

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)¹

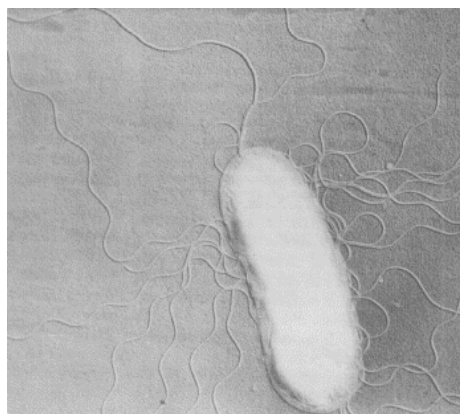
Plant Growth Promoting Rhizobacteria หรือ **PGPR** เป็นกลุ่มของแบคทีเรียหลากหลาย species และหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งกลุ่มของ PGPR ส่วนใหญ่จะอยู่ในสกุล *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter* และ *Serratia* เป็นต้น (ตัวอย่างเซลล์ของ PGPR ดังแสดงในรูปที่ 1-3) โดย PGPR จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. พวกที่มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันกับพืช หรือที่เรียกว่าความสัมพันธ์แบบ Symbiosis คือแบคทีเรียจำพวกที่สามารถเข้าสู่รากพืชแล้วเกิดกระบวนการต่างๆที่จะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้
2. พวกที่อาศัยแบบอิสระในดิน (Free-living form) และจะพบอยู่ใกล้ๆบริเวณรากพืช โดยแบคทีเรียจำพวก PGPR จะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ช่วยให้ผลผลิตของพืชสูงขึ้น



รูปที่ 1 *Pseudomonas* spp.

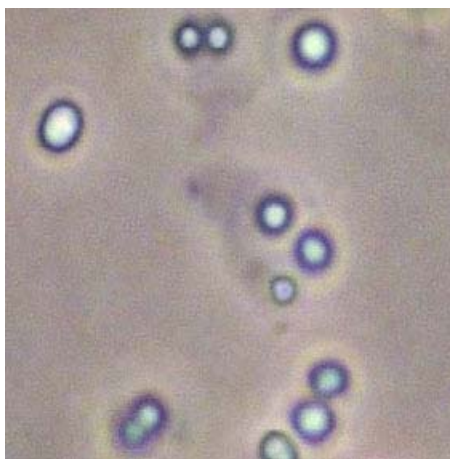
ที่มา : <http://www.astrosurf.com/lombry/bioastrocontamin-alh84001.htm>



รูปที่ 2 *Azospirillum* spp.

ที่มา : <http://www.cnpab.embrapa.br/servicos/baby/azospiri.html>

¹ เรียบเรียงโดย รองศาสตราจารย์ ดร.หนึ่ง เตียอำรุง อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000



รูปที่ 3 *Azotobacter* spp.

ที่มา : <http://www-micro.msb.le.ac.uk/video/Azotobacter.html>

กระบวนการในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชมีได้ 2 ทางคือ โดยทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

- กระบวนการในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยทางตรง ได้แก่
 - ช่วยย่อยธาตุฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้มากขึ้น
 - สร้างปุ๋ยไนโตรเจนให้กับพืช
 - ผลิตสาร phytohormones เช่น Auxin, Cytokinin, Gibberelin เป็นต้น
 - ช่วยลดความเข้มข้นของเอทิลีนในพืช
 - สามารถผลิตซีเดอโรโฟร์ (Siderophores) ช่วยนำธาตุเหล็กไปให้พืชใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น
- กระบวนการในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยทางอ้อม ได้แก่
 - ช่วยในการควบคุมโรคพืช ทั้งโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราสาเหตุโรคพืช (ดังตารางที่ 1) และเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคพืช
 - ผลิตสารปฏิชีวนะ (Antibiotic) ที่ใช้ในการควบคุมโรคพืชได้
 - ผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้
 - ผลิตสาร Antifungal Metabolites
 - จำกัดปริมาณธาตุเหล็กที่เป็นประโยชน์ของเชื้อโรคพืช ทำให้สามารถป้องกันการแพร่พันธุ์ และการขยายจำนวนของเชื้อโรคพืชได้ โดยการผลิตซีเดอโรโฟร์ (Siderophores)
 - ตัวอย่างของแบคทีเรียที่เป็น PGPR ดังสรุปในตารางที่ 1

<i>Azorhizobium caulinodans</i>	<i>Citrobacter freundii</i>
<i>Azospirillum amazonense</i>	<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i>
<i>Azospirillum halopraeferens</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>
<i>Azospirillum irakense</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
<i>Azospirillum lipoferum</i>	<i>Erwinia herbicola</i>
<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Flavomanas oryzihabitans</i>
<i>Azotobacter Chroococcum</i>	<i>Hydrogenophaga pseudoflava</i>
<i>Bacillus cereus</i>	<i>Klebsiella planticola</i>
<i>Bacillus coagulans</i>	<i>Kluyvra ascorbata</i>
<i>Bacillus laterosporus</i>	<i>Kluyvera cryocrescens</i>
<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Phyllobacterium rubiacearum</i>
<i>Bacillus macerans</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Bacillus megaterium</i>	<i>Pseudomonas aureofaciens</i>
<i>Bacillus mycoides</i>	<i>Pseudomonas corrugata</i>
<i>Bacillus pasteurii</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
<i>Bacillus polymyxa</i>	<i>Pseudomonas marginalis</i>
<i>Bacillus pumilus</i>	<i>Pseudomonas putida</i>
<i>Bacillus sphaericus</i>	<i>Pseudomonas rubrilineans</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Rathyibacter rathayi</i>
<i>Burkholderia cepacia</i>	<i>Serratia marcescens</i>
<i>Burkholderia gladioli</i>	<i>Stenotrophomonas sp.</i>
<i>Burkholderia graminis</i>	<i>Streptomyces griseoviridis</i>
<i>Burkholderia vietnamensis</i>	

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง PGPR ที่ช่วยในการควบคุมเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคพืช

PGPR	เชื้อราสาเหตุโรคพืช	ชนิดพืช
<i>Actinoplanes</i> spp.	<i>Pythium ultimum</i>	Table beet
	<i>Rhizoctonia solani</i>	Table beet
<i>Bacillus</i> spp.	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	ข้าวสาลี
<i>Bacillus subtilis</i> GB03	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>ciceris</i>	ถั่วเขียว
<i>B. subtilis</i> BACT-D	<i>Pythium aphanidermatum</i>	มะเขือเทศ
<i>Burkholderia cepacia</i> A3R	<i>Fusarium graminearum</i>	ข้าวสาลี
	<i>Fusarium</i> spp.	ข้าวสาลี
<i>Burkholderia cepacia</i> PHQM 100	<i>Phythium</i> spp.	ข้าวโพด
<i>Comamonas acidovorans</i> HF42	<i>Magnaporthe poae</i>	Kentucky bluegrass
<i>Enterobacter</i> sp BF14	<i>Magnaporthe poae</i>	Kentucky bluegrass
<i>Pseudomonas chloroaphis</i> MA342	<i>Drehslera graminea</i>	ข้าวบาเลย์
	<i>D. avenea</i>	ข้าวโอ๊ต
	<i>Ustilago avenea</i>	ข้าวโอ๊ต
	<i>Tilletia caries</i>	ข้าวสาลี
<i>P. chloroaphis</i> PCL 1391	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>radicis-lycopersici</i>	มะเขือเทศ
<i>P. fluorescens</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>raphani</i>	หัวผักกาด
<i>P. fluorescens</i> Q8r1-96	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	ข้าวสาลี
<i>P. fluorescens</i> VO61	<i>Pythium ultimum</i>	ข้าว
	<i>Rhizoctonia solani</i>	
<i>P. putida</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>raphani</i>	หัวผักกาด
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> C3	<i>Rhizoctonia solani</i>	Tall fescue

ที่มา : Glick et al.,1999

กลไกการให้ธาตุอาหารและการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าแบคทีเรียจำพวก PGPR จะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้ 2 ทาง คือ โดยทางตรงและทางอ้อม ซึ่งต่อไปจะกล่าวถึงกลไกในทางอ้อมก่อน

● กลไกทางอ้อม

ซิดเอร์โรฟอรัส (Siderophores)

ธาตุเหล็กจัดเป็นธาตุอาหารมีปริมาณมากบนพื้นผิวโลก แต่โดยทั่วไปธาตุเหล็กอยู่ในรูปของสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก หรือไม่สามารละลายน้ำได้เลย ความสามารถในการละลายน้ำของเหล็กมีประมาณ 10^{-18} ที่ pH 7.4 ซึ่งปริมาณของการละลายได้ทำนองนี้ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังนั้นจากความต้องการเพื่อการอยู่รอด จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินจึงต้องผลิตสารที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อธาตุเหล็กสูง ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ(0.5-1.5 กิโลดาลตัน) ที่เรียกว่าซิดเอร์โรฟอรัส ขึ้นมา

PGPR สามารถป้องกันการแพร่พันธุ์หรือป้องกันการขยายจำนวนของเชื้อโรคพืชได้โดยการผลิตซิดเอร์โรฟอรัสขึ้นมา โดยซิดเอร์โรฟอรัสจะไปจับกับธาตุเหล็กที่อยู่บริเวณรอบๆรากพืช ดังนั้นผลจากการขาดธาตุเหล็กจะสามารถป้องกันเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้คือทำให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชไม่สามารถแพร่พันธุ์ได้นั่นเอง แต่พืชจะไม่ได้รับผลกระทบจากการลดลงของธาตุเหล็กในบริเวณนั้นเพราะว่า พืชสามารถเจริญเติบโตได้ที่ความเข้มข้นของธาตุเหล็กต่ำๆ น้อยกว่า (ประมาณ 1000 เท่า) ของจุลินทรีย์ โดยนักวิทยาศาสตร์พบว่าในสภาพแวดล้อมที่ขาดธาตุเหล็ก หรือมีธาตุเหล็กในปริมาณน้อย จะกระตุ้นให้จุลินทรีย์เกือบทุกชนิดมีการสร้างซิดเอร์โรฟอรัสมากขึ้น และในทางกลับกัน การสร้างจะถูกยับยั้งเมื่อในสภาพแวดล้อมมีปริมาณของธาตุเหล็กมากขึ้น ยกเว้นในกลุ่มของแบคทีเรียพวก *Lactobacillus* ซึ่งสามารถเจริญได้ในสภาพที่ไม่มีธาตุเหล็กอยู่เลย ใน *Pseudomonas putida* นั้นสามารถผลิตซิดเอร์โรฟอรัสได้ในปริมาณมากและมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช *Fusarium oxysporum* ซึ่งเป็นเชื้อราที่ทำให้โรคนมะเขือเทศ ในบางรายงานกล่าวว่า mutant ของแบคทีเรียสายพันธุ์ *P. aeruginosa* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สร้างซิดเอร์โรฟอรัสได้น้อยนั้นจะไม่สามารถป้องกัน โรค damping off จากเชื้อรา *Phythium* ได้

เอนไซม์ (Enzymes)

PGPR บางชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ที่ช่วยป้องกันเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้โดยไปย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราเหล่านั้น

มีรายงานว่า Plant Growth Promoting Rhizobacteria บางสายพันธุ์เช่น *Pseudomonas stutzeri* สามารถผลิตเอนไซม์ extracellular chitinase และเอนไซม์ laminarinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยเส้นสายของเชื้อรา *Fusarium solani* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรครากเน่าได้ (Lim et al.,1991)

และได้มีรายงานว่า PGPR สายพันธุ์ *P. cepacia* สามารถผลิตเอนไซม์ B-1,3-glucanase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยเส้นสายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช *Rhizoctinia solani*, *Sclerotium rolfsii* และ *Phythium ultimum* ได้ (Fridlender et al., 1993)

สารปฏิชีวนะ (antibiotics)

หนึ่งในกลไกที่สำคัญในการที่ PGPR จะป้องกันการแพร่พันธุ์ หรือขยายจำนวนของเชื้อโรคพืช ก็คือความสามารถในการผลิตสารปฏิชีวนะ (antibiotics)

ตัวอย่างของสารปฏิชีวนะที่ผลิตโดย PGPR ได้แก่ agrocin 84, agrocin 434, 2,4-diacetylphloroglucinol, herbicolin, oomycin, phenazines, pyoluteorin, pyrrolnitrin เป็นต้น

สารต้านเชื้อรา (Antifungal Metabolites)

นอกจาก PGPR จะสามารถผลิตซิดเอร์โรฟอรัส และ สารปฏิชีวนะซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการต้านทานเชื้อโรคพืชแล้ว PGPR บางชนิด ยังสามารถผลิตสารต้านทานเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ด้วย เช่น *Pseudomonas fluorescens* สามารถสังเคราะห์ hydrogen cyanide ซึ่งทำให้ *Pseudomonas* สายพันธุ์นี้มีความสามารถในการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุโรคพืชบางชนิดได้ ตัวอย่างเช่น สามารถยับยั้ง *Thielaviopsis basicola* ซึ่งเป็นเชื้อราสาเหตุโรค black root rot ในยาสูบได้ (Ramette et al., 2003)

ในบางรายงานกล่าวว่า จุลินทรีย์หลากหลายสายพันธุ์รวมทั้ง *Cladosporium werneckii*, *Pseudomonas cepacia* และ *P. solanacearum* สามารถย่อยสลายสารประกอบ fusaric acid ได้ ซึ่งสารประกอบ fusaric acid ตัวนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายในพืชหลังจากที่พืชถูกเข้าทำลายโดย *Fusarium* (Ramamoorthy et al., 2001)

● กลไกทางตรง

ซิดเอร์โรฟอรัส (Siderophores)

ดังที่กล่าวไปแล้วว่าซิดเอร์โรฟอรัสนั้นคืออะไรในหัวข้อกลไกทางอ้อม ดังนั้นในหัวข้อกลไกทางตรงจึงขอกล่าวถึงความสำคัญของซิดเอร์โรฟอรัสในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของพืชในทางตรง (ช่วยในการนำธาตุเหล็กเข้าสู่พืช) และกลไกการนำธาตุเหล็กเข้าสู่เซลล์โดยโมเลกุลของซิดเอร์โรฟอรัส

กลไกทั่วไปของการนำธาตุเหล็กเข้าสู่เซลล์โดยโมเลกุลซิดเอร์โรฟอรัสนั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

1. เริ่มการสังเคราะห์โมเลกุลของซิดเอร์โรฟอรัส จากนั้นจึงแพร่ผ่านผนังเซลล์ออกไปสู่สิ่งแวดล้อม
2. ซิดเอร์โรฟอรัสเข้าจับกับธาตุเหล็ก แล้วถูกดึงกลับเข้าสู่เซลล์ โดยกระบวนการ active transport
3. ปลดปล่อยโมเลกุลของซิดเอร์โรฟอรัสที่ดึงธาตุเหล็กออกแล้วคืนสู่ภายนอกเซลล์

เมื่อโมเลกุลของซิดเอร์โรฟอรัสเข้าจับกับธาตุเหล็กแล้วนั้น โมเลกุลของซิดเอร์โรฟอรัสจะจับกับโปรตีนที่ผนังเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็น receptor protein จากนั้นจะถูกขนย้ายผ่านเข้ามายังผนังเซลล์ โดยกระบวนการ active transport กล่าวคือ สาร ATP ที่ผนังเซลล์จะเป็นตัวกระตุ้นให้โปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่มี ATP เกาะอยู่แล้ว โดยการส่งผ่านพลังงานทำให้ธาตุเหล็กเข้าสู่ภายในส่วนของ cytoplasm ได้ ทั้งนี้แต่ละชนิดของซิดเอร์โรฟอรัสเองจะมีความจำเพาะเจาะจงต่างกันไปกับโปรตีนต่างๆ ที่ผนังเซลล์ด้วย เมื่อโมเลกุลของซิดเอร์โรฟอรัสที่จับธาตุเหล็กถูกนำผ่านเข้ามายังผนังเซลล์แล้ว ธาตุเหล็กก็จะปลดปล่อยออกจาก

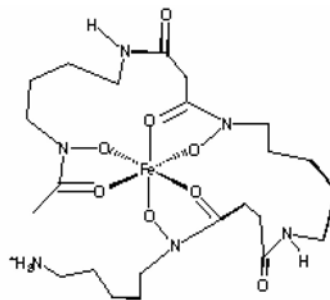
โมเลกุลของซีเคอร์โรฟออร์โดยอาศัยกลไกสำคัญ 3 ขั้นตอนแรก เมื่อโมเลกุลของซีเคอร์โรฟออร์ที่มีธาตุเหล็กจับอยู่ก่อนที่จะเข้ามายัง cytoplasm นั้น บริเวณโมเลกุลที่เป็น ligand ที่เชื่อมกับธาตุเหล็กจะถูกสลาย เช่น เอนไซม์ esterase จะเข้าทำปฏิกิริยากับซีเคอร์โรฟออร์กลุ่ม enterebactin หรือธาตุเหล็กอาจถูกปลดปล่อยโดยปฏิกิริยาเคมีแบบ reduction เมื่อธาตุเหล็กถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลของซีเคอร์โรฟออร์แล้ว ส่วนที่เป็นโมเลกุลของซีเคอร์โรฟออร์เอง อาจถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปจากเดิมหรือไม่ก็ได้ แล้วจึงถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมไปสู่สิ่งแวดล้อมเพื่อจับกับธาตุเหล็กต่อไป

ตัวอย่างกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างซีเคอร์โรฟออร์

■ *Streptomyces*

แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะสร้างซีเคอร์โรฟออร์จำพวกที่เรียกว่า Ferrioxamine ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของ diamines และ carboxylic acid ปัจจุบันพบว่า Ferrioxamine มีด้วยกันทั้งหมด 9 ชนิด ได้แก่ Ferrioxamine A₁, A₂, B, D₁, D₂, E, G, H และ I นอกจากนี้ Ferrioxamine จะพบในแบคทีเรียสกุล *Streptomyces* แล้วยังพบในสกุลอื่นๆ ด้วย เช่น *Arthrobacter*, *Chromobacterium*, *Pseudomonads* และ *Erwinia herbicola* เป็นต้น

(Teaumroong and Boonkerd, 1996)



Ferrioxamine B = Fe(HDFB)⁺

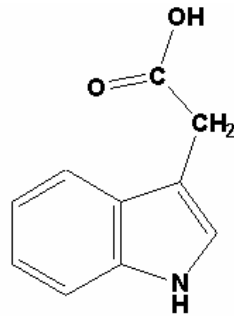
รูปที่ 4 โครงสร้าง ferrioxamine B

■ *Bacillus*

แบคทีเรียในกลุ่มที่นิยมศึกษาได้แก่ *Bacillus megaterium* ซึ่งสร้างซีเคอร์โรฟออร์ที่ชื่อ Schizokinen ส่วน *B. subtilis* นั้นสร้างซีเคอร์โรฟออร์ชื่อ DHB-glycine การนำธาตุเหล็กเข้าสู่เซลล์ด้วย Schizokinen พบว่ามีบทบาทร่วมกับซีเคอร์โรฟออร์กลุ่มอื่นด้วยเช่น Ferrioxamine และในขณะเดียวกัน DHB-glycine ก็มีบทบาทร่วมกับสารประกอบที่มีกลุ่มของ phenol ด้วย (Teaumroong and Boonkerd, 1996)

ฮอร์โมนพืช (phytohormones)

การผลิต phytohormones โดย PGPR เป็นกลไกที่สำคัญในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการเจริญเติบโตของพืช โดยรายงานเกี่ยวกับการผลิต phytohormones จาก PGPR ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่ บทบาทของ phytohormones กลุ่มที่เรียกว่า Auxins ซึ่ง phytohormones ในกลุ่มของ Auxins ก็ได้แก่ indole-3-acetic acid (IAA) ซึ่งจะช่วยกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ (cell elongation), การแบ่งเซลล์ (cell division) และการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ (cell differentiation)

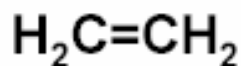


Indole-3-acetic Acid (Auxin)

รูปที่ 5 โครงสร้าง Indole-3-acetic acid (IAA)

เอทิลีน (Ethylene)

เอทิลีน (Ethylene) เป็นฮอร์โมนพืชเพียงตัวเดียวที่อยู่ในรูปแก๊สโดยพืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ควบคุม การเจริญเติบโตและพัฒนาการต่างๆ เช่น การออกดอก, การสุกของผล และมีผลต่อการเหลืองและการร่วง ของใบ ด้วย

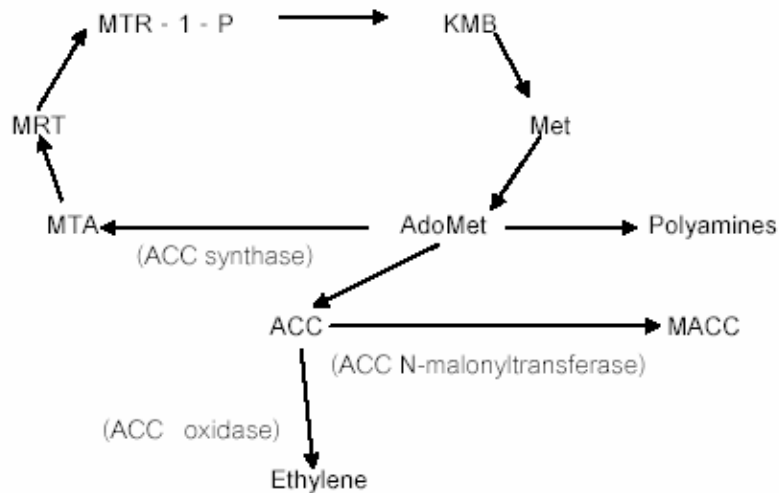


รูปที่ 6 โครงสร้างของเอทิลีน

วิถีการสังเคราะห์เอทิลีนเริ่มจากกรดอะมิโนเมไธโอนีน (Methionine) ทำปฏิกิริยากับ ATP เกิด S-adenosylmethionine (SAM) ต่อมา SAM จะเปลี่ยนเป็น 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) และ ACC จะสลายตัวเป็นเอทิลีน โดยกิจกรรมของเอนไซม์ที่ฝังตัวอยู่ในเยื่อหุ้มแควิวโอลคือ EFE (ethylene forming enzyme) จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนที่จำกัดอัตราการสังเคราะห์เอทิลีน คือขั้นตอน การสร้าง ACC จาก SAM ซึ่ง catalyse โดยเอนไซม์ ACC synthase ซึ่งถูกกระตุ้นโดยปัจจัยภายนอก เช่น การเกิดแผล การขาดน้ำ เป็นต้น และปัจจัยภายใน เช่น ปริมาณออกซินสูง กระบวนการสุกของผล เป็นต้น

นอกจากนี้ PGPR บางชนิดยังสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชผ่านกลไกของเอนไซม์ 1-amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase ได้อีกทางหนึ่งด้วย และยังพบว่าเมื่อ PGPR สังเคราะห์ออกซิน ได้ในปริมาณสูง ก็จะมีการสังเคราะห์ เอนไซม์ ACC synthase สูงด้วยซึ่งทราบผลมา จากการที่พบปริมาณ ACC สูงขึ้นในพืชนั่นเอง หลังจากนั้น แบคทีเรียจะย่อย ACC โดย เอนไซม์

1-amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase แล้วเปลี่ยนเป็น แอมโมเนีย และ alpha-ketobutyrate และถ้าระดับของเอทิลีนมีปริมาณที่สูงเกินไปก็จะสามารถยับยั้งการงอกและสามารถยับยั้งการยืดตัวของรากพืชได้ และจากการที่แบคทีเรียสามารถย่อย ACC ได้ ดังนั้นระดับ ACC ก็จะต่ำลง จนทำให้อยู่ภายในระดับที่ไม่สามารถจะยับยั้งการเจริญของรากและการงอกได้นั่นเอง



- Met = Methionine
- ACC = 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid
- MACC = malonyl ACC (inactive)
- MTA = methylthioadenine
- AdoMet = adenosylmethionine
- MTR = methylthioribose
- MTR-1-P = methylthioribose-1-phosphate
- KMB = 2-keto-4-methylbutyrate

รูปที่ 7 วิธีการสังเคราะห์เอทิลีน

ในขณะนี้ยังไม่มีหัวเชื้อ PGPR ที่ผลิตและใช้ในเชิงการค้าภายในประเทศไทย แต่มีรายงานการใช้ PGPR เป็นหัวเชื้อเชิงการค้าในต่างประเทศแล้วดังสรุปในตารางที่ 3 และมีรายงานการทดสอบและทดลองใช้ *Azotobacter* spp. และ *Azospirillum* spp. เป็นหัวเชื้อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของพืชภายในประเทศไทยแล้ว

ตารางที่ 3 หัวเชื้อ Plant Growth Promoting Rhizobacteria เชิงการค้าที่ใช้ในต่างประเทศ

เชื้อ	ชื่อทางการค้า	เชื้อสาเหตุโรคพืช/โรค	ชนิดของพืช	การประยุกต์ใช้งาน
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	Galltrol-A	โรค Crown Gall ที่เกิดจากเชื้อ <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	ไม้ผล, ถั่ว, ไม้ประดับ	แบบ Cell suspension ใช้แช่กับเมล็ดพืช, ใช้กับต้นกล้าพืช, กิ่งปักชำ, ราก, ลำต้น และใส่ลงบนดิน
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	Nogall	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	ต้นไม้ใหญ่	แบบ Cell suspension ใช้แช่กับรากพืช

เชื้อ	ชื่อทางการค้า	เชื้อสาเหตุโรคพืช/โรค	ชนิดของพืช	การประยุกต์ใช้งาน
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	Diegall	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	ต้นไม้ใหญ่	แบบ Cell suspension ใช้ เช้กับรากพืช
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	Norbac 84C	โรค Crown Gall ที่เกิด จากเชื้อ <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	ไม้ผล, ถั่ว, ไม้ประดับ	แบบ Cell suspension ใช้ เช้กับรากพืช หรือ ลำต้น, ใช้จุ่มกับกิ่งปักชำ หรือ ใช้ ฟ่น
<i>Bacillus subtilis</i>	Epic	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Fusarium</i> spp., <i>Alternaria</i> spp. และ <i>Aspergillus</i> spp. ซึ่งเป็นเชื้อ โรคที่เข้า ทำลายรากพืช	ฝ้าย, พืช จำพวกถั่ว	เป็นผงแบบแห้ง อาจใช้ ร่วมกับ ยาฆ่าเชื้อราเพื่อใช้ เป็น seed treatment
<i>Bacillus subtilis</i>	Kodiak	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Fusarium</i> spp., <i>Alternaria</i> spp. และ <i>Aspergillus</i> spp. ซึ่งเป็นเชื้อ โรคที่เข้า ทำลายรากพืช	ฝ้าย, พืช จำพวกถั่ว	เป็นผงแบบแห้ง อาจใช้ ร่วมกับ ยาฆ่าเชื้อรา
<i>Bacillus subtilis</i>	System 3	เชื้อโรคที่เข้าทำลายต้น กล้า	ข้าวบาเลย์, ถั่ว ลิสง, ถั่ว เหลือง, ฝ้าย, ข้าว	ใช้เป็น seed treatment ใน กระบะปลูกพืช
<i>Burkholderia cepacia</i>	Blue circle	<i>Fusarium</i> spp., <i>Pythium</i> spp. และพวก nematodes	พืชผัก	ใช้เป็น seed treatment โดย ผสมร่วมกับดินพีท หรือ ให้รวมกันกับตอนให้น้ำ
<i>Burkholderia cepacia</i>	Deny	<i>Rhizoctonia</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Pythium</i> spp. และพวก nematodes	ถั่ว Alfalfa, ข้าวบาเลย์, ฝ้าย, พืชผัก, พืชจำพวกถั่ว, ข้าวสาลี	ใช้เป็น seed treatment โดย ผสมร่วมกับดินพีท หรือ ให้รวมกันกับตอนให้น้ำ
<i>Burkholderia cepacia</i>	Intercept	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Fusarium</i> spp.	ข้าวโพด, ฝ้าย, พืชผัก	-

เชื้อ	ชื่อทางการค้า	เชื้อสาเหตุโรคพืช/โรค	ชนิดของพืช	การประยุกต์ใช้งาน
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	BlightBan A506	<i>Erwinia amylovora</i>	อัลมอลต์, แอปเปิ้ล, เชอร์รี่, ลูกแพร์, มันฝรั่ง, สตอเบอร์รี่, ลูกพีช	Wettable powder ใช้หลังจากการเก็บเกี่ยวกับพวกไม้ผล โดยอาจใช้แบบฉีดพ่น หรือใช้แช่ก็ได้
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Conquer	<i>Pseudomonas tolaasii</i>	เห็ด	ใช้ฉีดพ่น
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Vistus	<i>Pseudomonas tolaasii</i>	เห็ด	ใช้ฉีดพ่น
<i>Pseudomonas syringae</i>	Bio-save10	<i>Botrytis cineres</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Mucor pyroformis</i> , <i>Geotrichum candidium</i>	พืชตระกูลส้ม, pome fruits	Wettable powder ใช้หลังจากการเก็บเกี่ยวกับพวกไม้ผล โดยอาจใช้แบบฉีดพ่น หรือใช้แช่ก็ได้
<i>Pseudomonas syringae</i>	Bio-save11	<i>Botrytis cineres</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Mucor pyroformis</i> , <i>Geotrichum candidium</i>	พืชตระกูลส้ม, pome fruits	Wettable powder ใช้หลังจากการเก็บเกี่ยวกับพวกไม้ผล โดยอาจใช้แบบฉีดพ่น หรือใช้แช่ก็ได้
<i>Sterptomyces griseoviridis</i>	Mycotsop	<i>Fusarium spp.</i> , <i>Alternaria brassicola</i> , <i>Phomopsis spp.</i> , <i>Botrytis spp.</i> , <i>Pythium spp.</i> , and <i>Phytophthora spp.</i>	ไม้ประดับ, พืชผัก	ใช้รดลงบนหน้าดิน, ใช้ฉีดพ่น หรือใช้ผสมรวมกันกับระบบการให้น้ำ

ที่มา : Glick et al.,1999

การทำเกษตรของประเทศไทยตลอดระยะเวลา 50 กว่าปีที่ผ่านมา ได้ใช้พื้นที่ป่าไม้ไปมาก เป็นเหตุให้ปริมาณฝนตกลดน้อยลง และตกไม่ถูกต้องตามฤดูกาล ขาดการปรับปรุงบำรุงดินอย่างถูกต้อง นำมาซึ่งต้องใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมากเพื่อเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอกับความต้องการของพลเมืองที่เพิ่มขึ้น เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีมากเกินไป เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต และก็จะทำให้ดินพืชอ่อนแอได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีฆ่าแมลง และเชื้อโรคนั้นมากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นคือดินเสื่อมโทรม ปลูกพืชไม่ขึ้น สารพิษตกค้างในผลผลิต ดิน น้ำ คน และสัตว์เจ็บป่วย คนทั่วโลกจึงหันมาสนใจทำการเกษตรแบบไม่ใช้สารเคมีหรือการเกษตรแบบอินทรีย์มากขึ้น และการประยุกต์ใช้ PGPR จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรอินทรีย์ และได้เข้ามามีบทบาทมาก

ขึ้นในการทำการเกษตรแบบไม่ใช้สารเคมี แต่เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการใช้หัวเชื้อ PGPR ในการเกษตรในประเทศไทยอย่างจริงจัง ดังนั้นการทดลอง และวิจัยเกี่ยวกับการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของพืชจึงเป็นสิ่ง-สำคัญ เพื่อที่จะเพิ่มความมั่นใจในการใช้ PGPR ในระบบการเกษตรที่แท้จริงนั่นเอง

เอกสารอ้างอิง

- Bloemberg, G.V. and Lungtenberg, B.J.J. (2001).Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. **Current Opinion in Plant Biology** 4:343-350.
- Fridlender, M., Inbar,J. and Chet, I.(1993) Biological control of soilborne plant pathogens by a B-1,3-glucanase producing *Pseudomonas cepacia*. **Soil Biol. Biochem.** 25 : 1211-1221.
- Glick and Pasternack. **Molecular Biotechnology : Principles and Applications of Recombination DNA 2nd Edition**. ASM Press.
- Glick, B.R., Patten, C.L., Holguin, G. and Penrose, D.M.(1999). **Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria**.Imperial College Press.
- Lim, H., Kim, Y., Kim, S.(1991). *Pseudomonas stutzeri* YLP-1 genetic transformation and antifungal mechanism against *Fusarium solani*, an agent of plant root rot. **Appl. Environ. Microbiol.** 57:510-516.
- Ramamoorthy,V., Viswanathan,R., Raguchander,T., Prakasam,V and Samiyappan,R. (2001). Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases . **Crop Protection** . 20 : 1-11.
- Ramette, A., Moenne-Loccoz, Y. and Defago G. (2003). Prevalence of *Fluorescent pseudomonads* producing antifungal phloroglucinols and/or hydrogen cyanide in soils naturally suppressive or conducive to tobacco black root rot. **FEMS Microbiology Ecology.** 44:35-43.
- Sullivan,T.(2004). Interactions between Soil Microbial Communities and Plant Roots : Minireview. **Soil and Crop Sciences**, Colorado State University.
- Teaumroong,N. and Boonkerd, N. (1996). Iron Element, Siderophores and Microbes. **Suranaree J. Sci. Technol.** 3: 95-100.