รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

Possible of using arbuscular mycorrhizal fungi for bromacil bioremediation from pineapple-cultivation soil

นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
(รหัสโครงการ 2559-01-04-020) คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

Possible of using arbuscular mycorrhizal fungi for bromacil bioremediation from pineapple-cultivation soil

นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
(รหัสโครงการ 2559-01-04-020) คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 225,430 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า คณะเทคโนโลยีการเกษตร

บทคัดย่อ

โบรมาซิลเป็นสารกำจัดวัชพืชซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในพื้นที่ปลูกสับปะรดและพืชตระกูลส้ม เนื่องจากมีความสามารถในการกำจัดวัชพืชได้ดี การใช้อย่างแพร่หลายก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโบรมาซิลสู่บริเวณโดยรอบ ทั้งในดิน แหล่งน้ำ และน้ำใต้ดิน เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราซึ่งอยู่อาศัยในรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันและส่งผลดีต่อพืชหลายด้าน ทั้งช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร ทำให้พืชทนต่อสภาวะแวดล้อมแห้งแล้งได้ดียิ่งขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลซึ่งปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด การศึกษาความมีชีวิตของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในสภาพแวดล้อมการปลูกสับปะรดพบว่าการปลูกเชื้อโดยการใส่ก้นหลุมปลูกช่วยส่งเสริมให้เชื้อราเข้าอาศัยในรากของสับปะรดได้ดีกว่าการใส่เชื้อบริเวณรอบทรงพุ่ม การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในกระถางระดับโรงเรือนทดลองโดยปลูกหน่อพันธุ์สับปะรดในดินที่ปนเปื้อนโบรมาซิลโดยมีการเติมและไม่เติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาไปก้นหลุมปลูก ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าพืชในทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในขั้นตอนการปลูกพืชมีน้ำหนักส่วนเหนือดินทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าพืชที่ไม่มีการเติมเชื้อราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่น้ำหนักของส่วนรากไม่มีความแตกต่างกัน ปริมาณธาตุอาหารในดินในทรีทเมนต์ที่มีการเติมและไม่มีการเติมเชื้อราไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามภายใต้ทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อราค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีแนวโน้มเป็นกลาง และความเค็มของดินมีแนวโน้มลดลง พบปริมาณสปอร์ของเชื้อราในดินและการเข้าอาศัยในรากพืชเพิ่มขึ้น 2 เท่า และ 10 เท่า ตามลำดับภายใต้ทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อรา ปริมาณโบรมาซิลในดินลดลงจาก 11.54 มก./กก. เป็น 2.08 มก./กก. และ 2.68 มก./กก. ตามลำดับภายใต้ ทรีทเมนต์ไม่มีและมีการเติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา ปริมาณโบรมาซิลในส่วนเหนือดินของพืชที่มีการเติมเชื้อรา (4.78 มก./กก.) มีค่าต่ำกว่าพืชที่ไม่มีการเติมเชื้อรา (5.23 มก./กก.) เชื้อราช่วยลดปริมาณโบรมาซิลที่สะสมในส่วนเหนือดินของพืช แต่ไม่มีผลต่อการลดปริมาณของโบรมาซิลในดิน การเติมเชื้อราอาบัสคูลาไมคอร์ไรซาไม่ส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มเพิ่มปริมาณเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรดในดิน การลดการสะสมของโบรมาซิลในส่วนเหนือดินช่วยลดโอกาสปนเปื้อนของโบรมาซิลเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

คำสำคัญ : อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สับปะรด โบรมาซิล การบำบัดสารปนเปื้อนโดยชีววิธี

Research Title: Possible of using arbuscular mycorrhizal fungi for bromacil bioremediation from pineapple-cultivation soil

Researcher: Ms. Pattrarat Teamkao

Faculty: Agricultural Technology Department: Plant Production Technology

ABSTRACT

Bromacil is a widely use herbicide in pineapple and citrus planting areas. The highly use result in high accumulation in soil that post risk to surrounding environment; including soil, fresh water and ground water. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is symbiotic soil microorganism that benefits plant in various ways, eg. increase nutrients uptake and drought stress tolerance. This study focus on the possible used of pineapple with AMF symbiosis in remediation of bromacil in contaminated soil. The study in inoculation method of AMF in pineapple found that the inoculation in planting hole had higher root colonization than inoculation around plant base. The study in possible use of AMF in bromacil bioremediation was pot experiment. Plantlets of pineapple were grown in soil contaminated with bromacil with or without AMF inoculation for 6 month under greenhouse condition. After the experiment, plant inoculated with AMF had higher fresh and dry shoot biomass than un-inoculated treatment (statistically difference) but root biomass was not different. Nutrients in soil under un-inoculation and inoculation treatments were not different, however, under inoculation treatment trended to increased soil pH to neutral and reduced soil salinity.

The highest AMF spore quantity and colonization were found under inoculation treatment with 2 times and 10 times higher than un-inoculated treatment for spore quantity and root colonization, respectively. Bromacil in soil was reduced from 11.54 mg/kg to 2.08 and 2.68 mg/kg under un-inoculation and inoculation treatments, respectively. The bromacil in plant inoculated with AMF (4.78 mg/kg) was lower than the plant in un-inoculation treatment (5.23 mg/kg). AMF reduced bromacil accumulation in shoot of plant but had no affect on bromacil concentration in soil. The inoculation of AMF had no affect on microbial activity and dehydrogenase enzyme but might increase acid phosphatase activity in soil. Reduction of bromacil concentration in soil and plant reduce the risk of contamination to surrounding environments and food chains.

Keywords : arbuscular mycorrhizal fungi, pineapple, bromacil, bioremediation

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 (รหัสโครงการ 2559-01-04-020) งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทั้งเกษตรกรเจ้าของแปลงตัวอย่างดิน ผู้ช่วยเก็บตัวอย่างดิน อาจารย์ในคณะเทคโนโลยีการเกษตร และนักวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ และผู้เกี่ยวข้องอื่นๆที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจมาโดยตลอด ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการวิจัย การศึกษา และผู้สนใจทั่วไป

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา และขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้ศึกษาค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สับปะรดเป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งสำหรับในประเทศไทยนั้นมีทั้งการปลูกสับปะรดเพื่อบริโภคสด และเพื่อการแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม วัชพืชที่สำคัญในแปลงสับปะรดมีหลายชนิด ทั้งวัชพืชฤดูเดียว และวัชพืชข้ามปี สารกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้ในไร่สับปะรด คือ โบรมาซิล ซึ่งพบว่าให้ผลดีในการกำจัดวัชพืชสำหรับแปลงปลูกสับปะรดและพืชตระกูลส้ม แต่โบรมาซิลนั้นเป็นสารที่ตกค้างในดินได้นาน โดยมีค่าครึ่งชีวิตที่ 124-155 วัน ทำให้มีการสะสมของสารนี้ปริมาณสูงในดิน ไมคอร์ไรซานั้นเป็นการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยของเชื้อราและรากพืช ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเกษตรอย่างมาก โดยบทบาทหลักของเชื้อรานี้ คือ การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะฟอสฟอรัส และจุลธาตุหลายชนิด เช่น สังกะสี แคลเซียม ทองแดง ฯลฯ นอกจากนี้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซายังช่วยส่งเสริมความทนทานของพืชต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญ เช่น สภาวะแห้งแล้ง และดินเค็ม ทั้งยังมีบทบาทในการป้องกันโรคพืชที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ในดิน เช่น โรคใบไหม้ (สาเหตุจาก *Xanthomonas axono-podis* pv. *punicae*) และโรครากปม (สาเหตุจาก *Meloidogyne incognita*) เป็นต้น จากรายงานการศึกษาผลของสารกำจัดวัชศัตรูพืชต่อการเจริญของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาพบว่า สารกำจัดเชื้อรามีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อรา แต่สารกำจัดวัชพืชไม่ส่งผลต่อการเจริญของเชื้อรา และการเข้าครอบรากของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนในดินบางชนิด และยังลดการสะสมของสารปนเปื้อนนี้ในส่วนเหนือดินของพืชด้วย จากความเป็นประโยชน์ของเชื้ออาบัสคูล่าไมคอร์ไรซานี้ จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาบทบาทของเชื้ออาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการบำบัดสารโบรมาซิลที่ตกค้างในดินปลูกสับปะรด รวมถึงบทบาทของเชื้อต่อการเจริญของสับปะรด และการสะสมของโบรมาซิลในสับปะรดด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความสามารถของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการลดปริมาณโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

1.2.2 เพื่อศึกษาบทบาทของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการเจริญและการสะสมของโบรมาซิลในสับปะรด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการเจริญของสับปะรด

1.3.2 ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อปริมาณของโบรมาซิลในดิน

1.3.3 ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการสะสมของโบรมาซิลในรากและส่วนเหนือดินของสับปะรด

1.3.4 ศึกษากิจกรรมของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดิน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ทดสอบความมีชีวิตของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในสภาพแวดล้อมการปลูกสับปะรด โดยปลูกหน่อพันธุ์สับปะรดในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. เติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาลงในดิน 2 แบบ คือ ใส่ในดินรอบโคนต้นและใส่ก้นหลุมปลูก เพื่อศึกษาวิธีการใส่เชื้อที่ส่งผลให้เกิดการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชที่ดี ประเมินการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพืชเมื่อ 1 และ 2 เดือน หลังการปลูกพืช เลือกวิธีการปลูกเชื้อที่ส่งผลให้เชื้อเข้าอยู่อาศัยในรากสับปะรดได้ดีที่สุดเพื่อใช้เป็นวิธีการปลูกเชื้อในการทดลองขั้นต่อไป

1.4.2 ทดสอบความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้วิธีการปลูกเชื้อที่เหมาะสมจากข้อที่ 1 ทำการปลูกต้นพันธุ์สับปะรดในดินที่มีการปนเปื้อนโบรมาซิลโดยใช้มีการเติมและไม่เติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในขั้นตอนการปลูกพืช และใช้ดินที่ไม่มีการปลูกพืชเป็นทรีทเมนต์ควบคุม ทำการปลูกพืชเป็นเวลา 6 เดือน โดยเก็บตัวอย่างดินทุกๆ 2 เดือนจนครบระยะเวลา 6 เดือน ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองทั้งก่อนการทดลองและทุกๆ 2 เดือนของการทดลองนั้นทำการวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหาร (ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และโซเดียม) วิเคราะห์กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน กิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรด และเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสทุกๆ 2 เดือนอขงการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการวัดน้ำหนักสดและแห้ง ของรากและส่วนเหนือดิน การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในราก และจำนวนสปอร์ของเชื้อราในดิน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงความสามารถของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการลดปริมาณโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

1.5.2 ทราบถึงบทบาทของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการเจริญและการสะสมของโบรมาซิลในสับปะรด

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สับปะรด (pineapple)

สับปะรดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananus comosus* (L.) Merr. อยู่ในวงศ์ Bromeliaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ (บริเวณตอนกลางของประเทศบราซิล และตอนเหนือของประเทศอาร์เจนตินาและปารากวัย) เนื่องจากเป็นพืชทนแล้ง จึงสามารถเจริญได้ดีในเขตร้อน รวมทั้งประเทศไทย

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก : เป็นระบบรากฝอยเหมือนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป

ลำต้น : มีลักษณะสั้นหนาคล้ายกระบอง มีความยาวประมาณ 20-30 ซม. ส่วนที่กว้างที่สุดจะกว้างประมาณ 5 ซม. ตามมุมใบจะมีตาที่สามารถเจริญเป็นหน่อได้ หน่อที่เจริญจากตาบนลำต้นเหนือดินเรียกว่าหน่อข้าง หรือหน่ออากาศ ส่วนหน่อที่เจริญมาจากตาบนลำต้นที่ระดับผิวดินหรือใต้ดินเรียกว่าหน่อดิน

ใบ : มีลักษณะเรียวยาวและเป็นร่องโค้ง การเรียงตัวของใบจะเป็นแบบเวียนรอบลำต้น มีความสำคัญในการดำรงชีวิตในสภาพน้ำน้อย ละอองน้ำฝนหรือน้ำค้างที่ตกลงมาสัมผัสกับพุ่มใบจะถูกรวบรวมมาไว้ที่ส่วนโคนต้น ให้รากในดินหรือรากตามมุมใบใช้ประโยชน์ได้

ช่อดอก : แต่ละช่อมีดอกย่อยประมาณ 100-200 ดอก แกนกลางของช่อดอกเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากก้านช่อดอก ซึ่งเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอดเดิมของต้นสับปะรด ดอกย่อยแต่ละดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ

ผล : เป็นผลรวม เกิดจากการเชื่อมต่อกันของผนังรังไข่ และส่วนประกอบของดอกย่อยที่เรียงตัวอยู่ติดกันบนแกนกลางช่อดอกส่วนบนสุดของผลจะเป็นกลุ่มของใบที่เจริญไปพร้อมๆกับผล และพัฒนาไปเป็นจุกต่อไป ผลสับปะรดถ้ามีขนาดใหญ่จะมีรูปร่างเป็นทรงกรวย ถ้าผลมีขนาดปานกลางจะมีรูปร่างทรงกระบอก และถ้าผลมีขนาดเล็กจะมีรูปร่างแบบทรงกลม

เมล็ด : ผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียปกติจะไม่มีเมล็ด เนื่องจากไม่สามารถผสมตัวเองในพันธุ์เดียวกันได้ แต่ผลอาจมีเมล็ดเกิดขึ้นถ้ามีการช่วยผสมข้ามพันธุ์ เมล็ดจะมีขนาดยาวประมาณ 3-5 ซม. กว้างประมาณ 1-2 มม. เปลือกเมล็ดแข็งหนา มีสีน้ำตาล (กิสณะ, 2551)

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย แหล่งปลูกสับปะรดของประเทศไทยอยู่ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี ระยอง ลำปาง อุทัยธานี กาญจนบุรี เพชรบุรี และชุมพร ปัจจุบันเกษตรกรสามารถบังคับให้สับปะรดออกผลได้ตลอดปี แต่ฤดูที่สามารถบังคับให้ออกผลได้ดีและผลมีขนาดใหญ่ คือ ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน และเดือนตุลาคม-ธันวาคม สับปะรดเพื่อการแปรรูปส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne) ส่วนสับปะรดสำหรับทานสดส่วนใหญ่เป็นพันธุ์นางแล ภูเก็ต และขาวอินทรชิต (ธงชัย และคณะ, 2542)

2.1.2 ถิ่นกำเนิด การแพร่กระจาย และการจำแนก (จารุพันธ์, 2526)

สับปะรดถูกพบเห็นโดยชาวยุโรปครั้งแรกในปี ค.ศ. 1493 เมื่อโคลัมบัสเดินทางรอบโลกครั้งที่ 2 โดยไปพบที่เกาะ Guadelupe ในครั้งแรกเรียกชื่อว่า พิน่า (pina) เริ่มแรกนักพฤษศาสตร์ชาวอเมริกันจำแนกว่าสับปะรดมีแหล่งกำเนิดอยู่เขตตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล ปารากวัย และตอนเหนือของอาเจนตินา ต่อมามีการกำหนดว่าอยู่ระหว่างเส้นรุ้ง (latitudes) ที่ 10 องศาเหนือ ถึง 10 องศาใต้ และ

ระหว่างเส้นแวง (longitude) ที่ 55 ถึง 75 องศาตะวันตก ซึ่งทำให้แหล่งกำเนิดของสับปะรดกว้างขึ้นได้แก่ตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกของบราซิล โคลัมเบีย และเกือบทั้งประเทศของ เวเนซูเอล่า การแพร่กระจายของสับปะรดจากอเมริกาถูกนำเข้าสู่สเปนและโปรตุเกส ต่อมามีการแพร่กระจายไปยังอัฟริกาและเข้าสู่ตอนใต้ของอินเดียในปี ค.ศ. 1550 และในศตวรรษที่ 16 สับปะรดก็กระจายเข้าสู่ประเทศจีน จาวา และฟิลิปปินส์ ในปัจจุบัน สับปะรดพบได้ทั่วไปในเขตร้อน (troical) และเขตกึ่งร้อน (subtropical) และกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญตัวหนึ่งในตลาดโลก ส่วนในประเทศไทยเชื่อว่าชาวโปรตุเกสเป็นชาติแรกที่นำสับปะรดเข้ามาปลูกในสมัยกรุงศรีอยุธยาซึ่งน่าจะเป็นในแผ่นดินของสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ในอดีตรัฐฮาวายของสหรัฐอเมริกาเป็นแหล่งผลิตรายใหญ่ แต่ต่อมาแหล่งผลิตได้ย้ายไปอยู่ในแถบอเมริกากลางและเอเชียเนื่องจากค่าแรงงานที่ถูกกว่า ปัจจุบันแหล่งผลิตที่สำคัญอยู่ในทวีปเอเชีย ได้แก่ ไทย ฟิลิปปินส์ และอินเดีย อเมริกากลาง ได้แก่ คอสตาริกา และอเมริกาใต้ ได้แก่ บราซิล แหล่งผลิตที่สำคัญในไทยอยู่ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี ระยอง ลำปาง ราชบุรี และกาญจนบุรี

สับปะรดที่ใช้เป็นการค้าได้จำแนกออกเป็น 5 กลุ่มซึ่งแต่ละกลุ่มมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะต่างๆของกลุ่มสับปะรด 5 กลุ่มที่จัดจำแนกและรายชื่อตัวอย่างพันธุ์ในแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม	รูปร่าง	น้ำหนัก (กก.)	สีเปลือก	รสชาติ	แกน	ปัญหา	พันธุ์ตัวอย่าง
Spanish	กลมตาลึก	0.9-1.8	แดง-ส้ม	เปรี้ยว ใยมาก	ใหญ่	ยางไหล	อินทรชิต, ขาว Red spanish, Salangor
Queen	กระบอกตาลึก	0.5-1.1	เหลือง	หวาน ฉ่ำน้ำ ใยน้อย	เล็ก	-	ภูเก็ต, สวี Queen, MacGregor, Alexandria
Cayenne	กระบอกตาตื้น	2.3-3.6	ส้มเข้ม	หวานอม เปรี้ยว	ปากลาง	เหี่ยวจากเพลี้ย แป้ง	ปัตตาเวีย, กัลกัตตา, นางแล, น้ำผึ้ง, Smooth Cayenne, Cayenne, Typhone
Abacaxi	ทรงกลม	1.4	เหลือง	หวาน ฉ่ำน้ำ	เล็กมาก	-	Sugar Loaf, Abakka Abacasi, Pepelon
Maipure	กระบอก	0.8-2.5	เหลืองแดง	หวาน ใยมาก ฉ่ำน้ำ	เล็กปาน กลาง		Maipure, Perolera

ที่มา : ดัดแปลงจาก จารุพันธ์, 2526

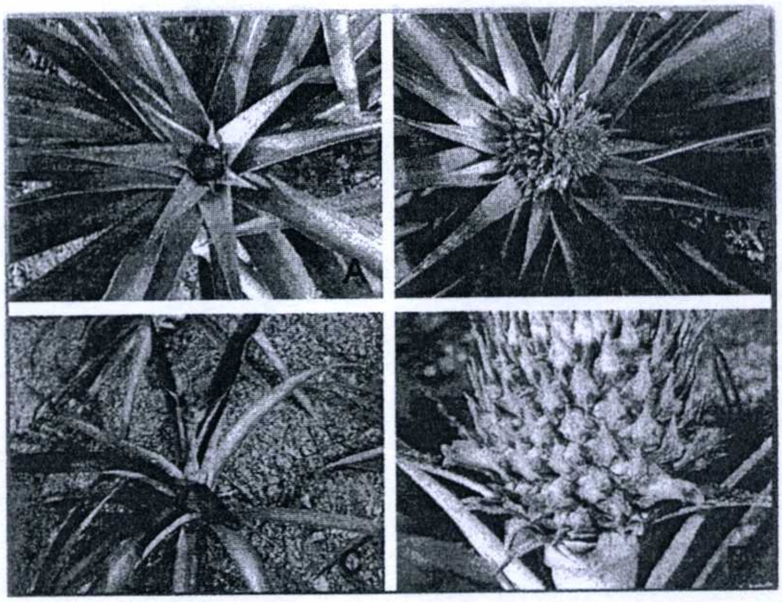
จากการจำแนกสับปะรดข้างต้น กลุ่มที่นิยมปลูกเป็นการค้าในตลาดโลกได้แก่กลุ่ม Cayenne โดยเฉพาะพันธุ์ Smooth Cayenne ซึ่งใบจะไม่ค่อยมีหนามและมีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับส่งโรงงานเพื่อการแปรรูป ในประเทศไทย กลุ่มที่นิยมปลูกพบกันอยู่ 3 กลุ่มใหญ่คือ กลุ่ม Spanish, Queen และ Cayenne ซึ่งกลุ่มของ Spanish มักจะเป็นสับปะรดพันธุ์พื้นเมือง ใบมีหนามเยอะแต่ทนต่อโรคและแมลงได้ดี เช่น พันธุ์อินทรชิต และพันธุ์ขาว ส่วนกลุ่ม Queen ที่นิยมปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยคือพันธุ์ ภูเก็ต สวี ตราดสีทอง และภูแล พันธุ์เหล่านี้นิยมปลูกเพื่อขายรับประทานสดเท่านั้น ส่วนในกลุ่มสุดท้ายที่พบในบ้านเราคือกลุ่ม Cayenne ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย พันธุ์นางแล และพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยเฉพาะพันธุ์ปัตตาเวียเป็นพันธุ์ที่ปลูกกัน

มาก เพราะเป็นสับปะรดพันธุ์เดียวที่นิยมส่งเข้าโรงงานแปรรูป แม้ว่าบางส่วนจะมีการปลูกเพื่อใช้รับประทานสดได้ด้วยเช่นกัน ส่วนพันธุ์นางแลและสายน้ำผึ้งมักนิยมปลูกเพื่อรับประทานสดเพียงอย่างเดียว เนื่องจากรูปทรงไม่เหมาะกับที่จะส่งโรงงานแปรรูป

2.1.3 สัณฐานวิทยา

ลำต้นของสับปะรดมีความยาวประมาณ 30-35 เซนติเมตร มีลักษณะคล้ายกระบอง โดยมีส่วนที่หนาที่สุดกว้างประมาณ 6.5-7.5 เซนติเมตร ช่วงนี้จะมีข้อที่สั้นมาก แต่ส่วนกลางของลำต้นข้อจะยาวขึ้น ทุกข้อจะมีตาที่จะเจริญเติบโตมาเป็นตาข้างได้ (axillary bud) รากเป็นระบบรากฝอย (adventitious root) มีทั้งรากในดินและรากอากาศ (axillary root) ใบเรียวยาวเป็นร่องเก็บกักน้ำที่ซอกใบได้ มีไข (wax) เคลือบที่ผิวใบและมีขนที่ปากใบ (trichome) ทำให้ลดการคายน้ำได้ดี การแตกใบใหม่อาจจะมีถึง 5-6 ใบ/เดือน ใบแก่จะไม่หลุดร่วงไป ทำให้สับปะรดที่แก่จัดอาจจะมีใบที่ยังทำหน้าที่อยู่ถึง 70-80 ใบได้ มีการจัดเรียงตัวของใบ (phyllotaxy) เป็น 5/13 การวัดการเจริญเติบโตของใบมักจะวัดกันที่ D-leaves ซึ่งเป็นใบที่อยู่ในวงที่ 4 นับจากฐานของต้น ในแต่ระยะการเจริญเติบโตจะมีใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ (D leaves) ได้ไม่เกิน 3 ใบ ใบเหล่านี้มักจะเป็นกลุ่มใบที่ยาวที่สุด (80-100 เซนติเมตร) และเป็นใบที่จัดว่าใบที่ใหม่สุดที่กำลังจะแก่เต็มที่ ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (hermaphrodite) มีการจัดเรียงตัวของดอกบนก้านช่อดอก (peduncle) เป็น 5/21 จำนวนดอกมีตั้งแต่ 100-200 ดอก/ช่อ การบานของดอกย่อยจะเริ่มตั้งแต่ฐานของดอกโดยจะทะยอยบานทุกวันเป็นเวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ ดอกมีกลีบสีม่วงแต่ละดอกจะมีใบประกอบ (bract) อยู่ด้านนอก แต่ละดอกมีอับเกสรตัวผู้ (stamen) อยู่ 6 อัน และแบ่งรังไข่ออกเป็น 3 ช่อง (carpellate) รังไข่เป็นแบบ inferior ovary คือมีส่วนประกอบต่างๆของดอกอยู่เหนือรังไข่ สับปะรดเป็นพืชที่มีกลไกในการป้องกันการผสมตัวเอง (self-incompatability) ทำให้ได้ผลเป็น parthenocapic และไม่มีเมล็ด ผลสับปะรดจัดเป็นผลประกอบ (multiple fruit) มีอายุการพัฒนาของผลประมาณ 4 เดือนหลังจากดอกบาน หรือ 7-8 เดือนหลังจากออกดอก การพัฒนาของผลเป็นแบบ Simple sigmoid curve ลักษณะของต้น ช่อดอก และผลสับปะรดแสดงไว้ในภาพที่ 2.1 และการพัฒนาการของช่อดอกแสดงไว้ในภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.1 ลักษณะทรงพุ่มของต้น ช่อดอกและผลสับปะรด



ภาพที่ 2.2 การพัฒนาของช่อดอกสับปะรด ช่อดอกกำลังเริ่มสร้าง (A) ช่อดอกพัฒนาเพิ่มขึ้น (B) ก้านช่อดอกยืดยาวออก (C) และดอกจริงเริ่มบานจากฐานล่าง (D)

2.1.4 ลักษณะทางสรีระวิทยา (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

สับปะรดเป็นพืชที่มีระบบการสังเคราะห์แสงแบบ crassulacean acid metabolism (CAM) ซึ่งปากใบจะเปิดเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซในเวลากลางคืนทำให้ลดการคายน้ำในเวลากลางวัน เมื่อประกอบกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบที่มีไขเคลือบ มีขนที่ปากใบและมีร่องใบช่วยในการรวบรวมน้ำ นอกจากนี้บางครั้งยังมีรากอากาศของสับปะรดที่สามารถสังเคราะห์แสงได้เพราะมีคลอโรฟิลล์ ทำให้สับปะรดเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี การออกดอกและการสุกแก่ของสับปะรดสามารถควบคุมได้โดยการใช้เอธิลีน หรือเอธิฟอน เป็นตัวกระตุ้นแต่ต้องหลังจากต้นสมบูรณ์หรือมีการสะสมอาหารเต็มที่แล้ว การสุกแก่ของสับปะรดที่ควบคุมโดยเอธิลีน โดยจะฉีดพ่นประมาณ 2 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว ซึ่งจะควบคุมและเปลี่ยนแปลงได้เฉพาะสีผิวเปลือกเท่านั้นไม่สามารถควบคุมถึงคุณภาพของผลได้ เพราะการเปลี่ยนสีของเปลือกจากอิทธิพลของเอธิลีนจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในผลเนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric fruit

2.1.5 พันธุ์สับปะรด (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

พันธุ์ต่างประเทศ แต่เดิมแหล่งผลิตที่สำคัญในต่างประเทศคือที่รัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูปได้แก่พันธุ์ Smooth Cayenne ซึ่งเหมาะสำหรับส่งโรงงานเนื่องจากมีรูปทรงกระบอกและขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป ส่วนพันธุ์ที่ปลูกเพื่อรับประทานสดมีหลายพันธุ์ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทแม่ที่ทำการผลิต เช่น พันธุ์ ‘Hawaii Gold’ ของ Maui Land ที่ปลูกที่ฮาวาย หรือพันธุ์ ‘Del Monte Gold Extra Sweet’ ‘MD-2’ และ ‘Del Monte Gold’ ของบริษัท Del Monte ที่ปลูกในคอสตาริก้า นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ ‘Premium select’ ของบริษัท Dole ที่ฮาวายด้วย อย่างไรก็ดีพันธุ์ที่ปลูกเพื่อรับประทานสดดังกล่าวยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่าใครกันแน่ที่เป็นเจ้าของ เนื่องจากแต่เดิมมีการร่วมมือพัฒนาสายพันธุ์สับปะรดโดยสถาบันวิจัยสับปะรด (Pineapple Research Institute, PRI) ร่วมกับบริษัทเอกชนทั้ง 3 แห่งคือ Del Monte Dole และ Maui Land แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1987 (พ.ศ. 2530) ฐาน

การผลิตสับปะรดที่ฮาวายย้ายไปยังประเทศในเอเชีย (ไทย และฟิลิปปินส์) เนื่องจากค่าแรงที่ถูกกว่า และมีการยุบสถาบันวิจัยสับปะรดในฮาวาย ทำให้มีปัญหาเรื่องการเป็นเจ้าของสายพันธุ์ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นอยู่

สำหรับพันธุ์ในประเทศ นิยมปลูกกันอยู่ 6 สายพันธุ์ด้วยกัน

พันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne) เป็นสับปะรดอยู่ในกลุ่ม Cayenne รู้จักกันดีในนามสับปะรดศรีราชา สับปะรดปราณบุรี สับปะรดกัลกัตตา หรือสับปะรดสามร้อยยอด เป็นพันธุ์ที่ปลูกกันมากเพื่อส่งโรงงานสับปะรดกระป๋อง ทรงต้นใหญ่ มีใบสีเขียวเข้ม ผิวใบด้านบนเป็นมันขอบใบเรียบ กลางใบมักมีสีแดงอมน้ำตาล ปลายใบมีหนามเล็กน้อย มีจำนวนดอกย่อยประมาณ 150 ดอก ผลเป็นรูปทรงกระบอกและมีขนาดที่ไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป ขนาดผล 1-2.5 กิโลกรัม ถ้าใหญ่เกินไปมักจะมีโคนใหญ่ปลายเรียว เปลือกผลมีสีเขียวแก่ปนดำและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มเมื่อแก่จัด ตาตื้น เนื้อในผลเป็นสีเหลืองอ่อนหรือเหลืองเข้มในฤดูร้อน ทนต่อความแห้งแล้งและขาดน้ำได้ดี แต่ไม่ค่อยพบตะเกียงและไม่ทนต่อโรครากเน่า ต้นเน่า และโรคเนื้อแกน ไม่ค่อยตอบสนองต่อสารเคมีเร่งดอกเท่ากับพันธุ์อื่นๆ และเนื้อมักมีสีซีดและเป็นกรดจัดในฤดูหนาว นิยมปลูกกันมากที่ประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี เพชรบุรี และลำปาง นอกจากนี้ยังนิยมปลูกเพื่อรับประทานสดด้วย

พันธุ์อินทรชิต หรือ อินทรชิตแดง (Singapore Spanish) อยู่ในกลุ่ม Spanish เป็นพันธุ์พื้นเมืองเก่าแก่ของไทย ทรงต้นใหญ่ไล่เลี่ยกับพันธุ์ปัตตาเวีย แต่ใบมีสีเขียวอ่อนลักษณะด้านไม่เป็นมันมีหนามแหลมคม ใบแผ่ออกไม่เป็นร่อง ขอบใบทั้ง 2 มีสีแดงอมน้ำตาล ผลเล็กกว่าปัตตาเวีย ผลย่อยนูนตาลึก เนื้อเป็นสีเหลืองทอง ทนต่อสภาพดินเหนียวระบายน้ำไม่ดีแต่ไม่ทนต่อสภาพการขาดน้ำ รสหวานอ่อนและมีเส้นใยมาก มักมีตะเกียงบนผล 2-7 หน่อ ไม่ทนต่อโรคราแป้งและไส้เน่าเปลือกผลเหนียวทนต่อการขนส่ง นิยมปลูกมากที่อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

พันธุ์ขาว (Selangor Green, Green Spanish) อยู่ในกลุ่ม Spanish ทรงพุ่มเล็กเตี้ย ใบแคบและสั้นกว่าอินทรชิต ขอบใบเต็มไปด้วยหนามที่โค้งงอเข้าสู่ปลายใบ มีสีเขียวอมเหลืองหรือเขียวใบไม้ เนื้อสีเหลืองทองรสหวานอ่อน คุณภาพเนื้อไม่ดีนัก ผลมักมีหลายจุก เข้าใจว่ากลายพันธุ์มาจากอินทรชิต นิยมปลูกร่วมกับอินทรชิตที่จังหวัดฉะเชิงเทรา

พันธุ์ภูเก็ตหรือสวี (Mauritius Pine, Ceylon, Malecca Queen) อยู่ในกลุ่ม Queen ทรงพุ่มเล็กกว่าปัตตาเวีย ใบแคบและยาวกว่าพันธุ์ขาวและอินทรชิต ใบสีเขียวอ่อนและมีแถบสีแดงตอนกลางใบ ขอบใบเต็มไปด้วยหนามสีแดง ผลมีขนาดเล็กกว่าทุกพันธุ์ ผลย่อยนูน ตาลึก เนื้อสีเหลือง หวานกรอบมีกลิ่นหอม ให้รับประทานผลสด ปลูกกันมากในจังหวัดภูเก็ตและจังหวัดชุมพร โดยปลูกระหว่างแถวของยางพาราที่ยังมีอายุน้อย

พันธุ์ภูแล อยู่ในกลุ่ม Queen เช่นเดียวกับพันธุ์ภูเก็ต มีลักษณะทรงต้นและใบคล้ายพันธุ์ภูเก็ตมาก แต่ผลมีขนาดเล็กกว่ามาก โดยมีขนาดผลประมาณ 100-500 กรัม เชื่อว่าเป็นพันธุ์ที่กลายมาจากพันธุ์ภูเก็ต โดยมีการนำมาปลูกในภาคเหนือโดยเฉพาะที่จังหวัดเชียงราย เนื้อเป็นสีเหลืองเข้มกรอบและมีรสหวานมักจะทานได้ทั้งแกนกลาง ปลูกกันมากที่จังหวัดเชียงราย

พันธุ์นางแล หรือ สายน้ำผึ้ง เป็นพันธุ์ที่อยู่ในกลุ่ม Cayenne เช่นเดียวกันพันธุ์ปัตตาเวีย มีลักษณะทรงพุ่ม ใบ ดอกและผลคล้ายกับปัตตาเวียแต่ผลมีขนาดเล็กกว่าและค่อนข้างเป็นทรงกลม จำนวนผลย่อยน้อยกว่าตาห่างนูนกว่าปัตตาเวีย เปลือกบาง หวานจัดและมีเส้นใยน้อยกว่าปัตตาเวีย เนื้อมีสีเหลืองเข้ม

แม้จะปลูกในฤดูหนาวและตอบสนองต่อสารเร่งดอกดีกว่าปัตตาเวีย ปลูกกันมากที่ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

2.1.6 การขยายพันธุ์ (จารุพันธุ์, 2526)

สับปะรดเป็นพืชที่มีส่วนขยายพันธุ์หลายส่วน เช่น จุก หน่อดิน หรือตะเกียง อย่างไรก็ตามแต่ละส่วนที่ใช้ในการขยายพันธุ์จะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของต้นที่ได้ ส่วนต่างๆ ที่ใช้ขยายพันธุ์ได้แก่

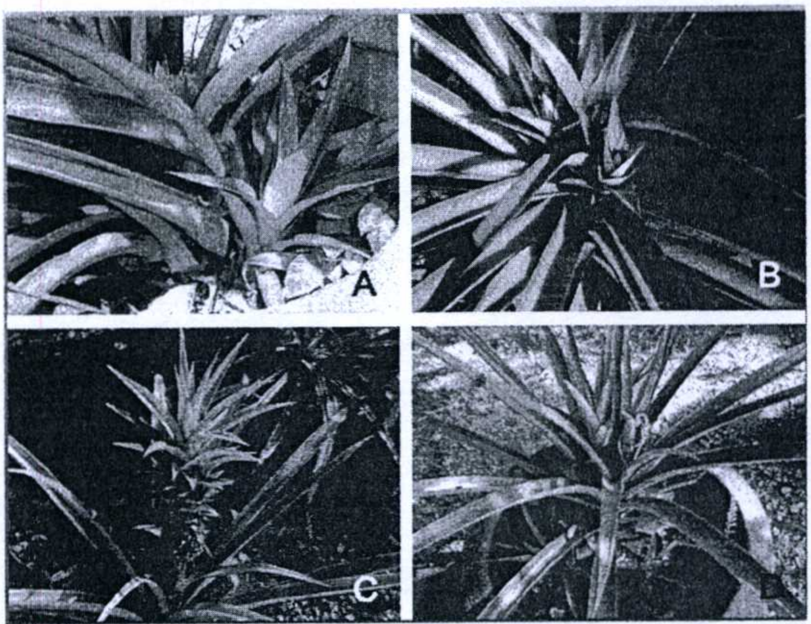
หน่อดิน (suckers) เกิดจากตาของลำต้นที่อยู่บริเวณใต้ดิน ซึ่งจะเริ่มแทงขึ้นมาพ้นผิวดินหลังจากที่เริ่มตาดอกแล้ว หน่อจะมีขนาดใหญ่กว่าส่วนขยายพันธุ์ส่วนอื่นๆ มักจะทิ้งหน่อดินไว้สำหรับเก็บผลผลิตในรุ่นต่อไป เรียกว่า ratoon crop ต้นที่ได้จากหน่อดินจะมีการเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตเร็ว คือประมาณ 14-17 เดือนหลังปลูก เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการปลูกและพัฒนารากใหม่ ถ้าหน่อดินมีมากเกินไป ควรแยกหน่อออกไปและทิ้งไว้เพียงต้นละ 1-2 หน่อเท่านั้น เพราะไม่อย่างนั้นระยะปลูกจะชิดกันเกินไป เข้าไปทำงานไม่สะดวกและผลผลิตที่ได้มีขนาดเล็ก

หน่อข้าง (shoots) เกิดจากตาที่พักตัวอยู่บนลำต้นในบริเวณโคนใบ หน่อข้างจะมีจำนวนมากกว่าหน่อดินแต่มีขนาดที่เล็กกว่าและมีขนาดที่แตกต่างกันมาก โดยมีขนาด 0.5-1 กิโลกรัม เนื่องจากการพัฒนาของหน่อไม่พร้อมกันทำให้ได้ต้นที่มีการเจริญเติบโตไม่พร้อมกัน เมื่อนำไปปลูกจะให้ผลผลิตค่อนข้างเร็ว คือเมื่อมีอายุ 14-18 เดือน หลังจากปลูก แต่เนื่องจากขนาดของหน่อที่เริ่มปลูกแตกต่างกัน ทำให้การใช้สารเคมีเพื่อเร่งการออกดอกมีปัญหา โดยให้สารแล้วออกดอกไม่พร้อมกันเนื่องจากการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันของต้นที่ได้ จึงควรคัดขนาดของหน่อให้มีขนาดเดียวกันก่อนการนำไปปลูก

ตะเกียง (slips) เป็นหน่อที่เกิดจากตาบนก้านผล อยู่ในบริเวณโคนผล ตะเกียงมีขนาดเล็กกว่าหน่อข้างโดยมีขนาด 0.3-0.5 กิโลกรัม อาจจะมีหลายตะเกียง/ผลขึ้นอยู่กับพันธุ์ ให้ผลผลิตเมื่ออายุปลูกประมาณ 15-20 เดือน สับปะรดที่ปลูกเป็นการค้ามักไม่ค่อยพบว่ามีตะเกียงมากนัก

จุก (crown) เป็นส่วนของสับปะรดที่มีการเจริญเติบโตอยู่บนผลสับปะรดหลังจากดอกโรยไปแล้ว จุกจะมีขนาดเล็กสุดในส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ มีขนาด 0.075-0.2 กิโลกรัม แต่มักจะมีขนาดสม่ำเสมอกว่าหน่อและตะเกียง เนื่องจากส่วนที่ขยายพันธุ์มีขนาดเล็กทำให้ได้ต้นที่มีการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าและให้ผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 22-24 เดือนหลังปลูก ข้อดีของการใช้จุกปลูกคือเนื่องจากมีขนาดที่สม่ำเสมอกันทำให้ได้ต้นที่มีอายุใกล้เคียงกันและโตใกล้เคียงกัน ทำให้ตอบสนองต่อการใช้สารเคมีในการเร่งการออกดอกได้ดี

หน่อหรือตะเกียง มักจะทำการเก็บหรือปลิดจากต้น ในระยะหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วประมาณ 6 สัปดาห์ เพื่อให้ชิ้นส่วนต่างๆ โตเต็มที่และมีความสมบูรณ์สูงสุด เมื่อเก็บมาแล้วควรนำมาผึ่งแดด โดยวางคว่ำให้ยอดลงสู่พื้นดิน ให้โคนแผลได้รับแดดประมาณ 1-2 สัปดาห์ เพื่อให้รอยแผลแห้งและเป็นการฆ่าเชื้อไปด้วยในตัว ก่อนที่จะนำมาปลูกจริงควรจัดการจุ่มโคนแผลด้วยยากันเชื้อราก่อนเพื่อป้องกันโรคเน่าเข้าทำลายระหว่างปลูก สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ไดโฟลาแทน อัตรา 8-10 กรัม/น้ำ 1 ลิตร หรือ อาลีเอท อัตรา 400 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ลักษณะของหน่อประเภทต่างๆ แสดงไว้ในภาพที่ 2.3

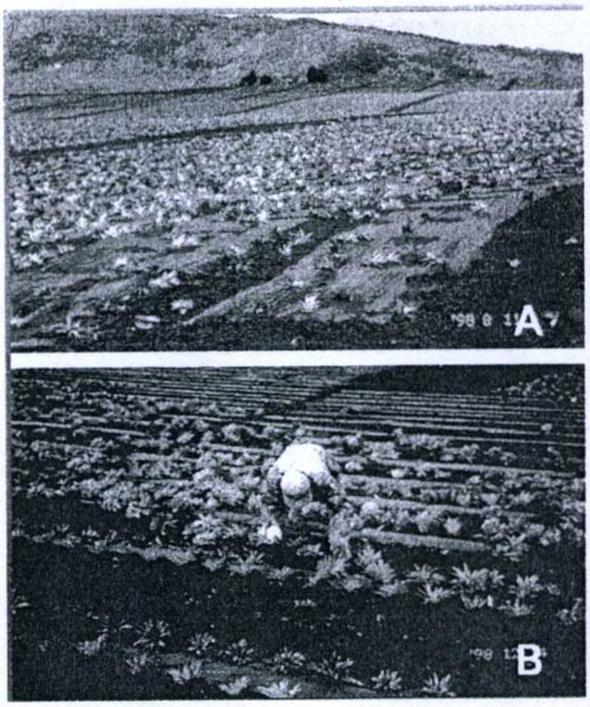


ภาพที่ 2.3 ลักษณะหน่อประเภทต่างๆของสับปะรดที่ใช้ในการขยายพันธุ์ หน่อดิน (A) หน่อข้าง (B) จุก (C) และหน่อดินและหน่อข้าง (D)

2.1.7 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (จารุพันธุ์, 2526)

สับปะรดมีลักษณะเป็นไม้ทะเลทรายที่ทนแล้งได้ดี (xerophytic) โดยเฉพาะที่ใบจะมีเนื้อเยื่อที่สะสมน้ำ (water storage parenchyma) ไว้ใช้ในระหว่างแล้ง ชอบดินเป็นกรดอ่อน โดยมี pH ประมาณ 5-6 ที่สำคัญต้องระบายน้ำได้ดี ปริมาณน้ำฝนกระจายตั้งแต่ 600 - 3,500 มิลลิเมตร/ปี โดยมีปริมาณที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 1,000-1,500 มิลลิเมตร/ปี อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการปลูกสับปะรดเพื่อการค้า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส สับปะรดไม่ทนอุณหภูมิที่ต่ำ เช่นในฤดูหนาวที่อุณหภูมิกลางคืนลดลงถึง 7-10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานหลายสัปดาห์อาจแสดงอาการใบไหม้ได้ สับปะรดจะหยุดชะงักการเจริญเติบโตถ้าอุณหภูมิลดต่ำถึง 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากรากไม่สามารถดูดสารประกอบพวกไนเตรทได้ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปในช่วงการเจริญเติบโต เช่น เกิน 32 องศาเซลเซียส การใช้สารเร่งออกดอกจะไม่ได้ผลและถ้าแดดจัดและอุณหภูมิใบสูงถึง 50 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดอาการไหม้บนใบและผลได้ ถ้าผลมีการพัฒนาในช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้มีการสะสมกรดสูง ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลไม่ควรเกิน 600 เมตร ปริมาณแสงแดดต่อวันก็มีผลโดยเฉพาะในช่วงที่ผลกำลังพัฒนา ถ้าปริมาณแสงแดดน้อยจะทำให้มีผลขนาดเล็กลงและทำให้มีปริมาณกรดสูงแต่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำ

การปลูกสับปะรดนิยมปลูกเป็นแถวคู่มีระยะระหว่างต้น 25-30 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร เว้นทางเดินระหว่างแถวคู่ ประมาณ 100 เซนติเมตร ซึ่งจะปลูกได้ประมาณ 7,000-8,000 ต้น/ไร่ แต่ถ้าปลูกเพื่อส่งโรงงานมักจะใช้ระยะชิดขึ้นเพื่อบังคับไม่ให้ผลสับปะรดใหญ่เกินไป โดยจะใช้ระยะระหว่างต้น 22 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 45 เซนติเมตร และเว้นทางเดิน 75 เซนติเมตร ซึ่งจะปลูกได้จำนวน 10,000 ต้น/ไร่ ถ้าปลูกเป็นแถวเดี่ยวใช้ระยะ 30 x 50 เซนติเมตร จะได้ผลผลิตสูงสุด การเตรียมดินจะเตรียมเป็นแปลงใหญ่ ทำสันร่องปลูกเป็นแถวคู่เป็นส่วนใหญ่ ฝังหน่อลึก 15-20 เซนติเมตร หน้าฝนควรปลูกต้นให้เอียง 45 องศาเพื่อป้องกันน้ำขังที่ยอดซึ่งจะทำให้ยอดเน่า ลักษณะการเตรียมพื้นที่ปลูกเป็นแปลงใหญ่



ภาพที่ 2.4 การปลูกสับปะรดในฮาวาย การเตรียมแปลงปลูก (A) และวิธีการปลูก (B)

2.2 โบรมาซิล (bromacil)

โบรมาซิล (5-bromo-3-sec-butyl-6-methyluracil) เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม uracil มีสูตรเคมีคือ $C_9H_{13}BrN_2O_2$ และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 261.1 g/mol มีความสามารถในการละลาย 815 ppm ในน้ำที่ 25°C ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ 20 °C คือ 0.023 g/100 g ใน n-hexane, 3.0 g/100 g ใน toluene, 4.65 g/100 g ใน acetonitrile, 11.4 g/100 g ใน acetone และ 12.0 g/100 g ใน methylene chloride (US EPA, 1996) โบรมาซิลได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสารกำจัดวัชพืชครั้งแรกในสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1961 โบรมาซิลเป็นสารกำจัดวัชพืชฤทธิ์กว้าง มักใช้สำหรับควบคุมวัชพืชหลายชนิดในพื้นที่ที่ไม่ได้ทำการเกษตร และเป็นสารกำจัดวัชพืชที่แนะนำสำหรับการใช้กำจัดวัชพืชในแปลงปลูกสับปะรดและส้ม (Chaudhry and Cortez, 1988)

สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาได้จัดโบรมาซิลให้เป็นสารพิษ Class III โดยพิษของโบรมาซิลต่อมนุษย์ และสัตว์แสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 แสดงการจำแนกพิษของโบรมาซิลต่อมนุษย์

	High toxicity (Danger)	Moderate toxicity (Warning)	Low toxicity (Caution)	Very low toxicity (Caution)
Oral LD_{50}	< 50 mg/kg	50-500 mg/kg	500-5,000 mg/kg	> 5,000 mg/kg
Dermal LD_{50}	< 200 mg/kg	200-2,000 mg/kg	2,000-5,000 mg/kg	> 5,000 mg/kg
Inhalation LC_{50}	< 0.05 mg/l	0.05-0.5 mg/l	0.5-2.0 mg/l	> 2.0 mg/l
Eye effects	Corrosive	Irritation persisting for 7 days	Irritation reversible in 7 days	Minimal effects gone in 24 hrs
Skin effects	Corrosive	Severe lrritation at 72 hrs	Moderate lrritation at 72 hours	Mild or slight irritation

ที่มา : Washington State Department of Transportation (2006)

ตารางที่ 2.3 แสดงการจำแนกพิษของโบรมาซิลต่อสัตว์

Risk category	Mammals	Birds	Fish/Aquatic insects
	Acute oral/dermal LD_{50} (mg/kg)	Acute oral LD_{50} (mg/kg)	Acute LC_{50} (mg/kg)
Practically nontoxic	> 2,000	> 2,000	> 100
Slightly toxic	501-2,000	501-2,000	> 10-100
Moderately toxic	51-500	51-500	> 1-10
Highly toxic	10-50	10-50	0.1-1
Very highly toxic	< 10	< 10	< 0.1

ที่มา : Washington State Department of Transportation (2006)

ในการศึกษาระดับแปลงปลูกพบว่าโบรมาซิลเคลื่อนย้ายได้ดี จากการศึกษาการเคลื่อนย้ายของ ^{14}C-bromacil ที่ความเข้มข้น 5.49 mg ai/column (ประมาณ 27 kg ai/ha) พบว่าโบรมาซิลเคลื่อนย้ายได้ดีมากในคอลัมน์ของ sand, sandy loam, clay loam, และ silt loam soils (US EPA, 1996) โบรมาซิลมีความคงทนในสิ่งแวดล้อม โดยมีค่าครึ่งชีวิตที่ 124-155 วัน การศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่า โบรมาซิลไม่สามารถย่อยสลายได้โดยการ hydrolysis หรือ แสง ที่ pH 5 และ 7 ในน้ำ, ไม่สามารถย่อยสลายด้วยแสงในดิน และไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสภาวะมีอากาศได้ แต่โบรมาซิลถูกย่อยสลายได้ด้วยแสงได้อย่างรวดเร็วที่ pH 9 โดยมีค่าครึ่งชีวิตที่ 4-7 วัน โบรมาซิลจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยมีค่าครึ่งชีวิตที่ 1 เดือน (US EPA, 1996)

2.2.1 การย่อยสลายแบบมีอากาศในดิน

การย่อยสลายของโบรมาซิลโดยจุลินทรีย์ดินในสภาวะมีอากาศนั้นเกิดขึ้นช้า การศึกษาการย่อยสลายในสภาวะมีอากาศ โดยใช้ ^{14}C-bromacil ที่ความเข้มข้น 9 ppm พบว่า ในดิน silty clay loam ที่บ่มใน

ความมืดที่ 25±1 °C และ 75% ของความชื้นที่ความจุสนาม เป็นเวลา 12 เดือน จะมีค่าครึ่งชีวิตที่ 275 วัน โบรมาซิลลดปริมาณลงจาก 98.5% เป็น 53.1% เมื่อเวลาผ่านไป 184 วัน, ลดปริมาณลงเหลือ 48.6% เมื่อเวลาผ่านไป 240 วัน และลดปริมาณลงเหลือ 38.6% เมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน โดยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิตหลักจากการย่อยสลาย โดยพบคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณ 40.3% จากการศึกษาการย่อยสลายของโบรมาซิลเป็นเวลา 12 เดือน ผลผลิตหลักที่พบจากการย่อยสลายของโบรมาซิล คือ

1) 5-bromo-6-methyluracil (Metabolite G) โดยพบสูงสุด 3.4% ของปริมาณโบรมาซิลที่ใช้ ที่ 304 วันของการศึกษา

2) 5-bromo-3-(alpha-hydroxymethylpropyl)-6-methyluracil (Metabolite C) โดยพบสูงสุด 1.5% ของปริมาณโบรมาซิลที่ใช้ ที่ 154 และ 184 วันของการศึกษา

3) 5-bromo-3-sec-butyl-6-hydroxymethyluracil (Metabolite A) โดยพบสูงสุด 0.6% ของปริมาณโบรมาซิลที่ใช้ ที่ 184 วันของการศึกษา

4) 5-bromo-3-(2-hydroxy-1-methylpropyl)-6-methyluracil (Metabolite D) โดยพบสูงสุด 0.8% ของปริมาณโบรมาซิลที่ใช้ ที่ 304 วันของการศึกษา

5) 3-sec-butyl-6-methyluracil (Metabolite F) โดยพบสูงสุด 0.7% ของปริมาณโบรมาซิลที่ใช้ ที่ 304 วันของการศึกษา (US EPA, 1996)

2.2.2 การย่อยสลายแบบไร้อากาศในดิน

การศึกษาการย่อยสลายของโบรมาซิลโดย *Pseudomonas* sp. ซึ่งแยกได้จากดิน โดยใช้โบรมาซิลเป็นแหล่งของคาร์บอนและพลังงาน พบว่า *Pseudomonas* sp. สามารถย่อยโบรมาซิลได้ และลดการปนเปื้อนในดินในระดับห้องปฏิบัติการได้ โดยพบ 5-bromouracil เป็นสารอนุพันธ์ของการย่อยสลาย (Chaudhry and Cortez, 1988) การศึกษาการย่อยสลายของโบรมาซิลในสภาวะไร้อากาศโดยจุลินทรีย์กลุ่ม denitrifying, sulfatereducing และ methanogenic พบว่า จุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic เท่านั้นที่สามารถย่อยสลายโบรมาซิลได้ และ พบ 3-sec-butyl-5-hydroxy-6-methyluracil เป็นสารอนุพันธ์ของการย่อยสลาย (Adrian and Suflita, 1990)

2.3 ไมคอร์ไรซา (mycorrhizal fungi)

ไมคอร์ไรซา (Mycorrhizas) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรา (fungi) กับระบบรากของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชชั้นสูง เชื้อรานั้นต้องไม่ใช่เชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืช ส่วนรากพืชต้องเป็นรากที่มีอายุน้อย ๆ และยังทำหน้าที่หลักในการดูดน้ำและธาตุอาหารต่างๆ ให้กับพืช ซึ่งเป็นการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยหรือเอื้ออำนวยประโยชน์ซึ่งกันและกัน (Symbiotic associations) ต้นไม้ให้สารประกอบคาร์โบไฮเดรทและสารประกอบอื่นๆจากขบวนการเมตาบอลิซึมที่มีประโยชน์แก่รา และราช่วยเพิ่มธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอื่น ๆ ให้กับต้นไม้ นอกจากนี้เชื้อไมคอร์ไรซายังช่วยปกป้องรากพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรค ตั้งแต่มีการค้นพบความสัมพันธ์แบบนี้เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาค้นคว้ากันอย่างมากมาย และเป็นที่ประจักษ์ว่ารากของพืชเกือบทุกชนิดมีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ และไมคอร์ไรซานี้เองมีส่วนช่วยให้ต้นพืชสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ แม้เมื่อเจริญอยู่บนดินที่มีสภาพไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (อุทัยวรรณ, 2534)

เชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นส่วนหนึ่งในระบบนิเวศของพืช และเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของต้นไม้ เชื้อราจะช่วยดูดซับความชื้นให้แก่กล้าไม้ และจะช่วยให้กล้าไม้มีชีวิตอยู่รอดได้ในช่วงวิกฤตจากความแห้งแล้ง พันธุ์ไม้ชนิดหนึ่งอาจมีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่หลายชนิด และเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาชนิดหนึ่งๆ อาจจะอยู่ร่วมกับพันธุ์ไม้ได้หลายชนิด การมีชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซากับระบบรากของต้นไม้ มีความสำคัญยิ่งต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และการเจริญเติบโตของต้นไม้ โดยจะทำให้ระบบนิเวศป่าไม้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Marx and Barnett, 1974; Mikola, 1973)

2.3.1 ประโยชน์ของราไมคอร์ไรซา (จักรพงษ์ และคณะ, 2555)

1. ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว และปริมาณของรากต้นไม้ในการดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น

2. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำ และช่วยให้ต้นพืชหรือต้นไม้เหี่ยวช้าในสภาวะที่ขาดน้ำ

3. ช่วยให้ต้นไม้ได้รับธาตุอาหารต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัส (P) ไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และธาตุอื่นๆ ซึ่งอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาจะดูดซับและสะสมไว้ในราก

4. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลาย และดูดธาตุอาหารจากหินแร่ในดินที่สลายตัวยาก รวมทั้งพวกอินทรียวัตถุต่าง ๆ ที่ยังสลายตัวไม่หมด ทำให้พืชหรือต้นไม้นำไปใช้ได้

5. รากที่มีไมคอร์ไรซามีความสามารถป้องกันการเข้าทำลายรากของโรคพืชได้ดีกว่ารากที่ไม่มีอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา ทำให้ต้นพืชมีความต้านทานต่อโรคที่ระบบรากสูงขึ้น

6. ช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพพื้นที่แห้งแล้ง หรือปัญหาของดินเค็ม ดินเปรี้ยว หรือดินมีระดับความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสมได้

7. ช่วยเสริมสร้างระบบนิเวศป่าไม้ให้มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น

2.3.2 การจำแนกประเภทของไมคอร์ไรซา

ไมคอร์ไรซาสามารถแบ่งประเภทออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 เอ็คโตไมคอร์ไรซา (Ectomycorrhiza)

เอ็คโตไมคอร์ไรซา (Ectomycorrhiza) คือ เห็ดราไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่บริเวณเซลล์ผิวของรากภายนอกของพืชหรือต้นไม้ เชื้อราจำพวกเอ็คโตไมคอร์ซามีการเจริญเติบโตอยู่ร่วมกับรากของต้นไม้ยืนต้นแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน เส้นใยไม่มีสารสีเขียว (Chlorophyll) เหมือนพืช จึงไม่สามารถสร้างอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลและวิตามิน จึงต้องอาศัยดูดซึมเอาจากรากของต้นไม้ เส้นใยของเชื้อราเจริญห่อหุ้มรากของต้นไม้ไว้จะมีส่วนช่วยรักษาความชื้นให้ต้นไม้ในฤดูแล้ง และต้นไม้ก็ยังได้ธาตุฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งเชื้อราสามารถย่อยสลายธาตุอาหารออกมาจากดินให้เป็นธาตุอาหารในรูปที่ต้นไม้ใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้ต้นไม้มีรากที่แข็งแรง เจริญเติบโตดี หาอาหารได้มากขึ้น และเมื่ออยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะรวมตัวกัน ออกเป็นดอกบริเวณโคนต้นไม้ที่มีรากพืชกระจายอยู่ เราเรียกเห็ดราจำพวกนี้ว่า เอ็คโตไมคอร์ไรซา แต่ความพยายามในการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารที่สังเคราะห์จนถึงขั้นออกเป็นดอกเห็ดยังไม่ประสบผลสำเร็จ ได้ผลเพียงเพาะได้เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นปัญหาให้นักวิชาการทำงานต่อไป ส่วนใหญ่เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาเป็นราชั้นสูง จัดจำแนกอยู่ใน Phylum Basidiomycota, Ascomycota และ Zygomycota ส่วนใหญ่เป็นราที่สร้าง

ดอกขนาดใหญ่เหนือผิวดินใต้ร่มไม้ที่มันอาศัยอยู่ซึ่งอยู่ในพวก Basidiomycota และ Ascomycota ส่วน Zygomycota จะมีขนาดเล็กมาก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พวกราที่อยู่ในกลุ่ม Basidiomycota จะสร้างดอกเห็ด (Mushrooms) ขนาดใหญ่ มีทั้งที่กินได้ (Edible) ชนิดที่กินไม่ได้ (Non-edible) ชนิดที่มีพิษ (Poisonous) และเห็ดสมุนไพร (Medicinal) เชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซามีมากกว่า 5,000 ชนิด พืชหรือต้นไม้ที่สัมพันธ์กับรากลุ่มนี้มีไม่น้อยกว่า 2,000 ชนิด หรือประมาณ 10 - 20% ของพืชชั้นสูง ในประเทศไทยเคยมีการสำรวจเชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในป่าไม้เต็ง ป่าเบญจพรรณ และป่าร้อนชื้น พบว่าเชื้อราหลายชนิดที่เป็นเอ็คโตไมคอร์ไรซา เช่น *Amanita* spp., *Boletus* spp., *Lactarius* spp., *Russula* spp., *Pisolithus* spp. เป็นต้น เชื้อราเอ็คโตไมคอร์ไรซาในธรรมชาติสามารถนำมาทดสอบการเกิดเอ็คโตไมคอร์ไรซาในห้องปฏิบัติการ โดยการปลูกเชื้อบริสุทธิ์ของแต่ละชนิดที่สำรวจได้กับกล้าพืชทดสอบ หลังจากนั้นจึงนำรากพืชเหล่านั้นมาดูลักษณะการเกิด Hartig net ที่เกิดจากเส้นใยของเชื้อที่เจริญเข้าไปใน cortex ของราก

2.3.1.2 เอนโดไมคอร์ไรซา (Endomycorrhiza)

บางทีเราเรียกเห็ดราไมคอร์ไรซากลุ่มนี้ว่า Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) คือ เชื้อราไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ภายในเซลล์ผิวของรากพืชหรือต้นไม้ เชื้อราชนิดนี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าแต่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นลักษณะสปอร์รูปทรงกลม มีเส้นใย 2 ลักษณะ คือ เส้นใยรูปกระบอง (Vesicles) และเส้นใยขนาดเล็กประสานกันเป็นกระจุก (Arbusculars) เชื้อราไมคอร์ไรซาพวกที่มีความสำคัญต่อพืชเกษตรและพืชป่าไม้ มีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของอาณาจักรพืช (Plant kingdom) ส่วนใหญ่จำแนกอยู่ในลำดับ (Order) Glomales มีอยู่ด้วยกัน 5 สกุล (Genera) ได้แก่ *Acaulospora, Intorphospora, Gigaspora, Glomus* (*Sclerocysis*) และ *Scutellospora* เชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่เป็นราน้ำ มักอาศัยอยู่ในดินทั่วไปมีอยู่ประมาณ 150 ชนิด สามารถสร้างเส้นใยและสปอร์ออกมานอกรากอยู่ในหน้าดินลึกประมาณ 10-20 ซม. สปอร์มีขนาดเล็กมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น แพร่กระจายพันธุ์ไปตามน้ำ มีการเคลื่อนย้ายไปตามดินโดยสัตว์และแมลงเป็นพาหนะ พืชที่สัมพันธ์กับรากลุ่มนี้มีประมาณ 300,000 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นพืชเกษตรและพืชป่าไม้ ในไม้ผลมีรายงานว่า เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของส้ม โดยการปลูกเชื้อ *Glomus intraradices* FL208 สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต (relative growth rate) ของส้มได้ถึงสามเท่า (Menge, 1983; Eissenstat et al., 1993) ทั้งนี้ เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสังเคราะห์แสง และส่งเสริมการดูดดึงธาตุอาหารจากดิน (Johnson, 1984) โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ซึ่ง Son and Smith (1988) รายงานว่าอัตราการดูดกินฟอสเฟตในพืชที่มีเวสิคูลาร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่ด้วยจะเป็นได้เร็วกว่าพืชที่ไม่มี อัตราการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตในรากพืชที่มีอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีค่าโดยประมาณ 17×10^{-14} โมล/ซม./วินาที ซึ่งมากกว่าในพืชปกติที่มีอัตราการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตภายในรากพืชประมาณ 3.6×10^{-14} โมล/ซม./วินาที

เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีประโยชน์ต่อพืชป่าไม้หรือต้นไม้โดยตรง คือช่วยให้ต้นไม้มีอัตราการอยู่รอด และการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยเชื้อราจะผลิตฮอร์โมนบางอย่างออกมากระตุ้นให้รากแขนงแตกยืดยาวออกไปช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดธาตุอาหารและน้ำของราก และเส้นใยที่แผ่ไปไกลๆนี้ สามารถดูดธาตุอาหารและน้ำในบริเวณรากไปไม่ถึงส่งมาให้กับรากด้วย นอกจากนี้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซายังช่วยยืดอายุของรากที่ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหาร โดยเชื้อราที่อยู่รอบๆรากในลักษณะที่เป็นแผ่นแมนเทิล และใยฮาร์ติก (Hartig net) ช่วยห่อหุ้มราก ทำให้เชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคพืชไม่สามารถเข้าไปทำลายเซลล์ของรากได้ หรือรากที่หุ้มอยู่รอบรากอาจจะปล่อยสารพวกแอนตี้ไบโอติค (antibiotic) ออกมาคุ้มครองรากที่มีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและรากที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาแต่อยู่ใกล้เคียงกันให้ปลอดภัยจากการเข้าทำลายของเชื้อโรค (จักรพงษ์ และคณะ, 2555)

การศึกษาเกี่ยวกับไมคอร์ไรซานั้นจะมุ่งเน้นไปทางด้านการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช การส่งเสริมการเจริญของพืชในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ภาวะแล้ง และบทบาทในการป้องกันโรคพืชต่างๆ แต่การศึกษาในด้านความสามารถของอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อการย่อยสลายสารเคมี หรือบทบาทในการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในระหว่างกระบวนการย่อยสลายยังมีการศึกษาไม่มาก

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุนันทา และคณะ (2549) ได้การพัฒนาวิธีตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช alachlor, bromacil, fenoxaprop-P-ethyl, oxyfluorfen, picloram และ pretilachlor ในดิน โดยใช้เครื่อง Gas chromatograph (GC) สามารถพัฒนาเป็นวิธีรวมที่ตรวจพร้อมกันในคราวเดียว เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และสามารถใช้เครื่องมือที่มีใช้อยู่แล้วในห้องปฏิบัติการ ยกเว้น picloram ที่ไม่สามารถตรวจโดยใช้เครื่อง GC ได้ วิธีตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชทั้ง 5 ชนิดที่เหลือ คือ alachlor, bromacil, fenoxaprop-P-ethyl, oxyfluorfen, และ pretilachlor ในดินทรายสามารถตรวจได้หลายวิธี วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้เครื่อง Shaker สกัดด้วย hexane : acetone (1:1) นาน 3 ชั่วโมง หรือใช้เครื่อง Ultrasonic สกัดด้วย hexane : acetone (1:1)นาน 5 - 10 นาที โดยไม่ต้องผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (clean-up) ในกรณีที่ตัวอย่างมีสิ่งปนเปื้อนมากและจำเป็นต้องใช้การ clean-up จะต้องใช้เครื่อง Ultrasonic สกัดด้วย acetone นาน10 นาที และ clean-up ด้วย florisil-SPE หรือ florisil ที่ deactivate ด้วยน้ำ 10% อีกวิธีสามารถใช้เครื่อง Homogenizer สกัดด้วย acetone นาน 1 นาที แล้ว clean-up ด้วย florisil-SPE สำหรับวิธีที่ให้ผลดีในดินร่วนคือ การใช้เครื่อง Ultrasonic สกัดด้วย ethyl acetate นาน 25 นาที หรือใช้เครื่อง Shaker สกัดด้วย hexane : acetone (1:1) นาน 3 ชั่วโมง โดยไม่ต้องผ่านการ clean-up ส่วนดินเหนียววิธีที่ให้ผลดีที่สุด คือการใช้เครื่อง Ultrasonic สกัดด้วย hexane : acetone (1:1) นาน 5 -10 นาที โดยไม่ต้องผ่านการ clean-up

สุนันทา และคณะ (2549) ศึกษาวิธีการตรวจวิเคราะห์สารกำจัดโรคพืช Cymoxanil โดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้คอลัมน์ : C18 ขนาด 250 x 4.6 mm ขนาด 5 ไมโครเมตร, Mobile phase : Acetonitrile/Water = 70/30, อัตราการไหลของ Mobile phase : 1.0 ml/min,Injection volume : 10 microliter, Detector wavelength : 254 nanometer, Column temperature : 40 องศาเซลเซียส โดยมี Range อยู่ในช่วง 0.02 – 0.5 mg/ml Correlation coefficient 1.0000 และ HORRAT = 0.172 ซึ่ง ≤ 2ดังนั้น วิธีวิเคราะห์ cymoxanil โดยวิธี HPLC ให้ผลการทดลองที่ยอมรับได้

สุนันทา และคณะ (2549) ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ อะเซทโทคลอ (acetochlor) โดยตรวจสอบ Range หรือช่วงที่เป็นเส้นตรง จะอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.25-4.00 mg/ml ตรวจสอบ Linearity ได้ค่า correlation coefficient (r) = 0.99995 เกณฑ์ยอมรับ r > 0.995 ตรวจสอบ Precision ซ้ำที่ 1 (day 1) ทั้ง 3ระดับของความเข้มข้น ได้ค่า = 0.874 , ซ้ำที่ 2 (day 2) ทั้ง3ระดับของความเข้มข้น ได้ค่า = 0.827 การประเมินหาค่า Precision ความแตกต่างของวิธีโดยใช้ Column DB-17 ทดสอบกับ HP-5 ผล DB-17 ทั้ง 3 ระดับของความเข้มข้น ได้-ค่า Precision เท่ากับ 0.6416 การประเมิน Precision โดยวิธี F- test จาก Table , at p = 0.05 , df1 = 9, df2 = 9 ค่า F = 4.03 ได้ค่าF=1.43 ของซ้ำที่ 1(day 1)ทั้ง3ระดับของ

ความเข้มข้น และ ค่า F = 2.40 ของซ้ำที่ 2 (day 2) ทั้ง3ระดับของความเข้มข้น จากการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีในการประเมินค่า Precision โดยใช้วิธี HORRAT เกณฑ์ยอมรับของ AOAC ยอมรับค่า HORRAT < 2 , และ EU , Codex ยอมรับค่า HORRAT < 2 ผลของการประเมินค่า Precision ค่า Precision ที่ได้จากการทดลองน้อยกว่า 2 และการตรวจสอบโดยวิธี F- test จาก Table , at p = 0.05 , df1 = 9 , df2 = 9 ค่า F = 4.03 ได้ค่า F จากการทดลองน้อยกว่าค่า F ในตาราง F-test ผลของการทดลอง F-test ได้ค่า Variance ของซ้ำที่ 1 และ ซ้ำที่ 2 ไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ตรวจวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ acetochlor ได้ โดยใช้วิธีดังนี้ใช้เครื่อง Gas-Liquid Chromatography (GLC) ชนิด FID, Conditions : Capillary Column HP-5 5% Phenyl Methyl, Siloxane 30 m. x 0.32 mm. (id), 0.25 μm film thickness, Split injectionsplitration 50:1,Helium (Carrier gas) flow rate 2 ml/min, Oven Temperature 220 องศาเซลเซียส, Injector Temperature 250 องศาเซลเซียส และ Detector Temperature 250 องศาเซลเซียส เตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างให้มีปริมาณสารออกฤทธิ์ใกล้เคียงกันประมาณ 1 มก./มล. ละลายด้วย acetone ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันอย่างดี แล้วฉีดสารเข้าเครื่อง 1 ไมโครลิตร

พนิดา และคณะ (2550) ศึกษาปริมาณสารพิษตกค้างของ อะบาเม็กติน ในพริก โดยการใช้วัตถุมีพิษอย่างถูกต้องและปลอดภัย ทำแปลงทดลอง 2 ครั้งคือ ครั้งที่ 3 ในพื้นที่ อ.เมือง จ.นครปฐม ระหว่างเดือนเมษายน- พฤษภาคม 2550 พื้นที่ 422 ตารางเมตร และครั้งที่ 4 ในพื้นที่ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ระหว่างเดือน มิถุนายน-กรกฎาคม 2550 พื้นที่ 302 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ supervise trial, RCB (Randomized Complete Block) มี 3 ซ้ำ (Replication) 8 วิธีการ (Treatment) ตามวันเก็บตัวอย่างพริกหลังจากการพ่นวัตถุมีพิษครั้งสุดท้ายคือ 0,1, 3, 5, 7, 9, 12 และ 15 วัน โดยแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย คือ แปลงควบคุม (ไม่ฉีดพ่นสารเคมี) และ แปลง recommended doze ฉีดพ่น อะบาเม็กติน อัตราแนะนำ คือ ใช้วัตถุมีพิษ ชนิด 1.8% EC ปริมาณ 30 มล./น้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นโดยใช้น้ำ 80 ลิตร/ไร่ ในการทำแปลงทดลองครั้งที่ 3 สารออกฤทธิ์ของวัตถุมีพิษที่ใช้เท่ากับ 2.85. กรัม/ไร่ ส่วนครั้งที่ 4 สารออกฤทธิ์ของวัตถุมีพิษที่ใช้เท่ากับ 2.80 กรัม/ไร่ ฉีดพ่นโดยใช้เครื่องแบบสูบโยกสะพายหลังพ่นวัตถุมีพิษ ทุก 7 วัน รวม 3 ครั้ง และเก็บตัวอย่างพริกมาตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง ที่ระยะเวลา 0, 1, 3, 5, 7, 9, 12 และ 15 วันหลังการพ่นครั้งสุดท้าย นำตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างอะบาเม็กตินด้วยเครื่อง HPLC ผลการวิเคราะห์มีดังนี้ การทดลองครั้งที่ 3 พบสารพิษตกค้าง 0.057, 0.037 0.013, 0.005, 0.004, 0.002, 0.001 และ 0.001 mg/kg ที่ระยะเวลาต่างๆ ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 4 พบสารพิษตกค้าง 0.024, 0.012, 0.002, 0.001, 0.002, 0.002, 0.001และ 0.001 mg/kg ซึ่งค่า Codex MRL ของ อะบาเม็กติน ใน peppers,sweet เท่ากับ 0.02 mg/kg การเก็บเกี่ยวผลผลิตตามที่ฉลากแนะนำคือให้เก็บเกี่ยวผลผลิตภายหลังการใช้วัตถุมีพิษครั้งสุดท้าย 7 วัน พบว่ามีสารพิษตกค้างน้อยกว่าค่า MRL ที่กำหนด

สุนันทา และคณะ (2550) พัฒนาวิธีตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช fomesafen, fluroxypyr, quinclorac, quizalofop-ethyl, quizalofop-P-tefuryl และ triclopyr ในดิน โดยใช้เครื่อง Gas chromatograph (GC) สามารถพัฒนาเป็นวิธีรวมที่ตรวจพร้อมกันในคราวเดียว เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และสามารถใช้เครื่องมือที่มีใช้อยู่แล้วในห้องปฏิบัติการ ยกเว้น quizalofop-P-tefuryl ที่ไม่สามารถตรวจโดยใช้เครื่อง GC ได้ วิธีตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชทั้ง 5 ชนิดที่เหลือ คือ quizalofop-ethyl, quinclorac, triclopyr, fluroxypyr และ fomesafen ไม่สามารถตรวจได้พร้อมกันในคราวเดียว ต้องใช้ 2 - 3 วิธีการสำหรับดินทรายสามารถตรวจได้ โดยใช้เครื่อง Shaker สกัดด้วย acetone นาน 1 ชั่วโมง หรือใช้เครื่อง

Homogenizer สกัดด้วย acetone นาน 1 นาที โดยไม่ต้องผ่านการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (clean-up) สามารถตรวจวิเคราะห์ สารกำจัดวัชพืชได้ 4 ชนิด คือ quizalofop-ethyl, quinclorac, fluroxypyr และ fomesafen ส่วน triclopyr ต้องใช้เครื่อง Ultrasonic สกัดด้วย- hexane นาน 10 นาที โดยไม่ต้องผ่านการ clean-up สำหรับวิธีที่ให้ผลดีในดินร่วนและดินเหนียวคือ การใช้เครื่อง Homogenizer สกัดด้วยacetone นาน 1 นาที โดยไม่ต้องผ่านการ clean-up สามารถตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชได้ 3 ชนิด คือ quizalofop-ethyl, quinclorac และ fomesafen ในดินร่วน และตรวจวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชได้ 2 ชนิด คือ quinclorac และ fluroxypyr ในดินเหนียวโดยไม่ต้องผ่านการ clean-up ส่วน triclopyr ต้องใช้เครื่อง Ultrasonic สกัดด้วย hexane นาน 10 นาที โดยไม่ต้องผ่านการ clean-up ทั้งในดินร่วนและดินเหนียว

คมสัน และคณะ (2550) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพสารกำจัดวัชพืชในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 3 ซ้ำ 13 กรรมวิธี ประกอบด้วย การใช้สาร pendimethalin, dimethanamid, alachlor, alachlor+glyphosate, fluazifop-butyl, fenoxaprop-p-ethyl, fluazifop-butyl+fenoxaprop-p-ethyl, fluazifop-butyl+glyphosate, fenoxaprop-p-ethyl+glyphosate, การถอนวัชพืชด้วยมือ 2 ครั้ง, การคลุมดินด้วยฟางข้าว 1 ครั้ง , การคลุมดินด้วยฟางข้าว 2 ครั้งและวิธีไม่กำจัดวัชพืช ที่แปลงเกษตรกร อ. ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-กรกฎาคม 2550 พบว่า การใช้สารกำจัดวัชพืช pendimethalin, fluazifop-butyl และ fenoxaprop-p-ethyl ไม่เป็นพิษต่อกระเจี๊ยบเขียว ส่วนสาร alachlor และ dimethanamid มีพิษต่อกระเจี๊ยบเขียวเพียงเล็กน้อย สารกำจัดวัชพืชทุกชนิดมีประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชได้ดี กรรมวิธีการใช้สารกำจัดวัชพืชและการคลุมดินด้วยฟางข้าวมีน้ำหนักแห้งวัชพืชไม่แตกต่างกัน การใช้สารกำจัดวัชพืชประเภทใช้หลังวัชพืชงอกมีแนวโน้มให้ความสูงของกระเจี๊ยบเขียวสูงกว่าการถอนวัชพืชด้วยมือ 2 ครั้งกระเจี๊ยบเขียวให้ผลผลิตมากที่สุด คือ 2937.0 กก./ไร่ สารกำจัดวัชพืช pendimethalin ให้ผลผลิต 2,376.3 กก./ไร่ ไม่แตกต่างกับการใช้สารกำจัดวัชพืช fluazifop-butyl, fenoxaprop-p-ethyl, fluazifop-butyl+fenoxaprop-p-ethyl ,fluazifop-butyl+glyphosate, fenoxaprop-p-ethyl+glyphosate, การคลุมดินด้วยฟางข้าว 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง ให้ผลผลิต 2,477.7, 2,488.7, 2,508.7, 2,351.0, 2,451.7, 2,501.0 และ 2,726.7 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนวิธีไม่กำจัดวัชพืชกระเจี๊ยบเขียวมีผลผลิต 1,466.7 กก./ไร่ ตามลำดับ และการใช้สารประเภทคุมวัชพืชหรือฆ่าวัชพืชแล้วตามด้วยการใช้สารประเภทฆ่าวัชพืชให้ผลผลิตน้ำหนักของกระเจี๊ยบเขียวไม่แตกต่างกับการใช้สารประเภทคุมวัชพืชหรือประเภทฆ่าแบบเดี่ยว

คมสัน และคณะ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพสารป้องกันกำจัดวัชพืชประเภทพ่นก่อนการงอกของวัชพืชในถั่วเหลืองฝักสด วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 3 ซ้ำ 14 กรรมวิธี คือ การใช้สาร pendimethalin, dimethenamid, flumioxazin, propisochlor, metolachlor, s-metolachlor, metribuzin, clomazone, oxadiazon, oxyfluorfen, acetochlor และ alachlor อัตรา 330, 108, 20, 108, 336, 144, 105, 141.6, 150, 40, 250 และ 336 กรัม สารออกฤทธิ์ต่อไร่ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการกำจัดวัชพืชด้วยมือและวิธีไม่กำจัดวัชพืช ทำการทดลองที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี จ. กาญจนบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – มิถุนายน 2552 พบว่า ทุกกรรมวิธีที่ใช้สารกำจัดวัชพืชเป็นพิษเพียงเล็กน้อยต่อถั่วเหลืองฝักสด และมีประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืชได้ดี วัชพืชที่พบได้แก่ หญ้านกสีชมพู (*Echinochloa colona* (L.) Link) หญ้าตีนนก (*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel.) หญ้าตีนติด (*Brachiaria reptans* L.) Gard & Hubb.) หญ้าบุ้ง (*Cenchrus echinatus* L.) หญ้า-กำมะหยี่ (*Lagascea mollis* Cav.) ผักเบี้ยหิน (*Trianthema portulacastrum* Linn.) สะอึก (*Ipomoea gracillis* R.Br.) ผักโขม (*Amaranthus gracilis* Desf)

ขยุ้มตีนหมา(*Ipomoea pestigridis* Linn.) หญ้ายาง(*Euphorbia heterophylla* Linn.) ปอวัชพืช (*Corchorus aestuans* Linn.) กรรมวิธีการทดลองให้ความสูงของถั่วเหลืองแตกต่างกัน สาร clomazone, pendimethalin, propisochlor ให้ความสูงที่ระยะ 30 วันหลังปลูกมากที่สุด กรรมวิธีการทดลองให้จำนวนต้นถั่วเหลืองฝักสดต่อไร่ จำนวนฝักและน้ำหนักฝักสดต่อต้นแตกต่างกัน ซึ่งการใช้สาร pendimethalin, clomazone และ oxadiazon มีจำนวนฝักและน้ำหนักฝักสดถั่วเหลืองต่อต้นมากกว่ากรรมวิธีที่มีการใช้สาร oxadiazon, clomazone และ pendimethalin ให้ผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด 1,669.4, 1,630.4 และ 1,552.4 กิโลกรัมต่อไร่ มากกว่าและแตกต่างกันกับกรรมวิธีการกำจัดวัชพืชด้วยมือ การใช้สาร metolachlor, flumioxazin, alachlor, s-metolachlor, dimethenamid, acetochlor, methribuzin และวิธีไม่กำจัดวัชพืชมีผลผลิต 1,239.7, 1,115.4, 1,096.9, 1,078.0, 1,062.7, 997.6, 995.0, 978.8 และ 502.4 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ศิริศักดิ์ (2552) สำรวจวิธีการกำจัดการวัชพืชของเกษตรกรในจังหวัดลำปาง เพื่อศึกษาผลของการค้างของสารกำจัดวัชพืชในแปลงผลิตสับปะรดก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ การวิเคราะห์พาราควอทในตัวอย่าง ดิน น้ำ และผลิตผลสับปะรด การวิเคราะห์สารโบรโมซิล และไดยูลอนในตัวอย่าง ดิน น้ำ และผลิตผลสับปะรด การวิเคราะห์หาปริมาณสารโบรมาซิล ที่ใช้ในแปลงเกษตรกร ในอัตรา 300 - 400 กรัมต่อน้ำ 60 - 80 ลิตร เพื่อกำจัดวัชพืชในช่วงการเจริญเติบโต พัฒนาการของผลสับปะรด โดยใช้เทคนิค Highperformance liquid chromatograph, UV-VIS พบว่า ในฤดูแล้ง ดินมีค่าเฉลี่ยของสารโบรมาซิล 118 - 563 นาโนกรัมต่อกรัมตัวอย่างดิน และในฤดูฝนซึ่งมีค่า 480 - 982 นาโนกรัมต่อกรัม อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่า LD 50 (5200 mg/kg) การใช้สารกำจัดวัชพืช กลุ่มพาราควอท ในการจัดการสวนสับปะรดควรใช้ก่อนการปลูกอย่างน้อย 15 – 30 วัน ตามด้วยการ ไถกลบ ไม่ควรใช้ในขณะที่ผลิตผลอยู่ในช่วงเจริญ และพัฒนาการ 415 การใช้สารกำจัดวัชพืช กลุ่มโปรมาซิล สามารถใช้ในการกำจัดวัชพืชในการผลิตสับปะรดได้ ในอัตราที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ไม่ควรไถกลบภายหลังการพ่นสารดังกล่าว

พนิดา และคณะ (2553) ทำแปลงทดลองศึกษาปริมาณสารพิษตกค้างของ carbosulfan ในมะเขือยาว ครั้งที่ 1 ในช่วงเดือนธันวาคม 2552 - กุมภาพันธ์ 2553 และครั้งที่ 2 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน 2553 ในพื้นที่ อ.สามพราน จ.นครปฐม โดยวางแผนการทดลองแบบ Supervised Trail มี 3 ซ้ำ (replication) แบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย ได้แก่ แปลงทดลองที่ใช้ carbosulfan ในอัตราแนะนำ คือ carbosulfan 20% EC อัตรา 60 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร และแปลงทดลองที่ไม่ใช้ carbosulfan เป็นแปลงเปรียบเทียบ พ่นสาร carbosulfan ทุก 7 วัน รวม 3 ครั้ง หลังการพ่นสารครั้งสุดท้ายเก็บตัวอย่างมะเขือยาวมาตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง carbosulfan และ carbofuran (ผลรวมของ carbofuran และ 3-OH carbofuran ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ carbosulfan) ที่ระยะเวลา 0, 2, 5, 7, 9, 12, 14, 15 และ 18 วัน (treatment) ผลการทดลองพบ สารพิษตกค้างที่มีค่าสูงสุดในซ้ำของการทดลองแต่ละวัน (จากข้อมูล 3 ซ้ำ) ดังนี้ การทดลองครั้งที่ 1 พบ carbosulfan ปริมาณ 0.31, 0.17, 0.04 และ 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 0, 2, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ (ส่วนที่ระยะเวลาอื่นไม่พบสารพิษตกค้าง carbosulfan) พบ carbofuran ปริมาณ 0.03, 0.07, 0.07, 0.05, 0.03, 0.04, 0.01 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลา 0, 2, 5, 7, 9, 12, 14 และ 15 วัน ตามลำดับ (ส่วนที่ระยะเวลา 18 วัน ไม่พบสารพิษตกค้าง carbofuran) การทดลองครั้งที่ 2 พบ carbosulfan ปริมาณ 0.48, 0.08, 0.04 และ 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 0, 2, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ (ส่วนที่ระยะเวลาอื่นไม่พบสารพิษตกค้าง carbosulfan) พบ carbofuran ปริมาณ 0.07, 0.01, 0.08, 0.07, 0.03, 0.01, nd, 0.01 และ 0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระยะเวลา 0, 2, 5, 7, 9, 12, 14, 15 และ 18 วัน ตามลำดับ พบว่าปริมาณสารพิษตกค้างจากการใช้ carbosulfan ในอัตราแนะนำต่ำกว่า

ค่า MRL ของไทย (0.5 มิลิกรัม/กิโลกรัม) ตั้งแต่ที่ 0 วัน หลัง-การพ่นครั้งสุดท้าย และที่ 15 วัน ซึ่งเป็นค่า PHI ที่กำหนดไว้ตามฉลาก พบสารพิษตกค้างปริมาณน้อยมาก ส่วนการตรวจวิเคราะห์สารกลุ่ม carbamate ในตัวอย่างมะเขือยาวจากแหล่งจำหน่ายในพื้นที่ใกล้เคียงสถานที่ทำแปลงทดลอง จำนวน 41 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 12 ตัวอย่าง (29%) โดยพบ carbofuran 6 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.02-0.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทุกตัวอย่างไม่เกินค่า MRL ของไทย (0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) พบ methomyl 10 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.01-0.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เกินค่า MRL ของไทย (0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) 1 ตัวอย่าง แต่ไม่เกินค่า Codex MRL (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และพบ methiocarb 1 ตัวอย่าง ปริมาณ 0.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกินค่า Codex MRL (Pepers, Sweet เท่ากับ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ซึ่งค่า MRL ของประเทศไทยไม่มีการกำหนด

สันติ และรุ่งนภา (2557) ศึกษาผลของโคลชิซีนต่ออัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ทดลอง ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 10 ซ้ำ กำหนดความเข้มข้นของโคลชิซีน 4 ระดับ ได้แก่ 1, 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับต้นกล้า สับปะรดที่ไม่ให้สาร (control) บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้าสับปะรดต่อเนื่องหลังให้สาร 4 และ 8 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของโคลชิซีนไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และพัฒนาการทางด้านจำนวนใบใหม่ ความสูงทรง พุ่ม ขนาดความกว้างและความยาวใบที่ระยะหลังให้สาร 4 และ 8 สัปดาห์ ส่วนทางด้านขนาดของปากใบพบว่า ต้นกล้าสับปะรดที่ให้โคลชิซีนระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาดของปากใบใหญ่มากที่สุด โดยปากใบมีความกว้าง 21.48 ไมโครเมตร และความยาว 24.30 ไมโครเมตร

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ดินและการเตรียมตัวอย่างดิน

ดินที่ใช้สำหรับการทดลองมาจากพื้นที่ปลูกสับปะรดในจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยใช้ดินเก็บที่ความลึก 0-20 cm นำดินมาผึ่งในที่ร่ม จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มม. เพื่อแยกเศษซากพืชและกรวดต่างๆ วิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนและหลังการทดลอง โดยคุณสมบัติที่วิเคราะห์ คือ ความเป็นกรดเป็นด่างของดินในน้ำกลั่น (1:1 v/v) แล้ววัดโดยใช้เครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้าของดินในน้ำกลั่น (1:5 v/v) แล้ววัดโดยใช้เครื่อง Conductivity meter ปริมาณอินทรียวัตถุในดินวิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black (1947) ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (Extractable phosphorous) วิเคราะห์ตามวิธีการของ Watanabe and Olsen (1962) แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable potassium) แคลเซียมที่สกัดได้ (Extractable calcium) แมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extractable magnesium) เหล็กที่สกัดได้ (Extractable ferrous) แมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable manganese) ทองแดงที่สกัดได้ (Extractable copper) สังกะสีที่สกัดได้ (Extractable zinc) และโซเดียมที่สกัดได้ (Extractable sodium) ตามวิธีของ Wayne (1980) แล้ววัดด้วยเครื่อง Atomic adsorption spectroscopy (AAS)

3.2 การทดลองในกระถาง

3.2.1 การศึกษาความมีชีวิตของเชื้อราอาบัสคูล่า

การประเมินความมีชีวิตของเชื้อไมคอร์ไรซาในสภาพแวดล้อมการปลูกสับปะรด ทำโดยการใส่เชื้อให้กับสับปะรด 2 รูปแบบ คือ การใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูก และการใส่เชื้อที่บริเวณรอบทรงพุ่ม โดยใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาทางการค้าของกรมวิชาการเกษตร (ประกอบด้วย เชื้อ Arbuscular mycorrhizal สายพันธ์ *Glomus* sp. และ *Acaulospora* sp. ปริมาณจุลินทรีย์รับรองจำนวน 25 สปอร์ต่อปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม) ในอัตราที่เท่ากัน คือ 3 กรัมต่อต้น ปลูกสับปะรดในกระถางทดลองซึ่งเป็นพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม. โดยรองก้นกระถางด้วยหินกรวดสูง 2 ซม. เพื่อป้องกันการไหลของดิน จากนั้นเติมดิน 20 กก.ต่อกระถาง ปรับความชื้นของดินให้อยู่ที่ 50% WHC บ่มดินในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการทดลอง จากนั้นปลูกหน่อพันธุ์สับปะรดในดินพร้อมทั้งปลูกเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซารูปแบบต่างๆ สับปะรดที่ใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งจัดหาจากแหล่งปลูกสับปะรดในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์โดยใช้หน่อปลูก จำนวน 1 หน่อ/กระถาง ทำการทดลองเป็นเวลา 2 เดือนโดยเก็บตัวอย่างดินทุกเดือนเพื่อประเมินการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากสับปะรดโดยการย้อมสี Tryphan blue และส่องดูโครงสร้างของเช้อราในรากภายใต้กล้องจุลทรรศน์

3.2.2 การทดสอบความสามารถของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิล

การทดลองประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ คือ ดิน (โดยไม่มีการปลูกพืช; Br), สับปะรดเจริญในดินที่ปนเปื้อนโบรมาซิล (Pa+Br) และสับปะรดเจริญในดินที่ปนเปื้อนโบรมาซิลและมีการเติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา (Pa+Br+My) สับปะรดที่ใช้ในการทดลอง คือ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งจัดหาจากแหล่งปลูกสับปะรดในท้องที่โดยใช้หน่อปลูก จำนวน 1 หน่อ/กระถาง เชื้อไมคอร์ไรซาที่ใช้ คือ เชื้อราอาบัสคูลาไมคอร์ไรซา (Arbuscular Mycorrhiza) ทางการค้าจากกรมวิชาการเกษตร (จำนวนสปอร์มากกว่า 25 สปอร์/กรัม) โดยใช้ 3 กรัมต่อกระถาง ปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม. ซึ่งรองก้นกระถางด้วยกรวด

และเติมดินปริมาณ 20 กก.ต่อกระถาง ก่อนการปลูกพืชทำการปรับความชื้นของดินให้อยู่ที่ 50% WHC บ่มดินในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในระหว่างการทดลองเก็บตัวอย่างดินทุกๆ 2 เดือน เพื่อวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหาร (ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และโซเดียม) วิเคราะห์กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน กิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรดและเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวัดน้ำหนักสดและแห้ง ของรากและส่วนเหนือดิน การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในรากและสปอร์ของเชื้อราในดิน

3.3 การวิเคราะห์พืช

3.3.1 ชีวมวลพืชสดและแห้ง

พืชที่ถูกเก็บเกี่ยวแล้วจะถูกล้างด้วยน้ำปะปา น้ำกลั่น และทำให้แห้ง แยกส่วนของยอดและรากออกจากกัน นำไปวัดน้ำหนักสดโดยการชั่งด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำตัวอย่างพืชไปอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่งจะได้น้ำหนักแห้งของพืช

3.3.2 การวิเคราะห์การเข้าครอบครองรากของไมคอร์ไรซา

สุ่มตัวอย่างรากสดจำนวน 1 ก. และตัดให้มีความยาวประมาณ 0.5-1.0 ซม. นำรากที่ได้แช่ใน 10% KOH ที่อุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น และย้อมด้วย 0.1% Trypan Blue ที่อุณหภูมิ 90 °ซ เป็นเวลา 3-5 นาที คำนวนเปอร์เซ็นต์การเข้าครอบครองรากโดยวิธี gridline intersect method

3.3.3 การวิเคราะห์โบรมาซิลในพืช

ตัวอย่างส่วนเหนือดินของพืชที่อบแห้งแล้ว บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดไม่เกิน 0.5 มม. ตัวอย่างพืชที่บดแล้ว นำไปส่งวิเคราะห์ปริมาณโบรมาซิลในพืชโดยบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

3.4 การวิเคราะห์ดิน

3.4.1 การวิเคราะห์เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส

นำดินสด 20 ก. ผสมกับ $CaCO_3$ จำนวน 0.2 ก., สารละลาย 1% ของ 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) ปริมาตร 2 มล. และน้ำกลั่น ปริมาตร 2 มล. ผสมให้เข้ากัน และบ่มที่อุณหภูมิ 37 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติม methanol ปริมาตร 10 มล. แล้วนำไปเขย่าแล้วนำไปกรอง นำสารละลายที่ได้เจือจางด้วย methanol และปรับปริมาตรเป็น 100 มล. จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

3.4.2 การวิเคราะห์เอนไซม์ฟอสฟาเตสกรด

นำดิน 100 มก. ผสมกับ 100 มิลลิโมล phosphate buffer ปริมาตร 0.5 มล., 10 มล. p-nitrophenyl phosphate solution ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และน้ำกลั้น 400 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที นำสารละลายส่วนใสไปเติม 1 โมลาร์ NaOH ปริมาตร 2 มล. และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

3.4.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของจุลินทรีย์

นำตัวอย่างดิน 2 ก. เติม 60 มิลลิโมล potassium phosphate buffer ปริมาตร 15 มล. และ FDA (100 ไมโครลิตรต่อ มล.) ปริมาตร 0.2 มล. จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา

20 นาที แล้วนำมาเติม chloroform/methanol (2:1 v/v) ปริมาตร 15 มล. เพื่อหยุดปฏิกิริยา นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 นาที นำส่วนสารละลายใสที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

3.4.4 การวิเคราะห์โบรมาซิลในดิน

นำดินไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. แล้วน้ำตัวอย่างดิน ส่งวิเคราะห์ปริมาณโบรมาซิลในพืชโดยบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีการ QuEChERS method (European standard 2008)

3.4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

นำดินไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. จากนั้นน้ำตัวอย่างดินไปวิเคราห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดินในน้ำกลั่น (1:1 v/v) แล้ววัดโดยใช้เครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้าของดินในน้ำกลั่น (1:5 v/v) แล้ววัดโดยใช้เครื่อง Conductivity meter ปริมาณอินทรียวัตถุในดินวิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black (1947) ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (Extractable phosphorous) วิเคราะห์ตามวิธีการของ Watanabe and Olsen (1962) แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable potassium) แคลเซียมที่สกัดได้ (Extractable calcium) แมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extractable magnesium) เหล็กที่สกัดได้ (Extractable ferrous) แมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable manganese) ทองแดงที่สกัดได้ (Extractable copper) สังกะสีที่สกัดได้ (Extractable zinc) และโซเดียมที่สกัดได้ (Extractable sodium) ตามวิธีของ Wayne (1980) แล้ววัดด้วยเครื่อง AAS

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดย one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Minitab version 15.

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ทดสอบความมีชีวิตของเชื้อไมคอร์ไรซาในสภาพแวดล้อมการปลูกสับปะรด

ความมีชีวิตของเชื้อไมคอร์ไรซาในสภาพแวดล้อมการปลูกสับปะรด ประเมินจากความสามารถในการเข้าครอบครองรากสับปะรดของเชื้อราไมคอร์ไรซา โดยการประเมินปริมาณโครงสร้างของเชื้อราประกอบด้วยเส้นใย อาร์บัลคูล และเวสสิเคิล (ซึ่งโครงสร้างของอาร์บัสคูลและเวสสิเคิลเป็นลักษณะเฉพาะของเชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซา) ในรากของสับปะรดเทียบกับพื้นที่รากทั้งหมด การประเมินเปอร์เซ็นต์การเข้าครอบครองรากแบ่งการประเมินเป็น 5 ระดับ คือ

มีเส้นใยของเชื้อราเจริญครอบครองรากน้อยกว่า 1 %
มีเส้นใยของเชื้อราเจริญครอบครองรากน้อยกว่า 10 %
มีเส้นใยของเชื้อราเจริญครอบครองราก 11 – 50 %
มีเส้นใยของเชื้อราเจริญครอบครองราก 51 – 90 %
และมีเส้นใยของเชื้อราเจริญครอบครองรากมากกว่า 90 %

การประเมินความมีชีวิตของเชื้อไมคอร์ไรซาในสภาพแวดล้อมการปลูกสับปะรด ทำโดยการใส่เชื้อให้กับสับปะรด 2 รูปแบบ คือ การใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูก และการใส่เชื้อที่บริเวณรอบทรงพุ่ม โดยใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาทางการค้าของกรมวิชาการเกษตรในอัตราที่เท่ากันคือ 3 กรัมต่อต้น จากการทดลองพบว่า การใส่เชื้อให้กับพืชทั้ง 2 รูปแบบนั้นพบว่ามีเส้นใยของเชื้อไมคอร์ไรซาเข้าอาศัยในรากพืช โดยการใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูกนั้น พบเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากพืชสูงกว่าการใส่เชื้อที่บริเวณรอบทรงพุ่ม (ตารางที่ 4.1) และพบการเข้าครอบครองรากของเชื้อไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น เมื่อมีการปลูกพืชในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น การใส่เชื้อที่บริเวณก้นหลุม เชื้อจุลินทรีย์มีโอกาสในการสัมผัสกับรากของพืชได้มากกว่าการใส่เชื้อบริเวณรอบทรงพุ่ม จึงส่งผลให้การเข้าครอบครองรากของเชื้อรามีสูงกว่า การเข้าอาศัยของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากพืชนั้นสัมพันธ์กับโอกาสที่เชื้อราสัมผัสกับรากพืช ยิ่งเชื้อรามีโอกาสสัมผัสกับรากพืชได้มาก และเป็นระยะเวลานาน โอกาสที่เชื้อจะเข้าอาศัยในรากพืชก็ยิ่งสูงขึ้น การใส่เชื้อให้กับพืชบริเวณรอบทรงพุ่มเหมาะสำหรับการใช้กับไม้ผล ซึ่งเจริญในแปลงปลูกมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วทำให้ไม่สะดวกโดยการใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูก แม้ว่าการใส่เชื้อที่บริเวณรอบทรงพุ่ม เชื้อราไมคอร์ไรซามีโอกาสสัมผัสกับรากพืชได้น้อยกว่า แต่การใส่เชื้อบริเวณรอบทรงพุ่มนั้นยังคงมีการเข้าอาศัยของเชื้อราที่รากของพืชเช่นกัน อย่างไรก็ตามนักวิชาการเกษตรแนะนำให้มีการใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูกร่วมด้วยในขั้นตอนการย้ายพืชลงแปลงปลูกพืชหากสามารถทำได้ เพื่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราได้สูงที่สุด ในการทดลองศึกษาความสามารถของเชื้อไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลซึ่งเป็นการทดลองขั้นต่อไป จะใช้การใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูก

ในการทดลองได้ศึกษาความอยู่รอดของเชื้อราอาบัสคูลาไมคอร์ไรซาในสภาวะที่ไม่มีการปลูกพืชร่วมด้วยโดยการตรวจนับสปอร์ของเชื้อราในดิน พบปริมาณของสปอร์น้อยกว่า 1 สปอร์ต่อกรัมของดิน แสดงว่าเชื้อราไมคอร์ไรซาประเภทอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซานั้น ไม่สามารถเจริญเพิ่มปริมาณโดยขาดพืชอาศัยได้ ดังนั้นการใส่เฉพาะเชื้อราชนิดนี้ลงในดิน อัตราการอยู่รอดของเชื้อจึงต่ำมาก แม้ว่าจะยังคงพบสปอร์ของเชื้อราชนิดนี้อยู่บ้างในดิน แต่มีปริมาณน้อยมาก จากผลการทดลองแสดงว่าเชื้อราไมคอร์ไรซาสามารถเจริญในสภาพแวดล้อมของการปลูกสับปะรดในเรือนทดลองได้ และมีการเข้าอยู่อาศัยในรากของสับปะรด จึงมีความ

เป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ทดสอบความสามารถในการบำบัดสารกำจัดวัชพืชโบรมาซิล โดยจะทำการใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูก

ตารางที่ 4.1 การเข้าครอบครองรากสับปะรดของเชื้ออาบัสคูล่าไมคอร์ไรซ่าโดยการใส่เชื้อรูปแบบต่างกัน

รูปแบบการใส่เชื้อ	**การเข้าครอบครองราก (%)**	
	เดือนที่ 1	**เดือนที่ 2**
การใส่เชื้อที่ก้นหลุมปลูก	2 - 10 %	11 - 50 %
การใส่เชื้อรอบทรงพุ่ม	-	2 - 10 %

4.2 การทดสอบความสามารถของเชื้อไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลในระดับเรือนทดลอง

4.2.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

การศึกษาสมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลองพบว่า ดินมีค่า pH ที่ 5.5 ซึ่งเป็นกรดจัด ดินมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 2 มิลลิซีเมนต์/ซม. ซึ่งถือว่าไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 1.7% ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง โพแทสเซียมที่สกัดได้มีค่า 90.16 มก./กก. แคลเซียมที่สกัดได้มีค่า 1,320 มก./กก. ซึ่งทั้งโพแทสเซียมและแคลเซียมในดินอยู่ในระดับปานกลาง เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า 60.79 มก./กก. แมกนีเซียมที่สกัดได้มีค่า 787.50 มก./กก. โซเดียมที่สกัดได้มีค่า 1,650 มก./กก. เหล็กที่สกัดได้มีค่า 205 มก./กก. แมงกานีสที่สกัดได้มีค่า 32.26 มก./กก. สังกะสีที่สกัดได้มีค่า 4.01 มก./กก. และทองแดงที่สกัดได้มีค่า 3.56 มก./กก. ทั้งฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โซเดียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงอยู่ในระดับสูง ซึ่งเกินพอต่อการดูดใช้โดยพืช (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

Soil properties	Soil before experiment
pH (1:1)	5.5
EC (1:5) (mS/cm)	2.00
OM (%)	1.70
Available P (mg/kg)	60.79
Extractable K (mg/kg)	90.16
Extractable Ca (mg/kg)	1,320
Extractable Mg (mg/kg)	787.50
Extractable Na (mg/kg)	1,650
Extractable Fe (mg/kg)	205
Extractable Mn (mg/kg)	32.26
Extractable Zn (mg/kg)	4.01
Extractable Cu (mg/kg)	3.56

4.2.2 ความเป็นกรด-ด่างของดิน

การประเมินความเป็นกรด-ด่างของดินที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินทุก 2 เดือนเป็นเวลา 6 เดือน จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน (ตารางที่ 4.3) ดินยังอยู่ในช่วงที่เป็นกรดจัดเช่นเดิม แต่มีแนวโน้มที่จะมีความเป็นกรดลดลง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของดินทั้งการเติมและไม่เติมเชื้อไมคอร์ไรซาลงในดินไม่มีความแตกต่างกันกับดินที่ไม่มีการปลูกพืช

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างของดินในระยะเวลาที่ทำการทดลอง

Treatments	Soil pH		
	2 months	4 months	6 months
Br	3.21 ± 0.12	3.62 ± 0.07	3.40 ± 0.11a
Pa+Br	3.40 ± 0.07	3.60 ± 0.09	3.44 ± 0.04ab
Pa+Br+My	3.20 ± 0.12	3.57 ± 0.11	3.54 ± 0.09a

4.2.3 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน

การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ทำการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินทุก 2 เดือนเป็นเวลา 6 เดือน จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน (ตารางที่ 4.4) ค่าการนำไฟฟ้ายังคงอยู่ในช่วงที่ไม่เค็ม ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด ค่าการนำไฟฟ้าในดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการปลูกพืช (Pa+Br) และลดลงเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเติมเชื้อราไมคอร์ไรซา (Pa+Br+My) อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างการเติมและไม่เติมเชื้อรา การลดลงของค่าการนำไฟฟ้าในดินในทรีทเมนต์ที่มีการปลูกพืชนั้นเนื่องมาจากการดูดใช้ธาตุอาหารกลุ่มที่เป็นประจุบวกซึ่งเป็นองค์ประกอบของเกลือในดิน ได้แก่ โซเดียม และแมกนีเซียม ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินลดลงได้ อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ใช้ในการทดลองมีค่าต่ำ ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการเจริญของพืช

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าในดินระหว่างที่ทำการทดลอง

Treatments	Soil EC (mS/cm)		
	2 months	4 months	6 months
Br	3.99 ± 0.62a	1.38 ± 0.39ab	2.05 ± 0.80a
Pa+Br	2.91 ± 0.20b	1.40 ± 0.33a	1.47 ± 0.81b
Pa+Br+My	2.89 ± 0.11b	0.95 ± 0.85b	0.52 ± 0.53b

4.2.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของดินที่ทำการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินทุก 2 เดือนเป็นเวลา 6 เดือน จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน (ตารางที่ 4.5) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง โดยปริมาณฟอสฟอรัสในดินในทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อรา (Pa+Br+My) ส่งผลให้ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง และแตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ไม่มีการปลูกพืช (Br) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากทรีทเมนต์ที่มีการปลูกพืช (Pa+Br) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืช และเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์เช่นกัน

เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ สารพันธุกรรม เป็นแหล่งของพลัง เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีบทบาทต่อการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามในสภาวะที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อย่างเพียงพอ จะยับยั้งบทบาทของเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน และมักไม่พบพบบทบาทของเชื้อราชนิดนี้ในสภาวะที่ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง (Alloush et al., 2008)

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินระหว่างที่ทำการทดลอง

Treatments	Available phosphorus (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	77.10 ± 16.97a	43.28 ± 6.00a	54.15 ± 13.38a
Pa+Br	69.51 ± 8.95ab	36.85 ± 2.10ab	44.79 ± 10.28ab
Pa+Br+My	52.77 ± 6.38b	29.65 ± 4.09b	31.72 ± 4.96b

4.2.5 โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินของดินที่ทำการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินทุก 2 เดือน จนครบ 6 เดือน จากการทดลองพบว่า (ตารางที่ 4.6) ปริมาณโพแทสเซียมในดินลดลงเมื่อการปลูกพืช เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของการไม่เติมและเติมเชื้อราต่อระดับของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ยกเว้นในเดือนที่ 4 ของการทดลอง โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มักมีอยู่ในดินในปริมาณสูงและยังอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ง่าย เชื้อจุลินทรีย์จึงไม่มีบทบาทมากนักต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารชนิดนี้ในดิน อีกทั้งโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในปริมาณน้อย แต่การมีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาเจริญที่รากพืชมีแนวโน้มเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินในเดือนที่ 6 ของการทดลอง

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียม (K) ในดินระหว่างการทดลอง

Treatments	Extractable potassium (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	142.33 ± 4.73	157.83 ± 12.73a	127.50 ± 23.11
Pa+Br	118.58 ± 11.31	109.50 ± 9.27b	70.83 ± 7.16
Pa+Br+My	99.25 ± 15.10	95.33 ± 15.43b	110.67 ± 38.60

4.2.6 ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารรองและจุลธาตุในดิน

ปริมาณธาตุอาหารรองในดินระหว่างการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 แคลเซียมและแมกนีเซียมในดินมีปริมาณลดลงภายใต้ทรีทเมนต์ที่มีการปลูกพืชตามอายุพืชที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการมีเชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซาเจริญอยู่ร่วมที่รากพืชไม่ได้ส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมในดิน แคลเซียมทำหน้าที่เป็นสารส่งสัญญาณต่างๆภายในเซลล์ เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ ละช่วงคงสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งมีบทบาทต่อการสังเคราะห์แสงของพืช และเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างกรด

อะมิโน และโปรตีน อีกด้วย เนื่องจาก 2 ธาตุนี้เป็นธาตุอาหารที่พืชใช้ปริมาณน้อย จึงไม่เห็นความแตกต่างของปริมาณธาตุทั้ง 2 ในดินที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ในดินระหว่างการทดลอง

Treatments	Extractable calcium (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	1,313.33 ± 29.30	1,062.50 ± 238.97	1,090.83 ± 88.40
Pa+Br	1,396.67 ± 81.36	1,097.50 ± 156.58	950.42 ± 83.22
Pa+Br+My	1,215.42 ± 344.34	1,061.25 ± 129.28	977.50 ± 151.15
	Extractable magnesium (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	610.00 ± 26.46	553.33 ± 48.44	560.00 ± 71.27
Pa+Br	468.33 ± 62.35	546.67 ± 88.35	465.00 ± 59.01
Pa+Br+My	465.00 ± 51.61	431.67 ± 44.07	446.67 ± 46.58

ปริมาณจุลธาตุในดินระหว่างการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 ปริมาณจุลธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโซเดียมที่อยู่ในดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณลดลงภายใต้ทรีทเมนต์ที่มีการปลูกพืช (Pa+Br และ Pa+Br+My) และปริมาณของจุลธาตุลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมเชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินไม่ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินให้แตกต่างจากการไม่เติมเชื้อรา ยกเว้นในกรณีของธาตุเหล็ก ในเดือนที่ 6 ของการทดลอง ธาตุเหล็กเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการปริมาณมาก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเล็กตรอน การสร้างพลังงาน การเจริญและการพัฒนาของเซลล์ และยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด จากการศึกษาไม่พบความสามารถของเชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอไรซาต่อการเพิ่มความเป็นประโยชน์จุลธาตุอาหารในดิน อาจเนื่องมาจากธาตุอาหารในดินมีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอถึงปริมาณสูงซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของพืชและเชื้อรา เชื้อราจึงไม่แสดงบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุอาหารเหล่านี้ในดินให้เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และโซเดียม (Na) ในดินระหว่างการทดลอง

Treatments	Extractable ferrous (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	306.13 ± 9.20a	202.93 ± 25.13	205.47 ± 29.68a
Pa+Br	264.93 ± 35.12b	219.20 ± 22.70	196.87 ± 21.99a
Pa+Br+My	183.27 ± 11.20b	228.93 ± 21.91	151.33 ± 18.41b
	Extractable manganese (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	32.13 ± 1.62	25.67 ± 2.76	27.80 ± 3.31a
Pa+Br	24.78 ±3.27	27.77 ± 4.32	22.53 ± 2.01b
Pa+Br+My	25.40 ± 3.12	23.60 ± 3.11	21.05 ± 0.58b
	Extractable zinc (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	3.87 ± 0.12a	2.67 ± 0.67	3.20 ± 0.59a
Pa+Br	2.90 ± 0.41ab	4.00 ± 1.12	2.50 ± 0.37b
Pa+Br+My	2.43 ± 0.51b	2.72 ± 0.63	2.22 ± 0.34b
	Extractable copper (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	4.54 ± 0.40a	2.91 ± 0.13b	3.41 ± 0.31a
Pa+Br	3.30 ± 0.66ab	3.54 ± 0.10a	3.08 ± 0.15b
Pa+Br+My	2.90 ± 0.09b	3.60 ± 0.16a	3.07 ± 0.12b
	Extractable sodium (mg/kg)		
	2 months	4 months	6 months
Br	1,138.00 ± 636.57	1,015.17 ± 327.83	1,599.00 ± 207.57
Pa+Br	1,051.42 ± 494.36	1,480.08 ± 345.72	1,548.33 ± 297.99
Pa+Br+My	1,057.83 ± 259.62	1,337.17 ± 219.82	1,271.83 ± 174.42

Kumar และคณะ (2015) ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาต่อระบบการปลูกพืช กระเจี๊ยบเขียว (*Abelmoschus esculentus*) และถั่วลันเตา (*Pisum sativum*) ในดิน Alfisol พบว่าเชื้อราช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตในช่วง 100 วันหลังปลูก โดยส่งผลให้ทั้งกระเจี๊ยบเขียวและถั่นลันเตามีพื้นที่ใบ ความสูง และน้ำหนักแห้งสะสมสูงเพิ่มมากขึ้นจากการไม่เติมเชื้อรา การใส่เชื้อราร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 75% ของอัตราแนะนำส่งผลให้พืชมีผลผลิตเท่ากับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 100 % ของอัตราแนะนำ การเติมเชื้อราไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินใน 2 ปีของการปลูกพืช

Mohammad และ Malkawi (2004) ศึกษาการเติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในวัสดุปลูกพืชบนหลังคาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่างๆ พบว่าการเติมเชื้อส่งผลให้มีเชื้ออาศัยที่รากพืชสูงกว่าการไม่เติมเชื้อและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นมีผลลดการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในราก ความยาวของราก พื้นที่ของรากและน้ำหนักแห้งของราก เชื้อราไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดใช้เหล็ก สังกะสี และทองแดงของพืชเมื่อระดับฟอสฟอรัสในดินต่ำถึงปานกลาง เชื้อราอาบัสคูล่าจะแสดงบทบาทต่อการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชได้ดีเมื่อพืชเจริญในสภาวะที่มีธาตุอาหารชนิดนั้นๆในปริมาณต่ำ อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบบทบาทของเชื้อต่อการเพิ่มระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน เนื่องมาจากดินที่ใช้ในการทดลองนั้นมีธาตุอาหารอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง การศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณธาตุอาหารในพืชอาจช่วยทำให้เข้าใจบทบาทของเชื้อราชนิดนี้ต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารได้ดียิ่งขึ้น

4.2.7 น้ำหนักของพืชหลังการทดลอง

การเจริญเติบโตของพืชภายใต้ทรีทเมนต์ต่างๆประเมินโดยการวัดน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินหลังการทดลอง (ตารางที่ 4.9) การเติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินส่งผลให้สับปะรดมีน้ำหนัดสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าพืชซึ่งไม่มีการเติมเชื้อรา เชื้อราส่งเสริมให้ส่วนเหนือดินของสับปะรดมีน้ำหนักสดและแห้งสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัฯทางสถิติ ส่วนการเจริญเติบโตของรากนั้น เชื้อราส่งผลให้รากมีน้ำหนักสดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัฯทางสถิติแต่ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของราก ซึ่งเชื้อราเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมการเจริญของพืชทั้งกลไกโดยตรงและโดยอ้อม เชื้อราไมคอร์ไรซาส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช (Yang et al. 2016) และยังเพิ่มการผลิตแอนติออกซิแดนซ์เอนไซม์ในพืช (Jiang et al. 2016) ส่งผลให้พืชทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เส้นใยของเชื้อรายังส่งเสริมให้เกิดเม็ดดิน ซึ่งช่วยทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น และมีผลต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่างๆในดินอีกด้วย (Borie et al. 2008)

ตารางที่ 4.9 น้ำหนักของพืชส่วนเหนือดินและรากหลังการทดลอง

Treatments	Shoot		Root	
	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Pa+Br	693.24±35.15b	97.98±3.24b	44.87±6.89b	11.74±2.11
Pa+Br+My	847.95±111.08a	120.16 ±16.47a	51.58±15.35a	15.81±4.77

4.2.8 ปริมาณสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินและการเข้าอยู่อาศัยในรากพืช

การตรวจนับปริมาณสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปริมาณสปอร์ของเชื้ออาบัสคูล่าไมคอร์ไรซามีในพบปริมาณสูงที่สุดในทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อราลงในดินเช่นเดียวกับปริมาณการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากพืชซึ่งพบสูงที่สุดในทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อราเช่นกันในดินมีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ตามธรรมชาติและไม่มีการฆ่าเชื้อดินก่อนการทดลอง จึงพบสปอรีและการเข้าอยู่อาศัยของไมคอร์ไรซาในทรีทเมนต์ที่ไม่มีการเติมเชื้อรา อย่างไรก็ตามปริมาณการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราสูงขึ้น 10 เท่า และปริมาณสปอร์ในดินสูงขึ้น 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมเชื้อรา การเติมเชื้อราในดินเป็นการเพิ่มประชากรเชื้อราในดินให้สูงมากขึ้น ทั้งนี้การเติมเชื้อราในดินยังช่วยเพิ่มการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชของเชื้อราอีกด้วย สารกำจัดวัชพืช เช่น fenhexamid, folpel และ deltamethrin มีผลในการลดปริมาณและความหลากหลายของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา (Rivera-Becerril et al. 2017)

สารกำจัดศัตรูพืช azadirachtin มีผลลดการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชของเชื้อรา *Glomus etunicatum*. และสารกำจัดเชื้อรา carbendazim มีผลในการยับยั้งการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชของเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา (Ipsilantis et al. 2012)

ตารางที่ 4.10 จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูล่าไมคอร์ไรซาในดิน และการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากสับปะรด

Treatments	Spore number (spore/200 g soil)	Colonization in root (%)
Pa+Br	33.00±1.29b	1.83±0.12b
Pa+Br+My	65.63±2.29a	22.24±2.77a

4.2.9 ปริมาณโบรมาซิลในดินและในส่วนเหนือดินของสับปะรด

การวัดปริมาณโบรมาซิลในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณโบรมาซิลในดินลดลงจาก 11.54 มก./กก. (ในทรีทเมนต์ควบคุม) เป็น 2.08 มก./กก. ในทรีทเมนต์ที่มีการปลูกพืช (Pa+Br) และลดลงเป็น 2.68 มก./กก. ในทรีทเมนต์ที่มีการปลูกพืชร่วมกับการเติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซา (Pa+Br+My) การวิเคราะห์ปริมาณโบรมาซิลในส่วนเหนือดินของสับปะรดพบว่าพืชที่มีการเจริญร่วมกับเชื้อไมคอร์ไรซามีปริมาณโบรมาซิลสะสมอยู่ในส่วนเหนือดินสูงกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราไมคอร์ไรซาเจริญร่วมด้วย การศึกษาในดินที่ปนเปื้อนทองแดงพบว่าเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดซับของทองแดงไว้ที่รากและลดการเคลื่อนย้ายของทองแดงสู่ส่วนเหนือดินของพืช (Ambrosini et al. 2015) แต่การศึกษาของ Jiang และคณะ (2016) กลับพบว่าเชื้อไมคอร์ไรซามีบทบาทต่อการเคลื่อนที่ของแคดเมียมสู่พืชต่างกัน โดยเชื้อรา *Rhizophagus intraradices* ลดการสะสมของแคดเมียมในส่วนเหนือดินแต่เพิ่มการสะสมแคดเมียมในรากของ *Lonicera japonica* แต่เชื้อรา *Glomus versiforme* ลดการสะสมของแคดเมียมทั้งในรากและส่วนเหนือดินของพืช (Jiang et al. 2016) การที่เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาลดการสะสมของโบรมาซิลในส่วนเหนือดินของพืช จะเป็นการช่วยลดการปนเปื้อนของโบรมาซิลสู่ผลผลิตที่เป็นอาหารของมนุษย์ได้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณของโบรมาซิลในดินและในส่วนเหนือดินของสับปะรด

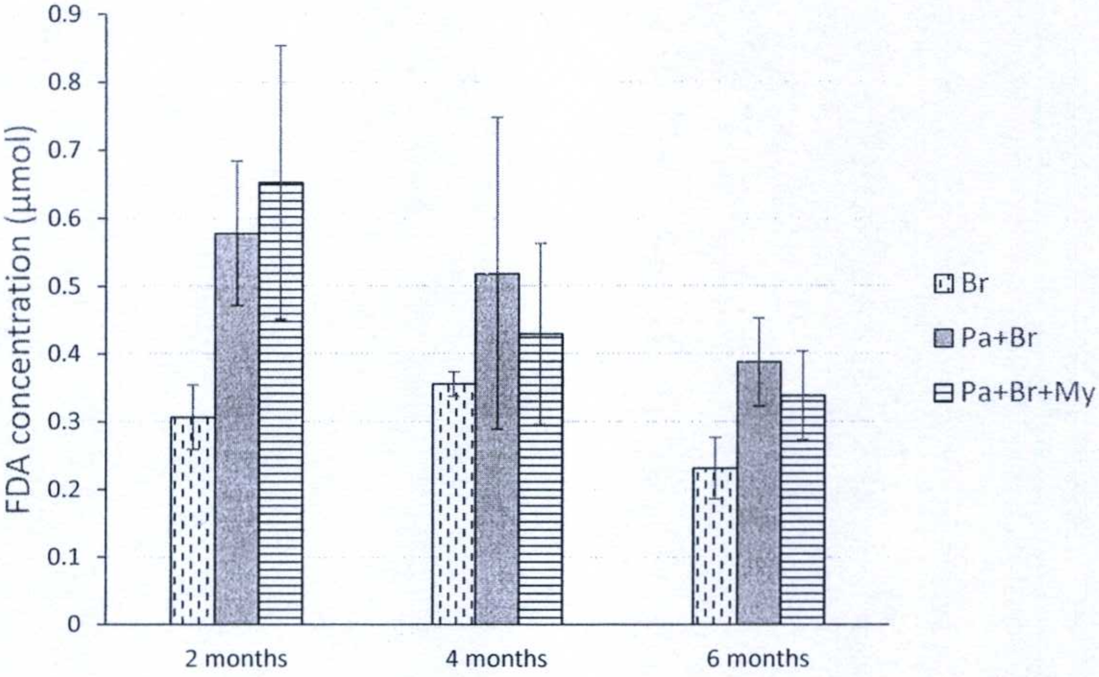
Treatments	Bromacil in soil (mg/kg)	Bromacil in plant (mg/kg)
Br	11.54a	-
Pa+Br	2.08b	5.23a
Pa+Br+My	2.68b	4.78a

4.2.10 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (ภาพที่ 4.1) พบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์ในเดือนที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในทรีทเมนต์ที่มีการปลูกสับปะรด (Pa+Br) มีกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสูงกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่มีการปลูกพืช (Br) แม้ว่าดินนั้นจะมีการปนเปื้อนของโบรมาซิล อย่างไรก็ตามทรีทเมนต์ที่มีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงที่สุดคือทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อราไมคอร์ไรซา รากพืชมีการปลดปล่อยสารหลายชนิดออกมาทางราก (root exudate) ซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์บริเวณราก ส่วนการเติมเชื้อไมคอร์ไรซาลงไปนั้นเป็นการช่วยส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ใน

ดิน อย่างไรก็ตามในเดือนที่ 4 และ 6 ของการทดลองพบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินแม้ว่าในทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อราไมคอร์ไรซา (Pa+Br+My) มีกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่ำกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่มีการเติมเชื้อราไมคอร์ไรซา (Pa+Br) แต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างกัน

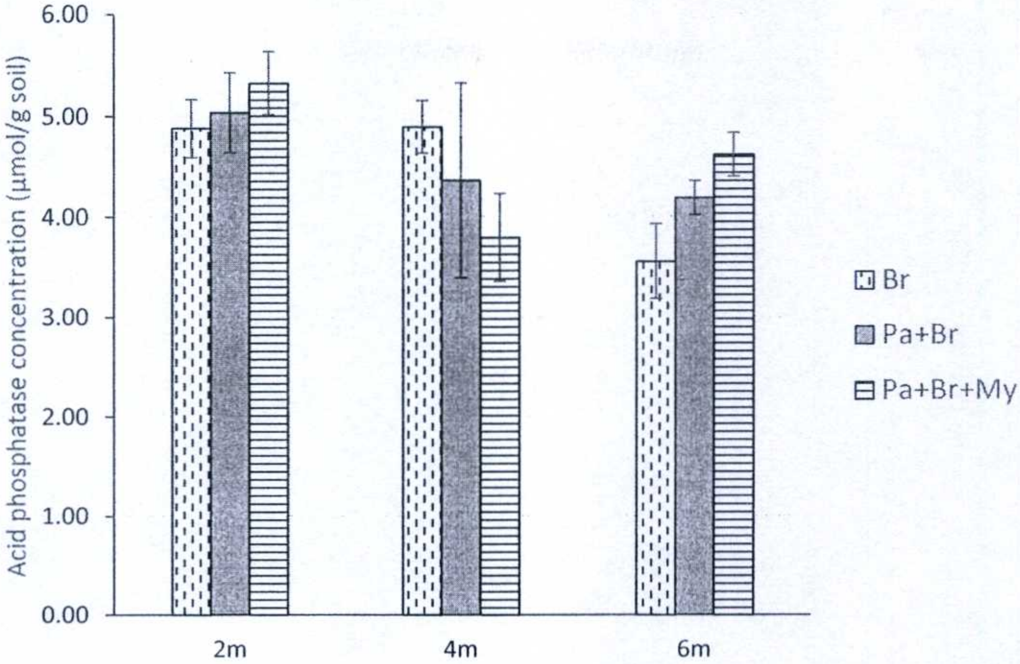
กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการทดลองนานขึ้น อาจเนื่องมาจากการลดลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดินซึ่งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ รวมถึงการลดปริมาณลงของธาตุอาหารอื่นๆในดินซึ่งจำเป็นต่อการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน



ภาพที่ 4.1 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจากการวิเคราะห์ FDA

กิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) ในดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองและระหว่างทรีทเมนต์ เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดิน เอนไซม์ชนิดนี้เป็นเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นได้โดยจุลินทรีย์หลายชนิด และเป็นเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ส่งออกมาภายนอกเซลล์เพื่อทำการยอ่ยสลายสารอินทรีย์

กิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรดในดิน (ภาพที่ 4.2) ในทรีทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาพบมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อระยะเวลายาวนานขึ้น แต่ในทรีทเมนต์ที่ไม่มีการเติมเชื้อราไมคอร์ไรซากลับพบปริมาณของเอนไซม์ชนิดนี้มีแนวโน้มลดลง เอนไซม์ฟอสฟาเตสเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน เอนไซม์นี้ถูกสร้างได้โดยแบคทีเรีย เชื้อรา และรากพืช ซึ่งการผลิตเอนไซม์ชนิดนี้จะสัมพันธ์กับความต้องการฟอสฟอรัสของพืชและจุลินทรีย์ ซึ่งเชื้อไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อซึ่งช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์นี้ในดิน พืชที่มีเชื้อไมคอร์ไรซาเจริญร่วมที่รากจึงสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้มากขึ้น (Margalef et al., 2017)



ภาพที่ 4.2 กิจกรรมเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรด (Acid phosphatase) ในดิน

สารกำจัดศัตรูพืชมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในดินแตกต่างกันไป Omar และ Abdel-Sater (2001) ศึกษาบทบาทของสารกำจัดวัชพืชโบรมินอล (Brominal) และสารกำจัดแมลงซีลีครอน (Selecron) ต่อปริมาณของจุลินทรีย์และเอนไซม์ในดิน พบว่าสารกำจัดศัตรูพืชความเข้มข้นต่ำช่วยเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน แต่ที่ความเข้มข้นสูงมีผลลดปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน สารกำจัดศัตรูพืช 2 ชนิดนี้ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส การใช้ที่อัตราแนะนำช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรด แต่การใช้ที่ความเข้มข้นสูงมีผลลดกิจกรรมของเอนไซม์ Baćmaga และคณะ (2015) ศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดเชื้อราอะซ็อกซีสโตรบิน (Azoxystrobin) ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในดินพบว่า อะซ็อกซีสโตรบินยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส คาตาเลส ยูรีเอส ฟอสฟาเตสกรด และฟอสฟาเตสด่าง Kucharski (2008) ศึกษาผลของสารกำจัดวัชพืชไตรฟูโรท็อก 250 EC พบว่าที่ความเข้มข้น 1.5-12 ลูกบาศก์มม./กก. มีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโรจีเนส ยูรีเอส ฟอสฟาเตสกรด และฟอสฟาเตสด่าง Yao และคณะ (2006) รายงานว่าสารกำจัดแมลงอะเซตามิฟริด (acetamipiryd) ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสและคะตะเลส แต่มีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตส Baćmaga และคณะ (2012) ศึกษาผลของสารกำจัดวัชพืชคาร์เฟนทราโซน-เอทิล (carfentrazone-ethyl) พบว่ามีผลลดกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสในวันที่ 30 และลดกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส ยูรีเอส และฟอสฟาเตสในวันที่ 90 ของการทดลอง โบรมาซิลที่อัตราแนะนำมีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส ส่วนพืชและเชื้อราอาบัสคูลาไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสในดิน แต่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรด และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาทางการค้าของกรมวิชาการเกษตรสามารถเจริญและเข้าอยู่อาศัยในรากของสับปะรดได้ การใส่เชื้อราบริเวณก้นหลุมปลูกส่งผลให้เชื้อราเข้าอยู่อาศัยในรากสับปะรดได้ดีกว่าการใส่บริเวณรอบทรงพุ่ม เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาสามารถเจริญและเข้าอยู่อาศัยในรากของสับปะรดที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนโบรมาซิลได้ เชื้อราไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมการเจริญของสับปะรดทั้งส่วนเหนือดินและส่วนราก การใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาร่วมกับการปลูกสับปะรดช่วยลดความเค็มของดิน มีแนวโน้มช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน แต่ไม่พบบทบาทในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินเนื่องมาจากการทดลองดำเนินการในดินที่มีระดับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ระดับปานกลางถึงสูง ระดับธาตุอาหารที่สูงนี้อาจยับยั้งกิจกรรมของเชื้อราได้ การศึกษาเพิ่มเติมถึงระดับธาตุอาหารต่างๆในเนื้อเยื่อของพืชนั้นอาจทำให้เข้าใจบทบาทของเชื้อราต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่อพืชในดินที่มีระดับธาตุอาหารปานกลางถึงสูงได้ดียิ่งขึ้น ดินที่ใช้ในการปลูกสับปะรดมีเชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ตามธรรมชาติ การเติมเชื้อราช่วยเพิ่มปริมาณสปอร์ของเชื้อราในดินได้ 2 เท่า และเพิ่มการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชได้ 20 เท่า เชื้อราไมคอร์ไรซานี้มีช่วยลดการเคลื่อนย้ายของโบรมาซิลไปสู่ส่วนเหนือดินของพืช ซึ่งเป็นการลดโอกาสการปนเปื้อนของโบรมาซิลไปสู่ผลผลิต โบรมาซิลมีบทบาทยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส แต่ไม่มีผลต่อเอนไซม์ฟอสฟาเตสกรดและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซานี้สามารถใช้ร่วมในระบบการปลูกสับปะรดได้และยังช่วยลดโอกาศปนเปื้อนของโบรมาซิลสู่ผลผลิตได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชเพิ่มเติม และนำข้อมูลที่ได้มาประกอบกับผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน อาจทำให้เห็นความแตกต่างของธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ได้จากการมีเชื้ออาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาเจริญร่วมอยู่ที่รากได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรมีการวัดปริมาตรของราก หรือพื้นที่ของรากเพิ่มเติม เนื่องจากน้ำหนักแห้งของรากอาจจะแตกต่างกันน้อยมาก จึงไม่สามารถเห็นความแตกต่างจากการเติมเชื้อราได้

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

1.1 งานประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการวิจัยแบบปากเปล่า ในชื่อเรื่อง Possible use of pineapple symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi in romacil remediation ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ชื่อ International Conferences in Phytotechnology ซึ่งจัดขึ้นที่เมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา ในระหว่างวันที่ 25-29 กันยายน 2560

1.2 บทความวิชาการระดับนานาชาติ

งานวิจัยนี้ได้เขียนเป็นบทความวิชาการ เรื่อง Possible use of pineapple symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi in bromacil remediation ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นตอนการพิจารณาของวารสาร International Journal of Phytoremediation

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2554. การปลูกสับปะรด. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: www.doa.go.th วันที่สืบค้น : 30/06/59

กิสณะ ต้นเจริญ. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร: สับปะรด. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพฯ 29 น.

คมสัน นครศรี, จรัญญา ปิ่นสุภา, ทิพย์ดรุณี สิทธินาม . 2552. การศึกษาประสิทธิภาพสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดใหม่ในพืชเศรษฐกิจ (ถั่วเหลืองฝักสด). ในรายงานผลการวิจัยและพัฒนาด้านพืชและเทคโนโลยีการเกษตร การทดลองสิ้นสุดปีงบประมาณ 2552, กรมวิชาการเกษตร.

จักรพงษ์ ไชยวงศ์, ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร, จีราภรณ์ อินทสาร. 2555. การศึกษาผลของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาและพีจีพีอาร์ (PGPR) ต่อการดึงดูดธาตุ อาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของลำไย. รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 46 น.

จารุพันธ์ ทองแถม.2526. สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 158 น.

ธงชัย มาลา, รวีวรรณ ลีลสัตยกุล, สมาน ศิริภัทร, ปราณี ฮัมมเอร์ลิ้งค์, กวิศร์ วานิชกุล, รณภพ บรรเจิดเชิดชู, สุดฤดี ประเทืองวงศ์, นิพนธ์ วิสารทานนท์, อภิพรรณ พุกภักดี, พัฒนา สุขประเสริฐ. 2542. เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพวีเอไมคอร์ไรซา และการตลาดสับปะรด: เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฉบับที่ 4. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกาตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 93 น.

พนิดา ไชยยันต์บูรณ์, จินตนา ภู่มงกุฎชัย, เนาวรัตน์ เอื้ออัจจิมากุล. 2550. วิจัยปริมาณสารมีพิษตกค้างของอะบาเม็กติน (abamectin) ในพริกเพื่อกำหนดค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง [MRLs] ครั้งที่ 3 และ 4. ในรายงานผลการวิจัยและพัฒนาด้านพืชและเทคโนโลยีการเกษตร การทดลองสิ้นสุดปีงบประมาณ 2550, กรมวิชาการเกษตร 524 น.

พนิดา ไชยยันต์บูรณ์, จินตนา ภู่มงกุฎชัย, บุญทวีศักดิ์ บุญทวี. 2553.วิจัยปริมาณสารมีพิษตกค้างของคาร์โบซัลแฟน (carbosulfan) ในมะเขือยาวเพื่อ กำหนดค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (MRLs) ครั้งที่ 1-2. ฐานข้อมูลงานวิจัย. ในรายงานผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2558, กรมวิชาการเกษตร 384 น.

ศิริศักดิ์ บุตรกระจ่าง .2552 การประเมินการตกค้างของสารกำจัดวัชพืชก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวสับปะรด. รายงานผลการวิจัย, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สันติ ช่างเจรจา, รุ่งนภา ช่างเจรจา. 2557 ผลของความเข้มข้นของโคลชิซีนต่อการเจริญเติบโต ของต้นกล้าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย.วารสารแก่นเกษตร 42 (ฉบับพิเศษ 3) : 8-11.

สุนันทา ชมภูนิช, ณัญจณา ลือตระกูล, ณัชชาทันต์ บุรินทร์รัตนโชติ. 2549 . ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มสารกำจัดโรคพืช Cymoxanil รายงานเรื่องเต็มผลการทดลองที่สิ้นสุดในปงบประมาณปี 2549, กรมวิชาการเกษตร 8 น.

สุนันทา ชมภูนิช, ถาวร ท้วมเจริญ, มนัสนันท์ อรชุน, วีระชัย องอาจ, ณัญจณา ลือตระกูล .2549 .ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์วัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มสารกำจัดวัชพืช Acetochlor.รายงานเรื่องเต็มผลการทดลองที่สิ้นสุดในปงบประมาณปี 2549, กรมวิชาการเกษตร 11 น.

สุนันทา ชมพูนุช, พงศ์ศรี ใบอดุลย์, มลิสา เวชยานนท์, บังอร ธารพล, ธวัชชัย หงษ์ตระกูล. 2549. การพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช alachlor, bromacil, fenoxaprop-P-ethyl, oxyfluorfen และ pretilachlor ในน้ำ โดยวิธี Gas Chromatography. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร 10 น.

สุนันทา ชมพูนุช, พงศ์ศรี ใบอดุลย์, มลิสา เวชยานนท์, บังอร ธารพล, ธวัชชัย หงษ์ตระกูล. 2550 .การพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืช alachlor, bromacil, fenoxaprop-P-ethyl , oxyfluorfen และ pretilachlor ในน้ำโดยวิธี Gas Chromatography. ฐานข้อมูลงานวิจัย / กรมวิชาการเกษตร. ใน รายงานผลการวิจัยและพัฒนาด้านพืชและเทคโนโลยีการเกษตร การทดลองสิ้นสุดปีงบประมาณ 2550, กรมวิชาการเกษตร 524 น.

Adrian, N.R. and J.M. Suflita. 1990. Reductive dehalogenation of a nitrogen heterocyclic herbicide in anoxic aquifer slurries. Appl. Environ. Microbiol. 56(1): 292-294.

Alloush, G.A., Zeto, S.K., Clark, R.B. 2000. Phosphorus source, organic matter, and arbuscular mycorrhiza effects on growth and mineral acquisition of chickpea grown in acidic soil. Journal of Plant Nutrition 23:9,1351-1369, DOI: 10.1080/01904160009382105

Ambrosini VG, Voges JG, Canton L, Couto RdaR, Ferreira PAA, Comin JJ, de Melo GWB, Brunetto G, Soares CRFS. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on young vines in copper-contaminated soil. Braz J Microbiol. 46(4): 1045-1052.

Baćmaga, M., Boros, E., Kucharski, J., Wyszkowska, J.2012. Enzymatic activity in soil contaminated with the Aurora 40 WG herbicide. Environment Protection Engineering 38(1): 91-102.

Baćmaga, M., Kucharski, J., Wyszkowska, J. 2015. Microbial and enzymatic activity of soil contaminated with azoxystrobin. Environmental Monitoring and Assessment 187: 615. DOI 10.1007/s10661-015-4827-5.

Borie F, Rubio R, Morales A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. J Soil Sc Plant Nutr. 8 (2): 9-18.

Chaudhry, G.R., and L. Cortez. 1988. Degradation of Bromacil by a *Pseudomonas* sp. Appl. Environ. Microbiol. 54(9): 2203-2207.

Eissenstat, D.M., Graham, J.H., Syvertsen, J.P., Drouillard, D.L. 1993. Carbon economy of sour orange in relation to mycorrhizal colonization and phosphorus status. Ann. Bot. 71:1-10.

Entry, J.A., Rygiewicz, P.T., Watrud, L.S., Donnelly, P.K. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of *Arbuscular mycorrhizas*. Adv. Environ. Res. 7(1): 123-

138.

Environmental Protection Agency (EPA). 1996. Registration eligibility decision: Bromacil (EPA 738-R-96-013). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Huang, H., Zhang, S., Shan, X.Q., Chen, B.D., Zhu, Y.G., Bell, N.B. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus caledonium*) on the accumulation and metabolism od atrazine in maize (*Zea mays* L.) and atrazine dissipation in soil. Environ. Poll. 146(2): 452-457.

Huang, H., Zhang, S., Wu, N., Luo, L., Christie, P. 2009. Influence of Glomus etunicatum/Zea mays mycorrhiza on atrazine degradation, soil phosphatase and dehydrogenase activities, and soil microbial community structure. Soil Biol. Biochem. 41: 726-734.

Ipsilantis I, Samourelis C, Karpouzas DG. 2012. The impact of biological pesticides on arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Biol Biochem. 45: 147-155.

Jiang QY, Zhuo F, Long SH, Zhao HD, Yang DJ, Ye ZH, Li SS, Jing YX. 2016. Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils. Sci Rep. 6: 21805.

Johnson, C.R. 1984. Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization photosynthesis growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. Plant and Soil 80: 35-42.

Kucharski, J., Wyszkowska, J. 2008. Biological properties of soil contaminated with the herbicide Apyros 75 WG. Journal of Elementology 13(3): 357-371.

Kumar, A., Suri, V. K., Choudhary, A.K., Yadav, A., Kapoor, R., Sandal, S., Dass, A. 2015. Growth behavior, nutrient harvest index, and soil fertility in okra-pea cropping system as influenced by AM fungi, applied phosphorus, and irrigation regimes in Himalayan Acidic Alfisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis 46 (17): 2212-2233. DOI: 10.1080/00103624.2015.1069323

Margalef, O., Sardans, J., Fernández-Martínez, M., Molowny-Horas, R., Janssens, I. A., Ciais, P., Goll, D., Richter, A., Obersteiner, M., Asensio, D., Peñuelas, J. 2017. Global patterns of phosphatase activity in natural soils. Scientific Reports 7: Article number: 1337. Doi: 10.1038/s41598-017-01418-8.

Marx, D.H, Barnett, J.P. 1974. Mycorrhizae and containerized forest tree seedling. Proc. of the North American. Containerized Forest Tree Improvement Symposium, August 1974, Denver, Colorado, Great Plain Agriculture Council Pubi. 86: 85-92.

Menge, J.A. 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. Can. J. Bot. 61: 1015-1024.

Mikola, P. 1973. Application of mycorrizal symbiosis in forest practice, Ectomycorrhizae. Academic Press Inc., New York and London. p. 383-415.

Mohammad, M.J.,Malkawi, H.I. 2004. Root, shoot and nutrient acquisition responses of mycorrhizal and nonmycorrhizal wheat to phosphorus application to highly calcareous soils. Asian Journal of Plant Sciences 3: 363-369.DOI: 10.3923/ajps.2004.363.369

Nemec, S., Tucker, D. 1983. Effects of herbicide on endomycorrhizal fungi in Florida Citrus (Citrus spp.) soils. Weed Sci 31: 427-431.

Rivera-Becerril F, van Tuinen D, Chatagnier O, Nadine-Rouard N, Martin-Laurent F. 2017. Impact of a *pesticide* cocktail (fenhexamid, folpel, deltamethrin) on the abundance of Glomeromycota in two agricultural soils. Sci Total Environ. 577: 84-93.

Son, C.L, Smith, S.E. 1988. Mycorrhizal growth responses: interactions between photon irradiance and phosphorus nutrition. New Phytol. 108: 305-314.

Washington State Department of Transportation. 2006. Bromacil: Roadside vegetation management herbicide fact sheet. Washington State Department of Transportation, Washington D.C.

Yang Y, Liang Y, Han X, Chiu TY, Ghosh A, Chen H, Tang M. 2016. The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil. Sci Rep. 6: 20469.

Yao, X., Min, H., Lii, Z., Yuan, H. 2006. Influence of acetamipirid on soil enzymatic activities and respiration. European Journal of Soil Biology 42: 120-126

Yu, X.Z., Wu, S.C., Wu, F.Y., Wong, M.H. 2011. Enhanced dissipation of PAHs from soil using mycorrhizal ryegrass and PAH-degrading bacteria. J. Hazard. Mat. 186(2-3): 1206-1217.

ภาคผนวก ก
ผลผลิตจากงานวิจัย

1. บทคัดย่อผลงานวิจัย เรื่อง Possible use of pineapple symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi in romacil remediation ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ชื่อ International Conferences in Phytotechnology ซึ่งจัดขึ้นที่เมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา ในระหว่างวันที่ 25-29 กันยายน 2560

2. แบบร่างบทความวิจัย เรื่อง Possible use of pineapple symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi in bromacil remediation ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นตอนการพิจารณาของวารสาร International Journal of Phytoremediation

POSSIBLE USE OF PINEAPPLE SYMBIOSIS WITH ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN BROMACIL REMEDIATION

P. Teamkao

Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

e-mail: pattrarat.te@kmitl.ac.th

Bromacil is a widely use herbicide in pineapple and citrus planting areas. The highly use result in high accumulation in soil that post risk to surrounding environments. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is symbiotic soil microorganism. The host plant and symbiotic AMF benefits each other in various ways. This study focus on the possible used of pineapple with AMF symbiosis in remediation of bromacil in contaminated soil. Besides, the change of some soil chemical properties were observed. Plantlets of pineapple were grown in soil contaminated with bromacil with or without AMF inoculation for 6 month under greenhouse condition. After the experiment, spore of AMF was found in all treatments, however, the highest spore quantity was found under inoculation treatment. Besides AMF colonization under inoculation treatment was 22.24% that higher than un-inoculation treatment that was 1.83 %. Bromacil in soil was reduced from 11.54 mg/kg (in control soil) to 2.08 and 2.68 mg/kg under un-inoculation and inoculation treatments, respectively. The bromacil in plant inoculated with AMF (4.78 mg/kg) was lower than the plant in un-inoculation treatment (5.23 mg/kg). Reduction of bromacil concentration in soil and plant reduce the risk of contamination to surrounding environments and food chains. Plant inoculated with AMF had higher shoot fresh weight (847.95±111.08 g) and dry weight (120.16 ±16.47 g) than un-inoculated treatment (693.24±35.15 g and 97.98±3.24 g for fresh and dry weight, respectively). Root fresh and dry weight including length of the root of un-inoculated and inoculated plants were not different. Plant nutrients (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn) in soil under un-inoculation and inoculation treatments were not different, however, under inoculation treatment trended to increased soil pH to neutral and reduced soil salinity. According to the experimenting data, pineapple symbiosis with AMF has ability in bromacil remediation.

Keywords: Bromacil, Bioremediation, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Pineapple

Possible use of pineapple symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi in bromacil remediation

Pattrarat Teamkao* and Butsaraphon Chaipan

Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

* Corresponding author E-mail: pattrarat.te@kmitl.ac.th

Abstract

Bromacil is a widely use herbicide in pineapple and citrus planting areas. The highly use result in high accumulation in soil that post risk to surrounding environments. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is symbiotic soil microorganism that benefits plant in various ways. This study focus on the possible used of pineapple with AMF symbiosis in remediation of bromacil in contaminated soil. Plantlets of pineapple were grown in soil contaminated with bromacil with or without AMF inoculation for 6 month under greenhouse condition. After the experiment, plant inoculated with AMF had higher shoot biomass than un-inoculated treatment but root biomass were not different. Nutrients in soil under un-inoculation and inoculation treatments were not different, however, under inoculation treatment trended to increased soil pH to neutral and reduced soil salinity. The highest AMF spore quantity and colonization were found under inoculation treatment. Bromacil in soil was reduced from 11.54 mg/kg to 2.08 and 2.68 mg/kg under un-inoculation and inoculation treatments, respectively. The bromacil in plant inoculated with AMF (4.78 mg/kg) was lower than the plant in un-inoculation treatment (5.23 mg/kg). Reduction of bromacil concentration in soil and plant reduce the risk of contamination to surrounding environments and food chains.

Keywords

Bromacil, Arbuscular mycorrhizal fungi, Pineapple

Introduction

Pineapple is important economic crop of Thailand. Pineapple has slow growth and short root system, result in high competition with weeds in the early stage of growth. The competition with weeds lead to delay crop development and reduce plant yield and quality. The recommendation is to keep the field free of weeds in the first 6 months after planting (Maia et al. 2012). Herbicide is an alternative choice in weed control in large fields and rainy periods. Bromacil is a commonly used herbicide for weeds control in pineapple and citrus crop (Serex et al. 2014). Bromacil has a half-life of 124-155 days in soil (US EPA 1996) result in high accumulation of this chemical. The use of current application rate (2.25 kg/ha) found bromacil residual at the deep of 3 meter about 18 months after previous application, and the bromacil residual found in topsoil over 9 months after application. The lower application rate (1.8 kg/ha) reduced bromacil accumulation in soil (Alavi et al. 2008).

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is symbiosis fungi living in root of plants. The widely known functions of AMF is to increase phosphate uptake in plant. Other nutrients that also increase after AMF colonization are nitrogen, zinc, calcium, and copper (Sarkar et al. 2015). Moreover, AMF helps plant to tolerance to drought, salt stress, and diseases (Albrechtová and Vosatká 2009; Abbott and Lumley 2014). The higher contaminant solubility and reduce contaminant accumulation in shoot of plant after AMF inoculation has been report (Huang et al. 2007; Yu et al. 2011). The aim of this research were investigated the possible use of AMF in bromacil remediation and the role of AMF in available nutrients in soil.

Materials and method

Experiment design

The experiment design was randomized complete block design (RCBD) in 3 treatments with 4 replicates. Soil+bromacil (SB), soil+bromacil+pineapple (SBP), and soil+bromacil +pineapple +AMF (SBPM). Pineapple plantlets, Smooth Cayenne Varity, were provided from local market in Thailand. The bromacil use in this study was commercial with the rate of use at 0.125 g/pot with 20 kg of soil/pot. AMF in this study was commercial AMF from Department of Land Development, Thailand, comprised of *Glomus* sp. and *Acaulospora* sp. with 25 active spore/g, and applied rate was 3 g/pot. The experiment was run for 6 months under greenhouse condition. The plant after treatments were measured in fresh weight, dry weight, bromacil concentration and AMF colonization in root. The soil after experiments were measured in some chemical properties, bromacil concentration, and AMF spore abundance.

Soil chemical properties

The soil before and after experiments were measured in chemical properties as follow: pH using pH meter at soil:water = 1:1; soil electrical conductivity using conductivity probe at soil:water = 1:5; organic matter using lost on ignition method; available phosphorus using Bray II extraction and measured by spectrophotometer with 882 nm; potassium, calcium, magnesium, and sodium using ammonium acetate extraction and measured by atomic absorption spectrophotometer (AAS); iron, copper, zinc, and manganese using diethylene triamine pentaacetic acid and measured by AAS. Chemical properties of soil before experiment showed in Table 1.

AMF colonization

The colonization of AMF in plant roots were measured according to Phillip and Hayman (1970) and Trouvelot (1986) briefly: 30 roots of each plant were washed with distill water and then warm in 90 °C of 10% KOH for 30 min. Then the roots were transferred to warm in 1%

HCl for 30 min, and then, trypan blue for 30 min at 90 °C. Each root was cut to 1 cm length and observed of colonization (hypha, vesicle and arbuscule structures) under light microscope.

AMF spore abundance

Spores of AMF were separated from soil with wet sieve method (Gerdeman and Nicolsan 1963) followed by sucrose centrifugation (Daniels and Skipper 1982), briefly: 1,000 mL of distill water was added to 200 g of soil and stirred for 5 min. After that, the soil solution was passed through sieve set, 40, 60, 150, and 230 mesh, respectively. Spores on 40 mesh sieve were counted under light microscope. Spores on 60, 150, and 230 mesh sieve size were transferred to centrifuge tube and 40% sucrose was added. The samples were centrifuged at 4,000 rpm for 5 min and removed in supernatant after centrifugation. Spores in the bottom of centrifugation tube were washed with distill water, then, the spores were counted under microscope.

Bromacil in plant and soil

The bromacil in plant and soil were measured with LC-MS-MS with QuEChERS method (European standard 2008).

Statistical analysis

Data were analyzed by Minitab program Version 16.0. The significance of treatments was set at a P-value of less than or equal to 0.05.

Results and discussion

Plant biomass

The observation of plant biomass after 6 months of the experiment found plant inoculated with AMF had higher shoot fresh weight (847.95±111.08 g) and dry weight (120.16 ±16.47 g) than un-inoculated treatment (693.24±35.15 g and 97.98±3.24 g for fresh and dry weight, respectively) (Table 2). The AMF benefits plant in various ways, by direct and indirect mechanisms. AMF increase plant growth under stress conditions by increasing of nutrient uptake (Yang et al. 2016) and increasing of antioxidant enzymes (Jiang et al. 2016). Moreover, AMF increase soil aggregation that maintain soil physical properties that encourage nutrients cycling (Borie et al. 2008).

Soil chemical properties

Available nutrients in soil before and after experiment showed in Table 3. The soil before experiment had strongly acid, no salinity, appropriated level of organic matter, extractable potassium, and extractable calcium, and high level of available phosphorus, extractable magnesium, sodium, iron, manganese, zine, and copper for plant. After the experiment, soil pH was slightly increased from strongly acid to neutral under AMF inoculated treatments. Electrical conductivity (EC), available phosphorus, magnesium, iron, manganese, zinc, and copper in soil were reduced after the experiments, especially under AMF inoculated treatment, however, organic matter, extractable potassium, calcium, and sodium were not difference. The lower of nutrients in soil under plantation treatments caused from the uptake of nutrients by the plant and AMF. AMF increase mineral weathering, nutrient release and nutrient uptake by plant (Burghelea et al. 2015). Higher phosphorus, manganese and iron in plant under mycorrhizal inoculation treatments were reported (Almaca and Coskan 2017; Yang et al. 2016).

AMF abundance and colonization

Number of AMF spore in soil and AMF colonization in root of pineapple were investigated at the end of experiment. The highest spore abundance was found under inoculation treatment with 65.63 spore/200 g soil (Table 4). The colonization of AMF in root of pineapple was in the same trend with spore abundance. The colonization under inoculation treatment was 22.24%, while under un-inoculation treatment was 1.83%. Some of pesticides had inhibition effect on AMF. The use of fenhexamid, folpel, deltamethrin pesticide reduced AMF abundance and effected community composition of AMF (Rivera-Becerril et al. 2017). Bio-pesticide, azadirachtin, inhibited colonization of *Glomus etunicatum*. Besides, carbendazim, the fungicide, completely hinder AMF colonization (Ipsilantis et al. 2012). However, the inhibition of bromacil on AMF has not been reported.

Bromacil concentration in soil and plant

The pineapple cultivation reduced bromacil concentration in soil. Bromacil in soil was reduced from 11.54 mg/kg (in control soil) to 2.08 and 2.68 mg/kg under un-inoculation and inoculation treatments, respectively (Table 5). The bromacil concentrations in shoot of plant growing with AMF inoculation was 4.78 mg/kg, which was lower than concentration in the plant growing without AMF inoculation (5.23 mg/kg). The study in soil contaminated with copper found AMF increased copper absorption to vines root, but decreased copper transport to shoots of plant (Ambrosini et al. 2015). The same as *Rhizophagus intraradices* reduced Cd concentration in shoot but increased Cd in root of *Lonicera japonica* plant, however, *Glomus versiforme*, reduced Cd accumulation in both root and shoot of plant (Jiang et al. 2016). Reduction of bromacil concentration in soil and shoot of plant reduce the risk of contamination to surrounding environments and food chains.

Conclusion

AMF could grew and colonized within pineapple root under soil contaminated with bromacil condition. The inoculation increased plant growth and might increase stress tolerance.

AMF did not affect the reduction of bromacil concentration in soil, but helping in reduction of bromacil translocation into shoot of plant, which reduced the risk of bromacil contamination into food chain.

Acknowledgements

This work was supported by Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang under grant number: 2559-01-04-020.

References

Abbott LK, Lumley S. 2014. Assessing economic benefits of arbuscular mycorrhizal fungi as a potential indicator of soil health. In: Solaiman ZM, Abbott LK, Varma A, editors. Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration, Soil Biology 41. Springer Berlin Heidelberg. p. 17-31.

Albrechtová J, Vosatká M. 2009. Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable crop production. In: Khan M, Zaidi A, Musarrat J, editors. Microbial Strategies for Crop Improvement. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 205-225.

Almaca A, Coskan A. 2017. Effects of mycorrhiza, gypsum and phosphorus applications on wheat plant growth and nutrient uptake. Scientific Papers. Series A. Agronomy 60:19-24.

Ambrosini VG, Voges JG, Canton L, Couto RdaR, Ferreira PAA, Comin JJ, de Melo GWB, Brunetto G, Soares CRFS. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on young vines in copper-contaminated soil. Braz J Microbiol. 46(4): 1045-1052.

Avali G, Sanda M, Loo B, Green RE, Ray C. 2008. Movement of bromacil in a Hawaii soil under pineapple cultivation - a field study. Chemosphere 72(1): 45-52.

Borie F, Rubio R, Morales A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. J Soil Sc Plant Nutr. 8 (2): 9-18.

Burghelea C, Zaharescu DG, Dontsova K, Maier R, Huxman T, Chorover J. 2015. Mineral nutrient mobilization by plants from rock: influence of rock type and arbuscular mycorrhiza. Biogeochemistry 124(1-3): 187-203.

Daniels BA, Skipper HD. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: Schenck NC, editor. Method and Principles of Mycorrhizal Research. Amer. U.S.A: Phytopath Soc. St, Paul, Minnesota. p. 29-35.

European standard 2008. Foods of plant origin - Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE - QuEChERS-method EN 15662:2008. British Standards Institution, UK. 81 p.

Gerdeman JW, Nicolson TH. 1963. Spores of mycoorrhizal endogone extractable from soil by wet sieving and decanting. Trans Br Mycol Soc. 46: 235-244.

Huang H, Zhang S, Shan XQ, Chen BD, Zhu YG, Bell NB. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus caledonium*) on the accumulation and metabolism of atrazine in maize (*Zea mays* L.) and atrazine dissipation in soil. Environ Poll. 146(2): 452-457.

Ipsilantis I, Samourelis C, Karpouzas DG. 2012. The impact of biological pesticides on arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Biol Biochem. 45: 147-155.

Jiang QY, Zhuo F, Long SH, Zhao HD, Yang DJ, Ye ZH, Li SS, Jing YX. 2016. Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils. Sci Rep. 6: 21805.

Maia LCB, Maia VM, Lima MHM, Aspiazu I, Pegoraro RF. 2012. Growth, production and quality of pineapple in response to herbicide use. Rev Bras Frutic. 34(3): 799-805.

Phillip TA, Hayman OS. 1970. Improve procedures for cleaning roots and staining parasitic and vasicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans Brit Mycol Soc. 53: 158-161.

Rivera-Becerril F, van Tuinen D, Chatagnier O, Nadine-Rouard N, Martin-Laurent F. 2017. Impact of a *pesticide* cocktail (fenhexamid, folpel, deltamethrin) on the abundance of Glomeromycota in two agricultural soils. Sci Total Environ. 577: 84-93.

Sarkar A, Asaeda T, Wang Q, Rashid MdH. 2015. *Arbuscular* mycorrhizal influences on growth, nutrient *uptake*, and use efficiency of *Miscanthus sacchariflorus* growing on nutrient-deficient river bank soil. Flora 212: 46-54.

Serex TL, Battalora M, Brugger KE, Huang FX, Barefoot AC. 2014. Bromacil and Its Lithium Salt. In: Wexler P, editor. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). Oxford, Academic Press. p. 546-548.

Trovelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V. 1986. Mesure du taux de mycorhization VA d un Systeme rediculair. Recherche de methods d estimation ayantune singnification fonctionnelle. In: Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S, editors. Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae. INRA Press, Paris. p. 217-221.

Yang Y, Liang Y, Han X, Chiu TY, Ghosh A, Chen H, Tang M. 2016. The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil. Sci Rep. 6: 20469.

Yu XZ, Wu SC, Wu FY, Wong MH. 2011. Enhanced dissipation of PAHs from soil using mycorrhizal ryegrass and PAH-degrading bacteria. J Hazard Mat. 186(2-3): 1206-1217.

Table 1. Soil chemical properties before experiment.

pH (1:1)	EC (1:5) (mS/cm)	OM (%)	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
			(mg/kg)								
5.5	2.00	1.70	60.79	90.16	1320	787.50	1650	205	32.26	4.01	3.56

Table 2. Shoot and root biomass of pineapple after 6 months of experiment.

Treatment	Shoot		Root	
	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
SBP	693.24±35.15 b	97.98±3.24 b	44.87±6.89 b	11.74±2.11 a
SBPM	847.95±111.08 a	120.16 ±16.47 a	51.58±15.35 a	15.81±4.77 a

Table 3. Soil chemical properties after 6 months of experiment.

Soil propertie	Treatment		
	SB	SBP	SBPM
pH (1:1)	5.5±0.02 b	5.76±0.12 ab	5.89±0.17 a
EC (1:5) (mS/cm)	0.99±0.13 a	0.75±0.04 b	0.75±0.05 b
OM (%)	1.70±0.11 a	1.65±0.15 a	1.73±0.15 a
P (mg/kg)	55.62±13.39 a	44.10±10.28 ab	31.72±4.96 b
K (mg/kg)	127.5±23.11 a	70.83±7.16 a	110.67±36.60 a
Ca (mg/kg)	1090.83±88.40 a	950.42±83.22 a	977.50±151.15 a
Mg (mg/kg)	560±71.27 a	465±59.01 a	446.67±46.58 a
Na (mg/kg)	1599±207.57 a	1548.33±298.0 a	1271.83±174.42 a
Fe (mg/kg)	205.47±29.68 a	196.87±22.0 a	151.33±18.41 b
Mn (mg/kg)	27.8±3.31 a	22.53±2.01 b	21.05±0.58 b
Zn (mg/kg)	3.2±0.59 a	2.5±0.37 b	2.22±0.34 b
Cu (mg/kg)	3.41±0.31 a	3.08±0.15 b	3.07±0.12 b

Table 4. AMF spore abundance in soil and colonization in root.

Treatment	Spore number (spore/200 g soil)	Colonization in root (%)
SBP	33.00±1.29 b	1.83±0.12 b
SBPM	65.63±2.29 a	22.24±2.77 a

Table 5. Bromacil concentrations in plant and soil.

Treatment	Bromacil in soil (mg/kg)	Bromacil in plant (mg/kg)
SB	11.54 a	-
SBP	2.08 b	5.23 a
SBPM	2.68 b	4.78 a

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมี

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1)

1.1 ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ในกระป๋องพลาสติก ขนาด 100 มล.

1.2 เติมน้ำกลั่น 10 มล. คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว

1.3 ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที (ก่อนวัด pH ต้องปรับ pH meter ด้วย Buffer solution pH 4, 7) แล้ววัดตัวอย่างโดย วัด pH ในส่วนที่เป็นสารละลายใสด้านบน ด้วย pH meter

2. ความสามารถในการนำไฟฟ้าของดิน (อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5)

2.1 ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 100 มล.

2.2 เติมน้ำกลั่น 50 มล. ใช้แท่งแก้วคนดินกับน้ำให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

2.3 นำไปวัด EC ด้วยเครื่อง Electrical Conductivity meter

3. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

<u>น้ำยาสกัด Bray II</u>

- เตรียม Ammonium fluoride 1 *N* (NH_4F) : โดยละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 13.34 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตร 400 มล. เก็บไว้ในขวด polyethylene
- เตรียม Hydrochoric acid 0.5 *N* (HCl) : โดยใช้ HCl เข้มข้น 37% 101.26 มล. ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 500 มล.
- Extracting solution Bray II : นำ 1 *N* (NH_4F) จากขั้นตอนแรกมา ผสมกับ 0.5 *N* (HCl) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 12 ลิตร

<u>น้ำยา develop สี molybdate</u>

Reagent A

- ชั่ง Ammonium molybdate [$(NH_4)_6$ MoO_7] มา 12 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น 500 มล.(1)
- ชั่ง potassium antimony tartrate (KSbO . $C_4H_4O_6$)ปริมาณ 0.2908 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มล. (2)
- เตรียม 5 *N* H_2SO_4 โดยใช้ H_2SO_4 เข้มข้น ดูดมา 139 มล. ทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร (3)
- นำน้ำยา Ammonium molybdate และ potassium antimony tartrate ผสมลงใน 5 *N* H_2SO_4 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 2 ลิตร สารละลายที่ได้จะใสไม่มีสี ต้องเก็บไว้ในขวดสีชา (1+2+3)

Reagent B

- ชั่ง ascorbic acid มา 1.056 กรัม แล้วละลายด้วย Reagent A ปริมาตร 250 มล.

<u>สารละลายมาตรฐาน</u>

- เตรียม Standard phosphorus solution โดยเตรียมจาก Standard phosphorus solution 5 mg/L โดยดูดสารละลาย 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 มล.
- เติมน้ำกลั่นประมาณ 15 มล. แล้วเติมน้ำยา develop สี ลงไป 5 มล. ปรับปริมาตรเป็น 25 มล.
- จะได้ Standard phosphorus solution เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 mg/L

<u>**วิธีทำการวิเคราะห์**</u>

<u>วิธีสกัดดิน</u>

1. ชั่งดินมา 2.5 กรัม ใส่ลงไปใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มล.
2. เติมสารละลาย Bray II ปริมาณ 25 มล. และเขย่าด้วยมือทันที่เป็นเวลา 40 วินาที

3. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ในกระป๋องพลาสติกขนาด 100 มล.

<u>วิธีทำให้เกิดสี</u>

1. ดูดสารละลายใส (Aliquot) มา 1-10 มล. (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลาย)
2. เติมน้ำกลั่น 5 มล.
3. เติม ascorbic acid หรือ Reagen B 4 มล.
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มล. เขย่าแล้วทิ้งไว้ 30 นาที จะได้สารละลายสีน้ำเงิน
5. นำสารละลายสีน้ำเงินไปวัดค่าความเข้มข้นของสี ด้วยเครื่อง Spectrophotometer อ่านค่า % transmittance ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร
6. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง standard P และ % transmittance

<u>วิธีการคำนวณ</u>

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (P)} = \frac{\text{ppm in curve} \times \text{final volume(ml)}}{\text{Aliquot (ml)}} \times \frac{\text{ml. of extractant (ml)}}{\text{Soil weight (g)}}$$

เมื่อ ppm in curve = ค่าที่อ่านได้การสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง standard P และ % transmittance

final volume (ml) = ปริมาตรทั้งหมด (ml)

ml. of extractant (ml) = ปริมาตรน้ำยาสกัด (ml)

Aliquot(ml) = ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (ml)

Soil weight (g) = น้ำหนักดิน

4. การวิเคราะห์เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสีในดิน

<u>สารเคมี</u>

1. น้ำยาสกัด Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) : ประกอบด้วย 0.005 M DTPA, 0.1 M triethanolamine (TEA) และ 0.01 M $CaCl_2$

1.1 เตรียมโดยละลาย DTPA 2.334 กรัม TEA 29.84 กรัม และ $CaCl_2 . 2H_2O$ 2.94 กรัม ในน้ำกลั่น

1.2 ผสมสารทั้ง 3 ชนิดละลายในบีกเกอร์ ขนาด 1000 มล. เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 800 มล. ปรับ pH ให้เท่ากับ 7.3 แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตรด้วยน้ำกลั่นใน Volumetric flask ขนาด 2000 ml.

2. สารละลายมาตรฐาน

2.1 สารละลายมาตรฐาน Fe : Stock standard เข้มข้น 25 มก./ล.

2.2 Working standard เข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 มก./ล.

2.3 สารละลายมาตรฐาน Zn : Stock standard เข้มข้น 25 มก./ล.

2.4 Working standard เข้มข้น 0, 0.2,0.4,0.6, 0.8, และ 1.0 มก./ล.

2.5 สารละลายมาตรฐาน Cu : Stock standard เข้มข้น 25 มก./ล.

2.6 Working standard เข้มข้น 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, และ 2 มก./ล.

2.7 สารละลายมาตรฐาน Mn : Stock standard เข้มข้น 25 มก./ล.

2.8 Working standard เข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4, และ 5 มก./ล.

<u>วิธีการ</u>

1. ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มล.
2. เติมน้ำยาสกัด DTPA 20 มล. ปิด flask ให้สนิทด้วยพาราฟิล์ม

3. เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (120 รอบ/นาที) นาน 120 นาที

4. กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1

5. วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

การคำนวณ

Extractable M*(mg/kg)

$$= \frac{\text{(ppm in curve (sample)-blank) x final volumn of extractant (ml)}}{\text{Soil weight (g)}} \times \text{df}$$

เมื่อ df = dilution facter

M* = ธาตุทองแดง เหล็ก สังกะสี แมงกานีส

5. การวิเคราะห์แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

สารเคมี

1. แอมโมเนียมอะซิเตรต (NH_4OAc) เข้มข้น1 N pH 7.0 ; เตรียมโดยละลาย NH_4OAc 154.16 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 ลิตร ผสมให้เข้ากันดี แล้วปรับ pH ของสารละลายด้วย NH_4OH หรือ Glacialacetic acid ให้ได้ pH เท่ากับ 7.0 จึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 2 ลิตร

2. โซเดียมคลอร์ไรด์ (NaCl)เข้มข้น 10% ; เตรียมโดยละลาย NaCl 200 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มล.

3. Ethyl Alcohol 95%

4. โซเดียมไฮดรอกไซน์ 40% (NaOH 40%) ; เตรียมโดยละลาย NaOH 400 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. Boric acid indicater 2% ; เตรียมโดย

5.1 Mix indicater ; เตรียมโดยละลาย bromocresol green 0.033 กรัม และ methyl red 0.016 กรัม ด้วย Alcohol 95% ปริมาตร 50 มล.

5.2 Boric acid ; เตรียมโดยละลาย boric acid ในน้ำร้อนปริมาตร 600 มล.

5.3 นำ mix indicater ปริมาตร 40 มล.ผสมกับ boric acid และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 2 ลิตร

6. สารละลายมาตราฐาน Sulfuric acid ความเข้มข้น 0.05 N ; เตรียมโดย ตวงสารละลายมาตราฐาน Sulfuric acid ปริมาตร 100 มล. และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 2 ลิตร

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 2 กรัม ใส่ในหลอด Centifuge ขนาด 75 มล.

2. เติม 1 M NH_4 OAc pH 7.0 ปริมาตร 30 มล.ใส่ในหลอด Centifuge เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 120 รอบต่อนาที นาน 16 ชั่วโมง

3. นำหลอด Centifuge นำเข้าเครื่อง Centifuge 2500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที รินส่วนใสผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่กระป๋องพลาสติก

4. เติม1 M NH_4OAc pH 7.0 ปริมาตร 30 มล. ใส่ในหลอด Centifuge เขย่าด้วย Vertex 10 นาที นำเข้าเครื่อง Centifuge 2500 รอบต่อนาที นาน 10 นาทีรินส่วนใสผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่กระป๋องพลาสติก (1)

5. ทำข้อ 5 อีก ครั้ง ปริมาตรสารละลายในกระป๋องสุดท้าย(1) เท่ากับ 90 มล. (สามารถนำไปวิเคราะห์ K, Na, Mg, Ca)

6. เติม Alcohol 95% ปริมาตร 30 มล. ใส่ในหลอด Centifuge เขย่าด้วยเครื่อง Vertex 1นาที นำเข้าเครื่อง Centifuge 2500 รอบต่อนาที นาน 10 นาทีรินส่วนใส่ทิ้ง

7. ทำข้อ 6 อีก 2 ครั้ง

8. เติม NaCl 10% ปริมาตร 30 มล. ใส่ในหลอด Centifuge เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 120 รอบต่อนาที นาน 16 ชั่วโมง

9. นำหลอด Centifuge นำเข้าเครื่อง Centifuge 2500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที รินส่วนใส่ผ่านกระดาษหรองเบอร์ 1 ใส่กระป๋องพลาสติก(2)

10. เติม NaCl 10% ปริมาตร 30 มล. ใส่ในหลอด Centifuge เขย่าด้วยเครื่อง Vertex 1 นาที นำเข้าเครื่อง Centifuge 2500 รอบต่อนาที นาน 10 นาทีรินส่วนใส่ผ่านกระดาษหรองเบอร์ 1 ใส่กระป๋องพลาสติก(2)

11. ทำข้อ 10 อีก 1 ครั้ง ปริมาตรสารละลายในกระป๋อง(2) เท่ากับ 90 มล.นำไปวิเคราะห์ หา CEC

<u>การกลั่น</u>

1. นำสารละลายจากกระป๋องพลาสติก(2) มา 20 มล. ใส่ใน Digestion tube
2. ตวง boric acid 2% ใส่ใน Erlenmeyer flask
3. นำ Erlenmeyer flask วางใต้ก้าน Condencer จุ่งลงใน boric acid 2%
4. นำ Digestion tube ใว้ในชุดกลั่น เติม NaOH 40% ประมาณ 10 ml
5. กดปุ่มเริ่ม ระยะเวลาในการกลั่นประมาณ 3 นาที แล้วกดปุ่ม stop
6. นำ Digestion tube ออกไปล้าง และนำ Erlenmeyer flask ไปไตรเทรต

<u>การไตรเทรต</u>

1. นำ Erlenmeyer flask ออกมาเมื่อกลั่นเสร็จ
2. ไทรเทรต ด้วย สารละลายมาตราฐาน Sulfuric acid ความเข้มข้น 0.05 N จากสีของสารละลายที่ได้จะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว และจดค่าที่ไตรเทรตได้เพื่อนำมาคำนวณ

<u>วิธีคำนวณ</u>

Extractable M*(mg/kg)

$$= \frac{\text{(ppm in curve (sample)-blank) x final volumn of extractant (ml)}}{\text{Soil weight (g)}} \times \text{df}$$

เมื่อ df = dilution facter

7. วิเคราะห์ปริมาณของสารโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดิน

โดยใช้ LC – MS – MS โดยนำตัวอย่างดินส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกลางแห่งประเทศไทย

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

บันทึกรายการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ 2559-01-04-020 ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2559 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2560

แหล่งทุน : เงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ชื่อโครงการ : ความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

ชื่อหัวหน้าโครงการ : นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย			
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน		
							ค่าจ้างชั่วคราว	ค่าตอบแทน	ค่าใช้สอย	ค่าวัสดุ
	งบประมาณที่ได้รับการอนุมัติ (ตามแผน)		225430.00							
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 1 = 85%)		191590.00			304.72				
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 2 = 15%)		33,810.00			251.21				
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 3)									
	หัก ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 1)			112081.30			45,000.00	-	13,377.00	53,704.30
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 2)			119577.03			-	-	54,490.00	65,087.03
	งบประมาณคงเหลือ		225400.00		-	**555.93**				
	รายละเอียดค่าใช้จ่าย									
ครั้งที่ 1										
29 ม.ค. 59	ค่าจ้างเหมาเก็บตัวอย่างดิน	A01							2,000.00	
31 ม.ค. 59	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	S01					10,000.00			
16 ก.พ. 59	วัสดุห้องปฏิบัติการ	PVS5902-0201								13,803.00
	วัสดุห้องปฏิบัติการ	5999742								4,954.10
28 ก.พ. 59	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	S02					10,000.00			
10 มี.ค. 59	วัสดุห้องปฏิบัติการ	5999676								17,890.40

บันทึกรายการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ 2559-01-04-020 ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2559 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2560

แหล่งทุน : เงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ชื่อโครงการ : ความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

ชื่อหัวหน้าโครงการ : นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย			
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน		
	วัสดุห้องปฏิบัติการ	599938	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				8,217.60
	วัสดุห้องปฏิบัติการ	599909	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				2,525.20
14 มี.ค. 59	ค่าจ้างเหมาเก็บตัวอย่างดิน	A02	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]			2,710.00	
30 มี.ค. 59	วัสดุห้องปฏิบัติการ	บิลเงินสด	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				674.00
31 มี.ค. 59	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	S03	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	10,000.00			
5 เม.ย. 59	วัสดุห้องปฏิบัติการ	บิลเงินสด	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				290.00
	วัสดุห้องปฏิบัติการ	599954	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				5,350.00
30 เม.ย. 59	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	S03	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	10,000.00			
27 พ.ค. 59	ค่าจ้างวิเคราะห์ตัวอย่าง	BK-5905-0663	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]			8,667.00	
31 พ.ค. 59	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	S04	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	5,000.00			
	รวมครั้งที่ 1		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	45,000.00	-	13,377.00	53,704.30

ครั้งที่ 2			[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				
3 ส.ค. 59	ค่าจ้างวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	S05	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]			25,600.00	
4 ส.ค. 59	สารเคมีห้องปฏิบัติการ	5910367	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				20,843.60
26 ก.ย. 59	วัสดุห้องปฏิบัติการ	PVS5909-0564	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				6,711.04
27 ก.ย. 59	สารเคมีห้องปฏิบัติการ	5910605	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				13,278.70
4 ส.ค. 59	สารเคมีห้องปฏิบัติการ	64838	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				8,538.60
6 ส.ค. 59	สารเคมีห้องปฏิบัติการ	IV16-120368	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				7,369.09

บันทึกรายการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ 2559-01-04-020 ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2559 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2560

แหล่งทุน : เงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ชื่อโครงการ : ความเป็นไปได้ของการใช้เชื้อราอาบัสคูล่าไมคอร์ไรซาในการบำบัดโบรมาซิลที่ปนเปื้อนในดินปลูกสับปะรด

ชื่อหัวหน้าโครงการ : นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย			
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน		
8 ส.ค. 59	สารเคมีห้องปฏิบัติการ	IV16-100926	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]				8,346.00
3 ม.ค. 60	ค่าจ้างวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช	BK-6001-0003	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]			28,890.00	
	รวมครั้งที่ 2		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	-	-	54,490.00	65,087.03

ลงชื่อหัวหน้าโครงการ ....(signature).......... วันที่ 30 เม.ย. 2561

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางสาวภัทรารัตน์ เทียมเก่า

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ประจำคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร	มหาวิทยาละยเกษตรศาสตร์	2550
ปร.ด.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2555

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) การบำบัดสารมลพิษโดยชีววิธี

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2550-2555	โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
2557	งบประมาณเงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภายใต้โครงการวิจัยพี่เลี้ยง	คณะเทคโนโลยีการเกษตร
2558	งบประมาณเงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558	คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

Teamkao, P. and Thiravetyan, P. 2017. Comparison of bioremediation and phytoremediation in treatment of diethylene glycol from stationery industry. Desalination and Water Treatment 60: 114-121.

Maneesuwannarat, S., **Teamkao, P.**, Vangnai, A.S., Yamashita, M., Thiravetyan, P. 2016. Possible mechanism of gallium bioleaching fromgallium nitride (GAN) by *Arthrobacter creatinolyticus*: Role of aminoacids/peptides/proteins bindings with gallium. Process Safety and Environmental Protection 103: 36-45.

Teamkao, P. and Thiravetyan, P. 2015. Phytoremediation of mono-, di-, and triethylene Glycol by *Echinodorus cordifolius* L. Griseb. International Journal of Phytoremediation 17, 93-100.

Thongtha, S., **Teamkao, P.**, Boonapatcharoen, N., Tripetchkul, S., Techkarnjararuk, S., and Thiravetyan, P. 2014. Phosphorus removal from domestic wastewater by *Nelumbo nucifera* Gaertn. and *Cyperus alternifolius* L. Journal of Environmental Management 137, 54-60.

Teamkao, P. and Thiravetyan, P. 2010. Phytoremediation of ethylene glycol and its derivatives by the burhead plant (*Echinodorus cordifolius* L.). Chemosphere 81, 1069-1074.

การเสนอผลงานวิชาการ

Teamkao, P. Possible use of pineapple symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi in bromacil remediation. 14th International Phytotechnology Conference. September 25th - 29th, 2017, Montreal, Canada.

Teamkao, P. and Ruangsomboon, S. Screening of glyphosate resistance bacteria from agricultural soils with different plantations. The 27th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference. November 17th -20th, 2015, Bangkok, Thailand

Teamkao, P., Roenganan, N., and Pongpoun, S. Screening of Ametryn Resistant Bacteria from Sugarcane Cultivation Soils. 2nd International Symposium on Agricultural Technology. July 1st -3rd, 2015, Pattaya, Thailand.

Teamkao, P. and Thiravetyan, P., "Phytodegradation of Ethylene Glycol by Burhead Plant (*Echinodorus cordifolius* L. Griseb).", The RGJ Ph.D. Congress 13th, April 6th-8th, 2012, Jomtien Balm Beach Resort, Thailand.

Teamkao, P. and Thiravetyan, P., "Bioremediation of triethylene glycol by *Echinodorus cordifolius* L. and soil microorganisms", 3rd ICGRC: International Conference on Global Resource Conservation, July 7th, 2012,University of Brawijaya, Indonesia (with best presenter award).

Teamkao, P. and Thiravetyan, P.,"Bioremediation of MEG, DEG, and TEG: Potential of burhead plant and soil microorganisms", ICEBESE 2012: International Conference on Environmental, Biological and Ecological Science, and Engineering, October 15th-16th, 2012, Ibis Styles Luzern City, Switzerland.