บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular Mycorrhiza Fungi: AMF) เป็นเชื้อรา ที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis) ประโยชน์ของพืชที่ได้รับจากการอยู่ ร่วมกันกับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาคือ ขณะที่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเริ่ม เจริญเติบโตในรากและสร้างเส้นใยเหล่านี้ก็จะเจริญไปในดินบริเวณ Rhizosphere ทำให้บริเวณ ของรากแผ่ขยายกว้างขึ้นจึงมีการดูดน้ำและแร่ธาตุเพิ่มขึ้น แล้วยังสามารถทำให้พืชทนแล้ง และ ต้านทานต่อโรคได้ดี (Grotkass and Feldmann, 2006) เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะได้ คาร์โบไฮเดรตประมาณ 1 – 17% เพื่อการเจริญเติบโตและการทำหน้าที่ต่างๆในการสร้างสปอร์ ดังนั้นในระยะเริ่มแรกที่เชื้อจะเจริญมีเส้นใยออกไปนอกรากจึงช่วยดูดธาตุอาหารจากดินให้กับพืช (สุมิตรา, 2547)

การจัดจำแนกและลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ในปี ค.ศ.1993 Walker และ Trappe ได้รวบรวมรายชื่อของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ ไรซาไว้ได้มากกว่า 160 ชนิด(species) เชื้อรากลุ่มนี้เป็นราชั้นต่ำในอาณาจักร (kingdom) *Fungi* เดิมจัดอยู่ในไฟลัม *Zygomycota* คลาส (class) *Zygomycetes* ออร์เดอร์ (order) *Glomales* ต่อมา Schubler และคณะ (2001) ได้ศึกษาตรวจสอบ small subunit (SSU) rRNA gene sequences พบว่ามีความแตกต่างจากเชื้อราในไฟลัม *Zygomycota* จึงจัดหมวดหมู่ใหม่ให้อยู่ใน ไฟลัม *Glomeromycota* คลาส *Glomeromycetes* (สมจิตร, 2549) เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไร ซามีลักษณะทางสัณฐานวิทยาประกอบด้วยดังนี้

เส้นใย (Hyphal) พบทั้งในดินและรากช่วยดูดซับน้ำและแร่ธาตุให้แก่พืช รากลุ่มนี้มี เส้นใยเป็นแบบไม่มีผนังกั้นตามขวาง (coenocytic hypha หรือ non-septate hypha) (Morton และ Redecker, 2001 อ้างโดย สมจิตร, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาร์บัสคูล (Arbuscule) เป็นส่วนของเส้นใยที่ขดเป็นวงในเซลล์รากหรืออาจมีการแตกแขนงแบบ dichotomous จนเกือบเต็มเซลล์ ทำให้มีลักษณะคล้ายกะหล่ำดอกหรือคล้ายต้นไม้ (tree-like)

เวสิเคิล (vesicle) เป็นถุงที่มีผนังบาง มีของเหลวบรรจุอยู่ (David, ไม่ระบุค.ศ.)

สปอร์ (spore) โดยทั่วไปพบทั้งในดินและราก มีขนาดประมาณ 20 – 1000 μm. ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าสปอร์ของเชื้อราอื่น (Brundrett *et al*., 1996)

กระบวนการเข้าสู่รากพืช

1. การงอกของชิ้นส่วนของรา

เมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมจะมีการงอกของชิ้นส่วนของเชื้อราได้แก่ เส้นใย สปอร์ และรากที่ติดเชื้อ ในการงอกของสปอร์จะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น ของเหลวในดิน, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซ, pH และความเข้มข้นของฟอสฟอรัส สปอร์หรือชิ้นส่วนของรากพืชที่มีเส้นใยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญอยู่ภายในงอกเส้นใยออกมาโดยเฉพาะการงอกของสปอร์และการเจริญขั้นต้นของ germ tube ในดินนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ สารบางอย่างที่ปล่อยออกมาจากรากพืช (root exudate) ซึ่งกระตุ้นการงอกของสปอร์ และการเจริญของเส้นใย (Sigueirra และ คณะ, 1982; Graham, 1982 อ้างโดย บังอร, 2545) เมื่อ germ tube ไม่สัมผัสกับรากพืชอาศัย จะทำให้ประสิทธิภาพการเข้ารากพืชหมดไปภายในช่วงเวลา 2-3 วันหรือหลายสัปดาห์

2. การสร้าง appressorium

เมื่อเส้นใยสัมผัสกับบริเวณผิวรากพืช (epidermal cell) เส้นใยนี้จะบวมและมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงเกิดโครงสร้างที่เรียกว่า appressorium (Powell and Bagyaraj, 1984) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สำคัญในการแทงเส้นใยผ่านชั้น epidermis ของรากหรือภายในเซลล์ชั้น exodermis ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืชอาศัย appressorium 1 อันสามารถทำให้เกิดแขนงของเส้นใยเข้าสู่รากได้หลายแขนง (ออมทรัพย์, 2545)

3. การเจริญของเส้นใยเข้าสู่ภายในรากพืช

เส้นใยหลักจะแตกแขนงและแทงเส้นใยผ่านผนังเซลล์ของเซลล์ผิวรากหลายทาง (Seiverding, 1991 อ้างโดย บังอร, 2545) คือ 1) ทางขนราก (root hiar) 2) ทางเซลล์ผิว (epidermis) และ 3) เซลล์ชั้นนอก (exodermis) ของเซลล์รากแก่ที่เซลล์ชั้นผิวฉีกขาด ใยราจะเจริญจาก appressoriumเข้าสู่ภายในราพืช ผ่านเนื้อเยื่อพืชชั้นเซลล์ผิว เซลล์ชั้นนอก (ธงชัย, 2546) และเส้นใยจะเจริญแทรกอยู่ระหว่างเซลล์รากจนถึงชั้น cortical cell เส้นใยจะไม่เจริญเข้าไปในชั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

endodermis, steel, roottip และเซลล์ที่มี chloroplast (ออมทรัพย์, 2545) เนื่องจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีกลไกพิเศษที่จะแยกความแตกต่างของพืชอาศัยได้ จึงทำให้เชื้อชนิดนี้สามารถเข้าอยู่ในพืชอาศัยต่างๆได้หลายชนิด และนอกจากนี้ยังพบว่า การแทงเส้นใยเข้าสู่รากมักเกิดกับรากขนอ่อน และรากแขนงอ่อนๆ มักเกิดห่างจากปลายรากประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร การเจริญของเส้นใยจะกระจายตัวอยู่เฉพาะชั้น epidermis (Powell and Bagyaaj, 1984 อ้างโดย บังอร, 2545)

4. การสร้างอาร์บัสคูล

เส้นใยเจริญไปสู่ภายในเนื้อเยื่อชั้น cortical ของเซลล์ (intercellular hyphae) ทำให้เกิดการแตกของเส้นใยคล้าย small bushes ซึ่งถูกเรียกว่า arbuscules ซึ่งเป็นชั้นบางๆหนาประมาณ 20 nm. โดยการแตกแขนงของเส้นใยแบบแยกเป็นสองแฉก (dichotomous branching) ดันเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) ของรากพืชให้เว้าเข้าไป โครงสร้างนี้จะมีอายุประมาณ 1 -2 สัปดาห์ จากนั้นส่วนปลายของอาบัสคูลก็ถูกย่อยสลายโดยเซลล์พืชจนเหลือแต่ส่วนที่เป็นก้านของเส้นใย ทำให้พวก granular material ไหลออกมาสู่เซลล์พืช ในลักษณะที่เกิดอาร์บัสคูล จะมีการเปลี่ยนแปลงในเซลล์พืช เช่น ตรวจไม่พบแป้ง นิวเคลียสขนาดใหญ่ขึ้น แต่ภายหลังที่อาบัสคูลถูกทำลายไปก็จะพบแป้งอยู่ภายในเซลล์และนิวเคลียสจะกลับมีขนาดเท่าเดิม (ออมทรัพย์, 2545) ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ อาร์บัสคูลจะทำหน้าที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารจากราสู่พืช และรับคาร์โบไฮเดรตจากพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (Smith and Gianinazzi-Pearson, 1988 อ้างโดย ธงชัย, ม.ป.พ.) เมื่อทดสอบทาง cytochemical พบโปรตีนและ polysaccharides เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์

5. การสร้างเวสิเคิล

เวสิเคิลมีรูปร่างกลม เกิดจาก intercalary หรือ ปลายเส้นใยบวมออกมา พบในเซลล์รากตรงส่วน intercellular หรือ intracellular มีขนาดที่แตกต่างกันออกไป (30 หรือ 50 μm – 80 หรือ 100 μm) และอาจพบได้ทั้งภายในและภายนอกเนื้อเยื่อชั้น cortical parenchyma ในขณะที่สร้างเวสิเคิลทำให้เซลล์ในชั้น cortex แตกออก ถ้ามีการสร้างมากๆ อาจทำให้ชั้น cortex ถูกทำลายไป (ออมทรัพย์, 2545) เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบางชนิดไม่พบการสร้างเวสิเคิล ได้แก่ *Gigaspora margarita*, *Acaulospora laevis* และ *A. trappei* ส่วนใน genus *Glomus* จะพบการสร้างเวสิเคิลทั้ง inter หรือ intracellular จำนวนของเวสิเคิลที่สร้างขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับ species ของเชื้อรา เช่น พบเวสิเคิลจำนวนมากใน *G. fasciculatum* แต่พบน้อยใน *G. monosporum* และ *G. caledonicum* โครงสร้างจะแตกต่างกันแต่ละระยะการพัฒนา ในระยะแรกๆ protoplasm จะบรรจุด้วย nuclei จำนวนมาก ในขณะที่เวสิเคิลที่แก่จะพบว่ามีของเหลวบรรจุอยู่เพียงเล็กน้อย ผิว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายนอกของเวสิเคิลเรียบ ในความคิดเห็นของ McLennan vesicle เวสิเคิลเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ที่ใช้เก็บกรดไขมันต่างๆจำนวนมาก ซึ่งท้ายสุดจะถูกส่งไปยังเซลล์ราก เพื่อทำการย่อยต่อไป อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของเวสิเคิล และการทำหน้าที่เหล่านั้น จะเพิ่มขึ้นจนกว่ารากจะแก่หรือตายไป (Powell and Bagyaraj, 1984) เมื่อผิวนอกของเนื้อเยื่อชั้นคอร์เท็กซ์ของรากหลุดออกไป เวสิเคิลจะโผล่ออกมาสู่ดิน ต่อมาอาจจะงอกและทำหน้าที่เป็นส่วนขยายพันธุ์ของราต่อไปได้ (ธงชัย, 2546)

6. การเจริญของเส้นใยนอกรากพืช

หลังจากได้รับคาร์โบไฮเดรตจากพืชผ่านทางอาร์บัสคูลแล้ว เส้นใยนอกรากพืชก็จะมีการเจริญออกไปเช่นเดียวกัน เส้นใยเหล่านี้อาจเจริญไปตามผิวรากและสร้างจุดที่จะเข้าสู่รากพืชในตำแหน่งใหม่ รวมทั้งการเจริญลงไปในดินขยายเครือข่ายของเส้นใยให้กว้างขวางขึ้น เส้นใยที่เจริญอยู่นอกรากจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของราก ดิน สภาพแวดล้อม และเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา บางครั้งพบเป็นปริมาณมาก บางครั้งพบเพียงสายสั้นๆ เป็นแผ่นรอบๆ ราก หรือรวมกันอย่างหลวมๆ อาจมีเส้นใยบางส่วนที่เจริญยื่นออกมาจากรากสู่ดินยาวประมาณ 1 เซนติเมตร เส้นใยที่เจริญอยู่ภายนอกรากมี 2 ลักษณะคือ เส้นใยของราที่มีผนังหนาและเส้นใยที่มีผนังบาง เส้นใยที่มีผนังหนามีผิวหยาบ อ้วนและด้านข้างหนึ่งของเส้นใยจะโป่งบวมออก มักไม่มีไซโตรพลาสซึมอย่มาก สามารถเห็นหยดไขมันอย่างชัดเจน เมื่อย้อมด้วยสีซูดาน 5 (Sudan IV) เส้นใยไม่มีผนังกั้น แต่บางครั้งอาจเกิดผนังกั้นได้ เส้นใยที่ผนังหนาและมีผนังกั้นมักจะพบเวสิเคิลอยู่ด้วย เส้นใยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ถึง 27 ไมโครเมตร แตกแขนงแบบ 2 แขนง เส้นใยเล็กมีผนังหนาไม่สม่ำเสมอกันประมาณ 3 ไมโครเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ถึง 10.0 ไมโครเมตร เส้นใยที่มีผนังหนามีหลายนิวเคลียส กระจายอยู่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใย การรวมตัวกันของนิวเคลียสเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณที่มีการสร้างเวสิเคิล ส่วนเส้นใยที่มีผนังบางมักมีอายุสั้น ในระยะแรกไม่มีผนังกั้น แต่ต่อมาจะสร้างผนังกั้น เส้นใยมีผิวเรียบ เส้นผ่าศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอ มีตั้งแต่ 2 ถึง 7 ไมโครเมตร เส้นใยจะใส เนื่องจากองค์ประกอบภายในหายไป เส้นใยที่มีผนังบางนี้เกิดจากการแตกแขนงของเส้นใยที่มีผนังหนา ทั้งเส้นใยที่มีผนังบางและผนังหนา สามารถเข้าสู่รากพืชอาศัยได้ (ออมทรัพย์, 2545)

7. การสร้างสปอร์

ประมาณ 3 เดือน หลังจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากพืชและเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเริ่มสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศในดิน ซึ่งสปอร์อาจถูกสร้างเป็นสปอร์เดี่ยวๆ หรือรวมกันเป็นกลุ่มๆที่เรียกว่า sporocarp สปอร์มีลักษณะกลมหรือรี ขนาดตั้งแต่ 50 – 60 ไมครอน ผนังหนาและมีหลายชั้น (บังอร, 2545) โดยทั่วไปเมื่อมีอายุน้อยสปอร์จะมีผนัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บาง เมื่อแก่ผนังจะหนา มีความหนาตั้งแต่ 1 ถึง 20 ไมโครเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสปอร์ บางชนิดผนังชั้นนอกอาจจะแตกหลุดออกไปในขณะที่ผนังชั้นในมีการเปลี่ยนแปลง *Acaulospora* sp. และ *Gigaspora* sp. จะสร้างผนังชั้นเดียวหรือหลายชั้นในผนังเดิมของสปอร์ (ธงชัย, 2546) สปอร์มีสีตั้งแต่สีอ่อนจนถึงเข้ม ภายในมีไขมันสะสมอยู่มาก มีส่วนของเส้นใยคล้ายหาง (subtending hyphae) หรือรูปร่างเป็นท่อนตรง หรือเป็นกระเปาะและมีผนังหนาที่เรียกว่า chlamydospore (บังอร, 2545) องค์ประกอบภายในสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่ไม่มีสี บางชนิดอาจมีสี เช่น *Glomus convolutum* ภายในมีหยดไขมันสีเหลืองเข้ม ทำให้สปอโรคาร์ปมีสีเหลือง (สุภาพร, 2545)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในรากพืช

การเข้าไปในเซลล์ของรากพืชของเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆภายในพืชได้หลายประการ Mosse (1981) ได้สรุปไว้ว่า อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

1) กิจกรรมภายในไซโตพลาสซึมเพิ่มขึ้น

2) การสร้างออร์กาเนลล์ (organelles) ใหม่ๆ เพิ่มขึ้นในเซลล์ เช่น ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) เอ็นโดพลาสมิค เรติคูลัม (endoplasmic reticulum) รวมทั้งกรดไรโบนิวคลีอิค เป็นต้น

3) การโป่งพองของนิวเคลียส ซึ่งอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 2 ถึง 3 เท่า

4) การสลายตัวของแป้งที่สะสมไว้ ไม่พบเม็ดแป้งในเซลล์ที่เชื้อราเข้าไปเจริญอยู่ เนื่องจากแป้งบางส่วนถูกส่งไปยังราผ่านทางอาร์บัสคูล

5) อัตราการหายใจและกิจกรรมของเอ็นไซม์เพิ่มขึ้น

เมื่อเชื้อรานี้เจริญเข้าสู่รากพืชแล้วมักไม่ทำให้รูปร่างของพืชเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงอาจเกิดขึ้นบ้างแต่ไม่มากนัก เช่น ข้าวโพด ถั่ว ต้นหอม มะเขือเทศ และพืชในวงศ์ Solanaceae หลายชนิด รากข้าวโพดที่มีเชื้อรานี้อาศัยอยู่จะมีสีเหลืองอ่อนและไม่มีขนราก ส่วนรากปกติจะมีสีขาว สีเหลืองของรากข้าวโพดจะจางหายไปเมื่อถูกแสงสว่าง ความมากน้อยของสีจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการเข้าสู่ราก ส่วนในข้าวสาลีนั้น การมีเชื้อพวกนี้อยู่ด้วยไม่ทำให้รากมีลักษณะและสีเปลี่ยนแปลงไป (ธงชัย, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1.ชนิดของพืชอาศัย

ชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อาจมีผลจำเพาะต่อพืชแต่ละชนิด แต่ส่วนใหญ่สามารถเข้าได้กับพืชหลายชนิด เช่น จำนวนสปอร์ที่ของ *Gigaspora* spp. สร้างมากที่สุดในถั่วเหลือง แต่จะไม่สร้างสปอร์ *Glomus* และ *Acaulospora* spp. ในถั่วเหลือง (Powell and Bagyaraj, 1984) ส่วนผลกระทบของพืชที่ไม่ใช่พืชอาศัยของเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเกิดไมคอร์ไรซาของพืชชนิดต่างๆมีรายงานซึ่งขัดแย้งกัน จากรายงานของ lqbal and Qureshi (1976) พบว่าการมีพืชที่ไม่ใช่พืชอาศัยอยู่ร่วมกับพืชอาศัย ทำให้การเข้าสู่รากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพืชอาศัยลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะสารพิษที่ขับออกจากรากของพืชที่ไม่ใช่พืชอาศัย แต่จากรายงานของ Bagyaraj (1991) ไม่พบผลกระทบดังกล่าว สำหรับต้นหอมเมื่อปลูกร่วมกับ sweedes ซึ่งไม่ใช่พืชอาศัยจะมีการเกิดไมคอร์ไรซาที่รากมากกว่าการปลูกต้นหอมเพียงชนิดเดียว และการปลูกข้าวบาเลย์ร่วมกับต้น rape ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน ดังนั้นการมีพืชชนิดอื่นที่ไม่ใช่พืชอาศัยขึ้นอยู่บนดินย่อมมีผลดีต่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มากกว่าการไม่มีพืชขึ้นอยู่เลย นอกจากนี้เส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ยังสามารถอยู่บนผิวรากของพืชที่ไม่ใช่พืชอาศัยได้อีกด้วยซึ่งทำให้เชื้อจุลินทรีย์ประเภทนี้สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้เมื่อไม่มีพืชอาศัย ในกรณีนี้ชี้ให้เห็นว่าพืชที่ไม่ใช่พืชอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบางชนิดไม่ได้ปลดปล่อยสารพิษสู่ดินและยังเอื้อประโยชน์แก่เชื้อวีเอไมคอร์ไรซาให้สามารถดำรงชีวิตแบบ saprophyte (Bagyaraj, 1991 อ้างโดย บุษกร, 2541)

2. ปริมาณของธาตุอาหารในดิน

เป็นที่ยอมรับกันว่าการเข้ารากและการสร้างสปอร์ได้มากที่สุดจะเกิดในที่ที่มีธาตุอาหารต่ำ ทั้งฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่มีปริมาณมาก อาจจะทำให้การเข้ารากลดลง Bevege พบว่า การเข้ารากเพิ่มขึ้นในที่มีไนโตรเจนมากและมีฟอสฟอรัสพอประมาณ เนื่องจากระดับฟอสฟอรัสที่มากจะไปยับยั้งการดูดใช้ไนโตรเจน ในการศึกษาของ Strezemska ที่ทดสอบกับ ต้นข้าวไร, ธัญพืช, เบอร์รี่และข้าวโอ๊ต พบว่าการเข้ารากจะลดลงในพื้นที่ที่มีธาตุอาหารมาก แต่การเข้ารากของต้นถั่วกลับไม่มีการลดลง Koske ได้อธิบายว่าการงอกของสปอร์ *Gigaspora giggantea* ไม่มีความแตกต่างกัน โดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เช่นเดียวกับ Daniels และ Trappe ได้อธิบายว่า การเพิ่ม ไนโตรเจนหรือโพแทสเซียมไม่ทำให้เกิดการกระตุ้นหรือยับยั้งการงอกของสปอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของดิน

pH ที่ทำให้สปอร์งอกได้ดีที่สุดขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และสภาวะแวดล้อมแต่ละที่ เช่น *Glomus mosseae* ในพื้นที่ราบดินที่มี alkaline งอกได้ดีที่สารละลายธาตุอาหารและดินที่ pH 6-9 ใน *Gigaspora coralloidea* และ *G. heterogama* ในดินที่เป็นกรด สปอร์สามารถงอกได้ดีที่ pH 4-6 ส่วนสปอร์ของ *Glomus epigaeum* งอกได้ดีในหลายพื้นที่ที่มี pH 6-8

4. ความชื้นของดิน

Daniels และ Trappe โดยใช้ *Glomus epigaeum* ใส่ในดิน silt loam และกำหนดความชื้น และ Koske ใช้ *Gigaspora giggantea* ใส่ในทรายที่มีความเข้มข้นของ polyethylene glycol พบว่า *Glomus epigaeum* มีการงอกของสปอร์ได้ดีที่สุดในสภาวะที่อิ่มน้ำ Nelsen และ Safir ได้อธิบายว่า ระดับการเข้ารากสามารถเกิดขึ้นในสภาวะที่ขาดแคลนน้ำเพราะว่าในสภาพขาดแคลนน้ำ จะลดการดูดใช้ธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัสได้

5. อุณหภูมิของดิน

ระดับของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการงอกของสปอร์อาจขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราไมคอร์ไรซา และสภาวะแวดล้อมในพื้นที่ Florida *Gigaspora* spp. สปอร์สามารถงอกได้ดีที่สุดในดินที่มีอุณหภูมิ 25-35˚C ในขณะที่ *Glomus mosseaea.* งอกได้ดีในพื้นที่ของ Wasington State ที่มีอุณหภูมิ18-20˚C Koske พบว่า สปอร์ของ *Gigasporea gigantean.* ในพื้นที่ Rhode Island งอกได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30˚C ในขณะที่ Daniels และ Trappe พบว่า *Glomus epigaeum.* ในพื้นที่ Oregon งอกได้ดีที่สุดที่ 22˚C

โดยทั่วไปในอุณหภูมิสูงจะพบการเข้ารากและการสร้างสปอร์ได้มาก Schenck และ Schroder ได้ทำการทดสอบพบว่าการพัฒนา arbuscule เกิดขึ้นมากสุดที่อุณหภูมิ เกือบ 30˚C แต่การเข้ารากของเส้นใยราบริเวณผิวรากดีที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง 28-34 ˚C การสร้างสปอร์และการพัฒนาของเวสิเคิลดีที่สุดที่อุณหภูมิ 35˚C

6. ปริมาณแสง

ถึงแม้ว่าโดยปกติการเพิ่มแสงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การเข้ารากเพิ่มขึ้น ในความจริงแล้วระยะแสง 12 ชั่วโมง อาจจะทำให้การเข้ารากได้ดีกว่าการเพิ่มความเข้มแสง หรือถ้าความเข้มของแสงน้อยก็มีผลทำให้การเข้ารากลดลงได้และส่งผลในการสร้างสปอร์น้อยลงเช่นกัน (Powell and Bagyaraj, 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. สารกำจัดเชื้อรา

สารกำจัดเชื้อราที่มีการใช้ในการเกษตรเพื่อควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราที่ใช้ในการเกษตรนี้ไม่ได้มีความเฉพาะเจาะจงในการกำจัดเชื้อราศัตรูพืชเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบต่อเชื้อรากลุ่มอื่นที่ไม่ใช่ศัตรูพืช รวมทั้งเชื้อราที่มีประโยชน์ต่อการเจริญของพืชอีกด้วย (Vyas, 1988 อ้างโดยสมจิตร, 2549) มีหลายการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืชมีผลกระทบต่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา Sukarno และคณะ (1993; 1996) ศึกษาสารเคมีกำจัดเชื้อรา 3 ชนิดได้แก่ Aliette, Benlate และ Ridomil โดยใช้ตามอัตราที่ระบุในฉลาก ผลการทดลองพบว่าเชื้อราทั้ง 3 ชนิดนี้มีผลในการลดเปอร์เซ็นต์ colonization ของเชื้อราไมคอร์ไรซา และสารเคมีที่มีผลในการยับยั้งมากที่สุดได้แก่ Benlate รองลงมาได้แก่ Aliette และ Ridomil ตามลำดับ และยังมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชลดลงอีกด้วย นอกจากนี้ Larsen และคณะ (1996) รายงานว่าการใช้สารเคมี benomyl 10 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือประมาณ 1 ใน 3 ของอัตราที่แนะนำในฉลาก มีผลในการลดเปอร์เซ็นต์ colonization ของเชื้อ *G. caledonium* ภายในรากพืช (สมจิตร, 2549)

8. การใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดินแบบต่างๆเช่น การไถที่ดิน การตัดไม้ทำลายป่า การเผาป่า การเผาพื้นที่ทางการเกษตร หรือการปลูกพืชหมุนเวียนที่พืชชนิดนั้นไม่ใช่พืชอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การกระทำเหล่านี้มีผลกระทบต่อประชากรของเชื้อราไมคอร์ไรซา (Gravito and Miller, 1998 อ้างโดย สมจิตร, 2549) การไถที่ดินและการให้ปุ๋ยแก่พืช อาจมีผลทำให้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในธรรมชาติและในพื้นที่ทางการเกษตรนั้นลดปริมาณลง Kabir และคณะ (1998)รายงานว่าเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ที่บริเวณระบบรากของต้นข้าวโพดในดินที่ไม่มีการไถที่ดิน มีความหนาแน่นของเส้นใยสูงกว่าในที่ดินที่มีการไถเป็นประจำ ในขณะที่พื้นที่ปลูกข้าวโพดที่มีการไถที่ดินน้อยลง พบว่ามีความหนาแน่นของเส้นใยที่บริเวณระบบรากของต้นข้าวโพด อยู่ในระดับปานกลางระหว่างดินที่ไม่มีการไถที่ดินและดินที่มีการไถเป็นประจำ เนื่องจากการไถที่ดินมีผลทำให้เกิดการเสียหายของเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นอกจากนี้การปลูกพืชหมุนเวียนที่ไม่ใช่พืชอาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีผลต่อการลดลงของเชื้อราเหล่านี้ในพื้นที่การเกษตรนั้นได้ Karasawa และคณะ(2002) รายงานว่าต้นข้าวโพดที่ปลูกต่อจากแปลงที่มีการปลูกต้นทานตะวันมาก่อน มีการเจริญเติบโตดีกว่าและมีเปอร์เซ็นต์ colonization ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากกว่าต้นข้าวโพดที่ปลูกต่อจากแปลงที่มีการปลูกพืชตระกูลกะหล่ำมาก่อน เนื่องจากว่าต้นทานตะวันเป็นพืชอาศัยของเชื้อรานี้ แต่พืชตระกูลกะหล่ำไม่ใช่พืชอาศัย จึงทำให้ปริมาณของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปลูกต้นทานตะวันมาก่อน มีปริมาณของเชื้อราชนิดนี้มากกว่าแปลงที่เคยปลูกพืชตระกูลกะหล่ำมาก่อน (สมจิตร, 2549)

2.3 ประโยชน์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1.ช่วยดูดแร่ธาตุ

เส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นอกจากจะอยู่ในส่วน cortex ของรากพืชแล้ว ยังมีส่วนของเส้นใยที่ยื่นออกนอกรากและกระจายออกไปไกลในดินจากบริเวณของระบบราก ทำให้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารให้แก่พืชอาศัย นอกจากนี้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยของเชื้อราที่มีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของรากพืช ทำให้เส้นใยของเชื้อราแทรกเข้าไปในพื้นที่ต่างๆในดินได้มากกว่าระบบรากเพียงอย่างเดียว เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยในการดูดธาตุอาหารของพืชได้หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส เส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มพื้นที่ให้แก่รากในการดูดซับแร่ธาตุ เช่น Rousseau *et al*. (1994) พบว่าในขณะที่ราก ของเมล็ดสนมีพื้นที่ผิวดูดซับแร่ธาตุน้อยกว่า 20% เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับได้เกือบ 80% (David, ไม่ระบุ ค.ศ.)

1.1ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช แต่ความเป็นประโยชน์ (availability) ของสารประกอบของฟอสฟอรัสที่มีต่อพืชมักจะมีในปริมาณที่จำกัด เนื่องจากปัจจัยทางเคมีและทางกายภาพ ปริมาณและชนิดของสารประกอบฟอสฟอรัสในดิน และปัจจัยอื่นๆภายในดิน มีผลต่อฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่พืชจะดูดไปใช้ในการเจริญเติบโต พืชต้องการฟอสฟอรัสจากสารละลายดินในรูปของสารอนินทรีย์ฟอสเฟตจะละลายได้ดีที่สภาพดินที่มีความเป็นกรด – เบส (pH) ค่อนข้างต่ำ แต่ถ้า pH สูงการละลายจะลดลง การละลายจะอยู่ในรูปของ phosphate ions อยู่ในสารละลายดิน การละลายจะอยู่ในระยะเวลาไม่นาน หลังจากนั้นจะถูกตรึงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดิน หรืออาจจะตกตะกอนอยู่ในดิน ทำให้การดูดซับฟอสฟอรัสจากดินโดยพืชมักจะถูกจำกัด เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสามารถในการใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของหินฟอสเฟต (rock phosphate) และสารอินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphate) กล่าวคือเชื้อราชนิดนี้ช่วยในการละลายและดูดใช้ฟอสฟอรัสได้มากขึ้น (Bayliss, 1959; Gerdemann, 1964; Holevas, 1966; Hayman and Mosse, 1971 อ้างโดย johnson, 1977) และพืชอาศัยจะเจริญเติบโตมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมอื่นๆที่นอกเหนือจากระดับฟอสฟอรัสในดิน ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าระดับของฟอสฟอรัสที่มากจะส่งผลต่อการพัฒนาของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา แต่เป็นไปได้ว่าการที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟอสฟอรัส มากจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้าน metabolic หรือ โครงสร้างของ feature ที่ทำให้เกิดการต่อต้านการแทงของเส้นใยเข้าไปในราก (Mosse and Phillips, 1971; Mosse, 1972อ้างโดย johnson, 1977) เชื้อราชนิดนี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำฟอสฟอรัสจากดินไปสู่พืชอาศัย สารประกอบฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับและเคลื่อนที่โดยส่วนปลายเส้นใยและหลังจากนั้นจะถูกปลดปล่อยภายในราก (Johnson, 1977)

1.2ไนโตรเจน สารประกอบไนโตรเจนในดิน มีทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนในพืชมีประมาณ 10 เท่าของฟอสฟอรัส และทำให้พืชมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณมากเช่นกัน(Smith and Read, 1997 อ้างโดย สมจิตร, 2549) ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน มีบทบาทมากในการแปรรูปสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ กระบวนการสลายสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (mineralization) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น แอมโมนิฟิเคชัน (ammoninfication) ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) สำหรับเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไม่มีรายงานว่าเกี่ยวข้องในกระบวนการ mineralization แต่มีรายงานว่าช่วยในการดูดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนให้แก่พืช ธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชที่สำคัญ ได้แก่ NO^-_3 และ NH^+_4 (สมจิตร, 2549)

1.3 ธาตุอาหารอื่นๆ

พืชที่มีไมคอร์ไรซาจะพบธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียม มากกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา ถึงแม้ว่าธาตุอาหารเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปในดินได้มากกว่าธาตุฟอสฟอรัส นอกจากธาตุเหล่านี้แล้ว พวกธาตุอาหาร เช่น สังกะสี ทองแดง ซัลเฟอร์ โบรอน และโมลิบดินั่ม ก็ได้พบว่าเชื้อไมคอร์ไรซาสามารถช่วยดูดผ่านเส้นใยไปให้พืชใช้ได้ และธาตุที่สำคัญแต่พืชต้องการน้อย เช่น เหล็ก แมงกานีส และคลอรีน ก็จะพบในพืชที่มีไมคอร์ไรซาในปริมาณมากกว่าในพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา Guo (1996) ได้ศึกษาการดูดซับธาตุ Cd , Cu, Zn และ Ni โดยเชื้อ *Glomus mossea* พบว่าเชื้อที่ปลูกลงในต้นข้าวโพด (*Zea mays* L.) และถั่ว (*Phaseolus vulgaris* L.) สามารถดูดซับธาตุ Cd, Cu และ Zn ได้ 24-41%, 19-33%และ 44% ส่วน Ni พบว่าดูดซับได้ไม่แตกต่างกับต้นที่ไม่ได้ใส่เชื้อ *Glomus mosseae* (Guo, 1996)

2. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำให้แก่พืชอาศัย

เส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ยื่นออกนอกรากของพืชอาศัย มีความสำคัญในการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำและยังสามารถแทรกอยู่ในส่วนต่างๆของดิน ช่วยในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุอาหารได้มากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.ช่วยป้องกันพืชจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

พืชที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา นอกจากจะมีการเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ร่วมกันในรากพืชแล้ว ยังทำให้พืชอาศัยมีความทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าด้วย เช่น สภาวะดินเค็ม และสภาวะมลพิษของสิ่งแวดล้อม (Dalpe, 1997 อ้างโดย สมจิตร, 2549)

ธาตุอาหารที่จำเป็นบางชนิดที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (micronutrient elements) ถ้าพืชได้รับในปริมาณมากจะเกิดเป็นพิษต่อพืช ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ เช่น Zn, Cu, Fe และ Co นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากความเป็นพิษของพวกโลหะหนักอื่นๆ ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ เช่น Pb, Cd, Ni, Ti และ Ba สำหรับพืชที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยลดความเป็นพิษของสารเหล่านี้ได้ เนื่องจากสารเหล่านี้บางส่วนจะถูกเก็บกักไว้ในเส้นใยของเชื้อรา ช่วยลดปริมาณของสารที่จะทำให้เกิดการเป็นพิษต่อพืชได้ (Smith and Read, 1997 อ้างโดย สมจิตร, 2549)

4. ช่วยทำให้พืชต้านทานโรคได้ดีขึ้น

การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะมีปฏิกิริยาการตอบสนองของพืชต่อการเข้าสู่รากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา คล้ายกับปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการเข้าสู่พืชของเชื้อสาเหตุโรคพืช โดยจะมีการแสดงออกของยีนต้านทาน (defence genes) ทำให้เกิดปฏิกิริยาการต้านทานต่างๆของพืช ซึ่งในระยะแรกของการเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะเป็นปฏิกิริยาการต้านทานอย่างอ่อนๆ แต่ในระยะต่อมาเมื่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการเจริญภายในรากพืชมากขึ้น เช่น มีการสร้าง arbuscule จะเหนี่ยวนำให้พืชมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชมากขึ้น (Garcia-Garrido and Ocampo, 2002 อ้างโดย สมจิตร, 2549) กลไกในการที่เชื้อไมคอร์ไรซาสามารถป้องกันโรคพืชได้จะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ชีวภาพ และชีวเคมีของต้นพืช การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพก็คือ การที่ผนังเซลล์จะมีลิกนินเพิ่มมากขึ้น มีการเพิ่มระบบ vascular และสร้าง polysaccharides เพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะทำให้การเข้าทำลายของเชื้อโรคจะเป็นไปได้ยากขึ้น ทางด้าน Physiology ก็คือ การที่ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะเพิ่มปริมาณในเนื้อเยื่อพืช และพืชก็จะสามารถดูดธาตุอาหารได้อย่างสม่ำเสมอเมื่อมีเชื้อไมคอร์ไรซาทำให้โอกาสที่จะเป็นโรคน้อยลง พืชที่มีไมคอร์ไรซาจะมีปริมาณ amino acid isoflavonoid (phytoalexin) เพิ่มมากขึ้น และลดปริมาณน้ำตาล และเอนไซม์ ไคติเนส ลง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะไปชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นโรคกับพืช นอกจากนี้พวก fluorescent pseudomonads ซึ่งเป็นตัวที่ควบคุมการเกิดโรคพืชทางชีวภาพยังเจริญเติบโตได้เร็วถ้ามีเชื้อไมคอร์ไรซาร่วมอยู่ด้วย การที่พืชมีเชื้อไมคอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไรซาจึงสามารถป้องกันโรคที่เกิดขึ้นกับรากได้ การเข้ารากของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สามารถต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อ *Phytophthora* sp., *Thielaviopsis basicola* และ *Fusarium oxysporium*. แต่จะไม่สามารถต้านทานโรคตรงส่วนเหนือรากของพืชอาศัยได้ (Giainazzi, 1983)

5.ช่วยทำให้พืชทนความแห้งแล้ง

Ellis (1985) ได้ทำการทดสอบการทนแล้งในข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) กับเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus deserticola* และ *Glomus fasciculatum* พบว่าพืชที่ถูกปลูกด้วย *Glomus fasciculatum* ที่ความเค้น 55 วัน พบว่ามีพื้นที่ใบ,น้ำหนักใบ ต้น และรากมากกว่าต้นที่ไม่ได้ใส่เชื้อ ส่วนพืชที่ปลูกด้วยเชื้อ *Glomus deserticola* ที่ความเค้น 55 และ63 วัน พบว่ามีพื้นที่ใบ, น้ำหนักใบ, ต้น และรากมากกว่าต้นที่ไม่ได้ใส่เชื้อ (Ellis *et al*., 1985)

6. ช่วยสร้างฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตให้พืช

เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถสร้างสารไซโตไคนินในพืชอาศัยและเปลี่ยนระดับของกรด abscissic และ สารคล้าย giberellin (Giainazzi, 1983)

7. ทำให้โครงสร้างของดิน เกิดการปลดปล่อยสารบางชนิด เช่น Polysaccharide และสารเมือกจากเชื้อราไมคอร์ไรซารวมตัวกับเส้นใยของไมคอร์ไรซา ทำให้เกิดการจับตัวของอนุภาคดิน ช่วยให้โครงสร้างของดินดี ป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารจากดิน เนื่องจากการชะล้างของน้ำและการพังทลายของดิน นอกจากนี้ไมคอร์ไรซาช่วยในการหมุนเวียนของธาตุอาหาร ทำให้ลดการสูญเสียของธาตุอาหารในระบบนิเวศน์ได้ (ธงชัย, 2546)

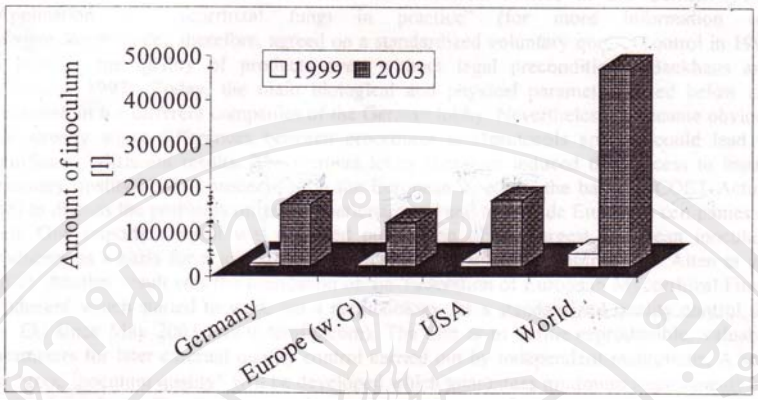
8.ช่วยลดปริมาณปุ๋ยเคมีลงได้ส่วนหนึ่ง

กรณีเช่นนี้จะทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปุ๋ยในการผลิตพืชลดลง ส่งผลให้ต้นทุนรวมของการผลิตพืชนั้นลดลงด้วย มีการทดลองกับพืชหลายชนิดเช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง มันสำปะหลัง สับปะรด ส่วนมากแล้วพบว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพชนิดนี้จะลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้มากทีเดียว แต่จะมากหรือน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับดินนั้นๆด้วย (ธงชัย, ม.ป.พ)

2.4 การค้าหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการสำรวจปริมาณการผลิตหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อการค้าทั่วโลกของศูนย์วิจัยทางการเกษตรและป่าไม้ของสมาพันธรัฐเยอรมันนี (The German Federal Reserch Center for Agriculture and Forestry) ในปี ค.ศ. 2003 พบว่ามีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 7.6 เท่า จากปี ค.ศ. 1999 โดยประเทศสหรัฐอเมริกามีการผลิตมากที่สุด รองลงมาคือ ประเทศเยอรมันนี และทวีปยุโรป (ยกเว้นประเทศเยอรมันนี) ดังรูปที่ 1 (Grotkass and Feldmann, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 1 ปริมาณที่เพิ่มขึ้นในการผลิตสปอร์ที่ได้รับมาตรฐานคุณภาพ

ที่มา : Feldmann, 2003

2.5 การผลิตสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

วิธีการผลิตสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1.การผลิตโดยใช้ดิน (Soil Pot Culture)

เนื่องจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเพียงลำพัง แต่ต้องอาศัยพืชในการเจริญเติบโต โดยจะเข้าอาศัยในรากพืช ในการผลิตสปอร์โดยวิธีนี้เป็นวิธีการที่นำดินที่มีเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากบริเวณรอบรากพืช นำมาใส่ในกระถางที่มีดินที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว และปลูกพืชอาศัยโดยใช้เมล็ดที่ฆ่าเชื้อแล้ว หลังจากนั้นนำไปปลูกในโรงเรือนต่อไป วิธีนี้นิยมทำกันทั่วไปในการผลิตเพื่อการค้า

จากการทดลองผลิตสปอร์ในพืช 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด, ข้าวฟ่าง, ลูกเดือย, ถั่วลิสงและ Chickpea พบว่าในข้าวโพดและข้าวฟ่างผลิตจำนวนสปอร์และมีเปอร์เซ็นต์การเข้ารากมากกว่า Chickpea (Simpson and Daft, 1989)

2. การผลิตในสภาพปลอดเชื้อ (Tissue culture)

เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำให้การผลิตสปอร์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีการปนเปื้อนของเชื้ออื่น เพราะจะมีการฆ่าเชื้อของอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆเป็นอย่างดี วิธีนี้ทำโดยนำพืชอาศัยและเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาเลี้ยงในอาหารเลี้ยง เพื่อให้เกิดการพึ่งพาอาศัยกัน ในการเพาะเลี้ยงสามารถใช้อาหารเลี้ยงที่ทำให้รากเจริญเติบโตได้เร็วและไม่มีผลกระทบต่อการขยายพันธุ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา แต่การเพาะเลี้ยงวิธีนี้จะได้ปริมาณสปอร์ไม่มากพอที่จะผลิตเป็นการค้า (Jarster and Sylvia, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การผลิตโดยไม่ใช้ดิน (soilless production)

Hydroponics

เป็นการเลี้ยงเชื้อโดยการเพาะเลี้ยงต้นที่ติดเชื้อก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปปลูกลงในรางไฮโดรโพนิคส์ซึ่งมีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องได้แก่ ขนาดของวัสดุปลูก, สารละลายธาตุอาหาร, ค่า pH และระยะการเก็บเกี่ยว การขยายพันธุ์เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในระบบไฮโดรโพนิคส์ เริ่มขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1983 โดย Elmesและคณะ โดยใช้ถั่ว (*Phasedus vulgaris*) เป็นพืชอาศัยด้วย เทคนิค NFT (Nutrient Film Technique) ซึ่งเป็นระบบไฮโดรโพนิคโดยเทคนิคการเลี้ยงพืชในสารละลายธาตุอาหารที่เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ จากนั้นมีการพัฒนาการผลิตเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแบบ Aeroponic culture ในปี ค.ศ. 1986 (Asif, 1997) ในปัจจุบันได้มีการศึกษาชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ที่เลี้ยงด้วยระบบไฮโดรโพนิคส์แล้วมี 16 ชนิด จาก 4 สกุล ได้แก่ สกุล *Glomus*, *Scutellospora* และ *Acaulospora* และ *Gigaspora* โดยใช้พืชอาศัยหลายชนิด เช่น Phaseolus, Lactuca, Medicago, Trifolium, Zea, Echinochloa, Fagopyrum, Festuca, Glycine, Macroptilum, Phalearis, Setaris, Sorghum, Stylosanthes (Jarster and Sylvia, 1993)

จากการทดลองการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมโดยแบ่งเป็นต้นที่ใส่ mycorrhiza และไม่ใส่ mycorrhiza หลังจากนำไปเลี้ยงในระบบ NFT แล้วพบว่า น้ำหนักแห้งของรากและลำต้น มีความแตกต่างกันระหว่างต้นที่ใส่ mycorrhiza และไม่ใส่ mycorrhiza โดยต้นที่ใส่เชื้อจะมีน้ำหนักแห้งมากกว่าต้นที่ไม่ใส่เชื้อ (Lee and George, 2005)

ขนาดของวัสดุปลูก

ขนาดของวัสดุปลูกเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการขยายพันธุ์ เพราะจะมีอากาศ แสงผ่านเข้าได้ และยังช่วยให้รากเจริญเติบโตผ่านอนุภาควัสดุปลูกได้ง่าย วัสดุปลูกที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ซามีหลายชนิด จึงมีการศึกษาขนาดของวัสดุปลูกหลายชนิด ได้แก่ clay-brick, charcoal, coalmarl, sand และ perlite พบว่าใน sand และ clay-brick ที่ขนาดเดียวกันให้น้ำหนักรากแห้งมากที่สุด และจำนวนของการขยายพันธุ์มากที่สุด ส่วนรากเจริญเติบโตใน clay-brick มากที่สุด ต่อมาได้ทำการทดลองหาจำนวนการเข้ารากของเชื้อ *Glomus intraradices* ที่เพาะเลี้ยงในทรายที่มีขนาดต่างกัน พบว่าทรายขนาด 0.5 – 0.78 มม. ให้เปอร์เซ็นต์การเข้ารากจำนวนสปอร์และน้ำหนักสดของรากมากที่สุด ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ (Gaur and Adholeya, 2000) การเพาะเลี้ยงเชื้อราไมคอร์ไรซาในทรายเป็นที่นิยม เพราะง่ายต่อการแยกสปอร์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวและไม่ทำให้รากได้รับความกระทบกระเทือน (Dugassa and Grunewaldt, 1995) ผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของเชื้อที่เข้ารากได้ จะต้องมี 70 – 80 % ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวด้วย ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 1 – 3 เดือน

สารละลายธาตุอาหาร

ในการเพาะเลี้ยงในระบบไฮโดรโพนิค ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่ส่วนใหญ่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่ต่ำ สารละลายที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ดัดแปลงมาจากสูตร Long Ashton และ Knob plus Hoagland เพราะเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ หรือธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงเช่น ปริมาณ P เนื่องจากความเข้มข้นของ P ที่มากเกินไปจำกัดการเจริญเติบโตของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ได้มีการศึกษาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ระดับต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นของ P ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3 – 24 µmol และได้ผลดีเมื่อปริมาณ P ในสารละลายอยู่ที่ 0.3 – 3 µmol ซึ่งได้ผลเหมือนกับการใช้ P จากหินฟอสเฟต (rock phosphate) ซึ่งสามารถละลายธาตุอาหารออกมาได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนค่า pH ของสารละลายปรับตามความเหมาะสมของพืชอาศัยและเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 6.0 – 7.5 มม. (Jarstfer and Sylvia, 1993)

จากการทดลองใช้ 4-morpholine ethanesulfonic acid (MES) buffer และปริมาณ rock phosphate ที่ผสมในสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงจากสูตร Hoagland พบว่าการใช้สารละลายครึ่งสูตรที่ใส่ 20 µM P และ MES buffer จะทำให้ได้จำนวนสปอร์เท่ากับ 235.0 ± 10.0 สปอร์ต่อกรัมทรายแห้งดังตารางที่ 5 (Millner and Kitt, 1992) ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้สารละลายในการผลิตหัวเชื้อในระบบไฮโดรโพนิคส์ด้วยเทคนิค NFT ได้หัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 60 กิโลกรัม เทียบเท่ากับการผลิตหัวเชื้อโดยการใช้ดินในการผลิตจำนวน 2,500 กิโลกรัม (ใช้พื้นที่ในการผลิต 1 hectare) โดยใช้พื้นที่ในการผลิตด้วยรางพลาสติกเพียง 200 เมตรเท่านั้น (Elmes *et al*, 1983 อ้างโดย Arsif, 1997)

ข้อดี

1. ต้นทุนในการผลิตต่ำ
2. ในการผลิตด้วยวิธีนี้จะใช้ระยะเวลาเก็บเกี่ยวเร็วกว่าวิธีอื่น
3. เก็บเกี่ยวได้สปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้สะอาดและมีประสิทธิภาพ
4. สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารเลี้ยงพืชอาศัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 ผักกาดหอม

สลัด (LETTUCE : *Lactuca sativa* L.) อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) ซึ่งเป็นวงศ์ที่ค่อนข้างใหญ่ ประกอบด้วยพืช 800 สกุล 20,000 กว่าชนิด แต่ส่วนใหญ่ จะเป็นสายพันธุ์ป่ามีเพียงไม่กี่ชนิดที่นำมาปลูกเพื่อการค้า Compositae คือกลุ่มที่มีก้านดอกเดี่ยว มีช่อดอกบนก้านดอกจำนวนมาก ส่วน Asteraceae หมายถึงกลุ่มพืชที่เนื้อเยื่อประกอบด้วยสารคล้ายน้ำนม ในลำต้นและส่วนอื่นๆ สลัดเป็นพืชที่นิยมบริโภคสดและประกอบอาหารมากที่สุด ประกอบด้วย น้ำ 95% คาร์โบไฮเดรท 1-2 % โปรตีน 1-2% และไขมัน 0.25% มีพื้นที่ปลูกรวมกันทุกประเทศมากกว่า 3 แสนเฮกแตร์ ผลผลิตมากกว่า 3 ล้านตัน

Lectuca sativa เป็นสายพันธุ์กลุ่มเดียวที่นำมาปลูกเพื่อการค้า มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบที่ราบด้านตะวันออกของเขตเมดิเตอเรเนียน จากรูปวาดในหลุมฝังศพชาวอียิปต์ พบว่ามีการเพาะปลูกสลัดใบมานานกว่า 4,500 ปีก่อนคริสตศักราช โดยใช้เป็นพืชสมุนไพร (นิพนธ์, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

รากของผักกาดหอมเป็นระบบรากแก้ว มีรากแก้วที่แข็งแรงอวบอ้วน และเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้ถึง 150 เซนติเมตร หรือมากกว่า ลำต้นของผักกาดหอมในระยะแรกจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้ จะเห็นชัดในระยะแทงช่อดอก สูงชะลูดขึ้นจนสามารถเห็นได้ชัดเจน ลักษณะของลำต้นจะตั้งตรง อวบอ้วน เป็นข้อสั้นแต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ ถ้าปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากๆจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 2 นิ้ว ใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ ใบมีสีตั้งแต่เขียวอ่อนเขียวปนเหลืองจนถึงเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาลปนเขียว ขนาดและรูปร่างของใบจะแตกต่างกันตามชนิดของผักกาดหอม พันธุ์ที่ห่อหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหัวอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี บางชนิดมีใบม้วนงอเปราะ มีเส้นใบเห็นชัดเจน ขอบใบมีลักษณะเป็นหยักดอกและช่อดอก ดอกผักกาดหอมมีลักษณะเป็นช่อที่เรียกว่า panicle ประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอกหรือมากกว่า ก้านช่อดอกจะยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ช่อดอกอันแรกจะเกิดที่ยอดก่อน จากนั้นจะเกิดช่อดอกข้างตรงมุมใบ (ศิริอร, 2544) ในสภาพอุณหภูมิสูง ช่วงแสงยาวจะกระตุ้นให้มีการแทงช่อดอกเร็ว ซึ่งเป็นปัญหาของการผลิตในฤดูร้อน (นิพนธ์, 2547) ดอกจะเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน เมล็ดผักกาดหอมเป็นชนิดเมล็ดเดียว (achene) มีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง และจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็กๆลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม ความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิลิตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิลิตร (ศิริอร, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สายพันธุ์ (นิพนธ์, 2547)

สายพันธุ์แบ่งออกตามลักษณะของต้นและแบ่งได้ 6 กลุ่ม

1. Leaf lettuce (*Lactuca sativar* var.*crispa* L.) บางครั้งเรียก bunching lettuce/loose-leaf (สลัดใบ/ผักกาดหอม) สายพันธุ์นี้จะมีลำต้นสั้นและใบเจริญเป็นกระจุก มีใบจำนวนมาก ลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีใบสีเขียวอ่อนเช่น Blackseeded Simpson และ Grand Rapid เป็นต้น

2. Crisp-head (*L.sativa* var *Capitata* L.) บางครั้งเรียก head lettuce หรือ iceberg type (สลัดปลี ผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว หรือ สลัดแก้ว) มีใบขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ใบในจะม้วนและซ้อนกันคล้ายกะหล่ำปลี หัวแน่น ใบจะแง กรอบกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ใบนอกมีสีเขียวเข้ม ใบในมีสีเหลืองปนขาว ทนทานต่อการขนส่ง

3. Butterhead (*L.sativa* var. *capitata* Lam.) บางครั้งเรียก Bibb หรือ Boston lettuce คือสลัดกึ่งห่อหรือสลัดบัตเตอร์ ใบจะอ่อนและนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบในจะมีลักษณะคล้ายมีน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวใบ การปลูกในฤดูหนาว จะให้หัวขนาดใหญ่และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน การปลูกในฤดูร้อน ฤดูฝน ควรปลูกในโรงเรือนที่สามารถลดอุณหภูมิ ความเข้มของแสงและป้องกันฝน บางสายพันธุ์ในกลุ่มนี้จะมีความต้านทานต่อโรคใบด่างของสลัด (Lettuca Mosaic Virus: LMV) รสชาติดีแต่ไม่ทนทานต่อการขนส่ง

4.Cos หรือ Romaine (*L.sativa* var. *longefolia* Bailey) สลัดคอส หรือสลัดโรเมน หรือผักกาดหวาน ใบมีลักษณะตั้งตรงยาวและห่อ สีเขียวเข้มเนื้อใบหนาสีเส้นใบนูนเด่นออกมาด้านหลัง ใบในจะมีปลายโค้งเข้าในทำให้หัวกลมยาว

5. Stem (*L.sativar* var *asparagina*) ในบางครั้งเรียก Asparagus หรือ Celtuce (Celery-Lettuce) มีลักษณะลำต้นสูง ใบจะเรียวยาว เจริญติดๆกันขึ้นไปจนถึงช่อดอก อาจจะทยอยเก็บโดยเริ่มจากใบล่าง ลำต้นสามารถนำไปประกอบอาหารและแปรรูปได้

2.7 เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับผักกาดหอม

Christine and O'shea (1984) ได้ทำการทดลองปริมาณ Ca ที่มีผลต่อเชื้อ *Glomus caledonium* และ *Glomus mosseae* โดยเชื้อ *Glomus mosseae* นี้จะเข้ารากผักกาดหอมได้ดีที่สุด 40 %โดยที่มีความเข้มข้นของ ca ประมาณ 1 meq CaL^{-1} ถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้เปอร์เซ็นต์การเข้ารากจะลดลง (Christine and O'shea, 1984)

Adriana *et al*.(2003) ได้ทำการทดลองเชื้อ Glomus 6 ชนิด ได้แก่ *G. coronatum, G. intraradices, G. claroideum, G.constrictum, G. geosporum* และ *G. mosseae* กับ ต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักกาดหอมที่ไม่ได้ใส่เชื้อ แต่ใส่ N และ P 2 ระดับคือ 4 mM N + 1mM P และ 2 mM N+ 0.5 mM P พบว่าต้นผักกาดหอมที่ ใส่เชื้อ *G. coronatum, G. intraradices, G. claroideum* และ *G. mosseae* มีน้ำหนักต้นสดไม่แตกต่างกับต้นผักกาดหอมที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่ 4 mM N+1mM P ส่วนน้ำหนักรากสดของต้นที่ใส่เชื้อ *G. coronatum, G. claroideum* และ *G. mosseae* มีน้ำหนักไม่แตกต่างกับต้นผักกาดหอมที่ไม่ใส่เชื้อ แต่ใส่ 4 mM N+1mM P (Adriana *et al*., 2003)

Lee and George (2005) ได้ปลูกเชื้อ *Glomus mosseae*(BEG 107) ลงในต้นผักกาดหอม (*Lactuca sativa* var. *capitata*) โดยใช้ glass beads เป็นวัสดุปลูก และปลูกในระบบ NFT โดยใช้สูตรสารละลายดัดแปลง(80 μm P) และกำหนดระยะการให้สารละลายไหลผ่านทุกๆ 15 นาที 6 ครั้งต่อวัน เปรียบเทียบกับการปลูกใน Perlite และรดด้วยสารละลาย พบว่าหลังจากปลูกในระบบ NFT 4 สัปดาห์ต้นผักกาดหอมที่ใส่เชื้อจะมีน้ำหนักรากแห้ง และเปอร์เซ็นต์การเข้ารากมากกว่าที่ปลูกใน Perlite ทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาการผลิตเชื้อในระบบ NFT เพื่อการค้าได้ (Lee and George, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved