

# บทบาทของซิลิกอนในการเสริมสร้างกลไกทางสรีรวิทยาที่เพิ่ม

## ความต้านทานโรคเชื้อราในอ้อย<sup>1/</sup>

### The Role of Silicon in Enhancing Physiological Mechanisms for Fungal

### Disease Resistance in Sugarcane<sup>1/</sup>

ผู้ทำสัมมนา

นายพิเชษฐ์ ผดุงเวียง<sup>2/</sup>

อาจารย์ที่ปรึกษา

3/

#### บทคัดย่อ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย แต่ประสบปัญหาโรคเชื้อราที่รุนแรง เช่น โรคเส้ดำ และโรคเหี่ยวเน่าแดง ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำตาล แนวทางการควบคุมด้วยสารเคมีและการปรับปรุงพันธุ์ยังมีข้อจำกัด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาแนวทางเสริมสร้างความต้านทานของพืช โดยเฉพาะการใช้ซิลิกอน (Si) จัดเป็นธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial element) ที่มีบทบาทสำคัญต่อการเสริมสร้างความแข็งแรงของพืชซึ่งเป็นธาตุเสริมประโยชน์ การให้ซิลิกอนในระดับที่เหมาะสมที่ความเข้มข้น 2 mM สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งความยาวใบ ความสูงต้น และการพัฒนาระบบราก โดยค่าความยาวราก พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก เส้นผ่านศูนย์กลางรากเฉลี่ย และความมีชีวิตของรากสูงกว่าชุดควบคุม ในขณะที่การให้ที่ระดับ 4 mM มีแนวโน้มยับยั้งการเจริญเติบโต สะท้อนความสำคัญของอัตราที่เหมาะสม สำหรับการต้านทานโรคเมื่อมีการเสริมซิลิกอนช่วยลดอัตราการเกิดโรคเส้ดำอย่างมีนัยสำคัญ โดยพันธุ์ ROC22 และ Badila ซึ่งเมื่อได้รับซิลิกอนในระดับ Sis10 และ Sis45 สามารถลดการเกิดโรคได้สูงสุดถึงร้อยละ 56.02 และ 100 ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่าปริมาณซิลิกอนที่สะสมในใบ ลำต้น และราก มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเกิดโรค แสดงให้เห็นว่าการสะสมซิลิกอนในเนื้อเยื่อพืชช่วยเสริมสร้างกลไกป้องกันเชิงโครงสร้างและเชิงสรีรวิทยา ส่งผลให้พืชมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้นาโนซิลิกอนยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและประสิทธิภาพของระบบแสงภายใต้ความเครียด ส่งผลให้พืชคงประสิทธิภาพทางสรีรวิทยาได้ดียิ่งขึ้น ซิลิกอนจึงเป็นแนวทางสำคัญในการจัดการโรคอ้อยอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** ซิลิกอน, อ้อย, ความต้านทานโรค, โรคในอ้อย

<sup>1/</sup>เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

<sup>2/</sup>นักศึกษาระดับปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<sup>3/</sup>อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

## 1. บทนำ

อ้อย (Sugarcane) *Saccharum officinarum* L. เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีพื้นที่เพาะปลูกกระจายอยู่ในหลายภูมิภาค และเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาลทรายที่ใช้บริโภคทุกวัน และ ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรวมถึงผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องในอุตสาหกรรมพลังงานชีวภาพ อาทิ เอทานอลและไฟฟ้า การเพิ่มผลผลิตอ้อยจึงเป็นเป้าหมายสำคัญของประเทศ โดยในปีการผลิต 2567/2568 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งสิ้นประมาณ 11,161,324 ไร่ ผลผลิตรวมคือ 106,461,312 ตัน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2568) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มผลผลิตอ้อยเพื่อให้ได้ทั้งคุณภาพและปริมาณจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันกำจัดโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคที่มีการเข้าทำลายจากเชื้อรา

เส้นใยเชื้อรา (Mycelium) จะเข้าทำลายตาอ้อยและแพร่กระจายผ่านเส้นใยระหว่างเซลล์ไปยังส่วนที่เหลือของลำต้น นอกจากนี้ เปลือกของลำต้นอ้อยยังมีความหนาและอุดมไปด้วยไข (wax) ทำให้สารเคมีทั่วไปไม่สามารถซึมผ่านเข้าสู่ลำต้นเพื่อฆ่าเชื้อก่อโรคได้ ส่งผลให้การควบคุมโรคไม่มีประสิทธิภาพ (Shen *et al.*, 2012) การปรับปรุงพันธุ์ต้านทานโรคเป็นวิธีหลักในการควบคุมโรคพืช อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความสามารถในการก่อโรคหรือความแตกต่างของสายพันธุ์ทางสรีรวิทยาและการที่อ้อยเป็นพืชที่มีโครโมโซมหลายชุด (allopolyploid) ซึ่งมีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่ซับซ้อนและวงจรการปรับปรุงพันธุ์ที่ยาวนาน ทำให้การปรับปรุงพันธุ์อ้อยให้ต้านทานโรคประสบความสำเร็จได้ยาก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องสร้างวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการจัดการโรคเชื้อรา

(Su *et al.*, 2016)

ซิลิกอน (Si) ได้รับการยอมรับว่าเป็นธาตุที่มีประโยชน์ (beneficial element) ต่อพืช โดยเฉพาะในพืชตระกูลหญ้าอย่างอ้อย ซิลิกอนไม่เพียงแต่ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงทางกายภาพผ่านการสะสมในผนังเซลล์ แต่ยังทำหน้าที่เป็นโมเลกุลส่งสัญญาณที่กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช แม้ในดินจะมีปริมาณซิลิกอนมาก แต่ซิลิกอนส่วนใหญ่ในดินไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงกับพืชได้ (Frew *et al.*, 2018) ที่สำคัญ ซิลิกอนแม้จะไม่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ก็มีหลักฐานว่าช่วยเพิ่มความทนทานของพืชหลายชนิดต่อความเครียด (Munir *et al.* 2023) การประยุกต์ใช้ในพืช เช่น ข้าว อ้อย ได้เพิ่มความต้านทานต่อโรคและแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการจัดการโรคเชื้อราในต้นกล้า (Pazdiora *et al.* 2022)

ดังนั้นในการทำสัมมนาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลการใช้ซิลิกอนในการเสริมสร้างกลไกทางสรีรวิทยาที่เพิ่มความต้านทานโรคเชื้อราในอ้อย

## 2. อ้อยและความสำคัญทางเศรษฐกิจ

อ้อย (Sugar cane) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Saccharum officinarum* L. วงศ์ Gramineae ถิ่นกำเนิดและการกระจายตัวอ้อยมีถิ่นกำเนิดในเอเชียใต้แถบประเทศอินเดีย/ตะวันออกเฉียงใต้ ในแถบเกาะนิวกินีเป็นพืชในเขตร้อนชื้น อ้อยยังเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญของประเทศไทย ใช้ผลิตน้ำตาล เอทานอล และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยประเทศไทยถือเป็นผู้ผลิตอันดับ 5 และส่งออกเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากบราซิล มีพื้นที่ปลูกอ้อยรวม 47 จังหวัด ทั่วประเทศ จำนวน 11,161,324 ไร่ ในช่วงฤดูกาลผลิตอ้อยปี 2567/2568 มีปริมาณอ้อยเข้าหีบทั้งหมด 106,461,312 ตัน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2568) ขณะที่ ความต้องการบริโภคภายในประเทศก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการของภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะ อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม น้ำอัดลม เครื่องดื่มชูกำลัง ขนมหวาน และเบเกอรี่ ซึ่งใช้น้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการน้ำตาลดิบในประเทศไทย อยู่ที่ ประมาณ 3.33 ล้านตันในปี 2566 และคาดว่าจะเติบโตอย่างต่อเนื่องถึงประมาณ 3.45 ล้านตันภายในปี 2571 โดยอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ประมาณ 0.75% จากปี 2566–2571 ซึ่งสะท้อนว่าความต้องการน้ำตาลของตลาดในประเทศยังคงสูง(สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2565)

อ้อยเป็นไม้ล้มลุก สูง 2-5 เมตร แตกกอแน่น ลำต้นสีม่วงแดงตั้งหรือมีโคนทอดเอน มีไขสีขาวปกคลุม ไม่แตกกิ่งก้าน ใบเดี่ยว เรียงสลับเป็น 2 แถว กว้าง 2.5-5 เซนติเมตร ยาว 0.5-1 เมตร ใบตั้งหรือทอดโค้ง ใบรูปใบหอกแกมรูปแถบขอบใบมีหนามเล็กๆหยาบ ดอกช่อ ออกที่ปลายยอด ช่อแยกแขนง รูปพีรามิด เปราะ ช่อดอกย่อยรูปใบหอกถึงรูปใบหอกแกมรูปขอบขนาน มีขนสีขาวปกคลุม ผลเป็นผลแบบผลธัญพืช แห้งและมีขนาดเล็ก (วันทนา, 2540)

### 2.1 โรคเชื้อราในอ้อยที่สำคัญ

โรคเส้ดำ เกิดจากเชื้อรา *Sporisorium scitamineum* ซึ่งจัดอยู่ใน class Basidiomycetes มี teliospore หรือ chlamydospore ลักษณะกลม (globose) จนถึงค่อนข้างกลม (subglobose) มีสีน้ำตาลอ่อน ถึงน้ำตาลเข้ม ขอบสีน้ำตาล ผิวมีหนามเล็กๆ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.2-10 ไมครอน ให้ promycelium ที่งอก ลักษณะเป็นแท่งปลายมน ขนาด 2.5-5 x 20-35 ไมครอน มีผนังแบ่งตามขวาง 2-4 เซลล์ แต่ละเซลล์สามารถงอกให้ basidiospore หรือ sporidia โดยงอกที่ปลายหรือด้านข้างเดี่ยว ๆ หรือเป็นกลุ่ม sporidia เป็นแท่งปลายมนรูปไข่ใสขนาด 2.0-3.0 x 7.6-13.5 ไมครอน และ promycelium มีการแตกหน่อ (budding) ให้ sporidia ได้อีก

## การเข้าทำลาย

Teliospores ที่ถูกสร้างขึ้นใน 1 แส้ จะมีประมาณ  $10^8$ - $10^9$  teliospores และจะถูกปล่อยให้ปลิวไปกับลม เมื่อตกลงบนตาข้างของอ้อย (lateral bud) จะงอกและแทงทะลุ (penetrate) เข้าไปในบริเวณส่วนฐานของตา และเข้าไปยังส่วนที่จะเจริญเติบโตหรือ meristematic region ในขณะที่ตายังอยู่ในระยะพัก เชื้อก็จะอยู่ในระยะพักเช่นกัน เมื่อตาพร้อมที่จะงอกเป็นลำต้นใหม่เชื้อก็จะเจริญเติบโตไปด้วย และท้ายสุดก็จะสร้างแสดำขึ้นในต้นที่ถูกเชื้อเข้าทำลาย จะพบว่า ไม่มีการยึดตัวของลำต้น การเข้าทำลายของเชื้ออาจเกิดขึ้นในดิน โดยเชื้อที่ตกค้างอยู่ในดินจะเข้าทำลายในส่วนของตาที่กำลังงอก แต่พบว่าประสิทธิภาพของการเข้าทำลายค่อนข้างต่ำ แม้ว่าจะเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอ พบว่ามีน้อยที่เข้าทำลายได้มากกว่า 10% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า teliospore มีอายุสั้นในดินและปัจจัยที่ทำให้การเข้าทำลายของเชื้อในดินหมดความสำคัญลงก็คือสภาพความชื้นที่มีอยู่สูง และ fungistatic compound ที่มีอยู่ในดิน (นิพนธ์, 2535)

โรคเหี่ยวเน่าแดง มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum falcatum* F.A. Went และ โดยปกติ *C. falcatum* ทำให้อ้อยเกิดอาการเน่าแดงที่ลำต้น และอาการเส้นกลางใบแดง ในสภาพธรรมชาติมักพบเชื้อรา *Fusarium moniliforme* ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการเหี่ยวร่วมเข้าทำลายด้วย จึงเรียกว่าโรคเหี่ยวเน่าแดง พบได้ในแหล่งปลูกอ้อยทั่วประเทศ มักพบการระบาดรุนแรงในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง สภาพดินที่มีน้ำขัง รวมทั้งการปลูกอ้อยพันธุ์เดิมติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการสะสมของโรค ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรา *C. falcatum* และ *F. moniliforme* สาเหตุโรคเหี่ยวเน่าแดงอ้อยและพบว่า *C. falcatum* เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ลำอ้อยเน่าได้รุนแรงและเร็วกว่า *Fusarium spp.* โดยที่เชื้อรา *C. falcatum* และ *Fusarium spp.* ต่างเข้าทำลายอ้อยร่วมกัน โดยไม่ส่งเสริมซึ่งกันและกัน และหากมีการเข้าทำลายของ *C. falcatum* ก่อนจะทำให้อาการเน่าในลำอ้อยลุกลามไปอย่างรวดเร็ว ก่อนที่จะได้รับเชื้อ *Fusarium spp.* ตามในภายหลัง และไม่มีผลต่อการลุกลามของ *C. falcatum* หากมีการเข้าทำลายของ *C. falcatum* และ *Fusarium spp.* พร้อมกันในจุดเดียวกัน ทั้งสองเชื้อจะหา infection site แล้วเจริญลุกลามไปคนละพื้นที่ของลำ แต่จะช้ากว่าลำที่ได้รับเชื้อรา *C. falcatum* ก่อน เนื่องจากมีการกีดขวางของ *Fusarium spp.* แต่หากมีการเข้าทำลายของ *Fusarium spp.* ก่อนจะทำให้ลำอ้อยเน่าช้าลงเนื่องจาก *Fusarium spp.* สามารถกีดขวางการลุกลามของ *C. falcatum* ถึงแม้ว่า *Fusarium spp.* จะมีความรุนแรงในการเข้าทำลายลำอ้อยได้น้อยกว่า

## ลักษณะอาการ

โรคเหี่ยวเน่าแดง ใบจะเป็นแผลจุดยาวสีน้ำตาลเข้มบนเส้นกลางใบด้านบน และเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าวมีขอบสีม่วง และมีจุดดำเล็กๆภายในแผล ซึ่งหากเชื้อเข้าทำลายเฉพาะที่ใบจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตและคุณภาพอ้อยส่วนอาการที่ลำอ้อยเปลือกนอกลำอ้อยจะเป็นรอยแผลสีน้ำตาล ยอดเหลือง ปล้องเหี่ยวเน่า ใบเหลือง ขอบใบแห้ง ลำต้นเน่าและยุบเป็นโพรง หากมีการระบาดของรุนแรงจะทำให้อ้อยยืนต้นแห้งตายทั้งแปลง ส่งผลให้ผลผลิตเสียหาย 30-100 เปอร์เซ็นต์และส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลลดลง 31-75 เปอร์เซ็นต์ อาการภายในลำอ้อยเมื่อผ่าตามยาวลำจะเห็น เนื้ออ้อยช้ำ เน่า มีสีแดง หากมีการเข้าทำลายของเชื้อรา *F.moniliforme* ร่วมด้วยจะทำให้เนื้อในอ้อยเป็นสีน้ำตาลปนม่วง สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเกิดโรค คือ มีฝนตก หมอก หรือน้ำค้างจัด อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เชื้อแพร่กระจายไปได้กับลม ฝน น้ำ แมลง ท่อนพันธุ์ และเมล็ด สปอร์ของเชื้อจะแพร่กระจายไปกับน้ำฝน โดย น้ำฝนจะชะล้างเชื้อลงดินทำให้เกิดการติดเชื้อมากับท่อนพันธุ์ที่ปลูกใหม่ได้ เชื้อสามารถมีชีวิตอยู่ในดินในเศษซากอ้อยและใบอ้อยที่อยู่ในแปลง เชื้อรา *C. falcatum* สามารถคงสภาพความมีชีวิตอยู่ในดินได้นาน 1-2 เดือน และเข้าทำลายอ้อยได้ทางรอยแผลที่เกิดจากการเข้าทำลายของหนอน รอยแผลแตกของลำต้น และช่องเปิดธรรมชาติ (อุไรวรรณ และคณะ, 2567)

## 3. ธาตุอาหารและบทบาททางสรีรวิทยา

ซิลิกอน เป็นธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial element) โดยร้อยละ 60 จะอยู่ในรูปของซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งพืชไม่สามารถดูดใช้ได้ ส่วนรูปกรดมอนอซิลิก (monosilicic acid) คือรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ซึ่งมีสูตรทางเคมี คือ  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  หรือ  $\text{Si}(\text{OH})_4$  แต่พบในดินปริมาณน้อยมาก ซิลิกอนช่วยเพิ่มความต้านทานโรคและแมลงในอ้อย ช่วยชักนำให้พืชดูดใช้น้ำไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมได้ดีขึ้น รวมทั้งทำให้พืชทนต่อภาวะความเครียดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะในสภาพที่ขาดแคลนน้ำ (Haynes, 2014) หากอ้อยได้รับซิลิกอนไม่เพียงพอจะเกิดจุดวงกลมสีขาวหรือเป็นกระบริเวณใบและมีความรุนแรงมากในใบแก่ ส่งผลให้อ้อยตอมมีการแตกกออ่อน การศึกษาผลของปุ๋ยซิลิกอนต่อการเกิดโรคราสนิมสีน้ำตาล (Camargo *et al.* 2013) ได้ทำการทดลองหลายครั้งเป็นเวลาสามปีกับอ้อยที่ปลูกในกระถางและได้รับปุ๋ยซิลิกอนสี่ระดับ

(0, 185, 370, 555 กก.ต่อเฮกตาร์) ในดินสามประเภทที่แตกต่างกัน พบว่า การเกิดโรคราสนิมสีน้ำตาล ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของซิลิกอนในใบเพิ่มขึ้นในดินทุกประเภท ซึ่งบ่งชี้ถึงบทบาทสำคัญของการใส่ปุ๋ยซิลิกอนในการจัดการโรคราสนิมสีน้ำตาลในอ้อย

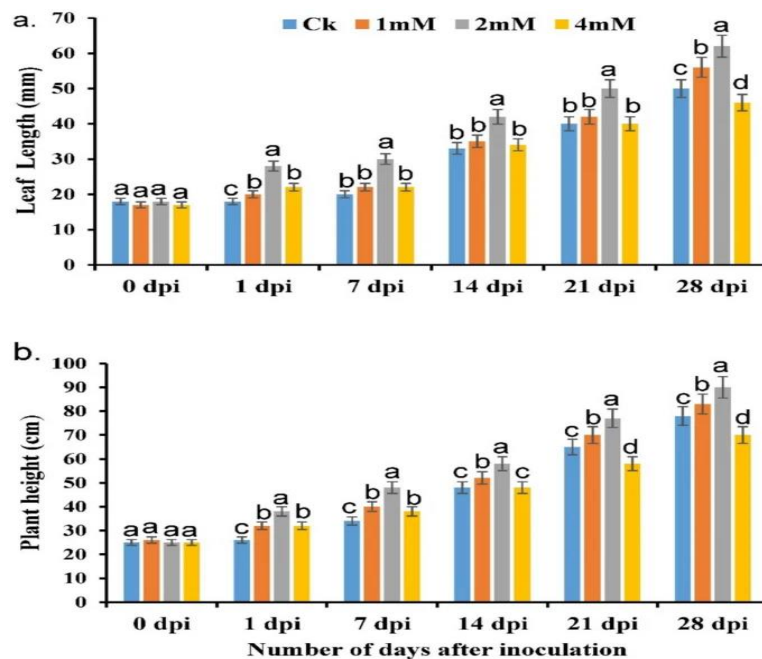
#### 4. การเสริมสร้างกลไกความต้านทานของอ้อยต่อการเกิดโรค

ธาตุซิลิกอน (Silicon) แม้จะไม่จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็น แต่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงของพืชและเสริมสร้างความต้านทานต่อโรคที่เกิดจากเชื้อรา งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่าการให้ซิลิกอนสามารถลดความรุนแรงของโรคพืชได้อย่างมีนัยสำคัญ (Epstein, 1999; Datnoff *et al.*, 2001) เมื่ออ้อยดูดซึมซิลิกอนในรูปของกรดซิลิซิก ( $H_4SiO_4$ ) ซิลิกอนจะถูกลำเลียงไปสะสมในผนังเซลล์และชั้นคิวติเคิลของใบและลำต้นในรูปของซิลิกา ส่งผลให้ผนังเซลล์มีความหนาและแข็งแรงมากขึ้น ทำให้เชื้อราสาเหตุโรคไม่สามารถเจาะผ่านเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ง่าย กลไกดังกล่าวถือเป็นการป้องกันเชิงกายภาพที่สำคัญของพืช (Ma & Yamaji, 2006; Epstein, 1999) นอกจากนี้การทำหน้าที่เป็นเกราะกั้นทางกายภาพแล้ว ซิลิกอนยังมีบทบาทในการกระตุ้นระบบป้องกันทางสรีรวิทยาของพืช โดยช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานโรค เช่น peroxidase, polyphenol oxidase, chitinase และ  $\beta$ -1,3-glucanase ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีบทบาทในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและลดการแพร่กระจายของเชื้อภายในเนื้อเยื่อพืช (Rodrigues *et al.*, 2003) การได้รับซิลิกอนยังส่งผลให้อ้อยมีการสะสมสารประกอบฟีนอลิกและลิกนินเพิ่มขึ้น สารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและช่วยเสริมความแข็งแรงของผนังเซลล์ ทำให้พืชสามารถจำกัดการลุกลามของโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยของ Fawe *et al.* (1998) รายงานว่าซิลิกอนมีส่วนช่วยกระตุ้นการสร้างสาร phytoalexins และสารต้านเชื้อราในพืช ส่งผลให้ความรุนแรงของโรคลดลง

#### 5. ผลของการใช้ซิลิกอนต่อความต้านทานโรคเชื้อราในอ้อย

Luo *et al.* (2025) ได้ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นซิลิกอนที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาระบบรากของต้นกล้าอ้อยพันธุ์ ROC22 ภายใต้สภาวะความเครียดจากเชื้อรา *Nigrospora oryzae* วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 กรรมวิธี ประกอบด้วย ชุดควบคุมที่ไม่ได้รับซิลิกอน (0 mM), กรรมวิธีที่ 2 ให้สารละลายซิลิกอนความเข้มข้น 1 mM, กรรมวิธีที่ 3 ให้สารละลายซิลิกอนความเข้มข้น 2 mM และกรรมวิธีที่ 4 ให้สารละลายซิลิกอนความเข้มข้น 4 mM โดยใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกต ( $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ ) เป็นแหล่งของซิลิกอน และทำการปลูกเชื้อรา *N. oryzae* ความเข้มข้น  $1 \times 10^5$  สปอร์ต่อมิลลิลิตร เมื่อต้นกล้าเจริญเติบโตถึงระยะ 3-4 ใบ การศึกษาพบว่าการจัดการความเข้มข้นของซิลิกอนส่งผลต่อพลวัตการเจริญเติบโตและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของใบ ลำต้น และรากอย่างมีนัยสำคัญ โดยจากการวัดความยาวใบ และความสูงต้น ที่ใช้ซิลิกอนที่ระดับความเข้มข้น Ck (ชุดควบคุม) , 1mM , 2mM , 4mM ที่ระยะเวลา 1วัน , 7วัน , 14วัน , 21วัน , 28 วัน จะเห็นได้ว่าทุกช่วงเวลาอ้อยที่ได้รับซิลิกอนที่ระดับความเข้มข้น 2mM วัดค่า

ความยาวใบและความสูงต้นมากที่สุด รองลงมาคือระดับความเข้มข้น 1mM ระดับความเข้มข้น Ck (ชุดควบคุม) และน้อยที่สุดคือระดับความเข้มข้น 4mM ซึ่งมีปัจจัยมาจากการได้รับปริมาณซิลิกอนที่มากเกินไปความต้องการของอ้อยส่งผลการยับยั้งการเติบโตทางใบและลำต้น ) การเสริมสร้างเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของซิลิกอนระดับปานกลางอาจมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) ภายใต้สภาวะความเครียดจากเชื้อก่อโรค (ภาพที่ 1)

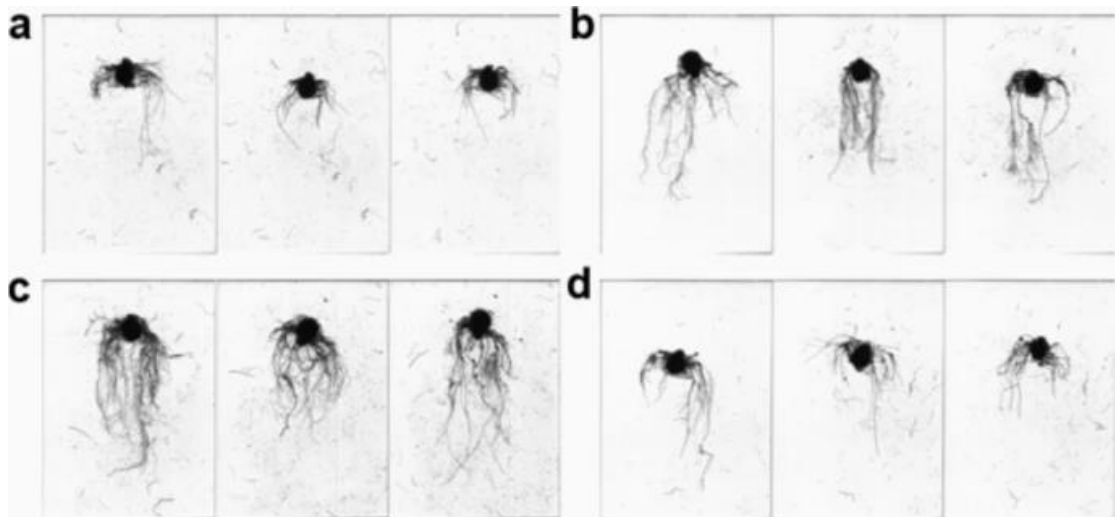


ที่มา: Luo *et al.* (2025)

ภาพที่ 1 ผลของการให้ซิลิกอนต่อความสูงของพืชและความยาวใบของต้นกล้าอ้อยที่ได้รับการปลูกเชื้อ *Nigrospora oryzae* ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟสำหรับแต่ละชุดควบคุมในแต่ละวันหลังการปลูกเชื้อบ่งชี้ถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (n = 10; p < 0.05) โดยใช้การทดสอบ Tukey / dpi วันหลังการปลูกเชื้อ / Ck กลุ่มควบคุม (0 mM Si), 1 mM (1 mM Si), 2 mM (2 mM Si), 4 mM (4 mM Si)

ผลกระทบของซิลิกอนต่อการพัฒนาราก เมื่ออ้อยได้รับซิลิกอนที่ระดับความเข้มข้น Ck (ชุดควบคุม), 1mM, 2mM, 4mM ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละระบบความเข้มข้น ภาพ A คือรากที่ได้รับซิลิกอน 0mM จะเห็นได้ว่ารากอ้อยไม่มีการตอบสนอง ภาพ B รากอ้อยได้รับซิลิกอน 1mM ระบบรากเริ่มมีการตอบสนองอย่างชัดเจนกว่าชุดควบคุมรากมีความยาวมากขึ้นและเริ่มหนาแน่นเพิ่มขึ้น ภาพ C รากอ้อยได้รับซิลิกอน 2mM ระบบรากสมบูรณ์ที่สุดอย่างชัดเจนเมื่อ

เทียบกับระดับความเข้มข้นต่างๆ ระบบรากยาว มีความหนาแน่นของรากสูงมาก แสดงให้เห็นว่าอ้อยที่ได้รับซิลิกอน ในปริมาณ 2mM เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยในการพัฒนาระบบราก ภาพ D รากอ้อยได้รับซิลิกอน 4mM กลับพบว่าระบบราก แ่ลง เมื่อเทียบกับความเข้มข้น 2 mM รากดูบางลงและสั้นลง แสดงให้เห็นว่าการได้รับซิลิกอนมากเกินไป (Overdosage) อาจส่งผลยับยั้งการเติบโตหรือเป็นพิษต่อรากได้ (ภาพที่ 2)



ที่มา: Luo et al. (2025)

ภาพที่ 2 ผลของการให้ซิลิกอนต่อรากอ้อยที่ได้รับการปลูกเชื้อ *Nigrospora oryzae*

หมายเหตุ: a คือกรรมวิธีของชุดควบคุม (CK); b คือกรรมวิธีซิลิกอน 1 mM; c คือกรรมวิธีซิลิกอน 2 mM; d คือกรรมวิธีซิลิกอน 4 mM (จำนวนซ้ำทางชีวภาพสามซ้ำต่อกลุ่ม) เครื่องสแกน: EPSON Expression 12000 XL. มาตรฐาน: 1 ซม. = 1 ซม

ผลกระทบของซิลิกอน ต่อการเจริญเติบโตของรากอ้อย ชี้ให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้น 2 mM คือปริมาณที่เหมาะสม โดยสามารถกระตุ้นให้ ความยาวราก , พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลให้พืชมีระบบรากที่แข็งแรงและแตกแขนงสมบูรณ์กว่าชุดควบคุมและกรรมวิธี ที่ได้รับซิลิกอนมากเกินไป 4 mM ซึ่งกลับแสดงอาการยับยั้งการเติบโต (ตารางที่1)

ตารางที่ 1 แสดงผลกระทบของ Si ต่อการเจริญเติบโตของรากอ้อย

กรรมวิธี (mM)	ความยาวราก (cm)	พื้นที่ผิวราก (cm <sup>2</sup> )	ปริมาตรราก (cm <sup>3</sup> )	เส้นผ่าศูนย์กลาง รากเฉลี่ย (cm)	ความมีชีวิต ของราก (U)
CK	652.88±28.14c	106.83±3.59b	1.39±0.034b	0.49±0.033c	27.24±1.87c
1 mM	837.34±54.22b	137.95±3.12b	1.765±0.005b	0.55±0.030ab	32.16±0.84b
2 mM	1226.53±82.55a	206.77±22.91a	3.51±0.51a	0.57±0.011a	36.42±1.52a
4 mM	545.56±45.70c	122.72±36.77b	1.76±0.53b	0.52±0.011bc	22.98±2.83d

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันบ่งชี้ถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกรรมวิธีโดยใช้การทดสอบ Tukey ( $p \leq 0.05$ ) /  $\pm$  ส่วนความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ที่มา: Luo *et al.* (2025)

Deng *et al.* (2020) ได้ศึกษากลไกทางสรีรวิทยาของการปรับปรุงความต้านทานโรคแฉ่ำดำในอ้อยผ่านการใช้ซิลิกอน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ในอ้อย 2 สายพันธุ์ที่มีความอ่อนแอต่อโรค (ROC22 และ Badila) โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ปี: ปี 2016 ในพันธุ์ ROC22 ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ชุดควบคุม (0 g), การใช้ซิลิกอน 5 g และ 10 g ต่อกระถาง และปี 2017 ในพันธุ์ Badila ประกอบด้วย 4 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ชุดควบคุม (0 g), การใช้ซิลิกอน 15 g, 30 g และ 45 g ต่อกระถาง ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

การจัดการปุ๋ยซิลิกอนที่ระดับความเข้มข้นต่างกันส่งผลต่ออัตราการเกิดโรคและระยะฟักตัวของโรคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยในตารางแสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่ได้รับซิลิกอนปริมาณสูง Si10 ในพันธุ์ ROC22 และ Si45 ในพันธุ์ Badila มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคต่ำที่สุดและแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในทรีตเมนต์ Si45 ของพันธุ์ Badila สามารถลดการเกิดโรคได้ 100% ซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลในภาพที่ 3 ที่พบความสัมพันธ์เชิงลบ (Negative correlation) อย่างมีนัยสำคัญสูงระหว่างปริมาณซิลิกอนสะสมในลำต้นกับอัตราการเกิดของโรค ( $r = -0.8939^{**}$  และ  $r = -0.7756^{**}$ ) ซึ่งยืนยันว่าระดับซิลิกอนในลำต้นเป็นปัจจัยสำคัญทางสถิติในการกำหนดความต้านทานโรค (ตารางที่2)

ตารางที่ 2 ผลของซิลิกอนต่อระยะเวลาการเกิดโรค อัตราการเกิดโรค และผลการควบคุมโรคภายใต้สภาวะความเครียดจาก *Sparisonum scitamineum*

การทดลอง	พันธุ์ปลูก	กรรมวิธี	ระยะเวลาพัก ตัวของโรค (วัน)	อัตราการเกิด ของโรค (%)	ผลการควบคุม (%)
2016	ROC22	CK1	71	40.64±2.03a	0a
		Sis5	71	29.07±5.52ab	29.26±10.15b
		Sis10	78	18.06±3.67b	56.02±7.22c
2017	Badila	CK2	60	46.67±3.33a	0a
		Sis15	67	18.92±1.07b	55.56±13.87b
		Sis30	74	15.00±7.64b	70.00±15027cb
		Sis45	∞	0c	100.00c

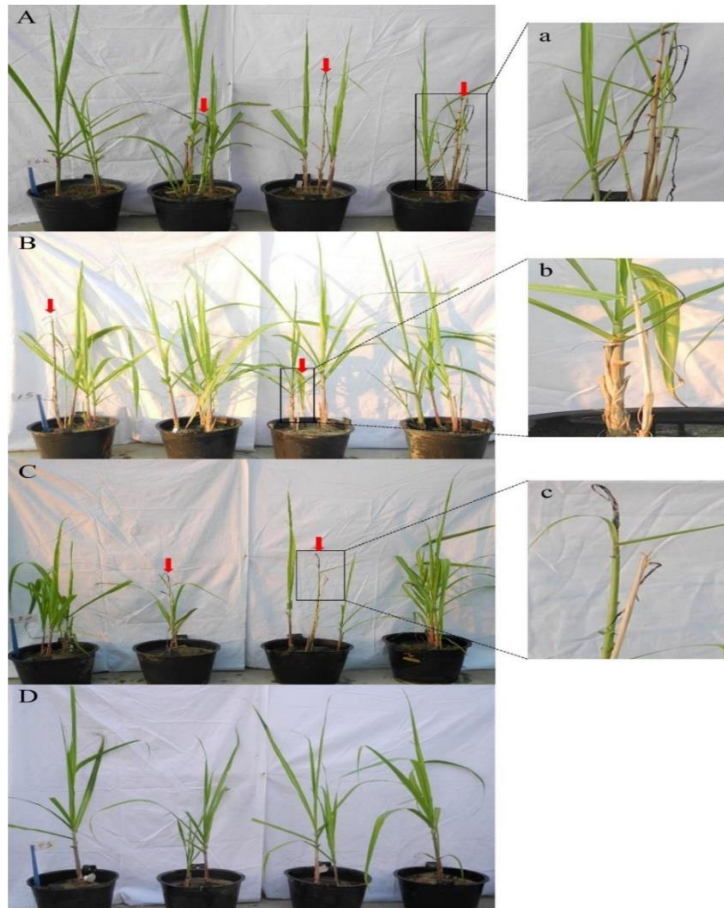
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันบ่งชี้ถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

CK1 = ไม่ใส่ Esi, Sis5 = ใส่ Esi 5 กรัมต่อบาร์เรล, Sis10 = ใส่ Esi 10 กรัมต่อบาร์เรล, CK2 = ไม่ใส่ Esi, Sis15 = ใส่ Esi 15 กรัมต่อบาร์เรล, Sis30 = ใส่ Esi 30 กรัมต่อบาร์เรล, Sis45 = ใส่ Esi 45 กรัมต่อบาร์เรล, ∞หมายความว่า ในชุด Sis45 ไม่พบการเกิด smut whip

ที่มา: Deng *et al.* (2020)

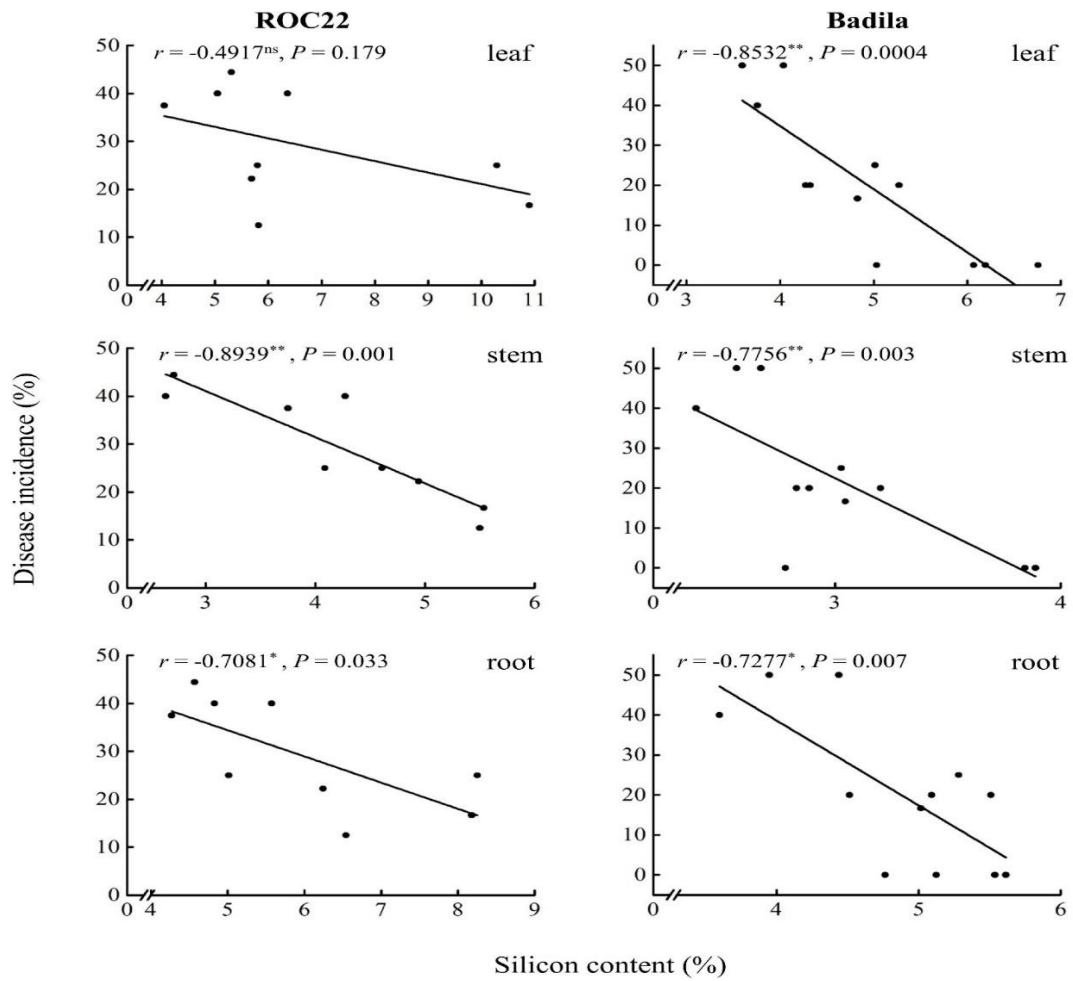
ผลการทดสอบซิลิกอนในอ้อยพบว่าในปี 2016 อัตราสูงสุดของการเกิดโรคเส้ดำอ้อยคือกลุ่ม CK1 (ร้อยละ 40.64) และต่ำสุดคือกลุ่ม Sis10 (ร้อยละ 18.06) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) อัตราการเกิดโรคเส้ดำของกลุ่ม Sis15, Sis30 และ Sis45 ต่ำกว่าของกลุ่ม CK2 อย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ); โดยในการทดลองปี 2017 พบอัตราการเกิดโรคสูงสุดในกลุ่ม CK2 (ร้อยละ 46.67) ต่ำสุดในกลุ่ม Sis45 (0) และอัตราของกลุ่ม Sis15 และ Sis30 คือร้อยละ 18.92 และ 15.0 ตามลำดับ (ภาพที่ 3) และปริมาณซิลิกอนในใบ ลำต้น และรากของอ้อยพันธุ์ ROC22 และ Badila มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการเกิดของโรคเส้ดำ ความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณซิลิกอนในลำต้นกับอัตราการเกิดของโรคเส้ดำอ้อยนั้นมีนัยสำคัญสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในทั้งสองสายพันธุ์ ในพันธุ์ ROC22 ยังมีปริมาณซิลิกอนในลำต้นและรากสูง การเกิดโรคเส้ดำก็ยิ่งต่ำลง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients) เท่ากับ  $-0.8939^{**}$  และ  $-0.7081^*$  ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณซิลิกอนในใบและอัตราการเกิดของโรคเส้ดำอ้อยแสดงความสัมพันธ์เชิงลบที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ( $r = -0.4971$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ซิลิกอนสามารถลดอัตราการเกิดโรคเส้ดำในพันธุ์ ROC22 และในพันธุ์ Badila ยิ่งปริมาณซิลิกอนใน

ใบ ลำต้น และรากสูง อัตราการเกิดของโรคเส้ด้าอ้อยก็ยิ่งต่ำลง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ  $-0.8532^{**}$ ,  $-0.7756^{**}$  และ  $-0.7277^*$  ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ว่าการให้ซิลิกอนสามารถลดอัตราการเกิดโรคเส้ด้าในพันธุ์ Badila ได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) และยิ่งปริมาณซิลิกอนในใบและลำต้นสูง ความต้านทานต่อโรคเส้ด้าก็ยิ่งมีนัยสำคัญมากขึ้น(ภาพที่ 4)



ที่มา: Deng *et al.* (2020)

**ภาพที่ 3** ผลของการใช้ซิลิกอนต่อการเกิดโรคเส้ด้าในอ้อยพันธุ์ Badila (A) CK2 ไม่มีการใส่ซิลิกอนจากภายนอก (ESi) (B) Sis15 ใส่ ESi 15 กรัมต่อกระถาง (C) Sis30 ใส่ ESi 30 กรัมต่อกระถาง (D) Sis45 ใส่ ESi 45 กรัมต่อกระถาง (a,b,c): ภาพขยายของบริเวณที่เกิดโรคเส้ด้าเฉพาะที่สำคัญ (A-C) ลูกศรสีแดงชี้ไปยังบริเวณที่เกิดโรคเส้ด้า



ที่มา: Deng *et al.* (2020)

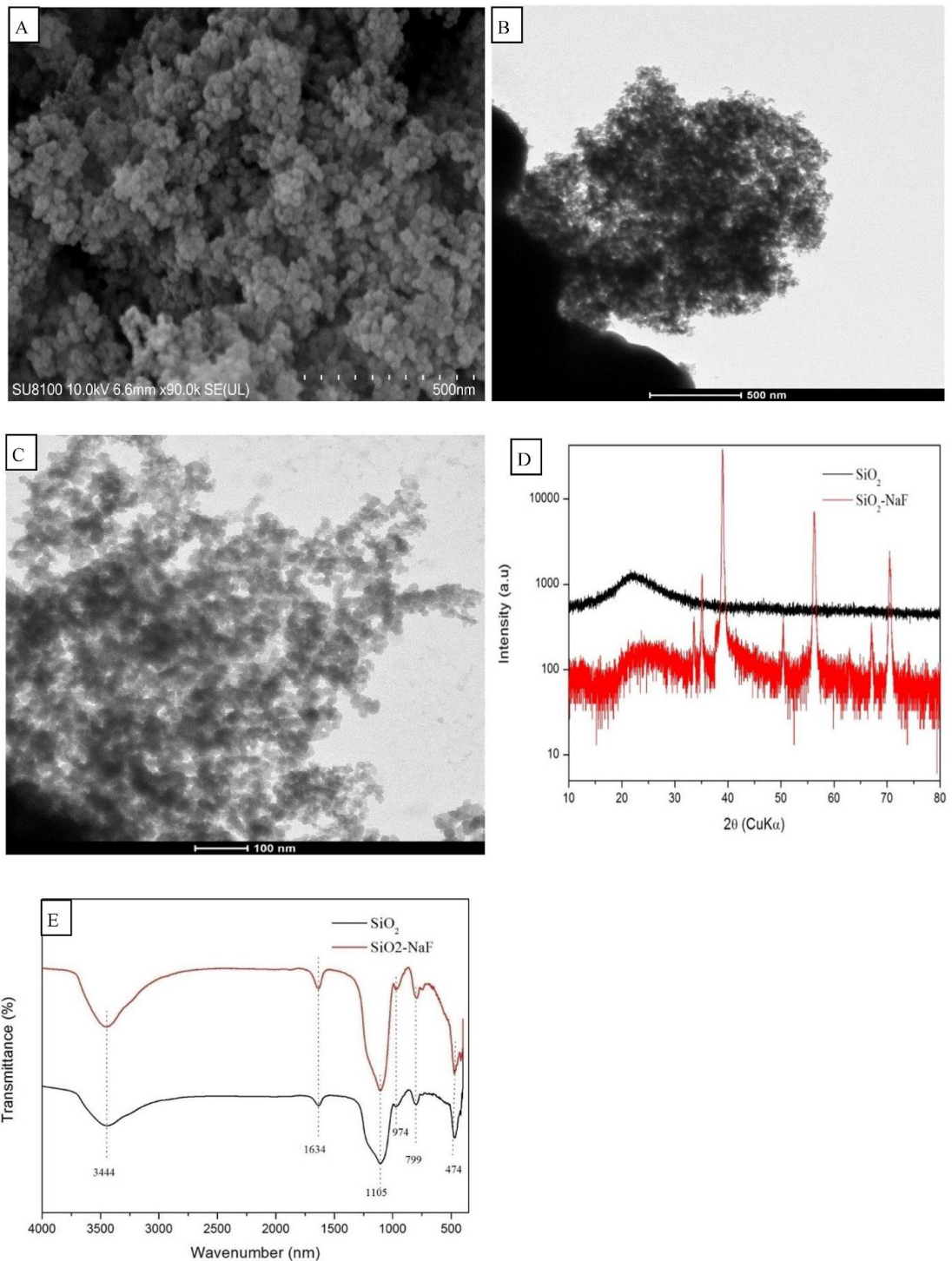
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิกอนในใบ ลำต้น และรากของอ้อยกับการเกิดโรคเส้ดำ

ระดับความสัมพันธ์: ns, ไม่มีนัยสำคัญ; \* $\leq 0.05$  และ \*\* $\leq 0.01$  r, ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

P, ค่า P

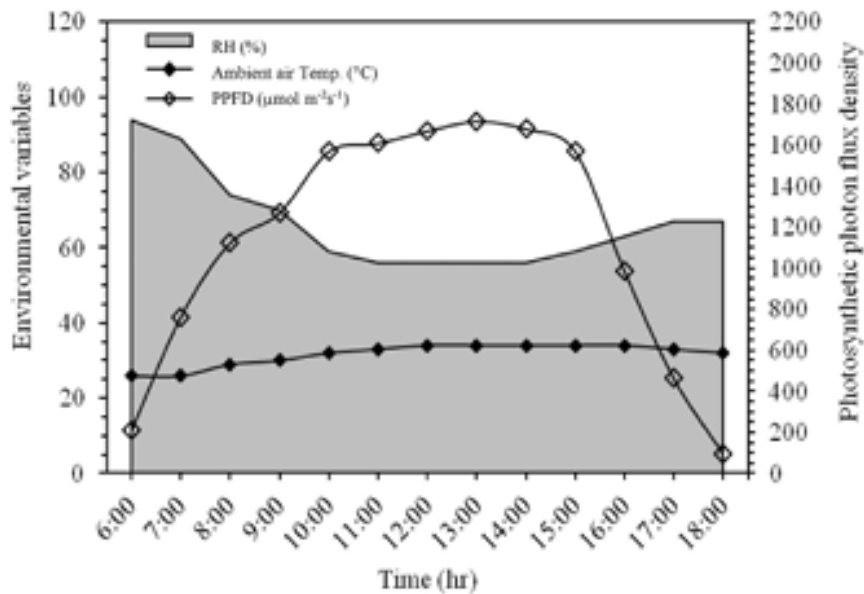
Verma *et al.* (2023) ได้ศึกษาบทบาทของอนุภาคนาโนซิลิกอน (Si NPs) จากความเครียดของฟลูออไรด์ (F) ผ่านการปรับปรุงประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อย วางแผนการทดลองแบบ (RCBD) จำนวน 5 ซ้ำ ในระบบการปลูกแบบดิน (soil culture medium) โดยใช้ต้นกล้าอ้อยพันธุ์ GT44 อายุ 45 วัน มี 4 กรรมวิธี ประกอบด้วย การให้อนุภาคนาโนซิลิกอนความเข้มข้น 0, 100, 200 และ 500 ppm ร่วมกับการรดด้วยน้ำที่ปนเปื้อนสารฟลูออไรด์จากการศึกษาพบว่า การใช้อนุภาคนาโนซิลิกอนส่งผลต่อการปรับปรุงกระบวนการทางสรีรวิทยาของอ้อยภายใต้สภาวะความเครียดจากฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบในรอบวัน ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0-29.0, การนำก๊าซของปากใบ (stomatal conductance) เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0-90.0 และอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5-43.0 นอกจากนี้ยังพบว่า SiNPs ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางโฟโตเคมีของการเรืองแสงคลอโรฟิลล์ในระบบแสงที่ 2 (PS II) และปริมาณเม็ดสีสังเคราะห์แสง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิลิกอนมีประสิทธิภาพสูงในการบรรเทาความเป็นพิษของฟลูออไรด์และรักษาระดับการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยไว้ได้

การยืนยันคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนซิลิกอน (SiNPs: ความบริสุทธิ์ 99%, ขนาดอนุภาค 15 nm, พื้นที่ผิว  $300 \pm 50 \text{ m}^2/\text{g}$ ) การตรวจสอบลักษณะเฉพาะ (ภาพที่ 5A-5C) ยืนยันโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, Hitachi, ประเทศญี่ปุ่น) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM, JEOL, JEM-1230) รูปแบบการเบี่ยงเบนของรังสีเอกซ์ดำเนินการบนเครื่องวัดการเบี่ยงเบน Rigaku D/max-2200 PC (40 KV/40 mA) โดยใช้รังสี ( $\text{CuK } \alpha_1$ ) ความยาวคลื่น 1.54 Å ในบริเวณมุมกว้างตั้งแต่ 20 ถึง 80 บนสเกล  $2\theta$  (ภาพที่ 5D) มีการใช้เทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (Bruker Tensor-27) เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติบริเวณส่วนต่อประสาน (interfacial properties) ของ Si NPs (ภาพที่ 5E) และการเก็บข้อมูลสถิติสภาพภูมิอากาศรายวัน (06:00-18:00 น.) ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง เพื่อใช้เป็นตัวแปรควบคุม (Control variables) การบันทึกข้อมูลส่วนนี้ช่วยลดความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ทำให้สามารถแยกแยะผลกระทบของสภาพอากาศตามธรรมชาติ ออกจากผลลัพธ์ทางสรีรวิทยาที่เกิดจากความเครียดฟลูออไรด์และการได้รับ Si NPs (ภาพที่ 6)



ที่มา: Verma *et al.* (2023)

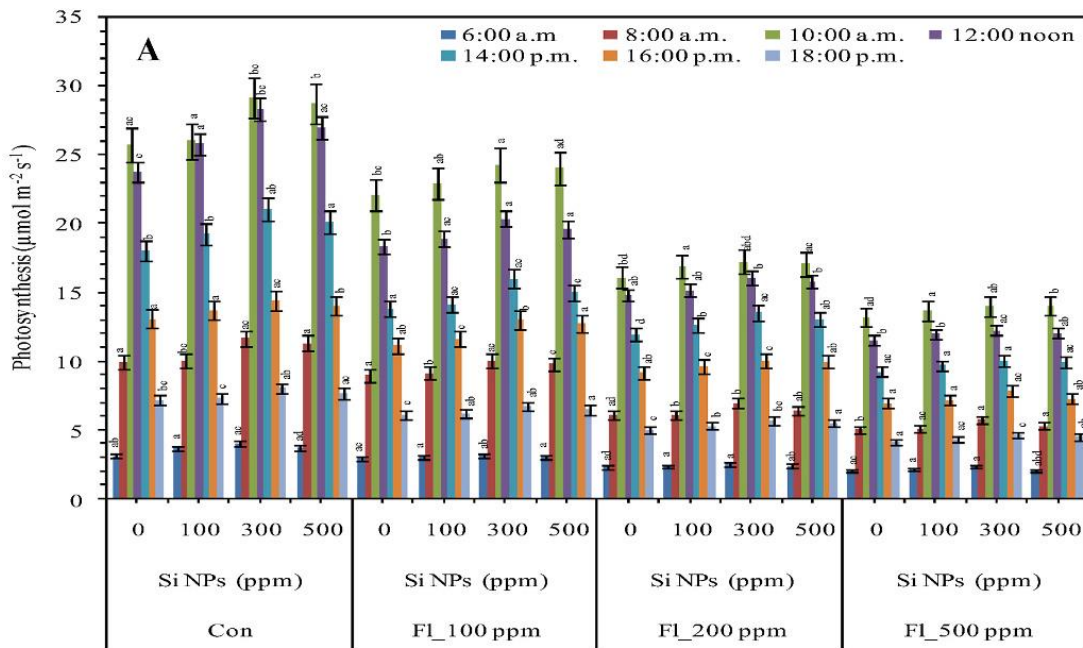
ภาพที่ 5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนซิลิกอนด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ภาพถ่าย SEM (A), ภาพถ่าย TEM (B), ภาพถ่าย TEM ของ SiNPs หลังการล้างด้วยฟลูออไรด์ (C), รูปแบบ XRD (D) และสเปกโทรสโกปี FTIR (E)



ที่มา: Verma *et al.* (2023)

ภาพที่ 6 ตัวแปรสภาพภูมิอากาศรายวันในช่วงการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบในกระบวนการสังเคราะห์แสง

อัตราการสังเคราะห์แสง ( $P_N$ ) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยค่าจะสูงที่สุดในช่วงประมาณ 10:00–12:00 น. และลดลงในช่วง 16:00–18:00 น. ชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย  $P_N$  สูงกว่าทุกกลุ่มที่ได้รับฟลูออไรด์ (F) สะท้อนผลยับยั้งของ F ต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงอย่างชัดเจน และเมื่อความเข้มข้นของ F เพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 200 และ 500 ppm ค่า  $P_N$  ลดลงแบบแปรผันตามขนาดความเข้มข้น (dose-dependent effect) อย่างไรก็ตาม การพ่นซิลิกอนนาโนพาร์ติเคิลส์ (Si NPs) ที่ระดับ 100–500 ppm สามารถเพิ่มค่า  $P_N$  ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่พ่น Si NPs ภายใต้ระดับ F เดียวกัน แสดงถึงบทบาทในการลดความเครียดจาก F แม้ที่ความเข้มข้น F สูงสุด (500 ppm) ค่า  $P_N$  จะยังต่ำกว่าชุดควบคุม แต่การใช้ Si NPs ช่วยฟื้นฟูประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้บางส่วน ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ค่อนข้างต่ำ บ่งชี้ถึงความสม่ำเสมอของข้อมูลทดลอง ( $n=5$ ) (ภาพที่ 7)



ที่มา: Verma *et al.* (2023)

ภาพที่ 7 ผลของการใช้สารนาโนอนุภาคซิลิกอนและฟลูออไรด์ทางใบต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบในกระบวนการสังเคราะห์แสง ( $P_N$ )

## 6. สรุป

อ้อยที่ได้รับซิลิกอนที่ความเข้มข้น 2 mM ส่งผลให้ความยาวใบ, ความสูงต้นอ้อย, ความยาวราก, พื้นที่ผิวราก, ปริมาตรราก, เส้นผ่าศูนย์กลางรากเฉลี่ยและควมมีชีวิตของรากมีค่ามากที่สุด ผลของซิลิกอนต่ออัตราการเกิดโรค และผลการควบคุมโรคภายใต้สภาวะความเครียดจาก *Sparisonum scitamineum* ในปี 2016 ส่งผลให้พันธุ์ ROC22 ที่กรรมวิธี Sis10 อัตราการเกิดโรคน้อยที่สุด 18.06% และเปอร์เซ็นต์การควบคุมมากที่สุดถึง 56.02% ต่อมาในปี 2017 พันธุ์ Badila ที่กรรมวิธี Sis45 พบอัตราการเกิดโรคน้อยที่สุด 0% และเปอร์เซ็นต์การควบคุมมากที่สุดถึง 100% อ้อยที่ได้รับอนุภาคนาโนซิลิกอนส่งผลทางสรีรวิทยาของอ้อยภายใต้สภาวะความเครียดจากฟลูออไรด์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวัน มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0-29.0, การนำก๊าซของปากใบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0-90.0 และอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5-43.0 Si NPs ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสังเคราะห์แสงในระบบแสงที่ 2 (PS II) ปริมาณเม็ดสีสังเคราะห์แสง และอัตราการสังเคราะห์แสง ( $P_N$ ) ได้ดีกว่าการไม่ใส่ Si NPs

## 7. เอกสารอ้างอิง

- นิพนธ์ เอี่ยมสกุลฤทธิ. 2535. โรคเส้ดำในอ้อยและวิธีป้องกันกำจัด. วารสารวิชาการเกษตร, 10, 121-125.
- วันทนา ตั้งเปรมศรี, เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง และธงชัย ตั้งเปรมศรี. 2540. อ้อยค้ำน้ำสุพรรณบุรี50. วารสารวิชาการเกษตร. 15(1): 66-73.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย.2565.รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2562/63. แหล่งที่มา: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-1854.pdf>. สืบค้นเมื่อ วันที่ 1 มกราคม 2569.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย.2565.รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2567/68. แหล่งที่มา: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-1854.pdf>. สืบค้นเมื่อ วันที่ 20 ธันวาคม 2568
- อุไรวรรณ พงษ์พยัคฆ์เลิศ, อนุวัฒน์ จันทสุวรรณ, และพัฒนา วานิชย์. (2567). การทดสอบระดับความรุนแรงของเชื้อรา *Colletotrichum falcatum* และ *Fusarium moniliforme* สาเหตุของโรคเหี่ยวเน่าแดงอ้อยในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี. ใน เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 (หน้า 156-164). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- Camargo, M.S., Amorim, L. and Gomes Júnior, A.R. 2013. Silicon fertilisation decreases brown rust incidence in sugarcane. Crop Protection. 53: 72-79.
- Datnoff, L. E., Snyder, G. H. and Korndörfer, G. H. 2001. Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier Science.
- Deng, Q., Wu, J., Chen, J., & Shen, W. (2020). Physiological mechanisms of improved smut resistance in sugarcane through application of silicon. Frontiers in Plant Science, 11, 568130.
- Epstein, E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50, 641-664.
- Fawe, A., Abou-Zaid, M., Menzies, J. G. and Bélanger, R. R. 1998. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. Phytopathology, 88, 396-401.
- Frew, A., Weston, L. A., Reynolds, O. L., & Gurr, G. M. (2018). The role of silicon in plant biology: A paradigm shift in research approach. Annals of Botany, 121(7), 1265-1273.

- Haynes, R.J. 2014. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177: 831-834.
- Luo, H., Abubakar, A. Y., Lu, Q., Abdulaziz, S., Ibrahim, M. M., Fallah, N., & Chen, P. (2025). Silicon modulation of sugarcane seedling growth and disease resistance against *Nigrospora oryzae*: A transcriptomic and metabolomic approach. *Planta*, 261, 121.
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11(8), 392–397.
- Munir FDA, Sulaiman Z, Ahmad K, Samad MYA, Ariffin MR, Salisu MA (2023) A comprehensive review on the potential effect of silicon fertilizer and its significance for agriculture. *ICRRD Quality Index Res J*.
- Pazdiora PC, Crizel RL, da Rosa DK, da Silva SM, Morello TN, Chaves FC, Dallagnol LJ (2022) Silicon amendment improves wheat defence against *Fusarium graminearum* and complements the control by fungicide of *Fusarium* head blight. *Plant Pathol* 72(1):53-66.
- Rodrigues, F. A., Benhamou, N., Datnoff, L. E., Jones, J. B. and Bélanger, R. R. 2003. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology*, 93, 535–546.
- Shen, W., Xi, P., Li, M., Sun, L., Zhang, L., and Jiang, Z. (2012). Development of a sensitive nested-polymerase chain reaction (PCR) assay for the detection of *Ustilago scitaminea*. *Afr. J. Biotechnol.* 11, 10541–10547.
- Su, Y., Wang, Z., Xu, L., Peng, Q., Liu, F., Li, Z., et al. (2016). Early selection for smut resistance in sugarcane using pathogen proliferation and changes in physiological and biochemical indices. *Front. Plant Sci.* 7:1133.
- Verma, K. K., Song, X.-P., Verma, C. L., Huang, H.-R., Singh, M., Xu, L., Wu, J.-M., Khan, Z. H., Zhang, B.-Q., & Li, Y.-R. (2023). Mathematical modeling of climate and fluoride effects on sugarcane photosynthesis with silicon nanoparticles. *Plant Physiology and Biochemistry*, 204, 108089.