บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บริเวณรากพืชเป็นแหล่งที่มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่จำนวนมากมายหลายชนิด ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ในดินกับพืช อาจจะอยู่ในรูปของการย่อยสลายซากพืช (saprotrophic), การทำให้เกิดโรค (pathogenic), และ การอาศัยอยู่ร่วมกัน (symbiotic) เป็นต้น

ไมคอร์ไรซ่า (mycorrhiza) หรือ **fungus-root** มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า " mykes " แปลว่ารา และ " rhiza " แปลว่าราก หมายถึง โครงสร้างของรากที่เป็นผลมาจากความสัมพันธ์แบบพึ่งพาเกื้อกูล และเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน ระหว่างราและรากพืช โดยรานั้นจะต้องไม่ใช่ราที่เป็นสาเหตุของโรคพืช (Jackson, 1984) ราจะช่วยดูดน้ำ และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส (Kumar, 1988; Nopamornbodi, 1995) ในขณะที่รากพืชจะปลดปล่อยอินทรีย์สารจำพวก คาร์โบไฮเดรต, วิตามิน และกรดอะมิโน ให้กับรา ลักษณะดังกล่าวนี้จึงเสมือนเป็นกลไกในการมีชีวิตอยู่รอดของทั้งรา และพืช ทำให้พืชเจริญอยู่ได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ,ความเป็นกรดสูง, ความแห้งแล้ง, โรค, อุณหภูมิสูง และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่ไม่เหมาะสม ไมคอร์ไรซ่าจึงถือเป็นองค์ประกอบที่มีชีวิต และมีความสำคัญในดิน มีสมบัติเป็นทั้งราก และราที่มีประโยชน์ไปควบคู่กัน

Mark และ Foster (1973) รายงานว่า Unger เป็นบุคคลแรกที่ค้นพบราปรากฏอยู่บนรากพืช และต้นไม้ป่า แต่ไม่ทำให้เกิดโรค ต่อมาในปี 1885 Frank นักโรควิทยาป่าไม้ชาวเยอรมัน เรียกการอยู่ร่วมกันของรากับรากพืชนี้ว่า ไมคอร์ไรซ่า โดยอาศัยโครงสร้าง และลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันสามารถจำแนกชนิดของไมคอร์ไรซ่า ได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. เอคโตไมคอร์ไรซ่า (ectomycorrhiza) ราในกลุ่มนี้จะสร้างเส้นใยเป็นแผ่นหนาประมาณ 20-40 ไมโครเมตร (Issacc, 1992) ปกคลุมบริเวณผิวรากเรียกแผ่นแมนเทิล (mantle sheath) เส้นใยบางส่วนของแมนเทิลจะเข้าไปเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ผิว (epidermis) และในชั้นคอร์เทกซ์ของเซลล์ราก ประสานกันเป็นร่างแหเรียก ใยฮาร์ติก (hartig net) ลักษณะของรากพืชที่ติดเชื้อราไมคอร์ไรซ่าชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าจัดเป็นราชั้นสูงใน class Basiomycetes เป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 1) ซึ่งสามารถสร้างดอกเห็ด (mushroom) และพัฟบอลล์ (puffball) โผล่เหนือพื้นดินให้เห็นได้ พบแพร่กระจายทั่วทุกเขตของโลก ในเขตหนาว เขตอบอุ่น และในเขตร้อน มากกว่า 5,000 ชนิด นอกจากนี้สามารถพบได้ใน class Zygomycetes, Ascomycete, และ Deuteromycetes โดยอาศัยอยู่ร่วมกันกับพันธุ์ไม้ป่าประมาณ 2,000 ชนิดในหลาย ๆ วงศ์ ได้แก่ ไม้วงศ์สนเขา (Pinaceae), ไม้วงศ์ก่อ (Fagaceae), ไม้วงศ์กำลังเสือโคร่ง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Betulaceae), ไม้วงศ์ยูคาลิปตัส (Myrtaceae), ไม้วงศ์วอลนัท (Juglandaceae), ไม้วงศ์กุหลาบพันปี (Ericaceae), ไม้วงศ์ชัยพฤกษ์ (Caesalpinaceae) และไม้วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) (อนิวรรต, 2539; Chalermpongse, 1993; Brundrett et al., 1996)

ตารางที่ 1 ชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า

Class	Order	Family	Genera
Basidiomycetes	Agaricales	Amanitaceae	*Amanita, Limacella*
		Boletaceae	*Austroboletus, Boletellus, Boletochaete, Boletus, Buchwaldoboletus, Chalciporus, Fistulinella, Gyrodon, Gyroporus, Heimiella, Leccinum, Phlebopus, Phylloporus, Pulveroboletus, Suillus, Rubinoboletus, Tylopilus, Xanthoconium*
		Cortinariaceae	*Astrosporina, Cortinarius, Cuphocybe, Dermocybe, Descolea, Hebeloma, Inocybe, Leucocortinarius, Rozites, Stephanopus, etc.*
		Entolomataceae	*Clitopilus, Entoloma, Leptonia, Rhodocybe*
		Gomphidiaceae	*Chroogomphus, Cystogomphus, Gomphidius*
		Hygrophoraceae	*Bertrandia, Gliophorus, Camarophyllus, Hygrocybe, Humidicutis, Hygrophorus, etc.*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Class	Order	Family	Genera
		Paxillaceae	*Paxillus*
		Strobilomyycetaceae	*Strobilomyces*
		Tricholomataceae	*Clitocybe, Cystoderma, Cantharellula, Laccaria*
	Aphyllophorales	Cantharellaceae	*Cantharellus, Craterellus*
		Clavariaceae	*Aphelaria, Clavaria, Clavariadelphus, Clavicorona, Clavulina, Clavulinopsis, Ramaria, Ramariopsis*
		Corticiaceae	*Amphinema, Byssocorticium, Byssosporia, Piloderma*
		Thelephoraceae	*Boletopsis, Thelephora*
	Gautieriales	Gautieriaceae	
	Hymenogastrales	Hydnangiaceae	
		Hymenogastraceae	
		Octavianinaceae	
		Rhizopogonaceae	
	Lycoperdales	Mesophelliaceae	*Lycoperdon*
	Melanogastrales	Leucogastraceae	*Leucogaster, Leucophleps*
		Melanogastraceae	*Melanogaster*
	Phallales	Hysterangiaceae	*Hysterangium, Pseudohysterangium, Trappea*
	Russulales	Elasmomycetaceae	*Elasmomyces, Gymnomyces, Martellia,*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Class	Order	Family	Genera
			Zelleromyces
		Russulaceae	*Lactarius, Russula*
	Sclerodermatales	Astraceae	*Astraeus*
		Sclrodermataceae	*Scleroderma, Horakiella*
Ascomycetes	Eurotiales	Elaphomycetaceae	*Elaphomyces*
	Pezizales	Humariaceae	*Peziza*
	Tuberales	Eutuberaceae	
		Geneaceae	
		Hydnotryaceae	
		Pseudotuberaceae	
		Terfeziaceae	
Zygomycetes	Mucorales	Endogonaceae	*Endogone, Sclerogone*
Deuteromycetes			Cenococcum

ที่มา Miller, 1982; Brundrett et al., 1996

ในประเทศไทยพบว่าราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ประมาณ 69 ชนิด อยู่ร่วมกับพันธุ์ไม้ในระบบนิเวศน์ป่าเต็งรัง ซึ่งแสดงการสร้างเอคโตไมคอร์ไรซาอย่างเด่นชัด ได้แก่ ไม้เต็ง (*Shorea obtusa* Wall.), รัง (*Shorea siamensis* Miq.), เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.), พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.), และมะค่าโมง (*Afzelia xylocarpa* Craib.) (อนิวรรต และ ธีรวัฒน์, 2524; Chalermpongse, 1992)

2. เอนโดไมคอร์ไรซ่า (endomycorrhiza) รากในกลุ่มนี้จะมีเส้นใยเจริญอยู่ภายนอกผิวราก ไม่รวมกันเป็นแผ่นแมนเทิล เส้นใยของราจะเจริญเข้าไปอยู่ภายในชั้นคอร์เทกซ์ของเซลล์ราก และสร้างโครงสร้างพิเศษ 2 แบบ สำหรับดูดธาตุอาหาร ขึ้นภายในเซลล์คอร์เทกซ์นั้น คือ arbuscule เป็นโครงสร้างที่มีผนังหนา และมีรูปร่างคล้ายต้นไม้แตกกิ่งก้านสาขา (dwarf tree) และ vesicle ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างกลม หรือรี ผนังบาง จึงอาจเรียกเอนโดไมคอร์ไรซ่า อีกในชื่อหนึ่งว่า Vesicular-arbuscular mycorrhiza หรือ VA mycorrhizas (VAM) รากในกลุ่มเอนโดไมคอร์

ไรซ่า จัดอยู่ใน Class Phycomycetes, Family Endogonaceae จำแนกได้ประมาณ 120 ชนิด ส่วนใหญ่อยู่ในสกุล Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Glomus, Sclerocystis และ Scultellospora (Schenck & Perez, 1987 อ้างใน Chalermpongse, 1993)

อนิวรรต และธีรวัฒน์ (2525) พบว่า ในระบบนิเวศน์ป่าดิบแล้งของไทย จะมีชนิดพันธุ์ไม้ที่มีความสัมพันธ์กับราแบบนี้อยู่ด้วยกันทั้งสิ้น 113 ชนิด ที่สำคัญได้แก่ ประดู่ (*Pterocarpus marcrocarpus* Kurz.), พะยูง (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre), แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub. Var. *kerrii* (Craib & Hutch) Nielsen), มะค่าแต้ (*sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.), กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A. Benn.) เป็นต้น

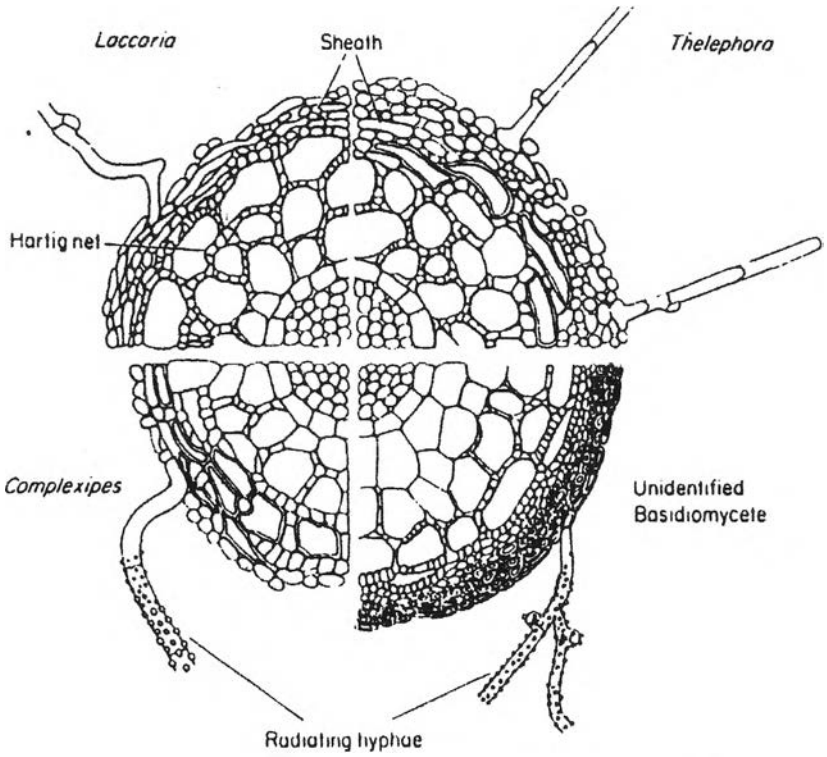
3. เอคเทนโดไมคอร์ไรซ่า (ectendomycorrhiza) เป็นลักษณะของไมคอร์ไรซ่าที่มีลักษณะของเอคโตไมคอร์ไรซ่า และเอนโดไมคอร์ไรซ่า ความสัมพันธ์แบบนี้พบค่อนข้างน้อยในสภาพดินป่าไม้ โดยปกติอาจจะพบได้กับพืชที่มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซ่าอยู่แล้ว เช่นในไม้สนเขา (*Pinus resinosa* Ait., *pinus sylvestris* L., *Pinus ponderosa* Laws.), Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) เป็นต้น ชนิดของราที่อยู่ในกลุ่มนี้เช่น *Rhizoctonia sylvestris, Mycelium radicis atrovirens* (Harley & Smith, 1983) ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ชนิดนี้ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มอีกมาก

ตารางที่ 2 ชนิดไม้ในเขตอบอุ่น และเขตร้อนที่มีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซ่า

Family	Genera
Aceraceae	*Acer*
Angiospermae	*Araliaceae, Didymopanax*
Betulaceae	*Alnus, Betula, Carpinus, Corylus, Ostrua, Ostryopsis*
Caesalpinniaceae	*Afzelia, Uapaca, Anthonona, Bauhinia, Berlinia, Brychystegia, Cassia, Eperua, Erythrophleum, Gilberttiodendron, Instia, Isoberlinia, Julbernardia, Microberlinia, Monopetalanthus, Paramacrolobium, Tetraberlinia*
Casuarinaceae	*Allocasuarina*
Cistaceae	*Citrus, Helianthemum, Tuberaria*
Corylaceae	*Corylus*

ตารางที่ 2 (ต่อ)

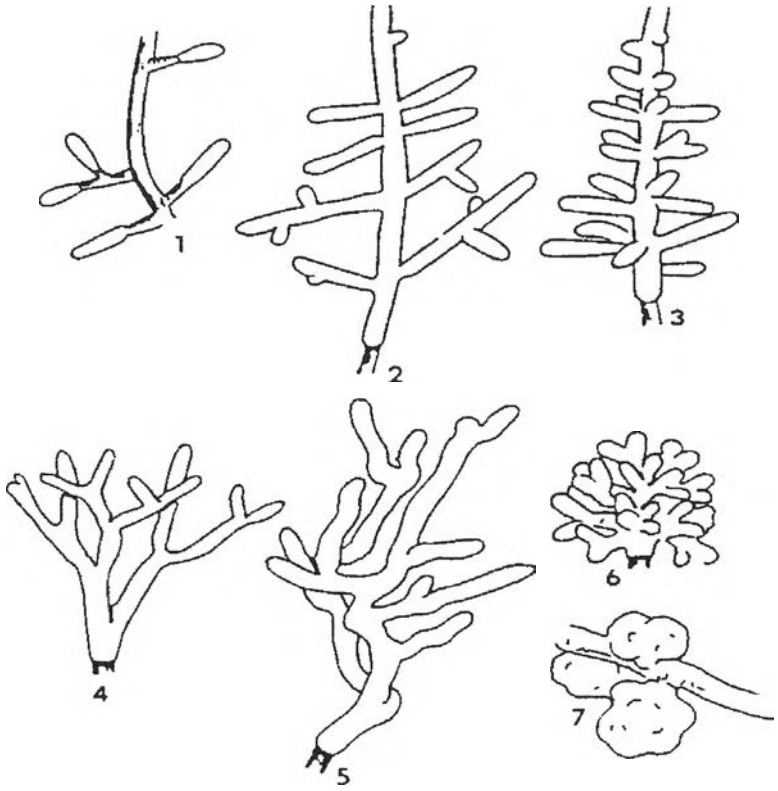
Family	Genera
Cupressaceae	*Cupressus, Juniperus*
Dipterocarpaceae	*Anisoptera, Shorea, Balanocarpus, Cotylelobium, Dipterocarpus, Dryobalanops, Vateria, Vatica*
Fabaceae	*Gastrolobium, Gompholobium, Jacksonia, Mirbelia, Oxylobium, Percopsis*
Fagaceae	*Castanopsis, Fagus, Lithocarpus, Nothofagus, Pasania, Quercus, Trigonobalanus, Castanea*
Gnetaceae	*Gnetum*
Gymnospermae	*Abies, Cathaya, Cedrus, Larix, Keteleeria, Picea, Pinus, Tsuga, Pseudolarix*
Juglandaceae	*Carya, Juglans*
Letospermaceae	*Leptospermum*
Meliaceae	*Owenia*
Myrtaceae	*Agonis, Allosyncapia, Angophora, Baeckea, Compomanesia, Eucalyptus, Eugenia, Leptospermum, Melaleuca, Tristania*
Mimosaceae	*Acacia*
Nyctaginaceae	*Neea, Pisonia*
Palmae	*Euterpe*
Papilionaceae	*Ormosia*
Polygonaceae	*Cocoloba, Rhamnaceae, Rhamnus*
Rhamnaceae	*Pomaderris, Trymalium*
Rosaceae	*Crataegus, Dryas, Malus, Pyrus, Sorbus*
Salicaceae	*Populus, Salix*
Sapindaceae	*Allophylus, Nephelium*
Tiliaceae	*Tilia*
Ulmaceae	*Ulmus*



ภาพที่ 1. ภาพตัดขวางของรากพืช แสดงการติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่าชนิดต่าง ๆ ในรากพืช (ที่มา Harley & Smith, 1983)

ลักษณะของรากพืชที่ติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่า

ลักษณะของรากพืชที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะแตกต่างไปจากรากพืชที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า อย่างเห็นได้ชัด เช่น รูปร่าง สี ลักษณะของผิวราก นอกจากนี้ยังมีลักษณะอื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กมากจนต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจดูลักษณะของรากที่เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างรา และรากพืช รากพืชที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่าจะมีการแตกแขนงมากขึ้น Zak (1973) ระบุว่า รากไม้ในตระกูล *Abies, Larix, Picea, Pseudotsuga* และ *Tsuga* ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะมีรูปแบบการแตกแขนงของรากเป็นแบบ pyramidally pinnate ขณะที่รากสนที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่าส่วนใหญ่จะมีลักษณะการแตกแขนงเป็นแบบ monopodial, bifurcates หรือ coralloid รูปแบบของการแตกแขนงและชื่อเรียกแสดงไว้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2. รูปแบบการแตกแขนงของรากเอคโตไมคอร์ไรซ่า 1) simple or unramified, 2) monopodial-pinnate, 3) monopodial-pyramidal, 4) dichotomous, 5) irregularly pinnate, dichotomous-like, 6) coralloid, 7) tubercle-like (ที่มา Durall et al.,1996)

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า

ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าก็เหมือนกับสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย ที่ต้องมีการเจริญ หรือทวีจำนวน ซึ่งการเจริญหรือทวีจำนวนนี้จะเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, ความเป็นกรด-ด่าง และสารอาหาร เป็นต้น

1.อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญยิ่งในการเจริญ และการปรับตัวให้อยู่รอดของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าแต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์ เจริญในช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันออกไป (Hacskaylo et al., 1965) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 18-27 องศาเซลเซียส (Harley & Smith, 1983) ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าบางชนิดมีความทนทาน และสามารถเจริญได้ในสภาพที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ France และ Reid (1979) รายงานว่า รา *Amanita citrina* (Schaeff.), *Amanita muscaria* (L. ex Fr.), *Cenococum graniforme* (Sow.), *Pisolithus tinctorius* (pers.) Coker & Couch., *Thelephora terestris* (Ehrh. ex Fr.), *Suillus grannulatus* (L. ex Fr.), *Suillus tomentosus*

(Kauffm.) Singer, Shell & Dick, *Laccaria laccata* (Scop ex Fr.) Berk. & Br. และ *Hebeloma crustuliniforme* (Bull. ex St. Am.) Quel. สามารถเจริญ และอยู่รอดได้ร้อยละ 97 ภายหลังการเก็บที่ –10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นอกจากนี้รา *P. tinctorius* ยังสามารถเจริญบนอาหาร Hagem agar ที่อุณหภูมิสูงถึง 42 องศาเซลเซียสได้ (Momoh & Gbadegesin, 1980)

2. ความชื้น บทบาทของความชื้นต่อของราเอคโตไมคอร์ไรซ่านั้น มีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่รอด การเจริญของรา ที่ระดับความชื้นในดินต่ำ ๆ ประมาณร้อยละ 2-7 ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าก็ยังสามารถเจริญอยู่ได้ และเจริญได้ดีที่ระดับความชื้นอยู่ในดินระหว่างร้อยละ 10-15 (Harley & Smith, 1983) รา *Cenococum geophilum* Fr.: Fr.เป็นราเอคโตไมคอร์ไรซ่าที่สามารถเจริญ และอยู่ร่วมกับต้นไม้ ในสภาพที่มีความแห้งแล้งสูงได้ (Trappe, 1977)

3. ความเป็นกรด-ด่าง ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าเจริญอยู่ได้นั้น จะมีความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันไปอย่างมาก ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าส่วนใหญ่ อยู่ระหว่าง 4.5- 5.5 (Hung & Trappe, 1983) ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าแต่ละชนิด หรือต่างสายพันธุ์ จะมีความสามารถเจริญในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่าง แตกต่างกันด้วย Willenborg et.al (1990) พบว่าความเป็นกรด-ด่างที่ส่งเสริมการเจริญของรา *Paxillus involtus* (Batsch : Fr.) Fr. จำนวน 5 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.5-4.5

4. อาหาร อาหารที่จำเป็นในการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยทั่วไปราเอคโตไมคอร์ไรซ่าสามารถเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำตาลกลูโคส แมนโนส และเซลโลไบโอส เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน ส่วนน้ำตาลฟรุคโตสจะถูกใช้ได้โดยราเอคโตไมคอร์ไรซ่าบางชนิด หรือบางสายพันธุ์เท่านั้น (Cao & Crawford, 1993) Thapar (1988) รายงานว่า รา *Scleroderma bovsita* Fr., *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg. และ *Cenococum graniforme* (Sow.) เจริญได้ดีบนอาหารที่มีน้ำตาลซูโครส และมอลโตส เป็นแหล่งคาร์บอน สำหรับแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซานั้น จะอยู่ในรูปของอนินทรีย์ไนโตรเจน ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าสามารถเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี แอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน (France & Reid, 1982; Harley & Smith, 1983; Ek et al., 1994) ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าบางชนิดสามารถเจริญได้บนอาหารที่มี ไนเตรต หรือสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ Scheromm et al. (1990) พบว่า รา *Hebeloma cylindrosporum* Romagn. มีอัตราการเจริญบนอาหารที่ใส่ไนเตรตเป็นองค์ประกอบ เพิ่มเป็น 10 เท่า เมื่อเทียบกับการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่แอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน

5.ยาฆ่ารา (fungicides) ยาฆ่าราที่ใช้สำหรับป้องกันกำจัดโรคพืช มีผลต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า กล่าวคือ ยาฆ่าราบางชนิดจะไปยับยั้งการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า (Mardisubroto & Wardana, 1982) หรืออาจจะไปกระตุ้นให้เจริญเร็วขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์อื่นบริเวณราก ถูกทำลายลงไป (Torstensson & Wessen, 1984)

ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า มีความสามารถที่จะทนทานต่อยาฆ่าราแต่ละชนิดที่ใช้ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แตกต่างกัน Marx และ Rowan (1981) พบว่า ยาฆ่ารา Benodanil ที่ระดับความเข้มข้น 3.4, 6.8, 13.7, และ 27.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในอาหาร Modified Melin-Norkran (MMN) จะยับยั้งการเจริญ ของรา *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. และ *Thelephora terrestris* Ehrh. ex Fr. ในขณะที่การใช้ Captan ที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 2.0, 3.9, และ 8.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าทั้งสองชนิด Hutchison (1990) รายงานว่าราเอคโตไมคอร์ไรซ่าในสกุล Boletinus, Boletellus, Boletus, Chalciporus, Lectinum, Suillus, Xerocomus, Pisolithus, Rhizopogon, Scleroderma, Hydnangium, Laccaria, Hygrophorus, Thelephora และ Paxillus สามารถทนทานและเจริญบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ที่มี Benomyl อยู่ในปริมาณ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Cenococcum geophilum* Fr.: Fr., ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าในสกุล Hebeloma, Lactarius, Russula ไม่สามารถเจริญบนอาหาร PDA ที่ผสมด้วย Benomyl เป็นองค์ประกอบอยู่ได้

6. จุลินทรีย์อื่นในดิน ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าบางชนิด ไม่สามารถที่จะเจริญ และแก่งแย่งกับจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ รากพืชได้ จุลินทรีย์บางชนิด สามารถสร้างสารพิษขึ้นในดิน เช่น Gliotoxin หรือ Griseofulvin ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าได้ (Jackson & Mason, 1984)

บทบาทที่สำคัญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าในระบบนิเวศน์

1.ความเป็นประโยชน์ต่อพืช

1.1 การดูดซับแร่ธาตุอาหาร รากพืชที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซ่าอาศัยอยู่ด้วย จะมีขนาดใหญ่ และแตกแขนงมากขึ้น เส้นใยของราที่แผ่กระจายไปในดินทุกทิศทาง จะทำหน้าที่เสมือนรากฝอย ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมธาตุอาหาร และน้ำของราก Marx และ Ruehle (1988) พบว่า รากของต้นสน *Pinus taeda* L. ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. ภายหลังการย้ายปลูก 2 ปี จะสามารถสังเกตเห็นเส้นใยของรา แผ่ไปในดินได้ไกลถึง 3 เมตร เส้นใยที่แผ่ไปได้ไกล ๆ นี้สามารถดูดธาตุอาหารและน้ำ ในบริเวณที่รากไปไม่ถึงส่งมาให้กับราก ส่งผลให้การเจริญของต้นไม้ดีขึ้น Rousseau et al. (1994) พบว่า พื้นที่ผิวในการดูดซึมของ

รากที่เพิ่มขึ้นนั้น มีเส้นใยของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 75 Skinner และ Bowen (1974) ได้ใช้สารกัมมันตภาพรังสีฟอสฟอรัส-32 ตรวจสอบพบว่ารากของกล้าสน *Pinus radiata* D. Don. ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไรซา *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. จะสามารถสะสมฟอสฟอรัสในราก ที่ได้จากการดูดซึมโดยเส้นใยของรา มากกว่ารากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่ายังสามารถย่อยสลายธาตุอาหารในดินที่สลายตัวได้ยาก ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ Cumming และ Weinsten (1990) รายงานว่า กล้าสน *Pinus ragida* Mill. ที่ใส่ราเอคโตไมคอร์ไซ่า *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. จะสามารถใช้ $AlPO_4$ เป็นแหล่งฟอสฟอรัสได้ ซึ่ง Cuming (1993) อธิบายว่า การที่กล้าไม้ที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซ่าอยู่ร่วมด้วย สามารถใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ เนื่องจากราเอคโตไมคอร์ไรซาจะผลิตกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งจะมีผลต่อการละลายของ $AlPO_4$ โดยตรง Williamson และ Alexander (1975), Ho และ Zak (1979) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่ายังสามารถสร้างเอนไซม์ Phosphatase สะสมไว้ในเซลล์ได้ และด้วยกิจกรรมของเอนไซม์ Phosphatase ที่ราเอคโตไมคอร์ซ่าผลิตขึ้นมานี้ ทำให้พืชสามารถใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ละลายยาก เช่น p-nitrophynylphosphate, Calcium Phytates (Jackson & Mason, 1984; Allen et al.,1981) ได้

ฟอสฟอรัสที่ถูกดูดเข้าไปนี้ ประมาณร้อยละ 90 จะถูกสะสมไว้ที่แผ่นแมนเทิล (Harley & Smith, 1983; Jackson & Mason, 1984) ในรูปของ Soluble orthophosphate (Harley & Loughman, 1963), Soluble polyphosphate (Martin et al., 1983; Harley & Smith, 1983), หรือ Polyphosphate granules (Chilvers & Harley, 1980; White & Brown, 1979) เส้นใยของราจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกักเก็บธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช และจะปลดปล่อยให้พืชเมื่อพืชมีความต้องการธาตุอาหาร

1.2 การป้องกันโรคระบบรากของพืช ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าสามารถช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคระบบรากพืช และต้นไม้ได้ โดยแผ่นแมนเทิล และใยฮาร์ติกจะทำหน้าที่เสมือนเกราะป้องกันเชื้อโรคที่จะเข้ามาทำลายราก (Marx, 1969a) ราเอคโตไมคอร์ไรซ่ายังสามารถสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotics) ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคได้ ซึ่ง Marx (1969b) และ Marx และ Davey (1969) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Leucopaxillus cerealis* var. *piceina* สามารถสร้างสารปฏิชีวนะ ชื่อ Diatretyne nitrile และ Diatretyne 3 ที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อรา *Phytophthora cinnamomi* ได้ Sinclair และคณะ (1982) พบว่า รากของกล้าสน *Pinus resinosa* Ait. ที่ติดเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Laccaria laccata* (Scop.: Fr.) B. & Br. สามารถป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* และส่งเสริมการเจริญของกล้าไม้ให้เป็นไปตามปกติได้ ในขณะที่ต้นกล้าที่ไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะมีอัตราการตายสูง หรือการเจริญของต้นกล้าจะชะงักงัน

นอกจากที่กล่าวแล้ว ราเอคโตไมคอร์ไรซ่ายังสามารถแก่งแย่งกับเชื้อโรคในดินได้ โดยการใช้คาร์โบไฮเดรต และสารเคมีอื่น ๆ ที่ถูกขับออกมาโดยรากขณะที่อาศัยอยู่ร่วมกัน เท่ากับเป็นการลดปริมาณของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อโรคในดินลง

1.3 การดูดซับความชื้น เส้นใยของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าที่แผ่กระจายลงไปในดินทุกทิศทาง นอกจากจะช่วยในการดูดธาตุอาหารแล้ว ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำของรากด้วย รากเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะมีความยาว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่ารากของพืชทั่วไป ช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซึมถึงร้อยละ 26-86 (Hadie & Leytonn, 1981) แผ่นแมนเทิลของราจะทำหน้าที่เสมือนฟองน้ำที่ดูดซับความชื้นไว้ Duddrige และคณะ (1980) พบว่า Rhizomorph ของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Suillus bovinus* (L. :Fr.) O. Kuntze สามารถทำหน้าที่ลำเลียงน้ำซึ่งอยู่ในรูปของสารกัมมันตภาพรังสี $^{3}H_2O$ สู่รากของกล้าสน *Pinus sylvestris* L. ได้ Foster (1981) อธิบายว่าเส้นใยของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ที่รวมกันเป็น Rhizomorph นี้ จะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเซลล์ผนังหนา 2 ชนิด และมี Polysacharide gel เป็นองค์ประกอบอยู่รอบ ๆ ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ Jennifer และคณะ (1983) ยังพบว่า ในสภาพความชื้นในดินจำกัด รากเอคโตไมคอร์ไรซ่า จะมีอัตราการระเหยน้ำต่ำกว่ารากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า

1.4 ความทนทานของต้นไม้ต่อความเป็นพิษของดิน ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ช่วยให้รากพืชมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเป็นพิษของดิน อุณหภูมิสูง โลหะหนัก หรือสารกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น Jones และ Hutchinson (1988) พบว่ากล้าไม้ Birch ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า สามารถเจริญในดินที่มี นิกเกิล (Ni) เป็นพิษอยู่สูงได้ ในขณะที่ Colpaert และ Van Assche (1992) ระบุว่ากล้าสน *Pinus sylvestris* L. ที่มีเอคโตไมคอร์ไรซ่า สามารถที่จะเจริญอย่างปกติในดินที่มี Zn เป็นพิษอยู่สูงได้เช่นกัน Denny และ Wilkins (1987) ระบุว่า ปริมาณของ Zn ที่ดูดเข้าไป จะถูกสะสมไว้ในผนังเซลล์ของเส้นใยราเอคโตไมคอร์ไรซ่า มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จะถูกส่งลำเลียงไปยังพืช นอกจากนี้ Entry และคณะ (1994) ยังพบว่า กล้าสน *Pinus ponderosa* Laws และ *Pinus radiata* D. Don. ที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซ่า สามารถดูดซับสารกัมมันตภาพรังสี Strontium-90 (^{90}Sr) จากดินได้ ในปริมาณที่มากกว่าต้นกล้าที่ไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซ่าถึง 3-5 เท่า

2 หน้าที่อื่นในระบบนิเวศน์

2.1 การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการอนุรักษ์ ราเอคโตไมคอร์ซ่า นอกจากจะมีบทบาทสำคัญต่อพืชแล้ว ยังมีความสำคัญในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ช่วยทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารในดินป่าไม้ โดยเฉพาะธาตุ N, P และ K เมื่อราเอคโตไมคอร์ไรซ่าตายลงธาตุอาหารทั้งหลายที่สะสมอยู่ภายในก็จะถูกปลดปล่อยกลับสู่ดิน (Harley & Smith, 1983)

Vogt และ Edmonds (1980) ศึกษาการสะสมของธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ใน fruiting body ของรา หลาย ๆ ชนิด รวมทั้งราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ในป่าสน พบว่า fruiting body จะมีการสะสมธาตุ N, P และ K ได้มากกว่าเศษซากพืชที่ร่วงหล่นอยู่บนพื้นป่า ถึง 3, 2-7 และ 4-22 เท่า ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศน์

2.2 การเคลื่อนย้ายคาร์บอนสู่จุลินทรีย์อื่นในดิน คาร์บอนเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในดิน การเจริญของจุลินทรีย์จะเป็นไปอย่างค่อนข้างช้าในสภาพของดินป่าไม้ ซึ่งมี ฮิวมัส เป็นองค์ประกอบสำคัญอยู่สูงถึงร้อยละ 80-90 ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าจะมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายคาร์บอนจากรากพืชอาศัย คาร์บอนส่วนที่เหลือเกินความต้องการ จะถูกเคลื่อนย้ายสู่ดินโดยโครงข่ายของเส้นใยรา (mycelial network) เป็นการช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์อื่นในระบบนิเวศน์ได้ Soderstrom (1993) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าจะช่วยเคลื่อนย้ายคาร์บอนที่เกินความต้องการสู่ดินได้ ในปริมาณ 200 กรัมต่อตารางเมตร ต่อปี

2.3 แหล่งอาหารสำหรับสัตว์นานาชนิด ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า เป็นแหล่งอาหารของแมลง และสัตว์ขนาดเล็กในดิน อีกหลายชนิด เช่น Collembola Nematodes (Warnock et al., 1982) นอกจากนี้ Master และคณะ (1978) ยังตรวจพบชิ้นส่วน หรือสปอร์ของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็ก ถึงร้อยละ 79

3. คุณค่าต่อมนุษย์

3.1 แหล่งอาหารที่สำคัญ ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าหลายชนิด สามารถนำมากินเป็นอาหารได้ที่สำคัญเช่น เห็ดเผาะ (*Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg.), เห็ดระโงกเหลือง (*Amanita caesarea* Fr.),เห็ดระโงกขาว (*Amanita* sp.), เห็ดน้ำหมากหรือเห็ดแดง (*Russula sanguinea* Fr., *Russula lepida* Fr., *Russula emetica* (Scha. ex Fr.) Pers. ex S.F. Gray), เห็ดตะไคล (*Russula delica* Fr.), เห็ดหลังเขียว (*Russula virescens* Fr.), เห็ดตับเต่า (*Boletus edulis* Bull.), เห็ดเสม็ดยูคา (*Tylopilus rulrobrunneus*) (อนิวรรต, 2539) Marx และคณะ (1992) พบว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Tuber melanosporum* หรือ *Tuber ucinatum* ที่เพาะร่วมกับไม้ *Quercus spp.* สามารถผลิตดอกเห็ด Truffle สำหรับเป็นอาหาร ได้ภายใน 3-5 ปี ซึ่งราคาขายของเห็ดชนิดนี้มีราคาสูง ประมาณกิโลกรัมละ 20,000-28,000 บาท (Walsh, 1996)

3.2 สีย้อม ดอกเห็ด หรือ Fruiting body ของราเอคโตไมคอร์ไรซ่านานาชนิด นอกจากจะเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญแล้ว ยังสามารถนำมาสกัดสีย้อมได้หลากหลายสี เช่น สีแดงหรือสีชมพู สามารถสกัดได้จากดอกเห็ดของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าในสกุล Cortinarius, สีส้ม สามารถสกัดได้

จากดอกเห็ดของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Boletus edulis* Bull., สีน้ำตาลหรือดำสามารถสกัดได้จากดอกเห็ดของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. เป็นต้น (Rice & Beebee, 1980)

3.3 ตัวชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อม ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า เป็นตัวชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศน์ป่าไม้ ถ้าที่ใดมีราเอคโตไมคอร์ไรซ่าหลากหลายชนิดแสดงว่ามีระบบป่าที่สมบูรณ์ แต่ถ้าที่ใดมีราเอคโตไมคอร์ไรซ่าน้อยชนิด แสดงว่าท้องที่นั้นมีการทำลายป่ามาก และมีมลพิษสูง Arnold (1988) รายงานว่า การเกิดสภาวะฝนกรด มีผลต่อการลดลงของจำนวนชนิดราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ในป่าสนเขตอบอุ่น ขณะที่ Fellner และ Peskova (1995) ระบุว่าความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศน์ป่าไม้ เนื่องจากมลพิษทางอากาศในระดับที่รุนแรงมาก มีผลทำให้ความหลากหลายในชนิดของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 20 ในขณะที่ราในกลุ่ม lignicolous จะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 55

การทำหัวเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่าเพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตของป่า

เนื่องจากประโยชน์ของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าดังกล่าว จะเห็นว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเพาะราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ให้กับกล้าไม้ก่อนย้ายนำไปปลูก ในพื้นที่ที่ขาดราเอคโตไมคอร์ไรซ่า โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าที่ถูกบุกรุกทำลาย หรือป่าเสื่อมโทรม วิธีการที่นิยมใช้ในการเพาะราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ให้กับกล้าไม้ในแปลงเพาะ มีดังต่อไปนี้

1.การใช้ดินเชื้อจากป่าธรรมชาติ (soil or humus containing natural inoculum) วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิม ง่าย และสะดวกกับศูนย์เพาะชำที่ตั้งอยู่ใกล้ป่าธรรมชาติ หรือสวนป่า ที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซ่าเจริญอยู่ในดินอยู่แล้ว Inoculum ชนิดนี้เตรียมได้โดยขุดดิน หรือฮิวมัส จากป่ามาผสมกับดินที่ใช้ในการเพาะชำ อัตราส่วนที่ใช้ประมาณ ร้อยละ 10- 20 (Mikola, 1973) ข้อเสียของวิธีนี้คือ ดินมีน้ำหนักมาก เมื่อต้องใช้ในปริมาณสูง ๆ ยุ่งยากกับการขนส่ง โดยเฉพาะการขนย้ายเป็นระยะทางไกล ๆ ไม่สะดวก นอกจากนี้ในดินอาจมีศัตรูพืช หรือโรคพืช ที่อาจทำอันตรายก่อให้เกิดความเสียหายแก่กล้าไม้ได้

2. การใช้สปอร์ (spore inoculum)

ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าหลายชนิด เช่น *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. , *Rhizopogon spp., Scleroderma spp.,*และ *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg. ผลิตสปอร์ได้ปริมาณมาก สปอร์ของราเอคโตไมคอร์ไรซ่าที่ทราบชนิดแล้ว สามารถนำมาคลุกเคล้ากับดินที่จะใช้เพาะ คลุกเคล้ากับเมล็ดก่อนนำไปเพาะ หรือฉีดพ่นให้กับกล้าไม้ก็ได้ (Marx et al., 1991) ในสหรัฐอเมริกา ได้

นำเอาสปอร์ของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* มาเพาะให้กับกล้าสนในเรือนเพาะชำ และพบว่าสปอร์เพียง 1 มิลลิกรัม (1.1×10^6 สปอร์) สามารถใช้ได้ผลดี (Marx & Bryan, 1975; Marx et al., 1976; 1978; 1984 a,b; Marx, 1976) สปอร์ก่อนที่จะนำมาใช้ต้องร่อนด้วยตะแกรง ผึ่งให้แห้ง (ความชื้นประมาณ 18 %) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส จะช่วยให้เก็บไว้ได้นานหลายปี (Marx et al., 1991)

ข้อดีของ spore inoculum คือ ไม่ต้องนำสปอร์ไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเทียม ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ สามารถเก็บไว้ได้นาน ไม่ยุ่งยากในทางปฏิบัติ สะดวกในการขนย้าย แต่ก็มีข้อเสียคือ spore inoculum จะมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูงหากเก็บรวบรวมมาจากหลาย ๆ พื้นที่ หรือพืชอาศัยต่างชนิดกัน นอกจากนี้การเกิดเอคโตไมคอร์ไรซ่ากับรากพืช ยังต้องใช้เวลานานกว่าการใช้เชื้อบริสุทธิ์ ถึง 4-6 สัปดาห์ (Marx et al., 1984a)

3. การใช้เชื้อบริสุทธิ์ (mycelial or vegetative inoculum)

วิธีนี้เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน เพราะทำให้สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าที่ดีได้ โดยการเลี้ยงเส้นใยจากเนื้อเยื่อดอกเห็ด หรือแยกราเอคโตไมคอร์ไรซ่าจากรากพืช แล้วนำไปขยายเพิ่มปริมาณโดยใช้ vermiculite กับ peat moss เป็นสับสเตรต และผสมอาหารเหลว Modified Melin-Norkrans (MMN) เลี้ยงนานประมาณ 3-4 เดือน ก่อนนำไปผสมดินเพาะให้กับกล้าไม้ (Marx & Kenny, 1982)

วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ การนำไปใช้กับศูนย์เพาะชำขนาดใหญ่ยังมีปัญหา เนื่องจากไม่สามารถผลิตหัวเชื้อที่บริสุทธิ์ได้ในปริมาณเพียงพอเหมาะที่จะใช้กับจำนวนกล้าไม้ประมาณ 10,000-20,000 ต้น เท่านั้น (Marx et al.,1992) นอกจากนี้ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าบางชนิด ยังไม่สามารถเจริญได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ เช่น รา *Lactarius spp., Cortinarius spp., Russula spp.* และ *Gomphidius spp.* เป็นต้น (Molina & Palmer, 1982)

4. การผลิตหัวเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซ่าในทางการค้า

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการใช้เชื้อบริสุทธิ์ มาผลิตเป็นอุตสาหกรรมในเชิงการค้า ภายใต้การควบคุมของบริษัท Sylvan spawn laboratory ราเอคโตไมคอร์ไรซ่าที่นิยมใช้เป็นหัวเชื้อ และผลิตเป็นการค้า เพื่อใช้ในการปลูกป่าในต่างประเทศคือ *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch., *Hebeloma crustuliniforme* (Bull. ex St. Am.) Quel., *Laccaria bicolor* (R. Mre) Orton หัวเชื้อที่ผลิตขึ้นนี้ ใช้ในอัตราส่วน 1 ลิตร (ราคาประมาณ 285 บาทต่อลิตร) ต่อพื้นที่ 2.7 ตารางเมตร ก็มีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำให้เกิดเอคโตไมคอร์ไรซ่ากับรากพืช (Marx et al., 1992)

การคัดเลือกราเอคโตไมคอร์ไรซ่าเพื่อใช้ในการผลิตหัวเชื้อ

เนื่องจากโดยธรรมชาตินั้น ราเอคไมคอร์ไรซ่าที่มีความสัมพันธ์กับรากพืชมีอยู่มากมายหลายชนิด ราแต่ละชนิดก็จะมีผลต่อพืชอาศัยในทางที่แตกต่างกัน การคัดเลือกชนิดของรา หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสมให้กับพืชจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่ง

Trappe (1977) กล่าวว่า เกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกราเอคโตไมคอร์ไรซ่า หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสม นั้นจะแตกต่างกันไป แล้วแต่ความต้องการ ซึ่งอาจจะพิจารณาจาก อัตราการเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ, ความสามารถในการดูดซึมธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช, ความทนทานต่อความเป็นพิษของดิน, ความจำเพาะเจาะจงกับพืชอาศัย (host specificity), ความชื้น, อุณหภูมิ, ความเป็นกรดด่าง (pH) หรือความสามารถในการผลิตดอกเห็ดเพื่อใช้เป็นอาหาร ในระหว่างปัจจัยเหล่านี้ อุณหภูมิ และ pH เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญของราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสมนั้น ควรจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิ และ pH ของดินหรือสับสเตรตในเรือนเพาะชำ และพื้นที่ปลูกได้เป็นอย่างดี

Marx และคณะ (1992) กล่าวว่า ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า ที่ได้รับคัดเลือกว่าเหมาะสมนั้นควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1. สามารถเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซ่าจำนวนมากกับพืชที่ต้องการ หรือกับพืชหลาย ๆ ชนิด

2. สามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในอาหารเลี้ยงเชื้อ และมีความทนทานต่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

3. ในสภาพหัวเชื้อเส้นใย (inoculum) สามรถมีชีวิตอยู่รอดได้เป็นเวลานาน ๆ หลายสัปดาห์ และสิ่งสำคัญประการสุดท้ายคือ

4. สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพทางนิเวศน์ของแต่ละพื้นที่ได้

การเลือกราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Pisolithus tinctorius* เพื่อใช้ในการผลิตหัวเชื้อ

ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch. จัดอยู่ใน Class Holobasidiomycetes, Series Gasteromycetes, Order Sclerodermalales, (Kendrick, 1992 อ้างใน Brundrett et al., 1996) สามารถพบได้ในเขตร้อน และเขตอบอุ่น ทุกภาคพื้นทวีป รวม 33 ประเทศ ทั่วโลก (Marx, 1977) สามารถขึ้นได้ในสภาพพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ดินเป็นกรดจัด ดินที่มีการพังทลายสูง ดินเหมืองแร่ ดินเหมืองถ่านหิน ดินที่มีความเป็นพิษของ Mg และ Al สูง เป็นต้น (Marx & Ruehle, 1988)

ราเอคโตไมคอร์ไรซ่า *P. tinctorius* เหมาะสำหรับที่จะเพาะให้กับกล้าไม้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับกล้าไม้สน และไม้ใบกว้างมากกว่า 70 ชนิด (Marx, 1977) สามารถแยกเส้นใยบริสุทธิ์จากเนื้อเยื่อได้ง่าย และเจริญได้ดีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แม้อุณหภูมิสูงถึง 40-42 องศาเซลเซียส ก็ยัง

เจริญได้ (Momoh & Gbadegesin, 1980) นอกจากนี้เมื่อเกิดเอคโตไมคอร์ไรซ่ากับรากพืชแล้ว จะสามารถสังเกตเห็น และตรวจประเมินได้ง่าย ๆ เนื่องจากเส้นใยจะมีสีน้ำตาลทอง (Golden brown or Mustard) เด่นชัด ในประเทศไทย อนิวรรต (2525) รายงานว่า สามารถพบรา *P. tinctorius* อยู่ร่วมกับรากไม้สนสองใบ สนสามใบ สนคาริเบีย และไม้ก่อชนิดต่าง ๆ ทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางของประเทศ

ลักษณะทั่วไปของเห็ด *Pisolithus tinctorius*

ชื่อวิทยาศาสตร์	*Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch.
	Pisolithus arhizus (Pers.) Rausch.
	Pisolithus arenarius A. & S.
ชื่อสามัญ	Dyemaker 's false, Stone puffball, Puffball, Bohemian truffle, Dead man ' s foot, เห็ดก้อนกรวด, เห็ดดินแดง
ชื่อวงศ์	Sclerodermataceae

ดอกเห็ด *P. tinctorius* มีขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 – 10 เซนติเมตร สูงประมาณ 8 – 25 เซนติเมตร เห็ดดอกอ่อนมีรูปร่างค่อนข้างกลม หรือรูปร่างคล้ายลูกแพร์ (pear-shaped) หรือกระบอง (club-shaped) ผิวด้านนอกของดอกเห็ดมีสีน้ำตาล หรือน้ำตาลแกมเหลือง ค่อนข้างเหนียว และหนาคล้ายแผ่นหนัง ชั้นในของดอกเห็ดแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของสปอร์ และส่วนของ Peridioles สปอร์มีรูปร่างกลม สีน้ำตาล ขนาด 7 – 11.5 ไมโครเมตร (Jordan, 1995) เมื่อดอกเห็ดแก่ ผิวด้านนอกตรงส่วนบนของดอกจะแตก และหลุดร่อนออก เพื่อให้สปอร์ของดอกเห็ดฟุ้งกระจายออกมา ดอกเห็ดชนิดนี้ไม่รับประทานเป็นอาหาร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะทั่วไปของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*)

ชื่อพฤกษศาสตร์	*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.
ชื่อสามัญ	River red gum, Red gum, River gum และ Murray red gum
ชื่อวงศ์	Myrtaceae

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส เป็นพันธุ์ไม้ต่างประเทศชนิดหนึ่ง ซึ่งจัดเป็นไม้โตเร็ว มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในออสเตรเลีย ขึ้นกระจัดกระจายในอาณาบริเวณกว้างขวาง กว่าไม้ยูคาลิปตัสชนิดอื่น พบได้ในเขตร้อน และเขตอบอุ่นของประเทศออสเตรเลีย ในทุกรัฐ ยกเว้นรัฐทัสมาเนีย ระหว่างเส้นรุ้งที่ 12-38 องศาใต้ และเส้นแวงที่ 112-152 องศาตะวันออก (ธนิต และประสิทธิ์, 2525)

ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส เป็นไม้ยืนต้นขนาดสูงปานกลางถึงขนาดใหญ่ ปกติมีความสูงประมาณ 24-37 เมตร แต่บางต้นอาจสูงถึง 50 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกประมาณ 2 เมตร ขึ้นได้ดีในพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 30-230 เมตร แต่บางครั้งก็พบว่า สามารถขึ้นได้ในพื้นที่ริมทะเล หรือในที่สูง ประมาณ 600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ขึ้นอยู่ได้ประมาณ 250-625 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 29-35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 11-20 องศาเซลเซียส แต่ในบางครั้งอาจขึ้นได้ ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำสุดถึง –6 องศาเซลเซียส และสูงสุด 54 องศาเซลเซียส (FAO, 1981)

สำหรับลักษณะดินนั้น พบว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ขึ้นได้ในพื้นที่ที่เป็นดินทราย ดินที่มีดินเหนียวในปริมาณสูง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดินที่มีน้ำท่วมขัง หรือดินเหมืองแร่ ยกเว้นดินหินปูน ส่วนลักษณะดินที่เหมาะสมคือ ดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำดี (National Academy of Science, 1980)

ในบรรดาไม้ยูคาลิปตัสด้วยกัน ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส เป็นไม้ที่มีผู้นิยมนำไปปลูกแพร่หลายมากที่สุดในโลก กล่าวคือทั่วโลกมีพื้นที่ปลูกประมาณ 500,000 เฮกแตร์ (National Academy of Science, 1980)

การใช้ประโยชน์ กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ (2530) รายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของเนื้อไม้ และการใช้ประโยชน์ไว้ว่า แก่นไม้มีสีน้ำตาล กระพี้สีน้ำตาลอ่อน สีของเนื้อไม้เข้มขึ้นตามอายุ มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 800-1200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่ออายุ 20 ปี ไม้อายุ 3 ปีสามารถใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษได้

ลักษณะการใช้ประโยชน์แบ่งเป็น ประโยชน์ในการก่อสร้าง ใช้ทำโครงสร้างของอาคาร ทำเสา เสาเข็ม ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ผลิตกระดาษเหนียว กระดาษพิมพ์ และกระดาษเขียน ประโยชน์ด้านพลังงานเชื้อเพลิง ใช้ทำฟืน และถ่านไม้ เนื่องจากให้ค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับไม้โกงกางใบเล็ก ประโยชน์อื่น ๆ เช่น ทำไม้หมอนรถไฟ ทำเครื่องมือกสิกรรม เป็นต้น

ลักษณะทั่วไปของไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya*)

ชื่อพฤกษศาสตร์	*Pinus khasya* Roye ชื่อพ้อง *Pinus kesiya* Royle ex Gordon
ชื่อสามัญ ชื่อพื้นเมือง	สนสามใบ สนเขา (กลาง) เกี๊ยะเปลือกบาง เกี๊ยะเปลือกแดง(เชียงใหม่) จ๋วง (เหนือ อิสาน)
ชื่อการค้า	Khasia pine
ชื่อวงศ์	Pinaceae
อันดับ	Coniferales

สนสามใบเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ความสูงประมาณ 15- 35 เมตร เมื่อโตเต็มที่อายุ 80- 90 ปี จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก 22-65 เซนติเมตร เปลือกนอกสีน้ำตาลแกมแดง หรือน้ำตาลอมชมพูอ่อน ๆ ล่อนเป็นสะเก็ดแบบร่างแห ความหนาของเปลือก 2.5 –3.5 เซนติเมตร เปลือกในสีน้ำตาลแดง กระพี้สีเหลืองอ่อน แก่นสีน้ำตาลอ่อนหรือสีเหลือง

ใบ สนสามใบมีจำนวน 3 ใบ รวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า fascicle (fasciculate) แต่ละกลุ่มใบมีกาบหุ้มกลุ่มใบ (sheath) กลุ่มใบจะหนาแน่นอยู่บริเวณปลายกิ่ง ใบโตเต็มที่จะมีความยาวประมาณ 10–25 เซนติเมตร ดอกมี 2 ชนิด คือ male cone และ female cone ผลเป็นรูปกรวยคว่ำ เมล็ดรูปไข่ สีน้ำตาลไหม้ และมีจุดสีขาวบนเปลือกเมล็ด ตรงกึ่งกลางเมล็ดจะนูนออกมาทั้งสองด้าน สนสามใบจะเติบโตได้ดีในดินร่วน หรือดินร่วนปนทรายความสมบูรณ์ต่ำ ขึ้นในบริเวณที่มีอากาศอบอุ่น ความสูงต่ำสุดจะอยู่ในเขตมรสุมเขตร้อน ระดับความสูงจากน้ำทะเล 350-2,500 เมตรขึ้นไป แต่ส่วนใหญ่พบว่าอยู่ในระดับความสูงเกิน 1,000 เมตร สนสามใบจะพบขึ้นปะปนกับสนสองใบในป่าสนเขา แต่ในป่าที่ค่อนข้างจะสูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000-1,600 เมตร พบสนสามใบขึ้นในที่ที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมากกว่าสนสองใบ หรือขึ้นเฉพาะสนสามใบล้วน ๆ มีในภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ ลำพูน สุโขทัย แม่ฮ่องสอน ภาคกลางในจังหวัด พิษณุโลก เพชรบูรณ์ แต่มีน้อยกว่าทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีในจังหวัด เลย ศรีสะเกษ (สมนึก, 2534; ระพีพรรณ, 2536) สนสามใบมีประโยชน์ทั้งเนื้อไม้ และน้ำมันสน เนื้อไม้ใช้ในการก่อสร้าง ทำเฟอร์นิเจอร์ เยื่อกระดาษเส้นใยยาว น้ำยางจากลำต้น (resin) กลั่นได้น้ำมันสน (rude terpentine oil) และชันสน (rossin) น้ำมันใช้ผสมยา ผสมสี ทำสบู่ ส่วนชันใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ผ้าสี ผ้าดอก น้ำมันชักเงา (vanish) กาว เป็นต้น ในทางธรรมชาติ สนเป็นไม้ที่นำมาปลูกเพื่อการอนุรักษ์ หรือสร้างสวนป่าโดยเฉพาะในพื้นที่สูง ที่เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร เนื่องด้วยมีระบบรากที่ดี สามารถเกาะยึดดินไว้