MEAN		25.91			8.54			34.45	
CV(%)		21.97			19.8			21.4	

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น < 0.05) เมื่อทดสอบด้วยวิธี LSD

ตารางที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/ร่วม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน

Material (M)	Chlorophyll <i>a</i> (µg/cm ³)						M-MEAN
	50% pot WHC			100% pot WHC			
ZnSO ₄ 7H ₂ O	29.2	bc	B	38.9	a	A	34.1
Rgel	22.9	c	B	42.4	a	A	32.6
ZnSO ₄ 7H ₂ O+RGel	38.7	a	A	40.5	a	A	39.6
Control	33.7	ab	A	39.5	a	A	36.6
WHC-MEAN	31.1			40.3			
F-test (WHC)				**			
F-test (M)				ns			
F-test (WHC × M)				*			
MEAN				35.73			
CV(%)				14.09			

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี LSD แนวตั้ง (คอลัมน์) ค่าที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กเหมือนกัน ถือว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี LSD ที่ระดับ $p < 0.05$
 แนวนอน (แถว) ค่าที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่เหมือนกัน ถือว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี LSD ที่ระดับ $p < 0.05$

ตารางที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และรวม ในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/รวม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน

Material (M)	Chlorophyll <i>b</i> (µg/cm ³)				M-MEAN	Total Chlorophyll (µg/cm ³)				M-MEAN
	50%		100%			50%		100%		
	pot		pot			pot		pot		
	WHC		WHC			WHC		WHC		
ZnSO ₄ 7H ₂ O	8.9		11.4		10.2	38.2		50.3		44.2
Rgel	7.8		12.2		10.0	30.8		54.6		42.7
ZnSO ₄ 7H ₂ O+RGel	11.3		11.9		11.6	50.0		52.4		51.2
Control	9.5		11.7		10.6	43.2		51.2		47.2
WHC-MEAN	9.4	B	11.8	A		40.5	B	52.1	A	
F-test (WHC)			**					**		
F-test (M)			ns					ns		
F-test (WHC × M)			ns					ns		
MEAN			10.6					46.33		
CV(%)			10.54					13.23		

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี LSD ค่าเฉลี่ยในแต่ละแนวตั้ง (คอลัมน์) ที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่เหมือนกัน ถือว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ $p < 0.05$ หรือ $p < 0.01$ โดยวิธี LSD

ตารางที่ 5 การนำไหลของปากใบ อัตราการคายน้ำ และความต่างของความดันไอในใบของต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 5720 อายุ 14 วันหลังปลูก ภายใต้การใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/รวม RGel ที่ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในกระถางที่แตกต่างกัน

Material (M)	Stomatal conductance (mol/m ² /s ¹)		M-MEAN	Transpiration rate (mol/m ² /s ¹)		M-MEAN	Vapor pressure deficit (kPa)		M-MEAN	
	50%	100%		50%	100%		50%	100%		
	pot WHC	pot WHC		pot WHC	pot WHC		pot WHC	pot WHC		
ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.063	0.086	0.074	0.794	0.991	0.892	1.271	1.160	1.216	
Rgel	0.059	0.079	0.069	0.690	0.910	0.800	1.168	1.160	1.164	
ZnSO ₄ 7H ₂ O+RGel	0.067	0.088	0.078	0.803	1.068	0.935	1.206	1.224	1.215	
Control	0.069	0.085	0.077	0.827	0.965	0.896	1.190	1.149	1.169	
WHC-MEAN	0.064	B	0.084	A	0.778	B	0.983	A	1.209	1.173
F-test (WHC)		**			**				ns	
F-test (M)		ns			ns				ns	
F-test (WHC × M)		ns			ns				ns	
MEAN		0.0744			0.8809				1.19	
CV(%)		12.6			11.02				4.78	

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยวิธี LSD

ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวตั้ง (คอลัมน์) ที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่เหมือนกัน ถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ $p < 0.05$ หรือ $p < 0.01$ โดยวิธี LSD

สรุป

การศึกษาผลของการให้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ RGel ต่อต้นกล้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ SW5720 ภายใต้ระดับความชื้นดินที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ และ/หรือ/รวม RGel ทางดินไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อพารามิเตอร์การเจริญเติบโตและการแลกเปลี่ยนก๊าซเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสรีรวิทยาของต้นกล้าคือระดับการให้น้ำ ซึ่งในสถานะน้ำจำกัด (50% pot WHC) แม้พืชจะยังรักษาประสิทธิภาพการใช้แสงและอัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนไว้ได้ แต่พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์รวมลดลง 26% และ 29% ตามลำดับ โดยที่ระดับน้ำ 100% pot WHC ให้ค่าการนำไหลของปากใบ ($0.084 \text{ mol/m}^2/\text{s}$) และอัตราการคายน้ำ ($0.983 \text{ mol/m}^2/\text{s}$) สูงกว่ากลุ่มที่จำกัดน้ำอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็น 36% และ 26% ตามลำดับ ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่าในระยะต้นกล้า 14 วันหลังปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ SW5720 ตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความแห้งแล้งผ่านการลดลงของรงควัตถุและการปิดของปากใบเป็นหลัก โดยที่การเสริมสังกะสีและเจลดินรีไซเคิลในรูปแบบดังกล่าวในช่วงเวลาที่ศึกษายังไม่ปรากฏผลในการบรรเทาผลกระทบจากภาวะแล้งอย่างชัดเจน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

หนังสือ

Alloway, B.J. 2008. **Zinc in Soils and Crop Nutrition**. 2nd ed. International Zinc Association, Brussels.

Taiz, L., E. Zeiger, I.M. Møller and A. Murphy. 2015. **Plant Physiology and Development**. 6th ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

วารสารทางวิชาการ

Baker, N.R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology** 59: 89–113.

Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist** 146: 185–205.

Calvo, P., L. Nelson and J.W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil** 383: 3–41.

du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae** 196: 3–14.

Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development** 29: 185–212.

Flexas, J. and H. Medrano. 2002. Drought inhibition of photosynthesis in C3 plants. **Annals of Botany** 89: 183–189.

Li, S., Y. Zhang, J. Liu, et al. 2020. Zinc application improves drought tolerance of maize by enhancing photosynthesis and antioxidant defense. **Plant Physiology and Biochemistry** 153: 166–175.

Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany** 51: 659–668

บทความทางวิชาการที่เผยแพร่ทางเว็บไซต์

Food and Agriculture Organization (FAO). 2021. **World Food and Agriculture Statistical Yearbook**. แหล่งที่มา <https://www.fao.org>, 7 มีนาคม 2569

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	ฉันทันท์ แก้วไพศาล
วัน เดือน ปี เกิด	24 ตุลาคม พ.ศ. 2546
สถานที่เกิด	ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	ประถมศึกษา โรงเรียนเทพินทร์พิทยา มัธยมศึกษา โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-