

โรคติดต่อโปรคาริโอตที่จำกัดในระบบท่อลำเลียง : มหันตภัยของโลกพืชเศรษฐกิจ Plant Diseases Caused by Fastidious Prokaryotes: a Great Loss to World Economic Crops

พรทิพย์ วงศ์แก้ว

เรื่องย่อ

โรคพืชที่เกิดจากเชื้อโปรคาริโอตจำพวกมอลลิคิวท์และแบคทีเรียที่จำกัดในท่อลำเลียงอาหารหรือท่อลำเลียงน้ำ เป็นอีกภัยพิบัติประการหนึ่งที่สามารถสร้างความเสียหายอย่างมหันตต่อธุรกิจการเกษตร ซึ่งนอกจากทำให้สูญเสียผลผลิตแล้วยังเป็นโรคเรื้อรังตลอดชีวิตที่ไม่มีวิธีการรักษาให้หายขาด ก่อให้เกิดการสะสมโรคที่พร้อมต่อการกำเริบและระบาดอย่างหนักทุกพื้นที่ อีกทั้งส่งผลให้เกิดความเข้าใจผิดถึงสาเหตุของอาการอ่อนแอที่ปรากฏ และเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากเป็นประจำในการบำรุงรักษาที่ไม่ตรงเป้าโดยเปล่าประโยชน์ ดังกรณีของโรคพืชที่สำคัญเป็นอันดับแรกของประเทศไทยคือ โรคใบขาวของอ้อยจากเชื้อ *Candidatus Phytoplasma oryzae* และโรครินนิ่งหรือใบเหลืองต้นโทรมของส้มจากเชื้อ *Candidatus Liberobacter asiaticum* ที่ก่อให้เกิดความสูญเสียกว่าร้อยละล้านดอลลาร์สหรัฐหรือนับพันล้านบาทต่อปี ซึ่งทั้งสองกรณีเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในท่อลำเลียงอาหารของพืช ในส่วนของโรครินนิ่งนั้นยังจัดว่าเป็นโรคที่สำคัญที่สุดของอุตสาหกรรมผลิตส้มทั่วโลกอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีกรณีโรคจากเชื้อที่จำกัดในท่อลำเลียงอาหารหรือในท่อลำเลียงน้ำของพืชอีกจำนวนมากที่เกิดการระบาด และก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชเศรษฐกิจของโลกแต่ละชนิดในระดับหลายพันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อชนิดพืชต่อปี โดยโรคที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นโรคที่อาจเป็นที่ยึดติดกับลักษณะอาการมาก่อนแล้ว แต่ไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงหรือวินิจฉัยผิดพลาด ดังนั้นจึงควรทำความรู้จักและเข้าใจเกี่ยวกับโรคและชนิดเชื้อสาเหตุซึ่งเป็นภัยที่แท้จริง เพื่อเตรียมการป้องกันและต่อสู้สถานการณ์ระบาดของโรคและหาทางแก้ไขปัญหาค่าเสียหายทางเศรษฐกิจได้อย่างตรงประเด็น

Summary

Economic loss due to diseases caused by fastidious prokaryotes such as mollicutes and bacteria, is actually striking and alarming for various important crops all over the world. The diseases are extremely severe and also chronic because of their endophytic nature which inhabit exclusively in phloem or in xylem vessel. It is estimated that over hundred million U.S. dollars or a thousand million Baht each year are lost to the two most important diseases in Thailand, sugarcane white leaf disease caused by a fastidious phloem-limited mollicute *Candidatus Phytoplasma oryzae* and citrus greening disease caused by a fastidious phloem-limited bacterium *Candidatus Liberobacter asiaticum*. The citrus greening is also recorded as the most important disease that threatened the world citrus industry. Many other diseases caused by these types of fastidious phloem or xylem limited prokaryotes are being rated as the most destructive pest in several countries or continents that responsible to many thousand U.S. dollars lost for each crop in each year. In spite of their wide spread distribution, the identity of the diseases is less well known among farmers and people involved in agribusiness. Also, confusion often occurred according to obscure symptoms leading to misinterpretation and a high cost of cultural investment. Thus, a variety of the diseases and economic significance is reviewed to gain special notice and awareness of these critical risks.

Keywords: Economic significance, fastidious phloem-limited bacteria, fastidious phloem-limited mollicutes, fastidious xylem-limited bacteria

บทนำ

โรคภัยที่เกิดขึ้นกับพืชนั้นนับว่าเป็นปัญหาและอุปสรรคใหญ่หลวงประการหนึ่งของการผลิตพืชเพื่อตอบสนองความต้องการในการบริโภคที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของประชากรโลก ซึ่งทางองค์การอาหารและเกษตรของสหประชาชาติหรือ FAO/UNDP ได้ประเมินไว้จากข้อมูลผลผลิตพืชเศรษฐกิจเท่าที่รวบรวมได้จากประเทศสมาชิกระหว่างปี ค.ศ. 1988-1994 และระหว่างปี 1996-1998 พบว่าเกิดการสูญเสียผลผลิตที่ควรได้ไปไม่ต่ำกว่า 30-50% ในแต่ละปี อันมีสาเหตุเนื่องมาจากศัตรูพืชระหว่างการเพาะปลูก ทั้งนี้ยังไม่นับรวมถึงความสูญเสียที่ยังอาจเกิดเพิ่มเติมในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวและการขนส่งอีกไม่น้อยกว่า 10-20% จากเชื้อโรคและแมลงที่ติดไปกับผลผลิต โดยมีสัดส่วนของชนิดศัตรูพืชที่ก่อให้เกิดความสูญเสียแตกต่างกันไปเล็กน้อย

ตามแหล่งผลิตพืชหลักของแต่ละภูมิภาค แต่โดยเฉลี่ยแล้วประมาณการว่าความเสียหายที่เกิดจากโรคติดเชื้ออยู่ในช่วงระหว่าง 9-25% ส่วนความเสียหายที่เกิดจากแมลงเท่ากับ 5-25% และจากวัชพืชเท่ากับ 4-16% หรืออาจเฉลี่ยเป็นสัดส่วนได้ว่าผลผลิตพืชเศรษฐกิจหลักของโลกเกิดความเสียหายจากโรคพืชประมาณ 12% จากแมลง 12% และวัชพืช 10% ตามลำดับ แม้ว่าระดับความเสียหายยังอาจขึ้นอยู่กับชนิดพืชและศัตรูพืช เช่นกรณีของมันฝรั่งที่พบความเสียหายในแต่ละปีจากโรคติดเชื้อประมาณ 21-22% จากแมลง 6.5% และจากวัชพืช 4.0% หรือพืชจำพวกธัญพืชที่รวมทั้งข้าวและข้าวสาลีที่พบความเสียหายจากโรคพืช 9.2% จากแมลง 13.9% และจากวัชพืช 11.4% ต่อปี และอ้อยที่เฉลี่ยจากประเทศผู้ผลิตหลักพบว่าเกิดความเสียหายจากโรคพืชประมาณ 19.2% จากแมลง 20.1% และจากวัชพืช

15.7% ในแต่ละปี นอกจากนี้ก็มีประมาณการถึงภาพรวมผลผลิตพืชเศรษฐกิจของโลกว่ามีมูลค่าประมาณ 1,500 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (\$1,500 billion) ที่มีความสูญเสียจากศัตรูพืชเกิดขึ้นประมาณ 550-1,000 พันล้านดอลลาร์ กับค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีปราบศัตรูพืชอีก 38 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในแต่ละปีโดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรปตะวันออกและอเมริกาเหนือ ซึ่งเมื่อสำรวจความเสียหายตามรายการภูมิภาคพบว่าประเทศในแถบแอฟริกามีความเสียหายจากศัตรูพืชมากที่สุดคือเกิดความเสียหาย 49% คิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 12.8 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี ถัดมาได้แก่ประเทศแถบเอเชียที่เสียหายประมาณ 47% แต่คิดเป็นมูลค่ารวมสูงถึง 145.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ขณะที่ประเทศในกลุ่มสหภาพโซเวียตและกลุ่มละตินอเมริกามีความเสียหายเท่ากันคือ 41% หรือประมาณกลุ่มประเทศละ 22 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี ประเทศในแถบอเมริกาเหนือสูญเสียรายได้ไป 23 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปีจากความเสียหาย 31% ประเทศในแถบยุโรปสูญเสียเท่ากับ 17 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปีจากความเสียหาย 28% ส่วนประเทศอื่น ๆ ที่เป็นเกาะขนาดเล็กกลางมหาสมุทรแปซิฟิกมีรายงานความเสียหาย 37% คิดเป็นมูลค่าประมาณ 2 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี และเมื่อประเมินเป็นจำนวนเงินจากการที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบแยกประเภทความเสียหายในประเทศสหรัฐอเมริกา ที่แม้จะมีระบบเพาะปลูก รวมทั้งมีการเขตรกรรมและใช้เทคโนโลยีขั้นเยี่ยมในการจัดการเพาะปลูก ก็ยังเกิดความสูญเสียจากการทำลายโดยศัตรูพืชเป็นจำนวนเงินมหาศาล โดยเกิดความสูญเสียอันมีสาเหตุจากโรคติดต่อถึง 9.1 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ จากแมลง 7.7 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และจากวัชพืช 6.2 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ต่อปี ตามลำดับ (Oerke et al., 1994;

Oerke and Dehne, 2004; Agrios, 2004)

สำหรับความสูญเสียในระหว่างบรรดาโรคพืชต่าง ๆ นับแสนโรคนั้น ก็มีระดับรุนแรงที่แตกต่างกันไปตามชนิดของโรคหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับเชื้อโรค โดยอาจมีผลกระทบต่อดังแต่ระดับเล็กน้อยไปจนถึงระดับที่ทำลายคุณภาพและปริมาณผลผลิตเกินกว่า 60% หรืออาจทำให้พืชเสียหายทั้งต้นจนไม่อาจให้ผลผลิตและรอดชีวิตไปได้ ทั้งนี้เป็นไปตามสภาพการณ์ของการติดเชื้อที่เชื้อโรคนั้นจะสามารถรุกรานเข้ายึดครองจุดสำคัญของพืชหรือไม่ หากเชื้อโรคนั้นเป็นชนิดที่เข้ามาตั้งหลักฐานอยู่ในท่อลำเลียงอันเปรียบเสมือนเส้นเลือดที่นำพาสารอาหารไปหล่อเลี้ยงตลอดร่างกายพืช นอกจากการเข้าเบียดเบียนน้ำและอาหารของพืชแล้ว ยังสามารถแพร่กระจายและเกิดการกระตุ้นให้มีการสร้างสาร หรือสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ที่เป็นพิษภัยต่อพืชได้อย่างทั่วถึง โรคที่เกิดในระบบท่อลำเลียงของพืชจึงทำให้เกิดอาการผิดปกติต่อเนื่องไปได้อย่างทั่วถึงทุกส่วนของต้นพืช ซึ่งรวมถึงอาการซีดเขียว เหี่ยวเฉา แครกแกริน ทрудโทรม และอาการวิปริตของอวัยวะทุกส่วนไม่ว่าจะเป็นที่ราก ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก หรือ ผล เช่นอาการหดห่อ สิบเล็ก บิดเบี้ยว เฝือกิ่ง เฝือกอ เฝือกใบ เฝือกปาก เกิดรากฝอยพุ่งเพื่อหนีที่หนีส่วน เหล่านี้เป็นต้น โดยเชื้อที่เข้าอยู่อาศัยในท่อลำเลียงอาจเป็นได้ทั้ง เชื้อรา และเชื้อจำพวกโปรคาริโอต (prokaryotes) คือแบคทีเรีย และ มอลลิวท์ ที่เป็นสาเหตุของอาการผิดปกตินั้น แต่อาการที่คนทั่วไปเห็นและทำให้เข้าใจว่าร้ายแรงที่สุด มักได้แก่อาการที่ต้นเหี่ยวเฉาแบบอาการของโรคเหี่ยว ที่เมื่อผ่าลำต้นดูก็จะพบเส้นใยเชื้อราอยู่ในบริเวณท่อลำเลียงของพืชต้นนั้นได้ด้วยสายตาตนเอง ซึ่งความจริงแล้วยังมีอีกหลายอาการที่เป็นภัยไม่น้อยไปกว่ากัน หรือแม้แต่ในแบบ

อาการโรคเหี่ยวด้วยกัน ก็ยังอาจเกิดจากเชื้อโรคชนิดอื่นได้ และเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมอันตรายนั้น กรณีที่โรคเกิดจากเชื้อรา ก็ยังมีโอกาสป้องกันและกำจัดได้ด้วยยาฆ่าราซึ่งคุ้มต่อการลงทุนมากกว่า ขณะที่การใชยากับโรคที่เกิดจากเชื้อจำพวกโปรคาริโอตไม่อาจทำได้โดยง่าย เพราะยาปฏิชีวนะมีราคาแพงเกินกว่าที่จะนำมาใช้ ทั้งยังมีผลข้างเคียงที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้น การสืบหาสาเหตุแท้จริงของอาการโรคที่คาดว่า เป็นผลมาจากการก่อวนในระบบท่อลำเลียงของพืช จึงมีความสำคัญมากเพื่อให้สามารถใช้วิธีควบคุมได้อย่างถูกต้อง

การค้นพบเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในระบบท่อลำเลียงของพืช

ในการสืบหาสิ่งที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคกับพืชนั้น แต่เดิมเชื่อว่ามีเพียงเชื้อราเท่านั้นที่เป็นสาเหตุของโรค โดยมองข้ามสิ่งอื่น ๆ ที่แม้จะเป็นสิ่งที่เคยรู้จักมาบ้างจากกรณีที่เป็นโรคติดเชื้อของคนและสัตว์ แม้แต่เชื้อแบคทีเรียซึ่งได้รับการพิสูจน์ยืนยันหลายต่อหลายครั้งว่าเป็นตัวการที่ทำให้พืชเป็นโรคด้วยเช่นกัน ก็ต้องใช้เวลายาวนานกว่าจะเป็นที่ยอมรับ ดังนั้นเมื่อมีการพบเห็นโรคปริศนาที่มีอาการวิปริตไปทั้งต้นนั้น เมื่อยังไม่พบตัวต้นของต้นเหตุที่แท้จริงเพราะยังไม่มีวิธีการพิสูจน์ที่ดีพอ จึงถูกเหมารวมกันไปว่าเป็นโรคที่เกิดจากการขาดปุ๋ยขาดธาตุ หรือโทษฟ้าดินอาเพศ หรือก็ไม่เหมาะไปว่าเกิดจากเชื้อไวรัสเพราะมองไม่เห็นตัวแต่มีความคุ้นเคยกับชื่อนี้มาก่อน เป็นต้น โดยในยุคแรกของการค้นพบเชื้อโรคของพืชคือช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1900-1960 หรือช่วงกว่าร้อยปีที่แล้ว เป็นสมัยของการค้นพบเชื้อราที่รุ่งเรืองมาก จนมีการประกาศว่าในโลกนี้ไม่มีโรคพืชอะไรที่เกิดขึ้นมากมายและ

สำคัญเท่าที่เกิดจากเชื้อรา ในช่วงนั้นแม้จะมีผู้รายงานถึงการเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น โดยมีหลักฐานยืนยันจากผลการศึกษาเช่นพบโรคที่สามารถรักษาได้ด้วยยาปฏิชีวนะชนิดเดียวกันกับที่ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคของมนุษย์และสัตว์ แต่แทบไม่มีใครยอมเชื่อว่าจะมีโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียขึ้นกับพืชได้ อย่างไรก็ตามเมื่อโลกวิทยาศาสตร์เจริญขึ้นและมีการพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพในการไขปริศนาได้มากขึ้น จึงเริ่มเป็นที่เข้าใจและยอมรับกันว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นก็เป็นสาเหตุที่ทำให้พืชเป็นโรคได้เช่นกัน สำหรับการค้นพบเชื้อโรคพืชที่สังกัดอยู่ในอาณาจักรโปรคาริโอตที่อาศัยอยู่ในท่อลำเลียงของพืชนั้น มีการตีพิมพ์รายงานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 โดยคณะของ ดร.โดอิ นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น ที่นำเสนอผลการค้นพบเชื้อสาเหตุโรคพืชชนิดใหม่ จากการตรวจโรคในต้นหม่อนเป็นโรคเดี่ยวแคะและแตกกิ่งพุ่มลึบสั้นเหี่ยวใบเหลืองเล็ก ไม่สามารถเก็บเกี่ยวไปเลี้ยงหนอนไหมจนกระทั่งต่ออุตสาหกรรมผลิตไหมญี่ปุ่นขณะนั้น และยังพบโรคที่มีอาการแบบเดียวกันนี้กับมันฝรั่ง แครอท แอสเตอร์ และต้นเพาโลเนีย เมื่อทำการตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าภายในบริเวณเนื้อเยื่อท่อลำเลียงอาหาร (phloem) มีเชื้อจุลินทรีย์รูปร่างคล้ายเชื้อมายโคพลาสมาที่เป็นสาเหตุโรคปอดบวมของคนและสัตว์ นอกจากนี้ยังพบการตอบสนองที่เฉพาะเจาะจงหรือทำให้อาการโรคลดน้อยลงหรือหายไปได้ด้วยยาปฏิชีวนะเตตราซัยคลินเท่านั้น ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกันกับพฤติกรรมของเชื้อมายโคพลาสมา ดังนั้นจึงมีการเสนอชื่อในขั้นต้นก่อนว่า “เชื้อมายโคพลาสมา (Mycoplasma-like organism, MLO)” โดยที่ขณะนั้นนักโรคพืชในยุโรปและสหรัฐอเมริกายังเข้าใจว่าโรคแบบเดียวกันนี้เป็น

โรคที่น่าจะเกิดจากไวรัส และภาพที่เห็นจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นรูปการพนักตัวของอนุภาคไวรัส (viral inclusion body) แต่ไม่เข้าผลการค้นคว้าของ ดร.โดอิ ก็เป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย ทำให้มีการศึกษาบรรดาโรคพืชที่มีอาการวิปริตในทำนองเดียวกันนี้อย่างเข้มข้นขึ้น จนสามารถค้นพบสาเหตุของโรคพืชอื่นๆที่มีอาการผิดปกติไปในทำนองเดียวกันนี้ เช่นสามารถค้นพบสาเหตุของโรค stubborn ของส้ม (citrus stubborn) และโรคแคะแกรนของข้าวโพด กระทั่งเพาะเชื้อได้สำเร็จในอาหารที่มีส่วนผสมของสารโภชนาการเลียนแบบอาหารสำหรับเชื้อมายโคพลาสมา และตั้งชื่อได้อย่างครบครันตามหลักการอนุกรมวิธานชีววิทยา ที่ให้ชื่อวิทยาศาสตร์ได้ว่าเป็นเชื้อ *Spiroplasma citri* ในปี ค.ศ. 1973 และ *S. kunkelii* ในปี ค.ศ. 1986 ตามลำดับ (Saglio, et. al. 1973; Whitcomb, et. al. 1986) ส่วนเชื้อสไปโรพลาสมาอีกชนิดที่ทำให้เกิดโรคกับพืชคือ *S. phoeniceum* ค้นพบและพิสูจน์ชนิดได้ในปี ค.ศ. 1987 จากต้นแพงพวยเป็นโรคเหลืองดอกเขี้ยว (Saillard, et. al. 1987) โดยเชื้อทั้งสามชนิดนี้ต่างก็อยู่ในกลุ่มเดียวกับเชื้อมายโคพลาสมา และในปี ค.ศ. 1973 นั้นเองก็ตรวจพบสาเหตุของโรคสำคัญที่มีการระบาดมานานหลายสิบปีก่อนหน้า แต่เคยเข้าใจว่าเกิดจากเชื้อไวรัสเพราะถ่ายทอดเชื้อได้ด้วยแมลงและการต่อกิ่งคือโรคขอบใบไหม้ลามขององุ่น และอัลมอนต์ ในอเมริกาเหนือ ที่มีลักษณะเหมือนถูกไฟลวกและลามจากขอบใบเข้าไป และโรคกรีนนิ่งของส้มในหลายประเทศทั้งแถบเอเชีย ยุโรป แอฟริกา และอเมริกา ที่ทำให้ต้นมีอาการเหลืองและทรุดโทรม เมื่อนำมาทำการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำให้สามารถเห็นรูปร่างโดยสังเขปของเชื้อโดยพบเชื้อโรคขอบใบไหม้ลามในบริเวณท่อน้ำ (xylem) จาก

ใบองุ่น และพบเชื้อโรคกรีนนิ่งของส้มในบริเวณท่ออาหาร (phloem) ของพืช ซึ่งทั้งสองกรณีเชื้อโรคมีรูปร่างคล้ายแบคทีเรียแต่ขนาดเล็กกว่ามาก คือเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ ที่มีผนังเซลล์แบบมีลอนหรือรอยหยัก คล้ายกับเชื้อริคเคเชีย และยังไม่สามารถเพาะเชื้อมาทำการศึกษาลักษณะทางชีววิทยาได้ จึงเรียกพอให้เป็นที่รู้จักกันก่อนว่า “เชื้อคล้ายริคเคเชีย (Rickettsia-like bacteria, RLB)” กระทั่งปี ค.ศ. 1987 ที่สามารถทำการเพาะเชื้อโรคใบไหม้ลามขององุ่นได้สำเร็จ และพิสูจน์จากการศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมกับเชื้อในจำพวกแบคทีเรีย จึงทราบแน่ชัดว่าไม่ใช่เชื้อจำพวกริคเคเชีย แต่เป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดใหม่ที่ให้ชื่อวิทยาศาสตร์ได้ว่า *Xylella fastidiosa* (Wells, et al. 1987) ขณะที่มีความคืบหน้าน้อยกว่าสำหรับการพิสูจน์ชนิดของเชื้อโรคกรีนนิ่งของส้มซึ่งยังไม่สามารถเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการได้ นอกจากการศึกษาโดยการตรวจสอบลำดับของยีนอนุรักษ์และตรวจสอบความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมกับเชื้อในอาณาจักรโปรคาริโอตด้วยกัน ซึ่งพบว่าอยู่ในกลุ่มของพวกโปรทีโอแบคทีเรีย จึงช่วยให้สามารถเสนอชื่อที่อิงตามความสัมพันธ์และขอบเขตการเกิดโรคได้ว่า *Candidatus Liberobacter asiaticum* สำหรับเชื้อโรคกรีนนิ่งของส้มในเอเชีย และ *Candidatus L. africanum* สำหรับเชื้อโรคกรีนนิ่งของส้มในแอฟริกา และได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในปี ค.ศ. 1994 (Jagoueix, et al. 1994) ส่วนโรคอื่น ๆ ที่มีอาการวิปริตต่าง ๆ ที่ตรวจพบเชื้อคล้ายมายโคพลาสมา รวมทั้งกรณีโรคที่ ดร.โดอิ ได้รายงานไว้แล้วนั้น แม้ว่าจะได้มีการตรวจพบเชื้อในท่อลำเลียงอาหารของพืชเป็นโรคแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากยังไม่สามารถแยกเอาตัวเชื้อมาเพาะเลี้ยงในอาหารเทียมได้สำเร็จ จึงทำให้ไม่ทราบถึงพฤติกรรมและ

คุณสมบัติทางชีววิทยาด้านอื่น ๆ อย่างครบถ้วน และ
ไม่อาจตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน
ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาเชื้อ
จุลินทรีย์ในอาณาจักรโปรคาริโอต จึงได้จัดประชุม
เชิงปฏิบัติการหลายครั้งจนได้ข้อสรุปในปี ค.ศ. 1994
และออกประกาศโดย International Committee
of Systematic Bacteriology (ICSB) เห็น
ควรให้เรียกชื่อเชื้อคล้ายมาโคพลาสมาที่ทำให้พืช
เป็นโรคแต่ยังเพาะเชื้อไม่ได้ในว่า “ไฟโตพลาสมา
(Phytoplasma)” ซึ่งทั้งเชื้อไฟโตพลาสมาและเชื้อ
สไปโรพลาสมาก็ได้รับการจัดหมวดหมู่ให้อยู่ใน Class
Mollicutes คือเป็นเชื้อมอลลิคิวท์ ภายใต้อาณาจักร
โปรคาริโอตอย่างเป็นทางการในครั้งนี้ และในปัจจุบัน
ได้มีการรับรองระบบการเสนอชื่อเชื้อไฟโตพลาสมา
ให้สื่อความหมายได้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยอิงตาม
ลักษณะพันธุกรรมโดยเฉพาะการเรียงลำดับของสาร
พันธุกรรมในยีนที่เป็นยีนอนุรักษ์ของเชื้อโปรคาริโอต
คือ 16S rDNA หรือตามกลุ่มความสัมพันธ์ทาง
พันธุกรรมของเชื้อ ตลอดจนชนิดพืชอาศัยและแมลง
พาหะ และพื้นที่หรือภูมิภาคที่พบ เช่น *Candidatus*
Phytoplasma oryzae หมายถึงเชื้อไฟโตพลาสมา
ที่ทำให้เกิดโรคเหลืองแคระของข้าวที่พบในภูมิภาค
เอเชีย (Jung, et al. 2003) และ *Candidatus*
Phytoplasma asteris หมายถึงเชื้อไฟโตพลาสมา
ในกลุ่มaster yellowsที่ทำให้เกิดโรคเหลืองของพืช
หลายชนิดแต่มีแมลงพาหะประเภทเดียวกัน (Lee,
et al. 2004) เป็นต้น

ขอบข่ายความเป็นเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัด ในระบบท่อลำเลียงของพืช

เชื้อโปรคาริโอตทั้งที่เป็นมอลลิคิวท์และ
แบคทีเรีย ชนิดที่เจาะจงเจริญในท่อลำเลียง โดย
จำกัดตัวอยู่ในบริเวณท่อน้ำ (xylem) หรือในบริเวณ

ท่ออาหาร(phloem) หรือบางชนิดอาจอยู่ได้ทั้งที่ท่อ
น้ำและท่ออาหาร มีการเรียกโดยรวมเป็นภาษา
อังกฤษว่า “Fastidious prokaryotes” เพราะไม่
สามารถแยกเชื้อออกมาเพาะเลี้ยงได้หรือมีความ
ยุ่งยากซับซ้อนมากต่อการเพาะเชื้อ โดยตัวเชื้อมี
การตั้งหลักอยู่อาศัยแพร่พันธุ์ได้ดีแต่เฉพาะในระบบ
ท่อลำเลียงของพืช แล้วส่งผลทำให้เกิดอาการเจ็บ
ไข้ไม่สบายต่อเนื่องกันไปทุกส่วนของต้นพืช จนมีรูป
ลักษณะของการเจริญเติบโตแบบวิปริตผิดเพี้ยนไป
บางครั้งก็แทบจะจำตัวต้นดั้งเดิมของพืชกันไม่ได้
จนอาจทำให้เข้าใจผิดไปว่าเป็นพืชพันธุ์แปลกใหม่
ซึ่งเป็นลักษณะที่ต่างจากเชื้อรา ตลอดจนเชื้อไวรัส
และแบคทีเรียชนิดอื่นที่เข้าไปอยู่อาศัยเกาะกิน
เนื้อเยื่อและเซลล์พืชส่วนต่างๆอย่างเร็วร้อน สำหรับ
เชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดตัวอยู่ในระบบท่อลำเลียงของ
พืชนี้ เกือบทั้งหมดต้องอาศัยแมลงจำพวกปากดูดที่
เข้าไปดูดกินท่อน้ำหรือท่ออาหารเช่นแมลงเพลี้ยจักจั่น
เพลี้ยกระโดด หรือเพลี้ยไก่แจ้เป็นพาหะในการ
ถ่ายทอดเชื้อจากต้นเป็นโรคไปยังต้นอื่น ๆ โดยขณะ
ที่อยู่ในตัวแมลงนั้น เชื้อจะเข้าไปอาศัยและเจริญ
แพร่พันธุ์อยู่ในช่องท้อง รวมทั้งระบบกระเพาะลำไส้
ท่อน้ำเหลือง ต่อมน้ำลาย ท่อน้ำลาย ของแมลง และ
อาจทำให้แมลงเป็นโรคไปด้วยก็ได้

เชื้อโปรคาริโอตจำพวกนี้ มีความจำเป็นต้อง
อาศัยอยู่กินภายในระบบท่อลำเลียงของพืชและ
แมลงปากดูด ซึ่งเป็นแหล่งที่ให้สารอาหารครบถ้วน
ตามความต้องการอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา เพราะ
ตัวเชื้อมีขนาดจิ๋วที่เล็กมาก และองค์ประกอบของ
เซลล์ก็มีเพียงเท่าที่จำเป็นสำหรับความเป็นเซลล์มี
ชีวิตขั้นต่ำสุด ซึ่งแทบไม่เพียงพอต่อการทำหน้าที่
สร้างสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตได้ด้วย
ตัวเอง และยังทราบแน่ชัดถึงสภาพที่เหมาะสมพอที่
จะนำมาจำลองแบบเพื่อการเพาะเชื้อในห้องทดลอง

ได้เท่าที่ควร ปัจจุบันนี้จึงยังเพาะเลี้ยงได้สำเร็จเพียงไม่กี่ชนิดซึ่งก็ต้องใช้สูตรการเลี้ยงทั้งสภาพแวดล้อมและโภชนาสารที่ซับซ้อนมาก และต้องใช้สารกว่าร้อยชนิดขึ้นไป รวมทั้งสารสกัดจากเลือดหรือน้ำเหลืองของสัตว์ต่าง ๆ ด้วยเช่น fatal bovine serum และ (α -globulin free horse serum เป็นต้น

ดังนั้นพืชปกติที่ยังไม่เป็นโรคแบบนี้ หากจะเกิดเป็นโรคขึ้นได้ก็ต้องมีตัวการนำพาเชื้อโรคมารวม โดยเฉพาะตัวการที่เป็นแมลงปากดูด แมลงที่ชอบดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่ออาหารของพืช ก็จะเป็นพาหะนำเชื้อโปรคาริโอตที่สังกัตในบริเวณท่ออาหาร อันเป็นที่รวมของน้ำซัพเซชันที่มีทั้งน้ำตาล และสารอินทรีย์ต่าง ๆ มากมาย ภายใต้สภาพที่มีแรงดันออสโมซิสเท่ากับ -21.7 และแรงดันเต่งเท่ากับ 30 atm. ซึ่งเพียงพอต่อการรักษาสภาพของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีเพียงเยื่อหุ้มบาง ๆ รอบเซลล์โดยไม่มีผนังเซลล์ห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่ง จึงแทบไม่ต้องสงสัยเลยว่าทำไมโปรคาริโอตอย่างเชื้อมอลลิกิวท์จึงต้องจำเพาะที่จะอยู่อาศัยในบริเวณท่ออาหารของพืชเท่านั้น ส่วนแมลงที่ชอบดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่ออาหารของพืช ก็จะเป็นพาหะนำเชื้อโปรคาริโอตที่เข้ามาจำกัดตัวอยู่ในท่อน้ำ ซึ่งนอกจากจะเป็นแหล่งน้ำให้แล้ว ยังพอจะมีน้ำตาลและแร่ธาตุ รวมทั้งกรดอินทรีย์อื่น ๆ ละลายอยู่อีกเล็กน้อย แต่เชื้อโปรคาริโอตที่จะอยู่ได้ในสภาพเช่นนี้ ก็ต้องเป็นเชื้อโปรคาริโอตที่มีผนังเซลล์ห่อหุ้มอยู่ด้วยคือพวกเชื้อแบคทีเรียนั่นเอง

ประเภทของโรคที่เกิดขึ้น

โรคติดเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดตัวอยู่ในระบบท่อลำเลียงของพืช ถ้าแบ่งตามลักษณะแหล่งที่เข้าไปอยู่อาศัยของเชื้อสาเหตุ อาจแบ่งได้เป็นสองลักษณะคือ

1) โรคที่เกิดจากเชื้อโปรคาริโอตที่จำเพาะจะเข้าไปตั้งรกรากอยู่ที่ท่ออาหารของพืช (Fastidious phloem-limited prokaryotes) คือพวกมอลลิกิวท์ ได้แก่ไฟโตพลาสมาและสไปโรพลาสมา ซึ่งทำให้พืชอย่างน้อย 98 ตระกูล 400 สกุลเป็นโรคมากกว่า 500 โรค และพวกโปรทีโอแบคทีเรียที่ตรวจพบได้รับการพิสูจน์แล้วได้แก่ เชื้อจำพวกแอลฟาโปรทีโอแบคทีเรีย (α -Proteobacteria) คือ *Candidatus Liberobacter* spp. จากพืชตระกูลส้มเป็นโรคกรีนนิ่ง และพวกแกมมาโปรทีโอแบคทีเรีย (γ -Proteobacteria) คือ *Candidatus Phlomobacter fragariae* จากสตรอเบอรี่เป็นโรคขอบใบเหลือง ปัจจุบันยังไม่สามารถแยกเชื้อทั้งสองประเภทนี้จากต้นพืชหรือแมลงพาหะออกมาเพาะเลี้ยงได้สำเร็จ

2) โรคที่เกิดจากเชื้อโปรคาริโอตที่จำเพาะจะเข้าไปตั้งรกรากอยู่ที่ท่อน้ำของพืช (Fastidious xylem-limited prokaryotes) ซึ่งพบว่าได้แก่เชื้อแบคทีเรีย *Xylella fastidiosa* จากพืชจำพวกไม้ผลเมืองหนาวเป็นโรคขอบใบไหม้ลาม *Ralstonia syzygii* จากต้นกานพลูเป็นโรคเหี่ยวสุมาตรา และ *Leifsonia xyli* จากอ้อยและหญ้าเป็นโรคต่อแฉะที่เพิ่งจะสามารถแยกเชื้อมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตรซับซ้อนได้เป็นผลสำเร็จไม่นานมานี้เอง

ลักษณะอาการเด่นของโรค

จากลักษณะที่เชื้อโรคเข้าไปอยู่อาศัยในท่อลำเลียงของพืช ก็อาจคาดเดาถึงความเจ็บป่วยของพืชที่เป็นผลต่อเนื่องกันได้ เพราะหากเชื้อเข้าไปตั้งหลักอาศัยอยู่ในท่ออาหารอันเป็นที่มันที่มีความอุดมสมบูรณ์ จึงมักทำให้พืชเป็นโรคแบบเรื้อรังยาวนานตลอดชีวิตของต้นพืช นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดกลไกทางเมตาบอลิซึมที่รบกวนการเจริญเติบโตของพืชจนมีรูปลักษณะผิดเพี้ยนเปลี่ยนร่างไป

จากปกติ ทำให้พืชเป็นหมันหรือไม่สร้างผลผลิตอีกต่อไป และหากเชื้อเข้าไปอยู่อาศัยในท่อน้ำ ซึ่งพืชจำเป็นต้องมีน้ำหล่อเลี้ยงให้ความชุ่มชื้น และเป็นส่วนสำคัญของขบวนการสังเคราะห์อาหารด้วยแสงของพืช การอยู่อาศัยของเชื้อจึงส่งผลกระทบต่อไหลเวียนของน้ำ และยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ในท่อน้ำ หรือเกิดการสร้างสารที่เป็นพิษต่อเซลล์พืชแทรกซึมไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช จนทำให้เกิดอาการประเภทขาดน้ำ หรือเหลืองซีดลามเข้าจากบริเวณขอบใบพืช เหล่านี้เป็นต้น

สำหรับอาการโรคที่เกิดจากการติดเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในระบบท่ออาหาร (phloem-limited prokaryotes) ซึ่งทำให้พืชมีรูปร่างที่วิปริตออกไปนั้น แม้ว่าเมื่อพืชเป็นโรคในระดับสาหัสแล้วมักมีหลายอาการปนเปกันจนแทบแยกไม่ออก แต่ก็ยังอาจแบ่งได้ประมาณ 4 ประเภทอาการตามรูปลักษณะที่เห็นได้ชัดที่สุดคือ

1. ประเภทใบเปลี่ยนสี (Chlorosis) เช่น โรคที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาได้แก่ โรคใบขาวของอ้อย และหญ้าต่าง ๆ โรคใบสีแสดของข้าว โรคเหลืองแคะของข้าว โรคเหลืองขององุ่น โรคเหลืองของไม้ดอก ไม้ผลและพืชผักต่าง ๆ ในกลุ่ม aster yellows โรคเหลืองของพืชไม้ผลเมืองหนาว โรคเหลืองของไม้ป่าประดับเมืองหนาว ฯลฯ และโรคที่เกิดจากเชื้อแอลฟาและแกมมาโปรทีโอแบคทีเรียได้แก่ โรคกรีนนิ่งของส้ม และโรคขอบใบเหลืองของสตรอเบอร์รี่

2. ประเภทอาการดอกเปลี่ยนรูปร่างหรือสี (Phyllody/Virescence) มักได้แก่โรคที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาเช่น โรคหัวนกเค้าของงา โรคฟิลโลดี้ของถั่วพุ่ม โรคดอกเขียวของพืชผักและไม้ดอกชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ผักบุ้ง ถั่วฝักยาว เบญจมาศ เยปี่รา และไฮเดรนเยีย ฯลฯ แต่ก็มีบางกรณีที่เป็นโรคจาก

เชื้อสไปโรพลาสมาเช่น โรคเหลืองและดอกเขียวของแพงพวย

3. ประเภทอาการใบหรือต้นเปลี่ยนรูปร่าง (Witches's broom) ได้แก่อาการเหี่ยวใบ เหี่ยวกิ่ง เหี่ยวราก แตกพุ่มกอหรือแตกพุ่มแจ้ หรือทั้งต้น หัว และรากมีอาการเปราะแตก ตามวม ขั้วหรือปล้องบวมและหดสั้น อาการต้นแบน เช่นโรคที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาคือ โรคกะหรี่ลำไย โรคแตกพุ่มแจ้ของถั่วชนิดต่าง ๆ โรคต้นแบนของงา โรคตามวมของมะเขือเทศ โรคกอดตะไคร้ของอ้อย โรคแตกพุ่มเตี้ยแคะของข้าวโพด ฯลฯ และโรคที่เกิดจากเชื้อสไปโรพลาสมาคือ โรค stubborn ของส้ม เป็นต้น

4. ประเภทอาการเตี้ยแคะ ตายจากยอดต้นโทรม (Stunt/die back/Decline) เช่นโรคที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาได้แก่ โรคเหลืองโทรมของมะพร้าว โรคต้นโทรมหรือโรคหงอยของลำไย โรค X-disease หรือ ต้นโทรมของไม้ผลเมืองหนาวเช่น ท้อ พ룬 และเชอร์รี่ ฯลฯ และโรคที่เกิดจากเชื้อสไปโรพลาสมาคือโรคแคะแกรนของข้าวโพด เป็นต้น

ส่วนโรคที่เกิดจากการติดเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในท่อน้ำของพืช (xylem-limited prokaryotes) ก็มีอาการหลายแบบรวมกันในแต่ละโรค แต่ก็อาจแบ่งได้ตามลักษณะอาการที่เห็นได้ชัดที่สุดเช่นกัน 3 ประเภทอาการคือ

1. ประเภทอาการเหมือนไฟลวก หรือน้ำร้อนลวก หรือขอบใบไหม้เกรียม (Scald/ Scorch) ได้แก่โรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xylella fastidiosa* เช่น โรคขอบใบไหม้เกรียมขององุ่น (Pierce's disease of grape) โรคใบไฟลวกของพลัม และโรคขอบใบไหม้เกรียมของไม้ผลเมืองหนาวชนิดต่าง ๆ

2. ประเภทอาการต้นเตี้ย ตอแคะ กอเฉา ขั้วและปล้องบวมสั้น เหี่ยวรากฝอย (อาการ stunt/dying) เช่น โรคตอแคะของอ้อย (Ratoon stunt)

ซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* และโรคกอเฉาของหญ้าแพรก (dying) ซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Leifsonia xyli* subsp. *cynodontis*

3. ประเภทอาการ die back หรืออาการ ชีดเหลืองเหี่ยวเฉา ใบร่วง กิ่งแห้งหัก ต้นโทรมตาย จากยอดลงมาได้แก่ โรคเหี่ยวสุมาตรา (Sumatra disease) ของกานพลูที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia syzygii*

ความเป็นภัยต่อเศรษฐกิจเกษตร

เมื่อดูจากรายชื่อโรคติดเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในระบบท่อลำเลียงของพืชที่ยกตัวอย่างขึ้นมาในแต่ละกรณี จะเห็นได้ว่าล้วนแล้วแต่เป็นโรคที่สำคัญทางเศรษฐกิจการผลิตพืชของโลกแทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นในประเทศไทยหรือต่างประเทศแถบเอเชีย ยุโรป อเมริกา แอฟริกา และออสเตรเลีย ก็ตาม ในส่วนของประเทศไทยมีโรคพืชจากเชื้อไฟโตพลาสมาที่สำคัญต่อเศรษฐกิจอย่างเห็นได้ชัดเช่น โรคใบขาวของอ้อย โรคกอตะไคร้ของอ้อย โรคหัวนกเค้าของงา และโรคกะพริ้ของลำไย โดยเฉพาะโรคใบขาวของอ้อยเป็นโรคซึ่งทำความเสียหายทางเศรษฐกิจเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย เกิดขึ้นในทุกพื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศและสามารถทำลายผลผลิตได้ 40-100% ของทั้งแปลงปลูก ต้นอ้อยมีอาการเป็นโรครุนแรงมากขึ้นในพื้นที่ปลูกที่มีลักษณะเป็นดินทราย ส่วนใหญ่จึงมีการระบาดของหนักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งทำให้สูญเสียผลผลิตเป็นมูลค่าไม่น้อยกว่า 200-500 ล้านบาทต่อปีหรืออาจมากกว่านั้น(พรทิพย์, 2542; พรทิพย์และคณะ, 2542; Wongkaew, et.al. 1997; Jung, et al. 2003) ขณะที่โรคกรีนนิ่งของพืชตระกูลส้มที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียจำพวกแอลฟาโปรทีโอแบคทีเรียก็มีความสำคัญอย่างยิ่งหย่อน

ไปกว่ากันต่อวงการผลิตส้มของประเทศไทยในทำนองเดียวกับการผลิตส้มทั่วโลก โรคกรีนนิ่งหรืออาจเรียกได้ว่าโรคใบเหลืองต้นโทรมตามอาการเด่นที่พบเป็นโรคที่สำคัญที่สุดของส้มทุกพันธุ์ในประเทศไทยและเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สวนส้มล่มสลาย จากการใช้ท่อนพันธุ์ที่มีเชื้อโรคแฝงในการขยายพันธุ์ ทำให้ส้มมีอายุสั้นและอ่อนแอ ก่อความเสียหายให้กับสวนส้มตั้งแต่ 30-100% ในแต่ละแห่ง (ไมตรี, 2548) โรคนี้ยังจัดว่าเป็นโรคที่สำคัญที่สุดของส้มทั่วโลกด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาและสร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจให้กับนานาประเทศรวมไม่น้อยกว่า 50 ประเทศเช่น ไทย พม่า ลาว เวียดนาม กัมพูชา มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย อินเดีย เนปาล บังกลาเทศ ปากีสถาน ศรีลังกา จีน ฮองกง ไต้หวัน ญี่ปุ่น บราซิล สหรัฐอเมริกา และทุกประเทศในทวีปแอฟริกา โดยพบว่าเชื้อโรคกรีนนิ่งในแถบเอเชียและอเมริกาเหนือเป็นเชื้อ *Candidatus Liberobacter asiaticum* ขณะที่ในทวีปแอฟริกาเป็นเชื้อ *Candidatus L. africanum* โดยเริ่มมีรายงานยืนยันความเสียหายจากโรคกรีนนิ่งในแอฟริกาตั้งแต่ปี ค.ศ 1965 และความเสียหายที่ประเมินในปี ค.ศ. 1991 พบว่าสูญเสียไปอย่างน้อย 35 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2004 ที่ผ่านมาก็มีรายงานจากมลรัฐฟลอริดาถึงการระบาดของโรคกรีนนิ่งสายพันธุ์เอเชียที่คุกคามอุตสาหกรรมการผลิตส้มมูลค่า 9 พันล้านดอลลาร์อันเป็นรายได้ของรัฐบาลเสียหายไปแล้วกว่าพันล้านดอลลาร์สหรัฐ ทั้งนี้ องค์การสหประชาชาติโดย FAO/UNDP ซึ่งตระหนักถึงภัยเศรษฐกิจจากโรคกรีนนิ่ง ได้จัดตั้งโครงการศึกษาและค้นคว้าโปรแกรมควบคุมโรคนี้ขึ้นอย่างเร่งด่วนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996 จนถึงปัจจุบัน ขณะที่ทางสหภาพยุโรปและออสเตรเลียก็ได้ขึ้นบัญชีโรคกรีนนิ่งเป็นศัตรูพืชในระดับ A1 ที่ต้องเข้ม

งวดกวัดขันอย่างยืงยวดของกฎหมายกักกันพืช (Smith, et.al., 1996; Halbert and Manjunath, 2004) นอกจากโรครินนิ่งแล้ว องค์การ FAO ยังได้พิจารณาจัดตั้งโครงการพัฒนาโปรแกรมควบคุมโรค citrus stubborn ที่เกิดจากเชื้อสไปโรพลาสมา (*Spiroplasma citri*) ทำให้ส้มมีอาการเตี้ยแคระ แตกพุ่มยอดเหลืองต้นโทรม สร้างความเสียหายเป็นอย่างมากต่ออุตสาหกรรมการผลิตส้มเช่นกันในมลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา และอีกหลายประเทศในแถบอเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ ยุโรปตอนใต้ ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และโดยเฉพาะประเทศต่าง ๆ ในตะวันออกกลางรวมทั้งอาหรับและอิสราเอลที่เสียหายถึง 30-45% ของมวลรวมผลผลิตต่อปี (Bové, J.M. 1986; Smith, et.al., 1996) สำหรับโรคที่เขย่าวงการการผลิตไวน์จากองุ่นในประเทศแถบยุโรป ออสเตรเลีย และ นิวซีแลนด์ อยู่ตลอดมาคือโรคเหลือง (grapevine yellows) ที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาหลายชนิด ทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายสูงมากในการลงทุนหรือสวนปลูกใหม่ และบำรุงรักษาอย่างเข้มข้น (Daire, et.al.1997) ส่วนโรคขอบใบไหม้เกรียม (Pierce's disease) ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xylella fastidiosa* เป็นโรคที่พบในพืชมากกว่า 200 ชนิดทั้งพืชเศรษฐกิจและไม่ป่าประดับรวมทั้งป่าปลูกของประเทศเขตอบอุ่นและเขตร้อนต่าง ๆ มีผลทำลายไม้ป่าประดับในสวนสาธารณะและอุทยานธรรมชาติเช่นต้นโอ๊ก ต้นเอลม์ ต้นเมเปิ้ล และต้นไซคามอร์ ในแต่ละมลรัฐของสหรัฐอเมริกาและในเมืองใหญ่ของประเทศอังกฤษไปกว่า 30-80% และเชื้อ *X. fastidiosa* ยังเป็นศัตรูสำคัญของอุตสาหกรรมไวน์และการผลิตส้มในอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ โดยทำลายต้นองุ่นจนเกิดความสูญเสียเป็นมูลค่าประมาณ 2.6 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ รวมทั้งทำลายต้นส้มเป็น

มูลค่ากว่า 2 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี ค.ศ. 1998 นอกจากนี้ในแหล่งปลูกส้มของ Sao Paulo ประเทศบราซิล ก็พบความเสียหายของอุตสาหกรรมส้มที่มีสาเหตุจากโรคขอบใบไหม้ถึง 35% คิดเป็นมูลค่า 68 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี ทั้งยังทำลายต้นพลัมและกาแฟในบราซิลไปถึง 5 ล้านต้นต่อปีหรือเป็นมูลค่า 50 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี (Hopkins, 1989; Ayres, et.al. 2001)

กรณีอื่น ๆ เช่นโรคตอแคระของอ้อย (ratoon stunt) ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* ก็เป็นโรคที่ได้รับการจัดวางความสำคัญเป็นอันดับหนึ่ง ในการก่อความเสียหายต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศออสเตรเลีย โดยมีผลลดจำนวนต้นกออ้อยตั้งแต่ระยะอ้อยปลูกทั้งยังแคระแกรนขาดคุณภาพ สูญเสียผลผลิตอย่างน้อย 5-10% คิดเป็นมูลค่า 10-20 ล้านเหรียญออสเตรเลียต่อปี (Gillaspie, et.al. 1989; Hoy, et.al. 1999) โรคเหลืองโทรมของมะพร้าวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาทำให้ต้นมะพร้าวในมลรัฐฟลอริดาและฮาวาย สหรัฐอเมริกา ตลอดจนประเทศหมู่เกาะคาบิเบียน และแอฟริกา แทบสูญพันธุ์ จนต้องมีการทุ่มเทงบประมาณจัดการโรคนี้ แม้ว่าเหตุการณ์ดูเหมือนจะดีขึ้นมากจากการใช้ยาปฏิชีวนะเตตราซัยคลินฉีดเข้าลำต้นทุกต้น แต่จวบจนทุกวันนี้ก็ยังคงควบคุมได้ไม่สำเร็จเท่าที่ตั้งเป้าไว้ (Schuiling, et.al. 1992; Smith, et.al. 1996) และโรคต้นทรุดโทรมของไม้ผลชนิดต่าง ๆ เช่น โรค X-disease ของต้นท้อ พ룬 สาลี่ และเชอร์รี่ ที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมา ซึ่งทำให้เกษตรกรอเมริกาต้องสูญเสียรายได้ไปอย่างมากมาย ส่วนโรคที่ทำลายป่าไม้จนต้นไม้แทบทรุดโทรมไปหมดทั้งป่าในหลายเขตของยุโรปและในหลายรัฐของอเมริกา จนต้องระดมพลังทุกฝ่ายมาช่วยบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้น คือโรคเหลือง

และต้นโทรมที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาของต้นเอลม์ และแอชต่าง ๆ ที่เป็นไม้ป่าของประเทศเซนต์เฮนนา และยังมีโรคที่เกิดจากเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในระบบท่อลำเลียงอีกมาก ที่ได้รับการจัดลำดับความสำคัญเป็นอันดับแรกในระดับประเทศและภูมิภาค อีกหลายโรคเช่นโรคแคะแกรนของข้าวโพดที่เกิดจากเชื้อ *Spiroplasma kunkelii* และโรคแตกพุ่มเตี้ยแคะของข้าวโพดจากเชื้อไฟโตพลาสมาในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ (Lee, et.al. 2000) โรคเหี่ยวสุมาตราจากเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia syzygii* ทำความเสียหายต่อการผลิตกาแฟซึ่งเป็นอุตสาหกรรมส่งออกสำคัญของประเทศอินโดนีเซีย และยังเป็นโรคที่ขึ้นบัญชีศัตรูพืชที่ต้องกักกันอย่างเข้มงวดของประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ (Roberts, et.al. 1990; Vaneechoutte, et.al. 2004) และโรคขอบใบเหลืองของสตรอเบอรี่ที่เกิดจากเชื้อจำพวกแกมมาโปรทีโอแบคทีเรีย *Candidatus Phlomobacter fragariae* ซึ่งคุกคามต้นสตรอเบอรี่ทุกแหล่งปลูกทั้งในเรือนเพาะชำและในไร่ทำให้สูญเสียผลผลิตตั้งแต่ 10-100% ในแต่ละเขตของประเทศฝรั่งเศส (Bove and Garnier, 1998; Danet, et.al. 2003) เป็นต้น

นอกจากนี้หากจะมองความสำคัญเชิงปริมาณในแง่จำนวนชนิดพืชที่เป็นโรคต่อหนึ่งชนิดเชื้อ หรือที่เรียกกันว่าความกว้างขวางของขอบเขตพืชอาศัยแล้ว เชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดตัวในระบบท่อลำเลียงของพืช ก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าเชื้อจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชชนิดอื่น ๆ เช่นกรณีของเชื้อ *X. fastidiosa* ข้างต้น ซึ่งมีขอบเขตพืชอาศัยตั้งแต่พืชล้มลุกไปจนถึงพืชยืนต้นรวมจำนวนมากกว่า 200 ชนิด ขณะที่ขอบเขตพืชอาศัยของเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคเหลืองของแอสเตอร์ (Aster yellows phytoplasma หรือ *Candidatus Phytoplasma*

asteris) ก็มีความกว้างขวางมาก สามารถเข้าทำลายพืชเศรษฐกิจมากกว่าร้อยชนิดทั่วโลกและยังมีพืชอาศัยที่เป็นพืชอาศัยสลับอีกมากมายหลายชนิด รวมจำนวนชนิดพืชเป็นโรคจากเชื้อนี้ที่สำรวจพบและตรวจสอบยืนยันจากรายงานการวิจัยจนถึงปัจจุบันมีไม่น้อยกว่า 350 ชนิดใน 54 ตระกูล หรืออย่างน้อยก็มีความกว้างขวางเท่ากับเชื้อรา *Pythium ultimum* สาเหตุโรคเน่าคอดินของพืช ที่มีขอบเขตพืชอาศัยกว้างที่สุดในจำนวนเชื้อราทั้งหมด แม้ว่าจะยังไม่กว้างเท่ากับเชื้อแบคทีเรีย *Erwinia carotovora* สาเหตุโรคเน่าและ และแบคทีเรีย *Agrobacterium tumefaciens* สาเหตุโรคปุ่มปม (crown gall) ของพืช ก็ตาม (Lee, et.al. 2000, 2004) แต่ด้วยเครื่องมือตรวจสอบและพิสูจน์เชื้อโรค ที่มีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับตามความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ก็อาจช่วยให้สำรวจพบการเกิดโรคโดยเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในท่อลำเลียงของพืชได้แม่นยำ ด้วยเทคโนโลยีในระดับราคาที่สมเหตุผลและสะดวกต่อการปฏิบัติ ทำให้สามารถสะท้อนถึงสภาวะการณ์ความเป็นจริงของการเกิดโรคได้ดียิ่งขึ้น

บทสรุป

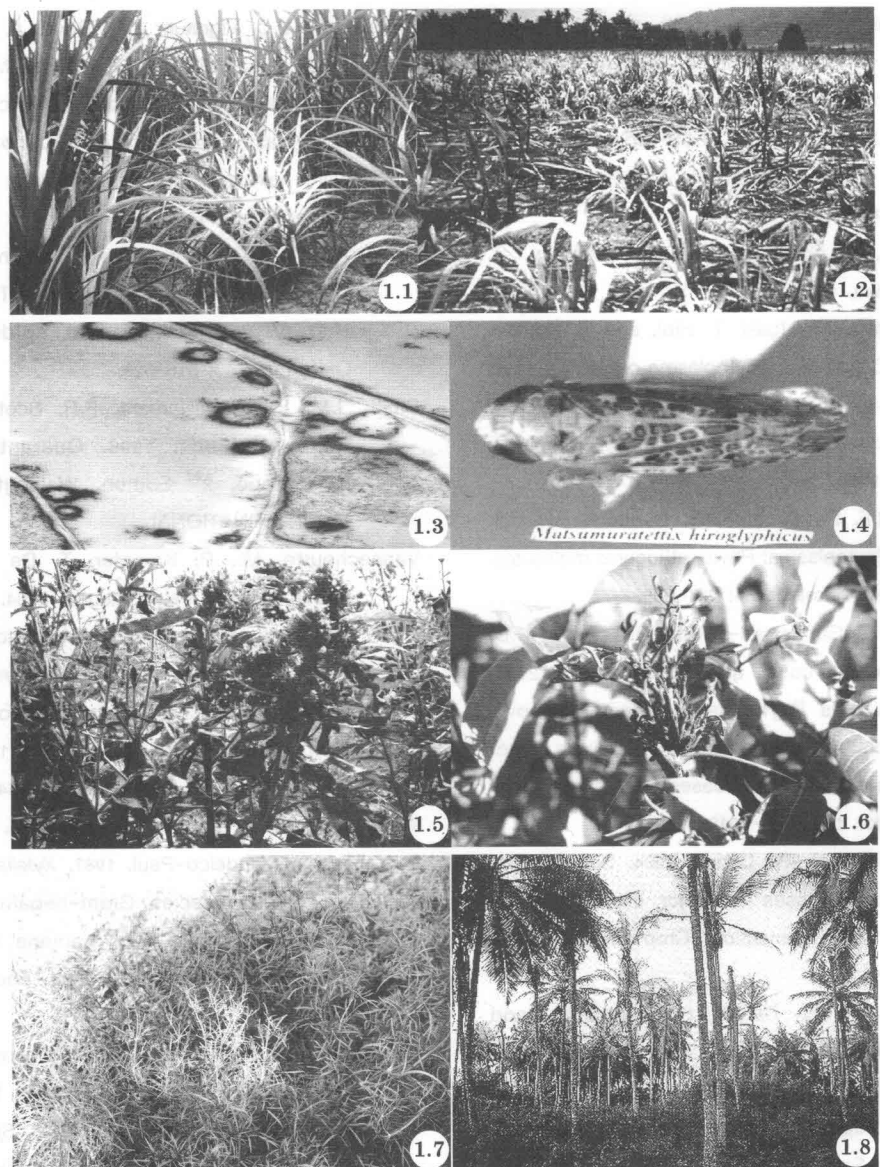
จากข้อเท็จจริงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงไม่ควรมองข้ามความสำคัญของโรคประเภทนี้ และน่าที่จะให้ความใส่ใจระแวดระวังภัย ไม่น้อยไปกว่าโรคติดเชื้อจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชชนิดอื่น ๆ ที่เคยคุ้นชื่อกันหรือเคยเป็นที่รู้จักกันด้วยเหตุที่ถูกค้นพบก่อน หรือเห็นเป็นตัวตนด้วยตาเปล่าได้ชัดกว่า เพราะโรคที่เกิดจากเชื้อโปรคาริโอตที่จำกัดในระบบท่อลำเลียง (fastidious prokaryotes) คือเชื้อมอลลิคิวท์และเชื้อแบคทีเรียชนิดใหม่ข้างต้น มักเป็นโรคชนิดเรื้อรังจากการที่ตัวเชื้อมีวิวัฒนาการของการดำรงชีวิตที่แนบแน่นอยู่กับเนื้อตัวพืชและแมลงทั้งชีวิต และ

พร้อมที่จะทำให้อาการเจ็บป่วยกำเริบขึ้นได้เสมอโดยอาจมีความรุนแรงสูงและเป็นภัยมหันต์จนคาดไม่ถึง โดยเฉพาะเมื่อเกิดความแปรปรวนของธรรมชาติแวดล้อมรวมทั้งภูมิอากาศและสภาพพื้นที่ การทำความเข้าใจและศึกษาวิธีวินิจฉัยโรคที่พบลักษณะอาการวิปริตหรือแคะแกรนเหลืองเฉาทรุดโทรม ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อประเภทนี้ได้อย่างถูกต้องจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้สามารถแก้ไขเหตุการณ์ได้ตรงประเด็น และมีให้เกิดความเข้าใจผิดคิดเบือนว่าเป็นสาเหตุอื่น เพราะอาจเป็นการซ้ำเติมเกษตรกรให้เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นจากการหาทางเยียวยาต้นพืชทั้งที่ไม่มีทางรักษาให้หายขาดได้นอกจากสภาพทรงกับทรุด แม้ว่าการลงทุนใช้ยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าแมลงและใส่ปุ๋ยบำรุง อาจช่วยให้อาการกระเดื่องขึ้นบ้างในระยะแรก ทำให้หลงดีใจทุ่มเททุนเพื่อบำรุงพืชมากขึ้นด้วยหวังว่าจักได้ผลผลิตและมีกำไร แต่เมื่อเวลาผ่านไปได้ระยะหนึ่งหรือถึงวัยผลิดอกออกผล ไม่ว่าจะทุ่มเทบำรุงรักษาอย่างไร ก็ไม่อาจได้ผลผลิตในคุณภาพและปริมาณที่หวังไว้ แม้แต่ผลผลิตที่หลงเหลืออยู่ก็มักเกิดการปนเปื้อนและไม่เป็นที่ต้องการของตลาด เป็นสาเหตุให้เกิดการขาดทุนล้มละลายจนขีดขยาดไม่อยากทำการเพาะปลูกพืชหรือทำการเกษตรอีกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- พรทิพย์ วงศ์แก้ว. 2542. โรคใบขาวของอ้อยและยุทธการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : บริษัทโรงพิมพ์ ที่ แอนอาร์ ซีเลคตา โปรดักต์จำกัด. 86 หน้า.
- พรทิพย์ วงศ์แก้ว. 2544. มอลลิคิวท์สาเหตุโรคพืช. ขอนแก่น : บริษัทโรงพิมพ์ ขอนแก่นพิมพ์พัฒนาจำกัด. 482 หน้า.
- พรทิพย์ วงศ์แก้ว, พิศาล ศิริธร, ยุพา หาญบุญทรง, ธวัชดินันท์วัฒนะ และ รุ่งรัตน์ กิจเจริญปัญญา. 2542. การสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับโรคใบขาวอ้อยในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารอ้อยและน้ำตาลไทย 6(2) : 36-52.
- Agrios, G.N. 2004. Plant pathology. 5th Edition, San Diego, California, USA, Elsevier Academic Press.
- Ayres, A. J., N. Gimenes-Fernandes, and J.C. Barbosa. 2001. Intensity of the citrus variegated chlorosis in the state of Sao Paulo and South of Triangulo Mineiro. Summa Phytopathologica 27(2): 189-197.
- Bove, J.M. 1986. Stubborn and its natural transmission in the Mediterranean area and the Near East. FAO Plant Prot. Bull., 34(1): 15-23.
- Bove, J.M. and M. Garnier. 1998. Walled and wall-less eubacteria from plants: sieve-tube-restricted plant pathogens. Pl. Cell Tiss. Org. Cult. 52: 7-16.
- Danet, J.-L., X. Foissac, L. Zreik, P. Salar, E. Verdin, J.-G. Nourrisseau, and M. Garnier. 2003. "*Candidatus* Phlomobacter fragariae" is the prevalent agent of marginal chlorosis of strawberry in French production fields and is transmitted by the plant hopper *Cixius wagneri* (China). Phytopathology 93: 644-649.
- Doi, Y., M. Teranaka, K. Yora, and H. Asuyama. 1967. Mycoplasma- or PLT group-like microorganisms found in the phloem elements of plants infected with mulberry dwarf, potato witches'-broom, aster yellows or Paulownia witches'-broom. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 33: 259-266.
- Gillaspie A.G. Jr. and D.S. Teakle. 1989. Ratoon stunting disease. In: Diseases of Sugarcane. Major Diseases. C. Ricaud, B.T. Egan, A.G. Gillaspie Jr., and C.G. Hughes (Eds), p. 59-80. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V.
- Hopkins, D.L. 1989. *Xylella fastidiosa*: Xylem-limited bacterial pathogen of plants. Ann. Rev. Phytopathol. 27: 271-290.
- Hoy, J.W., M.P. Grisham, and K.E. Damann. 1999. Spread and increase of ratoon stunting disease of sugarcane and comparison of disease

- detection methods. *Plant Dis.* 83: 1170-1175.
- Jagoueix, S., J.M. Bove, and M. Garnier. 1994. The phloem-limited bacterium of greening disease of citrus is a member of the alpha subdivision of the Proteobacteria. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 44: 379-386.
- Jung, H.-Y., T. Sawayanagi, P. Wongkaew, S. Kakizawa, H. Nishigawa, W. Wei, K. Oshima, S. Miyata, M. Ugaki, T. Hibi, and S. Namba. 2003. *Candidatus Phytoplasma oryzae*, a novel phytoplasma taxon associated with rice yellow dwarf disease. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 53: 1925-1929.
- Lee, I.-M., R.E. Davis, and D.E. Gundersen-Rindal. 2000. Phytoplasma: Phytopathogenic mollicutes. *Ann.Rev.Microbiol.* 54: 221-255.
- Lee, I.-M., D.E. Gundersen-Rindal, R.E. Davis, K.D. Bottner, Marcone, and E. Seemuller. 2004. "*Candidatus Phytoplasma asteris*", a novel phytoplasma taxon associated with aster yellows and related diseases. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54: 1037-1048.
- Oerke, E.-C. and H.-W. Dehne. 2004. Safeguarding production-losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection* 23: 275-285.
- Oerke, E.-C., H.-W. Dehne, F. Schonbeck, and A. Weber. 1994. Crop production and crop protection: Estimated losses in major food and cash crops. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V.
- Roberts, S.J., S.J. Eden-Green, and D.J. Ambler. 1990. *Pseudomonas syzygii*, sp. nov., the cause of Sumatra disease of cloves. *Int. J. Syst Appl. Microbiol.* 13: 34-43.
- Saglio, P., M. Lhospital, D. Lafliche, G. Dupont, J.M. Bové, J.G. Tully, and E.A. Freundt. 1973. *Spiroplasma citri* gen. and sp.n.: a mycoplasma-like organism associated with "stubborn" disease of citrus. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 23: 191-204.
- Saillard, C., J.C. Vignault, J.M. Bové, A. Raie, J.G. Tully, D.L. Williamson, A. Fos, M. Garnier, A. Gadeau, P. Carle, and R.F. Whitcomb. 1987. *Spiroplasma phoeniceum* sp. nov., a new plant-pathogenic species from Syria. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 37: 106-115.
- Schuiling, M., D.A. Kaiza, and A. Mpunami. 1992. Lethal disease of coconut palm in Tanzania. II. Histoty, distribution and epidemiology. *Oleagineux* 47: 516-522.
- Smith, I.M., D.G. McNamara, P.R. Scott, and M. Holderness eds. 1996. Quarantine pests for Europe, 2nd Edition. Wallingford, UK., CABINTERNATIONAL.
- Vaneechoutte, M., P. Kampfer, T. De Baere, E. Falsen, and G. Verschraegen. 2004. *Wautersia* gen. nov., a novel genus accommodating the phylogenetic lineage including *Ralstonia eutropha* and related species, and proposal of *Ralstonia* [*Pseudomonas*] *syzygii* (Roberts *et al.* 1990) comb. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54: 317-327.
- Wells, J.M., B.C. Raju, H.-Y. Hung, W.G. Weisberg, and L. Mandelco-Paul. 1987. *Xylella fastidiosa* new-genus-species Gram-negative xylem-limited fastidious plant bacteria related to *Xanthomonas* spp. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 37: 136-143.
- Whitcomb, R.F., T.A. Chen, D.L. Williamson, C. Liao, J.G. Tully, J.M. Bove, C. Mouches, D.L. Rose, M.E. Coam, and T.B. Clark. 1986. *Spiroplasma kunkelii* sp. nov., characterization of the etiological agent of corn stunt disease. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 36: 170-178.
- Wongkaew, P., Y. Hanboonsong, P. Sirithorn, C. Choosai, S. Boonkrong, T. Tinnangwattana, R. Kitchareonpanya, and S. Damak. 1997. Differentiation of phytoplasma associated with sugarcane and gramineous weed white leaf disease and sugarcane grassy shoot disease by RFLP and sequencing. *Theor. Appl. Genet.* 95 : 660-663.



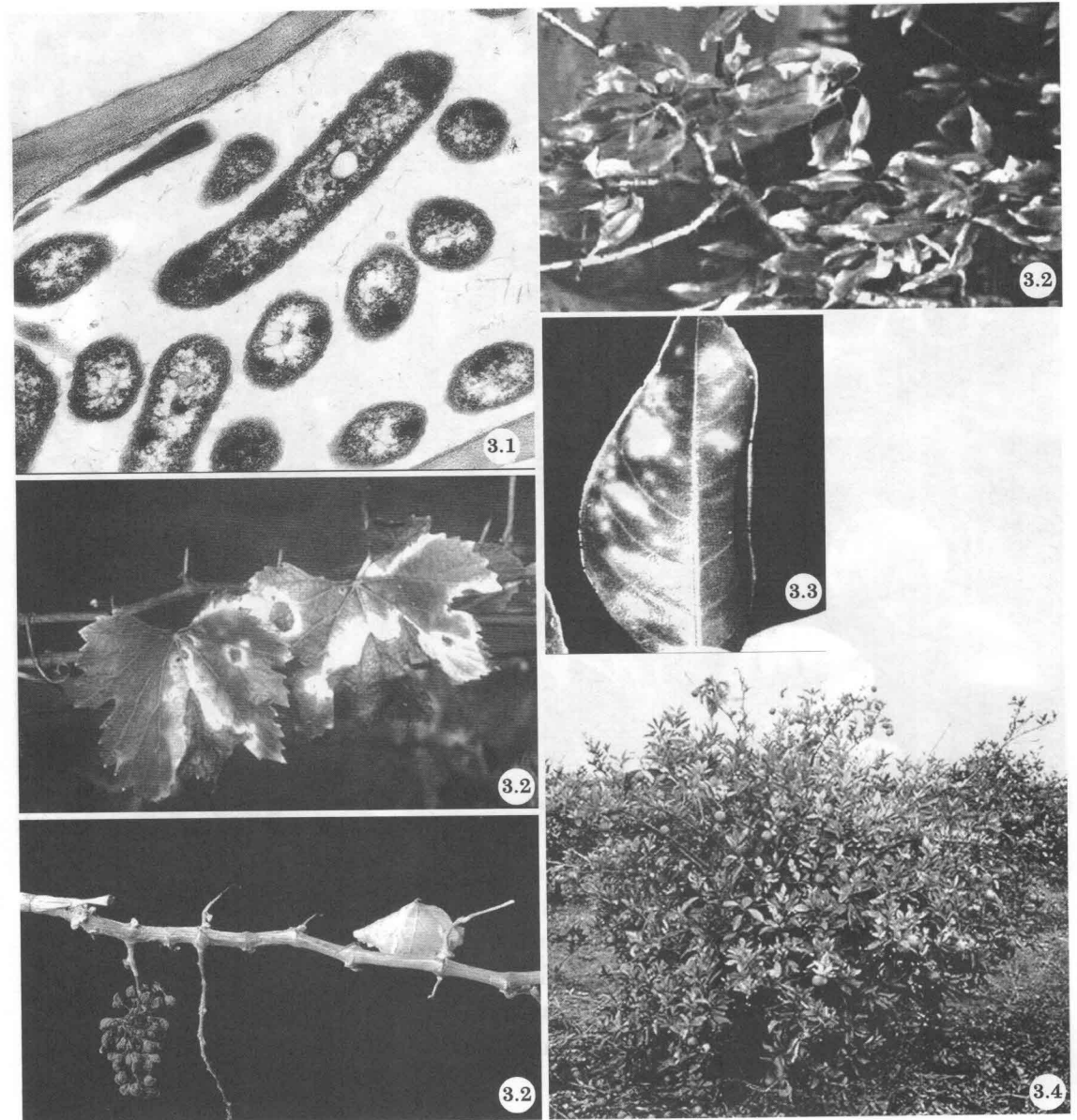
รูปที่ 1 ตัวอย่างโรคที่สำคัญของพืชอันมีสาเหตุจากเชื้อไฟโตพลาสมา (*Candidatus Phytoplasma* spp.)

- 1.1 อาการโรคใบขาวของอ้อย (sugarcane white leaf disease)
- 1.2 การระบาดของโรคใบขาวในไร่อ้อยเขตจังหวัดอุดรธานี
- 1.3 เชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวอ้อยในท่อลำเลียงอาหารของอ้อย เมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
- 1.4 เพลี้ยจักจั่น *Matsumuratettix hiroglyphicus* ที่เป็นแมลงพาหะนำเชื้อโรคใบขาวของอ้อย
- 1.5 โรคห้วนก้านของงา (sesame phyllody)
- 1.6 โรคกะหรี่ปริศหรือแตกพุ่มแฉะของลำไย (longan witches'-broom)
- 1.7 โรคเหลืองของแอสเตอร์ (aster yellows)
- 1.8 โรคเหลืองโทรมของมะพร้าว (coconut lethal yellows)

(รูปที่ 1.1-1.7 โดย พรทิพย์ วงศ์แก้ว มหาวิทยาลัยขอนแก่น, รูปที่ 1.8 โดย D.Mariau, CIRAD-CP, France)



รูปที่ 2 โรคกรีนนิ่งหรือใบเหลืองต้นโพรมของพืชตระกูลส้ม
 2.1 เชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคกรีนนิ่ง *Candidatus Liberobacter asiaticum* ในท่อลำเลียงอาหารของส้ม
 เมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
 2.2 ส้มโอเป็นโรคกรีนนิ่ง มีอาการใบเหลืองขณะที่บริเวณเส้นใบยังคงมีสีเขียว
 2.3 มะนาวเป็นโรคกรีนนิ่งอย่างรุนแรงจนต้นโพรม
 (รูปที่ 2.1 โดย ไมตรี พรหมมินทร์ กรมวิชาการเกษตร รูปที่ 2.2-2.3 โดย พรทิพย์ วงศ์แก้ว มหาวิทยาลัยขอนแก่น)



รูปที่ 3 ตัวอย่างโรคสำคัญที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xylella fastidiosa* ที่จำกัดในท่อลำเลียงน้ำของพืช

3.1 เชื้อแบคทีเรีย *Xylella fastidiosa* ในท่อลำเลียงน้ำของพืชเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

3.2 อาการโรคขอบใบไหม้ลาม(pierce disease)ขององุ่นที่ใบ กิ่ง และผล

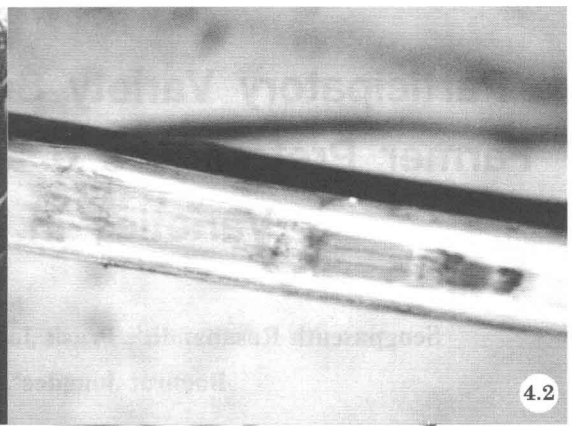
3.3 โรคใบเลอะเหลืองของส้ม(citrus variegated chlorosis)

3.4 โรคขอบใบไหม้เกรียมของอัลมอนด์(almond scorch)

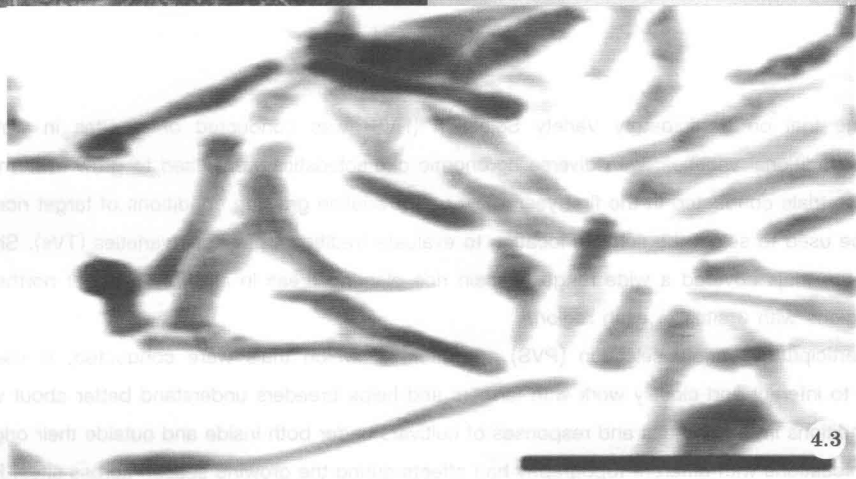
(รูปที่ 3.1 และ 3.3 โดย M.J.G. Beretta; รูปที่ 3.2 และ 3.4 โดย J. Clark and A.H. Purcell, University of California, USA)



4.1



4.2



4.3

รูปที่ 4 โรคตอแกระแกรนของอ้อย (sugarcane ratoon stunt)

4.1 อาการโรคตอแกระแกรน (ซ้าย) เมื่อเปรียบเทียบกับกอปกติ(ขวา)ในไร่อ้อย

4.2 รอยขีดและจุดสีแดงที่บริเวณข้ออ้อยเมื่อผ่าลำอ้อยเป็นโรคตามแนวยาว

4.3 เชื้อแบคทีเรีย *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* ในท่อลำเลียงน้ำของพืชเมื่อตรวจด้วยกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(รูปที่ 4.1 และ 4.3 โดย Cooperative Research Center for Tropical Plant Protection, Australia;

รูปที่ 4.2 โดย พรทิพย์ วงศ์แก้ว มหาวิทยาลัยขอนแก่น)