บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Sieverding, 1991)

ไมคอร์ไรซา หมายถึง การอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อรากับรากพืช โดยสิ่งมีชีวิตทั้งสองต่างฝ่ายต่างได้รับประโยชน์ร่วมกัน การเข้าไปอยู่อาศัยของเชื้อรากับรากพืช ทำให้สามารถแบ่งชนิดของไมคอร์ไรซา ตามลักษณะการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชเป็น 2 ชนิด คือ เอคโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhiza) และเอนโดไมคอร์ไรซา(endomycorrhiza)

2.1.1 เอคโตไมคอร์ไรซา(ectomycorrhiza)

เชื้อราชนิดนี้จะพบอยู่ตามธรรมชาติของไม้ป่าพวก Gymnosperm สกุล Pinaceae เช่น สนเฟอร พวก Angiosperm เช่น ยูคาลิปตัสและโอ๊ค ลักษณะของเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อเข้าสู่รากพืช เชื้อราจะสร้างโครงสร้างที่เรียกว่า mantle หรือ sheath หุ้มรอบๆราก ฝอย จากนั้นเส้นใยจะเจริญเข้าไปอยู่รอบๆ cortical cell ของรากพืช มีลักษณะเป็นร่างแห เรียกว่า hartig net นอกจากนี้เส้นใยยังแพร่กระจายออกไปรอบๆ ด้านเพื่อดูดอาหาร รากที่มีเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่อาจมีลักษณะเป็นแบบ unforked,bifurcate multiforked nodular ส่วนสีจะแตกต่างไปตามสีของเส้นใย ซึ่งอาจมีสีขาว น้ำตาล แดง และเหลืองเป็นต้น เชื้อที่พบส่วนใหญ่อยู่ใน Class Basidiomycetes ซึ่งสร้าง fruiting body เห็ด หรือ puffball รองลงมาคือ Class Ascomycetes เช่น พวก puffles

2.1.2 เอนโดไมคอร์ไรซา(endomycorrhiza)

เชื้อราชนิดนี้ เส้นใยจะอยู่รวมกันอย่างหลวมๆ รอบๆรากพืชหรือเข้าไปเจริญในเซลล์ของราก โดยเฉพาะกลุ่มเซลล์ในชั้น cortex เท่านั้น เชื้อราในกลุ่มนี้หากพิจารณาการมีผนังกั้นแล้วแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ พวกที่มีเส้นใยผนังกั้น(septate mycorrhiza)และพวกเส้นใยที่ไม่มีผนังกั้น(nonseptate mycorrhiza) พวกที่มีผนังกั้น ได้แก่เชื้อราใน Genus Ericeae และ Orchidaceae ส่วนพวกเส้นใยที่ไม่มีผนังกั้น ได้แก่ เชื้อราใน Class Phycomycetes ซึ่งเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาก็จัดอยู่ในกลุ่มนี้เช่นกัน เดิมทีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเรียกว่า เวสิคูลาร์ อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา หรือ วีเอไมคอร์ไรซา แต่จากการศึกษาต่อมา พบว่า เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาบางชนิดไม่มีการสร้างเวสิเคิลในรากพืช ดังนั้นจึงเรียกชื่อใหม่ว่า อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา(arbuscular mycorrhizal fungi:AMF) อย่างไรก็

ตามในปัจจุบันยังมีผู้นิยมใช้ชื่อ เวสิคูลาร์ อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา ในกลุ่มของเอนโดไมคอร์ไรซา ยังสามารถแบ่งย่อยตามชนิดของพืชอาศัย และลักษณะของเส้นใย เป็น 6 ชนิด ได้แก่ Ectendo, Abutoid, Monotropoid, Ericoid, Orchid และ Abuscular Mycorrhiza ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 (Brundrett และคณะ, 1997)

2.1.3 การจัดจำแนกชนิดของเชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซา

Hacskayko(1971) อ้างโดยโสภณ(2540) ได้แบ่ง endotrophic mycorrhiza ออกเป็นสองกลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่มีผนังกั้นเส้นใยเรียกว่า septate fungi และกลุ่มที่ไม่มีผนังกั้น เรียกว่า nonseptate fungi ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเชื้อราในกลุ่ม Phycomycetes เรียกว่า Vesicular- arbuscular mycorrhiza (วีเอไมคอร์ไรซา)

Gerdemann และTrappe(1974) อ้างโดยอภิญญา และสายสมร(2536)ได้จัดเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาอยู่ในอาณาจักร Mycetae Division Zygimycotina Class Phycomycetes Order Endogonales Family Endogonaceae มี 7 สกุล คือ *Endogone*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Modicella*, *Glomus*, *Sclerocystis* และ *Glaziella*

Schenck และ George(1982 อ้างโดยอภิญญา และสายสมร, 2536) ได้พบสกุลใหม่อีก 2 สกุล คือ *Complexipes* และ *Entrophospora*

Sieverding(1991) จัดเชื้อราไมคอร์ไรซาอยู่ใน Class Zygomycetes Order Endogonales Family Endogonaceae ซึ่งมีทั้งหมด 7 สกุล คือ *Endogone*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus*, *Entrophospora*, *Sclerocystis* และ *Scutellospora* ทุกจีนัสมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ยกเว้น *Endogone* ที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เชื้อไมคอร์ไรซานี้ จะสร้าง sporangiosproe หรือ chlamydospore หรือ azygospore ในการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัย chlamydospore มี 2 genus คือ *Glomus* และ *Sclerocystis* และพวกที่สร้าง azygospore ได้แก่ Genus *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* และ*Scutellospora*(Walker, 1986 อ้างโดยโสภณ, 2540) ส่วนพวกที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการสร้าง zygospore มีเพียง genus เดียว คือ *Endogone*

ในปัจจุบันได้จำแนกเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไว้ใน Class Zygomycetes Order Glomales โดยแบ่งเป็น 2 Suborder คือ Glomineae และ Gigaspoineae ใน Suborder Glomineae ประกอบด้วย 2 family คือ Glomaceae มี สมาชิกอยู่ 2 genus คือ *Glomus* และ *Sclerocystis* และ Acaulosporaceae มีสมาชิกอยู่ 2 genus คือ *Acaulospora* และ *Entrophospora* ส่วน Suborder Gigasporineae ประกอบด้วย Family เดียว คือ Gigasporaceae ซึ่งมีสมาชิก 2 genus ได้แก่ *Gigaspora* และ*Scutellospora*(Morton และ Benny,1990 อ้างโดยโสภณ, 2540)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเชื้อราไมคอร์ไรซาประเภทต่างๆ

	VAM	ECM	Ectendo	Arbutoid	Monotropoid	Ericoid	Orchid
Root structure							
Septate hyphae	-(+)	+-	+-	+	+	+	+
Hyphae in cell	+	-(+)	+	+	+	+	+
Hyphal coils	+-	-	+	+	-	+	+
Arbuscules	+	-	-	-	-	-	-
Fungal sheath	-	+(-)	+(-)	+	+	-	-
Hartig net	-	+	+	+	+	-	-
Vesicle	+-	-	-	-	-	-	-
Host plant (Chlorophyll)	Vascular plant	Gymnosperms & Angiosperm		Ericales	Monotropaceae	Ericales	Orchidaceae
Fungi	Zygo-, Glomales	Most Basid-, but some Asco- and Zygo-				Asco-(Basid-)	Basid-

- = absent, + = present, (+) = sometimes present, (-) = sometimes absent, +- = present or absent,

Basid- = Basidiomycetes, Asco- = Ascomycetes, Zygo- = Zygomycetes

ที่มา : Brundrett และ คณะ(1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ลักษณะสำคัญที่ใช้ในการจัดจำแนกชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ได้แก่ ขนาดของสปอร์, ผนังของสปอร์, ลักษณะการงอกของสปอร์, ลักษณะของ sporocarp, hyphal mantles spore ornamentation, spore content, hyphal attachment, soil borne auxillary cell และปฏิกิริยาทางเคมีของเนื้อเยื่อ (Trappe และ Schenck, 1982)

อภิญญา และสายสมร(2536) ได้เก็บรวบรวมและวินิจฉัยชนิดของสปอร์ของเวสิคูลาร์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่ลุ่ม 70 ตัวอย่าง และดินบนที่สูง 58 ตัวอย่าง ในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ตัวอย่างดินในที่ลุ่มมีเวสสิคูลาร์ อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา16 ชนิด อยู่ในสกุล *Glomus* 11 ชนิด สกุล *Gigaspora* 3 ชนิด และ สกุล *Sclerocystis* 2 ชนิด ดินบนดอยพบ เวสสิคูลาร์ อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซารวม 15 ชนิด อยู่ในสกุล *Glomus* 9 ชนิด สกุล *Gigaspora* 3 ชนิด สกุล *Sclerocystis* 2 ชนิด และ Type 8 Swart *et al.*

จากรายงานของ Meng และคณะ (1977) อ้างโดยอภิญญา และสายสมร(2536) เชื้อราวีเอไมไคอร์ไรซาที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชตระกูลส้ม มี 9 ชนิด ได้แก่ *Glomus fasciculatus*, *Glomus macrocarpus*,. *Glomus mosseae*, *Glomus caledonicum*, *Glomus monosporum*, *Glomus macrocarpus*, *Glomus constrictus* , *Sclerocystis sinuosa* และ *Gigaspora margarita*

สุเทพ(2531) ได้สำรวจและศึกษาเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาจากดินบริเวณรากถั่วลิสง 2 ตัวอย่าง จาก 8 จังหวัดในประเทศไทย พบว่า มีเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซา จำนวน 6 genus 29 species คือ *Acualospora* 4 species *Entrophospora* 2 species *Gigaspora* 3 species *Glomus* 8 species *Sclerocystis* 5 species และ *Scutellospora* 7 species และพบว่า เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาที่มีการแพร่กระจายมากที่สุด คือ *Acualospora scorbiculata*, *Sclerocystis sinuosa* และ *Glomus* spp.

โสภณ(2540)ได้สำรวจและเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกข้าวโพด จาก 6 อำเภอ ใน 3 จังหวัด คือ อ.พัฒนานิคม อ. ลำนารายณ์ อ. ชัยบาดาล อ. โคกสำโรง จังหวัดลพบุรี อ. พระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และ อ.ปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 34 ตัวอย่าง พบว่า ในแต่ละอำเภอมีจำนวนสปอร์ของเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาทั้งหมดแตกต่างกันไป โดยพบจำนวนสปอร์ตั้งแต่ 4 ถึง 84 สปอร์ต่อดิน 1 กรัม จากสปอร์ที่แตกต่างกัน 12 ชนิด สามารถเพิ่มปริมาณในกระถาง โดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชอาศัยได้เพียง 4 ชนิด คือ *Acualospora spinosa*, *Glomus aggregatum*, *Sclerocystis rubiformis* และ *Scutellospora* sp. เชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาทั้ง 4 ชนิด สามารถเข้าอยู่อาศัยในถั่วลิสงได้

มลชัย(2541) ได้สำรวจและเก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของเชื้อราเวสิคูลาร์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากพื้นที่ปลูกปอแก้วใน 5 จังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ

จังหวัดขอนแก่น นครราชสีมา ร้อยเอ็ด มหาสารคาม และกาฬสินธุ์ พบสปอร์ของเชื้อราวีเอไมคอร์ไรซาในตัวอย่างดินจำนวนประมาณ 21 ถึง120 สปอร์ต่อดิน 1 กรัม สามารถจำแนกชนิดออกได้เป็น 5 สกุล 14 ชนิด ได้แก่ *Acaulospora scrobiculata*, *A. spinosa*, *Enthrophospora* sp.NO.1,*Gigaspora magarita*, *Gigaspora* sp., *Glomus mannihotis*, *G. geosporum*, *G. occultum*, *G.* sp. NO.1, *G.* sp. NO.2. *Scutellospora gregaria*, *S. heterogama* และ *S.* sp.NO.1

2.1.4 การพัฒนาการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา(Bagyaraj, 1991)

ในการเข้าสู่รากพืชของเชื้อราเอนโดไมคอร์ไรซาประกอบด้วยระยะต่างๆ ดังนี้

2.1.4.1 ระยะก่อนการเข้าสู่รากพืช สปอร์หรือชิ้นส่วนของรากพืชที่มีเส้นใยเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเจริญอยู่ภายในงอกเส้นใยออกมา โดยเฉพาะการงอกของสปอร์และการเจริญขั้นต้นของ germ tube ในดินนั้นมีปัจจัยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สารบางอย่างที่ปล่อยออกมาจากรากพืช (root exudate) ซึ่งกระตุ้นการงอกของสปอร์ และการเจริญของเส้นใย (Sigueirra และคณะ, 1982 ; Graham, 1982) คุณสมบัติของดิน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ธาตุอาหารในดิน จุลินทรีย์อื่นๆในดิน(Daniel และ Trappe, 1980 อ้างโดยพรทิพย์, 2537) เป็นต้น เมื่อ germ tube ไม่สัมผัสกับรากพืชอาศัย จะทำให้ประสิทธิภาพการเข้าอยู่รากพืชหมดไปภายในช่วงเวลา 2-3 วันหรือ หลายสัปดาห์

2.1.4.2 การแทงเส้นใยเข้าสู่รากพืช เมื่อเส้นใยเจริญเข้าไปสัมผัสผิวเซลล์รากพืช (epidermal cell) ปลายเส้นใยจะพัฒนาเป็น appressorium ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สำคัญในการแทงเส้นใยผ่านชั้น epidermis ของราก หลังจากระยะนี้แล้วการเจริญของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต้องอาศัยพืชอาศัยเป็นสำคัญ เส้นใยหลักจะแตกแขนงและแทงเส้นใยผ่านผนังเซลล์ของเซลล์ผิวรากหลายจุด ซึ่งเส้นใยที่เข้าในรากพืชนั้นมีผนังหนา สีเหลือง ภายในประกอบด้วย นิวเคลียสและไซโตพลาสซึมจำนวนมาก มีรูปร่างไม่แน่นอน เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 20-27 ไมครอน (Seiverding, 1991) เส้นใยจะเจริญแทรกอยู่ระหว่างเซลล์รากจนถึงชั้น cortical cell เนื่องจากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีกลไกลพิเศษที่จะแยกความแตกต่างของพืชอาศัยได้ จึงทำให้เชื้อชนิดนี้สามารถเข้าอยู่ในพืชอาศัยต่างๆได้หลายชนิด และนอกจากนี้ยังพบว่า การแทงเส้นใยเข้าสู่รากมักเกิดกับรากขนอ่อน และรากแขนงอ่อนๆ มักเกิดห่างจากปลายรากประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร การเจริญของเส้นใยจะกระจายตัวอยู่เฉพาะชั้น epidermis และ ชั้น cortex ของราก ไม่เจริญเข้าไปถึงชั้นเนื้อเยื่อเจริญรวมทั้งเซลล์ที่มี chloroplast (Powell และ Bagyaaj, 1984) โดยทั่วไปเส้นใยจะเจริญในลักษณะขดเป็นวง(coil hyphae) หรือ โป่งบวม(swelling)หรือ แตกแขนงเป็นกิ่งก้านขนาดเล็ก(minute branch)

2.1.4.3 การเกิดอาบัสคูล(arbuscule)และเวสิเคิล(vesicle) เมื่อเส้นใยเจริญอยู่ภายในเซลล์ของรากแล้วจะสร้างโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า อาบัสคูลและเวสิเคิล การสร้างอาบัสคูลมักจะ

เกิดขึ้นหลังจากเส้นใยแทงเข้าสู่รากแล้ว 2-5 วัน เกิดขึ้นในชั้น cortex บริเวณ inner cortex และส่วนใหญ่จะเกิดที่ปลายสุดของเส้นใย แต่ในพืชบางชนิด อาบัสคูลอาจเกิดที่ด้านข้างของเส้นใยก็ได้ อาบัสคูลจะเกิดจากการแตกแขนงของเส้นใยแบบ dichotomous branching ไปเรื่อยๆ มีลักษณะคล้ายพุ่มไม้เล็ก ปลายสุดของแขนงจะแคบและแหลม บางครั้งอาจจะพองเป็นกระเปาะกลมๆ เรียกว่า sporangioles(Harly และ Smith, 1983) ซึ่งอาบัสคูลจะถูกจำกัดให้เจริญอยู่เพียงชั้น cortex ด้วยการล้อมรอบด้วย plasmalemma ของเซลล์รากพืช เนื่องจากพื้นผิวสัมผัสของอาบัสคูลมีจำนวนมาก ดังนั้นจึงทำให้เกิดการติดต่อกันระหว่างเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและพืชมากขึ้น โดยมี interfacial matrix เป็นตัวเชื่อมทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสาร metabolite และสารอาหารระหว่างเชื้อรากับพืช อาบัสคูลมีอายุประมาณ 4-15 วันเท่านั้น หลังจากนั้นจะถูกเซลล์พืชย่อยสลายไป ซึ่งจะทำให้พืชได้รับสารอาหารจากการย่อยสลายอาบัสคูลด้วย ซึ่งจะเกิดอย่างต่อเนื่องในเซลล์พืช แต่เซลล์พืชยังคงมีชีวิตและทำงานได้ตามปกติ ในขณะเกิดอาบัสคูลหรือหลังจากอาบัสคูลสลายตัวไป จะพบว่าการสร้างเวสิเคิลโดยเกิดจากปลายเส้นใยหรือเซลล์บริเวณหนึ่งของเส้นใยโป่งออกมา รูปร่างค่อนข้างกลมหรือรูปไข่ มีขนาดตั้งแต่ 30-100ไมครอน มักพบบริเวณ cortex ชั้น outer cortex พบระหว่างหรือภายในเซลล์ของรากพืช จำนวนและขนาดของเวสิเคิลจะแตกต่างกันตามชนิดของเชื้อราและพืชอาศัย เชื้อราใน จีนัส *Gigaspora* และ *Scutellospora* จะไม่สร้างเวสิเคิล ยกเว้นในบางสปีชีส์เท่านั้น เชื้อ *Gigaspora* จะสร้าง auxiliary cell ในเส้นใยที่อยู่นอกราก ในระยะแรกโปรโตพลาสซึมของ เวสิเคิลจะประกอบด้วยนิวเคลียส เม็ดไกลโคเจน เม็ดไขมัน และแวคคิวโอลขนาดเล็ก เมื่อเวสิเคิลมีอายุมากขึ้น จะพบเม็ดไขมันเป็นส่วนใหญ่ ผิวของเวสสิเคิลจะเรียบ แบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามความหนาแน่นของอิเลคตรอน โครงสร้างดังกล่าวสามารถเจริญต่อไปเป็น chlamydospore บางชนิดมีการสร้างสปอร์ภายในเวสิเคิล และพัฒนาเป็น sporangium ต่อไป สำหรับหน้าที่นั้นเวสิเคิลจะกักเก็บไขมัน และสามารถดำรงชีวิตในสภาพที่ไม่เหมาะสมได้(Harley และ Smith, 1983)

2.1.4.4 การกระจายของเชื้อราในดิน นอกจากเส้นใยจะเจริญแพร่ไปทั่วในเซลล์ชั้น cortex แล้วยังมีบางส่วนที่เจริญแพร่ออกมานอกรากและกระจายไปในดินรอบบริเวณราก (rhizosphere)และไกลออกไปจากรากเพื่อแทงเข้าสู่รากอื่นๆต่อไป โดยอาจมีความยาวมากกว่า 14 เมตร ต่อรากพืช 1 เซนติเมตร เส้นใยที่เจริญอยู่นอกรากมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อรา ประเภทของดิน และสภาพแวดล้อม บางครั้งอาจจะไม่พบเส้นใยที่เจริญภายนอก หรือพบเส้นใยสายสั้นๆ (hyphal fragment) เพียงเล็กน้อยหรือเจริญเกาะกันเป็นแผ่นรอบๆราก หรือรวมกันอย่างหลวมๆ อาจมีบางส่วนที่เจริญยื่นมาจากรากสู่ดินยาวประมาณ 1 เซนติเมตร เส้นใยที่เจริญอยู่นอกรากมี 2 ลักษณะ คือชนิดที่มีผนังหนาและผนังบาง เส้นใยที่มีผนังหนาจะมีผิวหยาบ อ้วนและที่ด้านข้างด้านใดด้านหนึ่งจะมีการโป่งบวมออกของผนังมีลักษณะเหมือนหน่อ เล็กสั้นและทำมุมกับ

เส้นใย มักมีไซโตพลาสซึมอยู่มาก สามารถมองเห็น oil globule ชัดเจนเมื่อย้อมด้วย Sudan IV ไม่มีผนังกั้น แต่บางที่อาจเกิดผนังกั้นขึ้นได้เนื่องจากมีส่วนของเส้นใยตายลง เส้นใยที่มีผนังหนาและมีผนังกั้นนี้มักพบเวสิเคิลอยู่รวมด้วย มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20-27 ไมครอน สามารถแตกกิ่งก้านแบบ dichotomous branching เส้นใยแขนงมีผนังหนาไม่สม่ำเสมอยาวประมาณ 3 ไมครอน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5-10 ไมครอน เส้นใยที่มีผนังหนามีหลายนิวเคลียสซึ่งแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใย นิวเคลียสจะรวมตัวกันเฉพาะบริเวณที่มีการสร้างเวสิเคิล ส่วนเส้นใยที่มีผนังบางมักมีอายุสั้น ในระยะแรกไม่มีผนังกั้น ต่อมาก็จะเกิดผนังกั้นขึ้น เส้นใยมีผิวเรียบ เส้นผ่าศูนย์กลางไม่ค่อยสม่ำเสมอตั้งแต่ 2-7 ไมครอน มีสีใสอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบภายในได้หายไป ส่วนของเส้นใยที่มีผนังบางนั้นเกิดจากการแตกแขนงของเส้นใยที่มีผนังหนา เส้นใยนอกรากมีความสำคัญในการดูดดึงธาตุอาหารจากสารละลายดิน และเคลื่อนที่ย้ายไปยังรากพืช(Seiverding, 1991) เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เส้นใยจะยืดยาวออกและสานกันเป็นร่างแห และสร้างโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ

2.1.4.5 การสร้างสปอร์ ประมาณ 3 เดือนหลังจากเข้าอยู่อาศัยในรากพืชและเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเริ่มสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศในดิน ซึ่งสปอร์อาจถูกสร้างเป็นสปอร์เดี่ยวๆ หรือรวมกันเป็นกลุ่มๆที่เรียกว่า sporocarp สปอร์มีลักษณะกลมหรือรี ขนาดตั้งแต่ 50-60 ไมครอน ผนังหนาและมีหลายชั้น มีสีตั้งแต่สีอ่อนจนถึงเข้ม ภายในมีไขมันสะสมอยู่มาก มีส่วนของเส้นใยคล้ายหาง(subtending hyphae)หรือรูปร่างเป็นท่อนตรง หรือเป็นกระเปาะและมีผนังหนาที่เรียกว่า chlamydospore

วิธีการต่างๆที่เส้นใยจะแทงผ่านเซลล์รากพืชขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาของพืช โดยเฉพาะความหนาของผนังราก และการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณรากในดินมีความหนาแน่นมากขึ้น(เกศสุดนธ์, 2535) เมื่อเชื้อราดังกล่าวเข้าสู่รากพืช จะมีผลทำให้ลักษณะรูปร่างของรากเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่บางครั้งอาจพบว่า สีของรากเปลี่ยนแปลงสีขาวเป็นสีเหลือง โดยความเข้มของสีจะขึ้นอยู่กับปริมาณการเข้าสู่รากของเชื้อราดังกล่าว แต่สีเหลืองที่เกิดขึ้นนี้เมื่อถูกแสงอาทิตย์ก็จะสลายไปและเนื่องจากเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีของรากจึงไม่สามารถใช้เป็นดัชนีการเข้าสู่รากของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เช่น การเพิ่มขนาด จำนวนกิ่งก้านที่แตกสาขาของราก หรือการลดลงของรากขนอ่อนยังคงดำเนินไปอย่างปกติเหมือนรากทั่วไปที่ไม่มีเชื้อราอาศัยอยู่ภายใน(Harley และ Smith, 1983) จึงเป็นการยากในการแยกความแตกต่างระหว่างรากที่มีและไม่มีเชื้อราอาศัยอยู่ (พรทิพย์, 2537อ้างโดย บุษกร, 2541)

การเข้าสู่รากพืชของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ initial stage(lag phase)เป็นช่วงที่เส้นใยเชื้อราเริ่มแทงเข้าสู่รากพืช ระยะที่สอง คือ rapid growth phase หรือ exponential phase เป็นช่วงที่มีการพัฒนาการของเส้นใยในราก เชื้อราแพร่กระจายอย่างรวดเร็วในรากและเจริญต่อไปอย่างรวดเร็ว ในระยะนี้เชื้อราจะมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าเซลล์ของรากพืช และระยะที่สาม คือ stable phase หรือ plateau phase เป็นระยะที่เชื้อราและรากเจริญในอัตราที่คงที่ คือ เชื้อรามีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับเซลล์รากพืช(Sutton, 1973อ้างโดย Miranda และ Hani. 1994;Sieverding, 1991)

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้าสู่รากพืช และการเจริญของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

2.1.5.1เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

เชื้อแต่ละชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชต่างกัน โดยสัมพันธ์กับรูปของเชื้อที่ใช้ใส่ให้พืชซึ่งได้แก่ สปอร์หรือชิ้นส่วนของรากที่มีการเจริญของเชื้อภายในรากและชนิดของพืชที่ได้รับการปลูกเชื้อ แต่การเพิ่มปริมาณของเชื้อตั้งต้นจะไม่ช่วยให้การเจริญเข้าสู่รากเร็วขึ้นหรือลดอัตราการเจริญของพืชลง (Hall, 1976 อ้างโดย พรทิพย์, 2537) เชื้อตั้งต้นอาจใช้ดินซึ่งมีทั้งชิ้นส่วนของรากที่มีเชื้อ เส้นใย และสปอร์ หรือเฉพาะรากที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ หรือเฉพาะ สปอร์ การใช้ดินซึ่งมีทั้งชิ้นส่วนของรากที่มีเชื้อ เส้นใย และสปอร์ สามารถเพิ่มปริมาณของไมคอร์ไรซาได้มากกว่าการใช้รากหรือสปอร์(สมคิด, 2528) ในสภาพธรรมชาติ จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น และเปลี่ยนไปตามฤดูกาล

2.1.5.2 พืชอาศัย

การเข้าสู่รากพืชชนิดต่างๆของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซานั้น มีรายงานว่า genome ของพืชอาศัยเป็นส่วนชักนำให้เชื้อ *Glomus dimorphicum* เข้าสู่รากพืช ลักษณะทางสัณฐานของเชื้อในรากแตกต่างกันไปในแต่ละพืชอาศัย ระดับการเข้าสู่รากข้าวบาร์เลย์ต่ำ แต่ในพืชตระกูลถั่ว อัลฟัลฟาและหอมสูง และสูงที่สุดใน red clover และรากข้าวโพด ส่วนเส้นใยที่พบในรากนั้นในข้าวโพด อัลฟัลฟา และ red clover มีลักษณะม้วนเป็นวง และพบเวสิเคิล พืชตระกูลถั่วเท่านั้นในขณะที่อาบัสคูลพบในพืชทุกชนิดยกเว้นข้าวบาร์เลย์ (Boyetchko และ Tewari, 1990) เชื้อสามารถสร้างสปอร์ในข้าวฟ่างได้มากกว่าข้าวโพด (Simpson และ Daft, 1990) สำหรับเชื้อ *G. macrocarpum* และ *G. mosseae* นั้น ชนิดพืชอาศัยไม่มีอิทธิพลต่อการสร้าง สปอร์ และพบว่า การสร้างสปอร์ไม่มีความสัมพันธ์กับการเข้าอยู่อาศัย(Hetrick and Bloom, 1986 อ้างโดย โสภณ, 2540)

2.1.5.3 จุลินทรีย์อื่นๆ

เชื้อราหลายชนิดมีลักษณะเป็น hyperparasite ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เช่น *Rhizidiomycopsis* sp. (Schenck และ Nicolson, 1977 อ้างโดย มลชัย, 2541) *Phlyctochytrium* sp. , *Pythium* sp. (Ross และ Ruttenculture, 1977) *Labrinthula* sp. (Koske, 1981 อ้างโดยมลชัย, 2541) *Anguillospora pseudolongissima* และ *Humicola fuscoatra*(Daniel และ Menge, 1980) การงอกสปอร์ของเชื้อ *Glomus clarum*, *Glomus erunicatum* และ *Glomus macrocarpum* เมื่อมีการปนเปื้อนของเชื้อราชนิดอื่น พบว่า การงอกลดลง เชื้อราที่ปนเปื้อนมักเป็นพวก *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma* และ *Chaetomium* หลายสปีชีส์ สารสกัดที่ได้จากเชื้อรา *Aspergillus niger* ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายและระเหยได้ มีผลในการยับยั้งการงอกและเส้นใยที่งอกออกมาจากสปอร์เชื้อ *Glomus mosseae* บนอาหาร water agar และประสิทธิภาพการยับยั้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ถ้าเลี้ยง *A. niger* บนอาหาร malt extract agar นอกจากนั้น ถ้าใส่เชื้อ *Aspergillus niger* ลงไปพร้อมหรือก่อนปลูกข้าวโพด และผักกาดหอม 2 สัปดาห์ น้ำหนักแห้งต้นและเปอร์เซนต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลง แต่ถ้าใส่เชื้อ *Glomus mosseae* ก่อนใส่เชื้อ *Aspergillus niger* 2 สัปดาห์ จะไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งและเปอร์เซนต์การเข้าอยู่อาศัยในราก รายงานของ McAllister และคณะ(1995) ซึ่งให้ผลแตกต่างจากรายงานของ Tarafdar และ Marschner(1995) ซึ่งพบว่า การใช้เชื้อรา *Aspergillus fumigatus* ร่วมกับเชื้อ *Glomus mosseae* สำหรับปลูกข้าวสาลี โดยเติมอินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูป sodiumphytrate ปริมาณ 200 ppm พบว่า น้ำหนักแห้งของต้นและราก รวมทั้งความยาวรากและปริมาณเอนไซม์ phosphatase เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในกลุ่มเชื้อราที่ย่อยสลายซากพืชซากสัตว์บางชนิดที่แยกได้จากน้ำสกัดอินทรีย์สารจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma aureoviride*, *Penicillium decumbens* และ *Aspergillus fumigatus* เมื่อนำมาทดสอบการงอกของสปอร์ที่อยู่ในระยะฟักตัวและการพัฒนาเส้นใยของเชื้อ *Glomus mosseae* พบว่า เชื้อราทั้งหมดสามารถกระตุ้นการพัฒนาของเชื้อ *Glomus mosseae*ได้เมื่อมีเชื้อ *Trichoderma* sp. อยู่ด้วย โดยอัตราการงอกเกิดเร็วขึ้นและการพัฒนาเส้นใยเพิ่มขึ้น การปลูกเชื้อราชนิดอื่นๆไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์การงอกสปอร์หลังจากบ่มเชื้อไว้นาน 20 วัน(Calvet และคณะ, 1992) นอกจากนี้ยังมีรายงานของโสภณ(2540) ซึ่งพบว่า เชื้อรา *Chaetomuim erraticum* และ *Penicillium javanicum* ที่แยกได้จากผิวสปอร์เชื้อ *Scutellospora* sp. ในระหว่างที่เก็บสปอร์ในดินแห้งที่ 4 องศาเซลเซียส และเมื่อปลูกเชื้อทั้งสองลงไปบนสปอร์ *Scutellospora* sp. เพื่อพิสูจน์การเป็นปรสิต พบว่า สปอร์ของ *Scutellospora* sp. มีเปอร์เซนต์การติดเชื้อ *Chaetomuim erraticum* และ *Penicillium javanicum* เท่ากับ 73.8 และ 78 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

สปอร์ของเชื้อ *Glomus versifome* ที่มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียภายหลังจากฆ่าเชื้อที่ผิว สปอร์แล้ว การงอกสูงกว่าสปอร์ที่ไม่มีแบคทีเรียปนเปื้อน โดยเส้นใยมีลักษณะเรียบ แตกกิ่งก้านยาวกว่า เวสิเคิลขนาดเล็ก สปอร์ของ *Glomus versifome* สามารถกระตุ้นให้งอกได้โดยแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas* และ *Corynebacterium* (Mayo และคณะ, 1986) ตลอดจนสารสกัดจากเซลล์แบคทีเรียพวก *Azotobacter chroococum*, *Azospirillium brasilense*, *Azospirillium lipoferum*

จากการศึกษาอิทธิพลของ *Streptomyces avermitilis*, *Streptomyces griseus* และ *Streptomyces orientalis* ต่อการงอกสปอร์ *Gigaspora margarita*, *Glomus mosseae* และ *Scutellospora heterogama* Tylka และคณะ (1991) พบว่า การงอกของสปอร์ *Gigaspora margarita* ถูกกระตุ้นโดย *Streptomyces orientalis* ส่วนสปอร์ *Glomus mosseae* ถูกกระตุ้นโดย *Streptomyces avermitilis* และ *Streptomyces griseus* บน double layer water agar และงอกได้น้อยบน water agar ที่ไม่มีโคโลนีของ *Streptomysces* อยู่ pH ของอาหารไม่มีผลต่อการงอกของสปอร์ *Glomus mosseae* สำหรับการงอกของสปอร์ *Scutellospora heterogama* ถูกยับยั้งโดย *Streptomyces orientalis* และ *Streptomyces avermitilis* บน double layer water agar แต่ถูกกระตุ้นโดย *Streptomyces orientalis* ในจานเพาะเลี้ยงแบบ four-compartment และการงอกของ *Scutellospora heterogama* สัมพันธ์กับ pH ของอาหาร นอกจากนี้ Singh และคณะ(1991)ยังพบว่า เมื่อมีการปลูกเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่เมล็ดพืชตระกูลถั่ว คือ กระถินไทย ถั่วเหลือง ถั่วมะแฮะ ถั่วดำเมล็ดเล็ก ถั่วเขียว ทำให้การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในธรรมชาติ การเกิดเวสสิเคิล อาบัสคูล และปริมาณสปอร์เพิ่มขึ้น

สารประกอบ volatile ของ Actinomycetes ที่แยกได้จากดินไร่จำนวน 19 ตัวอย่าง บางชนิดช่วยเพิ่มการงอกของสปอร์เชื้อ *Gigaspora margarita* ได้มากถึง 73% ในขณะที่การไม่ใส่สารประกอบ volatiles มีอัตราการงอกเพียง 25% หลังจากใส่สารดังกล่าวครบ 11 วัน ตรวจพบ Actinomycetes ที่มีรูปร่างเป็นเกลียว เส้นใยเชื้อ *Gigaspora magarita* มีสีเข้ม แต่ไม่พบ melanin หรือเม็ดสีที่ละลายน้ำได้ปริมาณของ volatile 2-methyl isoborneol ที่ผลิตได้โดยเชื้อ Actinomycetes มีความสัมพันธ์กับการงอกของเชื้อ *Gigaspora magarita*

2.1.5.4 สารเคมี

การเข้าอยู่อาศัยในพืชของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่มักจะเกิดจากสปอร์ในดินงอก germ tube เพื่อแทงเข้าสู่รากพืช ถึงแม้ว่าเชื้อจะมีความจำเพาะต่อพืชอาศัยน้อย แต่จากรายงาน พบว่า การงอกของสปอร์มีสาเหตุเบื้องต้นมาจากสารเคมีบางชนิดที่ปลดปล่อยออกมาจากรากพืชอาศัย ซึ่งจะกระตุ้นการงอกของสปอร์ และการเข้าอยู่อาศัยในราก นอกจากนี้ยังพบว่าสปอร์บางครั้งมีการพักตัวซึ่งอาจเกิดจาก สารเคมีบางชนิดในสปอร์ที่สามารถยับยั้งการงอกของ

germ tube ได้ สปอร์ของ *Glomus microcarpum* งอกได้ดีหลังจากทำให้ปัจจัยเกี่ยวกับการพักตัวหมดไป.(Godfrey,1957 อ้างโดยมลชัย, 2541) สปอร์ของ *Glomus epigaeum* งอก germ tube ได้ยาวและแตกแขนงได้มากเมื่อถูกกระตุ้นด้วยสารประกอบที่รากปลดปล่อยออกมา (root exudate) (Graham, 1982) สาร Glicosinolate และ isothiocyanate ที่สกัดได้จากรากพืชวงศ์ Cruciferae ได้แก่ กระหล่ำปลี เรฟ แรดิช และสปิแนส ซึ่งไม่ใช่พืชอาศัย สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของ *Glomus mosseae* สารบางชนิดที่ปลดปล่อยออกมาจากรากแครอทซึ่งเป็นพืชอาศัยของเชื้อ สามารถกระตุ้นการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Gigaspora margarita* (Becard และ Piche, 1989) สาร flavonoid quercertin ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาจากเมล็ดอัลฟัลฟาที่ระดับความเข้มข้น 1-2.5 ไมโครโมล ส่งเสริมการงอกของสปอร์ *Glomus etunicatum* และ *Glomus macrocarpum* โดยช่วยเพิ่มการงอกของ สปอร์และความยาวของเส้นใย และการแตกกิ่งของเชื้อ *Glomus etunicatum* ได้สูงสุด ส่วน dihydroxyflavone ซึ่งปลดปล่อยออกจากรากอัลฟัลฟาช่วยให้สปอร์ของเชื้อ *Glomus etunicatum* งอกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ formononetin ซึ่งเป็น isoflavone ซึ่งถูกปล่อยออกมาจากรากอัลฟัลฟาในสภาพเครียดยับยั้งการงอกของสปอร์ *Glomus etunicatum* และ *Glomus. macrocarpum* (Tsai และ Philips. 1991) สาร hydroxybenzyl isothiocyanate ซึ่งสกัดจากรากพืชวงศ์กระหล่ำ 5 ชนิด คือ *Brassica kaber*, *Brassica napus*, *Brassica campestris*, *Thlaspiareense* และ *Rhaphanus raphanistrum* สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อ *Glomus etunicatum* โดยทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงจาก 84% เหลือ 33%(Schreiner และKoide, 1993)

2.1.5.5 ยาปราบศัตรูพืช

ยาปราบศัตรูพืชในกลุ่มยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อรา และยากำจัดไส้เดือนฝอย มีผลต่อการเกิด การพัฒนาและการสร้างสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแตกต่างกันไป(Trappe และคณะ. 1984; Kough และคณะ. 1987) ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากปัจจัยหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของเชื้อ สมบัติดิน พืชอาศัย ความคงทนของยาปราบศัตรูพืช อัตราการใช้ และการเคลื่อนย้ายสาร (Carrenho และคณะ.1998)ยาฆ่าเชื้อราพวก metalaxyl และ fosetyl-Al มีแนวโน้มช่วยเพิ่มกระบวนการเข้าสู่ราก(Aziz และคณะ. 1990/1991; Hetrick และ Wilson, 1991; Cardoso และ Lambais. 1993 อ้างโดย Carrenho และคณะ, 1998) fosetyl-Al เพิ่มการผลิตสารหลั่งของรากพืชที่เป็น soluble sugar (Jabaji-Hare และ kendrick, 1987)โดยเฉพาะในช่วง 2-3 วันแรกที่ใช้ยานี้ ซึ่งเหมาะแก่การเกิดไมคอร์ไรซาและการเข้าสู่รากพืชของเชื้อ(Sieverding, 1991) Robertson และคณะ(1988)รายงานว่า การใช้สารอบดิน เช่น methyl isothiocyanate, chloropicrin และ 3-dichloripropene ลดจำนวนสปอร์ที่มีความสามารถเข้าสู่รากพืชได้ หลังจากนั้นประมาณ 6 เดือนสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจึงสามารถเกิดได้อีกครั้ง ส่วนการใช้ dazomet อบดิน Mark และ Cassells (1996) พบว่า ลดจำนวน

สปอร์เชื้อในสภาพธรรมชาติในดินเป็นจำนวนมาก ยาสำหรับฆ่าเชื้อราในดิน captan และ carbofuran ที่ระดับความเข้มข้น 125 mg และ 144.5 mg/ส่วนผสมทั้งหมด 2.5 ลิตร สามารถเพิ่มการเจริญของเชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก จำนวน chlamydospore และศักยภาพของเชื้อได้อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับยาฆ่าแมลง formothion, malathion ที่ระดับความเข้มข้น 1 ml/l จะไม่เป็นอันตรายต่อเชื้อ

2.1.5.6 ธาตุอาหาร

การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาฟอสฟอรัสในพืชเกิดขึ้นได้ดีในสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะสัดส่วนของธาตุฟอสฟอรัส และไนโตรเจน (Grynler และคณะ. 1990) การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราในรากข้าวไรน์ ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต ในดินที่มีฟอสฟอรัสในระดับปานกลางจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มธาตุไนโตรเจน แต่ถ้าในดินมีธาตุฟอสฟอรัสสูง การเพิ่มธาตุไนโตรเจน ทำให้การเข้าอยู่อาศัยลดลง จากการทดลองของ De Miranda และ Harris(1994) ซึ่งได้ศึกษาผลของฟอสฟอรัสในดินต่อการงอกและการเจริญของเส้นใยเชื้อ *Glomus etunicatum*. *Glomus fasiculatum* และ *Scutellospora heterogama* พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 12.5 ppm มีผลต่อการกระตุ้นเปอร์เซนต์การงอกของสปอร์และการยืดตัวของเส้นใยเมื่อความเข้มข้นเท่ากับ 37.5 ppm การเจริญของเส้นใยลดลง เชื้อ *Scutellospora heterogama* ตอบสนองต่อปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าเชื้อ *Glomus* sp. เช่นเดียวกับรายงานของ Pearson และคณะ(1994) ซึ่งพบว่า เชื้อ *Glomus* spp. มีเปอร์เซนต์การเข้าอยู่อาศัยในรากพืชน้อยกว่า *Scutellospora calospora* และเมื่อปลูกเชื้อทั้งสองชนิดนี้ด้วยกัน พบว่า ถ้ามีเชื้อ *Glomus* sp. หรือมีธาตุฟอสฟอรัสในดินไม่มีผลต่อการเข้าสู่รากของ subterranean clover ของเชื้อ *Scutellospora calospora* แต่เชื้อ *Glomus* sp. เข้าอยู่อาศัยในรากน้อยเมื่อมีเชื้อ *Scutellospora calospora* รวมอยู่ด้วย โดยปริมาณการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชน้อยว่าการปลูกเชื้อ *Glomus* sp. อย่างเดียว การเพิ่มความเข้มข้นฟอสฟอรัสทำให้จำนวน appressorium ต่อความยาวของรากลดลง และความยาวของรากที่มีอาบัสคูลต่อ appressorium ลดลงด้วย(Braumberger และคณะ, 1991)

ระดับไนโตรเจนมีผลทำให้ประชากรของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลง (Hayman. 1975 อ้างโดย Bagyaraj, 1991) ปริมาณเชื้อลดลงเมื่อใส่ไนโตรเจนในรูป$(NH_4)_2SO_4$ หรือในรูปปุ๋ยผสมระหว่างไนเตรทกับแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนมากกว่า 100 ppm (Meng. 1984; Alexander และ Fairley, 1983 อ้างโดย Bagyaraj, 1991) แต่งานทดลองของ Furlan และ Bernier-Cardou(1989) พบว่า ในสภาวะที่มีธาตุไนโตรเจนสมบูรณ์สามารถกระตุ้นการเข้าสู่รากหอมหัวใหญ่และการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Gigaspora calospora*

จากการประเมินความทนทานของเชื้อราอาบัสคูลลาร์ไมคอร์ไรซาต่อปริมาณความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่ระดับต่างๆ 3 ระดับ ได้แก่ 6, 27 และ 100 mg/L พบว่าเชื้อในสกุล *Gigasppora* ได้แก่ *Gi. albida*, *Gi. margarita* และ *Gi. gigantea* ทนทานต่อปริมาณความเข้มข้นของอะลูมิเนียมสูงได้ดี เช่นเดียวกับเชื้อราในสกุล *Scutellospora* (*S. calospora*, *S. heterogama*, *S. pullucida*) แต่สกุล *Glomus* ซึ่งได้แก่ *G. mosseae*, *G. etunicatum* และ *G. clarum* จะมีความไวต่ออะลูมิเนียมมาก ยกเว้น *G. manihotis* ซึ่งงอกได้ในดินที่อิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียมทุกระดับความเข้มข้น(Esteban และ Schenck, 1994) สำหรับผลของแมกนีเซียมไอออนมีผลต่อการเข้าสู่รากข้าวโพดของเชื้อ *G. claroideum* ดังเช่นรายงานของ Grydler และคณะ (1991) พบว่า เชื้อเข้าสู่รากสูงสุดเมื่อสารละลายอาหารมี $MgSO_4$ 5.84-11.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นสามารถกระตุ้นการเข้าสู่รากได้ สำหรับแคลเซียมหรือโพแทสเซียมไอออนที่เพิ่มขึ้นในสารละลายอาหารไม่มีผลต่อการเข้าสู่รากข้าวโพด จากรายงานความแตกต่างในการทนต่อแคดเมี่ยมและสังกะสีของสปอร์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ที่แยกได้จากดินที่มีการสะสมของธาตุโลหะหนักและจากดินปรกติ Weissenhorn และคณะ(1994)พบว่า สปอร์ของเชื้อ *G. mosseae* ที่แยกได้จากดินที่มีการสะสมกากของเสียที่มีธาตุสังกะสีสูง สามารถงอกได้ประมาณ 50% ที่ความเข้มข้นของสังกะสี 87 ไมโครโมลต่อลิตร แต่ไม่ทนทานต่อแคดเมียมที่ความเข้มข้น 7.5ไมโครโมลต่อลิตร ส่วนสปอร์เชื้อ *G. mosseae* และ *G. etunicatum* ที่แยกได้จากดินที่มีการสะสมของแคดเมี่ยมสูง สามารถทนทานต่อสังกะสีและแคดเมี่ยมได้ดีที่ความเข้มข้น 73และ 158ไมโครโมลต่อลิตรตามลำดับ

2.1.6 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อพืชอาศัย

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ก่อกำเนิดบนโลกเป็นระยะเวลาประมาณ 353-462 ล้านปีมาแล้ว โดยตรวจพบในฟอสซิลของพืชที่เกิดในพื้นที่ในประเทศอังกฤษยุคโบราณ(Devonian land plant) ซึ่งทำให้มีการตั้งสมมติฐานว่าการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราดังกล่าวในรากพืชทำให้เกิดประโยชน์แก่พืชได้ จากการศึกษาพบว่ามีพืชประมาณ 300,000 ชนิดที่เชื้อราอาศัยอยู่ และมีเชื้อราเพียง 120 ชนิดเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์แบบไมคอร์ไรซากับพืช(Hendrick, 1985) ซึ่งแต่ละชนิดไม่มีความจำเพาะเจาะจงกับชนิดของรากพืช เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดหนึ่งสามารถมีพืชอาศัยได้มากกว่า 1 ชนิด(Bagyaraj, 1991) ลักษณะการแพร่กระจายของเชื้อราจะสัมพันธ์กับภูมิประเทศและการเจริญของเชื้อราชนิดนี้ร่วมกับพืชมีเกือบทั่วโลก โดยพบในพืชไร่ทั่วไป เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเหลือง อ้อย มันสำปะหลัง ฝ้าย หอม กระเทียม รวมทั้งไม้ผล เช่น มะละกอ ส้ม และไม้ยืนต้นอื่นๆ เช่น ต้นเอล์ม เมเปิล กัม วอลนัท และยาง เป็นต้น เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืช โดยมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยเชื้อราจะได้

รับสารประกอบคาร์บอนที่เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานจากพืช ในขณะเดียวกันเชื้อราก็จะช่วยดูดธาตุอาหารต่างๆในดิน เช่น N,K,Ca,Mg,Cu,Zn, และ B (Deacon,1980) โดยเฉพาะ P ให้กับพืช (Schenk, 1981) เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่อเข้าสู่รากพืชแล้วให้ประโยชน์แก่พืชหลายด้านดังนี้

2.1.6.1 ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดธาตุอาหารและการเจริญของพืช บทบาทด้านนี้จะช่วยส่งเสริมให้พืชมีความเจริญดีและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอาศัยอยู่ เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีประโยชน์สำหรับพืชที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีธาตุอาหารน้อยหรือไม่มีเลย โดยเฉพาะในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ (Mosse. 1973 อ้างโดย พรทิพย์. 2537) เส้นใยของเชื้อราที่เจริญออกไปจากรากจะช่วยดูดธาตุฟอสฟอรัสให้พืชนำไปใช้ได้โดยซึมผ่านเซลล์ของเชื้อราไปสู่เซลล์ของรากพืช สำหรับแนวทางที่เป็นไปได้ซึ่งพืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มขึ้นโดยการช่วยเหลือของเชื้อรามี 3 แนวทาง ดังนี้

แนวทางที่ 1 ช่วยให้รากพืชได้สารอาหารต่างๆเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิว เนื่องจากเส้นใยที่เจริญออกมานอกรากทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมช่วยในการดูดธาตุอาหารจากดิน

แนวทางที่ 2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารบริเวณพื้นที่ผิวดูดซับและอัตราการดูดธาตุอาหารจะเพิ่มมากขึ้นในพืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่

แนวทางที่ 3 เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีกระบวนการทางเคมีในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารจากรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ประโยชน์ได้ดี

จากการคัดเลือกเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตถั่วลิสง พบว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตถั่วลิสงต่อเนื่องจนถึงฤดูปลูกที่ 3 ได้โดยเชื้อแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สถานที่ รวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดิน และค่า pH ดินด้วย

ณัฐวรางค์(2530) ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญของกล้ากระถินยักษ์และ กระถินณรงค์ พบว่า เชื้อ *Enthropospora* sp. No. 1 มีผลทำให้การเจริญของกล้ากระถินยักษ์และ กระถินณรงค์ เจริญเติบโตได้ดีกว่าต้นกล้าที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ ในถั่วลิสงพันธุ์ไทยนาน 9 ที่ปลูกในดินป่าดิบแล้ง พบว่า ต้นที่ปลูกเชื้อ *Glomus intraradices*, *Gigaspora* sp., *Glomus claroidenm* และ *Glomus* sp. NO. 2 มีน้ำหนักแห้งสูงกว่าถั่วลิสงที่ไม่ได้ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในต้นถั่วลิสงที่ปลูกเชื้อราและไม่ได้ปลูกเชื้อราไม่มีความแตกต่างทางสถิติ(สุเทพ, 2531) ต้นยาสูบ *Nicotina tabacum* L. ที่ปลูกโดยใส่สปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Gigaspora calospora* ซึ่งปลูกในดินที่ฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ มีความสูง จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง มากกว่าชุดที่ไม่ได้ใส่สปอร์อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของดินที่ฆ่าเชื้อกับดินไม่ฆ่าเชื้อ พบว่า ความสูง จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ(ชลิดา, 2529) บางครั้งการแข่งขันระหว่างพืชอาศัยและเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นปัจจัยสำคัญที่จะยับยั้งการเจริญของพืช เมื่อมวลชีวภาพของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มขึ้น หรือ เมื่อสภาวะสำหรับการสังเคราะห์แสงน้อยลง เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะกลายเป็นปรสิตของพืชอาศัย โดยยับยั้งการเจริญเติบโต แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และสภาพของดินด้วย(เกศสุดนธ์, 2535) สำหรับบทบาทต่อการดูดธาตุอาหารของพืช นั้น Bolan(1991) พบว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ช่วยเพิ่มการดูดธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ไม่ได้ในพืช(immobile nutrients) โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส เช่นเดียวกับงานทดลองของ Bell และคณะ(1989) ซึ่งพบว่า บทบาทที่เด่นชัดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา คือ ความสามารถในการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัส เมื่อปลูกเชื้อให้ต้นกล้าถั่วลิสง(*Arachid hypogaea* L.)ที่ปลูกในดิน Oxisol จากเขตกึ่งร้อนในออสเตรเลีย อัตราการเจริญเติบโต และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อมากกว่าต้นที่ไม่ได้ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า พืชที่มีเชื้อราอาศัยอยู่ มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเนื้อเยื่อ และการดูดใช้ธาตสังกะสีเพิ่มขึ้นด้วย ในพืชชนิดอื่น เช่น ข้าวโพด ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส สังกะสี และทองแดงในลำต้นและรากเพิ่มขึ้น (Kothari และคณะ, 1990)

Thomson(1994) พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถช่วยแก้ไขการขาดธาตุฟอสฟอรัสและสังกะสีของต้นแฟลกซ์ ซึ่งปลูกในดินที่พรวนทิ้งไว้นาน 10 เดือน ดินที่ไถพรวนทิ้งไว้นานจะทำให้จำนวนเชื้อราลดลงเป็นอย่างมาก พืชแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส และสังกะสี แต่ถ้าใส่*สปอร์ Glomus mosseae* และ *Glomus stunicatum* หรือชิ้นส่วนของรากที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ลงไป พบว่า ระดับการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสและสังกะสีของพืชเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ไม่แสดงอาการขาดธาตุทั้งสอง นอกจากนี้ยังทำให้น้ำหนักแห้ง น้ำหนักสดของลำต้น และผลผลิตเมล็ด เพิ่มมากขึ้นด้วย

2.1.6.2 ช่วยเพิ่มความต้านทานของพืชต่อเชื้อที่เป็นสาเหตุโรคพืช เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคทางรากมากขึ้น ถ้าเชื้อเข้าสู่รากพืชก่อนเชื้อโรคพืช โดยเชื้อจะมีปริมาณกรดอะมิโน arginine, phenylalanine, serine และมี isoflavonoid (phytoalexin), น้ำตาลรีดิวซ์ และเอนไซม์ เช่น chitinase ในปริมาณสูง ซึ่งสารเหล่านี้สามารถหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคกับพืชได้ กลไกในการลดความรุนแรงในการเกิดโรคได้นั้น เชื้อราจะทำให้พืชอาศัยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังเซลล์ไป เช่น ทำให้เกิดกระบวนการสร้าง lignin และ polysaccharide อื่นๆ(Sieverding, 1991) ซึ่งทำให้ผนังเซลล์หนาขึ้น มีผลป้องกันการเข้าเซลล์ และการเจริญเติบโตของเชื้อสาเหตุโรค เช่น *Fusarium oxysporum*

และ *Phoma terrestris* นอกจากนี้Powell และ Bayaraj(1986) ยังพบว่าพืชที่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มี vacular system เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้พืชมีการดูดใช้แร่ธาตุอาหารและน้ำเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ในเนื้อเยื่อยังมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายไคตินสูง ซึ่งทำให้การเจริญของเชื้อสาเหตุโรคในพืชอาศัยถูกจำกัด สำหรับการเปลี่ยนแปลงด้านชีวเคมี Sieverding(1991) กล่าวว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมเพิ่มขึ้น รวมทั้งแร่ธาตุอาหารอื่นๆด้วย ซึ่งมีผลเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืช Shama และคณะ(1992) กล่าวถึงความสัมพันธ์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเป็นโรคของพืชว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการซึมผ่านสารต่างๆออกมาภายนอกราก เพิ่มกิจกรรมการย่อยสลายไคติน และเปลี่ยนแปลงความบกพร่องในการสังเคราะห์แสงหรือการหายใจของพืชได้

โสภณ(2540)ได้อ้างถึงรายงานของ Ilag และคณะ (1987) ซึ่งได้ศึกษาผลของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อเชื้อ *Rhizoctonia solani* ที่เป็นสาเหตุโรค damping off และพบว่าเชื้อ *Glomus* ที่แยกได้จากดินที่ปลูกข้าว ถั่วเขียว และข้าวโพดร่วมกัน สามารถลดปริมาณการเกิดโรคของข้าวโพดซึ่งปลูกในดินที่ฆ่าเชื้อแล้วจาก 66.6 % เหลือเพียง 8.3 % ส่วนในดินธรรมชาติสามารถลดเปอร์เซนต์การเกิดโรคจาก 16.6 % เป็นไม่เกิดโรคเลย

นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus fasciculatum* สามารถลดจำนวนของไส้เดือนฝอย *Meloidogyne incognita* ในกระถางปลูกมะเขือเทศได้มากกว่า 58% และลดจำนวนไส้เดือนฝอยในไร่มะเขือเทศได้มากกว่า 36% การเจริญเติบโตและ ผลผลิตมะเขือเทศยังคงสูงกว่าต้นที่ไม่ได้ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งในไร่และ ในกระถางอย่างมีนัยสำคัญ (Sharma and Bhargava, 1993)

2.1.6.3 ช่วยให้พืชทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง พืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถทนทานต่อการขาดน้ำได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา(Ellis และคณะ, 1985; Safir และคณะ, 1972; Bethlenfalvay และคณะ, 1988; Puppi และ Bra, 1990) โดยเชื้อมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ทำให้รากพืชมีความทนทานขึ้น เช่น ควบคุมการเปิดปิดของปากใบและ การคายน้ำของพืช ปรับสภาพความชื้นและแรงดันเต่ง(Auge และ Stodola, 1990) เพิ่มความยาวรากและการหยั่งลึกของรากพืชในดิน(Ellis และคณะ, 1985; Kothari และคณะ, 1990) นอกจากนี้ในสภาพดินที่แห้งแล้งเส้นใยของเชื้อราทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างรากพืชและ น้ำในดิน โดยเส้นใยจะดูดน้ำที่ฉาบอยู่ที่ผิวเม็ดดินแล้วนำไปยังรากพืช โดยพืชยังคงคายน้ำเป็นปกติ พืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถฟื้นตัวเร็วกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาศัยอยู่หลังจากผ่านสภาพเครียดน้ำ (Sieverding, 1991) จากรายงานของ Sylvia และคณะ(1993) พบว่า ในสภาวะเครียดของน้ำในดินมีผลต่อการเข้าสู่รากข้าวโพดของเชื้อรา *Glomus etunicatum* เล็กน้อย และการปลูกเชื้อราจะช่วยเพิ่ม

ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสและทองแดงทั้งในลำต้นและเมล็ดของข้าวโพด เมื่อสภาพเครียดของน้ำเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ข้าวโพดที่ปลูกเชื้อ *G. etunicatum* มีผลผลิตเมล็ด และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่ Subramanian และคณะ (1995) พบว่า ข้าวโพดทนทานต่อสภาพแห้งแล้งนาน 3 สัปดาห์หลังจากที่ข้าวโพดออกฝักอ่อน และยังพบว่า อัตราการคายน้ำและปริมาณน้ำในใบตอนเที่ยงวันของข้าวโพดที่มีเชื้อราอยู่สูงกว่าที่ไม่มีเชื้ออาศัยอยู่ ส่วนความต้านทานของปากใบที่มีเชื้อจะต่ำกว่าที่ไม่มีเชื้ออาศัยอยู่ พื้นที่สีเขียวของใบจะสูงกว่าถึง 27.55%

2.1.6.4 ช่วยเพิ่มเปอร์เซนต์การอยู่รอดของต้นกล้าและเพิ่มคุณภาพของผลผลิต จากรายงานการเพาะกล้า *Taiwania cryptimeroidis* ซึ่งเป็นไม้หายากของไต้หวันเพื่อฟื้นฟูป่า พบว่าการใส่เชื้อร่วมกับการเพาะกล้าดังกล่าวช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและคุณภาพของต้นกล้าก่อนทำการย้ายปลูก และข้อมูลการใช้เชื้อร่วมกับพืชสวนชนิดต่างๆในไต้หวัน ระหว่างปี 1979 ถึง 1992 พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มเปอร์เซนต์การอยู่รอดของกล้าที่ขยายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เช่น กล้วย สตรอเบอรี่ เยอบีรา หลังจากการย้ายปลูกกล้ามีการเจริญเติบโตสูง นอกจากนี้ต้นกล้าที่ขยายพันธุ์ด้วยวิธีการอื่น เช่น การติดตา ทำให้ต้นกล้าส้มและต้นตอ มีการเจริญเติบโตสูงขึ้น ต้นกล้าดาวเรือง เยอบีรา และบานชื่นที่ได้รับเชื้อมีการเจริญเติบโตดี ออกดอกเร็ว และคุณภาพดอกดี เช่น ดอกเยอบีรามีอายุการปักแจกันนานขึ้น(Chang, 1991) จากรายงานของพรทิพย์(2537) พบว่าการใส่เชื้อ *Acaulospora scrobiculata* จะช่วยยืดอายุการปักแจกัน ลดอายุการออกดอก และเพิ่มขนาดของดอกอีกด้วย

2.2 สตรอเบอรี่

2.2.1สัณฐานวิทยาของสตรอเบอรี่ (สังคม, 2532)

สตรอเบอรี่เป็นไม้ผลล้มลุกอายุหลายปี จัดอยู่ในตระกูล Rosaceae สกุล *Fragaria* สปีชีส์ของสตรอเบอรี่จัดออกเป็น 5 กลุ่มตามจำนวนโครโมโซม คือ Diploid(2n=14, 2x) Tetraploid (2n=28, 4x) Pentaploid(2n=35,5x) Hexaploid(2n=42, 6x) และ Octaploid(2n=56, 8x)(ณรงค์ชัย, 2543) สำหรับสตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้ามีจำนวนโครโมโซมแบบ Octaploid และเป็นกลุ่ม *Fragariax ananassa* Dunch. ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างสตรอเบอรี่พื้นเมืองของสหรัฐอเมริกา *F. chiloensis* กับ *F. virginiana* (ประสาทพร และปัจฉิมา, 2532; สังคม, 2532)

ต้นสตรอเบอรี่ปรับตัวได้อย่างกว้างขวาง ราก ยอด ใบ ช่อดอก และผล และสามารถผันแปรเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างมาก ด้วยเหตุผลดังกล่าว สตรอเบอรี่จึงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้อย่างกว้างขวาง และปลูกได้ทั่วไปตั้งแต่แถบขั้วโลกถึงเขตร้อน

ลำต้นของสตรอเบอรี่มีลักษณะกลม มีข้อถี่มากเรียกว่า crown ปกติยาวประมาณ 2.5 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.92-1.20 ซม. ส่วนนอกลำต้นจะถูกปกคลุมด้วยหูใบ(stipules)ที่ซ้อนทับกันอยู่ crown ประกอบด้วยเนื้อเยื่อของกลุ่มเซลล์ท่อน้ำ ท่ออาหาร ลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยมี vascular strand เวียนขึ้นทั้ง 2 ทิศทาง โคนใบจะเชื่อมกับ vascular cylinder ทำให้มีการถ่ายเทน้ำและอาหารได้โดยรอบต้น ดังนั้นหากรากหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นถูกทำลาย ย่อมเป็นการกระทบกระเทือนการเจริญเติบโตของต้นทั้งหมดด้วย เนื้อเยื่อส่วนแกนกลางของลำต้นจะเสียหายง่ายและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลถ้าหากสัมผัสกับผลึกน้ำแข็ง ตามข้อของลำต้นจะมีตาตรงโคนใบ (auxiliary bud)ซึ่งจะเจริญไปเป็นใบ สาขาของลำต้น(branch crown) ไหล(runner หรือ stolon) และสร้างตาดอก โดยไหลจะพัฒนาเป็นรากและเจริญสร้างเป็นส่วนของใบกลายเป็นต้นสตรอเบอรี่ใหม่ ไหลประกอบด้วย ข้อ 2 ข้อ และปล้อง 2ปล้อง ปล้องแรกของไหลอาจมีความยาวหลายนิ้ว โดยมีใบหรือตาที่ข้อแรก ต้นแม่ที่แข็งแรงผลิตเส้นไหลได้ประมาณ 10-15 เส้นต่อหนึ่งต้น และผลิตไหลได้มากกว่า 100 ต้นในระหว่างฤดูปลูก ไหลที่แตกออกเป็นไหลสาขามีขนาดเล็กกว่าเส้นไหลหลัก ถ้าหากปลายฤดูไหลถูกตัดไปต้นสตรอเบอรี่อาจสร้างไหลใหม่แทน ไหลสตรอเบอรี่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อพิเศษที่สามารถนำน้ำและธาตุอาหารไปได้สองทิศทาง คือ ผ่านจากต้นแม่ไปยังไหลและผ่านจากไหลกลับมายังต้นแม่ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต้นสามารถตั้งตัวได้ภายใน 2-3 อาทิตย์โดยได้รับธาตุอาหารจากไหลอยู่ การสร้างไหลจะตอบสนองกับสภาพวันยาวและอุณหภูมิอบอุ่นในฤดูร้อน และหยุดสร้างไหลเมื่อสภาพสั้นและอุณหภูมิต่ำโดยจะเปลี่ยนไปชักนำตาดอกแทน การสร้างไหลของสตรอเบอรี่จะเกิดเมื่อความยาววันมากกว่า 12 ถึง 14 ชั่วโมงขึ้นไป นอกจากสภาพวันยาวและอุณหภูมิสูงแล้ว การปลิดดอกหรือช่อดอกของต้นแม่จะทำให้ต้นไหลที่แตกออกมามีปริมาณเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ หรือการใช้ฮอร์โมน BA ความเข้มข้น 1.20 ppm ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้น 0.3 ppm ฉีดพ่นต้นสตรอเบอรี่สามารถเพิ่มการสร้างไหลได้ 40 เปอร์เซ็นต์ในพันธุ์ selva (Adam และคณะ, 1996)

ใบสตรอเบอรี่ประกอบด้วยใบย่อย 3 ใบย่อย (trifoliate) ก้านใบยาว หูใบมีขนาดใหญ่อยู่ที่ฐานของก้านใบทำหน้าที่ปกคลุมราก ตอนบนของใบย่อยมีขอบใบเป็นจักรแบบ dentate ส่วนฐานของใบมีขอบเรียบ ผิวของใบและลำต้นมีขนปกคลุม ส่วนใบแต่ละใบมีชีวิตอยู่ได้นาน 1-3 เดือน ในช่วง ฤดูหนาวใบอาจมีสีแดงสด ม่วง เขียว หรือเขียวปนม่วง ใบจะเรียงในลักษณะ 2/5 โดยรอบของลำต้น ใบที่ 6 จะเวียนรอบและอยู่เหนือใบที่ 1 เป็นเช่นนี้สลับกันไป จำนวนใบต่อต้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการวัดพื้นที่ใบ ซึ่งพื้นที่ใบนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลผลิตในปีถัดไป เนื่องจากตาหลายตาที่โคนของก้านใบเปลี่ยนเป็นตาดอก ดังนี้เมื่อต้นมีจำนวนใบมากย่อมมีจำนวนช่อดอกมากด้วย ต้นไหลที่มีอายุแก่กว่าจะมีจำนวนใบมากที่สุด และมีพื้นที่ใบมากที่สุดด้วย

ออกดอกเป็นช่อซึ่งเกิดจากการพัฒนาของตาที่โคนใบ ดอกมีมากประมาณ 10-15 ดอกต่อ 1 ช่อดอก ช่อดอกแต่ละช่อประกอบด้วย ดอก primary 1 ดอก, ดอก secondary 2 ดอก, ดอก tertiary 4 ดอก และ ดอก quaternary 8 ดอก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และพื้นที่ปลูก ช่อดอกชุดแรกมีขนาดใหญ่กว่าและบานก่อนช่อดอกชุดถัดไป ดอกมีการจัดเรียงตัวเป็นแบบ 5 ส่วน คือ แกนตรงกลางเป็นส่วนของเกสรตัวเมีย ส่วนที่ติดกับก้านของดอกขยายจากส่วนของฐานรองดอก กลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียเรียงเวียนกันคล้ายการเรียงของตำแหน่งใบ ดอกเป็นแบบ cyme ที่เป็น polygamodioecious คือมีทั้งดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกมีสีขาวจำนวน 5-15 กลีบ ฐานรองดอกมีรูปร่างกลมหรือเป็นกรวยรองรับเกสรตัวเมียจำนวนมากที่ถูกจัดเรียงแบบเวียนอย่างมีระเบียบ ส่วนยอดของเกสรตัวเมียมีลักษณะหยาบ และเหนียว เมื่อดอกได้รับการผสม กลีบดอกจะร่วงโรย ส่วนของฐานรองดอกจะพัฒนาและเจริญเป็นผล ดอกแรกของช่อดอกเป็นลำดับแรกของช่อซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด มีเมล็ดมากที่สุด และสุกก่อนผลอื่น และดอกถัดไปของช่อจะเจริญเป็นผลลำดับที่ 2 ผลลำดับที่ 3 และผลลำดับที่ 4 ซึ่งมีขนาดเล็กลงตามลำดับ การผสมเกสรของดอกเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อขนาดของผลสตรอเบอรี่ ดอก primary มีโอกาสที่จะเจริญเป็นผลที่สมบูรณ์ และพบว่าดอกสุดท้ายของช่อดอกมีโอกาสพัฒนาเป็นผลที่ไม่สมบูรณ์(ชูพงษ์,2531;ณรงค์ชัย, 2543) การสร้างตาดอกเป็นผลเนื่องมาจากช่วงแสงสภาพวันสั้นและอุณหภูมิที่ต่ำ จากรายงานด้านการตอบสนองของสตรอเบอรี่ประเภท Everbearing และ Junebearing พบว่า ภายใต้สภาพช่วงแสงวันยาว 11, 13, 15 และ 17 ชั่วโมง สตรอเบอรี่ประเภท Everbearing จะผลิตช่อดอกเป็นจำนวนมากในขณะที่ ประเภท Junebearing จะผลิตช่อดอกที่ช่วงแสงของวันยาว 15 และ 17 ชั่วโมง การเจริญเติบโตของผลมีรูปแบบเป็น simple sigmoid curve โดยจะเพิ่มและขยายขนาดของเซลล์มีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนเซลล์อย่างต่อเนื่อง(สังคม, 2532) โดยหลังจากการผสมแล้ว 7 วัน กลีบดอกร่วงมีการแบ่งเซลล์และขยายตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ส่วนของฐานรองดอกขยายใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะการเจริญด้านกว้างของชันคอร์เทกซ์(ดนัย, 2538 อ้างโดยทองใหม่, 2541) ตรงใจกลางของผลมีกลุ่มเนื้อเยื่อท่อน้ำและท่ออาหารซึ่งเชื่อมโยงถึงผิวที่ติดอยู่กับผิวด้านนอก และมีขนเล็กๆ 2-3 เส้นติดอยู่ที่ผิวด้านนอกของผลด้วย(นิธิยา และดนัย, 2533 อ้างโดยทองใหม่, 2541) ผลสตรอเบอรี่เป็นผลแบบกลุ่ม(aggregate fruit) มีเมล็ดอยู่บนผิวของผล ผลจะเพิ่มขนาดจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ คือ จะเพิ่มขึ้น 43 เปอร์เซ็นต์ในระยะผลขาวจนถึงระยะผลสุก และเพิ่มขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์จากระยะที่ผลแดงทั้งผลจนกระทั่งผลสุกเต็มที่(Dana, 1981) เมื่อแก่จะมีลักษณะฉ่ำน้ำ และมีสีแดงสด รสเปรี้ยวอมหวาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุการเก็บและอุณหภูมิระหว่างที่มีการพัฒนาของผล

สตรอเบอรี่เป็นพืชที่มีระบบรากเป็นรากแก้ว(tap root system หรือ primary root) เจริญมาจากส่วนของต้นที่ฐานก้านใบแต่ละใบ ประมาณใบละ 6 ราก ซึ่งงอกออกมาจากหูใบด้านละ 3 ราก

และเจริญออกมาอย่างรวดเร็วจนอาจมีความยาวหลายนิ้ว เนื้อเยื่อตรงกลางราก(stele)มีสีขาว ซึ่งถือว่าต้นสตรอเบอรี่มีความสมบูรณ์ ระบบรากจะอยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 15-30 ซม. โดยทั่วไปรากมีอายุการเจริญเติบโตประมาณ 1 ปีและตายในในปีถัดไป ระบบรากสายพันธุ์ใหม่จะได้รับมาจากการผสมพันธุ์ของ *F. virginiana* มากกว่า *F. chiloensis* ทำให้มีรากเกิดมากมายและ root primary ก็อายุสั้น ระบบรากประกอบด้วย 2 ระบบ ส่วนแรก คือ perennial root system ประกอบด้วยรากแก้ว (primary root) และรากแขนง(lateral root หรือ secondary root) ซึ่งทำหน้าที่พยุงยึดและสะสมอาหารแต่ไม่ช่วยในการหาอาหาร เมื่ออายุไม่มาก รากระบบนี้จะมีความอ่อนตัว ยืดหยุ่น และมีสีขาว เมื่ออายุมากขึ้นจะสร้างเนื้อเยื่อชั้นที่สอง(secondary tissue)ขึ้นมาเป็น secondary vascular bundle และสร้าง cork cambium ที่มีsuberin เป็นองค์ประกอบทำให้รากมีความแข็งแรง มีผิวสีน้ำตาลเข้ม ระบบรากอีกส่วนหนึ่ง คือ feeder rootlet system เป็นขนราก(root hair) ที่เปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิส เพื่อทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร เป็นรากที่ไม่มี suberin เป็นองค์ประกอบ ภายในชั้น cortex บางครั้งพบว่า มีเชื้อไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ เมื่อรากระบบนี้สลายตัวไปหรือถูกทำลายจะมีการสร้างขนรากขึ้นมาใหม่จากเซลล์ที่อยู่ในลำดับที่อยู่ใกล้ปลายรากขึ้นมาเรื่อยๆ

2.2.2 การปลูกสตรอเบอรี่(ณรงค์ชัย, 2543)

เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นไม้ผลขนาดเล็ก ที่มีผิวช้ำง่ายต้องการเอาใจใส่สูงเพื่อให้ได้ผลผลิตคุ้มค่ากับการลงทุนการผลิต ดังนั้นจึงต้องพิถีพิถันในการเลือกพื้นที่ปลูก การเตรียมการปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อให้ได้รับการผลตอบแทนมากที่สุด(วิสิฐ, 2541)

การเลือกพื้นที่ การเลือกพื้นที่ดินต้องพิจารณาถึงสภาพดินด้วย ดินต้องอุ้มน้ำได้ดี ระบายน้ำและอากาศดี เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นพืชที่มีระบบรากตื้น และไม่สามารถต่อพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน และดินที่มีความชื้นสูง ช่วยแพร่กระจายโรคได้เป็นอย่างดี ดังเช่น โรค red stele ซึ่งทำให้รากเน่าตายหรือไม่มีการพัฒนาของรากใหม่ทดแทน ควรมีระดับหรือความลาดเอียง 2-3 เปอร์เซนต์ เพื่อสะดวกต่อการจัดการชลประทาน และป้องกันการชะล้างของหน้าดิน(ณรงค์ชัย, 2543) แต่ถ้าพื้นที่มีความลาดเอียงสูงหรือมีความชันมากควรใช้ระบบการปลูกไปตามแนวระดับ(contour system) เพื่อลดอัตราการพังทะลายของดินอันเนื่องจากการถูกน้ำชะล้างและพัดพา (สังคม, 2535) นอกจากนี้ไม่ควรปลูกในพื้นที่ที่เคยปลูกมะเขือเทศ ยาสูบ พริก มะเขือ และมันฝรั่งมาก่อนหรือควรเว้นจากการปลูกพืชเหล่านี้อย่างน้อย 3 ปีก่อนปลูก(ณรงค์ชัย, 2543)เนื่องจากพืชเหล่านี้เป็นพืชอาศัยของโรคที่สามารถทำให้เกิดแก่สตรอเบอรี่ได้ ในพื้นที่ที่มีต้นหญ้าขึ้นเต็มไม่เคยเพาะปลูกมาก่อน ต้องไถพรวนดิน และปลูกอื่นทดแทนก่อนเป็นเวลาตั้งแต่ 2 ปี เพื่อลดปัญหาการกำจัดวัชพืชและที่อยู่อาศัยของตัวอ่อนด้วยที่กัดกินรากสตรอเบอรี่ซึ่งปัจจุบันยังไม่สามารถควบคุมโดยการพ่นสารเคมีได้

ในพื้นที่ที่มีการปลูกอย่างต่อเนื่องกันเป็นเวลาหลายๆปีจะเป็นแหล่งสะสมโรคและแมลงที่มีผลต่อผลผลิตได้ ควรปลูกพืชหมุนเวียนพวกตระกูลถั่ว เช่น clover alfafa cowpea ถั่วเถาเพื่อช่วยลดปัญหาวัชพืช แมลงและโรคต่างๆ และคุณสมบัติของดินด้วยซึ่งอาจไถกลบในลักษณะเป็นปุ๋ยพืชสด แล้วปลูกข้าวโพดหรือพืชชนิดอื่นๆก่อน และพบว่า สามารถลดปัญหาโรครากเน่าได้อย่างมาก

ดิน ถึงแม้ว่าได้มีการปรับปรุงพันธุ์สตรอเบอรี่เพื่อให้มีความจำเพาะเจาะจงกับพื้นที่ ทำให้สามารถเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพดินได้ อย่างไรก็ก็ตามควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่เป็นดินเหนียวมาก ซึ่งมักพบปัญหาดินแห้งและแข็งตัวง่าย การดูดซับน้ำช้า ถึงแม้ว่าดินเหนียวจะมีอินทรีย์วัตถุและความชื้นสูง สตรอเบอรี่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินปนทรายที่มีการระบายน้ำดี มีความเป็นกรดเล็กน้อย ความเป็นกรดเป็นด่างของดินควรอยู่ในช่วย 5.0-6.5(Maher and Mensen, 1999) ถ้าสภาพดินปนทราย ควรมีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.5 ถ้าดินร่วนประมาณ 5.3 ในดินร่วนปนเหนียวความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5.6 และดินร่วนปนทรายต่ำกว่า 6.1 ควรมีการปรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้สูงขึ้นด้วยปูนก่อนปลูก ถ้าดินที่ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5.0 ควรปรับดินด้วยปูนในรูปโดโลไมล์ไลม์สโตนสำหรับพื้นที่ที่มีความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 6.5 สามารถใช้ซัลเฟอร์ลดค่าความเป็นกรดเป็นด่างได้ สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินนั้นถือว่าเป็นปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อโครงสร้างของพื้นที่ปลูก เนื่องจากมีผลทำให้โครงสร้างดินดี ดูดซับความชื้นและให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืช พื้นที่ปลูกควรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุตั้งแต่ 2 เปอร์เซนต์ขึ้นไป ดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำควรให้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยพืชสดเพิ่มเติมก่อน(OMAFRA, 2000)

การเตรียมดิน เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นพืชที่มีระบบรากตื้นและต้องการดินที่มีการระบายน้ำดีมากดังนั้นควรมีการเตรียมดินเป็นอย่างดี ต้องทำลายวัชพืชให้หมด ในพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้เป็นเวลาหลายปี และมีหญ้าขึ้นเป็นจำนวนมาก ควรหาพืชชนิดอื่นปลูกก่อนสักหนึ่งฤดูกาลเพื่อกำจัดวัชพืชข้ามปี เมล็ดวัชพืชและแมลงในดินที่ที่จะทำลายต้นสตรอเบอรี่ ต้องไถพรวนให้ดินเป็นก้อนประมาณ 0.5-1.0 นิ้ว ให้ลึกและละเอียด ในระหว่างหารเตรียมดินการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยพืชสด ลงไปในดินและไถพรวนคลุกเคล้าให้สม่ำเสมอ ควรทำในช่วงที่ดินมีความชื้นพอประมาณ ไม่ควรไถในขณะที่ดินแห้งหรือเปียกแฉะเกินไปเพราะจะทำให้สภาพทางกายภาพของดินเสียไป ดินจะจับกันเป็นก้อนใหญ่ทำให้รากเกาะได้ไม่ดี และผิวหน้าดินแห้งเกินไป หลังไถพรวนควรตากดินไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้แสงแดดทำลายเชื้อโรคและแมลงในดิน และควรทำให้เสร็จก่อนการปลูกประมาณ 1 เดือน

แปลงปลูก หลังจากเตรียมดินแล้วแบ่งพื้นที่เป็นแปลงปลูก และทางเดินระหว่างแปลง ควรอยู่ในแนวเหนือใต้ เพื่อให้สตรอเบอรี่ได้รับแสงเต็มที่ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตสูงและผลมีสีแดงสดใส

ลักษณะแปลงปลูกจะแตกต่างหันไปตามระบบปลูก และวิธีการชลประทาน นิยมยกแปลงปลูกให้สูงกว่าระดับดิน

การคลุมแปลง ในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวจัดจำเป็นต้องมีการคลุมแปลง เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำมากๆมีผลทำให้ตาดอก ระบบรากและเนื้อเยื่อเจริญของลำต้นถูกทำลาย สำหรับประเทศไทยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาความชื้นในดิน ป้องกันวัชพืช เกษตรกรส่วนใหญ่จะเตรียมแปลงและคลุมวัสดุที่เตรียมไว้ก่อนปลูก วัสดุคลุมแปลงควรหาง่ายในท้องถิ่น ปราศจากเมล็ดวัชพืช มีลักษณะโปร่ง ไม่แน่นหรือจับตัวเป็นก้อน มีน้ำหนักเบาเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย ต่างประเทศนิยมใช้ฟางข้างสาลีหรือข้าวไรน์ พลาสติกสีดำ ประเทศไทยใช้ฟางข้าว ใบตองตึง และใบตองเหียงที่สานเป็นต้บ กรณีใช้ฟางคลุมแปลงควรคลุมหลังจากต้นกล้าตั้งตัวได้แล้ว แต่ใช้วัสดุอื่นๆต้องคลุมแปลงให้เรียบร้อยก่อน แล้วจึงเจาะปลูกวัสดุปลูกให้เป็นรู ตามตำแหน่งที่จะปลูกสตรอเบอรี่ลงไป หรืออาจใช้วัสดุชนิดต่างๆร่วมกันก็ได้

การปลูก ต้นกล้าที่ใช้ปลูกจำเป็นต้องการมีการตัดแต่งก่อนปลูก ช่อดอกและไหลต้องเด็ดทิ้งทั้งหมด ใบแก่ควรเด็ดออกให้เหลือหนึ่งในสามจากของเดิม ระบบรากที่ยาวเกินไปควรตัดให้เหลือประมาณ 10 ซม. ระดับปลูกให้ระดับผิวดินอยู่กึ่งกลาง crown พอดี จะต้องไม่ให้ดินท่วมยอดหรือจุดเจริญในส่วนบนสุดของลำต้น เนื่องจากดินจะบีบรัดยอดทำให้เจริญเติบโตช้า แตกตาช้าและบริเวณยอดมีความชื้นสูงอาจทำให้ยอดเน่าได้ ไม่ตื้นจนสามารถเห็นระบบรากลอยขึ้นมาพ้นผิวเนื่องจากรากจะแห้งเจริญได้ช้าและไม่สมบูรณ์ อาจทำให้สตรอเบอรี่ตายได้ ณรงค์ชัย(2543)กล่าวว่า พื้นที่ที่ระดับสูงตั้งแต่ 800 เมตรขึ้นไป ควรปลูกระหว่างวันที่ 15 สิงหาคม ถึง 15 กันยายน และระหว่างวันที่ 15 กันยายนถึง 15 ตุลาคม สำหรับพื้นที่ที่ระดับต่ำกว่าหรือพื้นที่ราบ ควรทำการปลูกในช่วงบ่ายหรือในช่วงที่ครึ้มไม่มีแสงแดดจัด ต้องรีบให้น้ำทันทีหลังจากปลูกเสร็จและต่อเนื่องประมาณสองอาทิตย์ ระยะการปลูกใช้ระยะระหว่างต้น 25-30 ซม. และระหว่างแถว 45-50 ซม. อาจปลูก เป็นแถวคู่ สามแถวหรือสี่แถวก็ได้ การปลูกแบบสองแถว และยกร่องให้สูงจากพื้นประมาณ 30 ซม. จะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี และไม่ค่อยเป็นโรค ปกติเกษตรกรจะใช้ระยะปลูก 30x40 ซม. สำหรับการปลูกสองแถว และระยะปลูก 25x30 ซม. สำหรับการปลูกแบบสี่แถว ดังนั้นในพื้นที่หนึ่งไร่จะใช้ต้นกล้าประมาณ 8,000-10,000 ต้นต่อไร่

การให้น้ำหรือชลประทาน การให้น้ำในช่วงเวลาที่เหมาะสม ช่วยทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้น มีรูปร่างลักษณะที่สวยงาม เพิ่มจำนวนไหล เกิดลำต้นสาขามากขึ้น การให้น้ำจะเพิ่มจำนวนผล ทำให้ฤดูกาลเก็บเกี่ยวยาวนานออกไป วิธีการให้น้ำกับแปลงสตรอเบอรี่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ แบบสปริงเกลอร์(sprinkler) แบบรดน้ำ(soaker) และแบบการให้น้ำตามร่องระหว่างแปลงปลูก(furrow irrigation) นอกจากนี้ยังเริ่มมีการใช้เป็นระบบน้ำหยด(drip irrigation) และระบบที่ให้น้ำกับปุ๋ย

พร้อมกันตามท่อ(fertigation) ส่วนความถี่และปริมาณน้ำที่ใช้พิจารณาจากสภาพดินและสภาพอากาศประกอบกันโดยรักษาระดับความชื้นในดินให้คงที่ ควรให้น้ำประมาณ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

การให้ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยแก่สตรอเบอรี่เพื่อช่วยในการตั้งตัวและส่งเสริมการเจริญเติบโต ควรพิจารณาถึงปัจจัยในการตอบสนองต่อปุ๋ยที่ให้ ได้แก่ ชนิดของปุ๋ย อัตราที่ใส่ วิธีการใส่ ระยะเวลาการเจริญ พันธุ์ที่ปลูก และสภาพแวดล้อมของพื้นที่ การให้ปุ๋ยแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่มีการเกิดตาดอกแล้ว จะให้ปุ๋ยทางใบ เช่น N Zn และ P เพื่อเพิ่มจำนวนของตาดอก และช่วงที่สอง คือ ระหว่างการพัฒนาจากดอกไปเป็นผล ถ้าให้ปุ๋ยช่วงก่อนและหลังดอกบาน จะชักนำให้มีจำนวนผลมากและสุกเร็วขึ้น ชูพงษ์(2531)ได้แบ่งการให้ปุ๋ยเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเวลาที่ผลิตไหล ซึ่งระยะนี้ควรให้ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ต้นแม่เพื่อเร่งให้มีการออกไหลมากขึ้น หลังจากสร้างไหลออกมาแล้วควรใช้ปุ๋ยสูตรเสมอ เช่น 15-15-15 อัตราประมาณ 2 กรัมต่อต้น และอาจเสริมด้วยปุ๋ยยูเรียสัปดาห์ละครั้ง ช่วงที่สองเป็นช่วงก่อนปลูกและขณะให้ผลผลิต ในช่วงเตรียมแปลงใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 32 กก. ต่อไร่ และปุ๋ยคอกอัตรา 2.5-3.0 ตันต่อไร่ หลังจากต้นตั้งตัวและแทงช่อดอกออกมาให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส เช่น สูตร 12-12-17 อัตรา 2 กรัมต่อต้น เดือนละ 2 ครั้ง

Albregts and Howard(1986)ได้ศึกษาการตอบสนองของสตอเบอรี่พันธุ์ Dover และ พันธุ์ Tufts ต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมด้วยวิธีการใส่ทางดิน3 อัตรา คือ ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่อัตราต่ำ คือ 112 กก.N. 12 กก.P และ 93 กก.K ต่อเฮกตาร์ และ ใส่ในอัตราสูง คือ 224 กก.N, 24 กก.P และ 186 กก.K ต่อเฮกตาร์ และการให้ปุ๋ยทางใบ 3 ระดับเช่นกัน คือ ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ในอัตราต่ำ คือ 1.2 กก.N. 0.54 กก.P และ 1.02 กก.K ต่อเฮกตาร์ต่อครั้ง ทุกสัปดาห์และใส่ในอัตราสูง คือ 2.4 กก.N. 1.03 กก.P และ 2.04 กก.K ต่อเฮกตาร์ต่อครั้งทุกสัปดาห์ ในแปลงทดลองซึ่งเป็นดินทรายที่มีการระบายน้ำดี และมีปริมาณ K และ P ที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด Mehlich 27 และ 383 Kg/ha ตามลำดับ การให้ปุ๋ยทางดินแบ่งเป็น การหว่านปริมาณหนึ่งในสี่ส่วนของปุ๋ยที่ใส่และโรยส่วนที่เหลือเป็นแถบตรงกลางแปลงที่ปลูกพืชให้มีความกว้าง 3 เซนติเมตร และลึกจากผิวหน้าดิน 3 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ยทางใบเริ่มต้นหลังจากการย้ายกล้า โดยให้ในเวลา 9.00 น. ทุกสัปดาห์จนถึงระยะการเก็บเกี่ยว ให้น้ำแก่พืชด้วยระบบ sprinkle พบว่า การใส่ปุ๋ยทางดินทำให้น้ำหนักผลสตรอบอรี่เพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่ใส่ พันธุ์ Dover ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยทางใบ เป็นแบบ quadratic อย่างมีนัยสำคัญในปี 1981 และ 1982 ส่วนพันธุ์ Tufts ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยทางดินเป็นเส้นตรงในปี 1982 ในขณะที่การใส่ปุ๋ยทางใบไม่มีผลกระทบ การเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยทางดินทำให้เปอร์เซนต์ผลที่แยกจากกันของพันธุ์ Tufts เปอร์เซนต์รูปร่างผิดปรกติและจำนวนผลที่มีสีเขียวที่ด้านบนผลของพันธุ์ Dover เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สตรอเบอรี่ทั้งสองพันธุ์ มีเปอร์เซนต์ของผลที่มีรอยแตกที่ผิว ผลนิ่มและสีอ่อนลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยทางดิน ในแง่ขนาดของต้นและสีใบเมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยทาง

ดินและทางใบมีผลทำให้ขนาดและสีใบเขียวขึ้น ยกเว้นพันธุ์ Dover ในปี 1982 การใส่ปุ๋ยทางใบไม่มีอิทธิพลต่อสีใบ ปริมาณของ N และ K ในใบเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยแต่วิธีการใส่ปุ๋ยทางใบผันแปรตามฤดูกาลปลูก และพันธุ์ ทุกแปลงต้นสตรอเบอรี่ไม่แสดงอาการขาด K จากการทดลองชี้ให้เห็นว่า เมื่อใส่ปุ๋ยทางดินในอัตราที่เพียงพอ การใส่ปุ๋ยทางใบไม่ทำให้น้ำหนักผลสตรอเบอรี่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อการใส่ปุ๋ยทางดินในอัตราต่ำ การใส่ปุ๋ยทางใบมีผลในการเพิ่มผลผลิตโดยผันแปรตามฤดูกาลปลูก ในกรณีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยทางดินการใส่ปุ๋ยทางใบมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเสมอ แต่การเพิ่มขึ้นของผลผลิตไม่จำเป็นต้องมีนัยสำคัญทางสถิติเสมอไป

สตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler การใส่ปุ๋ยช่วงสามเดือนแรกให้ปุ๋ย N และ K_2O ทุกวันในอัตราละ 1.12 กก. ต่อเฮกตาร์ หรือ 180 กรัม/ไร่/วัน(Polling, 1993 อ้างโดย ณรงค์ชัย, 2541)ในรัฐ Florida การให้ปุ๋ย N จาก NH_4NO_3 และ Sulfur-coated urea อัตรา 448 กก. ต่อเฮกตาร์แก่สตรอเบอรี่พันธุ์ Pajaro พบว่า ให้ผลผลิตสูงกว่าอัตราอื่นๆ(Albregts และคณะ, 1991) สำหรับสตรอเบอรี่พันธุ์ Shuksan และ Totem การให้ปุ๋ย N P K (20-8.7-16.6) อัตรา 45 หรือ 180 มิลลิกรัมต่อกระถาง พบว่าการให้ปุ๋ยในอัตราที่สูงสามารถเพิ่มจำนวนใบและไหล นอกจากนี้ยังทำให้การสุกของผลช้าลงแต่เพิ่มจำนวนเมล็ดต่อผล(McArthur and Eaton, 1988) ในพันธุ์ Toyonoka การให้ปุ๋ย slow release N ในอัตรา 50 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อกระถางในระหว่างที่มีการชักนำให้เกิดตาดอกแล้ว พบว่า สามารถชักนำให้ตาดอกพัฒนาและเจริญเติบโตจนมีการผสมเกสรได้เร็วกว่าต้นที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย ตลอดจนมีการเพิ่มพื้นที่ใบ ให้ผลผลิตที่ใหญ่และน้ำหนักมากกว่า จำนวนดอกต่อช่อดอกสูงและผลผลิตรวมมากขึ้น(Maegawa and Minegishi, 1992 อ้างโดยณรงค์ชัย,2543)

2.3 การใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการปลูกสตรอเบอรี่

จากการศึกษาบทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อสตรอเบอรี่ของ Silva and Patterson(1996) พบว่า เมื่อใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* ในอัตราที่ต่างกัน 6 อัตรากับสตรอเบอรี่พันธุ์ Sweetheart ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การเข้าสู่รากของสตรอเบอรี่ที่ปลูกในเรือนทดลองกับอัตราการใส่สปอร์ เป็นเส้นตรง แต่เมื่อนำไปปลูกในแปลงทดลองความสัมพันธ์เป็นแบบ cubic สำหรับการทดลองในเรือนทดลองหรือแปลงทดลอง เมื่อเพิ่มจำนวนสปอร์ที่ใส่จาก 750 เป็น 1200 สปอร์ต่อต้น ความสูง พื้นที่ และจำนวนใบเพิ่มขึ้นจาก control ในแปลงทดลองต้นสตรอเบอรี่ที่ไม่ใส่เชื้อ มีการติดเชื้อไมคอร์ไรซาจากเชื้อที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติ แต่ต้นที่ใส่เชื้อมีจำนวนไหลและปริมาณธาตุ Ca และ Cu ในใบเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการใส่สปอร์ ต้นที่ได้รับการใส่เชื้อมีน้ำหนักแห้งมากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญ น้ำหนักแห้งของราก

เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง และมีนัยสำคัญทางสถิติตามการเพิ่มอัตราสปอร์ที่ใช้ อัตราการใส่สปอร์ 750 สปอร์ต่อต้นเป็นอัตราที่เพียงพอสำหรับทำให้ต้นสตรอเบอรี่มีการตอบสนองต่อเชื้อ

สำหรับต้นอ่อนสตรอเบอรี่ที่ขยายพันธุ์โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในสภาพการทดลองในเรือนทดลอง Neimi and Vestberg(1992) พบว่า ในสภาพการทดลองในเรือนทดลองเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 3 ชนิด คือ *Glomus intraradix*, *G. entunicatm* และ *G.* sp. E3 สามารถเข้าสู่รากต้นสตรอเบรี่ 4 พันธุ์ ได้แก่ Senga Sengana, Jonok, Zefyr และ Hiru พบว่า การเข้าสู่รากของเชื้อที่ใส่ลงไป ไม่แตกต่างจากต้นที่ไม่ได้รับการใส่เชื้อ แต่จำนวนไหลในปีแรกมากกว่า control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่เชื้อ *Glomus intraradix*, *G. entunicatm* และ *G.* sp. E3 ทำให้จำนวนไหลเพิ่มขึ้นเป็น 57 69 และ76 % ตามลำดับ จำนวนไหลในปีที่ 2 และจำนวนผลในปีที่ 3 เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เชื้อ *G.* sp.E3 มีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนไหลสูงสุดได้ถึง 30%ในช่วง 2 ปีแรก ถึงแม้ว่าการใส่เชื้อ *G. mosseae* จะได้จำนวนไหลน้อยกว่า แต่ไหลที่ได้จะมีขนาดใหญ่และมีศักยภาพในการเกิดไหลดีกว่า control เมื่อเทียบจากขนาดของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูก

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus epigaeum G. macrocarpum* และ *G.* sp. CPH-23 สามารถเพิ่มความสูงของสตรอเบอรี่พันธุ์ Tioga เท่ากับ 230 273 และ 342% ตามลำดับ โดยการใส่เชื้อ *G. macrocarpum* ทำให้การเจริญของสตรอเบอรี่ดีที่สุด และเชื้อ *G.* sp. CPH-23 ทำให้การเกิดไหลมากที่สุด ความหนาแน่นของเชื้อในรากสตรอเบอรี่ขึ้นอยู่กับพันธุ์สตรอเบอรี่และชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Chavez และ Cerrato, 1987)

สตรอเบอรี่พันธุ์ Chandler Selva และ Tudla ซึ่งปลูกในดินที่เติม rock phosphate และใส่เชื้ออาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลงไป มีน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน พื้นที่ใบ การสะสมฟอสฟอรัสในใบและจำนวนไหลสูงกว่าต้นที่ไม่ได้รับการใส่เชื้ออย่างมีนัยสำคัญ สำหรับดินที่รดด้วยสารละลายอาหารที่มีฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้นั้นมีน้ำหนักของส่วนเหนือดินของต้นที่ใส่เชื้อมากกว่าไม่ใส่เชื้อ(Paroussi และคณะ, 1997) เมื่อมีการใส่ปุ๋ยร่วมกับการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากงานทดลองของ William และคณะ พบว่า การใส่ปุ๋ย Osmocote(18N:11P:10K)และ rock phosphate ไม่มีผลต่อการเข้าสู่รากสตรอเบรี่พันธุ์ Seng Senga ของเชื้อ *Glomus geosporum G* 98 และ *G*128 เชื้อ *G* 98 และ *G*128 เข้าสู่รากได้ดีกว่าเชื้อ *Glomus geosporum* จำนวนไหลและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเมื่อใส่เชื้อ *G* 98 และ *G*128 มากกว่าการไม่ใส่เชื้ออย่างมีนัยสำคัญ การใช้ปุ๋ย Osmocote ในอัตรา ¼ ของอัตราแนะนำร่วมกับการใส่เชื้อทำให้น้ำหนักแห้งของผลไม่ต่างจากการใส่ปุ๋ยในอัตราแนะนำและไม่ใส่เชื้อ