Agric. Sci. Innov. J. 55 : 2 (Suppl.) : 98 - 101 (2024)  ว. วิทย. นวัต. กษ. 55 : 2 (พิเศษ) : 98 - 101 (2567)

# ชนิดของ Silica Aerogel ต่อการควบคุมระยะตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) และคุณภาพเมล็ดพันธุ์
# Types of Silica Aerogel to Control Adults of Maize Weevil (*Sitophilus zeamais*) and Seed Quality

**รัตติกาล อินทมา[1] ปรมาภรณ์ เนตรสว่าง[1] กิติพงษ์ จันหอม[1] ปนัดดา มาเพ้า[1]**
**สุภาพร มีประเสริฐ[1] กมลวรรณ แย้มบุญทับ[1] และสุพรรณ ยอดยิ่งยง[2]**
**Rattigan Intama[1], Paramaporn Netsawang[1], Kitipong Janhom[1], Panadda Maphao[1],**
**Supaporn Meeprasert[1], Kamonwan Yamboontab[1] and Supan Yodyingyong[2]**

## Abstract

The problem of rice seed deterioration caused by stored product pests results in rice seed damages up to 5-10 percents. The proper preventive method should be applied to reduce damaging in during the storage of rice seeds. This research aimed to compare the types of silica aerogel in controlling adult stages of maize weevils and the effect on seed quality. The experimental design was Split plot in RCB with five replications and 100 adults per each. Main plot includes two types of silica aerogel: hydrophobic and hydrophilic, sub plot was the amount of silica aerogel value used at 0.06, 0.12, 0.18, 0.24 gram and without mixing per 1 kilogram of Pathum Thani 1 rough rice. There was a significant difference in control efficacy between types of silica aerogel and the silica aerogel treatments and untreated controls ($p<0.05$). Adult mortality increased to 50 and 100 percent within 7 and 15 days, respectively by using 0.18 g of silica aerogel. After analyzing pure seed, inert material, moisture content and seed germination, the study found that the rice seeds mixing with silica aerogel did not affect the seed quality. As a result, the study concluded that hydrophobic silica aerogels can be applied for controlling adult stages of maize weevils without affecting the rice seed quality.

**Keywords**: silica aerogel, maize weevil, seed quality

## บทคัดย่อ

ปัญหาการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เกิดจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรูในโรงเก็บ สามารถสร้างความเสียหายให้กับเมล็ดพันธุ์ข้าวสูงถึงร้อยละ5-10 ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันกำจัดที่ดีเพื่อลดความเสียหายในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบชนิดของ silica aerogel ในการควบคุมระยะตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพด และผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCB 5 ซ้ำ ด้วงงวงข้าวโพด 100 ตัวต่อซ้ำ ปัจจัยหลักได้แก่ ชนิดของ silica aerogel 2 ชนิด คือ hydrophobic และ hydrophilic ปัจจัยรอง ได้แก่ ปริมาณการใช้ silica aerogel 0.06, 0.12, 0.18, 0.24 กรัม และไม่คลุกสาร ต่อเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี ปริมาณ 1 กิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่า ชนิดของ silica aerogel และปริมาณการใช้มีผลในการควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีไม่คลุกสาร โดย silica aerogel ชนิด hydrophobic ปริมาณ 0.18 กรัม ทำให้ตัวเต็มวัยตายมากที่สุดถึงร้อยละ 50 และ 100 หลังจากคลุกเมล็ดเป็นระยะเวลา 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ ความชื้น และความงอกของเมล็ดพันธุ์ พบว่าการคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วย silica aerogel ไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ สามารถสรุปได้ว่า silica aerogel ชนิด hydrophobic มีประสิทธิภาพและสามารถใช้เพื่อควบคุมตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพดได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว

**คำสำคัญ**: ซิลิกา แอโรเจล ด้วงงวงข้าวโพด คุณภาพเมล็ดพันธุ์

## คำนำ

ปัญหาการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เกิดจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรูในโรงเก็บ เช่น ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais*) ด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae)* มอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica)* และผีเสื้อข้าวเปลือก (*Sitotroga cerealella)* เป็นต้น (กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2559) สามารถสร้างความเสียหายให้กับเมล็ดพันธุ์ข้าวสูงถึงร้อยละ 5-10 (Xu *et al.,* 2017) ควรใช้การป้องกันกำจัดที่ดีเพื่อลดความเสียหายในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา สำหรับวิธีการป้องกันกำจัดที่นิยมใช้ คือ การรมด้วยสารรมฟอสฟีน แต่ในปัจจุบันสารรมฟอสฟีนพบว่าแมลงมีความต้านทานต่อการใช้เพิ่ม

[1] สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ ต. รั้วใหญ่ อ. เมืองฯ จ. สุพรรณบุรี 72000 โทรศัพท์ 0-3555-5340
[1] Thailand Rice Science Institute, Rua Yai, Muang, Suphan Buri 72000 Tel. 0-3555-5340
[2] สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล 999 ถ. พุทธมณฑลสาย 4 ต. ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 0-2441-9734, 0-2441-9729
[2] Institute for Innovative Learning, Mahidol University999 Phuttamonthon 4 Road, Nakhon Pathom 73170 Tel. 0-2441-9734,0-2441-9729

มากขึ้น (Bell and Wilson, 1995) และถ้ามีการใช้ฟอสฟีนที่ความเข้มข้นสูงก็อาจส่งผลกระทบต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ได้อีกด้วย (Sittisuang and Nakakita, 1985) จึงจำเป็นต้องศึกษาหาวิธีการป้องกันกำจัดวิธีการอื่นมาทดแทน เพื่อรองรับสถานการณ์การปรับตัวต้านทานต่อสารเคมี ลดการตกค้างของสารพิษให้กับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ หรือผู้ประกอบการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงอย่างทั่วถึงและยั่งยืน ด้วยวิธีการใช้ silica aerogel เนื่องจาก silica aerogels เป็นสารที่สามารถดูดซับน้ำมันได้ถึงสามเท่าตัว เมื่อแมลงเดินผ่านสารนี้จะดูดซับไขมัน และน้ำที่ผนังลำตัวแมลง ทำให้แมลงสูญเสียน้ำและตายในที่สุด (Subramanyan and Roesli, 2000) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบชนิดของ silica aerogel ในการควบคุมระยะตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวโพด และผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์

## อุปกรณ์และวิธีการ

การเปรียบเทียบชนิดของ silica aerogel จากสถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย ต่อการควบคุมระยะตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด *S. zeamais* และคุณภาพเมล็ดพันธุ์

การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณระยะตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด ดำเนินการโดยเก็บตัวอย่างด้วงงวงข้าวโพดจากโรงสีต่าง นำมาเลี้ยงขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 25±2 ℃ ความชื้นสัมพัทธ์ 55±2 % ปล่อยตัวเต็มวัย อายุ 2-3 สัปดาห์ จำนวน 100 ตัวลงในอาหาร คือ ข้าวกล้อง จำนวน 200 กรัม บรรจุในขวดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ซม สูง 18 ซม ปิดฝาขวดด้วยกระดาษซับ ปล่อยให้ตัวเต็มวัยวางไข่นาน 3 วัน จากนั้นร่อนตัวเต็มวัยออก จะได้อาหารที่มีไข่ของด้วงงวงข้าวโพด เลี้ยงต่อไปจนเป็นระยะตัวเต็มวัย เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบต่อไป

การเปรียบเทียบชนิดของ silica aerogel จากสถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCB 5 ซ้ำ ปัจจัยหลัก ได้แก่ ชนิดของ silica aerogel 2 ชนิด คือ hydrophobic และ hydrophilic ปัจจัยรอง ได้แก่ ปริมาณการใช้ silica aerogel 0.06, 0.12, 0.18, 0.24 กรัม และไม่คลุกสาร ต่อเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ปริมาณ 1 กิโลกรัม วิธีการศึกษา นำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่สะอาดปราศจากแมลง ปริมาณ 1 กิโลกรัม มาคลุกเมล็ดด้วย silica aerogel ชนิดและปริมาณตามกรรมวิธีทดลอง หลังจากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวปริมาณ 200 กรัม มาใส่ขวดทดลอง และใส่ตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด จำนวน 100 ตัวต่อขวด ปิดฝาขวดทดลองด้วยกระดาษซับ บันทึกอัตราการตายของตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด ที่ระยะเวลา 1, 7 และ 15 วัน

การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว ดำเนินการโดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ที่ผ่านการคลุกเมล็ดด้วย silica aerogel มาตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ สิ่งเจือปน ความชื้น และความงอก เปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการคลุกเมล็ด

## ผลการทดลอง

ผลการเปรียบเทียบชนิดของ silica aerogel จากสถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย ในการควบคุมระยะตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด พบว่า ชนิดของ silica aerogel และปริมาณการใช้มีผลในการควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีไม่คลุกสาร โดย silica aerogel ชนิด hydrophobic ปริมาณ 0.18 กรัม ทำให้ตัวเต็มวัยตายสูงที่สุดถึงร้อยละ 50 และ 100 หลังจากคลุกเมล็ดเป็นระยะเวลา 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับที่ปริมาณ 0.24 กรัม หลังจากคลุกเมล็ดเป็นระยะเวลา 7 และ 15 วัน พบตัวเต็มวัยตายสูงที่สุดถึงร้อยละ 56 และ 100 ตามลำดับ (Table 1)

**Table 1** Percent mortality of adult *Sitophilus zeamais* exposed for 1, 7 and 15 days on rough rice treated with hydrophobic silica aerogel, hydrophilic silica aerogel and untreated rough rice.

| The amount of silica aerogel | Exposure Time (days)[1] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type of silica aerogel | | | | | | The amount of silica aerogel - mean | | |
| | Hydrophobic silica aerogel | | | Hydrophilic silica aerogel | | | | | |
| | 1 day | 7 days | 15 days | 1 day | 7 days | 15 days | 1 day | 7 days | 15 days |
| 0.06 gram | 0.00 | 9.00 | 68.00 | 1.00 | 7.00 | 10.00 | 0.50 | 8.00b | 39.00c |
| 0.12 gram | 0.00 | 47.00 | 86.00 | 2.00 | 12.00 | 15.00 | 1.00 | 29.50a | 50.50bc |
| 0.18 gram | 0.00 | 50.00 | 100.00 | 1.00 | 9.00 | 17.00 | 0.50 | 29.50a | 58.00ab |
| 0.24 gram | 0.00 | 56.00 | 100.00 | 3.00 | 23.00 | 33.00 | 1.50 | 39.50a | 66.00a |
| Untreated | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00b | 0.00d |
| Type of silica aerogel - mean | 0.00 | 32.40a | 70.40a | 1.40 | 11.00b | 16.20b | - | - | - |
| CV (%) | 0.00 | 6.61 | 17.50 | 1.40 | 11.00b | 16.20b | - | - | - |

[1] Percent mortality of adult *Sitophilus zeamais* between amount of silica aerogel - mean or type of silica aerogel – mean followed by a different letter represent difference according to DMRT's test at $p\leq0.05$

ผลการวิเคราะห์เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ สิ่งเจือปน ความชื้น และความงอกของเมล็ดพันธุ์ พบว่าการคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วย silica aerogel ชนิด hydrophobic ปริมาณ 0.06-0.18 กรัม ไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ แต่ที่ปริมาณ 0.24 กรัม ส่งผลต่อเมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ ลดลงเหลือร้อยละ 97.79 และสิ่งเจือปนพบร้อยละ 2.21 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่กำหนดให้เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์เท่ากับร้อยละ 98 และสิ่งเจือปนที่พบไม่เกินร้อยละ 2 ในขณะที่การคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วย silica aerogel ชนิด hydrophilic ทุกปริมาณไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ (Table 2)

**Table 2** Seed testing on rough rice treated with hydrophobic silica aerogel, hydrophilic silica aerogel and untreated rough rice.

| The amount of silica aerogel | Seed testing | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type of silica aerogel | | | | | | | |
| | Hydrophobic silica aerogel | | | | Hydrophilic silica aerogel | | | |
| | Pure seed (%) | Inert material (%) | Moisture content (%) | Seed germination (%) | Pure seed (%) | Inert material (%) | Moisture content (%) | Seed germination (%) |
| 0.06 gram | 99.48 | 0.52 | 12.25 | 96 | 98.95 | 1.05 | 12.00 | 98 |
| 0.12 gram | 98.11 | 1.89 | 12.80 | 99 | 98.77 | 1.23 | 12.00 | 94 |
| 0.18 gram | 98.00 | 2.00 | 12.65 | 94 | 98.94 | 1.06 | 12.00 | 95 |
| 0.24 gram | 97.79 | 2.21 | 12.25 | 96 | 99.13 | 0.87 | 12.00 | 99 |
| Untreated | 99.12 | 0.88 | 12.55 | 99 | 99.53 | 0.46 | 11.00 | 99 |

## วิจารณ์ผล

silica aerogel สามารถนำมาใช้เป็นวิธีการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บได้ โดยการนำ silica aerogel มาคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของ silica aerogel อัตราการใช้ 0.18 กรัม ต่อเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ปริมาณ 1 กิโลกรัม ในการคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อป้องกันกำจัดมอดข้าวเปลือก พบว่าอัตราการตายของตัวเต็มวัยมอดข้าวเปลือกสูงสุดร้อยละ 90.72 และ 100 หลังจากคลุกเมล็ดเป็นเวลา 5 และ 15 วัน ตามลำดับ ในขณะที่ระยะไข่ หนอนและดักแด้ของมอดข้าวเปลือกยังไม่สามารถใช้ silica aerogel ควบคุมได้ แต่สามารถใช้ silica aerogel ควบคุมระยะไข่ หนอน และดักแด้ของด้วงงวงข้าวโพดได้ภายในระยะเวลา 1-3 เดือนที่เก็บรักษา (รัตติกาล และคณะ 2566) เช่นเดียวกับ Mutambuki (2013) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ silica dust ในการป้องกันกำจัดด้วงงวงข้าวโพด พบว่า อัตราการตายสูงสุด 96% เมื่อใช้ silica dust 2.25 mg/50 g ของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด นอกจากการใช้ silica aerogel ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บยังมีรายงานว่า silica aerogel สามารถฆ่าระยะตัวเต็มวัยของยุง แมลงวันเนื้อเทา *Sarcophaga bullata* (Parker) แมลงวันหัวเขียว *Cochliomyia macellaria* (F.) และแมลงวันบ้าน *Musca domestica* L. โดยวิธีการสัมผัสโดยตรงได้อีกด้วย (Chen *et al.*, 2021)

สำหรับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าว ถ้าหากมีการใช้ silica aerogel ในแต่ละชนิดในปริมาณที่เหมาะสม ดังเช่นในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณการใช้ที่เหมาะสมของ silica aerogel ชนิด hydrophobic คือ ปริมาณ 0.06-0.18 กรัม จะไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ สิ่งเจือปน ความชื้น และความงอกของเมล็ดพันธุ์ แต่ถ้าใช้ในอัตราที่สูงเกินกว่า 0.18 กรัมขึ้นไป สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ โดยไปทำให้เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์และสิ่งเจือปนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่กำหนดให้เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์เท่ากับร้อยละ 98 และสิ่งเจือปนที่พบไม่เกินร้อยละ 2 ในขณะที่ silica aerogel ชนิด hydrophilic ทุกปริมาณไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพการควบคุมแมลงและผลกระทบทางด้านคุณภาพเมล็ดพันธุ์ขึ้นกับชนิดและปริมาณของ silica aerogel ที่ใช้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ silica aerogel ชนิด hydrophobic มีประสิทธิภาพในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพดสูงกว่าชนิด hydrophilic แต่ต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม คือ 0.06-0.18 กรัม จึงจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เนื่องจาก silica aerogel ชนิด hydrophobic เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ มีคุณสมบัติในการขับไล่โมเลกุลของน้ำได้สูง อีกทั้งการละลายโมเลกุลของน้ำเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน จึงมีผลโดยตรงต่อการดูดซับน้ำที่ผนังลำตัวแมลง ในขณะที่ชนิด hydrophilic เป็นสารที่ชอบน้ำ สามารถละลายในน้ำและดึงดูดโมเลกุลของน้ำได้ดี อีกทั้งการละลายโมเลกุลของน้ำเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ประสิทธิภาพในการดูซับน้ำจึงไม่ดีเทียบเท่าชนิด hydrophobic (Tasca *et al*., 2018) ในด้านความเป็นพิษของ silica aerogel ต่อสิ่งแวดล้อม มนุษย์ สัตว์ และการปนเปื้อนในอาหาร Timlick and Fields (2010) รายงานว่า silica aerogel ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มนุษย์ และสัตว์ อีกทั้งไม่พบการ

ปนเปื้อนในอาหาร (João *et al*., 2021) เนื่องจากชนิดของวัสดุ silica aerogel เป็น amorphous silica โครงสร้างของการจัดเรียงอะตอมอย่างไม่เป็นระเบียบ มีการเชื่อมโยงระหว่างซิลิกอนและออกซิเจนอย่างไม่มีทิศทางแน่นอน อนุภาคมีขนาดเล็ก จึงสามารถแยกออกจากเมล็ดข้าวได้ง่ายโดยการล้างทำความสะอาดและไม่มีสารพิษตกค้างต่อผลิตผลเกษตร (Maleki *et al*., 2014)

## สรุป

การใช้ silica aerogel ชนิด hydrophobic จากสถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย ปริมาณ 0.18 กรัม ต่อเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ปริมาณ 1 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการควบคุมระยะตัวเต็มวัยด้วงงวงข้าวโพด ร้อยละ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 และ 15 วัน ตามลำดับ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการของสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ และสถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และ silica aerogel ในการทำวิจัย และขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ 2567 ภายใต้แผนงานการวิจัยและนวัตกรรมการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าว โครงการประสิทธิภาพของ Inert dusts ร่วมกับสารสกัดสมุนไพรต่อการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังการเก็บเกี่ยวและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ สำหรับทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.2559. แมลงศัตรูในโรงเก็บและการป้องกันกำจัด. องค์ความรู้เรื่องข้าว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=5-3.htm. (25 เม.ย. 2567).

รัตติกาล อินทมา, ปรมาภรณ์ เนตรสว่าง, กิติพงษ์ จันหอม, กนกอร วุฒิวงศ์, คณิตา เกิดสุข, อัญชลี ประเสริฐศักดิ์ และเยาวลักษณ์ จันทร์บาง. 2566. ประสิทธิภาพของ Inert dusts ร่วมกับสารสกัดสมุนไพรต่อการควบคุมแมลงศัตรูข้าวหลังการเก็บเกี่ยวและคุณภาพเมล็ดพันธุ์. รายงานผลสัมฤทธิ์ทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566, แผนงาน การวิจัยและนวัตกรรมการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าว, กรมการข้าว, กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. 103 หน้า.

Bell, C.H. and S.M. Wilson. 1995. Phosphine tolerance and resistance in *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Journal of Stored Products Research 31: 199–205.

Chen, K., J.M. Deguenon, G. Cave, S.S. Denning, M.H. Reiskind, D.W. Watson, D.A. Stewart, D. Gittins, Y. Zheng and X. Liu. 2021. New thinking for filth fly control: residual, non-chemical wall spray from volcanic glass. Medical and Veterinary Entomology 35(3): 451-461.

João, P.V., A.G.G Carlos, J.M.V. Artur, S.V. Rosana, S. Marina and D. Luisa. 2021. Insights on toxicity, safe handling and disposal of silica aerogels and amorphous nanoparticles. Environmental Science Nano 8:1177–1195.

Maleki, H., L. Durães and A. Portugal. 2014. An overview on silica aerogels synthesis and different mechanical reinforcing strategies. Journal of Non-Crystalline Solids 385: 55–74.

Mutambuki, K. 2013. The influence of grain moisture content on the efficacy of silica dust on *Prostephnus truncates* (Horn) (Coleoptera: bostrichidae) and *Sitophilus zeamais* (Motsch) (Coleoptera: curculionidae). Journal of Stored Products Research 4(2): 23-29.

Sittisuang, P. and H. Nakakita. 1985. The effect of phosphine and methyl germination of rice and corn. Journal of Pesticide Science 10: 461-468.

Subramanyam, B. and R. Roesli. 2000. Inert Dusts. pp. 321-380. *In*: B. Subramanyam and D. W. Hagstrum (eds.). Alternative to Pesticides in Stored-Product IPM. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

Tasca, A.L., F. Ghajeri and A.J. Fletcher. 2018. Novel hydrophilic and hydrophobic amorphous silica: Characterization and adsorption of aqueous phase organic compounds. Adsorption Science & Technology 36(1): 327-342.

Timlick, B. and P.G. Fields. 2010. A comparison of the effect of two diatomaceous earth formulations on *Plodia interpunctella* (Hübner) and the effect of different commodities on diatomaceous earth efficacy. *In:* 10th International Working Conference on Stored Product Protection. 27 June to 2 July 2010, Estoril, Portugal. Julius Kühn-Institut, Berlin, Germany.

Xu, G.C., X. Liu, Q.S. Wang, X.C. Yu and Y.H. Hang. 2017. Integrated rice-duck farming mitigates the global warming potential in rice season. Science of the Total Environment 575: 58-66.