

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/สารนิเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 ราเอนโดไฟต์ (Endophytic fungi)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของราเอนโดไฟต์

ราเอนโดไฟต์เป็นภาวะที่ราอาศัยร่วมกับพืชเจ้าบ้าน (host) ในลักษณะ symbiosis แบบ mutualism ความสัมพันธ์ระหว่างราเอนโดไฟต์กับพืชเจ้าบ้านนั้นต่างฝ่ายต่างก็ได้รับผลประโยชน์ร่วมกัน พืชเจ้าบ้านที่ราเอนโดไฟต์อาศัยอยู่ด้วยนั้นจะให้สารอาหารและที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมกับราเอนโดไฟต์ ส่วนราเอนโดไฟต์ก็จะสร้างสารผลิตภัณฑ์บางอย่างที่ช่วยปกป้องพืชเจ้าบ้านไม่ให้ได้รับอันตรายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม รวมถึงแมลงและสัตว์กินพืชต่างๆที่จะเข้ามาทำอันตราย (Bacon และ White, 2000) ราเอนโดไฟต์จะอาศัยอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ของพืช (intercellular space) โดยจะมีการสร้างเส้นใยแทรกเข้าไปบริเวณช่องว่างในชั้น mesophyll และชั้น parenchyma ของพืชเจ้าบ้านที่รานั้นอาศัยอยู่ด้วย ราเอนโดไฟต์สามารถพบได้ในทุกส่วนของพืชเจ้าบ้าน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าราในกลุ่ม Ascomycotina, Basidiomycotina, Deuteromycotina และ Oomycetes บางชนิดสามารถเป็นราเอนโดไฟต์ของพืชต่างๆ ได้ (Panphut, 1997)

ราเอนโดไฟต์จะมีการถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่งได้โดยการแทงเส้นใยเข้าไปในส่วน of ovule เมื่อเมล็ดพืชนั้นเจริญเป็นต้นอ่อน ราที่อาศัยอยู่ภายในก็เจริญเติบโตไปพร้อมกับด้วย ภาวะการอยู่อาศัยระหว่างราเอนโดไฟต์และพืชเจ้าบ้านอาจมีได้หลายแบบ เช่น แบบ true endophyte ซึ่งเป็นการอาศัยอยู่ร่วมกันของราเอนโดไฟต์ในต้นพืชเจ้าบ้านตลอดช่วงอายุของรานั้น โดยที่ไม่ทำอันตรายกับพืชเจ้าบ้านที่รานั้นอาศัยอยู่ด้วยเลย นอกจากนี้ยังมีการค้นพบราเอนโดไฟต์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชหรือรากกลุ่มย่อยสลายซากได้ แต่เนื่องจากรากล่าวนี้มีช่วงชีวิตระยะแฝงอยู่กับพืชเจ้าบ้านจึงไม่แสดงลักษณะของการเกิดโรคในพืชนั้น เรียกช่วงชีวิตดังกล่าวว่า latent pathogen ในกลุ่มของราเอนโดไฟต์ที่เป็นกลุ่มราก่อโรคในพืชระยะแฝง หรือ dormant saprophyte ในกลุ่มของรากกลุ่มย่อยสลายซากระยะแฝง การแพร่กระจายของราเอนโดไฟต์ในธรรมชาติเกิดได้ 2 แบบ ได้แก่ แบบ vertical transmission จะเกิดเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตจนถึงช่วงพัฒนาระบบสืบพันธุ์ อันได้แก่ ช่อดอก และ เมล็ด ซึ่งรานั้นอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของต้นพืชเจ้าบ้านทำให้สามารถถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งสู่อีกรุ่นหนึ่งได้ ราที่มีการถ่ายทอดเช่นนี้เกือบทั้งหมดที่พบ เป็นราที่ไม่ก่อให้เกิดโรคพืช (nonpathogenic) และมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นการแพร่กระจายแบบ horizontal transmission โดยราเอนโดไฟต์จะมีการสร้างสปอร์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) สร้างส่วนของสปอร์ เช่น appressorium แทะเข้าไปในพืช การถ่ายทอดแบบ horizontal transmission นี้สามารถพบได้ทั่วไปในพืชแทบทุกชนิด แตกต่างกับการถ่ายทอดแบบ vertical

transmission ซึ่งพบได้เฉพาะในกลุ่มไม้เนื้อแข็ง (woody plant) เท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีคุณสมบัติที่สามารถใช้แยกโรคที่ก่อโรครากับราเอนโดไฟต์ออกจากกันได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยทั่วไปจะใช้วิธีการทำ surface sterilization ของชิ้นส่วนพืชที่จะนำมาแยกหาราเอนโดไฟต์ และแยกโรคที่เจริญเติบโตออกมาจากชิ้นส่วนพืช นั้น ราที่เจริญเติบโตมาจากเนื้อเยื่อพืชที่ปลอดเชื้อ และมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำเมื่อเทียบกับราโดยทั่วไป (2-8 สัปดาห์) จะจัดว่าเป็นราเอนโดไฟต์ของพืชนั้นๆ (Saikkonen และคณะ, 2004)

2.2 ประโยชน์ของราเอนโดไฟต์

เป็นที่น่าสังเกตว่าพืชตระกูลหญ้าที่มีเอนโดไฟต์อาศัยร่วมอยู่ด้วยสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้แม้จะมีสภาพที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญ เช่น สภาพ pH และสารอาหารที่ไม่สมดุล หรือแม้แต่ในสภาพที่มีแมลง และจุลินทรีย์แวดล้อมอยู่เป็นจำนวนมาก แสดงว่าเอนโดไฟต์น่าจะมีการสร้างสารบางชนิดเพื่อป้องกันไม่ให้พืชที่อาศัยอยู่ด้วยเกิดอันตรายจากสภาพที่ไม่เหมาะสมเหล่านี้ พืชเจ้าบ้านที่มีราเอนโดไฟต์บางชนิดอาศัยอยู่ เช่น *Atkinsonella* spp. หรือ *Balansia* spp. อาจมีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติจากเดิม เช่น ต้นเตี้ยลง หรือมีการผลิตใบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้มีผลกระทบที่ดีต่อพืชเจ้าบ้าน ในด้านการเพิ่ม competitiveness และความแข็งแรงเมื่อเทียบกับหญ้าที่ไม่มีเอนโดไฟต์อาศัยอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่า *Balansia* spp. สามารถสร้าง phytohormone ที่จะเหนี่ยวนำให้เกิด somaclonal variation ในพืชเจ้าบ้าน ซึ่งจะเป็นการเพิ่ม genetic variability ให้กับพืช ที่จะทำให้พืชนั้นสามารถอยู่รอดได้ในสภาพที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ (Bacon and White, 2000)

Webber (1981) เป็นคนแรกที่ได้ค้นพบราเอนโดไฟต์ *Phomopsis oblonga* ซึ่งสามารถป้องกันด้วง *Physonemum brevilineum* ไม่ให้ต้นเอลม์ (elm) เป็นอันตราย หลังจากนั้น 4 ปีมีการพบว่าราเอนโดไฟต์ในกลุ่ม Xylariaceae สามารถสังเคราะห์สารเมตาบอไลต์ในพืช *Fagus* และสารดังกล่าวมีผลกับด้วง (beetle larvae) ซึ่งเข้าทำลายพืช (Azevedo และคณะ, 2000) ในปี ค.ศ. 2001 Chang Hong Liu และคณะได้ทำการคัดแยกสาร temisinin จากราเอนโดไฟต์ *Artemisia annua* มาทดสอบพบว่าสารที่ได้มีประสิทธิภาพในการต้านทานการเข้าทำลายของแมลงทั่วไปและเชื้อราก่อโรคได้ดี ในปี 2544 สายสมร และคณะ ได้ทำการศึกษาเอนโดไฟต์ที่พบในรากพืชตระกูลขิง ได้แก่ *Gaeumannomyces amoni* และ *Leiosphaerella amoni* นั้น ประมาณ 7% ของราเอนโดไฟต์ที่แยกได้มีความสามารถในการสร้างสารต้านราที่ทำให้เกิดโรคใบไหม้ของข้าว ต่อมาในปี 2547 ได้สำรวจคุณสมบัติในการสร้างสารออกฤทธิ์ที่ต้านราสาเหตุโรคพืช 2 ชนิด คือโรค rice blast (*Pyricularia grisea*) และ anthracnose ของกล้วย (*Collectotrichum* sp.) จากพืชป่าที่เป็นไม้เนื้ออ่อน จำนวน 7 ชนิดเป็นพืชวงศ์ปาล์ม 2 ชนิด พืชวงศ์ขิง 2 ชนิด พืชสมุนไพร 2 ชนิด และกล้วยป่าบริเวณอุทยานแห่งชาติสุเทพ-ปุย จ.เชียงใหม่ พบราเอนโดไฟต์ *Guignardia cocoicola* CMUBE1415 สามารถสร้างสารเมตาบอไลต์ยับยั้งรา *Collectotrichum musae* และ *Fusarium oxysporum* ซึ่งเป็นสาเหตุโรคกล้วยได้ดี

ในพืชบางชนิดราไม่ได้มีหน้าที่สร้างสารพิษในการป้องกันพืชเจ้าบ้านเพียงอย่างเดียว แต่มีปัจจัยการทำงานร่วมกันระหว่างพืชและราเอนโดไฟต์ โดยสารพิษจะถูกสร้างโดยราเอนโดไฟต์และค่อยๆปล่อยออกมาอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชในส่วนต่างๆ เพื่อช่วยป้องกันการเข้าทำลายจากผีเสื้อกลางคืน (*Plutella xylostella*) ซึ่งจะได้รับสารพิษจากใบไม้ที่มีสารพิษจากราสะสมอยู่เข้าไป แม้ว่าในบริเวณที่กินนั้นจะไม่ได้มีราเอนโดไฟต์อาศัยอยู่ก็ตาม (Azevedo และคณะ, 2000)

สารเมตาบอไลต์ที่ได้จากราเอนโดไฟต์นอกจากจะเป็นประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรมแล้วยังพบว่าสามารถให้ประโยชน์ในทางการแพทย์อีกด้วย มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าพืชสมุนไพรบางชนิดมีเชื้อราอาศัยร่วมอยู่ด้วย ซึ่งเชื้อราที่แยกได้จากพืชสมุนไพรนั้นผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดเดียวกันกับพืช ตัวอย่างเช่น เชื้อราที่เจริญอยู่ในต้น Yew สามารถผลิตสาร taxol เช่นเดียวกับพืช คาดว่าสารออกฤทธิ์ที่สร้างขึ้นโดยสมุนไพร อาจถูกสร้างขึ้นโดยราที่อาศัยในพืชสมุนไพรนั้นด้วย ราเอนโดไฟต์ *Paecilomyces* sp. ที่แยกจากต้นพืชสมุนไพร *Taxus mairei* *Cephalataxus fortunei* และ *Torreya grandis* ในประเทศจีนสามารถผลิตสาร taxol ซึ่งออกฤทธิ์เป็น antitumor agents และ anticancer ได้เช่นเดียวกัน (Huang และคณะ, 2001)

นิตยาและคณะ (2547) ได้มีการศึกษาถึงเชื้อราเอนโดไฟต์ที่ผลิตสารเมตาบอไลต์บางอย่างและมีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อรา โดยทำการคัดแยกเอนโดไฟต์มาจาก จ. เชียงใหม่ พบว่าราเอนโดไฟต์สามารถสร้างสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และสามารถยับยั้งการสร้างเส้นใยของเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้

2.3 ความหลากหลายของราเอนโดไฟต์

ในต่างประเทศมีการศึกษาเกี่ยวกับราเอนโดไฟต์มาเป็นเวลานาน ทั้งนี้เนื่องมาจากปัญหาที่พบจากการเจ็บป่วยของปศุสัตว์ที่เลี้ยงด้วยหญ้าเลี้ยงสัตว์ (Forage grasses) บางชนิด ซึ่งเมื่อสัตว์กินหญ้าเหล่านี้เข้าไป จะมีอาการเหมือนได้รับสารพิษ จนถึงขนาดล้มตายเป็นจำนวนมาก ต่อมาจึงมีการค้นพบว่าหญ้าเลี้ยงสัตว์ *Lolium perenne* L. มักมีราเอนโดไฟต์กลุ่ม clavicipitaceae (*Acremonium lolii*) อาศัยร่วมอยู่ด้วยเสมอ และราดังกล่าวได้สร้างสารพิษในกลุ่ม Ergot alkaloids, Loline alkaloids, Peramine และ Ryegrass neurotoxins เป็นต้น เก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อของพืช เมื่อสัตว์กินพืชที่มีสารพิษชนิดนี้เข้าไปก็จะก่อให้เกิดอันตรายได้ (Bacon and White, 2000) ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมานักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาด้านเชื้อราจึงให้ความสนใจในการศึกษาราเอนโดไฟต์ในแง่มุมต่างๆ มากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ความหลากหลายทางชีวภาพของราอาจวิเคราะห์ได้จากวิเคราะห์ความหลากหลายของชนิดราในกลุ่มประชากร (Species diversity) และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของชนิดราที่พบระหว่าง 2 กลุ่มประชากร (Percent similarity) โดยการวิเคราะห์ความหลากหลายนั้นมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง 2 ปัจจัยคือจำนวนของชนิด (สปีชีส์) หรือ Species richness และ จำนวนในแต่ละชนิดหรือ evenness จุดประสงค์ประการหนึ่งในการวัดความต่างชนิดก็เพื่อที่จะเปรียบเทียบว่าในแหล่งที่อยู่ต่างๆ นั้นจะมี

สิ่งมีชีวิต (ทั้งชนิดและจำนวน) มาอาศัยอยู่มากน้อยต่างกันเพียงใด และเพื่อที่จะสามารถตั้งสมมติฐานเพื่ออธิบายว่า ทำไมในที่แห่งหนึ่งจึงมีสิ่งมีชีวิตมาอาศัยอยู่มากมายหลายชนิดกว่าอีกแห่งหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตในสังคมต่างๆ ตั้งแต่เขตใกล้เส้นศูนย์สูตรสู่ขั้วโลก จะปรากฏเด่นชัดว่าจำนวนสปีชีส์จะค่อยๆ ลดลงเมื่อเส้นรุ้งเพิ่มมากขึ้น หลักความจริงข้อนี้เป็นที่มาของคำว่า species abundance, species diversity และ species richness ซึ่งคำทั้งสามคำนี้มีความหมายเท่ากัน หมายถึงจำนวนของสปีชีส์ที่พบในพื้นที่แห่งใดแห่งหนึ่ง ดังนั้นจึงปรากฏเป็นหลักความจริงว่า ในสังคมใดก็ตามที่ประกอบด้วยจำนวนของสปีชีส์มากหรือมีค่า richness หรือ diversity สูง จะมีสมาชิกของแต่ละสปีชีส์น้อย ดังที่เห็นในสังคมของสิ่งมีชีวิตที่พบในเขตร้อนมักมีค่า species diversity สูง และสังคมในเขตหนาวจะมีค่าต่ำ เช่น ในเขตเส้นรุ้งต่ำมักพบสิ่งมีชีวิตมากชนิดและในเขตเส้นรุ้งสูงพบจำนวนชนิดน้อยลง จะมียกเว้นเฉพาะสิ่งมีชีวิตบางกลุ่ม เช่น นกเพนกวิน และไม้สน ที่จะพบจำนวนสปีชีส์มากขึ้นในเขตเส้นรุ้งสูง ลักษณะทั่วไปที่เหมือนกันของสังคมสิ่งมีชีวิตคือ ในสังคมนั้นจะมีสิ่งมีชีวิตเพียง 2-3 สปีชีส์ที่พบเป็นจำนวนมากหรือพบบ่อย (common species) และมีสิ่งมีชีวิตอีกมากมายหลายสปีชีส์ที่พบน้อยหรือหายาก (rare species)

เพื่อความสะดวกต่อการเปรียบเทียบค่าความหลากหลายของสปีชีส์ในสังคมที่แตกต่างกัน ในการคำนวณค่า Species diversity ของสังคมมีผู้เสนอไว้หลายแบบ ที่มีการนำมาใช้มากที่สุดคือ Shannon-Wiener index (Magurran, 1988) ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อจำนวนสปีชีส์เปลี่ยนไป หรือเมื่อสมาชิกของสปีชีส์ต่างๆ มีการแพร่กระจายที่เปลี่ยนไป ดัชนีดังกล่าวใช้กับการสุ่มตัวอย่างมาจากกลุ่มประชากรที่มีขนาดใหญ่ โดย Shannon-Wiener index มีสมการดังนี้

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

H' = ดัชนีความต่างของชนิด (ดัชนีความหลากหลาย)

S = จำนวนชนิด

P_i = สัดส่วนจำนวนชนิดที่ i ต่อจำนวนทั้งหมด

ดัชนีความต่างชนิดของแชนนอนและวีเนอร์ (H') นี้ จะยังมีค่าสูงขึ้นถ้าพบจำนวนชนิดมากขึ้น และสูงขึ้นเมื่อมีความสม่ำเสมอในการกระจายจำนวนดีขึ้น (แต่ละชนิดมีจำนวนเท่าๆ กัน) ทำให้มีค่าความหลากหลายของชนิดสูง หากจำนวนในชนิดของสิ่งมีชีวิตมีการแพร่กระจายไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ค่าความหลากหลายมีค่าต่ำลง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าราเอนโดไฟต์ที่แยกได้จากพืชเจ้าบ้านมีความหลากหลายมากขึ้นอยู่กับชนิดของพืชเจ้าบ้าน ส่วนของเนื้อเยื่อพืช ฤดูกาล และแม้แต่แหล่งที่ทำการศึกษาศึกษา ดังเช่น ราเอนโดไฟต์ *Talaromyces flavus* และ *Eupenicillium crustaceum* ที่แยกได้จากพืชวงศ์ขิงมีความจำเพาะเจาะจงต่อ

เนื้อเยื่อลำต้นใต้ดิน ในขณะที่รา *Phyllosticta* spp. และ *Pyricularia* spp. ที่แยกได้จากพืชวงศ์จิงเขินกันมีความจำเพาะเจาะจงต่อเนื้อเยื่อใบ ส่วนราเอนโดไฟต์ในกลุ่ม *Xylariaceae* และ *Guignardia cocoicola* จากใบมากที่สุด ส่วนรา *Pyriculariopsis parasitica* และ *Dactylaria* sp. แยกได้จากกาบใบมากที่สุด รา *Collectotrichum gloeosporioides* และ *C. musae* พบมากในส่วนของก้านใบและเส้นกลางใบ นอกจากนี้ยังพบราชนิดใหม่ได้แก่ *Gaeumannomyces amomi* *Leiosphaerella amomi* *Pyricularia kookicola* *P. longispora* และ *P. variabilis* ในพืชวงศ์จิงแต่ไม่พบราดังกล่าวในพืชชนิดอื่นที่ศึกษา จึงคาดว่า รากลุ่มนี้อาจมีความจำเพาะต่อชนิดของพืชวงศ์จิงเพียงอย่างเดียว โดยความต่างกันของชนิดราเอนโดไฟต์ในชนิดพืชหรือเนื้อเยื่อพืชที่ต่างกัน อาจเนื่องมาจากความชอบที่จะ infect เนื้อเยื่อที่ต่างกันของเชื้อรา และอาจมีผลมาจากความสามารถในการใช้สารอาหารต่างๆในเนื้อเยื่อพืชนั้นด้วย (เลขา, 2543)

การศึกษาราเอนโดไฟต์ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น พืชวงศ์หญ้าที่เจริญในเขตหนาว พบราเอนโดไฟต์ใน Class Ascomycetes ส่วนใหญ่อยู่ใน family Clavicipitaceae โดยรากลุ่มที่จัดว่าเป็นราเอนโดไฟต์ของพืชตระกูลหญ้าได้แก่ *Atkinsonella* spp. *Balansia* spp. *Epichloe* spp. และ *Myriogenospora* spp. รวมไปถึง anamorph ของราในกลุ่มนี้ได้แก่ *Acremonium* spp. *Ephelis* spp. และ *Typhodium* spp. และราเอนโดไฟต์เหล่านี้สามารถอาศัยอยู่ได้กับพืชตระกูลหญ้าทุกชนิด (Bacon และ Battista, 1991) นอกจากนี้จากการศึกษาราเอนโดไฟต์ในพืชตระกูลหญ้าจากภาคกลางในประเทศไทย พบราเอนโดไฟต์ในกลุ่ม *Acremonium* spp., *Myriogenospora* spp., *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Cephalosporium* spp., *Cladosporium* spp., *Curvularia* spp., *Hyalodendron* spp., *Penicillium* spp., *Drechslera* spp. และ *Thielaviopsis* spp. ซึ่งบางจีสน์ในกลุ่มเหล่านี้พบว่าเป็นราที่ก่อโรคได้เช่นเดียวกัน (ต้นสนลักษณะ และ วิไลรัตน์, 2545)

การศึกษากความหลากหลายของราเอนโดไฟต์ในรัฐพืชมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย เช่น ข้าวโพดกล้วย กาแฟ และข้าวสาลี แต่สำหรับข้าวยังมีการศึกษาน้อย (Latiffah Z. et. al., 2010) ในปี ค.ศ. 1991 Fisher และ Petrini ได้ทำการศึกษาราเอนโดไฟต์ที่แยกได้จากส่วนใบและรากของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในประเทศอิตาลี พบราเอนโดไฟต์ที่เป็นได้ทั้ง saprophyte และราก่อโรค (pathogen) ในพืชได้ โดยกลุ่มราเอนโดไฟต์ที่พบได้แก่ *Alternaria alternata* (fr.) Keissler, *Epicoccum purpurascens* Ehrenb. Ex. Schlecht, *Cladosporium tenuissimum* Cooke, *Nigrospora oryza* ส่วนรา *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc., *F. oxysporum* Schecht และ *Phoma sorghina* จัดเป็นราก่อโรคระยะแฝง งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่มีการศึกษาถึงราเอนโดไฟต์ที่อาศัยอยู่ในข้าวและทำให้ทราบว่าราก่อโรคสามารถอาศัยอยู่ในข้าวได้ในสถานะที่เป็นเอนโดไฟต์ แต่เมื่อข้าวเจริญเป็นต้นแก่หรือมีความอ่อนแอเนื่องจากสภาพแวดล้อม รางั้นก็อาจเปลี่ยนจากสถานะอาศัยเป็นสถานะก่อโรคได้ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายและส่งผลให้ผลผลิตของข้าวในประเทศลดลง

การศึกษากลุ่มของเอนโดไฟต์ที่น่าสนใจอีกกลุ่มหนึ่งคือ แบคทีเรียเอนโดไฟต์ (diazotrophic endophytes) ซึ่งอาศัยอยู่บริเวณรากและรอบๆรากของพืชเจ้าบ้าน ในปี ค.ศ. 2001 Zhiyuan T. และคณะได้ทำการวิจัยร่วมกับ IRRI (International Rice Research Institute) เพื่อศึกษาเอนโดไฟต์ที่อาศัยในส่วนของกาบใบและรากของข้าวในประเทศฟิลิปปินส์ โดยทำการคัดแยกและจัดจำแนกเอนโดไฟต์ที่เป็น predominant ของข้าวหลากหลายสายพันธุ์ พบว่าส่วนใหญ่เป็นยีสต์ *Serratia* spp. ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่ม *Rhizobacterium* กลุ่ม *Enterobacteriaceae* มีส่วนช่วยให้ข้าวแข็งแรง ช่วยในการเจริญเติบโต และมีความต้านทานโรคพืชได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า *Serratia* sp. SY5 ที่แยกได้จากหญ้า *Echinochloa crus-galli* ในประเทศเกาหลี มีส่วนช่วยลดความเป็นพิษของโลหะหนักที่สะสมอยู่ในดิน สามารถเติบโตในดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักโดยพบว่าทำให้รัศมีของรากต้น *Zea Mays* มีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณ 15 เท่าเทียบกับชุดควบคุม เมื่อเลี้ยงในดินที่ปนเปื้อนด้วย Cd และ Cu ความเข้มข้น 15 mg/l และสร้าง indole acetic acid (IAA) ความเข้มข้นสูงถึง 38 mg/l ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่ 5 วัน ซึ่ง IAA เป็น plant growth regulator ที่สามารถดูดซึมได้บริเวณรากพืช รวมถึงสามารถผลิต siderophores ได้ในปริมาณสูง (Koo So-Yeon and Kyung-Suk Cho, 2009)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของราเอนโดไฟต์ด้วยการใช้เทคนิคทางอนุชีววิทยาเพื่อที่จะสามารถจำแนกราเอนโดไฟต์ที่ไม่สร้างสปอร์ได้มากขึ้น โดยในปี 2008 Lei Sun และคณะได้ศึกษาความหลากหลายของ bacterial endophytes บริเวณรากของข้าวโดยใช้การทำ phylogenetic analysis จาก PCR product ของ 16s rDNA พบกลุ่มเอนโดไฟต์ที่เป็น predominant คือ *Proteobacteria* ได้แก่ *Stenotrophomonas* spp., *Gallionella ferruginea*, *Burkholderia* spp., *Enterobacter* sp., *Brevundimonas diminuta*, *Pantoea* sp. จากจำนวนมากไปน้อยตามลำดับ

2.2 ข้าวหอม

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าวหอม

ลักษณะโดยทั่วไปของข้าวหอมมีลำต้นและใบค่อนข้างเล็ก สีเขียวอ่อน มีความสูงของต้นอยู่ประมาณ 140-150 ซม. ทนความแห้งแล้ง ทนดินเปรี้ยว ดินเค็มได้ดี ระยะเวลาในการเพาะปลูกตั้งแต่กกกล้าถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 110-120 วัน ผลผลิตสุกแก่และเก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 25 พฤศจิกายน ของทุกปี ลักษณะข้าวเปลือกยาวรี น้ำหนักเบา ส่วนข้าวสารจะขาวใสเลื่อมมัน เมล็ดข้าวจะเป็นข้าวเมล็ดยาว โดยมีความยาวเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 7.0 มม. และมีอัตราส่วนความยาวเฉลี่ยต่อความกว้างเฉลี่ยของเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 3.0 มม. มีปริมาณอมิโลส (amylose) หรือแป้งที่เป็นส่วนประกอบในเมล็ดข้าวต่ำ อยู่ระหว่าง 12-19 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความชื้น 14.0 เปอร์เซ็นต์ (วิฑูรย์ และ นิรมล, 2545)

ข้าวหอมมะลิของไทยเป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นในตลาดข้าวของโลก เนื่องจากเป็นข้าวคุณภาพสูง เมื่อหุงสุกมีความหอมและอ่อนนุ่ม ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตข้าวหอมมะลิได้ปีละประมาณ 2.8-3 ล้านตันข้าวเปลือก ในขณะที่ความต้องการข้าวหอมมะลิตกว่ามีปีละ 5 ล้านตันข้าวเปลือก และความต้องการดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นทุกปี ประเทศที่ส่งข้าวหอมจากไทยมีไม่ต่ำกว่า 60 ประเทศทั่วโลก แต่ลูกค้าสำคัญๆ ส่วนใหญ่จะอยู่ในทวีปเอเชีย ประเทศที่นำเข้ามากที่สุดในปี 2538 คือ ประเทศจีน (2.6 แสนตัน) รองลงมาคือฮ่องกง (2.2 แสนตัน) สิงคโปร์ (1.79 แสนตัน) และ สหรัฐอเมริกา (1.75 แสนตัน) ตัวเลขการส่งออกข้าวหอมมะลิในปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ โดยคิดเป็นสัดส่วนการส่งออกประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ของยอดการส่งออกข้าวไทยทั้งหมด (ไพฑูรย์ และ กิตติยา, 2541)

2.2.2 ชนิดของข้าวหอมที่นิยมปลูกในประเทศไทย

ก. ข้าวหอมมะลิ 105 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2535)

ข้าวหอมดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกร อ. บางคล้า จ. ฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกศึกษาพันธุ์ ได้รวมที่ 105 ซึ่งมีกลิ่นหอมและคุณภาพการหุงต้มอ่อนนุ่ม จึงนำมาปรับปรุงให้เป็นพันธุ์บริสุทธิ์ตามหลักวิชาการ รัฐบาลให้ประกาศขยายพันธุ์ออกส่งเสริมได้เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2502 พื้นที่ปลูกที่เหมาะสม คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่

ลักษณะทั่วไป

1. เป็นข้าวเจ้า ไร่ต่อช่วงแสง
2. เป็นข้าวต้นสูง ประมาณ 140-150 ซม.
3. ข้าวจะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายนของทุกปี
4. ระยะพักตัวของเมล็ด 8 สัปดาห์
5. ขนาดเมล็ดข้าวกล้องยาว 7.5 มม. กว้าง 2.1 มม.หนา 1.8 มม.
6. ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดเรียวยาว ก้นงอน สีฟาง

ลักษณะดี

1. มีกลิ่นหอม อ่อนนุ่ม
2. ทนต่อสภาพแล้ง ทนต่อดินเปรี้ยวและดินเค็ม
3. คุณภาพการสีดี เมล็ดข้าวสารใส มีท้องไข่น้อย
4. ตลาดกว้าง ราคาดี

ข้อจำกัด

1. ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคไหม้
2. ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

3. ถ้าปลูกในบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง ทำให้ต้นอ่อนล้มง่าย

ข. ข้าวหอมปทุมธานี 1 (สถานีทดลองข้าวพระนครศรีอยุธยา, 2543)

ถิ่นกำเนิด ประเทศไทย เป็นข้าวคู่ผสมข้าวหอมสายพันธุ์ BKNA6-18-3-2 และ PTT85061-86-3-2-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี นำออกขยายพันธุ์เมื่อปี 2543

ชนิดข้าว เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าหอม ไม่ไวต่อช่วงแสง

อายุ อายุการเก็บเกี่ยวนานำ 113-126 วัน นานหว่าน 104-114 วัน

ความสูง ต้นสูงประมาณ 104-113 ซม.

ลักษณะเมล็ด เปลือกเมล็ดสีฟาง มีขน กลีบรองดอกสีฟาง เมล็ดข้าวเปลือกเกลี้ยงยาว 10.52 มม. กว้าง 2.47 มม. และหนา 1.95 มม.

ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ย 650-774 กก./ไร่

ลักษณะสำคัญ คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวสุกนุ่มเหนียว มีกลิ่นหอม ด้านทานเปลือกกระโดดสีน้ำตาล ด้านทานโรคไหม้และขอบใบแห้ง