บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส้มจัดเป็นผลไม้ที่อยู่ในวงศ์ Rutaceae ซึ่งพืชในวงศ์นี้ถือเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจระดับโลก มีการปลูกกันอย่างกว้างขวาง โดยพืชวงศ์นี้แบ่งเป็น 5 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ (Baldwin,1993)

1. Sweet orange (*Citrus sinensis*) แบ่งเป็น 3 กลุ่มสำคัญคือ Blood, Navel common oranges ส้มกลุ่มนี้เป็นส้มที่สีของน้ำสวย กลิ่นหอม ติดเปลือก มีเมล็ดน้อย พันธุ์ของส้มชนิดนี้ที่มีความสำคัญที่สุดคือ Valencia นอกจากนี้ยังมีพันธุ์อื่นๆเช่น Shamouti และ Hamlin เป็นต้น

2.Mandarin หรือ Tangerines (*C. reticulata*) แบ่งเป็น 4 กลุ่มสำคัญคือ Satsuma King Willowleaf (Mediterranean) และ Common ส้มกลุ่มนี้อายุเก็บเกี่ยวสั้น ออกดอกปีเว้นปี (alternate bearing) เปลือกร่อน เป็นส้มกลุ่มใหญ่ที่สุดที่ปลูกในแถบอินโดจีน พันธุ์ที่สำคัญ เช่น Ohari, Uase และ Ortanique เป็นต้น

3. Grapefruit (*C. paradisi*) แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ มีสีส้มและสีขาว ทั้งสองกลุ่มจะมีทั้งพวกที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 8 เดือน พันธุ์ที่สำคัญ เช่น Duncan, Marsh และ Thompson เป็นต้น

4. Lemon และ Lime (*C. limon* และ *C. aurantifolia*) lemon พันธุ์ Eurika และ Lisbon เป็นพันธ์ที่เจริญได้ดีในภูมิอากาศแบบเมอดิเตอเรเนียน ส่วน lime สามารถเจริญได้ดีในแถบร้อน โดยมี 2 กลุ่มที่สำคัญคือ กลุ่มหวานและกลุ่มเปรี้ยว โดย lime ที่หวานจะใช้เป็นต้นตอ ส่วนสายพันธุ์เปรี้ยวที่สำคัญเช่น West Indian และ Tahiti เป็นต้น

5. อื่นๆ เช่น sour orange (*C. aurantium*) ส่วนใหญ่ใช้เป็นต้นตอ และ pummelo (*C. grandis*) ซึ่งเป็นส้มที่นิยมปลูกในเอเชีย

ลักษณะของส้มเขียวหวานพันธุ์ฟรีมองต์

ส้มเขียวหวานพันธุ์ฟรีมองต์เป็นส้มที่อยู่ในกลุ่ม mandarin หรือ tangerines มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus recticulata* อยู่ใน Family Rutaceae, Subfamily Aurantiodeae, Genus *Citrus*

การเจริญเติบโตของต้นเป็นพุ่มมีทรงสูง ใบมีสีเขียวเข้ม และอยู่ในลักษณะตั้ง ทรงพุ่มโปร่งกว่าส้มเขียวหวาน เริ่มให้ผลเมื่อมีอายุได้ 20 เดือน ทรงต้น กิ่ง แข็งแรง รับน้ำหนักได้ดี ผลมีขนาดใกล้เคียงส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนา และเหนียว ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระ และมีสีส้มเข้ม เนื้อผล มีลักษณะค่อนข้างแน่น เก็บไว้ได้นานหลังจากเก็บเกี่ยวจากต้นแล้ว เนื้อผลมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวโดยออกเปรี้ยวมากกว่า วัดความหวานได้ประมาณ 11 %Brix มีกลิ่นหอม ส้มเขียวหวานพันธุ์ฟรีมองต์สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุประมาณ 8 เดือนหลังจากดอกบาน (เปรมปรี, 2538)

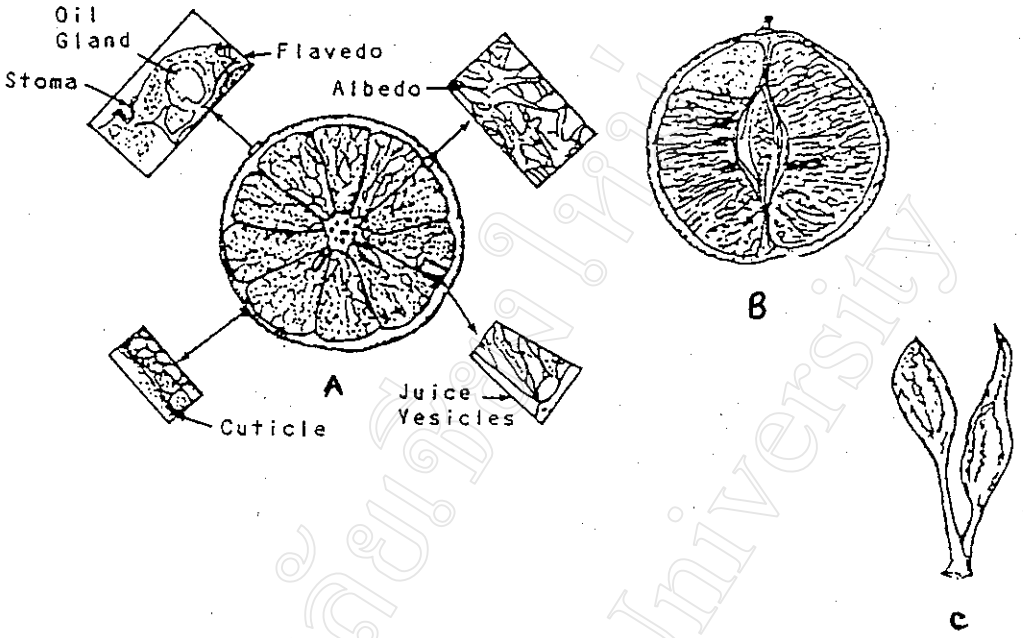
Grierson (1994) ได้แบ่งช่วงการเจริญเติบโตของผลส้มเป็น 3 ช่วงที่สำคัญคือ

Stage 1 เป็นช่วงของการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว แต่ยังไม่มีการขยายตัวของผล cuticle ยังไม่มีการพัฒนา มีอัตราการหายใจสูง ผลอ่อนจะอ่อนแอมาก

Stage 2 เป็นช่วงการขยายขนาดของเซลล์ juice sac มีการขยายขนาดและเริ่มมีสารละลายใส ๆ ภายใน โดยมีกรดอินทรีย์สูงและปริมาณน้ำตาลต่ำ

Stage 3 เป็นช่วงของการสะสมอาหาร มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดลดลง อัตราการหายใจค่อนข้างต่ำและคงที่

องค์ประกอบผล มีลักษณะผลที่จัดอยู่ในจำพวก hesperidium มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ flavedo, albedo และ juice sac ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลส้ม(A) ภาคตัดขวางของผลส้ม ซึ่งแสดงถึงส่วนต่างๆ ของ flavedo albedo และ juice sac ; (B) ภาคตัดตามยาวของผลส้ม ;(C) ลักษณะของ juice sac (Grierson, 1994)

Flavedo ประกอบด้วย epicarp, hypodermis และ outer mesocarp มี oil grand ฝังอยู่ภายใน ภายใน oil grand ประกอบด้วย essential oil ที่มี terpenes (∝-limonene) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อรอบๆ ถ้า oil grand แตกระหว่างการจัดการ ใน epicarp ชั้นนอกสุดมี chloroplast เป็นองค์ประกอบและจะเปลี่ยนเป็น chlomoplast เมื่อมีการทำ degreening นอกจากนี้ยังมีชั้น cuticle ปกคลุมส่วน epicarp และชั้นนอกสุดจะมีชั้น epicuticular wax คลุมเป็น wax ที่หลุดออกง่าย และไม่มีความมันวาว ที่ชั้น cuticle จะมี stomata แทรกอยู่ทั่วไป

Albedo หรือ inner mesocarp ประกอบด้วย parenchyma cell ที่สานกันเป็นร่างแหสีขาว มีความหนาประมาณ 1 - 2 มิลลิเมตร

Juice sac (vesicles) รูปร่างคล้ายกระบอง เจริญมาจาก endocarp ภายใน locule บาง sac ยาวจนถึงแกนกลาง ซึ่งประกอบด้วย juice sac cell ที่มี vacuole ขนาดใหญ่ที่ภายในมีกรดอินทรีย์และสารประกอบอื่นๆ บรรจุอยู่

อาการฟ่าม (dry juice sac)

อาการฟ่ามของพืชตระกูลส้มเป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา โดยลักษณะของ juice sac มีสีขาวขุ่น และแห้งไม่มีน้ำ ผนังเซลล์ของ juice sac ที่เกิดอาการฟ่ามจะหนากว่าปกติ และส่วนประกอบของเซลล์ก็แตกต่างไป (รวี, 2540 ก และ ข) (ภาพที่ 4) เมื่อชิมจะมีลักษณะแห้ง เป็นกากมากกว่าผลปกติ ซึ่งอาการฟ่ามในส้มฟรีมองต์ เป็นปัญหาสำคัญในการผลิตส้มฟรีมองต์ของสวนส้มต่างๆ แต่อาการฟ่ามนี้ไม่สามารถที่จะประเมินได้จากลักษณะภายนอกผล เพราะลักษณะเปลือกของผลส้มฟ่ามจะเหมือนกับผลส้มปกติ ผลส้มที่มีอาการฟ่ามจะมีคุณค่าทางอาหารลดลง โดย Wang (1993) รายงานว่าผลส้มที่เกิดอาการฟ่ามมี %TSS (total soluble solid), %TA (titratable acidity) และ vitamin C ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลปกติ ในขณะที่แร่ธาตุหลายชนิดเพิ่มปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะ Ca และ Mg (Erickson, 1968) อาการฟ่าม มักพบมากที่บริเวณขั้วหรือก้นผล (Snowdon, 1990) ในผลที่เป็นมากอาจพบลามถึงครึ่งผลหรืออาจเกือบหมดผลดังเช่นที่พบในส้มฟรีมองต์

รวี (2540 ก และ ข) ได้อธิบายถึงสาเหตุของการเกิดอาการฟ่ามว่า อาการดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1. ชนิดของส้ม อาการนี้พบมากในส้มโอ ส้มเขียวหวาน หรือกลุ่ม mandarin และลูกผสมของ Mandarin และ Valencia orange

2. อายุของต้น ต้นที่มีอายุน้อย ผลจะมีโอกาสของการเกิดอาการฟ่ามมากกว่า

3. ขนาดผล ผลที่มีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นมากเท่าใด จะยิ่งมีโอกาสเกิดอาการฟ่ามได้เร็วและมากกว่าผลที่มีขนาดเล็กกว่า

4. ปริมาณของการติดผล ต้นส้มที่มีปริมาณการติดผลต่ำ จะยิ่งมีโอกาสของการเกิดได้มากยิ่งขึ้น

5. อายุของผล ผลที่มีอายุครบกำหนดแล้วหากปล่อยไว้ต่อไปอีกระยะหนึ่ง จะมีโอกาสเป็นมากกว่าผลส้มที่เก็บเกี่ยวเมื่อครบกำหนดอายุ

6. ระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวผล ผลที่เก็บเกี่ยวในรุ่นท้ายจะมีโอกาสเกิดได้มากกว่า

7. การใช้ปุ๋ย ต้นส้มที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะในระยะที่ผลใกล้แก่ จะมีโอกาสเกิดได้สูงกว่า ในขณะเดียวกันหากผลส้มที่ใช้วิธีการเลี้ยงผลให้อยู่บนต้นเมื่อครบกำหนดอายุการเก็บเกี่ยวแล้ว ในระยะเวลาเดียวกัน หากมีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมสูงกับส้มต้นนั้น ก็จะเป็นการกระตุ้นให้ยิ่งเกิดอาการฟ่ามได้มากยิ่งขึ้น

คุณสมบัติทางไฟฟ้า

คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณภาพผลไม้นั้น มี 3 ค่าที่สำคัญ (Kato, 1987) คือ

1. ความจุไฟฟ้า (capacitance;C) คือความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของวัตถุใด ๆ ที่สามารถเก็บประจุอิสระไว้ได้ เรียกวัตถุใด ๆ ข้างต้นว่า ตัวเก็บประจุ (capacitor) โดยค่าความจุไฟฟ้าถูกกำหนดไว้เป็นค่า ประจุต่อศักย์หรือความต่างศักย์ 1 โวลท์ โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$C = Q / V \qquad (1)$$

เมื่อ C มีหน่วยเป็นคูลอมม์ต่อโวลท์ (CV^{-1}) หรือ Farad (F)

Q เป็นประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Coulomb

V เป็นศักย์หรือความต่างศักย์มีหน่วยเป็น Volt (V)

จากสมการ (1) ในกรณีที่ V เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าเรียกความจุไฟฟ้าว่าความจุสมบูรณ์ (absolute capacitance) และในกรณีที่ V เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าเรียกความจุไฟฟ้าว่า ความจุสัมพัทธ์ (relative capacitance) (นรินทร์, 2531)

ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับความจุไฟฟ้าเป็นไปดังสมการ (ทวี, 2538)

$$C = \frac{\varepsilon A}{D} \qquad (2)$$

เมื่อ ε เป็นค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (dielectric constant)

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของ electrode

D เป็นระยะห่างระหว่าง electrode

หน่วยของความจุไฟฟ้าในทางปฏิบัติที่นิยมใช้คือ

1 nanofarad = 1 nF = 10^{-9} F

1 picofarad = 1 pF = 10^{-12} F

2. ความต้านทานไฟฟ้า (resistance;R) คือคุณสมบัติในการต้านการไหลของกระแส ซึ่งมีความหมายตรงข้ามกับการนำไฟฟ้า (conductance) คือวัตถุที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้มาก ก็หมายความว่ามีความต้านทานน้อย แต่มีความนำมาก หรือสภาพนำ (conductivity; σ) แปรผกผันกับสภาพต้านทาน (resistivity; ρ)

ความต้านทานมีหน่วยเป็น โอห์ม (ohm,Ω) ซึ่งความต้านทาน 1 ohm คือ วัตถุที่ยอมให้กระแส 1 แอมแปร์ ไหลผ่านเมื่อใช้แรงดัน 1 โวลต์ ซึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าหาได้จากสมการ (สัณห์, 2524)

$$\text{ความต้านทาน } (R) = \rho \frac{L}{A} \qquad (3)$$

เมื่อ ρ คือสภาพต้านทาน (Resistivity) มีหน่วยเป็น (ohm-cm)

L คือความยาววัตถุ (cm)

A คือพื้นที่หน้าตัด (cm^2)

ส่วนค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความนำ (conductance ; G) แล้ว

$$G = \frac{1}{R} = \sigma \frac{L}{A} \qquad (4)$$

เมื่อ G คือ ความนำ (conductance) มีหน่วยเป็น mho

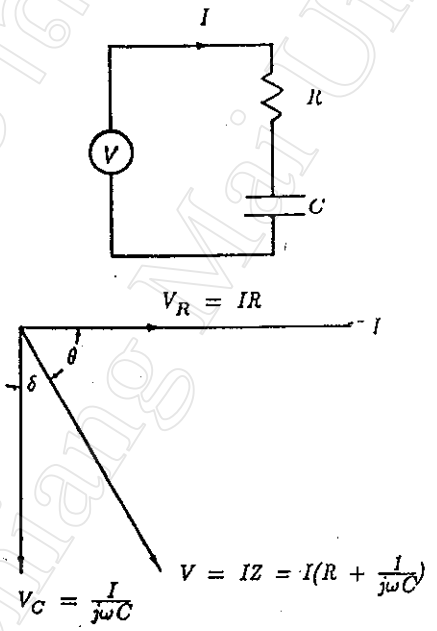
σ คือ ค่า conductivity ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับวัตถุแต่ละชนิดมีหน่วยเป็น mho-cm

นอกจากนี้แล้ววัตถุชนิดเดียวกัน ถ้ามีรูปร่างแตกต่างกันจะมีความต้านทานและความนำต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดและความยาว เช่นลวดเส้นโต (พื้นที่หน้าตัดมาก) จะมีความต้านทานน้อย ลวดเส้นยาวจะมีความต้านทานมาก เป็นต้น (สมศักดิ์, 2527)

3. ค่าต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าสลับ (impedance;Z) คือความเกี่ยวพันธ์กันระหว่างความต้านทานไฟฟ้า (resistance) ความนำ (inductance) และความจุไฟฟ้า (capacitance) ของวัตถุใด ๆ ในการต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า (ชัยสวัสดิ์, 2527) ในกรณีที่มีความต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุดังภาพที่ 2 จะได้

$$Z = R + \frac{1}{j\omega C} \qquad (5)$$

เมื่อ $j = \sqrt{-1}$ และ $\omega = 2\pi f$ โดยแรงดันตกคร่อม C จะตามหลังแรงดันตกคร่อม R อยู่ 90 ^{o} (อาภรณ์ และ โอซามุ, 2531) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 Series - equivalent RC circuit for impedance measurement and associated phasor diagram. (Nelson *et al.*, 1992)

ชนิดของ Electrode

Kato (1987) ได้กล่าวถึงชนิดของ electrode ที่มีการใช้ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของผลไม้ ดังนี้

1. Needle type electrode เป็น electrode แบบทำลายประกอบด้วยเข็มโลหะ 2 อัน ใช้แทงเข้าไปในผลไม้เมื่อทำการวัด

2. Plate type electrode เป็น electrode แบบทำลายประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่น วางประกบเนื้อเยื่อของผลไม้ที่ทำการวัด

3. Wet contact type electrode เป็น electrode แบบไม่ทำลาย โดยที่ผิว electrode จะมีการทาด้วยแป้งเปียกผสมน้ำเกลือเพื่อให้มีการนำไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

4. Dry contract type electrode เป็น electrode แบบไม่ทำลาย โดย electrode ทำมาจากโลหะชนิดต่างๆ และในการวัดจะนำแผ่นโลหะทั้งสองข้างของ electrode มาสัมผัสที่ผิวของผลไม้ด้านตรงข้าม

การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสิ่งมีชีวิต Thompson and Zachariah (1971 a) ได้รายงานว่าปัญหาสำคัญคือ ความแตกต่างของชนิดสารของ electrode กับตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้เกิดความต่างศักย์ที่จุดสัมผัส ซึ่งความต่างศักย์นี้จะหมดไป เมื่อสารที่ใช้ทำ electrode กับตัวอย่างเป็นสารชนิดเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า อย่างไรก็ดีสารที่นิยมนำมาทำ electrode ในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสิ่งมีชีวิต ได้แก่

- Silver - silver chloride electrode
- Calomel cells electrode system
- Pattinum black electrode
- Stainless steel

คุณสมบัติทางไฟฟ้ากับผลไม้

Nelson (1973) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางการเกษตรว่า คุณสมบัติทางไฟฟ้าของผลผลิตทางการเกษตร สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ เป็น 2 แบบคือ

1. Active type เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานบางแหล่งในสิ่งมีชีวิตเอง ซึ่งจะปรากฏในรูปของ electromotive force ใน bioelectric potentials ของสิ่งมีชีวิต

2. Passive type เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดภายใต้อิทธิพลของการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กและกระแสที่ครอบคลุมสิ่งมีชีวิตอยู่ ซึ่งขึ้นกับพฤติกรรมของสารต่างๆในสนามแม่เหล็ก และคุณสมบัติภายใน เช่นโครงสร้างโมเลกุล

คุณสมบัติทั้ง 2 แบบ ข้างต้นนี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นทั่ว ๆ ไป จากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม โดยหลักการสำคัญที่ส่งผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกันนั้นเกี่ยวข้องกับความชื้นภายในผลผลิต (Nelson *et al.*, 1992) โดยเฉพาะในผลผลิตทางพืชไร่ ทำให้สามารถนำเอาคุณสมบัติทางไฟฟ้ามาพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดความชื้นได้ โดยในทางการค้าได้ใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า 2 ชนิด คือ conductance วัดการนำไฟฟ้า และ capacitance วัดความจุไฟฟ้าของผลผลิต (Chen, 1996) สำหรับในผลไม้นอกจากปริมาณความชื้นจะมีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าแล้ว การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีภายใน (Harker and Dunlop, 1994) ของเหลวที่อยู่ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ และผนังเซลล์ (Thompson and Zachariah, 1971 b) ก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางไฟฟ้าเช่นกัน โดยของเหลวนั้นเป็นสารไอออนิกธรรมชาติ มี สภาพต้านทานต่ำ (น้อยกว่า 500 ohm-cm) และมีไอออนเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุในที่ว่างได้ ส่วนผนังเซลล์มีคุณสมบัติที่ต้านทานอยู่แล้ว ในสภาวะปกตินั้น ค่าความต้านทานไฟฟ้าของผนังเซลล์ของผักผลไม้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10^4 - 10^5 ohm/cm^2 แต่เมื่อเซลล์เริ่มทำงานค่าความต้านทานจะลดลงมาอยู่ที่ 500 ohm/cm^2 ในสภาพที่เป็นเบสอ่อนก็จะทำให้ความต้านทานของผนังเซลล์ลดลง แต่ในสภาพกรดจะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวกับผลไม้แล้วสิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ควรคำนึงถึงคือ อุณหภูมิและความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ในการวัด Lawrence *et al.* (1992) ได้ทดลองเกี่ยวกับอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ด Pecan พบว่า ทั้งค่า dielectric loss factor และค่า dielectric constant จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิทั้งอุณหภูมิของเมล็ดและอุณหภูมิของตัววัด ส่วนค่าความต้านทานก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (สัณห์ ,2524; สมศักดิ์, 2527) ส่วนความถี่ไฟฟ้านั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะพบว่า มีการลดลงของ

คุณสมบัติทางไฟฟ้า เนื่องจากความถี่ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะทำให้พลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้ทำให้การทะลุผ่านเนื้อเยื่อและเซลล์ต่าง ๆ ได้ดีขึ้น (Harker and Dunlop, 1994)

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้ มีการรายงานไว้ Weaver and Jackson (1966) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้ากับดัชนีความสุกแก่ของผลท้อ พบว่าในช่วงที่ผลเริ่มสุกค่า Impedance มีค่าสูงสุดในทุก ๆ พันธุ์ที่ทำการศึกษาและที่ความถี่ไฟฟ้า 250 เฮิรตซ์และ 4 กิโลเฮิรตซ์ นั้นพบว่าที่ความถี่ไฟฟ้า 250 เฮิรตซ์ ค่า Impedance จะมีค่าสูงกว่าที่ 4 กิโลเฮิรตซ์ อย่างมีนัยสำคัญ Kato (1987) ได้ศึกษาในผลไม้พวก แอปเปิ้ล สาลี่ และแตงโม พบว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าสามารถแยกผลช้ำ เน่า สุกเกินไป ออกจากผลคุณภาพดี โดยคุณสมบัติที่ใช้ในการคัดแยกคือ ค่าความต้านทาน, ความจุไฟฟ้า และค่า Impedance ในช่วงความถี่ไฟฟ้า 10 เฮิรตซ์ – 13 เมกะเฮิรตซ์ พบว่าค่าความจุไฟฟ้า ของผลเน่าจะมีค่าสูงกว่าผลปกติและค่าความต้านทานของผลปกติจะมีค่าสูงกว่าผลเน่าหรือมีบาดแผล โดยเมื่อความถี่ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าจะลดลง ต่อมา Mary *et al.* (1993) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า ในการตรวจสอบการช้ำของแอปเปิ้ลพันธุ์ Granny Smith ซึ่งทำการวัดค่า modulus of impedance ที่ความถี่ไฟฟ้า 1,000 เฮิรตซ์ พบว่าผลที่ช้ำจะมี impedance spectra เกิดขึ้น 2 ครั้ง ในขณะที่ผลปกติจะมี impedance spectra เพียงครั้งเดียว นอกจากนี้ Harker and Dunlop (1994) ได้ศึกษาในผล nactarines สุกและไม่สุก โดยใช้ความต้านทาน และ capacitive reactance ในช่วงความถี่ไฟฟ้า 50 - 100 เฮิรตซ์ พบว่าในผลไม่สุกจะมีค่าความต้านทาน เพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บที่ 0 - 3 สัปดาห์ แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเก็บไว้นานถึง 8 สัปดาห์ และผลสุกจะมีค่าความต้านทานต่ำกว่าผลที่ยังไม่สุกในการเก็บรักษานาน 0 - 3 สัปดาห์ แต่ในการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ค่าความต้านทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นและในช่วงความถี่ 100 เฮิรตซ์ - 0.1 เมกะเฮิรตซ์ นั้นเมื่อเก็บรักษาไว้นาน ความต้านทาน จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ผลสุกหรือไม่สุกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทาน Nelson *et al.* (1995) ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า permitivity กับดัชนีความสุกแก่ของท้อที่ความถี่ช่วง 0.2 - 20 จิกะเฮิรตซ์ พบว่าเมื่อท้อมีความสุกแก่มากขึ้นค่า loss factor จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย