บทที่ 4

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารระเหยในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ระหว่างการเก็บรักษา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของข้าว 2 ตัวอย่าง คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารประกอบระเหยได้ โดยเฉพาะ 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) และ hexanal ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เถ้า คาร์โบไฮเดรต และอะไมโลสของข้าวทั้ง 2 ตัวอย่าง ในขณะที่ปริมาณสารประกอบระเหยได้ที่พบประกอบด้วยสาร 6 กลุ่มคือ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน อัลเคน อัลคีน และเฮเทอโรไซคลิก โดยมี nanonal และ hexanal เป็นสารประกอบหลัก ทั้งนี้ปริมาณ 2-AP ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ลดลงร้อยละ 27.35 และ 33.64 ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณ hexanal เพิ่มขึ้นร้อยละ 87.87 และ 89.75 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น 6 เดือน

คำสำคัญ: 2-acetyl-1-pyrroline; n-hexanal; ข้าวขาวดอกมะลิ; ข้าวปทุมธานี 1; SPME-GC-MS; การเก็บรักษา

4.1 บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อหลายประเทศในทวีปเอเชีย รวมถึงประเทศไทยด้วย ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวสูงเป็นอันดับ 6 ของโลก รองจาก จีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนาม ตามลำดับ ในปี 2009 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกข้าว 8,619,871 ตัน คิดเป็นมูลค่า 172,207.70 ล้านบาท โดยข้าวขาวดอกมะลิหรือข้าวดอกมะลิ และข้าวปทุมธานี จัดเป็นข้าวหอม (aromatic rice) ที่มีชื่อเสียง และมีปริมาณการส่งออกเพื่อการบริโภคสูง เนื่องจากเมื่อหุงสุกแล้วมีกลิ่นหอม และมีความเหนียวนุ่ม ทั้งนี้ในปี 2009 พบว่า ปริมาณการส่งออกของข้าวขาวดอกมะลิเพิ่มสูงขึ้นกว่าปี 2008 ร้อยละ 12.10 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2010) ซึ่งประเทศที่นำเข้าหลัก 10 ประเทศ ได้แก่ ไนจีเรีย เซเนกัล อินโดนีเซีย อิหร่าน แอฟริกาใต้ จีน สหรัฐอเมริกา ฮ่องกง มาเลเซีย และสิงคโปร์ เป็นต้น

ทั้งนี้จากการศึกษาของ Buttery และคณะ (1982) ในการจำแนกสารประกอบทางเคมีหลักที่ให้กลิ่นหอมในข้าวพบว่า เป็นสาร 2-acetyl-1- pyrroline (2AP) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่พบในใบเตย (Buttery และคณะ, 1983; Laksanalamai และ Ilangantileke, 1993; Laohakunjit และ Kerdchoechuen, 2007) โดยทั่วไปข้าวหอมจะมีปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้มากกว่า 100 สาร (Mahathreeranont และคณะ, 2001; Wongpornchai และคณะ, 2004) แต่มีปริมาณ 2-AP ต่ำประมาณ 0.53-2.75 ppm (Bocchi และคณะ, 1995; Laohakunjit และ Kerdchoechuen, 2007) อย่างไรก็ตามสารให้กลิ่นหอมชนิดนี้ช่วยเพิ่มลักษณะเฉพาะตัวที่มีเอกลักษณ์ในตลาดสากล จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า คุณภาพด้านกลิ่นของข้าวหอมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ 2-AP ในข้าว (Ishitani และ Fushimi, 1994; Tulyathan และคณะ, 2008) จากการศึกษาพบว่าปริมาณ 2-AP ในข้าว จึงขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และระยะเวลาในการเก็บรักษา (Widjaja และคณะ, 1996; Tulyathan และคณะ, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wongpornchai และคณะ (2004) ที่ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ 2-AP ในข้าวขาวดอกมะลิพันธ์ 105 โดยเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ 2-AP คือ Solid-phase microextraction (SPME) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ ง่าย มีความไวสูง และไม่ต้องใช้ตัวทำละลาย (Arthur และ Pawliszyn, 1990)

อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาเกี่ยวกับผลของปัจจัยต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ 2-AP ในข้าว อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยเพียงส่วนน้อยที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของ 2-AP กับสารประกอบระเหยได้อื่นๆ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ระหว่างการเก็บรักษาข้าวหอม 2 สายพันธ์ ได้แก่ หอมมะลิ 105 และปทุมธานี 1 รวมถึงการติดตามความสัมพันธ์ของ 2-AP กับ n-hexanal ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่พบเป็นหลักในข้าว

4.2 วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

4.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในการศึกษาใช้ข้าว 2 ตัวอย่าง คือหอมมะลิ 105 และปทุมธานี 1 จากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดปทุมธานี โดยเก็บเกี่ยวตัวอย่างจากแปลงทดลองในเดือนเมษายน 2552 ซึ่งข้าวทั้ง 2 ตัวอย่างมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 12-13% (ฐานเปียก) ทำการสุ่มข้าวทั้ง 2 ตัวอย่างมาขัดสีด้วยเครื่องสีข้าว แล้วทำความสะอาดโดยใช้แรงลม (aspirator) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากข้าวสาร หลังจากนั้นเก็บรักษาข้าวสารในถุงโพลีโพรพีลีนถุงละประมาณ 500 กรัม ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65-70% วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพทุกๆ เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compound) ตัวอย่างข้าวจะถูกนำมาบดด้วยเครื่องโม่บดแบบค้อน (hammer mill, Retsch, GmbH 5657 HAAN, Germany) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช

4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน

นำข้าวทั้ง 2 สายพันธ์มาวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหารทั้งหมด เถ้า (ตามวิธีของ AOAC, 2005) คาร์โบไฮเดรต (ตามวิธีของ NLH, 1995) และอะไมโลส (ตามวิธีของ AACC)

4.2.3 การวิเคราะห์สารประกอบระเหยได้ (ดัดแปลงจากวิธีของ Wongpornchai และคณะ, 2004)

ชั่งน้ำหนักแป้งข้าว 8.00 กรัม ใส่ขวด vial ขนาด 27 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลายมาตรฐาน 2,4,6-trimethyl pyridine (ความบริสุทธิ์ 99%, Aldrich Chemical, Germany) ความเข้มข้น 6.24 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เป็น internal standard ทำการปิดด้วยฝาอลูมิเนียมที่มี septum ชนิด PTFE/silicone

ทั้งนี้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิค SPME ตัวอย่างใน vial จะถูกตั้งที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 27°C) นาน 15 นาที ก่อนนำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C นาน 30 นาที การสกัดสารประกอบที่ระเหยได้จากตัวอย่างจะใช้ไฟเบอร์ SPME (Supelco, Bellefonte, PA) ชนิด CAR/PDMS ที่มีความหนา 75μm ซึ่งถูกทำ pre-conditioning ใน GC injector port ที่อุณหภูมิ 200°C นาน 30 นาที หลังจากนั้นแทงไฟเบอร์ผ่าน septum ให้ไฟเบอร์อยู่เหนือตัวอย่างประมาณ 1 เซนติเมตร บ่มที่อุณหภูมิที่ 80°C นาน 30 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS ต่อไป

การวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ที่ถูกดูดซับบนไฟเบอร์ จะใช้เครื่อง GC-MS (Agilent 6890N (G 1530N) และ G2579A mass-selective detector, Agilent Technologies, USA) โดยใช้การฉีดแบบ split/splitless (model CP-3800 injector) ส่วน MS detector จะตั้งแบบ electron impact (EI) mode ในช่วงค่า m/z เป็น 40-400 m/z และ SIM (Selected Ion Monitoring) mode จะตั้งค่าดังตารางที่ 4.1 สารระเหยที่ดูดซับถูกชะออกใน injector port spitless mode ที่ 250°C เป็นเวลา 3 นาที ภายในคอลัมน์สารระเหยถูกชะด้วยก๊าซฮีเลียมใน wall-coated open tubular (WCOT) fused silica 30 m x 0.32 mm เคลือบคอลัมน์ด้วย chemically bonded polysiloxane low bleed phase (HP-SIL 5 CB Low Bleed/MS) ขนาด 0.25μm ใช้โปรแกรมอุณหภูมิดังนี้: อุณหภูมิเริ่มต้น 35°C เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50°C ที่อัตรา 2°C/min ก่อนเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100°C ที่อัตรา 3°C/min และเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งเป็น 180°C ที่อัตรา 5°C/min จากนั้น post run ที่อุณหภูมิ 230°C เป็นเวลา 5 นาที สภาวะคอลัมน์คืออัตราการไหลคงที่ 1.4 ml/min ทั้งนี้สารประกอบถูกแยกโดยใช้ฐานข้อมูลของ National Institute of Standards and Technology (NIST) ผ่านทาง Saturn mass

spectra library search สารประกอบที่ถูกจำแนกถูกยืนยันว่าเป็นสารใดโดยเทียบ mass spectra และ retention times กับสารมาตรฐาน

ตารางที่ 4.1 ค่า m/z สำหรับ GC-MS เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี SPME โดย SIM mode

Compound	Selected ion (m/z)	Reference
2-acetyl-1-pyrroline (2-AP)	83, 111, 69	Adams และ Kimpe (2007), Itani และคณะ (2008)
	41, 42, 43, 68	Srinivas และคณะ (2004), Wakte และคณะ (2010)
2,4,6-trimethylpyridine (collidine)	121, 106, 79	Adams และ Kimpe (2007), Grimm และคณะ (2001)

ทั้งนี้สารมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย alkane (Fluka Chemica, Switzerland), hexanal (Fluka Chemica, Switzerland), 2-acetyl-1-pyrroline (Mane, Thailand) และ 2,4,6-trimethyl pyridine (ความบริสุทธิ์ 99%, Aldrich Chemical, Germany)

4.2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในข้าว วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical Analysis System Institute, USA, 2000) ด้วยวิธี General Linear Model Program (GLM) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3 ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของข้าวหอมระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหารทั้งหมด เถ้า คาร์โบไฮเดรต และอะไมโลส ในข้าวสารทั้ง 2 ตัวอย่าง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของข้าวแต่ละชนิด ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะมีค่าปริมาณไขมัน และใยอาหารสูงกว่าข้าวปทุมธานี 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่สามารถที่จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดความแตกต่างของข้าวได้ เนื่องจากคุณภาพของข้าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยตั้งแต่การปลูก การเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

การวิเคราะห์	เดือนที่						
	0	1	2	3	4	5	6
ความชื้น (%)	11.10 (0.20)	11.50 (0.57)	11.20 (0.43)	12.20 (0.14)	11.50 (0.48)	11.16 (0.23)	12.00 (0.58)
คาร์โบไฮเดรต (g/100g)	78.15 (1.12)	78.20 (1.15)	78.10 (1.26)	78.15 (1.14)	78.20 (1.45)	78.14 (1.12)	78.25 (1.47)
โปรตีน (g/100g)	8.00 (0.06)	7.98 (0.25)	8.00 (0.14)	7.95 (0.58)	7.98 (0.03)	8.06 (0.05)	7.95 (0.01)
ไขมัน (g/100g)	1.75 (0.15)	1.80 (0.05)	1.89 (0.03)	1.78 (0.03)	1.60 (0.02)	1.50 (0.01)	1.48 (0.05)
เถ้า (g/100g)	0.80 (0.03)	0.81 (0.02)	0.83 (0.02)	0.80 (0.04)	0.81 (0.04)	0.83 (0.02)	0.78 (0.03)
ใยอาหาร (g/100g)	0.45 (0.14)	0.50 (0.12)	0.40 (0.05)	0.42 (0.06)	0.50 (0.04)	0.45 (0.02)	0.47 (0.06)
อะไมโลส (%)	13.25 (0.21)	14.50 (0.26)	13.10 (0.15)	14.50 (1.00)	13.30 (0.98)	14.15 (0.06)	13.10 (0.04)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของข้าวปทุมธานี 1 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

การวิเคราะห์	เดือนที่						
	0	1	2	3	4	5	6
ความชื้น (%)	11.20 (0.15)	11.30 (0.87)	11.40 (0.83)	11.60 (0.06)	11.45 (0.18)	11.56 (0.58)	11.37 (0.73)
คาร์โบไฮเดรต (g/100g)	79.00 (2.11)	79.40 (1.45)	78.80 (2.21)	79.12 (1.25)	79.20 (1.39)	79.04 (1.45)	78.25 (1.57)
โปรตีน (g/100g)	7.25 (0.04)	7.38 (0.23)	7.23 (0.15)	7.27 (0.08)	7.35 (0.08)	7.54 (0.03)	7.95 (0.05)
ไขมัน (g/100g)	1.52 (0.09)	1.11 (0.05)	1.91 (0.07)	1.35 (0.01)	1.05 (0.02)	0.97 (0.01)	0.87 (0.02)
เถ้า (g/100g)	0.75 (0.01)	0.77 (0.01)	0.67 (0.02)	0.70 (0.00)	0.78 (0.03)	0.73 (0.02)	0.71 (0.03)
ใยอาหาร (g/100g)	0.20 (0.04)	0.26 (0.08)	0.10 (0.00)	0.12 (0.01)	0.21 (0.02)	0.15 (0.02)	0.27 (0.01)
อะไมโลส (%)	14.30 (0.23)	14.20 (0.14)	13.10 (0.17)	14.60 (0.57)	13.50 (0.58)	14.26 (0.06)	14.30 (0.04)

หมายเหตุ: ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของข้าวแต่ละตัวอย่างที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน

ในขณะเดียวกันจากรายงานส่วนใหญ่พบว่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าว โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา (Chrastil, 1994; Zhou และคณะ, 2003) แต่องค์ประกอบขนาดเล็กที่ผิวหน้าของเมล็ด เช่น โปรตีน ไขมัน อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ (Zhou และคณะ, 2003) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณไขมันของข้าวทั้ง 2 ตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดจากผลของเอนไซม์ และ/หรือออกซิเจน ที่ทำปฏิกิริยากับไขมัน ได้เป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) คาร์บอนิล (carbonyl) เป็นต้น โดยสารประกอบคาร์บอนิลส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนในข้าว (งามชื่น, 2546)

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหยได้ในข้าวระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยการใช้เทคนิค SPME-GC-MS พบว่าสามารถจำแนกสารที่พบได้เป็น 6 กลุ่ม คือ แอลกอฮอล์ (alcohol) แอลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) อัลเคน (alkane) อัลคีน (alkene) และเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบที่ให้กลิ่นในข้าวหอมทั้ง 2 ตัวอย่าง พบว่าโนนาแนล (nonanal) เป็นสารที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด สารประกอบอื่นๆ ที่พบในปริมาณรองลงมา เช่น hexanal, 1-hexanol, undecane, 5-methyl-, 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-tetradecene, (Z)- เป็นต้น อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าสาร 1-heptanal และ 1-octen-3-ol จะพบเฉพาะในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 6 เดือน ซึ่งสารดังกล่าวจะไม่พบในข้าวปทุมธานี 1 ในขณะเดียวกันสาร hexadecane,7,9-dimethyl, 3-tridecene, (Z), 6-tridecene, (Z)- และ 3-tetradecene, (E)- พบเฉพาะในข้าวปทุมธานี 1 เช่นกัน นอกจากนี้สาร 2-tetradecene, (Z)- ของข้าวทั้ง 2 ตัวอย่าง จะพบในช่วง 4 เดือนแรกของการเก็บรักษาเท่านั้น

สารประกอบระเหยได้โดยส่วนใหญ่ที่พบจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เช่น hexanal, 1-hexanol และ 1-heptanol เป็นต้น ส่วน 2-AP จะมีปริมาณลดลงระหว่างการเก็บรักษา ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์ 1-heptanol โดยจากการศึกษาของ Sunthonvit และคณะ (2005) พบว่าอัลดีไฮด์เป็นสารประกอบที่ระเหยได้กลุ่มหลักที่พบในเมล็ดข้าว ซึ่งอัลดีไฮด์นั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ในข้าว (Houston, 1972) สำหรับการเกิดขึ้นของ hexanal ในข้าวสามารถเกิดขึ้นได้จากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Sunthonvit และคณะ, 2005) รายงานดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Wayne และ James (1997) และ Suzuki และคณะ (1999) ที่พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัลดีไฮด์ และคีโตนในข้าวระหว่างการเก็บรักษาอาจเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของกรดไขมัน กรดอะมิโน (amino acid) และวิตามิน ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในข้าว

ส่วนแอลกอฮล์ในข้าวสามารถสร้างขึ้นได้จากการแตกตัวของกรดไขมันโดยเอนไซม์ลีพอกซี-จีเนส (lipoxygenase) (Suzuki และคณะ, 1999) ดังนั้นการเกิดขึ้น หรือการสลายตัวของสารประกอบต่างๆ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นจึงสามารถช่วยเพิ่ม หรือลดกลิ่นของข้าวได้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารกลุ่มต่างๆ ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่วิเคราะห์โดยใช้ internal standard

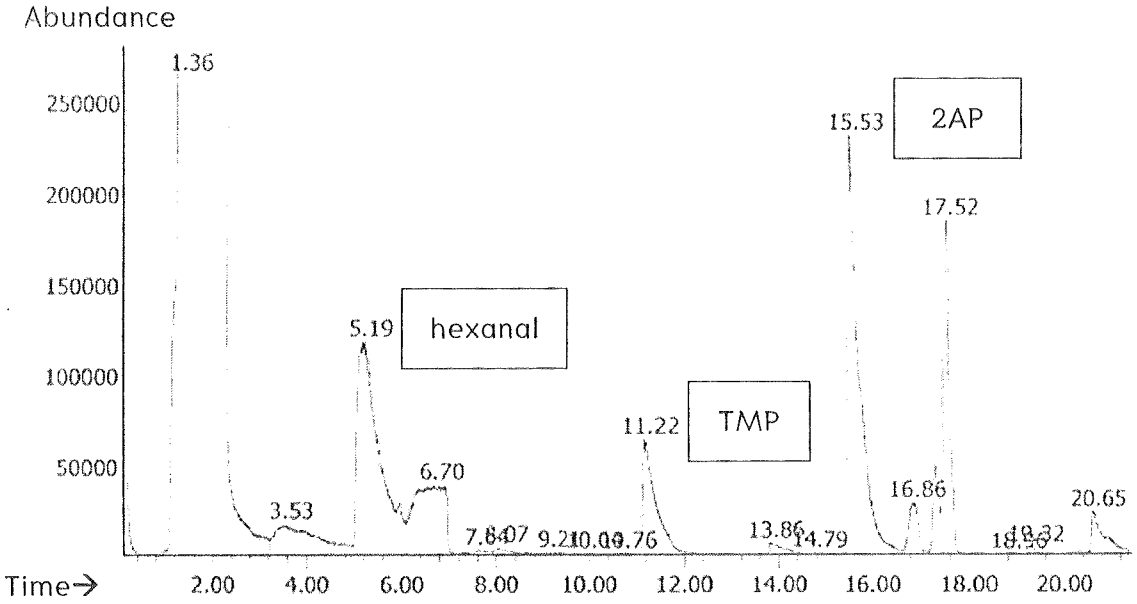
ชนิดของสาร	ค่า LRI	ความเข้มข้น (ppm)					
		1	2	3	4	5	6
Alcohol							
1-hexanol	235.97	45.82	52.63	57.42	69.52	65.99	64.54
1-heptanol	219.36	3.93	4.21	4.23	5.25	5.32	6.10
1-octen-3-ol	226.56	-	-	4.82	-	-	-
Aldehydes							
hexanal	169.85	112.47	115.90	121.12	122.26	125.89	135.28
benzaldehyde	201.12	5.93	5.96	7.12	4.23	7.70	5.74
octanal	177.87	-	-	3.12	-	14.55	-
nonanal	217.28	126.31	133.39	148.90	202.05	151.31	162.52
Ketones							
2-heptanone	257.59	7.47	9.97	8.41	8.47	14.21	27.68
Alkanes							
hexadecane,7,9-dimethyl	273.69	-	-	-	-	-	-
undecane, 5-methyl-	269.90	50.02	45.18	49.18	53.26	60.25	64.42
decane,3,8-dimethyl-	283.88	-	-	24.85	-	38.84	-
dodecane	312.43	31.08	35.72	29.42	45.90	39.98	46.79
Alkenes							
3-tridecene, (Z)	294.64	-	-	-	-	-	-
6-tridecene, (Z)-	329.24	-	-	-	-	-	-
2-tetradecene, (Z)-	347.77	21.71	20.25	36.34	33.61	-	-
3-tetradecene, (E)-	351.34	-	-	-	-	-	-
5-tetradecene, (Z)-	381.03	-	-	-	-	55.10	72.88
Heterocyclic							
2-acetyl-1-pyrroline	234.56	35.55	30.42	30.15	28.19	22.43	20.58

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารกลุ่มต่างๆ ในข้าวปทุมธานี 1 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่วิเคราะห์โดยใช้ internal standard

ชนิดของสาร	ค่า LRI	ความเข้มข้น (ppm)					
		1	2	3	4	5	6
Alcohol							
1-hexanol	235.97	41.11	44.20	46.20	56.55	57.90	53.64
1-heptanol	219.36	-	-	-	-	-	-
1-octen-3-ol	226.56	-	-	-	-	-	-
Aldehydes							
hexanal	169.85	111.05	116.95	118.81	125.21	130.59	140.64
benzaldehyde	201.12	5.64	4.32	5.06	4.35	5.47	3.26
octanal	177.87	-	-	-	-	19.97	3.11
nonanal	217.28	122.64	126.76	118.00	132.82	130.99	93.62
Ketones							
2-heptanone	257.59	-	6.36	9.15	-	13.98	-
Alkanes							
hexadecane,7,9-dimethyl	273.69	-	12.19	-	-	-	-
undecane, 5-methyl-	269.90	44.11	46.11	58.87	64.16	-	-
decane,3,8-dimethyl-	283.88	22.67	-	36.63	-	21.41	-
dodecane	312.43	44.79	26.11	22.19	38.85	28.28	-
Alkenes							
3-tridecene, (Z)	294.64	-	-	-	-	-	16.44
6-tridecene, (Z)-	329.24	-	21.66	26.28	-	-	-
2-tetradecene, (Z)-	347.77	13.79	21.54	27.11	28.65	-	-
3-tetradecene, (E)-	351.34	-	-	-	-	-	92.66
5-tetradecene, (Z)-	381.03	25.88	32.88	23.37	29.58	-	-
Heterocyclic							
2-acetyl-1-pyrroline	234.56	30.23	29.97	23.97	21.97	18.71	15.52

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงของ 2-AP และ n-hexanal ในข้าวระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ปริมาณ 2-AP ซึ่งเป็นสารประกอบระเหยได้หลักที่ให้กลิ่นหอมในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 พบว่า retention time ของ 2-AP และ hexanal คือ 15.53 และ 5.25 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ 2,4,6-trimethylpyridine (TMP) ซึ่งใช้เป็น internal standard ที่ retention time เป็น 11.22 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.1

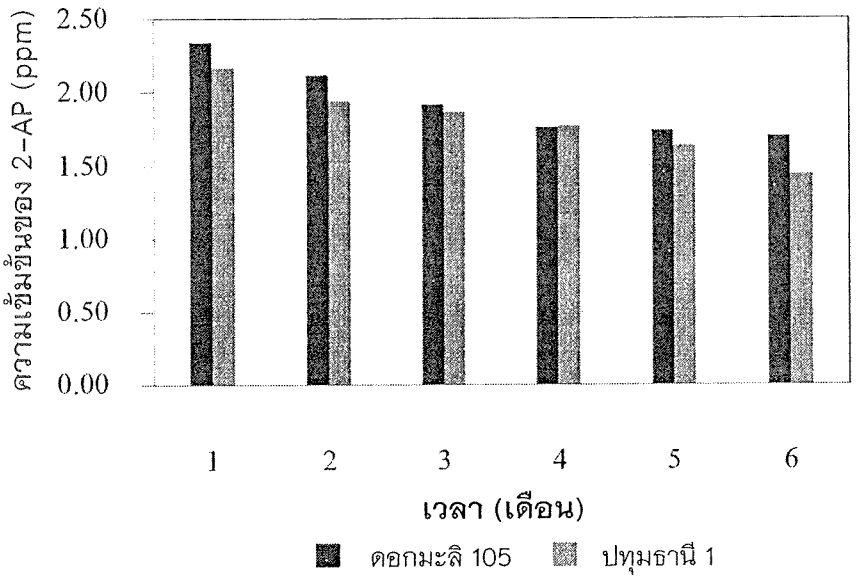


ภาพที่ 4.1 โครมาโตแกรมของ 2,4,6-trimethyl pyridine, 2-AP และ hexanal ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้าวหอมด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

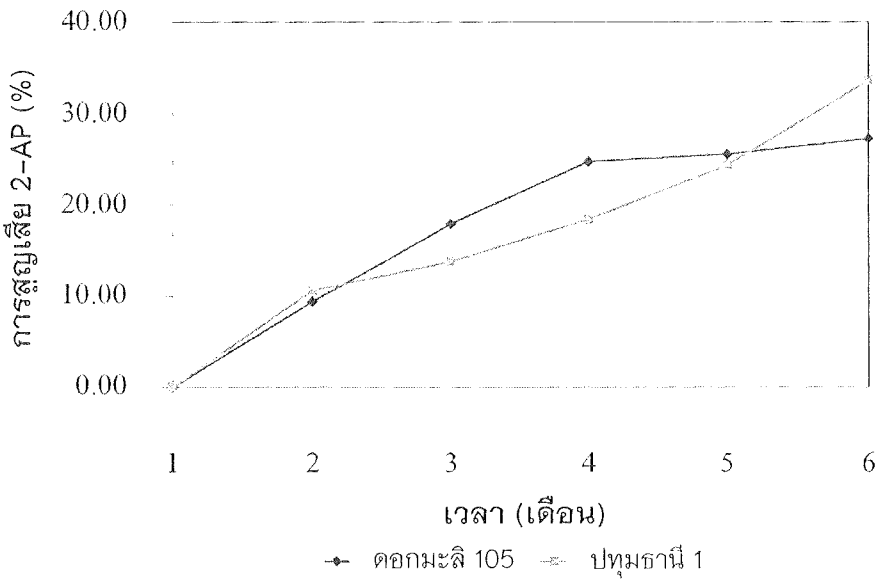
ในขณะเดียวกันจากการวิเคราะห์ปริมาณ 2-AP และ hexanal โดยใช้กราฟมาตรฐานที่มีค่าการถดถอยเชิงเส้น (R^2) เป็น 0.999 และ 0.997 ตามลำดับ พบว่ามีปริมาณ 2-AP ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน มีค่าประมาณ 2.34 และ 2.17 ppm ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ค่อนข้างสูงกว่าข้าวหอมชนิดอื่นๆ ที่เคยมีรายงานไว้ เช่น Basmati 370 ของอินเดียและปากีสถาน และ Milagrosa ของฟิลิปปินส์ (Tanchotikul และ Hsieh, 1991; Wongpornchai และคณะ, 2004) แต่จากรายงานของ Wongpornchai และคณะ (2004) พบว่าปริมาณ 2-AP ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าสูงในช่วง 3.5-4.0 ppm

อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวทั้ง 2 ตัวอย่างมากขึ้น ปริมาณ 2-AP ที่คงเหลือจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากร้อยละการสูญเสียของปริมาณ 2-AP ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าในช่วงเดือนที่ 2-4 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะมีอัตราการสูญเสียมากกว่าข้าวปทุมธานี 1 แต่หลังจาก 4 เดือน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีอัตราการสูญเสียที่ต่ำกว่าข้าวปทุมธานี 1 อย่างเห็นได้ชัด โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ข้าวขาวดอกมะลิ 105

และปทุมธานี 1 มีร้อยละการสูญเสีย 2-AP เป็น 27.35 และ 33.64 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ทั้งนี้ผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Laohakunjit และ Kerdchoechuen (2007) ในขณะเดียวกันปริมาณ 2-AP ที่แตกต่างกันยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ตัวอย่าง (Laohakunjit และ Kerdchoechuen, 2007) และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Widjaja และคณะ, 1996; Tulyathan และคณะ, 2008) Laksanalamai และ Ilangantileke (1993) รายงานว่ากลิ่นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะลดลงร้อยละ 50 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิปกติ แต่การเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 12 เดือน ปริมาณกลิ่นจะลดลงร้อยละ 35 (Mahatheeranont และคณะ, 2001)

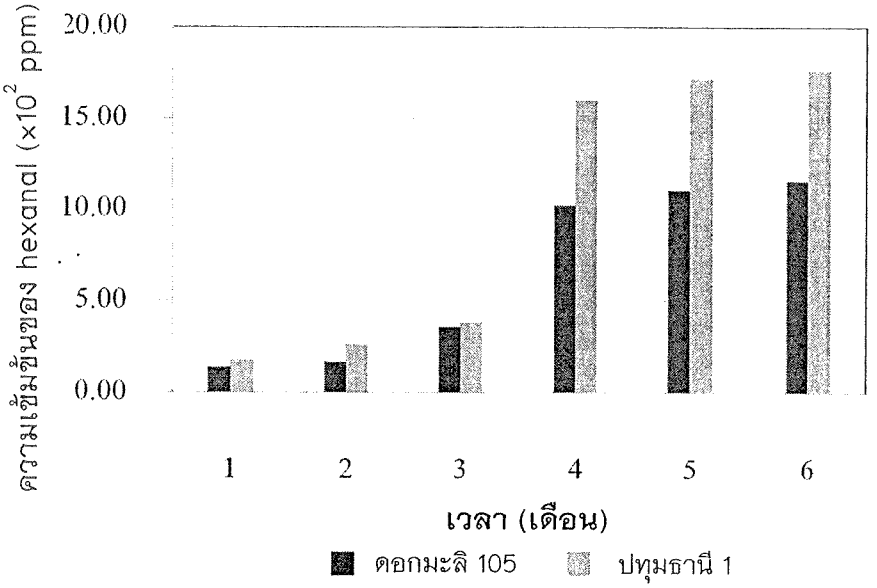


ภาพที่ 4.2 ผลของระยะเวลาเก็บรักษาต่อปริมาณ 2-AP ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1

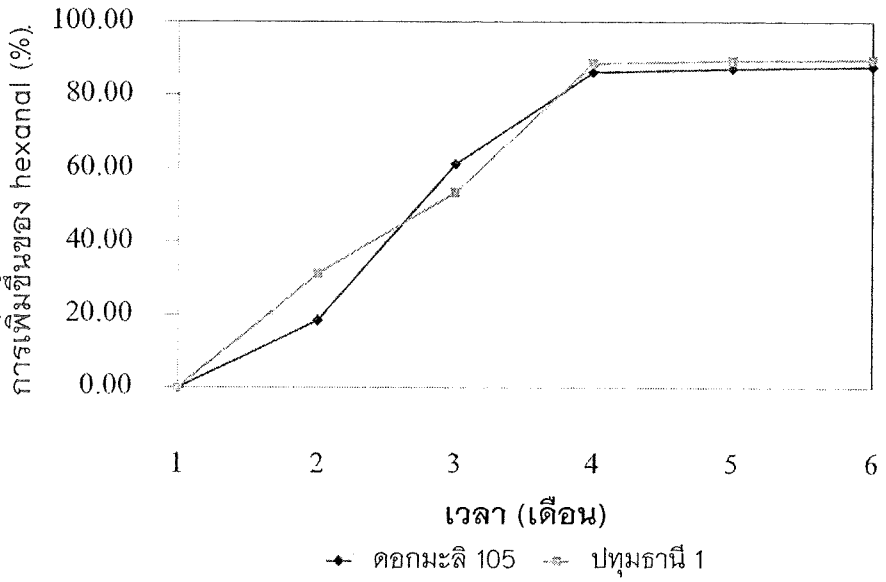


ภาพที่ 4.3 ร้อยละการสูญเสียปริมาณ 2-AP ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

เมื่อพิจารณาจากปริมาณ hexanal พบว่าระยะเวลาในการเก็บที่มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ hexanal เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 โดยข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ที่เก็บรักษาเดือนแรก มีปริมาณ hexanal ประมาณ 141.00 และ 181.50 ppm ตามลำดับ โดยปริมาณ hexanal ในข้าวทั้ง 2 ตัวอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 3 และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนพบว่า ปริมาณ hexanal ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 เพิ่มขึ้นร้อยละ 87.87 และ 89.75 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ผลของระยะเวลาเก็บรักษาต่อปริมาณ hexanal ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1



ภาพที่ 4.5 ร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณ hexanal ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน

ทั้งนี้ n-hexanal เป็นสารประกอบคาร์บอนิล ซึ่งเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ การเพิ่มขึ้นของ n-hexanal เป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญในการบ่งบอกการหืน (rancidity) ในข้าว (Champagne และ Hron, 1993; Yasumatsu และคณะ, 1966; Laohakunjit และ Kerdchoechuen, 2007) เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (off-flavor) และกลิ่นอับ (stale flavor) ในข้าว (Champagne และ Hron, 1993; Shibuya และคณะ, 1974; Laohakunjit และ Kerdchoechuen, 2007) ด้วยเหตุนี้ข้าวหอมจึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหืนระหว่างการเก็บรักษาได้ง่ายกว่าข้าวที่ไม่มีกลิ่น (non-aromatic rice)

4.4 สรุป

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และปริมาณสารระเหยในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และอะไมโลสของข้าวแต่ละตัวอย่าง ทั้งนี้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะมีปริมาณไขมัน และใยอาหารแตกต่างจากข้าวปทุมธานี 1 เล็กน้อย นอกจากนี้จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารระเหยในข้าว พบว่าสามารถจำแนกสารที่พบได้เป็น 6 กลุ่ม คือ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน อัลเคน อัลคีน และเฮเทอโรไซคลิก โดยแอลดีไฮด์เป็นสารกลุ่มหลักที่พบและมีปริมาณสูงโดยเฉพาะ nonanal และ hexanal ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ 2-AP จะลดลงระหว่างการเก็บรักษา

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2010, http://www.oae.go.th/main.php?filename=index เข้าถึงเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน 2553.

งามชื่น คงเสรีกิจ. 2546. การวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยข้าว.

Adams A., Kimpe ND. 2007. Formation of pyrazines and 2-acetyl-1-pyrroline by *Bacillus cereus*. Food Chem 101: 1230-1238.

Arthur CL., Pawliszyn J. 1990. Solid Phase Microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers. Anal Chem 62: 2145.

Bocchi S., Sparacino AC., Tava A. 1995. Aromatic rice varieties in Italy. Prelim Res Sementi-Elette (Italy) 41(1): 15-18.

Buttery RG., Ling LC., Juliano BO., Turnbaugh JG. 1983. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. J Agri Food Chem 31: 823-826.

Champagne ET., Hron RJSr. 1993. Utilizing ethanol containing an antioxidant or chelator to produce stable brown rice products. Cereal Chem 70: 562-567.

Chrastil, J. 1994. Effect of storage on the physicochemical properties and quality factors of rice. In W.E. Marshall & J.I. Wadsworth (eds.): Rice science and technology, New York: Marcel Dekker, Inc.

Grimm CC., Bergman C., Delgado JT., Bryant R. 2001. Screening for 2-acetyl-1-pyrroline in the headspace of rice using SPME/GC-MS. J Agri Food Chem 49: 245-249.

Houston DF. 1972. Rice hull. Houston DF (ed.). Rice: chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

Itani T., Takada A., Tamaki M., Hayata Y., Fushimi T., Hashizume K. 2008. Chemical and sensory evaluation of aromatic rice cultivars. New direction for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Crop, Brisbane, Australia, 26 Sep-1 Oct.

Ishitani K., Fushimi C. 1994. Influence of pre- and post-harvest conditions on 2-acetyl-1-pyrroline concentration in aromatic rice. The Koryo 183: 73-80.

Laksanalamai V., Ilangantileke S. 1993. Comparison of aroma compound (2-acetyl-1-pyrroline) in leaves from Pandan (*Pandanus amaryllifolius*) and Thai fragrant rice (Khao Dawk Mali-105) Cereal Chem 70: 381-384.

Laohakunjit N., Kerdchoechuen O. 2007. Aroma enrichment and the change during storage of non-aromatic milled rice coated with extracted natural flavor. Food Chem 101: 339-344.

Mahathreeranont S., Keawsa-ard, S., Dumri K. 2001. Quantification of the rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice. J Agri Food Chem 49: 773-779.

Shibuya N., Iwasaki T., Yanase H., Chikubu S. 1974. Studies on deterioration of rice during storage. I. Changes of brown rice and milled rice during storage. J Jap Sco Food Sci Tech 21: 597.

Srinivas P., Gurudutt KN. 2004. Process for the preparation of 2-acetyl-1-pyrroline, the basmati rice flavorant. Patent US 6,723,856 B1.

Sunthonvit N., Srzednicki G., Craske J. 2005. Effects of high temperature drying on the flavor components in Thai fragrant rice varieties. Drying Tech 23(7): 1407-1418.

Suzuki Y., Ise K., Li C., Honda I., Iwai Y., Matsukura U. 1999. Volatile components in stored rice (*Oryza sativa* L.) of varieties with and without lipoxygenase-3-in seeds. J Agri Food Chem 47(3): 1119-1124.

Tanchotikul U., Hsieh, TCY. 1991. An improved method for qualtification of 2-acetyl-1-pyrroline, "Pop corn" like aroma, in aromatic rice by high resolution gas chromatography/mass spectrometry/selected ion monitoring. J Agru Food Chem 39: 944-947.

Tulyathan V., Srisupattarawanich N., Suwanagul A. 2008. Effect of rice coating on 2-acetyl-1-pyrroline and n-hexanal in brown rice cv. Jao Hom Supanburi during storage. Post Bio and Tech 47: 367-372.

Wakte KV, Thengane RJ., Jawali N., Nadaf AB. 2010. Optimization of HS-SPME conditions for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline and study of other volatiles in *Pandanus amaryllifolius* Roxb. Food Chem (in press).

Wayne EM., James LW. 1997. Rice science and technology. New York: Marcel Dekker, Inc.

Widjaja R., Craske J., Wootton, M. 1996. Changes in volatile components of paddy, brown, and white fragrance rice during storage. J Sci Food Agri 71: 218-224.

Wongpornchai S., Dumri K., Jongkaewwattana S., Siri B. 2004. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105. Food Chem 87: 407-414.

Yasumatsu K., Moritaka S., Wada S. 1966. Studies on cereals. Part IV. Volatile carbonyl compounds of cooked rice. Agri Bio Chem 30: 478-482.

Zhou Z., Robards K., Helliwell S., Blanchard C. 2003. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. Food Res Int 36: 625-634.