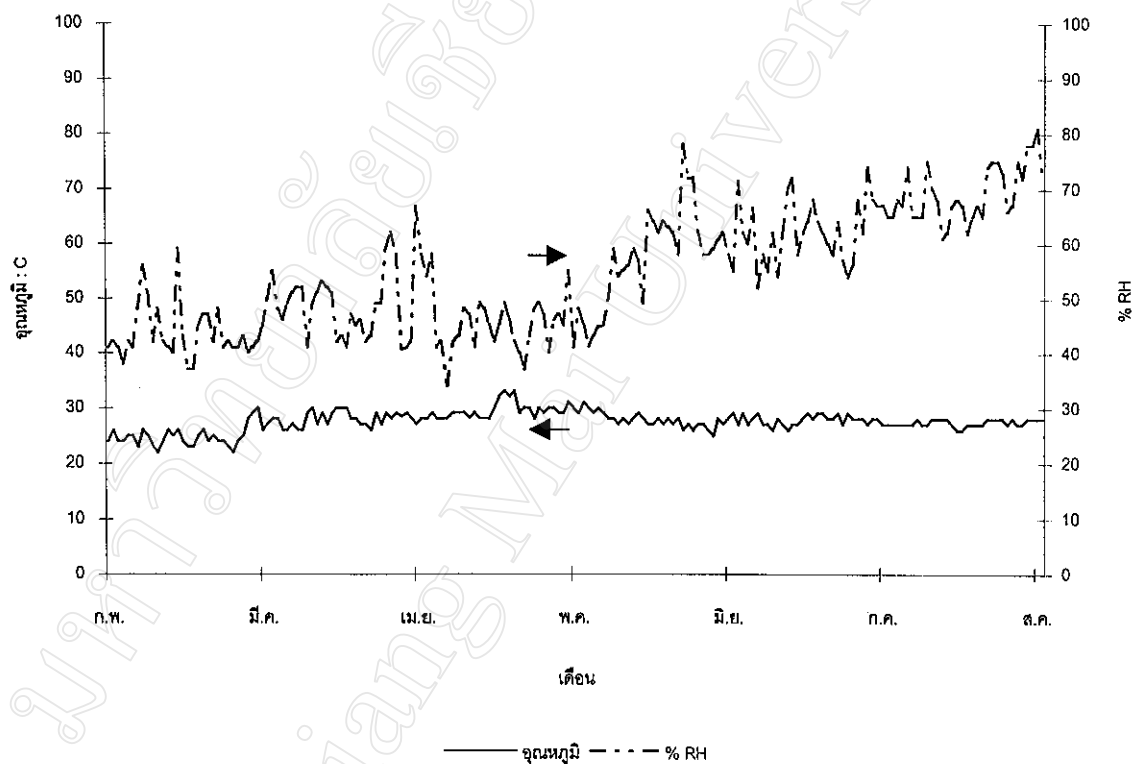


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

เริ่มเก็บข้อมูลการทดลองตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545 จนถึงวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2545 รวมระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บเกี่ยวใหม่เป็นเวลา 6 เดือน อุณหภูมิและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของบริเวณที่วางถังเก็บ แสดงดังรูปที่ 4.1



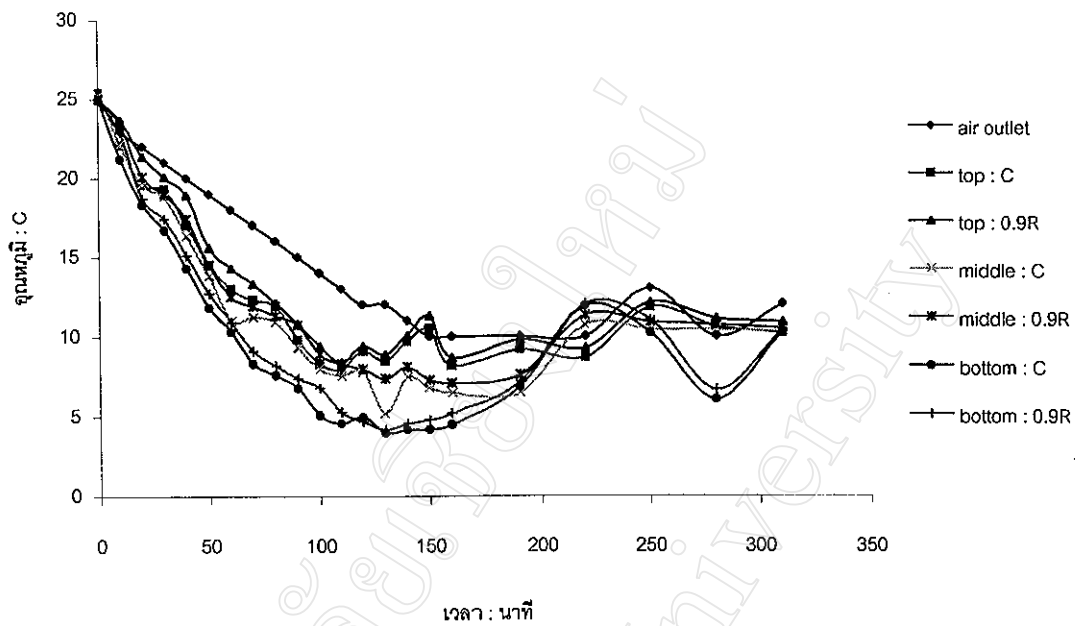
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบริเวณที่วางถังเก็บ

จากรูปที่ 4.1 ตลอดระยะเวลาการทดลองมีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 22 องศาเซลเซียส ในช่วงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ และสูงสุดอยู่ที่ 33 องศาเซลเซียส ในช่วงประมาณกลางเดือนเมษายน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 37 ในช่วงประมาณกลางเดือนเมษายน และโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 81 ตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไปเนื่องจากเข้าสู่ฤดูฝน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 54.6

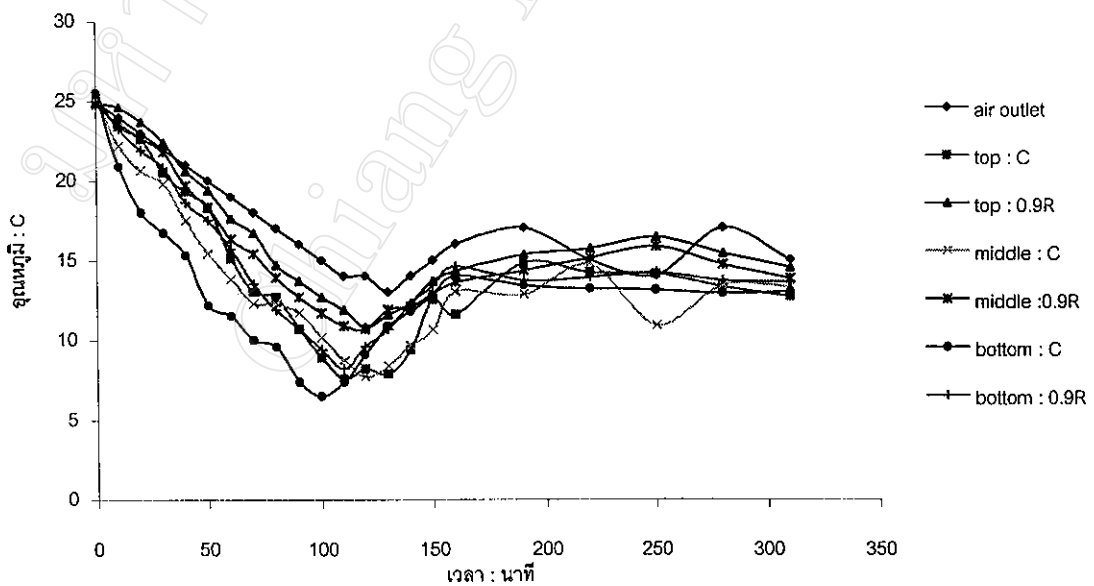
4.1 การลดอุณหภูมิภายในถังเก็บของชุดควบคุมอุณหภูมิ

การลดอุณหภูมิภายในถังเก็บชุด 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่เริ่มต้นการทดลองข้าวเปลือกมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิใน 3 ระดับดังต่อไปนี้ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของถังเก็บ ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บให้ได้ 10 องศาเซลเซียส ประมาณ 110 นาที แต่หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในจะยังคงลดต่ำลงไปถึง 4.7 องศาเซลเซียส ในส่วนล่างของถังเก็บ หลังจากนั้นอุณหภูมิก็มจะเพิ่มสูงขึ้น แต่ยังไม่เกิน 12.5 องศาเซลเซียส และเริ่มคงที่เฉลี่ย 10 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 220 นาที ส่วนการทำงานของระบบทำความเย็น คอมเพรสเซอร์ทำงานจนถึงเวลา 120 นาที จึงหยุดทำงานเนื่องจากระบบควบคุมความเย็น ทำการวัดอุณหภูมิอากาศขาออกจากถังเก็บ ให้ได้อุณหภูมิ 10 ± 1 องศาเซลเซียส แต่สาเหตุที่อุณหภูมิในถังเก็บยังคงลดต่ำลงเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.2

ส่วนการลดอุณหภูมิภายในถังเก็บชุด 15 องศาเซลเซียส ทำการเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับชุด 10 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บให้ได้ 15 องศาเซลเซียส ประมาณ 55 นาที แต่หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในจะยังคงลดต่ำลงไปถึง 6.5 องศาเซลเซียส ในส่วนล่างของถังเก็บ หลังจากนั้นอุณหภูมิก็มจะเพิ่มสูงขึ้น แต่ยังไม่เกิน 17.0 องศาเซลเซียส และเริ่มคงที่เฉลี่ย 15 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 190 นาที ส่วนการทำงานของระบบทำความเย็น คอมเพรสเซอร์ทำงานจนถึงเวลา 100 นาที จึงหยุดทำงานเนื่องจากระบบควบคุมความเย็น ทำการวัดอุณหภูมิอากาศขาออกจากถังเก็บ ให้ได้อุณหภูมิ 15 ± 1 องศาเซลเซียส การที่อุณหภูมียังคงลดต่ำลงเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส เช่นกัน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ระยะเวลาการลดอุณหภูมิของถังบรรจุข้าวเปลือกในระดับชั้นต่าง ๆ จนได้อุณหภูมิภายในได้ 10 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 ระยะเวลาการลดอุณหภูมิของถังบรรจุข้าวเปลือกในระดับชั้นต่าง ๆ จนได้อุณหภูมิภายในได้ 15 องศาเซลเซียส

4.2 การกระจายของอุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละถัง

4.2.1 การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในถังเก็บ 3 ระดับดังต่อไปนี้ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของถังเก็บ อุณหภูมิและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้าและขาออกจากถังเก็บ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน

ชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
อุณหภูมิส่วนบนของถังเก็บ	10.28	9.84	9.33
อุณหภูมิส่วนกลางของถังเก็บ	9.59	9.12	8.44
อุณหภูมิล่างของถังเก็บ	9.20	8.74	8.02
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บ	9.60	9.13	8.42
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้า	7.13	7.13	7.13
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอากาศขาออก	8.23	7.84	7.61
ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้า	76.67	76.67	76.67
ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาออก	73.64	76.35	76.35

หมายเหตุ ข้อมูลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค

4.2.2 การกระจายของอุณหภูมิภายในถังชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในถังเก็บ 3 ระดับดังต่อไปนี้ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของถังเก็บ อุณหภูมิและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้าและขาออกจากถังเก็บ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 การกระจายของอุณหภูมิภายในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน

ชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
อุณหภูมิส่วนบนของถังเก็บ	15.18	14.77	14.37
อุณหภูมิส่วนกลางของถังเก็บ	14.69	14.16	13.64
อุณหภูมิส่วนล่างของถังเก็บ	14.44	13.81	13.29
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บ	14.78	14.19	13.66
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้า	13.78	13.78	13.78
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอากาศขาออก	13.56	13.02	12.82
ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้า	54.54	54.54	54.54
ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาออก	59.04	60.72	61.17

หมายเหตุ ข้อมูลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค

4.2.2 การกระจายของอุณหภูมิภายในช่วงระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม

การกระจายของอุณหภูมิภายในช่วงระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อมตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในถังเก็บ 3 ระดับดังต่อไปนี้ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของถังเก็บ อุณหภูมิและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้าและขาออกจากถังเก็บ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 การกระจายของอุณหภูมิภายในช่วงระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อมตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน

ชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
อุณหภูมิส่วนบนของถังเก็บ	28.00	28.16	28.02
อุณหภูมิส่วนกลางของถังเก็บ	28.89	28.85	28.66
อุณหภูมิส่วนล่างของถังเก็บ	29.47	29.57	29.38
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บ	28.97	28.98	28.80
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้า	26.96	26.96	26.96
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอากาศขาออก	25.89	25.78	25.68
ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาเข้า	48.84	48.84	48.84
ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอากาศขาออก	52.83	53.17	53.42

หมายเหตุ ข้อมูลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค

ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส ได้เป่าอากาศเย็นผ่านจากด้านล่างผ่านสู่ด้านบนของถังเก็บ อากาศเย็นขาเข้าจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 10 และ 15 องศาเซลเซียส เนื่องจากระบบควบคุมทำการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศขาออกของในแต่ละชุด ส่วนล่างของถังเก็บจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเนื่องจากสัมผัสกับอากาศเย็นก่อน อากาศเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากข้าวเปลือกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นส่วนบนของถังจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอีก 2 ส่วน แต่ยังคงไม่เกินจุดควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เท่ากับ 9.05 ± 1.96 องศาเซลเซียส และ ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เท่ากับ 14.19 ± 1.34 องศาเซลเซียส การกระจายอุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละถังค่อนข้างสม่ำเสมอกันไม่ว่าจะเป็นในแนวตั้งหรือแนวระนาบ ยกเว้นในช่วงเก็บรักษาในเดือนแรก ๆ ซึ่งอยู่ในช่วงของการปรับสภาวะของอุณหภูมิภายในถังเก็บ

ในชุดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน เท่ากับ 28.92 ± 2.21 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมคือ 27.49 ± 1.92 องศาเซลเซียส ไม่สามารถที่จะลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าได้มากนัก เนื่องจากถังเก็บไม่ได้หุ้มฉนวนจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อม การระบายความร้อนที่ให้เฉพาะการเป่าลมจากอากาศแวดล้อมเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าลมที่เป่าจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าก็ตาม (26.96 ± 1.62 องศาเซลเซียส)

4.3 การกระจายและการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกในแต่ละเดือนภายในถังเก็บ

4.3.1 การกระจายของความชื้นของข้าวเปลือกภายในถังควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส

การกระจายของความชื้นภายในถัง 10R1, 10R2 และ 10R3 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ในทุกๆ เดือนที่สุ่มตัวอย่างออกจากถังเก็บระดับความสูงของเมล็ดข้าวเปลือกจะลดประมาณ 5 เซนติเมตร เดือนที่ 6 ข้าวเปลือกในถังเก็บอยู่ สูงประมาณ 30 เซนติเมตร จากตะแกรง

เดือนที่ 0 การกระจายของความชื้น แต่ละจุดภายในถังเก็บจะเท่า ๆ กัน โดยมีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 13.17 ± 0.84 , 12.83 ± 0.85 และ 13.34 ± 0.43 ของถัง 10R1, 10R2 และ 10R3 ตามลำดับ

เดือนที่ 1 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 0 โดยถัง 10R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.46 ± 0.38 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12 ตรงส่วนบนที่มีความสูงประมาณ 45 เซนติเมตร ในตำแหน่ง 15 เซนติเมตรจากแนวรัศมีของถังเก็บ ถัง 10R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.48 ± 0.59 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12 ตรงส่วนบนใกล้กับด้านข้างของถังเก็บ ส่วนถัง 10R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.78 ± 0.19 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.9 ในบริเวณตรงส่วนกลางและส่วนบนใกล้กับด้านข้างของถังเก็บ

เดือนที่ 2 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 1 โดยถัง 10R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.80 ± 0.25 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.2 โดยเฉพาะในส่วนกลางและส่วนล่าง ในบริเวณตั้งแต่ 10 เซนติเมตรจากแนวรัศมีจนถึงด้านข้างถังเก็บ ถัง 10R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.85 ± 0.26 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.2 โดยเฉพาะในส่วนกลางและส่วนล่างของถังเก็บ ในบริเวณตั้งแต่จุดศูนย์กลางไปจนถึง 15 เซนติเมตรจากแนวรัศมีของถังเก็บ ส่วนถัง 10R3 โดยมีความชื้นร้อยละเฉลี่ยประมาณ 10.66 ± 0.15 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.9 ตรงด้านข้างส่วนกลางของถังเก็บ

เดือนที่ 3 มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 2 โดยถัง 10R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.97 ± 0.25 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12.3 กระจายในส่วนกลางและส่วนล่างของถังเก็บ ถัง 10R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.90 ± 0.46 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12.6 ในบริเวณตรงกลางส่วนล่างของถังเก็บ ส่วนถัง 10R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.810 ± 0.29 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12.1 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ

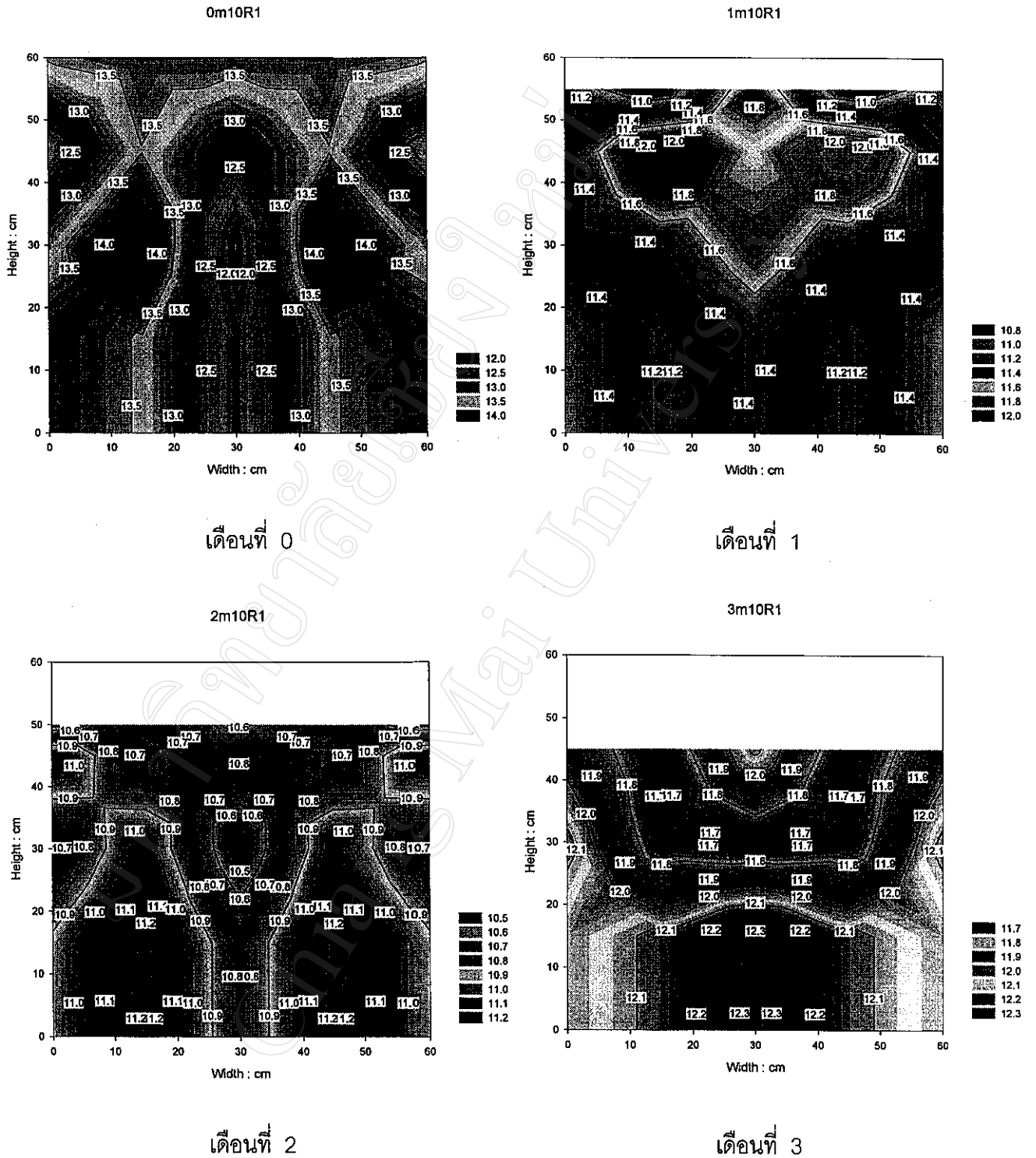
เดือนที่ 4 มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 3 โดยถัง 10R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 13.23 ± 0.08 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 13.35 ในบริเวณด้านข้างส่วนล่างของถังเก็บ ถัง 10R2

มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 13.27 ± 0.55 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 14.0 ในบริเวณตรงกลางส่วนบนของถังเก็บ ส่วนถัง 10R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.9 ± 0.11 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 13.0 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ

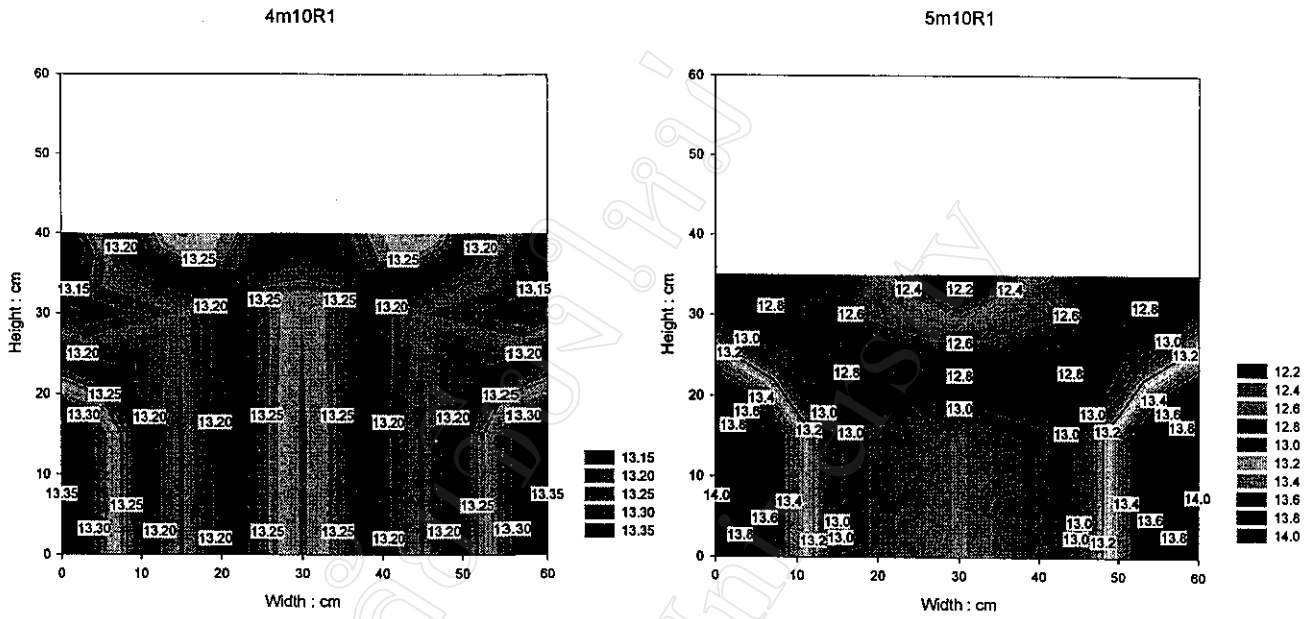
เดือนที่ 5 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 4 โดยถัง 10R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.87 ± 0.54 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 14 ในบริเวณด้านข้างส่วนล่างของถังเก็บ ถัง 10R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.93 ± 0.22 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 13.2 ในบริเวณด้านข้างส่วนล่างของถังเก็บ ส่วนถัง 10R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.05 ± 0.27 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12.4 ในบริเวณด้านข้างส่วนบนของถังเก็บ

เดือนที่ 6 มีความชื้นใกล้เคียงกับเดือนที่ 5 โดยถัง 10R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.97 ± 0.05 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 13.08 ในบริเวณด้านข้างส่วนล่างของถังเก็บ ถัง 10R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.60 ± 0.20 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12.7 ในบริเวณแกนกลางตั้งแต่ด้านล่างจนไปจนถึงด้านบนของถังเก็บ ส่วนถัง 10R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 13.2 ± 0.11 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 13.3 ในบริเวณส่วนบนและแกนกลางของถังเก็บ

ดังรูปที่ 4.4 ,4.5 และ 4.6 แสดงการกระจายของความชื้นของถัง 10R1, 10R2 และ 10R3 ตามลำดับ

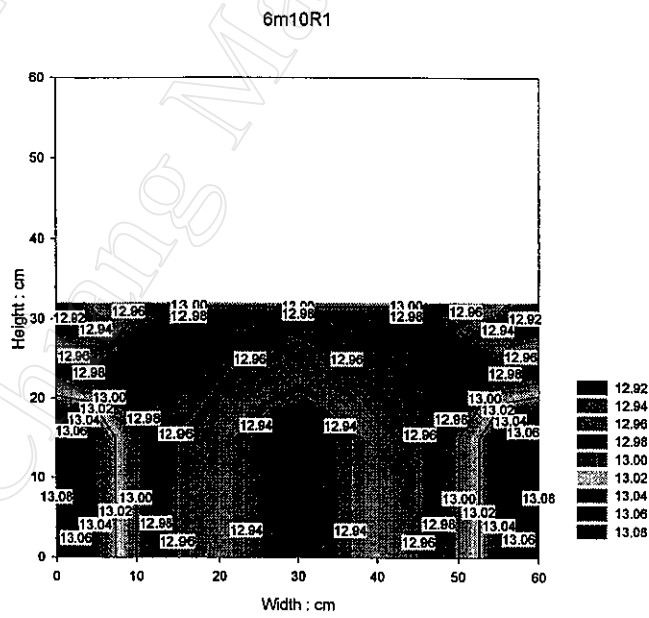


รูปที่ 4.4 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R1 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



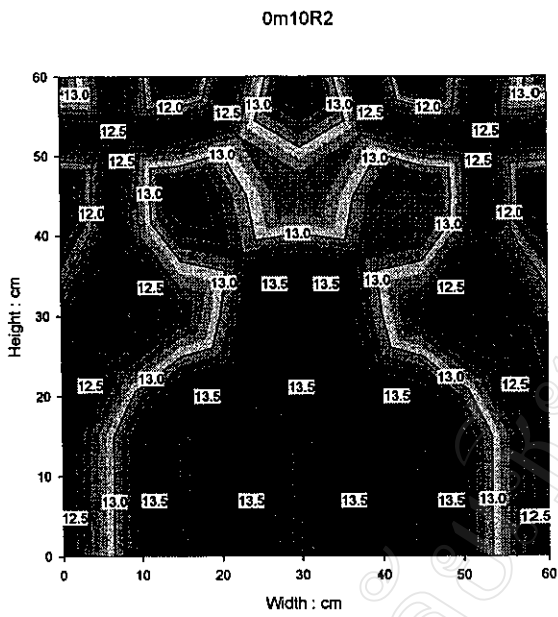
เดือนที่ 4

เดือนที่ 5

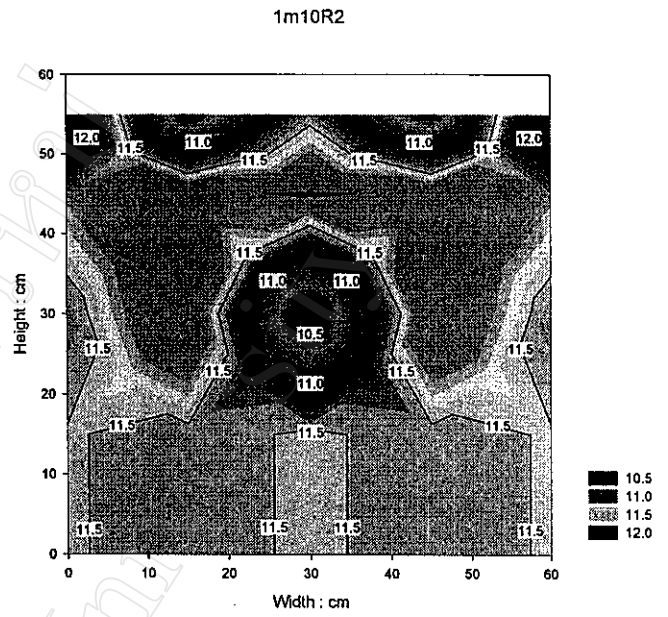


เดือนที่ 6

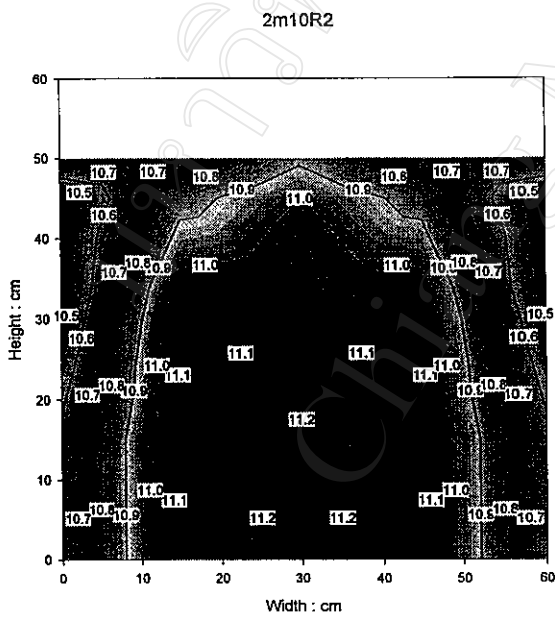
รูปที่ 4.4 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R1 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



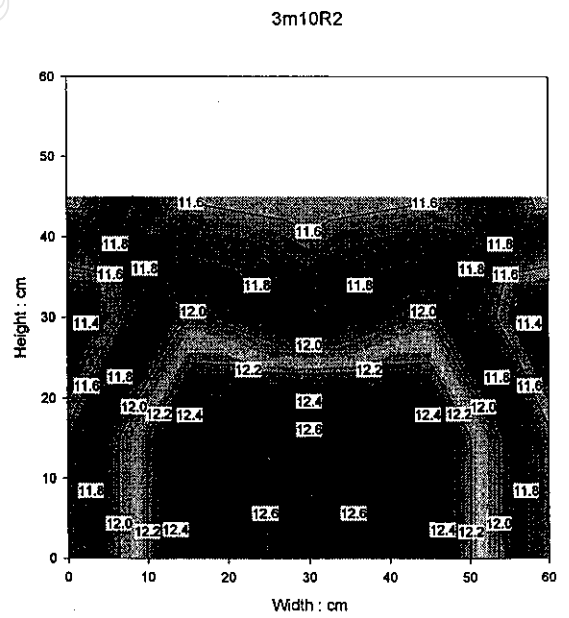
เดือนที่ 0



เดือนที่ 1

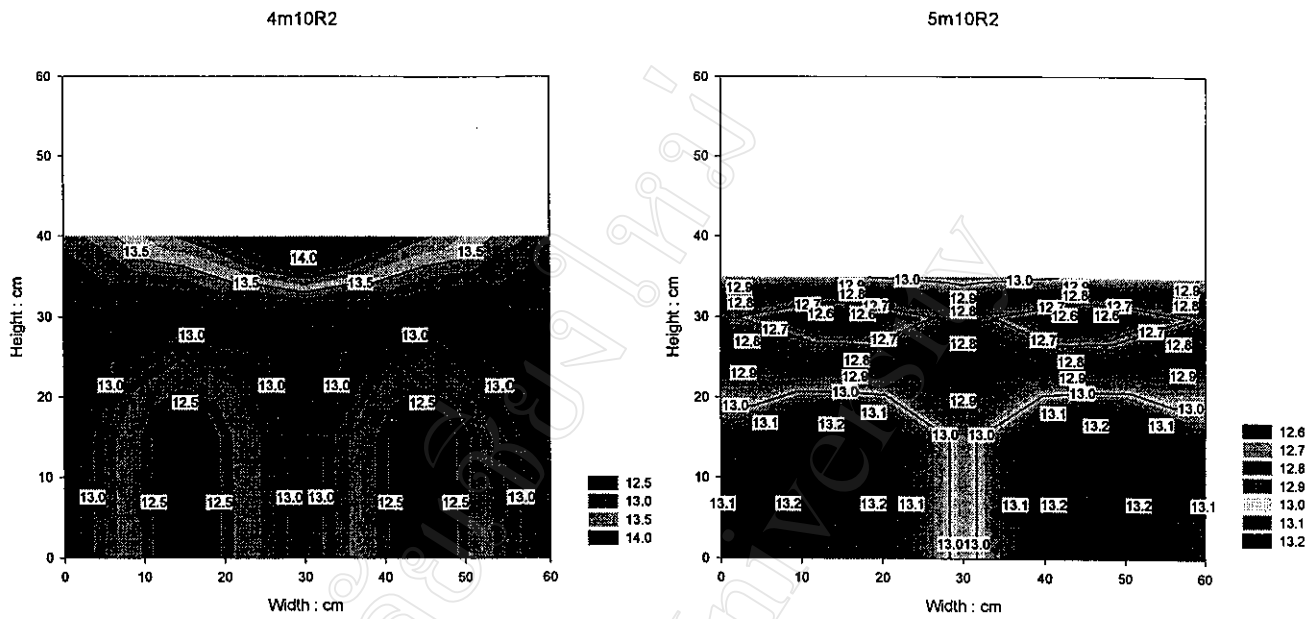


เดือนที่ 2



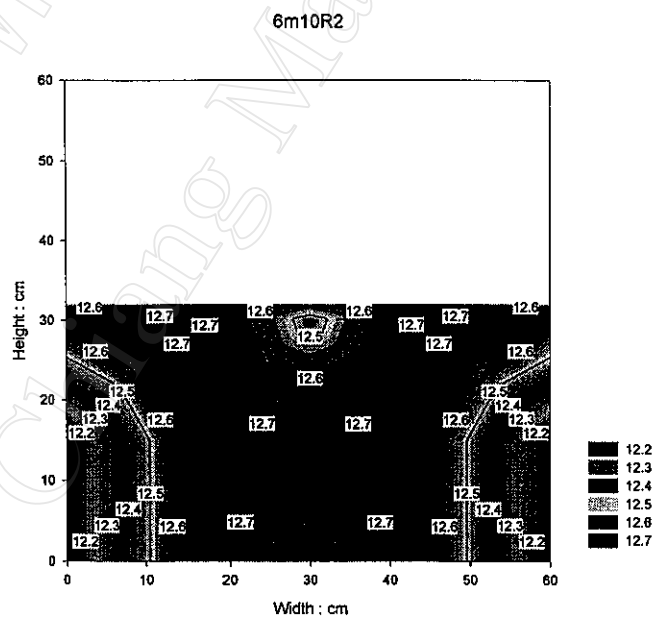
เดือนที่ 3

รูปที่ 4.5 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R2 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



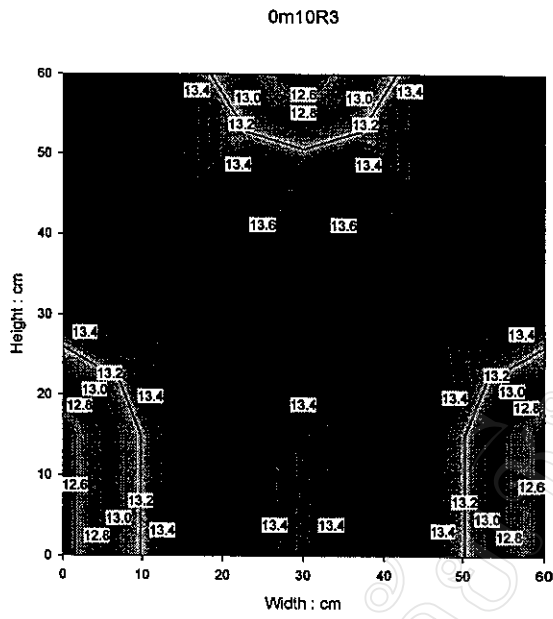
เดือนที่ 4

เดือนที่ 5

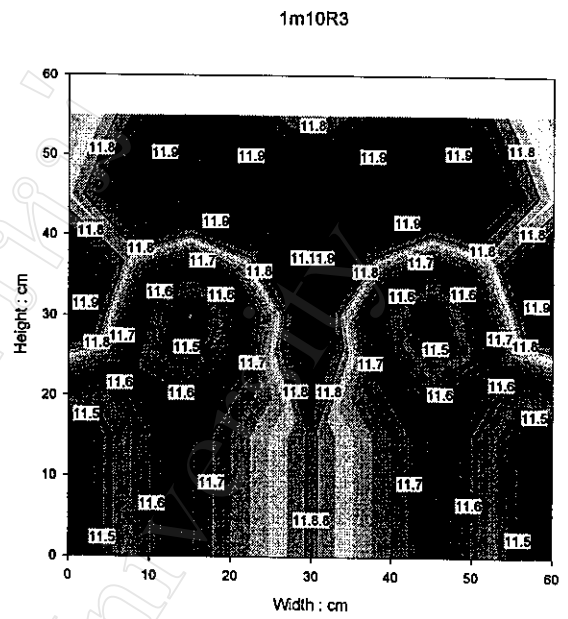


เดือนที่ 6

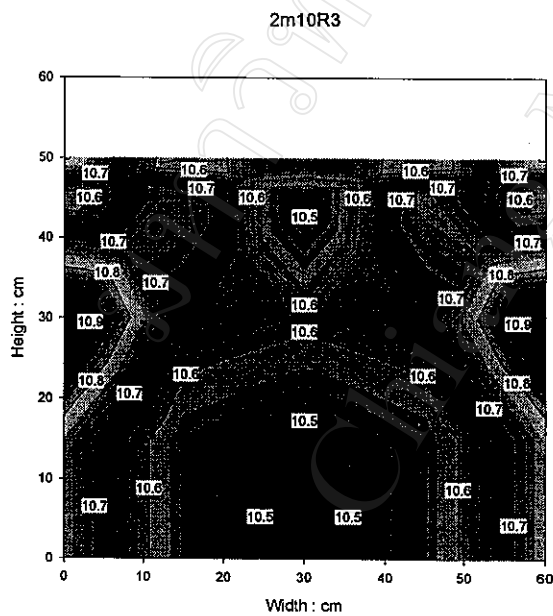
รูปที่ 4.5 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R2 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



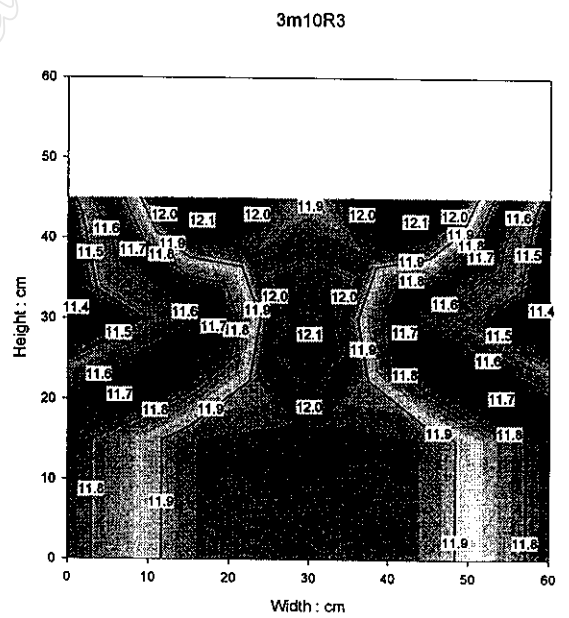
เดือนที่ 0



เดือนที่ 1

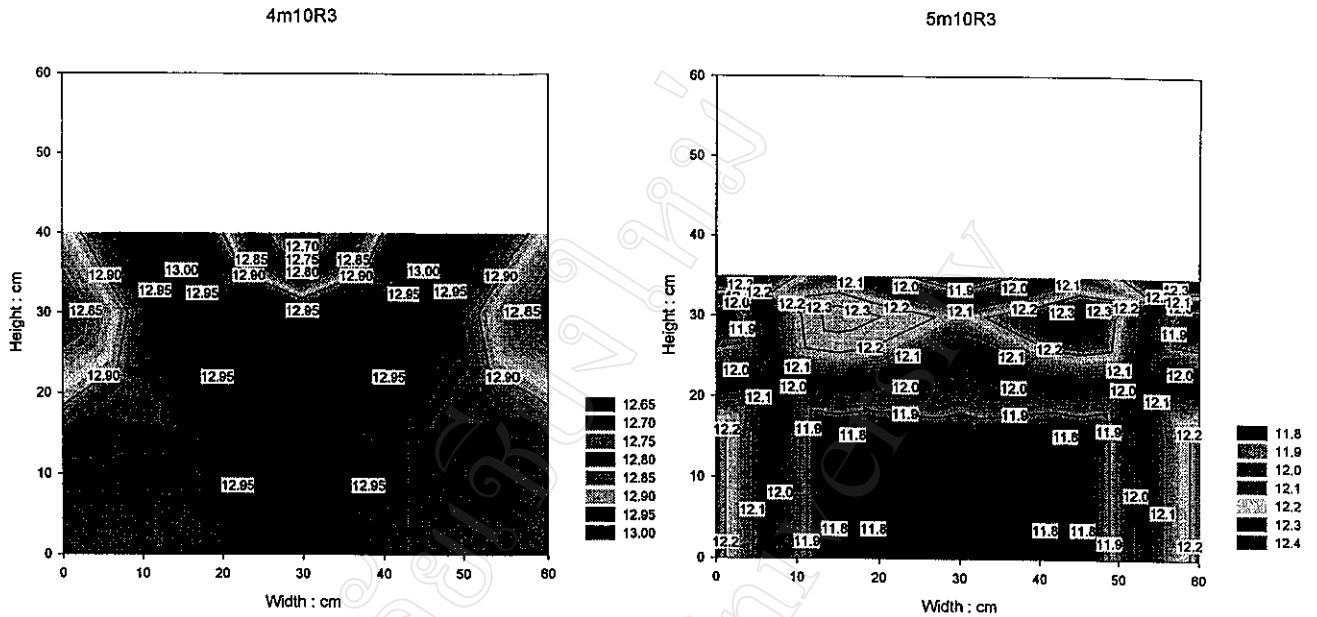


เดือนที่ 2



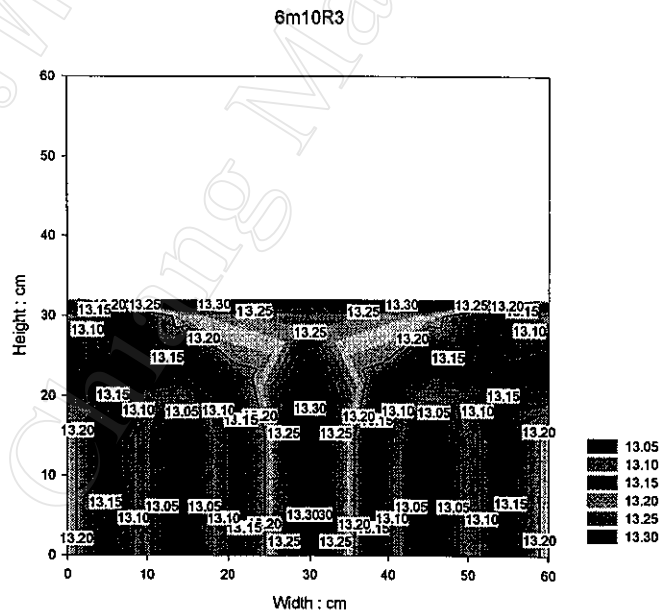
เดือนที่ 3

รูปที่ 4.6 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R3 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



เดือนที่ 4

เดือนที่ 5



เดือนที่ 6

รูปที่ 4.6 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 10R3 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

4.3.2 การกระจายของความชื้นของข้าวเปลือกภายในถังชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส

การกระจายของความชื้นภายในถัง 15R1, 15R2 และ 15R3 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ในทุกๆ เดือนที่สุ่มตัวอย่างออกจากถังเก็บระดับความสูงของเมล็ดข้าวเปลือกจะลดประมาณ 5 เซนติเมตร เดือนที่ 6 ข้าวเปลือกในถังเก็บอยู่ สูงประมาณ 30 เซนติเมตร จากตะแกรง

เดือนที่ 0 การกระจายของความชื้น แต่ละจุดภายในถังเก็บจะเท่า ๆ กัน โดยมีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 13.18 ± 0.84 , 12.84 ± 0.85 และ 13.35 ± 0.43 ของถัง 15R1, 15R2 และ 15R3 ตามลำดับ

เดือนที่ 1 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 0 โดยถัง 15R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.30 ± 0.16 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.5 ในส่วนบนแกนกลางตั้งแต่ส่วนกลางไปจนถึงส่วนบนของถัง ถัง 15R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.47 ± 0.13 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.65 ในบริเวณส่วนบนใกล้กับด้านข้างของถังเก็บ ส่วนถัง 15R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.62 ± 0.15 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.8 ในบริเวณด้านข้างตั้งแต่ส่วนกลางไปจนถึงส่วนบนของถังเก็บ

เดือนที่ 2 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 1 โดยถัง 15R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 9.98 ± 0.32 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.2 ในบริเวณส่วนบนและด้านข้างของถังเก็บ ถัง 15R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.01 ± 0.25 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.2 ในบริเวณส่วนกลางใกล้กับด้านข้างของถังเก็บ ส่วนถัง 15R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.02 ± 0.16 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.2 ในบริเวณส่วนกลางใกล้กับด้านข้างของถังเก็บ

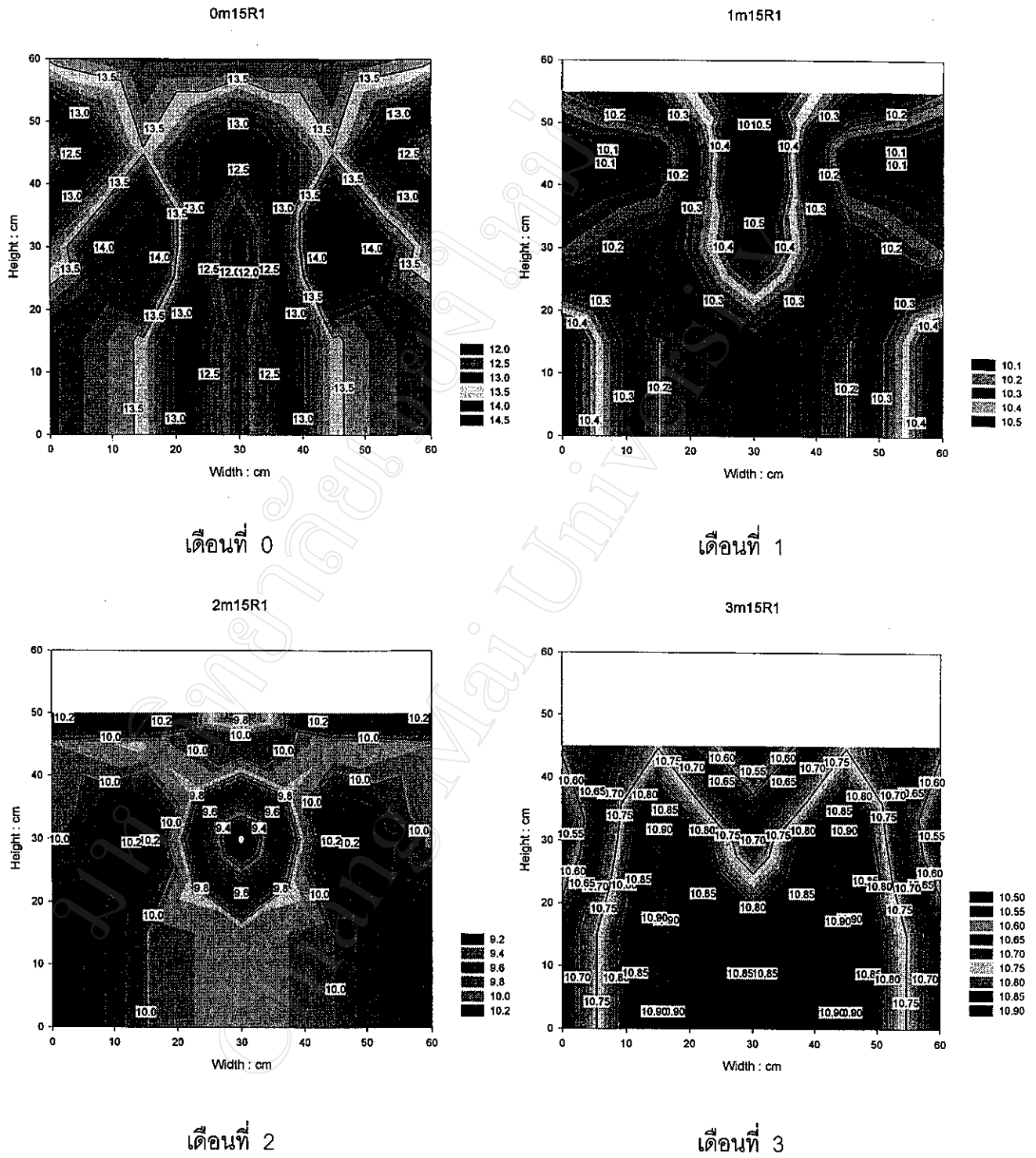
เดือนที่ 3 มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 2 โดยถัง 15R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.71 ± 0.16 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 10.9 ในบริเวณด้านบนของถังเก็บ ถัง 15R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.01 ± 0.18 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.4 ในบริเวณด้านบนตรงจุดศูนย์กลางของถังเก็บ ส่วนถัง 15R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 10.93 ± 0.30 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.2 ในบริเวณส่วนล่างด้านข้างของถังเก็บ

เดือนที่ 4 มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 3 โดยถัง 15R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.7 ± 0.31 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 13.2 ในบริเวณด้านข้างส่วนบนของถังเก็บ ถัง 15R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.85 ± 0.05 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12.94 ในบริเวณด้านข้างส่วนบนของถังเก็บ ส่วนถัง 15R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 12.53 ± 0.22 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 12.7 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ

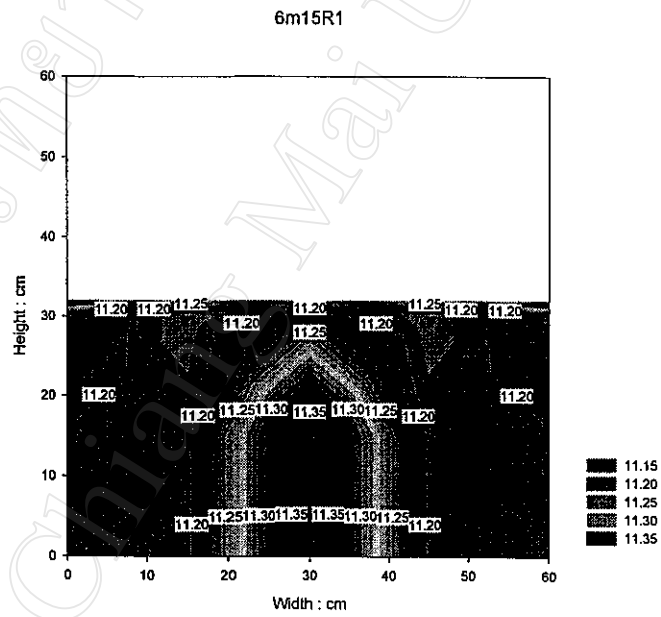
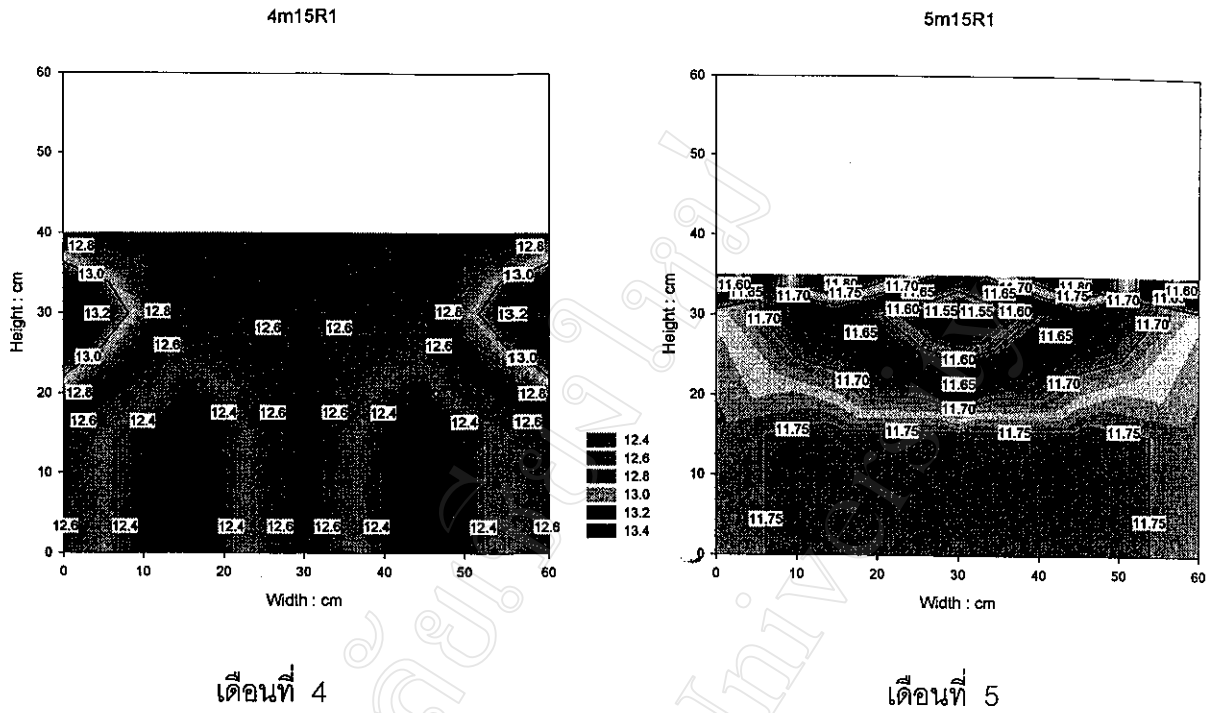
เดือนที่ 5 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 4 โดยถึง 15R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.69 ± 0.11 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.85 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ ถึง 15R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.28 ± 0.11 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.5 ในบริเวณส่วนบนและด้านข้างของถังเก็บ ส่วนถึง 15R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.56 ± 0.13 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.75 ในบริเวณส่วนล่างตรงจุดศูนย์กลางของถังเก็บ

เดือนที่ 6 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 5 เล็กน้อย โดยถึง 15R1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.22 ± 0.01 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.35 ในบริเวณแกนกลางตั้งแต่ส่วนล่างไปจนถึงส่วนกลางของถังเก็บ ถึง 15R2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.13 ± 0.14 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.45 ในบริเวณด้านข้างส่วนบนของถังเก็บ ส่วนถึง 15R3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 11.24 ± 0.18 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 11.6 ในบริเวณด้านข้างส่วนบนของถังเก็บ

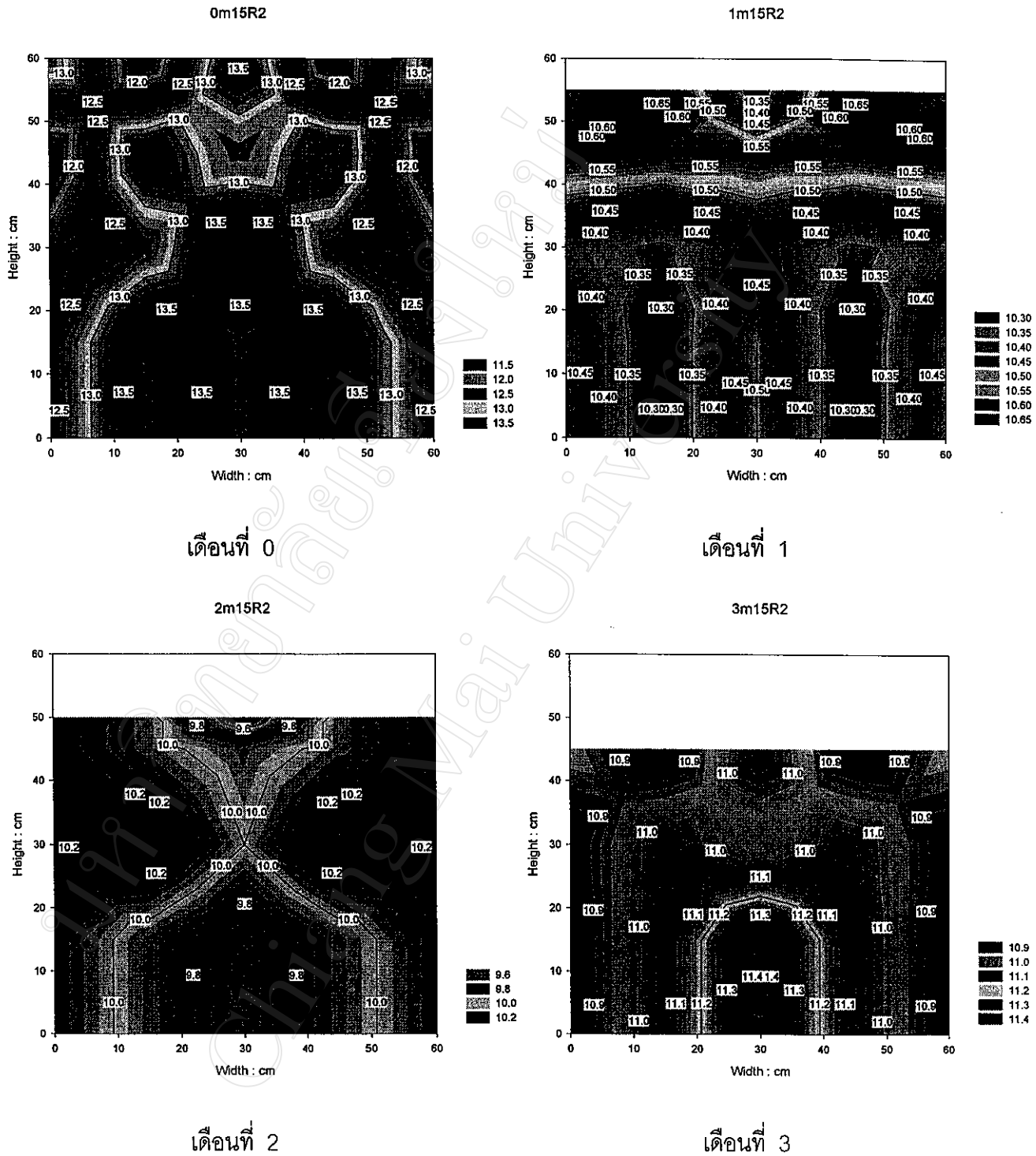
ดังรูปที่ 4.7 ,4.8 และ 4.9 แสดงการกระจายของความชื้นของถึง 15R1, 15R2 และ 15R3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R1 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

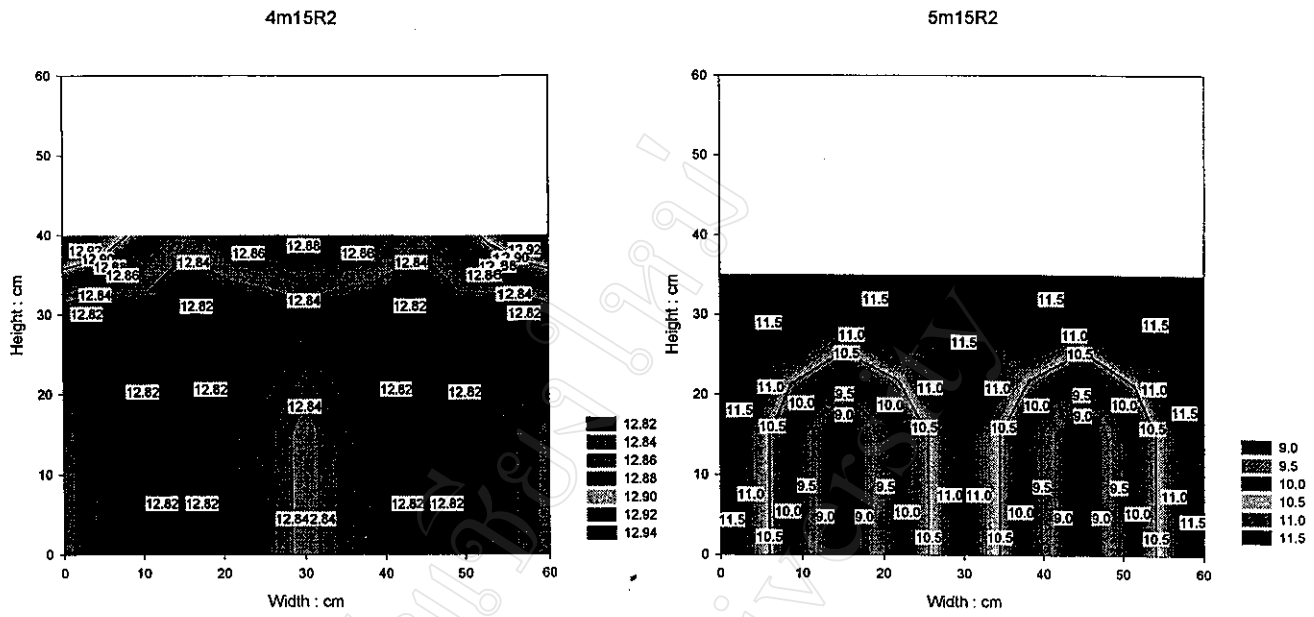


รูปที่ 4.7 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R1 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



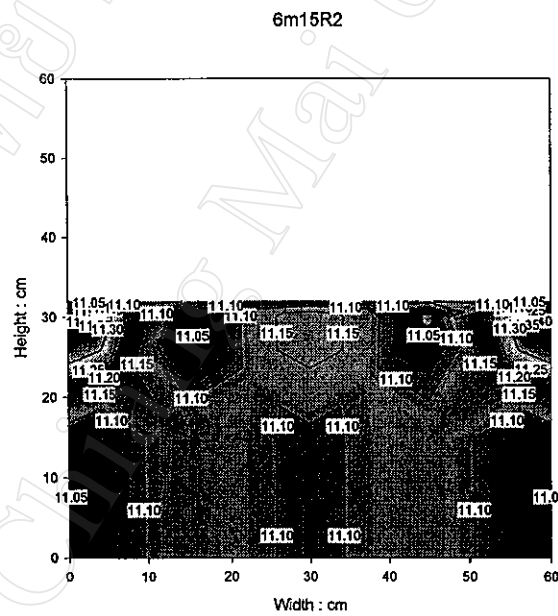
รูปที่ 4.8 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R2 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

เลขหมู่.....
 สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



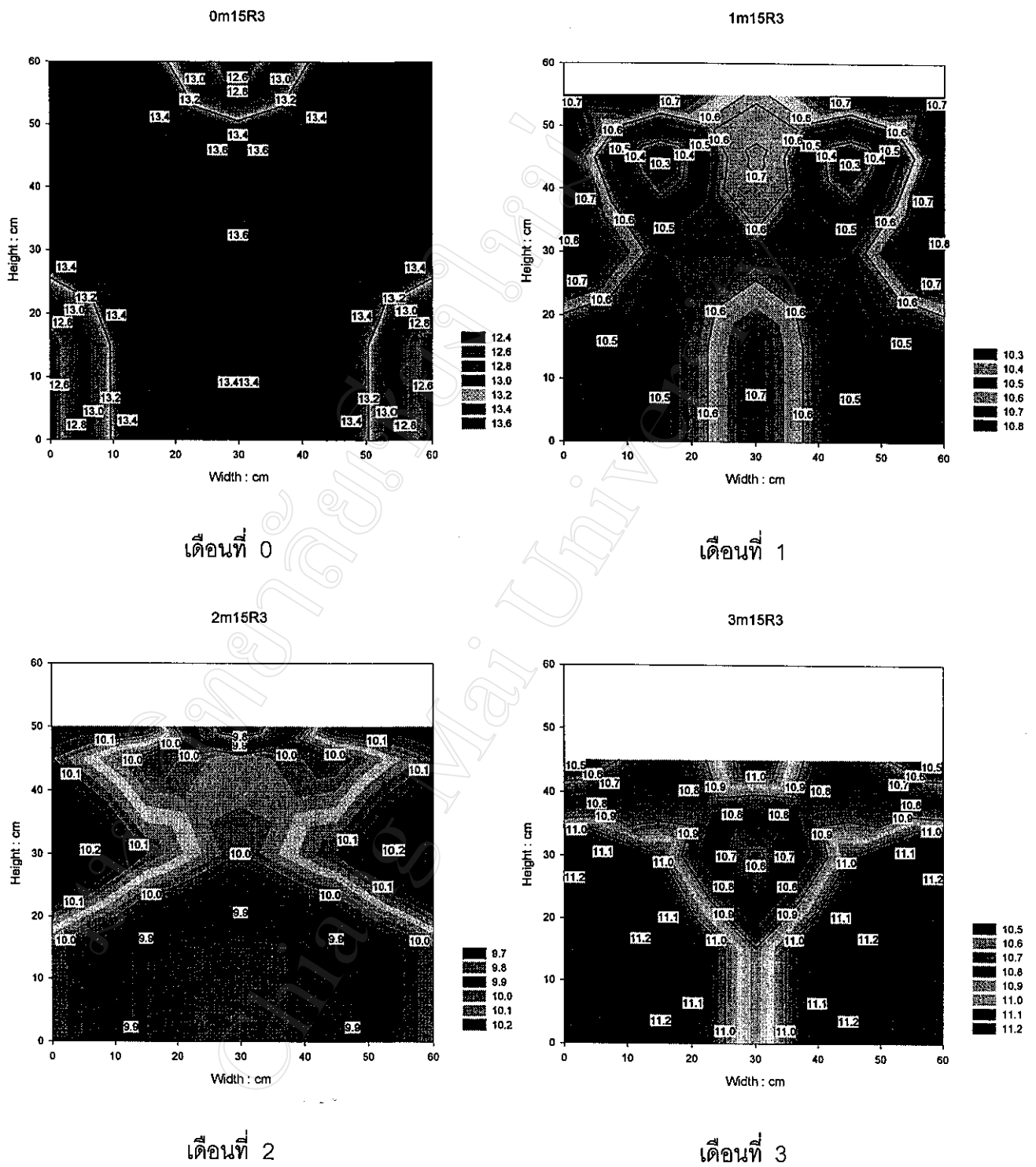
เดือนที่ 4

เดือนที่ 5

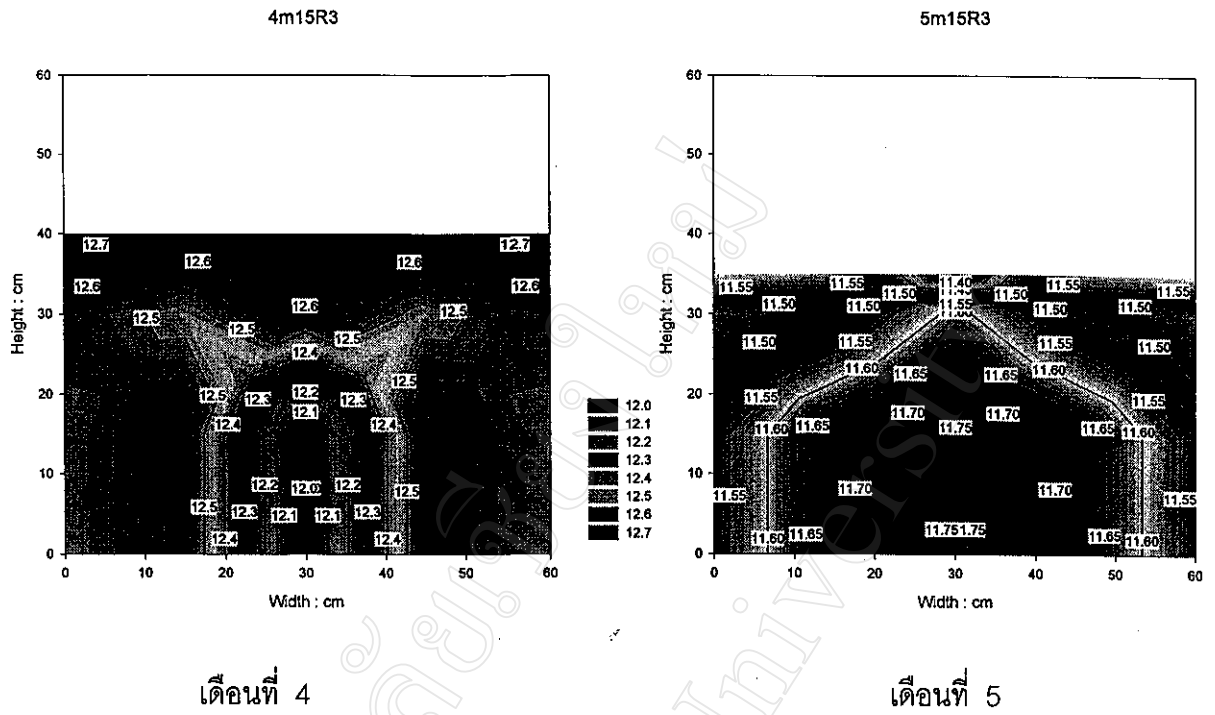


เดือนที่ 6

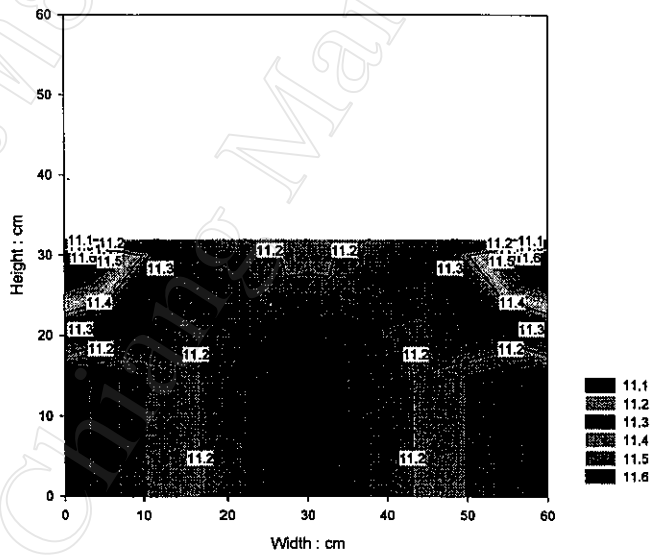
รูปที่ 4.8 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R2 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.9 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R3 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน



6m15R3



รูปที่ 4.9 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ 15R3 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

4.3.3 การกระจายของความชื้นของข้าวเปลือกภายในถังชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม

การกระจายของความชื้นภายในถัง CR1, CR2 และ CR3 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ในทุกๆ เดือนที่สุ่มตัวอย่างออกจากถังเก็บระดับความสูงของเมล็ดข้าวเปลือกจะลดประมาณ 5 เซนติเมตร เดือนที่ 6 ข้าวเปลือกในถังเก็บอยู่ สูงประมาณ 30 เซนติเมตร จากตะแกรง

เดือนที่ 0 การกระจายของความชื้น แต่ละจุดภายในถังเก็บจะเท่า ๆ กัน โดยมีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 13.01 ± 0.75 , 13.23 ± 0.77 และ 13.28 ± 0.56 ของถัง CR1, CR2 และ CR3 ตามลำดับ

เดือนที่ 1 จุดมีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 0 โดยถัง CR1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.51 ± 0.42 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 9 ในบริเวณด้านข้างส่วนล่างของถังเก็บ ถัง CR2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.44 ± 0.16 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.6 ในบริเวณแนว 15 เซนติเมตรจากจุดศูนย์กลางตั้งแต่ด้านล่างจนไปจนถึงด้านบนของถังเก็บ ส่วนถัง CR3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.59 ± 0.41 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 9.4 ในบริเวณแกนกลางส่วนล่างของถังเก็บ

เดือนที่ 2 มีความชื้นลดลงจากเดือนที่ 1 โดยถัง CR1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 6.81 ± 0.38 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.2 ในบริเวณส่วนบนใกล้กับด้านข้างของถังเก็บ ถัง CR2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 6.85 ± 0.23 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.2 ในบริเวณด้านข้างส่วนกลางของถังเก็บ ส่วนถัง CR3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 7.02 ± 0.20 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.3 ในบริเวณส่วนบนใกล้กับด้านข้างของถังเก็บ

เดือนที่ 3 มีความชื้นใกล้เคียงกับเดือนที่ 2 โดยถัง CR1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 6.86 ± 0.34 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.4 ในบริเวณส่วนล่างของถังเก็บ ถัง CR2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 6.96 ± 0.23 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.4 ในบริเวณแกนกลางส่วนล่างของถังเก็บ ส่วนถัง CR3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 7.02 ± 0.32 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.4 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ

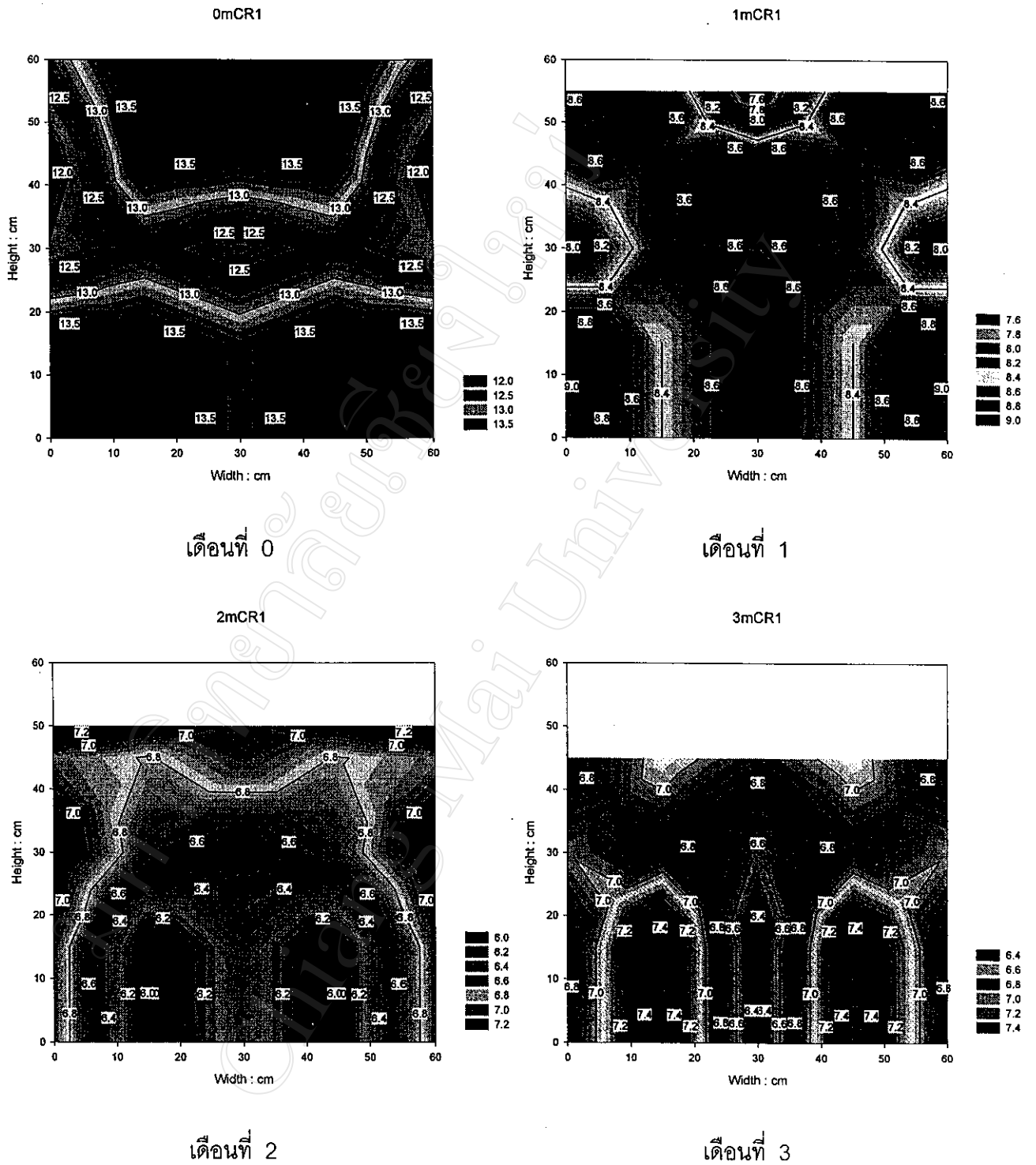
เดือนที่ 4 มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 3 โดยถัง CR1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 7.70 ± 0.07 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.75 ในบริเวณด้านข้างส่วนบนของถังเก็บ ถัง CR2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 7.65 ± 0.11 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 7.8 ในบริเวณด้านข้างส่วนล่างของถังเก็บ ส่วนถัง CR3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 7.84 ± 0.07 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.0 ในบริเวณแกนกลางส่วนกลางและด้านข้างของถังเก็บ

เดือนที่ 5 มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 4 โดยถัง CR1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.29 ± 0.07 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.4 ในบริเวณแกนกลางส่วนล่างไปจนถึงส่วนกลางของ

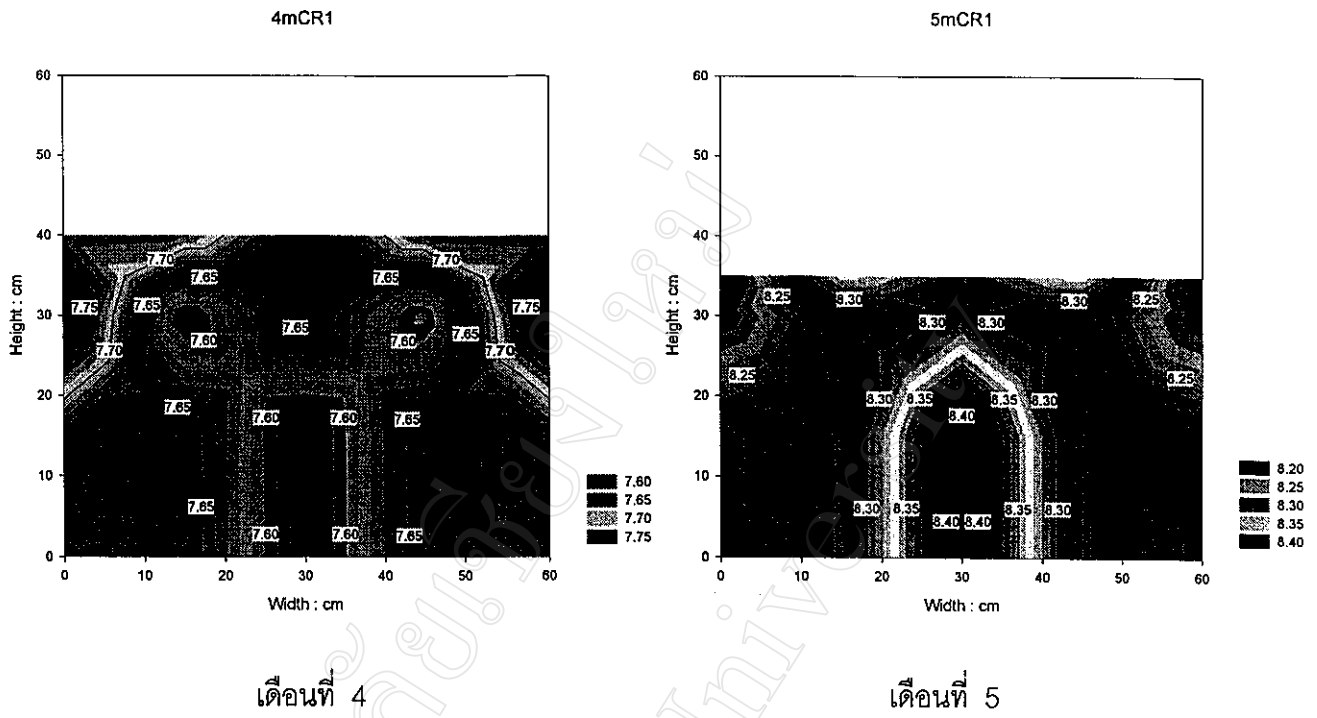
ถึงเก็บ ถัง CR2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.34 ± 0.10 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.45 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ ส่วนถัง CR3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.29 ± 0.10 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.45 ในบริเวณด้านข้างส่วนของถังเก็บ

เดือนที่ 6 มีความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 5 เล็กน้อย โดยถัง CR1 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.63 ± 0.07 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.75 ในบริเวณด้านข้างส่วนล่างของถังเก็บ ถัง CR2 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.78 ± 0.06 มีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.86 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ ส่วนถัง CR3 มีร้อยละความชื้นเฉลี่ยประมาณ 8.75 ± 0.09 เมื่อมีความชื้นสูงสุดประมาณร้อยละ 8.8 ในบริเวณส่วนบนของถังเก็บ

ดังรูปที่ 4.10 ,4.11 และ 4.12 แสดงการกระจายของความชื้นของถัง CR1, CR2 และ CR3 ตามลำดับ



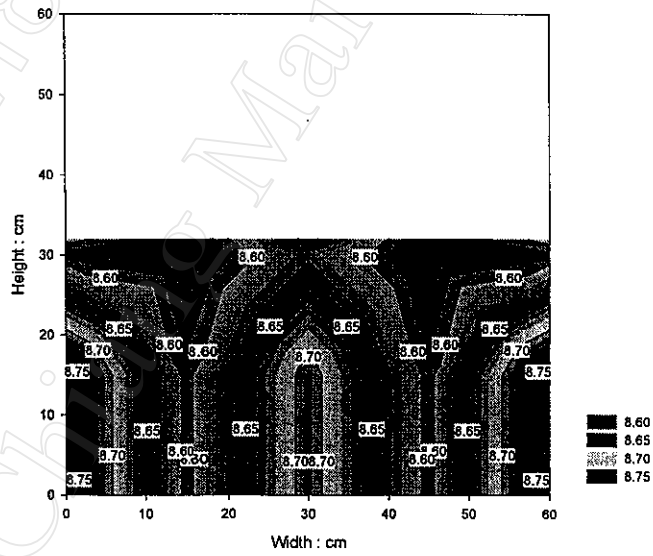
รูปที่ 4.10 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR1 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน



เดือนที่ 4

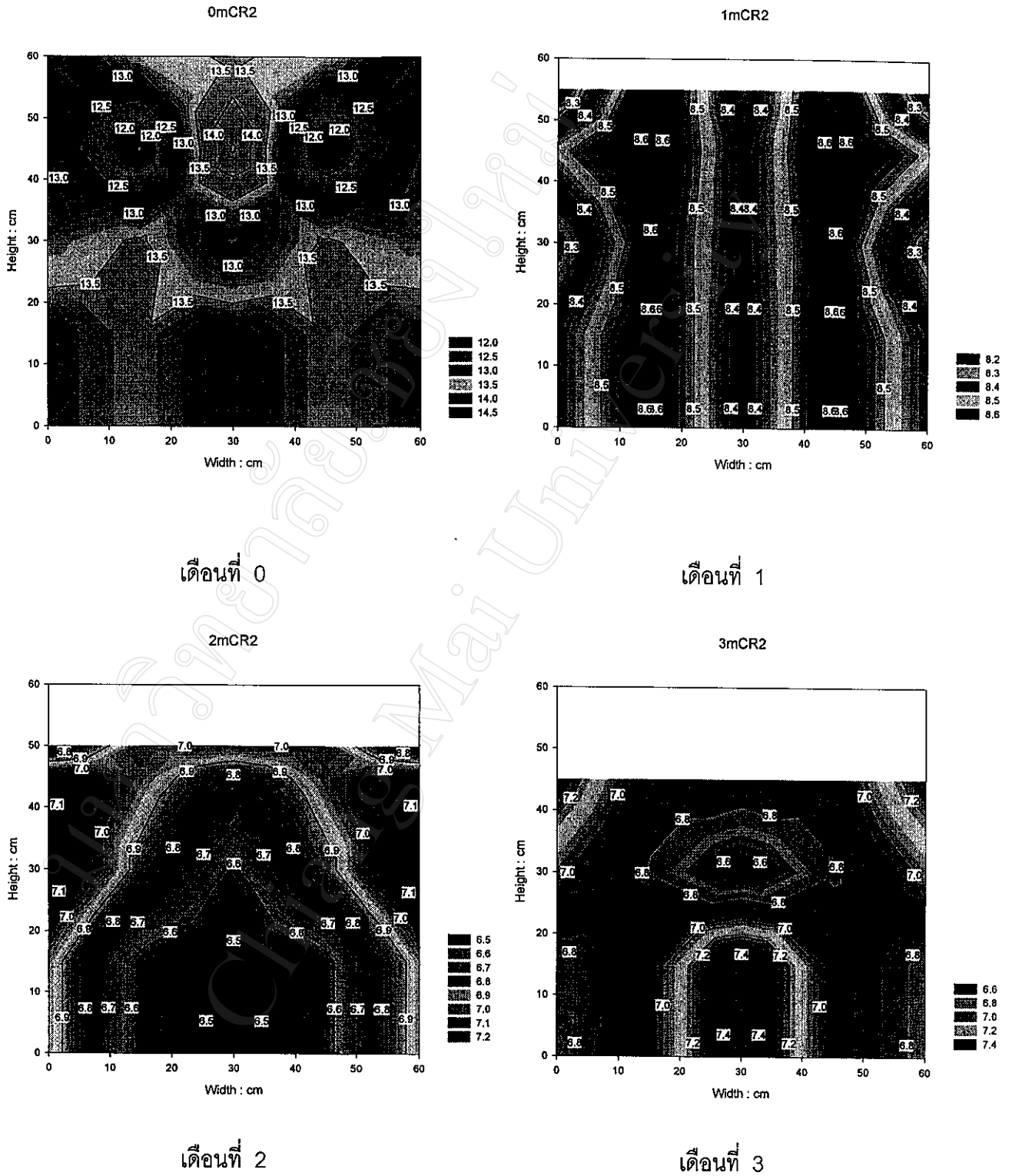
เดือนที่ 5

6mCR1

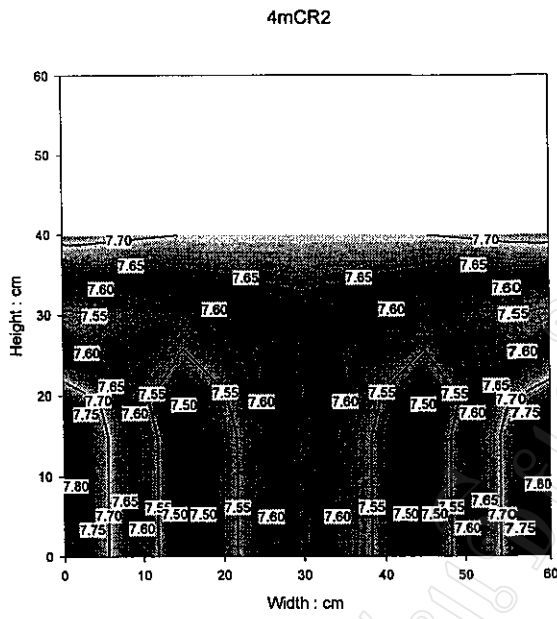


เดือนที่ 6

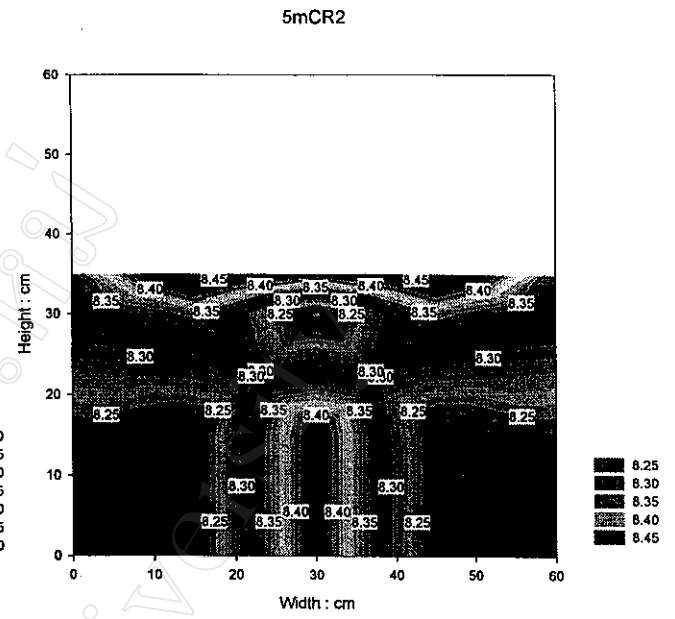
รูปที่ 4.10 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR1 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน



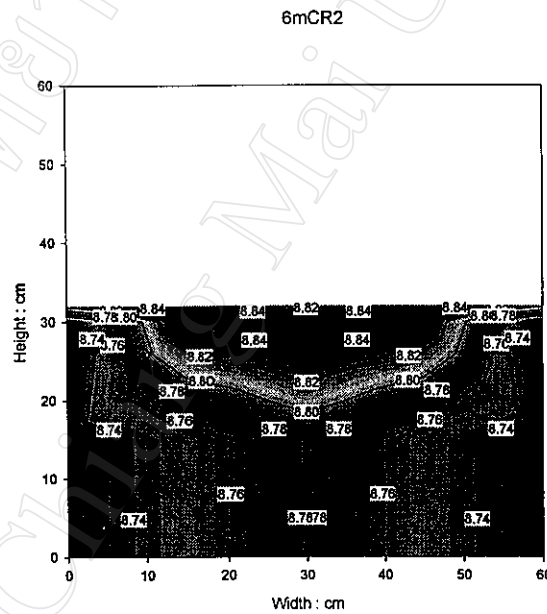
รูปที่ 4.11 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR2 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน



เดือนที่ 4

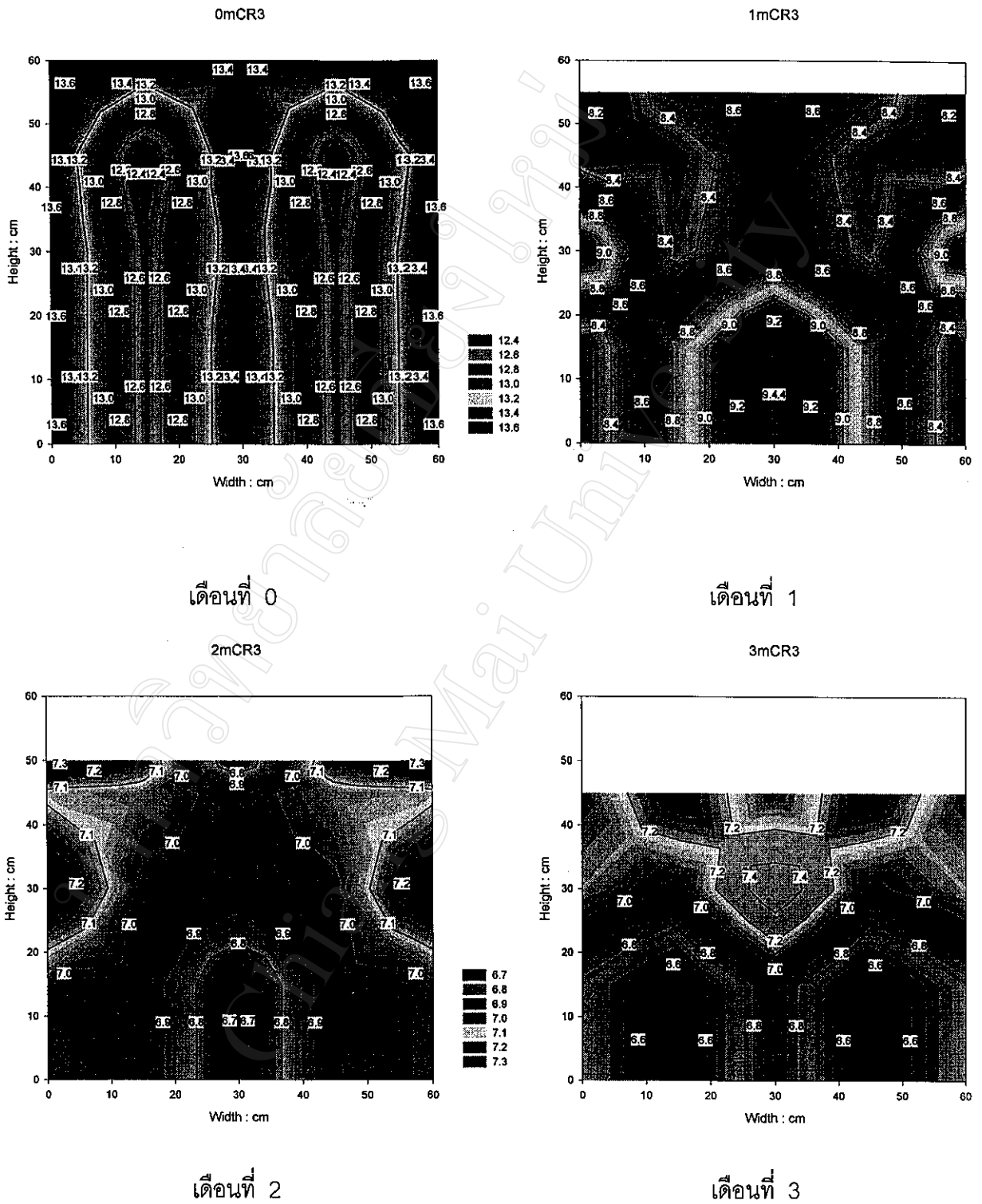


เดือนที่ 5

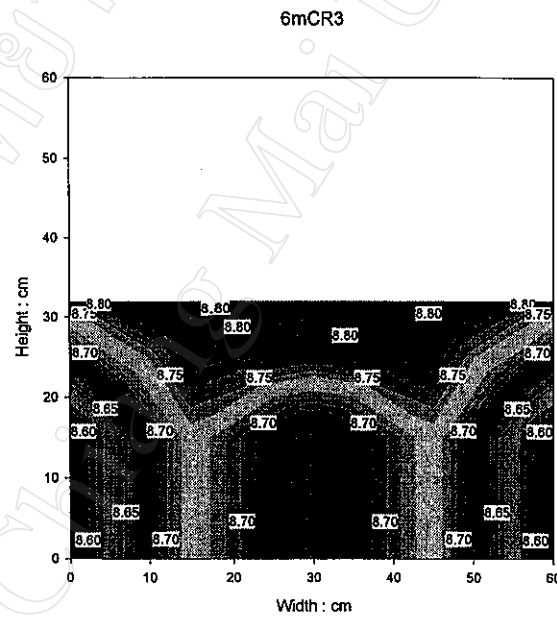
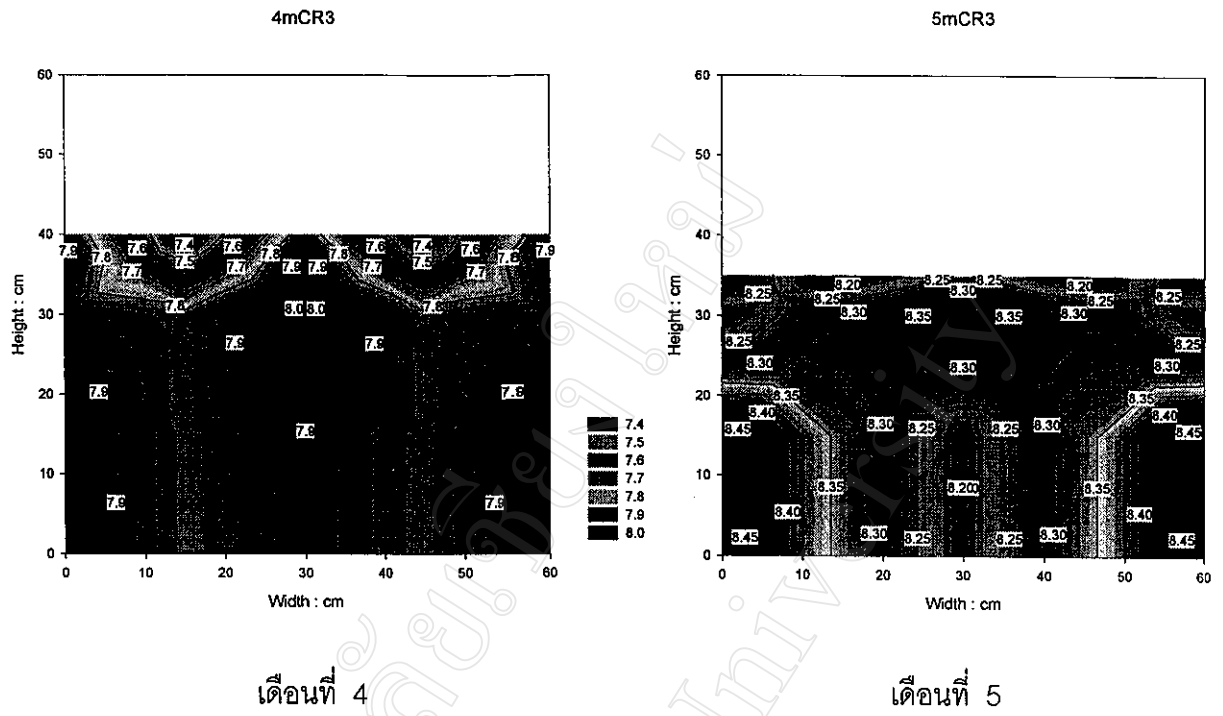


เดือนที่ 6

รูปที่ 4.11 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR2 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน



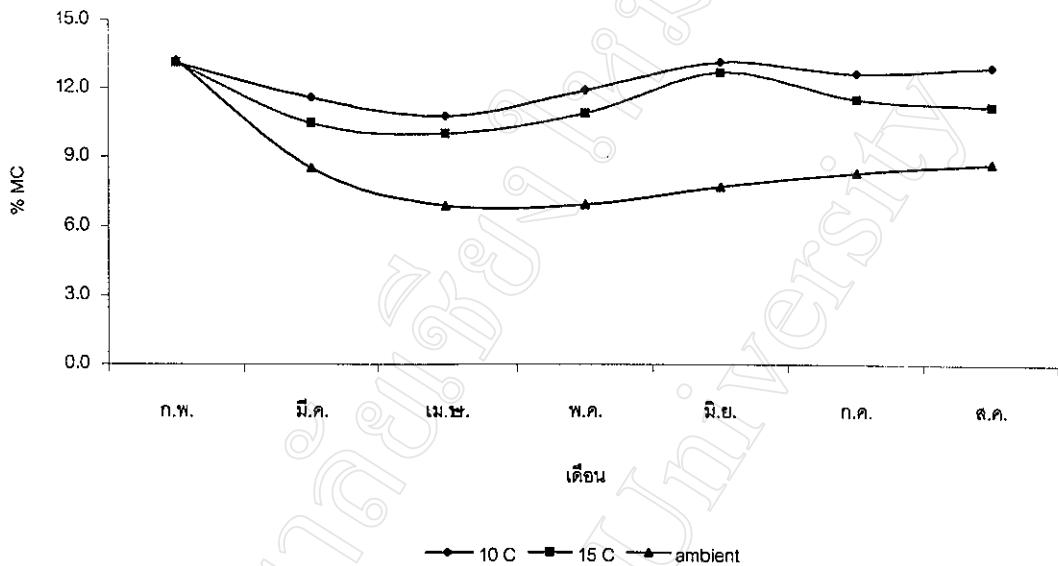
รูปที่ 4.12 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR3 โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน



เดือนที่ 6

รูปที่ 4.12 การกระจายของร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกที่กระจายภายในถังเก็บ CR3 (ต่อ) โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 เดือน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเฉลี่ยภายในถังเก็บตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณร้อยละความชื้นของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ในชุดควบคุมอุณหภูมิทั้งสองชุด ความชื้นเฉลี่ยของในข้าวเปลือกภายในถังเก็บ ในเดือนที่ 0 ถึง เดือนที่ 2 มีความชื้นลดลง ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศขาเข้าต่ำกว่าขาออกจากถังเก็บ แสดงว่าข้าวเปลือกถ่ายเทความชื้นให้แก่อากาศเย็นที่เป่าผ่านชั้นข้าว ทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลง ตั้งแต่เดือนที่ 3 จนถึงเดือนที่ 4 มีความชื้นเพิ่มขึ้น แล้วเริ่มคงที่ในเดือนที่ 5 และ 6 เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศขาเข้ามากกว่าขาออก และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละวันสูงมากเพราะเข้าสู่ฤดูฝน อากาศชื้นจะควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะวาล์วควบคุมความเร็วลม และตามจุดสัมผัสอุณหภูมิเข้ามาในถังเก็บจึงมีโอกาสสูงมาก (ดังตาราง 4.4) เมื่อพิจารณาถึงความชื้นสมดุลของข้าวเปลือก อากาศเย็นที่เป่าผ่านชั้นข้าวเปลือกมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าความชื้นสมดุลของข้าวเปลือก ดังนั้นข้าวเปลือกจึงดูดความชื้นจากอากาศเย็นเข้าไป (ความชื้นสมดุลข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ง)

การกระจายของความชื้นตามจุดต่าง ๆ ในถังเก็บของชุดควบคุมอุณหภูมิ ใน 2 เดือนแรกยังมีความแตกต่างกัน เนื่องจากความชื้นในข้าวเปลือกยังปรับตัวยังไม่เข้าสู่สมดุลยังคงมีการดูดและคาย

ความชื้นให้แก่อากาศเย็น หลังจากผ่านไป 4 เดือนความชื้นของข้าวเปลือกตามจุดต่าง ๆ เริ่มที่จะคงที่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ตั้งแต่เดือนที่ 5 เป็นต้นไป

ตารางที่ 4.4 ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยขาเข้าและขาออกจากถังเก็บตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

เดือน	ชุดควบคุมอุณหภูมิ				ชุดระบายความร้อน		อากาศ แวดล้อม
	10 องศาเซลเซียส		15 องศาเซลเซียส		ด้วยอากาศแวดล้อม		
	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	ขาเข้า	ขาออก	
1	77.93	86.64	59.24	61.04	41.18	46.05	43.79
2	82.49	95.43	68.86	76.71	46.71	57.26	48.96
3	44.96	61.34	45.71	56.79	39.50	51.39	45.95
4	67.39	64.21	49.11	56.21	53.18	51.52	56.53
5	90.68	83.67	56.46	56.07	54.71	52.30	60.99
6	80.33	75.38	52.92	63.45	54.64	55.74	69.71

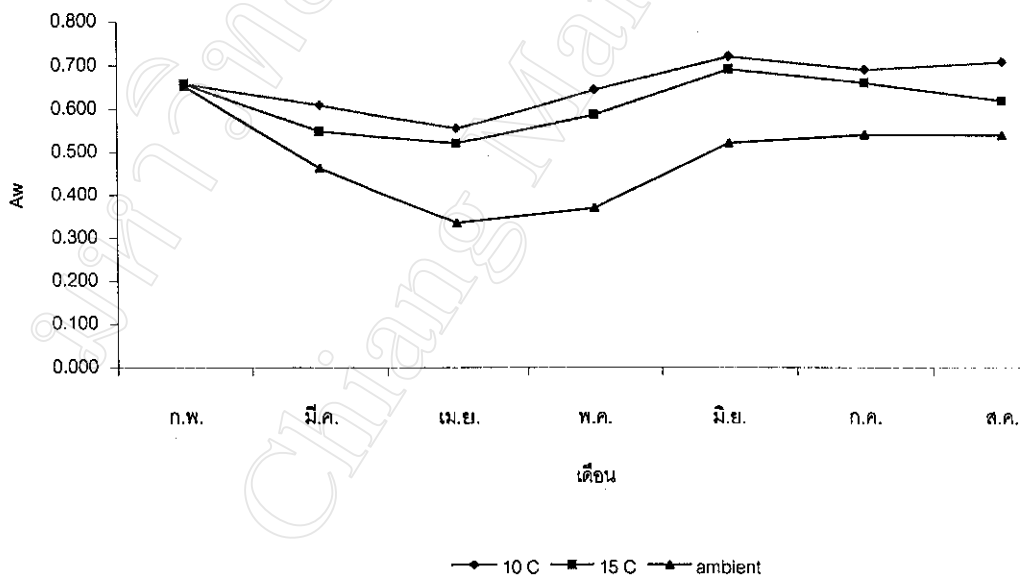
ในชุดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม ความชื้นเฉลี่ยภายในถังเก็บลดลงอย่างรวดเร็ว ในเดือนที่ 0 ถึง เดือนที่ 2 เนื่องจากสภาวะภายในถังเก็บมีลักษณะเป็น in bin drying โดยดูจากอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกซึ่งต่ำกว่าขาเข้า (ดังตาราง 4.3) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่าขาเข้า (ดังตาราง 4.4) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เป่าผ่านชั้นข้าวเปลือกน้อยกว่าความชื้นสมดุลของข้าวเปลือก ดังนั้นจึงส่งผลให้ความชื้นของข้าวเปลือกในถังลดต่ำลง แต่ตั้งแต่เดือนที่ 4 จนถึงเดือนที่ 6 มีความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละวันสูงเนื่องจากเข้าสู่ฤดูฝนดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศขาเข้าจึงสูงขึ้นและมากกว่าความชื้นสมดุลของข้าวเปลือก ดังนั้นข้าวเปลือกจะดูดความชื้นจากอากาศเข้าไปทำให้ความชื้นในเมล็ดสูงขึ้น (ความชื้นสมดุลข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ง)

การกระจายของความชื้นตามจุดต่าง ๆ ในชุดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม ใน 2 เดือนแรกยังมีความแตกต่างกัน เนื่องจากยังปรับตัวเช่นเดียวกับชุดควบคุมอุณหภูมิ หลังจากผ่านไป 3 เดือนความชื้นของข้าวเปลือกตามจุดต่าง ๆ เริ่มที่จะคงที่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ตั้งแต่เดือนที่ 4 เป็นต้นไป

4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน

ค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เราสามารถใช้ค่า Water Activity ในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่า Water Activity ที่จำกัด โดยเราจะทำให้อาหารมีค่า Water Activity ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.7

จากผลการทดลองค่า Water activity ของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน โดยเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่างแสดงผลดังรูป 4.14



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ในแต่ละเดือน ของข้าวเปลือกโดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูป 4.14 และ 4.13 พบว่าค่า Water activity และค่าความชื้นของข้าวเปลือกมีความสัมพันธ์แบบตามกัน ซึ่งหมายความว่า ถ้าค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ค่า Water activity ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยในทางกลับกัน ถ้าค่าความชื้นลดลง ค่า Water activity ก็จะมีค่าลดลงตามด้วยเช่นกัน ($r_{MC Aw} = 0.922$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า Water activity ที่สูงที่สุดในแต่ละอุณหภูมิ แสดงดังนี้

อุณหภูมิในการเก็บรักษา	Water activity	%ความชื้นเฉลี่ย	พบในเดือน
10 °C	0.720	13.13	เดือนที่ 4 (มิ.ย.)
15 °C	0.691	12.69	เดือนที่ 4 (มิ.ย.)
Ambient	0.539	8.73	เดือนที่ 6 (ส.ค.)

ดังนั้นในเดือนที่ 4 ของชุดควบคุมอุณหภูมิทั้งสองชุดมี โอกาสที่เชื้อราจะสามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากมีค่า Water activity ประมาณ 0.7 แต่ในขณะที่ทำการทดลองไม่พบเชื้อราเจริญภายในถึงแต่อย่างใด โดยสังเกตด้วยตาเปล่า

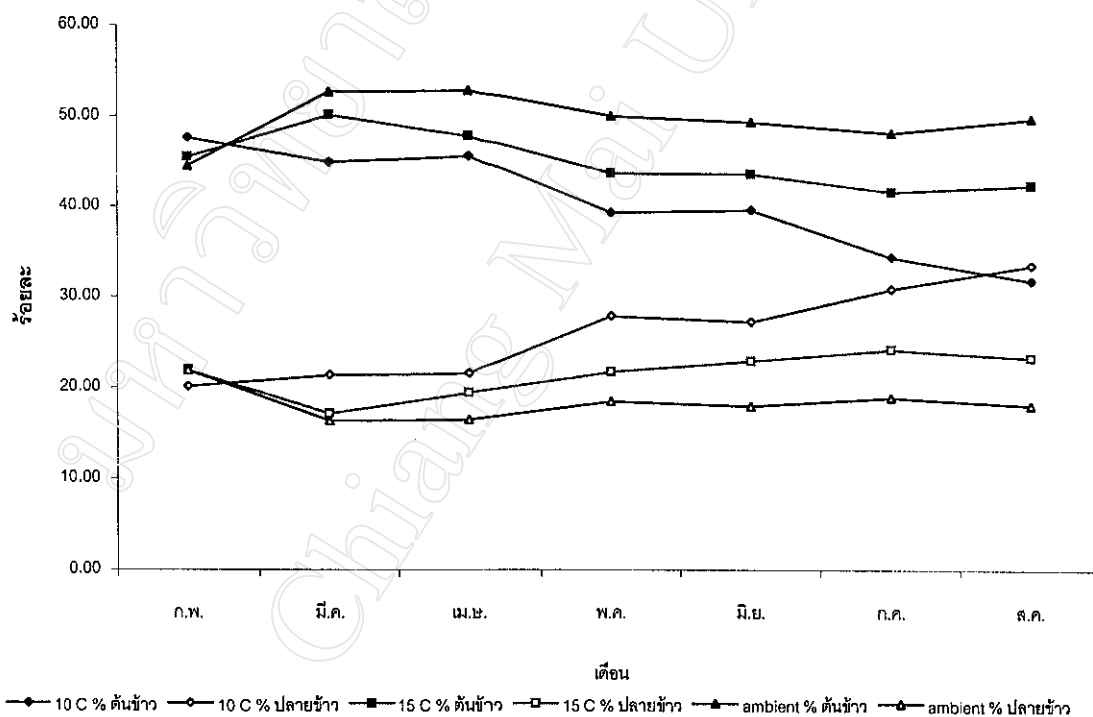
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณต้นข้าวและปลายข้าวในแต่ละเดือน

จากการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณต้นข้าวในแต่ละเดือน ก่อนการเก็บรักษา (ในเดือนที่ 0) ได้ต้นข้าวร้อยละ 45.88 ± 2.10 ของน้ำหนักข้าวเปลือกทั้งหมด จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่ชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 , 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องที่มีการระบายอากาศ พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ปริมาณต้นข้าวมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ตามอายุการเก็บรักษา ในเดือนสุดท้ายเหลือเพียงร้อยละ 31.82 ± 1.78 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 1 (ร้อยละ 50.16 ± 1.86) จากนั้นลดลงเหลือร้อยละ 42.42 ± 1.49 ในเดือนสุดท้าย

ส่วนการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศด้วยอากาศแวดล้อมนั้น พบว่า ปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 1 (ร้อยละ 52.68 ± 2.82) จากนั้นลดลงเหลือร้อยละ 49.76 ± 0.79 ในเดือนสุดท้าย แต่ก็ยังสูงกว่าในตอนแรกเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 5 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ให้ผลสอดคล้องกับหลักการที่ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จะส่งผลให้เมล็ดแบ่งที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวมีการจับตัวกันแข็งแรงมากขึ้น เมื่อนำข้าวเปลือกไปสีจึงทำให้ได้ปริมาณร้อยละต้นข้าวที่สูงขึ้น ไม่ว่าจะเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ในสภาวะอุณหภูมิใดหรือที่อุณหภูมิห้องที่มีการระบายโดยอากาศแวดล้อม จะได้ปริมาณต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา (Villareal *et al.*,1976; Tsugita *et al.*,1983; Sajwan *et al.*,1989; Charstil, 1990; Hamaker *et al.*,1993; Tamaki *et al.*,1993; Dhaliwal *et*

al.,1990; Daniels et al.,1998; อรรถพร และคณะ ,2538) การที่ได้ปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับรายงานอื่น ๆ เนื่องมาจากความชื้นภายในเมล็ดข้าวลดลงต่ำมากจึงมีความแข็งและเปราะมากขึ้น เมื่อนำมาสีทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการแตกหักได้ง่าย เมื่อเทียบกับความชื้นความชื้นมาตรฐานที่นำไปสี ส่วนการเก็บในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส ได้ผลขัดแย้งกับรายงาน อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิภายในถังเก็บต่ำโดยเฉพาะส่วนล่างของถัง (ดังตาราง 4.1 และ 4.2) ทำให้ข้าวเกิดความเครียดเนื่องจากความเย็น (Chilling stress) เมื่อนำไปสีจะเกิดการหักมากขึ้น คุณภาพการสีลดลง และเมื่อสูบลมข้าวออกจากถังเก็บ ข้าวมีอุณหภูมิต่ำจะเกิดการควบแน่นของน้ำในอากาศรอบ ๆ ตัวข้าว ส่งผลให้ข้าวดูดความชื้นกลับเข้าไปซึ่งจะมีผลการสีเช่นกัน การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสแต่ได้รับผลกระทบน้อยกว่า จึงมีปริมาณต้นข้าวมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณปลายข้าวมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณต้นข้าว

($r_{\%HRY \%broken . temp time} = -0.9609$) ดังรูป 4.15

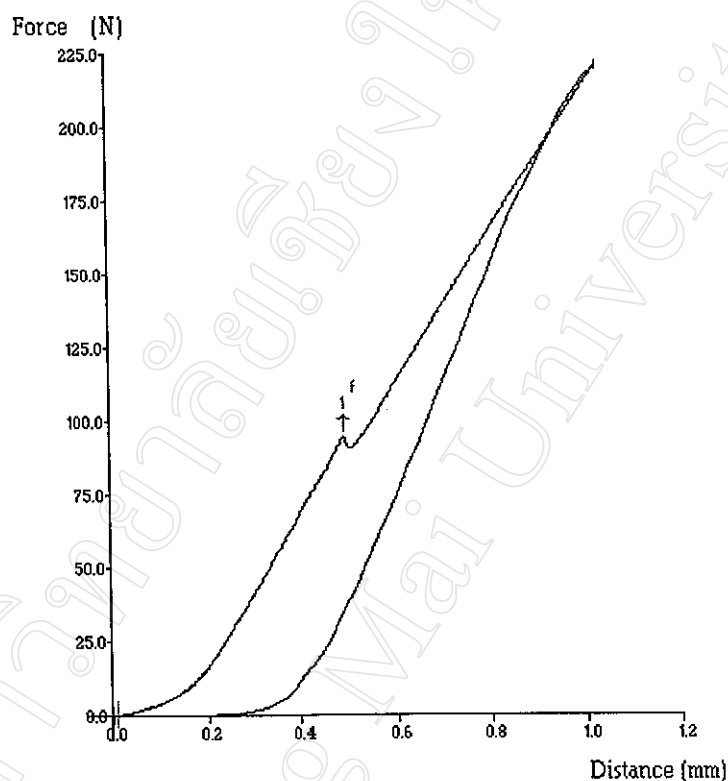


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต้นข้าว กับ ปลายข้าว ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนโดยเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ

และเมื่อดูจากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและปริมาณต้นข้าวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกอุณหภูมิของการเก็บ (จากรูป 4.13 และ 4.15) พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ($r_{\%MC\%HRY . time} = -0.8281$)

4.6 การศึกษาหาจุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) ของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน

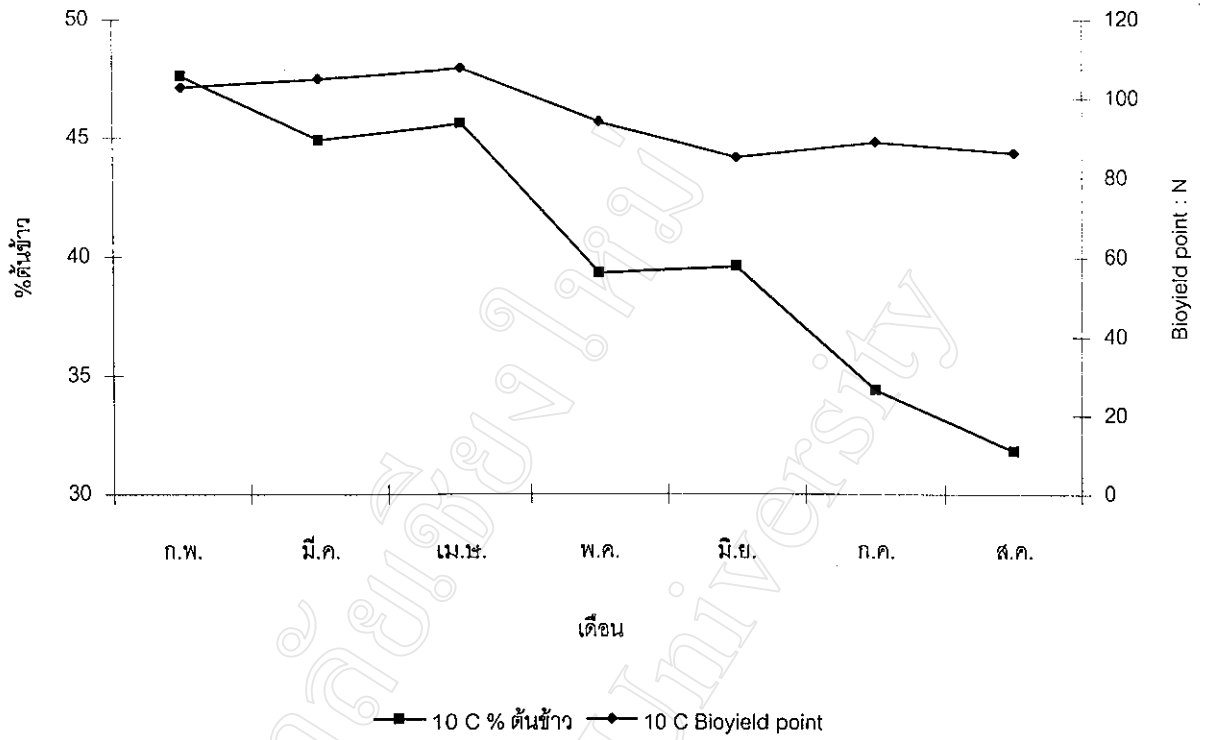
การศึกษาค้นหาจุดแตกหักของข้าวเปลือกในแต่ละเดือน เพื่อต้องการทราบว่าข้าวเปลือกสามารถที่จะทนต่อแรงกดหรือรับแรงได้มากน้อยเพียงใดจึงจะเกิดการแตกหักของข้าวขึ้น โดยใช้เครื่อง Texture analyzer : TA – XT2I ได้กราฟ แสดงดังรูป 4.16



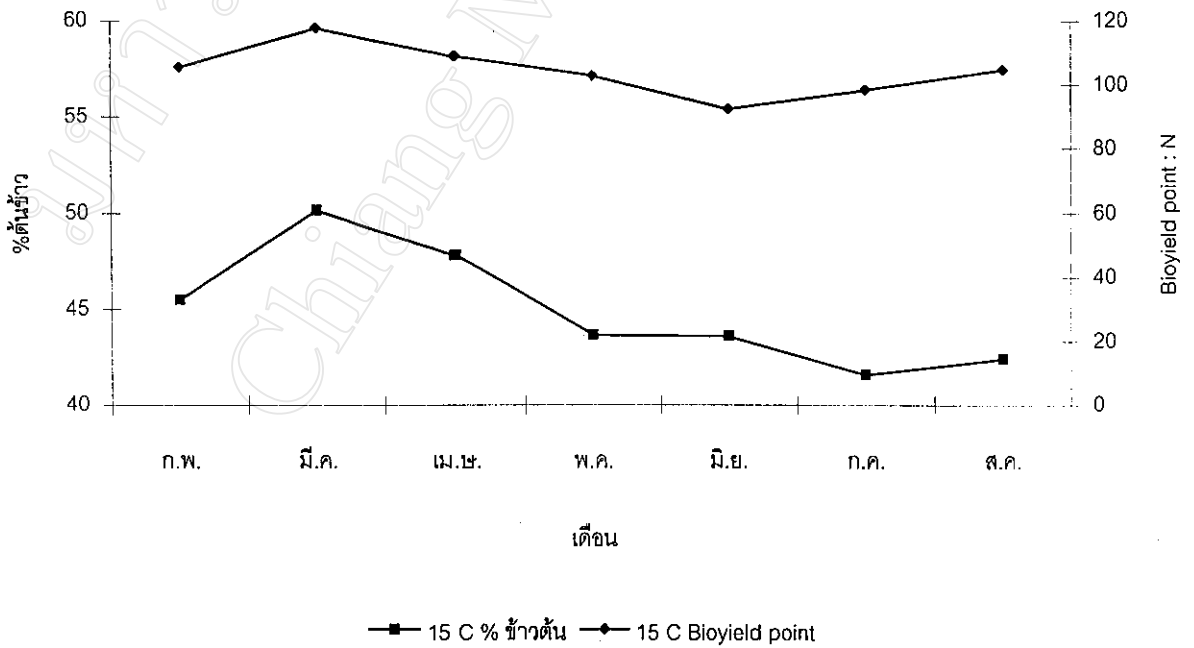
รูปที่ 4.16 จุดแตกหักของข้าวเปลือกโดยเครื่อง Texture analyzer : TA – XT2I

จากรูปที่ 4.16 จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) ของข้าวเปลือก คือ จุดที่มี peak แรกเกิดขึ้น หรือจุดแรกที่มีการเปลี่ยนแปลงความชัน (slope) บนเส้นกราฟ

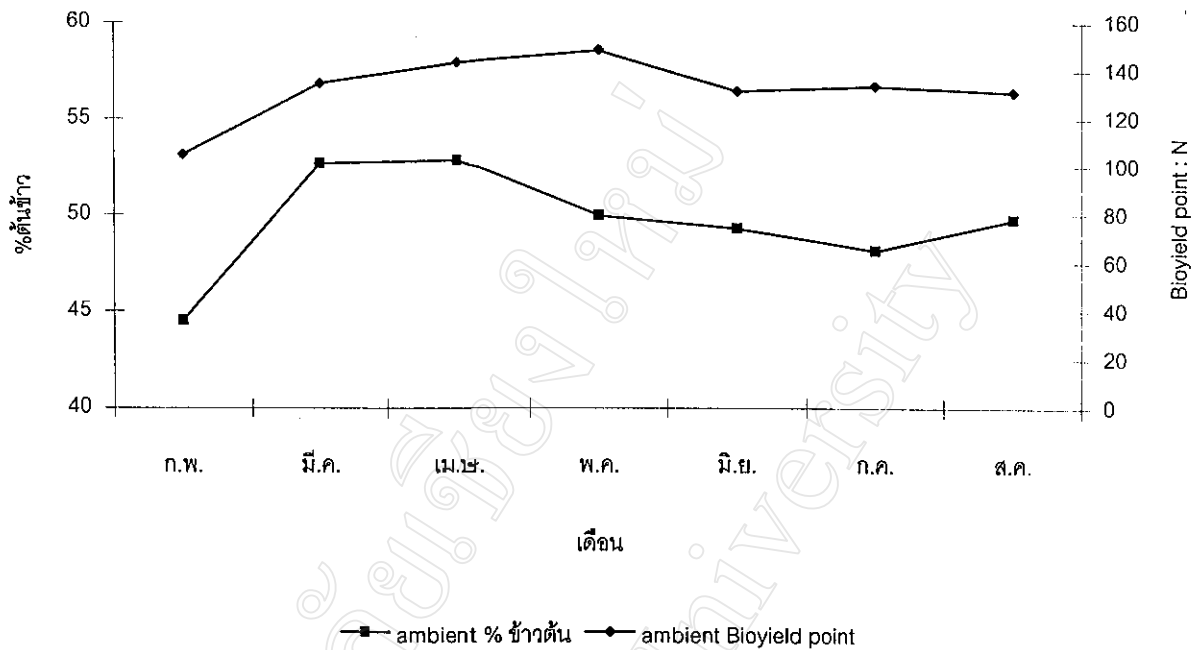
จากผลการทดลองการวัดจุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) ของข้าวเปลือก ในแต่ละเดือน เทียบกับปริมาณต้นข้าว โดยเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส และชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม ผลดังรูป 4.17 ,4.18 และ 4.19



รูป 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าแรง ณ จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) ของข้าวเปลือก และปริมาณต้นข้าว โดยเก็บรักษาไว้ที่ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



รูป 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าแรง ณ จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) ของข้าวเปลือก และปริมาณต้นข้าว โดยเก็บรักษาไว้ที่ในชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส



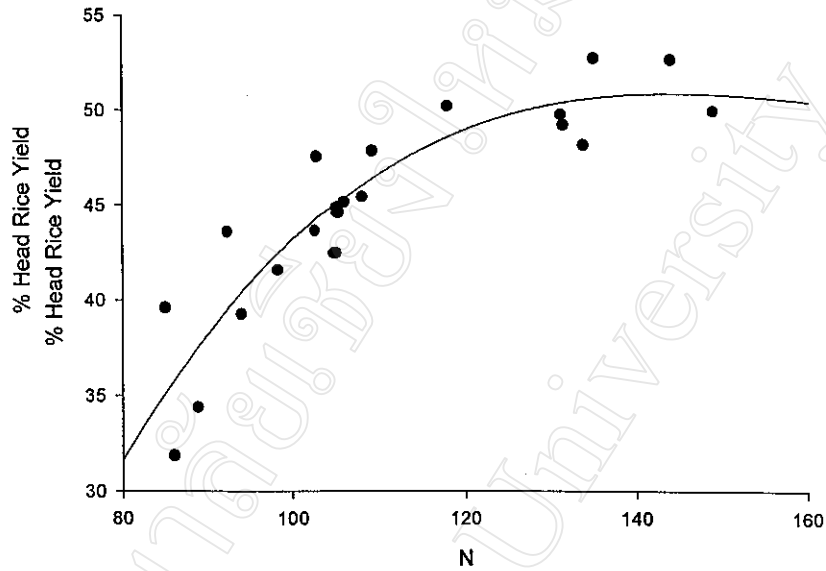
รูป 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าแรง ณ จุดแตกหัก (Bioyield point : fracturability) ของข้าวเปลือก และปริมาณต้นข้าว โดยเก็บรักษาไว้ในชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม

เมื่อทำไปทดสอบทางสถิติ ($\alpha = 0.01$) พบว่า ค่าแรง ณ จุดแตกหัก มีความสัมพันธ์กับปริมาณต้นข้าวและข้าวหักดังต่อไปนี้

ปริมาณข้าวที่ผ่านการสี	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)
ต้นข้าว	0.821
ข้าวหัก	-0.795

ข้าวที่สามารถทนต่อแรงกดจนแตกหักได้มากน้อยต่างกัน จะบ่งบอกถึงการทนทานต่อสภาวะความเครียด (stress) ต่างๆ ที่กระทำลงต่อข้าวหรือทนต่อแรงกดหรือแรงขีดมากน้อยต่างกัน แสดงว่าถ้าข้าวสามารถทนต่อสภาวะความเครียดต่างๆ ได้มากเมื่อนำไปผ่านขั้นตอนการสี (milling) จะมีปริมาณข้าวหักน้อย หรือมีปริมาณต้นข้าวมาก แต่ในทางกลับกัน ถ้าข้าวสามารถทนต่อแรงกดได้น้อยลงเมื่อนำไปผ่านขั้นตอนการสีจะมีปริมาณข้าวหักที่มากขึ้นและมีปริมาณต้นข้าวที่น้อยลง

ดังนั้นเมื่อนำค่าแรง ณ จุดแตกหัก มาเขียนกราฟกับปริมาณต้นข้าวและข้าวหักแสดงดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต้นข้าว (% Head rice yield) กับค่าแรง ณ จุดแตกหัก

สมการความสัมพันธ์

$$\%HRY = 4E-05 F^3 - 0.0183 F^2 + 2.9758 F - 108.06$$

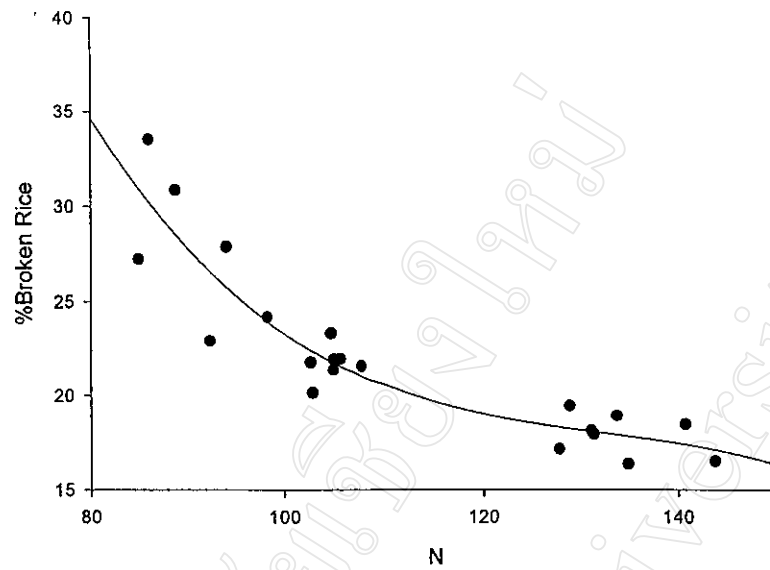
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

0.8308

เมื่อ

%HRY = ปริมาณร้อยละต้นข้าว (% Head Rice Yield)

F = ค่าแรง ณ จุดแตกหัก



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวหัก (% Broken rice yield) กับค่าแรง ณ จุดแตกหัก

สมการความสัมพันธ์

$$\%BRY = -1E-04 F^3 + 0.0356 F^2 - 4.7949 F + 236$$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

0.8527

เมื่อ

%BRY = ปริมาณร้อยละข้าวหัก (% Broken Rice Yield)

F = ค่าแรง ณ จุดแตกหัก

4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารในแต่ละเดือน

ค่า L^* คือ ค่าความเข้มสว่างของสี ซึ่งมีค่าเริ่มต้นตั้งแต่ 0 ถึง 100 ค่า L^* มีค่ามากแสดงว่าสีมีความสว่างมาก และถ้า L^* เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ

ค่า a^* คือ ค่าแสดงระดับสีแดง และสีเขียว ถ้า a^* มีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีแดง มีค่าเป็นลบแสดงถึงสีเขียว เมื่อห่างจากจุด 0 มากแสดงถึงค่าสีแดงหรือสีเขียวมากขึ้น

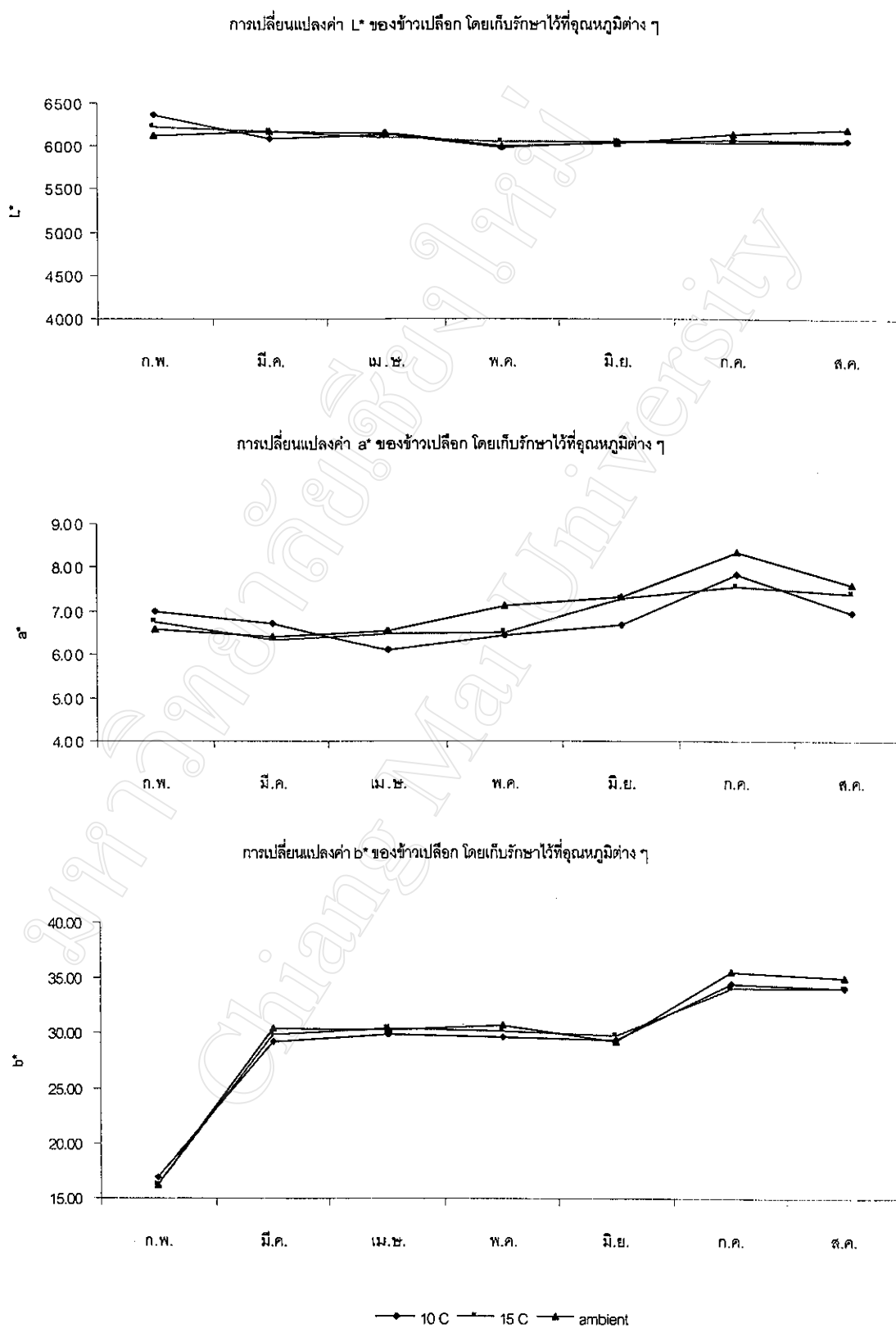
ค่า b^* คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง และสีน้ำเงิน ถ้า b^* มีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีเหลือง มีค่าเป็นลบแสดงถึงสีน้ำเงิน เมื่อห่างจากจุด 0 มากแสดงถึงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงินมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือก เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ค่า L^* ในแต่ละอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกัน มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น อยู่ในช่วงประมาณ 61 - 62 ค่า a^* และข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสกับที่อุณหภูมิห้องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในช่วงประมาณ 6 - 8.3 ส่วนค่า b^* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา อยู่ในช่วงประมาณ 16.3 - 34.1 ดังรูปที่ 4.22

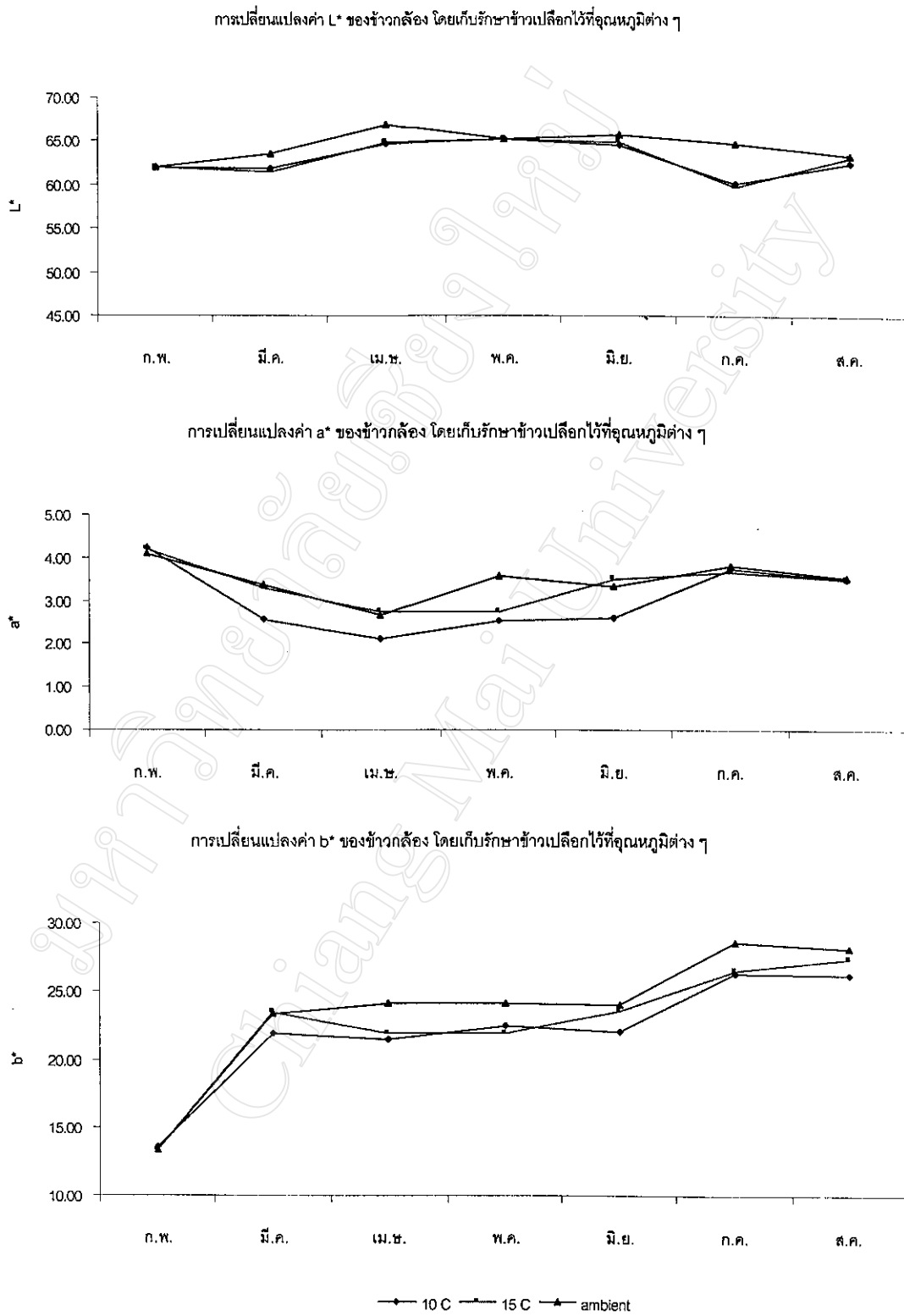
การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวกล้อง เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ค่า L^* มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย และข้าวกล้องที่เก็บไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกัน อยู่ในช่วงประมาณ 62 - 63.4 ค่า a^* มีแนวโน้มที่ลดลง จนถึงเดือนสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในช่วงประมาณ 2.2 - 4.1 ส่วนค่า b^* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา อยู่ในช่วงประมาณ 13.4 - 28.1 ดังรูปที่ 4.23

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวสาร เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ค่า L^* มีแนวโน้มที่ลดลง ตามอายุการเก็บรักษา อยู่ในช่วงประมาณ 67 - 72 ค่า a^* มีแนวโน้มที่ลดลง อยู่ในช่วงประมาณ -1.6 - 0.3 ส่วน ค่า b^* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ข้าวที่เก็บในอุณหภูมิห้อง มีค่า สูงกว่าข้าวที่เก็บในชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยจะมีความเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 เดือนสุดท้าย อยู่ในช่วงประมาณ 11.7 - 19.6 ดังรูปที่ 4.24

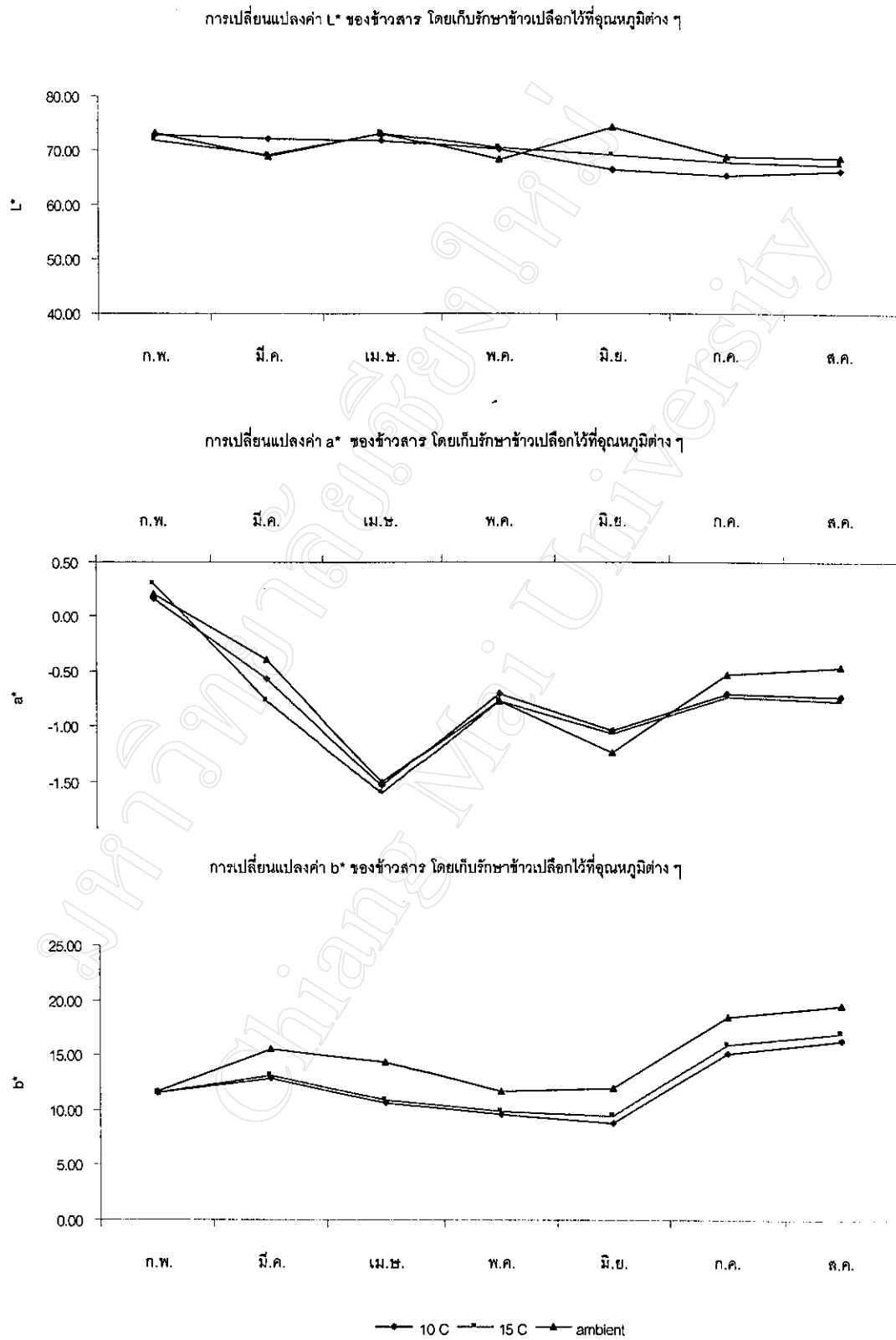
การที่ข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสี นอกจากจะเกิดจากอิทธิพลอุณหภูมิและระยะเวลา ยังมีปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดอะมิโนอิสระกับแป้งภายในเมล็ดข้าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา (Barber, 1972; งามชื่น, 2539)



รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือกโดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวกล้อง เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

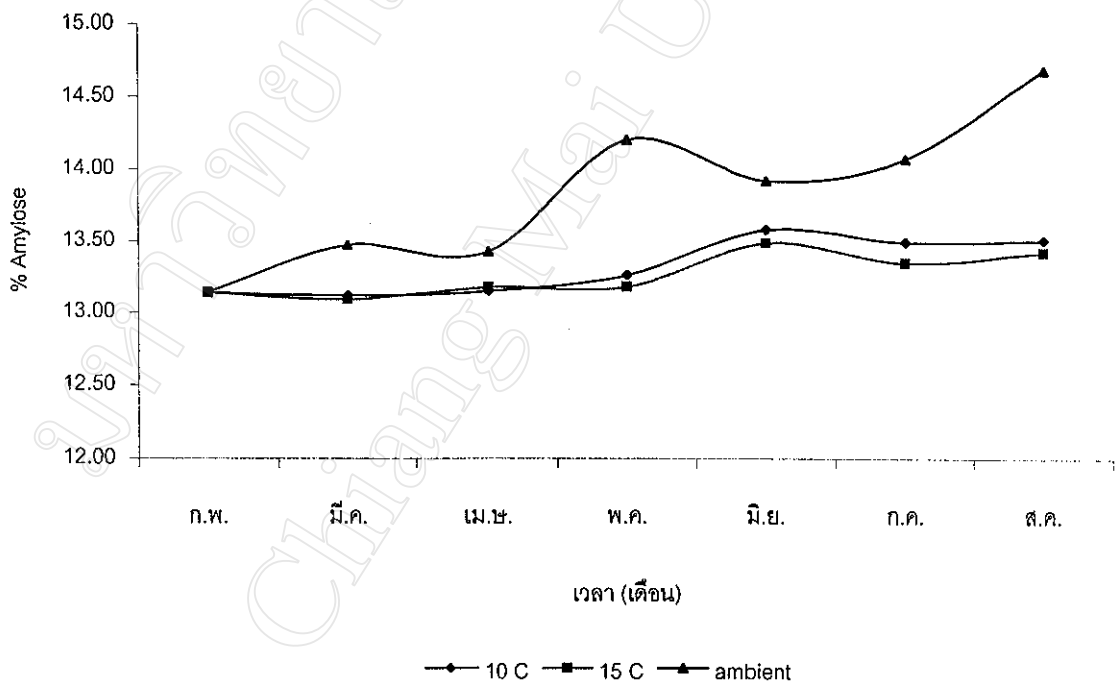


รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวสาร เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสในข้าวสาร

ก่อนเริ่มต้นการทดลองข้าวสารมีปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 13.14 หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ข้าวที่เก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิทั้ง 10 และ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของอะไมโลสน้อยมาก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) คือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.34 เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน ($r_{\%amylose\ time\ .\ temp} = 0.83$) ส่วนข้าวที่เก็บรักษาโดยการระบายด้วยอากาศแวดล้อมจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 1.54

($r_{\%amylose\ time\ .\ temp} = 0.89$) ดังรูปที่ 4.25 แสดงว่าความแข็งของข้าวสุกน่าจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติของโรงสีทั่วไป ที่นิยมเก็บข้าวเปลือกเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3 เดือน จึงจะสีเป็นข้าวสารขาย เพื่อไม่ให้ข้าวแฉะเกินไปเวลานำไปหุง



รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส ในข้าวสาร โดยเก็บข้าวเปลือกที่ อุณหภูมิ ต่าง ๆ

4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2 - Acetyl - 1 - pyrroline (2AP) ในข้าวกล้องและข้าวสาร

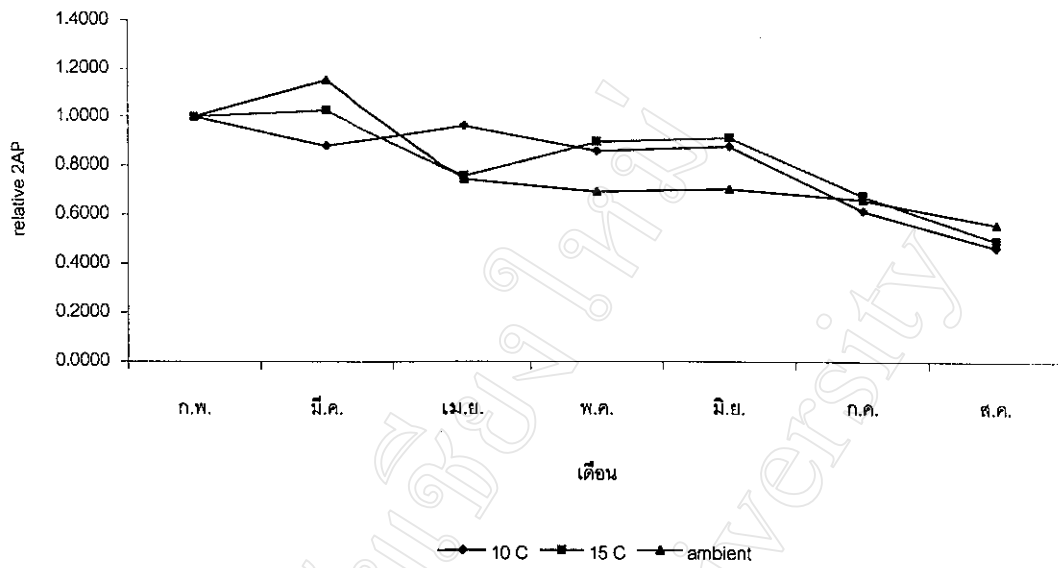
การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2 - Acetyl - 1 - pyrroline (2AP) ในข้าวกล้องและข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่าง ๆ ในแต่ละเดือนแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2 - Acetyl - 1 - pyrroline (2AP) ในข้าวกล้องและข้าวสารในแต่ละเดือน

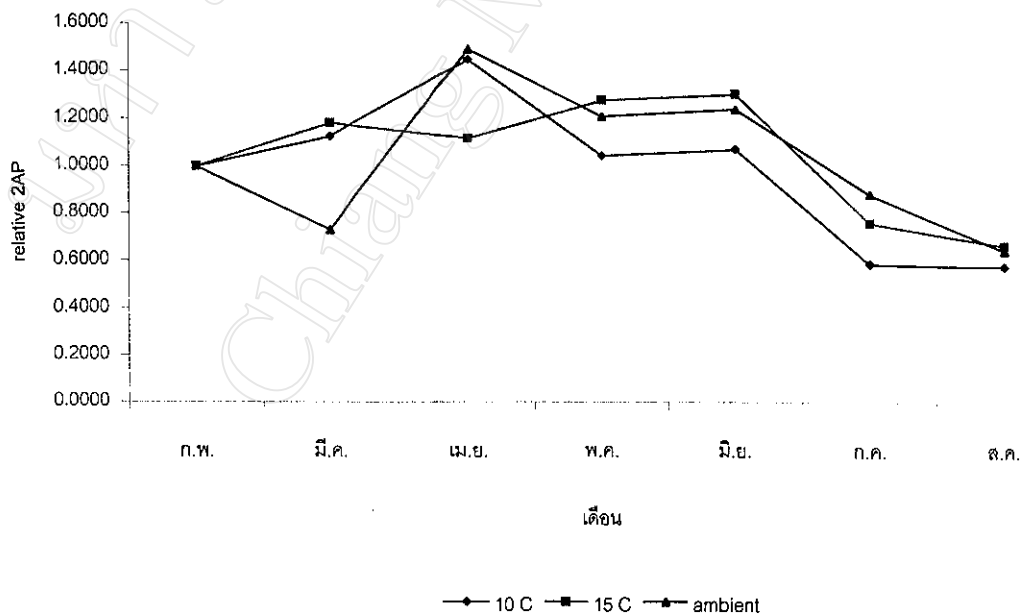
ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือก	ปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง (µg/g)			ปริมาณสาร 2AP ในข้าวสาร (µg/g)		
	Ambient	10 °C	15 °C	Ambient	10 °C	15 °C
เดือนที่ 0 : ก.พ.	2.57	2.57	2.57	2.13	1.81	1.77
เดือนที่ 1 : มี.ค.	2.96	2.26	2.64	1.55	2.04	2.09
เดือนที่ 2 : เม.ย.	1.91	2.47	1.95	3.17	2.62	1.97
เดือนที่ 3 : พ.ค.	1.78	2.21	2.31	2.57	1.89	2.25
เดือนที่ 4 : มิ.ย.	1.81	2.26	2.35	2.64	1.94	2.30
เดือนที่ 5 : ก.ค.	1.70	1.58	1.74	1.88	1.06	1.34
เดือนที่ 6 : ส.ค.	1.44	1.20	1.27	1.37	1.05	1.17

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณสาร 2AP โดยเฉลี่ยที่พบในข้าวกล้องจะมากกว่าข้าวสาร อาจเนื่องมาจากขั้นตอนการสีจากข้าวกล้องให้เป็นข้าวสารนั้นมีความร้อนเกิดขึ้น สาร 2AP ซึ่งเป็นสารระเหยอาจจะระเหยออกมาบางส่วนทำให้พบปริมาณในข้าวสารน้อยกว่า ยกเว้นในชุดระยะเวลาความร้อนด้วยอากาศแวดล้อมที่ในข้าวกล้องมีปริมาณน้อยกว่าในข้าวสารในเดือนที่ 2 ถึง เดือนที่ 5 และปริมาณสารที่พบมีแนวโน้มที่ลดลง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2AP ทั้งในข้าวกล้อง และข้าวสาร ที่เพิ่มขึ้นและลดลงจากเดือนที่ 0 ในแต่ละเดือนแสดงดังรูป 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ ในที่นี้แสดงเป็นปริมาณของแต่ละเดือนเทียบกับปริมาณเริ่มต้น (relative 2AP)



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นโดยเก็บข้าวเปลือกในอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2AP ในข้าวสาร เมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้น โดยเก็บข้าวเปลือกในอุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 4.26 ในชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้องมีแนวโน้มที่ลดลง และจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 5 และ 6 เหลือเพียงร้อยละ 47 ส่วนในชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณสาร 2AP จะเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 1 หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่ลดลง และจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 5 และ 6 เช่นกันเหลือเพียงร้อยละ 49 และในชุดที่ระบายอากาศด้วยอากาศแวดล้อมนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง เช่นเดียวกับชุดควบคุมอุณหภูมิ คือ มีแนวโน้มที่ลดลง และจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 5 และ 6 เช่นกัน เหลือเพียงร้อยละ 56 แต่การเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะมีแนวโน้มของการลดลงของสาร 2AP น้อยกว่าการเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิที่สูงกว่า คือ พบสาร 2AP ในปริมาณที่มากกว่า ในระยะเวลาการเก็บรักษาใน 4 เดือนแรก แต่หลังจากผ่านไปเป็นระยะเวลา 5 เดือนปริมาณสาร 2AP ที่พบไม่ว่าจะเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ในอุณหภูมิใดก็ตามปริมาณสาร 2AP จะใกล้เคียงกันโดยจะมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างรวดเร็ว

จากรูป 4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2AP ของข้าวสารในชุดควบคุมอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสและชุดระบายอากาศด้วยอากาศแวดล้อมจะมีแนวโน้มที่ลดลงในรูปแบบเดียวกัน คือ จะพบปริมาณสาร 2AP สูงที่สุดในเดือนที่ 2 ซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุด โดยมีปริมาณสารมากกว่าสารเริ่มต้นถึงร้อยละ 50 หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงในเดือนที่ 3 และ 4 และจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 5 และ 6 ในเดือนสุดท้ายจะเหลือเพียงร้อยละ 58 และ 64 ตามลำดับ สำหรับชุดควบคุมอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ใน 4 เดือนแรกปริมาณสาร 2AP จะค่อนข้างคงที่โดยจะเพิ่มจากเดือนที่ 0 คือประมาณร้อยละ 110 จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 5 และ 6 ในเดือนสุดท้ายเหลือเพียงร้อยละ 66 อย่างไรก็ตามยังไม่เคยมีรายงานว่า ปริมาณสาร 2AP จะเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการเก็บรักษาในช่วงเดือนที่ 3 และ 4 เดือนแรกไม่ว่าจะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิใดก็ตาม

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิต่ำแต่เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถยับยั้งการลดลงของปริมาณสาร 2AP ได้ และในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญในการลดลงของสาร ($P < 0.05$) และอาจรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นด้วยเช่นกันดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งแสดงสหสัมพันธ์ (correlations) ของแต่ละอุณหภูมิการเก็บรักษา ระหว่างปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้องและข้าวสาร ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน

ตารางที่ 4.6 สหสัมพันธ์ของแต่ละอุณหภูมิการเก็บรักษาของข้าวเปลือก ระหว่างปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน

เก็บรักษาไว้ในชุดควบคุม 10 °C		2AP : $\mu\text{g/g}$	Relative 2AP	%MC	Storage time
เดือนที่ 0	2AP : $\mu\text{g/g}$	1	0.998**	-0.339	-0.873**
ถึง	Relative 2AP	0.998**	1	-0.342	-0.873**
เดือนที่ 6	%MC	-0.339	-0.342	1	0.320
	Storage time	-0.873**	-0.873**	0.320	1
เก็บรักษาไว้ในชุดควบคุม 15 °C		2AP : $\mu\text{g/g}$	Relative 2AP	%MC	Storage time
เดือนที่ 0	2AP : $\mu\text{g/g}$	1	0.998**	0.241	-0.820**
ถึง	Relative 2AP	0.998**	1	0.244	-0.824**
เดือนที่ 6	%MC	0.241	0.244	1	-0.067
	Storage time	-0.820**	0.241	-0.067	1
เก็บรักษาไว้ในชุดระบายด้วยอากาศแวดล้อม		2AP : $\mu\text{g/g}$	Relative 2AP	%MC	Storage time
เดือนที่ 0	2AP : $\mu\text{g/g}$	1	0.998**	0.449*	-0.865**
ถึง	Relative 2AP	0.998**	1	0.451*	-0.866**
เดือนที่ 6	%MC	0.449*	0.451*	1	-0.467*
	Storage time	-0.865**	-0.866**	-0.467*	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

ตารางที่ 4.7 สหสัมพันธ์ของแต่ละคุณหมุมการเก็บรักษาของข้าวเปลือก ระหว่างปริมาณสาร 2AP ในข้าวสาร ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน

เก็บรักษาไว้ในชุดควบคุม 10 °C		2AP : µg/g	Relative 2AP	%MC	Storage time
เดือนที่ 0	2AP : µg/g	1	1**	-0.828**	0.907**
ถึง	Relative 2AP	1**	1	-0.830**	0.908**
เดือนที่ 2	%MC	-0.828**	-0.830**	1	-0.972**
	Storage time	0.907**	0.908**	-0.972**	1
เดือนที่ 2	2AP : µg/g	1	1**	-0.657	-0.709*
ถึง	Relative 2AP	1**	1	-0.657	-0.709*
เดือนที่ 4	%MC	-0.657	-0.657	1	0.993**
	Storage time	-0.709	-0.709	0.993**	1
เดือนที่ 4	2AP : µg/g	1	1**	0.506	-0.840**
ถึง	Relative 2AP	1**	1	0.506	-0.840**
เดือนที่ 6	%MC	0.506	0.506	1	-2.39
	Storage time	-0.840**	-0.840**	-2.39	1
เก็บรักษาไว้ในชุดควบคุม 15 °C		2AP : µg/g	Relative 2AP	%MC	Storage time
เดือนที่ 0	2AP : µg/g	1	1**	-0.130	0.537*
ถึง	Relative 2AP	1**	1	-0.133	0.539*
เดือนที่ 4	%MC	-0.130	-0.133	1	-0.921**
	Storage time	0.537*	0.539*	-0.921**	1
เดือนที่ 4	2AP : µg/g	1	1**	0.842**	-0.833**
ถึง	Relative 2AP	1**	1	0.842**	-0.833**
เดือนที่ 6	%MC	0.842**	0.842**	1	-0.931**
	Storage time	-0.833**	-0.833**	-0.931**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

ตารางที่ 4.7 สหสัมพันธ์ของแต่ละคุณหมักการเก็บรักษาของข้าวเปลือก ระหว่างปริมาณสาร 2AP (ต่อ) ในข้าวสาร ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน

เก็บรักษาไว้ในชุดระบาย ด้วยอากาศแวดล้อม		2AP : $\mu\text{g/g}$	Relative 2AP	%MC	Storage time
เดือนที่ 0	2AP : $\mu\text{g/g}$	1	1 ^{**}	0.999 ^{**}	-1 ^{**}
ถึง	Relative 2AP	1 ^{**}	1	0.999 ^{**}	-1 ^{**}
เดือนที่ 1	%MC	0.999 ^{**}	0.999 ^{**}	1	-0.999 ^{**}
	Storage time	-1 ^{**}	-1 ^{**}	-0.999 ^{**}	1
เดือนที่ 1	2AP : $\mu\text{g/g}$	1	1 ^{**}	-0.992 ^{**}	0.981 ^{**}
ถึง	Relative 2AP	1 ^{**}	1	-0.992 ^{**}	0.981 ^{**}
เดือนที่ 2	%MC	-0.992 ^{**}	-0.992 ^{**}	1	-0.995 ^{**}
	Storage time	0.981 ^{**}	0.981 ^{**}	-0.995 ^{**}	1
เดือนที่ 2	2AP : $\mu\text{g/g}$	1	1 ^{**}	-0.908 ^{**}	-0.946 ^{**}
ถึง	Relative 2AP	1 ^{**}	1	-0.908 ^{**}	-0.946 ^{**}
เดือนที่ 6	%MC	-0.908 ^{**}	-0.908 ^{**}	1	0.974 ^{**}
	Storage time	-0.946 ^{**}	-0.946 ^{**}	0.974 ^{**}	1

^{**} Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

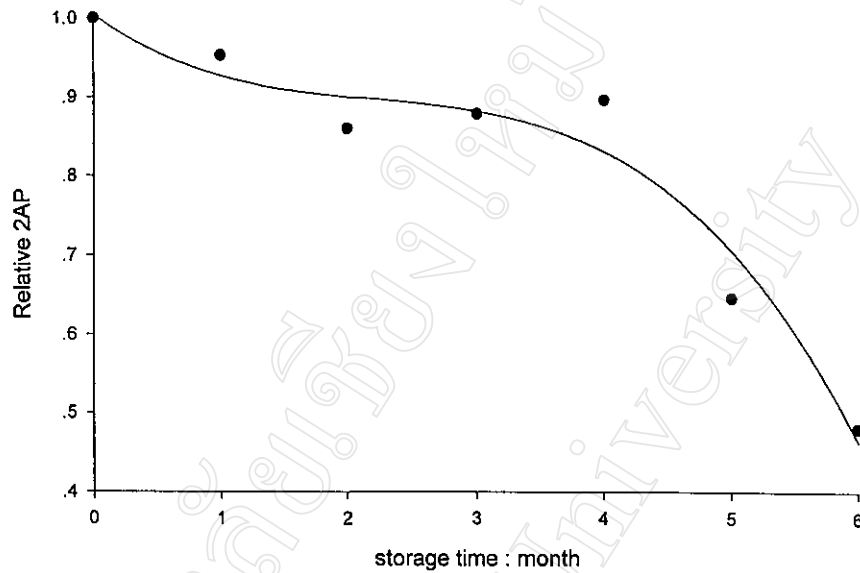
จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าไม่จะเก็บรักษาข้าวไว้ที่อุณหภูมิใดก็ตาม ปริมาณสาร 2AP ที่พบในข้าวกล้องจะมีแนวโน้มลดลงมาระยะเวลาในการเก็บที่เพิ่มขึ้น โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งเป็นลบและระยะเวลาการเก็บรักษายังมีอิทธิพลมากต่อการลดลงของปริมาณสารเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับ -1 และยังมี การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยร่วมในชุดของการระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม

จากตารางที่ 4.7 ในชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงทำการแบ่งช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ออกเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ ตั้งแต่เดือนที่ 0 ถึง 2 เดือนที่ 2 ถึง 4 และเดือนที่ 4 ถึง 6 ชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส แบ่งช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ออกเป็น 2 ช่วงด้วยกันคือ ตั้งแต่เดือนที่ 0 ถึง 4 และเดือนที่ 4 ถึง 6 และชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม แบ่งช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา ออกเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ ตั้งแต่เดือนที่ 0 ถึง 1 เดือนที่ 1 ถึง 2 และเดือนที่ 2 ถึง 6 โดยดูจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2AP ในกราฟรูปที่ 4.27 พบว่า การเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2AP และยังคงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยร่วมรวมอยู่ด้วย

เมื่อพิจารณาถึงการลดลงของปริมาณสาร 2AP ทั้งในข้าวกล้องและข้าวสารไม่ว่าจะเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิใดก็ตามพบว่า การลดลงของปริมาณของสาร 2AP ในข้าวสารมีความแปรปรวนสูง ดังเห็นได้จากตาราง 4.7 คือ มีการเพิ่มขึ้นและลดลงในระยะเวลา 4 เดือนแรกของการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการสีหรือการขัดเอารำออกทำให้เกิดความร้อนขึ้นสาร 2AP ซึ่งเป็นสารระเหยอาจจะระเหยออกมาบางส่วน ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการสีมีผลต่อการลดลงของปริมาณสาร 2AP ขั้นตอนการสีอาจเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของ 2AP ก็ได้

ดังนั้นจึงตัดปัจจัยของกระบวนการสีหรือขัดขาวออก จึงจะขอพิจารณาการลดลงของปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้องแต่เพียงอย่างเดียว เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้องของชุดควบคุมอุณหภูมิกับระยะเวลาการเก็บรักษาและการระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม

ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP กับระยะเวลาการเก็บรักษา มีความสัมพันธ์กันในลักษณะของสมการโพลีโนเมียลดังรูปที่ 4.28 และ 4.29



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP กับระยะเวลาการเก็บรักษาของชุดควบคุมอุณหภูมิ

สมการความสัมพันธ์

$$Y = 1.0045 - 0.1151X + 0.0455X^2 - 0.0069X^3$$

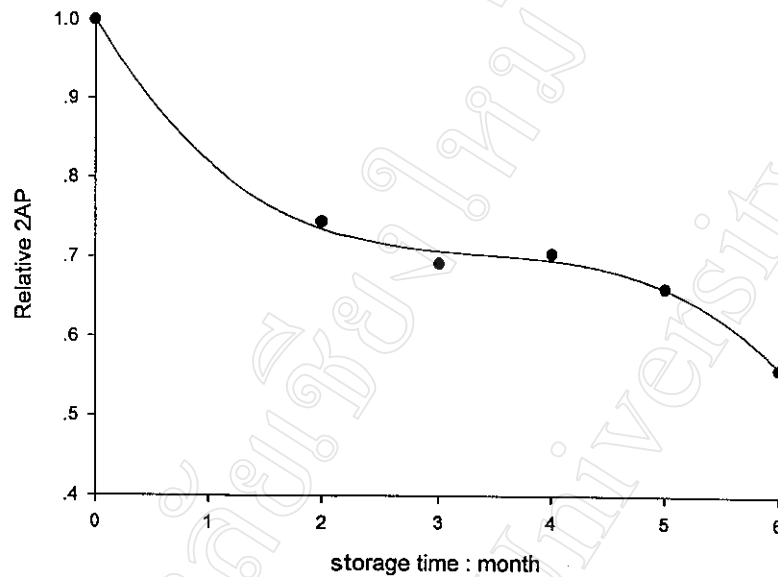
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

0.9495

เมื่อ $Y =$ Relative 2AP in brown rice at controlled temperature

$X =$ storage time , month

หมายเหตุ เนื่องจากมีการเก็บรักษาไว้ในชุดของชุดควบคุมอุณหภูมิทั้ง 10 และ 15 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) จึงทำการนำข้อมูลมาเฉลี่ยเพื่อหาความสัมพันธ์เป็นข้อมูลเพียงชุดเดียว แล้วนำมาหาความสัมพันธ์



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP กับระยะเวลาการเก็บรักษาของชุดระบายอากาศด้วยอากาศแวดล้อม

สมการความสัมพันธ์

$$Y = 1.0010 - 0.2424X + 0.0683X^2 - 0.0067X^3$$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

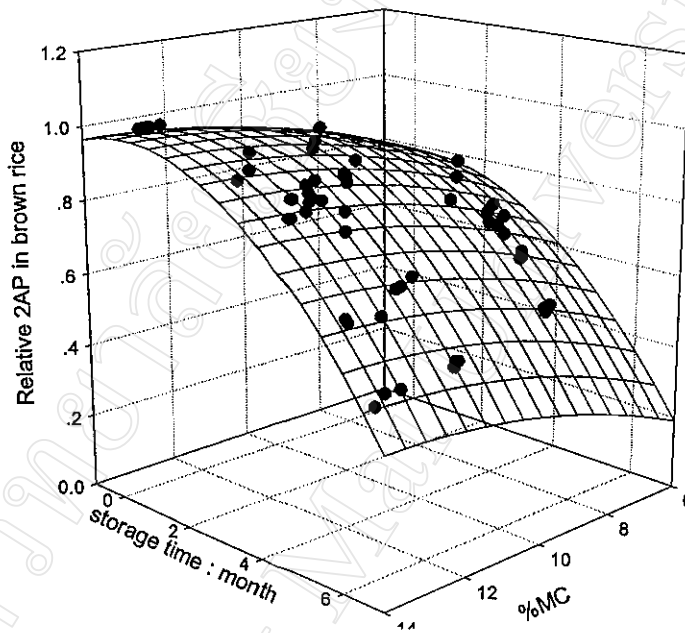
0.9912

เมื่อ Y : Relative 2AP in brown rice at ambient

X : storage time : month

หมายเหตุ เนื่องจากการเก็บรักษาไว้ในชุดระบายอากาศด้วยอากาศแวดล้อม ในเดือนที่ 1 ปริมาณสาร 2AP มีค่าสูงกว่าในเดือนที่ 0 จึงตัดข้อมูลชุดนี้ออกไป เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

จากข้อมูลข้างต้นพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจึงนำมาพิจารณาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง ความชื้นของข้าวเปลือก และระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวที่ รูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณสาร 2AP ในข้าวกล้อง ความชื้นของข้าวเปลือก และระยะเวลาการเก็บรักษา

สมการความสัมพันธ์

$$Z = 0.3609 + 0.0896X + 0.0119Y - 0.0032X^2 - 0.0139Y^2$$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)

$$0.8356$$

เมื่อ Z : Relative 2AP in brown rice

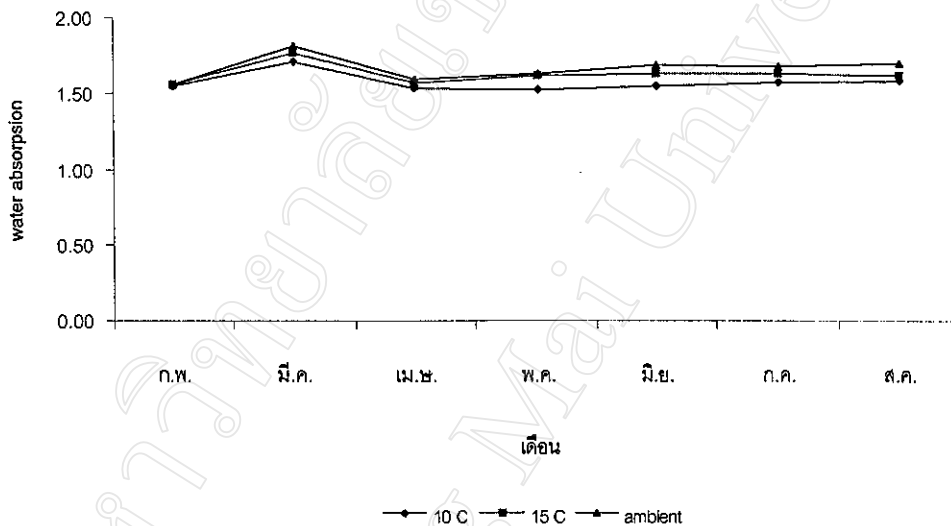
Y : storage time : month

X : %MC

คุณสมบัติในการหุงต้มของข้าวกล้องและข้าวสาร

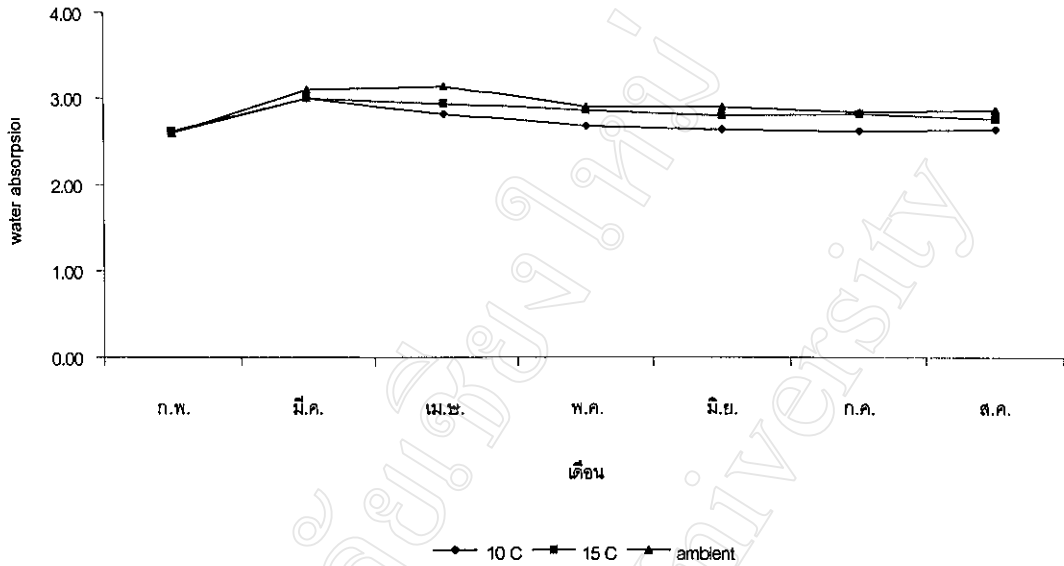
4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการดูดน้ำของข้าวกล้องและข้าวสาร

ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ในแต่ละอุณหภูมิ จากนั้นนำมาสีเป็นข้าวกล้องและข้าวสารแล้วนำมาหาปริมาณการดูดน้ำ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ในกรณีข้าวกล้องและรูปที่ 4.32 ในกรณีข้าวสาร



รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงค่า การดูดน้ำของข้าวกล้อง โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงค่า การดูดน้ำของข้าวกล้อง จะดูดซับน้ำได้มากที่สุดในเดือนที่ 1 ประมาณ 1.75 ถึง 1.80 เท่าของน้ำหนักข้าวกล้อง หลังจากนั้นจะลดลงในเดือนที่ 3 เหลือประมาณ 1.50 ถึง 1.60 เท่าของน้ำหนักข้าวกล้อง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ เฉลี่ย 1.60 ถึง 1.70 เท่า ตั้งแต่เดือนที่ 3 ถึงเดือนที่ 6



รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงค่า การดูดน้ำของข้าวสาร โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในแต่ละเดือน

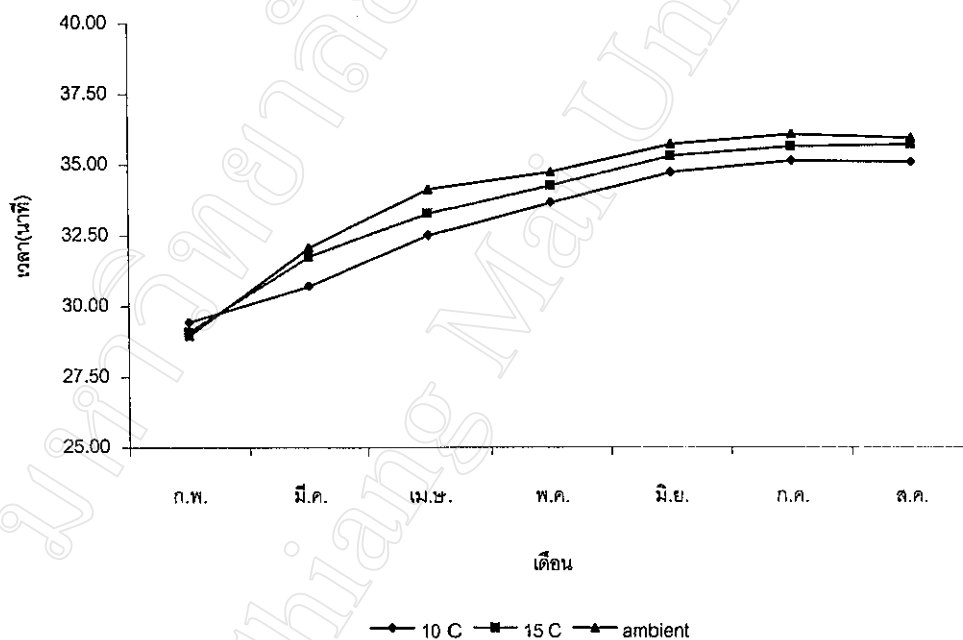
จากรูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงค่า การดูดน้ำของข้าวสาร จะดูดซับน้ำได้มากที่สุดในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 ประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักข้าวสาร จากนั้นจะลดลงเป็นปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ เฉลี่ย 2.8 ถึง 2.9 เท่า ตั้งแต่เดือนที่ 3 ถึงเดือนที่ 6 สำหรับข้าวที่เก็บรักษาโดยการระบายด้วยอากาศแวดล้อม จะดูดซับน้ำได้น้อยกว่า ตั้งแต่เดือนที่ 3 ถึง 6 ปริมาณการดูดน้ำค่อนข้างคงที่ คือ ประมาณ 2.6 เท่าของน้ำหนักข้าวสาร

เมื่อดูจากกราฟทั้งสอง จะเห็นได้ว่า ข้าวสารจะมีปริมาณการดูดน้ำได้มากกว่าข้าวกล้อง ณ เวลาเดียวกัน ซึ่งในการทดลองใช้ระยะเวลาเพื่อที่จะให้ข้าวดูดน้ำเป็นระยะเวลา 20 นาที การที่น้ำสามารถเข้าสู่เมล็ดข้าวสารได้ง่ายกว่า เพราะข้าวกล้องมีส่วนของเยื่อหุ้มผล (pericarp) ห่อหุ้ม endosperm ก็คือข้าวสารนั่นเอง ซึ่งส่วนเยื่อหุ้มนี้มีโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางไม่ให้น้ำได้เข้าสู่เมล็ดได้ง่าย (Hamaker, 1993 ; งามชื่น, 2540) ส่งผลให้ระยะเวลาในการหุงข้าวกล้องนานขึ้น ซึ่งจะกล่าวในส่วนต่อไป

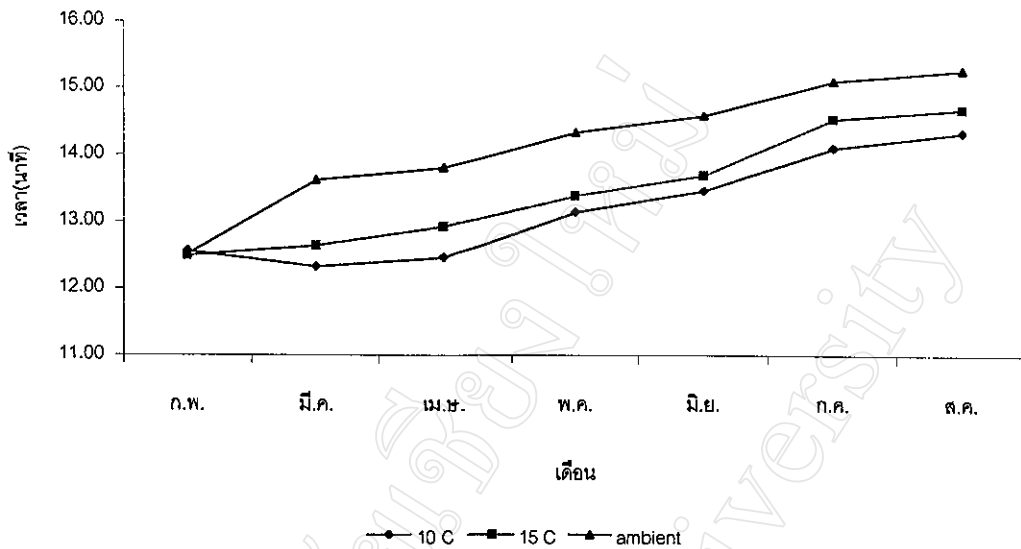
4.11 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการหุงข้าวกล้องและข้าวสาร

การหุงข้าวกล้องใช้อัตราส่วน ข้าวกล้อง : น้ำ ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร ส่วนการหุงข้าวสารใช้อัตราส่วน ข้าวสาร : น้ำ ในอัตราส่วน 1 : 1.2 โดยปริมาตร (Juliano and Perez, 1983) การหาเวลาในการหุงข้าว จะใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า (National : SR – D10HN) ขนาด 1 ลิตรที่มีระบบอุ่นอัตโนมัติ บันทึกเวลาเมื่อปุ่มหุงหยุดทำงาน

จากผลการทดลองพบว่าทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการหุงข้าว ไม่ว่าจะเป็ข้าวกล้องหรือข้าวสาร ($P < 0.01$) แสดงผลการทดลองดังรูป 4.33 สำหรับระยะเวลาในการหุงข้าวกล้อง และรูป 4.34 สำหรับระยะเวลาในการหุงข้าวสาร



รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการหุงข้าวกล้อง โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในแต่ละเดือน



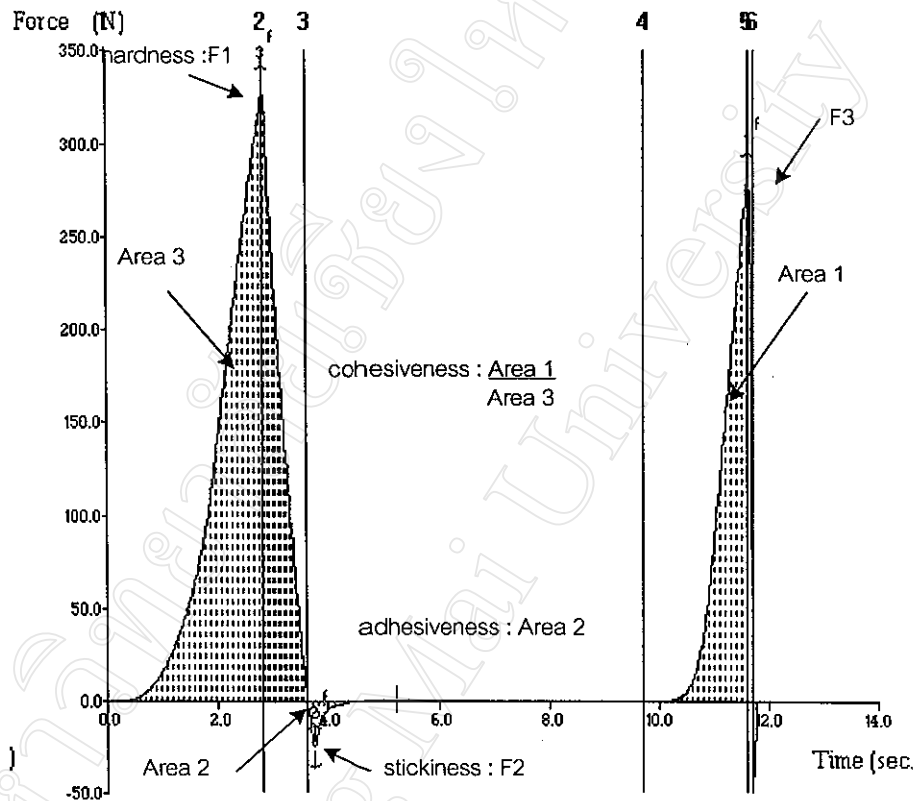
รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการหุงข้าวสาร โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 4.33 และ 4.34 ระยะเวลาที่ใช้ในการหุงข้าวจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา ($r_{\text{Cookingtimebrownrice storagetime .temp}} = 0.9252$, $r_{\text{Cookingtimericestoragetime .temp}} = 0.9498$) โดยข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยการระบายด้วยอากาศแวดล้อมจะให้ระยะเวลาในการหุงนานกว่า ข้าวที่เก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ สำหรับข้าวกล้องจะใช้ระยะเวลาในการหุงนานกว่าข้าวสาร เนื่องจากโปรตีนตรงส่วนเยื่อหุ้มผล (pericarp) จะขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาในการหุงข้าวนอกจากปัจจัยข้างต้นแล้วยังมีปริมาณอะไมโลสร่วมด้วย ($r_{\text{Cookingtime \% amylose . temp}} = 0.7370$)

ปริมาณอะไมโลสมีผลต่อระยะเวลาการหุงต้ม เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ข้าวเมื่อมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นจะดูดน้ำได้มากขึ้น จะส่งผลให้เวลาการสุกของแป้งหรืออุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) นานขึ้น ดังนั้นจึงใช้ระยะเวลาในการหุงนานขึ้น

4.12 ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวสุก (Texture Profile Analysis of Cooked Rice)

ลักษณะของเนื้อสัมผัสของข้าวสุกวัดโดยเครื่องมือ Texture analyzer : TA-XT2I ทำการวัดแบบ Texture Profile Analysis (TPA) แสดงดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 ผลการวัด Texture Profile Analysis (TPA) โดยเครื่องมือ Texture analyzer : TA-XT2I

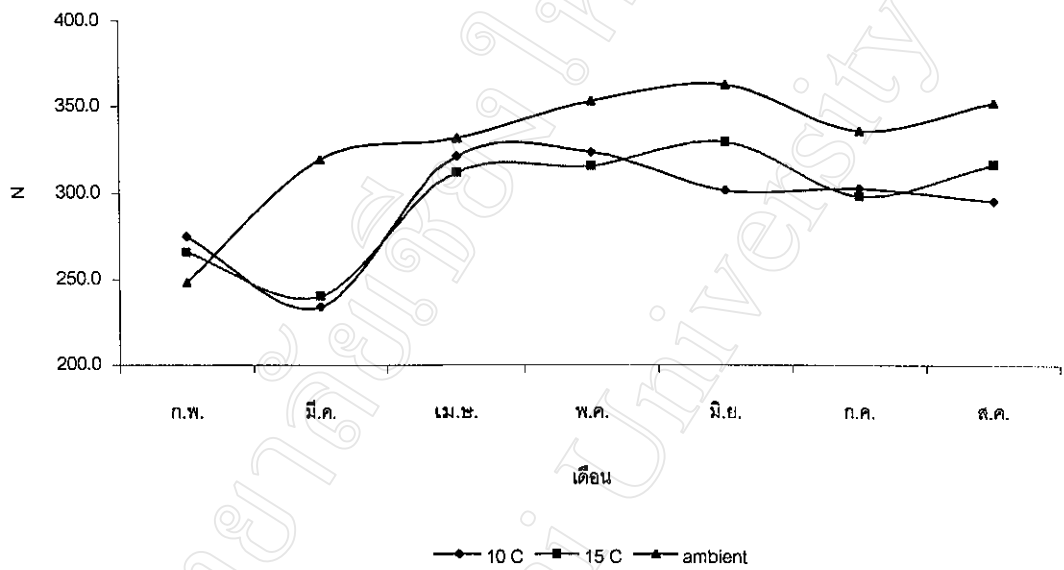
ในการทดลองทำการวัดค่าที่ใช้ ดังต่อไปนี้

- 1) Hardness : F1
- 2) Stickiness : F2
- 3) Adhesiveness : Area 2
- 4) Cohesiveness = Area1/Area2
- 5) Springiness = time diff 4:5/ time diff 1:2
- 6) Chewiness=Hardness X Cohesiveness X Springiness
- 7) Resilience = Area 2:3/ Area 1:2

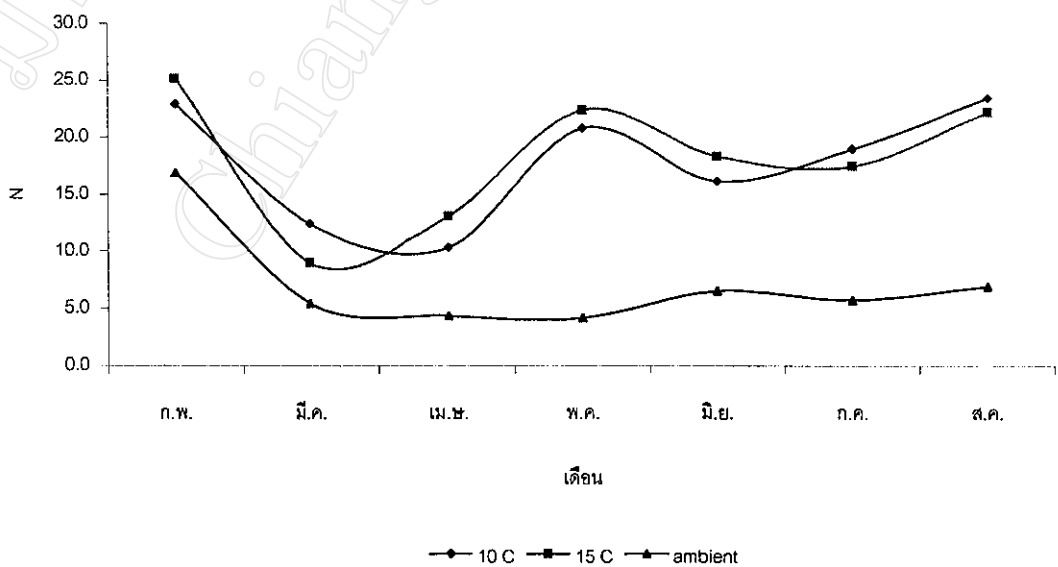
การหุงข้าวกล้องใช้อัตราส่วน ข้าวกล้อง : น้ำ ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร
 ส่วนการหุงข้าวสวยใช้อัตราส่วน ข้าวสาร : น้ำ ในอัตราส่วน 1 : 1.2 โดยปริมาตร (Juliano and Perez,1983)

4.12.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องสุก

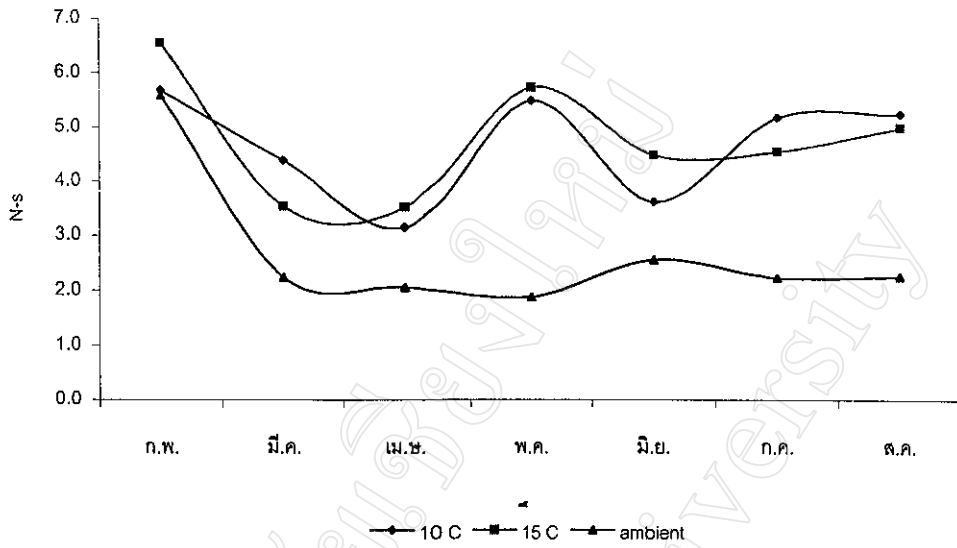
ลักษณะของเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องสุกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนแสดงดังรูปที่ 4.36, 4.37, 4.38 และ 4.39



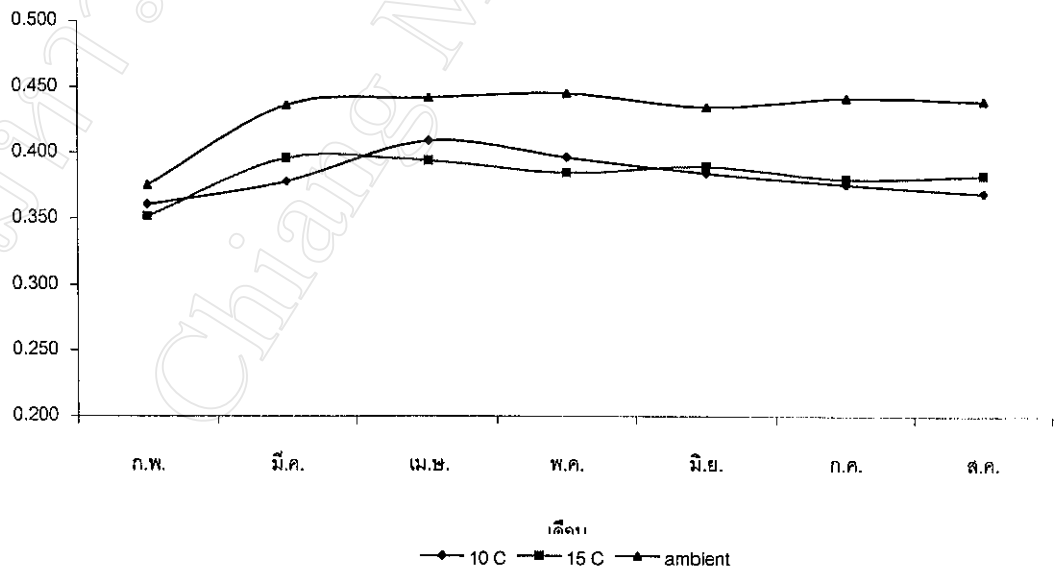
รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ



รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงค่า Stickiness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ



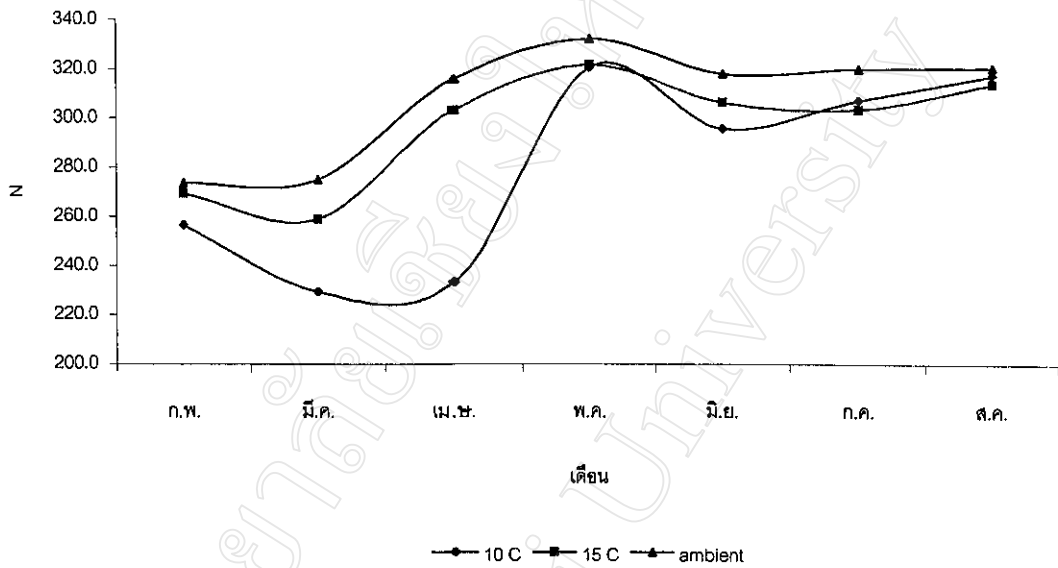
รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ



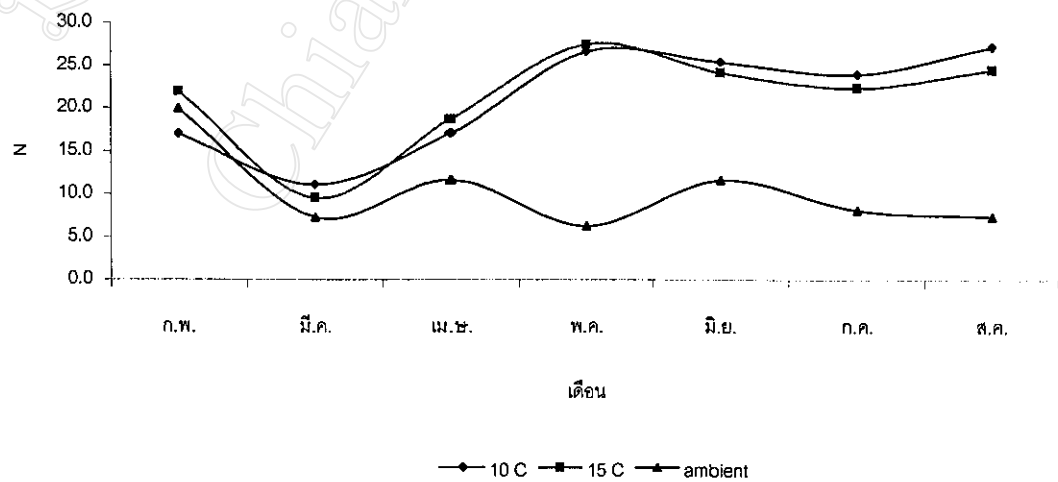
รูปที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวกล้องสุก โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่างๆ

4.12.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสวย

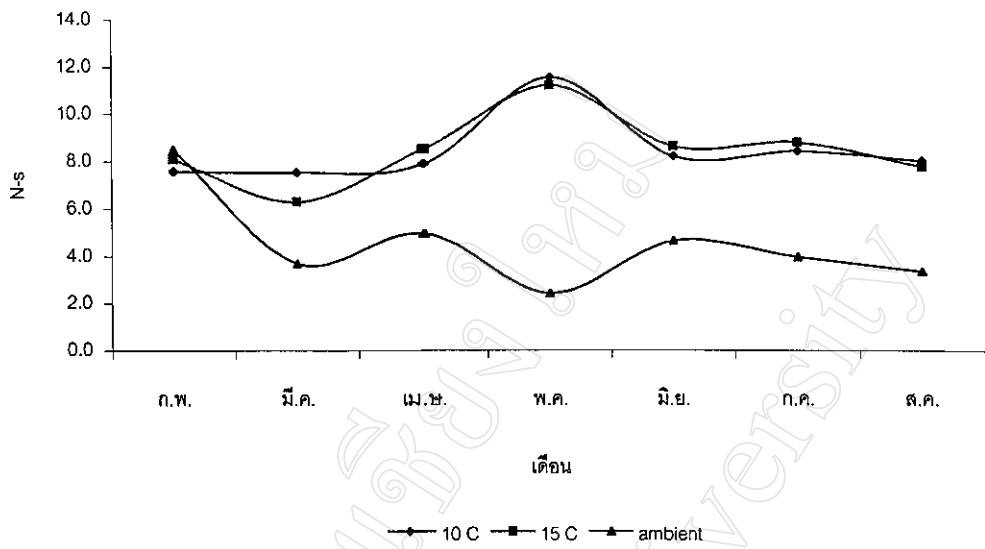
ลักษณะของเนื้อสัมผัสของข้าวสวยที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนแสดงดังรูปที่ 4.40, 4.41, 4.42 และ 4.43



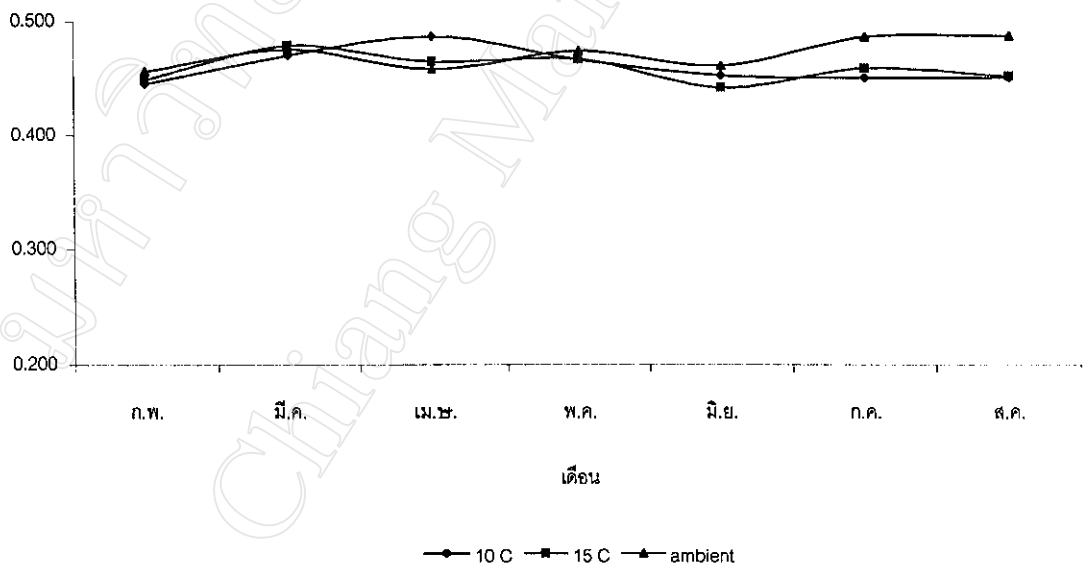
รูปที่ 4.40 การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ



รูปที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงค่า Stickiness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ



รูปที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.43 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ในแต่ละเดือนของข้าวสวย โดยเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่าง ๆ

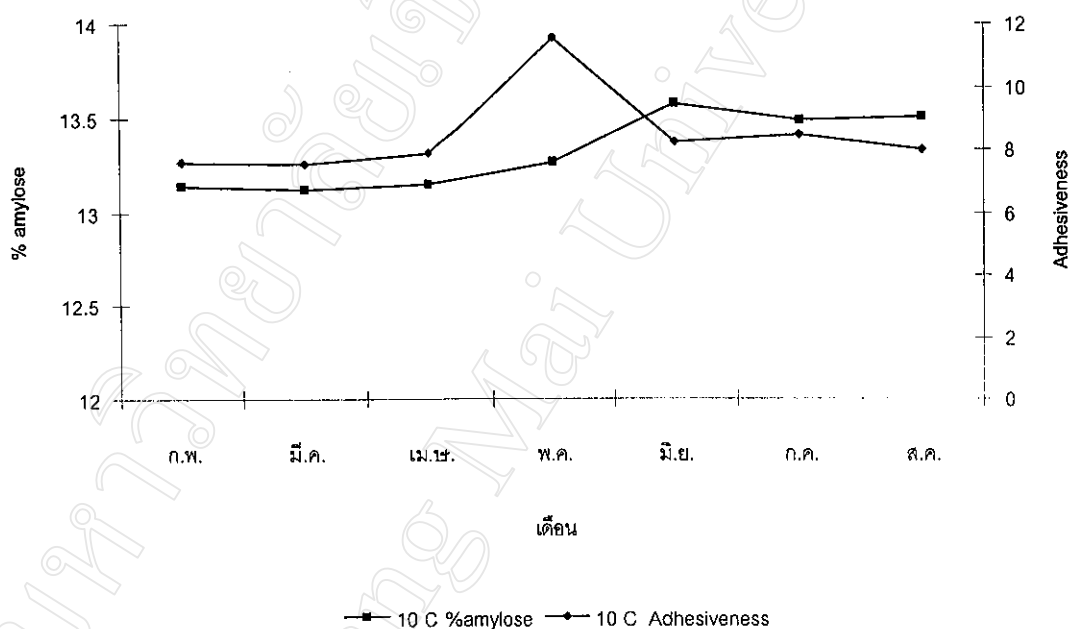
จากรูป 4.36 ถึง 4.43 พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าวเปลือกและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องสุกและข้าวสวย จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยการระบายด้วยอากาศแวดล้อม จะมีลักษณะที่แตกต่างจากข้าวเปลือกที่เก็บไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนการเก็บรักษาข้าวเปลือกในชุดควบคุมอุณหภูมิทั้ง 10 และ 15 องศาเซลเซียสไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากรูป 4.36 และ 4.40 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ของข้าวกล้องสุกและข้าวสวย พบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิที่สูงกว่าส่งผลให้ลักษณะของเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของเมล็ดข้าวสุกมีค่าสูงกว่าการเก็บรักษาไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิทั้ง 10 และ 15 องศาเซลเซียส ค่าความแข็งจะขึ้นอยู่กัระยะเวลาในการเก็บรักษาและความชื้นของข้าวเปลือก (Meullenet *et al.*, 2000) ในส่วนของข้าวสวย ค่า hardness มีความแตกต่างกันในชุดควบคุมอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ความแข็งจะเพิ่มสูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน จากนั้นจะลดลงและค่อนข้างคงที่ ตั้งแต่เดือนที่ 4 ถึง 6 แต่ในข้าวกล้องสุกไม่มีความแตกต่างกัน โดยความแข็งจะเพิ่มสูงสุดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 เดือน จากนั้นจะลดลงและค่อนข้างคงที่ ตั้งแต่เดือนที่ 2 ถึง 6 เช่นกัน ส่วนค่า ค่า hardness ของการข้าวกล้องสุกที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงกว่ามีแนวโน้มที่สูงขึ้นในตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

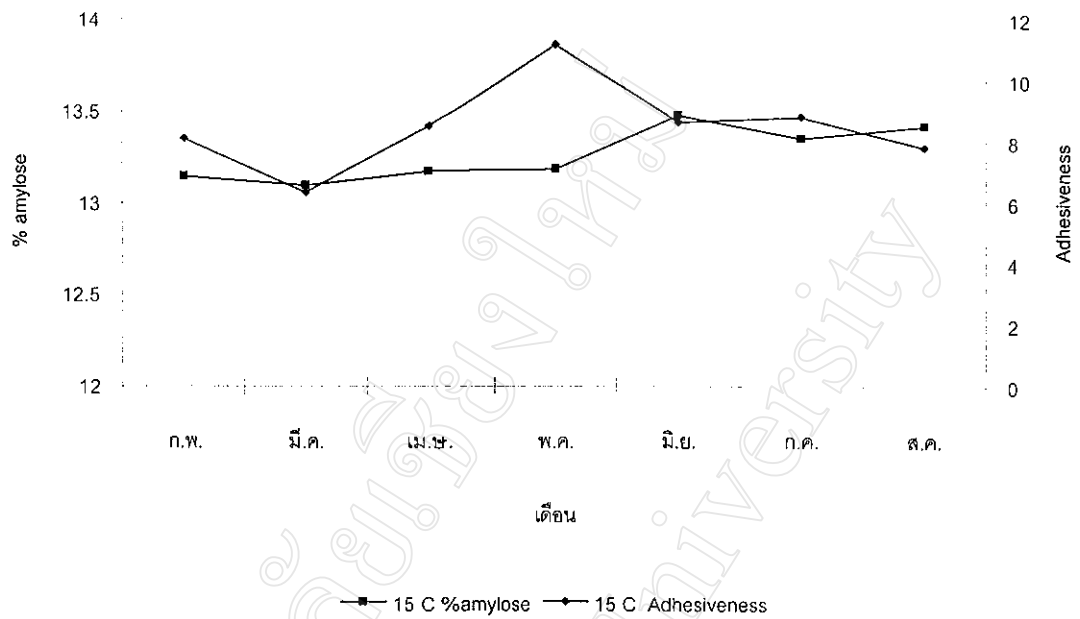
จากรูป 4.37, 4.38, 4.41 และ 4.42 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Stickiness และค่า Adhesiveness ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเหนียวและการยึดเกาะติดกันของเมล็ดข้าวสุก ของกล้องสุกและข้าวสวยพบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ข้าวที่เก็บรักษาโดยการระบายด้วยอากาศแวดล้อมจะมีค่า Stickiness และค่า Adhesiveness น้อยกว่าข้าวที่เก็บรักษาในชุดควบคุมอุณหภูมิอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยข้าวสุกจะร่วนไม่ยึดเกาะติดกันหรือเรียกว่าข้าวไม่มียาง เห็นได้ชัดเจนในข้าวกล้องสุก แสดงว่า ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า Stickiness และค่า Adhesiveness ลดลง (Tamaki *et al.*, 1993) และใน 3 เดือนแรกการเพิ่มขึ้นของค่า Stickiness และค่า Adhesiveness จะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก (Tamaki *et al.*, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Meullenet และคณะ (2000) ที่รายงานว่าข้าวจะมี Stickiness สูงสุดเมื่อเก็บเป็นเวลา 5 เดือนหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับค่า Adhesiveness ซึ่งเป็นการวัดงานที่ใช้ในการดึงหัววัดถอยกลับหรือใช้แทนความเหนียว ของตัวอย่าง ข้าวที่เก็บรักษาโดยการระบายด้วยอากาศแวดล้อมจะสูญเสียความเหนียวตั้งแต่เดือนแรกของการเก็บโดยจะมีค่า Adhesiveness เหลืออยู่ประมาณ 50% เท่านั้น ทั้งในข้าวกล้องสุกและข้าวสวย ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงค่า Stickiness และค่า Adhesiveness ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกในการเก็บรักษา

จากรูป 4.39 และ 4.43 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness คือแรงยึดเกาะกันภายในของเนื้อสัมผัส ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่า Hardness ของข้าวกล้องสุกและข้าวสวย ที่กล่าวในขั้นต้น (Champagne *et al.*, 1998) โดยจะเพิ่มขึ้นสูงสุดใน 2 เดือนแรกของการเก็บรักษาหลังจากนั้นจะคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา โดยข้าวที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงกว่าจะมีค่า Cohesiveness มากกว่า

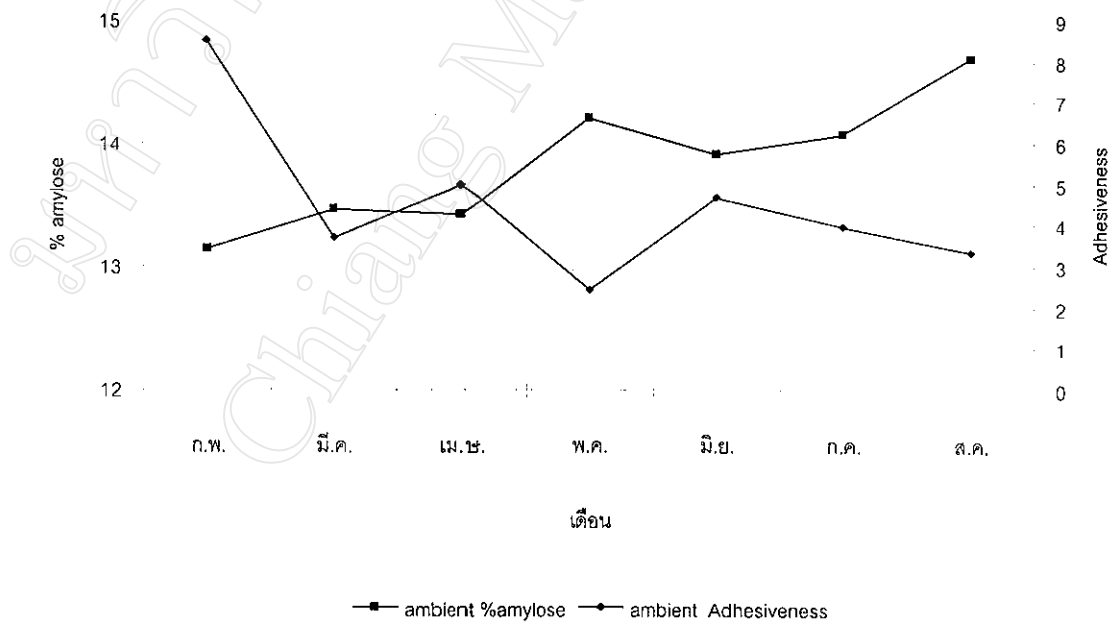
จากข้อมูลลักษณะของเนื้อสัมผัสของข้าวสวย พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณอะไมโลส (Okadame *et al.*, 1999 ; Okadame *et al.*, 2002) เนื่องจาก ปริมาณอะไมโลสเป็นตัวกำหนดลักษณะของเนื้อสัมผัสของข้าวสุก ถ้าข้าวสารที่มีอะไมโลสสูงข้าวสุกมักนุ่มและแข็งกว่าอะไมโลสปานกลางและต่ำตามลำดับ ข้าวอะไมโลสสูงในขณะหุงต้มจะดูดน้ำและขยายตัวได้มากกว่าข้าว ข้าวหอมมะลิจัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ประมาณร้อยละ 10 - 19 ข้าวสุกจึงนุ่มและเหนียว ดังนั้นค่า Adhesiveness ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเหนียวของลักษณะจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสในข้าว ($r_{\% \text{amylose Adhesiveness} \cdot \text{time}} = -0.7715$) ดังรูปที่ 4.44 ,4.45 และ 4.46



รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสในข้าว Adhesiveness ของข้าวสุก และระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสในข้าว Adhesiveness ของข้าวสุก และระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสในข้าว Adhesiveness ของข้าวสุก และระยะเวลาการเก็บรักษา ของชุดระบายความร้อนด้วยอากาศแวดล้อม

เมื่อทราบว่าปริมาณอะไมโลสในข้าวมีความสัมพันธ์กับค่าของลักษณะของเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะ Adhesiveness ของข้าวสุก ดังนั้นจึงนำค่าที่ได้จากการวัดลักษณะของเนื้อสัมผัส และแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยโปรแกรม Texture expert มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้วิธี multiple regression analysis โดย โปรแกรม SPSS 10.0 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสกับค่าที่ได้จากการวัดดังต่อไปนี้

$$Y = 26.946 - 0.0799X_1 - 40.345X_2 + 18.240X_3 - 0.0395X_4 - 0.179X_5 + 0.192X_6 - 1.010X_7 + 0.01256X_8 - 10.343X_9 + 0.03124X_{10}$$

$$R^2 = 0.807$$

Std error of the estimate 0.19992

Y : % Amylose

X₁: Adhesiveness

X₂: Cohesiveness

X₃: Resilience

X₄: Force 3

X₅: Area 2 : 3

X₆: Area 4 : 6

X₇: time difference 4 : 5

X₈: Chewiness

X₉: 1/Stickiness

X₁₀: Hardness/Stickiness