

ผลของการเติมสารดูดซับเอทิลีนต่อคุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าว
Effect of Adding Ethylene - Adsorbing Chemicals on the Property of Rice Straw
Carboxymethylcellulose Film

รุ่งรัตน์ อธิยาศัยวิสุทธิ¹ และ สุพัฒน์ คำไทย^{1,2}

Rungrat Adthayasaivisuthi¹ and Suphat Khamthai^{1,2}

Abstract

The production of ethylene - adsorbing film from rice straw carboxymethyl-cellulose (CMCr) was conducted in order to study the effect of two chemicals such as activated carbon (A) and zeolite (B) on ethylene - adsorbing film properties. The experiment was divided into 4 concentration levels such as A1 - A4 and B1 - B4 g/m², which were mixed with CMCr. Observing by scanning electron microscope (SEM) at x500 and x1,000, the particles of adsorber substance dispersed consistently throughout the films and result in density increasing according to the decreasing of Water Vapor Permeability (WVP). In addition, the increasing of adsorber substance results in the lower adsorption rate due to density increasing which led to less transmission of ethylene gas. Film thickness and percentage of elongation depended on the amount of adsorber substance added. From the mechanical property, tensile strength of ethylene adsorber film relied on shape and size of adsorber substance. However, there was non-significantly different (p=0.05) in the increasing of adsorber substance among the same type of formulations. Moreover, percentage of water solubility showed non-significantly different (p=0.05) in all formulations.

Keywords: rice straw, carboxymethylcellulose, ethylene adsorber

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีนโดยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าว เพื่อศึกษาผลของการเติมสารดูดซับเอทิลีนสองชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ (A) และ สารซีโอไลท์ (B) ที่ระดับความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ A1 - A4 และ B1 - B4 g/m² ต่อคุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าว จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ในแนวพื้นผิว และ แนวด้านตัดขวาง ที่กำลังขยาย x500 และ x1,000 เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์ม พบว่าอนุภาคสารดูดซับเอทิลีนทั้งสองชนิดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นฟิล์ม โดยแทรกตัวอยู่ภายในช่องว่างของเนื้อฟิล์ม ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาแน่นสูงขึ้น สอดคล้องกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำที่ลดลง และอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนที่ลดลง เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซเอทิลีนไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปภายในเนื้อฟิล์มได้ นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาและเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของฟิล์มแปรผันตรงกับระดับความเข้มข้นของสารดูดซับเอทิลีน และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มแปรผันกับรูปร่างและขนาดอนุภาคของสารดูดซับ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.05) ในการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารดูดซับระหว่างฟิล์มที่มีส่วนผสมของสารดูดซับชนิดเดียวกัน คุณสมบัติด้านความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.05) ระหว่างฟิล์มในทุกระดับความเข้มข้นของการเติมสารทั้งสอง

คำสำคัญ: ฟางข้าว, คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, สารดูดซับก๊าซเอทิลีน

คำนำ

ไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการส่งออกผลผลิตทางการเกษตรมากเป็นอันดับต้นๆของโลก โดยผลไม้ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงที่สำคัญได้แก่ ลำไย มะม่วง ทุเรียน มังคุด และ อื่นๆ แต่เนื่องจากผลไม้ที่ส่งออกไปยังต่างประเทศมักพบปัญหาการสุกในระหว่างขนส่ง ทำให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ เปลี่ยนไป และปริมาณผลผลิตที่วางจำหน่ายได้น้อยลง โดยมี

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

¹Division of Packaging Technology, School of Agro-Industry, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50100

² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

² Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100

สาเหตุจากจากระบวนการทำงานของก๊าซเอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่เรียกว่า “ripening hormone” สามารถพบได้ตั้งแต่การเจริญของพืช การพัฒนา จนกระทั่งตาย (Zagory, 1995; Vermeiren *et al.*, 2003) โดยปริมาณการผลิตเอทิลีนจะแตกต่างกันตามชนิดของผลไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ในกลุ่มบ่มสุก (climacteric fruits) ก๊าซเอทิลีนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจของผลไม้ ส่งผลกระทบต่อการเหี่ยว เสื่อมสภาพของผลไม้ กระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ การเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง อีกทั้งยังกระตุ้นการเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล และ ก่อให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อราต่อไป โดยก๊าซเอทิลีนปริมาณเล็กน้อยเพียง 0.1 ส่วนในล้านส่วน (0.1 ppm) สามารถทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวมีคุณภาพแย่งลงได้ (เกษกานต์, 2545) นอกจากนี้ไอเสียจากรถยนต์ พลาสติก ควัน และแสงไฟจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้ก๊าซ เอทิลีนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (www.themagiccube.com, 2009)

จากปัญหาการเสื่อมเสียของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจของผลไม้ จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยเรื่องนี้ที่มุ่งคิดค้นพัฒนากระบวนการผลิต และปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสให้มีคุณสมบัติดูดซับก๊าซเอทิลีน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การผลิตฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีน

สารดูดซับเอทิลีนชนิด A (activated carbon) หรือ B (zeolite) ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำให้กระจายตัวในน้ำกลั่นด้วย magnetic stirrer ณ อุณหภูมิ 80°C โดยแบ่งความเข้มข้นของสารดูดซับเอทิลีนออกเป็น 4 ระดับ คือ A1 - A4 และ B1 - B4 g/m² เลข 1 แสดงถึงความเข้มข้นต่ำที่สุด และเลข 4 แสดงถึงความเข้มข้นสูงที่สุด จากนั้นเติมคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสจากฟางข้าว 3 กรัม และคนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน กรองสารละลายด้วยตระแกรงขนาด 250 mesh ตวงสารละลายปริมาตร 30 มิลลิลิตร เทลงในเพลทแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร อบสารละลายด้วยตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จึงทำการลอกแผ่นฟิล์มออกจากเพลท

2. การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีน

การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตขึ้น ทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ดังนี้ คือ (1) การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) (2) อัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีน (ethylene adsorption rate) โดยวิธี gas chromatography (GC) (3) ความหนาของฟิล์ม (4) ค่าความต้านทานแรงดึงขาดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีนด้วยเครื่อง instron universal testing instrument ตามมาตรฐาน ASTM D638M (5) ค่าการซึมผ่านของไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM E96-00 จากนั้นจึงคำนวณค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) และ (6) ค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ (percentage of water solubility)

ผล

การทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีน

(1) การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีน พบว่า เมื่อมีการเติมสารดูดซับเอทิลีนมากขึ้น การตรวจพบอนุภาคสารดูดซับบริเวณผิวหน้าฟิล์มและภายในเนื้อฟิล์มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน โดยอนุภาคสารดูดซับชนิด A มีรูปทรงลูกบาศก์ และอนุภาคสารดูดซับชนิด B มีรูปทรงเป็นเกล็ดผลึก นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคสารดูดซับมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นฟิล์ม และแทรกตัวอยู่ภายในช่องว่างของเนื้อฟิล์ม ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาแน่นสูงขึ้น สังเกตได้จากช่องว่างที่ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเอทิลีน (Figures 1 & 2)

(2) อัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีน (Ethylene adsorption rate)

อัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนของฟิล์มที่มีการเติมสารดูดซับ ณ ระดับความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยฟิล์มชุด B1 มีความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนสูงสุด คือ 0.88 ppm/hr (Table 1) และฟิล์มชุดควบคุมมีความสามารถในการดูดซับเอทิลีนต่ำสุด คือ 0.18 ppm/hr นอกจากนี้พบว่าฟิล์มที่มีการเติมสารดูดซับ A มีความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนได้ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมสารดูดซับ B

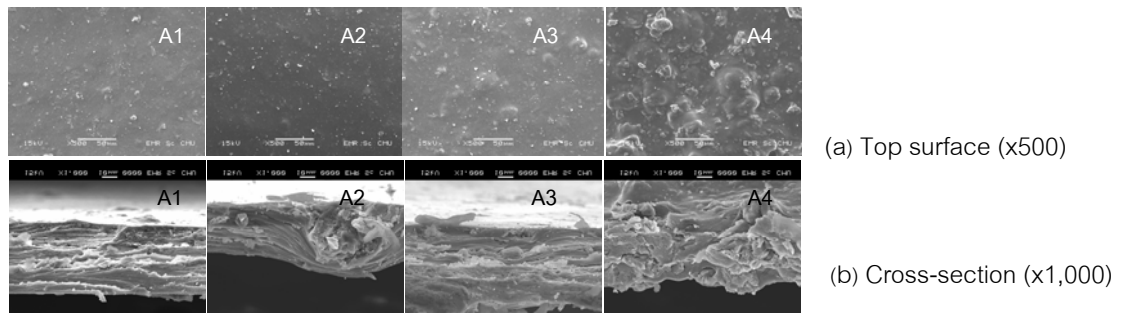


Fig. 1 Morphology of ethylene adsorbing film at different formula A1 – A4

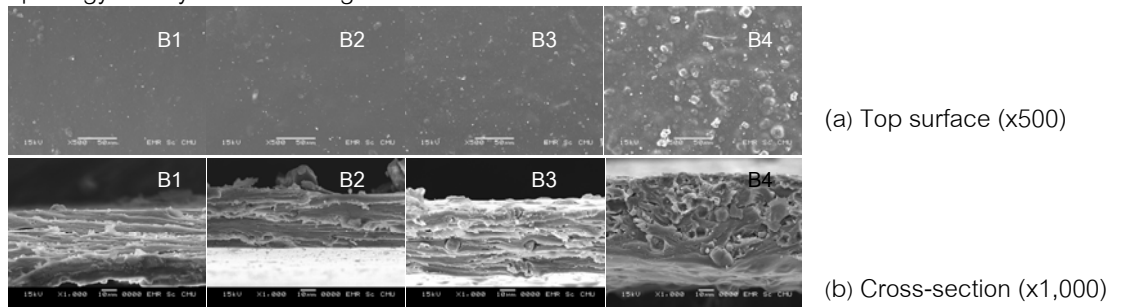


Fig. 1 Morphology of ethylene adsorbing film at different formula B1 – B4

(3) การทดสอบคุณสมบัติของกายภาพและเชิงกล

การทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ และ ความแข็งแรงของฟิล์มดูดซับเอทิลีน (Table 1) จากการทดลองพบว่า การเติมสารดูดซับเอทิลีนชนิด A และ B นั้นส่งผลอย่างชัดเจนต่อคุณสมบัติของฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีนที่ผลิตขึ้น โดยผลของการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารดูดซับเอทิลีน พบว่า ความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.05$) ในฟิล์มที่มีส่วนผสมของสารดูดซับชนิดเดียวกัน

Table 1 The Property of ethylene-absorbing film from rice straw carboxymethylcellulose

Film Property	Film Formulation								
	Control	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
Thickness	50	61	88	113	120	51	60	63	79
(μm)	$\pm 0.2^a$	$\pm 0.2b^c$	$\pm 0.2^e$	$\pm 0.2^f$	$\pm 0.3^g$	$\pm 0.2^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.2^b$	$\pm 0.2^a$
Tensile strength	44.57	26.73	27.67	24.01	20.41	40.79	37.08	38.92	37.02
(MPa)	$\pm 0.2^d$	$\pm 0.2^b$	$\pm 0.2^b$	$\pm 0.1^{ab}$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.2^{cd}$	$\pm 0.2^c$	$\pm 0.2^c$	$\pm 0.1^c$
Elongation	3.48	2.57	4.06	4.64	3.06	3.04	3.16	4.12	5.64
(%)	$\pm 0.2^{ab}$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^{bc}$	$\pm 0.1^{cd}$	$\pm 0.1^{ab}$	$\pm 0.1^{ab}$	$\pm 0.1^{ab}$	$\pm 0.1^{bc}$	$\pm 0.1^d$
Water solubility	89.57	89.50	89.60	89.41	89.14	89.40	89.57	89.59	89.66
(%)	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$	$\pm 0.1^a$
Water vapor permeability	9.36 x	1.36 x	1.05 x	9.36 x	8.15 x	1.55 x	1.50 x	1.53 x	1.23 x
(WVP; $\text{g}/\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2$)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}
C_2H_4 absorption rate (ppm)	$\pm 0.35^b$	$\pm 0.3^f$	$\pm 0.45^d$	$\pm 0.5^c$	$\pm 0.5^a$	$\pm 0.5^i$	$\pm 0.2^g$	$\pm 0.3^h$	$\pm 0.5^e$
	0.18 ^a	0.70 ^g	0.66 ^f	0.26 ^c	0.22 ^b	0.88 ^h	0.61 ^e	0.35 ^d	0.23 ^b

Means with the same letter indicate there is no significant difference.

วิจารณ์ผล

การเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเอทิลีนส่งผลให้อัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของสารดูดซับที่สูงเกินไปทำให้ฟิล์มมีความหนาแน่นสูงซึ่งสังเกตได้จากภาพ SEM ในแนว cross-section ดังนั้นก๊าซเอทิลีนจึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในเนื้อฟิล์มและถูกดูดซับด้วยอนุภาคสารดูดซับได้ แต่การเติมสารดูดซับในปริมาณที่พอเหมาะทำให้อนุภาคสารดูดซับกระจายตัวภายในฟิล์มและดูดซับก๊าซเอทิลีนไว้ที่ผิวของอนุภาคด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Romero *et al.*, 2007) การใช้สารดูดซับเอทิลีนผสมในฟิล์มสำหรับบรรจุผลไม้ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาผลไม้ช้ำจากการกระทบกับสารดูดซับเอทิลีนในรูปของซองบรรจุ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุรพิชญ์ และคณะ (2551) ที่พบว่าการผสมสารดูดซับเอทิลีนลงในฟิล์มพลาสติกต้นแบบ พบว่า มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซเอทิลีนสูงถึง 63,000 – 74,000 cm³/m².day.atm ซึ่งสูงกว่าฟิล์มประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายในต่างประเทศถึง 2 - 10 เท่า โดยสารดูดซับเอทิลีนที่เติมนั้นจะต้องมีขนาดรูพรุนที่ละเอียดอย่างไรก็ตามการผสมสารดูดซับลงในฟิล์มมีผลทำให้ค่าความทึบแสงที่สูงขึ้น และมีแนวโน้มที่ความสามารถของสารดูดซับไม่เพียงพอต่อการดูดซับก๊าซเอทิลีนเมื่อเทียบกับรูปแบบซอง (Suslow, 1997) แต่การผสมแร่ธาตุที่มีความพรุนสูงลงในวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม่เพียงเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนเท่านั้น Choi (1991) รายงานว่า ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ที่ลดลงนั้นเป็นผลมาจากก๊าซเอทิลีนสามารถซึมผ่านออกจากบรรจุภัณฑ์ได้

สรุป

ฟิล์มสูตร B1 ที่มีส่วนผสมของสารดูดซับเอทิลีนชนิด B เข้มข้นต่ำสุด ที่ระดับความเข้มข้น B1 g/m² เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตฟิล์มดูดซับก๊าซเอทิลีนด้วยความหนา 51 μm ค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงที่ระดับ 40.79 MPa และค่าอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนสูงสุดที่ระดับ 0.88 ppm/hr หรือมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 87% อย่างไรก็ตามคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น การซึมผ่านของไอน้ำ และ ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม ควรมีการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติต่อไปในอนาคต เพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการใช้งานสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่สนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณโครงการ Research Projects for Undergraduate Students (RPUS) สำหรับเงินทุนสนับสนุนในการจัดทำโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- เกษกานต์ เกษโกมล. 2545. อิทธิพลของภาชนะบรรจุ อัตราการไหล O₂ : CO₂ และปริมาณสารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 113.
- ปัญหาซึ่งเป็นที่มาของสินค้า. The Magic Cube Company Ltd. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.themagiccube.com/index.php/lang-th/our-product/1-latest-news/6-productos>. (10 เมษายน 2552).
- สุรพิชญ์ ลอยกุลนันท์ และคณะ. 2551. ฟิล์มกำจัดก๊าซเอทิลีนเพื่อชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลสด. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=599&Itemid=62. (10 เมษายน 2552).
- Choi, S. O. 1991. Orega ultra-high gas permeability film for fresh product packaging. *CAP 91, International Conference on Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaing*. Schotland Business Research, Inc, Princeton, New Jersey.
- Romero, D. M., G. Bailén, M. Serrano, F. Guillén, J. M. Valverde, P. Zapata, S. Castillo and D. Valero. 2007. Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action : A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47: 543-560.
- Suslow, T. 1997. Performance of zeolite based products in ethylene removal. *Perishables handling quarterly* 92 : 3-32.
- Vermeriem, L., L. Heirlings, F Devlieghere and J. Debevere. 2003. Oxygen, ethylene and others scavenger. In: Ahvenainen, R. (ed.). *Novel Food Packaging Techniques*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge. p. 22-54.
- Zagory, D. 1995. Ethylene-removing packaging. In: M. L. Rooney (ed.) *Active Food Packaging*, Blackie Academic & Professional, New York, p. 38-54.