บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดระดับความแก่และภายหลังการเก็บเกี่ยวในระยะเวลาต่าง ๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทั้ง 3 ระดับความแก่ โดยผลมังคุดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ มีทั้งผลที่มีลักษณะภายในเป็นเนื้อปกติ และมีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ รวมอยู่ด้วยกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ไม่สามารถคัดแยกออกจากกันก่อนทำการทดลองได้ ดังนั้นจึงใช้ผลที่มีลักษณะภายนอกที่สมบูรณ์ มีขนาดใกล้เคียงกัน มีผิวเรียบเป็นมัน ไม่มีรอยช้ำไม่มีรอยเจาะทำลายของแมลงมาใช้ในการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงผ่าผลมังคุดประเมินลักษณะอาการภายในแต่ละผล โดยแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม คือ ผลที่มีเนื้อปกติ เนื้อแก้วเล็กน้อย เนื้อแก้วปานกลาง เนื้อแก้วรุนแรง ยางไหล และผลที่มีอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. การศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดที่มีระดับความแก่แตกต่างกัน

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ ของผลมังคุดที่มีความแก่ทั้ง 3 ระดับ พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของผลมังคุดทั้ง 3 ระดับความแก่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือมีค่าอยู่ระหว่าง 1.001 - 1.004 (ตารางที่ 1) แต่เมื่อเก็บผลมังคุดมาปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง (เฉลี่ย 28.4 ^{o}C และความชื้นสัมพัทธ์ 85 %) เป็นเวลา 2, 4 และ 6 วัน พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทุกระดับความแก่ในแต่ละวันที่ตรวจวัดผลมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกันเมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น (ตารางที่ 1)

การที่ผลมังคุดซึ่งมีระดับความแก่มากขึ้นแต่มีค่าความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลมังคุดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีอายุใกล้เคียงกันมาก ซึ่งในแต่ละระดับความแก่จะมีอายุต่างกัน $\pm$1 ถึง 2 วัน (กวิศร์ และสุรพงษ์, 2522) และผลมังคุดแต่ละระดับความแก่ที่นำมาศึกษานี้เป็นระยะที่มีความบริบูรณ์ (physiological maturity) เต็มที่แล้ว การสะสมน้ำหนักแห้งเริ่มคงที่ ค่าความถ่วงจำเพาะจึงมีค่า

ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เมื่อยังอ่อนอยู่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ แต่เมื่อผลแก่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อถึงระยะที่แก่บริบูรณ์แล้วค่าความถ่วงจำเพาะจะค่อนข้างคงที่ (ชมัยพร, 2537) นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าสีของเปลือกผลเข้มขึ้น และมีปริมาณน้ำยางในผลลดลง เมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้น แต่ไม่ปรากฏช่องว่างระหว่างเนื้อกับเปลือกเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการทดลอง (ภาพผนวกที่ 1, 2, 3 และ 4)

ตารางที่ 1 ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของผลมังคุด ที่ระดับความแก่ในระดับสีที่ 2, 3 และ 4 เมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 0 - 6 วัน

ระดับความแก่	เวลาหลังการเก็บเกี่ยว (วัน) [y]			
	0	2	4	6
ระดับสีที่ 2	1.004 ± 0.017	0.995 ± 0.021	0.987 ± 0.024	0.976 ± 0.025
ระดับสีที่ 3	1.002 ± 0.018	0.995 ± 0.021	0.984 ± 0.025	0.976 ± 0.025
ระดับสีที่ 4	1.001 ± 0.023	0.991 ± 0.028	0.983 ± 0.029	0.973 ± 0.030
F - test	NS	NS	NS	NS
CV (%)	1.995	2.249	2.487	2.713

NS = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$)

[y] Mean ± SD จากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 50 ผล

2. การเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดเมื่อมีระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

เมื่อศึกการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทั้ง 3 ระดับความแก่ เมื่อระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้นตั้งแต่ 0 - 6 วัน พบว่าเมื่อมีระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทุกระดับความแก่มีค่าลดลงแตกต่างจากวันแรกของการตรวจวัดค่าความถ่วงจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยสูงสุดในวันแรก และมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในวันที่ 2, 4 และ 6 หลังการเก็บเกี่ยวตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งพบในผลมังคุดทุกระดับความแก่

ตารางที่ 2 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของผลมังคุดที่มีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวเป็น 0 - 6 วัน

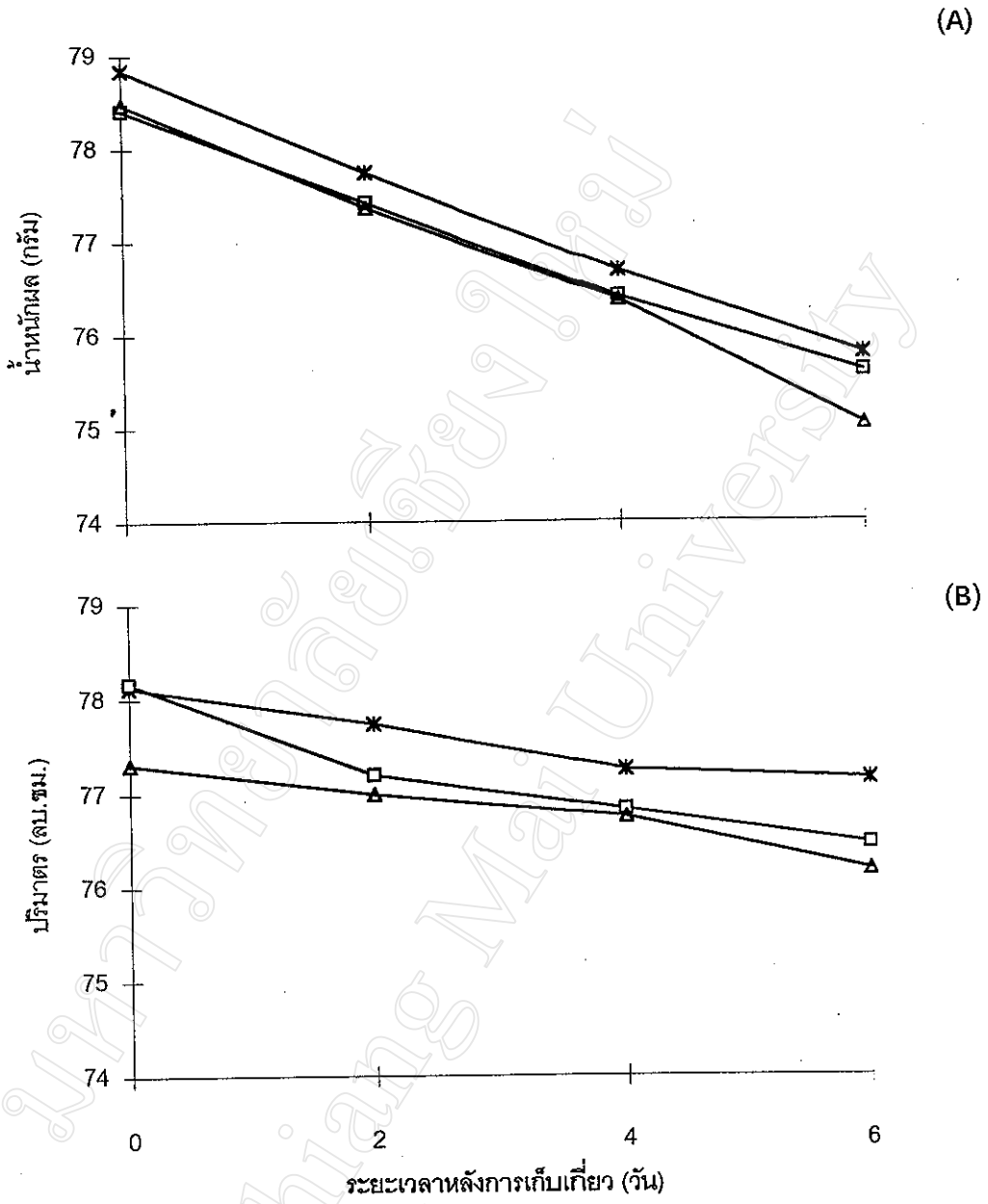
เวลาหลังการเก็บเกี่ยว (วัน)	ระดับความแก่ที่ [y]		
	2	3	4
0	1.004 [a] ± 0.017	1.002 [f] ± 0.018	1.001 [x] ± 0.023
2	0.995 [b] ± 0.021	0.995 [f] ± 0.021	0.991 [xy] ± 0.028
4	0.987 [c] ± 0.024	0.984 [g] ± 0.025	0.983 [yz] ± 0.029
6	0.976 [d] ± 0.025	0.976 [h] ± 0.025	0.973 [z] ± 0.030
F - test	**	**	**
CV (%)	2.258	2.261	2.680

** : มีความแตกต่างกันอย่างมีสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

[y] : Mean ± SD จากตัวอย่างจากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 50 ผล

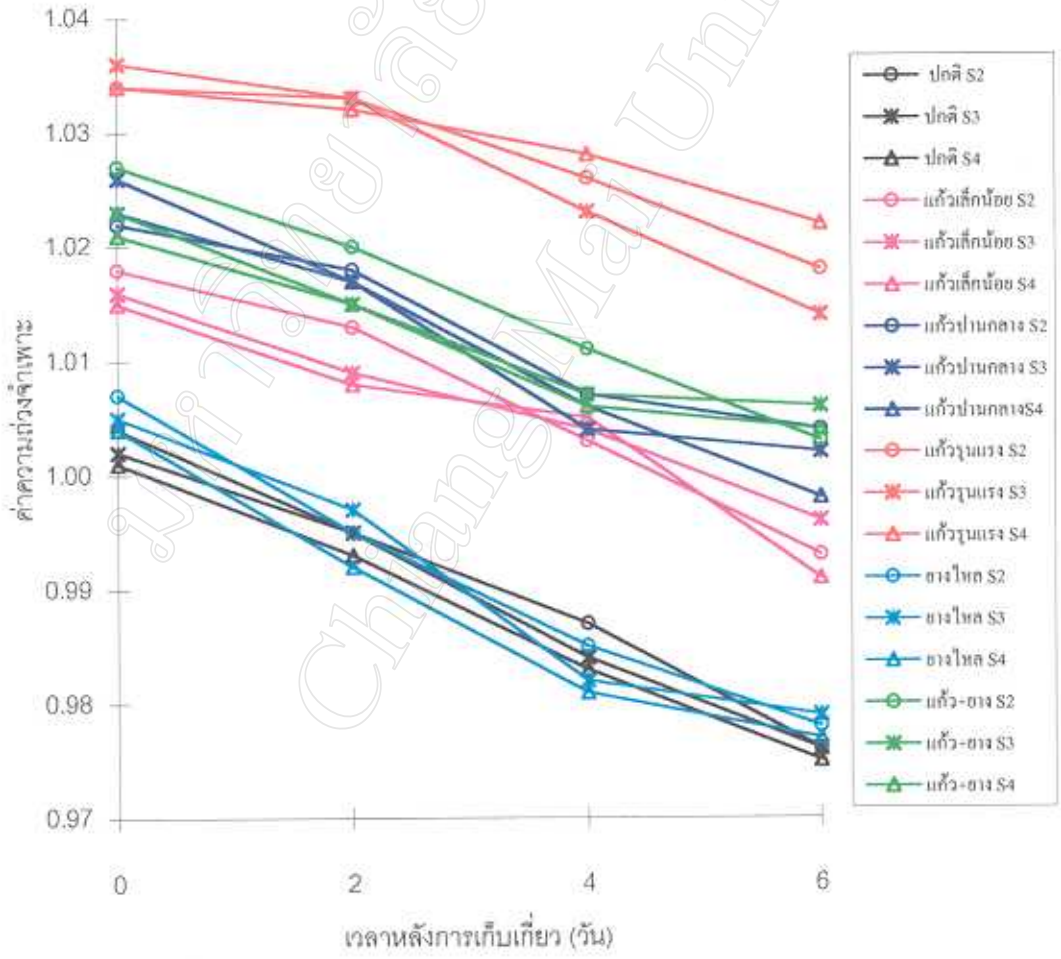
ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ least significant different (LSD) ที่ ($P \leq 0.05$)

การลดลงของค่าความถ่วงจำเพาะ อาจเนื่องจากผลมังคุดเมื่อถูกเก็บเกี่ยวมาแล้วเกิดการสูญเสียน้ำออกทางรอยแผลที่ขั้วผล และรูเปิดตามธรรมชาติ โดยเฉพาะเมื่อเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องซึ่งมีอุณหภูมิสูง และเมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น จะเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น (จริงแท้, 2538) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักผลและปริมาตรเฉลี่ยต่อผลของมังคุดทั้ง 3 ระดับความแก่ ที่เวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้นจาก 0 - 6 วัน พบว่าน้ำหนักและปริมาตรของผลมังคุดทุกระดับความแก่ไม่แตกต่างกัน แต่น้ำหนักและปริมาตรของผลมังคุดทุกระดับความแก่มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น โดยน้ำหนักผลมีแนวโน้มลดลงรวดเร็วกว่าการลดลงของปริมาตรผลเมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น (ภาพที่ 3A, 3B ตารางผนวกที่ 1 และ 2) ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดลดลงเมื่อเก็บไว้นานขึ้น ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกันกับผลการทดลองของ กวิศร์ และสุรพงษ์ (2522) ซึ่งพบว่าผลมังคุดทุกระดับความแก่ตั้งแต่ระดับสีที่ 0 - 6 ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28.3 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 84.4%) มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นจนกระทั่งผลเกิดการเน่าเสีย



ภาพที่ 3 น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล (A) และปริมาตรเฉลี่ยต่อผล (B) ของมังคุดที่มีความแก่ในระดับที่ (—✱—), ระดับที่ 3 (—□—), และระดับที่ 4 (—△—) เมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวเป็น 0 - 6 วัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของผลปกติกับผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ ทั้ง 3 ระดับความแก่ ที่เวลาหลังการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 0 - 6 วัน พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทุกระดับความแก่ในแต่ละลักษณะมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น โดยผลมังคุดทุกลักษณะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดในวันแรก หลังจากนั้นความถ่วงจำเพาะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น (ตารางผนวกที่ 3) และผลปกติกับผลที่มีอาการยางไหลมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยต่ำกว่าทุกลักษณะในทุกระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว รองลงมาเป็นผลที่มีอาการเนื้อแก้วเล็กน้อย ปานกลาง เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และเนื้อแก้วรุนแรง ตามลำดับ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดลักษณะต่างๆ ที่มีความแก่ในระดับที่ 2 (S2), ระดับที่ 3 (S3) และระดับที่ 4 (S4) เมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวเป็น 0 - 6 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทุกลักษณะมีค่าลดลงเมื่อมีระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลมังคุดทุกลักษณะเมื่อมีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้นจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเช่นเดียวกัน และการสูญเสียน้ำหนักของผลมังคุดนี้น่าจะขึ้นอยู่กับสภาพของการเก็บรักษามากกว่ามีผลกระทบมาจากอาการผิดปกติภายในผล โดยการทดลองในครั้งนี้ได้เก็บผลมังคุดมาไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิสูง (28.4 ^{o}C) ทำให้ผลมังคุดเกิดการคายน้ำสูง จึงทำให้น้ำหนักผลลดลงมากขึ้นเมื่อเก็บไว้นานขึ้น ซึ่งทำให้ผลมังคุดทุกลักษณะมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงไปเรื่อยๆ และมีผลผิดปกติลอยมาปะปนกับผลปกติมากขึ้นเมื่อเก็บไว้นาน

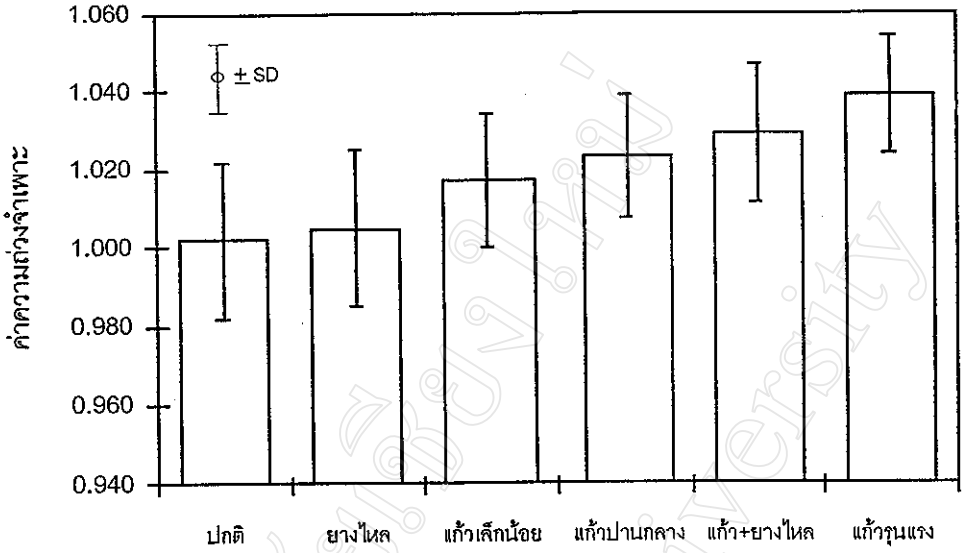
สถนทรรศน์ และคณะ (2533) ได้ทดลองเก็บผลมังคุดไว้ในห้องเย็น (15 ^{o}C) นาน 3 - 4 สัปดาห์ก่อนการคัดแยก พบว่ามีผลที่มีอาการผิดปกติลอยปะปนขึ้นมากับผลปกติมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลมังคุดทุกลักษณะมีการสูญเสียน้ำออกจากผลจึงทำให้มังคุดที่มีอาการผิดปกติมีความถ่วงจำเพาะน้อยลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ในผลมะเขือเทศ (green tomato) ที่เก็บรักษาไว้นานนั้นมีความถ่วงจำเพาะลดลงเรื่อยๆ เพราะมีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น เนื่องมาจากมีอัตราการหายใจและการคายน้ำสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น (Nettles, 1950)

ดังนั้นหากจะคัดแยกมังคุดโดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะเป็นเกณฑ์ ควรทำการคัดแยกทันทีภายในวันแรกหลังการเก็บเกี่ยว ส่วนมังคุดที่มีระดับความแก่ต่างกันในระดับสีที่ 2, 3 และ 4 นั้นสามารถคัดพร้อมกันได้

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วและอาการผิดปกติอื่น ๆ กับค่าความถ่วงจำเพาะ

เนื่องจากผลมังคุดทั้งหมดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ นอกจากจะมีผลที่มีเนื้อปกติ ผลที่เป็นเนื้อแก้วในระดับต่างๆ แล้ว ยังพบว่ามีผลที่มีอาการยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลรวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆ เหล่านี้กับค่าความถ่วงจำเพาะด้วย

จากการศึกษา พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่มผลปกติและกลุ่มที่มียางไหล มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ากลุ่มที่มีอาการเนื้อแก้วเล็กน้อย เนื้อแก้วปานกลาง เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และเนื้อแก้วรุนแรง โดยมีค่าเป็น 1.002, 1.005, 1.017, 1.023, 1.029, และ 1.039 ตามลำดับ (ภาพที่ 5 และตารางผนวกที่ 4)



ภาพที่ 5 ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของผลมังคุดเนื้อปกติและผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ

การที่มังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วเล็กน้อย แก้วปานกลาง แก้วรุนแรง และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยสูงกว่าผลปกติและผลที่มีอาการยางไหลนั้น อาจเนื่องมาจากผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ เหล่านี้ เป็นผลที่ได้รับน้ำส่วนเกินในปริมาณมากกว่าผลปกติและผลที่มียางไหล จึงทำให้มีน้ำหนักผลและความถ่วงจำเพาะมากกว่าผลปกติและผลที่มีอาการยางไหล เมื่อพิสูจน์โดยการหาปริมาณน้ำในเปลือกและเนื้อของผลมังคุดเนื้อปกติเปรียบเทียบกับผลที่มีอาการเนื้อแก้วเล็กน้อย เนื้อแก้วปานกลาง และเนื้อแก้วรุนแรง พบว่าน้ำในเปลือกของผลปกติมีปริมาณน้อยกว่าผลที่มีเนื้อแก้วเล็กน้อย เนื้อแก้วปานกลาง และเนื้อแก้วรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณน้ำในเนื้อผลปกติ ผลที่มีเนื้อแก้วเล็กน้อย และเนื้อแก้วปานกลางมีค่าน้อยกว่าผลที่มีเนื้อแก้วรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามยังมีผลปกติบางส่วนที่จมน้ำ (ถ.พ >1) ลงไปกับผลผิดปกติ จึงศึกษาปริมาณน้ำในเปลือกและในเนื้อผลเพิ่มเติม และพบว่ามีปริมาณน้ำในเปลือกมากกว่าผลปกติกลุ่มที่ลอยน้ำ (ถ.พ < 1) แต่มีปริมาณน้ำในเนื้อผลไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำในการคัดแยกมังคุดเนื้อปกติออกจากเนื้อแก้วซึ่งจะได้กล่าวในอันดับต่อไป (ตารางที่ 3) ดังนั้นผลมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วจึงมีปริมาณน้ำในผลมากจริง ซึ่งมีผลทำให้มังคุดผลที่มีอาการผิดปกติมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าผลปกติและผลที่มีอาการยางไหล โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นนั้นเป็นน้ำที่ถูกดูดซับอยู่ในเปลือกผลมากกว่าน้ำที่เพิ่มขึ้นในเนื้อผล ทั้งนี้

อาจเนื่องมาจากเปลือกผลนั้นมีสัดส่วนมากกว่าเนื้อผล เมื่อมังคุดได้รับน้ำส่วนเกินมากขึ้นผลมังคุดน่าจะสามารถดูดซับน้ำไว้ในเปลือกได้จำนวนหนึ่ง แต่เมื่อได้รับน้ำส่วนเกินมากจนเปลือกผลไม่สามารถดูดซับไว้ได้จึงส่งผลกระทบไปสู่เนื้อจนทำให้เกิดอาการเนื้อแก้วและอาการผิดปกติต่างๆ ขึ้น และปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นนี้ทำให้ผลมังคุดมีน้ำหนักมากขึ้นและค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกันกับผลการทดลองของ ธนะชัย (2534) ที่พบว่าสัดส่วนของเปลือกผลมังคุดมีมากกว่าเนื้อผลเป็นร้อยละ 70 : 30 และผลที่มีเนื้อแก้วมีปริมาณน้ำในเปลือกมากกว่าผลปกติเป็นร้อยละ 65.2 และ 63.5 ตามลำดับ แต่ปริมาณน้ำในเนื้อผลที่เป็นเนื้อแก้วมีค่าไม่แตกต่างกันกับผลปกติ นอกจากนี้ผลที่เป็นเนื้อแก้วยังมีปริมาณอากาศในเนื้อผลน้อยกว่าเนื้อปกติถึง 15 เท่า (วรภัทร, 2539 ก) Pankasemsuk *et al.*, (1996) ได้ทดลองให้น้ำเข้าไปในผลมังคุดเนื้อปกติ (ผลที่ลอยน้ำ) โดยใช้ความดัน 39 kPa นาน 5 นาที (vaccuum infiltration) พบว่าผลมังคุดมีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 0.98 เป็น 1.02 และมีอาการเนื้อแก้วและยางไหลตามมา

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในผลมังคุดเนื้อปกติ และผลที่มีเนื้อแก้วในระดับต่างๆ

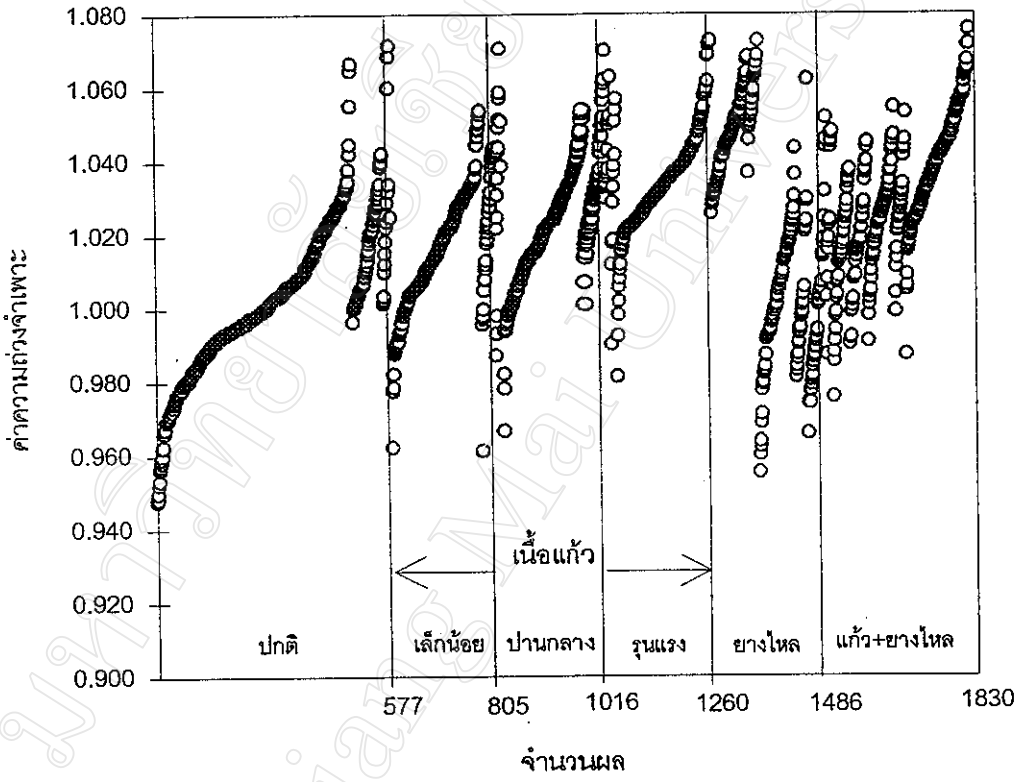
ลักษณะ	ปริมาณน้ำ (%) [y]	
	เปลือก	เนื้อ
ปกติ 1 (ถ.พ <1)	63.01[c] ± 1.65	80.94[yz] ± 1.50
ปกติ 2 (ถ.พ >1)	65.37[a] ± 1.98	80.97[yz] ± 1.34
เนื้อแก้วเล็กน้อย	64.14[b] ± 1.13	81.08[yz] ± 2.09
เนื้อแก้วปานกลาง	65.25[a] ± 0.94	81.89[xy] ± 1.55
เนื้อแก้วรุนแรง	65.41[a] ± 1.96	82.56[x] ± 1.67
F - test	* *	* *
CV (%)	2.49	2.08

* * = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

[y] Mean ± SD จากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย แบบ least significant different (LSD) ที่ ($P \leq 0.05$)

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลมังคุดลักษณะต่างๆ ไปหาความสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ (r^2 = 0.231) แสดงว่าระดับอาการเนื้อแก้วที่สูงขึ้นสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงขึ้นเพียงร้อยละ 23 ของจำนวนผลทั้งหมดเท่านั้น ส่วนที่เหลือไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยช่วงค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดแต่ละลักษณะอาการมีค่าใกล้เคียงกันมาก และมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงที่กว้าง (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะกับผลมังคุดลักษณะต่างๆ

ซึ่งทำให้ยากต่อการคัดแยกมังคุดที่มีระดับความรุนแรงและลักษณะอาการผิดปกติต่างๆ จากกันโดยวิธีคัดแยกด้วยวิธีความถ่วงจำเพาะได้ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจาก

1. ผลมังคุดบางส่วนอาจดูดซับน้ำเอาไว้ในเปลือกมาก ทำให้ผลปกติจมลงไปกับผลผิดปกติ และผลที่มีอาการเนื้อแก้วเล็กน้อยก็จมกับผลที่มีอาการเนื้อแก้วรุนแรงด้วย เมื่อพิสูจน์โดยการหาปริมาณน้ำในเปลือกผลเทียบกับปริมาณน้ำในเนื้อผลของผลปกติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 ผลปกติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 ผลที่มีอาการเนื้อแก้วเล็กน้อย เนื้อแก้วปานกลาง และเนื้อแก้วในระดับรุนแรง พบว่าปริมาณน้ำในเปลือกของกลุ่มปกติที่มีค่าความ

ถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 เนื้อแก้วเล็กน้อย และเนื้อแก้วปานกลางมีปริมาณน้ำมากกว่ากลุ่มปกติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.00 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ปริมาณน้ำในเนื้อผลไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3)

การที่เปลือกมังคุดดูดซับน้ำไว้ในเซลล์ได้ในปริมาณมากนั้น อาจเนื่องจากเปลือกของมังคุดเป็นเซลล์พวกพาเรนไคมา (parenchyma) ที่เกาะกันอยู่อย่างหลวมๆ และมีอากาศแทรกอยู่มาก (ธนะชัย, 2534 และสุภา, 2535) เมื่อมีฝนตกหนักในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว น้ำส่วนเกินที่ผลมังคุดได้รับนี้จะซึมเข้าไปแทนที่อากาศภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเปลือก ทำให้น้ำหนักผลสูงขึ้นและทำให้มังคุดผลปกติมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าปกติ จึงจมลงไปรวมอยู่กับกลุ่มที่มีอาการผิดปกติได้

2. ผลที่มีอาการยางไหลมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับผลปกติมาก ทั้งนี้เนื่องจากผลมังคุดที่ได้รับน้ำส่วนเกินที่ผลมังคุดได้รับในระหว่างฤดูเก็บเกี่ยวแม้จะมีในปริมาณไม่มากแต่อาจมีผลทำให้ท่อน้ำยางที่มีอยู่ในเปลือก ไส้กลางผล และเนื้อเยื่อรอบๆ เมล็ดแตก จึงเกิดยางไหลในผลได้ ธนะชัย (2534) รายงานว่าเมื่อทำการบังคับน้ำเข้าไปในผลมังคุดด้วยความดันสูง พบว่ามังคุดเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลตามมา เนื่องมาจากท่อน้ำยาง (latex) ซึ่งมีเป็นจำนวนมากและแทรกอยู่ทั่วไปในเปลือก ไส้กลางผล และเยื่อหุ้มเมล็ดของมังคุดนั้นแตกได้ง่ายเมื่อได้รับน้ำส่วนเกินมากขึ้น กวินหาญ (2538) ได้ตั้งข้อสังเกตว่ามังคุดที่ประสบปัญหาฝนทิ้งช่วงสลับกับมีฝนตกหนักทันทีในระหว่างฤดูการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลมังคุดได้รับน้ำส่วนเกินอย่างกระทันหัน จึงอาจทำให้ความดันภายในท่อน้ำยางเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ท่อน้ำยางจึงแตกและทำให้เกิดอาการยางไหลในผลได้ง่าย โดยน้ำส่วนเกินที่ผลมังคุดได้รับนี้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่อาจจะทำให้เกิดอาการยางไหลได้ (วรภัทร, 2539 ก) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำส่วนเกินที่ผลมังคุดได้รับนี้อาจมีไม่มากพอที่จะทำให้น้ำหนักผลมากขึ้นจนกระทบต่อค่าความถ่วงจำเพาะของผลที่มียางไหลให้เปลี่ยนแปลงไปจากปกติ จึงลอยปะปนไปกับผลปกติได้

3. ถึงแม้ผลมังคุดในกลุ่มที่มีอาการผิดปกติต่างๆ ซึ่งมักมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยสูงมากกว่าผลปกติ กลับมีผลผิดปกติจำนวนหนึ่งที่ลอยขึ้นไปคละปนกับผลปกติด้วย โดยผลมังคุดเหล่านี้อาจจะมีโพรงอากาศแทรกอยู่ภายในเนื้อ จากการสังเกตพบว่าเนื้อผลจะมีลักษณะเป็นฟองสีขาวขุ่น เนื้อด้านแข็งและค่อนข้างแห้งคล้ายกับอาการฟ่ามแบบแห้งในเนื้อส้ม (ภาพที่ 7A) ลักษณะดังกล่าวนี้ยังไม่ทราบว่าเกิดจากสาเหตุใด ซึ่งจะพบอาการลักษณะนี้ได้ทั้งในผลที่มีเนื้อปกติและผลที่มีอาการผิดปกติ และถ้าหากมีความรุนแรงมากขึ้นน่าจะมีปริมาตรของโพรงอากาศ

ขนาดใหญ่ขึ้น คาดว่าจะทำให้ผลที่มีอาการผิดปกติมีน้ำหนักผลเบาจึงมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำและลอยไปปะปนกับผลปกติได้

Marcelis *et al.*, (1995) รายงานว่าอาการ sponginess ในหัวแรดิชที่มีความรุนแรงมากขึ้นทำให้มีความถ่วงของลดลงด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแบ่งตัวของเซลล์พาเรนไคมาอย่างรวดเร็วทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ และสารประกอบเพคติคใน midle lamella ที่มีอยู่ในเซลล์แห้งไป จึงทำให้เนื้อเยื่อในบริเวณนั้นแห้งตายและมีฟองอากาศแทรกอยู่ภายในแทนที่สารละลายที่แห้งไปนั้น ถ้าหากเกิดอาการ sponginess มากขึ้นโพรงอากาศในเนื้อจะมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงทำให้ความถ่วงจำเพาะของหัวแรดิชลดน้อยลง

นอกจากนี้ผลมังคุดที่ผิดปกติแต่มีความถ่วงจำเพาะต่ำนั้น ยังสังเกตพบว่าในเนื้อผลจะมีโพรงอากาศ เนื่องจากเมล็ดเกิดการฝ่อและยุบตัวไประหว่างการพัฒนาของผล จึงทำให้เกิดโพรงอากาศขึ้นในกลีบของเนื้อมังคุด (ภาพที่ 7B) ซึ่งคาดว่าโพรงนี้จะมีผลทำให้มังคุดที่มีอาการผิดปกติมีน้ำหนักเบาลง จึงมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำและลอยขึ้นไปปะปนกับผลปกติได้

โดยทั่วๆ ไปในผลมังคุดจะประกอบไปด้วยเนื้อแบ่งเป็นกลีบๆ จำนวน 4 - 8 กลีบ แต่จะมีเมล็ดที่เจริญสมบูรณ์เพียง 1 - 2 เมล็ดเท่านั้น ส่วนเมล็ดที่เหลือมักจะลีบและฝ่อไป (Yaacob *et al.*, 1995) ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเกิดโพรงลักษณะนี้ในเนื้อผลมังคุดได้มาก

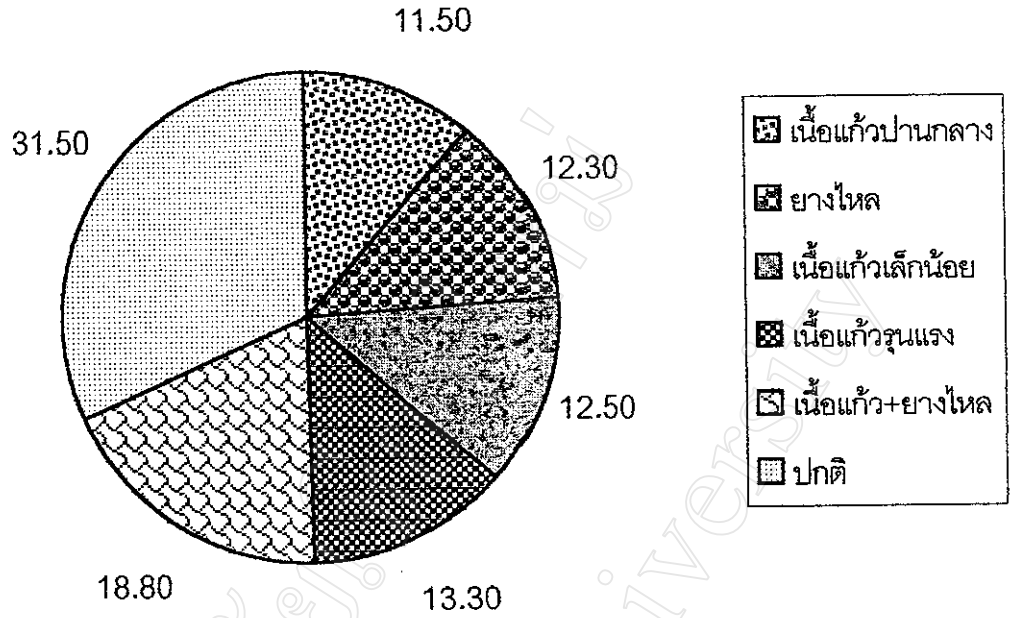
ภาพที่ 7 ลักษณะของมังคุดเนื้อฟ่ามเป็นแถบสีขาวแทรกอยู่ในเนื้อแก้ว (A) และโพรงอากาศที่เกิดจากเมล็ดที่ยุบฝ่อไป (B)

ตอนที่ 3 ผลการทดสอบวิธีการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วและเนื้อปกติโดยใช้ความถ่วงจำเพาะ

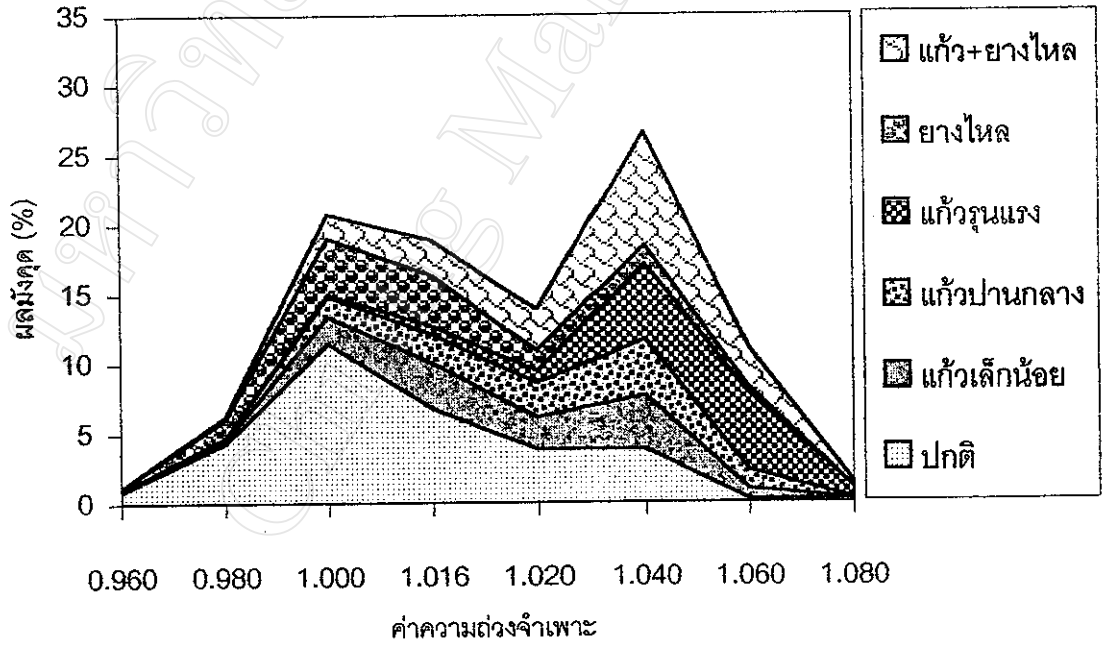
1. ผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมและความแม่นยำในการคัดแยกมังคุดผลที่เป็นเนื้อแก้วออกจากผลปกติ

จากการหาค่าความถ่วงจำเพาะของผลมังคุดทั้งหมด 1,830 ผล เมื่อผ่าประเมินลักษณะอาการภายในผล พบว่าในการทดลองครั้งนี้มีสัดส่วนของผลปกติต่อผลผิดปกติเป็นร้อยละ 31.5 : 68.5 เมื่อแบ่งเป็นสัดส่วนของผลมังคุดแต่ละลักษณะ พบว่ามีผลปกติมากที่สุด รองลงมาเป็นผลที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล ผลที่มีเป็นเนื้อแก้วรุนแรง เนื้อแก้วเล็กน้อย ยางไหล และผลที่เป็นเนื้อแก้วปานกลาง โดยมีค่าเป็นร้อยละ 31.5 , 18.8 , 13.1 , 12.5 , 12.3 และ 11.5 ตามลำดับ (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่5) ในการทดลองครั้งนี้มีมังคุดผลปกติต่ำเมื่อเทียบกับปีอื่นๆ อาจเนื่องมาจากผลมังคุดที่ทำการทดลองในครั้งนี้ได้รับน้ำส่วนเกินในปริมาณมาก เพราะมีฝนตกหนักในระหว่างฤดูการเก็บเกี่ยว จึงทำให้มังคุดมีอาการเนื้อแก้ว และอาการผิดปกติอื่นๆ รวมกันอยู่สูง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกันกับการทดลองของ สณทรรศน์ และคณะ (2533) ที่พบว่าในปีที่มีฝนตกหนักระหว่างฤดูเก็บเกี่ยวผลิตผลมีผลที่เป็นเนื้อปกติเพียงร้อยละ 35 ที่เหลือเป็นผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ คือ เนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลเป็นร้อยละ 24, 20.8, และ 20.2 ตามลำดับ แต่ในปีที่มีฝนตกปกตินั้นพบว่ามีมังคุดเนื้อปกติร้อยละ 54 - 69 และมีผลที่เป็นเนื้อแก้วและผลที่มีอาการผิดปกติอื่นๆ อีกร้อยละ 31 - 32 (สณทรรศน์ และคณะ, 2533 และธนะชัย, 2534)

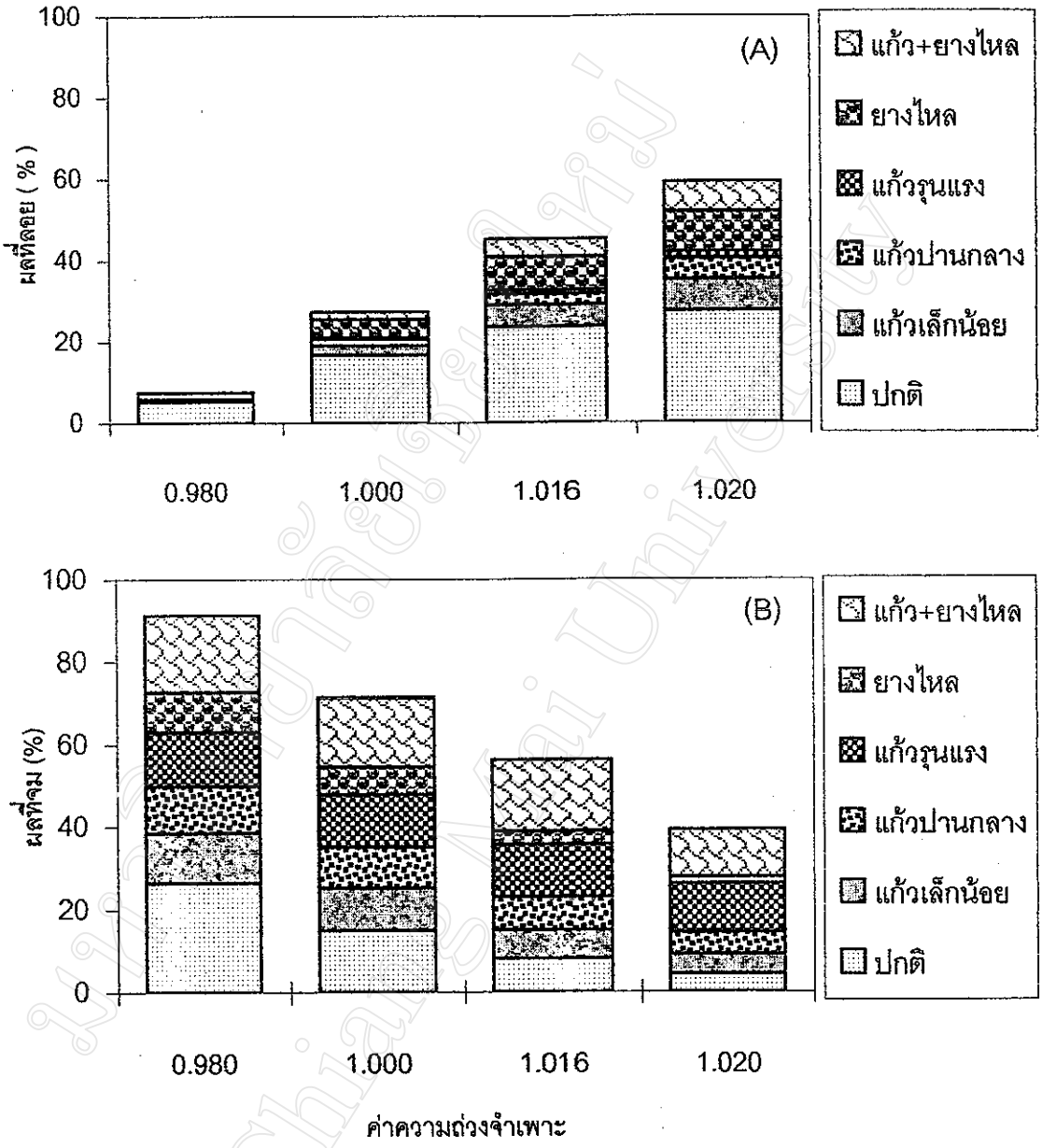
เมื่อนำผลมังคุดทุกลักษณะมาหาความถ่วงจำเพาะ พบว่าผลมังคุดทุกลักษณะมีการกระจายอยู่ในค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 0.950 - 1.080 โดยผลปกติส่วนใหญ่มีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.950 - 1.020 และผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ ส่วนใหญ่มีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.020 ขึ้นไป (ภาพที่ 9 และตารางผนวกที่ 6)



ภาพที่ 8 ร้อยละของผลมังคุดลักษณะต่างๆ เมื่อผ่าประเมินอาการภายใน



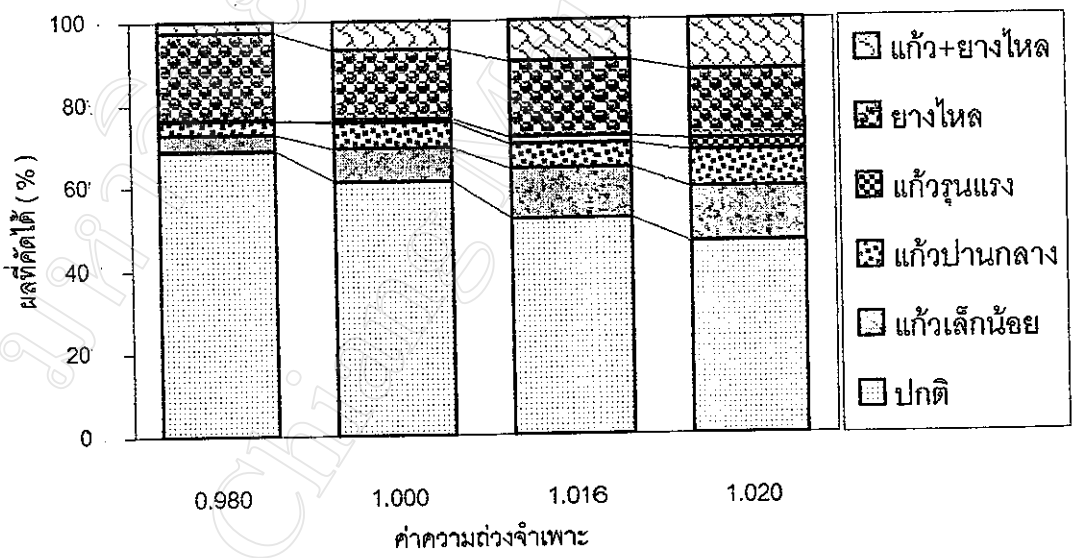
ภาพที่ 9 ร้อยละของผลมังคุดลักษณะต่างๆ ที่มีการกระจายอยู่ในความถ่วงจำเพาะแต่ละค่า



ภาพที่ 10 ร้อยละของผลมังคุดลักษณะต่างๆ ที่คัดได้ (A) และคัดไม่ได้ (B) จากผลทั้งหมดจำนวน 1830 ผล เมื่อคัดแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ 4 ค่า

ดังนั้นจึงเลือกค่าความถ่วงจำเพาะที่สามารถคัดแยกผลที่เป็นเนื้อแก้วออกไปได้มากที่สุด คือความถ่วงจำเพาะช่วง 0.95 - 1.020 และแบ่งออกเป็น 4 ค่า คือ 0.980, 1.000, 1.016 และ1.020 เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนผลลักษณะต่างๆ ที่คัดได้ในค่าความถ่วงจำเพาะแต่ละค่า พบว่าที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.980 นั้นคัดเอาผลปกติมาได้น้อยที่สุด และเมื่อเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกให้สูงขึ้น สามารถคัดผลปกติกลับมาได้มากขึ้น (ภาพที่ 10A และตารางผนวกที่ 7) แต่ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.980 นั้นสามารถคัดผลผิดปกติออกไปได้มากที่สุด และเมื่อเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกให้สูงขึ้นกลับคัดผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ ออกไปได้ลดลง (ภาพที่ 10B และตารางผนวกที่ 8)

เมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีของผลมังคุดลักษณะต่างๆ ที่คัดได้ในความถ่วงจำเพาะแต่ละค่า พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกให้สูงขึ้นกลับมีความแม่นยำในการคัดแยกลดลง โดยมีร้อยละของผลปกติที่คัดได้ลดลง และมีร้อยละของผลที่เป็นเนื้อแก้วรวมทั้งผลผิดปกติลักษณะต่างๆ ที่คัดปนมามากขึ้น (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 9,10)



ภาพที่ 11 ร้อยละการคละปนของผลมังคุดที่มีลักษณะต่างๆ ที่คัดได้ เมื่อคัดแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ 4 ค่า

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกให้สูงขึ้น สามารถคัดแยกผลปกติกลับมาได้มากขึ้น แต่มีความแม่นยำในการคัดแยกลดลง อาจเนื่องมาจากผลมังคุดที่ทำการทดลองในครั้งนี้ได้รับน้ำส่วนเกินในปริมาณมาก เพราะมีฝนตกหนักในระหว่าง

ฤดูการเก็บเกี่ยว จึงทำให้มังคุดเกิดอาการเนื้อแก้ว และอาการผิดปกติอื่นๆ สูง รวมทั้งผลปกติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยต่ำและลอยน้ำอยู่แล้วนั้น สามารถดูดซับน้ำส่วนเกินนั้นไว้ในเปลือกได้เป็นปริมาณมาก (แต่อาจจะยังไม่ทำให้เกิดอาการเนื้อแก้ว) จึงทำให้ผลปกติจมลงไปรวมกับผลที่มีอาการผิดปกติต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่มักมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงอยู่แล้ว แต่ในขณะเดียวกันผลที่มีอาการผิดปกติต่างๆ บางส่วนกลับลอยขึ้นมาปะปนกับผลปกติด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีโพรงในเนื้อของผลมังคุด โดยในเนื้อเป็นโพรงอากาศนี้ จะมีลักษณะฟ่ามและแห้งแข็งเป็นไต และมีฟองอากาศแทรกอยู่ในบริเวณนั้นเป็นจำนวนมาก ทำให้เป็นโพรงขนาดใหญ่เกิดขึ้นในเนื้อผล และนอกจากนี้ยังมีโพรงอากาศที่เกิดจากการฝ่อและยุบไปของเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ในกลีบของเนื้อผล ซึ่งโพรงในเนื้อของมังคุดเหล่านี้ อาจมีขนาดใหญ่มากพอที่จะทำให้ผลมังคุดมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง และลอยขึ้นไปรวมกับผลที่มีเนื้อปกติได้

แต่ในกรณีของผลที่มีอาการยางไหลนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกสูงขึ้นถึง 1.020 ร้อยละการคละปนของมังคุดที่เป็นยางไหลจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลมังคุดที่เป็นยางไหลส่วนใหญ่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ และมีร้อยละการสะสมของจำนวนผลเริ่มลดลงในค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1.016 ขึ้นไป (ตารางผนวกที่ 6) ดังนั้นเมื่อใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกสูงขึ้นถึง 1.020 จึงคัดเอาผลที่เป็นยางไหลมาเกือบทั้งหมด จึงทำให้มีร้อยละการคละปนของผลที่เป็นยางไหลลดลง ซึ่งผลการทดลองในครั้งนี้เมื่อเทียบกับการทดลองที่ผ่านมา พบว่ามีแนวโน้มของผลปกติที่คัดได้และคัดไม่ได้เป็นไปในทางเดียวกันกับ สณทรรศน์และคณะ (2533) ที่พบว่าในปีที่มีฝนตกชุกในระหว่างฤดูเก็บเกี่ยว จะมีน้ำเข้าไปในผลมังคุดมาก จึงทำให้มีจำนวนผลมังคุดที่ลอยน้ำในปริมาณน้อย เมื่อเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้น้ำเกลือในการคัดแยก พบว่าสามารถคัดผลปกติกลับมาได้มากขึ้นแต่ความแม่นยำในการคัดแยกจะลดลงเช่นกัน แต่ในปีที่มีฝนตกในฤดูเก็บเกี่ยวน้อยจะไม่มีปัญหาในเรื่องปริมาณน้ำส่วนเกินที่เปลือกผลมังคุดสามารถดูดซับไว้ได้มากจนทำให้ผลปกติจมลงไปกับผลผิดปกติ ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการลอยผลมังคุดในน้ำ (ค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1) ในการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดเนื้อปกติได้ดี (ภาพผนวกที่ 5ก,ข และตารางผนวกที่ 11) และมีความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 73.7 - 90.7 (สณทรรศน์และคณะ, 2533 และธนะชัย, 2534)

แต่อย่างไรก็ตามวิธีความถ่วงจำเพาะนี้ ไม่สามารถคัดผลที่มีอาการผิดปกติแต่มีโพรงอากาศเกิดขึ้นในเนื้อผล และผลที่มีอาการยางไหลออกไปได้ทั้งหมด

2. ผลการหาประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติด้วยวิธีความถ่วงจำเพาะ

จากการนำผลมังคุดเนื้อปกติ ผลที่มีอาการเนื้อแก้วในระดับต่างๆ ผลที่มีอาการยางไหล และผลที่มีอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล ที่คัดได้จากค่าความถ่วงจำเพาะ 4 ค่า คือ 0.980, 1.000, 1.016 และ 1.020 (ภาพที่ 11 (A),(B) และตารางผนวกที่ 7) ไปหาประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดแต่ละลักษณะ และประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดรวมทุกลักษณะได้ถูกต้อง โดยคิดเป็นร้อยละจากผลมังคุดแต่ละลักษณะที่คัดแยกได้ถูกต้องในความถ่วงจำเพาะแต่ละค่า พบว่าที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.980 และ 1.000 สามารถคัดผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วในระดับรุนแรงออกไปได้มากกว่าร้อยละ 95 ของผลที่มีอาการเนื้อแก้วในระดับรุนแรงทั้งหมด ส่วนผลที่มีอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล เนื้อแก้วในระดับปานกลาง และเนื้อแก้วในระดับเล็กน้อยนั้น สามารถคัดออกไปได้มากในอันดับรองลงมา โดยสามารถคัดแยกผลที่มีอาการยางไหลออกไปได้เพียงร้อยละ 55 และเมื่อใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกที่สูงขึ้น พบว่าสามารถคัดผลปกติกลับมาได้มากขึ้น แต่ความสามารถในการคัดแยกผลที่มีอาการผิดปกติออกไปได้ลดลง และที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.980 มีประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดรวมทุกลักษณะได้ถูกต้องมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ 83.4 รองลงมาเป็นการคัดแยกที่ความถ่วงจำเพาะ 1.000 , 1.016 และ 1.020 มีค่าเป็นร้อยละ 77.4 , 64.6 และ 55.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

การที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.980 มีประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดรวมทุกลักษณะได้ถูกต้องมากที่สุด อาจเนื่องจากที่ความถ่วงจำเพาะ 0.980 นั้นเป็นค่าที่มีผลผิดปกติอยู่น้อยจึงมีความผิดพลาดในการคัดแยกต่ำ โดยสามารถคัดผลที่มีอาการเนื้อแก้วรุนแรงออกไปได้ทั้งหมด และมีผลที่มีอาการผิดปกติอื่นๆ ปนมาน้อย แต่อย่างไรก็ตามที่ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.980 คัดผลปกติกลับมาได้น้อย และถ้าหากใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงขึ้นถึงแม้ว่าจะคัดผลปกติกลับมาได้มากขึ้น แต่กลับมีความสามารถในการคัดเอาผลที่มีอาการผิดปกติออกไปได้ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทดลองในครั้งนี้มีฝนตกหนักในระหว่างฤดูการเก็บเกี่ยว จึงมีผลมังคุดปกติผลมังคุดที่เนื้อปกติบางส่วนซึ่งสามารถดูดซับน้ำไว้ในเปลือกมากจึงจมลงไปกับผลที่เป็นเนื้อแก้วและผลที่มีอาการผิดปกติอื่นๆ ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงอยู่แล้ว ยกเว้นกลุ่มที่มียางไหล เนื่องจากมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับผลปกติมาก จึงลอยปะปนไปกับผลปกติได้ ในผลที่มีอาการเนื้อแก้วเล็กน้อยนั้น พบว่าสามารถคัดออกไปได้น้อยเช่นกัน อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำเฉลี่ยในเนื้อและเปลือกมีค่าไม่แตกต่างจากผลปกติ จึงมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับผลปกติ ในขณะที่ผลที่มี

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดลักษณะต่างๆ เมื่อคัดแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ 4 ค่า

ลักษณะ	ค่าความถ่วงจำเพาะ			
	0.980	1.000	1.016	1.020
ปกติ	16.5 a/	52.9	74.4	86.5
	(83.5)	(47.1)	(25.6)	(13.5)
เนื้อแก้วเล็กน้อย	97.4	81.6	48.7	37.3
	(2.6)	(18.4)	(51.3)	(62.7)
เนื้อแก้วปานกลาง	98.6	85.8	68.2	46.9
	(1.4)	(14.2)	(31.8)	(53.1)
เนื้อแก้วรุนแรง	100.0	98.8	94.3	87.7
	(0.0)	(1.2)	(5.7)	(12.3)
ยางไหล	88.9	55.3	25.7	13.7
	(11.1)	(44.7)	(74.3)	(86.3)
เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล	99.1	90.1	76.5	60.8
	(0.9)	(9.9)	(23.5)	(39.2)
เฉลี่ย	83.4	77.4	64.6	55.5
	(16.6)	(22.6)	(35.4)	(44.5)

a/ : ร้อยละของผลที่คัดได้ถูกต้อง

(...) : ร้อยละของผลที่คัดผิดพลาด

อาการเนื้อแก้วปานกลางจนถึงรุนแรง จะมีปริมาณน้ำทั้งในเปลือกและในเนื้อสูง (ตารางที่ 3) รวมทั้งผลที่มีอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลนั้นอาจจะมีปริมาณน้ำในเปลือกและเนื้อสูงเช่นกัน จึงมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงและสามารถคัดออกไปได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่าผลที่มีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ บางส่วนมีโพรงอากาศเกิดขึ้นในเนื้อผล เนื่องจากมีฟองอากาศในเนื้อที่ฟาม และอาจมีโพรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์และยุบฝ่อไป ซึ่งโพรงอากาศเหล่านี้อาจมีผลทำให้ผลที่มีอาการผิดปกติลอยขึ้นไปปะปนกับผลปกติได้ เมื่อใช้ความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกสูงขึ้นจึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกลดลง ซึ่งให้ผลการทดลองคล้ายกันกับการทดลองที่ผ่านมา และพบว่าการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดเนื้อปกติด้วยวิธีการลอยน้ำในปีที่มีฝนตกหนักในระหว่างฤดูเก็บเกี่ยว สามารถคัดผลปกติมาได้เพียงร้อยละ 26.2 ของผลปกติทั้งหมด เมื่อเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกให้สูงขึ้นโดยใช้สารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 - 6 (ค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.02 - 1.04) ในการคัดแยก พบว่าสามารถคัดผลปกติกลับมาได้มากขึ้นเป็นร้อยละ 59 และ 91.7 ตามลำดับ แต่ความแม่นยำในการคัดแยกกลับลดลง เนื่องจากมีผลที่ผิดปกติปะปนมามากขึ้น (สณฑรรศน์ และคณะ, 2533) อย่างไรก็ตามในปีที่มีฝนตกตามปกติการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วและเนื้อปกติด้วยวิธีการลอยน้ำ พบว่าประสิทธิภาพในการคัดแยกสูงขึ้น โดยสามารถคัดมังคุดปกติมาได้สูงถึงร้อยละ 80 - 89 และมีความสามารถคัดผลที่เป็นเนื้อแก้วออกไปได้ถึงร้อยละ 80 - 85 ของผลที่เป็นเนื้อแก้วทั้งหมด (ภาพผนวกที่ 6 และตารางผนวกที่ 12) (สณฑรรศน์ และคณะ, 2533 และธนะชัย, 2534)

อย่างไรก็ตามการใช้วิธีความถ่วงจำเพาะในการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วและเนื้อปกติ ในปีที่มีฝนตกหนักในระหว่างฤดูเก็บเกี่ยว ให้ได้ประสิทธิภาพในการคัดแยกสูงและสามารถคัดผลปกติกลับมาได้มากขึ้นนั้น อาจต้องทำการคัดแยกที่ค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 ค่า โดยคัดที่ค่าถ่วงต่ำที่สุดก่อน แล้วจึงนำเอาผลที่จมในการคัดครั้งแรกไปคัดต่อในค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงขึ้น โดยหากต้องการลดค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายตัวกลางในการคัดแยกให้ต่ำกว่าน้ำ (ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1) อาจใช้วิธีการเติมฟองอากาศให้กับน้ำ หรือถ้าต้องการเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะให้มากกว่าน้ำ อาจใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นในระดับต่างๆ ตั้งแต่ร้อยละ 1 - 3 ในการปรับค่าความถ่วงจำเพาะให้เป็น 1.01 - 1.02 แต่การใช้น้ำเกลือในการคัดแยกอาจมีปัญหาในการควบคุมค่าความถ่วงจำเพาะให้คงที่ได้ยาก จึงควรสุ่มน้ำเกลือมาวัดค่าความถ่วงจำเพาะอยู่เสมอ และต้องควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดการคัดแยก หรืออาจใช้วิธีการเติมฟองอากาศในน้ำเกลือให้มีความความถ่วงจำเพาะในระดับต่างๆ อาจจะช่วยควบคุมค่าความถ่วงจำเพาะให้คงที่ตลอดการคัดแยกได้ง่ายขึ้น แต่การใช้น้ำเกลือในการคัดแยกนั้น จะต้องรีบล้างผลมังคุดทันทีหลัง

การคัดแยก เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายเนื่องจากน้ำเกลืออาจกัดผิวมังคุดให้เสียหายได้ แต่อย่างไรก็ตามการแช่ผลมังคุดในน้ำหลายครั้งอาจทำให้เปลือกผลดูดซับน้ำมากขึ้นและทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการคัดแยกได้ ซึ่งปัญหานี้อาจมีผลกระทบต่อความแม่นยำในการคัดแยกครั้งต่อๆ มาได้

ตอนที่ 4 ผลการทดสอบวิธีการคัดแยกมังคุดเนื้อปกติ และมังคุดเนื้อแก้วโดยใช้วิธี X - ray CT

1. ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ X - ray CT ในการตรวจสอบอาการเนื้อแก้วและลักษณะผิดปกติต่าง ๆ ในผลมังคุด

จากการนำผลมังคุดเนื้อปกติ และผลมังคุดที่คาดว่าจะมีอาการผิดปกติลักษณะต่างๆ คือ เนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล ไปตรวจวัดด้วย X - ray CT พบว่า ภาพ X - ray CT แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างลักษณะเนื้อปกติ และอาการผิดปกติ คือ เนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลค่อนข้างชัดเจน โดยลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏในภาพ X - ray CT มีดังต่อไปนี้

1. รอยแถบสีเทา หรือสีเทาอ่อนกระจายล้อมรอบเนื้อสีขาวในแต่ละกลีบเนื้อผลอย่างสม่ำเสมอ (ภาพที่ 12A) บริเวณดังกล่าวมักเป็นเนื้อปกติ
2. รอยสีขาวล้อมด้วยแถบสีเทาในแต่ละกลีบ (ภาพที่ 12B) บริเวณดังกล่าวมักเป็นเนื้อปกติ (เนื้อปกติที่ใสและนิ่ม)
3. รอยสีขาวสว่างเป็นปื้น (ภาพที่ 12C และ 12F) บริเวณดังกล่าวอาจเป็น เนื้อแก้ว ยางไหล หรือเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล
4. โพรงสีดำทึบ (ภาพที่ 12D และ 12E) เนื้อเยื่อบริเวณในดังกล่าวอาจเป็น โพรงอากาศที่เกิดลักษณะอาการต่างๆ เช่น เนื้อบริเวณนั้นฟ่ามและเป็นฟองอากาศใหญ่ๆ อยู่รวมกัน เนื้อเยื่อบริเวณนั้นเน่าตาย มียางไหลซึมเข้าไปในไส้กลางผล ยางไหลซึมเข้าไปในเนื้อที่ฟ่ามเป็นโพรงอยู่ก่อนแล้ว หรือเมล็ดฝ่อยุบตัวไประหว่างการพัฒนาขนาดของผล

ภาพที่ 12 ลักษณะของมังคุดเนื้อปกติสีเทา (A), เนื้อปกติใส (B), เนื้อแก้ว, ยางไหล (C, F), โพรงอากาศจากเนื้อฟาม (D), และโพรงจากเมล็ดลีบ (E)

เมื่อพิจารณาแต่ละลักษณะอาการในผลมังคุดที่ปรากฏในภาพ X-ray CT มีลักษณะดังต่อไปนี้

ผลปกติ พบว่ากลีบเนื้อของมังคุดทุกกลีบมีแถบสีเทาในบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกโดยรอบตลอดทั้งผล ซึ่งจะแบ่งให้เห็นรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 13A)

ผลที่เป็นเนื้อแก้ว พบว่าผลที่เป็นเนื้อแก้วเพียงบางส่วน ในกลีบที่เป็นเนื้อแก้วนั้นมีรอยสีขาวสว่างโดยไม่เห็นรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้ว ในบริเวณเปลือกที่ติดกับเนื้อแก้วปรากฏให้เห็นเป็นแถบสีขาวเล็กๆ ที่คมชัดและสม่ำเสมอตลอดแนวของกลีบที่เป็นเนื้อแก้วนั้น (ภาพที่ 13C) แต่ถ้ามีอาการเนื้อแก้วรุนแรง พบว่าได้ภาพที่แสดงให้เห็นส่วนของเนื้อและเปลือกเป็นสีขาวทั้งผลและไม่เห็นขอบเขตของเนื้อกับเปลือกของผลมังคุดอย่างชัดเจน (ภาพที่ 13D)

ผลที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล พบว่าในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วเป็นสีขาวสว่าง และเนื้อแก้วในส่วนที่ติดกับเปลือกผลนั้น ปรากฏให้เห็นเป็นรอยซึมเปื้อนสีขาวขอบไม่เรียบอย่างชัดเจน แต่ในด้านที่มียางไหลในเนื้อผลจะเห็นเป็นจุดใสสว่างภายในเนื้อบริเวณนั้น แต่ไม่ค่อยชัดเจนนัก (ภาพที่ 13E)

ผลที่เป็นยางไหล พบว่าในผลมังคุดเกิดอาการยางไหลได้หลายแบบ คือ ยางไหลติดเปลือก ยางไหลในเนื้อผล และยางไหลในไส้กลางผล โดยผลที่มีอาการยางไหลติดเปลือกมักจะเป็นผลที่มีอาการยางไหลไม่รุนแรงมากนัก ซึ่งจะเห็นเป็นรอยหยดสีขาวเปื้อนอยู่ทั่วไปตามรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกผลมังคุด ทำให้ไม่เห็นรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือกในบริเวณที่มีรอยหยดนั้นได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 13F) ในกรณีที่เป็นยางไหลในเนื้อ พบว่าบริเวณที่มียางไหลซึมเข้าไปในเนื้อนั้น ถ้าเกิดอาการยางไหลในเนื้อปกติ หรือไหลซึมเข้าไปในเนื้อแก้ว พบว่าภาพ X-ray ที่ได้ปรากฏเป็นรอยเปื้อนสีขาวในบริเวณนั้น แต่ถ้ายางไหลเข้าไปในเนื้อปกติที่มีโพรงอากาศแทรกอยู่ ภาพในบริเวณนั้นแสดงให้เห็นเป็นรอยเปื้อนสีดำ (ภาพที่ 13G) และในกรณีที่มียางไหลในไส้กลางผล จะเห็นเป็นจุดสีดำในไส้กลางผลเช่นกัน (ภาพที่ 13H)

นอกจากนี้ยังพบว่าผลปกติที่มีน้ำส่วนเกินซึมอยู่ในเปลือกมาก ในบริเวณของเปลือกผลนั้นเห็นเป็นสีขาวโดยตลอด และปรากฏแถบสีเทาอ่อนโดยรอบกลีบเนื้อทุกกลีบ และยังเห็นรอยแบ่งระหว่างเนื้อกับเปลือกได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 13B) ในขณะที่เปลือกของเนื้อผลปกติที่มีน้ำในเปลือกในระดับปกติ จะเห็นเปลือกผลเป็นสีเทาดำ (ภาพที่ 13A)

จากผลการศึกษาลักษณะของเนื้อผลปกติ และผลที่มีอาการผิดปกติแบบต่างๆจากภาพ X-ray CT นั้น การที่ภาพ X-ray ของเนื้อผลปกติปรากฏเป็นสีเทาอ่อนให้เห็นรอยแบ่งระหว่างเนื้อกับเปลือกอย่างชัดเจน อาจเนื่องจากเนื้อของมังคุดเป็นเซลล์พวก parenchyma ที่มีอากาศแทรกอยู่มากมายในบริเวณรอยต่อระหว่างเปลือกกับเนื้อจึงมีลักษณะฟูนุ่ม และมีความแน่นเนื้อต่ำเมื่อฉายด้วยลำแสง X - ray ผ่านเนื้อของมังคุดในบริเวณนั้นจึงดูดกลืนแสง X-ray ได้ต่ำ และปล่อยให้ X - ray ผ่านไปตกยังฟิล์มหรือหัววัด (detector) มาก แสง X-ray นี้จึงไปทำปฏิกิริยากับฟิล์ม X- ray CT ได้มาก ทำให้ภาพเป็นสีเทา ในภาพ X-ray ของผลมะม่วงเนื้อปกติให้ภาพเป็นสีเทาสว่างสม่ำเสมอ (Thomas *et al.*, 1993) ในผล nectarine เนื้อปกตินั้นมีส่วนประกอบของอากาศอยู่ในเนื้ออย่างสม่ำเสมอจึงดูดกลืนแสง X-ray ได้ต่ำ และให้ภาพเป็นสีเทาอ่อนอย่างสม่ำเสมอในเนื้อผล (Sonego *et al.*, 1995) ในขณะที่รอยสีขาวที่เห็นในบริเวณที่เป็นเนื้อปกติ (บริเวณที่ใสและนิ่ม) อาจมาเนื่องจากเนื้อเยื่อในบริเวณนี้มีน้ำอยู่มาก จึงดูดกลืนแสง X-ray ไว้ได้มาก และได้ภาพที่เป็นสีขาวในบริเวณนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อผลไม้สุกแก่ โมเลกุลต่างๆ ภายในผนังเซลล์โดยเฉพาะเพคติน (pectin) ซึ่งเปลี่ยนสภาพจากไม่ละลายน้ำมาเป็นละลายน้ำ ทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัว และความสามารถในการเกาะติดกันของเซลล์ลดลง เซลล์ในบริเวณนั้นจึงหดตัวลง และไล่ที่อากาศที่แทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ออกไป เนื้อเยื่อในบริเวณนั้นจึงมี

ภาพที่ 13 เนื้อของมังคุดที่มีลักษณะต่างๆ เมื่อเปิดเปลือกผล (I), ภาพที่ได้จาก X-ray CT (II). เมื่อตัดผลตามขวาง (III) โดยลักษณะเนื้อปกติที่มีน้ำในเปลือกปกติ (A), เนื้อปกติที่มีน้ำในเปลือกมาก (B), เนื้อแก้ว (C), เนื้อแก้วรุนแรง (D), เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล (E), ยางไหลที่รอยต่อของเปลือกกับเนื้อผล (F), ยางไหลในเนื้อผลที่มีโพรงอากาศ(G), และยางไหลในไส้กลางผล (H)

ลักษณะใสนิ่มและฉ่ำน้ำ และมีความแน่นเนื้อต่ำ (ดนัย, 2539) การที่บริเวณของเนื้อมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วปรากฏเป็นสีขาวสว่างในภาพ X-ray นั้น เนื่องมาจากเนื้อเยื่อของมังคุดกลีบใดกลีบหนึ่งหรือทุกๆ กลีบทั้งผล มีน้ำอยู่มากเนื่องจากได้รับน้ำส่วนเกินมากจนกลายเป็นเนื้อแก้ว ซึ่งมีผลเนื้อเยื่อในบริเวณนั้นจะเปลี่ยนสภาพจากเนื้อที่ใสและอ่อนนิ่ม ไปเป็นเนื้อใสที่แข็งกรอบ และมีเพคตินสูงกว่าปกติ จึงมีความแน่นเนื้อสูงกว่าปกติถึง 3 เท่า (วรภัทร ข, 2539) อาจเป็นเพราะปริมาณมากน้ำที่มีมากขึ้นในเนื้อผลมังคุดนั้น สามารถดูดกลืนแสง X-ray ได้เป็นอย่างดี รวมทั้งเนื้อเยื่อที่กลายเป็นเนื้อแก้วนั้นมีความแน่นแข็งมากขึ้น จึงสามารถดูดกลืนแสง X-ray ไว้ได้มากขึ้น ทำให้ได้ภาพในบริเวณนั้นเป็นสีขาวสว่างกว่าบริเวณที่เป็นเนื้อปกติใส ในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล ที่ให้ภาพเป็นสีขาวสว่างมากขึ้นในภาพ X-ray นั้น อาจเนื่องมาจากน้ำยาง (latex) ที่ไหลซึมในเนื้อแก้วนั้นเกาะประสานผนังเซลล์ที่เป็นเนื้อแก้วเข้าด้วยกัน จึงทำให้เนื้อแก้วบริเวณนั้นมีความแน่นแข็งสูงขึ้น กว่าบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วเพียงอย่างเดียว จึงดูดกลืนแสง X-ray ไว้ได้มาก และให้ภาพเป็นสีขาวสว่างมากกว่าบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วเพียงอย่างเดียว

ในเนื้อของผลมะละกอที่ได้รับความเสียหายจากการอบด้วยไอน้ำที่มีร้อนสูงนั้น เมื่อทำการตรวจวัดด้วย X-ray CT พบว่าภาพ X-ray ที่ได้แสดงให้เห็นเนื้อเยื่อในบริเวณดังกล่าวเป็นสีขาวสว่าง เมื่อผ่าดูพบว่าเนื้อผลในบริเวณนั้นมีลักษณะแน่นแข็งเป็นจุดๆ จึงสามารถดูดซับแสง X-ray ไว้ได้มาก และให้ภาพเป็นสีขาวสว่างเช่นกัน (Suzuki *et al.*, 1994)

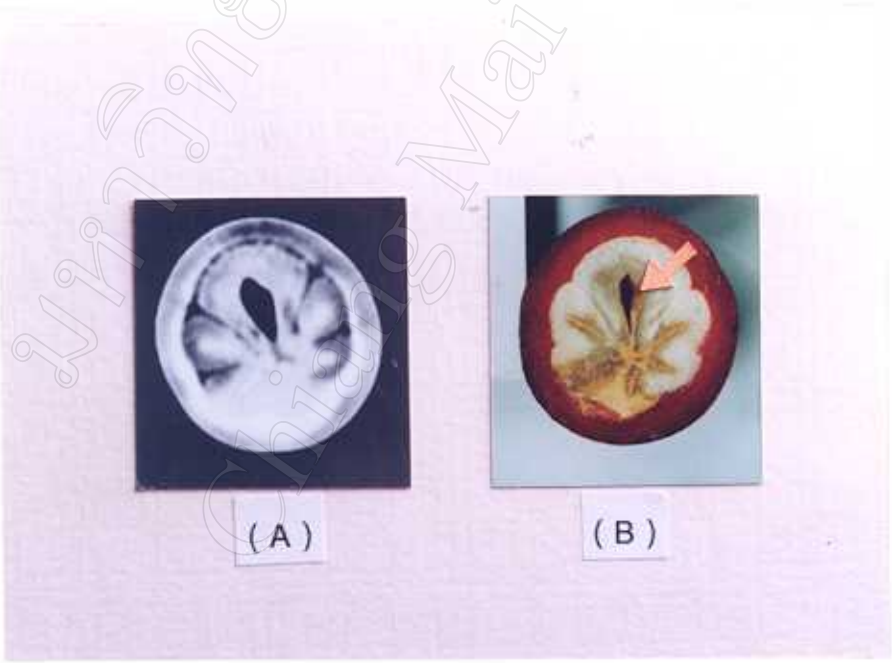
สำหรับผลที่เป็นยางไหลนั้นถ้าหากมียางไหลในเปลือก ภาพ X-ray ที่ได้ปรากฏเป็นสีขาวสว่าง อาจเนื่องมาจากน้ำยางเกิดการตกผลึกและเกาะกับเซลล์ที่มีส่วนประกอบของลิกนิน (ธนะชัย, 2534) เข้าด้วยกันทำให้เกิดเปลือกแข็งเฉพาะที่ขึ้นเป็นจุดๆ ถ้ามียางไหลซึมเข้าไปในรอยต่อระหว่างเนื้อกับเปลือก น้ำยางอาจเกาะประสานเซลล์ของเนื้อกับเปลือกเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดอาการยางไหลติดเปลือกและทำให้แกะเปลือกกับเนื้อออกจากกันได้ยาก และในกรณีที่มีน้ำในเปลือกมากนั้น อาจเนื่องมาจากเซลล์ของเปลือกมังคุดเป็นเซลล์พวกพาเรนไคมาที่เกาะกันอยู่อย่างหลวมๆ และมีอากาศแทรกอยู่มาก เมื่อมีน้ำส่วนเกินที่ผลมังคุดได้รับซึมเข้าไปแทนที่อากาศภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ของเปลือกผล ลักษณะดังกล่าวเหล่านี้อาจมีผลทำให้เนื้อเยื่อในบริเวณดังกล่าวสามารถดูดกลืนแสง X-ray ไว้ได้มากขึ้น ซึ่งจะปรากฏให้เห็นเป็นสีขาวสว่างเห็นได้อย่างชัดเจนในภาพ X-ray แต่กรณีที่มียางไหลในไส้กลางผล หรือเนื้อผลบริเวณที่มีอากาศแทรกอยู่มาก จะเห็นว่าภาพ X-ray ในบริเวณที่มียางไหลนั้นกลับเป็นสีดำ แสดงถึงเนื้อเยื่อในบริเวณดังกล่าวมีความสามารถดูดกลืน แสง X-ray ไว้ได้น้อยมาก จากการสังเกตพบว่าน้ำยางของผลมังคุดมีการตกผลึกเป็นเม็ดเล็กๆ ในน้ำ เมื่อแห้งจะเกาะรวมกันอยู่อย่างหลวมๆ และอาจยอมให้แสง

X-ray ผ่านไปได้มาก จึงดูดกลืนแสง X-ray ได้น้อย แต่ในกรณีที่เป็นยางไหลในเนื้อแก้ว และยางไหลในเปลือกนั้น น้ำยางของมังคุดอาจไปเสริมความ สามารถในการดูดกลืน แสง X-ray ให้มากขึ้น จึงทำให้เนื้อเยื่อในบริเวณนั้นมีสีขาวสว่างมากขึ้น ดังนั้นน้ำยางของผลมังคุดอาจไม่ความสามารถในการดูดกลืนแสง X-ray ได้เอง แต่การดูดกลืนแสง X-ray ได้นั้นน่าจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวกลางที่ยางเกาะอยู่

สำหรับเนื้อของมังคุดที่มีโพรงอากาศแทรกอยู่ภายในเนื้อนั้น พบว่ามีเนื้อผลในบริเวณนั้นมีลักษณะเป็นฟองสีขาวขุ่น ด้านแข็งและค่อนข้างแห้ง (ภาพที่ 14B) และภาพ X-ray ที่ได้สามารถเห็นโพรงอากาศนี้เป็นสีดำได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 14A) ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าวอาจมีฟองอากาศแทรกอยู่มากจึงดูดกลืนแสง X-ray ได้น้อย และทำให้ภาพที่ได้เป็นสีดำ ในผล nectarine ที่มีอาการ woolliness นั้น พบว่าเนื้อเยื่อในบริเวณที่เกิดอาการ woolliness มีลักษณะแห้ง ไม่ฉ่ำน้ำ และมีโพรงอากาศแทรกอยู่ภายในเนื้อ เมื่อตรวจวัดด้วย X-ray CT เนื้อเยื่อในบริเวณดังกล่าวปรากฏเป็นสีดำ ซึ่งบ่งบอกว่าเนื้อเยื่อในบริเวณที่เป็น woolliness นั้นมีแก๊สบรรจุอยู่ภายใน จึงไม่สามารถดูดกลืนแสง X-ray ได้ อาการ woolliness นี้คาดว่าเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อในบริเวณนั้นลดลง เนื่องจาก metabolism ของสารประกอบเพคติค (pectic substances) ในเซลล์ไม่สมดุลย์ จึงทำให้มี CO_2 เข้ามาแทนที่ และถ้าหากมีอาการดังกล่าวรุนแรงมากขึ้น พบว่าเปอร์เซ็นต์ของโพรงอากาศมีมากขึ้นด้วย เมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน (Sonego *et al.*, 1995)

ในเมล็ดของผลมังคุดที่ฝ่อและยุบตัวไป และเกิดโพรงอากาศขึ้นในกลีบเนื้อของมังคุด (ภาพที่ 15B) ซึ่งสามารถเห็นเป็นโพรงสีดำได้อย่างชัดเจนในภาพ X-ray (ภาพที่15A) อาจแสดงถึงบริเวณที่มีอากาศบรรจุอยู่ภายใน จึงไม่ดูดกลืนแสง X-ray และให้ภาพเป็นสีดำ ในผล peach ที่มีไส้ผลแตก (split - pit) พบว่าช่องว่างระหว่างเมล็ดที่แตกแยกออกจากกันนั้นเป็นโพรงอากาศที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อตรวจวัด (scan) ด้วยวิธีการ X-ray ให้ภาพเป็นสีดำในบริเวณดังกล่าว เนื่องจากช่องว่างนี้ไม่มีตัวกลางในการดูดกลืนแสง X-ray ที่ฉายผ่านผล peach ได้ จึงให้ภาพที่มีความดำมาก (Han *et al.*, 1992)

ภาพที่ 14 ลักษณะของโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในเนื้อฟ่ามของผลมังคุด ; ภาพที่ได้จาก X-ray CT (A) และเมื่อตัดผลตามขวาง (B)



ภาพที่ 15 ลักษณะโพรงอากาศในเนื้อผลมังคุดที่เกิดจากเมล็ดที่ฝ่อและยุบไป ; ภาพที่ได้จาก X-ray CT (A) และเมื่อตัดผลตามขวาง (B)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

2. ผลการประเมินอาการผิดปกติภายในเนื้อผลมังคุด จากภาพ X-ray CT

การประเมินภาพ X-ray CT โดยใช้ผู้ประเมิน 3 คน ทำการประเมินภาพจากการดูฟิล์ม X-ray และคัดแยกมังคุดออกเป็น 4 ลักษณะ คือ ปกติ เนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผลที่ประเมินได้กับผลที่ผ่าจริง (ตารางที่ 5) และเมื่อนำผลมังคุดที่คัดถูกต้องไปหาประสิทธิภาพในการคัดแยก พบว่ามีประสิทธิภาพในการคัดแยกผลคุดรวมทุกลักษณะได้ถูกต้องเป็นร้อยละ 84.75 แต่เมื่อจำแนกประสิทธิภาพในการคัดแยกแต่ละลักษณะ พบว่าผู้ประเมินสามารถคัดแยกผลปกติได้ดี โดยมีประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดรวมทุกลักษณะได้ถูกต้องมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ เป็นร้อยละ 95.45 รองลงมาคือความสามารถในการคัดแยกผลที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล เนื้อแก้ว และยางไหล มีค่าเป็นร้อยละ 87.91, 75.00 และ 73.78 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 จำนวนผลมังคุดปกติ เนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล เมื่อผ่า ผลประเมินอาการ

ลักษณะ	จำนวนผลมังคุด ในแต่ละซ้ำ					รวม
	1	2	3	4	5	
ปกติ	4	4	6	3	5	22
เนื้อแก้ว	1	5	0	2	4	12
ยางไหล	3	0	4	5	2	14
เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล	4	3	1	2	1	11
รวม	12	12	11	12	12	59

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพในการคัดแยกมังคุดที่มีลักษณะต่างๆ โดยวิธีการประเมินจากภาพ X-ray CT

ลักษณะ	ผลมังคุดที่คัดได้ถูกต้อง / คัดผิด			
	ผู้ประเมิน ที่ 1	ผู้ประเมิน ที่ 2	ผู้ประเมิน ที่ 3	ร้อยละ
ปกติ	21 / 1	21 / 1	21 / 1	95.45 / 4.54
เนื้อแก้ว	9 / 3	9 / 3	9 / 3	75.00 / 25.00
ยางไหล	11 / 3	10 / 4	10 / 4	73.78 / 26.22
เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล	10 / 1	10 / 1	9 / 2	87.91 / 12.09
เฉลี่ย	51 / 8	50 / 9	49 / 10	84.75 / 15.25

จากผลการประเมินภาพ X-ray CT โดยผู้ประเมิน จะเห็นได้ว่าผู้ประเมินสามารถคัดแยกผลปกติและผลที่ผิดปกติออกจากกันได้ แต่วิธีการประเมินภาพ X-ray CT มีประสิทธิภาพในการคัดแยกรวมต่ำนั้น อาจเนื่องมาจากการประเมินลักษณะยางไหลผิดเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในผลที่มีอาการยางไหลในไส้กลางผลนั้น มีลักษณะโดยรวมคล้ายผลปกติมาก แต่ให้มีไส้กลางผลเป็นสีจุดดำ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ พบได้ในผลปกติที่มีไส้กลางผลสีขาวและฟูเหมือนฟองน้ำคล้ายมีอากาศแทรกอยู่มากด้วยเช่นกัน จึงไม่สามารถคัดแยกได้ว่าผลมังคุดดังกล่าวนี้เป็นผลปกติหรือผิดปกติ นอกจากนี้ในผลที่มีเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลในระดับรุนแรงนั้น ในบางครั้งพบว่ามีลักษณะคล้ายกับผลที่เป็นเนื้อแก้วทั้งผล และไม่สามารถจำแนกได้ว่าผลมังคุดดังกล่าวเป็นลักษณะใด จึงทำให้การประเมินและวินิจฉัยลักษณะอาการเหล่านี้ผิดพลาดได้

แต่อย่างไรก็ตามหากผู้ประเมินได้รับการฝึกให้มีความชำนาญในการประเมินภาพ X - ray มากขึ้น อาจเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกให้สูงมากขึ้นได้

3. ผลการอ่านค่าเลข CT ในบริเวณที่มีอาการผิดปกติภายในเนื้อผลมังคุดจากภาพ X-ray CT

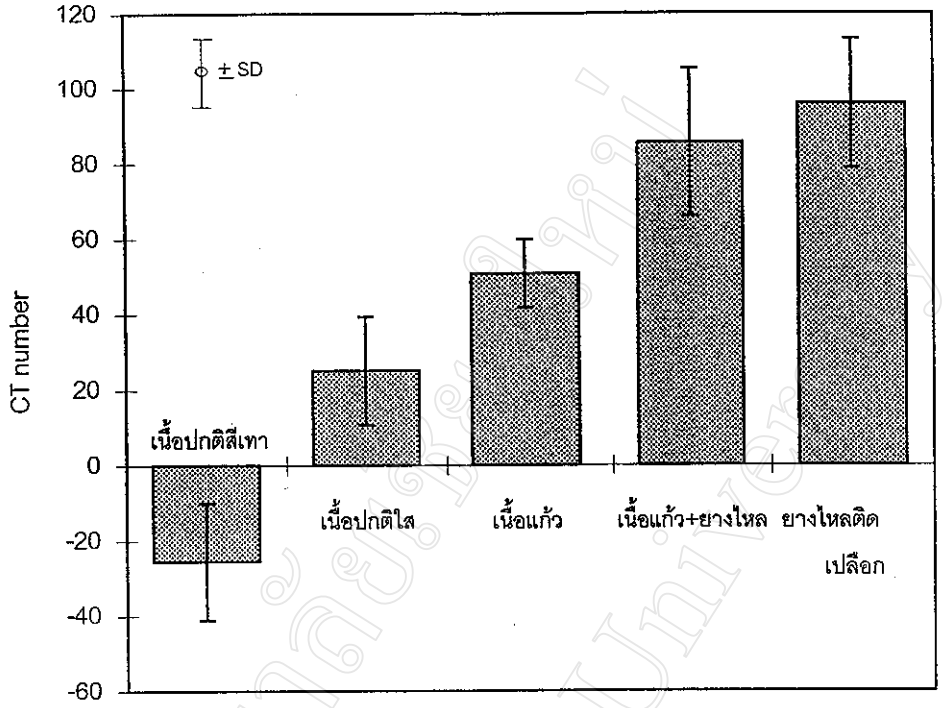
เมื่ออ่านค่าเลข CT ด้วยพื้นที่วงกลม 0.04 cm^2 (diameter 0.226 cm) จากภาพ X-ray CT โดยใช้โปรแกรมของเครื่อง X-ray CT (GE-Prospeed SX) ในบริเวณที่มีลักษณะปกติสีเทา (ภาพที่ 12A) เนื้อปกติ ใส (ภาพที่ 12B) เนื้อแก้ว ยางไหลติดเปลือก และเนื้อแก้วร่วมกับยางไหล เปรียบเทียบลักษณะเนื้อในบริเวณที่อ่านค่ากับเนื้อในบริเวณเดียวกันของผลที่จริง พบว่าค่าเลข CT เฉลี่ยของเนื้อปกติ สีเทา มีค่าต่ำกว่าทุกๆ ลักษณะ โดยมีค่าเป็น -25.64 รองลงมา คือ เนื้อปกติใส เนื้อแก้ว เนื้อแก้วร่วมกับยางไหล และยางไหลติดเปลือก มีค่าของเลข CT เฉลี่ยเป็น +25.05, +50.76, +85.42 และ +95.91 ตามลำดับ (ภาพที่ 16 และตารางผนวกที่ 13)

จากผลการอ่านค่าเลข CT ในบริเวณที่มีอาการของแต่ละลักษณะนั้น จะเห็นได้ว่าให้ค่าแตกต่างกัน โดยในเนื้อปกติสีเทานั้นให้ค่าติดลบ อาจเนื่องจากเนื้อเยื่อในบริเวณดังกล่าวเกาะกันอยู่อย่างหลวมๆ และมีลักษณะเป็นสีขาวฟูนุ่มเพราะมีอากาศแทรกอยู่โดยทั่วไป จึงมีความหนาแน่นต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ และมีความสามารถในการดูดกลืนแสง X-ray ได้น้อย ทำให้ได้ค่าติดลบ ในเนื้อปกติสีขาวใสนั้นเป็นเนื้อเยื่อที่อ่อนนิ่ม มีน้ำและของแข็งที่ละลายได้ในน้ำบรรจุอยู่ภายในโดยมีอากาศแทรกอยู่ภายในน้อยจึงเห็นเป็นสีใสและดูดกลืนแสง X-ray ไว้ได้มากขึ้น ทำให้ได้ค่าเลข CT เป็นบวก ในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วนั้นเนื้อเยื่อที่อ่อนนิ่มจะเปลี่ยนสภาพเป็นแข็งกรอบ และ

มีความแน่นเนื้อสูงขึ้นมากกว่าปกติถึง 3 เท่า (วรภัทร, 2539 ข) จึงทำให้บริเวณที่เป็นเนื้อแก้วมีค่าเป็นบวกมากขึ้น ในขณะที่ในบริเวณที่เป็นเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลนั้น เมื่อมีน้ำยางไหลซึมเข้าไปในเนื้อ น้ำยางอาจตกผลึกและเกาะประสานเนื้อเยื่อในบริเวณนี้ให้แน่นทึบมากขึ้น จากการสังเกตพบว่าอาการเนื้อแก้วร่วมกับยางไหลนี้ มักมีความแน่นเนื้อสูงกว่าบริเวณเนื้อแก้ว นอกจากนี้กรณีที่มียางไหลในเปลือกนั้น มีน้ำยางตกผลึกเกาะอยู่ในเปลือกทำให้เปลือกบริเวณนั้นแข็งเป็นจุดๆ หรือถ้าน้ำยางไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเนื้อกับเปลือกผล จึงเกาะประสานระหว่างเนื้อกับเปลือกผลเข้าด้วยกัน ทำให้เปลือกกับเนื้อในบริเวณนั้นติดกันแน่นและแกะออกจากกันได้ยาก ดังนั้นเมื่อฉายแสง X-ray ผ่านเนื้อเยื่อในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงนี้ จึงทำให้ได้ค่าเลข CT เป็นบวกมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งค่าเลข CT ที่อ่านได้เป็นไปตามหลักการของเลข CT ของ Hounsfield (มานัส, 2532) และให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phelps *et al* . (1975) และ Roa and Gregg (1975) ซึ่งพบว่าเลข CT ของอากาศมีค่าเป็น -1000 น้ำมีค่าเป็น 0 เลือดที่แข็งตัวมีค่าตั้งแต่ +56 ถึง +76 เนื้อเยื่อมีค่าตั้งแต่ +20 ถึง +70 เป็นต้น

ในเนื้อผลมะละกอที่สุกตามปกติ จะมีอากาศแทรกในเซลล์อยู่เล็กน้อย จึงปรากฏเป็นสีเทาสว่างอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผล พบว่าให้ค่าเลข CT เฉลี่ยเป็น - 45±4.2 ในเนื้อมะละกอที่ สุกแบบนิ่มเละนั้น ปรากฏเป็นสีขาวสว่างในภาพ X-ray และให้ค่าเลข CT เฉลี่ยสูงขึ้นเป็น +34.0±6.2 และเนื้อมะละกอที่แข็งเป็นจุดๆ เนื่องจากได้รับเสียหายจากการอบด้วยไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง พบว่าบริเวณดังกล่าวปรากฏเป็นสีขาวสว่างเป็นจุดๆ ในภาพ X-ray และให้ค่าเลข CT เฉลี่ยสูงมากขึ้นเป็น +61.0±4.3 (Suzuki *et al*., 1994)

ดังนั้นการอ่านค่าของเลข CT ในบริเวณนั้นๆ จึงสามารถชี้บอกได้ว่าบริเวณดังกล่าวนั้นมีอาการลักษณะใด แต่อย่างไรก็ตามเครื่อง X-ray CT ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ เป็นเครื่องมือสำหรับใช้งานทางการแพทย์ ซึ่งใช้เทคโนโลยีสูงและมีระบบการทำงานที่ซับซ้อนมากจึงมีราคาแพง หากมีการสร้างต้นแบบของเครื่อง X-ray CT ที่มีระบบการทำงานที่ซับซ้อนน้อยลง จะมีราคาถูกลง และสามารถนำมาใช้ในการคัดคุณภาพมังคุดหรือผลิตผลเกษตรอื่นๆ ได้ดี



ภาพที่ 16 ค่าเลข CT เฉลี่ยของเนื้อมังคุดในบริเวณที่มีลักษณะต่างๆ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University