

การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินเพาะปลูกด้วยการปล่อยน้ำร้อนจากท่อแนวตั้ง

Inhibition of the Growth of *Ralstonia Solanacearum* in Field Soil by Releasing Hot Water from Vertical Pipe

ณัฐพงษ์ แกมทับทิม^{1*} และศิริชัย เทพา²

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

52 หมู่ 7 ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

² ห้องปฏิบัติการพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

Natthaphong Kaemthapthim^{1*} and Sirichai Thepa²

¹ Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok

52 Moo 7, Ban Krang, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

² Solar Energy in Agriculture Laboratory, Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Pracha-Uthit Road, Bang Mod, Thung khru, Bangkok, Thailand, 10140

*ผู้รับผิดชอบบทความ: natthaphong@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 081-965-9058

Received: 4 February 2019, Revised: 10 April 2019, Accepted: 22 April 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินเพาะปลูก ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวเฉาของพืช โดยใช้เชื้อดังกล่าวจำนวน 4.7×10^7 colony forming unit/g soil ผลการทดลองพบว่าการปล่อยน้ำร้อนใต้ดินจากท่อแนวตั้ง 3 รู สามารถกระจายความร้อนไปยังชั้นดินที่ระยะห่าง 5 และ 10 cm ความลึกดิน 40 cm เมื่อเวลาปล่อยน้ำร้อนผ่านไป 240 min ผลการนับ *Ralstonia solanacearum* ที่เหลือหลังการทดลอง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด

คำสำคัญ ท่อน้ำร้อน น้ำร้อน พื้นผิวดิน โรคเหี่ยวเฉา ใต้ดิน

Abstract

The purpose of this research to inhibit the growth of *Ralstonia solanacearum* bacteria, which is the cause of Wilt in plant using the bacteria at 4.7×10^7 colony forming unit/g soil. The results showed that releasing hot water from 3-holes vertical pipe method could increase efficacy of heat releasing to the soil at the distance of 5 and 10 cm with 40 cm depth of soil. After 240 minutes of hot water releasing, *Ralstonia solanacearum* was completely inhibited.

Keywords: hot water pipe, hot water, soil surface, wilt, underground.

1. บทนำ

พืชไร่เศรษฐกิจหลายชนิดประสบปัญหาการเกิดโรคเหี่ยวเฉาที่มีสาเหตุจากเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ซึ่งเป็นโรคที่ทำความเสียหายตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต เชื้อสามารถเข้าทำลายพืชทุกระยะการเจริญเติบโต ทำให้เกษตรกรประสบปัญหาการเพาะปลูกพืชไร่และเพื่อลดความเสียหายของเชื้อชนิดนี้ที่มีต่อพืชที่ผ่านมาได้มีการใช้พันธุ์ต้านทาน การปลูกพืชหมุนเวียน การใช้สารเคมีและการใช้ส่วนที่ไม่มีโรคมาเพาะปลูก แต่ก็ยังไม่ประสบ

ความสำเร็จเท่าที่ควร *Ralstonia solanacearum* เป็นเชื้อที่เจริญเติบโตและเข้าทำลายพืชได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 30 - 35 °C ซึ่งอุณหภูมิส่วนใหญ่เกิดจากอุณหภูมิดิน ดังนั้นในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ด้วยวิธีเพิ่มความร้อนดินจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินที่มีอยู่มากบริเวณรอบรากพืชที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

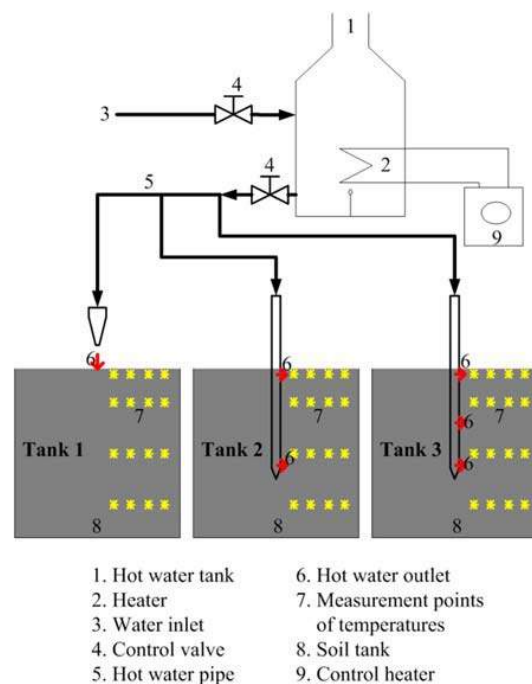
โดยสิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มความร้อนดินประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น และระดับความลึกของดิน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิดินโดยตรง [1],[2] การ solarization ดิน เป็นวิธีการที่ดีในการควบคุมเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชในดินที่มีการปลูกพืชในโรงเรือน อีกทั้งใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของดิน การ solarization ดิน อุณหภูมิจะแปรผกผันกับความลึก โดยการ solarization ดิน ติดต่อกันสองหรือสามรอบต่อปีจะมีผลกระทบต่อชีวภาพเพียงเล็กน้อยในดิน [3] จากการทดลอง solarization ดิน เพื่อควบคุมเชื้อโรคในประเทศไทย โดยดินถูกคลุมด้วยพลาสติกโปร่งใส 4 - 6 สัปดาห์ ในช่วงฤดูร้อนเพื่อควบคุมเชื้อ *Pyrenochaeta lycopersici*, *Verticillium dahlia* และ *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* ที่เกิดกับมะเขือเทศ ทำให้เชื้อโรคในดินลดลงรวมทั้งยังสามารถเพิ่มผลผลิตได้อีกด้วย [4] ในการศึกษาการเพิ่มความร้อนต้องเลือกดินที่เหมาะสมซึ่งมีความสำคัญอย่างมาก เพื่อประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์แก้ปัญหาการนำความร้อนเพราะดินแต่ละชนิดจะมีค่าการนำความร้อนที่แตกต่างกัน [5] ดังนั้นเพื่อลดระยะเวลาในการ solarization ดิน จึงมีการใช้ท่อช่วยเพิ่มความร้อนดิน แต่ต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการส่งถ่ายความร้อนในดิน โดย อุณหภูมิของดินที่ใช้ทดลองจะมีค่าสูงในช่วงแรก จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นข้อจำกัดของดินสำหรับการนำความร้อนจากท่อสู่ดิน [6] โดยมีองค์ประกอบที่ต้องศึกษาคืออัตราการไหลของน้ำในท่อ อัตราส่วนความพรุนและความจุความร้อนของดิน โดยการนำความร้อนของดินรอบท่อความร้อนมีการกระจายอุณหภูมิที่แตกต่างกัน รวมถึงระยะห่างการวางท่อที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มความร้อนดินที่มีจำนวนหลายท่อซึ่งมีความสำคัญในการเพิ่มความร้อนดิน [7] จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ควบคุมเชื้อโรคในดินได้ โดยเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ไม่สามารถรอดชีวิตอยู่ได้ที่อุณหภูมิ 37 - 40 °C พิจารณาการกระจายอุณหภูมิของดินในแต่ละชั่วโมงจะมีความสม่ำเสมอ ที่ระดับความลึก 2 cm มีค่ามากกว่า 40 °C [8] และมีการใช้ความร้อนเพื่อควบคุมเชื้อโรคในดินด้วยวิธีการเพิ่มความร้อนดินโดยใช้พาราโบราแบบไม่สมมาตรร่วมกับการหยดน้ำร้อนบนผิวดิน โดยที่ระดับความลึกไม่เกิน 50 cm จะมีค่าอุณหภูมิดิน 41.3 °C ซึ่งสามารถใช้ควบคุมเชื้อโรคในดินได้แต่ยังไม่สามารถยับยั้งเชื้อได้ทั้งหมด [9] นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มความร้อนดินที่ให้ผลรวดเร็วจากการใช้น้ำร้อน แต่ความชื้นเป็นสิ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพการเพิ่มความร้อนของดินด้วยไอน้ำร้อน และมีความยุ่งยาก รวมถึงมีค่าใช้จ่ายสูง [10],[11] ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิดินสามารถทำได้หลายวิธี แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ความลึกดินเพิ่มขึ้น การใช้น้ำร้อนช่วยเพิ่มอุณหภูมิดินเป็นวิธีที่ดี โดยการ

เพิ่มอุณหภูมิดินที่เหมาะสมสำหรับใช้ยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในกรณีการปล่อยน้ำร้อนลงดิน จำเป็นต้องพิจารณาอัตราการไหลของน้ำร้อนใต้ดิน โดยเมื่อดินขนาดใหญ่จะมีผลต่ออัตราการแทรกซึมของน้ำเร็วขึ้น และมีรูปแบบการแทรกซึมที่ลึกและกว้างขึ้น [12] ซึ่งผลดังกล่าวเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการควบคุมโรคพืช และเป็นวิธีที่ง่ายต่อการทำงาน

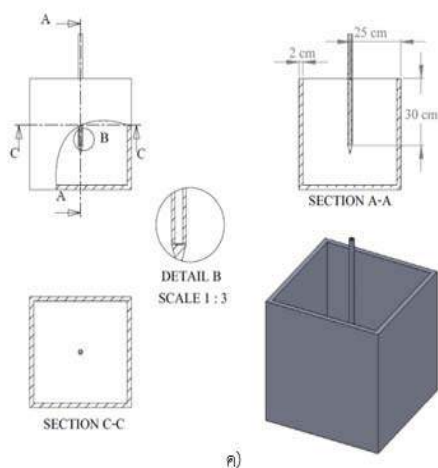
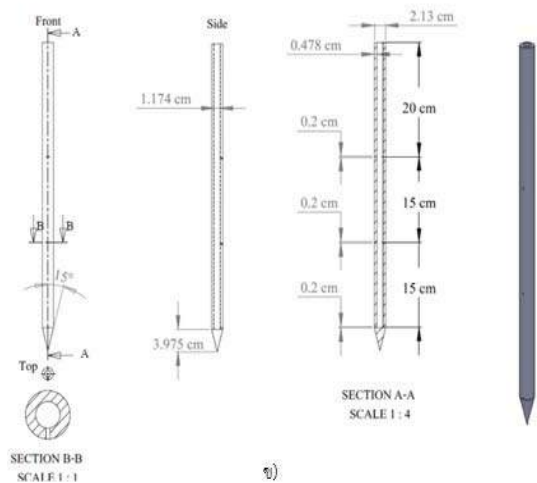
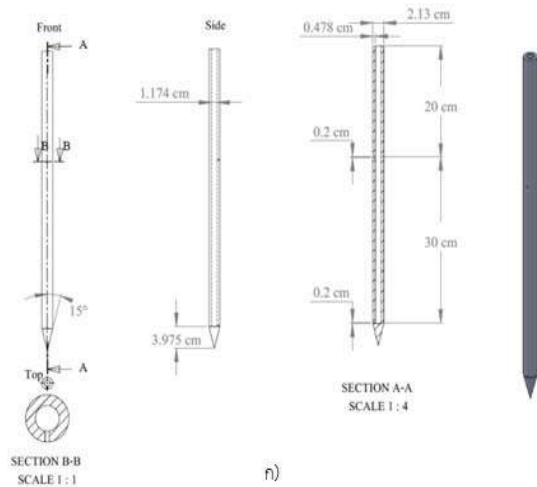
ดังนั้นในการศึกษารังนี้ จึงได้เลือกใช้เชื้อ *Ralstonia solanacearum* 4.7×10^7 colony forming unit/g soil เนื่องจากเชื้อจะถูกเจือจางและนำตัวอย่างผสมกับดินทดลองในแต่ละถุง โดยประเมินการเปลี่ยนแปลงของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินตัวอย่างที่ความลึก 0 10 25 และ 40 cm ระยะห่างจากท่อ 5 10 15 และ 20 cm ที่ 30 60 และ 240 min เพื่อทำการศึกษากาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อด้วยวิธีการปล่อยน้ำร้อนเพื่อเพิ่มความร้อนในดิน

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวิธีการเพิ่มอุณหภูมิดินที่สูงพอสำหรับยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Ralstonia solanacearum* โดยวิธีการปล่อยน้ำร้อนบนผิวดินและวิธีการปล่อยน้ำร้อนใต้ผิวดินจากท่อแนวตั้งแบบ 2 และ 3 รู เพื่อศึกษาการกระจายความร้อนของดินจากการไหลแทรกซึมของน้ำร้อนไปยังดินและนำมาใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Ralstonia solanacearum*



รูปที่ 1 แผนภาพการทดลองกระจายความร้อนในดิน



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดลอง (ก) ท่อ 2 รู (ข) ท่อ 3 รู (ค) การวางท่อจ่ายน้ำร้อนในถังใส่ดิน

2.1 ข้อมูลการทดลอง

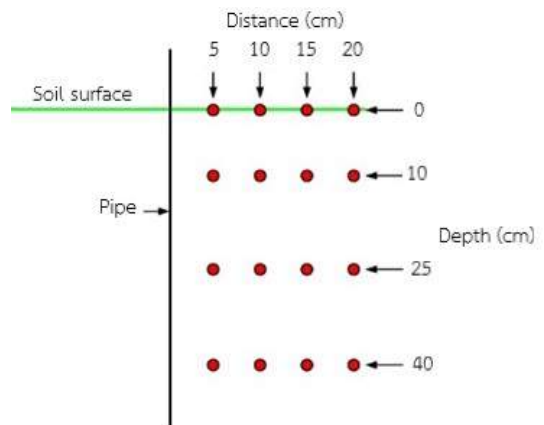
การทดลองกระจายความร้อนในดินจำนวน 3 ถัง ถังที่ 1 ใช้สำหรับปล่อยน้ำร้อนบนผิวดิน ถังที่ 2 ใช้สำหรับท่อปล่อยน้ำร้อนใต้ผิวดินแบบ 2 รู และถังที่ 3 ใช้ท่อแบบ 3 รู ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C อัตราการไหลของน้ำ $9.35 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ และวัดอุณหภูมิห่างจากท่อปล่อยน้ำร้อน 5 10 15 และ 20 cm ที่ระดับความลึกดิน 0 10 25 และ 40 cm ใช้เวลาในการทดลอง 30 60 120 180 และ 240 min โดยมีปริมาตรดินภายในถัง 0.10157 m^3 ความหนาแน่นของดิน 886.09 kg m^{-3} โดยมีส่วนประกอบของดินที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็นดินชนิด sand 32% silt 28% และ clay 40% ความชื้นของดิน 47.2% และค่าการนำความร้อน 0.85 W (m K)⁻¹

2.2 ท่อและถังใส่ดิน

ท่อปล่อยน้ำร้อนใต้ดิน มีขนาดความยาว 50 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.13 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.174 cm ความหนาของผนังท่อ 0.478 cm โดยท่อปล่อยน้ำร้อน 2 รู กำหนดให้รูที่ 1 อยู่บนผิวดินและรูที่ 2 อยู่ใต้ดินระยะห่าง 30 cm และท่อปล่อยน้ำร้อน 3 รู กำหนดให้รูที่ 1 อยู่บนผิวดิน รูที่ 2 และ 3 อยู่ใต้ดินระยะห่างของรู 15 cm ท่อทั้ง 2 แบบ ฝังในถังดินแนวตั้งลึก 30 cm และการปล่อยน้ำร้อนบนผิวดินโดยปล่อยน้ำร้อนที่ศูนย์กลางของถังดิน ที่ทางออกน้ำร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 cm และถังใส่ดินขนาดภายนอก 50 x 50 x 50 cm ความหนาผนัง 2 cm ดังแสดงในรูปที่ 2

2.3 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิและฝังเชื้อ

ตำแหน่งวัดอุณหภูมิและฝังเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ภายในถังใส่ดิน ดังแสดงในรูปที่ 3 ท่อปล่อยน้ำร้อนติดตั้งกลางถังดิน และวัดระยะห่างจากท่อปล่อยน้ำร้อน 5 10 15 และ 20 cm ที่ความลึก 0 10 25 และ 40 cm เพื่อติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิและฝังเชื้อ 1 ถังต่อตำแหน่ง ทั้งหมด 16 ตำแหน่งต่อการทดลอง



รูปที่ 3 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิและฝังเชื้อ *Ralstonia solanacearum*

2.4 การเพาะเชื้อและทดสอบ

การยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินเพื่อศึกษาการใช้น้ำร้อนยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคพืช *Ralstonia solanacearum* เป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวเฉาในรากพืชที่ถูกฝังอยู่ในดินที่ความลึก 0 10 25 และ 40 cm ตัวอย่างเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* (from Bacteriology group, Plant Disease Research and Development Department of Agriculture, Thailand) ได้มาจากการเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยการเขย่าที่ 30 °C และหมุนเหวี่ยง 6,000 × g ที่ 20 min แล้วนำเชื้อไปล้างในน้ำกลั่นสองครั้ง หลังจากล้างเชื้อครั้งสุดท้าย พักไว้ในน้ำกลั่น ปลอดเชื้อ (SDW) การกำหนดจำนวนของเซลล์ ได้จากการวัดความหนาแน่นของแสงด้วย OD600 เชื้อจะถูกเจือจางเพื่อให้ได้จำนวนของเซลล์ที่ต้องการ และนำตัวอย่างเชื้อไปผสมกับดินทดลอง การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในดินที่มีจำนวน 4.7×10^7 cfu g⁻¹ จากการเพาะเชื้อสายพันธุ์ *Ralstonia solanacearum* ถูกผสมกับดินแต่ละถุงและเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อ ผลของการประเมินการเปลี่ยนแปลงของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดิน ตัวอย่างที่ความลึก 0 10 25 และ 40 cm ระยะห่างจากท่อปล่อยน้ำร้อน 5 10 15 และ 20 cm ที่ 30 60 และ 240 min หลังการทดลองทำการวิเคราะห์ โดยวิธีเจือจางบนแผ่นมันฝรั่งในอาหารเลี้ยงเชื้อสังเคราะห์ (PSA) เชื้อในดินจะถูกนับจำนวน *Ralstonia solanacearum* ที่เจริญเติบโตบน PSA และนำมาเปรียบเทียบกับค่าควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบน PSA

2.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

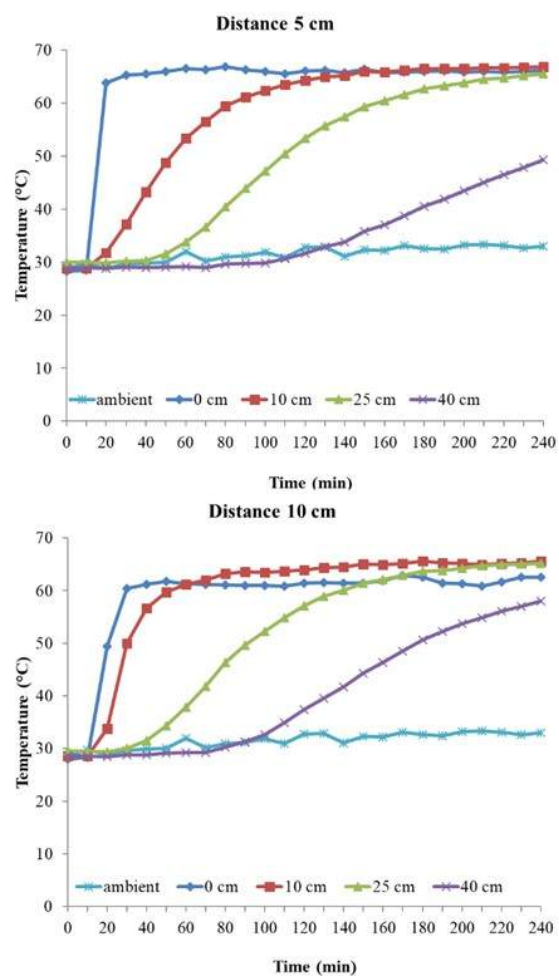
การทดลองกระจายความร้อนดินด้วยน้ำร้อนทั้ง 3 วิธี เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมดินใส่ถังก่อนการทดลองทิ้งไว้ 48 hr (ทำซ้ำทุกการทดลอง) การเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิดินใช้เครื่องบันทึกข้อมูล Yokogawa DX230-3-2 ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิล ทุก 10 min ที่ระยะเวลา 240 min และตั้งค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 70 °C ด้วยกล่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ก่อนการทดลอง 30 min และปรับตั้งอัตราการไหลของน้ำร้อน เริ่มบันทึกข้อมูลอุณหภูมิดินก่อนปล่อยน้ำร้อน 10 min หลังจากนั้นจึงเริ่มปล่อยน้ำร้อนลงดิน หลังจากครบเวลาที่กำหนด นำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายความร้อนในดินทั้ง 3 วิธี และนำวิธีการปล่อยน้ำร้อนที่ใช้เวลาเพิ่มความร้อนดินน้อยที่สุด มาใช้สำหรับยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินเพาะปลูก โดยทดลองที่ระยะเวลา 30 60 และ 240 min โดยฝังถุงดินและ *Ralstonia solanacearum* ตัวอย่างในดินที่ระยะห่างและความลึกที่กำหนด หลังจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนวิธีการปล่อยน้ำร้อนลงดินข้างต้น เมื่อครบกำหนดเวลาทดลองทำการเก็บถุงตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลโดยการเพาะเชื้อและนับจำนวนเชื้อที่เหลือหลังการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

พิจารณาผลการทดลองที่ระยะเวลาปล่อยน้ำร้อน เนื่องจากการลดเวลาการเพิ่มความร้อนดินที่ระยะห่างและระดับความลึกต่าง ๆ

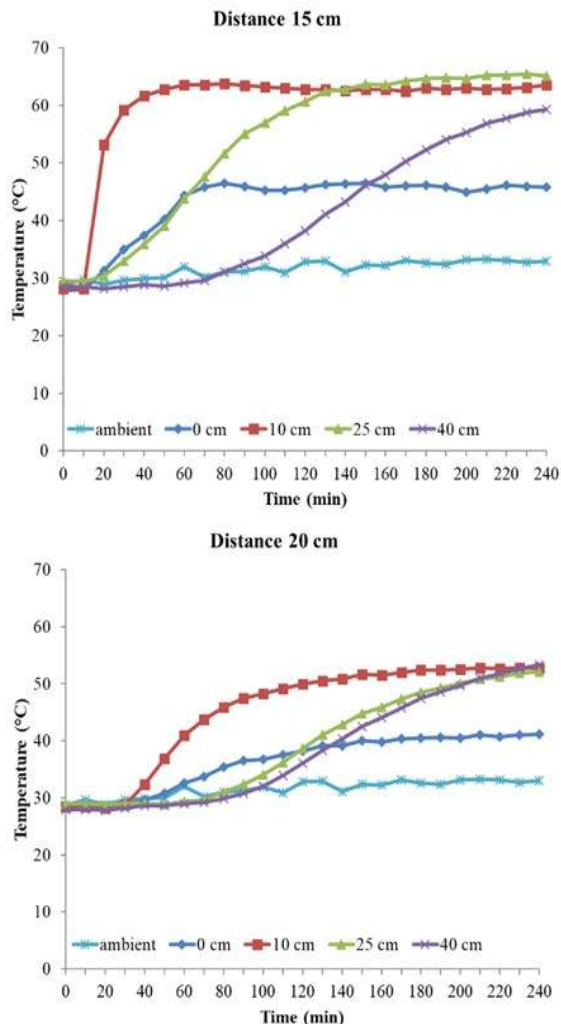
3.1 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนบนผิวดิน

อุณหภูมิดินก่อนการทดลองเฉลี่ย 28.2 °C และอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 31.7 °C พบว่าอุณหภูมิดินขึ้นอยู่กับเวลาการปล่อยน้ำร้อน โดยพิจารณาอุณหภูมิดินที่เหมาะสมสำหรับยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ต้องใช้เวลาปล่อยน้ำร้อน 180 min โดยมีอุณหภูมิดินเรียงตามลำดับความลึกที่ระยะห่าง 5 cm ดังแสดงในรูปที่ 4

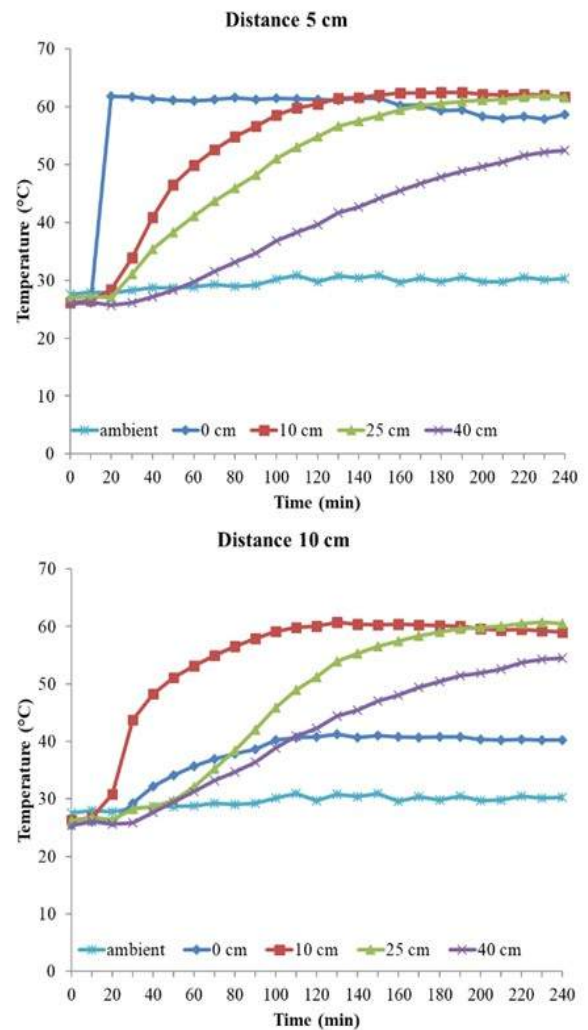


รูปที่ 4 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนบนผิวดินที่ระยะห่าง 5 และ 10 cm ที่ความลึกของดิน 0 10 25 และ 40 cm บันทึกอุณหภูมิทุก 10 min

อุณหภูมิดินเท่ากับ 66 66.5 62.7 และ 40.6 °C ระยะห่าง 10 cm อุณหภูมิดินเท่ากับ 62.6 65.6 63.7 และ 50.7 °C ระยะห่าง 15 cm ดังแสดงในรูปที่ 5 อุณหภูมิดินเท่ากับ 63 64.6 และ 52.3 °C ระยะห่าง 20 cm อุณหภูมิดินเท่ากับ 40.5 52.4 48.5 และ 47.5 °C แสดงให้เห็นว่าเวลาที่มีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิดิน และอุณหภูมิผิวดินต่ำกว่าที่ระดับความลึกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการนำความร้อนสูญเสียจากการพาสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณผิวดิน และเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นการไหลอิสระของน้ำตามแรงโน้มถ่วงของโลกในดินที่เป็นวัสดุพรุนจะแทรกซึมลงสู่ดินด้านล่างมากกว่าด้านข้าง และน้ำยังมีการถ่ายเทความร้อนสู่ชั้นดินที่ไหลผ่านจึงส่งผลต่ออุณหภูมิดินที่ความลึกเพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 5 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนบนผิวดินที่ระยะห่าง 15 และ 20 cm ที่ความลึกของดิน 0 10 25 และ 40 cm บันทึกอุณหภูมิทุก 10 min

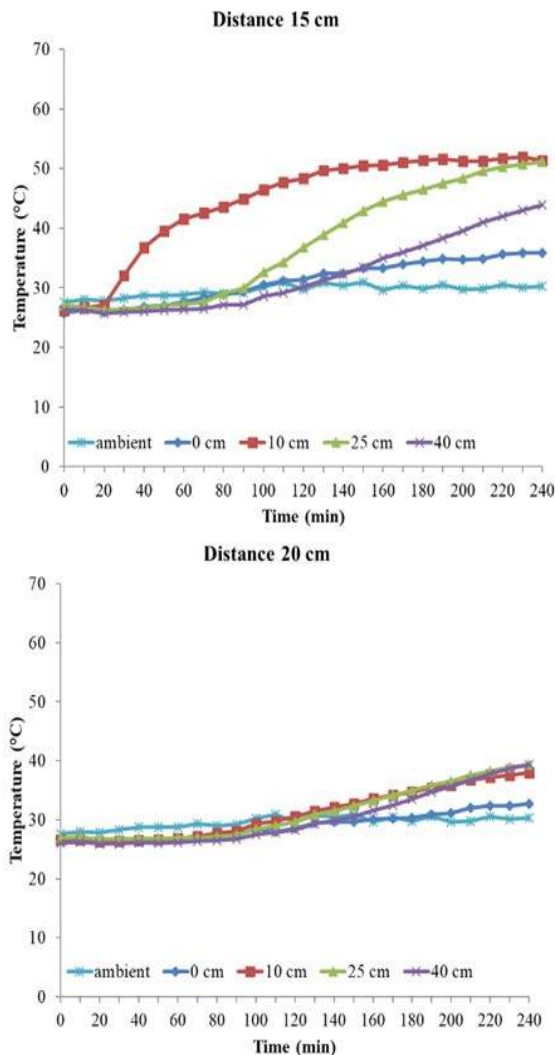


รูปที่ 6 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 2 รู ที่ระยะห่าง 5 และ 10 cm ที่ความลึกของดิน 0 10 25 และ 40 cm บันทึกอุณหภูมิทุก 10 min

3.2 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนใต้ดินจากท่อ 2 รู

อุณหภูมิดินก่อนการทดลองเฉลี่ย 26.1 °C และอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 29.7 °C พบว่าผิวดินบริเวณท่อปล่อยน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วคล้ายกับการปล่อยน้ำร้อนบนผิวดิน พิจารณาที่อุณหภูมิดินสำหรับยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ต้องใช้เวลาปล่อยน้ำร้อน 120 min ตามลำดับความลึกดิน ดังแสดงในรูปที่ 6 ระยะห่าง 5 cm อุณหภูมิดินเท่ากับ 61.3 60.5 54.8 และ 39.7 °C ระยะห่าง 10 cm อุณหภูมิดินเท่ากับ 40.8 60.1 51.2 และ 42.3 °C แต่ที่ระยะห่าง 15 cm ดังแสดงในรูปที่ 7 สามารถเพิ่มความร้อนดินได้เฉพาะที่ความลึก 10 cm เท่ากับ 48.3 °C และที่ระยะห่าง 20 cm ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิดินเพื่อยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้ แต่เมื่อเพิ่มเวลาปล่อย น้ำร้อนเป็น 240 min ที่ระยะห่าง 15 cm ความลึก 10 25 และ

40 cm อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้นเป็น 51.4 51.1 และ 43.9 °C ตามลำดับ และที่ระยะห่าง 20 cm ที่ความลึก 25 และ 40 cm อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้นเป็น 39.4 °C เท่ากัน จากผลการทดลองสามารถเพิ่มอุณหภูมิที่ระยะห่างจากท่อ 5 และ 10 cm ทุกระดับความลึกเพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* และใช้เวลาน้อยกว่าการปล่อยน้ำร้อนบนผิวดิน แต่น้ำร้อนยังมีการสูญเสียความร้อนระหว่างไหลผ่านชั้นดินเช่นเดียวกับการปล่อยน้ำร้อนบนผิวดิน

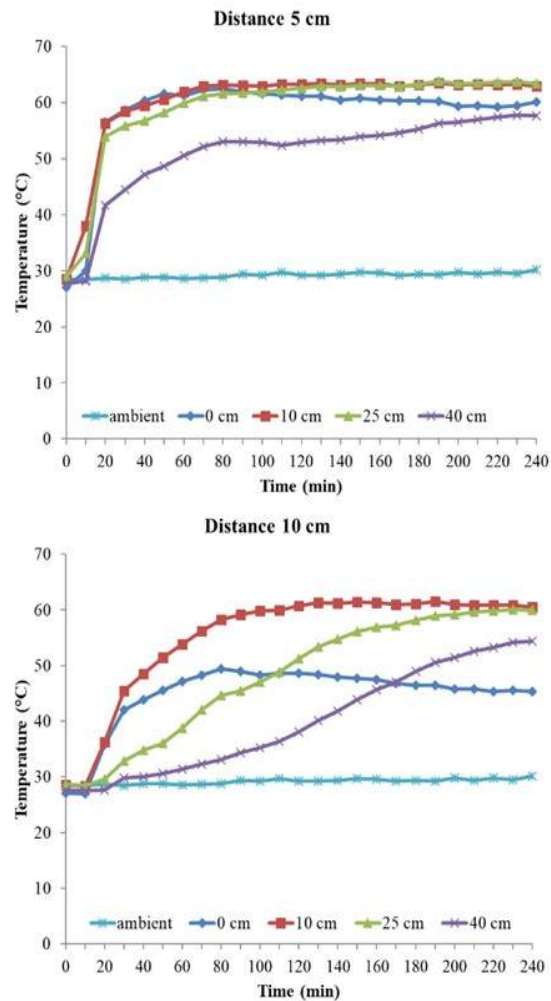


รูปที่ 7 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 2 รู ที่ระยะห่าง 15 และ 20 cm ที่ความลึกของดิน 0 10 25 และ 40 cm บันทึกอุณหภูมิทุก 10 min

3.3 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนใต้ดินจากท่อ 3 รู

อุณหภูมิดินก่อนการทดลองเฉลี่ย 27.7 °C และอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 29.3 พบว่าอุณหภูมิดินที่ระยะห่าง 5 cm ความลึก 0 10 25 และ 40 cm ดังแสดงในรูปที่ 8 อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งดีกว่า 2 วิธีแรก และพิจารณาที่อุณหภูมิดิน

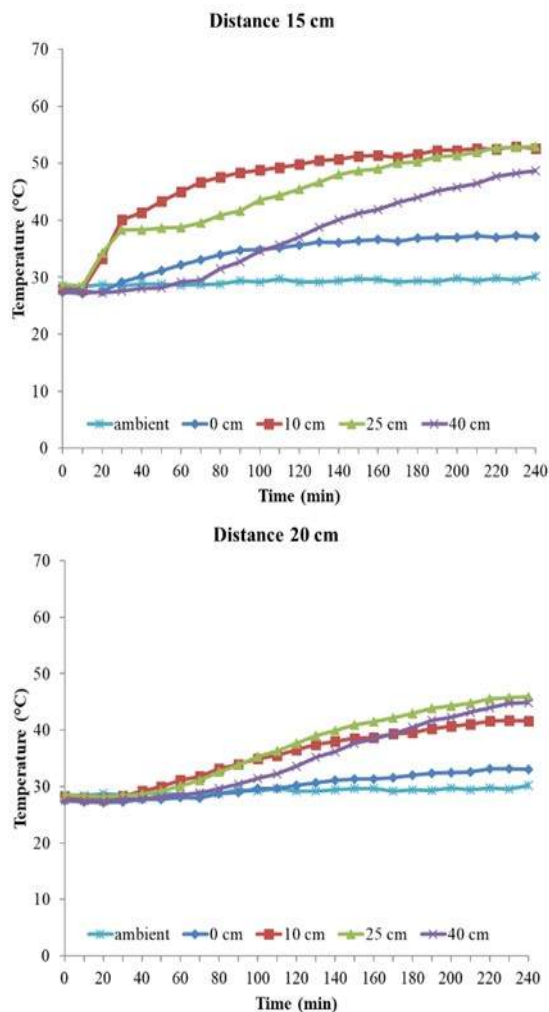
สำหรับยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ใช้เวลาเพียง 30 min ที่ระยะห่าง 5 cm สามารถเพิ่มอุณหภูมิ 58.7 58.4 55.9 และ 44.5 °C เรียงตามลำดับความลึก แต่ที่ระยะห่าง 10 cm สามารถเพิ่มอุณหภูมิเพื่อยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่ความลึก 0 และ 10 cm เท่านั้น ที่อุณหภูมิ 42.1 และ 45.4 °C ตามลำดับ



รูปที่ 8 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 3 รู ที่ระยะห่าง 5 และ 10 cm ที่ความลึกของดิน 0 10 25 และ 40 cm บันทึกอุณหภูมิทุก 10 min

และที่ระยะห่าง 15 cm ดังแสดงในรูปที่ 9 สามารถเพิ่มอุณหภูมิที่ความลึก 10 cm เท่านั้น ที่อุณหภูมิ 40.1 °C และที่ระยะห่าง 20 cm ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิเพื่อยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้ทุกระดับความลึกดิน แต่เมื่อเพิ่มเวลาปล่อยน้ำร้อน 180 min ตามลำดับความลึกดิน ที่ระยะห่าง 5 cm อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น 60.4 63.2 63.3 และ 55.3 °C ที่ระยะห่าง 10 cm อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น 46.5 61.1

58.1 และ 48.9 °C แต่ที่ระยะห่าง 15 cm ความลึก 10 25 และ 40 cm สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ 51.6 50.3 และ 44 °C ตามลำดับ ที่ระยะห่าง 20 cm ความลึก 10 25 และ 40 cm อุณหภูมิเท่ากับ 39.6 42.9 และ 40.5 °C ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มเวลาปล่อยน้ำร้อน 240 min ที่ระยะห่างและความลึกดินทั้งหมดมีลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเช่นเดียวกับระยะเวลา 180 min แต่อุณหภูมิมีค่าสูงกว่า 1 ถึง 5 °C การปล่อยน้ำร้อนจากท่อจำนวน 3 ตำแหน่งที่ผิวดินและที่ระดับความลึกใต้ดิน 15 และ 30 cm สามารถลดการสูญเสียความร้อนและเวลาการซึมของน้ำร้อนสู่ชั้นดินที่มีความลึกเพิ่มขึ้น โดยสามารถถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนสู่ดินเร็วกว่าการนำความร้อนของดินที่สภาวะปกติ แต่มีข้อจำกัดเรื่องระยะห่างจากท่อปล่อยน้ำร้อน เนื่องจากน้ำร้อนมีการไหลแบบอิสระจึงสามารถแทรกซึมสู่ดินด้านข้างได้ไม่เกิน 10 cm



รูปที่ 9 ผลการทดลองปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 3 รู ที่ระยะห่าง 15 และ 20 cm ที่ความลึกของดิน 0 10 25 และ 40 cm บันทึกอุณหภูมิทุก 10 min

3.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองปล่อยน้ำร้อน 3 แบบ

อุณหภูมิน้ำ 70 °C อัตราการไหลของน้ำ $9.35 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ เวลา 30 min ระยะห่าง 5 cm ความลึกดิน 0 10 25 และ 40 cm การปล่อยน้ำร้อนบนผิวดิน อุณหภูมิเท่ากับ 65.3 37.2 30.2 และ 29.1 °C ตามลำดับความลึกดิน การปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 2 รู อุณหภูมิเท่ากับ 61.7 33.9 31.1 และ 26.2 °C ตามลำดับความลึกดิน การปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 3 รู อุณหภูมิเท่ากับ 58.7 58.4 55.9 และ 44.5 °C ตามลำดับความลึกดิน จากผลการทดลองพบว่าท่อแบบ 3 รู ที่ระดับความลึกดิน 40 cm สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้สูงกว่า 2 แบบแรกที่ใช้เหมือนกัน

3.5 ผลการทดลองยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum*

การทดลองยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ทำการทดลองกับการปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 3 รู (ผลการทดลองเพิ่มความร้อนดินใช้เวลาน้อยที่สุด) เก็บข้อมูลเป็นเวลา 30, 60 และ 240 min ตามลำดับ โดยมีจำนวนเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เริ่มต้น $4.7 \times 10^7 \text{ cfu g}^{-1} \text{ soil}$ (cfu = colony forming unit) คิดเป็น 100% ก่อนการทดลอง พิจารณาผลการยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในตารางที่ 1 เป็นจำนวนที่เหลือหลังการทดลอง

ตารางที่ 1 *Ralstonia solanacearum* ที่เหลือหลังการทดลอง

Distance 5 cm			
Depth of soil (cm)	Time (min) and Population of <i>R. solanacearum</i> (cfu g ⁻¹)		
	30	60	240
0	4.2×10^7	5.2×10^4	0
10	3.7×10^6	1.6×10^3	0
25	1.2×10^7	2.7×10^5	0
40	4.6×10^7	3.5×10^4	0

Distance 10 cm			
Depth of soil (cm)	Time (min) and Population of <i>R. solanacearum</i> (cfu g ⁻¹)		
	30	60	240
0	4.7×10^7	2.3×10^4	1.2×10^2
10	4.4×10^7	7.6×10^3	0
25	4.1×10^5	6.1×10^4	0
40	4.6×10^7	2.2×10^6	3.9×10^3

Distance 15 cm			
Depth of soil (cm)	Time (min) and Population of <i>R. solanacearum</i> (cfu g ⁻¹)		
	30	60	240
0	4.7×10 ⁷	4.6×10 ⁷	4.4×10 ⁷
10	4.5×10 ⁷	4.3×10 ⁷	5.3×10 ⁶
25	4.7×10 ⁷	2.1×10 ⁷	3.6×10 ³
40	2.4×10 ⁶	2.9×10 ⁵	1.4×10 ²

Distance 20 cm			
Depth of soil (cm)	Time (min) and Population of <i>R. solanacearum</i> (cfu g ⁻¹)		
	30	60	240
0	4.7×10 ⁷	4.1×10 ⁷	4.5×10 ⁷
10	4.1×10 ⁷	4.3×10 ⁷	4.7×10 ⁷
25	4.3×10 ⁷	4.2×10 ⁷	4.3×10 ⁷
40	2.4×10 ⁷	3.7×10 ⁶	2.2×10 ⁶

แสดงให้เห็นว่าการปล่อยน้ำร้อนลงดินที่เวลา 240 min ที่ระยะห่าง 5 cm ความลึกดิน 0 10 25 และ 40 cm และที่ระยะห่าง 10 cm ความลึกดิน 10 และ 25 cm สามารถยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้ทั้งหมด แต่ที่ระยะห่าง 15 และ 20 cm สามารถลดจำนวนเชื้อเหลือเพียง 1.4×10^2 และ 2.2×10^6 cfu g⁻¹ ที่ความลึกของดิน 40 cm สังเกตว่าจำนวน *Ralstonia solanacearum* ลดลงโดยขึ้นอยู่กับเวลาและน้ำร้อนที่ไหลผ่านชั้นดิน ที่เวลา 30 60 และ 240 min ยังมีจำนวน *Ralstonia solanacearum* เหลืออยู่ทั้งหมด 71.5% 32.3% และ 24.8% ตามลำดับเวลา

3.6 อภิปรายผลการวิจัย

การปล่อยน้ำร้อนใต้ดินจากท่อ 3 รู สามารถลดเวลาการไหลของน้ำร้อนผ่านชั้นดิน และถ่ายเทความร้อนจากการนำของน้ำร้อนสู่ดินชั้นล่างได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินที่ระยะห่างจากท่อปล่อยน้ำร้อน 5 cm สามารถเพิ่มอุณหภูมิผิวดินสูงสุด 58.7 °C และต่ำสุดที่ความลึกของดิน 40 cm อุณหภูมิ 44.5 °C ที่เวลา 30 min เมื่อเพิ่มเวลาการปล่อยน้ำร้อนเป็น 60 120 180 และ 240 min พิจารณาความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 40 cm เท่ากับ 50.6 52.9 55.3 และ 57.7 °C ตามลำดับเวลา และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเพิ่มความร้อนดินแบบอื่น ตัวอย่างเช่น การคลุมดินด้วยพลาสติกเพื่อเก็บความร้อนและการทำ solarization ทัวไปปกติอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ที่ความลึก 10 cm เท่ากับ 37 และ 50 °C และที่ความลึก 20 cm เท่ากับ 38 และ 43 °C

ที่อุณหภูมิอากาศ 20 ถึง 35 °C [1] และการใช้พาราโบลาแบบไม่สมมาตรรวมกับการหยดน้ำบนผิวดินระดับความลึกไม่เกิน 50 cm อุณหภูมิเฉลี่ย 41.3 °C [9] และการใช้ไอน้ำร้อนสามารถเพิ่มอุณหภูมิดินได้ไม่เกินระดับความลึก 16 cm [10],[11] จากข้อมูลดังกล่าว เมื่อพิจารณาวิธีการปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 3 รู ผลการทดลองที่ระยะห่างท่อ 5 cm อุณหภูมิผิวดินสูงชันมากกว่า 50 °C อย่างรวดเร็วถึงระดับความลึก 40 cm ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิและความลึกดินที่ต่ำกว่าวิธีอื่น

การนำวิธีปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 3 รู ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* โดยพิจารณาจำนวนที่เหลือหลังจากการทดลองเปรียบเทียบกับ การใช้พาราโบลาแบบไม่สมมาตรรวมกับการหยดน้ำบนผิวดิน ผลการทดลองที่ผิวดิน และที่ความลึก 5 cm เหลือ *Ralstonia solanacearum* หลังการทดลอง 4.1×10^3 และ 7.5×10^3 cfu g⁻¹ ตามลำดับ [9] และเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้แอมโมเนียโบรคาร์บอนเตียยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* (FOC), *F. oxysporum* f. sp. *niveum* (FON), และ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* (FOM) ในดิน โดยใช้เวลาในการทดลอง 5 7 และ 3 วัน ตามลำดับ [13] และเปรียบเทียบกับ การใช้ความร้อนยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินผสมกับเศษซากมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิ 25 และ 45 °C โดยใช้เวลา 1 ถึง 6 สัปดาห์ [14] แต่วิธีการปล่อยน้ำร้อนจากท่อ 3 รู ที่ระยะห่าง 5 cm ความลึก 0 10 25 และ 40 cm ใช้เวลาเพียง 240 min สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้ทั้งหมด

ข้อเสนอแนะจากผลการทดลอง สามารถนำผลการทดลองมาพัฒนาต่อโดยการเพิ่มจำนวนท่อปล่อยน้ำร้อนและจัดเรียงท่อที่ระยะห่างระหว่างท่อ 5 cm (แนวระนาบ) เพื่อลดปัญหาความร้อนของดินที่ระยะห่างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นอีกวิธีที่สามารถนำไปใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินที่มีการระบาดของเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. บทสรุป

ในการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปประเด็นสำคัญจากการทดลองดังนี้

- วิธีการปล่อยน้ำร้อนใต้ดินจากท่อแนวตั้งแบบ 3 รู สามารถเพิ่มอุณหภูมิดินที่ระยะห่างจากท่อปล่อยน้ำร้อน 5 10 15 และ 20 cm ที่ความลึกดิน 0 10 25 และ 40 cm
- เมื่อนำวิธีการดังกล่าวมาใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินเพาะปลูกที่เวลา 30 60 และ 240 min สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่ 28.5% 67.7% และ 75.2%



ตามลำดับเวลา แต่ที่ระยะเวลา 240 min ระยะห่างจากท่อปล่อยน้ำร้อน 5 cm ทุกระดับความลึกดิน และที่ระยะห่าง 10 cm ความลึกดิน 10 และ 25 cm นั้นสามารถยับยั้งเชื้อได้ทั้งหมด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พิชณโลก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และโครงการวิจัยแห่งชาติสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา สำหรับการสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Stapleton J. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Protection*. 2000;19:837-841.
- [2] Al-Karaghoul AA, Al-Kayssi AW. Influence of soil moisture content on soil solarization efficiency. *Renewable Energy*. 2001;24:131-144.
- [3] Scopa A, Candido V, Dumontet S, Pasquale V, Miccolis V. Repeated solarization and long-term effects on soil microbiological parameters and agronomic traits. *Crop Protection*. 2009;28:818-824.
- [4] Tjamos EC, Antoniou P, Tjamos SE. Implementation of soil solarization in Greece: conclusions and suggestions. *Crop Protection*. 2000;19:843-846.
- [5] Pulat E, Coskun S, Unlu K, Yamankaradeniz N. Experimental study of horizontal ground source heat pump performance for mild climate in Turkey. *Energy*. 2009;34:1284-1295.
- [6] Koyun A, Demir H, Torun Z. Experimental study of heat transfer of buried finned pipe for ground source heat pump applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2009;36:739-743.
- [7] Gao P, Zhou G. Study on temperature field around heat pipe underground based on line heat source theory. *Energy and Buildings*. 2011;43:2483-2487.
- [8] Scopa A, Candido V, Dumontet S, Miccolis V. Greenhouse solarization: effects on soil microbiological

parameters and agronomic aspects. *Scientia Horticulture*. 2008;116:98-103.

- [9] Phitthayarachasak T, Thepa S, Kongkiattikajorn J. Solar energy system reduces time taken to inhibit microbial growth in soil. *Renewable Energy*. 2009;34:2467-2473.
- [10] Gay P, Piccarolo P, Aimonino D, Tortia C. A high efficiency steam soil disinfection system, part I: Physical background and steam supply optimization. *Biosystems engineering*. 2010;107:74-85.
- [11] Gay P, Piccarolo P, Aimonino D, Tortia C. A high efficacy steam soil disinfections system, part II: Design and testing. *Biosystems engineering*. 2010;107:194-201.
- [12] Suttisong S, Rattanadecho P. The experimental investigation of heat transport and water infiltration in granular packed bed due to supplied hot water from the top: Influence of supplied water flux, particle sizes and supplied water temperature. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2011;35:1530-1534.
- [13] Sun L, Song S, Fu L, Deng X, Wang D, Liang X, Li R, Shen Q. Exploring a soil fumigation strategy based on ammonium bicarbonate to control *Fusarium* wilts of cucurbits. *Crop Protection*. 2015;70:53-60.
- [14] Zanón MJ, Font MI, Jordá C. Use of tomato crop residues into soil for control of bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. 2011;30:1138-1143.