

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต
ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการลดโรครากเน่าของผักกาดหอมที่ปลูก
ในระบบไฮโดรโปนิกส์

**Efficacy of *Trichoderma asperellum* and Potassium Dihydrogen Phosphate on Growth
Promotion and Root Rot Reduction of Hydroponically Grown Lettuce**

จิระเดช แจ่มสว่าง^{1,2}, วรณวิไล อินทนู^{1,2} และ วิราพร ชีวะพานิช^{1,2}
Chiradej Chamswang^{1,2}, Wanwilai Intanoo^{1,2} and Wiraporn Chewapanich^{1,2}

Abstract

During period of high temperature (36 – 42 °C) in April and May, the efficacy of *Trichoderma asperellum* (Ta) isolate CB-Pin-01 and the increased rate of potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 ; KP) in nutrient stock by 15% (KP-15) for reducing root rot and promoting growth and yield of lettuce grown in nutrient solution infested with *Pythium aphanidermatum* (Pa) (KP-15 + Pa) was evaluated. The treatment of increased KH_2PO_4 combined with *Trichoderma asperellum* (KP-15+Ta+Pa) effectively reduced root rot incidence by 18.33%, increased leaf area, volume of root, basal stem cutting area and total of plant and root fresh weight by 30.33, 76.98, 54.32 and 62.28%, respectively, as compared to the control (KP-0 + Pa). While a treatment of increased KH_2PO_4 by 15% (KP-15) and plants grown in *Pythium* inoculated nutrient solution without *T. asperellum* (KP-15+Pa) the total plant and root fresh weights was increased by 18.96%. As for *Trichoderma* treatments, populations of *T. asperellum* detected in nutrient solution were 2.0×10^3 - 5.7×10^4 CFU/ml. *T. asperellum* completely colonized (100%) roots of lettuce and effectively reduced populations of *P. aphanidermatum* by 56.67 – 83.33% compared to the control (KP-0 + Pa).

Keywords : *Trichoderma asperellum*, *Pythium aphanidermatum*, KH_2PO_4 , lettuce, hydroponic culture

¹ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, KamphaengSaen Campus, Nakhon Pathom 73140

²ศูนย์วิทยการขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหาร สถาบันวิทยาการขั้นสูงแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Center for Advanced Studies for Agriculture and Food, Kasetsart University Institute for Advanced Studies, Kasetsart University, Bangkok 10900 Thailand (CASAF, NRU-KU, Thailand)

รับเรื่อง : มิถุนายน 2559

รับตีพิมพ์ : กรกฎาคม 2559

Corresponding author : agrodc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคมที่มีอุณหภูมิสูง 36 – 42 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* (Ta) สายพันธุ์ CB-Pin-01 และการเพิ่มปริมาณปุ๋ย potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 ; KP) ในสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น (nutrient stock) 15 เปอร์เซ็นต์ (KP-15) ในการลดโรครากเน่าและส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* (Pa) (KP-15 + Pa) พบว่ากรรมวิธีที่เพิ่มปุ๋ย KH_2PO_4 15 เปอร์เซ็นต์และใช้เชื้อรา *T. asperellum* ร่วมด้วย (KP-15+Ta+Pa) สามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรครากเน่า 18.33 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น 30.33 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่หน้าตัดโคนต้นเพิ่มขึ้น 54.32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรรากเพิ่มขึ้น 76.98 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสดทั้งต้นและรากเพิ่มขึ้นสูงที่สุด 62.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ใช้ KH_2PO_4 อัตราปกติ (KP-0 + Pa) ขณะที่กรรมวิธีที่เพิ่ม KH_2PO_4 15 เปอร์เซ็นต์ และปลูกในสภาพที่มีเชื้อโรค (KP-15+Pa) ช่วยให้น้ำหนักสดรวมทั้งต้นและรากเพิ่มขึ้นเพียง 18.96 เปอร์เซ็นต์ สามารถตรวจพบปริมาณเชื้อรา *T. asperellum* ในสารละลายธาตุอาหาร $2.0 \times 10^3 - 5.7 \times 10^4$ หน่วยโคโลนี (CFU)/มิลลิลิตร โดย *T. asperellum* สามารถเจริญครอบครองรากของผักกาดหอมได้อย่างสมบูรณ์ (100%) และช่วยลดปริมาณเชื้อรา *P. aphanidermatum* ลงได้ 56.67 – 83.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 + Pa)

คำสำคัญ : เชื้อรา *Trichoderma asperellum* เชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ปุ๋ย KH_2PO_4 ผักกาดหอม ไฮโดรโปนิกส์

คำนำ

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย ได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่อง และเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถผลิตพืชในบริเวณพื้นที่ซึ่งดินขาดความสมบูรณ์ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีปริมาณเพียงพอและมีคุณภาพสูง การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในสภาพโรงเรือนช่วยลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช จึงสามารถลดปัญหาการสะสมมลพิษในสภาพแวดล้อมได้ (Furlani, 1999) อย่างไรก็ตามหากผู้ปลูกมีการจัดการที่ไม่ดีพออาจทำให้เกิดโรคพืชสร้างความเสียหายต่อผลผลิตได้ โดยเฉพาะโรครากเน่าซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่สามารถเจริญสร้างเส้นใยได้อย่างรวดเร็ว สร้างซุโอสปอร์ (zoospore) ซึ่งว่ายน้ำได้ เมื่อเชื้อโรคสัมผัสรากพืชจะเจริญเข้าสู่รากพืชก่อให้เกิดโรครากเน่าได้อย่างรวดเร็ว (Chamswang,

2006) ในการควบคุมโรครากเน่าโดยชีววิธี มีรายงานการใช้เชื้อรา *T. harzianum* ลดการเกิดโรครากเน่าของผักกาดหอมที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *P. aphanidermatum* และส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมได้ (Lamool, 2006) เชื้อรา *Trichoderma* spp. เป็นเชื้อราที่มีการศึกษามาเป็นเวลายาวนาน มีประสิทธิภาพในการควบคุมและต่อสู้กับเชื้อสาเหตุโรคพืช (Harman, 2006) มีกลไกในการป้องกันการทำลายของเชื้อสาเหตุโรคได้ โดยการเป็นปรสิต (parasitism) การสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiosis) การเจริญแข่งขัน (competition) และชักนำให้พืชต้านทานโรค (induced resistance) (Chamswang, 2006) นอกจากนี้จากการสังเกตของท่านผศ.ดร.ยงยุทธ เจียมไชยศรี พบว่าการเพิ่มปริมาณปุ๋ย KH_2PO_4 ใน stock สารละลายธาตุอาหารให้สูงกว่าอัตราที่ใช้ตามปกติแล้วผักกาดหอมชนิด Red oak มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ระบบรากดีขึ้น

และใบผักมีสีแดงเข้มขึ้น (Chiemchaisri *et al.*, 2016) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่แสดงว่าธาตุอาหารพืช ฟอสฟอรัส (P) เป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ โดยเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acids) ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และผนังเซลล์ (cell wall) (Armstrong, 1999) เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง สร้างแป้งและน้ำตาล ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียม (K) มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการเปิด-ปิดปากใบ ตลอดจนการสังเคราะห์โปรตีนและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในไซโทพลาซึม (cytoplasm) (Leigh and Jones, 1984; Oosterhuist *et al.*, 2013) การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเชื้อรา *T. asperellum* สายพันธุ์ CB-Pin-01 ชนิดเชื้อสดและปริมาณปุ๋ย KH_2PO_4 ในสารละลายธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นจากอัตราปกติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตเพิ่มผลผลิตและลดการเกิดโรครากเน่าของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมเชื้อโรครากเน่าและเชื้อราปฏิปักษ์

เลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าผักกาดหอม *P. aphanidermatum* (Pa) บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ใช้มีดที่ฆ่าเชื้อแล้วตัดวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ อัตรา 100 มิลลิลิตร/1 จานเลี้ยงเชื้อ นำไปปั่นด้วยเครื่อง homogenizer (IKA® Ultra-Turrax® T25) ความเร็ว 9,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 วินาที (Lamool, 2006)

สำหรับเชื้อราปฏิปักษ์ *T. asperellum* (Ta) สายพันธุ์ CB-Pin-01 ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.จิระเดช แจ่มสว่าง ห้องปฏิบัติการควบคุมโรคพืชโดยชีวภาพ ภาควิชาโรคพืช

คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นำมาผลิตเป็นเชื้อสดโดยการเลี้ยงบนข้าวสุกตามวิธีการของ Chamswang and Intanoo (2002) ใช้เชื้อสดอัตรา 50 กรัมต่อสารละลายธาตุอาหาร 100 ลิตร โดยแบ่งสารละลายมา 1 ลิตร สำหรับการล้างสปอร์ออกจากผิวเมล็ดข้าวจนได้น้ำสปอร์เชื้อสีเขียวเข้มแล้วกรองเอาแต่น้ำสปอร์ด้วยกระชอนหรือมุ้งไนลอนตาถี่ (ความเข้มข้นของสปอร์ 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร) นำสปอร์แขวนลอยที่ได้ไปเติมลงในสารละลายธาตุอาหารตามอัตราส่วน

การเพาะกล้าและการปลูกผักกาดหอม

เตรียมชุดรางปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) มีปริมาตรน้ำที่ไหลในระบบเท่ากับ 21.6 ลิตร/นาที่ความสูงของน้ำเหนือพื้นรางมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

เพาะกล้าโดยใช้วัสดุปลูกเพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลท์ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาณลงในถ้วยปลูกจนเกือบเต็มปากถ้วย หยอดเมล็ดกรีนคอส (Green Cos) ที่จัดจำหน่ายโดยบริษัททัชกรีนเนอรีส์สายพันธุ์ Tiberius RZ. ลงในถ้วยปลูกถ้วยละ 1 เมล็ดก่อนนำไปวางในถาดอนุบาลที่มีสารละลายธาตุอาหารไหลเวียนเป็นเวลา 14 วัน เลือกต้นกล้าที่มีความสม่ำเสมอและสมบูรณ์ย้ายลงในชุดรางปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น (stock nutrient solution) ตามสูตรดัดแปลงจาก Cooper (1979) โดย ผศ.ดร.ยงยุทธ เจียมไชยศรีที่มีปริมาณปุ๋ย potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 ; KP) ใน stock สารละลายธาตุอาหารสี่อัตรา ประกอบด้วย อัตราปกติ (53 กรัม/ลิตร) (Chiemchaisri *et al.*, 2016) สำหรับการทดลองนี้มีการใช้ปุ๋ย KP เพิ่มขึ้นจากอัตราปกติ 5 เปอร์เซ็นต์ (55.65 กรัม), 10 เปอร์เซ็นต์ (58.30 กรัม) และ 15 เปอร์เซ็นต์ (60.95 กรัม) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ระหว่าง 5.5 – 6.5 และปรับค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ให้อยู่ระหว่าง 1.6 –

1.8 mS/cm ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้าทุกวันในตอนเช้าและเย็นตลอดการทดลองในทุกกรรมวิธีให้มีค่าเท่ากันโดยใช้กรดไนตริก (HNO_3) 50 เปอร์เซ็นต์ (Lamool, 2006) เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 7 วัน

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์และปุ๋ย KH_2PO_4 ต่อการเจริญเติบโตและการลดการเกิดโรคของผักกาดหอม

ใช้สปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *T. asperellum* (*Ta*) ชนิดเชื้อสดอัตรา 50 กรัม ผสมสารละลายธาตุอาหาร 100 ลิตรที่เตรียมก่อนหน้านี้ ใส่ลงในระบบปลูกพืชตั้งแต่ระยะเพาะกล้าและทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร ปลูกเชื้อรา *P. aphanidermatum* (*Pa*) ด้วยการเติมเส้นใยแขวนลอย 200 มิลลิลิตรลงในสารละลายธาตุอาหาร 50 ลิตรเมื่อผักกาดหอมอายุ 14 21 28 และ 35 วัน

วางแผนการทดลองแบบ สุ่ม สมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลองช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น กรรมวิธีที่ 1 – 4 คือกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ย KP อัตราปกติ (KP-0) และอัตราที่เพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ (KP-15) แล้วใช้ร่วมกับเชื้อรา *Ta* (KP-0 +*Ta*, KP-15+*Ta*) ส่วนกรรมวิธีที่ 5-8 คือกรรมวิธีที่ 1-4 ที่มีการปลูกเชื้อรา *Pa* (KP-0 +*Pa* KP-15+*Pa* KP-0 +*Ta*+*Pa* และ KP-15+*Ta*+*Pa*) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม R (R-language and environment for statistical computing and graphics) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากกรรมวิธีต่าง ๆ โดย Least significant difference (LSD) ($P < 0.05$)

การวัดผลการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมชนิดกรีนคอส (Green Cos) เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 42 วันหลังจากเพาะเมล็ดโดยการชั่งน้ำหนัก

สดต้น และน้ำหนักสดรากวัดพื้นที่ใบ (Li-3100 Area Meter) โดยเลือกใบกว้างสุด 3 ใบ/ต้น 3 ต้น/ซ้ำ 5 ซ้ำ/กรรมวิธี วัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้น วัดจากโคนต้นที่อยู่เหนือวัสดุปลูก 0.5 เซนติเมตรแล้วนำมาคำนวณเป็นพื้นที่หน้าตัดโคนต้นวัดปริมาตรรากโดยตัดโคนต้นส่วนที่อยู่เหนือวัสดุปลูก 0.5 เซนติเมตร ใช้ส่วนของรากถึงส่วนที่ไหลพ้นจากกันถ้วยเพาะกล้าถึงปลายราก และใช้รากแทนที่น้ำมีหน่วยเป็น มิลลิลิตร

การประเมินโรคและการเจริญครอบครองรากของจุลินทรีย์

ประเมินสภาพอาการเน่าและสีของรากที่ต่างจากรากปกติ อันเนื่องมาจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *P. aphanidermatum* (*Pa*) โดยวิธีการให้คะแนน 5 ระดับตั้งแต่ระดับ 0 รากผักกาดหอมมีสีขาวมีการเจริญเติบโตปกติ ไม่แสดงอาการของโรค ระดับ 1 แสดงอาการของโรครากเน่า 1 – 25 เปอร์เซ็นต์ รากผักกาดหอมมีสีน้ำตาลอ่อนมาก (very light brown color) ระดับ 2 แสดงอาการของโรครากเน่า 26 – 50 เปอร์เซ็นต์ รากผักกาดหอมมีสีน้ำตาลอ่อน (light brown color) ระดับ 3 แสดงอาการของโรครากเน่า 51 – 75 เปอร์เซ็นต์ รากผักกาดหอมมีสีน้ำตาลปกติ (normal brown color) ระดับ 4 แสดงอาการของโรครากเน่า 76 – 100 เปอร์เซ็นต์ รากผักกาดหอมมีสีน้ำตาลเข้ม (dark brown color) ก่อนนำไปคำนวณเป็นค่าดัชนีการเกิดโรคตามวิธีการของ Cirulii and Alexander (1966) เมื่อผักกาดหอมอายุ 42 วันนำตัวอย่างรากมาล้างน้ำก่อนแช่ในสารละลาย sodium hypochlorite เข้มข้น 0.525 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 นาที ล้างรากด้วยน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้งซ้ำด้วยกระดาษหนึ่งฆ่าเชื้อแล้วตัดรากให้มีขนาดความยาว 1.0 เซนติเมตร วางบนอาหาร modified BNPR (Chamswang *et al.*, 1985) และ Martin's medium จำนวน 5 ชิ้นต่อจานอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อตรวจการเจริญครอบครองรากของเชื้อรา *P.*

aphanidermatum (Pa) และ *T. asperellum* (Ta) ตามลำดับ

ตรวจปริมาณเชื้อรา *P. aphanidermatum* (Pa) และ *T. asperellum* (Ta) โดยนำสารละลายธาตุอาหารจากสปีดาร์สุดท้ายที่เก็บผลผลิตของแต่ละกรรมวิธีมาเจือจางด้วยน้ำหนึ่งฆ่าเชื้อในอัตราส่วน 1:9 นำมาหยดลงบนผิวหน้าอาหาร modified BNPR และ Martin's medium จำนวน 0.1 มิลลิลิตรต่อจาน และเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหารตามลำดับ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ตรวจนับโคโลนีของเชื้อราที่เจริญบนผิวหน้าอาหาร บันทึกปริมาณเชื้อเป็นหน่วยโคโลนี (Colony forming unit) ต่อสารละลายธาตุอาหาร 1 มิลลิลิตร (CFU/ml)

ผลและวิจารณ์

ประสิทธิภาพในการลดโรคและส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

จากผลการทดลองที่ดำเนินการในช่วงเดือน เมษายน - พฤษภาคม ที่มีอุณหภูมิสูง 36 - 42 องศาเซลเซียส กรณีที่ไม่ได้ปลูกเชื้อรา Pa ลงในระบบปลูก พบว่า กรรมวิธี KP-15+ Ta(-Pa) ส่งผลให้น้ำหนักสดรวมทั้งต้นและรากของผักกาดหอมสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (KP-0 (-Pa)) อย่างมีนัยสำคัญ (เพิ่ม 30.56 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรรมวิธี KP-0 + Ta (-Pa) (เพิ่ม 19.75 เปอร์เซ็นต์) และ KP-15(-Pa) (เพิ่ม 12.68 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ (Table 1) กรณีที่ปลูกเชื้อรา Pa ลงในระบบปลูกที่เพิ่มปุ๋ย KP 15 เปอร์เซ็นต์ (KP-15 + Pa) พบว่าน้ำหนักสดรวมทั้งต้นและรากของผักกาดหอมเพิ่มขึ้น 18.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีค่าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (KP-0 + Pa) ในกรณีที่ไม่เพิ่มปุ๋ย KP แต่ใช้เชื้อรา Ta ใส่ลงในระบบปลูก (KP-0 +Ta +Pa) ช่วยให้น้ำหนักสดรวมทั้งต้นและรากของผักกาดหอมเพิ่มขึ้น 31.82 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าเมื่อเพิ่มปุ๋ย KP และมีการใช้เชื้อรา Ta ใส่

ลงในระบบปลูกร่วมด้วย (KP-15 + Ta + Pa) ช่วยให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดรวมทั้งต้นและรากเพิ่มขึ้นสูงสุด 62.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 + Pa) (Table 1)

ในกรณีที่ไม่ได้ปลูกเชื้อรา Pa พบว่าการเพิ่มปุ๋ย KP (KP-15 (-Pa)) มีแนวโน้มช่วยเพิ่มพื้นที่ใบ, พื้นที่หน้าตัดโคนต้น และปริมาตรรากของผักกาดหอมให้มากขึ้น แต่มีค่าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (KP-0 (-Pa)) (Table1) แต่ถ้าเพิ่มปุ๋ย KP ในสารละลายธาตุอาหารและใช้เชื้อรา *T. asperellum* (Ta) ร่วมด้วย (KP-15+ Ta(-Pa)) ส่งผลให้พื้นที่ใบ และปริมาตรรากเพิ่มขึ้น 14.47 และ 17.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (KP-0 (-Pa)) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธี KP-0 + Ta

ในด้านพื้นที่หน้าตัดโคนต้นพบว่า กรรมวิธี KP-15(-Pa) และกรรมวิธี KP-0 + Ta(-Pa) ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 (-Pa)) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 3.57 - 8.33 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเพิ่ม KP ในสารละลายธาตุอาหารและใช้เชื้อรา Ta ร่วมด้วย (KP-15+ Ta(-Pa)) ส่งผลให้มีพื้นที่หน้าตัดโคนต้นเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (32.74 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 (-Pa)) (Table 1)

ในกรณีที่ปลูกเชื้อรา Pa พบว่าการเพิ่มปุ๋ย KP ในสารละลายธาตุอาหาร (KP-15 +Pa) หรือไม่เพิ่มปุ๋ย KP แต่ใช้เชื้อรา Ta ร่วมด้วย (KP-0 +Ta +Pa) มีแนวโน้มในการเพิ่ม พื้นที่ใบ พื้นที่หน้าตัดโคนต้นและปริมาตรรากได้ แต่ถ้าเพิ่มปุ๋ย KP ร่วมกับการใช้เชื้อรา Ta (KP-15 + Ta +Pa) ช่วยให้พื้นที่ใบ พื้นที่หน้าตัดโคนต้นและปริมาตรรากเพิ่มขึ้นมากที่สุด (เพิ่มขึ้น 30.33 54.32 และ 76.98 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 + Pa) (Table1) ในกรณีที่มีการปลูกเชื้อโรคพบว่า ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโต และปริมาตรรากลดลงค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ปลูก

Table 1 Efficacy of *Trichoderma asperellum* (Ta) and potassium dihydrogen phosphate (KH₂PO₄ ; KP) on plant and root fresh weight, leaf area, basal stem cutting area and root volume of 42-day-old green cos lettuce grown in nutrient solution infested with *Pythium aphanidermatum* (Pa)

Treatment	Plant + Root fresh weight (g/plant)	Leaf area (cm ²)	Basal stem cutting area (cm ²)	Root volume ^{1/} (ml)
KP-0 Control ^{2/} (-Pa) ^{3/}	254.70 ^{C 4/}	132.70 ^b	1.68 ^b	33.33 ^{bc}
KP-15 ^{5/} (-Pa)	287.00 ^b	133.20 ^b	1.74 ^b	36.67 ^{ab}
	(+12.68%) ^{6/}	(+0.38%)	(+3.57%)	(+10.02%)
KP-0 + Ta ^{7/} (-Pa)	305.00 ^b	150.20 ^a	1.82 ^b	37.33 ^{ab}
	(+19.75%)	(+13.19%)	(+8.33%)	(+12.00%)
KP-15+ Ta (-Pa)	332.60 ^a	151.90 ^a	2.23 ^a	39.00 ^a
	(+30.56%)	(+14.47%)	(+32.74%)	(+17.01%)
KP-0 Control (+Pa) ^{8/}	86.33 ^f	65.02 ^e	0.81 ^e	17.33 ^e
KP-15 + Pa	102.70 ^{ef}	76.80 ^d	0.86 ^{de}	17.33 ^e
	(+18.96%)	(+18.12%)	(+6.17%)	(+0.00%)
KP-0 + Ta + Pa	113.80 ^e	76.98 ^d	1.13 ^{cd}	27.33 ^d
	(+31.82%)	(+18.39%)	(+39.51%)	(+57.70%)
KP-15+ Ta + Pa	140.10 ^d	84.74 ^C	1.25 ^C	30.67 ^{cd}
	(+62.28%)	(+30.33%)	(+54.32%)	(+76.98%)
C.V. (%)	1.99	1.97	1.99	1.99

^{1/} volume of lettuce roots was obtained from the volume of water replaced by plant roots.

^{2/} Normal rate of KH₂PO₄ (KP) in nutrient solution stock (53 g/l; KP-0).

^{3/} *Pythium* non-inoculated control (-Pa).

^{4/} Means in each column followed by the same letter (s) are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) (P≤0.05).

^{5/} KH₂PO₄ in nutrient solution stock increased by 15% (60.95 g/l ; KP-15).

^{6/} Percentage of increment (+) of each treatment mean when compared with untreated control.

^{7/} The use of *T. asperellum*(Ta) fresh culture at 50g./100 liters of nutrient solution.

^{8/} *Pythium* inoculated control (+Pa), using *Pythium* mycelial suspension at 100ml./ 25 liters of nutrient solution at 14, 21, 28 and 35 days after planting.

เชื้อโรคอาจเนื่องมาจากเชื้อโรคมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นในช่วงที่สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์และกิจกรรมของเอนไซม์ และประสิทธิภาพในการสร้างสารทุติยภูมิของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ด้วย (Howell, 2003)

ประสิทธิภาพในการลดโรครากเน่า และปริมาณจุลินทรีย์ในสารละลายธาตุอาหาร

กรณีที่ปลูกเชื้อรา *P. aphanidermatum* (Pa) ลงในกรรมวิธีที่เพิ่มปุ๋ย KH₂PO₄ (KP) 15 เปอร์เซ็นต์ (KP-15+ Pa) พบการเกิดโรครากเน่ารุนแรง (100

เปอร์เซ็นต์) และเชื้อรา Pa สามารถเจริญครอบครองรากได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 + Pa) ตรวจพบปริมาณของเชื้อรา Pa ในสารละลายธาตุอาหาร 1.7×10^2 หน่วยโคโลนี (CFU) ต่อมิลลิลิตรซึ่งมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (KP-0 + Pa) (Table 2) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเชื้อรา Pa สามารถแพร่กระจาย และก่อให้เกิดโรครุนแรงได้ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากรากอ่อนแอลง นอกจากนี้ root exudates ที่รากขับออกมาและสารละลายธาตุอาหารยังมีบทบาทในการกระตุ้นการงอกของ zoospore ของเชื้อรา Pa อีกด้วย (Zinnen, 1988; Zhou and Paulitz, 1993) อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใส่เชื้อรา Ta ลงในระบบปลูก ช่วยให้ดัชนีการเกิดโรครากเน่าทั้งในกรณีที่ใช้ปุ๋ย KP อัตราปกติ (KP-0+Ta +Pa) และที่เพิ่ม KP 15 เปอร์เซ็นต์ (KP-15+Ta +Pa) มีค่าลดลง 16.33 และ 18.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 + Pa) นอกจากนี้พบว่าการครอบครองรากของเชื้อรา Pa ลดลงเหลือเพียง 80.00 และ 73.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ตรวจเชื้อรา Pa ในสารละลายธาตุอาหารพบว่ามีปริมาณของเชื้อรา Pa ลดลง 60.61 – 83.33 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) กรรมวิธีที่มีการใส่เชื้อรา Ta (KP-0+Ta +Pa, KP-15+Ta +Pa) พบว่าเชื้อรา Ta เจริญครอบครองรากผักกาดหอมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และสามารถตรวจพบปริมาณของเชื้อรา Ta ในสารละลายธาตุอาหาร 3.3×10^3 และ 5.7×10^4 หน่วยโคโลนี (CFU) ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Table 2)

ในกรณีที่ไม่ได้ปลูกเชื้อโรคพบการปนเปื้อนของเชื้อรา *P. aphanidermatum* ในระบบปลูกตามธรรมชาติเนื่องจากเคยมีการระบาดของโรครากเน่าของผักกาดหอมในโรงเรือนมาก่อน และขณะทดลองอยู่ในช่วงที่สภาพแวดล้อมและสารละลายมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้การละลายตัวของออกซิเจนต่ำลง ระบบรากอ่อนแอเนื่องจากการหายใจของรากพืชมีปัญหา รากได้รับปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ จึงทำให้ดูดซับธาตุอาหารและน้ำได้น้อย (Thongaram, 2004)

สภาพดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ส่งผลให้ผักกาดหอมมีความอ่อนแอต่อโรครากเน่าเพิ่มขึ้น (Lamool, 2006; Chamswarn and Buasuwan, 2013) จึงทำให้เกิดโรครากเน่า 35 เปอร์เซ็นต์ (KP-0 (-Pa)) ตรวจพบปริมาณของเชื้อรา Pa ในสารละลายธาตุอาหาร 6.67 หน่วยโคโลนี (CFU) ต่อมิลลิลิตร พบการเจริญครอบครองรากของเชื้อรา Pa 46.47 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) การเพิ่มปุ๋ย KP 15 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายธาตุอาหาร (KP-15 (-Pa)) ส่งผลให้เกิดโรคลดลง 38.09 เปอร์เซ็นต์ และตรวจพบปริมาณของเชื้อรา Pa ในสารละลายธาตุอาหารลดลง 50.07 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้การเจริญครอบครองรากของเชื้อรา Pa ลดลง 14.29 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 (-Pa)) จึงอาจเป็นไปได้ว่าในสภาพจริงที่เกษตรกรพบเชื้อโรคในระบบปลูก การเพิ่มปุ๋ย KP ในสารละลายธาตุอาหาร นอกจากจะช่วยส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นแล้วยังส่งเสริมกระบวนการ metabolisms ภายในเซลล์ให้มีประสิทธิภาพ และช่วยให้ผนังเซลล์พืชมีความแข็งแรง ส่งเสริมการเจริญของระบบราก ช่วยให้ต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคได้ (Harris, 1997; Mollier and Pellerin, 1999) การเพิ่มปุ๋ย KP 15 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่เชื้อรา Ta (KP-15 + Ta (-Pa)) พบว่าช่วยลดการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญ 61.91 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ในขณะที่การใช้ปุ๋ย KP อัตราปกติ ร่วมกับการใส่เชื้อรา Ta (KP-0 + Ta(-Pa)) ลดการเกิดโรคได้ 52.37 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้จะตรวจไม่พบปริมาณของเชื้อรา Pa ในสารละลายธาตุอาหารจากกรรมวิธี KP-15+Ta (-Pa) และกรรมวิธี KP-0 + Ta (-Pa) ขณะที่กรรมวิธี KP-15 ตรวจพบเชื้อรา Pa ปริมาณต่ำมาก (3.33 หน่วยโคโลนี (CFU) ต่อมิลลิลิตร) พบว่าเชื้อรา Pa สามารถเจริญครอบครองรากของผักกาดหอมได้ (Table 2) นอกจากนี้ยังสามารถเจริญครอบครองวัสดุปลูก (เพอร์ไลท์เวอร์มิคูไลท์) ได้เช่นกัน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แต่เนื่องจากการใส่เชื้อรา Ta จึงสามารถลดเจริญครอบครอง

Table 2 Efficacy of *Trichoderma asperellum* (Ta) and potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 ; KP) on disease index and fungal colonization on root of 42-day-old hydroponically grown green cos lettuce and population of microorganisms in nutrient solution infested with *Pythium aphanidermatum* (Pa)

Treatment	Disease Index ^{1/} (%)	Disease index reduction (%)	Root colonization (%)		Populations in nutrient solution (CFU/ml)	
			<i>Pythium</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Pythium</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp.
KP-0 Control ^{2/} (-Pa) ^{3/}	35.00 ^{d 4/}	-	46.67 ^d	nd ^{5/}	6.67 ^e	nd
KP-15 ^{6/} (-Pa)	21.67 ^e	38.09	40.00 ^e	nd	3.33 ^f	nd
KP-0 + Ta ^{7/} (-Pa)	16.67 ^f	52.37	13.33 ^f	100.00 ^a	0.00 ^g	6.7×10 ^{3b}
KP-15+ Ta (-Pa)	13.33 ^g	61.91	6.67 ^g	100.00 ^a	0.00 ^g	2.0×10 ^{3d}
KP-0 Control(+Pa) ^{8/}	100.00 ^a	-	100.00 ^a	nd	1.5×10 ^{2b}	nd
KP-15 + Pa	100.00 ^a	0.00	100.00 ^a	nd	1.7×10 ^{2a}	nd
KP-0 + Ta + Pa	83.67 ^b	16.33	80.00 ^b	100.00 ^a	2.5×10 ^{1d}	3.3×10 ^{3c}
KP-15+ Ta + Pa	81.67 ^c	18.33	73.33 ^c	100.00 ^a	6.5×10 ^{1c}	5.7×10 ^{4a}
C.V. (%)	2.31	-	2.02	2.09	2.06	2.18

^{1/} Diseaseindex (%) = Total of (Numbers of diseased plants x degree of symptoms) x 100
Total plants in a treatment xThe highest of symptom degree

^{2/} Normal rate of KH_2PO_4 (KP) in nutrient solution stock (53 g/l; KP-0).

^{3/} *Pythium* non-inoculated control (-Pa)

^{4/} Means in each column followed by the same letter (s) are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) ($P \leq 0.05$).

^{5/} nd = non-determined

^{6/} KH_2PO_4 in nutrients solution stock increased by 15% (60.95 g/l ; KP-15).

^{7/} The use of *T. asperellum* (Ta) fresh culture at 50g./100 liters of nutrient solution.

^{8/} *Pythium* inoculated control (+Pa), using *Pythium* mycelial suspension at 100ml./ 25 liters of nutrient solution at 14, 21, 28 and 35 days after planting.

รากของเชื้อรา Pa ลงได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ 85.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (KP-0 (-Pa)) (Table 2) ซึ่งเชื้อรา Ta อาจมีการสร้างสารเอนไซม์ chitinase, β -1,3 glucanase (Harman, 2006) และ pentyl pyrone (Intana, 2003) ที่มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของเชื้อรา Pa ช่วยสร้างความต้านทานต่อโรคออกมายับยั้งการเจริญและ

การเพิ่มปริมาณของเชื้อรา Pa (Chamswang, 2006) จากการทดลองพบว่าการใช้เชื้อรา Ta (KP-0 + Ta) นั้น สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญของผักกาดหอมได้เทียบเท่ากับการเพิ่ม KP ในสารละลายธาตุอาหาร (KP-15) (Figure 1) ทั้งนี้เชื้อรา Ta จะไปเจริญอยู่ที่ราก สามารถเจริญครอบคลุมรากพืช ช่วยละลายธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้

ประโยชน์ได้ (Harman *et al.*, 2004) หรือมีกลไกในการเจริญแข่งขันกับเชื้อสาเหตุโรค (Chamswang, 2006) จึงส่งผลให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตได้มากขึ้น (Harman, 2006) นอกจากนี้การทดลองของ Charoenrak (2015) พบว่าเชื้อรา *T. asperellum* สายพันธุ์ 01-52 และ CB-Pin-01 มีความสามารถละลายฟอสเฟต และผลิตสาร indole-3-acetic acid ได้ จึงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แต่ทั้งนี้สภาพแวดล้อมเป็นตัวกำหนดสภาพแวดล้อมได้แก่ ปริมาณออกซิเจน สภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิ ล้วนมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และการแพร่กระจายของเชื้อโรค (Waechter-Kristensen *et al.*, 1999) ขณะทำการทดลองอุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงระหว่าง 29 – 33 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนในช่วงเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.0 องศาเซลเซียส และเดือนพฤษภาคมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.5 องศาเซลเซียส (ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยา ซึ่งตั้งอยู่ภายในพื้นที่ของมหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) ถึงแม้จะเกิดโรครากเน่าก่อนข้างรุนแรงจากการทดลองแต่เชื้อรา Ta ยังสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของผักกาดหอมได้เมื่อนำสารละลายในสปีดาร์สุดท้ายที่เก็บผลผลิตจากกรรมวิธีที่มีการใช้เชื้อรา Ta มาตรวจ ยังพบว่ามีปริมาณเชื้อรา Ta อยู่ในสารละลายธาตุอาหารในช่วง $2 \times 10^3 - 5.7 \times 10^4$ หน่วยโคโลนี (CFU) ต่อมิลลิกรัมและเมื่อนำรากมาวางบนอาหาร Martin's medium พบว่าเชื้อรา Ta ในทุกกรรมวิธี สามารถเจริญครอบครองอยู่ที่ผิวรากของผักกาดหอมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Harman (2004) และ Lamool (2006) และมีรายงานที่สนับสนุนผลงานที่ได้ครั้งนี้คือการทดลองของ Han *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าการเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมรวมกับการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายธาตุอาหารเหล่านั้นส่งผลต่อการเจริญในด้านน้ำหนักการสะสมธาตุอาหารในใบและราก และอัตราการสังเคราะห์แสงของพริกไทยและพืชตระกูลแตงมากขึ้น

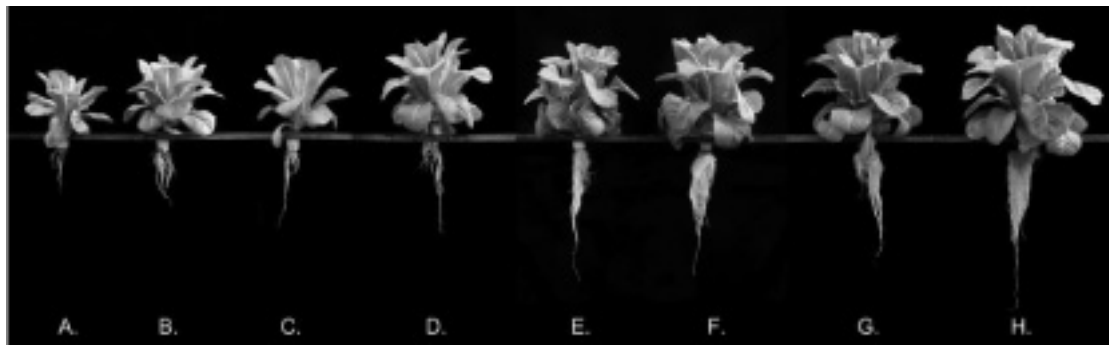


Figure 1 Efficacy of *Trichoderma asperellum* (Ta) CB-Pin-01 and potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 ; KP) at normal rate (KP-0) and 15% increased rate (KP-15) of normal rate and *Pythium aphanidermatum* (+Pa = inoculated, -Pa = non-inoculated) on growth promotion of hydroponically grown green cos lettuce in nutrient film technique (NFT)
 A. KP-0 Control (+Pa), B. KP-15+Pa, C. KP-0 +Ta +Pa, D. KP-15 +Ta +Pa,
 E. KP-0 Control(-Pa), F. KP-15 (-Pa), G. KP-0 + Ta (-Pa) and H. KP-15 +Ta (-Pa)

สรุป

การเพิ่มปริมาณปุ๋ย KH_2PO_4 ใน สารละลายธาตุอาหาร 15 เปอร์เซ็นต์ จากอัตราปกติ คือ 53 กรัม เป็น 60.95 กรัม ต่อ stock สารละลาย ธาตุอาหาร 1 ลิตร สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต ช่วยเพิ่มผลผลิตและลดการเกิดโรคของผักกาดหอม ได้ แต่ถ้าเพิ่มปริมาณปุ๋ย KH_2PO_4 15 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้เชื้อรา *T. asperellum* จะช่วยส่งเสริมการเจริญทั้งต้นและรากช่วยให้ได้ผลผลิต เพิ่มขึ้น ลดการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *P. aphanidermatum* ได้มากที่สุด ลดปริมาณเชื้อโรคใน สารละลายธาตุอาหาร เชื้อรา *T. asperellum* เจริญ ครอบครองรากผักได้อย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์) จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของผัก กาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ได้อย่างมี ประสิทธิภาพดีที่สุด

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนบางส่วน จาก ศูนย์วิทยการขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการส่งเสริม การวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัย แห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และขอ ขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ เจียม ไชยศรี ที่กรุณาให้แนวคิดและคำปรึกษาที่มีคุณค่า และประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Armstrong, D.L. 1999. Functions of phosphorus in plants. *Better crops*. 83(1): 40 p.
- Chamswarn, C. and J. Buasuwan. 2013. Efficacy of *Bacillus mycooides* bioproduct for the control of *Pythium* root rot caused by *Pythium aphanidermatum* on NFT – hydroponic lettuce (Butter Head) grown under high temperature condition. *Agricultural Sci. J.* 44(2): 201 – 211. (Abstract in English).
- Chamswarn, C., P. Leeprasert and S. Chantana-o-tan. 1985. Population assessments of soil-borne plant pathogens, *Sclerotium rolfsii*, *Pythium* spp., *Phytophthora* spp. in soil and their correlation to disease incidence on intercropping system. In *Cropping Programmes KU-ACNARP*. Fact. of Agri., Kasetsart Univ., Bangkok, Thailand. 80 p.
- Chamswarn, C. and W. Intanoo. 2002. Production of *Trichoderma* fresh culture by simple technique for controlling damping-off of yard long bean by *Sclerotium rolfsii*. p. 114 In *The Proceeding of 40th Kasetsart University Annual Conference*. (in Thai)
- Chamswarn, C. 2006. Biological control of plant disease. Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. 323 p. (in Thai).
- Charoenrak, C. and C. Chamswarn. 2015. Application of *Trichoderma asperellum* fresh culture bioproduct as potential biological control agent of fungal diseases to increase yield of rice (*Oryza sativa* L.). *J. ISSAAS*. 21(2): 67 – 85.
- Chiemchaisri, Y., W. Niyomthai and A. Suboonsan. 2016. Nutrient solution. p.

- 58-65 In Mimeograph of the academic training for safety vegetable production in hydroponic system. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Cirulii, M. and L.J. Alexander. 1966. A comparison of pathogenic isolates of *Fusarium oxysporum* f.sp.*lycopersici* and different sources of resistance in tomato. *Phytopathology* 56: 1301 – 1304.
- Cooper, A.J. 1979. The ABC of NFT: Nutrient Film Technique. Grower Books, London, UK. 170 p.
- Furlani, P.R. 1999. Hydroponic vegetable production in Brazil. *Acta Hort.* 481: 777 – 778.
- Han, H.S., Supanjani and K.D. Lee. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant Soil Environ.* 52(3): 130 – 136.
- Harman G.E., C.R. Howell, A. Viterbo, I. Chet, and M. Lorito. 2004. *Trichoderma* species, opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature reviews/Microbiology* 2: 43 – 56.
- Harman, G.E. 2006. Overview of mechanism and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96: 190 – 194.
- Harris, G. 1997. Potassium deficiency in cotton linked to leaf spot disease. *Better Crops.* 81: 10 – 11.
- Howell, C.R. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Dis.* 87(1): 4 – 10.
- Intana, W. 2003. Selection and Development of *Trichoderma* spp. For High Glucanase, Antifungal Metabolite Producing and Plant growth Promoting Isolates for Biological Control of Cucumber Damping-off Caused by *Pythium* spp. Ph.D. thesis, Kasetsart University, Bangkok.
- Lamool, P. 2006. Application of *Trichoderma harzianum* for the control of *Pythium* root rot on NFT–hydroponic lettuce caused by *Pythium aphanidermatum* M.S. thesis, Kasetsart University, Bangkok. (Abstract in English).
- Leigh, R.A. and R.G. WYN Jones. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytol.* 97: 1 – 13.
- Mollier, A. and S. Pellerin. 1999. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *J. Exp. Bot.* 50: 487 – 497.
- Oosteehuis, D.M., D.A. Loka and T.B. Raper. 2013. Potassium and stress alleviation: physiological functions and management of control. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176: 331 – 343.
- Thongaram, D. 2004. Hydroponic culture “The production management and manufacturing technologies for business in Thailand”. Thammarak Publisher, Rachaburi. 724 p. (in Thai)
- Waechter-Kristensen, B., S. Caspersen, S. Adalsteinsson, P. Sundin and P. Jensen. 1999. Organic compounds and micro-organisms in closed, hydroponic culture: occurrence and effects on plant

- growth and mineral nutrition. *Acta Hort.* 481: 197 – 204.
- Zhou, T. and T.C. Paulitz. 1993. *In vitro* and *in vivo* effects of *Pseudomonas* spp. on *Pythium aphanidermatum*: zoospore behavior in exudates and on the rhizoplane of bacteria treated cucumber roots. *Phytopathology* 83: 872 – 876.
- Zinnen, T.M. 1988. Assessment of plant diseases in hydroponic culture. *Plant Dis.* 72(2): 96 – 99.