

การพัฒนาต้นแบบฉลากแบบฉลาด เพื่อบอกถึงระดับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เก็บรักษาภายใต้  
สภาวะการเจริญของแมลง

Development of Intelligent Label Prototype for Indicating Vigour of Stored Rice Seed Under Insect  
Infestation

วีรเวทย์ อุทโท<sup>1</sup>, เรวัต ชัยราช<sup>1</sup> และ อุไรวรรณ แสงหัวช้าง<sup>1</sup>  
Weerawate Utto<sup>1</sup>, Raywat Chairat<sup>1</sup> and Uraiwan Saenhuachang<sup>1</sup>

Abstract

A prototype of an intelligent label having capability to indicate vigorous of stored rice seeds under insect infestation was developed. The label was made of agar and paper containing indicator solution (methyl red 0.1 % (w/v), bromothymol blue 0.1 % (w/v) และ sodium bicarbonate 3 mmol/L) giving darkish green colour appearance. Under CO<sub>2</sub> atmosphere, label colour became changed within 5-10 minutes and was apparently stable thereafter. Levels of redness such as pinkish red or reddish orange significantly were dependent on concentration levels of CO<sub>2</sub>. In contrast, extents of colour changes became limited when storage temperature was increased from 2 to 30°C. Given same temperature and CO<sub>2</sub> concentration,  $a^*$  values at the steady-state condition of both agar- and paper-based labels were comparable. The label illustrated its colour changed in responses to CO<sub>2</sub> changes in headspace of package containing rice seeds infested by insects tested including *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus oryzae*, and *Tribolium castaneum*. There were clear correlations between changes of  $a^*$  values of labels and reductions in (i) germination percentage and (ii) total phenolic content of rice seeds infested by *R. Dominica* at day 30 of storage period (for example Pearson correlations for agar-based label as -0.56 and -0.51, respectively). However there were no clear correlations found when labels were tested with other insect types.

**Keywords:** Intelligent label, Vigorous of rice seed, Stored insect

บทคัดย่อ

ต้นแบบฉลากแบบฉลาด (intelligent label) เพื่อบอกระดับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวภายใต้การเจริญของแมลงได้รับการพัฒนาขึ้น ในรูปแบบของฉลากวุ้นและฉลากกระดาษ ที่มีส่วนผสมของสารละลาย indicator (methyl red 0.1 % (w/v), bromothymol blue 0.1 % (w/v) และ sodium bicarbonate 3 mmol/L) ซึ่งมีสีเขียวเข้ม เมื่อ indicator ของฉลากทำปฏิกิริยากับ CO<sub>2</sub> ส่งผลให้ฉลากเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูแดง หรือส้มแดง ภายใน 5-10 นาที โดยลักษณะปรากฏของสีและค่า  $a^*$  ของฉลาก ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น CO<sub>2</sub> ในทางตรงกันข้ามการเปลี่ยนแปลงสีของฉลากเกิดขึ้นได้น้อยภายใต้อุณหภูมิที่สูง (30°C) เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่ำ (2 และ 10°C) ทั้งนี้ค่า  $a^*$  ในสภาวะคงที่ (steady-state) ของฉลากวุ้นและกระดาษมีค่าใกล้เคียงกันภายใต้อุณหภูมิและความเข้มข้น CO<sub>2</sub> ที่เท่ากัน ต้นแบบฉลากสามารถเปลี่ยนแปลงสีเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น CO<sub>2</sub> ในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์เมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีการเจริญของมอดข้าวเปลือก (*R. dominica*), มอดข้าวสาร (*S. oryzae*) และมอดแป้ง (*T. castaneum*) ในระหว่างการเก็บรักษา โดยการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของฉลาก ณ วันที่ 30 ของการเก็บรักษา สามารถสื่อได้อย่างชัดเจน ถึงการลดลงของทั้งระดับการงอกและค่าฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการเจริญของมอดข้าวเปลือก (เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ Pearson correlation สำหรับฉลากวุ้น เท่ากับ -0.56 และ -0.51 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามพบว่าความสัมพันธ์เหล่านั้นไม่มีความชัดเจน เมื่อทดสอบฉลากกับมอดชนิดอื่น

**คำสำคัญ:** ฉลากแบบฉลาด ความสมบูรณ์เมล็ดพันธุ์ข้าว แมลงในโรงเก็บ

<sup>1</sup> คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อำเภอวาริชราชจังหวัดอุบลราชธานี 34190 และ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ทท. 10400

<sup>1</sup> Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrab district, Ubon Ratchathani province, Thailand 34190 and Postharvest Technology Innovation Centre, Office of the Higher Education Commission, Bangkok, Thailand 10400

## คำนำ

ปัจจุบันมีการพัฒนาฉลากแบบฉลาด (intelligent label; IL) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงสี ภายใต้ก๊าซ CO<sub>2</sub> ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น CO<sub>2</sub> ในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์มักใช้เป็นดัชนีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการเสื่อมเสียของอาหารสด ทั้งนี้การเปลี่ยนสีของฉลากเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง CO<sub>2</sub> และ indicator ที่อยู่ในฉลาก เช่น สารละลายที่มีองค์ประกอบของ methyl red และ bromothymol blue (Smolander, 2003) เมื่อพิจารณากระบวนการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าว พบว่าการเจริญของแมลง เช่น มอดข้าวเปลือก มีการผลิต CO<sub>2</sub> เนื่องจากการหายใจของแมลง และส่งผลให้การงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง (Adhikarinayake et al., 2006) ดังนั้นหากมีการพัฒนาฉลาก IL ที่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงสี เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ CO<sub>2</sub> ในบรรจุภัณฑ์เมล็ดพันธุ์ข้าวและสีของฉลาก IL สามารถแสดงระดับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าว จะเป็นแนวทางสำคัญหนึ่งเพื่อการควบคุมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และช่วยให้เกษตรกรมีความมั่นใจในเมล็ดพันธุ์ข้าว การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบฉลาก IL ดังกล่าว และศึกษากลไกการเปลี่ยนสีของฉลาก ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสีของฉลากและระดับการงอกและค่าฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content; TPC) ของเมล็ดพันธุ์ข้าวซึ่งสารประกอบฟีนอลิกสามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการทำลายของแมลง (วันชัย, 2537)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. เมล็ดพันธุ์ข้าวและแมลง

เมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ฤดูกาล 2554-2555 ซึ่งจากผู้จำหน่ายเมล็ดพันธุ์ ใน จ. อุบลราชธานี แมลงที่ใช้ในการศึกษา คือ (1) มอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica* (Fabricius)), (2) มอดข้าวสาร (*Sitophilus oryzae* (Linnaeus)), และ (3) มอดแป้ง (*Tribolium castaneum* (Herbst)) ที่มีการเพาะและขยายพันธุ์ตามวิธีของ Jilani et al. (1989)

### 2. การพัฒนาต้นแบบฉลาก IL

ต้นแบบฉลาก IL มีทั้งในรูปแบบแผ่นวุ้นและกระดาษ ซึ่งสารละลายอินดิเคเตอร์ ของฉลากประกอบด้วย (1) methyl red 0.1 % (w/v) (ตัวทำละลาย คือ ethanol 50% v/v), (2) bromothymol blue 0.1 % (w/v) (ตัวทำละลาย คือ ethanol 50% v/v), และ (3) sodium bicarbonate 3 mmol/L (ตัวทำละลาย คือ น้ำกลั่น) ฉลากวุ้นเตรียมโดยผสม methyl red 3 ml กับ bromothymol blue 2 ml และกวนให้เข้ากัน จากนั้นเติม sodium bicarbonate 5 ml (ส่งผลให้สารละลายมีสีเขียว) เทสารละลายอินดิเคเตอร์ ลงในวุ้นละลายน้ำ (95°C) พร้อมคนให้เข้ากัน และนำไปเทลงในจานแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.7 cm ด้วยปริมาตร 5 ml ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง ในห้องมืด ณ อุณหภูมิห้อง (30°C) ทำการตัดแผ่นวุ้นเป็นฉลากขนาด 1.5 × 1.5 cm (ความหนาของแผ่นฉลากวุ้น เท่ากับ 10µm) ฉลากกระดาษเตรียมโดยหยดสารละลาย indicator ที่เตรียมตามวิธีข้างต้น ปริมาตร 0.5 ml ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ขนาด 1.5 × 1.5 cm แล้วปล่อยให้แห้งภายใต้สภาวะเดียวกันกับฉลากวุ้น

### 3. การเปลี่ยนสีของฉลากภายใต้อุณหภูมิและก๊าซ CO<sub>2</sub> ความเข้มข้นต่างๆ

การเปลี่ยนสีของฉลากภายใต้อุณหภูมิต่างๆ ทดสอบในถุงพลาสติก Nylon/PE (ฟิล์ม high O<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> barrier) ขนาด 20 × 20 cm โดยนำฉลากจำนวน 3 แผ่น (1 ถุง ต่อ 1 ชนิดของฉลาก IL) มาติดบนผนังด้านในของถุงพลาสติกด้วยเทปใส จากนั้นใส่จานแก้วในถุงเพื่อแยกผนังทั้งสองด้านของถุงและช่วยในการผสมของก๊าซ (gas mixing) ในบรรจุภัณฑ์ แล้วปิดผนึกถุงด้วยความร้อนและฉีดก๊าซ CO<sub>2</sub> ความเข้มข้น 5-7 % (v/v) ผ่านผนังถุงด้วยเข็มฉีดยา และปิดรูที่ฉีดทันทีด้วยเทปอะลูมิเนียม นำบรรจุภัณฑ์ไปเก็บไว้ ที่ 2, 10 และ 30°C ดำเนินการวัดการเปลี่ยนสีของฉลากภายใน 5 นาที แรก และ ทุกๆ 10 นาที ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการวัดสีผ่านฟิล์มด้วยเครื่อง Minolta Colorimeter CR300 ในหน่วย L, a\*, b\* ทั้งนี้สิ่งทดลองควบคุมจะไม่มีก๊าซ CO<sub>2</sub> เข้าไปในถุง สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนสีของฉลากภายใต้ CO<sub>2</sub> ความเข้มข้นต่างๆ ทำตามวิธีที่กล่าวข้างต้น แต่ได้ฉีด CO<sub>2</sub> ความเข้มข้น 3-4%, 5-7% และ 15-17% (v/v) เข้าไปในบรรจุภัณฑ์ และเก็บไว้ ที่ 30°C

### 4. การเปลี่ยนสีของฉลากที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ภายใต้การเจริญของมอด

ระบบที่ใช้ในการทดสอบการเปลี่ยนสีนี้ คือ จานแก้ว (ทั้งฐานและฝาครอบ) ซึ่งเป็นการจำลองการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยถุงกระดาษพลาสติกที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ ทำการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าว 30 กรัม ที่มีจำนวนมอด 150 ตัว (ต่อมอดหนึ่งชนิด) ลงในจานด้านล่าง จากนั้นทำการครอบปิดด้วยฝาจาน (จานด้านบน) ที่ติดฉลากวุ้นและกระดาษ (อยู่กลาง 3 แผ่น) เก็บเป็นเวลา 2 เดือน ณ 30°C ในทุกวัน ที่ 30 วัดสีของฉลาก ระดับการงอกของเมล็ดพันธุ์ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

ประยุกต์จากวิธีของ Kim et al. (2003) ทั้งนี้สิ่งทดลองควบคุมจะไม่มีแมลงบนเมล็ดพันธุ์ข้าว การวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design และวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of Variance, ANOVA) ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย Tukey's test ( $p < 0.05$ ) และความสัมพันธ์ (correlation) โดยใช้ Minitab (version 14, Minitab Inc.)

### ผลและวิจารณ์

#### 1. การเปลี่ยนสีของฉลากภายใต้อุณหภูมิและก๊าซ CO<sub>2</sub> ความเข้มข้นต่างๆ

ฉลากเกิดการเปลี่ยนสีจากสีเขียว เป็นสีส้มแดง หรือชมพูแดง ภายใน 5 นาที ซึ่งสอดคล้องกับค่า  $a^*$  ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มคงที่ ภายใน 10 นาที (Figure 1A and 1B) ในขณะที่ฉลากในสิ่งทดลองควบคุมไม่มีการเปลี่ยนสี การเพิ่มขึ้นและคงที่ของค่า  $a^*$  นั้นอาจตั้งสมมติฐานว่าฉลากเกิดการอิมตัวกับ CO<sub>2</sub> ที่ถูกดูดซับโดยอินดิเคเตอร์ ทั้งนี้ลักษณะการอิมตัวของสารที่ดูดซับแบบดังกล่าวจัดเป็นการดูดซับแบบ Langmuir ที่ความสามารถในการดูดซับนั้นมีขีดจำกัด เนื่องจากวัสดุเกิดการอิมตัวกับสารที่ดูดซับและไม่เกิดการดูดซับแม้เพิ่มความเข้มข้นของสารที่ดูดซับ การดูดซับ Langmuir มักเกิดขึ้นในฟิล์มหรือวัสดุที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารที่ดูดซับ เช่น การดูดซับไอระเหยอินทรีย์ด้วยฟิล์มพลาสติก (Robertson, 1993)

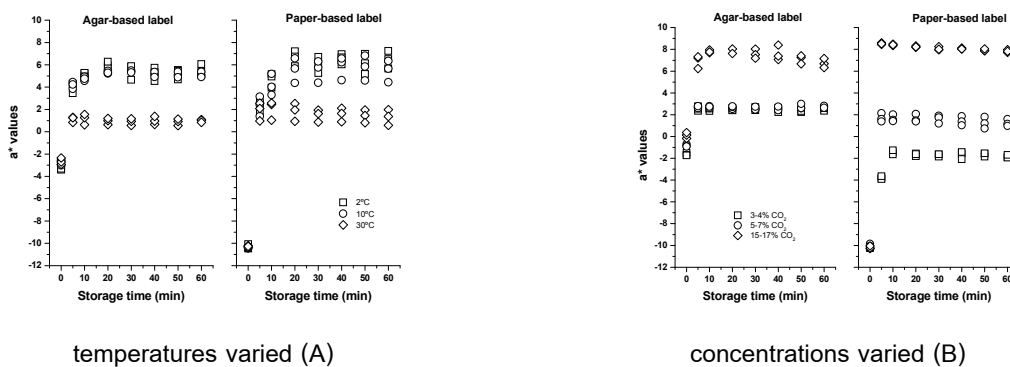


Figure 1 Kinetics of changes of  $a^*$  values for both agar-based and paper-based labels kept under 2, 10 and 30°C (A) and varied CO<sub>2</sub> concentrations: 3-4%, 5-7% and 15-17% CO<sub>2</sub> (v/v) kept at 30°C (B)

ค่า  $a^*$  ของฉลากทั้งสองประเภท ณ 2 และ 10°C มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าสูงกว่า ณ 30°C (Figure 1A) การเปลี่ยนสีในลักษณะดังกล่าว อาจมีสาเหตุสำคัญจากการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> โดยอินดิเคเตอร์บนฉลาก เกิดขึ้นได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Carroll et al., 1991) ซึ่งเป็นลักษณะของปฏิกิริยาการคายความร้อน ดังนั้นการดูดซับ CO<sub>2</sub> จึงเกิดขึ้นได้มากกว่า ณ อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีที่ชัดเจนกว่า การเปลี่ยนสีและค่า  $a^*$  ของฉลากภายใต้ความของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่มีความเข้มข้นต่างๆ (Figure 1B) มีลักษณะคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงภายใต้อุณหภูมิต่างๆ และไม่มีการเปลี่ยนสีในสิ่งทดลองควบคุม การเปลี่ยนสีเกิดขึ้นได้ชัดเจน เมื่อระดับความเข้มข้นของ CO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้น (Figure 1B) เนื่องจากการเปลี่ยนสีของฉลากเกิดจากการดูดซับ CO<sub>2</sub> และเกิดการละลาย เข้าไปยังชั้นวัสดุที่มีคุณสมบัติ hydrophilic (เช่น ฉลากวุ้นและกระดาษ) และสร้างกรดคาร์บอนิคขึ้น ซึ่งกรดคาร์บอนิคและอนุพันธ์ เช่น ไฮโดรเนียมไอออน (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) ทำปฏิกิริยากับเบสในอินดิเคเตอร์ ทำให้สารละลายเป็นกรด (Hin) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีของฉลาก (Mook and de Vries, 2000; Sabnis, 2008) ทั้งนี้ ค่า  $a^*$  ที่สภาวะคงที่ของฉลากวุ้นและฉลากกระดาษมีค่าใกล้เคียงกัน ณ อุณหภูมิและความเข้มข้น CO<sub>2</sub> ที่เท่ากัน (Figure 1A and 1B) และทำให้ทราบว่า ปฏิกิริยาระหว่าง CO<sub>2</sub> และ อินดิเคเตอร์ เป็นกลไกสำคัญของการเปลี่ยนสี โดยวัสดุที่ใช้ทำฉลากไม่มีอิทธิพลต่อกลไกดังกล่าว

#### 2 การเปลี่ยนสีของฉลากที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ภายใต้การเจริญของมอด

การเปลี่ยนสีและค่า  $a^*$  ของฉลากเกิดขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อมีมอด โดยเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีชมพูแดง หรือส้มแดง ในช่วง 30 วันแรก (Figure 2A) และไม่มีการเปลี่ยนสีในระบบควบคุม แต่ค่า  $a^*$  ณ วันที่ 60 ในทุกระบบมีค่าลดลง หรือมีสีเขียวเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะระบบที่มีมอดข้าวสาร เนื่องจากการตายของมอดทำให้ CO<sub>2</sub> ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าควรมีการพัฒนาฉลากต่อไปเพื่อให้สีของฉลากคงที่แม้ว่าความเข้มข้น CO<sub>2</sub> ลดลง การเจริญของมอดทำให้การงอกลดลง ค่า  $a^*$  ณ วันที่ 30 ของฉลากในระบบที่มีมอดข้าวเปลือกมีความสัมพันธ์กับระดับการงอก โดยค่า Pearson correlation (r) ของฉลากวุ้นและกระดาษเท่ากับ -0.56 และ -0.13 ตามลำดับ แสดงว่าการงอกน้อยลงเมื่อฉลากเป็นสีแดง แต่ค่า r ของระบบที่มีมอดอื่นๆ ไม่มีความชัดเจน โดยค่า r ของระบบที่มีมอดข้าวสารและมอดแบ่งเท่ากับ 0.03 และ 0.45 ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากความแปรปรวนของค่า  $a^*$  ของฉลาก จากการตายของมอด หรือ การงอกที่อาจได้รับผลกระทบจากมอดทั้งสองที่น้อยกว่ามอดข้าวเปลือก

ค่าพินอคิลลดลงเมื่อมีการเจริญของมอด (Figure 2B) ซึ่งค่าพินอคิลทั้งหมด ณ วันที่ 30 มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่า  $a^*$  ของฉลากกวนและกระดาษ โดยมีค่า  $r$  เท่ากับ  $-0.51$  และ  $-0.56$  ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสนับสนุนความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$  ของฉลากกับการงอกของระบบมอดข้าวเปลือกที่รายงานข้างต้น ส่วนค่า  $r$  ในระบบที่มีมอดประเภทอื่นๆ ไม่มีความชัดเจน

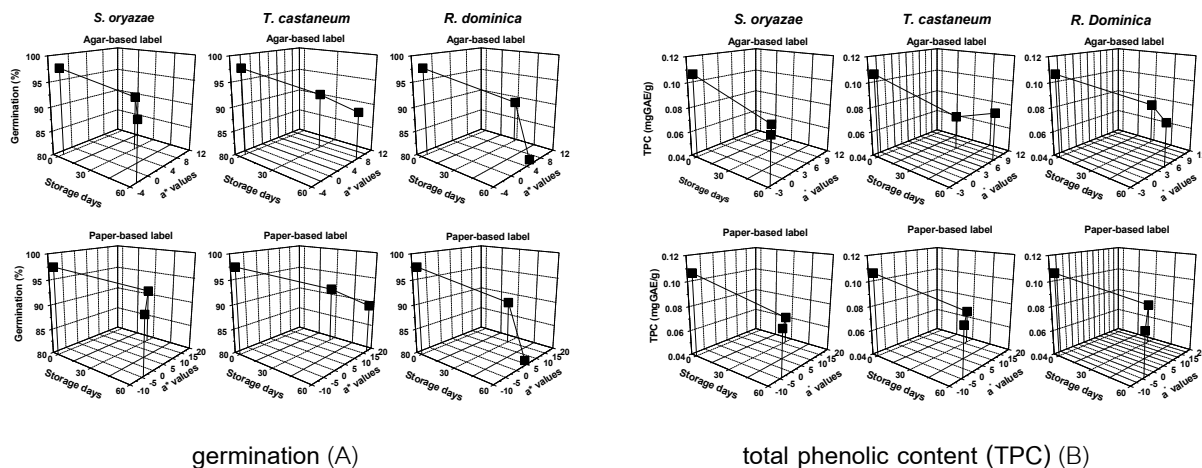


Figure 2 Relationships of germination (%) (A) and total phenolic content (TPC) (B) with  $a^*$  values of label (n=6) and storage days kept at 30°C

### สรุป

กลไกการเปลี่ยนสีของฉลากต้นแบบทั้งฉลากกวนและกระดาษขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้น  $CO_2$  แม้ว่าฉลากสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อมีมอดเจริญบนข้าว แต่ความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างการเปลี่ยนสีและการงอกและ/หรือพินอคิลทั้งหมดพบในระบบที่มีมอดข้าวเปลือกเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาต่อไปเพื่อให้เห็นความชัดเจนในระบบอื่นๆ และการคงตัวของสีของฉลาก เมื่อระดับความเข้มข้นก๊าซ  $CO_2$  ลดลงเนื่องจากการตายของแมลง

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400

### เอกสารอ้างอิง

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 213 น.

Adhikarinayake, T. B., K. B. Palipane and J. Muller. 2006. Quality change and mass loss of paddy during airtight storage in a ferro-cement bin in Sri Lanka. *Journal of Stored Products Research* 42(3): 377-390.

Carroll, J. J., J. D. Slupsky and A. E. Mather. 1991. The solubility of carbon dioxide in water at low pressure. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 20(6): 1201-1209.

Jilani, G., R. C. Saxena and A. A. Khan. 1989. Ethylene production as an indicator of germination and vigor loss in stored rice seed infested by *Rhizopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Stored Products Research* 25(3): 175-178.

Kim, D. O., S. W. Jeong and C. Y. Lee. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry* 81(3): 321-326.

Mook, W.G. and J.J. de Vries. 2000. *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle: Principles and Applications, Vol. 1: Introduction, Theory, Methods, Review*, Vienna, Austria: UNESCO/IAEA.

Robertson, G. L. 1993. Permeability of thermoplastic polymers. pp. 73-110. *In: Food Packaging: Principles and Practice*. New York, Marcel Dekker.

Smolander, M. 2003. The use of freshness indicators in packaging. pp. 127-143. *In: R. Ahvenainen (ed.). Novel FoodPackaging Techniques*. Cambridge, Woodhead Publishing Limited.

Sabnis, R. W. 2008. *Handbook of Acid-Ba Handbook of Acid-Base Indicators se Indicators*. Boca Raton, FL: CRC Press. 389p.