ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการลดโรครากเน่าของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์

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

จิระเดช แจ่มสว่าง[1*,2], วรรณวิไล อินทนู[1,2] และ วิราพร ชีวะพานิช[1,2]
Chiradej Chamswarng[1*,2], Wanwilai Intanoo[1,2] and Wiraporn Chewapanich[1,2]

Abstract

During period of high temperature (36 – 42 ºC) 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

---

[1] ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140
Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, KamphaengSaen Campus, Nakhon Pathom 73140

[2] ศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหาร 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 : agrcdc@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 2.0×10^3 – 5.7×10^4 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 ไฮโดรโพนิกส์

คำนำ

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย ได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตมาอย่างต่อเนื่อง และเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยให้สามารถผลิตพืชในบริเวณพื้นที่ซึ่งดินขาดความสมบูรณ์ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีปริมาณเพียงพอและมีคุณภาพสูง การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในสภาพโรงเรือนช่วยลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช จึงสามารถลดปัญหาการสะสมมลพิษในสภาพแวดล้อมได้ (Furlani, 1999) อย่างไรก็ตามหากผู้ปลูกมีการจัดการที่ไม่ดีพออาจทำให้เกิดโรคพืชสร้างความเสียหายต่อผลผลิตได้ โดยเฉพาะโรครากเน่าซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่สามารถเจริญสร้างเส้นใยได้อย่างรวดเร็ว สร้างซูโอสปอร์ (zoospore) ซึ่งว่ายน้ำได้ เมื่อเชื้อโรคสัมผัสรากพืชจะเจริญเข้าสู่รากพืชก่อให้เกิดโรครากเน่าได้อย่างรวดเร็ว (Chamswarng, 2006) ในการควบคุมโรครากเน่าโดยชีววิธี มีรายงานการใช้เชื้อรา *T. harzianum* ลดการเกิดโรครากเน่าของผักกาดหอมที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *P. aphanidermatum* และส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมได้ (Lamool, 2006) เชื้อรา *Trichoderma* spp. เป็นเชื้อราที่มีการศึกษามาเป็นเวลายาวนาน มีประสิทธิภาพในการควบคุมและต่อสู้กับเชื้อสาเหตุโรคพืช (Harman, 2006) มีกลไกในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคได้ โดยการเป็นปรสิต (parasitism) การสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiosis) การเจริญแข่งขัน (competition) และชักนำให้พืชต้านทานโรค (induced resistance) (Chamswarng, 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 ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ โดยเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acids) ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และผนังเซลล์ (cell wall) (Armstrong, 1999) เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง สร้างแป้งและน้ำตาล ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียม (K) มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการเปิด-ปิดปากใบ ตลอดจนการสังเคราะห์โปรตีนและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ในไซโทพลาซึม (cytoplasm) (Leigh and Jones, 1984; Oosterhuist *et al*., 2013) การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเชื้อรา *T. asperellum* สายพันธุ์ CB-Pin-01 ชนิดเชื้อสดและปริมาณปุ๋ย KH_2PO_4 ในสารละลายธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นจากอัตราปกติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตเพิ่มผลผลิตและลดการเกิดโรครากเน่าของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมเชื้อโรครากเน่าและเชื้อราปฏิปักษ์

เลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าผักกาดหอม *P. aphanidermatum* (Pa) บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ใช้มีดที่ฆ่าเชื้อแล้วตัดวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในน้ำนึ่งฆ่าเชื้อ 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 Chamswarng and Intanoo (2002) ใช้เชื้อสดอัตรา 50 กรัมต่อสารละลายธาตุอาหาร 100 ลิตร โดยแบ่งสารละลายมา 1 ลิตร สำหรับการล้างสปอร์ออกจากผิวเมล็ดข้าวจนได้น้ำสปอร์เชื้อสีเขียวเข้มแล้วกรองเอาแต่น้ำสปอร์ด้วยกระชอนหรือมุ้งไนลอนตาถี่ (ความเข้มข้นของสปอร์ 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร) นำสปอร์แขวนลอยที่ได้ไปเติมลงในสารละลายธาตุอาหารตามอัตราส่วน

การเพาะกล้าและการปลูกผักกาดหอม

เตรียมชุดรางปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) มีปริมาตรน้ำที่ไหลในระบบเท่ากับ 21.6 ลิตร/นาทีความสูงของน้ำเหนือพื้นรางมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

เพาะกล้าโดยใส่วัสดุปลูกเพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์ในอัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตรลงในถ้วยปลูกจนเกือบเต็มปากถ้วย หยอดเมล็ดกรีนคอส (Green Cos) ที่จัดจำหน่ายโดยบริษัทดัทช์กรีนเนอรี่สายพันธุ์ Tiberius RZ. ลงในถ้วยปลูกถ้วยละ1 เมล็ดก่อนนำไปวางในถาดอนุบาลที่มีสารละลายธาตุอาหารไหลเวียนเป็นเวลา 14 วัน เลือกต้นกล้าที่มีความสม่ำเสมอและสมบูรณ์ย้ายลงในชุดรางปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ 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

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 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 วันหลังจากเพาะเมล็ดโดยการชั่งน้ำหนักสดต้น และน้ำหนักสดรากวัดพื้นที่ใบ (Li-3100 Area Meter) โดยเลือกใบกว้างสุด 3 ใบ/ต้น 3 ต้น/ซ้ำ 5 ซ้ำ/กรรมวิธี วัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้น วัดจากโคนต้นที่อยู่เหนือวัสดุปลูก 0.5 เซนติเมตรแล้วนำมาคำนวณเป็นพื้นที่หน้าตัดโคนต้นวัดปริมาตรรากโดยตัดโคนต้นส่วนที่อยู่เหนือวัสดุปลูก 0.5 เซนติเมตร ใช้ส่วนของรากถึงส่วนที่โผล่พ้นจากก้นถ้วยเพาะกล้าถึงปลายราก 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 ล้างรากด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้งซับด้วยกระดาษนึ่งฆ่าเชื้อแล้วตัดรากให้มีขนาดความยาว 1.0 เซนติเมตร วางบนอาหาร modified BNPRA (Chamswarng *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) โดยนำสารละลายธาตุอาหารจากสัปดาห์สุดท้ายที่เก็บผลผลิตของแต่ละกรรมวิธีมาเจือจางด้วยน้ำนึ่งฆ่าเชื้อในอัตราส่วน 1:9 นำมาหยดลงบนผิวหน้าอาหาร modified BNPRA และ Martin's medium จำนวน 0.1 มิลลิลิตรต่อจาน และเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหารตามลำดับ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ตรวจนับโคโลนีของเชื้อราที่เจริญบนผิวหน้าอาหาร บันทึกปริมาณเชื้อเป็นหน่วยโคโลนี (Colony forming unit) ต่อสารละลายธาตุอาหาร 1 มิลลิลิตร (CFU/ml)

ผลและวิจารณ์

ประสิทธิภาพในการลดโรคและส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

จากผลการทดลองที่ดำเนินการในช่วงเดือนเมษายน – 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 ใส่ลงในระบบปลูกร่วมด้วย (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) ในกรณีที่มีการปลูกเชื้อโรคพบว่าผักกาดหอมมีการเจริญเติบโต และปริมาตรรากลดลงค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ปลูก

Table 1 Efficacy of *Trichoderma asperellum* (Ta) and potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 ; 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 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/] KH_2PO_4 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 litters of nutrient solution.

[8/] *Pythium* inoculated control (+Pa), using *Pythium* mycelial suspension at 100ml./ 25 litters 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 KH_2PO_4 (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) (Table2) 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 (Table2) กรรมวิธีที่มีการใช้เชื้อรา 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 ระบบรากอ่อนแอเนื่องจากการหายใจของรากพืชมีปัญหารากได้รับปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ จึงทำให้ดูดซับธาตุอาหารและน้ำได้น้อย (Thongaram, 2004) สภาพดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ส่งผลให้ผักกาดหอมมีความอ่อนแอต่อโรครากเน่าเพิ่มขึ้น (Lamool, 2006; Chamswarng 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 ร่วมกับการใช้เชื้อรา Ta (KP-15 + Ta (-Pa)) พบว่าช่วยลดการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญ 61.91 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ในขณะที่การใช้ปุ๋ย KP อัตราปกติ ร่วมกับการใช้เชื้อรา 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) แต่เนื่องจากมีการใช้เชื้อรา 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)	
			Pythium sp.	*Trichoderma* sp.	*Pythium* sp.	*Trichoderma* 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^{3} b
KP-15+ Ta (-Pa)	13.33 g	61.91	6.67 g	100.00 a	0.00 g	2.0×10^{3} d
KP-0 Control(+Pa)[8/]	100.00 a	-	100.00 a	nd	1.5×10^{2} b	nd
KP-15 + Pa	100.00 a	0.00	100.00 a	nd	1.7×10^{2} a	nd
KP-0 + Ta + Pa	83.67 b	16.33	80.00 b	100.00 a	2.5×10^{1} d	3.3×10^{3} c
KP-15+ Ta + Pa	81.67 c	18.33	73.33 c	100.00 a	6.5×10^{1} c	5.7×10^{4} a
C.V. (%)	2.31	-	2.02	2.09	2.06	2.18

[1/] Diseaseindex (%) = $\frac{\text{Total of (Numbers of diseased plants x degree of symptoms) x 100}}{\text{Total plants in a treatment xThe highest of symptom degree}}$

[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) ($P\leq0.05$).

[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 litters of nutrient solution.

[8/] *Pythium* inoculated control (+Pa), using *Pythium* mycelial suspension at 100ml./ 25 litters 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 ช่วยสร้างความต้านทานต่อโรคออกมายับยั้งการเจริญและการเพิ่มปริมาณของเชื้อรา Pa (Chamswarng, 2006) จากการทดลองพบว่าการใช้เชื้อรา Ta (KP-0 + Ta) นั้น สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญของผักกาดหอมได้เทียบเท่ากับการเพิ่ม KP ในสารละลายธาตุอาหาร (KP-15) (Figure 1) ทั้งนี้เชื้อรา Ta จะไปเจริญอยู่ที่ราก สามารถเจริญครอบครองรากพืช ช่วยละลายธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้

ประโยชน์ได้ (Harman *et al*., 2004) หรือมีกลไกในการเจริญแข่งขันกับเชื้อสาเหตุโรค (Chamswarng, 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 แต่ทั้งนี้สภาพแวดล้อมเป็นตัวกำหนดสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน สภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิ ล้วนมีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และการแพร่กระจายของเชื้อโรค (Waechter-Kristensen *et al*., 1999) ขณะทำการทดลองอุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงระหว่าง 29 – 33 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนในช่วงเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.0 องศาเซลเซียส และเดือนพฤษภาคมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.5 องศาเซลเซียส (ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยา ซึ่งตั้งอยู่ภายในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) ถึงแม้จะเกิดโรครากเน่าค่อนข้างรุนแรงจากการทดลองแต่เชื้อรา Ta ยังสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของผักกาดหอมได้ เมื่อนำสารละลายในสัปดาห์สุดท้ายที่เก็บผลผลิตจากกรรมวิธีที่มีการใช้เชื้อรา Ta มาตรวจ ยังพบว่ามีปริมาณเชื้อรา Ta อยู่ในสารละลายธาตุอาหารในช่วง 2×10^3- 5.7×10^4 หน่วยโคโลนี (CFU) ต่อมิลลิลิตรและเมื่อนำรากมาวางบนอาหาร Martin's medium พบว่าเชื้อรา Ta ในทุกกรรมวิธี สามารถเจริญครอบครองอยู่ที่ผิวรากของผักกาดหอมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Harman (2004) และ Lamool (2006) และมีรายงานที่สนับสนุนผลงานที่ได้ครั้งนี้คือการทดลองของ Han *et al*. (2006) ซึ่งพบว่าการเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายธาตุอาหารเหล่านั้นส่งผลต่อการเจริญในด้านน้ำหนักการสะสมธาตุอาหารในใบและราก และอัตราการสังเคราะห์แสงของพริกไทยและพืชตระกูลแตงมากขึ้น

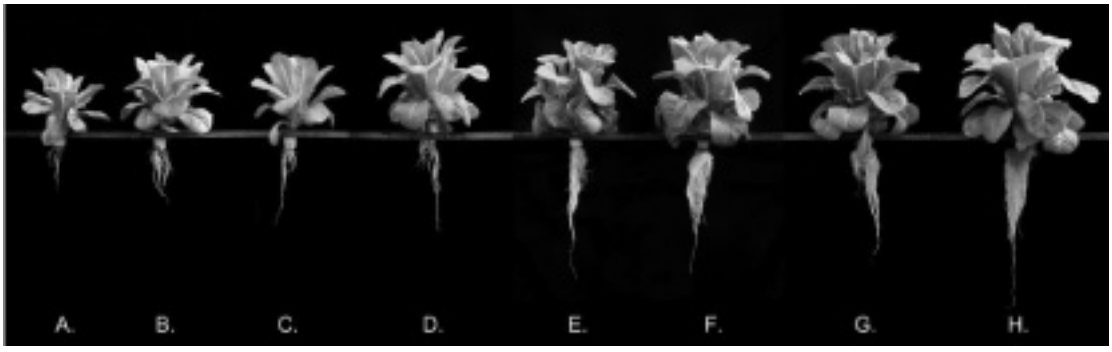

Figure 1 Efficacy of *Trichoderma asperellum* (Ta) CB-Pin-01and potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 ; KP) at normal rate (KP-0) and 15% increased rate (KP-15) of normal rate and *Pythium aphanidermatum* (+Pa = inoculated, -Pa = non-inoculated) on growth promotion of hydroponically grown green cos 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 stock สารละลายธาตุอาหาร 15 เปอร์เซ็นต์ จากอัตราปกติ คือ 53 กรัม เป็น 60.95 กรัม ต่อ stock สารละลายธาตุอาหาร 1 ลิตร สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต ช่วยเพิ่มผลผลิตและลดการเกิดโรคของผักกาดหอมได้ แต่ถ้าเพิ่มปริมาณปุ๋ย KH_2PO_4 15 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้เชื้อรา *T. asperellum* จะช่วยส่งเสริมการเจริญทั้งต้นและรากช่วยให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ลดการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *P. aphanidermatum* ได้มากที่สุด ลดปริมาณเชื้อโรคในสารละลายธาตุอาหาร เชื้อรา *T. asperellum* เจริญครอบครองรากผักได้อย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์) จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุด

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนบางส่วนจาก ศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ เจียมไชยศรี ที่กรุณาให้แนวคิดและคำปรึกษาที่มีคุณค่าและประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Armstrong, D.L. 1999. Functions of phosphorus in plants. Better crops. 83(1): 40 p.

Chamswarng, C. and J. Buasuwan. 2013. Efficacy of *Bacillus mycoides* 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).

Chamswarng, C., P. Leeprasert and S. Chantana-o-tan. 1985. Population assessments of soil-borne plant pathogens, *Sclerotium rolfsii*, *Pythium* spp., *Phythopthora* 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.

Chamswarng, 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)

Chamswarng, 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. Chamswarng. 2015. Application of *Trichoderma asperellum* fresh culture bioproduct aspotential 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, opportunitic, 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. Jensén. 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.