บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ส้มและความสำคัญ

ส้มจัดอยู่ในตระกูล Rutaceae มีสมาชิกจำนวน 130 สกุล รวม 1,500 ชนิด ซึ่งพืชตระกูลนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ตระกูลย่อย โดยมีตระกูลย่อยที่สำคัญที่สุดได้แก่ ตระกูลย่อยส้ม (Orange Subfamily: Aurantioidae) มีสมาชิกที่เป็นไม้ผลเศรษฐกิจมากมาย เช่น ส้มต่าง ๆ (*Citrus* spp.) รวมทั้งไม้ผลที่มีคุณค่าในการเป็นต้นตอของไม้ผลเศรษฐกิจ เช่น มะตูม มะขวิด คัมควอท และส้มสามใบ (จตุพรและคณะ, 2541) เป็นต้น โดยสมาชิกของพืชในกลุ่มนี้ที่สำคัญและจัดว่ามีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่งในประเทศไทยคือ ส้มเขียวหวาน ซึ่งในประเทศไทยนั้นพบว่ามีการนำส้มเขียวหวานเข้ามาปลูกเป็นเวลากว่า 100 ปีมาแล้วโดยชาวจีนอพยพ แต่เริ่มปลูกเป็นการค้าเมื่อประมาณ 70 กว่าปีที่ผ่านมาโดยเริ่มที่บางมด จึงรู้จักกันในนาม “ส้มบางมด” ซึ่งต่อมาได้แพร่กระจายไปทั่วประเทศ และเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปมากพื้นที่ปลูกจึงได้เปลี่ยนไปโดยไปอยู่ในจังหวัดปทุมธานี สระบุรี และนครนายก ซึ่งถือเป็นแหล่งปลูกใหญ่ที่สุด เนื่องจากมีน้ำชลประทานที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ามีการปลูกส้มเขียวหวานในจังหวัดน่าน และแพร่มานานแล้วอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันแหล่งปลูกส้มเขียวหวานได้กระจายไปตามแหล่งอื่น ๆ ของประเทศ ทั้งนี้เป็นเพราะปัญหาการสะสมของโรคและแมลงในแหล่งปลูกเดิม ได้แก่ ลพบุรี ปราจีนบุรี เชียงใหม่ เชียงราย หรือแม้แต่จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ก็มีรายงานการขยายพื้นที่ปลูกเช่นกัน (พานิชย์, 2542)

โรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) (นิพนธ์, 2542; เปรมปรี,2544)

โรคแอนแทรคโนส มีสาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporiodes* Penz. สามารถทำลายส้มได้ทั้งบนใบและผล โดยเชื้อราสาเหตุโรคเข้าทำลายใบส้มที่กำลังเจริญเติบโตเต็มที่และปรากฏอาการชัดเจนบนใบแก่เป็นแผลไหม้ แผลมีรูปร่างค่อนข้างกลม กลางแผลมีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลไหม้ แผลมักแห้งและมีจุดสีดำเล็ก ๆ จำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไป ขอบแผลไม่เรียบนูน และเป็นมันตรงกลางแผลเล็กน้อย มองดูคล้ายกับกลางแผลมีลักษณะบุ๋มลงไป ส่วนอาการบนผล ลักษณะอาการเหมือนกับที่พบบนใบ แต่ขนาดของแผลสามารถลามขยายได้ยาวใหญ่กว่า และส่วนมากมักพบแผลเป็นแนวยาวจากบริเวณขั้วผลลงไป เชื้อราสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสเป็นเชื้อราที่สามารถสร้างสปอร์ขนาดเล็กจำนวนมากในโครงสร้างสำหรับผลิตสปอร์ ซึ่งเป็นจุดสีดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาดเล็กบนแผล เมื่อสปอร์แก่จุดสีดำเล็ก ๆ นี้จะแตก และสปอร์สามารถปลิวแพร่ระบาดไปกับลม น้ำ หรือน้ำฝน ดังนั้นจึงพบโรคนี้เกิดระบาดมากในฤดูฝน ซึ่งมีความชื้นสูง และอุณหภูมิค่อนข้างสูง

โรครากเน่าและโคนเน่า (Root Rot and Phytophthora Foot Rot) (นิพนธ์, 2542; เปรมปรี, 2544)

โรครากเน่าและโคนเน่าที่พบว่ารุนแรงและมีการระบาดมากคือ โรครากเน่าและโคนเน่าซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. เชื้อราสาเหตุของโรคสามารถเข้าทำลายส้มได้ทางรากฝอย ราก แขนง และที่ส่วนโคนต้น ตามบริเวณกิ่งใหญ่ ๆ ใกล้โคนต้น อาการที่ปรากฏบนส่วนลำต้น หรือส่วนบน เช่นใบ อาจจะสังเกตอาการได้ยากมาก หากต้นส้มถูกทำลายที่ส่วนรากฝอยเพียงเล็กน้อย ส่วนบนต้นส้มอาจไม่แสดงอาการผิดปกติใด ๆ เลย เว้นแต่ว่าส้มอาจเจริญไม่เต็มที่ ไม่ค่อยแตกใบ และบางครั้งอาจพบอาการใบอ่อนเหี่ยวคล้ายขาดน้ำ ในกรณีที่รากส้มถูกทำลายมาก ๆ บางกิ่งอาจแสดงอาการใบเหลือง ตรงบริเวณเส้นกลางใบเหี่ยวคล้ายขาดน้ำ หรือที่ชาวสวนเรียกว่า อาการใบกลับ ใบร่วง กิ่งแห้งตายจากปลาย ผลส้มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและอาจร่วง เมื่อขุดดูรากพบว่า รากเน่าเป็นสีน้ำตาลแดง หรือส้ม เหนียวไม่ยุ่ย สำหรับส้มใหญ่ (อายุ 5-6 ปีขึ้นไป) บางครั้งอาจพบอาการเปลือกปริแตกตามบริเวณโคนต้น ส่วนเปลือกมีสีคล้ำค่อนข้างฉ่ำน้ำ และอาจพบอาการยางไหลตรงบริเวณรอยแผลนั้น เมื่อถากส่วนเปลือกออกดูจะพบว่าเปลือกเน่าและยุ่ย มีแผลสีน้ำตาล หรือน้ำตาลแดงตรงบริเวณโคนต้น หากส่วนที่เป็นโรคโคนเน่านี้ติดไปกับหยดน้ำ หรือถูกลมฝนพัดไปยังใบ ดอก และผลที่อยู่บนกิ่งล่าง ๆ ใกล้ระดับดิน หรือใกล้กับบริเวณแผลโคนเน่า เชื้อราจะทำลายใบอ่อน หรือใบเพสลาด ทำให้เกิดอาการเน่า หรือไหม้เป็นวงกลมสีน้ำตาลดำตรงบริเวณกลางใบ ขอบใบ หรือปลายใบ ทำให้ใบหลุดร่วงได้ หากเกิดบนยอดอ่อน ยอดอ่อนนั้นจะเน่าแห้งเป็นสีดำ ถ้าส้มอยู่ในระยะมีดอก เชื้อราอาจเข้าทำลายดอกทำให้ดอกเน่าแห้ง และหากเชื้อราเข้าทำลายผลที่โตแล้ว โดยเฉพาะผลแก่ในระยะเข้าสี ผลจะเน่าเป็นสีน้ำตาล เริ่มจากแผลขนาดเล็กแล้วลุกลามเป็นแผลเน่าวงกลม หรือเน่าทั้งผล อาจมีเส้นใย และสปอร์สีขาวของเชื้อราเจริญอยู่บนแผลดังกล่าว ผลที่เกิดแผลเน่าจะร่วงเป็นจำนวนมาก เรียกอาการที่เกิดกับใบ ดอก และผลนี้ว่า โรคใบไหม้ ดอกเน่า และผลเน่า (brown rot) พบโรคดังกล่าวนี้ในส้มเขียวหวาน มะกรูด และมะนาวพันธุ์ตาฮิติ

โรครากเน่าและโคนเน่าเกิดเนื่องจากการทำลายของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* Dastur เชื้อนี้เข้าทำลายพืชได้ดีโดยเข้าทำลายราก หรือโคนต้นโดยตรง หรือทางบาดแผลที่เกิดขึ้น เนื่องจากการขุดดิน พรวนดิน หรือบาดแผลซึ่งเกิดจากแมลง เชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคอาศัยอยู่ในดินและน้ำ แพร่กระจายโดยติดไปกับดิน หรือส่วนของส้มที่เป็นโรค และสปอร์ซึ่งเป็นหน่วยขยายพันธุ์ของเชื้อราสามารถแพร่กระจายไปกับน้ำที่ไหลผ่านราก หรือโคนต้นที่เป็นโรค ทำให้เกิดการแพร่ระบาดมากในส้มที่ปลูกแบบยกร่อง การระบาดของโรครากเน่าโคนเน่าจะระบาดมากในฤดูฝนประมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เดือนพฤษภาคมถึงพฤศจิกายน ซึ่งมีปริมาณความชื้นสูง ประกอบกับสภาพดินแน่น และมีน้ำขังทำให้ไม่สะดวกต่อการถ่ายเทอากาศ และระบายน้ำ ตลอดจนการให้น้ำ เช่น การใช้สายยาง การยกร่อง การใช้สปริงเกลอร์ หรือการใช้ระบบน้ำหยด ทุกวิธีการสามารถทำให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่าได้ อาการของโรคจะรุนแรงขึ้นหากสภาพต้นส้มอ่อนแอต่อการเกิดโรค เช่น ส้มติดลูกมากเกินไป ราก หรือโคนต้นเกิดบาดแผล หรือต้นส้มขาดการดูแลรักษา ส่วนการให้ปุ๋ยเคมี เช่น การให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงมาก โดยใส่ปุ๋ยเม็ดทางดิน หรือฉีดพ่นปุ๋ยน้ำ ปุ๋ยเกล็ดทางใบทำให้เกิดโรครา และเน่าโคนเน่ามากเช่นกัน นอกจากนี้เชื้อรา *Phytophthora* spp. สาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่าจะระบาดได้รุนแรงยิ่งขึ้นในสวนส้มที่ทรงพุ่มมีความสูงมาก และค่อนข้างทึบ (อำไพวรรณ, 2527)

การควบคุมโรคด้วยชีววิธี

ความหมายของการควบคุมโรคด้วยชีววิธี (กองโรคพืชและจุลชีววิทยา, 2536)

การควบคุมโรคพืชด้วยชีววิธี หมายถึง การควบคุมโรคโดยใช้จุลินทรีย์ หรือสิ่งที่มีชีวิตชนิดอื่นภายใต้สภาพธรรมชาติ หรือในสภาพที่สร้างขึ้น ซึ่งภายใต้สภาพแวดล้อมดังกล่าว มีความอยู่รอด หรือกิจกรรมของเชื้อโรคถูกจำกัด หรือลดลงโดยพวกจุลินทรีย์เหล่านั้น เป็นผลให้เกิดโรค หรือความรุนแรงลดลง หรือมีความหมายอีกอย่างว่าการควบคุมโรคพืชโดยการใช้ศัตรูธรรมชาติ เช่น ตัวห้ำ ตัวเบียน และจุลินทรีย์ เพื่อลดระดับประชากรของเชื้อสาเหตุโรคพืชให้อยู่ในระดับที่พืชทนทานได้ เป็นการลดการเกิดโรค หรือลดความเสียหายของพืชที่เกิดจากเชื้อโรค ซึ่งอาจรวมไปถึงจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ พันธุกรรม หรือผลผลิตที่เกิดจากพันธุกรรมด้วย ยกเว้นการกระทำโดยตรงของมนุษย์ต่อเชื้อโรคเท่านั้น การควบคุมโรคพืชด้วยวิธีนี้เป็นวิธีการค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทย แต่ในปัจจุบันเกษตรกรจำนวนมาก และนักวิชาการเกษตรสมัยใหม่เริ่มเห็นความสำคัญ และนิยมใช้แทนสารเคมีกันมากขึ้น มีการนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิต และแก้ปัญหามลพิษจากสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดโรคพืช ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อทำให้เกิดความสมดุลทางธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลไกในการเป็นปฏิปักษ์ของเชื้อ (เกษม, 2532ก)

เชื้อปฏิปักษ์ไม่ว่าจะเกิดเองในธรรมชาติหรือที่นักวิชาการนำมาเลี้ยง และขยายเพิ่มจำนวนเพื่อผลิตเป็นการค้า ซึ่งมีวิธีการเข้าทำลายเชื้อสาเหตุโรคพืชได้หลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบก็มีผลแตกต่างกันออกไปดังนี้

1. การเป็นปรสิต (parasite) โดยตรง หมายถึงการที่เชื้อปฏิปักษ์เข้าทำลายส่วนต่าง ๆ ภายในของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้โดยตรง

2. การเป็นตัวห้ำ (predator) เป็นวิธีการที่คล้ายกับการเป็นปรสิต แตกต่างกันที่วิธีการกินหรือการทำลาย กล่าวคือตัวห้ำเป็นการกินทั้งตัว เช่นไส้เดือนฝอย *Ditylenchus myceliophagus* กินเชื้อรา หรือเส้นใยของดอกเห็ด หรือไส้เดือนฝอย *Mononchus* spp. และ *Mylonchulus* spp. กินไส้เดือนฝอยด้วยกันเองเป็นอาหาร เป็นต้น

3. การแข่งขันกันเอง คือ การที่จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งเข้าไปยึดพื้นที่ หรือเจริญเติบโตก่อนที่เชื้อสาเหตุโรคพืชจะสามารถเข้าทำลายพืชได้ เช่น การพ่นสปอร์ของเชื้อรา *Phlebia gigantea* ลงบนตอของต้นสนที่ตัดใหม่ สามารถลดการทำลายของเชื้อรา *Heterobasidium annosum* ที่เป็นสาเหตุของโรครากเน่าลงได้มาก เนื่องจากเชื้อรา *P. gigantea* สามารถเข้าไปยึดครองผิวหน้าของตอไม้สนและป้องกันมิให้เชื้อรา *H. annosum* เข้าทำลายและลุกลามต่อไปยังระบบรากจนทำให้เกิดรากเน่าได้

4. การสร้างสารปฏิชีวนะ จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถสร้างสารปฏิชีวนะเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อราในดินหลายชนิด และเชื้อแอคติโนมัยซีส

5. การสร้างภูมิต้านทาน หมายถึง การใช้สายพันธุ์ของเชื้อโรคที่อ่อนแอ หรือจุลินทรีย์คนละกลุ่มกันและไม่เกี่ยวข้องกันเลย พ่นไปยังต้นพืชเพื่อป้องกันการทำลายของเชื้อสายพันธุ์ที่รุนแรงกว่า

วิธีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ (เยาวพา, ไม่ระบุปีที่พิมพ์)

การนำเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ไปใช้ในการควบคุมโรคพืช นิยมนำไปใช้กับโรคพืชที่เกิดบริเวณผิวราก (rhizoplane) หรือบริเวณผิวพืชที่อยู่เหนือดิน (phylloplane) ซึ่งการใช้เชื้อปฏิปักษ์ควบคุมโรคจะมีกรรมวิธีการใช้แตกต่างกัน

1. บริเวณผิวราก จะมีกรรมวิธีการใช้เชื้อปฏิปักษ์เพื่อควบคุมโรคได้หลายแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสะดวกในการปฏิบัติของผู้ใช้ และแต่ละวิธีอาจให้ประสิทธิภาพการควบคุมโรคได้ไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติของพืชเอง และลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีหลายรูปแบบ

1.1 การคลุกเมล็ด นิยมใช้กับพืชที่ใช้เมล็ดในการเพาะปลูก โดยเมล็ดจะต้องมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ช่วยให้คลุกง่ายและไม่สิ้นเปลืองผงเชื้อจุลินทรีย์ มักนิยมคลุกเมล็ดก่อนปลูก

1.2 การราดดิน เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติกันมาก แต่จะไม่ค่อยสะดวกหากจะนำไปใช้ในสภาพไร่ของเกษตรที่น้ำไม่เพียงพอ และถ้าปลูกพืชเป็นปริมาณมากก็จะยิ่งไม่สะดวกในการปฏิบัติ

1.3 การคลุกดิน เป็นวิธีการนำเอาผงเชื้อ หรือสารละลายเชื้อปฏิปักษ์ใส่ไปในดินและคลุกเคล้าผสมกันให้ทั่วก่อนปลูกพืช ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างสะดวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.4 การจุ่มราก เป็นวิธีที่นิยมใช้กันกับพืชที่ต้องเพาะเมล็ดแล้วย้ายกล้าไปปลูก เช่น พริกมะเขือเทศ หรือพืชที่มีเมล็ดพันธุ์ราคาแพง โดยจะต้องทำให้ดินบริเวณรากหลุดออกให้หมดก่อนนำไปจุ่มในสารละลายเชื้อที่เข้มข้น 10^8 cfu/ml แล้วจึงนำไปปลูกในแปลงต่อไป วิธีนี้จะทำให้เชื้อปฏิปักษ์ควบคุมโรคได้ดี เพราะรากจะสัมผัสกับเชื้อได้หมดทุกส่วน ไม่ก่อให้เกิดช่องว่างให้เชื้อโรคเข้าทำลาย

2. บริเวณผิวพืชอยู่เหนือดิน มีวิธีใช้ที่นิยม 2 วิธีคือ

2.1 การทา เป็นวิธีที่นิยมใช้กับพืชยืนต้นที่ถูกทำลาย มีแผลปรากฏให้เห็นชัดเจนบนส่วนของต้น หรือกิ่ง บริเวณที่สามารถนำเอาเชื้อปฏิปักษ์ที่เตรียมให้มีความเข้มข้น และเหนียวไปทาเพื่อให้ยึดติดกับผิวพืชได้คงทน

2.2 การพ่น เป็นวิธีที่นิยมใช้กับพืชที่ปลูกเป็นปริมาณมาก หรือมีลำต้นสูง ซึ่งใช้หลักการปฏิบัติเช่นเดียวกับการพ่นสารเคมีกำจัดโรคพืช

การใช้เชื้อรา *Chaetomium* spp. ควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าในประเทศไทย

เกษม (2532ข) รายงานผลการทดสอบศักยภาพของเชื้อรา *C. cupreum* ในการควบคุมโรคติดต่อทางเมล็ดข้าวได้แก่ *Pyricularia oryzae, Curvularia lunata, Drechslera oryzae, Fusarium moniliforme, Rhizoctonia oryzae* และ *R. solani* พบว่าเมื่อทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี dual culture และการใช้เชื้อรา *C. cupreum* ควบคุมเชื้อรา *P. oryzae* พบว่าเชื้อรา *C. cupreum* มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคไหม้ในระดับต้นกล้า โดยการใช้สปอร์ของเชื้อรา *C. cupreum* และสารสกัดจากเชื้อรา *C. cupreum* คลุกเมล็ดข้าว สามารถช่วยลดการเกิดโรคใบไหม้ได้ใกล้เคียงกับการใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อรา captan เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

เกษม (2532ค) การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *C. cupreum* ในการควบคุมโรคโคนเน่าของข้าวโพดหวาน ที่เกิดจากเชื้อสาเหตุ *Sclerotium rolfsii* พบว่า การใช้สารที่สกัดจากเชื้อรา *C. cupreum* สปอร์ของเชื้อรา *C. cupreum* ที่ตายแล้ว และสปอร์ของเชื้อรา *C. cupreum* ที่มีชีวิตปริมาณ 100,000 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ฉีดพ่นทุก ๆ 15 วัน ซึ่งจะมีระดับการเกิดโรคโคนเน่าใกล้เคียงกัน คือ 3.77, 3.61 และ 3.81 ส่วนการใช้สารเคมี PCNB มีระดับการเกิดโรคเฉลี่ย 3.11 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อซึ่งมีระดับเกิดโรค 4.05

เกษม (2533) จากการทดสอบศักยภาพของเชื้อรา *C. cochliodes* และ *C. cuniculosum* ในการควบคุมโรคไหม้ของข้าว ที่เกิดจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* พบว่าการคลุกเมล็ดด้วยสปอร์ก่อนปลูกเชื้อรา *C. cochliodes* สารสกัดจากเชื้อรา *C. cochliodes* และ captan มีเปอร์เซ็นต์การเกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โรคของต้นกล้าในระดับต่ำคือ 15.0, 22.5 และ 15.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคต้นกล้าสูงสุด เท่ากับ 37.5 เปอร์เซ็นต์

เกษม (2534ก) ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *C. cupreum* ในการควบคุมโรคเหี่ยวของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *Pseudomonas solanacearum* ในห้องปฏิบัติการ และสภาพไร่ พบว่าจากการเลี้ยงเชื้อร่วมกันบนจานอาหาร PDA โดยนำเชื้อแบคทีเรียมาทำ dilution plate ที่ความเข้มข้น 10, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} หรือ 10^{-6} ซึ่งเชื้อรา *C. cupreum* สามารถยับยั้งเชื้อราสาเหตุได้ทุกระดับความเข้มข้น โดยที่ระดับความเข้มข้น 10^{-3} และ 10^{-5} มีค่าเฉลี่ยในการยับยั้งสูงสุดคือ 8.1 และ 8.2 มิลลิลิตร โดยการทดลองในชุดควบคุมเท่ากับ 2.8 มิลลิลิตร สำหรับในสภาพไร่การใช้สปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *C. cupreum* สารสกัดจากเชื้อรา *C. cupreum* และน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ control ฉีดทุก 20 วัน พบว่าการใช้สปอร์แขวนลอย และสารสกัดจากเชื้อรา *C. cupreum* ลดการเกิดโรคสูงสุด 14 เปอร์เซ็นต์ และการใช้สปอร์แขวนลอยมีความสูงของต้นเฉลี่ยสูงสุด 64.65 เซนติเมตร ในขณะที่ชุดควบคุมมีความสูงของต้นเฉลี่ยเท่ากับ 46.55 เซนติเมตร

เกษม (2534ข) รายงานว่าจากการทดลองประสิทธิภาพของเชื้อรา *C. gracile* ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคเหี่ยวของมะเขือเทศ *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* โดยใช้วิธี bi-culture test พบว่าเชื้อรา *C. gracile* สามารถยับยั้งเชื้อราได้ 52 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ลักษณะ conidia ของเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ถูกทำลายโดยมีการจับตัวกันของ protoplast ภายในเซลล์เป็นก้อน และมีการไหลออกนอกเซลล์ในบางส่วน สำหรับในสภาพเรือนทดลอง หลังจากฉีดพ่นสปอร์สดของเชื้อรา *C. gracile* ลงดินบริเวณรอบโคนต้นมะเขือเทศ พบว่าสามารถลดอาการโรคเหี่ยวของมะเขือเทศได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมี benzimidazole และให้ผลผลิตต่อต้นสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

เกษม (2534ค) ได้ทำการทดสอบความสามารถของเชื้อรา *Chaetomium globosum* ในการควบคุมเชื้อรา *Curvularia lunata* สาเหตุโรคใบจุดข้าวโพดหวาน โดยวิธีการทดสอบการเลี้ยงเชื้อร่วม (bi-culture test) พบว่า เชื้อรา *C. globosum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุได้ 74 เปอร์เซ็นต์ และมีบริเวณการยับยั้งเท่ากับ 0.4 เซนติเมตร และในสภาพโรงเรือนทดสอบ พบว่าเชื้อรา *C. globosum* สามารถควบคุมโรคใบจุดข้าวโพด โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค เท่ากับ 26-27 เปอร์เซ็นต์ โดยมีผลใกล้เคียงกับการใช้สารเคมี และพบว่าเชื้อรา *C. globosum* มีแนวโน้มที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

เกษม (2535) ทดลองการใช้ชีวภัณฑ์จาก *C. cupreum* ในการควบคุมโรคเหี่ยวที่เกิดกับมะเขือเทศพันธุ์สีดา สาเหตุจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ในสภาพไร่ พบว่ามะเขือเทศมีการเกิดโรคต่ำเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แปลงที่ไม่ได้ใช้ชีวภัณฑ์มีการเกิดโรคถึง 28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ และแปลงทดลองที่ใช้ชีวภัณฑ์ให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่ใช้ชีวภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เกษมและชลฎา (2536) รายงานผลการเลี้ยงเชื้อรา *C. cupreum* ร่วมกับเชื้อรา *Pythium ultimum* Trow. บนอาหาร PDA พบว่าเชื้อรา *C. cupreum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. ultimum* ที่ 49.42 เปอร์เซ็นต์ในสภาพห้องปฏิบัติการ ในสภาพเรือนทดลองพบว่าการใช้สารสกัดจากเชื้อรา *C. cupreum* และสารชีวผลิตภัณฑ์จากเชื้อรา *C. cupreum* มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. ultimum* เท่ากับ 50.0 และ 50.7 เปอร์เซ็นต์

เกษม (2536) ได้ทำการศึกษาและทดลองเพื่อพัฒนาเชื้อรา *Chaetomium* สำหรับเป็นชีวภัณฑ์ พบว่าเชื้อ *Chaetomium* สามารถแสดงศักยภาพในการเป็นจุลินทรีย์ต่อต้านเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* โดยจะทำลายความสามารถในการก่อให้เกิดโรคของ conidia ในเชื้อสาเหตุโรค ทำให้เซลล์ของ conidia แตก ซึ่งส่งผลให้ protoplast ไหลออกจากเซลล์เชื้อรา และส่งผลให้เชื้อก่อโรคมีความรุนแรงลดลง

เกษม (2539) ผลการทดสอบเชื้อรา *C. cupreum* ในการควบคุมโรคโคนเน่าของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพไร่ โดยการใช้สปอร์ของเชื้อรา *C. cupreum* 5×10^{-5} สปอร์ต่อมิลลิลิตร สารสกัดจากเชื้อรา *C. cupreum* และสปอร์ของเชื้อรา *C. cupreum* ที่ทำให้ตายด้วยความร้อน เปรียบเทียบกับการใช้สารเคมี PCNB และน้ำกลั่นฆ่าเชื้อในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่าเชื้อรา *C. cupreum* สามารถยับยั้งการสร้างเม็ด sclerotium ได้ 81.15 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพไร่การใช้สารสกัดจากเชื้อรา *C. cupreum* และสปอร์ของเชื้อรา *C. cupreum* ที่ตายราดโคนต้น มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคประมาณ 12-14 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 44 เปอร์เซ็นต์

สนชัย (2540) พบว่าการใช้เชื้อรา *Chaetomium* ในอัตรา 5 กรัมต่อต้น สามารถลดการเกิดโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนได้ 85 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้สารเคมี metalaxyl ในอัตรา 20 กรัมต่อต้น สามารถลดการเกิดโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนได้ 70 เปอร์เซ็นต์ และในสภาพไร่พบว่าการใช้ชีวภัณฑ์ *Chaetomium* อัตรา 40 กรัมต่อต้น ในปีแรกลดการเกิดโรคได้ 76.27 เปอร์เซ็นต์ และในปีที่สอง 81.04 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา metalaxyl ในอัตรา 40 กรัมต่อต้น สามารถลดการเกิดโรคในปีแรกได้ 70.95 เปอร์เซ็นต์ และในปีที่สองได้ 70.52 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สุมิตรา (2540) ทำการทดสอบประสิทธิภาพชีวภัณฑ์ *Chaetomium* ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* IFFI ในสภาพแปลงทดลอง พบว่าการใช้ชีวภัณฑ์ *Chaetomium* ในอัตรา 20 กรัมต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ กทม.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5 กิโลกรัมต่อต้น สามารถลดการเกิดโรคแอนแทรคโนสได้ 55.93 เปอร์เซ็นต์ โดยที่การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราลดการเกิดโรคได้ 50.16 เปอร์เซ็นต์ และลดปริมาณเชื้อสาเหตุได้ 23.83 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การทดลองเปรียบเทียบมีปริมาณเชื้อก่อโรคเพิ่มขึ้น

พรพรรณ (2544) รายงานว่าการใช้ชีวภัณฑ์ *Chaetomium* ในอัตรา 5 กรัมต่อต้น ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น หรือการใช้ชีวภัณฑ์ *Chaetomium* ในอัตรา 2.5 กรัมต่อต้น ร่วมกับการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในอัตรา 10 กรัมต่อต้น และปุ๋ยอินทรีย์ 10 กิโลกรัมต่อต้น พบว่าสามารถลดระดับการเกิดโรครากเน่าและโคนเน่าได้ของส้มได้

วิเชียร (2544) พบว่าการใช้ชีวภัณฑ์ *Chaetomium* ในอัตรา 10 กรัมต่อต้น สามารถลดปริมาณของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ในดินได้ และส่งผลให้ระดับอาการโรครากเน่าและโคนเน่าของส้มลดลงด้วย ในขณะที่การใช้สารเคมี metalaxyl ในอัตรา 10 กรัมต่อต้น ไม่สามารถลดการเกิดโรคได้

Soytong and Soytong (1996) รายงานว่าเชื้อรา *C. globosum* และ *C. cupreum* สามารถควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น *P. palmivola, P. parasitica* และ *C. gloeosporoides*. โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Sodsa-art and Soytong (1999) รายงานการควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าของพริกไทย ซึ่งเกิดจากเชื้อเชื้อรา *P. palmivora* โดยชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Trichoderma*, *Chaetomium* ชนิดเม็ด และการใช้ชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Trichoderma* ร่วมกับ ชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Chaetomium* เปรียบเทียบกับการใช้สารเคมี metalaxyl และชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้ชีวภัณฑ์ พบว่าการใช้ชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Trichoderma* ร่วมกับชีวภัณฑ์ของเชื้อ *Chaetomium* ในอัตรา 20 กรัมต่อต้น มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคต่ำสุดคือ 8.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่การใช้ชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Trichoderma* และการใช้ชีวภัณฑ์ของเชื้อรา *Chaetomium* มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 10.92 และ 22.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับการใช้สารเคมี metalaxyl มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 21.88 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองในชุดควบคุมพบว่ามีการเกิดโรค 71.63 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ *Chaetomium* spp.ควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าในต่างประเทศ

Tveit and Moore (1954) ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Chaetomium* spp. ที่แยกได้จากเมล็ดข้าวโอ๊ต แล้วนำมาควบคุมเชื้อรา *Helminthosporium victoriae* สาเหตุโรคเมล็ดไหม้ของข้าวโอ๊ตทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและเรือนทดลอง ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Chaetomium* spp. พบว่าสามารถควบคุมเชื้อรา *H. victoriae* โดยจะปรากฏบริเวณ clear zone ระหว่างเชื้อราทั้งสอง และในสภาพเรือนทดลอง พบว่า *Chaetomium* spp. สามารถควบคุมโดย

ป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา *H. victoriae* ต่อเมล็ดข้าวโอ๊ต และพบว่าเชื้อรา *Chaetomium* spp. สามารถดำรงชีวิตในสภาพดินได้ 3 เดือนทั้งในสภาพดินแห้งและชื้น ในสภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Kommedahl and Chang (1968) รายงานว่าเชื้อรา *Chaetomium globosum* สามารถเจริญบริเวณเปลือกหุ้มข้าวโพดหวาน และเมื่อนำเชื้อดังกล่าวมาควบคุมเชื้อรา *F. oxysporum* ที่เป็นเชื้อสาเหตุโรคไหม้ข้าวโพดหวานในระยะต้นกล้าในสภาพโรงเรือนทดลอง และสภาพแปลงปลูกทดลอง ภายใต้อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อรา *C. globosum* สามารถควบคุมการงอกของเมล็ดข้าวโพดหวานได้ และมีผลต่อการส่งเสริมการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตทั้งระบบราก น้ำหนักลำต้นในสภาพสดและแห้ง โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติจากการทดลองที่ใช้สารเคมี captan และการทดลองในชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้เชื้อรา *C. globosum* ยังสามารถควบคุมโรคไหม้ข้าวโพดหวาน ที่เกิดจากเชื้อสาเหตุ *F. oxysporum* f. sp. *cerealis*.

Hubbard *et al*. (1983) รายงานว่าจากการทดสอบประสิทธิภาพเชื้อรา *Chaetomium* spp. ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* spp. พบว่าเมื่อคลุกเมล็ดถั่วด้วยสปอร์สดของเชื้อรา *C. globosum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* spp. โดยมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดถั่วสูงกว่าการทดลองเปรียบเทียบชุดควบคุมที่ไม่ได้ทำการคลุกเมล็ด

Johnston and Booth (1983) รายงานว่าเชื้อรา *Chaetomium* spp. มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคต่าง ๆ ได้ และบาง species เช่น *C. globosum* และ *C. cochlides* สามารถสร้างสารปฏิชีวนะที่ใช้ควบคุมเชื้อสาเหตุโรคทางดิน และโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์พืช เช่น เชื้อรา *Helminthosporium* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria* spp. และ *Rhizoctonia* spp. ตามลำดับ

Heye and Andrews (1983) รายงานว่าจากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา ในการควบคุมโรคแอปเปิ้ลสแคปที่เกิดจากเชื้อสาเหตุ *Venturia inaequalis* โดยการฉีดพ่นสปอร์สดบนใบพืช ซึ่งพบว่าเชื้อรา *C. globosum* สามารถควบคุมและลดการเกิดโรคได้ 60 และ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ทำการฉีดพ่นเชื้อรา

Cullen and Andrews (1984) รายงานการใช้เชื้อรา *C. globosum* สามารถลดและป้องกันการติดเชื้อของต้นกล้าแอปเปิ้ล ที่เกิดจากเชื้อรา *Venturia inaequalis* ได้ผลมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยขบวนการสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อรา *C. globosum* และมีผลโดยตรงต่อโครงสร้างของเชื้อราสาเหตุโรค

Manandhar *et al*. (1987) รายงานว่าเชื้อรา *C. cupreum* ที่แยกได้จากดินบริเวณรอบรากและเมล็ดของถั่วเหลือง สามารถทำหน้าที่เป็นปรสิตต่อเชื้อรา *Fusarium roseum* และ *Gliocladium*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

roseum และมีผลต่อโครงสร้างเซลล์ของเชื้อรา *Acremonisum sp.* โดยทำให้เซลล์แตก โครงสร้างของเซลล์เสีย

Boudreau and Andrews (1987) รายงานการใช้เชื้อรา *C. globosum* ในการเป็นจุลินทรีย์ต่อต้านโรคแอปเปิ้ลสแคป โดยการฉีดพ่น ascospore ลงบนใบแอปเปิ้ลใน growth chamber และในสภาพไร่นา พบว่าเชื้อรา *Venturia inaegualis* ไม่สามารถเจริญที่ผิวใบแอปเปิ้ล และก่อโรคสแคปได้ นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสารสกัดจากเชื้อ *C. globosum* ต่อเชื้อราในห้องปฏิบัติการจะลดลงหากทำการบ่มเชื้อไว้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5, 7.0 และ 8.8 โดยจะลดลงมากที่สุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.1

Albertini *et al*. (1990) รายงานว่าเชื้อรา *C. globosum* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Botrytis cineria* อีกด้วย (Kohl *et al*., 1995)

Di-Piero *et al*. (1992) พบว่าสารสกัดที่ได้จากเชื้อรา *C. globosum* สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุโรคเน่าระดับดินของผักกาดหัว ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Pythium ultimum* ได้ โดยสารสกัดคือ 2-(buta-1, 3-dienyl) 3-hydroxy-4-(penta-1, 3-dienyl)-tetrahydrofuran (BHT), epidithiadikitopiperazine และ chaetomin นอกจากนี้ ยังพบว่าเชื้อรา *Chaetomium globosum* สามารถควบคุมโรคเน่าสีขาวของหอม (onion white rot) และลดการเกิดโรคได้ 78 เปอร์เซ็นต์ และยังพบการสร้างสารปฏิชีวนะในอาหารอีกด้วย ในขณะที่ Amemiya *et al*. (1994) รายงานการพบสารปฏิชีวนะที่ผลิตได้จากเชื้อรา *C. globosum* คือ chaetoglobosin A ซึ่งสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ *Verticillium dahlia* เชื้อสาเหตุโรคเหี่ยวที่เกิดกับมะเขือเทศได้และยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ในสภาพการเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี dual culture

Heller and Theiler (1994) ได้ทำการศึกษาเชื้อรา *C. globosum*, *Gliocladium virens* และ *T. viride* ในการสร้างสารปฏิชีวนะและเป็นเชื้อปรสิตของเชื้อรา *Phytophthora* 4 ชนิด คือ *P. cinnamoni, P. cactorum, P. fragariae* และ *P. nicotinae* พบว่าเชื้อปฏิปักษ์ทั้งสามชนิดสามารถเจริญครอบคลุมโคโลนีของเชื้อรา *Phytophthora* spp. และสามารถทำลายเซลล์ของเชื้อให้แตกได้ นอกจากนั้นยังพบว่าสารเคมีซึ่งมีชื่อการค้าว่า benlate มีผลทำให้ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ต่อต้านลดลง โดยเมื่อทดสอบใน dual culture พบว่า จุลินทรีย์ต่อต้านลดความสามารถในการควบคุมโรคหลังจากถูกทดสอบเป็นเวลา 77 วัน

Amemiya *et al.* (1994) พบว่าสารสกัดจากเชื้อรา *C. globosum* คือ chaetoglobosin A สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อรา *Verticillum dahliae* ได้ดีที่ระดับความเข้มข้น 32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *V. albo-atrum* และ *Rhizoctonia solani* ตามลำดับ

Soytong *et al.* (1999) รายงานว่าการใช้เชื้อรา *Chaetomium* ชนิดเม็ดและชนิดผง ที่ผลิตจากเชื้อรา *C. globosum* และ *C. cupreum* ในการควบคุมโรคเหี่ยวมะเขือเทศที่มีสาเหตุเกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ในสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยใช้ในอัตรา 0.3, 0.5, และ 1.0 กรัมต่อต้น พบว่าการใช้เชื้อรา *Chaetomium* ที่อัตรา 1 กรัม สามารถควบคุมโรคเหี่ยวได้ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบชุดควบคุม

เอนโดไฟท์ (Endophyte)

จุลินทรีย์เอนโดไฟท์ (endophytic microbe) เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อพืช (plant tissue) ทั้งพืชบกและพืชน้ำ โดยมีช่วงหนึ่งของวงจรชีวิตอาศัยอยู่ภายในเนื้อเยื่อพืช อาจอยู่ในส่วนราก ลำต้น กิ่ง หรือ ใบ สามารถใช้ชีวิตร่วมกับพืชได้หลายรูปแบบ ความสัมพันธ์ระหว่างเอนโดไฟท์กับพืชมีหลายแบบด้วยกัน เช่นการอยู่ร่วมกันแบบ mutualism, neutral, symbiont หรือ antagonistic pathogen โดยเอนโดไฟท์เป็นตัวควบคุมทางชีวภาพ (biological control) และเป็นแหล่ง metabolite สำหรับทางการแพทย์ การป้องกันโรคให้กับพืชอาศัย อีกทั้งเป็นต้นแบบในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ เอนโดไฟท์บางชนิดเป็นสาเหตุในการเกิดโรคของพืช บางชนิดนอกจากผลิตสาร primary metabolite แล้วยังสามารถผลิตสาร secondary metabolite ในกลุ่มของสารปฏิชีวนะ (antibiotics) ซึ่งมีคุณสมบัติต้านการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น ต้านเชื้อรา (antifungal) และต้านแบคทีเรีย (antibacteria) ก่อโรคในคน สัตว์ หรือในพืช (Brunner and Pertrini, 1992) จากคุณสมบัติที่เด่นของแบคทีเรียคือมีการแบ่งตัวที่รวดเร็วกว่าเชื้อรา จึงน่าที่จะนำคุณสมบัตินี้มาทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์อื่น ๆ ต่อไปได้ (นิตยา และสายสมร, 2543)

จุลินทรีย์เอนโดไฟท์ หมายความรวมทั้งเชื้อราเอนโดไฟท์และแบคทีเรียเอนโดไฟท์ โดยส่วนใหญ่เชื้อราเอนโดไฟท์จะได้รับความสนใจในการศึกษาที่กว้างขวางกว่า ทำให้มีข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อราเอนโดไฟท์ที่สัมพันธ์กับพืชอาศัยมากมาย นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า เชื้อราบางชนิดสามารถผลิตสารที่นำมาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมและเภสัชกรรม เช่น การสร้าง secondary metabolite ในกลุ่มของสารปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา และเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุโรคของคน สัตว์ หรือพืชอีกด้วย (Bacon and White, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอคติโนมัยซีส (Actinomycete)

แอคติโนมัยซีสเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์เซลล์เดียว จัดเป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ guanine และ cytosine หรือ G-C content ที่สูงกว่าแบคทีเรียแกรมบวกทั่วไป คือประมาณ 55-78 โมลเลกุลเปอร์เซ็นต์ แอคติโนมัยซีสมีลักษณะเป็นเส้นสายคล้ายเส้นใยของเชื้อรา แต่มีขนาดเล็กกว่ามากคือ มีขนาดประมาณ 0.5-1.5 ไมโครเมตร ประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า apical region และ intercalary region สร้างผนังกั้นเส้นใยแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อ (Kalakoutskii and Agre, 1976) สามารถเจริญบนอาหารสังเคราะห์ชนิดแข็ง โดยสร้างเส้นใยที่เรียกว่า substrate mycelium และ aerial mycelium โดย substrate mycelium จะเจริญบนผิวหน้าอาหารก่อน และแทงเส้นใยเข้าไปในอาหารเพื่อนำสารอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มที่ เมื่อโคโลนีเจริญขึ้น aerial mycelium จะเกิดขึ้นมาภายหลังและยื่นไปในอากาศเพื่อทำหน้าที่หลักคือการสืบพันธุ์ ระหว่างที่โคโลนีเจริญ aerial mycelium จะถูกสร้างขึ้นในสภาวะพิเศษ เช่น ขาดน้ำ ขาดอาหาร หรือมีการสะสมของ inhibition compound ดังนั้น aerial mycelium จึงต้องมี hydrophobic sheath เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ การเจริญระยะแรกโคโลนีมีผิวเรียบ ต่อมาจะพัฒนา aerial mycelium จนปรากฏเป็นกลุ่มก้อนคล้ายแป้ง (powdery) หรือกำมะหยี่ (velvet) โดยโคโลนีของแอคติโนมัยซีสเป็นแบบแผ่กระจาย (discrete) คล้ายไลเคน (lichenoid) แข็งคล้ายแผ่นหนัง (leathery) หรือคล้ายเนยเหลว (butterous) ผิวโคโลนีมีลักษณะเรียบ หรือขรุขระ substrate mycelium จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2-0.8 ไมโครเมตร สีของเส้นใยมีตั้งแต่สีขาว ใสไม่มีสี สีเหลืองอ่อน สีน้ำตาลอ่อน แดง ชมพู ส้ม เขียว หรือสีดำ สามารถสร้างรงควัตถุได้ทั้งชนิดที่ละลายและไม่ละลายน้ำ ส่วน aerial mycelium มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1.0-1.4 ไมโครเมตร สามารถสร้างรงควัตถุได้หลายสี เช่น สีขาว เทา เหลือง ส้ม แดง ม่วง ฟ้า และสีเขียว โดยที่สีของรงควัตถุอาจเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเจริญเติบโต และชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อ แอคติโนมัยซีสส่วนใหญ่เป็นพวก aerobe บางสกุลเป็น facultative anaerobe หรือ obligate anaerobe อัตราการเจริญของแอคติโนมัยซีสจะช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อรามาก โดยจะใช้เวลาประมาณ 7-14 วัน การสร้างโคโลนีที่สมบูรณ์มีทั้งเส้นใยใต้ผิวอาหารและเส้นใยเหนือผิวอาหารปรากฏให้เห็น สำหรับชนิดที่มีการเจริญช้า การสร้างเส้นใยทั้ง 2 แบบอาจใช้ระยะเวลาถึง 1 เดือน แอคติโนมัยซีสมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยวิธีการ fission ของเส้นใยแล้วพัฒนาไปเป็นสปอร์ที่เรียกว่า conidium ที่มีลักษณะคล้ายกับสปอร์ของเชื้อรา คือมีการแตกหักของเส้นใย ซึ่งสปอร์ดังกล่าวมีอยู่หลายลักษณะคือ เป็นสปอร์เดี่ยว ๆ ที่ไม่เคลื่อนที่และเคลื่อนที่ได้ หรือสปอร์คู่ สปอร์จะเรียงต่อกันเป็นลูกโซ่ หรือบิดเป็นเกลียวคล้ายสปริง หรือเป็นถุงขนาดใหญ่ภายในบรรจุสปอร์เรียกว่า sporangium แอคติโนมัยซีสมีลักษณะการเจริญที่คล้ายกับเชื้อรา กล่าวคือแอคติโนมัยซีสชั้นสูงจะสร้างเส้นใยแตกสาขาคล้ายเส้นใยของเชื้อรา และจะสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

aerial mycelium ซึ่งตรงปลายจะมี conidia คล้ายกับเส้นใยและสปอร์ของเชื้อรา การเจริญในอาหารเหลวของแอคติโนมัยซีสจะเจริญแบบเป็นกลุ่มก้อน และมักจะไม่เป็นตะกอนขุ่น (turbidity) อันเนื่องมาจากการแขวนลอยของเซลล์ที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดียวเช่นในแบคทีเรียทั่วไป นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนของแอคติโนมัยซีสจะคล้ายกับเชื้อรา (apically) คือมีการเจริญเฉพาะบริเวณส่วนปลาย แตกต่างจากการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทั่วไปที่เป็นแบบทวีคูณ (exponential) ลักษณะการเจริญของแอคติโนมัยซีสถึงแม้จะเหมือนเชื้อรา แต่เหตุผลที่ทำให้แอคติโนมัยซีสถูกรวมกลุ่มอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียเนื่องจากขนาดและรูปร่างของเซลล์ใกล้เคียงกับแบคทีเรีย คือจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5–1.2 ไมโครเมตร นอกจากนี้แอคติโนมัยซีสสามารถถูกทำลายได้โดย bacteriophage และสารปฏิชีวะนะประเภทเดียวกับที่ทำลายแบคทีเรีย แต่เหตุผลที่สำคัญที่ทำให้สรุปได้ว่าแอคติโนมัยซีสไม่ใช่เชื้อราก็คือ เซลล์ของแอคติโนมัยซีสไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ผนังเซลล์ไม่ได้ประกอบด้วย chitin หรือ cellulose เหมือนกับเชื้อรา แต่เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (polymer) ของน้ำตาลและกรดอะมิโน ซึ่งคล้ายกับผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive bacteria) (Waksman, 1967; Mendez *et al*., 1985)

ดรุณี (2541) รายงานว่าลักษณะการเจริญของเชื้อบนอาหารแข็ง (surface culture) และในอาหารเหลว (submerge culture) มีลักษณะต่างกันคือ การเจริญในอาหารเหลวเซลล์จะเจริญจับกันเป็นกลุ่มของเส้นใยที่เรียกว่า pellet แต่สำหรับเชื้อบางชนิด เช่น *Nocardia coralline* เมื่อเจริญในอาหารเหลวที่มีการเขย่าให้อากาศ เชื้อจะมีลักษณะเป็นรูปแท่ง (rod) มีการแบ่งเซลล์แบบ binary fission และแบบ fragmentation เมื่อหยุดการเจริญ ในขณะที่การเจริญบนอาหารแข็งที่มีส่วนประกอบของอาหารเช่นเดียวกับในอาหารเหลว เชื้อเจริญแบบสร้างเส้นใย (filamentous form) ในลักษณะที่ยึดติดแน่นกับผิวหน้าอาหารวุ้น และมีการหักหลุด (fragmentation) ของเส้นใยเมื่อมีอายุมากขึ้น โดยทั่วไปลักษณะการเจริญของเชื้อบนอาหารแข็งจะมีลักษณะของโคโลนีหลายแบบ ได้แก่

1. โคโลนีแบบหยาบหรือเรียบยึดเกาะกับผิวหน้าอาหารอย่างหลวม ๆ สร้าง aerial mycelium ปกคลุมผิวหน้าอาหาร (มักพบแอคติโนมัยซีสที่มีการเจริญในระยะ transient mycelial มีการเจริญของ mycelia ที่ไม่แน่นอน)

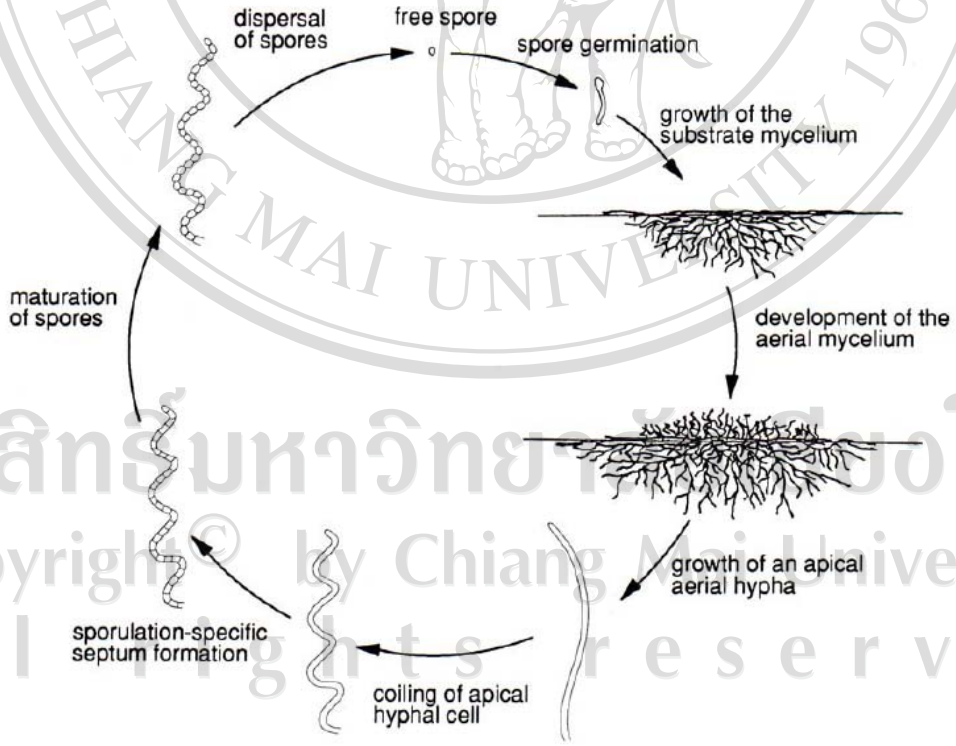
2. โคโลนีไม่มี substrate mycelium มี aerial mycelium ที่ยึดเกาะกับอาหารด้วยส่วนพิเศษที่เรียกว่า holdfast

3. โคโลนีที่มีลักษณะเกาะกันคล้ายแผ่นหนัง สร้าง aerial mycelium ที่มีลักษณะค่อนข้างโป่ง และยึดกับ substrate ด้วย substrate mycelium สำหรับในอาหารเหลว เรียกเส้นใยที่บนผิวอาหารว่า generative mycelium และเส้นใยที่อยู่ในอาหารว่า vegetative mycelium

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของแอคติโนมัยซีสโดยทั่วไปพบได้ 2 แบบ คือแบบ mycelium fragmentation และแบบ sporulation ในพวก *Streptomyces* spp. จะมีการสร้างเซลล์ที่มีลักษณะพิเศษตามความยาวของ aerial mycelium โดยเซลล์ขยายใหญ่ และมีผนังหนาขึ้นเรียกว่า chlamydospore หรือ arthrospore มักพบแบบเดี่ยว ๆ (single spore) หรือต่อกันเป็นสายโซ่ (chain) ในพวก *Actinoplane armenicus* สามารถสร้างสปอร์ได้ 2 แบบคือ สปอร์แบบมี flagella เรียกว่า zoospore ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และสร้างสปอร์แบบ arthrospore บน aerial mycelium ซึ่งการสร้างสปอร์จะเป็นแบบใดนั้นมักขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เชื้อเจริญอยู่

เชื้อแอคติโนมัยซีสส่วนใหญ่มีปริมาณ guanine และ cytosine ในเซลล์มากกว่า 55 โมเลกุลเปอร์เซ็นต์ (Ruan, 1994) สกุลที่มีการศึกษาทางพันธุศาสตร์มากที่สุดคือ *Streptomyces* โดยพบว่ามีโครงสร้างของโครโมโซมเป็นเส้นตรง (linear chromosome) และมีขนาดของจีโนม (genome) ประมาณ 7.8-8.0 เมกะเบส ซึ่งมีปริมาณเบส guanine และ cytosine ในอัตราสูง (high G-C content) ประมาณ 70-74 โมเลกุลเปอร์เซ็นต์ (Williams *et al*.,1989) โดยทั่วไปแอคติโนมัยซีสจะมีวงจรชีวิตดังภาพที่ 1



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 1 วัฏจักรชีวิตของ *Streptomyces*

ที่มา: Chater *et al*. (1996)

แอคติโนมัยซีสมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่หลากหลายมาก ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตโดยอาศัยออกซิเจน ได้รับสารอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ (saprophytic) และชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic) พบอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ และอากาศ แต่พบมากในดินที่เป็นด่างเล็กน้อยและอุดมไปด้วยสารอินทรีย์ โดยพบมากบริเวณดินชั้นบนและลดจำนวนลงในชั้นดินที่ลึกลงไป นอกจากนี้ยังพบได้มาในดินบริเวณรากพืช (rhizosphere) หรือแม้แต่ในชิ้นส่วนของต้นพืช (endophyte) ก็ยังสามารถพบแอคติโนมัยซีสได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Porter, 1971)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อแอคติโนมัยซีส

การจัดจำแนกเชื้อแอคติโนมัยซีสในระดับสกุล จะใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น ลักษณะของสปอร์ ลักษณะของเส้นใยทั้ง substrate mycelium และ aerial mycelium นอกจากนี้ยังใช้องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์มาใช้ในการจัดจำแนก เช่น ชนิดของ diaminopimelic acid (DAP) ที่ผนังเซลล์ ชนิดของน้ำตาลภายในเซลล์ ฟอสโฟลิปิด และ menaquinone เป็นต้น (Yamaguchi, 1965; Yamada, 1998) ซึ่งสามารถนำมาจัดกลุ่มได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการจัดจำแนกเชื้อแอคติโนมัยซีส โดยการอาศัยกล้องจุลทรรศน์ และเลนส์ที่มีระยะการทำงานยาว (long working distance) โดยดูลักษณะของเชื้อที่เจริญอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อโดยตรง ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ต้องพิจารณาในการจำแนกเป็นสกุล (Holt *et al*., 1994) ได้แก่

1. เส้นใย (mycelium) โดยแบ่งออกเป็น substrate mycelium และ aerial mycelium โดยพิจารณาว่าสร้างแบบใด หรือสร้างทั้งสองแบบ โดยปกติเชื้อจะสร้างเส้นใยชนิดใด ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อ มีบางชนิดเท่านั้นที่สร้างเฉพาะ aerial mycelium บางชนิดเส้นใยมีลักษณะเป็น vesicle และไม่สร้างสปอร์ เส้นใยอาจแข็งแรง หรือมีการแตกหัก บางชนิดเส้นใยที่แตกหักสามารถเคลื่อนที่ได้

2. Conidium คือสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ โดยแอคติโนมัยซีสสามารถสร้าง conidium ได้หลายแบบดังนี้

ก. Single conidium มีลักษณะเป็นสปอร์เดี่ยว ๆ มักพบโดยทั่วไปโดยเฉพาะเชื้อในกลุ่ม Micromonospora, Thermomonospora และ Saccharomonospora บางชนิดมี endospore ที่ทนความร้อนได้ดี แต่บางชนิดไม่ทนร้อน

ข. Pairs of conidia เป็น conidium แบบคู่ มีลักษณะเรียงตัวตามยาว สร้างอยู่บนเส้นใยที่ชูขึ้นในอากาศ ได้แก่ *Microbispora* และ *Planobispora*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใช้ในการจำแนกสกุลของแอคติโนมัยซีส

Diagnostic amino acid	Diagnostic sugar	Typical key morphological features and additional chemical properties	Possible generic assignment (section number)
No DAP[a]	NA[b]	Only substrate mycelium formed. Breaks into motile elements.	*Oerskovia* (26)
		Sterile aerial mycelium formed. Substrate mycelium breaking up into nonmotile elements.	*Promicromonospora* (26)
		Sporangia with motile spores.	
	Xylose	Shot chains of conidia on the aerial mycelium.	*Actinoplanes* (28)
	Madurose		*Actinomadura* (30)
L-DAP	NA	Both aerial and substrate mycelia breaking up into fragments.	*Nocardioides* (26)
		Only substrate mycelium formed bearing terminal or subterminal vesicles.	*Intrasporangium* (26)
		Aerial mycelium with long chains of spores.	*Streptomyces* (29)
		Sclerotia formed (Chainia type).	*Kitasatosporia* (33)
		Very short chains of large conidia formed (Microellobosporia type) on aerial and vegetative mycelium.	*Streptomyces* (29)
		Whorls of straight chains of conidia formed.	*Streptomyces* (29)
		No aerial mycelium; club-shaped sporangia formed terminally on the vegetative mycelium.	*Streptoverticillium* (29)
		Aerial mycelium only, motile element formed.	*Kineosporia* (29)
			Sporichthya (29)
meso-DAP[c]	Xylose and Arabinose	No sporangia. Single conidia formed on substrate mycelia, often in large black mucoid masses.	*Micromonospora* (28)
		No sporangia, short chains of conidia formed protruding from the surface of the colonies.	*Catellatospora*[d]
		Chains of conidia on aerial mycelium.	*Glycomyces* (33)
		Dactyloid oligosporic sporangia protruding from the surface of the colonies. Spores motile.	*Dactylosporangium* (28)
meso-DAP[c]		Sporangia containing spherical motile spores formed on the surface of colonies.	*Actinoplanes* (28)
	Xylose and Arabinose	Same. Rod-shaped sporangiospores motile by polar flagella.	*Ampullariella* (28)
		Same. Sporangiospores with lateral flagella.	
		Multilocular sporangia formed. Spores nonmotile.	*Pilimelia* (28)
			Frankia (27)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใช้ในการจำแนกสกุลของแอคติโนมัยซีส (ต่อ)

Diagnostic amino acid	Diagnostic sugar	Typical key morphological features and additional chemical properties	Possible generic assignment (section number)
		Shot chains of conidia on the aerial mycelium, often curled into a crozier.	*Actinomadura* (30)
		Chains of conidia with only two spores.	*Microbispora (30)*
		Chains of conidia mainly with four (2-6) spores.	*Microtatraspora* (30)
		Sporangia formed with two motile spores.	*Planobispora* (30)
		Sporangia formed with only one motile spores.	*Planomonospora* (30)
		Spherical sporangia formed on aerial mycelium containing many motile rod-shaped spores.	*Spirillospora* (30)
		Spherical sporangia formed on aerial mycelium containing many aplanospores.	*Streptosporangium* (30)
		Multilocular sporangia formed.	*Dermatophilus* (27)
meso-DAP	Fucose	Multilocular sporangia formed.	*Frankia* (27)
		Sporangia with motile spores.	*Frankia* (27)
	Rhamnose and Galactose	Both aerial and substrate hyphae fragment into nonmotile elements.	*Actinoplanes* (28)
		Stretomyces type of morphology.	*Saccharothrix* (33)
	Rhamnose, galactose, and mannose	*Stretomyces* type of morphology.	*Streptoalloteichus* (31)
	Galactose	Nocardomycolic acid (NMA) present. Mophology ranging from fugaceous substrate mycelium only to *Streptomyces*-like.	*Kitasatosporia* (33)
	Arabinose and galactose	NMA present. Soft, salmon to pink organisms.	*Nocardia* (26)
		NMA absent. Short chain of conidia on the substrate and sparse aerial mycelium.	*Rhodococcus* (26)
		NMA absent. Long cylindrical spores on the aerial mycelium.	*Faenia* (26)
		Spores formed by budding.	*Pseudonocardia* (26)
		NMA absent. Single spores formed mainly on the aerial hyphae.	
		NMA absent. Verry long chains of conidia on the aerial mycelium.	*Saccharomonospora* (26)
		NMA absent. Long chain of conidia on the aerial mycelium.	
		Halophile.	*Saccharopolyspora* (26)
			Actinopolyspora (26)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใช้ในการจำแนกสกุลของแอคติโนมัยซีส (ต่อ)

Diagnostic amino acid	Diagnostic sugar	Typical key morphological features and additional chemical properties	Possible generic assignment (section number)
meso-DAP	Arabinose and galactose	NMA absent. Substrate mycelium tends to break into nonmotile element. Aerial hyphae may be formed; they may also segment.	*Amycolata*[d] Amycolatopsis[d]
		NMA absent. Aerial mycelium bearing curled hyphae embedded in an amorphous matrix.	*Kibdelosporangium* (33)
	No diagnostic sugar	Single conidia formed. There are heat —resistant bacterial endospores.	*Thermoactinomyces* (32)
		Same as above but the spores are not heat-resistant.	
		Long chain of spores formed by the aerial hyphae.	*Thermomonospora* (31)
		Aerial hyphae, often united into synnemata releaseing motile spores.	*Nocardiopsis* (31)
		Multilocular sporangia releasing motile spores.	*Actinosynnema* (31)
			Geodermatophillus (27)

หมายเหตุ: [a] DAP, diaminopimelic acid.

[b] NA, not applicable.

[c] May also contain hydroxy forms of DAP that may even replace meso-DAP.

[d] Validly described genera not included in this volume.

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. Short chain of conidia เป็น conidium ที่เรียงตัวเป็นสายสั้น conidiaลักษณะนี้ยากที่จะบอกได้ว่ามีจำนวนสปอร์อยู่เท่าไหร่ แต่จะพิจารณาว่าถ้ามีการเรียงตัวของสปอร์ไม่เกิน 20 สปอร์ จัดว่าเป็นสายสั้น โดยเชื้อที่สร้างสปอร์ในลักษณะนี้มีอยู่หลายชนิด บางชนิดสร้างสปอร์สั้น ๆ และมีถุงมาล้อมรอบ อาจสร้างอยู่บนเส้นใยที่เจริญอยู่ใต้ผิวหน้าอาหาร หรือเส้นใยที่ชูขึ้นในอากาศก็ได้

ง. Long chain of conidia เป็น conidium ที่เรียงตัวเป็นสายยาว โดยเชื้อที่สร้างสปอร์ในลักษณะนี้มีอยู่หลายชนิด บางชนิดสร้าง conidia ที่สามารถเคลื่อนที่ได้

3 Sporangium เป็นถุงที่บรรจุสปอร์ไว้ภายใน อาจสร้างอยู่บนเส้นใยที่เจริญอยู่ใต้ผิวหน้าอาหาร หรือเส้นใยที่ชูขึ้นในอากาศก็ได้ บางชนิดอาจสร้างอยู่ในเนื้อวุ้น

4 โครงสร้างอื่น ๆ แอคติโนมัยซีสบางชนิดสร้างโครงสร้างที่มีลักษณะพิเศษต่าง ๆ เช่น เชื้อบางสกุลสร้างกลุ่มของสปอร์ที่แกนของเส้นใย การสร้างสปอร์แบบนี้เรียก multilocular sporangium

แอคติโนมัยซีสหลายชนิดสร้างโครงสร้างที่มีลักษณะกลม ขนาดไม่ใหญ่นักบนเส้นใยที่ชูขึ้นในอากาศ มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ม้วนตัวบิดเป็นวงกลมในสายสปอร์ หรือโครงสร้างนี้อาจมีเส้นใยฝังลงในโครงสร้างที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เช่น sclerotia ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย Streptomyces บางชนิด โดยจะไม่มีสปอร์อยู่ภายในแต่จะมีไขมันอยู่แทน

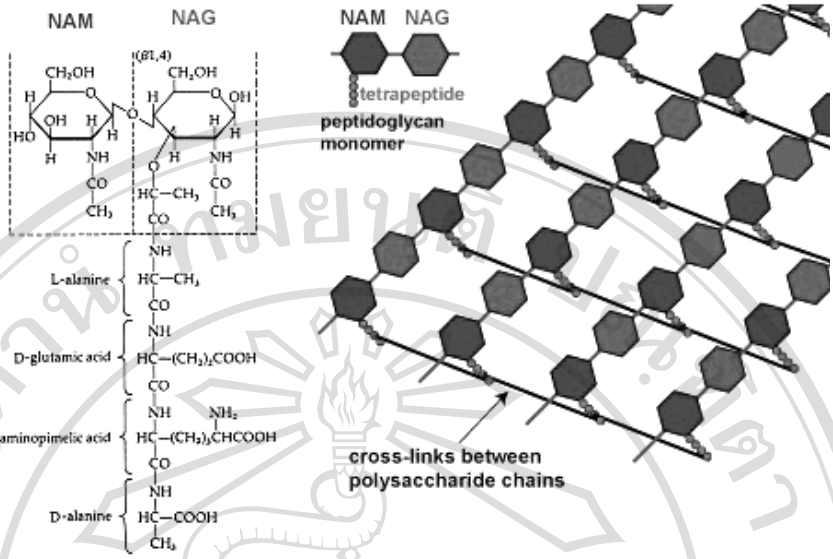
องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์

องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์เป็นสมบัติที่ใช้ในการจัดจำแนกเชื้อแอคติโนมัยซีส ร่วมกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ เพื่อการจัดจำแนกในระดับสกุล องค์ประกอบทางเคมีของเซลล์ที่นำมาพิจารณา ได้แก่

1. ชนิดของ 2,6-diaminopimelic acid (DAP) เป็นกรดอะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียทุกชนิดยกเว้น mycoplasma และ archaebacteria จะมี peptidoglycan หรือ murein เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ โดยประกอบด้วย peptidoglycan monomer ที่สร้างขึ้นจากการเชื่อมต่อกันของ amino sugar 2 ชนิด คือ N-acetylglucosamine (NAG) และ N-acetylmuramic acid (NAM) ที่เชื่อมอยู่กับกรดอะมิโน 4 ชนิด เช่น DAP, alanine, glycine, lysine และ glutamic acid เป็นต้น (ภาพที่ 2) ผนังเซลล์ของแอคติโนมัยซีสส่วนใหญ่ยังมีการเชื่อมข้ามสายระหว่าง DAP กับ alanine หรือระหว่าง lysine กับ alanine peptidoglycan ของแอคติโนมัยซีสอาจมี DAP เป็นแบบ LL-isomer, *meso*-isomer และ OH-isomer หรือไม่มีก็ได้ (ตารางที่ 1) จึงสามารถใช้ชนิดของ DAP ในการจัดจำแนกในระดับสกุลได้ (Lechevalier et al., 1971)

2. ชนิดของน้ำตาลในเซลล์ ผนังเซลล์ของแบคทีเรียประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น xylose, arabinose, galactose, rhamnose, , ribose, madurose และ glucose เป็นต้น นอกเหนือจาก glucosamine และ muramic acid ของ peptidoglycan รูปแบบของน้ำตาลสามารถแบ่งแอคติโนมัยซีสที่มี DAP เป็นแบบ *meso*-isomer ออกเป็น 4 ประเภท คือ Type A มีน้ำตาล arabinose และ galactose แต่ไม่มี xylose Type B มีน้ำตาล madurose แต่ไม่มี arabinose และ xylose Type C ไม่สามารถระบุรูปแบบน้ำตาลที่เฉพาะได้ และ Type D มีน้ำตาล xylose และ arabinose เป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 2) (Lechevalier *et al*., 1971)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 โครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของชั้น peptidoglycan ที่ประกอบด้วย DAP ที่ผนังเซลล์

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

การจำแนกประเภทของเชื้อแอคติโนมัยซีส (Classification of Actinomycete)

Bergey's Manual of Systematic Bacteriology เล่ม 4 (Williams *et al.*, 1989) ได้จำแนกประเภทของเชื้อแอคติโนมัยซีสออกเป็นกลุ่มโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบทางเคมีของเซลล์แบ่งเป็น 8 กลุ่ม (กลุ่มที่ 26-33) ซึ่งประกอบด้วย Nocardioform, Multilocular sporangia, Actinoplanete, Streptomycete, Maduromycete, Thermomonospora, Thermoactinomycete และ กลุ่มอื่น ๆ ที่ยังไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มต่าง ๆ ข้างต้นได้

กลุ่มที่ 26 Nocadioform

Nocadioform เป็นกลุ่มที่เส้นใยมีการแตกหักเป็นแท่งหรือกลม แอคติโนมัยซีสในกลุ่มนี้มีทั้งสิ้น 13 สกุล ได้แก่ *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Faenia*, *Pseudonocardia*, *Saccharomonospora*, *Saccharopolyspora*, *Actinopolyspora*, *Amycolata*, *Amycolatopsis*, *Oerakovia*, *Promicromonospora*, *Nocardioides* และ *Intrasporangium* เชื้อในกลุ่มนี้มีผนังเซลล์แบบที่ I (LL-DAP และ ไกลซีน) ในสกุล *Nocardia* และ *Rhodococcus* ที่ผนังเซลล์จะมี mycolic acid และมีน้ำตาลในเซลล์เป็นแบบ type A (arabinose และ galactose) จุลินทรีย์กลุ่มนี้จัดเป็น acid-alcohol fast ย้อมติดสีได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของผนังเซลล์และชนิดของน้ำตาลภายในเซลล์ของแอคติโนมัยซีส

Cell wall type			Whole cell sugar pattern	
Type	Major wall amino acid	Distinguising major constituents	Type	Diagnostic sugar
I	LL-DAP	Glycine	-	-
II	*meso*-DAP	Glycine	D	Xylose, Arabinose
III	*meso*-DAP or OH-DAP	None	B C	Madurose None
IV	*meso*-DAP	Arabinose, Galactose	A	Arabinose, Galactose

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

Rhodococcus ไม่สามารถสร้างเส้นใยอากาศ และเส้นใยอาหารเมื่อเจริญบนอาหารแข็งบางช่วงในการเจริญของเชื้อมีลักษณะเป็นท่อนหรือทรงกลม โคโลนีมีได้หลายสี เช่น แดง เหลือง ส้ม ชมพู ครีม น้ำตาล และ ม่วง มีทั้งผิวเรียบ และขรุขระ *Rhodococcus* หลายชนิดสร้างเมือกที่ผิวโคโลนี เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และไม่สร้างสปอร์

Nocardioform ผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญได้แก่ สารต่อต้านแบคทีเรีย เช่น nocardicin สารต่อต้านไวรัส เช่น sakomycin A นอกจากนี้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ยังมีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น ฟาง ยาง พลาสติก และสารไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น (Czoch and Mordarski, 1988) รายละเอียดอื่น ๆ ที่ใช้จัดจำแนกเชื้อสกุลต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ ดังตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 ลักษณะสำคัญของแอคติโนมัยซีสสกุลต่าง ๆ ในกลุ่ม Nocardioform

Characteristics	*Nocardia*	*Rhodococcus*	*Faenia (Micropolyspora)*	*Pseudonocardia*	*Saccharomonospora*	*Saccharopolyspora*	*Actinopolyspora*	*Amycolata*	*Amycolatopsis*	*Oerskovia*	*Promicromonospora*	*Nocardioides*	*Intrasporangium*
Marked fragmentation of mycelium in older cultures	d	+	−	+	−	+	−	+	+	+	+	+	d
Aerial mycelium produced	+[b]	+[c]	+[c]	+	+	+[b]	+	d	d	−	+[b]	+	−
Conidia formed	d	−	+	+	+	+[b]	+	d	d	−	−	+	−
Motile elements produced	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+[d]	−	−	−
Strictly aerobic	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+
Faculative anaerobes	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	−	−
Cell wall type[e]	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	VI	VI	I	I
Mycolic acids present	+[f]	+[f]	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
Phospholipid type[g]	PII	PII	PIII	PIII	PII	PIII	PIII	PIII	PII	PV	PV	PI	PIV
Menaquinones	MK-8(H_4), -9(H_2)	MK-8(H_2), -9(H_2)	MK-9(H_4), -9(H_6)	MK-9(H_4)	MK-9(H_4)	MK-9(H_4)	MK-9(H_4)	MK-8(H_2,H_4)	MK-9(H_2,H_4)	MK-9(H_4)	MK-9(H_4)	MK-8(H_4)	MK-8(ND)
Mol% G + C of the DNA	64-72	59-69	66-68	79	69-74	77	64	68-71	66-69	70-75	70-75	66-69	68

[a]Symbols: +, 90% or more of strains positive; −, 10% or less of strains positive; *d*, 11-89% of strains positive; and *ND* not determined.
[b]Lacking in some strains.
[c]Usually scanty.
[d]Some strains nonmotile (nonmotile oerskoviae (NMO)).
[e]Major constituents in cell walls of types: *I*, L-DAP and glycine; *IV*, *meso*-DAP, arabinose, and galactose; and *VI*, lysine (with variable presence of aspartic acid and galactose).
[f]Nocardiomycolic acids.
[g]Characteristic phospholipids of types, in addition to phosphatidylinositol (which is always present); *PI*, phosphatidylglycerol (variable); *PII*, only phosphatidylethanolamine; *PIII*, phosphatidylcholine (with phosphatidylethanolamine, phosphatidylmethylethanolamine and phosphatidylglycerol variable, no phospholipids containing glucosamine); *PIV*, phospholipids containing glucosamine (with phosphatidylethanolamine and phosphatidylmethylethanolamine variable); and *PV*, phospholipids containing glucosamine and phosphatidylglycerol.

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มที่ 27 Actinomycete ที่มี Multilocular Sporangium

เชื้อในกลุ่มนี้ใช้ลักษณะ multilocular sporangium เป็นหลักในการจำแนกประเภทแยกออกจากเชื้อแอคติโนมัยซีสกลุ่มอื่น ๆ แอคติโนมัยซีสในกลุ่มนี้มีทั้งสิ้น 3 สกุล คือ *Dermatophilus*, *Geodermatophilus* และ *Frankia* ที่มีลักษณะแตกต่างกัน (ตารางที่ 4) เชื้อสกุล*Geodermatophilus* มีการเรียงตัวของเส้นใยง่าย ๆ ที่ยังไม่พัฒนามากนัก thullus ทั้งหมดสร้างเป็นsporangium ส่วนสกุล *Dermatophilus* เส้นใยจะมีการพัฒนามากขึ้นมีการสร้าง multilocular sporangium แบบยาว และสกุล *Frankia* มีการสร้าง sporangium และเส้นใย ทั้งบริเวณ intercalary swelling ตอนปลาย หรือบนกิ่ง lateral branch ทั้ง 3 สกุลจะไม่พบการสร้างเส้นใยที่ชูขึ้นในอากาศเชื้อในกลุ่มนี้มีผนังเซลล์เป็นแบบที่ III (*meso*-DAP หรือ OH-DAP)

ตารางที่ 4 ลักษณะสำคัญของแอคติโนมัยซีสสกุลต่าง ๆ ในกลุ่ม Actinomycete ที่มี Multilocular Sporangium

Characteristics	*Geodermatophilus*	*Dermatophilus*	*Frankia*
Morphology			
Extensive filamentation	–	–	+
Aerial mycelium	–	–	–
Sarcinoid sporangia	+	+	+
Vesicles	–	–	+
Outer spore membrane	–	–	+
Capsule	–	+	–
Physiology			
Spore motile	+	+	–
Temperature range (°C)	10–37	22–37	10–37
Relation to air	Aerobic	Microaerophilic	Microaerophilic
Catalase	+	+	+
Rapidity of growth	Rapid (2–7 days)	Moderate (7–14 days)	Slow (10–60 days)
Fixation of nitrogen	–	–	+
Chemistry			
Cell wall type	III	III	III
Whole cell sugar	C (no characteristic sugars)	B (madurose)	D (xylose), E (fucose), B or other
Phospholipid type[a]	PII	PI	PI
Mycolates	–	–	–
Mol% G + C of the DNA	73–75	57–59	66–71
Habitat	Soil/sea	Mammalian epidermis	Nodules of certain angiosperms/soil

[a] PII, Phosphatidylethanolamine and/or methylethanolamine as characteristic nitrogenous phospholipids; PI, no nitrogenous phospholipids present.

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มที่ 28 Actinoplanete

แอคติโนมัยซีสในกลุ่ม Actinoplanete มีทั้งสิ้น 5 สกุล ได้แก่ *Actinoplanes, Ampullariella, Pilimelia, Dactylosporangium* และ *Micromonospora* เชื้อในกลุ่มนี้ส่วนมากอยู่ในน้ำ เพราะเป็นกลุ่มที่มีสปอร์เคลื่อนที่ได้ในน้ำ ในช่วงหนึ่งของวัฏจักรชีวิต ยกเว้นสกุล *Micromonospora* ลักษณะสำคัญของเชื้อในกลุ่มนี้คือ เป็น non-acid fast และมีการเจริญโดยไม่มีการแตกหักของเส้นใย แต่แตกกิ่งก้านแล้วสร้างสปอร์อยู่บนเส้นใยที่มีผนังกั้น เส้นใยมีการพัฒนาน้อย คือจะเห็นเพียงบาง ๆ เกิดเดี่ยว ๆ ไม่มีก้าน หรือมีเพียงสั้น ๆ มักพบรวมเป็นกลุ่ม มีลักษณะกลม รูปไข่ หรือวงรี ผนังหนา บางครั้งพบตุ่ม หรือหนามที่ผนัง พวกที่สร้างสปอร์ที่เคลื่อนที่ได้ (motile spore) ใน sporangium หรือ vesicle ซึ่งมีการพัฒนาให้ไปอยู่ที่ส่วนปลายของ sporangiophore มีทั้งขนาดสั้น และยาว สปอร์มักถูกสร้างอยู่ใน sporangium ที่ถูกปกคลุมไว้ด้วยกิ่งก้านที่แตกหัก หรือบางทีก็เป็นเส้นใยเอง sporogenous hypha ตรง หรือขดเป็นเกลียว ส่วนของ multisporous sporangium มีหลายรูปแบบ เช่น cylindrical, bottle-shaped, flask-shaped campanulate, lobate, digitate, subspherical, ovoid, pyriform และ irregular เป็นต้น เชื้อในกลุ่มนี้มี DAP ที่ผนังเซลล์แบบ *meso*-DAP หรือ OH-DAP และมีน้ำตาลในเซลล์เป็น type D (xylose และ arabinose) สกุล *Micromonospora* สร้างสปอร์ที่ไม่เคลื่อนที่ (nonmotile spore) ลักษณะโดยทั่วไปจะสร้างไมซีเลียมแตกกิ่งก้านแบบ dichotomous branching สปอร์เจริญอยู่เดี่ยว ๆ บนก้านชูสปอร์สั้น ๆ เส้นใยอากาศมีรูปร่างผิดปกติหรือไม่มี เมื่อเจริญบนอาหารแข็งโคโลนีจะมีขนาดเล็ก ลักษณะเรียบ ขรุขระ เป็นกลุ่มก้อน หรือลักษณะคล้ายหนามทู่ ส่วนใหญ่มีสีส้ม แดง เขียว ม่วง น้ำตาล ไปจนถึงดำ เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส แต่ไม่สร้างเส้นใยอากาศ อาจพบการสร้างสปอร์อยู่บนผิวโคโลนีเห็นเป็นเมือกสีดำ จุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจสร้างรงควัตถุสีเหลือง แดง ม่วง และดำ ในอาหารแข็งได้ สปอร์สามารถเจริญได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ไม่เจริญที่ pH ต่ำกว่า 6 (Kawamoto, 1989) ลักษณะสำคัญของเชื้อสกุลต่าง ๆ ที่อยู่ในกลุ่มนี้ แสดงไว้ในตารางที่ 5

กลุ่มที่ 29 Streptomycete และสกุลที่ใกล้เคียง

แอคติโนมัยซีสในกลุ่มนี้มีทั้งสิ้น 4 สกุล คือ *Streptomyces, Streptoverticillium, Kineosporia* และ *Sporichthya* ลักษณะที่สำคัญของเชื้อในกลุ่มนี้คือ เส้นใยเป็นแบบไม่มีผนังกั้น มีเส้นใยชูขึ้นมาในอากาศ เมื่อเจริญเต็มที่จะสร้างสปอร์เป็นลูกโซ่ มีจำนวนสปอร์ตั้งแต่ 3 สปอร์ขึ้นไป ติดสีแกรมบวก ผิวของโคโลนีมีลักษณะย่นเมื่อมีอายุมาก เมื่อสร้างสปอร์ ที่ผิวหน้าของเส้นใยมีลักษณะเป็นฝุ่นผง ซึ่งก็คือสปอร์ที่สร้างขึ้นนั่นเอง เชื้อในกลุ่มนี้มี DAP ที่ผนังเซลล์เป็นแบบ LL-DAP ลักษณะอื่น ๆ ของเชื้อในกลุ่มนี้แสดงในตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 ลักษณะสำคัญของแอคติโนมันซีสสกุลต่าง ๆ ในกลุ่ม Actinoplanete

Characteristics	*Actinoplanes*	*Ampullariella*	*Pilimelia*	*Dactylo-sporangium*	*Micro-monospora*
Sporangium	+	+	+	+	−
Oligosporous	−	−	−	+	−
Multisporous	+	+	+	−	−
Sporangiospores (motile)	+	+	+	+	−
Spherical (0.8–2.0 µm); polar flagella	+	−	−	−	−
Oblong, ellipsoidal, ovoid, pyriform (0.4–1.3 × 0.5–1.8 µm); polar flagella	−	−	−	+	−
Rod-shaped (0.5–1.0 × 2.0–4.0 µm); polar flagella	−	+	−	−	−
Rod-shaped (0.3–0.7 × 0.7–1.5 µm); lateral flagella	−	−	+	−	−
Single spores (nonmotile)	−[b]	−[b]	−[b]	+[c]	+
Spherical (0.7–1.5 µm); in clusters	−	−	−	−	+
Spherical (1.7–2.8 µm); not in clusters	−	−	−	+[c]	−
Decompose hairs (keratin)	−	−	+	−	−

[a] Symbols: +, 90% or more of strains are positive; −, 10% or less of strains are positive.
[b] "Conidia" with shape and arrangement similar to those of the sporangiospores or intercalar "chlamydospores" may be produced.
[c] "Globose spores" or "globose bodies" are produced.

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6 ลักษณะสำคัญของแอคติโนมัยซีสสกุลต่าง ๆ ในกลุ่ม Streptomycete และสกุลที่ใกล้เคียง

Characteristics	*Streptomyces*	*Strepto-verticillium*	*Kineosporia*	*Sporichthya*
Colony size	Discrete	Discrete	Small	Microscopic
Substrate mycelium	+	+	+	−
Spores	±	−	−	−
Sporangia	−	−	+	−
Motile spores	−	−	+	−
Aerial mycelium	+	+	−	+
Chains of arthrospores	+	+	−	+
Arthrospores in verticils	−	+	−	−
Spore surface smooth	+	+	−	+
Spore surface hairy, spiny, or warty	+	−	−	−
Motile spores	−	−	−	+
Sugars in cell hydrolysates				
Arabinose, galactose, xylose	−	−	+	−
Lipid characters				
Phospholipid type[b]	PII	PII	PIII	ND
Predominant menaquinones	MK-9(H_6) or MK-9(H_8)	MK-9(H_6) or MK-9(H_8)	MK-9(H_4)	MK-9(H_6) or MK-9(H_8)
Fatty acids				
Saturated straight chain	+	+	ND	+
Iso-/anteiso- branched	+	+	ND	+
Unsaturated	−	−	ND	+
10-Methyl branched	−	−	ND	+
Mol% G + C of DNA	69–78	69–73	ND	ND

[a]Symbols: +, 90% or more of strains are positive; −, 10% or less of strains are positive; *ND*, not determined.
[b]Categories of Lechevalier et al. (1977).

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

กลุ่มที่ 30 Maduromycete

แอคติโนมัยซีสในกลุ่มนี้มีทั้งสิ้น 7 สกุล ได้แก่ *Actinomadura*, *Microbispora*, *Microtetraspora*, *Planobispora*, *Planomonospora*, *Spirillospora* และ *Streptosporangium* เชื้อในกลุ่มนี้สร้างเส้นใยอาหารที่มีการแตกแขนง และมีเส้นใยอากาศที่มีการสร้าง arthrospore ที่มีลักษณะเป็นสายสั้น หรือใน sporangium ที่มี 1 ถึงหลายสปอร์ ผนังเซลล์เป็นแบบที่ III มี DAP เป็นแบบ *meso*-DAP (Lechevalier *et al.*, 1971) น้ำตาลที่อยู่ในเซลล์คือน้ำตาล 3-O-methy-D-galactose (madurose) ลักษณะอื่น ๆ ของเชื้อในกลุ่มนี้แสดงในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 7 ลักษณะสำคัญของแอคติโนมัยซีสสกุลต่าง ๆ ในกลุ่ม Maduromycete และสมาชิกที่มีน้ำตาลมาดูโรสในเซลล์

	Maduromycetes								Other madurose-containing taxa	
Characteristics	I. *Actinomadura madurae* group	I. *Actinomadura pusilla* group	II. *Microbispora*	III. *Microtetraspora*	IV. *Planobispora*	V. *Planomonospora*	VI. *Spirillospora*	VII. *Streptosporangium*	*Dermatophilus*	*Frankia*
Morphological characters										
Substrate hyphae dividing in more than one plane	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+
Spores-aerial mycelium										
Absent or short chains	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Paired	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
Mostly in chains of four	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Sporangiospores	–	–	–	–	–	+	+	+	+[c]	+[c]
Spores per sporangium	ND	ND	ND	ND	Two	One	Many	Many	Many[c]	Many[c]
Spore motility	–	–	–	–	+	+	+	–	+	–
Symbionts in plant nodules	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
Chemical characters										
Fatty acid type[d]	3a	3c	3c	3c	3c	3c	3a	3c	1a	ND
Phospholipid pattern[e]	PI	PIV	PIV	PIV	PIV	PIV	PI,II	PIV	PI	PI
Predominant menaquinone (MK-)	$9(H_6)$	$9(H_0)$ $9(H_2)$ $9(H_4)$	$9(H_0)$ $9(H_2)$ $9(H_4)$	$9(H_0)$ $9(H_2)$ $9(H_4)$	$9(H_2)$ $9(H_4)$	$9(H_0)$ $9(H_2)$ $9(H_4)$	$9(H_4)$ $9(H_6)$	$9(H_2)$	$8(H_4)$ $9(H_4)$	ND
Mol% G + C of DNA	66–69	64–69	67–74	66	70–71	72	71–73	69–71	57–59	66–71

[a]Data from Fischer et al. (1983), Collins et al. (1984), Goodfellow and Cross (1984), Athalye et al. (1985), Toschner et al. (1985), and Goodfellow and Williams (1986).
[b]Symbols: +, present; –, absent; *ND*, not determined.
[c]Aerial mycelium not formed, multilocular sporangia borne on the substrate mycelium.
[d]Fatty acid types: *1a*, saturated and unsaturated acids; *3a*, saturated, unsaturated, *iso*- (variable) and methyl-branched acids; *3c*, saturated, unsaturated, *iso*-, *anteiso*- (variable), and methyl-branched acids (Kroppenstedt, 1985).
[e]Characteristic phospholipids: *PI*, phosphatidylglycerol (variable); *PII*, only phosphatidylethanolamine; *PIII*, phosphatidylcholine (with phosphatidylethanolamine, phosphatidylmethylethanolamine, and phosphatidylglycerol variable, no phospholipids containing glucosamine); *PIV*, phospholipids containing glucosamine (with phosphatidylethanolamine and phosphatidylmethylethanolamine variable); *PV*, phospholipids containing glucosamine and phosphatidylglycerol. All preparations contain phosphatidylinositol (Lechevalier et al., 1977, 1981).

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มที่ 31 Thermomonospora และสกุลที่ใกล้เคียง

แอคติโนมัยซีสในกลุ่มนี้มีทั้งสิ้น 4 สกุล ได้แก่ *Thermomonospora, Actinosynnema, Nocardiopsis* และ *Streptoalloteichus* กลุ่มนี้เป็นเชื้อที่ต้องการอากาศในการเจริญ และสร้างสปอร์อยู่บนเส้นใยที่แตกกิ่งก้านชูขึ้นในอากาศ ผนังเซลล์เป็นแบบที่ III มี DAP เป็นแบบ *meso*-DAP ไม่มี mycolic acid มี menaquinone ที่มี isoprenoid จำนวน 9-10 หน่วย (MK-9, MK-10) การเรียงตัวและลักษณะของสปอร์จะแตกต่างกันไปในแต่ละสกุล ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อแอคติโนมันซีสในสกุล *Thermomonospora* และสกุลที่ใกล้เคียง

Characteristics	Genus I *Thermomonospora*	Genus II *Actinosynnema*	Genus III *Nocardiopsis*	Genus IV *Streptoalloteichus*
Single spores	+	−	−	−
Chains of arthrospores	−	+	+	+
Sporangia-like structures	−	−	−	+
Synnemata	−	+	−	−
Motile spores	−	+	−	+

[a]Symbols: +, positive; −, negative.

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

กลุ่มที่ 32 Thermoactinomycete

กลุ่มนี้มีเพียง 1 สกุล คือ *Thermoactinomyces* ซึ่งเป็นพวกที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่เจริญได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส เชื้อในกลุ่มนี้จะมีการสร้าง endospore ที่ทนความร้อนได้ดี มีปริมาณเบส guanine และ cytosine ต่ำกว่าแอคติโนมัยซีสทั่ว ๆ ไป โดยมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* แต่มีการพัฒนาสร้างเส้นใยได้ดี และมีสัณฐานวิทยาที่แตกต่างจากแบคทีเรีย *Bacillus* นอกจากนั้นเชื้อกลุ่มนี้ยังเป็นพวกที่ชอบย่อยสลายเศษซาก ผนังเซลล์กลุ่มนี้เป็นแบบที่ III ส่วน menaquinone เป็นแบบไม่อิ่มตัว เช่น MK-7 หรือ MK-9 ในสปอร์มี dipicolinic acid อยู่ด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มที่ 33 แอคติโนมัยซีสกลุ่มอื่น ๆ

แอคติโนมัยซีสในกลุ่มนี้มีทั้งสิ้น 4 สกุล คือ *Glycomyces*, *Kibdelosporangium*, *Kitasatosporia* และ *Saccharothrix* เป็นกลุ่มที่ยังหาความสัมพันธ์กับแอคติโนมัยซีสกลุ่มอื่น ๆ ไม่ได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบลักษณะกับสกุลอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะสำคัญของแอคติโนมัยซีสสกุลต่าง ๆ ของแอคติโนมัยซีสในกลุ่มอื่น ๆ

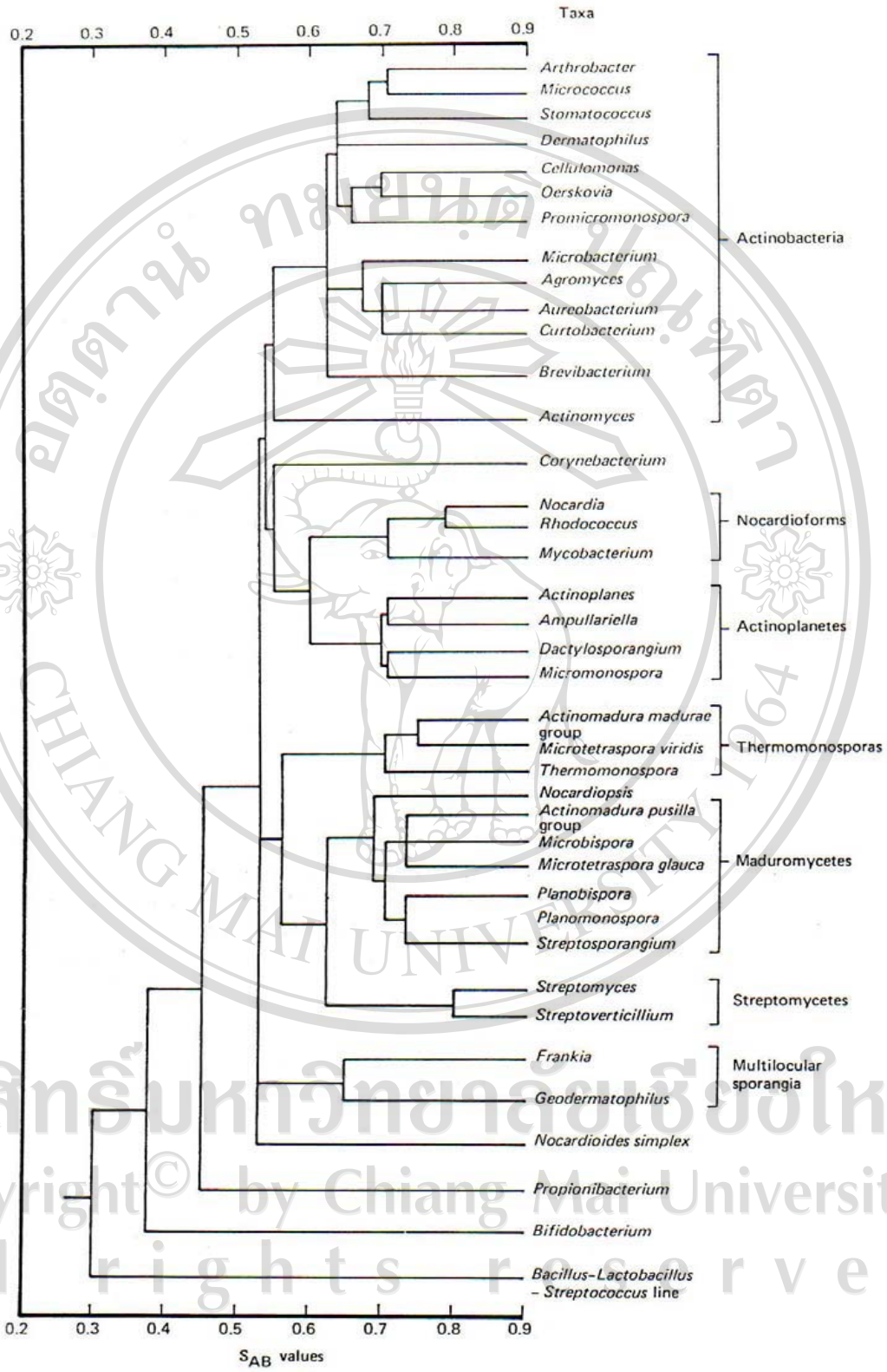
Genus	Cell wall type[a]	Whole-cell sugars[b]	Phospholipid group[c]	Principal menaquinone(s)	Mol% G + C of DNA	Fragmentation of substrate mycelium[d]
Actinomadura	III	mad	PI	MK-9(H_4,H_6)	66–70	−
Actinopolyspora	IV	ara, gal	PIII	MK-9(H_4)	64	−
Amycolata	IV	ara, gal	PIII	MK-8(H_2,H_4)	68–71	+
Amycolatopsis	IV	ara, gal	PII	MK-9(H_2,H_4)	66–69	+
Faenia	IV	ara, gal	PIII	MK-9(H_4)	66–68	±
Glycomyces	II	xyl, ara	PI	MK-10(H_2,H_6)	71–73	−
Kibdelosporangium[e]	IV	ara, gal	PII	ND[f]	66	+
Kitasatosporia	III[g]	gal	PII	ND	66–73	−
Microtetraspora	III	mad	PI, PIV	MK-9(H_4)	ND	−
Nocardioides	I	none	PI	MK-8(H_4)	66–67	+
Nocardiopsis	III	none	PIII	MK-10(H_4)	64–69	+
Pseudonocardia	IV	ara, gal	PIII	MK-9(H_4)	79	+
Saccharopolyspora	IV	ara, gal	PIII	MK-9(H_4)	77	+
Saccharothrix	III	rha, gal	PII	MK-9(H_4)	70–76	+
Streptomyces	I	none	PII	MK-9(H_6,H_8)	69–78	−

[a]Cell wall composition classified according to Lechevalier and Lechevalier (1970b).
[b]*mad*, madurose; *ara*, arabinose; *gal*, galactose; *xyl*, xylose; *rha*, rhamnose.
[c]Phospholipid grouping according to Lechevalier et al. (1977).
[d]Symbols: +, positive; −, negative; ±; weak.
[e]Sporangium-like structures on aerial hyphae.
[f]*ND*, no data available.
[g]Spores formed on both aerial and substrate mycelium contain L-diaminopimelic acid and glycine (type I wall).

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

Bergey's Manual of Systematic Bacteriology เล่ม 4 (Williams *et al.*, 1989) ยังได้ศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อแอคติโนมัยซีสโดยอาศัยความคล้ายคลึงของยีน 16S rDNA สามารถจัดกลุ่มแอคติโนมัยซีสได้ 6 กลุ่ม ซึ่งประกอบด้วย Nocardioform, Multilocular sporangia, Actinoplanete, Streptomycete, Maduromycete และ Thermomonospora (ภาพที่ 3) นอกจากนี้ Stackebrandt *et al.* (1997) ได้เสนอการจัดหมวดหมู่แบบใหม่ให้แอคติโนมัยซีสถูกจัดอยู่ในชั้น Actinobacteria อันดับ Actinomycetales ซึ่งมีทั้งหมด 10 วงศ์ (ภาพที่ 4) ซึ่งอาศัยพื้นฐานความสัมพันธ์ของลำดับเบสของยีน 16S rDNA ในการจัดจำแนก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของยีน 16S rDNA จากแอคติโนมัยซีสกลุ่มต่าง ๆ

ที่มา: Williams *et al.* (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Class Actinobacteria

Subclass Acidimicrobidae	**Order Acidimicrobiales**	**Family Acidimicrobiaceae**
Subclass Rubrobacteridae	**Order Rubrobacteriales**	**Family Rubrobacteriaceae**
Subclass Coriobacteridae	**Order Coriobacteriales**	**Family Coriobacteriaceae**
Subclass Sphaerobacteridae	**Order Sphaerobacteriales**	**Family Sphaerobacteriaceae**
Subclass Actionobacteridae	**Order Actionobacteriales**	**Family Actionobacteriaceae**

Suborder Actinomycineae	**Suborder Micrococcineae**	**Suborder Corynebacterineae**	**Suborder Micromonosporineae**	**Suborder Propionibacterinae**
Family	**Family**	**Family**	**Family**	**Family**
Actinomycetacae	Micrococcaceae	Corynebacteriaceae	Micromonosporaceae	Propionibacteriaceae
	Brevibacteriaceae	Dieiziaceae		Nocardioidaceae
	Cellulomonadaceae	Gordouiaceae		
	Dermatophilaceae	Mycobacteriaceae		
	Intrasporangiaceae	Nocardiaceae		
	Jonesiaceae	Tsukamurellaceae		
	Microbacteriaceae			
	Promicromonosporaceae			

Suborder Pseudonocardineae	**Suborder Streptomycineae**	**Suborder Streptosporangineae**	**Suborder Frankineae**	**Suborder Glycomycineae**
Family	**Family**	**Family**	**Family**	**Family**
Pseudonocardiaceae	Streptomycetaceae	Streptosporangiaceae	Frankiaceae	Glycomycetaceae
		Nocardiopsaceae	Acidothermaceae	
		Thermomonosporaceae	Geodermatophilaceae	
			Microsphaerceae	
			Sporichthyaceae	

Order Bifidobacteriales	**Family Bifidobacteriaceae**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4 การจัดประเภทแอคติโนมัยซีสแบบใหม่ โดยอาศัยลำดับเบสของยีน 16S rDNA
ที่มา: Stackebrandt *et al.* (1997)

หน้าที่และความสำคัญของเชื้อแอคติโนมัยซีส

เชื้อแอคติโนมัยซีสจัดเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์มากชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะในสกุล *Streptomyces* เนื่องจากเป็นกลุ่มที่พบมากในธรรมชาติ ที่สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็ว ซึ่งหน้าที่สำคัญของเชื้อแอคติโนมัยซีส ได้แก่

1. การย่อยสลายอินทรียวัตถุ

เชื้อแอคติโนมัยซีสในธรรมชาติส่วนใหญ่เจริญอยู่ในดิน มีความสามารถในการย่อยสลายองค์ประกอบของอินทรียวัตถุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนประกอบของพืช และสัตว์ที่ทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อื่น ๆ กล่าวคือ ในช่วงที่มีอินทรียวัตถุในดินมากจะมีพวกแบคทีเรีย และเชื้อราเจริญอยู่มาก ส่วนแอคติโนมัยซีสจะเจริญตามมาในภายหลัง เพราะเชื้อแอคติโนมัยซีสเจริญเติบโตได้ช้าจะเจริญได้ดีต่อเมื่อจุลินทรีย์ที่เป็นคู่แข่งได้ลดปริมาณลงแล้ว โดยช่วยย่อยสลายกรดอินทรีย์น้ำตาลชนิดต่าง ๆ แป้ง ไขมัน และโปรตีน สำหรับแอคติโนมัยซีสที่สามารถย่อยสลาย cellulose และ hemicellulose ได้ดี พบว่าเป็นเชื้อในสกุล *Streptomyces* มากที่สุด รองลงมาได้แก่เชื้อแอคติโนมัยซีสสกุล *Micromonospora*, *Streptosporangium*, *Nocardia* และ *Microbispora* (Alexander, 1977) นอกจากนี้ยังมีแอคติโนมัยซีสที่สามารถย่อยสลาย cellulose ได้ดีที่อุณหภูมิสูง คือแอคติโนมัยซีสในสกุล *Thermomonospora* และ *Streptomyces* เนื่องจากสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Czoch and Mordarski, 1988)

สำหรับการย่อยสลาย lignin ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นกิจกรรมของเชื้อรา โดยเฉพาะเห็ดชนิดต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าแอคติโนมัยซีสบางชนิดที่สามารถย่อยสลาย lignin ได้ เช่น สกุล *Streptomyces* และ *Micromonospora* เป็นต้น ส่วนกรณีของไคตินนั้นพบว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของ chitin จะถูกย่อยสลายโดยแอคติโนมัยซีสในสกุล *Streptomyces* และ *Micromonospora* เช่นกัน แอคติโนมัยซีสส่วนใหญ่สามารถใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอน และโปรตีนเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ โดยแอคติโนมัยซีสที่พบว่าสามารถย่อยสลายแป้ง และโปรตีนได้ดี เช่น *Streptomyces*, *Nocardia* และ *Micromonospora* เป็นต้น ส่วนการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ paraffin, phenol, steroid และ pyrimidine พบว่าเป็นกิจกรรมของแอคติโนมัยซีสในสกุล *Nocardia* มากกว่าสกุลอื่น ส่วนเชื้อในสกุล*Micromonospora* มีบทบาทในการย่อยสลาย chitin, cellulose, glucoside, pentosane และ lignin (Alexander, 1977)

2. ความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม

แอคติโนมัยซีสบางชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรม เชื้อแอคติโนมัยซีสที่สร้างเอนไซม์ย่อยสลาย cellulose และ xylan ที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ *Thermomonospora* และ *Streptomyces* ส่วนเชื้อแอคติโน-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มัยซีสที่สร้างเอนไซม์ย่อยสลาย chitin ที่สำคัญ ได้แก่ *S. griseus*, *S. antibioticus* และ *Amycolatopsis orientalis* (Czoch and Mordarski, 1988) เชื้อ *S. rubiginosus*, *S. bambergensis*, *S. violaceoniger* และเชื้อในกลุ่ม *Ampullariella* sp. ใช้ผลิตเอนไซม์ glucose-isomerase (Backe, 1983) นอกจากนี้ยังมีการผลิต thermostable glucoamylase โดยเชื้อ *Streptosporangium* sp. (Stamford *et al*., 2002) และผลิต thermostable α-amylase โดยเชื้อ *Nocardiopsis* sp. (Stamford *et al*., 2001) เพื่อนำไปใช้ในการย่อยแป้งในอุตสาหกรรม เอนไซม์ที่ได้สามารถทำงานได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ70 องศาเซลเซียส นอกจากความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีความสามารถในการย่อยสลายสารพิษชนิดต่าง ๆ เช่น การย่อยสลาย aliphatic-aromatic copolyester โดยเชื้อ *Thermomonospora fusca* (Witt *et al*., 2001) และการย่อยสลาย 1, 4-dioxane โดยเชื้อ *Amycolata* sp. CB1190 (Kelley *et al*., 2001) เป็นต้น

3. ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนและละลายฟอสเฟตในรูปที่พืชนำไปใช้ได้

เชื้อแอคติโนมัยซีสบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ เช่น เชื้อในสกุล *Nocardia* และยังมีเชื้อแอคติโนมัยซีสที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชแล้วสามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ คือ *Frankia* (Alexander, 1977) นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงความสามารถของเชื้อ *Streptosporangium* ที่แยกได้จากดินที่เป็นกรด โดยเชื้อกลุ่มนี้มีความสามารถผลิตกรดที่ช่วยละลายหินฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ในกลุ่มนี้สามารถผลิตกรดโดยการย่อยสลายเซลลูโลสซึ่งสามารถละลายหินฟอสเฟตได้ (Caroline, 1997)

4. ความสามารถในการนำไปควบคุมศัตรูพืช

มีรายงานการใช้เชื้อแอคติโนมัยซีสในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับพืช เช่น เชื้อ *Streptomyces lydicus* WYEC108 ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์ไคติเนสที่มีสมบัติในการต่อต้านเชื้อราจึงมีการนำมาใช้ควบคุมเชื้อราโรคพืชอย่างกว้างขวาง นอกจากเอนไซม์ไคติเนสแล้ว เชื้อชนิดนี้ยังสามารถสร้างสารต่อต้านเชื้อรา และสารต่อต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ได้ ดังนั้นจึงมีการใช้เชื้อชนิดนี้ในการควบคุมเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคพืชชนิดที่ทำให้เกิดโรคกับราก และเมล็ดของพืช (Mahadevan and Crawford, 1997) จากการศึกษาเชื้อ *Streptomyces* sp. ที่อาศัยอยู่กับรากพืชในกลุ่มอัลฟัลฟา พบว่าเชื้อ *Streptomyces* sp. สามารถผลิตสารปฏิชีวนะที่ป้องกันการเกิดโรคใบจุดของพืชในกลุ่มนี้ ดังนั้นจึงได้นำไปใช้ในการควบคุมเชื้อราโรคพืชอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับระบบราก (Samac *et al*., 2003) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเชื้อ *Streptoverticillium albireticculi* ซึ่งมีสมบัติในการต่อต้านเชื้อราก่อโรคที่อยู่ในดิน เช่น *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora cinnamomi* และ *Fusarium oxysporum* (Park *et al*., 2002) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรายงานโดยวชิร (2544) ที่คัดแยก *Streptomyces* 9 สายพันธุ์ ที่สามารถสร้างสารต่อต้านเชื้อ *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในพืชได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนรายงานการใช้สาร fungichomin ที่ผลิตโดย *Streptomyces padanus* ในการควบคุมโรคเน่าคอดินในกะหล่ำปลีซึ่งมีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Rhizoctonia solani* (Shih *et a.l*, 2003)

5. ความสามารถในการผลิตสารปฏิชีวนะ

แอคติโนมัยซีสเป็นจุลินทรีย์กลุ่มสำคัญ ที่สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ สารปฏิชีวนะต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส ที่มีความสำคัญทางการแพทย์ และเภสัชกรรม นอกจากนี้ยังผลิตสารกำจัดแมลง สารปราบวัชพืช รวมไปถึงสารต้านมะเร็ง และสารกดระบบภูมิคุ้มกัน (Waksman and Lechevalier, 1962; Goodfellow *et al*., 1988; Lazzarini *et al*.,2000) จากข้อมูลของ Antibiotic Literature Database (ABL) รายงานว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สร้างโดยจุลินทรีย์ทั้งหมด 23,000 ชนิด พบว่ามาจากเชื้อรา 42 เปอร์เซ็นต์ *Streptomyces* 32.1 เปอร์เซ็นต์ แบคทีเรียอื่น ๆ 10.8 เปอร์เซ็นต์ และแอคติโนมัยซีสที่หายาก 15.1 เปอร์เซ็นต์ ถ้าพิจารณาเฉพาะสารต่อต้านจุลชีพที่มีอยู่ประมาณ 8,000 ชนิด พบว่าผลิตจาก *Streptomyces* 45.6 เปอร์เซ็นต์ เชื้อรา 21.5 เปอร์เซ็นต์ แบคทีเรีย 16.9 เปอร์เซ็นต์ และแอคติโนมัยซีสที่หายาก 16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแบ่งเป็น Micromonosporaceae 38.1 เปอร์เซ็นต์ Pseudonocardiaceae 15 เปอร์เซ็นต์ Thermomonosporaceae 14 เปอร์เซ็นต์ Nocardia 11 เปอร์เซ็นต์ Streptosporangiaceae 6 เปอร์เซ็นต์ Nocardioides 2.6 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ อีก 13.3 เปอร์เซ็นต์ (Lazzarini *et al*., 2000)

สารปฏิชีวนะส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นโดยเชื้อแอคติโนมัยซีสสกุล *Streptomyces* หลายชนิด ได้แก่ สารปฏิชีวนะต่อต้านแบคทีเรีย เช่น ampicillin และ penicillin-N ซึ่งมีโครงสร้างเป็นวง β-lactam ที่มีสมบัติยับยั้งการสร้างเพปทิโดไกลแคนที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย นอกจากนั้นยังพบว่า *S. clavuligerus* สามารถผลิต clavams (Muller *et al*., 1983) ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ β-lactamase ที่ผลิตโดย Staphylococci และแบคทีเรียแกรมลบ ส่วน streptomycin ที่ผลิตโดย *S. griseus* (Herzog, 1964) และ neomycin ที่ผลิตโดย *S. fradiae* (Sasarman *et al*., 1964) ออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่ง และรูปกลมบางชนิด รวมถึงแบคทีเรียแกรมบวกชนิดกลมบางประเภท และยังมีผลต่อเชื้อแบคทีเรีย *Mycobacterium tuberculosis* ด้วย สารที่มีสมบัติต่อต้านเชื้อรา ได้แก่ nystatin, polyoxin และ anthracycline สำหรับ anthracycline นอกจากเป็นสารต่อต้านเชื้อรา แล้วยังเป็นสารต่อต้านมะเร็งได้ด้วย โดยไปยับยั้งเอนไซม์ topoisomerase II ทำให้ไม่สามารถเกิดการจำลองดีเอ็นเอได้ (Goodfellow *et al*., 1988) สารต่อต้านเชื้อรา และยีสต์ที่พบใน *Streptomyces* ส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่ม polyene (Ball *et al*., 1957) มีสมบัติต่อต้านเชื้อรา และยีสต์ แต่มักไม่มีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Norman *et al*., 1972) โดยมีกลไกในการเข้าทำลายเชื้อรา และยีสต์ได้ด้วยการเข้าไปจับกับ sterol ที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้เซลล์สูญเสียความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ดังนั้นเซลล์จึงไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถดำรงชีพอยู่ได้ (Hamilton-Miller, 1973) สารต่อต้านเชื้อราที่พบใน *Streptomyces* มีหลายชนิด เช่น blasticidin S ผลิตโดย *S. griseochromogens* (Takeuchi *et al*., 1958) kasugamycin ผลิตโดย *S. kasugaensis* (Sato, 1983) และ polyoxin D ผลิตโดย *S. cacaoi var. asoensis* (Isono and Suzuki, 1979) เป็นต้น

สารปฏิชีวนะ

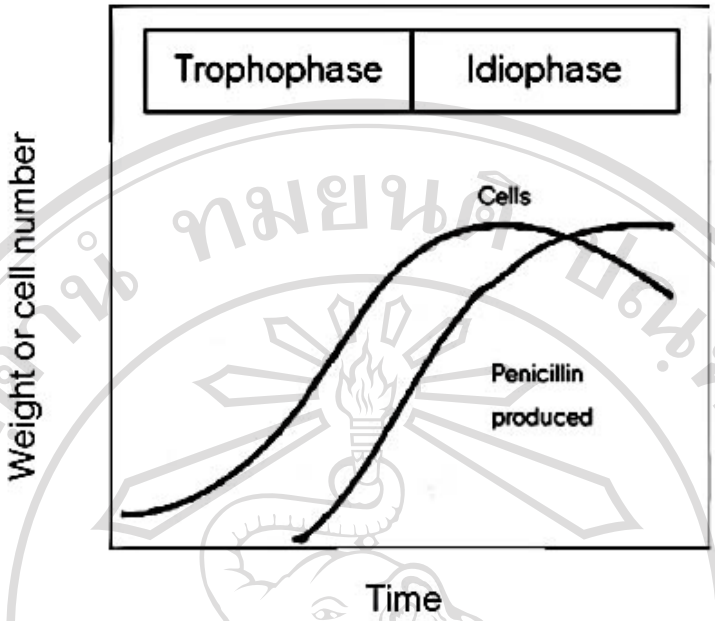
สารปฏิชีวนะ หมายถึง สารประกอบที่ผลิตหรือสร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่งอาจเป็นแบคทีเรีย เชื้อรา หรือแอคติโนมัยซีส สารที่ผลิตได้นี้สามารถยับยั้งหรือชะลอการเจริญเติบโตของจุลชีพกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งหรือมีฤทธิ์ไปทำลายจุลชีพกลุ่มนั้น ๆ ได้ (มาลิน, 2540)

สารปฏิชีวนะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สร้างโดยจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโต หรือฆ่าทำลายเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ สารปฏิชีวนะส่วนใหญ่ผลิตจากเชื้อเชื้อรา และแบคทีเรีย เช่น *Penicillium notatum* ผลิต penicillin, *Cephalosporium acremonium* ผลิต cephalosporin และ *Streptomyces griseus* ผลิต streptomycin การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะสังเคราะห์สารชนิดต่าง ๆ ขึ้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ primary metabolite และ secondary metabolite สาร primary metabolite ถูกสร้างขึ้นในช่วง primary metabolism เป็นช่วงที่มีการสังเคราะห์สารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต เช่น deoxyribonucleic acid, ribonucleic acid, protein, lipid และ polysaccharides ปฏิกิริยาต่าง ๆ ของ primary metabolism มีความสมดุลและไม่มีการสะสม สำหรับสาร secondary metabolite เป็นสารที่ไม่มีความจำเป็นต่อการเจริญ ส่วนใหญ่จะสร้างในช่วง late log phase จนถึงช่วง stationary phase ของการเจริญ (ภาพที่ 5) ระยะที่มีแต่การเจริญของเซลล์ซึ่งยังไม่สร้างสาร secondary metabolite เรียกอีกอย่างว่า tropophase และเรียกระยะที่มีการสร้างสาร secondary metabolite ว่า idiophase โดยสารที่สร้างขึ้นนี้ไม่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเจริญชองเซลล์ แต่มีประโยชน์ด้านการยับยั้งการสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่บางชนิดในเซลล์ จึงช่วยรักษาพลังงานส่วนหนึ่งไว้ นอกจากนี้ ถ้าอยู่ร่วมกับจุลินทรีย์อื่นในสภาวะแวดล้อมที่ต้องแก่งแย่งอาหาร สารที่สร้างขึ้นนี้จะช่วยยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ที่อยู่รอบข้างบางชนิดได้ จึงช่วยให้จุลินทรีย์ที่ผลิตสามารถแข่งขันเพื่อมีชีวิตรอดอยู่ได้ในธรรมชาติ (มาลิน, 2540)

สำหรับในรายงานของมาลิน (2540) ยังได้จัดสารปฏิชีวนะว่าเป็นสารที่มีความจำเพาะต่อเชื้อบางชนิดเท่านั้น ดังนั้นจึงพบว่ามีเชื้อเพียงบางกลุ่มเท่านั้นที่สามารถสร้างสารปฏิชีวนะได้ สารปฏิชีวนะที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมี 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่เป็นพิษเฉพาะต่อเชื้ออื่น (xenotoxic antibiotics) สารปฏิชีวนะพวกนี้จะต้านเชื้อกลุ่มอื่นเท่านั้น เช่น cycloheximide ที่ผลิตจากเชื้อแบคทีเรีย *B. griseus* ไม่มีฤทธิ์ต่อเชื้อแบคทีเรีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 ระยะที่มีการสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อในสภาวะการเลี้ยงเชื้อแบบ batch culture
ที่มา: Tortora *et al.,* 1992)

แต่มีฤทธิ์ต่อเซลล์ eukaryotic เช่น เชื้อรา โปรโตซัว และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ขณะที่ penicillin G ซึ่งผลิตจากเชื้อรา *P. chrysogenum* ออกฤทธิ์เฉพาะต่อเชื้อเชื้อแบคทีเรีย

2. ชนิดที่เป็นพิษต่อตัวเอง (autotoxic antibiotics) สารปฏิชีวนะพวกนี้จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นได้เช่นเดียวกับที่มีต่อเชื้อชนิดอื่น เช่น streptomycin ผลิตจากเชื้อ แอคติโนมัยซีส *Streptomyces griseus* เชื้อที่ผลิตนี้ไวต่อ streptomycin แต่ความไวนี้เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งของการเจริญ ดังนั้น จุลินทรีย์ที่ผลิตสารปฏิชีวนะลักษณะนี้จึงต้องหลีกเลี่ยงการทำลายตัวเองโดยสร้างกลไกการดื้อขึ้นในช่วงขณะผลิตสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิกานต์ (2544) รายงานว่าสารปฏิชีวนะที่เชื้อสร้างขึ้นพบว่ามีการสะสมอยู่ที่บริเวณ mycelium หรือสะสมในอาหารเลี้ยงเชื้อหรืออาจพบได้ทั้งในบริเวณ mycelium และในอาหารเลี้ยง สารปฏิชีวนะที่เชื้อสร้างขึ้นมีคุณสมบัติเป็นสารปฏิชีวนะที่สามารถละลายน้ำได้ (water soluble antibiotics) และสารปฏิชีวนะที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (water insoluble antibiotics) เช่นสารปฏิชีวนะในกลุ่ม polyene จัดเป็นสารปฏิชีวนะที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ โดยมักพบในรูปของผลึกสะสมที่บริเวณผิวของเซลล์หรือในอาหารเลี้ยงเชื้อ คุณสมบัติที่ปรากฏมักจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อและสภาพแวดล้อมที่เชื้อเจริญ สำหรับบทบาทหน้าที่ที่แท้จริงของสารปฏิชีวนะยังไม่เป็นที่เข้าใจ

อย่างแน่ชัด แต่มีผู้เสนอแนะมากเกี่ยวกับบทบาทและหน้าที่ของสารปฏิชีวนะที่เชื้อจุลินทรีย์สร้างขึ้นซึ่งได้แก่

1. สารปฏิชีวนะที่เชื้อสร้างขึ้นเป็นวิวัฒนาการอันหนึ่งของเชื้อในการดำรงชีพ
2. เป็นของเสียที่เชื้อปล่อยออกมาในขบวนการ metabolism
3. เป็นแหล่งที่เชื้อใช้สำหรับเก็บอาหารหรือเป็นสารที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มสปอร์ของเชื้อ
4. เป็นผลิตผลที่ได้จากการแตกย่อยของสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ภายในเซลล์
5. สารปฏิชีวนะมีบทบาทในการฆ่า หรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อื่น ๆ ในธรรมชาติ อันเป็นการแก่งแย่งเพื่อความอยู่รอดของเชื้อ
6. การที่เชื้อผลิตสารปฏิชีวนะถือเป็นกลวิธีหนึ่ง ที่จะรักษากลไกการทำงานของเซลล์ให้เป็นไปอย่างปกติในระหว่างที่เชื้อไม่สามารถจะเจริญต่อไปได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม
7. การผลิตสารปฏิชีวนะเป็นวิธีการหนึ่ง ที่จะหลีกเลี่ยงมิให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ตายอันเนื่องมาจากความไม่สมดุลของการเจริญเติบโต
8. เป็นกลไกในการกำจัดสารพิษของเชื้อ
9. ช่วยในการขนส่งพวกโลหะเข้าสู่เซลล์
10. ระงับการงอกของสปอร์ของตัวเชื้อเอง

การจัดจำแนกสารปฏิชีวนะ

สารปฏิชีวนะที่ใช้ในปัจจุบันสามารถจำแนกได้หลายแบบ คือ

1. การจัดจำแนกตามลักษณะโครงสร้าง (Tortora *et al*., 1992; Alcamo, 1994)

1.1 Penicillin โครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย 2 ส่วน คือ thiazolidine ring และ betalactam ring ทำปฏิกิริยารวมกันเป็น nucleus ของ penicillin เรียกว่า 6-aminopenicillanic acid (6-APA) ชนิดของ penicillin จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับตำแหน่ง side chain ของ betalactam เช่น ถ้าตำแหน่ง side chain เป็น benzyl group มีชื่อเรียกว่า penicillin G ตัวอย่างสารปฏิชีวนะในกลุ่มนี้ได้แก่ penicillin V และ penicillin F เป็นต้น

1.2 Cephalosporin มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกับ penicillin แต่ต่างกันที่ cephalosporin มี dihydrothiazine ring แทน thiazolidine ring เมื่อรวมกับ betalactam ได้เป็น nucleus ของ cephalosporin เรียกว่า 7-aminocephalosporinic acid (7-ACA) ตัวอย่างสารปฏิชีวนะกลุ่มนี้ได้แก่ cephalothin, cefamandole และ cefataxime

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 Aminoglycoside โครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย amino sugar เชื่อมต่อด้วย glycosidic bond ตัวอย่างสารปฏิชีวนะในกลุ่มนี้ได้แก่ streptomycin, neomycin และ gentamycin

1.4 Tetracycline มีโครงสร้างพื้นฐานที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันด้วย benzene ring ทั้งหมด 4 วง เป็น hydronapthalene nucleus

1.5 Chloramphenicol มีโครงสร้างพื้นฐานแบบ nitrobenzene

1.6 Macrolide โครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบ mycrocyclic lactone ring มี lactone เชื่อมต่อกับน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ มี carbon atom มากกว่า 20 ตัวขึ้นไป ตัวอย่างสารปฏิชีวนะในกลุ่มนี้ได้แก่ erythromycin, clarithromycin และ azitthromycin

1.7 Polypeptide มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย amino acid เชื่อมต่อกันด้วย peptide bond ตัวอย่างสารปฏิชีวนะในกลุ่มนี้ได้แก่ bacitracin และ polymyxin B

1.8 Vancomycin เป็นกลุ่มสารปฏิชีวนะที่มีโมเลกุลใหญ่มาก มีมวลโมเลกุลประมาณ 3,500 ประกอบด้วยน้ำตาลและ amino acid ที่ไม่ทราบสูตรโครงสร้างแน่นอน

1.9 Polyene เป็นกลุ่มสารปฏิชีวนะที่มี polyene เป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น nystatin และ amphotericin

1.10 Rifamycin มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย aromatic ring เชื่อมต่อกันด้วย aliphatic bridge มีอนุพันธ์ คือ rifampin

1.11 Griseofulvin มีโครงสร้างเป็นแบบ spirocyclic structure

1.12 Lincomycin มีโครงสร้างประกอบด้วย amino acid เชื่อมต่อกับ amino sugar ที่มีซัลเฟอร์

2. การจัดจำแนกสารปฏิชีวนะ ตามขอบเขตในการทำลาย (ดวงพร, 2530)

การนำสารปฏิชีวนะมาใช้ประโยชน์ จำเป็นต้องทราบถึงฤทธิ์ในการทำลายของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 พวก คือ

2.1 Broad-spectrum antibiotics คือ สารปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ทำลายแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างกลม แบคทีเรียแกรมลบ เชื้อราและยีสต์ เช่น chloramphenical และ tetracyclines

2.2 Intermediate-spectrum antibiotics คือ สารปฏิชีวนะที่สามารถทำลายแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างกลม แบคทีเรียแกรมลบ และกลุ่ม mycobacteria เช่น streptomycin, gentamycin, kanamycin และ neomycin

2.3 Narrow-spectrum antibiotics คือ สารปฏิชีวนะที่สามารถทำลายจุลินทรีย์พวกใดพวกหนึ่ง โดยอาจทำลายเฉพาะแบคทีเรียแกรมบวก หรือแกรมลบ เช่น penicillin G, erythromycin และ lincomycin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การจัดจำแนกตามกลไกการออกฤทธิ์ (Tortora *et al*., 1992)

การออกฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์ของสารปฏิชีวนะ สามารถพบได้ 2 แบบ คือ สารปฏิชีวนะที่มีผลในการการฆ่าเชื้อได้โดยตรง (bacteriocidal) และที่มีผลในการยับยั้งการเจริญโดยจุลินทรีย์ไม่สามารถแบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้ (bacteriostatic) สารปฏิชีวนะแต่ละกลุ่มมีความสามารถในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ต่างกัน ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ของสารปฏิชีวนะในการยับยั้งการเจริญหรือทำลายจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

3.1 ออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ของเชื้อ

penicillin และ cephalosporin จะป้องกันการเกิด crosslink ของ peptidoglycan ในขณะที่ bacitracin และ vancomycin ยับยั้งการทำงานของ peptidoglycan synthetase ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง peptidoglycan backbone ของผนังเซลล์ ดังนั้นเมื่อโครงสร้างของผนังเซลล์มีความอ่อนแอไม่สมบูรณ์ เซลล์ถูกย่อยสลายได้ในที่สุด

3.2 ออกฤทธิ์ทำลาย plasma membrane

สารปฏิชีวนะในกลุ่ม polypeptide ทำให้คุณสมบัติที่เป็น selective permeability ของ plasma membrane เสียไปหรือทำให้เกิดการรั่วไหลของสารออกจากเซลล์ หรือคุณสมบัติการเป็น osmotic barrier เสียไป

3.3 ออกฤทธิ์ในการยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน

สารปฏิชีวนะชนิด chloramphenicol และ erythromycin ออกฤทธิ์ที่ตำแหน่ง 50S คือยับยั้งการสร้าง peptide bond ของสาย polypeptide สารปฏิชีวนะกลุ่ม aminoglycoside จะทำให้รูปร่างของ 30S และ 70S ribosome เปลี่ยนแปลง ทำให้การอ่านรหัสของยีนบน mRNA ไม่ถูกต้องมีผลในการสังเคราะห์โปรตีนผิดปกติ

3.4 ออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสารสังเคราะห์ nucleic acid

สารปฏิชีวนะพวก rifamycin, nalidixic acid และ trimethoprim มีผลต่อกระบวนการ metabolism ของ nucleic acid ในการเจริญของจุลินทรีย์ และมีคุณสมบัติในการเลือกออกฤทธิ์ทำลาย โดย nucleic acid เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตในการควบคุม metabolism ของเซลล์ การควบคุมนี้อาจเป็นโดยทางตรง หรือ ทางอ้อมก็ได้ ดังนั้น การยับยั้งหน้าที่ของ nucleic acid จะทำให้ metabolism ของเซลล์ผิดปกติไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 ออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างสาร metabolite

สารปฏิชีวนะมีกลไกการออกฤทธิ์แบบ competitive inhibition เช่น sulfonamides มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับ para-aminobenzoic acid (PABA) ซึ่งเป็นสารที่เชื้อจำเป็นต้องนำไปใช้ในการสังเคราะห์ folic acid หรือ trimethoprim และ pyrimethamine มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับ preridine

portion ของ dihydrofolate ออกฤทธิ์ขัดขวางเอนไซม์ dihydrofolate reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยน dihydrofolic acid เป็น tetrahydrofolic acid

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสร้างสารปฏิชีวนะ

ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ (ดรุณี, 2541)

1. แหล่งคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อเชื้อในการสังเคราะห์เซลล์และพลังงาน อัตราการเมตาบอไลซ์อาหารที่เป็นแหล่งคาร์บอน มักจะมีอิทธิพลต่อการสร้างมวลเซลล์หรือผลผลิตทั้งสาร primary metabolite และ secondary metabolite ในการสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อ พบว่าถ้าให้แหล่งคาร์บอนที่เชื้อสามารถเมตาบอไลซ์ได้อย่างรวดเร็วในปริมาณที่สูงจะทำให้เชื้อเจริญได้อย่างรวดเร็ว แต่อัตราการสร้างสารปฏิชีวนะจะต่ำ (สมใจ, 2537) ในการเลือกใช้แหล่งคาร์บอนเป็นส่วนประกอบในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการสร้างสารปฏิชีวนะนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อและชนิดของสารปฏิชีวนะที่เชื้อสามารถสร้างได้

2. แหล่งไนโตรเจน

เชื้อแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้สารประกอบไนโตรเจนได้แตกต่างกัน ในการใช้แหล่งไนโตรเจนในขบวนการหมักเพื่อการสร้างสารปฏิชีวนะ ถ้าใช้สารประกอบไนโตรเจนที่เชื้อสามารถเมตาบอไลซ์ได้อย่างรวดเร็ว อาจทำให้มีการสร้างสารปฏิชีวนะได้น้อย โดยทั่วไปจึงนิยมใช้แหล่งไนโตรเจนที่เชื้อเมตาบอไลซ์ได้อย่างช้า ๆ เช่น การสร้างสาร polyene นิยมใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งไนโตรเจน เนื่องจากมีโปรตีนซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เชื้อย่อยสลายและดูดซึมได้ช้า นอกจากนี้ปริมาณของไนโตรเจนที่ใช้จะต้องได้ส่วนกับคาร์บอน คือ ต้องศึกษาหาค่า C/N ที่เหมาะสมด้วย

3. อนินทรีย์ฟอสเฟต

สารในกลุ่มอนินทรีย์ฟอสเฟตถ้ามีปริมาณสูงทำให้เชื้อเจริญดี แต่การสร้างสารปฏิชีวนะจะลดลง จึงจำเป็นต้องหาความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างสารปฏิชีวนะ

4. เกลืออนินทรีย์

เกลืออนินทรีย์ที่นิยมใช้เพื่อให้เชื้อมีการสร้างสารปฏิชีวนะได้ในปริมาณที่สูง ได้แก่ sodium chloride (NaCl) แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อและความเข้มข้นที่ใช้ด้วย ถ้าใช้ในปริมาณที่สูงบางครั้งอาจไปมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อได้

5. โลหะที่ต้องการในปริมาณน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โลหะมีความจำเป็นเนื่องจากเป็น activator ของเอนไซม์ในการสร้างสารปฏิชีวนะ ได้แก่ ธาตุ Mn, Fe และ Zn

6. สารตั้งต้น

การเติมสารตั้งต้นลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ จะทำให้เชื้อสร้างสารปฏิชีวนะได้เพิ่มขึ้น

7. ตัวยับยั้ง

ส่วนใหญ่ของการสังเคราะห์สารปฏิชีวนะ จะถูกยับยั้งด้วยสารปฏิชีวะที่เชื้อสร้างขึ้นมา เรียกว่าเป็น feedback ของ end product อาจหลีกเลี่ยงได้โดยการทำลายพันธุ์ที่เป็น feedback resistant mutants

8. สารชักนำ

เป็นสารที่ช่วยให้มีการสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อ เช่น การผลิต streptomycin จากเชื้อ *Streptomyces griseus* พบว่าสายพันธุ์ที่ผลิต streptomycin ได้ดี จะผลิต A-factor ที่มีบทบาทในการกระตุ้นการสังเคราะห์สารปฏิชีวนะของเชื้อ

9. ปัจจัยอื่น ๆ

ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้ออาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ membrane permeability ซึ่งอาจทำให้การผลิตสารปฏิชีวนะเพิ่มหรือลดได้

สภาวะในการเลี้ยงเชื้อ (ดวงพร, 2537)

สำหรับสภาวะในการเลี้ยงเชื้อที่มีผลต่อการสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อจุลินทรีย์ มีรายงานโดยดวงพร (2537) ไว้ดังนี้

1. ความเป็นกรดด่างของอาหารมีผลต่อการเจริญและการสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อ ดังนั้นจะต้องมีการเติมสารที่มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่น $CaCO_3$ หรือ $NaHCO_3$

2. อุณหภูมิ เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อ เพราะอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้ออาจจะไม่ใช่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างสารปฏิชีวนะ

3. ออกซิเจน การสร้างสารปฏิชีวนะของเชื้อทุกชนิดมีความต้องการออกซิเจน แต่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำพบว่ามีปริมาณต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการให้ออกซิเจนในอาหารเหลวที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อเพื่อการสร้างสารปฏิชีวนะ

4. ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความดันภายในถังหมัก ค่า redox และแสง เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved