

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ปัญหาการเสื่อมโทรมของสวนส้มสายน้ำผึ้งในพื้นที่ อำเภอฟาง จังหวัดเชียงใหม่

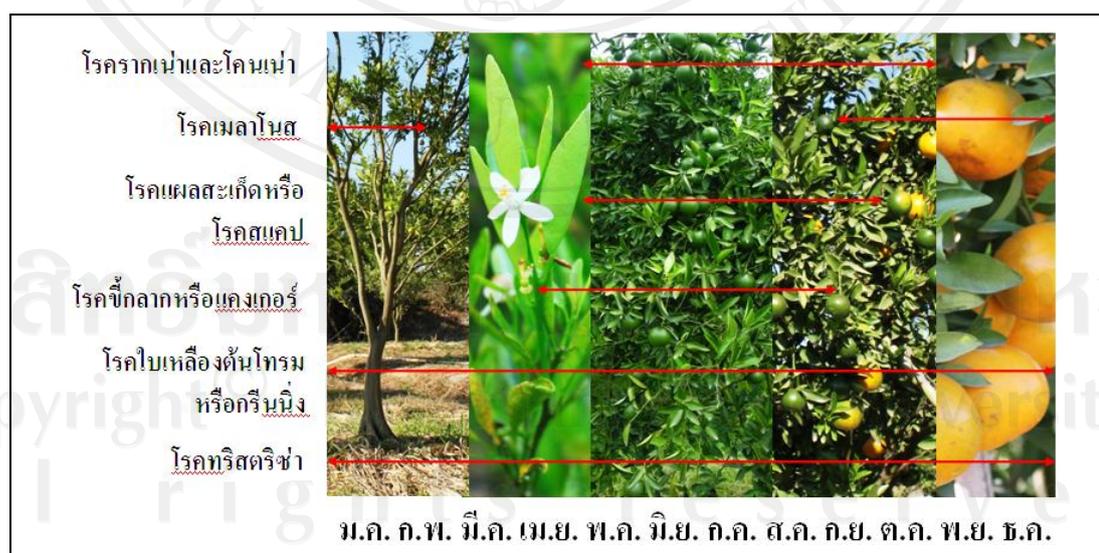
ส้มสายน้ำผึ้ง จัดเป็นส้มเปลือกอ่อน (mandarin) เช่นเดียวกับส้มเขียวหวาน และส้มโชกุน ปลูกมากในพื้นที่อำเภอฟาง แม่อาย และไชยปราการ จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ส่งผลให้ส้มสายน้ำผึ้งกลายเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ทำเงินรายได้จำนวนมากให้แก่เกษตรกร ทั้ง 3 อำเภอแทนพืชที่ปลูกมาแต่เดิม เช่น ลิ้นจี่ และกระเทียม พบอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ปลูกส้ม ในเขตพื้นที่อำเภอฟาง จ.เชียงใหม่ ตั้งแต่ปี 2545 เป็นต้นมา (สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่, 2552) และหลังจากปี 2551 พบอัตราการลดลงของพื้นที่ปลูกส้มอย่างรวดเร็วเช่นกัน (ภาพที่ 2-1) เนื่องจากประสบกับปัญหาความเสื่อมโทรมของต้นส้มและสวนส้ม เช่นเดียวกับที่เคยเกิดขึ้นกับพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานแหล่งอื่น ๆ ในหลายจังหวัดของประเทศไทย เช่น แพร่ น่าน สุโขทัย ลำปาง ปทุมธานี สระบุรี นครนายก ลพบุรี อุทัย เป็นต้น ยังรวมถึงเขตบางมดซึ่งเคยเป็นแหล่งปลูกส้มเขียวหวานที่สำคัญเมื่อ 20-30 ปีที่แล้ว ต่างประสบกับปัญหาโรคและแมลงระบาด ทำให้ผลผลิตลดน้อยลง ต้นโทรมและไม่ให้ผลผลิตอีกต่อไป ทำให้เกษตรกรสวนส้มจำเป็นต้องย้ายแหล่งปลูกส้มไปยังพื้นที่ใหม่เรื่อยๆ ซึ่งในปัจจุบันพื้นที่ปลูกส้มในอำเภอฟางก็กำลังประสบปัญหา เช่นเดียวกัน คือ ต้นส้มโทรม และให้ผลผลิตน้อยลงหลังจากมีอายุประมาณ 4-7 ปี ส่งผลให้พื้นที่ปลูกส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งลดลงอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2-1 พื้นที่ปลูกส้มสายน้ำผึ้งในอำเภอฟาง แม่อาย และไชยปราการปี 2544-2552  
ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่ (2552)

สาเหตุความเสื่อมโทรมส่วนใหญ่พบว่าเกิดจากการระบาดของโรคและแมลง ซึ่งสามารถเกิดกับต้นส้มได้ตั้งแต่ระยะเริ่มปลูก ไปจนถึงตลอดระยะเวลาการปลูก ซึ่งอำเภอพรรณานิคม และคณะ (2542) ได้รายงานไว้ว่าโรคส้มเป็นปัญหาที่สำคัญที่ทำให้เกษตรกรมากที่สุด โดยเฉพาะโรคกรีนนิ่งและทริสทริซ่า ซึ่งกรมวิชาการเกษตร (2553) มีรายงานการพบการระบาดของโรคส้มในอำเภอฝาง แม่อาฮ และไชยปราการ ที่สำคัญ 3 ลำดับ ได้แก่ โรครากเน่า ร้อยละ 28.47 โรคกรีนนิ่งหรือใบเหลืองต้นโทรม ร้อยละ 18.42 และโรคแคงเกอร์ ร้อยละ 18.06 และพิทยา และคณะ (2552) พบข้อมูลการระบาดของโรคส้มในพื้นที่อำเภอฝาง เรียงตามลำดับ คือ โรคกรีนนิ่ง ร้อยละ 81.08 โรครากเน่าโคนเน่า ร้อยละ 70.27 และโรคแคงเกอร์ ร้อยละ 56.76 ในขณะที่ ฉัตรชนก (2554) ได้สรุปสาเหตุการเสื่อมโทรมของสวนส้มในหลาย ๆ พื้นที่ว่ามีสาเหตุมาจากการเข้าทำลายของโรคกรีนนิ่ง และทริสทริซ่า รวมทั้งโรครากเน่าและโคนเน่า โดยระบุว่าปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงไปจากโรคพืช ได้แก่ การจัดการดินและปุ๋ย ซึ่งที่ผ่านมาเกษตรกรจะใส่ปุ๋ยในปริมาณมากไม่สอดคล้องถูกต้องตรงกับความต้องการของพืชที่แท้จริง เกิดปัญหาการสะสมธาตุอาหารบางชนิดมากหรือน้อยเกินไป ทำให้สมดุลของธาตุอาหารเสียไป และเกิดผลเสียหลายอย่างตามมา เช่น ทำให้ต้นส้มอ่อนแอถูกโรคและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย

โรคสำคัญของส้มที่พบจะแตกต่างกันไปตามแต่ช่วงฤดูกาล และระยะการเจริญเติบโต ทั้งช่วงการแตกใบอ่อน ระยะออกดอกและติดผลอ่อน และพบโรคกรีนนิ่งตลอดทั้งปีในทุก ๆ ระยะการเจริญเติบโตของส้ม ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ปฏิทินการปลูกส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งและช่วงเวลาการเกิดโรคที่สำคัญของส้ม

ที่มา: ดัดแปลงจาก พิทยา และคณะ (2552)

### 2.1.1 โรคกรีนนิง

โรคกรีนนิง (greening) หรือโรคใบเหลืองต้นโทรม ในปัจจุบันเรียกโรคฮวงหลงบิง (huanglongbing: HLB) มีรายงานการพบโรคนี้ในหลายประเทศที่มีการปลูกส้ม และมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เช่น ประเทศฟิลิปปินส์เรียก leaf mottle yellow ประเทศอินเดียเรียก citrus dieback และประเทศอินโดนีเซียเรียก citrus vein phloem degeneration เป็นต้น โรคกรีนนิงจัดว่าเป็นโรคที่ทำความเสียหายให้กับสวนส้มทั่วโลกมากที่สุด มีต้นกำเนิดมาจากประเทศในแถบเอเชียและแอฟริกา แพร่ระบาดเข้าไปในประเทศแถบซีกโลกตะวันตกในปี ค.ศ. 2004 ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตส้มในเชิงพาณิชย์ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากไม่มีวิธีการควบคุมโรคที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ (Gottwald, 2010) โรคดังกล่าวเกิดจากเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative) *Candidatus Liberibacter* spp. พบเจริญอยู่ในท่อลำเลียงอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นส้มแต่ไม่สามารถเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ (Jagoueix *et al.*, 1994) แต่เดิมแบคทีเรียดังกล่าวแบ่งเป็นสองสายพันธุ์ คือ *Candidatus Liberibacter africanus* พบในประเทศแถบแอฟริกาใต้ และ *Candidatus Liberibacter asiaticus* พบในประเทศแถบเอเชียรวมทั้งในประเทศไทย ต่อมาจึงพบเชื้อ *Candidatus Liberibacter americanus* ซึ่งก่อให้เกิดโรคกรีนนิงในประเทศบราซิลเมื่อปี ค.ศ. 2004 ส่วนในประเทศไทยพบว่ามีรายงานการตรวจพบโรคและแมลงพาหะเมื่อปี พ.ศ. 2516 (อำไพวรรณ และคณะ, 2527)

### 2.1.2 ลักษณะอาการของโรคกรีนนิง

ลักษณะอาการโดยทั่วไปของโรคกรีนนิงที่เกิดกับส้ม อาการเริ่มต้นของโรคที่เห็นได้ชัดเจนคือ ยอดเหลืองซึ่งเป็นที่มาของชื่อฮวงหลงบิง โดยในระยะเริ่มแรก ใบส้มแสดงอาการเหลืองตรงปลายยอดที่ใดที่หนึ่งของต้น เนื่องมาจากเชื้อแบคทีเรียเคลื่อนที่ได้เข้าประมาณ 30-50 เซนติเมตร ภายใน 12 เดือน (Da Graca, 1991) ต่อมาใบจะร่วง และกิ่งแห้งตาย บางครั้งพบเนื้อใบมีสีเหลืองซีด แต่เส้นใบยังคงมีสีเขียวอยู่ ใบมีขนาดเล็ก เรียกว่าปกติและชี้ตั้งขึ้น บางส่วนของใบหรือทั้งใบแสดงอาการด่างเหลือง (chlorotic mottling) คล้ายกับอาการขาดธาตุสังกะสี หรือใบแก้ว พบมากในใบอ่อนของส้ม ส่วนใบแก่อาจพบเส้นใบและเนื้อใบติดกันโปร่งใสกว่าปกติ (vein clearing) หรือใบดำน อาการที่พบที่กิ่ง คือ แห้งตายจากปลายกิ่งเข้ามา (dieback) ในส่วนของผลจะมีขนาดเล็ก และเป็นสีเขียวเนื่องจากไม่มีการพัฒนา ทำให้เกษตรกรไม่สามารถเก็บผลผลิตได้ รูปร่างบิดเบี้ยวและรสชาติขม ส่วนใหญ่เมื่อได้รับเชื้อแล้วอาจใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือนหรือนานกว่านั้นจึงจะปรากฏอาการ (Timmer *et al.*, 2000)

### 2.1.3 การแพร่ระบาดของโรครินนิ่ง

โรครินนิ่งสามารถถ่ายทอดได้หลายวิธี โดยผ่านการติดตา (graft transmission) ติดไปกับ ส่วนขยายพันธุ์ กิ่งตอน หรือกิ่งพันธุ์ และมีเพลี้ยกระโดดส้ม หรือเพลี้ยไก่แจ้ (psyllid) เป็นแมลงพาหะถ่ายทอดโรค (อำเภอพรรณ และนิพนธ์, 2545) ซึ่งทำให้เกิดการแพร่ระบาดของโรครินนิ่งได้อย่างรวดเร็วและเป็นบริเวณกว้าง โดยเพลี้ยไก่แจ้ *Trioza erytreae* เป็นพาหะของโรครินนิ่งสายพันธุ์แอฟริกัน ส่วนเพลี้ยไก่แจ้ *Diaphorina citri* (Kuwayama) เป็นพาหะของโรครินนิ่งสายพันธุ์เอเชีย (Garnier *et al.*, 2000a; Garnier *et al.*, 2000b) เมื่อเพลี้ยไก่แจ้ได้รับเชื้อแบคทีเรีย *Candidatus Liberibacter asiaticus* ขณะคูดน้ำเลี้ยงจากต้นส้มที่เป็นโรค จะทำให้มีเชื้ออยู่ในตัวได้ตลอดชีวิต และประมาณ 21 วัน หลังจากได้รับเชื้อแล้ว แมลงพาหะสามารถถ่ายทอดเชื้อไปยังต้นอื่น ๆ ได้ ขณะเดียวกัน ตัวอ่อนระยะที่ 4 และ 5 สามารถถ่ายทอดเชื้อได้เช่นกัน (CAB International, 2002) แต่ไม่สามารถตรวจสอบหาเชื้อสาเหตุ *Candidatus Liberibacter asiaticus* ภายในไข่หรือในช่วงผลิตลูกหลานได้ (Hung *et al.*, 2004) ในการถ่ายทอดโรคไปยังต้นอื่นใช้เวลาอย่างน้อย 15 นาที ถึง 24 ชั่วโมง เมื่อต้นส้มได้รับเชื้อสาเหตุแล้วจะแสดงอาการของโรคภายใน 4 เดือน ถึง 1 ปี หรือนานกว่านั้น (ไมตรี, 2542)

## 2.2 การศึกษาและวิเคราะห์โรครินนิ่ง

การตรวจสอบเชื้อสาเหตุของโรครินนิ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การติดตาทาบกิ่งบนพืชที่อ่อนแอต่อโรค ซึ่งต้องใช้เวลาในการตรวจสอบค่อนข้างนานประมาณ 2-3 เดือน หรือการตรวจหาอนุภาคของเชื้อสาเหตุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แต่เนื่องจากปริมาณของเชื้อในพืชมีน้อย ทำให้บางครั้งตรวจไม่พบอนุภาค ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาของเทคนิคทางอณูชีววิทยา เช่น เทคนิค PCR ทำให้สามารถตรวจสอบเชื้อสาเหตุของโรครินนิ่งของส้ม ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ แม้เชื้อจะมีปริมาณน้อยมาก และวิธีดำเนินการไม่ยุ่งยากและเสียเวลาเหมือนอย่างการศึกษาลักษณะทางจุลภาคของเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Hung *et al.*, 2000)

### 2.2.1 วิธีการศึกษาและวิเคราะห์โรครินนิ่งในห้องปฏิบัติการ

ปัจจุบันใช้เทคนิควิธีการทางด้านอณูชีววิทยา (molecular) เพื่อตรวจสอบเชื้อสาเหตุของโรค เช่น เทคนิค PCR (Polymerase Chain Reaction) ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและการปฏิบัติหลายขั้นตอน (Sankaran *et al.*, 2010) แต่ให้ผลที่ถูกต้องชัดเจนและเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป

เทคนิค PCR พัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1985 โดยนักชีวเคมีชื่อว่า Kary Mullis ถูกนำมาใช้ในการจำแนกลำดับเบสของดีเอ็นเอที่จำเพาะเจาะจง (specific DNA sequence) ในสารละลายที่มีกลุ่มของ

ลำดับเบสของดีเอ็นเอเป็นจำนวนมากปะปนอยู่ แล้วเพิ่มปริมาณส่วนลำดับเบสเป้าหมาย (targeted sequence) นี้ขึ้นมาเป็นล้านเท่าโดยผ่านวิธีกึ่งอัตโนมัติซึ่งใช้เวลาเพียง 1 หรือ 2 ชั่วโมง ดังนั้นจุดเด่นของเทคนิค PCR คือ สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้อย่างจำเพาะเจาะจง โดยมีขั้นตอนในการทำงานและใช้เวลาน้อย (พิสสุวรรณ, 2540)

ขั้นตอนของเทคนิค PCR สามารถสรุปได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ

1. ขั้นแรก เรียกว่า denaturing เป็นการแยกสายดีเอ็นเอต้นแบบ (DNA template) ที่เป็นเส้นคู่ (double stand DNA) ให้เป็นเส้นเดี่ยว ใช้อุณหภูมิประมาณ 92-96 °C
2. ขั้นที่สอง เรียกว่า primer annealing การลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 45-75 °C เพื่อให้ไพรเมอร์ (primer) ซึ่งเป็นดีเอ็นเอสายสั้น ๆ (ประกอบด้วยนิวคลีโอไทด์จำนวน 14-13 เบส) ที่มีลำดับเบสเป็นคู่สมกับดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบจับคู่กัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับดีเอ็นเอต้นแบบ (DNA template) และชนิดของไพรเมอร์
3. ขั้นที่สาม เรียกว่า primer extension เป็นขั้นตอนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่โดยสังเคราะห์ต่อจากส่วนปลาย 5 ของไพรเมอร์ ตามข้อมูลบนดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบแต่ละสายโดยอาศัยการทำงานของเอ็นไซม์ DNA polymerase ซึ่งจะนำ dNTPs (deoxynucleotides) ชนิดต่าง ๆ ที่เข้ากับดีเอ็นเอต้นแบบมาต่อสายให้ยาวออกไปจากไพรเมอร์ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 70-75 °C

ดีเอ็นเอที่เกิดจากปฏิกิริยา PCR ในหลอดทดลองไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นเพื่อตรวจหาดีเอ็นเอผลผลิตจะต้องนำตัวอย่างที่ทำ PCR มาแยกหาดีเอ็นเอโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า gel electrophoresis ซึ่งเป็นการแยกดีเอ็นเอด้วยกระแสไฟฟ้าบนแผ่นวุ้น (agarose gel) เทียบกับ DNA มาตรฐานที่ทราบขนาดความยาวที่แน่นอน โดยระยะทางที่ดีเอ็นเอสามารถเคลื่อนที่ไปได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของดีเอ็นเอและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ดีเอ็นเอที่แยกโดยวิธีนี้สามารถมองเห็นได้เมื่อย้อมด้วยสีพิเศษ (ethidium bromide) ซึ่งจะเรืองแสงภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต ซึ่งจะเห็นแถบของดีเอ็นเอเรืองแสงบนแผ่นวุ้น (อังสนา, 2546)

อารมย์ และคณะ (2549) ได้พัฒนาวิธีการวินิจฉัยโรคกรีนนิงของพืชตระกูลส้มในประเทศไทย ด้วยเทคนิค PCR โดยใช้ไพรเมอร์ 2 ชนิดที่เฉพาะกับการขยายยีนชื่อว่า *rplJ* ซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนของไรโบโซมของเชื้อ CLA (*Candidatus Liberibacter asiaticus*) พบว่า เทคนิค PCR ที่ใช้ไพรเมอร์จำเพาะกับยีน *rplJ* สามารถใช้ตรวจสอบเชื้อโรคกรีนนิง และการสังเกตอาการใบแต่มสีเขียวกระจายของใบแตกใหม่จะสะดวกสำหรับการวินิจฉัยในแปลงปลูก สอดคล้องกับที่

ลัดดาวัลย์ และคณะ (2549) ทำการวินิจฉัยโรคทริสเตซ่าและโรคกรีนนิงของมะนาวในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคพีซีอาร์ โดยการตรวจหาเชื้อด้วยวิธี PCR จากตัวอย่างเดียวกันโดยการเพิ่มจำนวนยีน *rpII* ของเชื้อ CLA และ ตรวจซ้ำเพื่อยืนยันผลด้วยวิธี genomic southern dot blot hybridization โดยใช้ตัวตรวจคือ *omp-DIG-11dUTP* พบว่าการใช้เทคนิค PCR และตัวตรวจที่เฉพาะกับเชื้อแต่ละชนิด สามารถแยกตรวจโรคสองชนิดนี้กับมะนาวได้

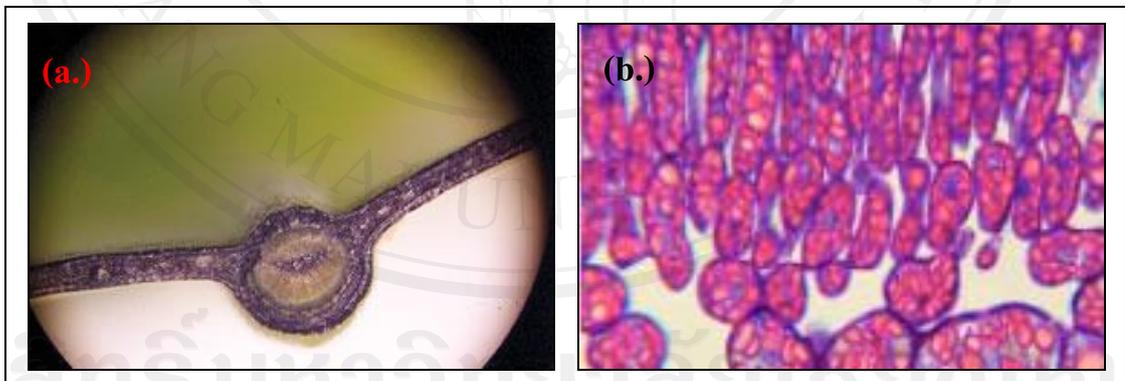
### 2.2.2 วิธีการศึกษาและวิเคราะห์โรคกรีนนิงในภาคสนาม (สวนส้ม)

การตรวจสอบหรือวินิจฉัยโรคในสภาพสวน ผู้เชี่ยวชาญทางด้านโรคพืชใช้วิธีสังเกตอาการที่พบ อาการที่เกิดขึ้นบนยอด ใบ และผล ร่วมกับการสำรวจแมลงพาหะ (Roistacher, 1991) แต่เนื่องจากโรคกรีนนิงมีลักษณะอาการหลายแบบ ซึ่งบางอาการคล้ายกับอาการขาดธาตุอาหาร หรืออาการที่เกิดจากโรคชนิดอื่นจึงไม่สามารถวินิจฉัยโรคได้โดยการสังเกตจากอาการของโรคเพียงอย่างเดียว จำเป็นต้องอาศัยวิธีการอื่น ๆ ร่วมด้วย รวมถึงการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจไม่สะดวกสำหรับเกษตรกร กรณีที่สวนส้มมีขนาดใหญ่และมีจำนวนตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบจำนวนมาก ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบที่ง่ายและรวดเร็วเพื่อการตรวจสอบเบื้องต้นในสภาพสวน (Etxeberria *et al.*, 2007)

Schneider, 1968 อ้างใน Etxeberria *et al.* (2009) ทำการศึกษากายวิภาคในใบส้มพบว่ามีการสะสมแป้งสูงในใบส้มที่เป็นโรคกรีนนิง เนื่องมาจากการตายของเนื้อเยื่อบริเวณท่ออาหาร (phloem) เป็นอุปสรรคในการขนส่งน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงออกไปยังส่วนอื่น ๆ ทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแป้งที่บริเวณใบส้ม ส่งผลให้เกิดการอุดตันในท่ออาหารและกระจายอยู่ทั่วไปในระบบท่อลำเลียงในก้านใบ ทำให้เกิดอาการใบเหลืองเป็นดวง ๆ ซึ่งสามารถทดสอบการสะสมแป้งในใบได้โดยใช้สารละลายไอโอดีนซึ่งจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีน้ำเงิน หลักการดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบโรคกรีนนิงในหลายประเทศ (ภาพที่ 2-3)

ในปี พ.ศ. 2543 นักวิจัยชาวญี่ปุ่นได้ใช้วิธีการทดสอบปฏิกิริยาไอโอดีนกับแป้งที่เรียกว่า Iodo-starch Reaction (IR) เพื่อตรวจสอบใบส้มที่แสดงอาการของโรคกรีนนิงในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบโดยเทคนิค PCR และนำเทคนิค IR ไปตรวจสอบต้นส้มที่แสดงอาการของโรคกรีนนิงในภาคสนาม พบว่าผลการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการให้ผลตรงกับเทคนิค PCR ร้อยละ 75 และผลการตรวจสอบภาคสนามให้ผลตรงกับเทคนิค PCR ร้อยละ 95 (Taba *et al.*, 2006) ส่วนที่เวียคนาม Onuki *et al.* (2002) ได้ใช้เทคนิค Iodo-starch Reaction ร่วมกับการศึกษาด้านเนื้อเยื่อพืชเพื่อจำแนกอาการใบเหลืองจากโรคกรีนนิงออกจากอาการเหลืองที่เกิดจากสาเหตุอื่น โดยทำการตัดชิ้นส่วนเนื้อเยื่อของใบส้มที่แสดงอาการโรคกรีนนิง ไปวางบนสไลด์หยดด้วย

สารละลายไอโอดีน แล้วนำไปส่องใต้กล้องจุลทรรศน์ เปรียบเทียบกับใบส้มที่แสดงอาการเหลืองจากเชื้อไวรัส Citrus Tristeza Virus (CTV) เชื้อไวรอยด์ Citrus Exocortis Viroid (CEVd) และเชื้อรา *Phytophthora* sp. ซึ่งยืนยันผลการตรวจสอบด้วยเทคนิค PCR พบว่าเทคนิค IR สามารถจำแนกโรคกรีนนิงได้ จากนั้น Hong and Truc (2003) จึงได้ทำการพัฒนาวิธีการตรวจสอบและประเมินผลการตรวจสอบโรคกรีนนิง โดยใช้เทคนิค IR บน Nitrocellulose membrane (NCM) ซึ่งทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการตรวจสอบโรคกรีนนิงในภาคสนาม ผลการตรวจให้ค่าเป็นเท็จเชิงลบ (false negative) ร้อยละ 8.9 และเป็นเท็จเชิงบวก (false positive) ร้อยละ 3 ให้ค่าดัชนีจำเพาะ (specific index) ร้อยละ 65.9 และค่าดัชนีความไวของการตรวจ (sensitive index) ร้อยละ 88.8 เมื่อเปรียบเทียบกับผลตรวจจากเทคนิค PCR ต่อมานักวิจัยชาวญี่ปุ่นได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบในภาคสนามเรียกว่า The scratch method โดยใช้กระดาษทรายขัดที่ผิวใบส้มประมาณ 20 ครั้ง แล้วนำกระดาษทรายใส่ลงไปลงในถุงพลาสติกที่มีน้ำอยู่แล้วจึงเติมสารละลายไอโอดีนลงไป ซึ่งหากมีการสะสมแป้งในใบส้ม สารละลายไอโอดีนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ และหากไม่มีการสะสมแป้งจะเป็นสีเหลืองหรือสีส้มซึ่งให้ผลตรงกับที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค PCR ถึงร้อยละ 90 (Kawano *et al.*, 2006; Takushi *et al.*, 2007) วิธีการทดสอบดังกล่าวสามารถใช้แยกอาการของโรคกรีนนิงที่มีลักษณะคล้ายอาการขาดธาตุอาหารได้ เนื่องจากการขาดธาตุอาหารจะไม่พบการสะสมแป้งในใบ (Etxeberria *et al.*, 2007)



ภาพที่ 2-3 (a.) บริเวณที่เป็นสีน้ำตาลนอมม่วงแสดงให้เห็นถึงปริมาณแป้งที่สะสมของใบส้มที่เป็นโรคกรีนนิง และ (b.) ภาพตัดขวางใบส้มที่เป็นโรคกรีนนิง บริเวณเม็ดสีแดง (red granule) คือ แป้งที่อยู่บริเวณชั้น palisade และชั้น epidermis

ที่มา: (a.) Etxeberria and Pedro (No date) อ้างใน Parsons (2011)

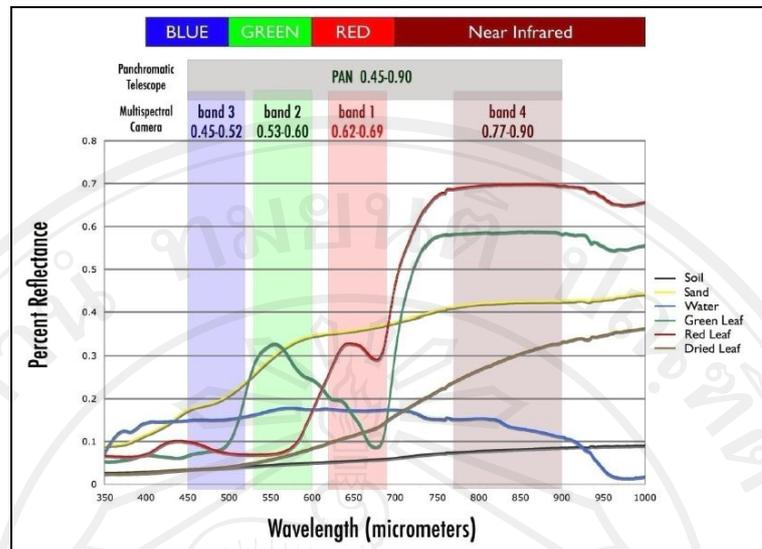
(b.) Achor *et al.* (2010)

## 2.3 การจำแนกพื้นที่สวนส้มที่เชื่อมโยงโทรมด้วยข้อมูลจากระยะไกล

### 2.3.1 กระบวนการจำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยข้อมูลจากระยะไกล

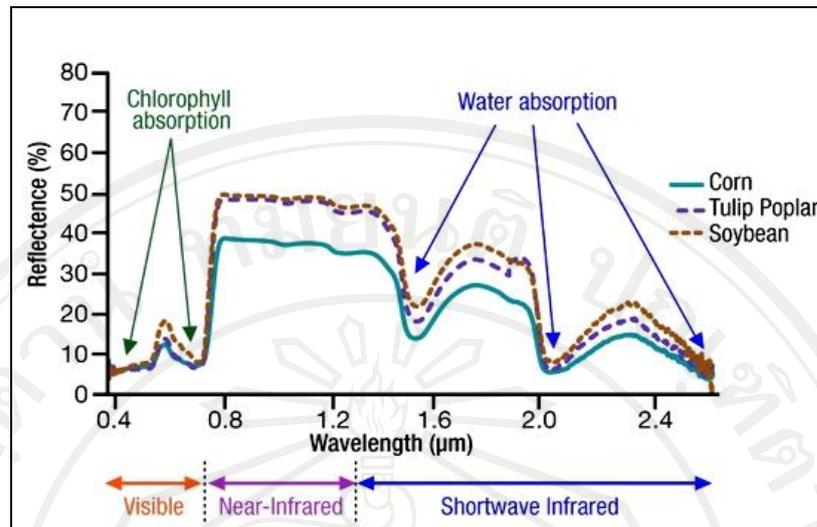
การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote sensing) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยใช้หลักการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบวัตถุต่างกันยอมให้ค่าที่แตกต่างกัน เป็นวิธีการในการสำรวจและแปลความหมายของวัตถุ โดยไม่ต้องให้เครื่องมือที่ใช้สัมผัสโดยตรงกับวัตถุ แม้ต้องทำซ้ำหลายครั้งก็ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับวัตถุนั้นๆ (Nilsson, 1995; Jensen, 1996) ซึ่งถาวร (2548) สรุปว่าการสำรวจด้วยระบบข้อมูลระยะไกลเป็นวิธีการสำรวจ (surveying) การตรวจวัด (detecting) และการเก็บบันทึกข้อมูล (data recording) ทรัพยากรธรรมชาติและข้อมูลเชิงพื้นที่ของโลก โดยที่ไม่ต้องสัมผัสโดยตรงกับสิ่งที่ต้องการสำรวจ แต่เป็นการสำรวจและเก็บบันทึกข้อมูล ที่มีมุมมองลงมาจากที่สูง โดยมีพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการเก็บบันทึกข้อมูล ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งข้อมูลที่ต้องการศึกษา (data source) พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic energy) และพาหนะและเครื่องบันทึกข้อมูล (sensor)

ระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล อาศัยหลักการของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ตกกระทบกับวัตถุและทรัพยากรต่าง ๆ บนพื้นโลก ซึ่งจะถูกลดคลื่น ส่งผ่าน และสะท้อนไปในชั้นบรรยากาศในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่ง พืช ดิน และน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ การสะท้อนพลังงานที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกันของพืช ดิน และน้ำ จะทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่างๆ ได้ โดยวัตถุทั้งสามชนิดนี้ จะมีรูปแบบการตอบสนองต่อช่วงคลื่นต่าง ๆ เฉพาะตัว เรียกว่า spectral signature หรือลายเซ็นต์เชิงคลื่น (ภาพที่ 2-4)



ภาพที่ 2-4 คุณสมบัติการสะท้อนของวัตถุต่างๆ ในแต่ละช่วงคลื่นในอุปกรณ์  
ตรวจวัดของดาวเทียมธีออส  
ที่มา: สทอภ. (2552)

- พืชพรรณ ในช่วงคลื่นที่มองเห็น (visible) ในพืชปกติกอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.45-0.52 ไมครอน และ 0.62-0.69 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดง และสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่น 0.53-0.60 ไมครอน ดังนั้นดวงตามนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ถ้าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้ง เหี่ยว ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงจะทำให้การสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นสีแดง และในช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน (reflected infrared; 0.7-1.3 ไมครอนสูงขึ้น) คือสะท้อนพลังงานประมาณ 50 % ของพลังงานที่ตกกระทบ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างภายในของพืช (cell structure) ซึ่งพืชต่างชนิดกันจะมีลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าวัดการสะท้อนพลังงานในช่วงนี้จะสามารถแยกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้จะใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดสะท้อนของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบ จะมีความแตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ดังนั้นระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลที่สามารถบันทึกค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นนี้ได้ จึงสามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ ในช่วงคลื่นที่มีความยาวสูงกว่า 1.3 ไมครอน พลังงานส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนมีการส่งผ่านน้อยมาก มักพบค่าต่ำลงที่ช่วงคลื่น 1.4, 1.9 และ 2.7 เพราะว่าเป็นช่วงคลื่นเหล่านี้ในใบพืชจะดูดกลืนพลังงาน จึงเรียกช่วงคลื่นเหล่านี้ว่าช่วงคลื่นการดูดซับน้ำ (water absorption bands) ดังนั้นค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชจึงแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืชสำหรับช่วงคลื่นเหล่านี้ด้วย (ภาพที่ 2-5)



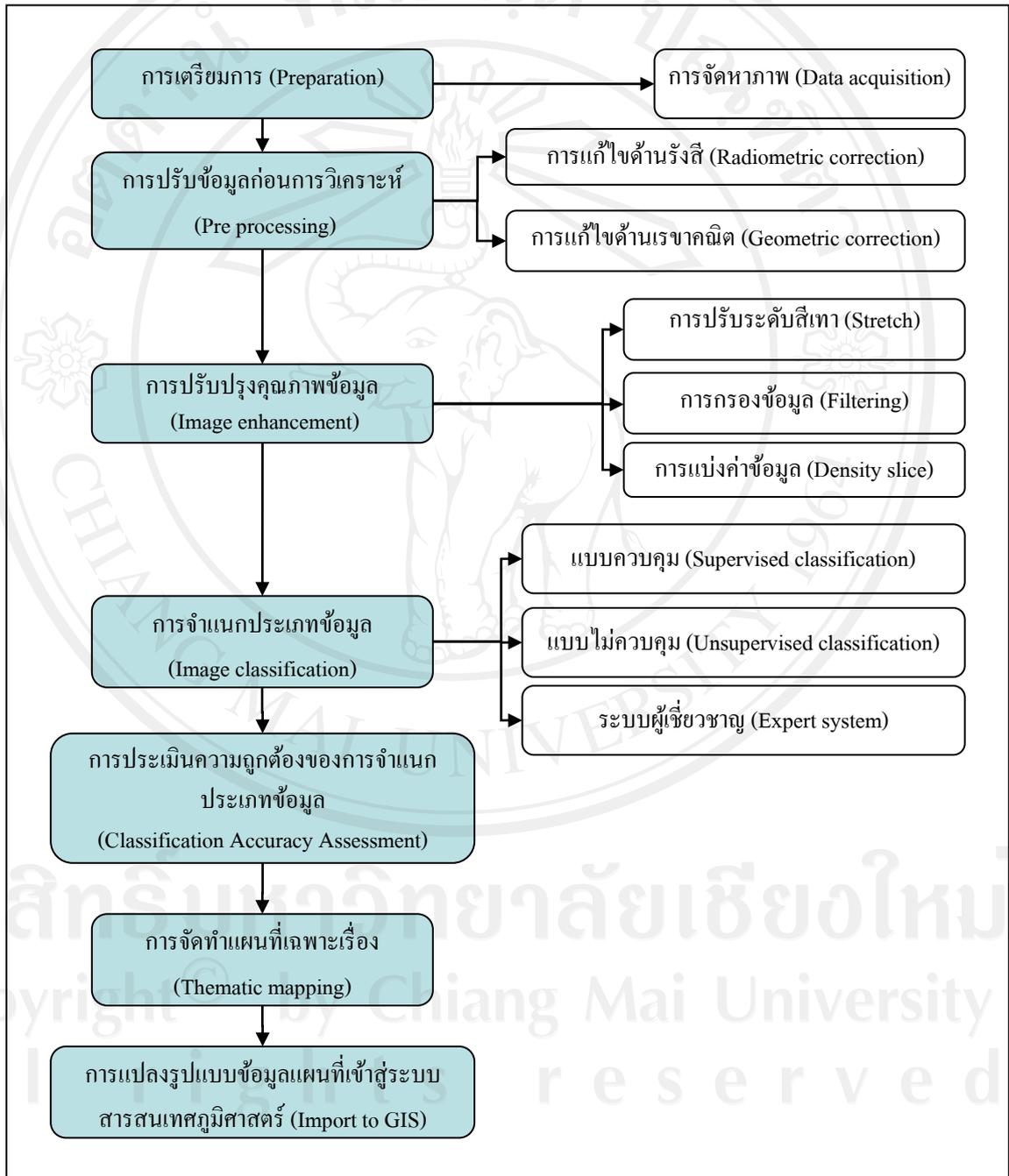
ภาพที่ 2-5 ค่าการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันของพืชบางชนิด  
ที่มา: Brown De Colstoun (No date)

- ดิน ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีความแปรปรวนน้อย ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื้อดิน ปริมาณเหล็กออกไซด์ และความขรุขระของผิวดิน (roughness) ปัจจัยดังกล่าวมีความซับซ้อนและสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เช่น ลักษณะเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบมีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำเลวจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำ ดูคลื่นพลังงานสูงในช่วงสายตามองเห็น เช่นเดียวกับดินที่มีเหล็กออกไซด์ในปริมาณสูง จะปรากฏเป็นสีเข้ม เนื่องจากการสะท้อนพลังงานลดลง ดินที่มีผิวขรุขระมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน แสดงลักษณะการสะท้อนพลังงานของดินชนิดต่างๆ ในสภาพความชื้นต่ำ

- น้ำ มีการสะท้อนพลังงานที่แตกต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรด ทำให้สามารถเขียนขอบเขตของน้ำได้ เนื่องจากน้ำที่ปรากฏอยู่บนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่น น้ำขุ่น น้ำใส หรือน้ำที่มีสารต่างๆ เจือปน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานจึงแตกต่างกันออกไป บางครั้งพื้นที่ที่รองรับน้ำอาจจะมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของน้ำ น้ำใสจะดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยในช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมครอน การส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงแสงสีน้ำเงินเขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน การสะท้อน และการส่งผ่านพลังงานจะเปลี่ยนไป เช่น น้ำที่มีตะกอนดินแขวนลอยอยู่มาก จะสะท้อนพลังงานได้มากกว่าน้ำใส ถ้ามีสารคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินจะลดลงและจะเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว ซึ่งอาจใช้เป็นประโยชน์ใน

การติดตามและคาดคะเนปริมาณสาหร่าย นอกจากนี้ข้อมูลการสะท้อนพลังงานยังเป็นประโยชน์ในการสำรวจคราบน้ำมัน และมลพิษจากโรงงานได้

กระบวนการจำแนกพื้นที่ทรัพยากรและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลระยะไกลสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังแผนผังในภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนหลักทั่วไปที่ใช้ในกระบวนการประมวลผลภาพข้อมูลระยะไกล

ที่มา : ดัดแปลงจาก สมพร (2543)

การจำแนกข้อมูลทรัพยากรและการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยข้อมูลจากระยะไกลภาพดาวเทียมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การจำแนกแบบควบคุม (supervised classification) การจำแนกแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) แผนผังการตัดสินใจ (decision tree) และการจำแนกแบบโครงข่ายประสาทเทียม (neural network classification) อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินค่อนข้างยากและสลับซับซ้อน โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรม ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรในพื้นที่ที่มีความหลากหลายและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งแปลงเกษตรกรรมส่วนใหญ่เป็นลักษณะเกษตรแบบท่อนดินที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจนถึงปานกลาง มีชนิดพืชพันธุ์หลากหลายตามความแตกต่างของพื้นที่และท้องถิ่น ลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ทำให้เกิดความสลับซับซ้อนและความยากต่อการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยข้อมูลภาพดาวเทียม (ถาวร และคณะ, 2553)

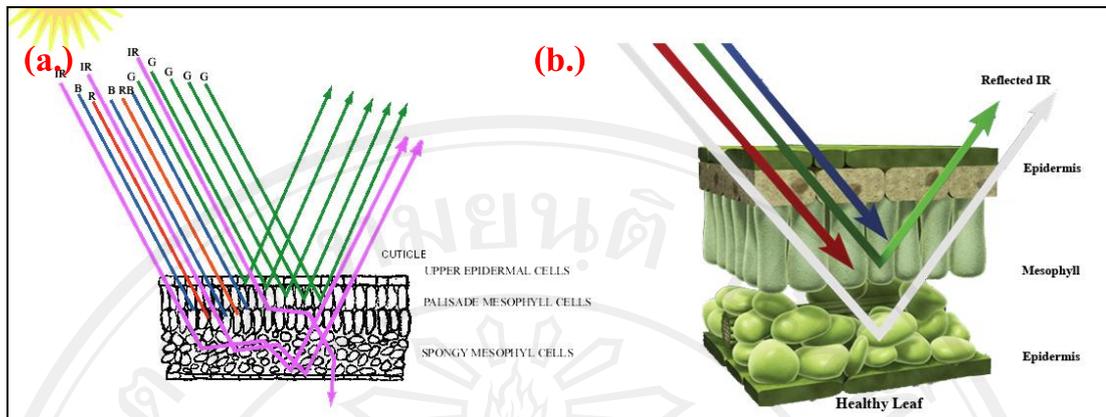
การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้ข้อมูลจากระยะไกลได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการต่าง ๆ รวมถึงข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น เช่น Cliché *et al.* (1985) ทำการหลอมรวมข้อมูลภาพขาวดำของดาวเทียม SPOT รายละเอียดทางพื้นดิน 10 เมตร กับภาพหลายช่วงคลื่น รายละเอียดทางพื้นดิน 20 เมตร จะทำให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดทางพื้นดินสูงขึ้นทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับที่ Carper *et al.* (1990) กล่าวว่า การหลอมรวมภาพขาวดำของข้อมูลดาวเทียม SPOT กับภาพหลายช่วงคลื่น ทำให้ได้ภาพสีผสมที่สามารถใช้เพื่อปรับปรุงการแปลตีความด้วยสายตาได้ดี เนื่องจากลักษณะของข้อมูลเป็นการใช้ช่วงคลื่นของระบบหลายช่วงคลื่น (multispectral) มาช่วยเพิ่มในส่วนขงรายละเอียดของการสะท้อน ของช่วงคลื่นขาวดำ (panchromatic) ทำให้สามารถจำแนกรายละเอียดของสิ่งปกคลุมดินได้ง่ายขึ้น และ Schiewe (2001) ได้ใช้ค่าการสะท้อนของจุดภาพ (pixel based) ในการหลอมรวมหลาย ๆ มาตรฐานและหลายช่วงคลื่น เพื่อปรับปรุงการตีความด้วยสายตา ซึ่งพบว่า ควรรักษาข้อมูลด้านช่วงคลื่นในทุก ๆ ความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละแบนด์เพื่อรักษาค่า DN ตั้งต้นของข้อมูลและในพื้นที่ที่ต่างกันควรมีสมาการในการแปลงความคมชัดที่ต่างกันด้วย นอกจากนี้ Shyamala and Vasantha (2001) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการเน้นคุณภาพข้อมูลดาวเทียมโดยใช้เทคนิคการกรองเฉพาะความถี่สูง (high-pass filter), การแปลงข้อมูลภาพดาวเทียมในระบบสี RGB ไปสู่ IHS (Intensity Hue Saturation), เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis; PCA) และการหลอมรวมข้อมูลด้วยวิธีขยายค่าสะท้อนเชิงสเปกตรัมของภาพขาวดำ ให้มีความสว่างและความเข้มแตกต่างกันมากขึ้น (panchromatic stretch) พบว่า วิธีการที่ดีที่สุดคือ การใช้วิธี IHS ร่วมกับวิธี panchromatic stretch เนื่องจากผลที่ได้รับสามารถตรวจสอบและเข้าใจได้ง่าย

Lawawirojwong (2004) ได้ใช้เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert classification) โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล (ISODATA) ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของคลื่นแสง ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ข้อมูลชั้นความสูง (Digital Elevation Modal: DEM) และความชื้นของดิน ร่วมกับแบบจำลองเชิงพื้นที่ (spatial model) มาใช้ในการจำแนกประเภทของสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งผลของการจำแนกประเภทข้อมูลแบบระบบผู้เชี่ยวชาญมีค่าความถูกต้องสูงกว่าการจำแนกประเภทข้อมูลแบบความเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood) นอกจากนี้ค่าความถูกต้องทั้งหมดของการจำแนกประเภทข้อมูลแบบระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นยังสูงกว่าการจำแนกประเภทข้อมูลแบบความเป็นไปได้สูงสุดถึงร้อยละ 11

### 2.3.2 การจำแนกพื้นที่พืชพรรณและการเกษตรที่ผิดปกติด้วยข้อมูลจากระยะไกล

คุณสมบัติของการสำรวจจากระยะไกลสามารถตรวจสอบและประเมินความเปลี่ยนแปลงภายในใบพืชและทรงพุ่มของพืช ช่วงคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible) คลอโรฟิลล์ของใบพืชจะดูดกลืนพลังงานที่ความยาวคลื่น 0.45 ไมครอน และ 0.65 ไมครอน สะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.5 ไมครอน ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว เพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดง และสะท้อนแสงสีเขียว ส่วนการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงอินฟราเรดใกล้ (0.7-1.3 ไมครอน) ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในใบพืชที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าจะใกล้เคียงกัน (กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม, 2538) ซึ่งสอดคล้องกับในรายงานของ Hatfield (1990) ที่พบว่า ใบพืชจะให้ค่าการสะท้อนต่ำที่ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (visible) และให้ค่าการสะท้อนสูงในช่วงอินฟราเรดใกล้ (NIR) และให้ค่าการสะท้อนต่ำในช่วงอินฟราเรดกลางและอินฟราเรดไกล (mid and far infrared) แสดงในภาพที่ 2-7

ในการศึกษาค่าการสะท้อนของใบพืชทั่วไป ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มีความสำคัญในการแยกพืชปกติและพืชที่ผิดปกติออกจากกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศในใบ (leaf air content) และลักษณะของชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll layer) โดยพบว่า ในใบพืชปกติที่มีอากาศมากและมีลักษณะของชั้นมีโซฟิลล์หนาจะทำให้การกระจายพลังงานในช่วงอินฟราเรดใกล้เพิ่มขึ้น และโดยเฉพาะช่วงคลื่นที่ตามองเห็น 0.45 ไมครอน พบว่าค่าการสะท้อนของใบส้มวาเลนเซีย มาจากอิทธิพลของน้ำในใบ (leaf water content) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll content) และปริมาณอากาศภายในใบ (leaf air volume) มากกว่าความหนาของใบ (leaf thickness) (Gausman, 1974; 1984 อ้างใน Shrivastava and Gebelein, 2007)



ภาพที่ 2-7 (a.) ภาพตัดขวางแสดงการสะท้อนของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในใบพืชทั่วไป  
(b.) ภาพตัดขวางแสดงการสะท้อนของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในใบพืชปกติ

ที่มา: (a.) Covey, R. J. (1999)

(b.) Carns (No date)

จากหลักการดังกล่าวจึงมีการศึกษาคุณลักษณะของลายเซ็นเชิงคลื่น (spectral signature) ของพืชเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการจำแนกพืชที่ผิดปกติออกจากพืชปกติ กฤษกร และคณะ (2551) ทำการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะของลายเซ็นเชิงคลื่นระหว่างใบอ้อยที่เป็นโรคใบขาวและใบอ้อยที่ไม่เป็นโรคด้วยเครื่องวัดค่าการสะท้อนแสง (spectroradiometer) พบว่าควรใช้ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่น red edge ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจหาตำแหน่งหรือกลุ่มกออ้อย ที่เป็นโรคใบขาวด้วยข้อมูลจากภาพถ่ายเทียม เช่นเดียวกับที่ Mishra *et al.* (2007) ทำการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะของลายเซ็นเชิงคลื่นในใบส้มที่เป็นโรครินนึ่ง ด้วยเครื่องวัดค่าการสะท้อนแสง (field spectroradiometer) วัดใบส้มในสวน พบว่า ช่วงคลื่นสีเขียว-แดง และ อินฟราเรดใกล้ (NIR) สามารถแยกส้มที่เป็นโรครินนึ่งออกจากส้มปกติได้

ปัจจุบันนักโรคพืชได้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อตรวจสอบและจำแนกโรคพืช โดยใช้ข้อมูลหลายรูปแบบในการศึกษา เช่น ภาพถ่าย (photography) ข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral data) ภาพความร้อน (thermal image) และภาพถ่ายทางอากาศระบบเรดาร์ (airborne radar) เป็นต้น ซึ่งสามารถตรวจสอบโรคพืชได้รวดเร็ว ในพื้นที่ขนาดใหญ่ มีประโยชน์ในการวางแผนในการดูแลและจัดการพืชได้อย่างทันเวลา โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจที่มีระบบการผลิตขนาดใหญ่ เช่น การตรวจสอบโรคราสนิมสีส้ม (orange rust) ที่เกิดกับอ้อยที่ออสเตรเลีย และโรคราสนิมถั่วเหลือง (asian soybean rust) ในรัฐไอโอวา ประเทศสหรัฐอเมริกา (Apan *et al.*, 2004; Adcock, 2007) เช่นเดียวกับที่ประเทศจีน Qin and Zhang (2003) ทำการศึกษา

โรคคาบไบบ้างของข้าวโดยใช้ข้อมูล ADAR (Airborne Data Acquisition and Registration) ในการจำแนกระดับความรุนแรงของโรคเปรียบเทียบกับข้อมูลการสำรวจโรคในภาคสนาม พบว่า เป็นการยากที่จะจำแนกข้าวที่เป็นโรคที่มีความรุนแรงระดับต่ำออกจากข้าวปกติได้ เนื่องจากให้ค่าการสะท้อนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ให้ความสูง มีจำนวนแบนด์มาก และมีช่วงคลื่นแคบกว่านี้ในการจำแนกพืชที่เป็นโรคที่มีความรุนแรงระดับต่ำออกจากพืชปกติ นอกจากนี้ Ranganath *et al.* (2004) ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม IRS-IC ความละเอียด 23.5 เมตร ในการตรวจสอบโรคใบจุดและโรคใบร่วงของยางพาราที่เกิดจากเชื้อราในประเทศอินเดีย สามารถจำแนกยางพาราที่เป็นโรคออกจากยางพาราปกติโดยมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 90

ในประเทศไทย วลัยพร และคณะ (2550) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT ในการจำแนกระดับความเสื่อมโทรมของสวนส้มในพื้นที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีค่าการสะท้อนเชิงคลื่นที่แตกต่างกันในทุกแบนด์ (NIR, R, G และ SWIR) รวมถึง NDVI และ Green NDVI ด้วย และเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องกับข้อมูลที่ได้จากการประเมินระดับความเสื่อมโทรมด้วยสายตาในภาคสนาม พบว่า มีความคลาดเคลื่อนของการแปลผลส้มที่มีอายุอ่อน และส้มที่เสื่อมโทรม แต่ไม่ได้จำแนกสาเหตุของการเสื่อมโทรมว่าเกิดจากสาเหตุใด

การตรวจสอบโรคกรีนนิ่งพบว่ามีการศึกษาโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศหลายช่วงคลื่นชนิดพิเศษ (airborne hyperspectral) และข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความละเอียดค่อนข้างสูงและมีจำนวนแบนด์มาก โดยภาพ ภาพถ่ายทางอากาศหลายช่วงคลื่นชนิดพิเศษ (airborne hyperspectral) มีค่าสเปกตรัมระหว่าง 457-921 นาโนเมตร มีจำนวน 128 แบนด์ ให้ภาพมีความละเอียดของสเปกตรัมเท่ากับ 3.6 นาโนเมตรและความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 1 เมตร ส่วนข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral) มีจำนวน 4 แบนด์และมีค่าสเปกตรัมระหว่าง 480-830 นาโนเมตร ความกว้างของแบนด์เท่ากับ 40 นาโนเมตร ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 80 และ 87 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลการตรวจสอบโดยเทคนิค PCR (Kumar *et al.*, 2010)

### 2.3.3 เทคนิคการวิเคราะห์ค่าตัวแปรของพืชพรรณด้วยข้อมูลจากระยะไกล

Lillesand and Kiefer (1994) กล่าวว่า สาเหตุที่ทำให้ต้นไม้ปรากฏภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ ร่วมกับองค์ประกอบอื่น ได้แก่ เคมีของดิน ชนิดของดิน และสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นการศึกษาพืชพรรณด้วยข้อมูลระยะไกล จึงใช้ช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น (visible) กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near-infrared: NIR) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านำมาใช้ เนื่องจากพืชพรรณมีความแปรผันสูงระหว่างช่วง คลื่นสีแดงที่ถูกดูดกลืนมาก แต่จะสะท้อนแสงมากในความยาวช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

การวิเคราะห์ค่าตัวแปรของพืชพรรณด้วยข้อมูลระยะไกล นิยมใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณซึ่งเป็นตัวชี้วัดหรือบ่งชี้ความสมบูรณ์ของพืชพรรณ และการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณ เช่น ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index; LAI) เปอร์เซ็นต์การปกคลุมของสีเขียว (percentage green cover) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) หรือ มวลชีวภาพ (biomass) (ประไพพร, 2552) ซึ่งใช้วิธีการปฏิบัติการระหว่างช่วงคลื่น (band operation) ในการคำนวณ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณ วิธีที่พบบ่อย คือ

1) การหาอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (Band-to-band ratio) เป็นการจำแนกความแตกต่างของข้อมูลโดยการนำเอาความเข้มของแต่ละแบนด์ที่มีคุณภาพตรงกันมาหารกัน ผลที่ได้จากอัตราส่วนนี้จะช่วยลดรายละเอียดที่เหมือนกันของภาพ แต่ในขณะเดียวกันก็จะช่วยเน้นรายละเอียดที่มีความแตกต่างกันในภาพให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น การทำอัตราส่วนระหว่างแบนด์จะมีประโยชน์มากในภูมิภาคที่เป็นภูเขา เพราะจะช่วยลดความแตกต่างของความเข้มข้นของข้อมูลหน้าเขา (ส่วนที่รับแสง) และหลังเขา (เงา) ได้

2) การนำช่วงคลื่นมาลบกัน (Subtraction) การนำช่วงคลื่นมาลบกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง ข้อที่ควรระวังในการใช้เทคนิคนี้คือ ภาพที่ใช้จะต้องมีการแก้ไขทางเรขาคณิตก่อน โดยให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เช่น ครึ่งหนึ่งของจุดภาพระบบบันทึกข้อมูลนั้น เพื่อสามารถนำผลมาเทียบกับแผนที่ต้นฉบับได้ถูกต้องที่สุด วิธีนี้สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ การเปลี่ยนแปลงระยะสั้น ได้แก่ น้ำท่วม ไฟป่าและการเคลื่อนที่ของเมฆ ระยะยาว เช่น การพัฒนาเมือง การเปลี่ยนแปลงสภาพป่า เป็นต้น

3) การนำช่วงคลื่นมาทำสัดส่วนกันและลบกัน (Image Differencing) การนำช่วงคลื่นมาทำสัดส่วนกันและลบกัน วิธีนี้เป็นที่นิยมมากในการแก้ไขปัญหาการปฏิบัติการกับภาพข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากมุมของดวงอาทิตย์และลักษณะภูมิประเทศ เช่น การคำนวณดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)

ตัวอย่างวิธีการปฏิบัติการระหว่างช่วงคลื่น (band operation) ที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษาพืชพรรณ แสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การปฏิบัติระหว่างช่วงคลื่นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาดัชนีพืชพรรณ

รูปแบบ	สมการ
การลบแบบง่าย (simple subtraction)	IR-R
การหารแบบง่าย (simple division)	IR/R
การหารแบบซับซ้อน (complex division)	IR/ R+แบนด์อื่นๆ
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$(IR-R)/(IR+R)$
Transformed Vegetation Index (TVI)	$(IR-R)/(IR+R) + 0.5^{0.5}$
Green Vegetation Index (GVI)	$0.29(G)-0.56(R)+0.60(IR)+0.49(IR)$

ที่มา: Barrett and Curtis (1992)

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาพบว่าค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาที่หลากหลายมากที่สุด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับปัจจัยเหล่านี้ เช่น การปกคลุมดิน (ground cover) กิจกรรมการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthetic activity) น้ำผิวดิน (surface water) ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) และปริมาณชีวมวล (biomass) ซึ่งบ่งชี้ถึงความหนาแน่นของมวลชีวภาพ ยิ่งค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณมีค่ามากก็就会有ความหนาแน่นของพืชพรรณมาก (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ จะมีค่าระหว่างอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 พื้นที่บริเวณที่มีค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ตั้งแต่ 0.8 ขึ้นไปเป็นพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น และบริเวณที่มีค่าประมาณ 0.05 เป็นพื้นดินว่างเปล่าไม่มีสิ่งปกคลุม และบริเวณที่มีค่าใกล้ -0.5 เป็นส่วนที่เป็นน้ำ (Bosworth *et al.*, 1998) และกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (2546) วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NOAA hotspot DMSP-OLS เพื่อตรวจหาไฟป่า ได้จัดระดับความแตกต่างของพืชพรรณ ไว้ดังตารางที่ 2-2

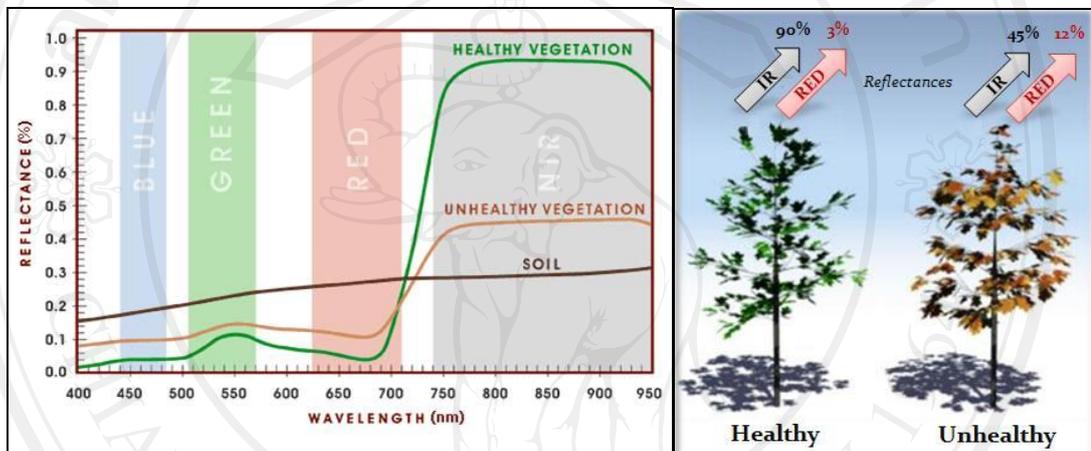
ตารางที่ 2-2 ระดับค่าความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณและความหมาย

NDVI Value	ความหมาย
0.60-1	มีพืชพรรณอยู่หนาแน่นมาก ป่าไม้
0.30-0.59	มีพืชพรรณอยู่น้อย พื้นที่เกษตรกรรม
-1-0.29	มีพืชพรรณปกคลุมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย แหล่งน้ำต่างๆ หรือทะเล

ที่มา: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (2546)

นอกจากนั้นความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณยังสามารถใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ความสมบูรณ์ของพืชพรรณได้อีกด้วย พืชพรรณที่มีความสมบูรณ์จะมีค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณสูงกว่าพืชพรรณที่อ่อนแอ หรือผิดปกติจากการถูกทำลายของโรคและแมลง จึงสามารถนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อจำแนกพืชที่ผิดปกติได้

ซึ่งโดยทั่วไปพืชปกติจะดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นที่มองเห็น โดยเฉพาะช่วงคลื่นสีแดงสูง และสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูง ส่วนพืชที่อ่อนแอหรือผิดปกติจะมีการดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นที่มองเห็น และสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ น้อยกว่าพืชปกติ (ภาพที่ 2-8)



ภาพที่ 2-8 ลักษณะการสะท้อนของช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของพืชปกติและพืชที่ผิดปกติ  
ที่มา: Faulcorner and Kaufman (No date)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณมีหลายด้านด้วยกัน อย่างเช่น สุชาติ (2553) ทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยไฟป่าในประเทศไทย พบว่าค่าดัชนีความหลากหลายของพืชพรรณ (NDVI) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ปี พ.ศ. 2550 มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของใบพืช (ปริมาณคลอโรฟิลล์) และจำนวนชั้นของชั้นเรือนยอด และมีความสัมพันธ์โดยอ้อมต่อปริมาณเชื้อเพลิงและคุณภาพของเชื้อเพลิงในป่า นอกจากนี้ วรนุช และกาญจน์เขจร (2551) ทำการประเมินความแห้งแล้งของกลุ่มน้ำป่าสักด้วยดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอคูนิยมิวิทยา NOAA ระบบ AVHRR ปี พ.ศ. 2549 โดยค่าดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ได้จากการค่าดัชนีชีวัดพืชพรรณ กับค่าดัชนีชีวัดของอุณหภูมิ ซึ่งดัชนีชีวัดพืชพรรณ (Vegetation Condition Index: VCI) ได้จากสมการดังนี้

$$VCI (\%) = 100X \frac{NDVI_{\max} - NDVI}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

โดย NDVI คือ ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ

$$\text{NDVI (\%)} = 100 \times \frac{\text{Ch2} - \text{Ch1}}{\text{Ch2} + \text{Ch1}}$$

เมื่อ Ch2 = Near Infrared (0.725 – 1.10  $\mu\text{m}$ .)  
Ch1 = Visible (0.58 – 0.68  $\mu\text{m}$ .)

ประทีป และอิงอร (2551) ทำการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) กับ การแพร่กระจายของสัตว์ป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดสร้างแผนที่การกระจายของสัตว์ป่า ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ สมการที่ให้ค่า  $R^2$  สูงสุด 3 ลำดับแรกคือ ความชุกชุมสัมพัทธ์รวม กวาง และวัวแดง มีค่าเท่ากับ 16% 15% และ 9% ตามลำดับ

Guo *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางชีววิทยาของทุ่งหญ้าทางด้านตะวันออกของรัฐ Kansas กับค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat ระบบ TM และค่าดัชนีพืชพรรณแบบต่าง ได้แก่ ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ค่าความสว่าง (brightness) ค่าความเป็นพืชพรรณ (vegetation greenness) และ ค่าความชื้น (wetness) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่าความชื้นของพืชมีความสัมพันธ์กันสูง ( $r = 0.76$ ) และการปกคลุมของพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนของช่วงคลื่น ( $r < 0.55$ )

ละดาญ (2548) ได้ประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกลในการประมาณหาปริมาณเชื้อเพลิงในป่าเต็งรังบริเวณอุทยานแห่งชาติแม่ปิง จังหวัดลำพูน โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง มวลชีวภาพของใบ ค่าการปกคลุมเรือนยอด และค่าปริมาณเชื้อเพลิงกับค่าสัดส่วนปกคลุมพืชสีเขียว และค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ ได้แก่ ค่าการหารอย่างง่าย (simple division) ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ค่าความเป็นพืชพรรณ (greenness) และค่าความชื้น (wetness) จากข้อมูลดาวเทียม Landsat ระบบ TM โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยพบว่า เมื่อนำสมการที่ดีที่สุดมาคำนวณค่าปริมาณเชื้อเพลิงได้ค่าปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 277.45 กิโลกรัมต่อจุดภาพหรือ 3 ต้นต่อเฮกแตร์