# บทที่ 2

# ตรวจเอกสาร

จุลินทรีย์ คือ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (ปกติจะมีขนาดเล็กกว่า 0.1 mm) ดังนั้นการตรวจสอบลักษณะรูปร่างของจุลินทรีย์เหล่านี้จำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ (แสวง, 2525) กระบวนการต่างๆทางชีวเคมีที่จุลินทรีย์มีบทบาทเกี่ยวข้องในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การย่อยสลายอินทรียวัตถุ ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์ต่อพืช การสร้างฮอร์โมนพืช และการช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเป็นต้น การที่จุลินทรีย์เหล่านี้เกิดกิจกรรมต่างๆได้ต้องมีอาหารเพื่อก่อให้เกิดพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่จะได้มาจากอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดิน (นันทกร, 2536) จุลินทรีย์ทุกกลุ่มจะมีกิจกรรมย่อยสลายอินทรียวัตถุขึ้นพร้อม ๆ กัน แต่ปริมาณกิจกรรมของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรียวัตถุ ความเป็นกรดด่าง สภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ระดับความชื้นและสภาพอากาศ (Porter, 1971) โดยทั่วไปอัตราการเจริญเติบโตของแอกติโนไมซิสต์จะช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อรา (Waksman *et al.,* 1967) จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการละลายธาตุอาหารพืช ในดินมีหลายชนิดพบทั่วไปในดินบริเวณรอบรากพืช (Rhizosphere) (Kennedy and Tchan, 1992) เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้สารที่พืชปลดปล่อยออกมา (root exudates) เป็นแหล่งพลังงาน ส่วนกลุ่มที่พบในเนื้อเยื่อพืช เรียกว่า จุลินทรีย์เอนโดไฟท์ (Endophytic microorganisms) จุลินทรีย์เอนโดไฟท์ประกอบด้วยแบคทีเรีย เชื้อรา และ แอกติโนไมซิสต์ มีการศึกษาการคัดแยกจุลินทรีย์เอนโดไฟท์กันอย่างแพร่หลายในพืชหลากหลายชนิดและพบจุลินทรีย์เอนโดไฟท์ในพืชที่ศึกษาทุกชนิด

## 2.1 แอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ (Endophytic Actinomycete)

เชื้อแอกติโนไมซิสต์ ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถพบได้โดยทั่วไปในสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทั้งในอากาศ ดิน แหล่งน้ำ ตะกอน และบริเวณรากพืช แม้กระทั่งในเนื้อเยื่อพืช แอกติโนไมซิสต์เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ สามารถสร้างสารที่ปฏิปักษ์กับเชื้อสาเหตุของโรคพืช สร้างสารส่งเสริมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เจริญเติบโตให้กับพืช ผลิตเอนไซม์ใช้ย่อยสลายอินทรียสาร และมีบางชนิดมีประโยชน์ในแง่ของการตรึงไนโตรเจน (Valois *et al*., 1996) เริ่มมีการศึกษาแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ในศตวรรษที่ 19 และพิสูจน์ให้เห็นว่าแอกติโนไมซิสต์ที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อพืชสามารถให้ประโยชน์แก่พืชได้ จากการศึกษาด้านการจำแนกแอกติโนไมซิสต์พบว่าเชื้อแอกติโนไมซิสต์ที่อาศัยอยู่ในพืชและอยู่ร่วมกับปรสิต (parasite) หรือ saprophytes ส่วนมากจะอยู่ในกลุ่มของ *Streptomyces* และ *Microbispora* (Matsukuma *et al.*, 1994; Okazaki *et al*., 1995; Matsumoto *et al*., 1998)

Endophytic microorganisms เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อพืช สามารถใช้ชีวิตร่วมกับพืชได้หลายรูปแบบ ความสัมพันธ์ระหว่างเอ็นโดไฟท์กับพืชมีหลายแบบ เช่น การอยู่ร่วมกันแบบ mutualism, neutral symbiotic หรือ antagonistic pathogen โดยเอนโดไฟท์เป็นตัวควบคุมทางชีวภาพ (biological control) และเป็นแหล่ง metabolite (Pertrini *et al*., 1992)

แอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ สามารถผลิตสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เช่น phytohormone, antibiotics, siderophores และกิจกรรมของแอกติโนไมซิสต์ ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช มีหลายรูปแบบ เช่น nitrogen fixation, nutrient competition และ systemic disease resistance (Benhamou *et al.*, 1998; Ramamoorthy *et al.*, 2001; Bailey *et al.*, 2006) Igarashi *et al*. (2002) แอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์จึงมีความสัมพันธ์กับพืชในระบบนิเวศน์ตามธรรมชาติ เราจึงสามารถคัดเลือกแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ที่ผลิต bioactive compounds และนำไปใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรมในด้านส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้มีการจัดจำแนกกลุ่มของสาร hormone-like substances จากแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ เช่น สาร toyocamycin หรือ เรียกอีกอย่างว่า cytokinin-like substances สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และสาร pteridic acid ซึ่งเป็นสาร auxin-like substances ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากเป็นต้น นอกจากนี้ แอกติโนไมซิสต์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิด เช่น เอนไซม์ที่ช่วยย่อยสลายผนังเซลล์ (hydrolytic cell wall - degrading) พวก lignin, cellulose และ hemicelluloses ของพืชชั้นสูง(Antai *et al.*, 1981)ได้แก่ cellulases, hemicellulases, chitinases, amylases และ glucanases (Yuan *et al*., 1995) เอนไซม์เหล่านี้จะมีบทบาทที่สำคัญต่อการละลายตัวของอินทรียวัตถุและการละลายธาตุอาหารในดิน (Valois *et al*., 1996)

นอกเหนือจากคุณสมบัติในการผลิตเอนไซม์แล้วจุลินทรีย์หลายชนิดยังมีอีกคุณสมบัติที่น่าสนใจ คือ ความสามารถในการย่อยละลายฟอสฟอรัส Baldani *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาพบว่าเชื้อที่สามารถปลดปล่อยฟอสเฟตมีอิทธิพลในการเพิ่มผลผลิตของข้าวในทุ่งนา และหากใส่เชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

*Herbaspirillum seropedicae* และ *Burkholderia* spp. ที่สามารถละลายและปลดปล่อยฟอสฟอรัสลงในดินปลูกข้าว ผลลัพธ์ที่ได้คือ ต้นที่ทำการใส่เชื้อแบคทีเรีย มีปริมาณน้ำหนักข้าวเพิ่มขึ้น 1.5-21% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้ใส่เชื้อ (control) (Bashan and Holguin, 1997) Trivedi *et al.* (2003) ได้ศึกษาผลของเชื้อ *Azospirillum* ต่อพืชพบว่าส่งผลให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น การละลายของฟอสฟอรัสและธาตุอนินทรีย์ก็เพิ่มมากขึ้นด้วย และการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium, Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas* sp. ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวในทุ่งนาดีขึ้น Yasmin *et al.* (2004) พบว่าการใช้ *Bacillus* sp.z 3-4 และ *Azospirillum* sp.z 3-1 มีความคล้ายคลึงกับการใช้ปุ๋ยพืชสดกับข้าว โดยแบคทีเรีย 2 ชนิดนี้ส่งผลทำให้น้ำหนักสดของข้าว, ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวเพิ่มมากขึ้น

จุลินทรีย์ประเภทเอนโดไฟท์จึงสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการศึกษาคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์จำนวน 57 สายพันธุ์จาก Genetics – microbiology Kasetsart University (GMKU) Culture Collection พบว่าส่วนใหญ่สามารถสร้างแอมโมเนียได้ (87.7%) ขณะที่ 19 สายพันธุ์ (33.3%) สามารถเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ อีก 16 สายพันธุ์ (28.1%) สามารถผลิตฮอร์โมนพืช IAA และ 7 สายพันธุ์ (12.3%) ผลิตสารปฏิชีวนะ siderophore ช่วยเปลี่ยนเหล็กให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ จากการทดลองพบว่ามีเพียงสายพันธุ์ GMKU 103 ที่มีคุณสมบัติครบทั้ง 4 แบบ (ภาวิณี และคณะ, 2551)

## 2.2 บทบาทของจุลินทรีย์ในการละลายธาตุอาหารและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

จุลินทรีย์ในดินมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารในดินอยู่ 2 หน้าที่ คือ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยการผลิตเอนไซม์และเป็นแหล่งรับธาตุอาหารจากกระบวนการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร หน้าที่เป็นแหล่งให้และแหล่งรับธาตุอาหารเป็นหน้าที่ที่สำคัญมากในการหมุนเวียนธาตุอาหารของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์นำธาตุอาหารมาสร้างเป็นเนื้อเยื่อทำให้มวลชีวภาพ จุลินทรีย์มีมากขึ้นในแง่ของธาตุอาหารซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นรูปอินทรีย์ เรียกกระบวนการนี้ว่า immobilization จุลินทรีย์มีช่วงชีวิตไม่ยาวนานเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เมื่อตายลงเนื้อเยื่อจะถูกย่อยสลาย ทำให้ธาตุอาหารรูปอินทรีย์ในเนื้อเยื่อถูกปลดปล่อยออกมาในรูปอนินทรีย์ ตามกระบวนการ mineralization (ปัทมา, 2533) การย่อยสลายอินทรียวัตถุ เกิดจากจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานต่อเนื่องกันแบบลูกโซ่สนับสนุนซึ่งกันและกัน ระหว่างเกิดกิจกรรมจุลินทรีย์จะใช้ธาตุอาหารพืชที่จำเป็นในดินและทำให้เกิดกระบวนการทำให้ธาตุอาหารต่างๆ เปลี่ยนเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ เช่น กระบวนการตรึงไนโตรเจนอิสระโดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้ตายไปก็จะปลดปล่อยธาตุเหล่านี้ลงสู่ดินให้พืชได้ใช้ (นันทกร, 2536) ธาตุอาหารพืชในดินหลายชนิดอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืช จากกระบวนการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารโดยจุลินทรีย์ในดินนั้นจะทำให้พืชสามารถใช้ธาตุอาหารในดินเพื่อการเจริญเติบโตได้ (แสวง, 2525)

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Pomoting Rhizobacteria, PGPR) ซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่มมีคุณสมบัติดีต่อพืช 3 ประการ ได้แก่ 1) จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างธาตุอาหารหรือเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช เช่น แบคทีเรีย *Paenibacillus polymyxa* มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้และสามารถให้ธาตุอาหารไนโตรเจนกับพืช (Wied *et al*., 2000) และตัวอย่างการผลิตแบคทีเรียกลุ่ม PGPR เชิงพาณิชย์ในภาคเกษตรกรรมได้แก่ ประเทศบราซิล เมกซิโก และ อเมริกาได้พัฒนาปุ๋ยชีวภาพสร้างธาตุไนโตรเจนโดยแบคทีเรีย *Gluconacetobacter diazotrophicus* และ *Azospirillum* ใช้กับพืชไร่สำคัญเช่น อ้อย และข้าวสาลี โดยพบว่าเมื่อมีการใส่แบคทีเรียกลุ่ม PGPR ในพื้นที่ 600,000 เฮกแตอร์ ในประเทศเมกซิโก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 และเพิ่มเป็น 1.5 ล้านเฮกเตอร์ ปี 2000 ทำให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 26 % (Mellado *et al*., 2002) เชื้อจุลินทรีย์บางกลุ่มสามารถเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์เปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ โดยสามารถสร้างเอนไซม์ฟอสฟาเตสย่อยละลายฟอสฟอรัสซึ่งพบได้หลายชนิดเช่น แบคทีเรีย เชื้อรา และแอกติโนไมซิสต์ ตัวอย่างของเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Thiobacillus* sp. และเชื้อรา เช่น *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. การละลายหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ และอินทรีย์วัตถุที่ต้องใช้เป็นแหล่งน้ำตาลในการผลิตกรดอินทรีย์ (กฤตย์, 2549) นอกจากจุลินทรีย์จะมีความสามารถในการช่วยละลายฟอสฟอรัสแล้วยังมีความสามารถในการช่วยละลายโพแทสเซียม Stoklasa (1991) อ้างโดย Hebei Academy of Science (1996) พบว่า *Bacillus exlorguen* สามารถละลายแร่ซิลิเกต เช่น pegmatolite และ kietyoite ได้ และ Alekcahegopol (1950) พบว่า *Bacillus circulans* สามารถย่อยแร่ pegmatolite ทำให้โพแทสเซียมออกมาในรูป $K_2O$ ได้ 27 %, อะลูมิเนียมในรูป $Al_2O_3$ ได้ 23%, และซิลิกอนในรูป $Si_2O_3$ ได้ 13% ส่วน ไมก้า (mica) ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป $K_2O$ ได้ 51.3 %, อะลูมิเนียมในรูป $Al_2O_3$ ได้ 57.8%, และซิลิกอนในรูป $Si_2O_3$ ได้ 50.3% 2) จุลินทรีย์กลุ่ม PGPR ยังเป็นผู้สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (Phytostimulator) หรือฮอร์โมนพืช (Phytohormone) สารที่สร้างได้แก่ auxin, gibberllin และ cytokinin จากรายงานการวิจัยล่าสุดของ Romos *et al.* (2003) พบว่าการใช้แบคทีเรีย *Bacillus licheniformis* กับการปลูกต้นกล้า Alder พบว่าสามารถส่งเสริมการเจริญของต้น Alder ได้อย่างดีเมื่อเปรียบกับชุดทดลองที่ไม่ได้ใส่เชื้อ โดยเฉพาะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบรากที่สมบูรณ์ พื้นที่ผิวใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ 3) จุลินทรีย์กลุ่ม PGPR ยังเป็นผู้ควบคุมศัตรูพืชซึ่งส่วนใหญ่พบว่ามีการสร้างสารแอนติไบโอติกยับยั้งเชื้อราแก่โรคได้ จากรายงานการวิจัยโดยใช้แบคทีเรีย *P. fluorescens* กับข้าว *Rye* พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อรา *Fusarium culmorum* (Kurek and Jaraszuk-Scise, 2003)

**2.3 ความสำคัญของธาตุฟอสฟอรัสและหินฟอสเฟตต่อการผลิตพืช**

ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่พบในพืช, จุลินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต สำหรับพืชฟอสฟอรัสมีบทบาทในการควบคุมการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืชมาก ธาตุฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญในการแบ่งเซลล์บริเวณราก เพิ่มเจริญเติบโตของรากแขนงและรากฝอยในระยะแรก ช่วยให้รากพืชเจริญเติบโตและแข็งแรงจำเป็นในการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลภายในพืช ช่วยเร่งในการสร้างผลและเร่งให้พืชสุกเร็วขึ้น ทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพดี ช่วยให้รากพืชดูดซึมโพแทสเซียมได้มากขึ้น ธาตุฟอสฟอรัสทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนบางชนิดในพืช เป็นสารประกอบของสารต่างๆหลายอย่างที่อยู่ในเมล็ดซึ่งเป็นสารจำเป็นสำหรับการงอกของเมล็ดพืช เป็นตัวถ่ายทอดพลังงานจากสารหนึ่งไปยังอีกสารหนึ่งในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 18, 2516)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารหลักเช่นเดียวกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีน้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียมโดยมีอยู่ในช่วง 0.02 – 0.15 เปอร์เซ็นต์ (ชัยฤกษ์และคณะ, 2536) แต่พืชมีความต้องการฟอสฟอรัส 0.3 – 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติ พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสเพื่อนำไปสร้างสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด เช่น deoxyribonucleic acid (DNA), ribonucleic acid (RNA), adenosine triphosphate (ATP) และ coenzyme ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราห์แสง การสังเคราะห์โปรตีน และการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ตลอดจนการควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมของพืช การสร้างสารประกอบเหล่านี้ในพืชต้องมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสจากดินในปริมาณที่เพียงพอ ส่วนใหญ่พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสในรูปของ ฟอสเฟตไอออน ได้แก่ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$) และโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($HPO_4^{2-}$) แต่ฟอสเฟตไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นกลุ่มที่ว่องไวสูงต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับธาตุประจุบวกและสารประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของดิน เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่เป็นของแข็งชนิดใหม่ที่ละลายได้ยาก ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตในสารละลายดินจึงมีน้อยมาก (Fernandez and Novo, 1988)

ธาตุฟอสฟอรัสในดินมีกำเนิดมาจากการละลายตัวผุพังของแร่บางชนิดในดินเช่น แร่อะพาไทต์ (apatite) (กฤตย์, 2549 ) การละลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้เช่นเดียวกัน ในส่วนของ อนินทรียฟอสฟอรัส (inorganic phosphorus) ในดินแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆคือ แคลเซียมฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ซึ่งค่าการละลายของสารประกอบฟอสฟอรัสดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่างของดิน (soil pH) โดยที่ฟอสฟอรัสในดินทำปฏิกิริยาแล้วตกตะกอนอย่างรวดเร็วกับ Ca เป็น Ca-phosphate ในดินด่าง และ ทำปฏิกิริยากับ Fe, Al ในดินกรด เป็นสารประกอบ Fe และ Al-phosphate ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพราะเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เราเรียกกระบวนการนี้ว่า การตรึงฟอสฟอรัส (phosphorus fixation) ดินที่มี pH อยู่ระหว่าง 6 -7 จะมีการตรึงฟอสฟอรัสน้อยและมีฟอสเฟตที่อยู่ในรูปที่พืชจะใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526; อรวรรณ, 2551) สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก (Kanchanapise Network Webmaster, 2540 อ้างตาม พุ่มพวง, 2542) ดังนั้นจึงมักจะมีปัญหาเสมอว่าดินถึงแม้จะมีปริมาณฟอสฟอรัสมากก็จริงแต่พืชก็ยังอาจจะขาดฟอสฟอรัสได้ เพราะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำยากนั่นเอง ดังนั้นจุลินทรีย์จึงมีบทบาทสำคัญในการละลายสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายยากให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ดังกล่าวข้างต้น

### 2.3.1 การตรึงฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus fixation)

การตรึงฟอสฟอรัสในดินหมายถึง ฟอสเฟตที่ถูกเปลี่ยนรูปจากรูปที่ละลายน้ำได้ (soluble form) ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble form) กระบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดินขึ้นอยู่กับกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการคือ

**1) การตกตะกอนเชิงเคมี (Chemical precipitation)**

เป็นปฏิกิริยาระหว่างแคตไอออน (cation) พวก เหล็ก, อลูมิเนียม, แคลเซียมและแมกนีเซียมกับฟอสเฟตไอออนละลายน้ำ ทำให้ตกตะกอนอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ สามารถแบ่งปฏิกิริยาออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.1 ในสภาพของดินกรดเหล็กและอลูมิเนียมทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการ

1.2 ในสภาพของดินด่าง แคลเซียมและแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการ

**2) ปรากฏการณ์การดูดซับ (adsorption phenomena)**

ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะถูกดูดยึดอยู่กับไอออนบวกบริเวณผิวของแร่ดินเหนียว ด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางด้านไฟฟ้า (electrostatic bonding) คือ ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะดูดยึดอยู่กับประจุบวกของแร่ดินเหนียว

**3) ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange reaction)**

เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออน ($OH^-$) กับฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน เมื่อฟอสเฟตเข้าไปแทนที่ สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของแร่ดินเหนียวได้ฟอสเฟตชนิดนี้ยากที่จะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.3.2 หินฟอสเฟต (Phosphate Rock)**

หินฟอสเฟตเป็นสินแร่ตามธรรมชาติที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีธาตุอื่นๆ ปนอยู่ในปริมาณแตกต่างกัน เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส จึงทำให้คุณสมบัติในแง่ความเป็นประโยชน์ต่อพืชของหินฟอสเฟตแตกต่างกันออกไป (สุธรรม, 2521) หินฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในแร่อะพาไทต์ (apatite) โดยจะเกิดอยู่ในลักษณะผลึกเล็กๆหรือไม่เป็นผลึกเรียกว่า คอลโลเฟน (collophane) มีสูตรทางเคมีคือ $Ca_{10}(PO_4CO_3)_6$ (F, Cl, $OH)_2$ มีความถ่วงจำเพาะ 3.15–3.20 ความแข็ง 5 มีหลายสี เช่น เขียว น้ำเงิน น้ำตาล เหลือง ม่วง หรือขาว

หินฟอสเฟตมีชื่อเรียกทางเคมีทั่วไปว่า Tricalcium phosphate $Ca_3(PO_4)_2$ ปกติพบในรูปของแร่อะพาไทต์ นอกจากนี้จะพบแร่อะพาไทต์ ที่เชื่อมต่อกับสารประกอบชนิดอื่น เกิดเป็น substituted apatite ขึ้นมาได้แก่ Hydroxyapatite [$3Ca_3(PO_4)_2Ca(OH)_2$], Carbonated apatite [$3Ca(PO_4)_2CaCO_3$] และ Fluroapatite [$3Ca(PO_4)_2CaF_2$]

ลักษณะการเกิดของแร่อะพาไทต์ มักพบใน 3 แบบ คือ

1) อิกเนียส อะพาไทต์ (igneous apatite) เกิดจากหินอัคนี

2) มารีน อะพาไทต์ (marine apatite) เกิดจากการสะสมของสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหินปูนกับอนุมูลฟอสเฟตที่ปะปนมากับน้ำทะเลและมีการทับถมร่วมกับอินทรียวัตถุจากสิ่งมีชีวิต (พืชและสัตว์ที่สะสมอนุมูล ฟอสเฟตจากทะเลไว้มาก) เป็นชั้นตะกอนหนาในก้นทะเล

3) กัวโน (guano) เกิดจากการสะสมของมูลและซากสัตว์ (นก หรือค้างคาว) ลักษณะนี้มักเกี่ยวข้องกับหินปูน โดยเกิดจากการละลายของฟอสเฟต ซึ่งเป็นส่วนประกอบของมูลและซากสัตว์ที่ทับถม ซึมแทรกเข้าไปในหินปูน

หินฟอสเฟตได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพืชตั้งแต่ปี ค.ศ. 1856 หลังจากนั้นก็ได้มีการศึกษาค้นคว้าถึงวิธีการปรับปรุงหินฟอสเฟตเพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อพืชจากการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี พบแหล่งหินฟอสเฟตเกือบทุกภาคของประเทศ และเป็นประเภทกัวโน เช่น จังหวัดลำพูน สุโขทัย เพชรบูรณ์ กาญจนบุรี ราชบุรี กระบี่ สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต เลย พังงา และร้อยเอ็ด สุธรรม (2521) ได้รายงานว่าปริมาณ $P_2O_5$ ในหินฟอสเฟตจะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบ ในประเทศไทยพบว่าแหล่งที่บ้านสบเมย อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน และแหล่งที่บ้านนากาญจน์ อำเภอเมืองจังหวัดกาจนบุรี มีปริมาณ $P_2O_5$ ทั้งหมดในระดับสูง คือ 30-38 เปอร์เซ็นต์ และ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หินที่พบที่บ้านโคกสูงและบ้านเหล่าขาม อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด มีปริมาณ $P_2O_5$ ทั้งหมด เพียง 10-20 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

เนื่องจากหินฟอสเฟตมีธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชเป็นองค์ประกอบอยู่ จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีฟอสเฟตในทางอุตสาหกรรม และนำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง แต่การนำฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงมีประสิทธิภาพในการใช้ต่ำ และมีขอบเขตเงื่อนไขการใช้ที่จำกัดมากกล่าวคือ ในหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงประมาณ 8–30% แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาและพืชสามารถนำไปใช้ได้เพียง 1–2% เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของหินฟอสเฟต ให้มากขึ้น จะเป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืช การเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของหินฟอสเฟต กระทำได้หลายวิธี คือ ทางกายภาพโดยการบดให้เป็นผงละเอียด และการเผาที่อุณหภูมิสูง ทางเคมีโดยการละลายหินฟอสเฟตในกรด เช่น กรดซัลฟิวริก ทางชีวภาพ โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟต วิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง และการละลายด้วยกรดถึงแม้จะเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตได้ แต่ต้นทุนในการดำเนินการค่อนข้างสูง ส่วนการบดหินฟอสเฟตให้เป็นผงนั้น เพิ่มการละลายของ ฟอสฟอรัสไม่มากนัก แต่ถ้านำหินฟอสเฟตมาใช้ร่วมกับวิธีชีวภาพ โดยการผสมคลุกเคล้ากับ จุลินทรีย์ที่สามารถละลายหินฟอสเฟตก็จะให้ผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตดียิ่งขึ้น (Barea *et al.*, 1975) นอกจากนั้นวิธีนี้ยังไม่ยุ่งยากซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตไม่สูงซึ่งขณะนี้สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้พบว่า *Aspergillus* sp. No.1 เป็นจุลินทรีย์ที่มี ประสิทธิภาพสูงในการละลายหินฟอสเฟต ถึงแม้ว่าปริมาณ $P_2O_5$ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะต่ำแต่ราคาของหินฟอสเฟตก็ถูกกว่าปุ๋ยฟอสเฟตอื่นๆมาก การใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายหินฟอสเฟตและปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้ออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นก็จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมอีกวิธีการหนึ่งที่ไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตพืชจากการใชปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น (Barea *et al*., 1975; Scofield *et al*.,1981)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 2.4 บทบาทของจุลินทรีย์ในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

การที่จะทำให้ฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ยากสามารถละลายออกมาได้ สามารถทำได้โดยใช้วิธีทางชีวภาพคือการใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มการละลายและศักยภาพในการดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสในดินเพื่อให้พืชนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น จุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 จุลินทรีย์ที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซึมธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นเชื้อรากลุ่มไมคอร์ไรซา (Mycorrhiza) ที่อาศัยอยู่กับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกัน ช่วยดูดธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสทำให้พืชได้รับฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ไมคอร์ไรซายังช่วยป้องกันไม่ให้ฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในดินถูกตรึง การใช้เชื้อไมคอร์ไรซาเป็นปุ๋ยชีวภาพสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมี กลุ่มที่ 2 จุลินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสเฟต ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และ แอกติโนไมซิสต์ จุลินทรีย์ ในกลุ่มนี้จะสร้างกรดอินทรีย์และ/หรือเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) ออกมาละลายฟอสเฟตในดินที่ละลายยาก และฟอสเฟตจากหินฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้

การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดินทำได้โดยการใส่หินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ย่อยละลายฟอสเฟต (phosphate solubilizing microorganisms) โดยมีรายงานว่า จุลินทรีย์ดินหลายชนิดผลิตกรดอินทรีย์ออกมา สามารถย่อยละลาย insoluble phosphate ได้ เช่นเชื้อ *Aspergillus* sp. (Vassilev *et a*l., 1997; Banik and Dey, 1982) และ *Penicillium* sp. (Whitelaw *et al*., 1999; Illmer and Schinner, 1992) สามารถทำให้หินฟอสเฟตละลายเป็นฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ออกมามากขึ้น นอกจากนี้ยังผลิตเอ็นไซม์ phosphatase ที่สามารถย่อยสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสได้อีกด้วย (Illmer and Schinner, 1992) เนื่องจากในธรรมชาติหินฟอสเฟตเป็นแร่ที่มีอยู่ในรูป แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) และอาจมีแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ($CaF_2$) เจือปนอยู่ด้วยโดยทั่วไปจะมีปริมาณ $P_2O_5$ ทั้งหมดประมาณ 30-40% แต่ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสมีอยู่น้อยมาก ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับแหล่งและชนิดของหินฟอสเฟต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2534) และจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชถ้าดินมี pH สูงกว่า 5.5-6.0 แต่ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมก็ตามผลผลิตพืชที่ได้รับจะต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (Khaswneh and Doll, 1978 อ้างโดย Vassilev *et al*., 1997) ในปัจจุบันได้มีการนำหินฟอสเฟตมาใช้โดยอาศัยการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ Illmer and Schinner (1992) ได้คัดเลือกเชื้อรา *Penicillium* sp. และแบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. จากดินในป่าจำนวน 600 isolates พบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการย่อย inorganic phosphates (hydroxyapatite

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ calcium hydrogenphosphate dehydrate) ดังนั้นจึงมีการใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสในการศึกษากระบวนการทางชีวภาพในการละลายฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ออกมา

จุลินทรีย์ช่วยละลายฟอสเฟต มีหลายชนิดทั้งที่เป็นแบคทีเรีย และ เชื้อรา เช่น *Bacillus* sp., *Aspergillus niger, Penicillium simplicissimum, Pseudomonas* sp., และ *Penicillium aurantiogriseum* เป็นต้น (Illmer and Schinner, 1992) ปัจจุบันมีการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง เช่น ในรัสเซียมีการผลิตปุ๋ยชีวภาพ จากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต จากเชื้อ *Bacillus megaterium var. phosphaticum* ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตจากเดิมได้ 5-10 % และในอินเดียมีการทดสอบปุ๋ย phosphobacterin กับพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าว เป็นต้น พบว่าส่งผลให้ผลผลิตพืชสูงขึ้น และมีการศึกษาจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่ละลายฟอสเฟตเช่น *Bacillus polymyxa, B. circulans, Pseudomonas striata* และ *Aspergillus awamori* ร่วมกับหินฟอสเฟตในนาข้าว ข้าวสาลี และพืชหัวหลายชนิด สรุปได้ว่าสามารถเพิ่มผลผลิตพืชได้ (Gaur *et al*., 1980 อ้างใน ธงชัย, 2535) Khan and Bhatnager (1977) ได้ศึกษาถึงการละลายของหินฟอสเฟตจากประเทศอินเดีย พบว่า A.*niger* มีความสามารถละลายหินฟอสเฟตได้ดีที่สุด แต่ความสามารถของการละลายหินฟอสเฟตจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของหินฟอสเฟตด้วย โดย Zhang *et al*. (1981) รายงานว่า A. *niger* สายพันธุ์ F028 ที่แยกได้จากชั้นอินทรียวัตถุในดินป่าใน Shaanxi สามารถละลายหินฟอสเฟตจากประเทศจีนและโมรอคโคได้ดี แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของหินฟอสเฟตขึ้นไปถึง 4 เปอร์เซ็นต์แล้ว ปริมาณการละลายจะคงที่ เนื่องจาก Sodium fluoride ที่ละลายออกมาจากหินฟอสเฟตจะยับยั้งการเจริญและการผลิตกรดอินทรีย์ของ A. *niger* ทำให้การละลายหินฟอสเฟตลดลงได้ และได้มีการทดลองของ Banik and Dey (1981) โดยทดลองใส่เชื้อ *Aspergillus* sp., A. *niger* และ *Streptomyces* กับดินพวก laterilic soil โดยใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัสพบว่าการละลายของหินฟอสเฟตและพืชมีการนำฟอสฟอรัสไปใช้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของข้าวเพิ่มขึ้นด้วย ประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการละลายหินฟอสเฟตจะขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วย (Ibrahim and Abdel, 1977)

พงศ์เทพ และคณะ (2531) ได้ศึกษาการละลายหินฟอสเฟตโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ พบว่าจุลินทรีย์จำพวกราละลายหินฟอสเฟตได้ดีที่สุดโดนเฉพาะ *Aspergillus* sp. No.1 คือเมื่อทดสอบในอาหารเหลวเป็นระยะเวลา 14 วัน สามารถละลายฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากถึง 149 ppm P. ในขณะที่ *Penicillium* sp., unidentified No. 1 และ *Bacillus megatheium* ในระยะเวลาเท่ากันละลายหินฟอสเฟตได้เพียง 35, 32 และ 21 ppmP. ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้เชื้อ *Aspergillus* sp. No.1 จึงได้รับการคัดเลือกนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อละลายหินฟอสเฟตต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.5 ความสำคัญของธาตุโพแทสเซียมและแร่เฟลด์สปาร์ต่อการผลิตพืช**

โพแทสเซียม มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก โดยมีบทบาทในการปลุกฤทธิ์เอนไซม์ในพืชมากกว่า 60 ชนิด ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญพื้นฐานในกระบวนการเผาผลาญต่างๆในพืช (metabolic processes) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตโปรตีน (proteins) และ น้ำตาล (sugars) นอกจากนี้โพแทสเซียมมีบทบาท ในการควบคุมการปิดเปิดปากใบซึ่งจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์แสง การขนย้ายสารประกอบคาร์โบไฮเดรท และการสังเคราะห์โปรตีน โพแทสเซียมยังทำหน้าที่เป็นไอออนที่สำคัญที่ก่อให้เกิดแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ในทำให้เซลล์เต่งขึ้น ถ้าพืชขาดธาตุนี้แล้วจะเจริญเติบโตได้ช้าให้ผลผลิตที่มีคุณภาพต่ำ พืชที่ให้หัวที่รากจะมีแป้งน้อย ใบยาสูบมีคุณภาพต่ำ พืชจะแสดงอาการขาดโพแทสเซียมที่ใบล่างสุดก่อนโดยที่ขอบจะเหลืองแล้วกลายเป็นน้ำตาล และส่วนที่เป็นสีน้ำตาลจะแห้งเหี่ยวไป ซึ่งจะเห็นได้ชัดในพวกข้าวโพดเป็นต้น แต่ถ้าพืชได้รับโพแทสเซียมมากเกินพอจะไม่เกิดอันตรายต่อผลผลิตหรือคุณภาพของพืช นอกจากนี้โพแทสเซียมยังช่วยให้รากสามารถดูดน้ำได้ดีขึ้น จำเป็นสำหรับการสร้างหัวที่สมบูรณ์ของพวกพืชหัว โพแทสเซียมที่พืชดูดกินขึ้นมาจากดินจะเคลื่อนย้ายจากส่วนที่แก่ไปยังส่วนที่อ่อน เราจึงพบว่ามีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงในจุดที่พืชกำลังเจริญเติบโตและในเมล็ดอ่อน (พุ่มพวง, 2542 ; อรวรรณ, 2551)

ในดินโดยทั่วไปจะมีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่มากกว่าธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากหินและแร่หลายชนิดเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินจะมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดินประเภทต่าง ๆ จะมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุต้นกำเนิดดิน โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก ได้แก่ โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่าง ๆ ในดิน และโพแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียว แร่ซิลิเกตที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบมี 2 ประเภท ได้แก่แร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) และ ไมก้า (mica) ธาตุโพแทสเซียมในดินที่พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้ มีกำเนิดมาจากการละลายตัวของหินและแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปอนุมูลบวกหรือโพแทสเซียมไอออน ($K^+$) เท่านั้นที่พืชจะดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าธาตุโพแทสเซียมยังคงอยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกมาเป็นอนุมูลบวกพืชก็ยังดึงดูดไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ โพแทสเซียมไอออนในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดินหรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก็ได้ (Kanchanapisek Network Webmaster, 2540 อ้างโดย พุ่มพวง, 2542 ) วัตถุต้นกำเนิดดินที่มีสัดส่วนปริมาณของแร่เฟลด์สปาร์และไมก้าอยู่จำนวนมาก จะทำให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่มากด้วยทั้งนี้เพราะแร่ทั้งสองชนิดนี้เมื่อสลายตัวกลายเป็นดินจะให้โพแทสเซียมตกค้างอยู่ในดินในส่วนที่เรียกว่าดินเหนียว หรือ แร่ดินเหนียว จึงมักพบอยู่เสมอว่าดินที่มีเนื้อละเอียดหรือมีอนุภาคดินกลุ่มขนาดดินเหนียวเป็นองค์ประกอบอยู่มากจะมีโพแทสเซียมในปริมาณมากกว่าดินที่มีเนื้อดินหยาบกว่า โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประ กอบ ในดินเนื้อหยาบ หรือ ดินทราย ปริมาณส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเศษแร่ที่อยู่ในลักษณะกำลังผุพังสลายตัวอยู่ หรือ ยังมีสภาพเป็นเศษแร่ก้อนเล็ก ๆ ที่ยังไม่ได้ผุพัง โพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินแบ่งออกเป็น 3 รูป ที่สำคัญคือ

1) รูปที่ละลายน้ำได้ (water soluble forms) โพแทสเซียมรูปนี้จะอยู่ในสภาพของไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวกละลายอยู่ในสารละลายดิน พืชสามารถใช้ประโยชน์ของโพแทสเซียมรูปนี้ได้ทันที โดยดูดกินเข้าไปทางราก แต่โพแทสเซียมรูปนี้ก็มีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปอื่น

2) รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable forms) โพแทสเซียมรูปนี้จะดูดยึดอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดินโดยเฉพาะแร่ดินเหนียว และบางส่วนจะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสภาพไอออนในสารละลายดินและเป็นประโยชน์ต่อพืช

3) รูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (non – exchangeable forms) โพแทสเซียมรูปนี้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก ได้แก่ โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่าง ๆ ในดิน และโพแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียว

### 2.5.1 การตรึงโพแทสเซียมในดิน (Potassium fixation)

การตรึงโพแทสเซียมในดินเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปของโพแทสเซียม ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันทีไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้โดยตรง ซึ่งโพแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงอยู่นี้จะอยู่ในสภาพไอออนที่ถูกดูดยึดเอาไว้ด้วยแรงจำนวนมากระหว่างแร่ดินเหนียว 2 อนุภาค ดังนั้นการที่จะทำให้โพแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับ ชนิดของแร่ดินเหนียวที่ตรึงโพแทสเซียมไอออนเอาไว้ และขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดินเองด้วย กล่าวคือ ดินที่มีแร่ดินเหนียวหรือดินเหนียวชนิดอิลไลต์ (Illite) เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก ก็จะทำให้การละลายโพแทสเซียมกลับคืนมาได้ยากกว่าแร่ดินเหนียวชนิดมอนท์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) สำหรับสภาพแวดล้อมที่จะส่งเสริมให้โพแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ สภาพที่ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น หรือ ดินอยู่ในสภาพน้ำขังเป็นเวลานาน เช่น ดินที่ใช้ทำนา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.5.2 แร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar)**

แร่เฟลด์สปาร์หรือที่เรียกว่าหินฟันม้า อยู่ในกลุ่มของแร่ซิลิเกต (Silicate mineral) แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบของหินชนิดหนึ่งที่มีธาตุ โพแทสเซียม(Potassium) K , โซเดียม(Sodium) Na , แคลเซียม (Calcium) Ca , อะลูมิเนียม (Aluminium) Al , ซิลิก้า (Silica) Si และ ออกซิเจน (Oxygen) O ซึ่งมีประโยนช์ต่ออุตสาหกรรมเซรามิกและการเกษตรเป็นอย่างมาก การนำแร่เฟลด์สปาร์มาใช้มีหลายชนิดด้วยกันขึ้นอยู่กับสารประกอบที่มีในตัวแร่เอง เช่น ออร์โธเคลส (Orthoclase) หรือเรียกว่า โพแทสเฟลด์สปาร์ ($KAlSi_3O_8$) และแลบบราโดไรต์ (Labradorite) ที่มีสูตรทางเคมีระหว่าง โซเดียมเฟลด์สปาร์ ($NaAl\ Si_3O_8$) และ แคลเซียมเฟลด์สปาร์ ($CaAl_2Si_2O_8$) แหล่งแร่ที่พบแร่เฟลด์สปาร์ ในประเทศไทยมีการผลิตแร่เฟลด์สปาร์ที่จังหวัด ตาก นครศรีธรรมราช ราชบุรี กาญจนบุรี แม่ฮ่องสอน และเชียงใหม่ ประโยชน์ของแร่เฟลด์สปาร์ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกเพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาเนื้อแก้วในผลิตภัณฑ์ทำให้มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเช่น พลาสติก ยาง สี ลวด เชื่อม ไม้ขีดไฟ เป็นต้น ด้านการเกษตรมีการนำแร่โพแทสเฟลด์สปาร์มาใช้ประโยชน์โดยอาศัยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลทำให้แร่โพแทสเฟลด์สปาร์สลายตัวผุพังและปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมออกมา (วิสุทธ์, 2554)

แร่เฟลด์สปาร์ที่เกิดในธรรมชาติมีอยู่ 3 ชนิด คือ

1) โพแทสเฟลด์สปาร์ $KAl\ Si_3O_8$ (Potash Feldspar-Orthoclase-Microline) มีปริมาณ $K_2O$ อยู่ไม่น้อยกว่า 8 %
2) โซเดียม เฟลด์สปาร์ $Na\ AlSi_3O_8$ (Sodium Feldspar - Albite) มีปริมาณ $Na_2O$ ไม่น้อยกว่า 7 %
3) แคลเซียม เฟลด์สปาร์ $Ca\ Al_2\ Si_2O_8$ (Calcium Feldspar - Anorthite)

**สำหรับในประเทศไทยแร่เฟลด์สปาร์ที่มี 2 กลุ่ม** (ไพบูลย์, 2546) **คือ**

**1) กลุ่มแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์** มักเป็น plagioclase feldspar ซึ่งเป็นกลุ่มของ soda และ lime รวมถึง Albite ที่มีการแทนที่ของโซเดียม โดยแคลเซียม ในอัตราส่วนที่ต่างกัน $Na\text{-}Ca\ Al_2Si_2O_8$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และมักมี Orthoclase หรือ Microcline ปนอยู่ด้วยเสมอแหล่งใหญ่ที่พบและมีการผลิตอยู่ที่จังหวัดตาก และนครศรีธรรมราช ลักษณะการขายและราคา แร่ก้อนขนาด 2-4 นิ้ว ราคาตันละ 500- 800 บาทขึ้นอยู่กับคุณภาพแร่ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบต่างๆดังนี้ $Na_2O$ 4- 11 %, $K_2O$ 1-3 %, CaO 1-4 %, $Al_2O_3$ 13-17 %, $SiO_2$ 64- 71 % และ $Fe_2O_3$ 0.1-1 % การผลิตปัจจุบันมีการผลิตแหล่งใหญ่ที่จังหวัดตาก และนครศรีธรรมราช การตลาดไทยส่งเป็นสินค้าออกไปขายยังประเทศไต้หวัน มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปินส์ เกาหลี ญี่ปุ่น และประเทศในอ่าวเปอร์เซียหลายประเทศ

**2) กลุ่มแร่โพแทสเฟลด์สปาร์** มักเป็นแร่ชนิด Orthoclase มีสีขาว สีเทา สีแดงเข้มหรืออาจไม่มีสี แหล่งที่พบและมีการผลิตอยู่ที่จังหวัด ราชบุรี เชียงใหม่ ตาก และแม่ฮ่องสอน ประโยชน์ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกโดยใช้ทำน้ำเคลือบผิวของเซรามิคและเครื่องสุขภัณฑ์ ต่างๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการทำฟันปลอม ลักษณะการขายและราคาแร่ก้อนขนาด 2-4 นิ้ว ราคาตันละ 1,500 - 2,000 บาทขึ้นอยู่กับคุณภาพของแร่ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ $K_2O$ 6 -12 %, $Na_2O$ 1 – 2 %, $Al_2O_3$ 13-17 %, $SiO_2$ 64- 71 % และ$Fe_2O_3$ 0.1-1 % ปัจจุบันมีการผลิตที่จังหวัดราชบุรีแหล่งเดียว ปริมาณไม่มากนัก การตลาดประเทศไทยผลิตไม่พอใช้ต้องสั่งเข้าจากต่างประเทศแต่ความต้องการของตลาดมีไม่มากเหมือนโซเดียมเฟลด์สปาร์ เนื่องจากใช้ทำน้ำเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิคไม่ได้ใช้เป็นส่วนผสม

## 2.6 บทบาทของจุลินทรีย์ในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม

โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวหรือแร่อื่นๆในดินเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยมากเนื่องจากมีการผุพังสลายตัวช้ามากจึงมีค่าการละลายต่ำ อย่างไรก็ตามแร่เฟลด์สปาร์ชนิดต่างๆ สามารถสลายตัวผุพังได้เร็วขึ้นโดยจุลินทรีย์ โดยมีรายงานว่าจุลินทรีย์มีบทบาทในการสลายตัวผุพังของแร่เฟลด์สปาร์และทำให้มีการละลายธาตุอาหารออกจากสินแร่เหล่านี้ กลไกที่จุลินทรีย์ใช้ในการกระตุ้นการสลายตัวของสินแร่มีดังนี้

1) จุลินทรีย์เข้าไปอาศัยอยู่บนผิวหน้าของสินแร่และทำให้สภาพแวดล้อมที่จุลินทรีย์อาศัยอยู่ (microenvironment) แตกต่างจากสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ห่างออกไปซึ่งมีผลต่อการสลายตัวของสินแร่ จากรายงานของ Rogers *et al.* (1998) ได้ศึกษาการละลายตัวของแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) โดยจุลินทรีย์และใช้ scanning electron microscope ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของแร่ feldspar ชนิดต่างๆที่ใช้ศึกษา พบว่าในตัวอย่างแร่ anorthoclase และ microcline จากมลรัฐ Dakota ที่ฝังในสนามเป็นเวลา 14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เดือน มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆอยู่บนพื้นผิวของสินแร่ในขณะที่แร่ plagioclase และ microcline จากเมือง Ontario ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อยู่เลย

2) จุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งสามารถส่งเสริมการละลายของกรดสินแร่โดยกรดอินทรีย์จะทำหน้าที่เป็นสารประกอบคีเลท ซึ่งสามารถรวมกับธาตุที่มีประจุบวกซึ่งกลไกดังกล่าวเรียกว่า ligand promote mechanism นอกจากนี้ $H^+$ หรือ proton จากกรดก็สามารถทำให้สินแร่ละลายได้โดยตรง (Ullman *et al*., 1996) แบคทีเรียหลายชนิดสามารถสังเคราะห์กรดอินทรีย์ได้จากกระบวนการ fermentation ซึ่งกรดอินทรีย์ที่พบได้แก่ acetic acid, lactic acid และ butyric acid (Gollschalk, 1986 อ้างโดย Ullman *et al*., 1996)

3) ผนังเซลล์และ polymer ที่แบคทีเรียขับออกมานอกเซลล์ สามารถรวมตัวกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Beveridge and Fyfe, 1985; Mittelman and Geesay, 1985; Geesay *et al*., 1987 อ้างโดย Ullman *et al*.,1996) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะส่งเสริมให้สินแร่ละลายได้ดีขึ้น

4) แบคทีเรียพวก *Arthrobacter* sp. และ *Sterptomyces* sp. สามารถสร้าง biofilm ซึ่งมีฤทธิเป็นกรดและขับสาร siderophore เมื่อเจริญอยู่บนผิวสินแร่ซิลิเกตบางชนิด เช่น hornblende ซึ่งเป็นผลทำให้ Fe ละลายออกมาจาก hornblende Liermann *et al*. (2000) ใช้ microeletrode วัด pH พบว่าแตกต่างกันถึง 0.6 หน่วย โดยเชื้อ *Arthrobacter* ทำให้ความแตกต่างของ pH มีมากกว่า *Sterptomyces* ถึง 10 เท่า ภายใน 1สัปดาห์แรก เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดทำให้การละลาย Fe จากแร่ hornblende มากกว่าการไม่ใส่เชื้อ 5 ถึง 10 เท่า ในกรณีของเชื้อ *Arthrobacter* sp. พบว่าการละลายของแร่ hornblende โดยแบคทีเรียชนิดนี้ทำให้ผิวของแร่มี Fe/ Si ratio ลดลง

จากการศึกษาการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ละลายสินแร่ซิลิเกต Stoklasa and Bassalik (1911) อ้างโดย Hebei Academy of Science (1966) พบว่า *Bacillus exlorguen* สามารถละลายแร่ซิลิเกต เช่น pegmatolite และ kietyoite ได้ Alekcahegopol and Zak (1950) อ้างโดย Hebei Academy of Science (1966) พบว่า *Bacillus circulans* สามารถย่อยสลายแร่ pegmatolite ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป $K_2O$ ได้ 27% อลูมิเนียมในรูป $Al_2O_3$ ได้ 23% และซิลิกอนในรูป $Si_2O_3$ ได้ 13% ส่วน mica ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป $K_2O$ ได้ 51.3% อลูมิเนียมในรูป $Al_2O_3$ ได้ 57.8% ซิลิกอนในรูป $Si_2O_3$ ได้ 50.3%

ในทางชีวภาพจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียสกุลบาซิลลัส (*Bacillus ciculans*) ซึ่งเป็นซิลิเกตแบคทีเรีย (silicate bacteria) สามารถสร้างกรดอินทรีย์ออกมาละลายโพแทสเซียมออกจากแร่ดินเหนียวบางชนิดได้ และได้มีการนำจุลินทรีย์ดังกล่าวไปผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพให้เกษตรกรในประเทศจีน บทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ดินต่อความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมส่วนใหญ่จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกี่ยวข้องในกระบวนการ mobilization โดยการละลายกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติค กรดซิตริค กรดออกซาลิค เป็นต้น หรือกรดอนินทรีย์ เช่น กรดคาร์บอนิค กรดไนตริค และกรดซัลฟูริค เป็นต้น ในการละลายแร่ และวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบจุลินทรีย์สามารถปลดปล่อยการออกมาละลายแร่อะลูมิโนซิลิเกต เช่น แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* และ *Pseudomonas* ราในกลุ่มของ *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* โดยอาจละลายได้จากแร่ในกลุ่มไมก้า เช่น biotite, muscovite ละลายจากแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น microcline, nephelite, leucite และ orthoclase เป็นต้น (Alexander, 1977; Friedrich *et al.* 1991) และจากรายงานของ Berthelin (1983) พบว่าโพแทสเซียมจะถูกละลายออกมาจากรูปที่ตกตะกอนโดยการผลิตกรดอนินทรีย์และกรดอินทรีย์จากแบคทีเรียในกลุ่ม *Thiobacillus*, *Clostridium* และ *Bacillus*

## 2.7 ข้อมูลพื้นฐานของการเพาะปลูกส้มในประเทศไทย

ส้มเขียวหวาน (ส้มจุก ส้มจันทบูร ส้มเชียงตุง) ชื่อภาษาอังกฤษ Mandarin orange, Tangerine orange, Common mandarin ชื่อวิทยาศาสตร์ *Citrus reticulata* Blanco (Ciupta, 1987) ชื่อพ้อง *Citrus nobilis* Andrews, *C. deliciosa* Tenore, *C. chrysocarpa* Lushington (Sumeru, 1992) วงศ์ Rutaceae ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่พบได้ง่ายแทบจะทุกสถานที่ทุกเวลา เป็นผลไม้กึ่งเมืองร้อนชนิดหนึ่งที่คนไทยรู้จักกันดีและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เป็นผลไม้หลังอาหารหรือเป็นของว่าง ทั้งแบบรับประทานสดหรือคั้นน้ำ ส้มเขียวหวานนับเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานรวมกันประมาณ 221,520 ไร่ กระจายไปทั่วทุกภาคของประเทศ ส้มเขียวหวาน หรือส้มผิวทอง หรือส้มบางล่าง หรือ ส้มบางมด เป็นพันธุ์ส้มที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุดเนื่องจากให้ผลผลิตดก ปัจจุบันส้มชนิดนี้ได้ถูกนำไปปลูกหลายพื้นที่ทั่วประเทศ โดยเฉพาะในเขตภาคกลาง (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.7.1 ลักษณะโดยทั่วไปของส้ม** (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

**ลักษณะทางพฤกษศาสตร์** ส้มเขียวหวานเป็นไม้ยืนต้น ขนาดเล็ก หรือขนาดกลาง สูง 8 เมตร แตกกิ่งก้านสาขามาก บางต้นมีหนาม บางต้นไม่มีหนาม กิ่งที่แตกแขนงชูตั้งขึ้น ค่อนข้างเล็ก เรือนยอดกลม ใบ เดี่ยว โคนใบมีปีกเล็กน้อย หรือไม่มีปีก มีต่อมน้ำมันตามแผ่นใบ ใบรูปไข่ ปลายใบแหลม ใหญ่กว่าใบมะนาว สีเขียว เป็นมัน ดอก ออกเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มตามง่ามใบหรือปลายยอด กลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอก 5 กลีบ สีขาว เล็ก หอม ผล รูปทรงกลม แป้นเล็กน้อย ปลายผลราบเป็นแอ่งตื้น ฐานผลมน ผิวผลเรียบ มีต่อมน้ำมันเป็นตุ่มตามผิวผลทั่วไป เมื่อแก่จัดผิวผล สีเขียวอมเหลือง ผนังกลีบบาง ฉ่ำน้ำ เนื้อสีส้ม ออกดอกเดือน มกราคม- กุมภาพันธ์ ผลสุกเดือน ตุลาคม- ธันวาคม การขยายพันธุ์ ตอนกิ่ง ทาบกิ่ง ประโยชน์ ผลสุก กินได้ แปรรูปและทำน้ำส้ม แหล่งปลูกที่ ปทุมธานี นครนายก สระบุรี เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่มีความอุดมสมบรูณ์พอสมควร (Sumeru, 1992) ลักษณะทั่วไปของพืช ส้มเขียวหวานเป็นไม้ผลกึ่งเมืองร้อน มีทรงพุ่มขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 2.5 – 3 เมตร ปลูกได้ดีในดิน ทุกภาคของประเทศไทย ดินควรมีสภาพเป็น กรด – ด่าง ประมาณ 5.7 – 6.9 แต่ถ้าปลูกในเขตภาคเหนือที่มีอากาศหนาวเย็นจะช่วยให้ผิวของผลมีสีเหลืองส้ม มากขึ้นอายุการเก็บเกี่ยว เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15 ปี ถ้ามีการดูแลรักษาอย่างดี

**ลักษณะประจำพันธุ์ของส้มเขียวหวาน**

ทรงพุ่ม มีลำต้นสูงประมาณ 2-8 เมตร ทรงพุ่มลักษณะแน่นทึบ เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่มีสีเขียวเข้มไม่มีขน มีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะกิ่งอ่อนเป็นเหลี่ยม เรียว

ใบเป็นรูปไข่ค่อนข้างยาว หรือรูปโล่ หรือหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวทองใบมีสีเขียวอมเหลือง ผิวด้านหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม ตัวใบมีกลิ่น ก้านใบมีปีกแคบหรือไม่มีปีก มีสีเขียวอมเหลือง ใบมีขนาดเล็ก ดอกมีขนาดเล็ก ขนาดของดอกตูมมีความยาว 0.5-0.7 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร กลีบดอกสีขาว มีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ แต่ละดอกมีจำนวนเกสรตัวผู้อยู่ในลักษณะแยกกันประมาณ 18-23 อันออกดอกในตำแหน่งซอกใบเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ ผลมีรูปร่างกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียว สีเขียวอมเหลืองจนถึงสีแดงอมส้ม ลักษณะของผิวเปลือกจะเรียบ มีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนเปลือกบาง มีความหนาประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมแรง ภายในหนึ่งผลประกอบด้วยกลีบผล จำนวน 10-15 กลีบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่ละกลีบมีผนังบาง เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ก้านผลสั้น ขนาดผลมีตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลาง 5-8 เซนติเมตร และยาว 4-7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะห้อยหัวลง เมล็ด รูปร่างแบบรูปไข่หัวกลับ เนื้อเยื่อสะสมอาหารมีสีเขียวอ่อน หรือสีเขียวอมเหลือง จำนวนเมล็ดมีมากน้อยแตกต่างไปในแต่ละกลีบ

**2.7.2 ลักษณะโดยทั่วไปของพื้นที่ปลูกส้มในประเทศไทย** (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

แบ่งเขตโดยพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศภูมิอากาศของและสภาพของดินแบ่งได้ 3 เขต ดังนี้

1) เขตที่ราบลุ่มแม่น้ำ

พื้นที่ในเขตนี้จะเป็นแหล่งผลิตส้มที่สำคัญในภาคกลาง สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบ ดินเป็นดินตะกอนแม่น้ำหรือเป็นดินเหนียวที่มีการระบายน้ำไม่ดี และมีระดับน้ำใต้ดินสูง ดังนั้นเมื่อมีฝนตกหนักจึงเกิดสภาพน้ำท่วมขังได้ง่าย การปลูกส้มในสภาพพื้นที่นี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการยกร่องให้สูงพ้นจากระดับน้ำและมีการสร้างคันกั้นน้ำหรือคูระบายน้ำอย่างดีพอแหล่งปลูกส้มที่อยู่ในเขตนี้ได้แก่ บริเวณพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา (ปทุมธานี นนทบุรี) แม่น้ำท่าจีน (นครปฐม) และแม่น้ำแม่กลอง (ราชบุรี)

2) สภาพพื้นที่ดอน

ได้แก่ พื้นที่ในเขตภาคกลางตอนบน ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตกและภาคกลางตอนล่าง พื้นที่ในเขตนี้บางแห่งจะอยู่บริเวณเชิงเขาหรือเป็นพื้นที่สูงซึ่งมีระดับน้ำใต้ดินลึก การปลูกส้มในสภาพพื้นที่นี้จึงควรมีการปรับพื้นที่เป็น ร่องลูกฟูกให้สูงกว่าระดับพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อช่วยให้มีการระบายน้ำได้ดียิ่งขึ้น แหล่งปลูกส้มในเขตนี้ได้แก่ พื้นที่ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แพร่ น่าน เลย กาญจนบุรี ลพบุรี นครพนม สระบุรี จันทบุรี และตราด เป็นต้น

3) สภาพพื้นที่ชื้นแฉะและมีฝนตกชุก

ได้แก่ พื้นที่ในเขตภาคตะวันออกและภาคใต้ซึ่งจะมีปริมาณฝนตกชุก จากสภาพดังกล่าวจึงทำให้การปลูกส้มในเขตนี้ซึ่งแม้จะเป็นสภาพพื้นที่ดอน ก็จำเป็นที่จะต้องมีการยกระดับพื้นที่ปลูกให้สูงเพื่อให้มีการระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้เร็วยิ่งขึ้น โดยอาจจะต้องปรับพื้นที่ให้มีความสูงมากกว่าระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวพื้นดิน 50 เซนติเมตรขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน และต้องคำนึงถึงเรื่องการป้องกันการชะล้างของหน้าดินที่จะมีโอกาสเกิดขึ้น สูงตามไปด้วยแหล่งปลูกส้มในเขตนี้ได้แก่ พื้นที่ในเขต จันทบุรี ตราด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สงขลา สราษฎร์ธานี ยะลาและกระบี่

**2.7.3 สถานะการณ์ทั่วไปของส้มในประเทศไทย**

จังหวัดเชียงใหม่ มีพื้นที่ปลูกส้มประมาณ 52,214 ไร่ เป็นส้มที่ให้ผลผลิตแล้ว 37,573 ไร่ พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ที่อำเภอฝาง และแม่อาย ซึ่งมีพื้นที่ปลูกส้มรวมกันมากกว่า 46,990 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 90 ของพื้นที่ปลูกส้มทั้งหมด ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกส้มมาก คาดว่าจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่าปีละ 5,000-10,000 ไร่ ภายในระยะ 1-5 ปี ต่อไป

ส้มเขียวหวานที่ปลูกส่วนใหญ่ ได้แก่ พันธุ์สายน้ำผึ้ง ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่คัดมาจากส้มโชกุนที่ให้สีผิวที่สวย และรสชาติที่หอมหวาน ซึ่งมีพื้นที่ปลูกประมาณ 43,104 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 82 ของพื้นที่ปลูกส้มทั้งหมด พันธุ์ที่เหลือ ได้แก่ พันธุ์สีทอง และฟรีมองต์ ปีการผลิต 2545/46 คาดว่าจะมีผลผลิตรวม 178,988 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 4,700 กิโลกรัม/ไร่ สามารถให้ผลผลิตได้ตลอดปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

เนื่องจากส้มเขียวหวานเป็นไม้ผลที่เก็บผลผลิตได้นาน และเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ตลาดส่วนใหญ่ ได้แก่ ตลาดภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตปี 2544/45 ปริมาณผลผลิตประมาณ 118,451 ตัน มูลค่า 2,605 ล้านบาท ปริมาณการส่งออกที่ผ่านท่าอากาศยานเชียงใหม่ มีจำนวน 156,540 ตัน มูลค่า 4,033,640 บาท

ราคาส้มเขียวหวานปี 2545/46 ไม่ค่อยมีปัญหา เนื่องจากเกษตรกรสามารถจำหน่ายได้ราคาดี เฉลี่ยประมาณ 25-35 บาท/กิโลกรัม (ราคาที่สวน) คิดเป็นมูลค่ารวม 4,500-6,200 ล้านบาท ต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 5-8 บาท (สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่, 2545)

เนื่องจากพื้นที่ปลูกส้มส่วนมากอยู่ในเขตภาคเหนือโดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่ โดยเฉพาะในอำเภอฝางซึ่งมีการขยายพื้นที่ปลูกส้มมากที่สุด 24,950 ไร่ รองมาเป็นอำเภอแม่อายและไชยปราการ 4,420 และ 2,766 ไร่ ตามลำดับ จากการขยายพื้นที่ปลูกส้มทำให้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและปุ๋ยเคมีจำนวนมากขึ้น (พรพิไล และคณะ, 2548) ซึ่งทำให้คุณภาพของดินและสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลงเป็นอย่างมาก หัวใจของการปลูกส้มอยู่ที่ดินและน้ำเป็นหลัก ดังนั้นก่อนจะตัดสินใจปลูกส้ม สิ่งแรกที่พิจารณาคือ มีแหล่งน้ำเพียงพอหรือไม่ และดินมีความสมบูรณ์มากน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพียงไร เพราะสาเหตุที่ทำให้ส้มอ่อนแอส่วนใหญ่มาจากเรื่องของดินมีความสมบูรณ์ไม่เพียงพอ วิธีการที่ถูกต้องเกษตรกรต้องนำดินไปวิเคราะห์ว่ามีธาตุอาหารอะไรอยู่บ้าง มีความสมบูรณ์หรือมีปัญหามากน้อยแค่ไหน และหลังจากปลูกไปแล้วต้องเอาใบส้มไปวิเคราะห์ด้วยเช่นกัน เพื่อหาปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในใบ เพื่อพิจารณาว่าส้มได้รับธาตุอาหารขาดหรือเกิน ถ้าเกษตรกรไม่ให้ความสำคัญกับสิ่งเหล่านี้ มักจะไม่รู้ว่าดินของตนมีธาตุอาหารอะไรอยู่บ้างทำให้บางครั้งใส่ปุ๋ยมากเกินไปหรือขาดไป ทำให้ดินขาดความสมดุลปัญหาการปลูกส้มจึงมีมาก โดยเฉพาะเรื่องโรคที่จะเข้ามารบกวนและหากดูแลไม่ทั่วถึงระบบการจัดการไม่ดีพออาจก่อให้เกิดการระบาดของโรคได้ง่ายเสี่ยงต่อความเสียหายมาก เมื่อวิเคราะห์ดินแล้วจะเห็นว่าเกษตรกรจำเป็นต้องปรับปรุงดินให้ได้ธาตุอาหารครบถ้วนจึงจะทำให้ผลผลิตส้มได้คุณภาพ

ส้มเขียวหวานเป็นพืชที่ชอบดินที่มีความร่วนซุย ถ้าปลูกในดินที่มีการระบายอากาศไม่ดีมักจะมีปัญหาจากโรครากเน่า โคนเน่า ทำให้มีการใช้สารเคมีจำนวนมากในการเพาะปลูก เนื่องจากมีแมลงศัตรูและโรคพืชหลายชนิด ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้น แต่พืชผลกลับดูดปุ๋ยไปใช้ได้เป็นส่วนน้อย จึงทำให้เกษตรกรได้ผลตอบแทนต่ำ นอกจากนี้ยังมีผลเสียต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค ตลอดจนส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีธาตุอาหารตกค้างในดินและปนเปื้อน ออกไปในแหล่งน้ำด้วยเหตุนี้ ปัจจุบันได้มีการนำเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและใช้เป็นสารที่เป็นปฏิปักษ์กับเชื้อสาเหตุโรคพืชและลดปริมาณการใช้สารเคมี สมจิตร (2552) กล่าวว่าส้มเขียวหวานมีพื้นที่เพาะปลูกมากในพื้นที่ภาคเหนือและในปัจจุบันพบว่าเกษตรกรมีการใช้สารเคมีจำนวนมากในการเพาะปลูกส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น แต่พบว่าพืชดูดปุ๋ยไปใช้ได้เป็นส่วนน้อย ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมเนื่องจากมีธาตุอาหารตกค้างในดินและปนเปื้อนลอยออกไปในแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดธาตุอาหารในต้นกล้าส้มเขียวหวาน มะนาว ส้มโอ และส้มเกลี้ยง ด้วยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งเชื้อดังกล่าวเป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน โดยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุให้แก่พืช และยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้ดินร่วนซุยเหมาะแก่การระบายน้ำและอากาศ และยังช่วยทำให้พืชต้านทานต่อจุลินทรีย์ในดินที่เป็นสาเหตุของโรคพืช ยุพา (2552) ได้ศึกษาแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ ที่แยกได้จากส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง พบว่ามีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าส้มได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรายงานวิจัยข้างต้นทั้งหมด แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ สามารถอาศัยอยู่ร่วมกับพืชได้ ไม่เป็นอันตรายต่อพืชอาศัย และยังมีประโยชน์ด้านการเพิ่มละลายของธาตุอาหารพืช ดังนั้นแอกติโนไมซิสต์เอนโดไฟท์ จึงน่าสนใจและมีความสำคัญในการศึกษาคัดเลือกและนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งจะส่งผลดีด้านการอนุรักษ์ดินและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved