บทที่ 5
การแพร่กระจาย และการมีชีวิตอยู่รอดของเชื้อสาเหตุโรคพืช
(Distribution and Survival of Plant Pathogens)

ความเข้าใจเรื่องการแพร่ระบาด และการอยู่รอดข้ามฤดูปลูกพืชของเชื้อสาเหตุโรคพืช นับได้ว่ามีความสำคัญต่อนักโรคพืชอยู่มาก เนื่องจากมีประโยชน์ต่อการป้องกันกำจัดโรคพืชให้ได้ผลสมบูรณ์ สามารถลดอัตราการเกิดโรคของพืชเศรษฐกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพและแน่นอน ความรู้เรื่องการแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรคพืชมักมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับการมีชีวิตอยู่รอดในถิ่นธรรมชาติเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลง

การแพร่กระจายเชื้อโรคพืช (Distribution of Plant Pathogens) เชื้อโรคพืชต่างชนิดกัน อาจมีวิธีการแพร่กระจายที่แตกต่างกัน หรือคล้ายคลึงกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถและคุณสมบัติเฉพาะของเชื้อนั้น ๆ เป็นปัจจัย ซึ่งการแพร่ระบาดเกิดขึ้นได้ 3 วิธีคือ

1. **แพร่กระจายด้วยความสามารถของตัวเอง** (Active movement) การแพร่ระบาดด้วยวิธีนี้มักเกิดขึ้นในขอบเขตที่เฉพาะ และถูกจำกัดด้วยสภาพทางภูมิศาสตร์ เช่น แม่น้ำ ภูเขา ตลอดจนถึงสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เชื้อโรคพืชหลายชนิด เช่น ไส้เดือนฝอย แบคทีเรีย และราบางชนิด สามารถเคลื่อนที่เข้าทำลายพืชด้วยกำลังของตัวเอง จากพืชอาศัยต้นหนึ่งสู่อีกต้นหนึ่งที่อยู่ใกล้ชิดอย่างรวดเร็ว

1.1 **ไส้เดือนฝอย** เป็นที่ยอมรับกันว่า ไส้เดือนฝอย ศัตรูพืชเคลื่อนที่เข้าหาพืชอาศัยด้วยวิธีการสร้างคลื่นบนลำตัวทั้งด้านหลัง และด้านท้องผ่านจากด้านหัวไปทางหาง คลื่นลำตัวนี้จะเกิดโดยการยืด และหดของกล้ามเนื้อที่อยู่ทางด้านหลังและด้านท้องของลำตัว ซึ่งคลื่นดังกล่าวเกิดขึ้นผ่านไปตามลำตัวในทิศทางตรงกันข้ามกับที่ไส้เดือนฝอยกำลังเคลื่อนที่ และสัมพันธ์กับพื้นดิน ดังนั้นเมื่อเคลื่อนตัวไปข้างหน้า คลื่นก็จะผ่านไปข้างหลังแล้วกลับมาข้างหน้าอีก ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านไปในดินหรือละอองน้ำ คลื่นที่เกิดในแต่ละส่วนของลำตัวจะคงที่ แต่ละส่วนของลำตัวตามส่วนที่ถัดไปข้างหน้าจะมีร่องรอยทิ้งไว้เท่ากับความกว้างของลำตัว ในการสร้างคลื่นบนลำตัวดังกล่าวก็จะมีแรงชนิดหนึ่งเกิดขึ้นภายในตัว เพื่อต้านกับแรงหดตัวของกล้ามเนื้อ สำหรับพาตัวให้เคลื่อนไปข้างหน้าได้ เช่นการโค้งงอของลำตัว ถ้าไม่มีแรงต้านไว้จะทำให้ไส้เดือนฝอยไม่สามารถเคลื่อนที่ พวกงูจะมีกระดูกสันหลังต่อกันเป็นข้อ ๆ ทำให้เกิดแรงต้านกับพื้นดินได้ แต่ไส้เดือนฝอยนั้นอาศัย hydrostatic pressure ภายในลำตัว และความยืดหยุ่นของผิวหนังสร้างแรงต้านทานขึ้น ระหว่างการ

เคลื่อนที่ในดินนั้น ลำตัวของไส้เดือนฝอยจะตั้งฉากกับเส้นรอบวงของส่วนโค้ง ซึ่งการผลักดันไปข้างหน้าจะได้จากแรงภายนอกที่ทำเป็นมุมฉากกับผิวของลำตัวนี้เอง ไส้เดือนฝอยอาจเคลื่อนที่ในดินได้หลายไมล์ในระยะเวลาหนึ่ง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1.1.1 ขนาดของอนุภาคของดินและช่องว่างภายในดิน (The size of pores and particles) ขนาดของอนุภาคดินมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอย ถ้าขนาดของอนุภาคของดินเพิ่มขึ้น ความกว้างของช่องว่างในดิน และส่วนที่แคบของช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะเพิ่มขึ้น ดินที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคระหว่าง 150-250 ไมครอน จะทำให้การเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอยเคลื่อนตัวได้เร็วที่สุด ไม่ว่ามันจะสร้างช่วงคลื่นบนตัวได้ยาวหรือสั้นก็ตาม เนื่องจากขนาดของดินดังกล่าวพอเหมาะต่อการสัมผัสของกล้ามเนื้อของไส้เดือนฝอย ที่จะทำให้เกิดเป็นคลื่น ถ้าอนุภาคของดินมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250-500 ไมครอน จะทำให้ช่องว่างระหว่างดินกว้างเกินไปสำหรับไส้เดือนฝอยจะยึด ทำให้เคลื่อนที่ไปได้น้อย เช่นเดียวกัน ดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเป็น 75-150 ไมครอน ขนาดช่องว่างจะแคบมากทำให้เกิดการจำกัดพื้นที่ ๆ กล้ามเนื้อจะสัมผัส ลำตัวจึงสร้างช่วงคลื่นสั้น การเคลื่อนที่ก็จะช้า

1.1.2 ความชื้นในดิน (Soil moisture) น้ำในดินมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับขนาดของช่องว่างในดิน เพราะว่าช่องว่างในดินเป็นทางที่ให้อากาศ และน้ำผ่านไปมาได้ ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องว่างแคบ แรงดูดตัว (suction) ระหว่างเม็ดดินจะเพิ่มขึ้น จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ขนาดของช่องว่างของเม็ดดิน และแรงดูดตัวระหว่างเม็ดดิน จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอย ทดลองให้เห็นจริงได้โดย นำไส้เดือนฝอย **Heterodera rostochinensis** ตัวผู้มาเคลื่อนที่ผ่านอนุภาคของทรายขนาด 250-750 ไมครอนที่บรรจุอยู่ภายในหลอด polythene ซึ่งแบ่งเป็นตอน ๆ ละ 1 เซนติเมตร และทรายแรงดูดตัวแน่นอน ในเวลาหนึ่งที่กำหนดให้ เมื่อตรวจผลแล้ว พบว่า จากหลอดของทรายที่มีความชื้นสูงที่สุด ไส้เดือนฝอยชนิดนี้เคลื่อนที่ไปได้ไกลถึง 6 เซนติเมตร

1.1.3 ขนาดความยาวของลำตัวและกิจกรรมของไส้เดือนฝอย (Length and activity of the nematode)

ไส้เดือนฝอยสองตัวที่มีขนาดความยาวของลำตัวเท่ากัน ความเร็วในการเคลื่อนที่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของช่วงคลื่นที่เกิดบนลำตัว หรือไส้เดือนฝอยที่มีลักษณะการสร้างคลื่น และความถี่ของช่วงคลื่นแบบเดียวกัน ความเร็วในการเคลื่อนที่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของลำตัว ได้มีการสังเกตการเคลื่อนที่จากไส้เดือนฝอย 300 ตัว 6 ชนิด เกี่ยวกับ

ความยาวและความถี่ของช่วงคลื่น พบว่าไส้เดือนฝอยที่สามารถสร้างคลื่นบนลำตัวได้ยาว มี amplitude สั้น มีความถี่ของช่วงคลื่นสั้นนั้นจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไส้เดือนฝอยที่สร้างคลื่นได้สั้น มี amplitude ยาวบนลำตัว โดยจะมีความถี่ของช่วงคลื่นสูง

โดยสรุปแล้ว ถ้าความยาวของลำตัวไส้เดือนฝอยเป็น 3 เท่าของขนาดผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดิน ที่มีขนาด 250-500 ไมครอน และ 500-1000 ไมครอน จะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด เพราะความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความยาวของลำตัว และขนาดความถี่ของช่วงคลื่น แต่ถ้า particle ใหญ่และความยาวของลำตัวน้อยกว่า 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแล้ว การเคลื่อนที่ไม่ขึ้นกับขนาดของ อนุภาคดิน อีกต่อไป

1.1.4 แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของดิน (Cohesion between soil particle) ตามที่ทราบแล้วว่าความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอยศัตรูพืชนั้น จะเกิดขึ้นได้โดยมีแรงต้านจากภายนอก เพื่อให้มีการเคลื่อนตัวแบบการสร้างคลื่นบนลำตัว ขณะที่แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดิน (cohesion) เพิ่มขึ้น lateral slip จะลดลง ความเร็วก็จะเพิ่มขึ้น

1.1.5 อากาศภายในดิน (Aeration) ดินที่มีการถ่ายเทออกซิเจนสูงจะช่วยให้การเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอยศัตรูพืชเพิ่มขึ้น ดังเช่นการทดลองผลของออกซิเจนต่อการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอย **Meloidogyne javanica** และ **Hemicycliophora arenaria** บนแผ่นเซลลูโลสที่มีการแพร่ของออกซิเจนอยู่ ตัวแรกจะมีอัตราการเคลื่อนที่รวดเร็ว แต่ตัวหลัง ๆ อัตราความรวดเร็วจะเริ่มลดลงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณของระดับออกซิเจน

1.1.6 แรงต้านการเคลื่อนที่อันเกิดขึ้นจากแรงดูดตัวสูง (Resistance to movement at high suctions) ในดินที่มีแรงดูดตัวสูง ๆ จำนวนของน้ำระหว่างช่องว่างของอนุภาคดินจะมาก ทำให้ผิวหน้าเกิดแรงหนืดตัวแล้วมีผลให้ไส้เดือนฝอยต้านกับเม็ดดิน ดังนั้นไส้เดือนฝอยจะต้องเอาชนะแรงนี้ให้ได้จึงจะพาตัวเคลื่อนที่ไปได้

จากการตรวจพบการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอยศัตรูพืช **Heterodera schachtii** ในที่มีผิวน้ำหนา ¼ เท่าของความกว้างของลำตัว คือประมาณ 5 ไมครอน พบว่าจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 10 เซนติเมตรต่อชั่วโมง แต่ถ้าผิวหน้าของน้ำมีความหนาประมาณ 1 ไมครอน การเคลื่อนที่จะหยุด

1.1.7 อุณหภูมิ (Temperature) ปรกติอุณหภูมิในดินจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของดิน อุณหภูมิที่พอเหมาะต่อการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอยแต่ละชนิดย่อมแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไส้เดือนฝอย และพื้นที่อาศัยเป็นส่วน

สำคัญ เช่น ไส้เดือนฝอย **Meloidogyne hapla** จะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดที่ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่ไส้เดือนฝอย **Meloidogyne javanica** เคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดที่ 25 องศาเซลเซียส

1.2 **เชื้อรา** เชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิดสามารถแพร่กระจายไปในถิ่นธรรมชาติด้วยการปลดปล่อยสปอร์ออกจากก้านชูสปอร์ หรือออกจากโครงสร้างพิเศษที่ห่อหุ้มสปอร์ด้วยแรงดีดตัว แต่มีเชื้อราชั้นต่ำอยู่มากชนิดเหมือนกันที่สร้างสปอร์แบบไม่มีเพศเล็ก ๆ ในขณะความชื้นสูง อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ (18-22 องศาเซลเซียส) แล้วสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในน้ำหรือในดินที่ชื้นแฉะ ด้วยวิธีการขับเคลื่อนจากหาง เช่น เชื้อรา **Albugo, Physoderma, Phytophthora, Plasmopara, Pythium Sclerospora,** และ **Synchytium** เป็นต้น สำหรับเชื้อราที่ปลดปล่อยสปอร์ด้วยแรงดีดตัวมีวิธีการอยู่ได้ 3 วิธีคือ

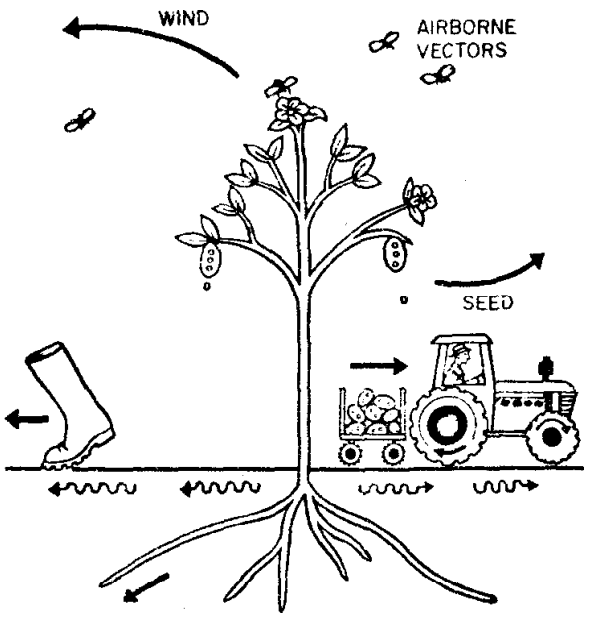
1.2.1 เอ็กซพโลสิบ เมคานิซึม (explosive mechanism) การปล่อยสปอร์ของเชื้อราด้วยวิธีนี้เกิดจากการที่ภายในเซลของก้านชูสปอร์มีส่วนของแวคคิวโอล (vacuole) อยู่มาก และแวคคิวโอลนี้เกิดแรงเต่งตัวถึงระดับหนึ่ง ก็จะผลักให้ส่วนของสปอร์ หรือถุงที่ห่อหุ้มสปอร์ฉีกขาดออก แล้วของเหลวจะพุ่งออกเป็นลำ พาสปอร์ขึ้นสู่อากาศ การปล่อยสปอร์ด้วยวิธีนี้ พบกับเชื้อราในสับดิวิชัน ซายโกมายโคตินา ได้แก่ **Pilobolus, Basidiobolus ranarum Entomorpthora muscae** และเชื้อราในสับดิวิชัน แอสโคมายโคตินา เช่น **Venturia inaequalis** ที่เป็นสาเหตุของโรคสแคปบนแอปเปิล จะปล่อยสปอร์ในช่วงที่มีความชื้นสูงในฤดูใบไม้ผลิ จากการที่มีความชื้นสูง ทำให้เพอริธีเซี่ยมดูดน้ำเข้าไปภายในตัวด้วยเส้นใย เพอริฟายซิส และพาราฟายซิส ในสภาพการดูดน้ำของเพอริธีเซี่ยมประกอบด้วยภายในถุงหุ้มสปอร์ที่ยังอ่อนมี กลายโคเจน (glycogen) ผสมอยู่มาก ก็จะถูกฮายโดรลายส์เป็นน้ำตาล มีผลให้แรงดันออสโมติคของเซลเพิ่มขึ้น มีสภาพคล้ายคลึงกับเชื้อรา **Sphaerobolus** ที่อยู่ในชั้นแกสเทอโรมายซีต (Gasteromycetes) สับดิวิชัน เบสิดิโอมายโคตินา เมื่อแรงดันสูงจนถึงบริเวณปลายถุงหุ้มสปอร์ซึ่งเป็นตำแหน่งอ่อนแอที่สุดแล้ว แอสโคสปอร์จะถูกดันให้หลุดออกไปจากถุงหุ้มสปอร์ ซึ่งเป็นถุงหุ้มสปอร์ที่เปิดออกบริเวณปลาย อาจมีลักษณะเป็นฝาเปิด เป็นรู หรือรอยแตกด้านข้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของเชื้อรานั้น ๆ

1.2.2 เรานดิง อ็อฟ ออฟ เทอกิด เซล (Rounding off of turgid cell) การแพร่กระจายของสปอร์ ด้วยวิธีนี้พบได้กับเชื้อรา **Phytophthora, Sclerospora phillipenensis,** และ **Sclerospora graminis** ที่เป็นสาเหตุของโรคเน่า และราน้ำค้างของธัญญพืช โดยที่ก้านชูสปอร์ และสปอร์สร้างผนังขึ้นมาสองชั้น ต่อเมื่อถุงหุ้มสปอร์เกิดแรงเต่งขึ้นบริเวณรอยต่อก็จะเกิดมีการบวมปูดออกไป จนทำให้มีลักษณะกลมมน และเยื่อต่อของก้านชูสปอร์ไม่สามารถรองรับน้ำหนักของถุงหุ้มสปอร์ไว้ได้ ก็จะขาดหลุดออกทำให้เกิดแรงดีดตัวสปอร์ก็จะเคลื่อนที่ไป

1.2.3 บอลลิสโตสปอร์ ดิสชาร์จ (Ballistospore discharge) หมายถึงการปล่อยสปอร์ของเชื้อราในสับดิวิชัน เบสิดิโอมายโคตินา แบบมีแรงดีดตัวจากสเตอริกมา พบได้กับเชื้อราโรคสนิมเหล็กของพืชที่เกิดจากเชื้อรา **Gymnosporangium nidus-avis** และ **Cronatium ribicola**

1.3 **แบคทีเรีย** ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของแบคทีเรียจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง แบคทีเรียต่างชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน แบคทีเรียบางชนิดเคลื่อนที่ด้วยการร่อนตัว (gliding movement) ในขณะที่แบคทีเรียอีกชนิดหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยการควงตัวหรือหมุนตัวแบบดอกสว่าน (rotary movement) และแบคทีเรียอีกหลายชนิดเคลื่อนที่ด้วยการขับตัวของหางและของเซลขน (flagella and celia movement) สำหรับแบคทีเรียสาเหตุของโรคพืชที่ระบาดทำความเสียหายต่อการปลูกพืชอยู่เสมอเช่นโรคใบไหม้ของข้าวที่เกิดจากเชื้อ**Xanthomonas oryzae**แคงเกอร์ของพืชตระกูลส้มที่เกิดจากเชื้อ**Xanthomonas citri**เน่าเละของพืชผักที่เกิดจากเชื้อ **Erwinia carotovora** นั้นเคลื่อนที่ด้วยการขับตัวของหาง

2. **แพร่กระจายโดยอาศัยพาหะ** (Passive movement) การระบาดของเชื้อโรคพืชด้วยวิธีนี้นับได้ว่ามีความสำคัญอยู่มาก เนื่องจากมีวิถีทางการกระจายโรคได้กว้างขวางอย่างไม่มีขีดจำกัด และยากต่อการควบคุมโรคให้ได้ผลเต็มที่ จริงอยู่พวกไส้เดือนฝอย แบคทีเรียและซู-โอ-สปอร์ของเชื้อราในสับดิวิชันมาสติโกมายโคตินา ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้และระบาดทำให้พืชเกิดการติดเชื้อได้ด้วยตัวเอง แต่ก็อยู่ในพื้นที่ ๆ จำกัด เชื้อสาเหตุของโรคพืชส่วนมากต้องพึ่งตัวการอื่น อาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ตาม เป็นตัวนำในการแพร่ระบาดไปยังที่ต่าง ๆ (ภาพที่ 5-1)



ภาพที่ 5-1 แสดงการระบาดของเชื้อสาเหตุโรคพืช (ที่มา : Dickinson, C.H. and Lucas, J.A. 1977 Plant Pathology and Plant Pathogen p39)

2.1 **ตัวนำที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต** สิ่งไม่มีชีวิตที่มีอิทธิพลต่อการแพร่ระบาดของโรคพืช ได้แก่เรื่องของธรรมชาติ คือ กระแสร์ลม ฝน และน้ำ

2.1.1 **ลม** นับได้ว่าเป็นตัวการแพร่กระจายอินนอคคิวลัม (inoculum) ที่มีคุณสมบัติฟุ้งกระจายหรือลักษณะเป็นฝุ่นผงได้ง่ายที่สุด การแพร่กระจายด้วยวิธีนี้ประกอบไปด้วย 3 ระยะคือ

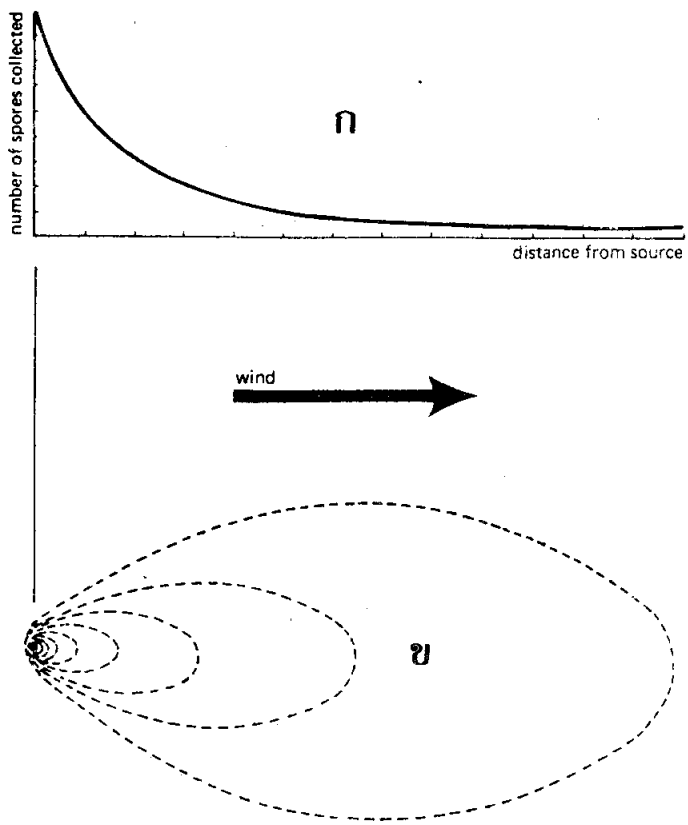
ก. การปลดปล่อยหน่วยขยายพันธุ์ (liberation of the propagules) ประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือ การปลดปล่อยหน่วยในการขยายพันธุ์ออกจากกลุ่มพ่อแม่ และการเคลื่อนตัวออกจากผิวของพืช สำหรับการนำออกจากผิวของพืชนับได้ว่าเป็นข้อที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นเรื่องของบรรยากาศรอบ ๆ พืช และเชื้อสาเหตุของโรค (boundary layer) เชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิดโดยเฉพาะเชื้อราสามารถแพร่กระจายสปอร์ของตัวเองออกจากบรรยากาศที่ยึดเกาะไปในอากาศได้ด้วยตัวเอง จากวิธีการข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว

ข. การฟุ้งกระจาย (dispersal) เป็นขั้นตอนการแพร่ระบาดของเชื้อโรคพืช ต่อจากข้อ ก. กล่าวคือ ในสภาพของอินนอคคิวลัมที่สปอร์มีลักษณะเป็นฝุ่นผง และเบาผ่านบรรยากาศ ยึดเกาะจากผิวพืชแล้วลอยตัวสู่ชั้นของบรรยากาศ ที่มีกระแสร์ลมเป็นปัจจัยในการพัดพา ถ้าบังเอิญกระแสร์ลมพัดแรง อินนอคคิวลัมนั้น ก็อาจจะข้ามทวีป หรือข้ามประเทศไปได้ไกล ๆ หลายพันไมล์ แต่ถ้ากระแสร์ลมอ่อนแรง อินนอคคิวลัมนั้นก็อาจจะแพร่ไปได้ไม่ไกล อาจตกลงบนพื้นที่เดิม เข้าทำลายพืชอาศัยต่อไป การฟุ้งกระจายของสปอร์จากจุดกำเนิดจะเกิดขึ้นในทุกทิศทุกทางทั้งด้านข้างและด้านบน ขึ้นสู่ชั้นของบรรยากาศที่มีกระแสร์ลมเป็นสิ่งพัดพา จากตารางที่ 5-1 จะเห็นได้ว่า จำนวนของสปอร์ที่ตรวจพบได้ด้วยการวางกับดัก ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเพื่อให้เห็นเด่นชัดยิ่งขึ้น ดูภาพที่ 5-2 ประกอบ

ตารางที่ 5-1 แสดงการตรวจสปอร์ของเชื้อรา 2 ชนิดในระยะทางต่างกันจากตำแหน่งของการแพร่กระจาย

ชนิดของเชื้อรา	จำนวนสปอร์ที่ตรวจได้ในระยะทางต่างกัน (เมตร)			
	5	10	20	40
Tilletia caries	74	18	7.4	1.0
Bovista plumbea	74	20	5.0	1.0

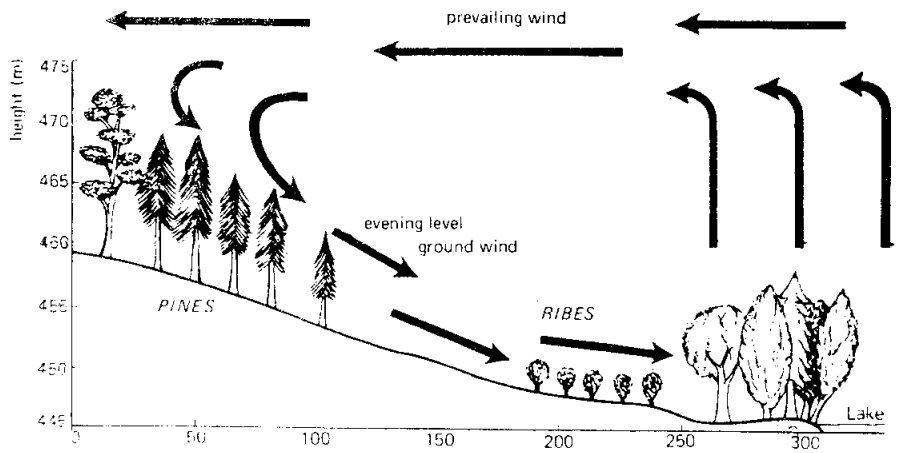
(ที่มา : Whitney, P.J. 1976 Microbial Plant Pathology, p26)



ภาพที่ 5-2 แสดงความหนาแน่นของจำนวนสปอร์ที่แพร่ออกจากแหล่งของอินนอคคิวลัม ก. แสดงโดยใช้กราฟ ข. แสดงโดยใช้แผนที่ทางดอนทัวร์ (ที่มา : Whitney, P.J.,1976. Microbial Plant Pathology p26)

การระบาดของสปอร์ด้วยลมนี้ นอกจากเป็นไปในแนวขนานกับพื้นโลกแล้ว ลมยังสามารถทำให้สปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช ฟุ้งกระจายไปในแนวดิ่ง ที่ระดับความสูงต่าง ๆ กันได้ด้วย ดังนั้นเมื่อใช้กับดักสปอร์ของรา **Puccinia graminis** ที่ก่อให้เกิดโรคราสนิมเหล็กของธัญญพืช เหนือเขตเพาะปลูก ณ.ความสูงที่ 4240 เมตร ก็ยังสามารถพบสปอร์ของเชื้อราชนิดนี้ได้ ทำนองเดียวกัน เชื้อรา **Alternaria** ที่เป็นสาเหตุของโรคไหม้ โรคใบจุดบนพืชหลายชนิด สามารถตรวจพบสปอร์ได้ที่ความสูง 1500 เมตร สำหรับโรคราสนิมเหล็กที่เกิดกับพืชตระกูลสน (white pine blister rust) อันมีสาเหตุมาจากเชื้อรา **Cronatium ribicola** นั้น พบว่าในเวลากลางคืนบริเวณพื้นราบที่เป็นแม่น้ำ และทะเลสาบ ซึ่งมีการปลูกพืชจำพวกต้นไรบ (Ribes) เป็นจำนวนมาก มีสภาพของอุณหภูมิสูงกว่าในบริเวณยอดเนินที่ปลูกสนพวกไว้ทไพน์ ดังนั้นอากาศจากบริเวณ

ยอดเนินก็จะเคลื่อนตัวพัดลงมา ทำให้สปอร์ของเชื้อราสนิมเหล็ก **Cronatium ribicola** กระจายลงมาทำลายต้นไรบในแขตพื้นราบให้เกิดโรคขึ้นได้ ส่วนอากาศในบริเวณพื้นราบที่ร้อนกว่านี้ก็จะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบนทำให้กระแสร์ลมเกิดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ยังผลให้สปอร์ของเชื้อราสนิมเหล็ก **Cronatium ribicola** ดังกล่าวถูกทำให้เคลื่อนที่พัดพาไปยังต้นสนไวท์ไพน์ที่อยู่บนยอดเนิน และเข้าทำลายให้เกิดโรคขึ้นได้เช่นกัน ดังภาพที่ 5-3



ภาพที่ 5-3 แสดงการพัดพาสปอร์ของเชื้อราสนิมเหล็ก **Cronatium ribicola** จากต้นไวท์ไพน์สู่ต้นไรบ และจากต้นไรบสู่ต้นไวท์ไพน์ (ที่มา : whiteney, P.J. 1976 Microbial Plant Pathology p.28)

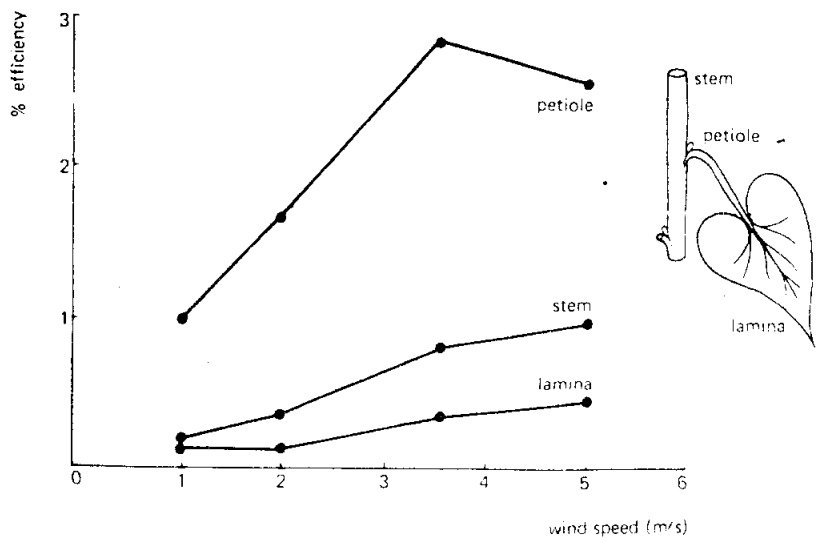
ค. การตกลงบนพืช (Deposition) การฟุ้งกระจายของอินนอคคิวลัมของเชื้อสาเหตุของโรคพืช จะอยู่ได้นานมากน้อยหรือไม่ นอกจากขึ้นอยู่กับกระแสร์ลมในบรรยากาศแล้ว ยังขึ้นอยู่กับน้ำหนักของอินนอคคิวลัมเองประกอบด้วย เมื่อสภาพของกระแสร์ลมสงบเรียบ อินนอคคิวลัมนั้น จะตกลงสู่ชั้นของบรรยากาศ ยึดเกาะด้วยแรงศูนย์ถ่วงของโลก ในอัตราความเร็วที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 แสดงค่าความเร็วของการตกลงสู่บรรยากาศยึดเกาะของสปอร์ของเชื้อรา 2 ชนิด ในสภาพที่อากาศสงบนิ่ง

ชนิดของเชื้อรา	อัตราความเร็วคิดเป็นซ.ม.ต่อวินาที
Tilletia caries (smut)	1.4
Bovista plumbea	0.24

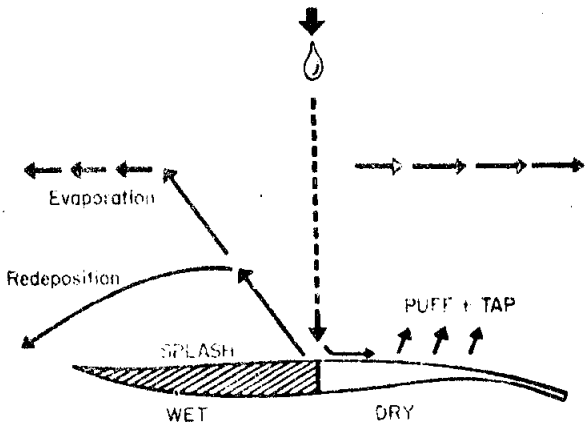
(ที่มา : Whitney, P.J. 1976 Microbial Plant Pathology 24p.)

การตกลงสู่พื้นดินของอินนอคคิวลัม นอกจากจะอาศัยแรงดึงดูดของโลกในขณะลมสงบเรียบแล้ว น้ำฝนและหมอกยังเป็นตัวการที่ช่วยให้อินนอคคิวลัม เช่น สปอร์ของเชื้อราตกลงสู่พื้นดินได้ดีอีกด้วย ถ้าบังเอิญอินนอคคิวลัมตกลงบนพืชอาศัยชนิดเดิม สภาพการติดเชื้อของพืชจะเกิดหรือไม่ขึ้นอยู่กับ ปริมาณของอินนอคคิวลัมที่ตกลงบนพืชอาศัย ความมีชีวิตของสปอร์ในสภาพแห้งแล้งของบรรยากาศ และส่วนของพืชที่เชื้อเข้าไปสัมผัส จากงานการทดลองของ Carter (1965) พบว่า จำนวนอินนอคคิวลัมจะตกลงบนส่วนของก้านใบมากที่สุด ส่วนของลำต้นรองลงมา และส่วนของใบพืชน้อยที่สุด ดังภาพที่ 5-4



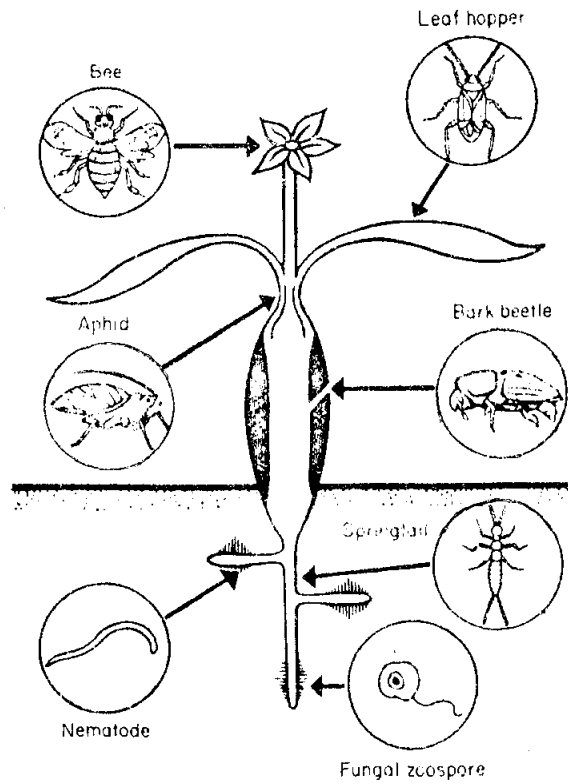
ภาพที่ 5-4 แสดงการตกของอินนอคคิวลัมบนส่วนของพืช เมื่อความเร็วของกระแสร์ลมต่างกัน (ที่มา : Carter 1965, Aust. J. Agric, Res. 16 : 825-836)

2.1.2 **ฝนและน้ำ** ส่วนมากการระบาดของเชื้อสาเหตุโรคพืชด้วยวิธีนี้จะแพร่กระจายไปได้ระยะทางที่น้อยกว่าการระบาดโดยลม แต่ก็มีความสำคัญต่อการเกษตร เนื่องจากพบอยู่บ่อยครั้งที่เชื้อโรคพืชสำคัญบางชนิดซึ่งอาศัยอยู่ในดิน เช่น แบคทีเรีย ไส้เดือนฝอย และส่วนต่าง ๆ ของเชื้อรา ถูกทำให้แพร่กระจายด้วยหยดน้ำฝน และน้ำชลประทานที่ไหลผ่านตามผิวดิน แบคทีเรียและกลุ่มของสปอร์ที่รวมตัวกันอยู่ในน้ำเมือกที่ถูกดันออกมาจากผิวของพืชที่เป็นโรคนั้น เมื่อกระทบด้วยแรงกระแทกของหยดน้ำฝน หรือการชะล้างจากน้ำชลประทาน ก็จะมีโอกาสกระเด็นไปทุกทิศทุกทาง หรือแพร่ไปรอบ ๆ เข้าทำลายพืชอาศัยได้ทันที สำหรับหยดน้ำฝนมีบทบาทต่อการระบาดของเชื้อสาเหตุโรคพืชอยู่มากพอสมควร กล่าวคือ ในสภาพพื้นที่เพาะปลูกที่มีระดับน้ำฝนประมาณปีละ 100 เซนติเมตร ซึ่งในพื้นดิน 1 ตารางเมตรนั้น จะถูกหยดน้ำฝนลงมากระทบประมาณหนึ่งพันล้านหยด และแต่ละหยดที่ตกลงกระทบพื้นดิน ก็จะให้หยดฝอยเป็นละอองเล็ก ๆ อีกประมาณ 5000 หยด ซึ่งจะสามารถพาสปอร์ของเชื้อรา เซลของแบคทีเรียและไส้เดือนฝอย กระจายไปยังพืชที่อยู่รอบ ๆ ได้โดยง่าย และถ้าบังเอิญหยดน้ำฝนเล็ก ๆ ที่แตกตัวนั้น เกิดระเหยเสียก่อนที่จะตกลงสู่พื้นดินหรือลงสู่พืชอาศัย สปอร์ของเชื้อรา เซลของแบคทีเรีย และตัวไส้เดือนฝอยที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปก็จะมีโอกาสระบาดไปด้วยลม (air borne) อีกต่อหนึ่ง (ภาพที่ 5-6)



ภาพที่ 5-6 การแพร่ระบาดของเชื้อสาเหตุโรคพืชด้วยการกระทบของหยดน้ำฝนบนใบพืชที่แห้งและเปียก (ที่มา : Dickinson, C.H. and Lucas, J.A. 1977 Plant Pathology and Plant Pathogens p.34)

2.2 **ตัวนำที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต** (vector) มีสัตว์และจุลินทรีย์มากชนิดที่หาอาหารด้วยการดูดกินพืชสีเขียว ในขณะที่สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นดูดกินพืช และเคลื่อนย้ายจากต้นหนึ่งสู่อีกต้นหนึ่ง ดังนั้นจึงไม่ต้องสงสัยเลยว่า เชื้อโรคพืชสามารถใช้ประโยชน์จากวิธีการนี้ ช่วยในการแพร่กระจายโรคพืช สิ่งที่มีชีวิตชนิดใดก็ตาม เมื่อรับเชื้อโรคพืชเข้าไปในตัว และสามารถถ่ายทอดเชื้อโรคพืชนั้นลงสู่พืชปรกติ จนทำให้พืชเกิดโรคขึ้นได้ สิ่งที่มีชีวิตชนิดนั้นจะถูกเรียกว่า พาหะ (vector) ชนิดของพาหะดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-7 ได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างพาหะและเชื้อโรคพืช

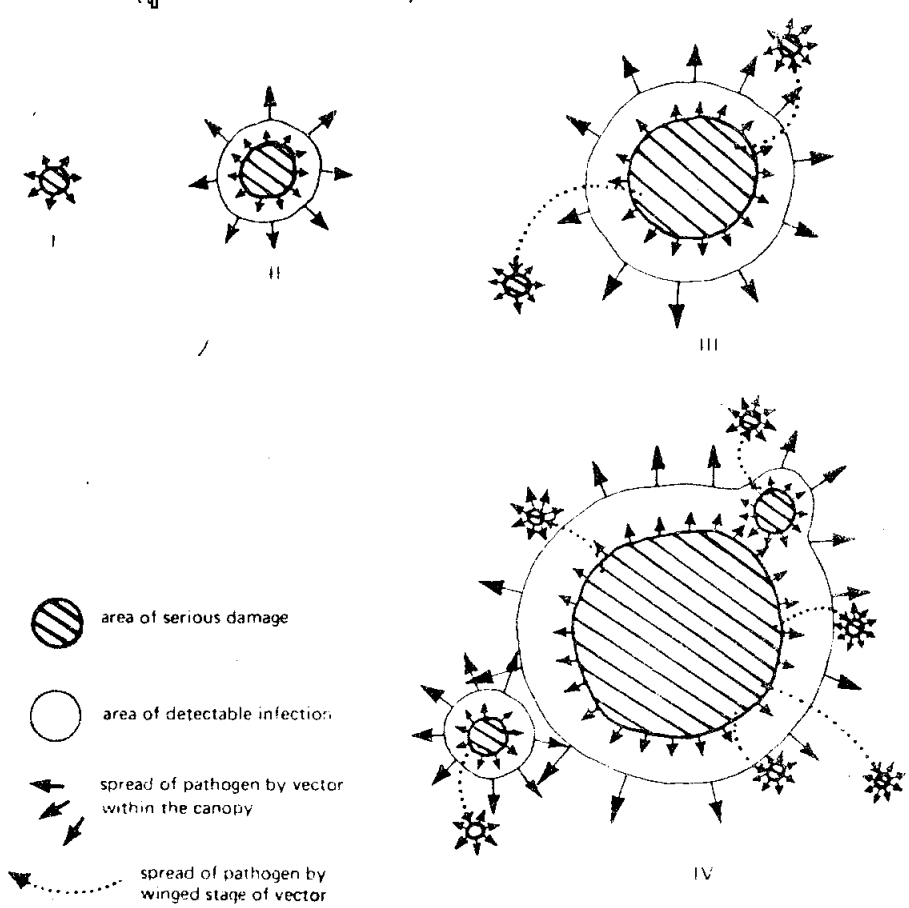


ภาพที่ 5-7 ชนิดต่าง ๆ ของพาหะเชื้อโรคพืช (ที่มา : Dickinson, C.H. and Lucas, J.A. 1977 Plant Pathology and Plant Pathogens p.36)

กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งสรุปเป็นความเฉพาะเจาะจงอย่างสูง (highly specific) 3 ลักษณะดังนี้ คือ พาหะมีความเหมาะสมที่ให้เชื้อโรคพืชเพิ่มปริมาณได้ภายในตัวเอง และถ่ายทอดโรคพืชนั้นได้ พาหะที่เป็นตัวถ่ายทอดโรคพืชไม่ได้กินเชื้อราเข้าไปภายในตัวเอง ซึ่งในสภาพนี้เชื้อโรคพืชไม่สามารถเพิ่มปริมาณได้ในตัวพาหะ เป็นแต่เพียงเจือปนภายใน หรือภายนอกตัวพาหะเท่านั้น

และพาหะกับเชื้อสาเหตุโรคพืชมีช่วงชีวิต (life cycle) ในการเพิ่มปริมาณตรงกัน โดยเชื้อโรคพืชอาจเจือปนเข้าไปภายในหรือนอกตัวพาหะ ดังนั้นเมื่อพาหะเพิ่มปริมาณมากขึ้น ก็จะทำให้โรคพืชระบาดมากขึ้นด้วย มักพบกับโรคพืชที่ระบาดเป็นประจำทุกปี

2.2.1 **แมลง** การแพร่กระจายโรคพืชด้วยแมลง มีแนวโน้มที่แตกต่างไปจากรูปแบบของลม โดยที่แมลงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทุกทางแบบรัศมีทรงกลม จากพืชต้นหนึ่งสู่พืชอีกต้นหนึ่ง วิธีการดังกล่าวมักเกิดขึ้นกับแมลงพาหะของโรคที่อาศัยอยู่ในดิน และแมลงที่ไม่มีปีกอยู่เหนือดิน กระแสร์ลมอาจมีผลกระทบต่อการแพร่กระจายโรคของแมลงพาหะจำพวกมีปีกอยู่บ้างพอสมควร โดยทำให้รูปแบบการกระจายของโรคผิดไปบ้างเล็กน้อย การแพร่กระจายโรคพืชด้วยแมลงพาหะนี้มีความสำคัญอยู่มากต่อประชากรของพืชชนิดเดียว และต่างชนิดกันในสภาพพื้นที่ ๆ ปลูกห่าง โดยแมลงพาหะของโรคพืชสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการติดเชื้อให้กับพืชทั้งในขณะกัดและดูดกินพืชอาศัย (ดูภาพที่ 5-8 ประกอบ)



ภาพที่ 5-8 แสดงการกระจายของโรคพืชแบบรัศมีทรงกลมจากจุดเริ่มต้น (ที่มา : Whitney, P.J. 1976 Microbial Plant Pathology p.32)

เชื้อราสาเหตุโรคพืชบางชนิดเช่น **Claviceps purpurea** ที่เป็นสาเหตุของโรคเออร์กอตของข้าวไรน์ สามารถแพร่สปอร์ด้วยการปล่อยหยดน้ำตาลออกมาในขณะที่สร้างคอนนิเดีย เพื่อดึงดูดแมลงให้มาตอมและดูดกิน ในขณะที่เชื้อรา **Ustilago violacea** ที่เป็นสาเหตุของโรคเขม่าดำ และ **Botrytis anthophila** ที่เจริญอยู่ทั่วตลอดต้นพืช สร้างสปอร์เฉพาะบริเวณอับเรณูแทนที่ละอองเกษรตัวผู้ เมื่อมีการถ่ายละอองเกษร (pollination) ด้วยแมลงโรคก็จะแพร่กระจายไปได้โดยง่าย สำหรับเชื้อรา **Ceratocystis ulmi** สาเหตุของโรค ดัช เอล์ม (dutch elm disease) จะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับ แมลงเต่า **Scolytus** ที่เป็นพาหะช่วยแพร่ระบาดโรค กล่าวคือ แมลงเต่าชนิดนี้จะกัดกิ่งอ่อนของพืชพร้อมกับถ่ายทอดสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชลงบนกิ่งอ่อนนั้น ยังผลให้กิ่งอ่อนแสดงอาการตายจากปลายยอดลงสู่โคนต้น จึงเป็นตำแหน่งบริเวณที่เหมาะสำหรับให้ แมลงเต่า **Scolytus** ตัวอื่นมาวางไข่และฟักออกเป็นตัวอ่อน แล้วกัดกินกิ่งพืชที่เป็นโรคและแห้งตายนั้นเป็นอาหาร ก็จะรับสปอร์เชื้อราสาเหตุของโรคดัชเอล์มเข้าไปในตัวแมลง แล้วเจริญเป็นตัวเต็มวัย เมื่อเข้าทำลายพืชก็จะทำให้เกิดโรคนี้ได้อีกเช่นเคย

มีโรคพืชที่เกิดจากแบคทีเรียอยู่หลายโรคที่อาศัยแมลงเป็นพาหะช่วยในการกระจายโรค แมลงบางชนิดมีลักษณะการถ่ายทอดโรคเป็นแบบทั่วไป (general transmission) ซึ่งมักพบกับแมลงที่ช่วยในการผสมเกษรเช่น ผึ้ง ต่อ แตน แมลงวัน และแมลงวันเป็นต้น โดยเชื้อแบคทีเรียสาเหตุของโรคพืชจะเกาะติดตามลำตัว ปีก ขา และส่วนอื่น ๆ การถ่ายทอดโรคของแมลงด้วยวิธีนี้พบได้กับโรคไหม้ของดอกแอปเปิลและลูกแพร์ (fire blight of apple and pear) มีเชื้อแบคทีเรีย **Erwinia amylovara** เป็นสาเหตุ ใบไหม้ของถั่ว (halo blight of bean) มีแบคทีเรีย **Pscudomonas medicaginis** var **phasaelicola** เป็นสาเหตุและโรคฝักบิด (pod twist) ของถั่วแขกมีแบคทีเรีย **Pseudomonas flectens** เป็นสาเหตุ ส่วนการถ่ายทอดโรคแข้งดำของมันฝรั่ง (Potato black leg) เหี่ยวของแตง และโรคเหี่ยวของข้าวโพด ที่เกิดจากการทำลายของเชื้อแบคทีเรีย **Erwinia carotovora Erwinia tracheiphila** และ **Xanthomonas stewartii** ตามลำดับนั้น มีการถ่ายทอดโรคจากแมลงด้วยวิธีพิเศษ (specialize transmission) ที่แตกต่างจากวิธีข้างต้น โดยที่แมลงจะกินเชื้อแบคทีเรียโรคพืชเข้าไปในลำไส้ และเชื้อแบคทีเรียจะพักอาศัยอยู่ข้ามฤดูหนาว ทำลายพืชในฤดูต่อไป

แมลงมีความสัมพันธ์กับแบคทีเรียสาเหตุโรคพืชได้หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายทอดเชื้อแบคทีเรียแบบทั่วไป และแบบพิเศษ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของสิ่งแวดล้อม ชนิดของโรคพืช เชื้อสาเหตุ และธรรมชาติของแมลงนั้น ๆ เช่น หนอนของด้วงจำพวก white grabe จะช่วยให้เชื้อสาเหตุของโรคปุ่มปม (crown gall) ที่อาศัยอยู่ในดินเข้าสู่ต้นพืชทางบาดแผลของหนอนพวกนี้ทำลาย มีแมลงบางชนิดเป็นตัวแพร่กระจายโรคได้อย่างดีโดยไม่ทำให้เกิดแผลกับ

พืช เช่น ผึ้ง แมลงภู่ และแมลงประเภทดูดน้ำหวานจากดอกไม้ เช่น โรคไหม้ของดอกแอปเปิลและแพร์ เป็นต้น และนอกจากแมลงเต่าทอง (stripped cucumber beatle) จะเป็นตัวนำ และปลูกเชื้อแบคทีเรีย **Erwinia tracheiphila** ที่เป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวของแตงแล้ว ยังเป็นตัวช่วยให้แบคทีเรียชนิดนี้อาศัยข้ามฤดูปลูกพืชได้อีกด้วย

แมลงจำพวก เพลี้ยจั๊กจั่น (leaf hopper) เพลี้ยอ่อน (aphid) แมลงหวี่ขาว (white fly) และเพลี้ยไฟ (Thrip) สามารถถ่ายทอดโรคพืชที่เกิดจากไวรัสได้หลายชนิด

เพลี้ยอ่อน พบว่ามีเพลี้ยอ่อนหลายสกุลและหลายชนิดที่สามารถถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืชได้เป็นร้อยชนิด เช่น **Myzus persicae Aphis craccivora, Aphis gossypii, Rhopalosiphum maydis** โดยถ่ายทอดไวรัสซึ่งทำให้เกิดอาการประเภทต่างบนพืช และมีความสัมพันธ์กับไวรัสในแบบนอนเปอร์ซิสเตนท์ (nonpersistent)

เพลี้ยจั๊กจั่น โดยเฉพาะเพลี้ยจั๊กจั่นสกุล **Nephotettix** เป็นเพลี้ยจั๊กจั่นที่มีความสำคัญในการถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืชประเภทเหลือง ที่ระบาดในแปลงปลูกข้าวทั่วไป และมีความสัมพันธ์กับไวรัสเป็นแบบ เปอร์ซิสเตนท์ (persistent) และนอนเปอร์ซิสเตนท์

เพลี้ยไฟ ความสามารถที่เพลี้ยไฟถ่ายทอดโรคไวรัสได้นั้น มีอยู่น้อยชนิด โรคสำคัญ ๆ ที่เพลี้ยไฟถ่ายทอดไวรัสได้ อยู่ในกลุ่มของโรค สปอตเตดวิลท์ (spotted wilt)

แมลงหวี่ขาว แมลงหวี่ขาวถ่ายทอดโรคที่มีสาเหตุจากไวรัสได้น้อยชนิด เช่นเดียวกับเพลี้ยไฟ ส่วนใหญ่เป็นไวรัสที่ทำให้พืชแสดงอาการใบหงิก

2.2.2 แมงหรือไร (Mite) แมงหรือไรเป็นพาหะอีกชนิดที่สามารถถ่ายทอดโรคพืชจากต้นเป็นโรคสู่พืชปรกติได้ ส่วนใหญ่พบเฉพาะโรคพืชที่เกิดจากไวรัสเท่านั้น แมงหรือไรที่ถ่ายทอดไวรัสได้อยู่ในวงศ์ Eryophyidae แทบทั้งสิ้น และอาจพบได้บ้างกับไรในวงศ์ Tetranychidae

2.2.3 นก (Birds) พบอยู่บ่อยครั้งที่นกเป็นตัวนำเมล็ดกาฝากจากต้นพืชที่ถูกทำลาย ไปสู่พืชอีกต้นหนึ่งได้ด้วยการกลืนกินเข้าไป แล้วถ่ายเมล็ดออกมาพร้อมของเสีย และในทำนองเดียวกัน เคยมีการพิสูจน์ได้ด้วยว่า นกหัวขวาน และนกจำพวก ทรีครีพเปอร์ (treecreepers) สามารถนำสปอร์ของเชื้อราสาเหตุของโรคไหม้ของต้น เชสนัท (chestnut blight) ที่เกิดจากการทำลายของ **Endothia parasitica** ให้เคลื่อนที่ไปจากจุดทำลายได้หลายร้อยไมล์

2.2.4 เชื้อรา (Fungi) การถ่ายทอดเชื้อโรคพืชของเชื้อราจากต้นเป็นโรค ไปสู่พืชปรกตินั้น พบได้เฉพาะกับการถ่ายทอดไวรัสสาเหตุโรคพืช โดยมีรายงานเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.

1962 Campbell และคณะพบว่า **Olpidium brassicae** สามารถถ่ายทอดโรค lettuce big vein ได้ และต่อมายังพบว่าถ่ายทอดไวรัสอื่น ๆ ได้อีก 2 ชนิดคือ tobacco necrosis virus กับ tobacco stunt virus โดยถ่ายทอดเชื้อไวรัสผ่านทาง ซูโอสปอร์ที่เข้าทำลายพืชของเชื้อรา การศึกษาระยะต่อมายังพบต่อไปอีกว่า ราเมือก (slime mold) ที่มีชื่อว่า **Polymyxa graminis** สามารถถ่ายทอดไวรัส wheat mosaic ได้เช่นเดียวกัน

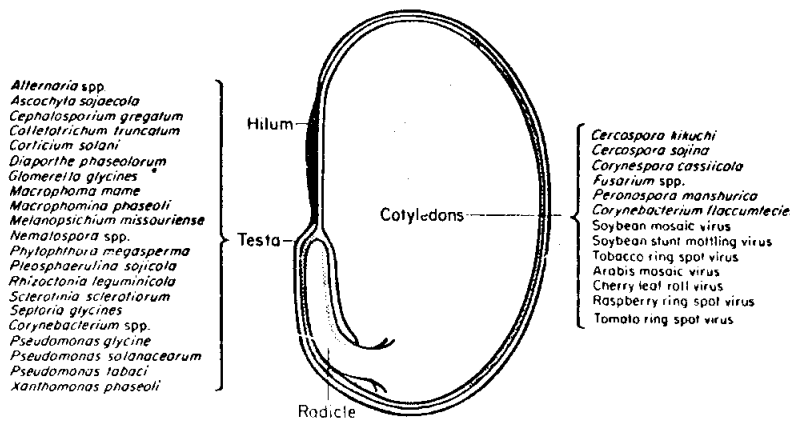
2.2.5 ไส้เดือนฝอย (Nematode) ไส้เดือนฝอยเป็นพาหะของโรคพืชอีกชนิดหนึ่ง ที่เป็นตัวนำเชื้อไวรัสเข้าทำลายพืช ความสนใจในเรื่องนี้เริ่มต้นหลังจาก Hewitt และคณะได้พิสูจน์ให้เห็นจริงว่า ไส้เดือนฝอย **Xiphinema index** สามารถถ่ายทอดโรค grape fan leaf ซึ่งเกิดจากไวรัสได้สำเร็จ เมื่อปี ค.ศ. 1958 อย่างไรก็ดี ปัจจุบันนี้มีรายงานว่า ไส้เดือนฝอยที่เป็นพาหะนำเชื้อไวรัสได้มีอยู่ 3 สกุลคือ **Xiphinema, Longidorus** และ **Trichodorus**ซึ่งสามารถถ่ายทอดไวรัสทรงกลมเรียกว่า Nepovirus และทรงท่อน เรียกว่า Netuvirus (ดังตารางที่ 5-3)

3. **แพร่กระจายโดยมนุษย์** (Man) มนุษย์เป็นตัวการใหญ่ที่ทำให้โรคพืชแพร่กระจายไปในถิ่นธรรมชาติได้ไกล และกว้างขวางมากกว่าสิ่งอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยนำติดไปกับส่วนขยายพันธุ์ของพืช เช่น ตา กิ่ง ต้นตอ และเมล็ด โรคแคงเกอร์ของพืชตระกูลส้ม ซึ่งเป็นโรคที่ระบาดทำความเสียหายอย่างกว้างขวางในท้องที่ ๆ มีการปลูกส้ม เมื่อปี ค.ศ. 1912 P.J. Wester ได้รายงาน

ตารางที่ 5-3 แสดงความเฉพาะเจาะจงของไส้เดือนฝอยที่ถ่ายทอดไวรัสพืช

Nematode vector	Virus
Xiphinema index	Arabis mosaic Virus (grape vine strain) Grape vine leaf roll virus
X diversicaudatum	Arabis mosaic virus (type strain)
X americanus	Peach yellow bud mosaid virus
Longidorus attenuata	Tomato black ring virus
Trichodorus primitirus	Tobacco rattle virus (English)
T pachydermis	Tobacco rattle virus (Dutch)

ว่าพบโรคนี้ในประเทศฟิลิปปินส์ แต่โรคยังไม่ระบาดแพร่หลายมากนัก และในปีเดียวกันประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พบโรคนี้ในมอนติเซลโลเนอสเซอรี่ใกล้มลรัฐฟลอริดา ต่อมาโรคแคงเกอร์ได้ระบาดทำความเสียหายให้กับการปลูกส้มของมลรัฐฟลอริดา แต่ไม่มีรายงานแจ้งไว้ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1913 E.W. Berger เป็นคนแรกที่รายงานถึงการเกิดโรคนี้ในสหรัฐอเมริกา และยังพบโรคนี้ติดมากับส้มสามใบ **(Poncirus trifoliata)** ซึ่งส่งมาทางเรือจากประเทศญี่ปุ่นในปี ค.ศ. 1910 ปัจจุบันมีรายงานเพิ่มเติมว่าโรคแคงเกอร์ระบาดทำความเสียหายให้กับการปลูกส้มของประเทศจีน ญี่ปุ่น เวียตนาม ฟิลิปปินส์ บราซิล ปากีสถาน อิรัค อินเดีย อินโดนีเซีย อาเย็นตินา และออสเตรเลีย โรคพืชหลายชนิดที่ติดอยู่กับเมล็ดบนบริเวณเปลือกนอก (testa) และบริเวณใบเลี้ยงของต้นอ่อน (cotyledon) นั้น ถูกขนส่งจากประเทศหนึ่งไปสู่อีกประเทศหนึ่งได้โดยง่าย (ดูภาพประกอบ) และ นอกจากมนุษย์จะเป็นผู้นำเชื้อโรคพืชไปสู่พืชโดยตรงแล้ว ยังเป็นผู้ปลูกเชื้อให้กับพืชอีกด้วย เชื้อสาเหตุโรคพืชที่มนุษย์เป็นผู้ปลูกให้กับพืชคือ ซัมบิเดียม โมเสค ไวรัส (Symbidium Mosaic Virus) โทแบคโค โมเสค ไวรัส (Tobacco mosaic virus) และ โปเตโต ไวรัส เอ็กซ์ (Potato virus X)



ภาพที่ 5-9 เมล็ดถั่วเหลืองสามารถเป็นพาหะนำเชื้อโรคพืชชนิดต่าง ๆ (ที่มา : Dickinson, C. H. and Lucas, J.A. 1977 Plant Pathology and Plant Pathogens p.38)

การอยู่ข้ามฤดูเพาะปลูกของเชื้อสาเหตุโรคพืช (Survival of Plant Pathogens)

จากสภาพการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม และพืชอาศัยของเชื้อสาเหตุโรคพืชหลังฤดูเพาะปลูกนี้ ทำให้มีผลตกกระทบถึงความมีชีวิตอยู่รอดในถิ่นธรรมชาติต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชชนิดต่าง ๆ มากมาย โดยเชื้อแต่ละชนิดพยายามปรับสภาพหรือหาวิธีการที่สามารถทำให้สายพันธุ์ของตน

เองดำรงค์อยู่ เพื่อที่จะเป็นกำลังหรือพลังงานทางชีววิทยา (inoculum potential) ในการเข้าทำลายพืช ผลสืบไป วิธีการมีชีวิตอยู่รอดเพื่อข้ามฤดูเพาะปลูกของเชื้อโรคพืชอาจแตกต่างกันดังต่อไปนี้คือ

1. **การมีชีวิตอยู่ข้ามฤดูเพาะปลูกในรูปของหน่วยพันธุ์ และโครงสร้างพิเศษที่คงทน (Survival by Mean of Specialized Resting Structure)** หน่วยพันธุ์และโครงสร้างพิเศษที่คงทนอาจจะอยู่ในรูปของ คอนนิเดีย, คลามิโดสปอร์ สปอร์มีเพศ เม็ดสเคอร์โรเตียม พิคนิเดียม อะเซอร์วูลัส สปอร์โรโดเชี่ยม เดลฮิสโตธีเซี่ยม เพอริธีเชี่ยม อะโพธีเซี่ยม และพสูโดธีเซี่ยม โรคใบหงิกของต้นพีช (peach leaf curl) ที่มีสาเหตุจากการทำลายของเชื้อรา **Taphrina deformans** มี แอสโคสปอร์สำหรับอาศัยข้ามฤดู คอนนิเดียของเชื้อรา **Alternaria solani** สาเหตุของโรคใบไหม้ของมันฝรั่ง และมะเขือเทศ (early blight of potato and tomato) จะมีชีวิตอยู่บนใบที่เป็นโรค และทิ้งให้แห้งได้นานถึง 18 เดือนเต็ม

2. **การมีชีวิตอยู่ข้ามฤดูเพาะปลูกในรูปของการดำรงค์ชีวิตแบบแซโปรไฟท์** (Survival as Saprophyte) เชื้อสาเหตุโรคพืชมากชนิดที่มีชีวิตอยู่รอดได้ด้วยการดำรงค์ชีวิตในดินแบบแซโปรไฟท์ ซึ่ง Waksman (1917) ได้กล่าวถึงการมีชีวิตอยู่ในดินของเชื้อโรคพืช 2 รูปแบบคือ

2.1 Soil inhabitants เป็นปรสิตที่สามารถอาศัยฟักตัวอยู่ในดิน มีสภาพการดำรงค์ชีวิตแบบ แซโปรไฟท์ได้อย่างไม่มีขอบเขตจำกัด ปรสิตประเภทนี้มีพืชอาศัยได้กว้าง

2.2 Soil invaders (root inhabiting fungi) เป็นปรสิตที่ค่อนข้างพิเศษมากกว่า ข้อ 2.1 อาจมีการดำรงค์ชีวิตเป็นแบบ แฟคัลเตติป แซโปรไฟท์ หรือปรสิตถาวรก็ได้

เชื้อราและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคกับพืชส่วนมากเป็น soil invaders แต่มีเชื้อราบางชนิดเช่น **Rhizoctonia solani Pythium debaryanum** ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคไหม้ของกล้าพืช (seedling blight) และโรครากเน่าจะอาศัยได้ในดิน และดำรงค์ชีวิตแบบ แซโปรไฟท์ ส่วนมากสภาพการดำรงค์ชีพแบบแซโปรไฟท์ของเชื้อโรคพืชจะอาศัยอยู่บนส่วนของพืชที่เป็นโรค แล้วหักหรือตกหล่นอยู่บนพื้นดิน เช่นเชื้อราสาเหตุของโรคสแคปของแอปเปิล **Venturia inaequalis** เป็นต้น

3. **การมีชีวิตอยู่ข้ามฤดูปลูกพืชบนส่วนต่าง ๆ ของพืช** (Survival in Vital Association with Living Plants) Daniel A Roberts และ Carl W. Boothroyd ได้กล่าวถึงผลงานของ Brefeld และ Falk ซึ่งรายงานไว้ในปี 1905 ว่าโรคเขม่าดำของข้าวสาลี (loose smut) ที่เกิดจากเชื้อรา **Ustilago tritici** จะอาศัยอยู่ข้ามฤดูหนาวในเมล็ดข้าวด้วยส่วนของเส้นใย โดยที่เชื้อราผ่านเข้าทำลายข้าวสาลีทางยอดเกษรตัวเมีย และก้านชูยอดเกษรตัวเมีย แล้วเข้าทำลายเมล็ดข้าวขณะอายุยังน้อย เชื้อราสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสของถั่ว **(Colletotrichum lindemuthianum)** และแบคทีเรีย

สาเหตุของโรคใบไหม้ของถั่ว และโรคใบจุดเหลี่ยมของฝ้ายอยู่ข้ามตลอดฤดูหนาว โดยเข้าทำลายเมล็ด การอยู่ข้ามฤดูเพาะปลูกพืชของเชื้อสาเหตุโรคพืชที่เข้าทำลายพืชยืนต้นแบบซีสเตมิค (systemically infected) เชื้อจะกระจายอยู่บนทุกส่วนของพืช ในขณะที่การอาศัยข้ามฤดูบนพืชล้มลุกที่ปลูกปีเดียว สองปี และบนไม้ยืนต้นประเภทไม้เนื้ออ่อนจะกระจายอยู่บนส่วนขยายพันธุ์ของพืช การมีชีวิตอยู่รอดเช่นนี้พบได้ในปริมาณที่สูงกับเชื้อไวรัสสาเหตุโรคพืช เช่น peach yellow virus และ potato mosaic virus ถ่ายทอดโรคผ่านตา และหัวที่ใช้ขยายพันธุ์ ยังมีไวรัสสาเหตุโรคพืชอีกหลายชนิดที่มีชีวิตอยู่รอดได้ โดยอาศัยอยู่บนพืชนอกฤดูเพาะปลูก (alternate host, wild host) และบนเมล็ดพืช สำหรับเปอร์เซนต์การถ่ายทอดบนเมล็ดพืชนั้นค่อนข้างต่ำ มีไวรัสสาเหตุโรคพืชน้อยชนิดที่สามารถถ่ายทอดโรคผ่านเมล็ดได้ในเปอร์เซนต์ที่สูง ยกเว้น bean mosaic virus, cowpea aphid borne mosaic virus, lettuce mosaic virus และ tobacco ring spot virus

4. **การมีชีวิตอยู่ข้ามฤดูปลูกพืชในแมลง** (Survival in Association with Insects) นอกจากแมลงจะเป็นพาหะในการนำโรคมาสู่พืชแล้ว แมลงยังเป็นที่อยู่อาศัยสำหรับการมีชีวิตอยู่รอดข้ามฤดูหนาวของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้อีกด้วย ดังได้กล่าวในข้อ 2.2.1 การถ่ายทอดโรคพืช และการมีชีวิตอยู่รอดในตัวแมลง จึงน่าจะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะโรคพืชที่เกิดจากไวรัส และมีแมลงเป็นพาหะนับว่ามีความสำคัญมาก ไวรัสซึ่งถ่ายทอดโดยแมลงพาหะมีลักษณะความสัมพันธ์ได้เป็น 3 แบบคือ

4.1 นอนเปอร์ซิสเตนท์ เป็นความสัมพันธ์แบบที่แมลงซึ่งถ่ายทอดไวรัสใช้ระยะเวลาสั้นในการดูดกินพืชที่เป็นโรค แล้วถ่ายทอดไวรัสไปสู่พืชปกติใช้ระยะเวลาสั้นในการดูดกินพืชปกติเช่นเดียวกัน ไวรัสที่มีความสัมพันธ์เช่นนี้ จะติดอยู่ที่ปลาย stylet ของแมลงพาหะเท่านั้น ปัจจุบันจึงนิยมเรียกความสัมพันธ์ของแมลงกับเชื้อไวรัสว่าเป็นแบบ stylet-borne

4.2 เปอร์ซิสเตนท์ (persistent) มีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับข้อ 4.1 กล่าวคือ แมลงพาหะจะต้องดูดกินพืชที่เป็นโรค และพืชปกติโดยใช้เวลานาน และไวรัสจะเข้าไปหมุนเวียนอยู่ในตัวแมลง และบางครั้งทวีจำนวนในตัวแมลงด้วย ความสัมพันธ์แบบนี้เรียกได้อีกอย่างว่า propagative

4.3 เซมิเปอร์ซิสเตนท์ (semipersistent) เป็นความสัมพันธ์แบบที่แมลงพาหะใช้เวลาในการดูดกินพืชระหว่างช่วงเวลาของความสัมพันธ์ทั้งสองแบบข้างต้น บางครั้งอาจเรียกว่าเป็นความสัมพันธ์แบบ circulative

รายละเอียดของลักษณะความสัมพันธ์ทั้ง 3 แบบ เปรียบเทียบกันโดยสรุปดังตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 ตารางเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างไวรัสกับแมลงพาหะ

คุณสมบัติ	Nonpersistent	Persistent	Semipersistent
ระยะเวลารับเชื้อ (Acquisition period)	สั้น (เป็นวินาที)	ยาว (เป็นชั่วโมงขึ้นไป)	ปานกลาง
ระยะเวลาอดอาหาร (Fasting period)	เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายทอด	ไม่มีผลต่อการถ่ายทอด	ไม่มีผลต่อการถ่ายทอด
ความคงทนในตัวแมลง (Persistence)	ระยะสั้น	ระยะยาว	ปานกลาง
ระยะฟักตัว (Lalent period)	ไม่มี	มี	ไม่มี
ระยะเวลาถ่ายทอด (Transmission period)	สั้น	ยาว	ปานกลาง
การถ่ายทอดหลังลอกคราบ (Transmission after molt)	หมดความสามารถในการถ่ายทอด	ยังสามารถถ่ายทอดได้	ส่วนใหญ่หมดความสามารถในการถ่ายทอด
ความเฉพาะเจาะจง (Specificity)	ไม่เฉพาะ	เฉพาะ	เฉพาะ
การทวีจำนวน (Multiplication)	ไม่ทวีจำนวนในตัวแมลง	มักทวีจำนวนในตัวแมลง	ไม่ทวีจำนวนในตัวแมลง
อาการบนพืชที่เป็นโรค (Typical symptom on Plants)	ด่าง	แคระ,เหลือง	แคระ,เหลือง

(ที่มา : ธีระ สูตะบุตร 2522 วิสาวิทยาเบื้องต้นของพืช หน้า 20)