บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 สตรอเบอร์รี่

สตรอเบอร์รี่เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก มีลักษณะการเจริญโดยการแตกกอ มีดอกสีขาว และผลขนาดเล็กสีแดง ผิวเป็นมัน มีเมล็ดติดอยู่ที่ผิวด้านนอกของผล เมื่อผลสุกจะมีกลิ่นหอม เนื่องจากสตรอเบอร์รี่มีแหล่งต้นกำเนิดมาจากเขตอบอุ่นจึงทำให้มีความต้องการอากาศเย็นในช่วงของการเจริญเติบโตและช่วงการติดดอกออกผล สำหรับประเทศไทยมีการนำสตรอเบอร์รี่เข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกที่จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2477 โดยชาวอังกฤษที่เข้ามาทำงานด้านป่าไม้ และได้มีการพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ในการผลิตสตรอเบอร์รี่ในฤดูปลูกหลักเพื่อเอาผลผลิตส่งตลาดและโรงงานนั้น เกษตรกรจะเริ่มปลูกตั้งแต่เดือนกันยายน ถึงกลางเดือนตุลาคม แต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะร่นเวลาปลูกให้เร็วยิ่งขึ้นเป็นปลายเดือนกรกฎาคม หรือ ต้นสิงหาคมในพื้นที่สูงที่มีระบบน้ำและสภาพอากาศเหมาะสม เพื่อจะได้ผลผลิตส่งตลาดก่อนเกษตรกรรายอื่นๆ ซึ่งจะได้ราคาสูง ซึ่งสำหรับการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเริ่มประมาณ 2 เดือนหลักการปลูก คือ เดือนธันวาคมสำหรับฤดูปลูกปกติ แต่สำหรับผู้ที่ปลูกเร็วจะสามารถเก็บผลผลิตได้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน สตรอเบอร์รี่จะให้ผลผลิตไปเรื่อยๆ จนถึงเดือนเมษายนในปีถัดไป แต่ถ้าหากสภาพภูมิอากาศยังมีความเหมาะสมก็อาจสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตไปได้จนถึงเดือนพฤษภาคม

สตรอเบอร์รี่เป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วงของการพัฒนาตาดอกและการติดผล ทำให้พื้นที่ปลูกหลักจะอยู่ในภาคเหนือตอนบน เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และมีการปลูกบ้างเล็กน้อยในบางส่วนของพื้นที่สูงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น เพชรบูรณ์ เลย และอุบลราชธานี การปลูกโดยทั่วไปจะใช้ไหลจากต้นแม่เพื่อเป็นส่วนขยายพันธุ์ โดยเกษตรกรจะต้องนำต้นแม่พันธุ์ไปปลูกเพื่อการผลิตไหลบนที่สูง ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 เมตร ขึ้นไป ในช่วงปลายเดือนเมษายน ดึง กันยายน และนำต้นไหลมาปลูกบนที่ราบ (ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลต่ำกว่า 1,000 เมตร) เพื่อให้สตรอเบอร์รี่สามารถติดดอกออกผลได้ (ประสาทพร และ ดนัย, 2547)

สัณฐานวิทยาของสตรอเบอร์รี่

ต้นสตรอเบอร์รี่ประกอบด้วยราก ยอด ใบ ช่อดอก และผล ซึ่งสามารถที่จะผันแปรเปลี่ยนแปลงได้อย่างมากและอาจจะมากกว่าพืชอื่นๆ อีกหลายชนิด สตรอเบอร์รี่มีลำต้นยาวประมาณ 2.5 ซม. และส่วนนอก จะถูกปกคลุมโดยการซ้อนกันของหูใบ ไหล (Runner) จะถูกผลิตในฤดูร้อนจากตาที่อยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โคนใบใหม่ ต่อจากนั้นไหลและต้นไหลก็จะเจริญเติบโตตามมา สังคม (2532) อธิบายว่า ไหลของสตรอเบอร์รี่เป็นส่วนของลำต้นพิเศษซึ่งแตกออกมาจากตาของลำต้น อาจนับได้ว่าไหลเป็นลำต้นที่แท้จริงที่มีเนื้อเยื่อเฉพาะในการทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ ตามข้อของไหลแต่ละช่วงจะเกิดมีต้นสตรอเบอร์รี่ต้นลูกที่สามารถแตกรากได้ และสามารถรับส่งน้ำและแร่ธาตุระหว่างต้นแม่ต้นลูกได้ แต่การส่งธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสจะเกิดในทิศทางจากต้นแม่ไปยังต้นลูกมากกว่าจะเกิดในทิศทางตรงข้าม

รากของสตรอเบอร์รี่จะแตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ ต้นที่สมบูรณ์โดยปกติมีรากประมาณ 20-30 ราก แต่อาจมีราก primary root ได้ถึง 100 ราก และมีรากแขนงเล็กๆ เป็นจำนวนนับพันรากซึ่งถือว่าเป็นต้นที่มีระบบรากดี รากแขนงเล็กๆ สีขาวเหล่านี้ทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุโดยตรง (ณรงค์ชัย , 2543) หลังจากต้นสตรอเบอร์รี่มีช่อดอก เก็บผล ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน จนถึงสิ้นเดือนพฤษภาคมในพื้นที่สูง หรือประมาณกลางเดือนเมษายนในพื้นที่ราบ อุณหภูมิและช่วงแสงของวัน มีสภาพร้อนและช่วงแสงยาวขึ้น นับว่าเป็นสภาพที่ทำให้ต้นสตรอเบอร์รี่เริ่มการพัฒนาเป็นส่วนไหลแทนที่จะพัฒนาเป็นสาขาของลำต้นและตาดอก ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ช่วงวันยาวขึ้น ตลอดจนการเริ่มต้นของฤดูฝนในเดือนมิถุนายน ต้นสตรอเบอร์รี่จึงผลิตแต่ไหล จากไหลส่วนปลายจะเจริญเป็นต้นสตรอเบอร์รี และเพิ่มจำนวนเส้นไหล ต้นไหลเพิ่มมากขึ้นเมื่อสภาพอากาศเหมาะสม และจะหยุดสร้างไหลเมื่ออุณหภูมิต่ำลง และช่วงวันสั้นลงอย่างชัดเจน (ชูพงษ์ , 2530) การเกิดรากของไหลมีอยู่ 3 ระยะคือ

1. primary root จำนวนหนึ่งแทงลงไปในดิน ซึ่งการเริ่มแทงและจำนวนรากของ primary root ในสัปดาห์แรกจะไม่ขึ้นกับความชื้นในดิน แต่ถ้าความชื้นสูงขึ้นรากจะมีความยาวมากขึ้น หลังจากแทงรากลงไปในดินได้ 3 สัปดาห์ อัตราการสร้างรากใหม่จะลดลง แต่ก็มีการสร้างรากใหม่ตลอดฤดูการเจริญเติบโต

2. หลังจากที่ต้นไหลแทงรากและยึดกับดินได้ 2 สัปดาห์ primary root ของไหลจะมีการแตกแขนง การแตกแขนงจะเกิดขึ้นในสัปดาห์นี้สัปดาห์เดียวเท่านั้น ในระยะการแตกแขนงนี้ ความชื้นของดินมีอิทธิพลเป็นอย่างมาก รากของไหลสตรอเบอร์รี่จะไม่แตกแขนงเลยเมื่อความชื้นของดินต่ำกว่าระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร และการแตกแขนงจะเกิดขึ้นได้น้อยเมื่อดินมีความชื้นสูงกว่าความชื้นที่เป็นประโยชน์ 50% ซึ่งดินที่มีความชื้นสูงจะถ่ายเทอากาศได้ไม่ดี

3. หลังจากรากของไหลแตกแขนงแล้ว ต้นไหลก็สามารถหาอาหารได้ด้วยรากหาอาหารของตนเอง

โดยส่วนใหญ่ การสร้างไหลของสตรอเบอร์รี่จะถูกควบคุมด้วยสภาพความยาวของวันด้วยกระบวนการเดียวกับการชักนำตาดอก แต่เกิดขึ้นในลักษณะตรงกันข้าม การสร้างไหลของสตรอเบอร์รี่จะเกิดขึ้นเมื่อความยาวของวันมากกว่า 12 ถึง 14 ชั่วโมงแสงขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ช่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความยาวนานของแสงจะมีความสำคัญมาก ส่วนความเข้มของแสงไม่เป็นสิ่งจำเป็นมากนัก แต่ถ้าแสงมีความเข้มต่ำมากนักก็อาจจะต้องเสริมด้วยแสงจากหลอดไฟฟ้าด้วย นอกจากสภาพวันสั้นและอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการสร้างไหลแล้ว สารยับยั้งการเจริญเติบก็มีผลเช่นเดียวกัน ต้นไหลที่ผลิตขึ้นมาได้นี้ ก่อนจะนำไปปลูกในแปลงปลูกจะต้องชักนำให้เกิดการสร้างตาดอกก่อน การชักนำอาจใช้สภาพวันสั้น อุณหภูมิต่ำตามธรรมชาติในการผลิตไหล หรืออาจใช้การนำต้นไหลจากแปลงผลิตไปเก็บไว้ในกล่องหรือภาชนะที่ปรุด้วย polyethyle บางๆ แล้วนำไปเก็บไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ –2.2 ถึง –2 °C (27-28 °F) จนกว่าจะนำไปปลูก (สังคม , 2532)

การปลูกสตรอเบอร์รี่ ในประเทศไทย (ณรงค์ชัย, 2543)

การปลูกสตรอเบอร์รี่ของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมา เนื่องมาจากการขยายตัวของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยเฉพาะในด้านการนำมาแปรรูป พื้นที่การผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ในท้องที่จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย เพราะมีอากาศเย็นที่สตรอเบอร์รี่สามารถให้ผลผลิตได้ในเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม รวมพื้นที่การผลิตทั้งประเทศประมาณ 2,600 – 3,000 ไร่ต่อปี

เชียงใหม่ สามารถแบ่งพื้นที่ปลูกออกตามอำเภอต่างๆ ได้ดังนี้คือ ฝาง แม่ริม สะเมิง จอมทอง (บนดอยอินทนนท์) และพื้นที่รอบๆ ตัวเมือง ผลผลิตส่วนใหญ่ของพื้นที่ปลูกในอำเภอแม่ริม ดอยอินทนนท์ และพื้นที่รอบๆ เมืองเชียงใหม่ทำการจำหน่ายเป็นผลรับประทานสดแก่นักท่องเที่ยว และขนส่งเข้าตลาดที่กรุงเทพมหานครเป็นหลัก ส่วนผลผลิตที่อำเภอสะเมิงและฝางจะส่งจำหน่ายให้แก่โรงงานใกล้เคียงเพื่อทำการแปรรูป ปัจจุบันในปี 2539-2541 พื้นที่ปลูกในอำเภอสะเมิงมีประมาณ 2,000 – 2,500 ไร่ ขณะที่อำเภอฝางมีประมาณ 200 ไร่

เชียงราย พื้นที่หลักในการผลิตสตรอเบอร์รี่อยู่ที่อำเภอแม่สาย และอาจมีกระจายบ้างอยู่ทั่วไปบริเวณใกล้เคียง ผลผลิตส่วนใหญ่ 60% ส่งเข้ากรุงเทพมหานครเพื่อจำหน่ายเป็นผลรับประทานสด นอกนั้นทำการส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูปประมาณ 20% และเกษตรกรจำหน่ายเองให้แก่นักท่องเที่ยวอีก 20% เนื่องจากมีโรคระบาดและต้นตายมากหลังปลูกจึงทำให้พื้นที่ปลูกจากในปี พ.ศ. 2535 ประมาณ 800 ไร่ ลดลงเหลือ 350 ไร่ในพ.ศ. 2537 และลดลงเหลือ 250 ไร่ในพ.ศ. 2540 นอกจากนี้เกษตรบางรายได้ขายที่ดินหรือเปลี่ยนไปใช้ในวัตถุประสงค์อื่นจึงทำให้พื้นที่ปลูกลดลงด้วย ปัจจุบันเกษตรกรในอำเภอแม่สายสามารถผลิตสตรอเบอร์รี่ได้เพียง 60% ของความต้องการตลาดเท่านั้น

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่นอำเภอ เขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ทางตะวันตกเช่นเทือกเขาในอำเภอทองผาภูมิและสังขละ จังหวัดกาจนบุรี ก็มีการปลูกสตรอเบอร์รี่ ซึ่งคาดว่าอาจเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญต่อไปในอนาคตสำหรับการปลูกสตรอเบอร์รี่ในประเทศไทย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์สตรอเบอร์รี่ (ประสาทพร และ ดนัย , 2547)

สตรอเบอร์รี่ที่ปลูกในประเทศไทยโดยเฉพาะในภาคเหนือตอนบนมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะประจำที่แตกต่างกัน รวมทั้งความชอบในสภาพแวดล้อมต่างกันด้วย สตรอเบอร์รี่ที่ใช้ในงานทดลองมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. พันธุ์พระราชทานเบอร์ 20 (Sequoia) เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการปลูกในพื้นที่สูง มีรสออกหวาน เนื้อผลนิ่ม
2. พันธุ์พระราชทานเบอร์ 50 จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์หนัก จะออกผลช้ากว่าพันธุ์อื่นที่เป็นพันธุ์เบา ผลขนาดปานกลางถึงโต เนื้อแข็ง กลิ่นหอม รสออกหวานอมเปรี้ยวหากปลูกในพื้นที่สูงหรือช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะรสหวานมากขึ้น ต้องการอุณหภูมิต่ำพอควรในการชักนำให้เกิดการสร้างตาดอกในชุดต่างๆ
3. พันธุ์พระราชทานเบอร์ 70 (Toyonoka) เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดปานกลาง ทรงเป็นลิ่มสวย ผิวค่อนข้างบาง เป็นมัน กลิ่นหอม รสออกหวาน หากปลูกในพื้นที่สูงหรือช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะรสหวานมากขึ้น ค่อนข้างอ่อนแอต่อเพลี้ยไฟและไร
4. พันธุ์ญี่ปุ่น (Nyoho) ยังเป็นพันธุ์ที่ไม่แพร่หลายมากนัก มีผลขนาดกลางเนื้อแข็งปานกลาง มีรสหวานนำเปรี้ยว กลิ่นหอมมากว่าพันธุ์อื่นๆ

2.2 เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่พบอยู่ในดินเกือบทุกแห่ง สามารถเข้าสู่รากพืชและอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (symbiosis) โดยเชื้อราจะได้รับที่อยู่อาศัยและสารอาหารคาร์โบไฮเดรตจากพืช ในขณะที่พืชจะได้รับธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส รวมทั้งน้ำ และยังเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากเชื้อสาเหตุของโรคพืชต่างๆ ได้ระดับหนึ่ง

ลักษณะทางสัณฐานของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ธงชัย, 2546)

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีโครงสร้างที่มีลักษณะพิเศษดังนี้

อาร์บัสคูล (arbuscule) เป็นโครงสร้างที่อยู่ภายในเซลล์รากพืชชั้นคอร์เท็กซ์ เกิดจากการแตกแขนงของเส้นใยแบบ 2 แขนงต่อเนื่อง อาร์บัสคูลมีอายุสั้นประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นผนังก็จะสลายไปบางส่วนของไซโตพลาสซึมจะไหลกลับไปยังเส้นใยหลัก บางส่วนสลายไปและประกอบขึ้นเป็นไซโตพลาสซึมของเซลล์รากพืช อาร์บัสคูลเกิดขึ้นให้เห็นได้ภายใน 2 ถึง 3 วันหลังจากเชื้อเจริญเข้าสู่รากแล้ว ทำให้พื้นที่สัมผัสของเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์รากพืชเพิ่มขึ้นอีก 2 ถึง 3 เท่า

เวสสิเคิล (vesicle) เป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างคล้ายถุงที่โป่งพองออกบริเวณส่วนปลายของเส้นใยภายในประกอบด้วยหยดไขมัน (phospholipid) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับเก็บสะสมอาหารของเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ราปกติแล้วเวสสิเคิลจะเกิดขึ้นหลังอาร์บัสคูล จะเกิดขึ้นหลังการใส่ปุ๋ยจุลธาตุที่เป็นโลหะ ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสีและแมงกานีส และมักเกิดกับรากฝอยมากกว่ารากอื่นๆ โครงสร้างของผนังเซลล์ องค์ประกอบภายใน และจำนวนของเวสสิเคิลของราแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป

เส้นใยนอกพืช (external hyphae) เป็นโครงสร้างที่สำคัญของเชื้อรา ประกอบด้วยเส้นใยที่อยู่นอกรากพืชสานกันเป็นร่างแห ทำให้พื้นที่ในการดูดธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น

สปอร์พักตัว (resting spore) เป็นโครงสร้างพิเศษของเชื้อราที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการพักตัวเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม มีรูปร่างและขนาดต่างกัน เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมจะงอกและเจริญเข้าสู่รากพืชที่เหมาะสมต่อไป

การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

เมื่อสิ่งแวดล้อมเหมาะสม มีชิ้นส่วนของเชื้อรามากพอ และมีพืชที่เหมาะสม ก็จะเริ่มมีการเข้าสู่รากของพืช ประกอบไปด้วยขั้นต่างๆ สรุปได้ดังนี้ (Barea, 1991 อ้างโดยธงชัย, 2546)

1. การงอกของชิ้นส่วนของรา (germination of fungal propagules) ชิ้นส่วนของราแบบต่างๆ ได้แก่ สปอร์ เส้นใยที่มีอยู่ในดินและรากพืชที่ติดเชื้อ จะเริ่มงอกเส้นใยพุ่งเข้าหารากพืชที่อยู่ใกล้เคียง พืชแต่ละชนิดอาจมีสารที่ปลดปล่อยออกมาจากรากพืช (root exudate) ที่แตกต่างกัน องค์ประกอบเหล่านั้นชักนำใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซางอกและเจริญเข้าหารากพืชต่อไป

2. การสร้างแอพเพรสซอเรียม (appressorium formation) เมื่อเส้นใยของราเจริญถึงรากพืชแล้วราจะสร้างโครงสร้างที่เรียกว่า แอพเพรสซอเรียมเกาะยึดกับรากของพืชที่เซลล์ผิวชั้นนอกสุดของราก

3. การเจริญของเส้นใยเข้าสู่ภายในราก (penetration of mycorrhizal hyphae to inner root) เชื้อราสามารถเข้าสู่รากพืชได้ 3 ทาง คือ 1) ทางรากขนอ่อน (root hair) 2) ทางเซลล์ผิว (epidermis) และ 3) เซลล์ชั้นนอก (exodermis) ของเซลล์รากแก่ที่เซลล์ชั้นผิวฉีกขาด เส้นใยจะเจริญจากแอพเพรสซอเรียมเข้าสู่ภายในรากพืช ผ่านเนื้อเยื่อพืชชั้นเซลล์ผิว เซลล์ชั้นนอกจะเข้าสู่ชั้น cortex ต่อไป ในระยะนี้เส้นใยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ของพืช เส้นใยอาจขดเป็นวงอยู่ระหว่างเซลล์ชั้นนอกของรากพืช และเส้นใยจะคอดลงเมื่อผ่านผนังเซลล์ เส้นใยจะไม่เจริญเข้าไปในเซลล์ชั้นใน (endodermis) ของรากพืช

4. การสร้างอาร์บัสคูล (arbuscule formation) ในชั้น cortex ของรากพืช เส้นใยของเชื้อราจะเจริญผ่านผนังเซลล์ของรากพืชและสร้างโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่าอาร์บัสคูล โดยการแตกแขนงของเส้นใยแบบสองแขนงต่อเนื่อง คล้ายพุ่มไม้เล็กๆ ดันเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) ของรากพืชให้เว้าเข้าไป โครงสร้างนี้มักพบในชั้น cortex ชั้นในหรือตลอดทั้งชั้น cortex ก็ได้ ปลายสุดของอาร์บัสคูลแคบและแหลม ในขณะที่เกิดอาร์บัสคูลนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงในเซลล์รากพืช กล่าวคือตรวจไม่พบแป้ง นิวเคลียสมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่ออาร์บัสคูลสลายตัวไปจะพบแป้งภายในเซลล์ นิวเคลียสกลับมามีขนาดเหมือนเดิม โครงสร้างนี้จะมีอายุประมาณ 1 – 2 สัปดาห์ ในขณะที่มีชีวิตอยู่จะทำหน้าที่สำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารจากรากสู่พืชและรับคาร์โบไฮเดรตจากพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเมื่อหยุดการใช้งานก็จะถูกย่อยสลายโดยเซลล์ของรากพืชต่อไป

5. การเจริญของเส้นใยนอกรากพืช (development of extraradical hyphae) หลังจากได้รับคาร์โบไฮเดรตจากพืชผ่านทางอาร์บัสคูลแล้ว เส้นใยนอกรากพืชก็จะมีการเจริญออกไปเช่นเดียวกัน เส้นใยเหล่านี้อาจเจริญไปตามผิวรากและสร้างจุดที่จะเข้าสู่รากพืชในตำแหน่งใหม่ รวมทั้งการเจริญลงไปในดินขยายเครือข่ายของเส้นใยให้กว้างขวางขึ้น เส้นใยที่เจริญอยู่นอกรากจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของของราก ดิน สภาพแวดล้อม และเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา บางครั้งพบเป็นปริมาณมาก บางครั้งพบเพียงสายสั้นๆ เป็นแผ่นรอบๆ ราก หรือรวมกันอย่างหลวมๆ อาจมีเส้นใยบางส่วนที่เจริญยื่นออกมาจากรากสู่ดินยาวประมาณ 1 เซนติเมตร เส้นใยที่เจริญอยู่ภายนอกรากมี 2 ลักษณะคือ เส้นใยที่ผนังหนาและใยราที่มีผนังบาง เส้นใยที่มีผนังหนามีผิวหยาบ อ้วนและด้านข้างหนึ่งของเส้นใยจะโป่งบวมออก มักไม่มีไซโตพลาสซึมอยู่มาก สามารถเห็นหยดไขมันอย่างชัดเจนเมื่อย้อมด้วยสีซูดาน 5 (Sudan IV) เส้นใยไม่มีผนังกั้น แต่บางครั้งอาจเกิดผนังกั้นได้ เส้นใยที่ผนังหนาและมีผนังกั้นมักจะพบเวสสิเคิลอยู่ด้วย เส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ถึง 27 ไมโครเมตร แตกแขนงแบบ 2 แขนง เส้นใยเล็กมีผนังหนาไม่สม่ำเสมอกันประมาณ 3 ไมโครเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ถึง 10.0 ไมโครเมตร เส้นใยที่มีผนังหนามีหลายนิวเคลียส กระจายอยู่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใย การรวมตัวกันของนิวเคลียสเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณที่มีการสร้างเวสสิเคิล ส่วนเส้นใยที่มีผนังบางมักมีอายุสั้น ในระยะแรกไม่มีผนังกั้น แต่ต่อมาจะสร้างผนังกั้น เส้นใยมีผิวเรียบ เส้นผ่านศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอ มีตั้งแต่ 2 ถึง 7 ไมโครเมตร เส้นใยจะใส เนื่องจากองค์ประกอบภายในหายไป เส้นใยที่มีผนังบางนี้เกิดจากการแตกแขนงของเส้นใยที่มีผนังหนา ทั้งเส้นใยที่มีผนังบางและผนังหนา สามารถเข้าสู่รากพืชอาศัยได้ Gavito and Olsson (2003) ได้ศึกษาการแบ่งปันคาร์บอนของพืชให้กับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่าความสามารถในการใช้คาร์บอนของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพืชเกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวนของเส้นใยและพลังงานที่สะสมไว้

6. การสร้างเวสสิเคิล (vesicle formation) หลังจากมีการเข้าสู่รากพืชเรียบร้อยแล้ว ราบางชนิดอาจมีการสร้างเวสสิเคิลที่มีรูปร่างกลมหรือ รี ทำหน้าที่ในการเก็บสะสมอาหารในรูปของ lipid ในเซลล์ชั้นcortexของรากพืช ในบางโอกาสอาจพัฒนาเป็นสปอร์ได้ เวสสิเคิลจะสร้างขึ้นที่ปลายสุดของเส้นใยที่อยู่ในชั้น cortex ของรากพืช เกิดขึ้นได้ทั้งภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ของรากพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ปกติเวสสิเคิลมีช่องเปิดติดต่อกับเส้นใย บางครั้งมีผนังกั้นจึงมองดูคล้ายกับคลาไมโดสปอร์ ในขณะที่มีการสร้างเวสสิเคิลอาจทำให้เซลล์ชั้น cortex แตกออก ดังนั้นถ้ามีการสร้างมากๆ ก็อาจทำให้ชั้น cortex ของรากถูกทำลายไปได้ เวสสิเคิลที่เกิดอยู่ภายนอกราก (external vesicle) มีลักษณะคล้ายกับเวสสิเคิลที่สร้างอยู่ภายในราก มักเกิดเดี่ยวๆ บนเส้นใยที่อยู่ภายนอกราก หรืออาจเกาะกันเป็นกลุ่มขนาดเล็กกว่า 0.8 มิลลิเมตร ประกอบด้วยเวสสิเคิล 2 ถึง 3 อัน เกิดจากแขนงเส้นใย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เดียวกัน เวสสิเคิลมีผนังหนา รูปร่างกลม รี ซึ่งอาจผันแปรไปได้มาก เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ถึง 150 ไมโครเมตร ภายในเวสสิเคิลมีองค์ประกอบที่ค่อนข้างเข้มข้น มีหยดไขมันและนิวเคลียสมาก

7. การสร้างสปอร์พักตัว (formation of resting spores) เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถสร้างสปอร์บนเส้นใยนอกรากพืชได้ สปอร์เหล่านี้จะทำหน้าที่พักตัวในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และขยายพันธุ์ต่อไป การเกิดและลักษณะของสปอร์จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การเข้าไปในเซลล์รากพืชของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาจให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในพืชได้หลายประการ ดังนี้ (Mosse , 1981 อ้างโดยธงชัย , 2546)

1. กิจกรรมภายในไซโตพลาสซึมเพิ่มขึ้น
2. การสร้าง organelles ใหม่ๆ เพิ่มขึ้นในเซลล์ เช่น mitochondria endoplasmic reticulum รวมทั้งกรดไรโบนิวคลีอิค
3. การโป่งพองของนิวเคลียส ซึ่งอาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 2 – 3 เท่า
4. การสลายตัวของแป้งที่สะสมไว้ ไม่พบเม็ดแป้งในเซลล์ที่เชื้อราเข้าไปเจริญอยู่ เนื่องจากแป้งบางส่วนถูกส่งไปยังราผ่านทางอาร์บัสคูล
5. อัตราการหายใจและกิจกรรมของเอ็นไซม์เพิ่มขึ้น

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

2.3.1 พืชอาศัย

พืชอาศัยมีอิทธิพลต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดย Ocampo *et al.* (1979) ได้ศึกษาผลกระทบของพืชอาศัยต่อการติดเชื้อของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในพืช 10 ชนิด คือ ข้าวบาร์เลย์ ผักกาดหอม ข้าวโพด หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง กะหล่ำปลี ผักคะน้า oilseed rape swede และ sugar beet โดยใช้เชื้อ *Glomus fasciculatum* และ *Gigaspora margarita* พบว่า กะหล่ำปลี ผักคะน้า oilseed rape และ swedeไม่มีการติดเชื้อในราก ซึ่งพืชดังกล่าวอยู่ใน family Cruciferae จากรายงานของ Gerdemann (1968) อ้างโดย Ocampo *et al.* (1979) กล่าวว่าพืชเกือบทุกชนิดสามารถส่งเสริมการติดเชื้อในรากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ยกเว้นพืชที่อยู่ใน family Cruciferae และ Chenopodiaceae มีรายงานว่าพืชที่มีรากใหญ่และมีรากขนอ่อนน้อยจะต้องพึ่งพาอาศัยเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มากกว่าพืชที่มีรากฝอยและรากขนอ่อนยาว (John, 1980 อ้างโดย Bagyaraj, 1991) ส่วน Struble and Skipper (1988) ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดของพืชต่อการสร้างสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พืชอาศัยที่ใช้คือข้าวโพด ถั่วเหลือง bahai grass และ sudan grass โดยใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 5 ชนิดคือ *Glomus claroideum Gl. etunicatum Gl. claroideum Gl.*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

mosseae Gl. macrocarpum และ *Gigaspora margarita* พบว่าที่สัปดาห์ที่ 14มีการสร้างสปอร์ของ *Glomus claroideum Gl. etunicatum Gl. claroideum Gl. mosseae* ใน bahai grassมากกว่าในข้าวโพดหรือ sudan grass และพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง sudan grass และ bahai grass อย่างมีนัยสำคัญในแง่ของการสร้างสปอร์โดยเชื้อ *G.margarita* นอกจากนั้นพบว่าถั่วเหลืองไม่เหมาะต่อการเป็นพืชอาศัยในการเพิ่มจำนวนสปอร์ ถึงแม้ว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะสามารถอยู่ร่วมกับพืชอาศัยได้อย่างกว้างขวาง (Mosse, 1973 อ้างโดย Bagyaraj, 1991) แต่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาก็มีการเลือกชนิดของพืชอาศัยด้วย การประเมินความจำเพาะเจาะจงของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยข้อมูลในการพิจารณา โดยข้อมูลที่ใช้ในการประเมินมีผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตมากที่สุด

2.3.2 ปัจจัยทางกายภาพ

2.3.2.1 แสง มีอิทธิพลอย่างมากต่อพัฒนาการของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสง ซึ่งเชื้อราต้องการสารประกอบคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งพัฒนาการของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาก็จะขึ้นอยู่กับศักยภาพการสังเคราะห์แสงและการเคลื่อนย้าย photosynthate ไปยังราก Son *et al.* (1988) ได้ศึกษาผลของความเข้มของแสงต่อการเจริญในส่วนของราก การติดเชื้อในราก และการดูด P ในหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa* L.) จากการทดลองพบว่าการที่ปลูกพืชในสภาวะที่มีความเข้มของแสงต่ำ การใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้ R/S ratio ต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่เชื้อ ซึ่งสนับสนุนสมมุติฐานที่ว่าพืชที่มีการติดเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความต้องการ photosynthate มากกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อ นอกจากนี้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง อุณหภูมิดิน ต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซโดยใช้เชื้อ *Glomus fasciculatus* ใน sudan grass โดยทดลองในสภาะที่มีความเข้มแสงระดับต่างๆ คือ 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการใช้ P 3 ระดับคือ 0, 15 และ 30 มิลลิกรัม P / กิโลกรัมดิน ร่วมกับอุณหภูมิดิน 3 ระดับคือ 25, 30 และ 35 $^{\circ}$C พบว่าการเกิดไมคอร์ไรซาลดลงเมื่อมีการใส่ P โดยมีผลมากที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มแสงต่ำ แต่ความเข้มของแสงไม่มีผลต่อการเกิดไมคอร์ไรซาในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย สาเหตุที่การใส่ P มีผลยับยั้งการเกิดไมคอร์ไรซาเพราะในสภาพดังกล่าวมีปริมาณน้ำตาลที่ปลดปล่อยออกมาโดยรากมีน้อยลง ซึ่งการลดลงของน้ำตาลที่ปลดปล่อยโดยรากอาจมีสาเหตุมาจากการลดลงของน้ำตาลในเซลล์ด้วย (Graham and Menge, 1980 อ้างโดย บังอร, 2545) Son และคณะ (1988) รายงานว่าในสภาวะที่มีความเข้มของแสงต่ำ จะไม่มีผลกระทบต่อพืชที่ไม่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา แต่พืชที่มีการติดเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมี R/S ratio ต่ำลงเมื่อเทียบกับ control ซึ่งรากของพืชที่มีการติดเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีความต้องการ photosynthate มากกว่าพืชที่ไม่มีการติดเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.2 อุณหภูมิ ในปีค.ศ. 1973 Furlan and Fortin (อ้างโดย Bagyaraj,1991) ได้อธิบายถึงอุณหภูมิว่ามีอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณและการสร้างสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ถ้าอุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้การสร้างสปอร์และการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น Saito and Muramoto (2002) รายงานว่า *G. margarita* มักจะเกิด spore dormancy และความงอกของสปอร์ต่ำในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็นเทคนิคการ break dormancy นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการติดเชื้อในรากในระยะแรกของการปลูก และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้หัวเชื้อด้วย จากรายงานของ Grey (1991) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใน spring barley 2 พื้นที่คือ Montana ประเทศสหรัฐอเมริกา และในประเทศซีเรีย พบว่าเมื่ออุณหภูมิของดินสูงขึ้นจะมีการติดเชื้อในรากสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ทำให้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญได้ดี อยู่ในช่วง 11 ถึง 26 °C แต่การเข้าสู่รากจะเกิดสูงเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิอยู่ในระดับที่ทำให้อากาศอบอุ่น

2.3.2.2 น้ำ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเจริญได้ดีในความชื้นหลายช่วง ไม่ว่าจะเป็นในดินที่เปียกชื้น (Dowding, 1959 อ้างโดย Bagyaraj, 1991) ดินที่น้ำท่วมไม่ถึง (Trappe and Schenck, 1982 Bagyaraj, 1991) จากการทดลองของ Levy and Krikun (1980) ในเรื่องอิทธิพลของน้ำต่อการใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใน *Citrus jambhiri* ผลที่ได้ยืนยันได้ว่าน้ำมีผลต่อ *C. jambhiri* ที่มีการติดเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งมีผลมากต่อ สมดุลของฮอร์โมนในรากและส่วนเหนือดิน ซึ่งช่วงสภาวะที่ขาดน้ำจะมีการชักนำให้เกิดใบต่ำ ส่วน Hartmond *et al.* (1987) ได้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะที่มีน้ำท่วมขัง (flooding stress) ต่อการปลูก sweet orange, Carrizo citrange และ sour orange โดยใช้หัวเชื้อ *Glomus intraradices* วางในถุงพลาสติกและให้น้ำ 21 วัน พบว่าการให้น้ำมีผลต่อ water relation และปริมาณ ACO_2 ในพืชทั้ง 3 ชนิดลดลง จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสภาวะที่มีน้ำท่วมขัง มีผลต่อส่วนของรากมากกว่าส่วนเหนือดิน

2.3.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง

Koolman *et al.* (1987) ได้ศึกษาอิทธิพลของหัวเชื้อต่อการเจริญเติบโตของ clover และสตรอเบอร์รี่ ที่ 2 ระดับ pH คือ pH 4.8 และ pH 6.8 ผลการทดลองพบว่าที่ pH 4.8 การใช้หัวเชื้อแบบคละ มีการสร้างสปอร์สูงที่สุด ส่วนที่ pH 6.8 การใช้หัวเชื้อ *Glomus mosseae* มีการสร้างสปอร์สูงที่สุด ส่วนการทดลองของ Hayman and Tavares (1985) ได้ศึกษาผลของ pH ต่อการปลูกสตรอเบอร์รี่โดยใช้หัวเชื้อ 9 ชนิด พบว่าการใช้หัวเชื้อแต่ละชนิดตอบสนองต่อระดับต่างๆ ของ pHได้แตกต่างกัน คือ ที่ pH4 การใช้หัวเชื้อ *Glomus clarum* มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ที่ pH 5 คือ *Acaulospora laevis, G.*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

etunicalum และ *G.clarum* ที่ pH 7 เป็นสภาวะที่สตรอเบอร์รี่เจริญเติบโตดีที่สุด โดยเฉพาะที่ใช้หัวเชื้อ *G. epigaeum* นอกจากนี้พบว่าเชื้อ *Glomus mosseae* ถึงแม้ไม่สามารถทนทานต่อ pH ที่ต่ำกว่า 5 ได้แต่ก็มีบาง species ของ *Glomus* sp. ที่สามารถทนกรด (Mosse, 1973 อ้างโดย Wang *et al*, 1993)

2.3.4 การใส่ปุ๋ย

2.3.4.1 ปุ๋ย P

Jasper *et al.* (1979) อธิบายว่าระดับ P มีอิทธิพลต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจาก P เกี่ยวข้องกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตในรากและ root exudate แต่อย่างไรก็ตามเรายังไม่สามารถระบุระดับ P ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดไมคอร์ไรซาได้

จากการทดลองของ Miranda and Harris (1994) ซึ่งได้ศึกษาผลของการอัตราการใส่ปุ๋ยและช่วงเวลาใส่ปุ๋ยต่อเชื้อ *Glomus etunicatum* พบว่าการใส่ปุ๋ย P ในอัตราที่มากกว่าอัตราแนะนำ จะทำให้การเจริญของเส้นใย การเข้าสู่รากพืชอาศัยและความสัมพันธ์ระหว่างพืชอาศัยกับเชื้อในช่วง 7 วันหลังปลูกลดลง การใส่ปุ๋ย P ที่ระยะ 1 สัปดาห์หลังปลูก การเจริญของเส้นใยลดลงและมีการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากกว่าการใส่ปุ๋ยในช่วงก่อนปลูก และยังพบว่าเชื้อ *Scutellospora* sp. 2 species มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยในระดับต่ำ โดยมีผลต่อความยาวของเส้นใยภายนอกรากต่อหนึ่งหน่วยของความยาวรากที่มีเชื้อเข้าไปอาศัยอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดตอบสนองต่อระดับปุ๋ย P ต่างกัน โดยที่ *Scutellospora heterogama* ซึ่งมีการสร้างเส้นใยภายนอกรากมากกว่า *Glomus* sp. แต่มีความไวในการตอบสนองต่อปุ๋ย P มากกว่า

จากการศึกษาอิทธิพลของ root exudate จากรากพืชที่มีการขาด P (P- deficient) และรากที่มี P เพียงพอ (P- sufficient) ต่อการติดเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยปลูกหอมหัวใหญ่ในสารละลายที่มี P 2 ระดับคือ 0 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บ root exudate และ แยกสารประกอบด้วย amberlite XAD-4 resin เพื่อให้ได้ EtOH และ water soluble fraction ปลูกหอมหัวใหญ่ที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Gigaspora margarita* พร้อมกับใส่ root exudate และ exudate fraction (EtOH และ water soluble fraction) ที่เก็บได้ และมีตำรับควบคุมโดยไม่ใส่ทั้ง root exudate หลังจากเพาะเลี้ยง 24 ชั่วโมงมีการเพิ่มขึ้นของการเกิด appressoria และระดับของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในต้นที่มี root exudate และ EtOH fractionจากการใส่ P ในระดับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม และ ตำรับที่มีการใส่ P 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองชี้ว่าสารประกอบ hydrophobic ที่พบใน root exudate จากการขาดแคลน P จะช่วยในการเพิ่มการสร้าง appressoria และส่งผลต่อพัฒนาการของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Tawaraya *et al.*, 1998)

นอกจากนี้ Mosse (1977), Powell (1980) อ้างโดย Sylvia and Schenck (1983) ได้ศึกษาพบว่าการเข้ารากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามักจะถูกยับยั้งโดย P ที่ละลายได้ในระดับสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Menge et. al (1978) อ้างโดย Sylvia and Schenck (1983) รายงานว่าการใส่ปุ๋ย P สูงๆ อาจกระตุ้นให้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสร้างสปอร์มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการเกิดสปอร์ของ เชื้อ *Glomus fascicutatum* ในกระถางที่มีดินที่มี P 6 ppm P พบว่ามีการสร้างสปอร์ใน vial ในดินที่ปลูกทั้งๆ ที่ดินที่มี P สูงถึง 600 ppm และจำนวนสปอร์ใน vial มากกว่าสปอร์ในดิน P ต่ำถึง 765%

อิทธิพลของการใส่ปุ๋ย มีผลต่อการใช้หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืชอาศัยดีขึ้นเมื่อมีความเหมาะสมในด้านธาตุอาหาร การตอบสนองที่ดีของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะลดลงเมื่อมี available P สูง มีผลต่อสรีระวิทยาของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเกี่ยวข้องโดยตรงกับ methabolism เช่น hormonal balance (Paradi *et al.*, 2002)

Sharma and Adholeya (2004) ได้ศึกษาอิทธิพลของการใส่ปุ๋ย P ต่อการปลูกสตรอเบอร์รี่ โดยแบ่งเป็น 4 ระดับคือ 50, 100, 150 และ 200 กิโลกรัม P ต่อเฮกตาร์ ปลูกในดินที่มีคาร์บอนอินทรีย์และ P ต่ำ พบว่าการใช้หัวเชื้อร่วมกับปุ๋ยทุกระดับ (ยกเว้น 200 กิโลกรัม P ต่อเฮกตาร์)มีผลผลิตต่อต้น น้ำหนักต้น จำนวนไหล น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และ P ในส่วนเหนือดินสูง และมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากไม่ต่างกันระหว่างการใส่หัวเชื้อและไม่ใส่หัวเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใส่ปุ๋ย P

จากการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยร่วมกับการใช้หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อ *Azadirachta excelsa* ในด้านการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสง โดยหัวเชื้อที่ใช้คือ *Glomus mosseae* และ *Scutellospora calospora* ใส่ปุ๋ย 15-15-15 ในอัตรา 0, 20 และ 40 กรัม/ต้น แบ่งการทดลองใส่ slow release (ปุ๋ย 20-10-5) 21 กรัม และไม่ใส่ พบว่าพืชที่ใส่หัวเชื้อแต่ไม่ใส่ปุ๋ย จะโตช้ากว่า control ที่ไม่มีการใช้หัวเชื้อและใส่ปุ๋ย ถึงแม้ว่าจะมีเปอร์เซ็นต์การเข้ารากสูงก็ตาม แสดงให้เห็นว่าพัฒนาการของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่ำลงภายใต้การใส่ปุ๋ยในระดับสูง ซึ่งปุ๋ยมีผลต่อการเจริญเติบโต biomass rate อัตราการสังเคราะห์แสง และความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอย่างมาก (Huat *et al.*, 2000)

Katiyar *et al.* (1995) การตอบสนองของต้นหม่อนต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาภายใต้การใส่ P ระดับต่างๆ หัวเชื้อที่ใช้คือ *Glomus mosseae* และ *Glomus fasiculatum* ใส่ super phosphate 4 ระดับคือ 90, 60, 30 และ 0 กิโลกรัม P ต่อเฮกตาร์ต่อปี พบว่าตำรับที่ใช้ *G. mosseae* การเจริญเติบโตของหม่อน ผลผลิตใบ และปริมาณธาตุอาหารในใบไม่แตกต่างกับ control (ไม่ใส่หัวเชื้อแต่ใส่ super phosphate 120 กิโลกรัม P ต่อเฮกตาร์ต่อปี) แสดงให้เห็นว่าควรลดการใส่ปุ๋ย super phosphate ลง 75%

สมบุญ และสาลี่ (ไม่ระบุปี) ทำการศึกษาอิทธิพลของระดับ Pในดินที่มีบทบาทต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการปลูกถั่วเขียว พบว่าในดินที่มี P ไม่เกิน 60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทต่อการเพิ่มอัตราการดูดธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง P ในรากพืช นอก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากนั้นการใส่ปุ๋ย P ในระดับต่ำ (0 – 60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ทำให้การดูดและสะสมธาตุอาหาร น้ำหนักแห้งและผลผลิตของถั่วเขียวที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เพิ่มขึ้น และหากเพิ่มปริมาณปุ๋ย P ในอัตรา 90 – 120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ มีผลในการลดการติดเชื้อในรากและกิจกรรมของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการศึกษาของ Treseder and Allen. (2002) ด้านผลทางตรงของการจำกัด N และ P ต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งจากสมมุติฐานที่ว่าธาตุอาหารที่เป็นระโยชน์ที่มีอยู่ในดินอาจจะจำกัดอิทธิพลของการใส่ปุ๋ย N และ P เพิ่มต่อการเจริญเติบโตและ community ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ได้มีการตรวจสอบความยาวของเส้นใยภายนอกรากและการติดเชื้อในรากทั้งในตำรับควบคุมและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาเพาะปลูกในรัฐ Hawaii มีการประเมินการตอบสนองของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละ genera โดย immunofluorescent labeling พบว่าสภาวะที่มีการจำกัด N และ P การใส่ปุ๋ย N และ P มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ biomass ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และจะลดลงเมื่อใส่ปุ๋ย P ในสภาวะที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ เชื้อรา genera *Scutellospora* จะลดลงภายใต้การใส่ปุ๋ย N มากกว่าการใส่ปุ๋ย P นอกจากนี้ *Glomus* sp. จะมีมากในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าในดินที่มี N อย่างจำกัด การใส่ปุ๋ยและสภาวะที่มีธาตุอาหารอย่างจำกัด ไม่มีผลต่อ *Gigaspora* sp. และ *Acaulospora* sp. ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มธาตุอาหารอาจมีผลต่อเชื้อราในแต่ละ genera แตกต่างกัน

2.3.4.2 ปุ๋ย N

N เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก การขาด N เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการใส่ปุ๋ย N จึงเป็นวิธีการจัดการที่มีการปฏิบัติกันอยู่เสมอในการปลูกพืชรายงานด้านผลกระทบของการใส่ปุ๋ย N ต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เกี่ยวข้องกับดึงดูดธาตุอาหารมีทั้งด้านบวก (Coxwell and Johnson, 1965) ด้านลบ (Hay et. al., 1982 อ้างโดย Azcon *et al*., 1992) และไม่มีผลกระทบเลย (Rose and Youngberg, 1981อ้างโดย Azcon *et al*., 1992)

Azcon *et al*. (1992) ได้ทำการทดลองปลูกผักกาดหอม (Lactuca sativa L. cv. Romana) โดยใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2 ชนิดคือ *Glomus mosseae* และ *G. fasciculatum* เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ย N ในอัตรา 3 mM N โดยให้อัตราส่วนของ NO_3^- และ NH^+_4 แตกต่างกัน และพบว่าภายใต้ดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วที่มี pH 7.8 ถึงแม้ว่าผักกาดหอมจะสามารถดึงดูดและใช้ N ได้ทั้ง 2 รูปแต่การตอบสนองต่อรูปของ N ที่ให้แก่พืชกับการใส่ปุ๋ย P หรือเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พืชที่ได้รับการใส่ปุ๋ย P และ N ในรูป NH^+_4 เท่ากับ NO_3^- เจริญเติบโตกว่าพืชที่ได้รับ NO_3^- หรือ NH^+_4 เพียงอย่างเดียว สำหรับต้นที่ได้รับ *G. mosseae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อให้ NO_3^--N แต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งตรงข้ามกับพืชที่ไม่ได้รับเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและไม่ได้รับการใส่ปุ๋ย P ที่มีการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อให้ NH^+_4–N เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Hayman (1975) อ้างโดย Bagyaraj (1991) กล่าวว่าปุ๋ย N ทำให้ประชากรของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลง โดยเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีปริมาณลดลงเมื่อใส่ N ในรูป $(NH_4)_2SO_4$ (Alexander and Fairley, 1983 อ้างโดย Bagyaraj , 1991) หรือ N ในรูปของปุ๋ยผสมระหว่างไนเตรตกับแอมโมเนีย ความเข้มข้นมากกว่า 100 ppm N (Menge, 1984 อ้างโดย Bagyaraj, 1991)

จากการทดลองของบุษกร (2541) ในการศึกษาผลของเชื้อวีเอไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ย N ที่มีต่อจำนวนไหลของต้นสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Tioga โดยใช้เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา 3 ชนิดคือ *Glomus fasciculatum* , D_3 และ KN ใส่ปุ๋ยในอัตราต่างๆ คือ 0, 50, 105 และ 200 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ แบ่งปลูกในโรงเรือนที่มีการควบคุมอุณหภูมิและในโรงเรือนที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ พบว่าประสิทธิภาพของเชื้อจะขึ้นอยู่กับระดับของปุ๋ย N ที่ใช้ ในโรงเรือนที่มีการควบคุมอุณหภูมินั้นการใช้เชื้อ D_3 ร่วมกับการใส่ปุ๋ย N 50 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์มีการผลิตไหลเพิ่มขึ้นเกือบ 3 เท่าตัวเมื่อเทียบกับ control ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ย N ในระดับ 105 และ 200 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ ส่วนในโรงเรือนที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ การใส่เชื้อ D_3 หรือ KN เหมาะสมต่อการผลิตไหลเพราะสามารถผลิตไหลได้มากกว่า control ในทุกระดับของการใส่ปุ๋ย ยกเว้น KN ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย และการใส่ปุ๋ย N ในระดับ 105 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ทำให้การเข้าสู่รากและเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นในรากสูงแตกต่างจากการใช้ปุ๋ยในระดับอื่นๆ

2.3.4.3 ธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณน้อย

ในส่วนของธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณน้อย (microelement) พบว่า Mn และ Zn มีผลในการยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Hepper, 1979 อ้างโดย Bagyaraj, 1991) สำหรับผลของ Mg พบว่า แมกนีเซียมไอออนมีผลต่อการเข้าสู่รากข้าวโพดของเชื้อ *G. claroideum*

Grydler *et. al* (1991) พบว่าเมื่อสารละลายอาหารมี $MgSO_4$ ในปริมาณ 5.84 – 11.68 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการเข้าสู่รากของเชื้อสูงสุด และเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นสามารถกระตุ้นการเข้าสู่รากได้ สำหรับแคลเซียมหรือโพแทสเซียมไอออนที่เพิ่มขึ้นในสารละลายอาหารไม่มีผลต่อการเข้าสู่รากข้าวโพดของเชื้อราชนิดนี้

Arines and Vilarino (1991) ศึกษาผลของ micronutrient ต่อการเข้าสู่รากของพืชสมุนไพร พบว่าพืชที่มีการติดเชื้อของ *Glomus deserticola* มีความทนทานต่อระดับ pH ที่ต่ำและระดับ Al และ Mn ที่สูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.5 การใส่อินทรีย์อินวัตถุ

อินทรีย์วัตถุมีผลต่อโครงสร้างของดิน ระดับpH ระดับธาตุอาหาร และความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งทั้งหมดมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อประสิทธิภาพของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

Mader *et al.* (2000) ได้สำรวจการติดเชื้อในรากของ wheat, vetch-rye และ grass-clover พบว่ามีการติดเชื้อในรากที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในระดับสูง ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 30-60%

จากการศึกษาของ Verma and Arya (1998) ได้ทำการทดลองโดยปลูกไผ่ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ใช้วัสดุปลูก 2 ชนิดคือ ทรายผสมดินในอัตรา 1:1 และ ทรายผสมดินและปุ๋ยคอกในอัตรา 1:1:0.5 (v/v) หัวเชื้อที่ใช้คือหัวเชื้อที่หัวเชื้อที่ได้จากการ isolate จากบริเวณรากของไผ่และดินบริเวณรากของต้นสัก โดยได้ทดสอบการเจริญเติบโต การสะสมดินในส่วนเหนือดิน การติดเชื้อในราก และการสร้างสปอร์ พบว่าหลังจากการเพาะปลูก 12 เดือน หัวเชื้อมีผลในการเพิ่มความเข้มข้นของPในส่วนเหนือดิน การติดเชื้อในราก และการสร้างสปอร์อย่างมีนัยสำคัญในวัสดุปลูก ทรายผสมดินในอัตรา 1:1 ส่วนการใส่อินทรีย์วัตถุ พบว่ามีอิทธิพลต่อการผลิตสปอร์ (เพิ่มขึ้น 5.3 – 17.8 เท่า) และช่วยในการเพิ่มความสูงและน้ำหนักแห้งของต้นไผ่ด้วย และพบว่าชนิดและปริมาณของอินทรีย์วัตถุวัตถุมีผลต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

Tanu *et al.* (2004) ได้ศึกษาผลของชนิดของอินทรีย์วัตถุ ในอัตราต่างๆ ต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีอยู่ในดิน marginal alfisol โดยอินทรีย์วัตถุ 4 ชนิดคือ ปุ๋ยหมักจากใบไม้ ปุ๋ยหมักจากผัก ปุ๋ยคอกจากสัตว์ปีก และ sewage sludge ใน 4 อัตราคือ 40, 80, 100 และ 120 ตันต่อเฮกตาร์ ตรวจวัดผลผลิตพืช (สมุนไพร) , essential oil content และศักยภาพของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีอยู่ในดิน พืชสมุนไพรที่ใช้คือ 3 varieties ของ Cymbopogon winterianus (Manjusha, Mandakini และ BIO-13) พบว่าปุ๋ยคอกจากสัตว์ปีกในปริมาณ 100 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้มี essential oil content และน้ำหนักแห้งสูงอย่างมีนัยสำคัญ ชนิดและปริมาณของอินทรีย์วัตถุมีอิทธิพลต่อ AMF infectious propagules ในดินอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ปุ๋ยหมักจากใบไม้มีผลให้จำนวน AMF propagules สูงที่สุดในทั้ง 3 varieties ส่วนจำนวน AMF propagules น้อยที่สุดที่พบคือใน Mandakini ที่ใส่ sewage sludge ในอัตรา 40 ตันต่อเฮกตาร์

Baby and Manibhushanrao (1996) รายงานว่าอินทรีย์วัตถุมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไซาในข้าวที่มีเชื้อ *Rhizoctonia solani* พบว่าความหนาแน่นของสปอร์ เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในราก และความหนาแน่นในรากของสูงขึ้นเมื่อใช้อินทรีย์วัตถุ โดยเฉพาะปุ๋ยหมักจากใบไม่จะกระตุ้นพัฒนาการของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในข้าว จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเลือกใช้ชนิดของปุ๋ยหมักที่เหมาะสมจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและมีผลต่อการต้านทานโรคด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Muthukumar and Udaiyan (2002) สนับสนุนว่าประสิทธิภาพของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นผลมาจากการตอบสนองต่ออินทรีย์วัตถุชนิดต่างๆ และสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงประชากรของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เฉพาะเจาะจง

Gaur and Adholely (2000) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยหมักช่วยให้พบประชากรของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น เมื่อปลูกพืช 5 ชนิดคือ *Zea mays, Medicago sativa, Trifolium alexandrinum, Avena sativa* และ *Sorghum vulgare* ใน sandy loam ที่ใส่อินทรีย์วัตถุ นอกจากนี้พบว่า น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินและราก และ total P และ N ในพืชทุกชนิดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

2.3.6 ชนิดและปริมาณของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

การเลือกใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้เหมาะสมกับพืช เป็นปัจจัยที่สำคัญ Taylor and Harrier (2001) ได้ศึกษาความแตกต่างของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 9 ชนิดในการส่งเสริมการเจริญเติบโต พัฒนาการและการดูดใช้ธาตุอาหารพืชของสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Elvira เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้แก่ *Glomus clarum, G. etunicatum, G. intraradices, Gigaspora gigantea, Gi. Margarita, Gi. Rosea, Scutellospora calospora, S. heterogama* และ *S. persica* โดยใช้ในอัตรา 50 infective unit ต่อกระถาง พบว่าหลังจากปลูกต้นอ่อนสตรอเบอร์รี่ได้ 15 สัปดาห์ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใน species *Glomus* มีการเข้ารากสูงที่สุด รองลงมาคือspecies *Gigaspora* และ *Scutellospora* ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการเข้ารากของเชื้อราแต่ละ species พบว่า *G. clarum* มีการเข้ารากมากที่สุดและ และ *S. persica* มีการเข้ารากและการเกิดอาร์บัสคูลน้อยที่สุด และพบว่า *G. intraradices* มีน้ำหนักในส่วนเหนือดินและรากสูงอย่างมีนัยสำคัญ ในแง่การดูดธาตุอาหาร ตำรับที่ใช้ *Glomus* และ *Gigaspora* ในทุก species มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของแมกนีเซียม นอกจากนี้ Lamyong and Srisarakam (1996) ซึ่งพบว่าการใช้หัวเชื้อผสมระหว่าง *Glomus sp.* กับ *Acaulospora sp.* ทำให้การติดเชื้อในรากสูงกว่าการใช้หัวเชื้อเดี่ยวและมีความต้านทานต่อเชื้อ *Rhizoctonia fragariae*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Linderman and Davis (2004) ได้ศึกษาการตอบสนองต่อการใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดต่างๆ กับ marigold ภายใต้สภาวะที่มี P ต่ำ พืชที่ปลูกมี American-type French-type และ Mexican-type พบว่ามีการตอบสนองในด้านน้ำหนักของส่วนเหนือดินและราก และพบว่าการติดเชื้อในรากมีความเปลี่ยนแปลงที่กว้างมากคือตั้งแต่ต่ำกว่า 10% ถึง มากกว่า 70% โดย *Glomus*

intraradices, G. mosseae และ *G. deserlicola* ส่วน *Gigaspora albida* ไม่พบการติดเชื้อในรากเลย พบว่าชนิดของพืช และชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของการติดเชื้อรวมถึงอาร์บัสคูล เวสสิเคิล และเส้นใย

นอกจากชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแล้ว อัตราการใช้หัวเชื้อที่เหมาะสมต่อพืชก็มีความสำคัญเช่นกัน Silva *et al.* (1996) ศึกษาบทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Sweet heart เมื่อใส่เชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* ในอัตราที่แตกต่างกัน 6 อัตรา ซึ่งอยู่ในช่วง 0-12,000 สปอร์/ต้น พบว่าความสูงของลำต้น พื้นที่ใบ และจำนวนใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในตำรับที่ใช้อัตราสปอร์ 750-12,000 สปอร์/ต้นในการปลูกในแปลงทดลอง และสำหรับการทดลองในโรงเรือน พบว่าเปอร์เซ็นต์การเข้ารากกับอัตราการใส่สปอร์มีความสัมพันธ์กันแบบเป็นเส้นตรง แต่พบว่าสตรอเบอร์รี่ที่ไม่มีการใส่เชื้อมีการติดเชื้อที่มีอยู่ในดินธรรมชาติ แต่ต้นที่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีจำนวนไหลมากกว่าและพบปริมาณธาตุ Ca และ Cu ในใบเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการใส่สปอร์ ต้นที่มีการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีน้ำหนักแห้งมากกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ น้ำหนักรากเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงและมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราการใส่สปอร์ อัตราการใส่สปอร์ 750 สปอร์/ต้น เป็นอัตราที่เพียงพอสำหรับต้นสตรอเบอร์รี่ในการตอบสนองต่อเชื้อ

Guar *et al.* (1998) ได้เปรียบเทียบการใช้หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพริก (capsicum) และ polianthes ในดินที่ใส่อินทรีย์วัตถุ การทดลองเปรียบเทียบหัวเชื้อผสมพันธุ์พื้นเมือง เชื้อ *G. intraradices* และหัวเชื้อทางการค้า พบว่า*G. intraradices* มีผลต่อผลผลิตของพืชทั้ง 2 ชนิด โดยผลผลิตเพิ่มขึ้น 112% และ 45% ตามลำดับและหัวเชื้อทางการค้าเพียงชนิดเดียวที่ทำให้พืชมีผลผลิตเพิ่มคือ Mycorise การเข้าสู่รากของ polianthes สูงกว่า capsicum รากที่มีเชื้อ *G. intraradices* มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากมากกว่า 68% และพบว่าเชื้อผสมพันธุ์พื้นเมืองมีการสร้างสปอร์สูงที่สุด และหัวเชื้อทางการค้าต่ำที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.7 ยาปราบศัตรูพืช

Trappe *et al.* (1984) รายงานว่ายาปราบศัตรูพืชในกลุ่มยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อรา และยากำจัดไส้เดือนฝอย มีผลต่อการเกิด พัฒนาการและการสร้างสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแตกต่างกันไป จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของยาปราบศัตรูพืชต่อเชื้อรา *Glomus* sp. และการติดเชื้อใน

ส้ม ใช้ยาฆ่าเชื้อรา 4 ชนิด biocide 2 ชนิด และยากำจัดไส้เดือนฝอย 3 ชนิด โดยทดสอบกับ *Glomus intraradices* และ *G. mosseae* จากยาฆ่าเชื้อราทั้ง 4 ชนิดพบว่า propicanazole มีผลในการยับยั้งเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงที่สุดและ triphorine ยับยั้งเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่ำที่สุด ยาฆ่าเชื้อราจะมีผลต่อทั้งระบบของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและมีผลโดยตรงต่อเชื้อราในดิน มี biocide เพียงชนิดเดียวที่เป็นพิษต่อ *G. mosseae* คือ Methylenebis-thiocyanate ส่วน Bis-bromo-acetoxy-2-butene ไม่เป็นพิษ และยากำจัดไส้เดือนฝอยทุกชนิด (aldicarb, fenamiphos และ fensulfothion) มีผลในการยับยั้งเชื้อราเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย (Numec, 1985)

Schreiner and Koide (1993) ได้ตรวจสอบหาสารประกอบคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อรา จากรากพืชที่มีและไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบว่าสารสกัดจากรากพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 5 ชนิดคือ *Brassica kaker*, *B. napus* L., *B. campestris* L., *Thlaspi arvense* L. และ *Rhaphanus raphanistrum* L. มีสารประกอบที่ต่อต้านเชื้อราในขณะที่ *Spinacea oleracea* L., *Beta vulgaris* L. และ *Amaranthus retroflexus* L. ไม่พบสารดังกล่าว เมื่อใช้คลอโรฟอร์มเป็นสารสกัดราก ของ *B. kaker* ซึ่งเป็นพืชที่มีสารประกอบดังกล่าวสูงที่สุดและสารนี้มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Glomus etunicatum*

Mark and Cassells (1996) พบว่าการใช้ dazomet รมดินมีผลในการลดจำนวนสปอร์ของเชื้อในสภาพธรรมชาติในดินเป็นจำนวนมาก ยาสำหรับฆ่าเชื้อราในดิน captan และ carbofuran ที่ระดับความเข้มข้น 125 มิลลิกรัม และ 144.5 มิลลิกรัมต่อส่วนผสมทั้งหมด 2.5 ลิตร สามารถเพิ่มการเจริญของเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก จำนวน chlamydospore และศักยภาพของเชื้อได้อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับยาฆ่าแมลง formothion และ malathion ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิลิตร/ลิตร จะไม่เป็นอันตรายต่อเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 ประโยชน์ของเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทางการเกษตร

ประโยชน์ด้านต่างๆ ของเชื้อรานั้นมีผลกระทบต่อดิน สิ่งแวดล้อมและพืช ดังนี้

2.4.1 ช่วยให้พืชดูดกินอาหารได้มากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยากในดิน Bolan (1991) พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ไม่ได้ในพืช (immobile nutrients) โดยเฉพาะฟอสฟอรัส และ Bell *et al.* (1989) ซึ่งได้ศึกษาบทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการปลูกถั่วลิสง พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาส่งเสริมการดูดใช้ฟอสฟอรัสในถั่วลิสง มีอัตราการเจริญเติบโต และความเข้มข้นของ P ในเนื้อเยื่อมากกว่าต้นที่ไม่ได้ใส่เชื้ออย่างมีนัยสำคัญ

เส้นใยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยทำหน้าที่ในการละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ทั้งต่อพืชและเชื้อรา เส้นใยในดินจะมีปริมาณมากและชอนไชไปในดินได้อย่างกว้างขวางและทั่วถึง บางครั้งอาจมีความยาวของเส้นใยมากกว่า 10 เมตรต่อกรัมของดินได้ (Mala, 2000 อ้างโดย ธงชัย, 2546) เส้นใยของเชื้อราสามารถละลายฟอสเฟตจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งความสามารถนี้ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะแตกต่างกันออกไป

2.4.2 ลดความเป็นพิษของสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร และสารโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยงทั่วไป เพราะสารพิษเหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนลงสู่ดินได้ทุกขณะ และจะทวีความรุนแรงมากขึ้นตามลำดับ

2.4.3 พืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากจะมีความสามารถในการทนแล้งได้มากกว่ารากปกติ เป็นเพราะว่าเส้นใยช่วยดูดน้ำให้แก่พืชได้ด้วย Sieverding (1991) รายงานว่าในสภาพดินที่มีความแห้งแล้งเส้นใยของเชื้อราทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างรากพืชและน้ำในดิน โดยเส้นใยจะดูดน้ำที่ฉาบอยู่ที่ผิวเม็ดดินแล้วนำไปยังรากพืช โดยพืชยังคงคายน้ำเป็นปกติ พืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถฟื้นตัวเร็วกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาศัยอยู่หลังจากผ่านสภาพเครียดน้ำ และจากการทดลองของ Subramanian *et al.* (1995) พบว่าข้าวโพดทนทานต่อสภาพแห้งแล้งนาน 3 สัปดาห์หลังจากที่ข้าวโพดออกฝักอ่อน และยังพบว่าอัตราการคายน้ำและปริมาณน้ำในใบตอนเที่ยงวันของข้าวโพดที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงกว่าที่ไม่มีเชื้ออาศัยอยู่ ส่วนความต้านทานของปากใบที่มีเชื้อจะต่ำกว่าที่มีเชื้ออาศัยอยู่ พื้นที่สีเขียวของใบจะสูงกว่าถึง 27.55%

2.4.4 ลดความรุนแรงของการเกิดโรคของพืชอันเนื่องมาจากเชื้อสาเหตุที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น โรครากเน่า เป็นต้น Norman and Hooker (2000) รายงานว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีศักยภาพในการควบคุมโรคจากเชื้อ *Phytophthora* spp. อย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองพบว่า exudate ที่ปล่อยมาจากรากพืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลต่อการเกิดสปอร์ของ *P. fragariae* ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ไม่มีเชื้อ การทดลองแสดงให้เห็นว่าหลังจากที่มีการปลดปล่อย exudate ออกมาจากรากสตรอเบอร์รี่ที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus etunicatum* และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Glomus monosporum แล้ว 48 ชั่วโมง การสร้างสปอร์ของ *P. fragariae* ลดลง 67% และ 64% ตามลำดับและหลงจากผ่านไป 72 ชั่วโมง การสร้างสปอร์ลดลง 83% และ 89%

2.5 การใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการปลูกสตรอเบอร์รี่

Vestberg (1992) ได้ทดลองปลูกสตรอเบอร์รี่ 10 การทดลอง แบ่งเป็น 4 การทดลองแรกใช้สตรอเบอร์รี่ช่วง early maturing 3 การทดลองใช้ late maturing และ 3 การทดลองเป็นแบบพิเศษ ใช้หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 6 strain ศึกษาในด้านการเจริญเติบโต และการติดเชื้อในรากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 3 species คือ *Glomus macrocarpum, G. mosseae* และ *G.* sp V4 ส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ในสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Jonsok ตองสนองต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทั้ง 6 species และพันธุ์ Ostara ตอบสนองต่อเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่ำที่สุด เชื้อราที่เพิ่มการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินสูงที่สุดยังส่งเสริมการสร้างไหลมากที่สุดด้วย

Niemi and Vestberg (1992) ได้ศึกษาผลของการใช้หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Senga Sengana โดยได้ศึกษาในตอนใต้ของประเทศฟินแลนด์ ทดสอบโดยใช้ *Glomus* spp. Strain ต่างๆ ถึงแม้ว่าไม่มีหัวเชื้อใดทำให้เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อในรากสูงกว่าระดับการติดเชื้อที่มีอยู่ในธรรมชาติ แต่การใช้หัวเชื้อทุกชนิดทำให้การเกิดไหลมีมากกว่า control ในปีแรกของการเพาะปลูกพบว่าการใช้ *G. intraradix, G. etunicatum* และ *Glomus* sp. E3 ทำให้จำนวนไหลเพิ่มขึ้น 57% 69% และ 76% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามไม่พบการเพิ่มจำนวนไหลอย่างมีนัยสำคัญในปีที่ 2 รวมถึงไม่มีการเพิ่มผลผลิตด้วย ในปีที่ 3 พบว่า *Glomus* sp. E3 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ทำให้เกิดไหล ซึ่งเพิ่มขึ้น 30% สตรอเบอร์รี่ที่ใส่ *G. mosseae* ผลิตไหลได้น้อยแต่ไหลมีขนาดใหญ่กว่า control

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved