จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตร มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ก่อให้เกิดระบบนิเวศที่มีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ ชนิดพืชพรรณที่เจริญ และวิธีการจัดการดินเพื่อทำการเกษตร ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ แมลง โดยเฉพาะจุลินทรีย์มีความแตกต่างกัน การทำเขตกรรมโดยวิธีการต่าง ๆ ในพื้นที่เกษตร เช่น การทำการเกษตรแบบไถพรวน การใส่ปุ๋ยเคมีโดยไม่มีการเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ส่งผลให้จุลินทรีย์บางชนิดที่ปรับตัวไม่ทันตายได้ แต่จุลินทรีย์บางชนิดได้รับการถ่ายทอดทางพันธุกรรมสามารถเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยมีการสร้างโครงสร้างพิเศษ เช่น สปอร์ ซีสต์ แคปซูล ทำให้ทนต่อความแห้งแล้ง ความร้อน สารเคมี รังสี และแรงกดดันต่าง ๆ ได้ โดยปกติดินที่มีอินทรียวัตถุหรือฮิวมัสสูงมักพบจุลินทรีย์ อาทิ แบคทีเรีย รา แอคติโนมัยซีส ยีสต์ และโพรโทซัว ซึ่งเป็นผู้ย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณสูง

สำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินมีบทบาทสำคัญในการเกษตร ทั้งที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินโดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุสารอินทรีย์ต่าง ๆ (Decomposition) ให้เป็นธาตุอาหารเกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ การเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ (Mineralization) เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และการแปรสภาพอนินทรียสารหรือแร่ธาตุจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช (Solubilization) การผลิตสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช การช่วยทำให้ดินจับตัวกันเป็นเม็ดและมีความเสถียร และบทบาทในการควบคุมศัตรูพืช เป็นต้น ส่วนกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นโทษมักเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคพืชทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตทางการเกษตร

1. ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ดินกับชนิดพืชและสมบัติของดิน

ดินแต่ละแหล่งจะมีชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณภาพของดิน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดเป็นด่าง การถ่ายเทอากาศ การระบายน้ำ ปริมาณอินทรียวัตถุ และชนิดพืชที่ปลูก เช่น ดินในทุ่งหญ้าและดินบริเวณเพาะปลูกมีแบคทีเรีย 10^5-10^6 เซลล์ต่อดิน 1 กรัม ขณะที่ในดินป่ามีแบคทีเรียในปริมาณสูงกว่า 10^6-10^7 เซลล์ต่อดิน 1 กรัม เช่นเดียวกับ Yahya and Al-Azawi (1988) รายงานว่า

90 เปอร์เซ็นต์ ของตัวอย่างดินพบแบคทีเรียละลายฟอสเฟตท้องถิ่นประมาณ 10^4 เซลล์ต่อกรัม โดยปริมาณจะลดลงตามลำดับในดินที่ปลูกผัก ปลูกถั่ว ปลูกหญ้า ธัญพืช และไม้ผล อิทธิพลของพืชอาศัยยังมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดพบสูงสุด 50.8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ถั่วลิสง และข้าวฟ่างมีเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัย 46.9 และ 34.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ถึงแม้ระบบรากข้าวโพดและรากข้าวฟ่างจะคล้ายกัน Carrenho *et al.* (2007)

ในสภาพดินเปรี้ยวจัดหรือเค็มจัดจะมีชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่แตกต่างจากดินทั่ว ๆ ไป เพราะต้องเป็นพวกที่ใช้ประโยชน์หรือทนต่อสมบัติของดินนั้นได้ดี Leaungvutiviroj *et al.* (2010) รายงานว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินบริเวณปลูกหญ้าแฝกสูงกว่าดินที่ไม่ได้ปลูกหญ้าแฝก และพบแบคทีเรียย่อยเซลลูโลส อะโซโตแบคเตอร์ แบคทีเรียละลายฟอสเฟตบริเวณดินของรากแฝกลุ่มที่ปลูกในดินตื้นมีปริมาณสูงกว่าดินเปรี้ยว รวมทั้งพบการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากหญ้าแฝกที่ปลูกในดินเค็มมีปริมาณน้อยกว่าที่ปลูกในดินเปรี้ยว และดินตื้น นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดิน ดินที่มีขนาดที่ต่างกันจะพบจุลินทรีย์ดินแตกต่างกันทั้งด้านนอกและด้านในและมีสัดส่วนของจุลินทรีย์ที่ต่างกันด้วย โดยพบแบคทีเรียที่ต้องการอากาศและสร้างสปอร์ แอคติโนมัยซีส และเชื้อราจำนวนมากในขนาดเม็ดดิน 1-3 มิลลิเมตร และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร มากกว่าขนาด 5-7 มิลลิเมตร ส่วนแบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas* sp. พบปริมาณมากในขนาดเม็ดดินน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร มากกว่าขนาด 1-3 มิลลิเมตร (Drazkiewicz, 1994)

นอกจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีแล้วยังพบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์ในดินกับการปรับปรุงโครงสร้างดินด้วย โดยกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนคาร์บอนในดิน ได้แก่ เอ็น-อะซีติล-กลูโคซามินิเดส เบต้า-กลูโคซิเดส และดีไฮโดรจีเนส ส่งผลให้ความหนาแน่นของดินลดลง และเพิ่มอัตราการแทรกซึมน้ำ (Martens *et al.*, 1992) Rillig *et al.* (2001) พบว่าสารโกลมาลินที่ผลิตจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสัมพันธ์กับความเสถียรของการเกิดเม็ดดินขนาด 1-2 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม Leaungvutiviroj *et al.* (2010) พบความสัมพันธ์ระหว่างประชากรจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทั้งด้านเคมีและกายภาพดินเมื่อมีการปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ดินเปรี้ยว ดินตื้น และดินเค็ม พบว่าจุลินทรีย์บริเวณรากหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรมากกว่าที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร พบแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีสย่อยเซลลูโลสในปริมาณสูงอยู่ในช่วง 10^6-10^8 เซลล์ต่อกรัมดิน เชื้อราย่อยเซลลูโลส อะโซโตแบคเตอร์ แบคทีเรียและเชื้อราละลายฟอสเฟตมีปริมาณใกล้เคียงกันระหว่าง 10^2-10^4 เซลล์ต่อกรัมดิน และดินที่ปลูกหญ้าแฝกมีปริมาณมากกว่าดินที่ไม่ได้ปลูกหญ้าแฝก โดยสามารถบ่งชี้ว่าทั้งแบคทีเรียละลายฟอสเฟตและเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุ และความชื้นในดินโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปลูกแฝกลุ่ม

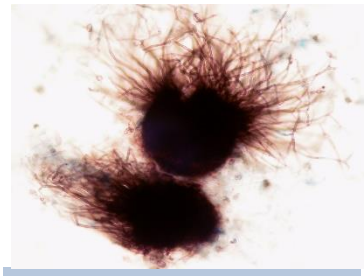
2. กลุ่มจุลินทรีย์ที่ประโยชน์ต่อการเกษตร

จุลินทรีย์ในดินมีหลากหลายกลุ่ม หลากหลายชนิด มีการดำเนินกิจกรรมและมีบทบาทหน้าที่แตกต่างกันในระบบนิเวศของดิน ตามชนิดของจุลินทรีย์ และสภาพแวดล้อมที่จุลินทรีย์ชนิดนั้น ๆ อาศัยอยู่ ความสัมพันธ์ทางระบบนิเวศของจุลินทรีย์ในดินบางประเภทจะเอื้ออำนวยซึ่งกันและกัน บางชนิดจะเกิดการแข่งขันซึ่งกันและกัน บางชนิดจะปลดปล่อยสารปฏิชีวนะเพื่อจำกัดการเจริญเติบโตของอีกชนิดหนึ่ง ความสัมพันธ์ทางระบบนิเวศดังกล่าวก่อให้เกิดผลมากมายทั้งทางด้านการปรับปรุงสมบัติของดินและมีส่วนช่วยในการเพิ่มผลผลิตพืช สามารถสรุปได้ดังนี้ (Brady and Weil, 2002; Kennedy, 2005)

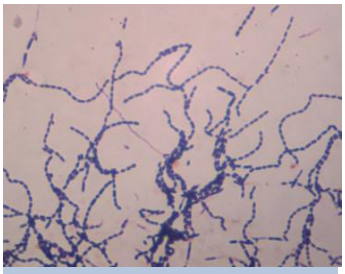
2.1 การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1) กลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียสารเศษซากพืช เมื่อใบไม้หรือเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ร่วงหล่น หรือรากพืชที่ตายแล้วจะเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรียสาร เช่น จุลินทรีย์ย่อยเซลลูโลส จุลินทรีย์ย่อยโปรตีน และจุลินทรีย์ย่อยอินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการแปรรูปอินทรียสารเปลี่ยนจากโครงสร้างใหญ่เป็นหน่วยย่อยและปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ออกมาจากองค์ประกอบของเศษพืช เป็นการปลดปล่อยธาตุอาหารหมุนเวียนสู่ดินเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน แอมโมเนียม ฟอสเฟต โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง สังกะสี เหล็ก มังกานีส โบรอน และโมลิบดินัม (Chang *et al.,* 2007; FAO, 1987) โดยอาศัยกิจกรรมเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น ซึ่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องการเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์เซลลูเลสมีบทบาทสำคัญในการย่อยเซลลูโลสที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นหน่วยเล็ก ๆ ได้แก่ กลูโคส เซลโลไบโอส และ oligosaccharides เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนกระบวนการต่าง ๆ ในเซลล์ (Sylvia *et al.,* 2005) ส่วนเอนไซม์โปรตีเอสมีบทบาททำให้เกิดกระบวนการ N mineralization และเป็นกระบวนการสำคัญในการควบคุมปริมาณไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชและมีผลต่อการเจริญของพืช (Stevenson, 1986) และเอนไซม์ไฟเทสจะแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปของไฟทินซึ่งพบปริมาณมากที่สุดอาจพบสูงถึง 10-50 เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมด ให้เป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Milko *et. al*., 2008) จะเห็นได้ว่ากระบวนการย่อยสลายอินทรียสารมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สามารถบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้จากการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับคืนสู่ดิน จะเห็นได้ว่าพื้นที่ทำการเกษตรที่มีการเติมวัสดุอินทรีย์ในดินจะมีกิจกรรมเอนไซม์เพิ่มขึ้นถึง 2-4 เท่า สูงกว่าพื้นที่ที่ไม่มีการใส่วัสดุอินทรีย์ นอกจากนั้นการย่อยสลายอินทรียสารยังเกี่ยวข้องกับความเสถียรของโครงสร้างดิน การเกิดอินทรียวัตถุในดินอีกด้วย (Bandick and Dick, 1999) มีผลโดยอ้อมทำให้ความจุใน

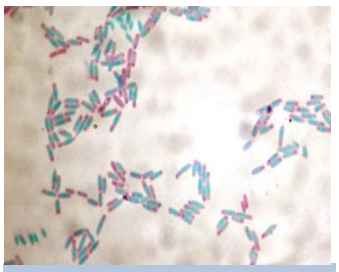
การแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร (Epstein *et al.*, 1976) จึงมักพบว่าดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมักมีความอุดมสมบูรณ์สูง



รา



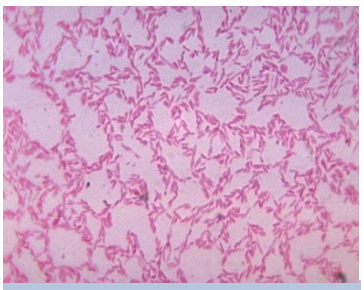
แอคติโนมัยซีส



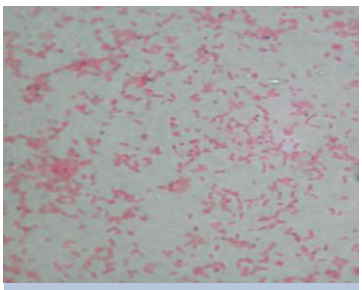
แบคทีเรีย

2) กลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนหรือเปลี่ยนรูปอนินทรียสาร เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ได้แก่

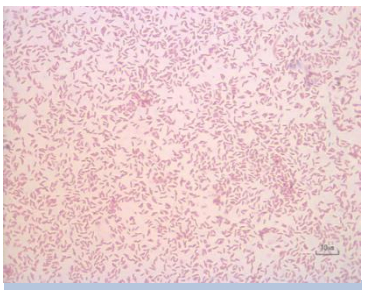
2.1) การเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ กลุ่มไรโซเบียม เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างความสัมพันธ์แบบพึ่งพา (Symbiotic association) กับถั่วชนิดต่าง ๆ กลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย หรือสาหร่ายสีเขียวแกรมน้ำเงิน ซึ่งมีทั้งที่อาศัยอยู่อย่างอิสระ และชนิดที่อาศัยแบบพึ่งพากับพืช แอคติโนไมซีส ซึ่งพบเพียงจีนัสเดียวที่ตรึงไนโตรเจนได้ คือ *Frankia* sp. กลุ่มแบคทีเรียร่วมอาศัยกับพืชหรือพึ่งพาแบบเทียม เป็นแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระในดินและสามารถเจริญอาศัยอยู่ภายในใบ ราก หรือลำต้นของพืชโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืช กลับส่งเสริมพืชให้ได้รับไนโตรเจนที่ตรึงได้ ซึ่งอาจเรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า endophytic bacteria ได้แก่ อะโซสไปริลลัม อะโซอาคัส เฮอร์บาสะไปริลลัม และอะซิโตแบคเตอร์ และกลุ่มแบคทีเรียอิสระ ดำรงชีวิตแบบอิสระในดิน ส่งเสริมความสมดุลของไนโตรเจนในระบบปลูกพืช เช่น อะโซโตแบคเตอร์ เคล็บซิเอลลา และคลอสติเดียม (ธงชัย, 2557)



ไรโซเบียม

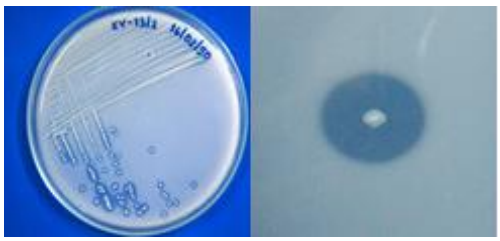


อะโซโตแบคเตอร์

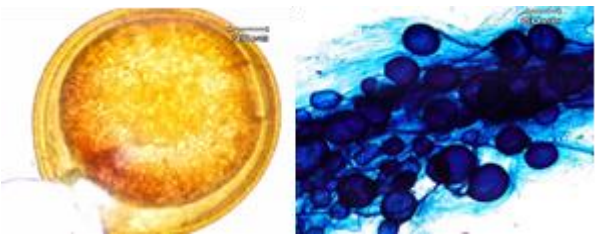


อะโซสไปริลลัม

2.2) การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนเตรท ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟต แมงกานีส เหล็ก และสังกะสี โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดในดิน เช่น การเปลี่ยนรูปอนุมูลแอมโมเนียมซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดนำไปใช้ประโยชน์ได้ยากให้อยู่ในรูปไนไตรท์และเป็นไนเตรท ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่ายโดยกิจกรรมจุลินทรีย์พวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย เช่น *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobactor* sp. หรือการแปรสภาพของสารอนินทรีย์โดยจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถผลิตกรดขึ้นมาละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปของฟอสเฟตที่ละลายน้ำพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดินให้สูงขึ้น เช่น *Bacillus* sp. และ *Burkholderia* sp. รวมทั้งการที่เชื้อราไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยแบบพึ่งพากันในรากพืช ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากในการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารเพิ่มขึ้น และมีกระบวนการทางเคมีในการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารจากรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้มาอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ดี เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป tricalciumphosphate และ rock phosphate เป็นต้น (Powell and Daniel, 1978)



แบคทีเรียละลายฟอสเฟต



เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ปัจจุบันมีการวิจัย และพัฒนาการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์กลุ่มนี้ในการผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชกันอย่างกว้างขวาง เช่น Karlidag *et al*. (2007) ศึกษาผลของการใส่จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน และจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต พวก *Bacillus* sp. และ *Microbacterium* sp. ทั้งที่ใส่เดี่ยว ๆ หรือใช้ร่วมกัน พบว่าการใช้ร่วมกันทำให้ผลผลิตแอปเปิ้ลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ให้กับรากทำให้น้ำหนักผลแอปเปิ้ลเพิ่มขึ้น 13.9-25.5 เปอร์เซ็นต์ ต้นแอปเปิ้ลสูงขึ้น 16.4-29.6 เปอร์เซ็นต์ และเส้นผ่าศูนย์กลางต้นเพิ่มขึ้น 15.9-18.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแปลงควบคุม นอกจากนั้นการดูดใช้ธาตุอาหารไปสะสมที่ใบสูงขึ้น โดยใบแอปเปิ้ลมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี เพิ่มขึ้น

2.2 การปรับปรุงสมบัติกายภาพของดิน

1) กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตสารโกลมาลิน เช่น เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีบทบาทสำคัญทำให้อนุภาคของดินเกาะกันซึ่งเกิดขึ้นได้จาก 2 กระบวนการ คือเกิดจากเส้นใยของเชื้อรา และเกิดจากสารประกอบที่เป็นเมือก หรือสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรท หรือสารยึดเกาะอื่น ๆ ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นโดยเป็นสารเชื่อมให้อนุภาคดินยึดเกาะรวมกันเกิดเป็นเม็ดดินได้ดีขึ้น เช่น สารโกลมาลิน ซึ่งเป็นไกลโคโปรตีนชนิดหนึ่งเกิดจากการ

ที่ไนโตรเจนเชื่อมต่อกับโอลีโกแซคคาร์ไรด์ สารโกมาลินมีผลโดยตรงช่วยทำให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นเม็ดดิน ซึ่งทำหน้าที่เสมือนกาวที่เชื่อมเส้นใยรากับอนุภาคดิน สร้างความคงทนของเม็ดดิน ป้องกันการกร่อนของดิน ช่วยปรับปรุงอัตราการแทรกซึมน้ำและการระบายอากาศ (Rillig *et al*., 2001; พักตร์เพ็ญ, 2556) อย่างไรก็ตามทั้ง 2 กระบวนการมักเกิดต่อเนื่องกัน โดยเริ่มต้นจากการรวมอนุภาคดินเข้าด้วยกันเป็นเม็ดดิน ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 250 ไมโครเมตร) ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเศษวัสดุอินทรีย์ แบคทีเรีย โพลีแซคคาร์ไรด์ และสารอนินทรีย์จากหน่วยเล็ก ๆ เหล่านี้จะเกิดการรวมตัวกันเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (มากกว่า 250 ไมโครเมตร) โดยพบว่ารากพืช และเส้นใยเชื้อราโดยเฉพาะเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืช สามารถสร้างเส้นใยออกมานอกรากชอนไชอยู่ในหน้าดินลึกประมาณ 10-20 เซนติเมตร ช่วยทำให้ เกิดเม็ดดินขนาดใหญ่ขึ้น (Tisdall, 1994; Rillig *et al.,* 2002)

2) กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลีแซ็กคาไรด์ เช่น *Aeromonas hydrophila*/caviae, *Bacillus insolitus, Anabaenopsis sp., Anabaena sp*., และ *Nostoc* sp. เป็นต้น (Malam *et al.,* 1998; Ashraf *et al*., 2004) มีรายงานว่าสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางสายพันธุ์สามารถผลิตสารพอลิแซ็กคาไรด์ได้จำนวนมาก ซึ่งมีลักษณะเป็นสารเมือกเหนียวหรือคล้ายวุ้นซึ่งจะตรึงอยู่ที่ผิวหน้าดิน โดยสารพอลิแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลุ่มเฮกโซส (hexose) กลุ่มเพนโตส (pentose) กลุ่มดีออกซีเฮกโซส (deoxyhexose) และกลุ่มกรดเฮกโซส (acid hexose) นอกจากนั้นสารพอลิแซ็กคาไรด์ยังมีความเข้มของประจุสูง เช่น กรดยูโรนิคซัลเฟตหรือฟอสเฟต ไพรูวิลคีเลต ซึ่งสามารถจับยึดกับอนุภาคต่าง ๆ ได้ดี (Lewin,1977; Phlips *et al*., 1989) การใส่สาหร่ายในดินร่วนปนทราย (sandy loam) ทำให้การจับตัวกันเป็นเม็ดดินเพิ่มขึ้น 85 เปอร์เซ็นต์ ดินร่วน (loam) 130 เปอร์เซ็นต์ และดินร่วนปนทรายแป้ง (silty clay loam) มีการจับตัวกันของเม็ดดินเพิ่มขึ้น 160 เปอร์เซ็นต์

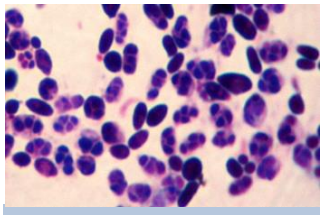
3) กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตเอ็นไซม์เอนไซม์เบต้ากลูโคซิเดส และเอนอะซิติล-กลูโคซามินิเดส ซึ่งส่งผลต่อการเกิดเม็ดดินขนาดเล็ก 2-250 ไมโครเมตร (Microaggregate) มากที่สุดเมื่อเทียบกับขนาดใหญ่มากกว่า 2 มิลลิเมตร (Macroaggregte) โดยเบต้ากลูโคซิเดสมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณคาร์บอนในดินเนื่องจากเอนไซม์นี้สังเคราะห์ขึ้นทั้งจากแบคทีเรียและเชื้อราทำหน้าที่ย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของพืช และโพลีเมอร์ของคาร์โบไฮเดรทรูปอื่น ๆ ด้วย (Turner et al., 2002) ส่วนเอนไซม์เอนอะซิติล-กลูโคซามินิเดสทำหน้าที่ย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์ไคติน (Polysaccharide chitin) ได้ N-acetylgucosamine ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้มีความเกี่ยวข้องกับเชื้อราอย่างมาก (Guggenberger *et al*., 1999)

2.3 การส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

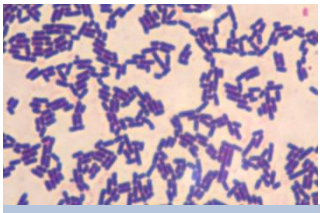
1) กลุ่มจุลินทรีย์สร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช จุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตฮอร์โมน

ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน และกรดทริสโพริค (Trisporic acid) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับกรดแอบซิสิค (Abscisic acid) รวมทั้งวิตามินที่พบ เช่น ไธอามีน ไบโอติน กรดนิโคตินิค ไรโบฟลาวิน ไพริด๊อกซิน และเมทธิลโคบาลามิน (Alexander, 1977) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญงอกงามดีขึ้น เช่น มีผลต่อการขยายขนาดของเซลล์ การเร่งเมล็ดให้งอก การก่อให้เนื้อเยื่อผลิตราก ช่วยการแบ่งเซลล์ของพืช ช่วยการออกดอก พัฒนาดอก และการเจริญของผลจนกระทั่งการแก่และสุก การชะลอความแก่ของใบ เพิ่มความต้านทานต่อสภาวะไม่เหมาะสมของพืช และช่วยรักษาสมดุลของการเจริญเติบโต เป็นต้น (Russell, 1982) หรือแม้กระทั่งเมตาบอไลท์ (Metabolite) ที่จุลินทรีย์ขับออกมานับว่าเป็นธาตุอาหารที่สำคัญ เช่น นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) ซึ่งจำเป็นต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั่วไป และกรดอะมิโน ได้แก่ ซิสทีอีน (Cysteine) อาร์จินีน (Arginine) ไลซีน (Lysine) และเมทไธโอนีน (Methionine) เป็นต้น (Brock *et al*., 1984) ด้วยเหตุนี้พืชที่มีจุลินทรีย์ในอาณาเขตรากพืชมากจะเจริญงอกงามดี ตัวอย่างจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ได้แก่ อะโซโตแบคเตอร์ อะโซสไปริลลัม และบาซิลลัส เป็นต้น

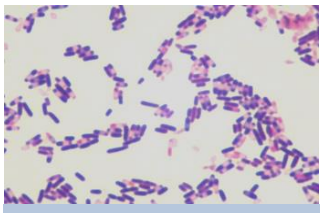
2) กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตสารบางชนิดในการสกัดสารจากวัสดุหมัก ได้แก่ ยีสต์ เช่น *Sacchoromyces* sp. และ *Pichia* sp. เปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ผลิตวิตามินและฮอร์โมนในระหว่างกระบวนการหมัก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก เช่น *Lactobacillus* sp. มีบทบาทในการถนอมอาหาร ยับยั้งการเน่าเสียและสร้างกรดแลคติกจากน้ำตาล และจุลินทรีย์ย่อยไนโตรเจน เช่น *Bacillus* sp. สามารถผลิตเอ็นไซม์โปรติเอสทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้เล็กลงเป็นกรดอะมิโน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน เช่น *Bacillus* sp. สร้างเอ็นไซม์ไลเปสย่อยสลายไขมัน และแบคทีเรียละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส เช่น *Burkholderia* sp. (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)



Pichia sp.



Lactobacillus sp.

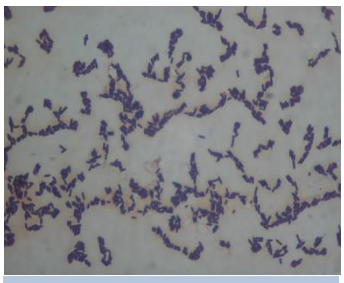


Bacillus sp.

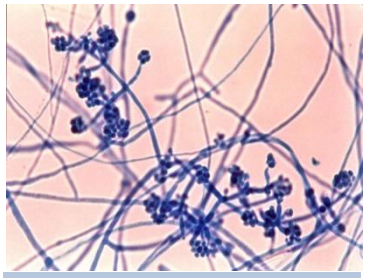
2.4 การควบคุมศัตรูพืช

1) กลุ่มจุลินทรีย์ควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช การควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชทางชีวภาพนับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถควบคุมหรือกำจัดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจุลินทรีย์ปฏิปักษ์มีกลไกการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช เช่น สารปฏิชีวนะที่ขับออกมาจากเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด การเกิดการแข่งขันกันระหว่างจุลินทรีย์ดินกับจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และการที่เชื้อจุลินทรีย์ดินเป็นศัตรูกับเชื้อโรคพืช

เช่น *Trichoderma* sp. สามารถทำลายเซลล์ของเชื้อโรคพืชและไส้เดือนฝอยได้โดยตรง นอกจากนั้นยังสามารถทำลายสารพิษบางชนิดเช่น อะฟลาทอกซินที่เกิดจากเชื้อโรคพืช *Aspergillus flavus* โดยการเปลี่ยนรูปโครงสร้างทางเคมีของอะฟลาทอกซินทำให้เกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งไม่เป็นพิษต่อคนและสัตว์ (Wilson, 1988) มีรายงานพบจุลินทรีย์ที่มีความสามารถควบคุมหรือยับยั้งการเจริญตลอดจนการเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้หลายชนิด ได้แก่ โรครากเน่า (Root rot) โรครากและโคนเน่า (Root and foot rot) โรคเหี่ยว (Wilt) โรคโคนต้นเน่าระดับดิน (Collar rot, Stem rot และ Damping off) โรคใบไหม้ ใบติด (Leaf blight) โรคต้นเน่า (Stalk rot และ Charcoal rot) เป็นต้น



Bacillus subtilis



Trichoderma sp.

2) กลุ่มจุลินทรีย์ควบคุมแมลงศัตรูพืช การควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยการใช้จุลินทรีย์เป็นการควบคุมแบบชีววิธี ซึ่งจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ เชื้อราบิวเวอเรียซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นต่าง ๆ เพลี้ยไฟ เพลี้ยอ่อน ไรแดง และแมลงหวี่ขาว หนอนห่อใบข้าว เป็นต้น เชื้อราเม็ตตาไรเซี่ยมใช้ควบคุมด้วงหนวดยาวเจาะลำต้นอ้อย แมลงนูนหลวง ด้วงแรด แมลงปีกแข็งต่าง ๆ เพลี้ยกระโดด และเพลี้ยแป้ง การใช้บาซิลลัสทูรินจิเอ็นซิสกำจัดหนอนศัตรูพืช เช่น หนอนกระทู้ต่าง ๆ หนอนใยผัก หนอนเจาะฝักและลำต้น ด้วงหมัดผัก การใช้นิวเคลียร์โพลีฮีโดรซีสไวรัสกำจัดหนอนกระทู้ผัก หนอนกระทู้หอม หนอนคืบกะหล่ำปลี และหนอนเจาะสมอฝ้าย จะเห็นได้ว่าแต่ละประเภทมีความจำเพาะในการควบคุมแมลงศัตรูพืชแตกต่างกัน จึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการเข้าทำลายและควบคุมแมลงศัตรูพืช (อรสา และคณะ, 2545)

3) กลุ่มจุลินทรีย์ควบคุมวัชพืช วัชพืชเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในการใช้ที่ดินเพื่อทำการเกษตร การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชในปริมาณมากและไม่เหมาะสมทำให้วัชพืชมีความทนทานต่อสารเคมีเพิ่มขึ้น ประกอบกับสารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดวัชพืชถูกห้ามให้นำมาใช้ จึงทำให้เกิดการพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ ในการควบคุมวัชพืช โดยการใช้เชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัส ในการกำจัดวัชพืช ซึ่งได้รับความสนใจมากขึ้นประเทศแทบอเมริกาเหนือ เนื่องจากช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีความจำเพาะเจาะจงกับวัชพืช ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช จุลินทรีย์ที่มีรายงาน ได้แก่ เชื้อรา *Colletotrichum* *Phoma* และ *Sclerotinia* sp. แบคทีเรีย ได้แก่

Xanthomonas sp. และ *Pseudomonas* sp. โดยควบคุมวัชพืชด้วยกลไกการก่อโรคในวัชพืช (Harding and Raizada, 2015) นอกจากนี้กรด 5-อะมิโน ลีวูลินิกที่ผลิตโดยจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชได้เมื่อใช้ในความเข้มข้น สูงและเหมาะสม กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรด5-อะมิโนลีวูลินิก ได้แก่ จุลินทรีย์ในกลุ่ม Phototrophs เช่น สาหร่าย *Agmemnellum quadruplicatum, Cyanidium caldarium* แบคทีเรียสังเคราะห์แสงใช้ออกซิเจน ได้แก่ *Anacystis nidulans, Anabaena variabilis* แบคทีเรียสังเคราะห์แสงไม่ใช้ออกซิเจน เช่น *Rhodobacter sphaeroides, Chlorobium limicola* แบคทีเรียกลุ่ม Chemotrophic กลุ่มใช้ออกซิเจน เช่น *Pseudomonas riboflavin, Propionicbacterium shermanii* กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ *Clostridium thermoaceticum, Methanosarcina barkeri, Methanobacterium thermoautotrophicum* (Tangprasittipap and Prasertsan, 2002)

2.5 การเพิ่มความต้านทานให้กับพืช

กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตสารบางชนิด และชักนำให้พืชต้านทานต่อสภาวะเครียด เช่น จุลินทรีย์ทนแล้งตรึงไนโตรเจน สร้างสารเสริมการเจริญเติบโต และละลายฟอสเฟต เป็นต้น โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวตอบสนองต่อสภาวะแล้งโดยการสร้างสารต่าง ๆ เช่น exopolysaccharide, stress amino acid เช่น Proline, เอนไซม์ ACC deaminase, osmolytes และ antioxidant เป็นต้น และเหนี่ยวนำยีนต่อการตอบสนอง abiotic stress ในพืช ซึ่งจะทำให้พืชทนต่อสภาวะขาดน้ำ และสามารถเจริญเติบโต และสร้างผลผลิตได้ เอนไซม์ ACC deaminase จะย่อย aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นกลางในการผลิตฮอร์โมน ethylene ในพืช และสารอื่น ๆ ที่ได้จากการผลิต ethylene คือ α-ketoglutarate และแอมโมเนีย เอนไซม์ดังกล่าวจะมีบทบาทต่อการเจริญของพืชภายใต้สภาวะทั้ง biotic และ abiotic stress โดยจะลดการสร้าง ethylene เมื่อมีการสร้าง ACC deaminase ทำให้ไปย่อย ACC จึงทำให้การผลิต ethylene ลดลง (Vurukonda *et al*., 2015)

2.6 การลดสารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างในดิน

กลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลายสารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างในดิน เนื่องจากการใช้สารเคมีในการควบคุมและกำจัดศัตรูพืชรวมทั้งวัชพืชในพื้นที่การเกษตรในปริมาณสูงและไม่ถูกวิธีก่อให้เกิดสารพิษตกค้างทั้งผลผลิตทางการเกษตร และตัวเกษตรกรผู้ใช้รวมไปถึงสิ่งแวดล้อม การบำบัดสารเคมีทางการเกษตรที่ตกค้างในดินโดยวิธีทางชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติบางชนิดสามารถปรับตัวให้ทนต่อสารเคมีและสามารถใช้สารเคมีที่ตกค้างเพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ เช่น จุลินทรีย์ย่อยสลายอาทราซีน ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืช ซึ่งมีทั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas* sp. strain ADP ที่สามารถย่อยอาทราซีนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับแอมโมเนีย (สุวรรณี, 2555) นอกจากนี้มีการรายงาน

การวิจัยแยกแบคทีเรียจากดินปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมา พบว่า *Aeromonas* spp. 2 สายพันธุ์ สามารถย่อยสลายพาราควอตได้ 24.36% และ 53.4% (Viriyawattana and Surachat, 2014) ยีสต์ *Lipomyces starkeyi* สามารถย่อยสลายพาราควอตในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปราศจากไนโตรเจนโดยสามารถใช้พาราควอตเป็นแหล่งไนโตรเจน (Robert *et al*., 1985)

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. คู่มือ การจัดการอินทรียวัตถุ เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2557. การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ. คณะเกษตรกำแพงแสน. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ ฯ.

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. Thai Journal of Science and Technology 2 (2):91-101.

สุวรรณี แทนธานี. 2555. จุลินทรีย์เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 60 (190): 36-39.

อรสา ดิสถาพร ธงชัย สถาพรวรศักดิ์ และจิราภา จอมไธสง. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) สำหรับการผลิตผักปลอดภัยจากสารพิษ. กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร 122 น.

Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2d ed. John wiley and Sons, Inc., New york. 467 p.

Ashraf. M., S. Hasnain and O. Berge. 2006. Effec of exo-polysaccharides producing bacterial inoculation on growth of roots of wheat (Triticum aestivum L.) plant grown in a salt-affeced soil. International Journal of Enviornmental Science and Technology 3 (1): 43-51

Bandick, A.K., R.P. Dick. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. Soil Biol. Biochem. 31: 1471-1479.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. The Nature and Properties of Soils. 13th ed. Pearson Education, Inc., New Jersey. 960 p.

Brock, T.D., D.W. Smith and M.T. Madigan. 1984. Biology of microorganisms. Prentice-Hall Inc., U.S.A. 847 p.

Carrenho, R., S.F. Botelho Trufem, V.L. Ramos Bononi and E.S. Silva. 2007. The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum and maize. Acta. Bot. Bras. 21(3): 723-730.

Chang, E.H., R.S. Chung and Y.H. Tsai. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. Soil Sci. Plant Nutr. 53: 132-140.

Drazkiewicz, M. 1994. Distribution of microorganisms in soil aggregates: effect of aggregate size. Folia Microbiol. 39(4): 276-282.

Epstein, E., J.M. Taylor and R.L. Chaney. 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. J. Environ. Qual. 5: 422-426.

FAO. 1987. Soil management: Compost production and use in tropical and subtropical environments. FAO Soil Bulletin 56, FAO, Rome.

Guggenberger, G., S.D. Frey, J. Six, K. Paustain and E.T. Elliott. 1999. Bacterial and fungal cell-wall residues in conventional and no-tillage agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1199-1988.

Harding D.P. and M. N. Raizada. 2015. Contraolling weeds with funji, bacterial and viruses: a review. Frontiers in Plant Science. 6:659.

Karlidag, H., A. Esitken, M. Turan and Sahin. F. 2007. Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of apple. Scientia Horticulture. 114 (1): 16-20.

Kennedy, A.C. 2005. Rizosphere, pp. 242-262. *In*: D.M. Sylvia (eds.) Principles and Applications of Soil Microbiology, 2nd ed., Pearson Education Inc., New Jersey.

Leaungvutiviroj, C., S. Piriyaprin, P. Limtong and K. Sasaki. 2010. Relationships between soil microorganisms and nutrient contents of *Vetiveria zizanioides* (L) Nash and *Vetiveria nemoralis* (A.) Camus in some problem soils from Thailand. Appl. Soil Ecol. 46(1): 95-102.

Lewin, R. 1977. The use of algae as soil conditioners cantros de Investigation be Baja California Scripps Inst. Of oceanographic Trans. 3: 33-35.

Malam O. Issa. Y. Le Bissonnais. C. Defarg and J. Trichet. 2000. role of a cyanobacteria cover on structural stability of sandy soil in the sahelian part of western niger.

Martens, D.A., J.B. Johanson and W.T. Frankenberger. 1992. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. Soil Sci. 153: 53-61.

Milko, J., O. Martinez, F. Maruyama, P. Marshchner, and M. Mora. 2008. Current and future

biotechnological applications of bacterial phytases and phytase-producing bacteria. *Microbes Environ.* 23: 182-191.

Phlips, E. J., C. Zeman and P. Hansen. 1989. Growth, Photosynthesis, Nitrogen fixation and Carbohydrate production by a unicellular cyanobacterium, *Cynechococus sp.* (Cyanophyta). J. Appl. Phycol. 1: 137-145.

Powell, C. L. and J. Daniel. 1978. Mycorrhiza fungi stimulate uptake of soluble and insoluble phosphate fertilizer from a phosphate deficient soil. New Phytologist 80: 351.

Rillig, M.C., S.F. Wright and K.A. Nichols. 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. Plant and Soil. 233:167-177.

Rillig, M. C., S.F. Wright and V.T. Eviner. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. Plant and Soil. 238: 325–333.

Robert, J. G. C., R. F. Bilton and T. Atkinson. 1985. Mechanism of Biodegradation of Paraquat by Lipomyces starkeyi. Applied and environmentalL Microbiology, 49: 5. 1290-1294.

Russell, R.S. 1982. Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil. McGraw-Hill Ltd., Great Britain. 298 p.

Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley and Sons, New York. 380 p.

Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel and D.A. Zuberer. 2005. Principles and Applications of Soil Microbiology (2nd ed.). Pearson Education Inc., 640 p.

Tangprasittipap, A. and P. Prasertsan. 2002. 5-aminolevulinic acid from photosynthetic bacteria and its applications. Songklanakarin J. Sci. Technol., 2002, 24(4): 717-725.

Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil. 159: 115-121.

Turner, B.L., D.W. Hopkins, P.M. Haygarth and N. Ostle. 2002. β-glucosidase activity in pasture soils. Appl. Soil Ecol. 20: 157-162.

Viriyawattana N. and S. Surachat. 2014. Biodegradation of paraquat by the novel bacteria strain, Aeromonas veronii NK67 from cassava fields in Thailand. Asian Journal Microbiology, Biotechnology& Environmental sciences paper. 16:1. 35-40.

Vurukonda, S.S.K.P., S. Vardharajula, M. Shrivastava and A. Skz. 2015. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research. 184: 13-24.

Wilson, D.M. 1988. Potential for biological control of *Aspergillus flavus* and alfatoxin contamination, pp. 56-62. *In*: K.G. Mukerji and L.L. Garg. Biocontrol of Plant Diseases. CRC. Press, Inc. Boca Raton, Florida.

Yahya, A.I. and S.K. Al-Azawi. 1988. Occurrence of phosphate-solubilizing bacteria in some Iraqi soils. Plant and Soil. 117(1): 135-141.