# บทที่ 14
# โรคพืชที่เกิดจากไวรัส
## (Virus Diseases of Plant)

ไวรัสจัดเป็นจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งที่ทำให้พืชเกิดโรคขึ้นอย่างกว้างขวาง ทั้งพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ วัชชพืชและไม้ยืนต้น โดยทำให้พืชเกิดเสียหายทางราก ลำต้น ใบ ดอก และผล ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้น้อยลง คุณภาพต่ำกว่าปกติ จึงไม่เป็นที่ต้องการของตลาด เกิดความสูญเสียทั้งทางด้านการป้องกันกำจัดโรค และด้านราคา ด้วยสาเหตุนี้มนุษย์จึงได้พยายามศึกษาหารายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติของไวรัส พืชอาศัย ความสัมพันธ์ระหว่างไวรัสและพืชอาศัยต่อการเกิดโรค การระบาดของโรค อันจะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมและป้องกันโรคอย่างได้ผลต่อไป

ระยะก่อนปี ค.ศ. 1900 Mayer, Iwanoski และ Benjerink ได้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโรคใบด่างของยาสูบ โดย Mayer เรียกอาการใบด่างว่า โมเสค (mosaic) และ Benjerink พยายามอธิบายถึงสาเหตุของโรคนี้ และเรียกสาเหตุของโรคว่า **ไวรัส**

ปี ค.ศ. 1935-1936 Stanley และ Bawden สามารถศึกษาถึงองค์ประกอบของอนุภาคไวรัสว่าประกอบไปด้วยโปรตีน และกรดนิวคลีอิคตามลำดับ

ปี ค.ศ. 1939 Kausche และคณะได้ใช้กล้องจุลทัศน์อีเล็คตรอนตรวจดูอนุภาคของไวรัสใบด่างของยาสูบพบว่าเป็นรูปท่อนตรง

ปี ค.ศ. 1949 Markham และ Smith ได้ศึกษาสมบัติของไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างเหลืองของเทอนิพ (turnip) พบว่าเฉพาะกรดนิวคลีอิคเท่านั้นที่ทำให้เกิดโรคได้

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950-1960 กรดนิวคลีอิคที่พบบนส่วนประกอบของอนุภาคไวรัส และเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคขึ้นนั้นเป็นชนิด อาร์ เอ็น เอ แบบเส้นเดี่ยว (single strand)

ในปี ค.ศ. 1963 Black และ Markham พบว่าไวรัสที่ทำให้เกิดอาการปุ่มปมของพืช (wound tumor virus) มีกรดนิวคลีอิคเป็นชนิด อาร์ เอ็น เอ แบบเส้นคู่ (double strands)

ในปี 1968 Shephard พบว่า ไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างของพืชตระกูลกะหล่ำ (cauliflower mosaic virus) มีกรดนิวคลีอิคชนิด ดี เอ็น เอ แบบเส้นคู่

จากปี ค.ศ. 1970 - ปัจจุบัน งานการค้นคว้าส่วนใหญ่เน้นหนักไปในด้านโปรตีน และกรด

นิวคลีอิค ผลจากการศึกษาทำให้เข้าใจถึงหน้าที่ และกลไกในการทำงานขององค์ประกอบเหล่านี้ได้ดีขึ้น ตลอดจนการนำเทคนิคใหม่ ๆ มาใช้งานด้านการตรวจโรคพืชที่เกิดจากไวรัส เพื่อการควบคุมโรคที่ได้ผลต่อไป เช่น ในปี ค.ศ. 1976 Voller ได้นำเทคนิคใหม่ทางเซรุ่มวิทยาที่ใช้ทดสอบไวรัสโดยให้ชื่อว่า ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบไวรัสที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีธรรมดา

1. **สมบัติของไวรัสพืช** (Characteristic of Plant Virus)

ไวรัสสาเหตุโรคพืชมีความแตกต่างกับเชื้อโรคพืชอื่น ๆ อยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นในด้านขนาดรูปร่าง และองค์ประกอบทางเคมี ตลอดจนสมบัติทางกายภาพ (physical properties) วิธีการเข้าทำลายพืช การเพิ่มปริมาณ การเคลื่อนย้ายภายในเซลพืช การแพร่ระบาดและลักษณะอาการบนพืช เนื่องจากมีขนาดเล็กและโปร่งแสง จึงไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยวิธีการธรรมดาเหมือนจุลินทรีย์ชนิดอื่น และไวรัสไม่มีลักษณะเป็นเซลเหมือนกับสิ่งมีชีวิตอื่น

1.1 **การตรวจสอบพืชที่เป็นโรคไวรัส** (Detection) อาการที่พืชแสดงออกเมื่อมีเชื้อโรคไวรัสนั้น อาจคล้ายคลึงกับอาการผ่าเหล่า ขาดแร่ธาตุอาหาร เป็นพิษเนื่องจากถูกสารเคมี จากแมลง และอาการจากเชื้อโรคอื่น ๆ ซึ่งตามปรกติไวรัสไม่สามารถจะตรวจดูด้วยกล้องจุลทัศน์ธรรมดาได้ ถึงแม้ว่าไวรัสสาเหตุโรคพืชบางชนิดจะสร้างผลึกอยู่ในเซลพืชที่ถูกทำลายก็ตาม ไวรัสสามารถตรวจดูด้วยกล้องจุลทัศน์ชนิดอีเล็คตรอน แต่ถ้านำมาตรวจดูจากเซลที่ได้ผ่าตัดจากเนื้อเยื่อที่เป็นโรค หรือน้ำคั้น (sap) ของพืชที่เป็นโรคโดยตรงแล้ว ไม่แน่เสมอไปว่าจะพบอนุภาคของไวรัสหรือไม่ ดังนั้น **การตรวจโรคพืชที่เกิดจากไวรัส** จึงจำเป็นต้องนำพืชที่เป็นโรคมาปลูกเชื้อด้วยวิธีการถ่ายทอดโรคไปยังพืชปรกติ ด้วยวิธีการติดตา ต่อกิ่ง หรือการนำน้ำคั้นไปทาลงบนพืชปรกติโดยตรง (sap transmission) หรืออาจใช้วิธีการเฉพาะเช่นใช้กาฝาก และแมลงพาหะ เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดโรคไวรัสไปยังพืชปรกติ **อย่างไรก็ดีวิธีการดังกล่าวไม่สามารถที่จะด่วนสรุปได้ว่าอาการของพืชที่พบนั้น เกิดจากไวรัสได้เสมอไป** ทั้งนี้เนื่องจากโรคพืชที่เกิดจากมายโคพลาสมาหรือริกเก็ตเซีย ก็สามารถถ่ายทอดโรคได้ด้วยวิธีนี้เช่นเดียวกัน เฉพาะการถ่ายทอดโรคผ่านน้ำคั้นเท่านั้นที่จะสรุปได้ว่าเป็นไวรัส การที่จะสรุปได้ว่าอาการของพืชที่สงสัยจะเกิดจากสาเหตุไวรัสหรือไม่ จึงจำเป็นต้องนำพืชปรกติที่ถูกทำให้เกิดโรคขึ้นมาแยกเชื้อให้ได้บริสุทธิ์ และนำไปตรวจดูหาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทัศน์ชนิดอีเล็คตรอนต่อไป

1.2 **สัณฐานวิทยาของไวรัส** (Morphology) โครงสร้างและสัณฐานวิทยาของไวรัสสาเหตุโรคพืชค่อนข้างจะเป็นแบบง่าย ไม่ยุ่งยากและซับซ้อนเหมือนกับไวรัสสาเหตุของโรคบนสิ่งมี

ชีวิตอื่น แต่ละอนุภาคของไวรัสพืชประกอบไปด้วยสารประเภทนิวคลีโอโปรตีน ซึ่งมีโปรตีนทำหน้าที่หุ้มกรดนิวคลีอิคไว้ รูปร่างโดยทั่วไปของไวรัสสาเหตุโรคพืชมีดังนี้คือ

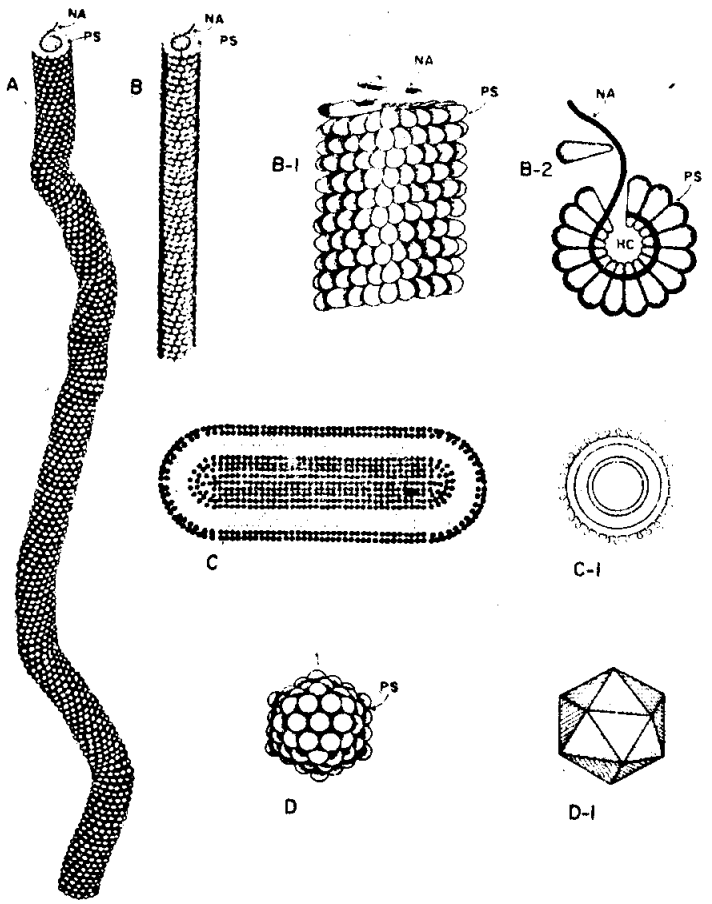
1.2.1 **ไวรัสรูปท่อน** (elongated particle, rod shaped particle) แบ่งออกได้ 3 แบบ คือ

ก. **ท่อนตรงสั้น** (stiff rod, rigid rod) ไวรัสในกลุ่มนี้มีอยู่น้อยชนิด มีขนาดความกว้างประมาณ 15-20 nm และยาวประมาณ 130-300 nm ที่รู้จักกันแพร่หลายที่สุดได้แก่ ไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างบนยาสูบ TMV (Tobacco mosaic virus) ไวรัสที่ทำให้ใบยาสูบเรียวเล็ก TRV (Tobacco rattle virus) และไวรัสที่ทำให้ข้าวบาร์เล่ย์เกิดอาการด่างเป็นปื้น BSMV (Barley stripe mosaic virus) ไวรัสทั้ง 3 ชนิดนี้มีช่องว่างตรงกลาง (central hole) กว้าง และเห็นได้ชัดเจนเมื่อย้อมสีแบบ negative stain และตรวจดูด้วยกล้องจุลทัศน์อีเล็คตรอน

ข. **ท่อนยาวคด** (flexible rod, flexuous rod) ไวรัสในกลุ่มนี้มีความกว้างน้อยกว่ากลุ่ม ก. แต่มีขนาดความยาวมากกว่า โดยทั่วไปมีความกว้างประมาณ 10-13 nm และยาวประมาณ 480-2000 nm เช่นกลุ่มของไวรัสเอ็กซ์ของมันฝรั่ง (Potato virus X) ไวรัส วาย ของมันฝรั่ง (Potato virus Y) ไวรัส เอส ของมันฝรั่ง (Potato virus S) และไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างเหลืองบนหัวบีท (Beet yellow mosaic virus)

ค. **ท่อนสั้นกว้าง** (bacilliform) ไวรัสพวกที่มีลักษณะเป็นท่อนสั้นกว้างจะมีความยาวเป็น 3-5 เท่าของขนาดความยาว โดยทั่วไปจะมีความกว้างประมาณ 18-90 nm และมีความยาวประมาณ 58-240 nm รูปร่างของไวรัสกลุ่มนี้สลับซับซ้อนกว่ากลุ่มอื่น กล่าวคือมีเยื่อเซลห่อหุ้มอยู่ภายนอกโดยมีรูปแบบต่าง ๆ กัน ทำให้มีลักษณะใกล้เคียงกับไวรัสสัตว์มากกว่าไวรัสพืชกลุ่มอื่น ๆ เช่นไวรัสที่ทำให้มันฝรั่งเกิดอาการเหลืองแคระ (Potato yellow dwarf virus) อาการจุดตายเหลืองของเลทตัส (Lettuce necrotic yellow virus) และไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างบนข้าวโพด (Maize mosaic virus)

1.2.2 **ไวรัสรูปทรงกลม** (Isometric, Icosahedral, Spherical) ไวรัสที่มีรูปร่างแบบรูปกลมนี้ อันที่จริงมีลักษณะเป็นทรงกลมหลายเหลี่ยม คือผิวนอกประกอบด้วยโครงสร้างสามเหลี่ยมเล็ก ๆ หลายอันมาประกอบเป็นทรงกลม จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 17-120 nm เช่นไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างบนพืชตระกูลแตง (Cucumber mosaic virus) อาการใบม้วนบนยาสูบ (Tobacco leaf curl virus) คลอโรติค มอลเติล (Chlorotic moltle virus) และอาการแผลปม (wound tumor virus)




ภาพที่ 14-1 ภาพโครงสร้างขนาดรูปร่างของไวรัสสาเหตุโรคพืชชนิดต่าง ๆ A = flexuous rod B = stiff rod B-I = การเรียงตัวของหน่วยย่อยจากองค์ประกอบโปรตีน B-2 = ภาพตัดตามขวางแสดงการเรียงตัวของหน่วยย่อยองค์ประกอบโปรตีน HC = hollow core C = bacilli form C-1 = ภาพตัดตามขวางของไวรัส C D = polyhedral form D-1 = แสดงองค์ประกอบของหน่วยย่อยโปรตีน 20 หน่วย บนไวรัสรูปกลม

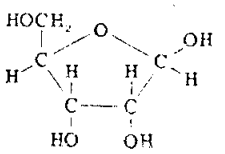
(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology p.553)

1.3 **ส่วนประกอบและโครงสร้าง** (Composition and Structure) ไวรัสพืชแต่ละชนิดจะต้องประกอบไปด้วยกรดนิวคลีอิคกับโปรตีน แต่มีไวรัสบางชนิดที่มีส่วนประกอบทางเคมีมากกว่านี้ คือนอกจากกรดนิวคลีอิคกับโปรตีนแล้ว ยังมีสารโพลีอะมีน (polyamine) และไลปิด (lipid) หรือสเปซิฟิคเอนไซม์ (specific enzyme) อัตราส่วนระหว่างกรดนิวคลีอิคกับโปรตีน ผันแปรตามชนิดของไวรัสกรดนิวคลีอิคมีประมาณ 5-40 เปอร์เซนต์ และโปรตีน 60-95 เปอร์เซนต์ ไวรัสพืชที่มีกรดนิวคลีอิคลำดับต่ำ และโปรตีนลำดับสูง พบบนพวกที่มี รูปร่างเป็นแบบรูปท่อน ส่วนไวรัสที่มีกรดนิวคลีอิคระดับสูง และโปรตีนลำดับต่ำพบกับกลุ่มที่มีรูปร่างเป็นรูปทรงกลม น้ำหนักโมเลกุลของสารนิวคลีโอโปรตีนทั้งหมดของไวรัสต่างชนิดกันจะผันแปรกันไปตามขนาดและรูปร่าง กล่าวคือ ไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างของหญ้าบรูม (Brome grass mosaic virus) จะมีน้ำหนักของนิวคลีโอโปรตีนเป็น 4.6 ล้านหน่วยโมเลกุล ในขณะที่ไวรัสใบด่างของยาสูบ มีน้ำหนัก 39 ล้านหน่วยโมเลกุล และไวรัสที่ทำให้ใบยาสูบเรียวเล็กมีน้ำหนัก 73 ล้านหน่วยโมเลกุล เฉพาะน้ำหนักของกรดนิวคลีอิคอย่างเดียวอยู่ระหว่าง 1-3 $\times 10^6$ โมเลกุล ซึ่งเมื่อเทียบกับของมายโคพลาสมา 0.5 $\times 10^9$ และสไปโรพลาสมา จะเป็น 1 $\times 10^9$ โมเลกุล

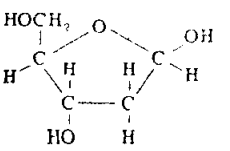
1.3.1 **องค์ประกอบและโครงสร้างโปรตีน** (Composition and Structure of Viral Protein) โปรตีนของไวรัสพืชถูกควบคุมด้วยสารทางพันธุกรรมคือ ดี เอ็น เอ และ อาร์ เอ็น เอ เป็นสิ่งกำหนดสมบัติ และโครงสร้างทางธรรมชาติ ไวรัสชนิดเดียวกันย่อมมีส่วนประกอบของโปรตีนที่มีการเรียงลำดับขั้นของหน่วยย่อยคือ กรดอมิโนต่าง ๆ เหมือนกัน และแตกต่างกันบ้างเมื่อสายพันธุ์ผิดไป ความรู้เรื่องการบรรจุกรดอมิโนในลำดับย่อยเป็นโปรตีนได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางบนไวรัสพืช ปัจจุบันเป็นที่ทราบแน่ชัดว่าไวรัสใบด่างของยาสูบมีกรดอมิโนประกอบเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน 158 หน่วย และไวรัสที่ทำให้เทอร์นิพแสดงอาการด่างเหลือง TYMV (Turnip yellow mosaic virus) มีกรดอมิโนประกอบเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน 189 หน่วย บนอนุภาคของไวรัสใบด่างของยาสูบจะมีการเรียงตัวจากกรดอมิโนทั้ง 158 หน่วยย่อยลักษณะเป็นเกลียว (helix) ล้อมรอบกรดนิวคลีอิค จึงทำให้ช่องว่างตรงกลาง ของอนุภาคไวรัสมีขนาดตั้งแต่ 40-180 แองสตรอม (A°) แต่ละเกลียวจะบรรจุหน่วยย่อยของโปรตีนประมาณ 16½ หน่วยย่อย และมีทั้งหมด 130 เกลียว

1.3.2 **องค์ประกอบของกรดนิวคลีอิค** (Composition and Structure of Viral Nucleic acid) กรดนิวคลีอิคของไวรัสสาเหตุโรคพืชมักเป็นชนิด อาร์ เอ็น เอ จนถึงปัจจุบันนี้พบว่ามีไวรัสสาเหตุโรคพืชอยู่ 3 ชนิดคือ ไวรัสอาการด่างของพืชตระกูลกระหล่ำ (cauliflower mosaic) ไวรัสอาการด่างของพืชดาห์เลีย (dahlia mosaic) และไวรัสอาการของใบไหม้เป็นรูปวงแหวนของพืช

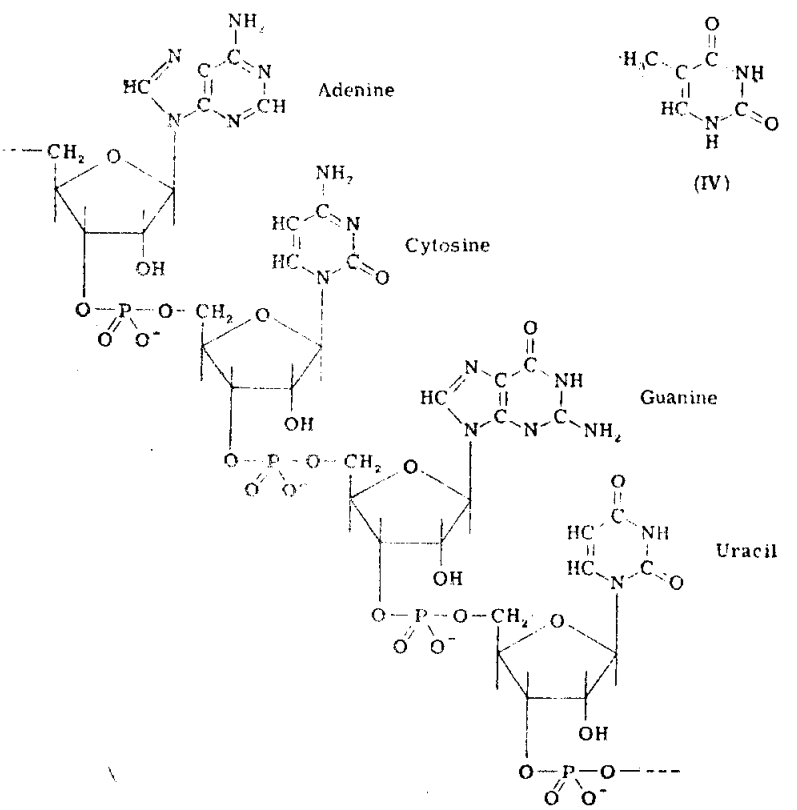
คาร์เนชัน (carnation etched ring) ที่มีกรดนิวคลีอิคเป็นสาร ดี เอ็น เอ องค์ประกอบของกรดนิวคลีอิค ทั้ง อาร์ เอ็น เอ และ ดี เอ็น เอ มีลักษณะเป็นเส้นยาวชนิดนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) หลายพันเส้นมาต่อกัน ซึ่งในเส้นสายของนิวคลีโอไทด์นี้ประกอบด้วย สารที่มีลักษณะเป็นรูปวงแหวนเรียกว่า เบส (Base) ต่อกับน้ำตาลที่มีจำนวนคาร์บอน 5 โมเลกุลต่อกับกรดฟอสฟอริค เบสที่พบมีอยู่ 2 ชนิดคือ พิวรินเบส (purines) ได้แก่ อดีนิน (adenine) และกัวนิน (guanine) กับ พายริมิดินเบส (pyrimidines) ได้แก่ ซายโตสิน (cytosine) และยูราซิล (uracil) ส่วนน้ำตาลที่มีจำนวนคาร์บอน




(I)




(II)




(III)



(IV)

ภาพที่ 14-2 I = Ribose sugar II = Deoxy Ribose III = nucleotide IV = Thymine

(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology 555p.)

5 โมเลกุล มีอยู่ 2 ชนิดคือ น้ำตาลไรโบส และดีออกซี่ไรโบส

สำหรับไวรัสสาเหตุโรคพืชที่มีกรดนิวคลีอิคเป็นสาร อาร์เอ็น เอ องค์ประกอบของนิวคลีโอไทด์ประกอบไปด้วยเบส 4 โมเลกุล คือ อดีนิน กัวนิน ซายโตสิน และยูราซิล โดยที่เบสแต่ละโมเลกุลต่อกับน้ำตาล ไรโบส และกรดฟอสฟอริค เป็นหนึ่งนิวคลีโอไทด์ ในนิวคลีโอไทด์ แต่ละเส้นเชื่อมต่อกันระหว่างกรดฟอสฟอริคกับน้ำตาลไรโบส ณ. ตำแหน่งของคาร์บอนอะตอมที่ 5 ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับไวรัสสาเหตุโรคพืชที่มีกรดนิวคลีอิคเป็นสาร ดี เอ็น เอ ไวรัสกลุ่มนี้มีรายละเอียดแตกต่างจากกลุ่มที่มีกรดนิวคลีอิคเป็นสาร อาร์ เอ็น เอ อยู่บ้าง กล่าวคือ ในตำแหน่งของพายริมิดินเบส คือ ยูราซิลจะถูกแทนที่ด้วยเมทธิล (methyl) ยูราซิลที่เรียกว่า ทายมิน (thymine) และน้ำตาลไรโบสในตำแหน่งคาร์บอนอะตอมที่ 2 ออกซิเจนขาดหายไปหนึ่งอะตอม (ดูสูตรโครงสร้างประกอบจากภาพที่ 14-2)

โดยทั่วไปไวรัสสาเหตุโรคพืชพืชที่มีกรดนิวคลีอิคเป็นชนิด อาร์ เอ็น เอ นี้มักมีเส้นสายชนิดเดี่ยว ยกเว้นไวรัสที่ทำให้เกิดอาการแผลเป็นปุ่มปม (wound tumor virus) เท่านั้น ที่มี อาร์ เอ็น เอ ชนิดเส้นคู่ (double strands) ส่วนไวรัสสาเหตุโรคพืชที่มีกรดนิวคลีอิคเป็นชนิด ดี เอ็น เอ เป็นองค์ประกอบพบได้ทั้งชนิดเส้นเดี่ยว เช่น ไวรัสที่ทำให้เกิดอาการด่างเหลืองทองของถั่วบีน (Bean golden yellow mosaic virus) และเส้นคู่เช่น ไวรัสใบด่างของพืชตระกูลกะหล่ำ เป็นต้น

1.4 **การเข้าทำลายและการเพิ่มปริมาณ** (Infection and Multiplication) ปัจจุบันมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน เชื่อว่าไวรัสเป็นสิ่งที่มีชีวิต เนื่องจากไวรัสมีสมบัติหลายประการที่ใกล้เข้าไปทางสิ่งที่มีชีวิตมากกว่าสิ่งไม่มีชีวิต เพราะไวรัสสามารถนำเอาพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่มาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ จากความสามารถนี้จึงทำให้ไวรัสเพิ่มจำนวนนิวคลีโอโปรตีน ในเซลของสิ่งมีชีวิตมากขึ้น และไวรัสยังสามารถอาศัยอยู่ในเซลของสิ่งมีชีวิตเป็นแบบปรสิตถาวร โดยทำให้เกิดโรคกับพืชและสัตว์ ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะไวรัสที่เป็นสาเหตุในทางที่ทำให้เกิดโรคกับพืชเท่านั้น ไวรัสสาเหตุโรคพืชมีช่องทางเข้าสู่เซลพืชโดยอาศัยแผลแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ สัตว์ และพืชชั้นต่ำบางชนิด เช่นเชื้อราเป็นสาเหตุ เมื่อไวรัสผ่านเข้าไปในเซลพืชได้แล้ว ก็จะมีอิทธิพลต่อขบวนการทางชีวเคมีของเซล เช่น ขบวนการหายใจ ขบวนการแสงสังเคราะห์ และอื่น ๆ ให้ผิดไปจากปรกติ ขั้นตอนการเข้าทำลายของไวรัสสาเหตุโรคพืชต่อพืช กล่าวพอสรุปได้ดังนี้คือ

1.4.1 **ขั้นการเกาะให้ติดเซลพืช** (Initiation process) เป็นขบวนการเริ่มแรกของการ

เข้าทำลายของไวรัสพืช โดยที่ไวรัสพืชพยายามเกาะติดผิวพืชให้ได้ก่อน ในระยะนี้ไวรัสจะถูกปฏิเสธจากพืช และสภาพแวดล้อม กล่าวคือ พืชจะผลิตสารจำพวกขัดขวาง การเข้าทำลายของไวรัส แล้วมีผลให้ประสิทธิภาพการทำลายลดลง ซึ่งอาจจะเป็นสารประเภท ไรโบนิวคลีเอส (Ribonuclease) และอื่น ๆ หรืออาจถูกลดสมบัติที่ทำให้เกิดโรคกับพืชจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ ไวรัสพืช เช่น ไวรัสสาเหตุโรคใบด่างของยาสูบ เมื่อเข้าสู่เซลพืชแล้ว จะแยกออกเป็นสองส่วน คือ โปรตีน และกรดนิวคลีอิค การแยกตัวทั้งสองส่วนนี้จำเป็นต้องอาศัยระยะเวลา ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจจะเกิดขึ้นที่นิวเคลียเมมเบรน (nuclear membrane) หรือ เอนโดพลาสมิค เรติ คูลัม (endo plasmic reticulum) เนื่องจากเมมเบรนดังกล่าวมีสารพวกไลปิด จากนั้นกรดนิวคลีอิคของไวรัส (อาร์ เอ็น เอ หรือ ดี เอ็น เอ) ก็จะเคลื่อนเข้าสู่นิวเคลียส และทำหน้าที่ควบคุมการสร้างกรดนิวคลีอิค และโปรตีนขึ้นเป็นไวรัสอนุภาคใหม่ขึ้นมา

Bawden (1964) กล่าวว่า แสงอัลตราไวโอเล็ต มีประสิทธิภาพในการทำลายไวรัสที่ยังไม่แยกตัวออกได้ดีกว่าที่แยกตัวออกแล้วภายในเซล ทั้งนี้ให้เหตุผลว่า เมื่อไวรัสแยกตัวเป็น อาร์ เอ็น เอ กับโปรตีนแล้ว อาร์ เอ็น เอ จะเป็นตัวทำให้เกิดโรค โดยไปรวมกับองค์ประกอบของเซลอื่น ๆ (organelle) ในเซลพืช ซึ่งองค์ประกอบเหล่านั้นจะทำหน้าที่เป็นเกราะในการป้องกันการเสียสมบัติในการทำให้เกิดโรคของเชื้อสาเหตุ

1.4.2 **การเพิ่มจำนวนกรดนิวคลีอิค** (Nucleic acid Formation) กรดนิวคลีอิคโดยเฉพาะ อาร์ เอ็น เอ ที่สร้างขึ้นใหม่จะถูกสร้างขึ้นในนิวเคลียสของเซล โดยนำเอาส่วนของพิวรินและพายริมิดิน เบส มาจากพืช อาร์ เอ็น เอ ที่เข้าไปครั้งแรกจะเป็นผู้กระตุ้นให้เซลสร้าง เอนไซม์ อาร์ เอ็น เอ โพลี่เมอเรส ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้จะเป็นผู้สร้างสังเคราะห์ อาร์ เอ็น เอ ขึ้นมา และ อาร์ เอ็น เอ ที่สร้างขึ้นมาทำหน้าที่เป็นแบบพิมพ์ในการสร้าง อาร์ เอ็น เอ ที่เหมือนกับ อาร์ เอ็น เอ ของไวรัสเป็นจำนวนมาก อาร์ เอ็น เอ ที่เกิดขึ้นใหม่ส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่สังเคราะห์ตัวเอง และอีกส่วนหนึ่งทำหน้าที่เป็นสารทางกรรมพันธุ์ (genetic code) โดยทำหน้าที่เป็น อาร์ เอ็น เอ ส่งข่าว (messenger RNA) เคลื่อนที่ออกไปจากนิวเคลียส เข้าไปในซายโตพลาสซึมเกาะอยู่ที่ไรโบโซม และทำหน้าที่บังคับการสร้างโปรตีนต่อไป

1.4.3 **การสังเคราะห์โปรตีน** (Protein Synthesis) ยังเป็นที่สงสัยกันว่า การสร้างโปรตีนขึ้นมาหุ้ม อาร์ เอ็น เอ ของไวรัสนั้น จะเกิดที่นิวเคลียสหรือเกิดที่ซายโตพลาสซึมกันแน่ จากผลงานการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ให้ข้อคิดว่า อาจเกิดขึ้นทั้งในนิวเคลียส และซายโตพลาสซึม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไวรัสพืช เช่น ไวรัสสาเหตุอาการด่างของยาสูบ(TMV) การสร้างโปรตีนเกิดขึ้นในซายโตพลาสซัม โดยนำ อาร์ เอ็น เอ ที่เป็นส่วนประกอบของ

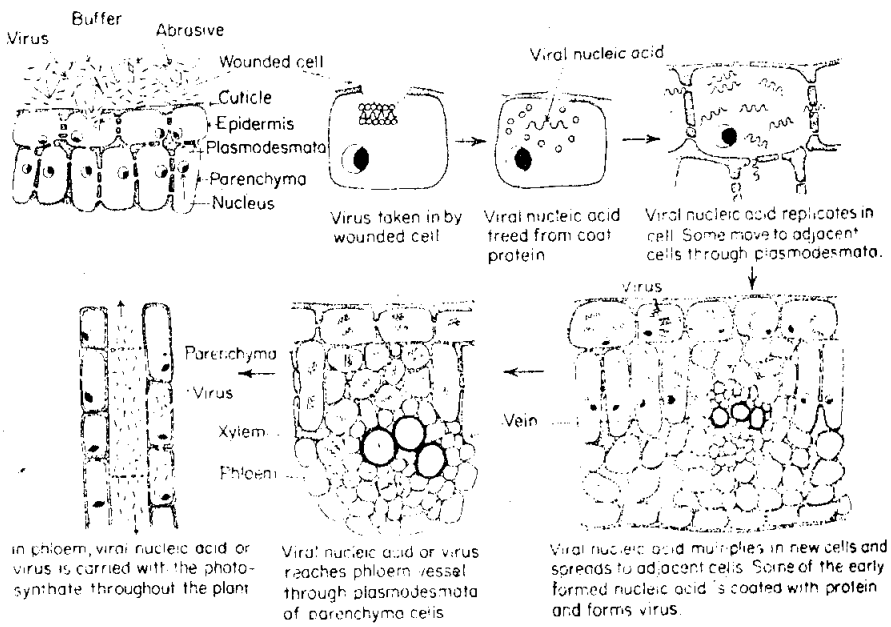
อนุภาคไวรัสจากนิวเคลียสพืชมาเป็น อาร์ เอ็น เอ ผู้ส่งข่าว (messenger- RNA) ทำหน้าที่ส่งรหัสผ่านไปที่ ไรโบโซมของพืช จากนั้น อาร์ เอ็น เอ ขนส่งของพืช จะนำกรดอมิโนที่ว่องไว (active amino acid) และมีความเฉพาะเจาะจงมายังไรโบโซม เป็นไปในทำนองเดียวกันนี้หลาย ๆ ซ้ำให้ อาร์ เอ็น เอ ของไรโบโซม (Ribosomal RNA) ทำหน้าที่เป็นพิธีกรประสานกรดอมิโนแต่ละชนิดเข้าด้วยกันเป็นเส้นสายของโปรตีนไวรัสตามต้องการ

1.4.4 **การรวมตัวของกรดนิวคลีอิคและโปรตีน เป็นอนุภาคไวรัสที่สมบูรณ์** (Virus assembly) จากข้อขัดแย้งของนักวิทยาศาสตร์ 2 กลุ่มว่าส่วนของโปรตีนไวรัส จะสร้างขึ้น ณ. บริเวณใดของเซล จึงมีผลต่อการรวมตัวกันระหว่าง อาร์ เอ็น เอ และโปรตีนที่จะเกิดเป็นอนุภาคไวรัสนั้นสับสนไม่แน่ใจว่าเกิดในตำแหน่งใด Reddi (1972) เป็นผู้หนึ่งที่ได้สนับสนุนตั้งแต่เริ่มแรกว่า อาร์ เอ็น เอ และโปรตีนนั้นถูกสร้างขึ้นในนิวเคลียส และการรวมกันระหว่าง อาร์ เอ็น เอ และโปรตีนนั้นถูกสร้างขึ้นในนิวเคลียส และการรวมกันระหว่าง อาร์ เอ็น เอ และโปรตีน เป็นแบบ non-covalent bond ได้เป็นอนุภาคไวรัสเมื่อมีจำนวนมากก็จะเคลื่อนออกมายังซายโตพลาสซึม

Schlegal, Smith และ Zocten (1967) ได้เสนอแนะว่าการสร้างอาร์ เอ็น เอ และโปรตีน ของไวรัสนั้นเกิดได้ทั้งในนิวเคลียส และซายโตพลาสซึม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไวรัส ไวรัสรูปร่างยาว เช่น ไวรัสใบด่างของยาสูบ ไวรัสใบด่างของกล้วยไม้ซิมบิเดียม (Cymbidium mosaic virus) จะเกิดในนิวเคลียส ดังนั้นการรวมตัวกันระหว่าง อาร์ เอ็น เอ และโปรตีน จึงควรจะเป็นที่นิวเคลียสด้วย เมื่อรวมตัวกันเป็นอนุภาคไวรัสได้เป็นจำนวนมากแล้ว จึงเคลื่อนย้ายออกมายังซายโตพลาสซึม แต่วิธีการเคลื่อนย้ายนั้นยังไม่มีผู้ใดยืนยันว่าเป็นประการใด ส่วนไวรัสรูปกลม เช่น ไวรัสใบม้วนของถั่ว (Broad bean mottle virus) ไวรัสใบจุดและเหี่ยวของมะเขือเทศ (Tomato spotted wilt virus) และไวรัสใบจุดเป็นรูปวงแหวน (Tomato ring spot virus) อาร์ เอ็น เอ จะถูกสร้างที่นิวเคลียส และโปรตีนถูกสร้างที่ซายโตพลาสซึม อาร์ เอ็น เอ จะถูกเคลื่อนย้ายให้มารวมกับโปรตีนเป็นอนุภาคไวรัสที่ซายโตพลาสซึม

1.5 **การเคลื่อนย้ายไวรัสในพืช** (Translocation and Distribution of Viruses in Plant) เมื่อไวรัสได้ผ่านเข้าไปในเซลทางบาดแผล และแยกตัวออกได้เป็นกรดนิวคลีอิค และโปรตีนแล้ว กรดนิวคลีอิคของไวรัสจะถูกสังเคราะห์ขึ้นเป็นจำนวนมากที่นิวเคลียส และเคลื่อนย้ายออกสู่ซายโตพลาสซึม กรดนิวคลีอิคบางส่วนจะเคลื่อนต่อไปยังเซลใกล้เคียงผ่านทางพลาสโมเดสมาตา (plasmodesmata) พร้อมกับเพิ่มจำนวนให้มากขึ้น และสร้างเป็นอนุภาคไวรัสที่สมบูรณ์ แล้วเคลื่อนย้ายกรดนิวคลีอิคหรืออนุภาคไวรัสไปยังเซลข้างเคียงต่อไปได้อีกจากเซลหนึ่งสู่อีกเซลหนึ่ง ประมาณได้ว่า มีระยะทาง 1 มิลลิเมตรต่อวัน หรือ 8-10 เซลต่อวัน จนกระทั่งอนุภาคไวรัส หรือกรดนิวคลีอิค

ผ่านไปถึงท่อน้ำบริเวณ sieve tube ระยะนี้ไวรัสจะเคลื่อนที่ได้เร็วมากคือประมาณ 15 เซนติเมตร ในช่วง 6 นาทีแรก ไวรัสโดยทั่วไปต้องการระยะเวลา 2-5 วันที่จะเคลื่อนออกจากจุดที่ปลูกเชื้อโดย เคลื่อนที่ผ่านไปยังจุดเจริญ หรือแหล่งสะสมอาหารเช่น หัว และเหง้าพืช




ภาพที่ 14-3 แสดงการปลูกเชื้อไวรัสและการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสทั่วตลอดต้นพืช
(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology p.560)

2. **อาการของพืชที่เป็นโรคไวรัส** (Symptoms) อาการทางโรคของพืช เนื่องจากไวรัสเป็นสาเหตุจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ

2.1 อาการที่ตรวจเห็นได้ด้วยตา (Macroscopic symtom)

2.2 อาการที่ตรวจพบได้ด้วยกล้องจุลทัศน์ (Microscopic symptom)

2.1 **อาการที่ตรวจเห็นได้ด้วยตา** เป็นอาการของโรคไวรัสที่แสดงออกทางลักษณะ สี รูปร่าง และสัณฐานที่ผิดไปจากปรกติของพืช อาจเกิดเฉพาะแห่ง หรือเกิดทั่วตลอดต้นพืช

2.1.1 **อาการเฉพาะแห่ง** Local symptom) เกิดได้เนื่องจาก คุณลักษณะของพืชที่เกิดขึ้นต่อต้านจุดการเข้าทำลายของเชื้อไวรัส แบบมีความว่องไวมากเกินจำเป็น (hypersensitivity) แล้วทำให้เซลบริเวณรอบ ๆ จุดที่ไวรัสเข้าทำลาย เกิดตายล้อมรอบอนุภาคไวรัสไว้ มิให้เพิ่มจำ

นวน และแพร่กระจายไปยังเซลข้างเคียง อาการตายเช่นนี้มักทำให้พืชมีจุดเหลือง หรือเป็นจุดสีน้ำตาล พบได้ง่ายบนส่วนใบของพืช

2.1.2 **อาการทั่วตลอดต้นพืช** (Systemic symptom) หมายถึงอาการของโรคพืช ปรากฏขึ้นบนทุกส่วนของพืช ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอนุภาคไวรัสจากแผลที่เชื้อเข้าทำลายผ่านเซลข้างเคียง แล้วเข้าสู่เซลท่อน้ำท่ออาหารไปยังจุดเจริญใหม่เช่น ยอดอ่อน ใบอ่อน และอวัยวะที่สะสมอาหาร เช่น เง่า และหัวพืชเป็นต้น อาการที่เกิดขึ้นจากการแพร่กระจายทั่วตลอดต้นพืชนี้ แบ่งออกได้หลายแบบ โดยอาศัยหลักการที่ต่างกันออกไป เช่น จำแนกตามชนิดและลักษณะอาการจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้คือ (ธีระ 2522)

ก. สีผิดปรกติ (Color deviation)

ข. เจริญเติบโตผิดปรกติ (abnormal growth)

ค. อาการแคระแกรน (stunt; dwarf)

ง. อาการตาย (necrosis)

ก. **สีผิดปรกติ** อาการของโรคพืชที่เกิดจากไวรัส เนื่องจากความผิดปรกติของสีบนส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบ ดอก ราก และกิ่งนี้ มักพบมากที่สุด ดังนั้นการเรียกชื่อโรคจึงมักเน้นลักษณะอาการเป็นส่วนใหญ่ หรือบางกรณีอาศัยส่วนของพืชมาประกอบด้วย

(1) **อาการด่าง** (mosaic) เกิดได้บนส่วนต่าง ๆ ของพืช เฉพาะอย่างยิ่งจะเห็นชัดเจนบนใบ และยอดอ่อนของพืช สำหรับอาการด่างบนดอกมักนิยมเรียก เบรคอิง (breaking) หรือ แวริเกชัน (variegation) มากกว่าที่จะเรียกโมเสค เช่นอาการดอกด่างของต้น ทิวลิพ และอบูทิลอน เป็นต้น อาการด่างแบบนี้มักมีขอบเขตชัดเจน โดยมีสีเหลืองซีด หรือเหลืองอ่อนสลับกับสีเขียวของพืช

(2) **อาการมอทเติล** (mottle) หมายถึงอาการด่างของพืชอีกประเภทหนึ่งที่แสดงขอบเขต และแนวพื้นที่ไม่ชัดเจนเท่า อาการด่างแบบที่ (1) เช่นอาการด่างบนถั่วลิสงซึ่งเกิดจาก peanut mottle virus

(3) **อาการเหลือง** (yellowing) เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนใบ เนื่องจากคลอโรฟิลของพืชถูกทำลายให้เสียหาย ทำให้สีอื่นเช่น แคโรทีน (carotene) และแซนโทฟิล (xanthophyll) ชัดเจนขึ้น เช่นอาการเหลืองบริเวณขอบใบของสตรอเบอรี่ เป็นต้น

(4) **อาการขาวซีด** (blanching หรือ bleaching) เกิดขึ้นเนื่องจากไวรัสทำลายเม็ดสีของพืชให้หมดไปอย่างสมบูรณ์

(5) **อาการใบแดงหรือม่วง** (reddening หรือ purpling) เกิดขึ้นเนื่องจากพืชที่เป็นโรคไวรัส แล้วเกิดการสะสม แอนโทซายานิน (anthocyanin)

นอกจากอาการสีผิดไปทั้ง 5 กลุ่มนี้แล้ว ยังอาจพบอาการเส้นใบมีสีซีด ที่เรียกว่า **vein clearing** หรือเส้นใบเกิดอาการด่างเหลือง เรียกว่า **vein banding** หรืออาการด่างเป็นวงกลมซ้อนกัน เรียก **ring spot** หรืออาการด่างเป็นทางที่เรียกว่า **streak** บนใบของพืชทั้งใบเลี้ยงคู่ และใบเลี้ยงเดี่ยวตามลำดับ

ข. **เจริญเติบโตผิดปรกติ** อาการเจริญเติบโตผิดปรกติอันเนื่องจากสาเหตุไวรัสโรคพืชที่เกิดบนพืชชนิดต่าง ๆ นี้ เกิดบนตำแหน่งที่เฉพาะ อาการมีติ่งยื่นออกจากใบเรียกว่า enation พบในถั่วที่เป็นโรคเนื่องจาก pea enation mosaic virus อาการยอดบวม เรียก swollen shoot พบในต้นโกโก้ที่เป็นโรคเนื่องจาก cocoa swollen shoot virus อาการกิ่งแบน เรียกว่าอาการ flat limb ในแอปเปิลเป็นโรคเนื่องจาก flat limb virus เป็นต้น

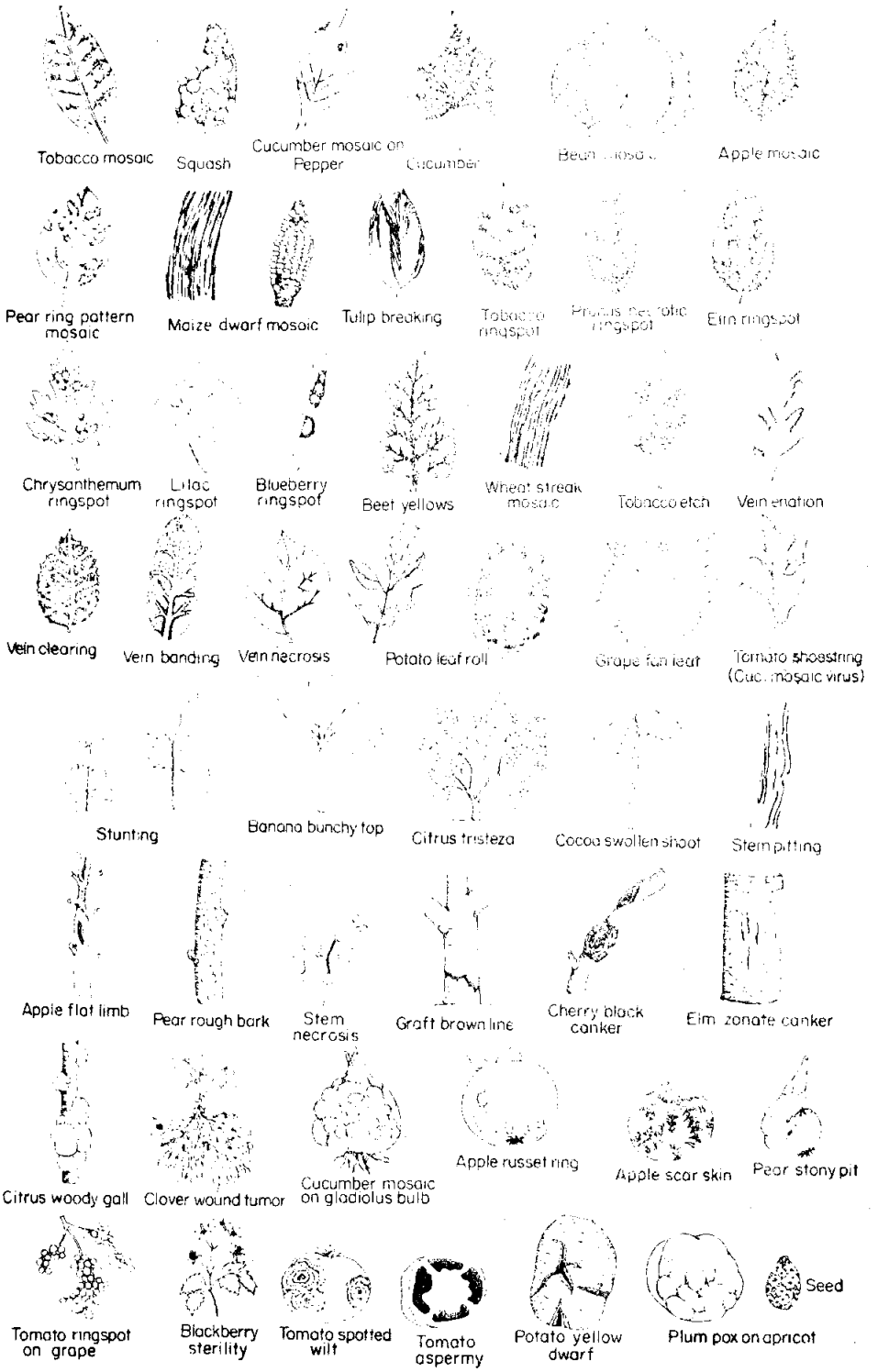
ค. **อาการแคระแกรน** อาการลักษณะเช่นนี้ดูผิวเผินแล้วเหมือนกับว่าปรกติ รูปร่างและลักษณะทางสัณฐานไม่เปลี่ยนแปลงจากพืชปรกติมากนัก ยกเว้นมีขนาดเล็กลง เช่นโรคใบด่างของหวายมาดามปอมปาดัวร์ ที่เกิดจากเชื้อ Cymbidium mosaic virus จะทำให้ดอกมีขนาดเล็กลงกว่าปรกติ

ง. **อาการตาย** อาจเกิดขึ้นได้ทั้งบริเวณยอดอ่อน ใบ ลำต้น และบริเวณปลายราก โดยทำให้เกิดแผลสีน้ำตาลเฉพาะส่วนที่เป็นโรค เช่นอาการแผลสีน้ำตาลบนลำต้นของมันฝรั่งซึ่งถูก ไวรัส เอ็กซ์ และไวรัส วาย ของมันฝรั่งเข้าทำลาย

2.2 **อาการที่ตรวจพบได้ด้วยกล้องจุลทัศน์** อาจพบได้ทั้งการเปลี่ยนแปลงในระดับเนื้อเยื่อ (histological changes) และระดับเซล (Cytological effect) ด้วยการสังเกตดูจากกล้องจุลทัศน์ชนิดธรรมดา (light microscope) และกล้องจุลทัศน์ชนิดอีเล็คตรอน

2.2.1 **อาการระดับเนื้อเยื่อ** อาจเกิดการตาย การแบ่งเซลมาก และเซลโตผิดปรกติ และการลดการแบ่งเซลของเนื้อเยื่อ

2.2.2 **อาการระดับเซล** พบการเปลี่ยนแปลงทั้งรูปร่าง ลักษณะ และองค์ประกอบของเซล ตลอดจนเกิดสิ่งแปลกปลอมขึ้นภายในเซล เช่นมีนิวเคลียสขนาดใหญ่ คลอโรพลาสสร้างไม่สมบูรณ์ และเกิดสะสมผลึกชนิดที่มีรูปร่างขนาดเท่ากัน (Amorphous inclusion) ผลึกลักษณะเฉพาะสำหรับไวรัสบางชนิดเป็นต้น

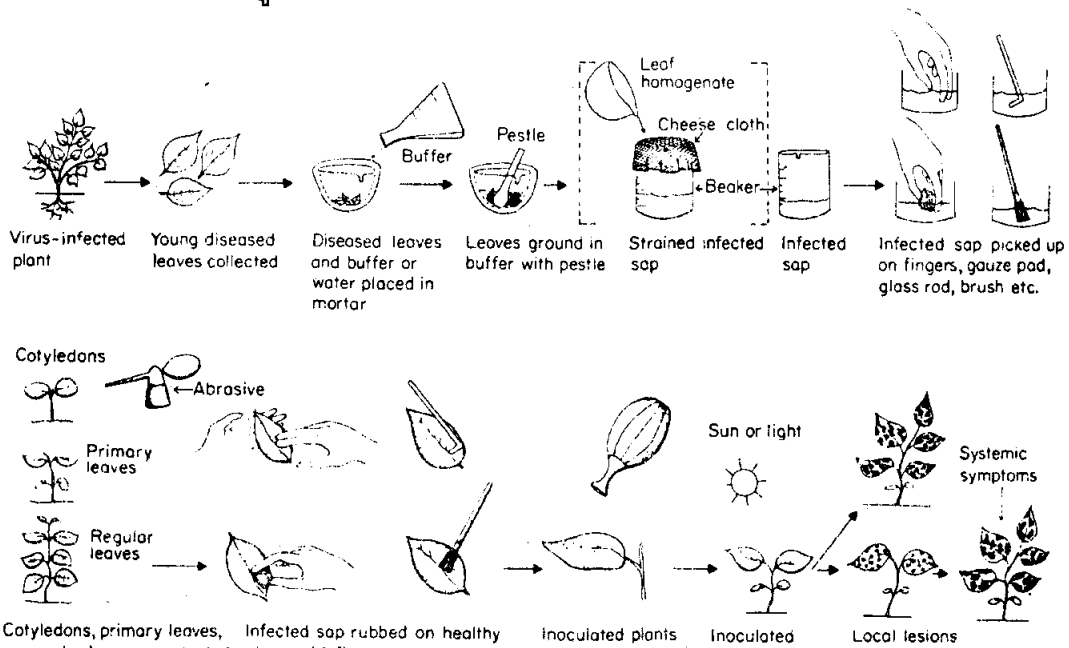



**ภาพที่ 14.4 อาการชนิดต่าง ๆ ของโรคพืชที่เกิดจากไวรัส**

**(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology p.565)**

3. **การถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืช** (Transmission of Plant Viruses) เนื่องจากไวรัสไม่สามารถเข้าไปในเซลพืชได้ด้วยวิธีผ่านทางเซลผิวโดยตรง จำเป็นต้องอาศัยบาดแผลที่เกิดจากมนุษย์ สัตว์ และพืชชั้นสูงเป็นผู้กระทำให้ ดังนั้นการที่เชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืชจะถูกถ่ายทอดจากพืชเป็นโรคสู่พืชปรกติ จึงต้องอาศัยพาหะที่เหมาะสม วิธีการถ่ายทอดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสสามารถเกิดขึ้นได้โดยทางวิธีกล พืชชั้นสูง และสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นพาหะ

3.1 **การถ่ายทอดโดยวิธีกล** (Mechanical transmission) เป็นการนำไวรัสเข้าไปในเซลพืช โดยผ่านทางบาดแผล หรือช่องเปิดของเซลพืช ส่วนมากแล้วการถ่ายทอดด้วยวิธีนี้เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ทั้งที่เกิดจากความตั้งใจ และความรู้ไม่เท่าทัน เช่นการตัดแยกพืชที่เป็นโรคเพื่อการขยายพันธุ์ และการตัดแต่งกิ่งพืชเป็นต้น การถ่ายทอดไวรัสพืชด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นได้ง่ายกับไวรัสที่ทำให้พืชแสดงอาการด่าง ถ่ายทอดได้ด้วยเพลี้ยอ่อน มีพืชอาศัยประเภทไม้เนื้ออ่อน และมีความคงทนต่อการทำลายในน้ำคั้นได้ยาก เช่น ไวรัสที่ทำให้กล้วยไม้ซิมบิเดียมเกิดอาการด่าง ไวรัสใบด่างของยาสูบ และไวรัสเอ็กซ์ของมันฝรั่งเป็นต้น




**ภาพที่ 14-5 การถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืชด้วยวิธีกล หรือการถ่ายทอดผ่านน้ำคั้น (sap transmission)**

(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology p.568)

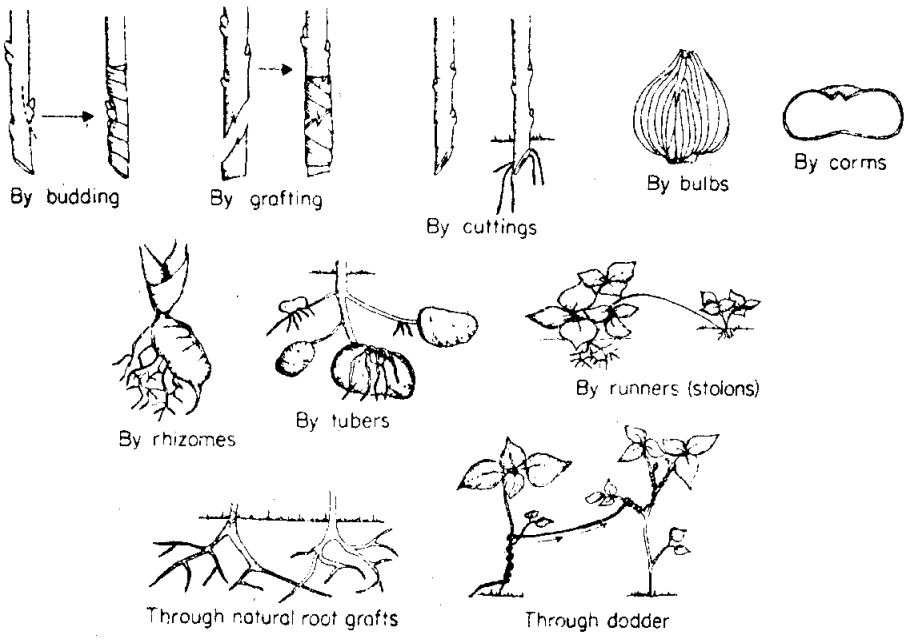
3.2 **การถ่ายทอดโดยพืชชั้นสูงเป็นตัวนำ** การถ่ายทอดเชื้อไวรัสด้วยวิธีนี้มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การถ่ายทอดผ่านชิ้นส่วนของพืชที่เป็นโรคเพื่อนำไปขยายพันธุ์ และการที่พืชมีสมบัติเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดไวรัสจากพืชเป็นโรค มายังพืชปรกติ เช่นการถ่ายทอดโดยติดไปกับท่อนพันธุ์ที่นำไปเพื่อการขยายพันธุ์ วิธีตัดตาเทียบกิ่ง อาศัยละอองเกษรผ่านเมล็ด และถ่ายทอดผ่านต้นฝอยทอง เป็นต้น

3.2.1 **การถ่ายทอดโดยติดไปกับท่อนพันธุ์** เนื่องจากอาการของโรคที่เกิดจากไวรัสส่วนมากสามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วตลอดลำต้น ดังนั้นการขยายพันธุ์พืช ถ้านำท่อนพันธุ์ที่ติดเชื้อไปเพื่อการขยายจำนวน ก็จะเป็นการเพิ่มการแพร่ระบาดและปริมาณของโรคมากขึ้น เช่น ไวรัสใบด่างของหวายมาดามปอมปาดัวเป็นต้น

3.2.2 **การถ่ายทอดโดยวิธีติดตาเทียบกิ่ง** เกิดขึ้นเฉพาะไวรัสที่อยู่ในท่อทางเดินน้ำและอาหาร ดังนั้นเมื่อนำส่วนของพืชที่เป็นโรคมาทำการติดตาหรือเทียบกิ่งก็จะเป็นโอกาสให้ไวรัสจากตา หรือจากต้นตอ ผ่านเข้าไปสู่ส่วนของพืชปรกติตรงตำแหน่งรอยต่อของแผล เป็นวิธีทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มการแพร่กระจายโรคพืชที่เกิดจากไวรัสให้มากขึ้น

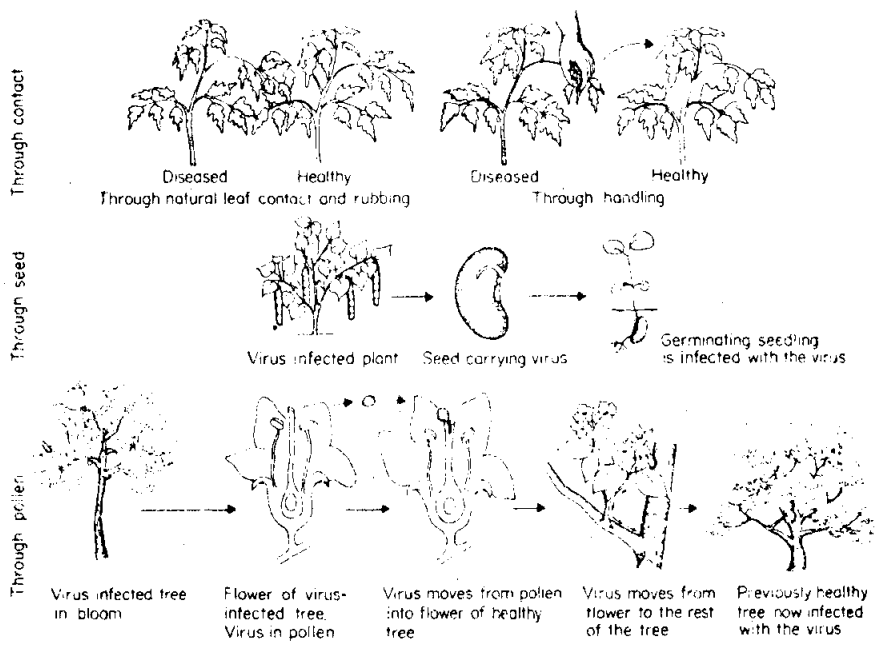
3.2.3 **การถ่ายทอดโดยอาศัยละอองเกษร** (pollen transmission) **ในธรรมชาติจริง ๆ** แล้วเท่าที่พบมีอยู่น้อยมาก มีไวรัสอยู่ไม่มากชนิดที่สามารถถ่ายทอดโรคด้วยวิธีนี้ เช่น ไวรัสอาการด่างเป็นปื้นของข้าวบาร์เล่ย์ (barley stripe mosaic virus) การถ่ายทอดไวรัสผ่านทางละอองเกษรนี้ นอกจากมีผลทำให้เมล็ดมีเชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืชอาศัยอยู่แล้ว ยังมีผลทำให้จำนวนผลที่ได้จากการปฏิสนธินั้นลดลง และมีโอกาสทำให้พืชต้นแม่ที่ได้ปฏิสนธิไปนั้นเกิดการติดเชื้ออีกต่อหนึ่งด้วย เช่น ไวรัสที่ทำให้เกิดอาการแผลตายเป็นรูปวงแหวนของเชอร์รี่ (Cherry necrotic ring spot virus)

3.2.4 **การถ่ายทอดผ่านทางเมล็ด** ประมาณว่ามีไวรัสพืชสักหนึ่งร้อยชนิดที่สามารถถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดพืช และมีในอัตราส่วนที่ต่ำคือประมาณ 1-30 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของไวรัส และสภาพของพืชอาศัยเป็นเกณฑ์ แม้กระนั้นก็ตามยังมีไวรัสอีกหลายสายพันธุ์ที่สามารถถ่ายทอดโรคผ่านทางเมล็ดพืชได้ในเปอร์เซนต์ที่สูง เช่น ไวรัสยาสูบจุดวงแหวนที่เกิดบนถั่วเหลือง (Tobacco ringspot virus) ไวรัสที่ทำให้น้ำเต้าแสดงอาการด่าง และไวรัสที่ทำให้ข้าวบาร์เลย์แสดงอาการด่างเป็นปื้น สามารถถ่ายทอดผ่านเมล็ดพืชได้ 100, 28-94 และ 100 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ




ภาพที่ 14-6 การถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืชจากชิ้นส่วนของพืชที่ใช้ขยายพันธุ์ และจากต้นฝอยทอง

(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology p.567)




ภาพที่ 14-7 วิธีถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืชจากการสัมผัส ทางเมล็ดและทางการถ่ายละอองเกษร

(ที่มา : Agrios G.N. Plant Pathology p.570)

3.2.5 **การถ่ายทอดผ่านฝอยทอง** ฝอยทองจัดเป็นปรสิตกับพืชชั้นสูงอื่น ๆ ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือการส่งส่วนของอัสตอเรียทะลุเข้าไปในท่อน้ำท่ออาหารของพืช จากสมบัติดังกล่าว จึงนำฝอยทองมาเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดเชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืชบางชนิด เพื่อประโยชน์ด้านการศึกษาชั้นสูงต่อไป การถ่ายทอดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสของฝอยทองนี้ไม่พบว่าทำความเสียหายให้กับพืชสำคัญทางเศรษฐกิจอื่นใดในธรรมชาติ

3.3 **การถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืชจากสิ่งมีชีวิตอื่น** สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ นอกเหนือจากพืชชั้นสูง เช่น แมลง ไมท์ ไส้เดือนฝอย และเชื้อรา สามารถถ่ายทอดเชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืชจากการดูดกินน้ำเลี้ยงของพืชเป็นโรคสู่พืชปรกติได้ แต่ประสิทธิภาพในการถ่ายทอดอาจแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของพาหะกับชนิดไวรัส และตำแหน่งการเข้าอยู่ในเซลพืชของไวรัส

3.3.1 **แมลง** แมลงที่แพร่ระบาดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสอาจแบ่งได้ตามลักษณะการทำลายพืชได้ 2 พวกคือ

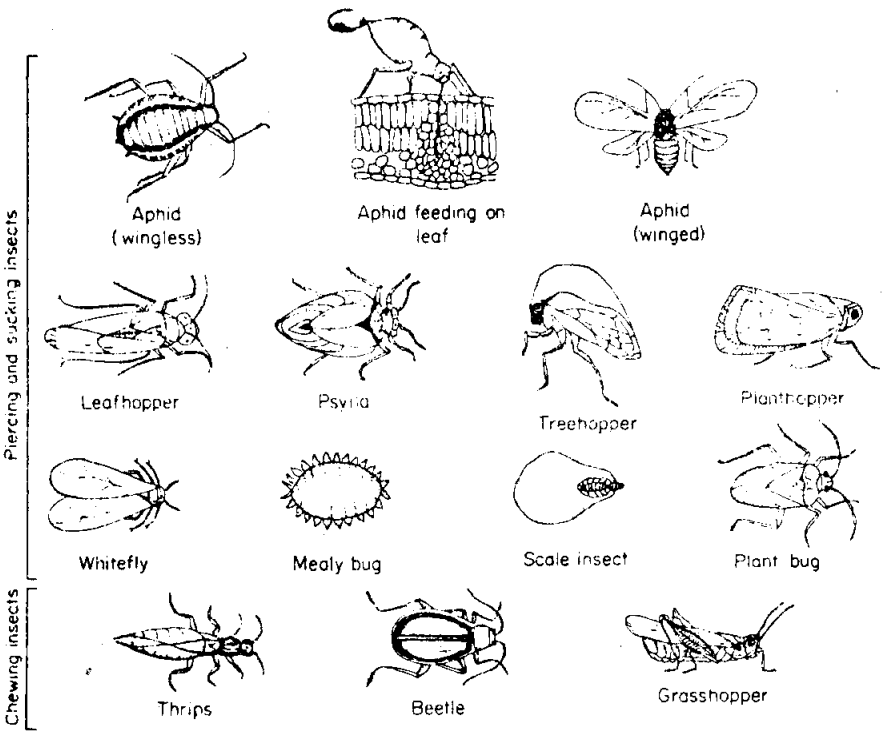
ก. **แมลงจำพวกมีปากเจาะดูด** (Piercing and Sucking type) นับได้ว่าแมลงในกลุ่มนี้มีความสำคัญมากในการถ่ายทอดโรคพืชที่เกิดจากไวรัส เช่น แมลงในกลุ่มของเพลี้ยจั๊กจั่น เพลี้ยไก่ฟ้า เพลี้ยกระโดด แมลงหวี่ขาว เพลี้ยแป้ง (mealy bug) เพลี้ยหอย (scale insect) และมวนพืช (plant bug) ถ้าจัดลำดับความสำคัญของการแพร่กระจายโรคแล้ว พบว่า เพลี้ยอ่อนจะมีความสำคัญมากที่สุด มีเพลี้ยอ่อนไม่น้อยกว่า 200 ชนิดที่สามารถถ่ายทอดไวรัสได้กว่า 200 ชนิด ลำดับรองลงมาคือ เพลี้ยจั๊กจั่น ส่วนแมลงชนิดอื่น ๆ ในกลุ่มนี้พบบ้างแต่ไม่มากเท่าเพลี้ยอ่อนและเพลี้ยจั๊กจั่น

ข. **แมลงจำพวกมีปากกัดกิน** (Chewing type) แมลงพวกนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญในการถ่ายทอดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสมากนัก การถ่ายทอดส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะของการติดไปกับปากที่กัดกินพืชเป็นโรคเสียมากกว่าที่จะนำเชื้อไวรัสเข้าไปภายในตัว แมลงในกลุ่มนี้ที่จัดว่ามีความสำคัญในการถ่ายทอดเชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืชได้มากคงจะเป็น แมลงจำพวกเพลี้ยไฟ (thrip) ส่วนแมลงจำพวก เต่าทอง (beetle) และตั๊กแตน (grass hopper) ไม่ค่อยจะมีความสำคัญมากนัก

3.3.2 **ไร** (mite) ความจริงแล้วแมลงกับไร ถ้าตรวจดูอย่างผิวเผินมักจะมีทรวดทรง และรูปร่างคล้ายกันมาก แต่ที่เห็นว่าแตกต่างกันอย่างเด่นชัด คือ สัตว์จำพวกแมลงจะมีขา 6 ขา แต่ไรมีขา 8 ขา อย่างไรก็ดี การถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืชนั้นพบได้ กับ ไรในวงศ์ Eriophyidae ซึ่งมีลักษณะปากเป็นประเภท เจาะดูด เช่นเดียวกับเพลี้ยอ่อน ไรในวงศ์นี้จะถ่ายทอดไวรัสได้ประมาณ 10 กว่าชนิด เช่น ไวรัสรอยด่างของข้าวสาลี (wheat streak mosaic virus) ไวรัสอาการด่างของพืช (peach mosaic virus) เป็นต้น นอกจากไรในวงศ์ Eriiphyidae แล้วยังมีไรในวงศ์ Tetranychidaeเช่น สไปเดอร์ไมท์ (spider mite) ที่สามารถถ่ายทอดไวรัสวายของมันฝรั่ง

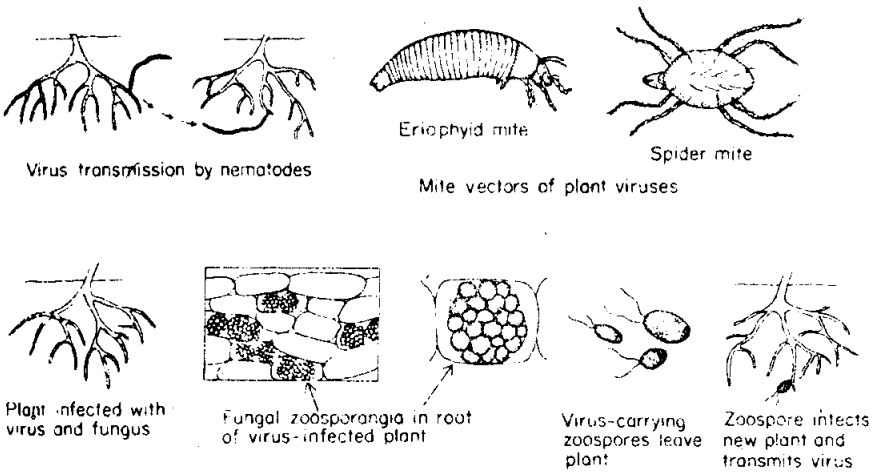
3.3.3 **ไส้เดือนฝอย** การถ่ายทอดไวรัสพืชจากไส้เดือนฝอย ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1958 โดย Hewitt, Raski และ Goheen ด้วยการพิสูจน์ให้เห็นว่าไส้เดือนฝอย **Xiphinema index** สามารถถ่ายทอดโรค grape fanleaf ได้สำเร็จ ในปัจจุบันพบว่ามีไส้เดือนฝอยอยู่ 3 สกุล คือ **Longidorus** และ **Xiphinema** สามารถถ่ายทอดไวรัสรูปกลม เช่นไวรัสแผลวงแหวนของยาสูบ (tobacco ringspot virus) ของต้นแรสพ์เบอร์รี่ (raspbery ringspot virus) ไวรัสแผลดำวงแหวนของมะเขือเทศ (tomato black ring) ไวรัสใบม้วนของเชอร์รี่ (cherry leaf roll) ไวรัสอาการด่างของต้นบรูม (brome mosaic virus) และ grape fanleaf virus ส่วนไส้เดือนฝอยสกุล **Trichodorus** เท่านั้นที่ถ่ายทอดไวรัสรูปท่อนได้สำเร็จ คือ ไวรัสที่ทำให้ใบของยาสูบเรียวเล็กคล้ายหางหนู (tobacco rattle virus) และไวรัสที่ทำให้ใบถั่วพี แสดงอาการสีน้ำตาลก่อนปรกติ (pea early browning virus) สำหรับความสัมพันธ์ของไส้เดือนฝอยกับเชื้อไวรัสนั้นเป็นที่น่าสังเกต กล่าวคือ ไส้เดือนฝอยที่จะถ่ายทอดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสจากพืชที่เป็นโรคได้ จะต้องดูดกินพืชนั้นอย่างน้อย 1 วัน และเมื่อลอกคราบแล้ว ไส้เดือนฝอยจะถ่ายทอดเชื้อไวรัสอีกไม่ได้ ตลอดจนเชื้อไม่ถ่ายทอดไปยังลูกหลาน เฉพาะไส้เดือนฝอย **Longidorus elongatus** จะถ่ายทอดเชื้อไวรัสแผลดำวงแหวนของมะเขือเทศได้ในขณะที่เป็นตัวอ่อน เมื่อถึงระยะเต็มไว ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อนี้ได้อีก และไส้เดือนฝอยที่ถ่ายทอดเชื้อโรคไวรัสสาเหตุโรคพืชย่อมมีความเฉพาะเจาะจงอย่างมากกับเชื้อไวรัสนั้น ๆ

3.3.4 **เชื้อรา** เมื่อ Campbell และ Grogan พบว่าเชื้อรา **Olpidium brassicae** ถ่ายทอดไวรัสที่ทำให้ผักกาดหอมสร้างเส้นใยขยายใหญ่ (lettuce big vein virus) ในปี ค.ศ. 1962 แล้ว ต่อมายังพบว่าเชื้อราดังกล่าวสามารถถ่ายทอดไวรัสชนิดอื่น ๆ ได้อีก 3 ชนิดคือ ไวรัสที่ทำให้เกิดอาการแผลตายบนยาสูบ (tobacco necrosis virus) แตง (cucumber necrossis virus) และไวรัสที่ทำให้เกิดอาการแคระแกรนบนยาสูบ (tobacco stunt virus) นอกจากนี้ยังพบว่ามีเชื้อราอีก 4 สกุล คือ **Synchytrium, Polymyxa, Spongospora,** และ **Pythium** ที่ถ่ายทอดไวรัสเอ็กซ์ของมันฝรั่ง ไวรัสอาการด่างของข้าวสาลี ไวรัสที่ทำให้ยอดของมันฝรั่งแตกออกเป็นพุ่มฝอย (potato mop top virus) ไวรัสที่ทำให้เส้นใบมีสีเหลือง และจุดตายบนผักกาดหวาน (beet necrotic yellow virus) และไวรัสที่ทำให้ใบของถั่วม้วนผิดปรกติ (pea false leaf roll virus) ตามลำดับ ซึ่งไวรัสดังกล่าวอาจติดอยู่ที่สปอร์พัก หรือติอยู่กับ ซู โอ สปอร์ ของเชื้อรา




ภาพที่ 14-8 แมลงพาหะชนิดต่าง ๆ ของเชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืช

(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology p.571)




ภาพที่ 14-9 การถ่ายทอดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสด้วย ไส้เดือนฝอย ไร และเชื้อรา

(ที่มา : Agrios G.N. 1978 Plant Pathology p.573)

4. **การป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากไวรัส** เนื่องจากไวรัสสาเหตุโรคพืชมีการดำรงค์ชีวิตแบบปรสิตถาวร ที่จำเป็นต้องอาศัยส่วนประกอบภายในเซลพืช สร้างองค์ประกอบทางเคมีเพื่อให้ได้เป็นอนุภาคไวรัส แล้วแพร่กระจายเข้าไปในส่วนต่าง ๆ ของพืชทั่วตลอดทุกส่วน ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วนั้น ย่อมทำให้การป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสทำได้ยากมาก เพราะยังไม่มีวิธีการเฉพาะและเหมาะสม ไม่เหมือนกับการป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา แบคทีเรียและอื่น ๆ ซึ่งอาจกระทำได้ด้วยวิธีการใช้สารเคมีโดยตรง และวิธีการอื่นที่เหมาะสมเข้าร่วมด้วย ปัจจุบันการป้องกันโรคพืชที่เกิดจากไวรัสได้เปลี่ยนแนวความคิดไปในด้านชักนำให้พืชสร้างสารต่อต้านการ ,ข้าทำลายจากไวรัสพืช หรือการใช้สารบางอย่างเข้าไประงับการทวีจำนวนของไวรัส แต่ยังไม่ประสพผลสำเร็จ อย่างไรก็ตามหลักการใหญ่สำคัญในการควบคุม และป้องกันโรคพืชที่เกิดจากไวรัส ที่นักโรคพืชใช้ และมุ่งศึกษาในด้านกำจัดแหล่งที่มาของเชื้อ วิธีการแพร่ระบาด และกระตุ้นให้พืชมีความต้านทานต่อโรค ไม่ด้วยวิธีการคัดเลือกพันธุ์พืชปลูก ก็ด้วยวิธีการผสมพันธุ์ที่ต้านทานโรค และให้ผลผลิตสูงมีคุณภาพดีเป็นหลัก จึงอาจสรุปวิธีการป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสได้ ดังต่อไปนี้คือ

4.1 **ควบคุมแหล่งที่มาของเชื้อไวรัสพืช** ด้วยการคัดเลือกเมล็ด ท่อนพันธุ์ ตา และส่วนอื่น ๆ ที่จะขยายพันธุ์ จากสถานที่รับรองว่าปลอดภัยจากเชื้อ และถ้าไม่แน่ใจว่าพืชหรือส่วนของพืชที่ได้ปลอดภัยจากเชื้อหรือไม่ อาจกระทำได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 **ใช้ความร้อน** มี 2 แบบคือ การใช้ความร้อนแห้งได้แก่ ไอของอากาศร้อน และความร้อนชื้น เช่นน้ำร้อน การใช้อากาศร้อนจะใช้อุณหภูมิที่ระดับต่ำประมาณ 40 องศาเซลเซียส และใช้เวลานานเป็นสัปดาห์ หรือเดือน ในการอบพืช วิธีนี้เหมาะสำหรับที่จะใช้กับท่อนพันธุ์ ส่วนการใช้น้ำร้อนอาจใช้ตั้งแต่ 45-50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาแช่ครั้งละ 20-60 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

4.1.2 **ใช้สารเคมี** ใช้ได้ดีกับเชื้อไวรัสพืชที่ติดอยู่ภายนอกต้นพืช เช่น ไวรัสใบด่างของยาสูบ เมื่ออยู่บนมะเขือเทศจะติดอยู่ที่เปลือกของเมล็ด (seed coat) จึงอาจใช้สารเคมีประเภทด่างจัดเช่น ไทร-โซเดียม ฟอสเฟต ($Na_3PO_4$) แช่เมล็ดก็ได้

4.1.3 **ใช้เทคนิคจากการเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช** วิธีนี้เหมาะสำหรับผลิตพืชเป็นจำนวนมากให้ปราศจากไวรัสพืช ซึ่งอาจใช้ร่วมกับวิธีการในข้อ 4.1.1 ได้ วิธีนี้จะมีผลมาก ก็ต่อเมื่อมีเทคนิคในการติดเนื้อเยื่อพืชที่ไม่มีไวรัสติดชิ้นส่วนนั้นมา และเทคนิคในการตรวจสอบไวรัสต้องเป็นเทคนิคที่ละเอียดและให้ผลอย่างเฉียบพลัน จึงจะได้ผลสมบูรณ์ ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีเทคนิคดังกล่าวไม่

ดีพอ แทนที่จะได้ต้นพืชที่ปราศจากไวรัสพืช กลับกลายเป็นการแพร่กระจายต้นพืชที่มีเชื้อไวรัส

4.2 **ควบคุมวิธีการแพร่ระบาด** ถึงแม้ว่าในสภาพเลือกสวนไร่นา หรือสถานปลูกพืชนั้น ๆ จะปราศจากเชื้อโรคพืชไวรัสแล้วก็ตาม ถ้าหากไม่ทราบถึงวิธีการควบคุมการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสดีพอ การปกิบัติในข้อ 4.1 อาจประสพผลเสียหายได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาต้นพืชที่ปราศจากโรคอยู่แล้ว ไม่ให้มีการติดเชื้อโรคจากไวรัสพืชได้อีกในภายหลัง จึงควรปฏิบัติดังต่อไปนี้คือ

4.2.1 อาศัยหลักของการกักกันพืช (plant guarantine) ด้วยการสร้างสถานที่เก็บพืชสำหรับพืชที่นำมาใหม่ เพื่อรอดูแมลงที่ติดมาและอาการของโรคพืชที่เกิดจากไวรัส สักระยะหนึ่ง เมื่อแน่ใจแล้วว่าปลอดจากโรค และแมลงจึงนำออกขยายพันธุ์หรือปลูกต่อไป

4.2.2 มีไวรัสพืชอยู่หลายชนิดที่แพร่ระบาดด้วยการสัมผัส เช่น ไวรัสใบด่างของยาสูบ ไวรัสเอ็กซ์ และวายของมันฝรั่ง ตลอดจนไวรัสยอดบิดของกล้วยไม้ ซึ่งกำลังระบาดอยู่มากในประเทศไทย อาจป้องกันได้ด้วยการทำความสะอาด เครื่องมือในขณะปฏิบัติงาน เพื่อการขยายพันธุ์ด้วยการล้างด้วยน้ำยาที่เป็นด่าง หรือกรด หรือชุบแอลกอฮอร์ แล้วลนไฟ

4.2.3 ควบคุมพาหะที่มาทางลม (airborne vector) ซึ่งหมายรวมถึงแมลงและไรชนิดต่าง ๆ ด้วยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าไร หางนมหรือน้ำมัน ด้วยการพ่นฉีดเป็นระยะ ๆ

4.3 **ใช้พืชพันธุ์ต้านทานโรคปลูก** การป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากไวรัส ด้วยวิธีการนี้ รวมถึงการสร้างภูมิคุ้มกันในต้นพืชด้วยวิธีชักนำไวรัสพืชสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคอย่างอ่อน และมีสมบัติต่อต้านไวรัสพืชสายพันธุ์ ที่ทำให้พืชเกิดโรครุนแรงมาปลูกลงบนพืชประธาน (crop) เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายจากไวรัสพืชสายพันธุ์ที่รุนแรง