สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์การทดลอง

4.1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP n-hexanal และTMP ด้วยเทคนิค GC-MS

4.1.1 ผลการศึกษาโปรแกรมอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกสาร 2AP n-hexanal และ TMP (สารมาตรฐานภายในที่ใช้ในการสกัดสารระเหยจากข้าวด้วยเทคนิค SPME)

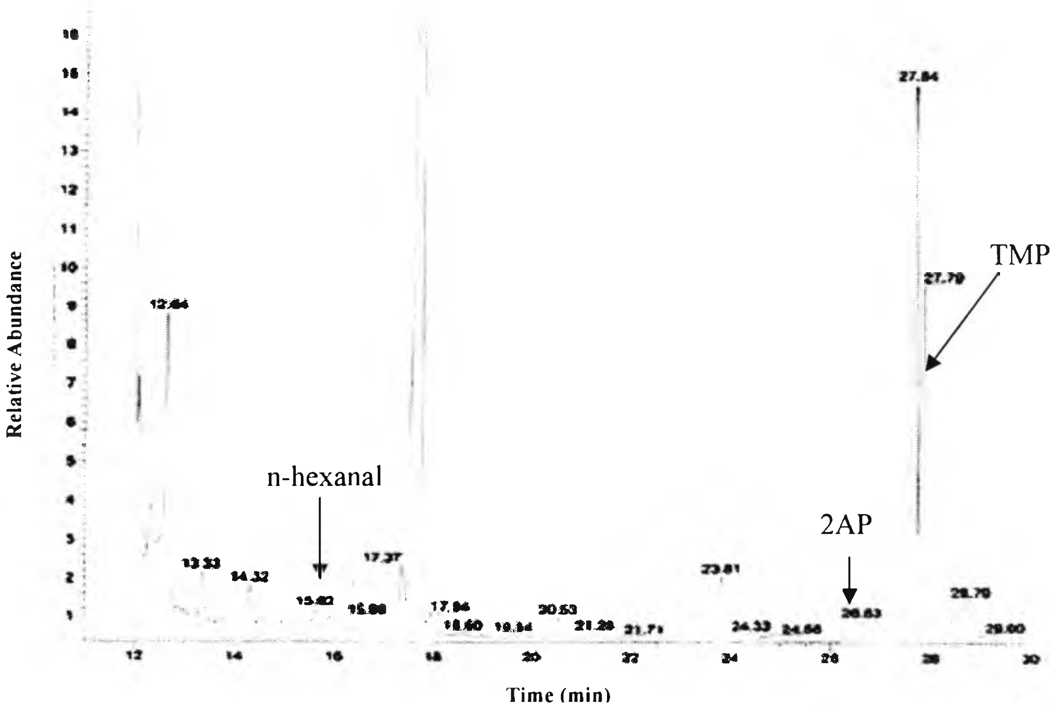
งานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารระเหยทั้งสามออกจากกันด้วยเวลาการแยกที่น้อยที่สุด เพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละตัว จากการทดลองพบว่า สารระเหยที่แยกด้วยโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 1 พบพีคของ n-hexanal 2AP และ TMP ที่เวลารีเทนชัน (t_r) 15.62 26.63 และ 27.79 นาทีตามลำดับ (รูปที่ 4.1) ซึ่งแต่ละพีคสามารถแยกจากกันได้ดี และใช้เวลาในการแยกสารทั้งหมด 41 นาที (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเป็นเวลาที่นานเกินไป ในการตั้งโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 2 จึงเพิ่มอัตราการเพิ่มอุณหภูมิใน ramp ที่ 1 และ 2 จาก 2°C/min และ 3°C/min เป็น 3°C/min และ 4°C/min ตามลำดับ เพื่อเร่งสาร n-hexanal 2AP และ TMP ให้ออกมาเร็วขึ้น เมื่อศึกษาผลของโครมาโทแกรมของสารระเหยที่แยกด้วยโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 2 (รูปที่ 4.2) พบว่า พีคของสารทั้งสามแยกจากกันได้ดีมี t_r เป็น 11.71 20.58 และ 21.60 นาที แต่ก็ยังใช้เวลาในการแยกทั้งหมดถึง 33 นาที (ตารางที่ 4.1) โปรแกรมอุณหภูมิที่ 3 จึงเพิ่มอัตราการเพิ่มอุณหภูมิใน ramp ที่ 2 และ 3 จาก 4°C/min และ 5°C/min เป็น 5°C/min และ 10°C/min ตามลำดับ แต่ไม่เพิ่มใน ramp ที่ 1 เพราะไม่ต้องการให้พีคของ n-hexanal ออกมาซ้อนทับกับพีคของตัวทำละลาย

เมื่อศึกษาผลของโครมาโทแกรมของสารระเหยที่แยกด้วยโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 3 (รูปที่ 4.3) พบว่า พีคของสาร 2AP กับ TMP ออกมาเร็วขึ้นมี t_r เท่ากับ 19.92 และ 20.67 นาทีตามลำดับ และใช้เวลาในการแยกสารทั้งหมด 25 นาที (ตารางที่ 4.1) โปรแกรมอุณหภูมิที่ 4 จึงปรับโดยการเพิ่มอัตราการเพิ่มอุณหภูมิใน ramp ที่ 3 จาก 10°C/min เป็น 20°C/min เมื่อศึกษาผลของโครมาโทแกรมที่ใช้โปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 4 (รูป 4.4) พบว่า พีคของสาร 2AP กับ TMP มี t_r เท่ากับ 19.93 และ 20.68 นาที ซึ่งเวลาใกล้เคียงกับเวลารีเทนชันที่ได้จากการใช้โปรแกรมอุณหภูมิที่ 3 แต่เวลาในการแยกสารทั้งหมดลดลงเป็น 22 นาที (ตารางที่ 4.1) เพราะฉะนั้นจึงเลือกโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 4 ที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ 3 ช่วง ช่วงแรกจากอุณหภูมิ 45°C ถึง 80°C ช่วงที่ 2 จากอุณหภูมิ 80°C ถึง 120°C และช่วงที่ 3 จากอุณหภูมิ 120°C ถึง 180°C โดยแต่ละช่วงอุณหภูมิมีอัตราการเพิ่มเป็น 3

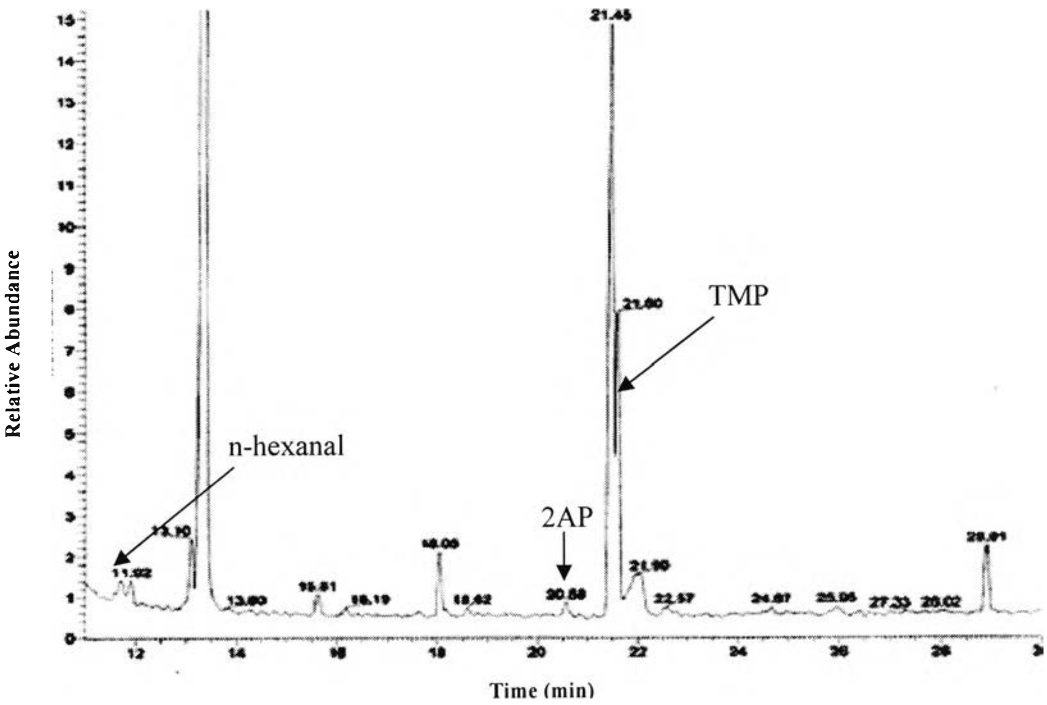
5 และ 20 °C/min มาใช้ในงานวิเคราะห์ต่อไปเพราะเป็นภาวะที่แยกสารระเหยออกจากกันด้วยเวลาที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปเวลารีเทนชันของสาร n-hexanal, 2AP และ TMP และเวลาที่ใช้ในการแยกสารทั้งหมดที่ได้มาจากการใช้โปรแกรมอุณหภูมิทั้ง 4 แบบ

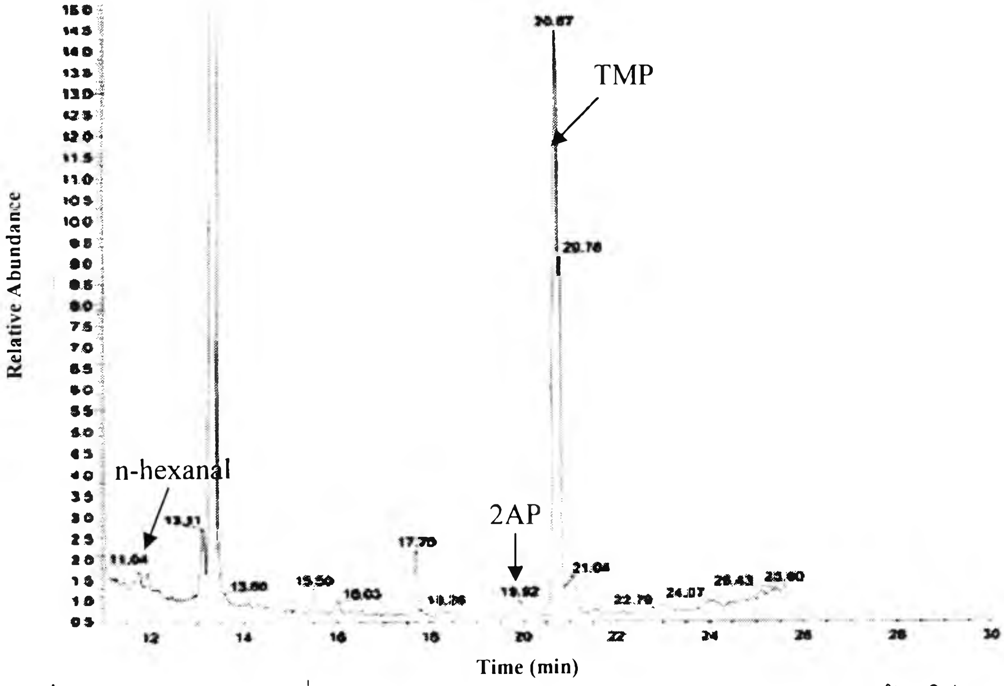
โปรแกรมอุณหภูมิ	$t_{R\ n\text{-}Hexanal}$ (นาที)	$t_{R\ 2AP}$ (นาที)	$t_{R\ TMP}$ (นาที)	เวลาในการแยกสารทั้งหมด (นาที)
1	15.62	26.63	27.79	41
2	11.71	20.58	21.60	33
3	11.78	19.92	20.67	25
4	11.40	19.93	20.68	22



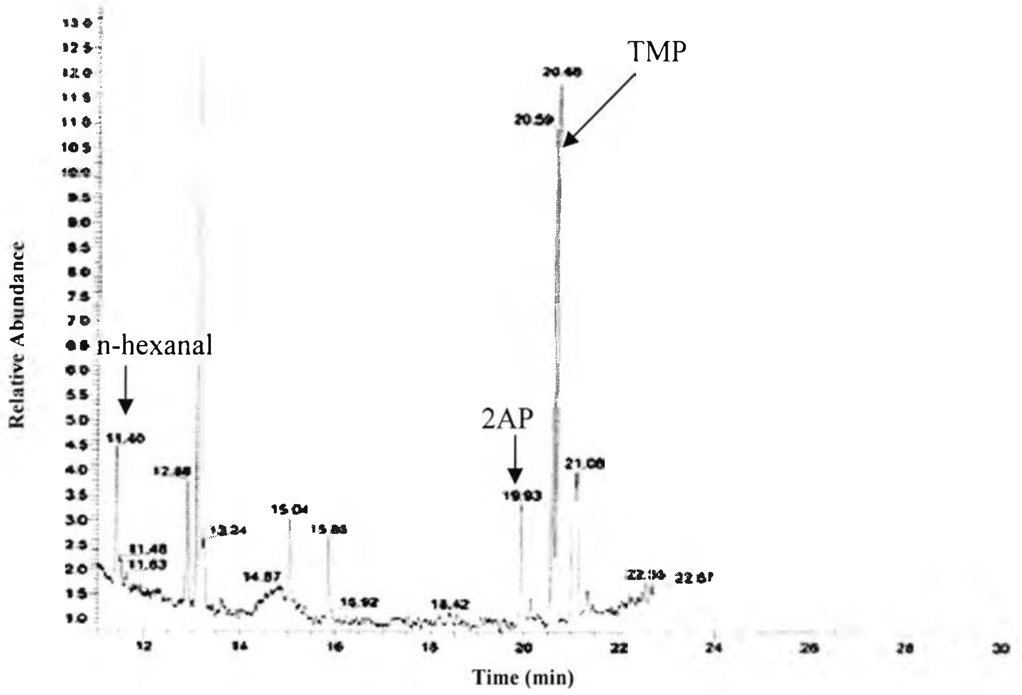
รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสาร n-hexanal, 2AP และ TMP ด้วยโปรแกรมอุณหภูมิ แบบที่ 1



รูปที่4.2 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสาร n-hexanal, 2AP และ TMP ด้วยโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 2



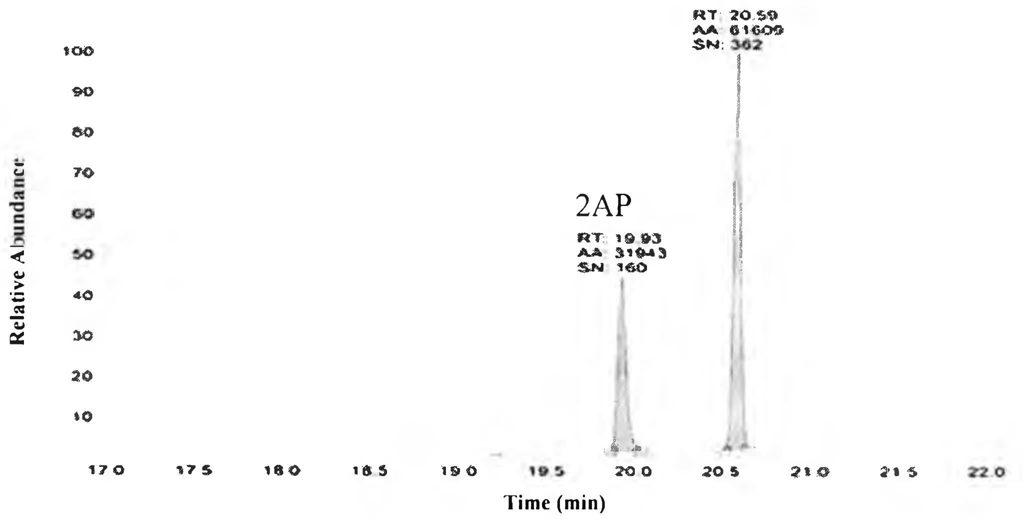
รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสาร n-hexanal, 2AP และ TMP ด้วยโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 3



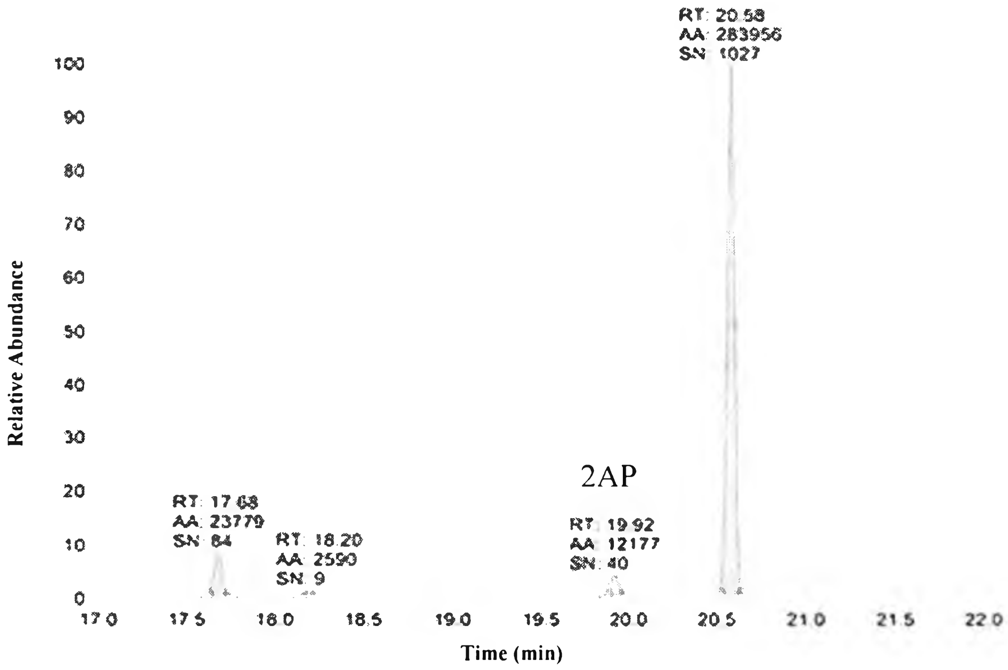
รูปที่ 4.4 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสาร n-hexanal, 2AP และ TMP ด้วยโปรแกรมอุณหภูมิแบบที่ 4

4.1.2 ผลการเลือกช่วงมวลต่อประจุ (mass range) ที่เหมาะสม

จากโครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารระเหยด้วยเครื่อง GC-MS โดยตั้งช่วงมวลต่อประจุเท่ากับ 35-200 amu (รูปที่ 4.5) พบว่า พีคของ 2AP มี signal to noise (SN) สูงกว่า SN ของพีคของสารที่ได้จากการตั้งช่วงมวลต่อประจุเท่ากับ 35-600 amu เป็น 4 เท่า (รูปที่ 4.6) เพราะว่าเมื่อเลือกช่วงมวลต่อประจุแคบ ทำให้การเก็บมวลของสารรบกวนลดลง ส่งผลให้พีคของ 2AP แยกตัวออกจากสารรบกวนได้ดีขึ้น ค่า SN จึงมีค่าสูงขึ้น ซึ่ง SN เป็นค่าที่บอกถึง sensitivity ของเครื่อง โดยค่า SN สูงหมายถึงมี sensitivity สูง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พีคของ 2AP ที่ได้จากการแยกสารระเหยโดยช่วงมวลต่อประจุเท่ากับ 35-600 amu ไม่แคบ (sharp) เหมือนพีคของ 2AP ที่ได้จากการตั้งช่วงมวลต่อประจุเท่ากับ 35-200 amu เพราะการเลือกช่วงมวลต่อประจุกว้าง ทำให้ต้องเพิ่มเวลาในการเก็บบันทึกมวลในแต่ละครั้ง ส่งผลให้ความถี่ในการเก็บมวลลดลง พีคที่ได้จึงกว้าง (broad) เมื่อพีคกว้างจะทำให้พีคที่เกิดขึ้นไปซ้อนทับ (overlab) กับพีคของสารอื่นที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้การประมวลผลเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงเลือกช่วงมวลต่อประจุเท่ากับ 35-200 amu ที่ให้ sensitivity สูงมาใช้ในงานวิเคราะห์ขั้นต่อไป



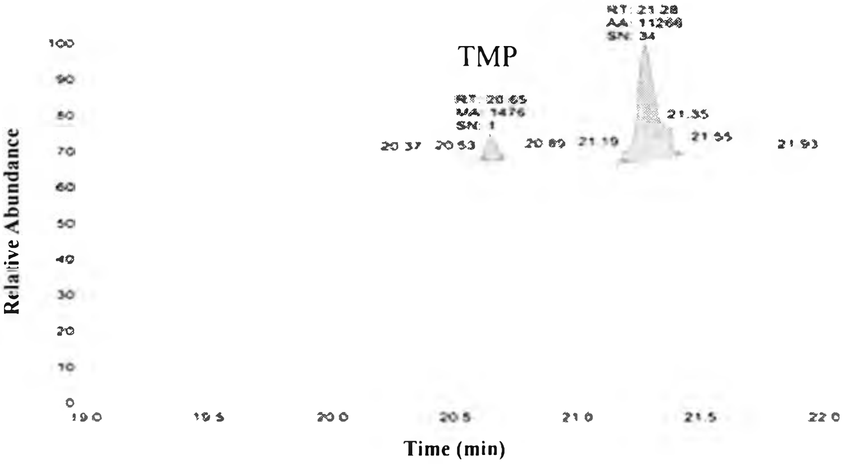
รูปที่ 4.5 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารระเหยด้วยเครื่อง GC-MS โดยตั้งช่วงมวลต่อประจุเท่ากับ 35-200 amu



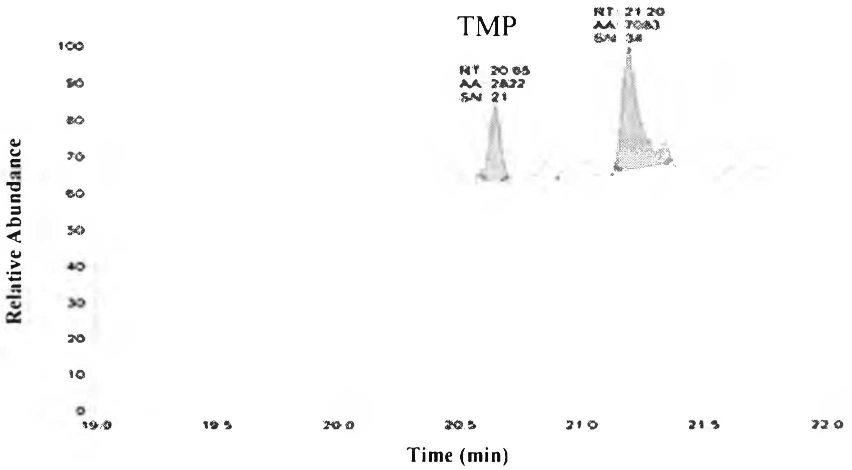
รูปที่ 4.6 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารระเหยด้วยเครื่อง GC-MS โดยตั้งช่วงมวลต่อประจุเท่ากับ 35-600 amu

4.1.3 ผลการเลือก liner

liner เป็นท่อแก้วกลวงที่ใส่อยู่ใน injection port ทำหน้าที่กักเก็บไอของสารตัวอย่างก่อนลง column จากการทดลองพบว่า พีคของสาร TMP ที่ได้จากการแยกสารระเหยด้วยเครื่อง GC-MS ที่ injection port ใส่ splitless liner มี SN เท่ากับ 1 (รูปที่ 4.7) ซึ่งการที่มี SN น้อยกว่า 3 นี้ ทางทฤษฎีจะไม่ยอมรับว่าเป็นพีค (มงคล รายะนาคร, 2537) เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้จากการใช้ SPME liner ดังแสดงในโครมาโทแกรมรูปที่ 4.8 พบว่า TMP มี SN เท่ากับ 21 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้ splitless liner ถึง 21 เท่า เนื่องจาก SPME liner เป็นท่อแก้วกลวงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า splitless liner ทำให้ไอสารระเหยกระจายได้น้อย จึงมีไอสารระเหยเข้าคอลัมน์มาก ทำให้ SN สูง ดังนั้นจึงเลือก SPME liner ซึ่งให้ sensitivity สูงมาใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป



รูปที่ 4.7 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารระเหยด้วยเครื่อง GC-MS ที่ใช้ splitless liner

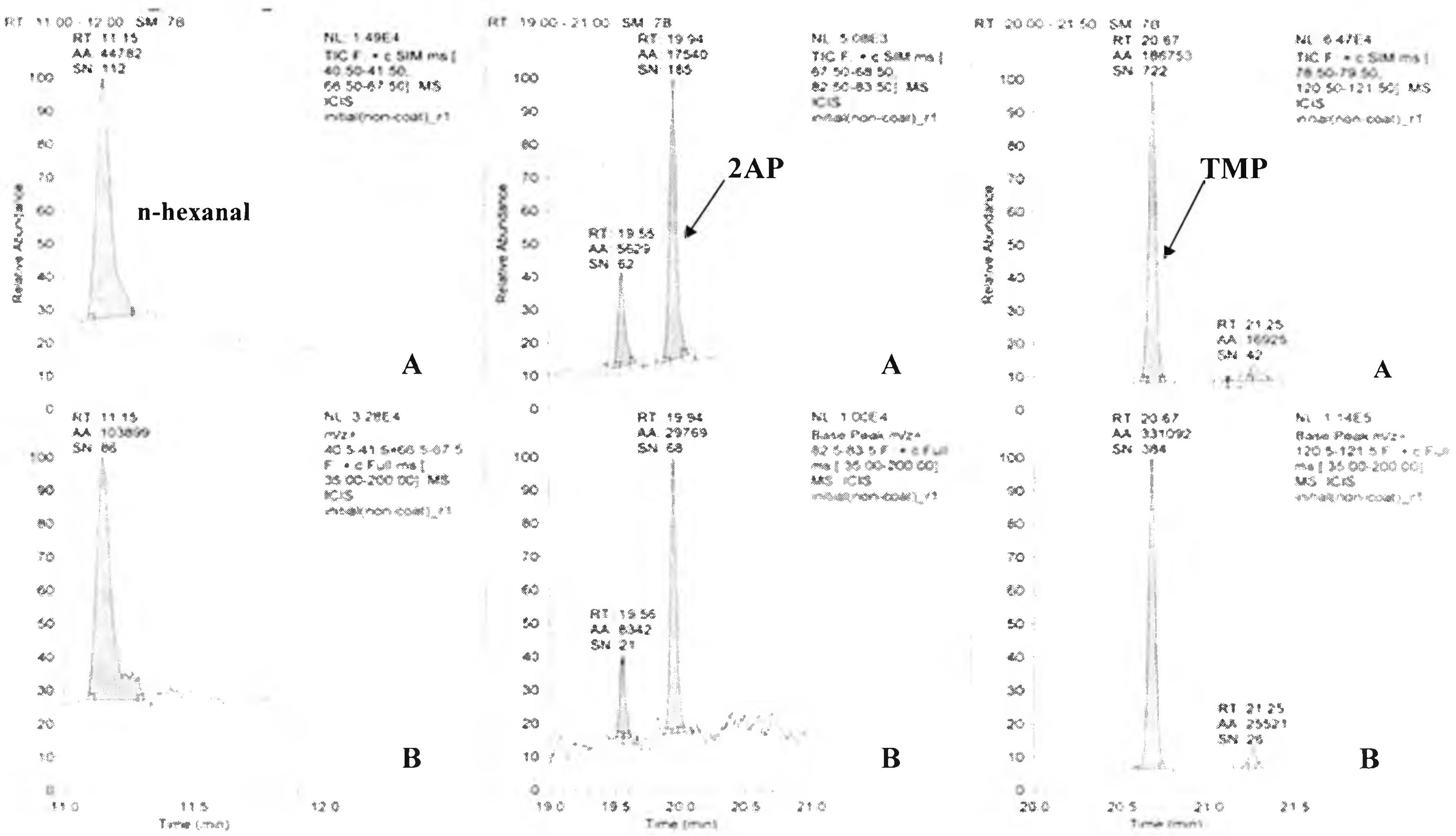


รูปที่ 4.8 โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารระเหยด้วยเครื่อง GC-MS ที่ใช้ SPME liner

4.1.4 ผลการศึกษา scan mode ที่เหมาะสม

พีคของสาร n-hexanal 2AP และ TMP ที่ผ่านการแยกด้วยเครื่อง GC-MS และการเก็บมวลแบบ full scan ให้พื้นที่ใต้พีคมากกว่าพื้นที่ใต้พีคของสารทั้งสามที่เก็บมวลแบบ SIM ประมาณ 2 เท่า (รูปที่ 4.9) เพราะว่าการเก็บมวลแบบ full scan เป็นการเก็บมวลทั้งหมด ทำให้พื้นที่ใต้พีคมากแต่การเก็บมวลแบบ SIM ซึ่งเลือกเก็บเฉพาะมวลที่เลือกไว้ 2 มวล(มวลเอกลักษณ์)ทำให้พื้นที่ใต้พีคน้อย จากการทดลองยังพบอีกว่า พีคของสาร n-hexanal 2AP และ TMP ที่ผ่านการแยกด้วยเครื่อง GC-MS และการเก็บมวลแบบ SIM ให้ SN มากกว่า SN ของพีคของสารทั้งสามที่เก็บมวลแบบ full scan ประมาณ 2 เท่า เนื่องจากการเก็บมวลแบบ full scan เป็นการเก็บมวลทั้งหมดซึ่งรวมถึงมวลที่เป็นสารรบกวนด้วย ดังนั้นการเก็บมวลแบบ full scan จึงให้ SN ต่ำ ในขณะที่ SIM ให้ SN สูง เพราะ SIM เป็นการเลือกมวลที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของสารนั้นๆ ไม่เลือกมวลที่มาจากสารรบกวน

การทดลองนี้จึงเลือก full scan mode เป็น mode ที่ใช้ดู mass spectrum สมบูรณ์ของสารที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อใช้เทียบกับ mass spectrum ของสารมาตรฐานในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative) และเลือก SIM mode เป็น mode ใช้วิเคราะห์สารเชิงปริมาณ (quantitative)



รูป 4.9 โครมาโทแกรมของสารระเหยที่แยกด้วยเครื่อง GC-MS โดย A คือ การเก็บมวลแบบ SIM และ B คือ การเก็บมวลแบบ full scan

4.2 **ผลการสกัดสาร 2AP และ n-hexanal จากเมล็ดข้าวด้วย SPME และการวิเคราะห์ปริมาณ 2AP และ n-hexanal ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS**

เทคนิค SPME จัดเป็น dynamic headspace sampling ประเภทหนึ่ง ที่มีการสกัดสารระเหยจาก headspace ของตัวอย่างด้วยตัวดูดซับ (absorbent) เมื่อนำตัวดูดซับออกจาก headspace ของตัวอย่างแล้ว จากนั้นทำให้สารระเหยหลุดออกจากตัวดูดซับโดยการให้ความร้อน ขณะเดียวกันสารระเหยจะถูกวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิค GC-MS ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การสกัดสาร 2AP และ n-hexanal ในข้าวด้วยเทคนิค SPME ตามวิธีของ Wongpornchai และคณะ (2004) ในการสกัดสาร 2AP และ n-hexanal จากข้าวหอมสุพรรณบุรีและวิเคราะห์สารระเหยจากข้าวด้วยเทคนิค SPME-GC-MS งานวิจัยเลือกใช้ SPME fiber ชนิด 50μm divinylbenzene (DVB)/30 μm Carboxen /polydimethylsiloxane (PDMS) Stable Flex ซึ่งสามารถ absorb กลิ่นได้ทั้ง volatile และ semivolatiles ที่มี C3-C20 มวลโมเลกุลอยู่ระหว่าง 40-275

จากการทดลองพบว่าพีคของ n-hexanal, 2AP และ TMP มี t_r เท่ากับ 11.15, 19.94 และ 20.67 นาที และไม่ซ้อนทับกับสารตัวอื่น (รูปที่ 4.10) และสามารถยืนยันว่า peak ที่ได้เป็นสาร n-hexanal 2AP และ TMP ได้โดยดูจาก mass spectrum ของ n-hexanal 2AP และ TMP ซึ่งสกัดมาจากตัวอย่างข้าวเทียบได้ดีกับ mass spectrum ของสารมาตรฐาน n-hexanal 2AP และ TMP ที่วิเคราะห์ภายใต้ภาวะเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 4.11 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ โดย mass spectrum ของสารมาตรฐาน n-hexanal 2AP และ TMP ให้ molecular ion และ fragment ions อื่นๆ ดังนี้

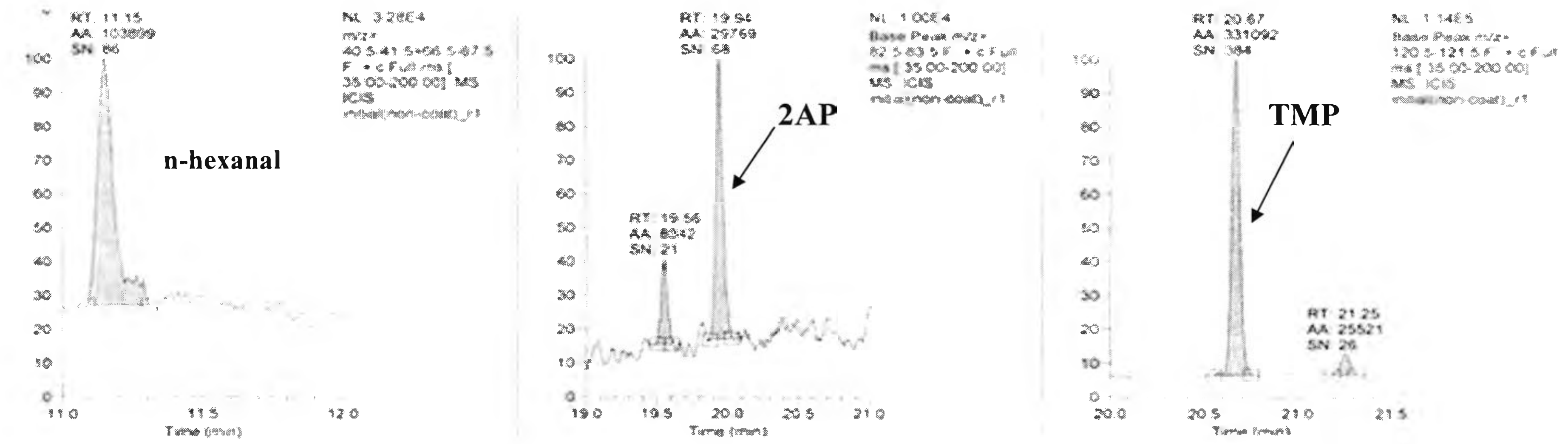
สารมาตรฐาน	molecular ion (m/z*)	fragment ions (m/z)
n-hexanal	-	82, 73, 67, 57, 56, 41(100)
2AP	111	93, 83(100), 69, 68, 55, 43
TMP	121(100)	120, 106, 93, 80, 79, 77

*m/z=mass per charge

การหาปริมาณของสาร n-hexanal, 2AP และ TMP ได้เลือกใช้ SIM mode ที่จะเลือกเฉพาะบางมวลที่เป็นเอกลักษณ์ของสาร เพื่อช่วยเพิ่ม SN ทำให้การหาปริมาณของสารตัวอย่างไม่ถูกรบกวนจากสารปนเปื้อนที่มาจากตัวอย่างและ column โดยการทดลองนี้เลือกมวลที่เป็น base peak (มวลที่มี relative abundance เท่ากับ 100) 1 มวล กับมวลที่มี relative abundance รองลงมาอีก 1 มวล รวมทั้งสิ้น 2 มวล ดังนี้

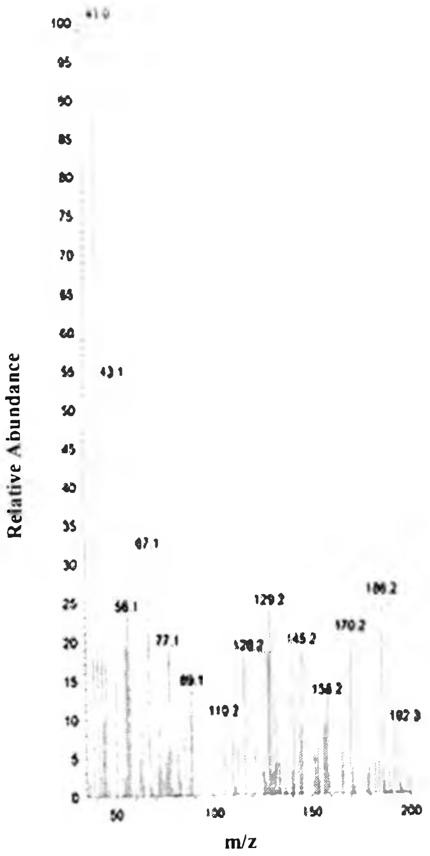
สารประกอบ	Base peak	มวลที่มี relative abundance รองลงมา
n-hexanal (100 Da)	41(100)	67(32)
2AP (111 Da)	83(100)	68(15)
TMP (121 Da)	121(100)	79(37)

โดยตัวอย่างของ mass spectrum ของสาร TMP ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS โดยใช้ SIM mode แสดงในรูปที่ 4.14 เห็นได้ว่า mass spectrum ที่ได้เป็น mass spectrum ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเครื่องจะทำการคัดเลือกมวลเฉพาะ fragment ที่ได้เลือกไว้

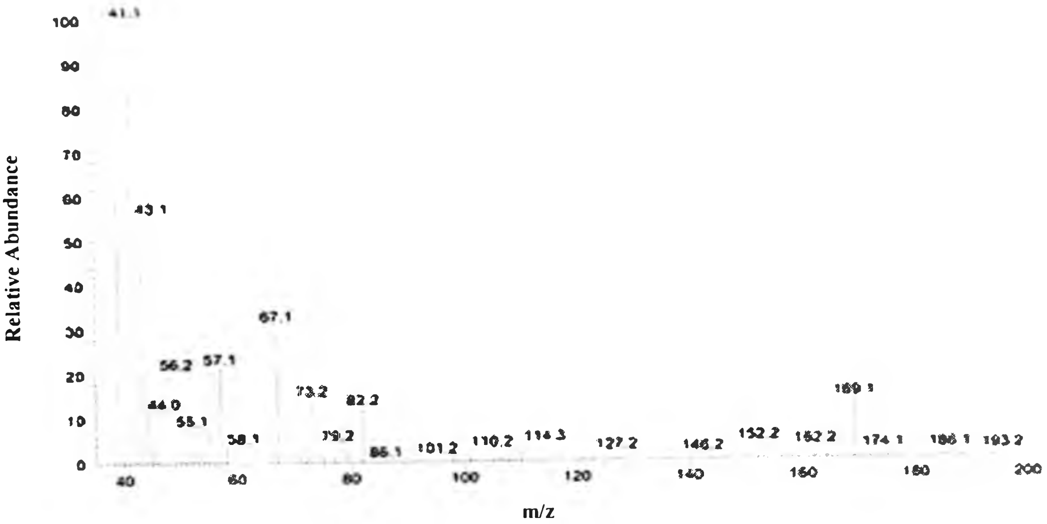


รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมของ n-hexanal, 2AP, และ TMP ที่ได้จากการแยกวิเคราะห์องค์ประกอบในสารระเหยจากเมล็ดข้าวกล้องตัวอย่างพันธุ์หอมสุพรรณบุรีด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

A

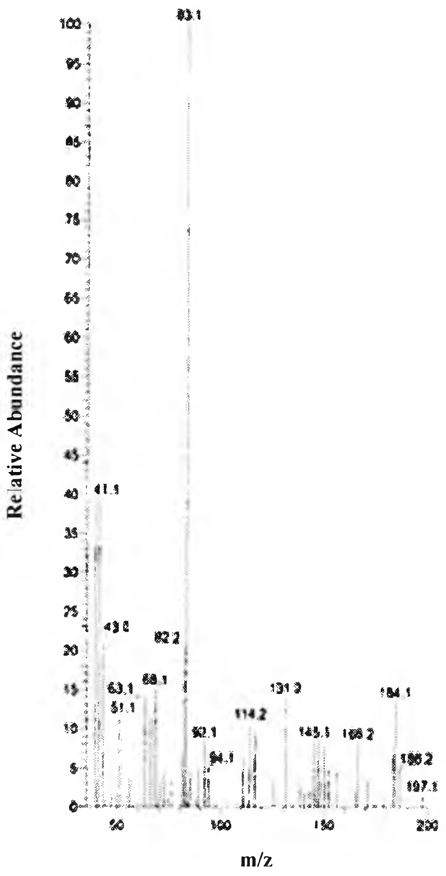


B

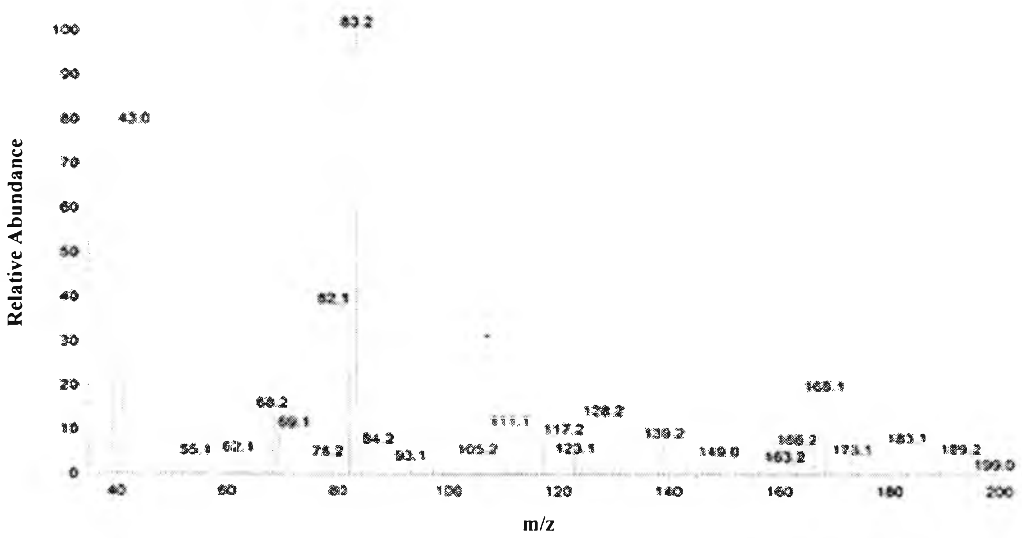


รูปที่ 4.11 mass spectrum ของสาร n-hexanal ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS (A) ตัวอย่างข้าว (B) สารมาตรฐาน n-hexanal

A



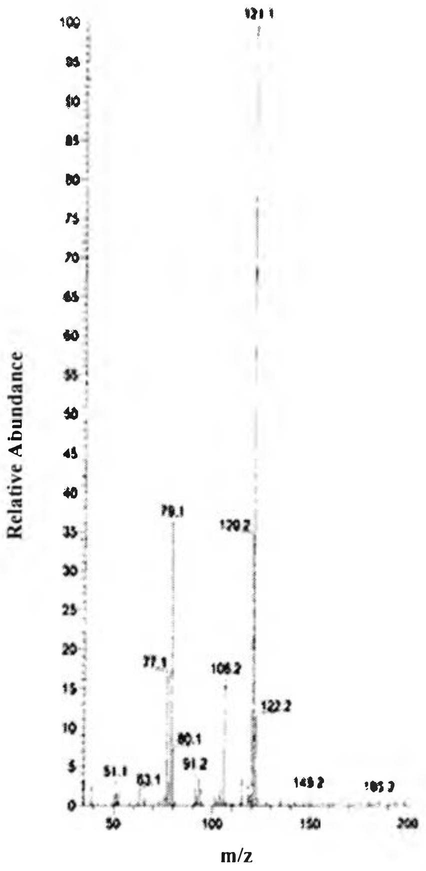
B



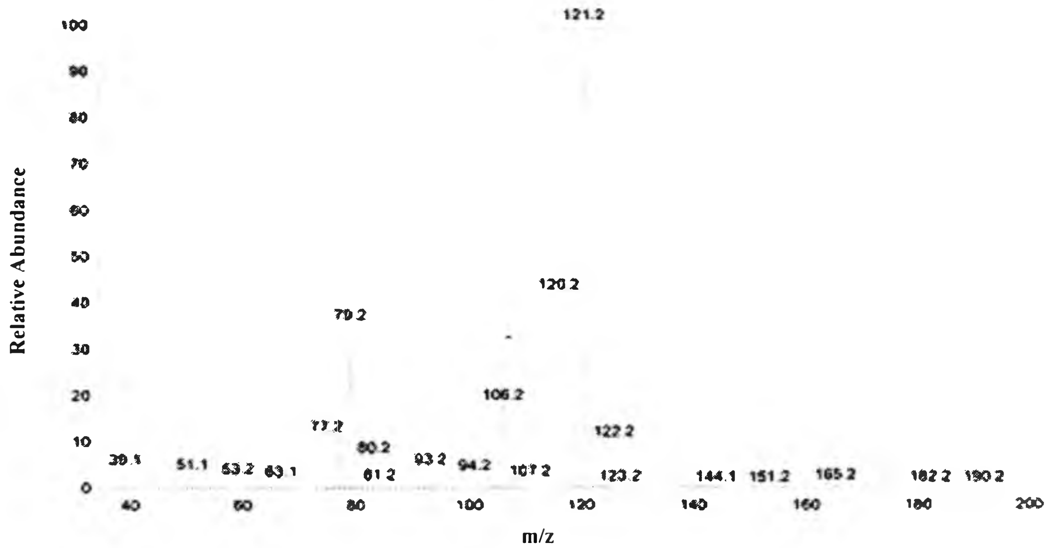
รูปที่ 4.12 mass spectrum ของสาร 2AP ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS (A) ตัวอย่างข้าว (B) สารมาตรฐาน 2AP

I 25202005

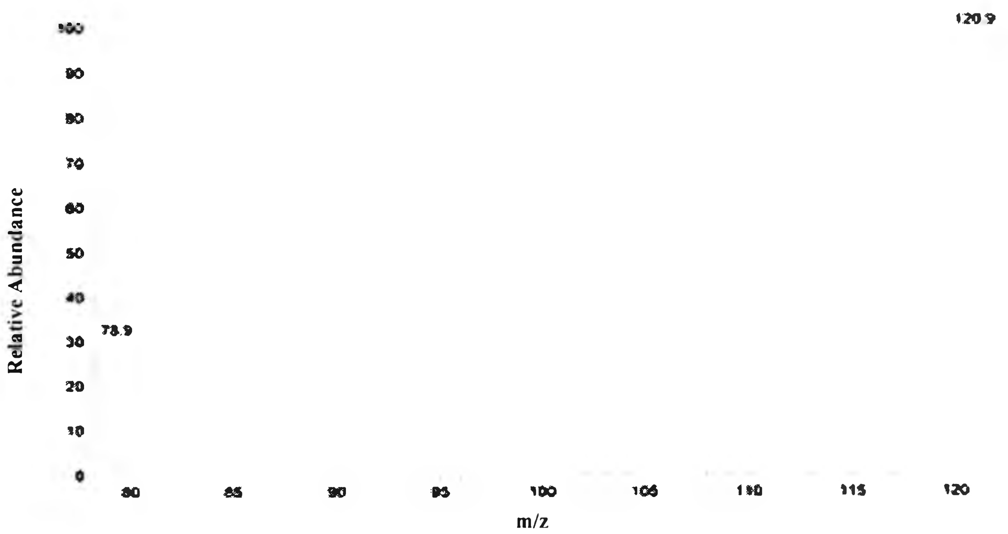
A



B



รูปที่ 4.13 mass spectrum ของสาร TMP ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS (A) สาร TMP ซึ่งเป็นสารมาตรฐานภายใน (B) สารมาตรฐาน TMP



รูปที่ 4.14 mass spectrum ของสาร TMP ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS (โดยใช้ SIM mode)

4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของข้าวกล้องหอมสุพรรณบุรีเคลือบเจลแป้งในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดในระหว่างการเก็บ

4.3.1 ผลการทดสอบบรรจุภัณฑ์ที่ใช้

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่า oxygen transmission rate (OTR) และ water vapor transmission rate (WVTR) ของถุง PP มากกว่าค่า OTR และ WVTR ของถุง laminated ชนิด OPP /Al/LLDPE เพราะว่าถุงชนิด OPP / Al / LLDPE ทำมาจากการนำ OPP Al และ LLDPE มา laminate กัน ซึ่ง OPP และ LLDPE มีสมบัติป้องกันน้ำได้ และ Al มีสมบัติกันได้ทั้งก๊าซ น้ำ และแสง ทำให้ถุง laminated ป้องกันการซึมผ่านของ ก๊าซ น้ำ และแสงได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ถุง PP กันน้ำและก๊าซได้ในระดับหนึ่ง (Piringer และ Baner, 2000)

ตารางที่ 4.2 ค่า OTR และ WVTR ของถุง PP และถุง laminated ชนิด OPP/Al/LLDPE

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	OTR (cc/m^2/day) ที่ 23°C 0%RH	WVTR(g/m^2/day) ที่ 23°C 95%RH
ถุง PP หนา 30 µm	951	2.32
ถุง laminated* หนา 100 µm	0.08	0.1

*ถุง laminated คือ ถุง laminated ชนิด OPP/Al/LLDPE

4.3.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของข้าวกล้องหอมสุพรรณบุรีเคลือบเจลร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ ในระหว่างการเก็บ

ในงานวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างข้าวกล้องเคลือบเจลแป้งข้าวและข้าวกล้องปกติ (control) มาบรรจุในถุงผ้าดิบ ถุง PP และถุง laminated และเก็บข้าวในอุณหภูมิ 27-32°C ความชื้นสัมพัทธ์ 54-62% เป็นระยะเวลา 6 เดือน สุ่มตัวอย่างข้าวทุก 1 เดือน มาวิเคราะห์ค่าความชื้น ปริมาณสาร 2AP ปริมาณสาร n-hexanal และค่า Lab (คำนวนเป็นค่าดัชนีความขาว) โดย ค่า L คือ lightness a คือ redness b คือ yellowness จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้น ปริมาณสาร 2AP ปริมาณสาร n-hexanal ค่า b (ค่าสีเหลือง) และดัชนีความขาวของข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน

SOV	ความชื้น	ปริมาณ 2AP	ปริมาณ n-hexanal	ค่า b	ดัชนีความขาว
ระยะเวลาการเก็บ(A)	**	**	**	**	**
การเคลือบ(B)	**	**	**	**	ns
บรรจุภัณฑ์ (C)	**	*	*	**	**
AxB	ns	ns	ns	*	**
AxC	**	*	ns	**	*
BxC	**	**	**	**	ns
AxBxC	ns	**	*	**	**

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

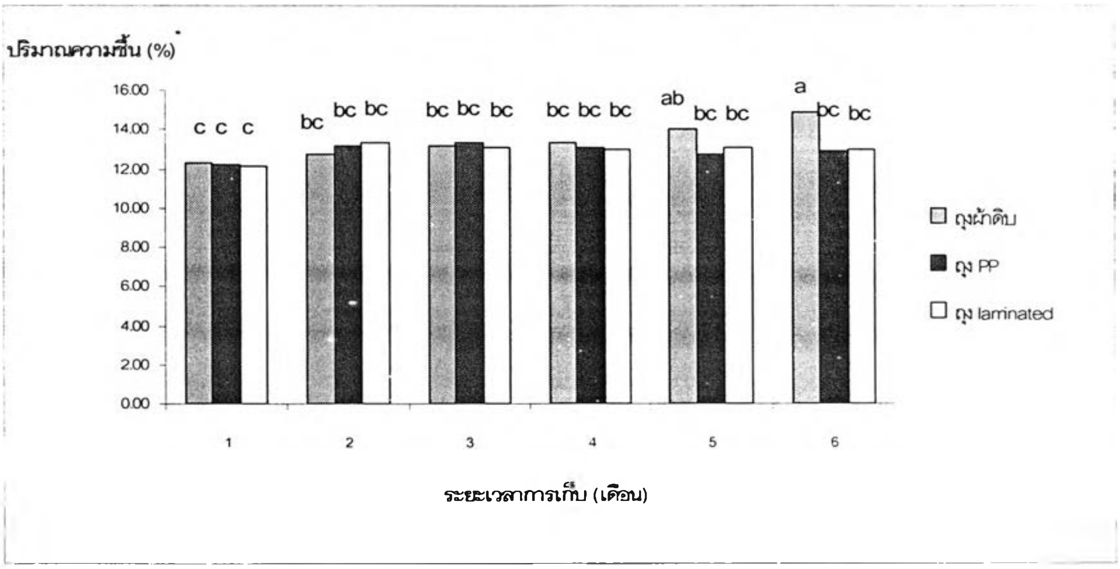
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

<u>การเปลี่ยนแปลงความชื้น</u>

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ (A) กับบรรจุภัณฑ์ (C) มีผลต่อปริมาณความชื้น ($p \leq 0.01$) ในระหว่างเก็บรักษาปริมาณความชื้นของข้าวที่บรรจุในถุง PP และ ถุง laminated มีปริมาณเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 และมีแนวโน้มคงที่จนถึงเดือนที่ 6 (รูปที่ 4.15) อย่างไรก็ตามความชื้นในข้าวยังเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในเดือนแรกของการเก็บรักษา ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวนั้น

ค่อนข้างต่ำ(ประมาณ 12%) ทำให้ข้าวดูดความชื้นจากอากาศภายในถุงจนเข้าสู่สมดุล นอกจากนั้นบรรจุภัณฑ์ทั้งสอง ยังมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ (จากตารางที่ 2) จึงทำให้ปริมาณความชื้นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จากการทดลองยังพบอีกว่า ข้าวที่เก็บในถุงผ้าดิบมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ (รูปที่ 4.15) เพราะถุงผ้าดิบไม่กันการซึมผ่านของน้ำข้าวจึงสามารถดูดความชื้นจากภายนอกได้ตลอดระยะเวลาการเก็บ



รูปที่ 4.15 ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ

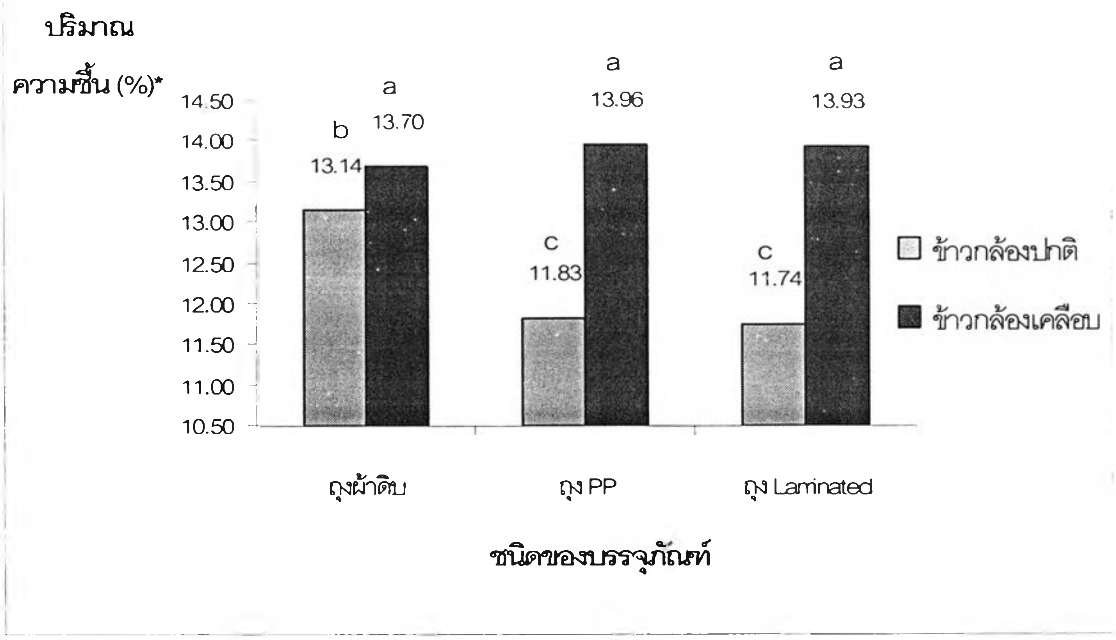
* ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบ

a, b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นยังพบอีกว่า อิทธิพลร่วมระหว่างการเคลือบข้าว (B) และบรรจุภัณฑ์ (C) มีผลต่อปริมาณความชื้น ($p \leq 0.01$) (ตารางที่ 4.3) ข้าวกล้องเคลือบเจลแป้งข้าวและข้าวกล้องปกติที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกันมีความแตกต่างของปริมาณความชื้นในข้าว โดยข้าวกล้องปกติมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าข้าวกล้องเคลือบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสามชนิด (รูปที่ 4.16) เพราะสารละลายเจลแป้งข้าวที่นำมาเคลือบข้าวนั้น เตรียมมาจากสารละลายแป้งเข้มข้นร้อยละ 3 ดังนั้นเมื่อนำสารละลายเจลที่ได้มาเคลือบข้าว ทำให้ข้าวสามารถดูดน้ำจากสารละลายเจลเข้าไปได้ ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของข้าวเคลือบมีมากกว่าข้าวปกติ

จากการทดลองยังพบอีกว่า ข้าวกล้องเคลือบในทุกบรรจุภัณฑ์มีความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนข้าวกล้องปกติจะมีความชื้นสูงสุดเมื่อเก็บในถุงผ้าดิบ สูงกว่าเก็บในถุง PP และถุง laminated อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากว่าถุงผ้าดิบไม่มีสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของน้ำเหมือนบรรจุภัณฑ์อีกสองชนิด ทำให้น้ำจากภายนอกและภายในสามารถผ่านเข้าออกได้อย่างอิสระ

การที่ข้าวกล้องปกติที่เก็บในถุงผ้าดิบมีความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากข้าวมีความชื้นเริ่มต้นน้อย (11.36%) จึงดูดความชื้นจากภายนอกเข้ามาได้จนเข้าสู่สมดุล (Fennema, 1996)



รูปที่ 4.16 ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิด

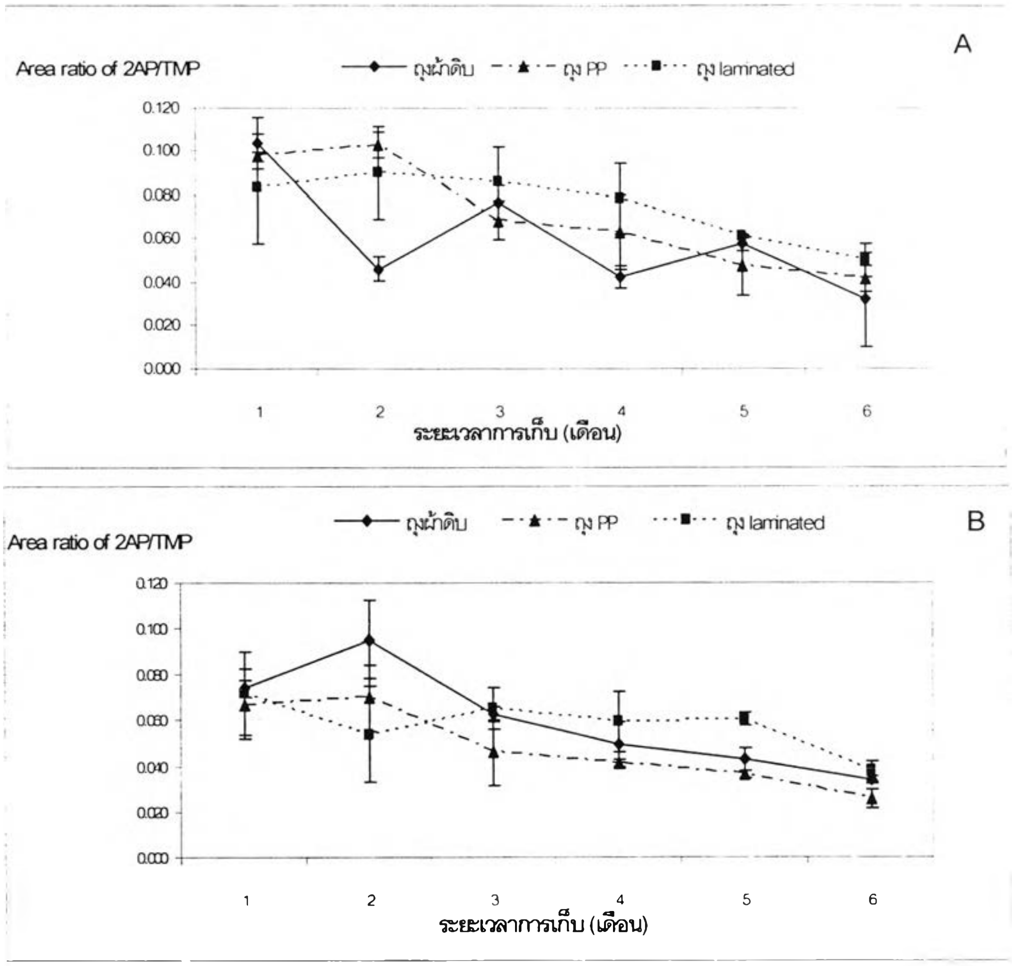
* ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของข้าวที่เก็บเป็นระยะเวลา 6 เดือน

a, b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

<u>การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหอม 2AP</u>

งานวิจัยนี้รายงานปริมาณสาร 2AP ในรูปของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคของ 2AP กับ TMP ซึ่ง TMP เป็นสารมาตรฐานภายในที่เติมลงไปโดยควบคุมความเข้มข้น และปริมาณของสาร TMP ที่ใช้ในแต่ละตัวอย่างให้เท่ากัน

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ (A) การเคลือบข้าว (B) และบรรจุภัณฑ์ (C) มีผลต่อปริมาณ 2AP ($p \leq 0.01$) เมื่อพิจารณาพลวัต (dynamic) ของปริมาณ 2AP (รูปที่ 4.17) พบว่าปริมาณ 2AP ในข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้งสามมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยจะเห็นว่าข้าวกล้องปกติในถุงผ้าดิบ ถุง PP และ ถุง laminated ที่ผ่านการเก็บเป็นเวลา 6 เดือน มีปริมาณสาร 2AP ลดลงจนเหลือร้อยละ 31 43 และ 61 ของปริมาณสาร 2AP เริ่มต้น (เดือนที่ 1) ตามลำดับ และข้าวกล้องเคลือบในถุงผ้าดิบ ถุง PP และ ถุง laminated ที่ผ่านการเก็บเป็นเวลา 6 เดือน มีปริมาณสาร 2AP ลดลงจนเหลือร้อยละ 45 38 และ 52 ของปริมาณสาร 2AP เริ่มต้น (เดือนที่ 1) ตามลำดับ (รูปที่ 4.17) โดยการทดลองพบว่าข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติบรรจุในถุง laminated มีการลดลงของสาร 2AP น้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามสาร 2AP จะค่อยๆ ระเหยหายไป



รูปที่ 4.17 พลวัตของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคของ 2AP กับ TMP ของข้าวกล้องในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน (A) ข้าวกล้องปกติ (B) ข้าวกล้องเคลือบ

ตามระยะเวลาการเก็บ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Wongpornchai และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2AP ในข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาในถุงกระสอบเป็นเวลา 6 เดือน โดยข้าวเปลือกเริ่มต้นมีปริมาณสาร 2AP ซึ่งแสดงในรูปของอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคของ 2AP และ TMP เท่ากับ 0.095 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 6 เดือน ข้าวเปลือกมีปริมาณสาร 2AP เหลือเพียง 0.025 ซึ่งมีปริมาณสารหอม 2AP ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 26 ของปริมาณสาร 2AP เริ่มต้น (รูปที่2.1) เช่นเดียวกับ Widjaja, Craske, และ Wootton (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2AP ในข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาวพันธุ์ YRF6 ที่เก็บในถุงกระดาษภายใต้ความดันบรรยากาศและความดัน 150 Pa (สุญญากาศบางส่วน) เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณ 2AP ลดลง 40-50% ในข้าวทุกรูปแบบทั้งที่เก็บภายใต้ความดันบรรยากาศและสุญญากาศ

จากการทดลองยังพบอีกว่าข้าวที่ผ่านการเคลือบจะมีปริมาณ 2AP เริ่มต้น (เดือนที่1) น้อยกว่าข้าวที่ไม่เคลือบประมาณ 22% ซึ่งอาจเกิดจากการข้าวกล้องเคลือบมีรอยร้าวและเมล็ดแตกหักทำให้สาร 2AP ระเหยออกมาได้ง่ายขึ้น โดยข้าวกล้องเคลือบมีรอยร้าวและเมล็ดแตกหักเนื่องจากเซลล์เม็ดแป้งที่อยู่ระหว่างแกนกลางและด้านนอกของเอนโดสเปิร์มมีรูปร่างยาวในแนวรัศมีเข้าสู่ส่วนกลางของเมล็ด ซึ่งผนังเซลล์ของเซลล์เม็ดแป้งที่เป็นรัศมีสามารถเกิดแนวแยก (cleavage planes) ที่อาจมีสาเหตุจากการเพิ่มความชื้นจากการเติมเจลแป้งข้าว แล้วลดปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวมีผลทำให้เมล็ดข้าวร้าวและแตกหักได้ง่าย (Marshall และ Wadsworth,1994)

<u>การเปลี่ยนแปลงปริมาณของ n-hexanal</u>

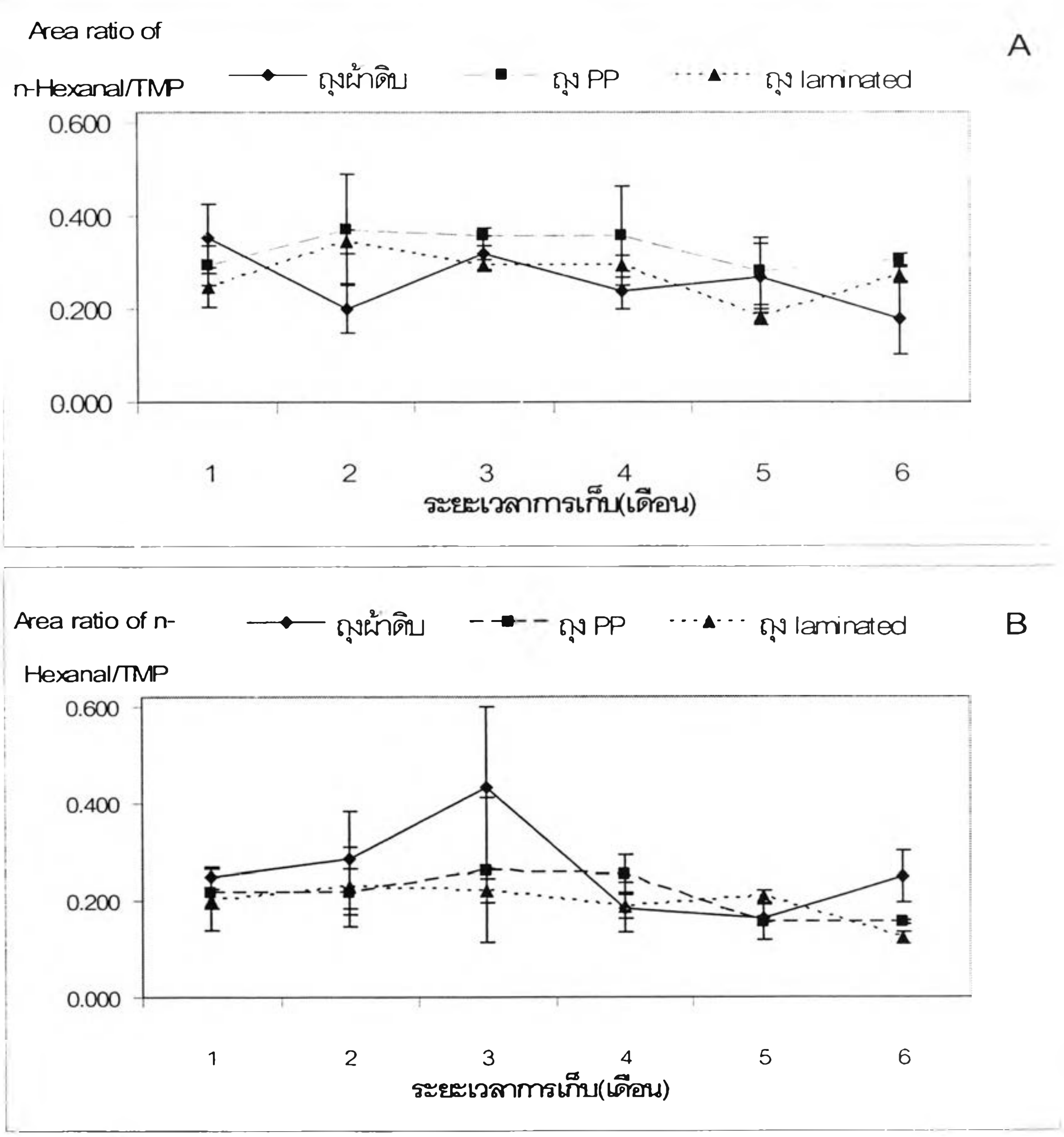
ไขมันในข้าวประกอบด้วยกรดไขมัน palmitic oleic และ linoleic เป็นองค์ประกอบหลัก Taira (1983) รายงานว่าชนิดของกรดไขมันในข้าวประกอบด้วยกรด palmitic (C16:0) ร้อยละ 16-23 กรด stearic (C18:0) ร้อยละ1-3 กรด oleic (C18:1) ร้อยละ 34-43 กรด linoleic (C18:2) ร้อยละ 35-43 และ กรด linolenic (C18:3) ร้อยละ 1-3 ไขมันในเมล็ดข้าวที่เก็บไว้สามารถเกิดได้ทั้งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิลและออกซิเดชันซึ่งมีผลต่อการเสื่อมเสียของไขมันในเมล็ดข้าว n-hexanal เป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันทุติยภูมิ (secondary oxidation product) ของกรด linoleic (Grosch, 1987) ในงานวิจัยนี้ใช้สาร n-hexanal ซึ่งเป็นสารที่ส่งผลให้เกิด off-flavour ในข้าว เป็นดัชนีชี้วัดการเสื่อมเสียของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าว (Wongpornchai และคณะ ,2004 และ Shin และ คณะ, 1986)

ปริมาณสาร n-hexanal ที่วัดได้จะรายงานในรูปของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคของ n-hexanal กับ TMP ซึ่ง TMP เป็นสารมาตรฐานภายในที่เติมลงไปโดยควบคุมความเข้มข้น และปริมาณของสาร TMP ที่ใช้ในแต่ละตัวอย่างให้เท่ากัน จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ (A) การเคลือบข้าว (B) และบรรจุภัณฑ์ (C) มีผลต่อปริมาณ n-hexanal ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสาร n-hexanal ในระหว่างการเก็บข้าว (รูปที่ 4.18) พบว่า ปริมาณ n-hexanal ในข้าวกล้องปกติในถุงผ้าดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 3 (0.320) แล้วมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น การเก็บข้าวกล้องปกติในถุง PP มีปริมาณ n-hexanal เพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 (0.371) แล้วมีแนวโน้มลดลงตลอดเวลาการเก็บ ส่วนข้าวกล้องปกติที่บรรจุในถุง laminated มีปริมาณ n-hexanal เพิ่มในเดือนที่ 2 (0.344) แล้วมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณ n-hexanal ของข้าวกล้องเคลือบพบว่า ข้าวกล้องเคลือบในถุงผ้าดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 3 (0.431) แล้วมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น การเก็บข้าวกล้องเคลือบในถุง PP มีปริมาณ n-hexanal เพิ่มขึ้นในเดือนที่

3 (0.263) แล้วมีแนวโน้มลดลงตลอดเวลาการเก็บ ส่วนข้าวกล้องเคลือบที่บรรจุในถุง laminated มีปริมาณ n-hexanal เพิ่มในเดือนที่ 2 (0.229) แล้วมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณ n-hexanal ในข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบในบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดในช่วงเวลาการเก็บ 2-3 เดือนแรก เนื่องมาจากปฏิกิริยา auto-oxidation ของกรด linoleic ลอดคล้องกับงานวิจัยของ Lam และ Procter (2003) ที่ศึกษาสารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ lipid โดยเก็บข้าวกล้องพันธุ์ผสมระหว่าง Cocodrie Wells และ Drew ที่อุณหภูมิ 37°C และความชื้นสัมพัทธ์ 70% เป็นเวลานาน 50 วัน พบว่า สาร n-hexanal มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บ 3 วันแรกและเพิ่มต่อเนื่องไปจนถึงวันที่ 50 โดยเสนอว่าเกิดจากทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย lipoxygenase และปฏิกิริยา lipid autoxidation จากการทดลองติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ n-hexanal (รูปที่ 4.18) ยังพบอีกว่า ปริมาณ n-hexanal ของข้าวในทุกบรรจุภัณฑ์ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (4-6เดือน) อาจเนื่องจากสาร n-hexanal ซึ่งเป็นสารประกอบcarbonyl สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนในข้าวได้ (Ramesh และ คณะ, 2000)

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้าวกล้องเคลือบด้วยเจลแป้งจะมีปริมาณ n-hexanal ต่ำกว่าข้าวกล้องปกติ เพราะข้าวกล้องเคลือบมีชั้นเจลเป็นตัวป้องกัน oxygen ที่จะมาทำปฏิกิริยากับกรด linoleic (Laohakunjit และ Kerdchoechoechuen, 2006)



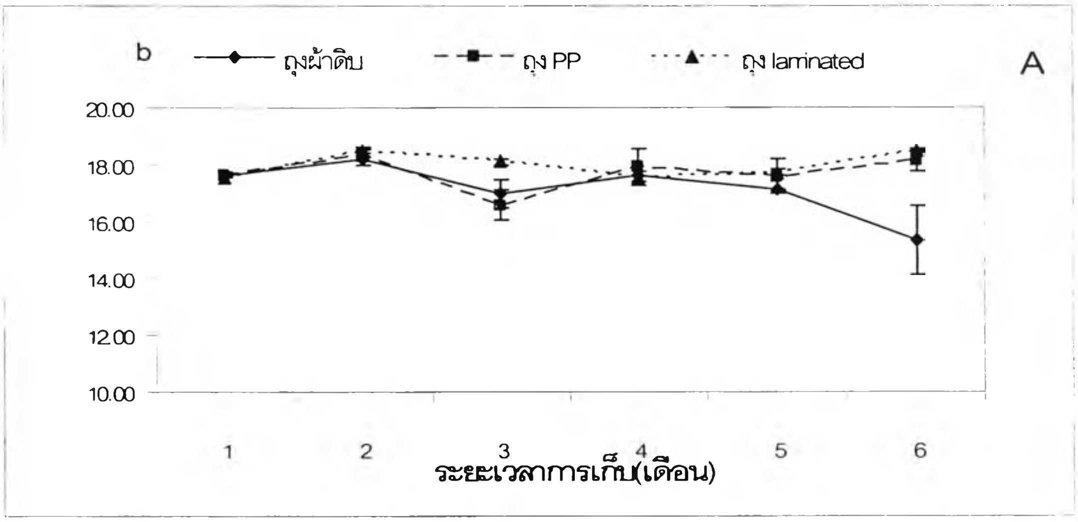
รูปที่ 4.18 พลวัตของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคของ n-hexanal กับ TMP ของข้าวกล้องในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน (A) ข้าวกล้องปกติ (B) ข้าวกล้องเคลือบ

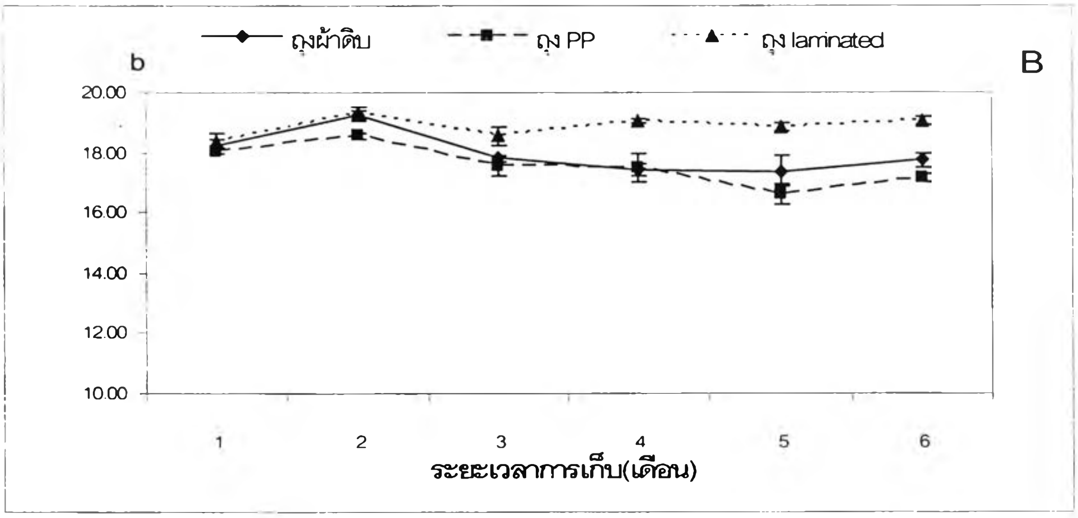
<u>การเปลี่ยนแปลงค่า b (ค่าสีเหลือง)และดัชนีความขาว</u>

จากผลการหาค่าความแปรปรวน (ตารางที่ 4.3) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ (A) การเคลือบ (B) และบรรจุภัณฑ์ (C) มีผลต่อค่า b ($p \leq 0.01$) เมื่อพิจารณาพลวัตของค่า b (รูปที่ 4.19) พบว่า ในระหว่างการเก็บ ค่า b ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบในทุกบรรจุภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีค่าอยู่ระหว่าง 16 - 20 ที่เป็นเช่นนี้เพราะการเก็บข้าวนาน 6 เดือนและ

เก็บข้าวในอุณหภูมิห้อง ทำให้ปฏิกิริยา Maillard เกิดน้อย ค่า b จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บ (Ramirez-Jiménez et al., 2003)

นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องเคลือบเจลแป้งจะมีค่า b สูงกว่าข้าวกล้องปกติเล็กน้อย (รูปที่ 4.19) เพราะข้าวเคลือบมีความชื้นสูงกว่าข้าวไม่เคลือบ (รูปที่ 4.16) ทำให้เกิด browning มากกว่าข้าวไม่เคลือบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barber (1972) ที่ศึกษาผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวขาวระหว่างการเก็บ 10 เดือน พบว่าข้าวขาวที่มีปริมาณความชื้นสูง (15% และ 14 %) จะมีสีเข้มมากกว่าข้าวขาวที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (13%)



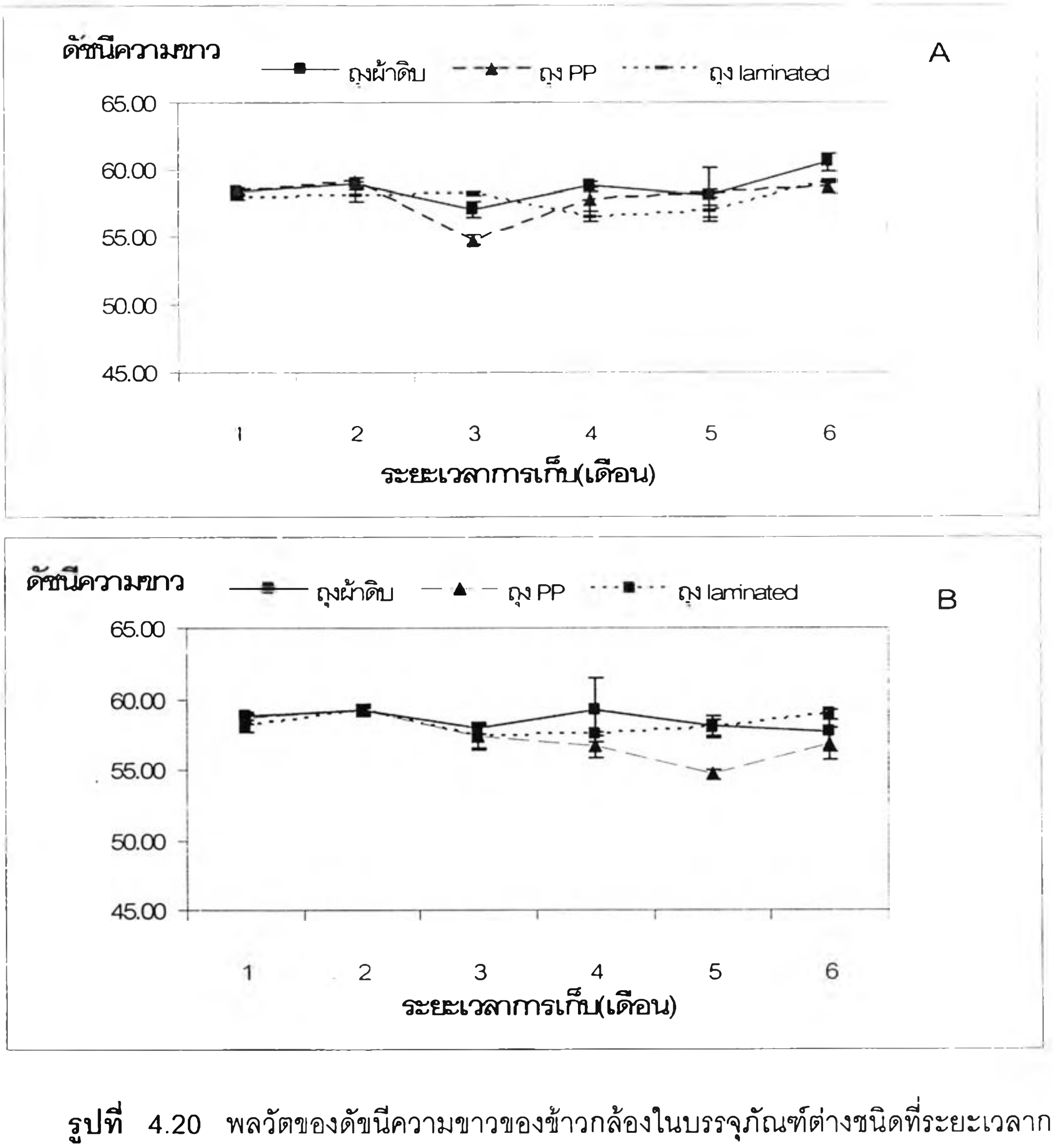


รูปที่ 4.19 ผลวัตของค่า b ของข้าวกล้องในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน

(A) ข้าวกล้องปกติ (B) ข้าวกล้องเคลือบ

นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ (A) การเคลือบ (B) และบรรจุภัณฑ์ (C) มีผลต่อดัชนีความขาวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงดัชนีความขาว (รูปที่ 4.20) พบว่า ดัชนีความขาวของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบในทุกบรรจุภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บ มีค่าอยู่ระหว่าง 54 - 61 นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบมีดัชนีความขาวใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.20 พลวัตของดัชนีความขาวของข้าวกล้องในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน (A) ข้าวกล้องปกติ (B) ข้าวกล้องเคลือบ

<u>การเปลี่ยนแปลง water activity ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบในระหว่างการเก็บ</u>

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ water activity (a_w) ในระหว่างการเก็บข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เก็บข้าวในอุณหภูมิ 27-32°C ความชื้น

สัมพัทธ์ 54-62% เป็นระยะเวลา 6 เดือน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ตั้งแต่เดือนที่ 3 โดยสุ่มตัวอย่างทุกๆเดือนจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของสถิติ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water activity ของข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ

SOV	water activity
ระยะเวลาการเก็บ(A)	**
การเคลือบ(B)	**
บรรจุภัณฑ์ (C)	**
AxB	ns
AxC	**
BxC	**
AxBxC	**

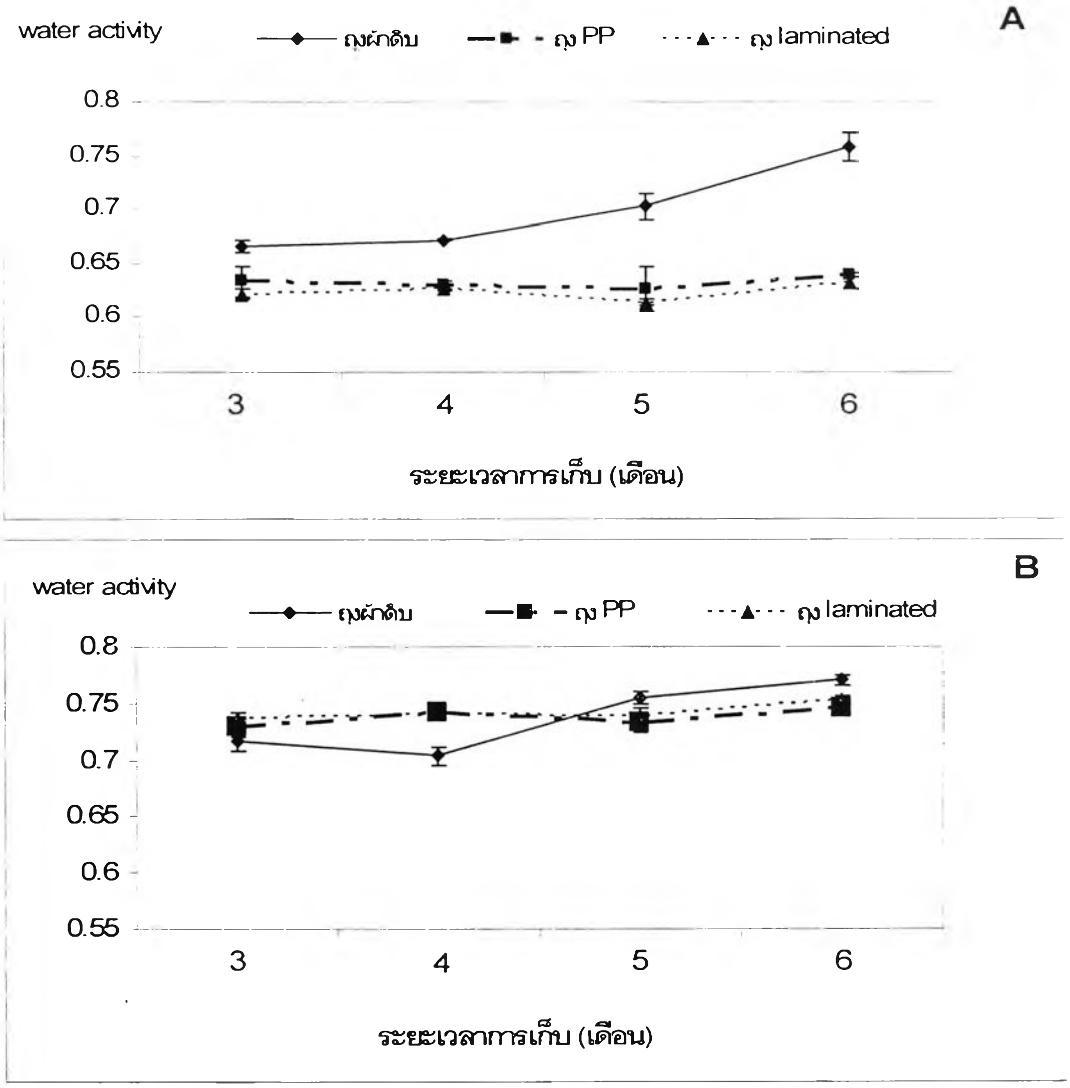
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการหาค่าความแปรปรวน (ตารางที่ 4.4) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ (A) การเคลือบ (B) และบรรจุภัณฑ์ (C) มีผลต่อค่า water activity ($p \leq 0.01$) เมื่อพิจารณาพลวัตของค่า water activity ของข้าวระหว่างการเก็บพบว่า ค่า water activity ของข้าวกล้องปกติที่เก็บในถุงผ้าดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บโดยเพิ่มขึ้นจาก 0.667 (เดือนที่ 3) เป็น 0.759 (เดือนที่ 6) ซึ่งค่า water activity ของข้าวกล้องเคลือบในถุงผ้าดิบก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน (จาก 0.717 ในเดือนที่ 3 เป็น 0.770 ในเดือนที่ 6) ในขณะที่ข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบที่บรรจุในถุง PP และถุง laminated ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า water activity ในระหว่างการเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 โดยการที่ข้าวกล้องในถุงผ้าดิบมีค่า water activity เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บเนื่องจากถุงผ้าดิบไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้เหมือนกับถุง PP และ ถุง laminated ทำให้ข้าวสามารถดูดน้ำจากภายนอกเข้าไปได้ตลอดจนกว่าจะถึงสมดุล ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวในระหว่างการเก็บ (รูปที่ 4.15) นอกจากนี้จากการทดลอง (รูปที่ 4.21) ยังพบอีกว่า ค่า water activity ของข้าวกล้องเคลือบมีค่ามากกว่าข้าวกล้องปกติในทุกบรรจุภัณฑ์เนื่องมาจากกระบวนการเคลือบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในการเปลี่ยนแปลงความชื้น (รูปที่ 4.16)

ค่า water activity ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบในทุกบรรจุภัณฑ์ มีค่า water activity อยู่ในช่วงระหว่าง 0.61-0.77 (รูปที่ 4.21) ซึ่ง Fennema (1996) รายงานค่า water activity

ที่อยู่ระหว่าง 0.55-0.85 สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เพราะการเคลื่อนที่ของ catalysts และออกซิเจนทำได้มากขึ้น



รูปที่ 4.21 พลวัตของค่า water activity ของข้าวกล้องในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดที่เก็บในระยะเวลา 6 เดือน (A) ข้าวกล้องปกติ (B) ข้าวกล้องเคลือบ

4.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องเคลือบเจลหุงสุก

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี ปริมาณสารหอม 2AP และปริมาณสารหืน n-hexanal ของข้าวกล้องหอมสุพรรณบุรีเคลือบเจลแป้งในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดในระหว่างการเก็บ พบว่าข้าวกล้องเคลือบที่บรรจุในถุง PP เหมาะที่จะนำมาใช้ทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ 2AP และ n-hexanal ในข้าวกล้องเคลือบบรรจุถุง PP มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าในถุง laminated และการที่ข้าวในถุง laminated มีการเปลี่ยนแปลงสารหอมและสารหืน

น้อยทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ ดังนั้นจึงเลือกข้าวกล้องเคลือบในถุง PP มาใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบการยอมรับข้าวกล้องเคลือบระหว่างการเก็บ

งานวิจัยใช้ข้าวกล้องเคลือบเจลแป้งข้าวและข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบ (ข้าว control) ที่บรรจุในถุง PP เก็บเป็นเวลา 0 3 และ 6 เดือน นำมาหุงสุกก่อนการทดสอบ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่นและความชอบโดยรวมของข้าว โดยใช้ผู้ทดสอบ 20 คน นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องเคลือบเจลหุงสุก

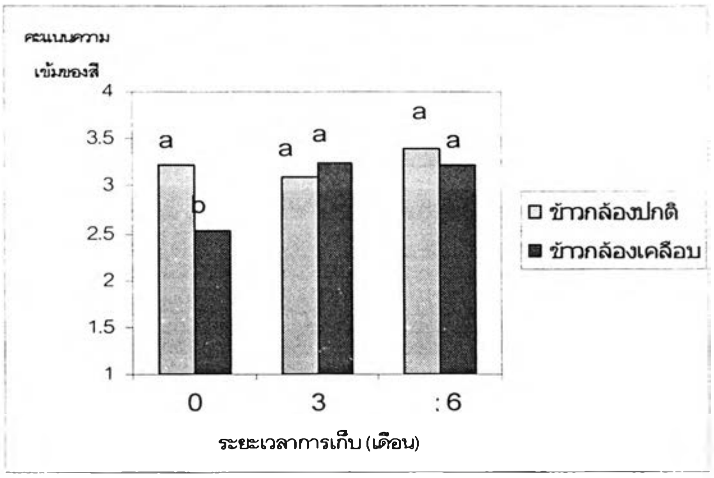
SOV	คะแนนทางด้านสี	คะแนนด้านกลิ่นหอม	คะแนนด้านกลิ่นหืน	คะแนนความชอบโดยรวม
ระยะเวลาการเก็บ(A)	**	ns	**	**
การเคลือบ(B)	*	*	ns	**
AxB	**	**	**	**

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

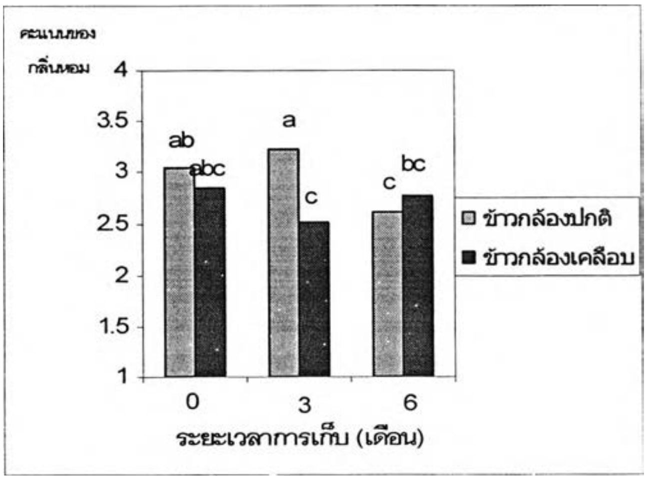
จากผลการหาค่าความแปรปรวน พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการเก็บ (A) และการเคลือบ (B) มีต่อผลคะแนนทางด้านสี กลิ่นหอม กลิ่นหืน และความชอบโดยรวม ($p \leq 0.01$) โดยผลการทดลองในรูปที่ 4.22 พบว่าคะแนนความเข้มสีของข้าวกล้องปกติในระหว่างการเก็บ 0 3 และ 6 เดือน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนคะแนนความเข้มสีของข้าวกล้องเคลือบมีการเพิ่มในเดือนที่ 3 ($p \leq 0.05$) จากนั้นคงที่



รูปที่ 4.22 คะแนนความเข้มของสีข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติที่เก็บเป็นเวลา 0 3 และ 6 เดือน คะแนนที่ได้อยู่ในช่วง 2 (สีเข้มน้อย) ถึง 4 (สีเข้มปานกลาง)

a, b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

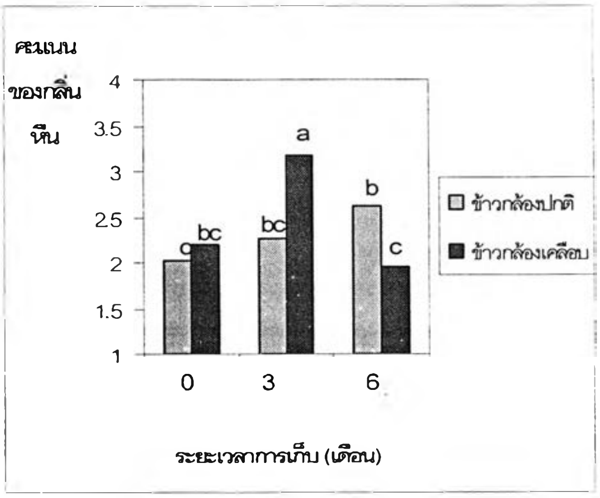
คะแนนกลิ่นหอมของข้าวกล้องปกติในระหว่างการเก็บ 3 เดือนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แล้วคะแนนมีการลดลงในเดือนที่ 6 ($p \leq 0.05$) แต่ในระหว่างการเก็บข้าวกล้องเคลือบคะแนนของกลิ่นหอมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.23) โด ยคะแนนขคงกลิ่นหอมในเดือนที่ 0 ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบมีค่าเท่ากับ 3.06 และ 2.85 ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนอยู่ในช่วงในช่วง 2 (กลิ่นหอมน้อย) ถึง 4 (กลิ่นหอมปานกลาง)และเมื่อเก็บข้าวนาน 6 เดือนทั้งข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบมีคะแนนเท่ากับ 2.61 และ 2.77 ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนอยู่ในช่วง 2 (กลิ่นหอมน้อย) ถึง 3 (กลิ่นหอมค่อนข้างน้อย)



รูปที่ 4.23 คะแนนทางด้านกลิ่นหอมของข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติที่เก็บเป็นเวลา 0 3 และ 6 เดือน คะแนนที่ได้อยู่ในช่วง 2 (กลิ่นหอมน้อย) ถึง 4 (กลิ่นหอมปานกลาง)

a, b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

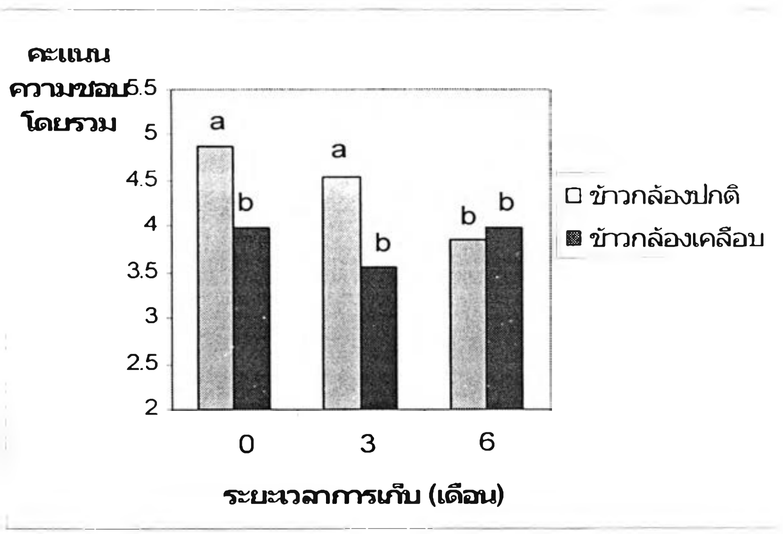
คะแนนกลิ่นหืนของข้าวกล้องปกติมีค่าเพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บ 6 เดือน ($p \leq 0.05$) ส่วนข้าวกล้องเคลือบคะแนนกลิ่นหืนมีค่าเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 3 และลดลงในเดือนที่ 6 ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.24 โดยคะแนนของกลิ่นหืนในเดือนที่ 0 ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบมีค่าเท่ากับ 2.01 และ 2.20 ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนอยู่ในช่วง 2 (กลิ่นหืนน้อย) ถึง 3 (กลิ่นหืนค่อนข้างน้อย) และคะแนนของกลิ่นหืนในเดือนที่ 6 ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบมีคะแนนเท่ากับ 2.63 และ 1.96 ตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนอยู่ในช่วง 1 (ไม่มีกลิ่นหืน) ถึง 3 (กลิ่นหืนค่อนข้างน้อย)



รูปที่ 4.24 คะแนนทางด้านกลิ่นหืนของข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติที่เก็บเป็นเวลา 0 3 และ 6 เดือน คะแนนที่ได้อยู่ในช่วง 2 (กลิ่นหืนน้อย) ถึง 4 (กลิ่นหืนปานกลาง)

a, b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

จากการทดลองพบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวกล้องปกติมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บ 6 เดือน ($p \leq 0.05$) และในระหว่างการเก็บข้าวกล้องเคลือบคะแนนความชอบโดยรวมมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.25) โดยคะแนนของความชอบโดยรวมในเดือนที่ 0 ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบมีค่า 4.87 และ 3.98 ตามลำดับซึ่งแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนอยู่ในช่วง 3 (ไม่ชอบเล็กน้อย) ถึง 5 (ชอบเล็กน้อย) และคะแนนของความชอบโดยรวมในเดือนที่ 6 ของข้าวกล้องปกติและข้าวกล้องเคลือบมีคะแนนเท่ากับ 3.86 และ 3.98 ตามลำดับซึ่งคะแนนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนอยู่ในช่วง 3 (ไม่ชอบเล็กน้อย) ถึง 4 (เฉยๆ)



รูปที่ 4.25 คะแนนความชอบโดยรวมของข้าวกล้องเคลือบและข้าวกล้องปกติที่เก็บเป็นเวลา 0 3 และ 6 เดือน คะแนนที่ได้อยู่ในช่วง 3 (ไม่ชอบเล็กน้อย) ถึง 5 (ชอบเล็กน้อย)

a, b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)