



Evaluation of several mineral insecticides for control of stored product insects **【Research report】**

數種礦物性殺蟲劑防治積穀害蟲之效果評估 **【研究報告】**

Y.M.Chi and L.K.Chen

姚美吉*、羅幹成

*通訊作者E-mail :

Received: Accepted: Available online: 1999/12/01

Abstract

In order to solve problems of stored product insects and decrease the harm to people or the environment, the effects of several mineral insecticides such as diatomite, aluminum silicon, talcum powder, calcium phosphate, silica blue, and clay to *Rhyzopertha dominica* Fabricius, *Sitotroga cerealella* Olivier, and *Sitophilus* spp. were investigated. Diatomite was the best in efficacy of control among tested insecticides. The price of diatomite of commercial grade (D-10) is much lower than that of the laboratory grade, being only 1/7 as expensive. The same control effect was observed with diatomite of both grades to *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus* spp. 16 days after treatment, and to *Sitotroga cerealella* 3 days after treatment. The control effect of 0.5% D-10 when mixed with rough rice could last for 6 months, and when mixed with hulled rice could last for 3 months. Commercial grade diatomite (D-10), with the advantages of being non-toxic and low cost, is recommended for the control of stored products insects. It is a promising material for practical use in the future.

摘要

為解決積穀之蟲害問題及避免對人體與環境之影響，本試驗選用數種礦物性殺蟲劑：矽藻土、矽酸鋁、滑石粉、磷酸鈣、黏土、藍矽膠等，測試對三類積穀害蟲：穀蠹(*Rhyzopertha dominica* Fabricius)、麥蛾(*Sitotroga cerealella* Olivier)、米象類(*Sitophilus* spp.)之防治效果。結果顯示矽藻土對穀蠹、麥蛾及米象類的防治效果遠優於其他物質。進一步發現商品化矽藻土(D-10)之價格僅為試驗級矽藻土之1/7，兩等級矽藻土與穀物混拌後第16天對穀蠹、米象類的防蟲效果相同。D-10於處理第3天後其對麥蛾的防蟲效果接近試驗級。0.5%的D-10與試驗級矽藻土的持續防蟲效果亦相近，當與稻穀混拌後可達6個月，與糙米混拌後防蟲效果至少達3個月，並可有效抑制害蟲繁殖及降低穀物之損失量。因商品化矽藻土(D-10)防治積穀害蟲具無殘毒、價格低、效果好等特色，未來有實際應用價值。

Key words: *Rhyzopertha dominica*, *Sitotroga cerealella*, *Sitophilus* spp., mineral insecticides, diatomite.

關鍵詞: 穀蠹、麥蛾、米象類、礦物性殺蟲劑、矽藻土

Full Text:  [PDF\(1.42 MB\)](#)

下載其它卷期全文 Browse all articles in archive: <http://entsocjournal.yabee.com.tw>

數種礦物性殺蟲劑防治積穀害蟲之效果評估

姚美吉* 羅幹成 行政院農業委員會農業試驗所應用動物系 台中縣霧峰鄉中正路 189 號

摘 要

為解決積穀之蟲害問題及避免對人體與環境之影響，本試驗選用數種礦物性殺蟲劑：矽藻土、矽酸鋁、滑石粉、磷酸鈣、黏土、藍矽膠等，測試對三類積穀害蟲：穀蠹 (*Rhyzopertha dominica* Fabricius)、麥蛾 (*Sitotroga cerealella* Olivier)、米象類 (*Sitophilus* spp.) 之防治效果。結果顯示矽藻土對穀蠹、麥蛾及米象類的防治效果遠優於其他物質。進一步發現商品化矽藻土之價格僅為試驗級矽藻土之 1/7，兩等級矽藻土與穀物混拌後第 16 天對穀蠹、米象類的防蟲效果相同。商品化矽藻土於處理第 3 天後其對麥蛾的防蟲效果接近試驗級。0.5% 的商品化矽藻土與試驗級矽藻土的持續防蟲效果亦相近，當與稻穀混拌後可達 6 個月，與糙米混拌後防蟲效果至少達 3 個月，並可有效抑制害蟲繁殖及降低穀物之損失量。因商品化矽藻土防治積穀害蟲具無殘毒、價格低、效果好等特色，未來有實際應用價值。

關鍵詞：穀蠹、麥蛾、米象類、礦物性殺蟲劑、矽藻土。

前 言

台灣主要農作物首推水稻，年產量約 228 萬公噸。稻穀收割烘乾後除供應當季之民生需求外，大部分進倉儲藏，儲藏時間少則半年，長則兩年以上，在儲存期間若無藥劑防治，害蟲繁殖快速，儲存二個月後每公斤稻穀即含有 19.5 隻穀蠹 (*Rhyzopertha dominica* Fabricius)，一年以後增長為 268 隻，兩年則高達 316 隻 (Yao and Lo, 1992)，因此穀倉之害蟲防治是穀倉管理上非常重要的工作。以往主要偏重於化學藥劑之防治，在 1971~1978 年間政府推薦使用馬拉松 (malathion) 防治，自 1979 到 1998 年長達二十年使

用巴賽松 (phoxim) 防治。雖推薦之使用藥劑均為低毒藥劑，但長久施用使害蟲產生抗藥性，且藥劑於稻穀上之殘留亦不可忽視。如台灣最主要之積穀害蟲穀蠹對巴賽松之抗藥性最高可達 68 倍 (Yao and Lo, 1994)、麥蛾亦高達 36 倍 (Yao and Lo, 1995)，另玉米象 (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) 對馬拉松亦產生 6 倍抗性 (Wang and Ku, 1982)。因此在害蟲防治上，除尋求替代藥劑外，使用其他有效之防治方法乃當務之急。

應用對人體無毒之物質如生物的種子、萃取液或礦物性物質，混拌於穀物中來防蟲自古即有，我國農民曾使用草木灰處理種子，以增加儲存時間，墨西哥人亦曾用萊姆

* 抽印本索取及論文聯繫之負責人

樹之種子研磨與玉米混拌來防治蟲害。Carlson (1962)指出矽藻土與麥片混拌兩週後，能有效防治角胸穀盜(*Cryptolestes pusillus* Schonherr)、米象(*Sitophilus oryzae* L.)、穀象(*Sitophilus granarius* L.)及鋸胸穀盜(*Oryzaephilus surinamensis* L.)。而Hsieh *et al.* (1978)曾以矽酸鋁、滑石粉、磷酸鈣、矽藻土及黏土等物質與玉米或高粱混拌，結果顯示矽酸鋁對玉米象防治效果遠優於其他物質。磷酸鈣對於許多倉庫害蟲幼蟲具殺蟲效果，殺蟲機制是使害蟲之代謝和變態作用發生錯亂，如消化管變形和退化，造成幼蟲萎縮或有節狀凸起之畸形蛹(Bano and Majumder, 1965; Majumder and Bano, 1964)。Headlee (1924)指出黏土能使種子表面光滑，使豆象(*Bruchus obtectus*)幼蟲不能緊抓住大豆表面，因而無法鑽入種子取食而致死，以達到防治效果。至於藍矽膠、滑石粉是良好的吸收劑，被廣泛用來除濕和脫水。

礦物性殺蟲劑之殺蟲機制迥異於傳統化學藥劑，一般之傳統殺蟲藥劑常經由口、表皮、氣門進入蟲體，再代謝為有毒物質或直接作用於神經傳導系統，造成蟲體死亡。殺蟲作用快者數小時，慢者數天，即可完全測定治蟲效果。而礦物性殺蟲劑因藉物理傷害使害蟲死亡，作用時間較緩慢而持久，卻有持續防治害蟲效果。Arthur and Brown (1994)以商品化之矽藻土(*Insecto*)處理花生，可防治擬穀盜(*Tribolium castaneum* (Herbst))長達6個月。這類物質與傳統藥劑相比，最特殊之優點是對人體毒性低，且對環境之影響小。因此商品化之矽藻土已逐漸應用於美國及澳洲以取代化學藥劑防治積穀害蟲(Carlson and Ball, 1962; Ross, 1981; Desmarchelier and Dines, 1987; Hill, 1986; Arthur and Brown, 1994; Golob, 1997)。為

解決積穀之蟲害防治問題並減少對環境之影響，乃本試驗最主要目的，因此將矽藻土、矽酸鋁、滑石粉、磷酸鈣、黏土、藍矽膠等六種物質與稻穀及糙米混拌，再接入穀蠹、麥蛾及米象類，以測定其防治積穀害蟲之效果。經篩選出之最佳礦物性殺蟲劑為矽藻土，再比較其商品化矽藻土，並長時間比較兩等級矽藻土對積穀害蟲之持續防治效果，再測定穀物混拌此兩物質之環境下，害蟲繁殖力及稻穀損失量，以評估矽藻土未來應用推廣之可能性。

材料與方法

供試之礦物性殺蟲劑

矽藻土(diatomite)、矽酸鋁(aluminum silicon)、磷酸鈣(calcium phosphate)、藍矽膠(silica blue)、黏土(clay)均購自日本林純藥株式會社。滑石粉(talcum powder)及商品化矽藻土由興農公司提供。

供試蟲源

稻穀中之主要害蟲為穀蠹、麥蛾，而糙米中則為玉米象及米象，但因玉米象及米象不易分辨且飼養時容易混雜，故試驗時不細分，統稱為米象類。本次供試之害蟲為穀蠹、麥蛾、米象類，其中穀蠹、麥蛾以稻穀飼養，而米象類則以糙米飼育，將三類害蟲分別接入放置穀物的直筒玻璃瓶(口徑8 cm、高16.5 cm)中，再統一放置於恆溫箱中飼育，飼育環境為 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對溼度為 $60 \pm 10\%$ ，無光照狀況下培育，經混拌供試物質後之各處理亦放置於此環境。

供試物質對害蟲之致死力評估

一、對穀蠹及米象類之測定方法

(一)將供試物質與穀物100 g混拌，配製不

同含量之混拌物，置於直筒玻璃瓶，對照組則不添加任何物質，每處理重複三次。測定對穀蠹之防治效果時，穀物為稻穀。因米象類主要為害糙米，因此測定對米象類防治效果時，則穀物更換為糙米。

(二)再分別接入初羽化之穀蠹或米象類成蟲 20 隻，使害蟲自由接觸藥劑，2、9、16、23 天後各檢查一次害蟲之死亡率，所得之數據以 Finney (1971) 對機數分析法求得 LC_{50} 及相關資料。

二、對麥蛾之測定方法

(一)將礦物性物質與稻穀 100 g 混拌，配製不同濃度，置於直筒玻璃瓶，對照組則不添加任何物質，每處理重複三次。

(二)再接入初羽化之麥蛾成蟲 10 隻，使害蟲自由接觸藥劑，1 天後檢查害蟲之死亡率，其後 2、3、4 天各檢查死亡率一次，所得之數據再以 Finney (1971) 對機數分析法求得 LC_{50} 及相關資料。

矽藻土之持續性防蟲效果測定

先將矽藻土與稻穀或糙米 100 g 混拌，矽藻土含量為 0.1% 及 0.5%，放置於恆溫箱中 2、4、6 個月後，再如上述方法接入害蟲，穀蠹與米象類於處理後 16 天調查其死亡率，麥蛾則於 3 天後觀察其死亡率。

混拌矽藻土後積穀害蟲之繁殖力及穀物損失量評估

分別將試驗級與商品化矽藻土與稻穀 100 g 混拌，矽藻土含量為 0.1% 及 0.5%，再個別接入穀蠹 20 隻或麥蛾 10 隻，放置於恆溫箱中 2、4、6 個月後調查其成蟲繁殖數(包含活蟲及死蟲)及稻穀損失量(除掉蟲體重)，每濃度三重複，對照組則不添加矽藻土。繁殖數及稻穀損失量均以 Duncan's 多變域測驗分析其顯著性，顯著水準為 5% (Duncan, 1951)。

對米象類，則將試驗級與商品化矽藻土與糙米 100 g 混拌，矽藻土含量為 0.1% 及 0.5%，再接入米象類 20 隻，放置於恆溫箱中 1、2、3 個月後調查其成蟲繁殖數及糙米損失量，每濃度三重複，對照組則不添加矽藻土。繁殖數及稻穀損失量均以 Duncan's 多變域測驗分析其顯著性，顯著水準為 5%。

結 果

數種礦物性殺蟲劑對三種積穀害蟲之藥效評估

六類礦物性殺蟲劑與稻穀混拌，對穀蠹及麥蛾之致死力，結果如表一及表二。對穀蠹之防治效果，不論處理後 2、9、16 或 23 天之半致死濃度 (LC_{50}) 均以試驗級矽藻土最低，殺蟲效果最佳，其 LC_{50} 分別 0.09、0.02、0.01、0.004%。而矽酸鋁 ($LC_{50}=0.65\%$) 於處理後第二天優於商品化矽藻土 ($LC_{50}=0.72\%$)，處理後 9、16 或 23 天之毒殺效果則商品化矽藻土優於矽酸鋁。對麥蛾之防治效果，因麥蛾之成蟲期約 7 天而已，因此只觀察前四天之死亡率，其結果與穀蠹相似，處理後前四天之半致死濃度 (LC_{50}) 亦以試驗級矽藻土最低，其 LC_{50} 分別 0.26、0.06、0.02、0.01%。其次亦為商品化矽藻土，其 LC_{50} 分別 1.19、0.28、0.03、0.01%，再其次為矽酸鋁。

將礦物性殺蟲劑與糙米混拌，測試對米象類之毒性，所得結果如表三。其結果與穀蠹相似，亦以試驗級矽藻土毒殺效果最佳，處理後 2、9、16 或 23 天之 LC_{50} 分別為 0.42、0.05、0.03、0.02%。其次為商品化矽藻土，其 LC_{50} 分別 2.01、0.07、0.03、0.02%。再其次為矽酸鋁。

礦物性殺蟲劑對積穀害蟲之防治效果，不若傳統藥劑快速，混拌黏土、磷酸鈣、藍矽膠處理 2 天後對穀蠹均無防治效果，9 或 16

表一 數種礦物性殺蟲劑混拌稻穀對穀蠹之致死力

Table 1. Toxicity of several mineral insecticides mixed with rough rice to *Rhyzopertha dominica*

Material	Days after treatment	N	LC ₅₀ (95% FL) (%)	Slope±SE
Diatomite	2	542	0.09 (0.08 ~ 0.11)	1.84±0.15
	9	542	0.02 (0.015~0.022)	2.60±0.27
	16	362	0.01 (0.008~0.01)	2.76±0.37
	23	362	0.004 (0.001~0.007)	2.15±0.51
Commercial diatomate	2	367	0.72 (0.48~1.61)	1.27±0.24
	9	373	0.05 (0.03~0.06)	1.64±0.17
	16	368	0.01 (0.01~0.02)	2.50±0.36
	23	460	0.006 (0.003~0.009)	1.80±0.34
Aluminum silicon	2	350	0.65 (0.52~1.09)	2.85±0.66
	9	353	0.22 (0.17~0.29)	1.79±0.30
	16	353	0.19 (0.14~0.25)	1.99±0.37
	23	353	0.14 (0.09~0.19)	1.87±0.36
Talcum powder	2	—	—	—
	9	254	0.48 (0.27~1.14)	0.91±0.27
	16	433	0.17 (0.10~0.23)	1.70±0.26
	23	356	0.11 (0.06~0.17)	1.61±0.29
Calcium phosphate	2	—	—	—
	9	—	—	—
	16	268	0.94 (0.64~3.9)	1.59±0.60
	23	356	0.68 (0.41~1.74)	1.31±0.45
Silica blue	2	—	—	—
	9	—	—	—
	16	—	—	—
	23	—	—	—
Clay	2	—	—	—
	9	268	0.87 (0.69~1.34)	2.54±0.70
	16	358	0.37 (0.14~0.75)	1.20±0.45
	23	—	—	—

天以後才逐漸造成害蟲死亡。對麥蛾與米象類防治效果亦相似，此現象主要受其殺蟲機制作用緩慢之影響。為求測定其真實防蟲效果且避免自然死亡率影響，由於穀蠹、米象類之成蟲期可長達數月，在16天內自然死亡率均在20%以內，因此在穀蠹、米象類之防治效果比較上，以處理礦物性殺蟲劑16天後之防治效果為基準。而麥蛾之成蟲期約在一周，因此礦物性殺蟲劑對麥蛾之防治效果，則選擇為處理3天後之防治效果為基準。綜合七種礦物性殺蟲劑對穀蠹及米象類之防治效

果，其由高至低之順序為：試驗級矽藻土>商品化矽藻土>矽酸鋁>滑石粉>黏土>磷酸鈣>藍矽膠。對麥蛾之防治效果，其順序為：試驗級矽藻土>商品化矽藻土>矽酸鋁>滑石粉>磷酸鈣>藍矽膠>黏土。

矽藻土對三種積穀害蟲之持續防蟲效果評估

因矽藻土對三類積穀害蟲之防治效果遠優於其他物質，因此針對矽藻土，進一步比較試驗級矽藻土與商品化矽藻土與稻穀混拌後，對穀蠹與麥蛾的持續防蟲效果，結果如

表二 數種礦物性殺蟲劑混拌稻穀對麥蛾之致死力

Table 2. Toxicity of several mineral insecticides mixed with rough rice to *Sitotroga cerealella*

Material	Days after treatment	N	LC ₅₀ (95% FL) (%)	Slope±SE
Diatomite	1	143	0.26 (0.17~0.44)	1.50±0.26
	2	146	0.06 (0.05~0.09)	2.47±0.33
	3	173	0.02 (0.02~0.03)	2.95±0.46
	4	173	0.01 (0.007~0.013)	3.93±0.94
Commercial diatomite	1	172	1.19 (0.64~1.89)	2.79±1.48
	2	115	0.28 (0.19~0.51)	1.80±0.32
	3	142	0.03 (0.03~0.04)	2.45±0.39
	4	141	0.01 (0.006~0.01)	2.99±0.69
Aluminum silicon	1	—	—	—
	2	132	0.27 (0.19~0.47)	1.61±0.29
	3	88	0.12 (0.07~0.18)	2.67±0.64
	4	78	0.03 (0.02~0.04)	4.05±1.01
Talcum powder	1	—	—	—
	2	126	0.66 (0.41~1.23)	1.14±0.27
	3	124	0.13 (0.06~0.19)	1.74±0.37
	4	—	—	—
Calcium phosphate	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—
	4	—	—	—
Silica blue	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	78	2.12 (1.68~2.68)	3.98±0.78
	4	77	1.27 (0.98~1.54)	5.58±1.47
Clay	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—
	4	—	—	—

表四。試驗級與商品化矽藻土在含量 0.5% 下，混拌穀物經 6 個月後再接入穀蠹、麥蛾，均造成穀蠹 16 天內、麥蛾 3 天內全部死亡。矽藻土對米象類的持續防蟲效果，結果如表五。因米象類繁殖快，故觀察期縮短為 3 個月，上述供試藥劑在含量 0.5% 下，與糙米混合 3 個月後，再接入米象類，在 16 天內亦完全死亡。顯示商品化矽藻土對三種積穀害蟲之持續防蟲效果與試驗級非常相近。

矽藻土對三種積穀害蟲之繁殖力及穀物損失

量評估

為評估未來推廣之可能性，因此繼續測試兩等級矽藻土對穀蠹及麥蛾繁殖力之影響及其造成稻穀之損失量，所得結果如表六及表七。未處理礦物性殺蟲劑之對照組經 2、4、6 個月後，穀蠹之繁殖數分別為 142、244、267 隻，而稻穀的損失量分別為 3.2、3.95、4.35 g。混拌矽藻土之處理組，穀蠹之繁殖明顯受抑制，在 0.5% 試驗級矽藻土濃度下，經六個月後繁殖數為 39 隻，蟲數僅為對照組之 14.6%，稻穀的損失量為 0.03g，僅為

表三 數種礦物性殺蟲劑混拌糙米對米象類之致死力

Table 3. Toxicity of several mineral insecticides mixed with hulled rice to *Sitophilus* spp.

Material	Days after treatment	N	LC ₅₀ (95% FL) (%)	Slope ±SE
Diatomite	2	538	0.42 (0.33~0.59)	1.54±0.16
	9	447	0.05 (0.04~0.06)	2.49±0.20
	16	364	0.03 (0.02~0.03)	5.86±0.86
	23	284	0.02 (0.02~0.03)	3.37±0.54
Commercial diatomite	2	531	2.01 (1.02~7.04)	1.08±0.18
	9	443	0.07 (0.06~0.08)	1.91±0.14
	16	531	0.03 (0.02~0.03)	2.98±0.26
	23	265	0.02 (0.01~0.02)	4.19±0.43
Aluminum silicon	2	—	—	—
	9	455	0.45 (0.33~0.73)	1.30±0.19
	16	447	0.20 (0.17~0.24)	2.18±0.25
	23	454	0.10 (0.08~0.12)	2.12±0.22
Talcum powder	2	—	—	—
	9	419	4.59 (2.64~16.07)	1.29±0.28
	16	332	1.85 (1.34~3.34)	1.49±0.31
	23	419	0.73 (0.59~0.89)	2.09±0.28
Calcium phosphate	2	—	—	—
	9	—	—	—
	16	—	—	—
	23	—	—	—
Silica blue	2	—	—	—
	9	—	—	—
	16	—	—	—
	23	—	—	—
Clay	2	—	—	—
	9	361	20.6 (3.24~216)	0.70±0.31
	16	361	3.46 (1.47~106)	0.93±0.30
	23	276	1.02 (0.69~2.14)	1.48±0.35

對照組之 0.6%。商品化矽藻土效果不若試驗級明顯，在 0.5% 濃度下，經六個月後穀蠹之繁殖數為 129 隻，為對照組之 48.3%，損失量為 1.35g，為對照組之 31%。經統計分析，不論 0.1% 或 0.5% 之試驗級矽藻土與未處理之對照組比較，經 2、4、6 個月後之害蟲繁殖數及稻穀損失量上均有顯著差異。商品化矽藻土僅 0.5% 之濃度，在害蟲繁殖數上經 4、6 個月後有顯著差異。在稻穀損失量上，2 至 6 個月後均有顯著差異。而 0.1% 商品化矽藻土與未處理之對照組比較，在害蟲繁殖數及稻

穀損失量上均無顯著差異。

矽藻土抑制麥蛾之繁殖則更明顯，在試驗級矽藻土 0.5% 濃度下，經六個月後僅 9.7 隻且無為害。而商品化矽藻土效果亦佳，在 0.5% 濃度下，經六個月後繁殖數僅 38 隻，損失量僅 0.1g，其效果與試驗級相若。經統計分析，不論 0.1% 或 0.5% 之試驗級矽藻土及商品化矽藻土與未處理之對照組比較，經 2、4、6 個月後之害蟲繁殖數及稻穀損失量上均有顯著差異。

米象類之繁殖遠較穀蠹、麥蛾快速，對

表四 試驗級矽藻土及商品化矽藻土混拌稻穀對穀蠹及麥蛾之防蟲持續性測定

Table 4. Mortality of *Rhyzopertha dominica* and *Sitotroga cerealella* in bimonthly detection of residual toxicity of laboratory and commercial grades of diatomite mixed with rough rice

Insect species	Treatment	Mortality after treatment (%)		
		2 mo	4 mo	6 mo
<i>Rhyzopertha dominica</i> ^{a)}	0.1% Diatomite	100	94.9±5.0	100
	0.5% Diatomite	100	100	100
	0.1% Commercial diatomite	96.5±6.1	98.3±2.9	83.7±15.2
	0.5% Commercial diatomite	100	100	100
<i>Sitotroga cerealella</i> ^{b)}	0.1% Diatomite	100	100	100
	0.5% Diatomite	100	100	100
	0.1% Commercial diatomite	92.6±12.8	100	85.2±16.9
	0.5% Commercial diatomite	100	100	100

a) Observed with diatomite of both levels to *Rhyzopertha dominica* 16 days after treatment.

b) Observed with diatomite of both levels to *Sitotroga cerealella* 3 days after treatment.

表五 試驗級矽藻土及商品化矽藻土混拌稻穀對米象類之防蟲持續性測定

Table 5. Mortality of *Sitophilus* spp.^{a)} in monthly detection of residual toxicity of laboratory and commercial grades of diatomite mixed with hulled rice

Treatment	Mortality after treatment (%)		
	1 mo	2 mo	3 mo
0.1% Diatomite	98.2±3.1	100	100
0.5% Diatomite	100	100	100
0.1% Commercial diatomite	100	88.7±1.6	92.4±13.1
0.5% Commercial diatomite	100	100	100

a) Observed with diatomite of both grades to *Sitophilus* spp. 16 days after treatment.

表六 稻穀的損失量與穀蠹處理試驗級矽藻土及商品化矽藻土後之繁殖力

Table 6. Loss of rough rice and reproduction of *Rhyzopertha dominica* after treated with laboratory or commercial grades diatomite

Treatment	Mean no. of insects			Loss of rough rice (g)		
	2 mo	4 mo	6 mo	2 mo	4 mo	6 mo
0.1% Diatomite	67.7 ab	83 a	107 a	0.5 a	0.8 a	1.3 a
0.5% Diatomite	38 a	39 a	39 a	0.0 a	0.03 a	0.03 a
0.1% Commercial diatomite	150 c	288 b	313 b	2.6 b	4.8 b	5.4 b
0.5% Commercial diatomite	104 bc	117 a	129 a	0.8 a	1.1 a	1.4 a
Untreated	142 c	244 b	267 b	3.2 b	4.0 b	4.4 b

* Means in the same column with different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

照組經 40 天及 2、3 個月後，其繁殖數為 286、1255、2248 隻，糙米之損失量更明顯，分別為 8.5、30.9、55.2g(如表七)。在試驗級矽藻土 0.5% 濃度下，經三個月後蟲數僅 81 隻，損失量為 1.3g，分別為對照組之 3.6、

2.4%。商品化矽藻土效果亦佳，在 0.5% 濃度下，經三個月後繁殖數僅 109 隻，損失量僅 1.9g，其效果與試驗級相當。經統計分析，不論 0.1% 或 0.5% 之試驗級矽藻土及商品化矽藻土與未處理之對照組比較，經 2、4、6 個月

表七 稻穀的損失量與麥蛾處理試驗級矽藻土及商品化矽藻土後之繁殖力

Table 7. Loss of rough rice and reproduction of *Sitotroga cerealella* in bimonthly samples treated with laboratory or commercial grades diatomite

Treatment	Mean no. of insects			Loss of rough rice (g)		
	2 mo	4 mo	6 mo	2 mo	4 mo	6 mo
0.1% Diatomite	36 a	40 a	40 a	0.2 a	0.3 a	0.3 a
0.5% Diatomite	4.7 a	4.7 a	9.7 a	0 a	0 a	0 a
0.1% Commercial diatomite	59 a	82 a	84 a	0.6 a	0.9 a	1.0 a
0.5% Commercial diatomite	34 a	37 a	38 a	0 a	0.03 a	0.1 a
Untreated	301 b	382 b	387 b	5.1 b	6.5 a	6.6 b

* Means in the same column with different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

表八 糙米的損失量與米象類處理試驗級矽藻土及商品化矽藻土後之繁殖力

Table 8. Loss of hulled rice and reproduction of *Sitophilus* spp. treated with laboratory or commercial grades diatomite

Treatment	Mean no. of insects			Loss of rough rice (g)		
	2 mo	4 mo	6 mo	2 mo	4 mo	6 mo
0.1% Diatomite	104 a	128 a	803 a	1.5 a	6.2 a	16.8 a
0.5% Diatomite	69 a	74 a	81 a	0.6 a	1.3 a	1.3 a
0.1% Commercial diatomite	103 a	162 a	1283 a	1.9 a	9.3 a	28.2 a
0.5% Commercial diatomite	15.3 a	52 a	109 a	0.5 a	1.3 a	1.9 a
Untreated	286 b	1255 b	2248 b	8.5 b	30.9 a	55.2 b

* Means in the same column with different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

後之害蟲繁殖數及稻穀損失量上均有顯著差異。顯示處理矽藻土可明顯抑制米象類之繁殖及降低糙米損失量。

討 論

Hsieh *et al.* (1978)曾比較矽酸鋁、磷酸鈣、黏土、矽藻土、藍矽膠等五種物質對玉米象之防治效果，發現將矽酸鋁與玉米或高粱種子混拌後，再接入玉米象，結果顯示當矽酸鋁含量在0.05-0.4%時，於兩週後玉米象死亡率均達到100%，為五種測試物質中殺蟲效果最佳者。本試驗矽酸鋁對米象類之防蟲效果亦佳，但略遜於矽藻土，對穀蠹及麥蛾之效果亦相似。而本試驗之矽藻土之防蟲效果優於矽酸鋁，可能的原因為處理環境及蟲

源不同，由於矽藻土並非單一化學物質，其主要成分為二氧化矽，二氧化矽的純度直接影響防治效果，此外藥劑來源、純度亦可能影響試驗結果，試驗級與商品化矽藻土之防蟲效果亦不相同，但此兩等級之矽藻土對三類積穀害蟲之防蟲效果均甚佳，是理想的礦物性殺蟲劑。

本試驗發現磷酸鈣、黏土及藍矽膠對米象類之 LC_{50} 值偏高甚至無法測得。而對穀蠹及麥蛾之致死力亦相似，其 LC_{50} 值偏高且斜率(Slope)偏低。Hsieh *et al.* (1978)測試磷酸鈣、黏土及藍矽膠對玉米象之致死力時亦有相似現象，其 LC_{50} 值亦偏高且斜率較低。顯示此三類礦物性殺蟲劑對積穀害蟲之毒性低，可能是這些物質之殺蟲機制對積穀害蟲無法發揮有效致死作用。而滑石粉是較容易

取得之物質，因此在本試驗嘗試比較其防蟲效果，雖較磷酸鈣、黏土及藍矽膠的防蟲效果好，但 LC_{50} 值仍偏高，並不是理想之礦物性殺蟲劑。

Carlson (1962) 將矽藻土施用到穀蠹、扁擬穀盜 (*Tribolium confusum* Jacquelin du Val.)、擬穀盜時，均造成害蟲體重減輕。原因為矽藻土主要成分為二氧化矽，其分子結構如針刺狀，除具有吸著 4 倍重量水之超強吸水性外，尚具有割蝕作用能使昆蟲在混拌有矽藻土的穀物爬行時，使體表與粉膜摩擦產生機械割傷，並因乾燥脫水而致死，因此已死蟲體失重率約為一般正常死亡之兩倍。本實驗所用之三類積穀害蟲：穀蠹、麥蛾及米象類，在處理矽藻土後死亡之蟲體，亦觀察到較一般自然死亡之害蟲乾燥，至於失重比率並未詳細測定。

矽藻土對三類積穀害蟲之持續性防蟲效果測試，不論 0.1 及 0.5% 濃度之試驗級與商品化矽藻土與穀物混拌，對穀蠹與麥蛾之防治效果均能持續 6 個月。對米象類亦相似，其防治效果至少持續 3 個月。從死亡率來評估，似乎兩等級之 0.1 及 0.5% 濃度之作用並無顯著差異，防蟲效果都非常理想。但從穀蠹之繁殖數及稻穀的損失量進行比較，0.1% 商品化矽藻土之處理與未處理之對照組沒有差異，卻與其他處理藥劑之三組有顯著差異。在麥蛾及米象類繁殖力及穀物損失量上，四個處理組均與未處理組有顯著差異，彼此間無顯著差異，但不論試驗級或商品化矽藻土 0.1% 之處理，在繁殖數及穀物損失量上均有偏高趨勢。造成兩評估方法有部分落差現象，主要因死亡率之評估，為考慮矽藻土之殺蟲機制較緩慢，對穀蠹及米象類之死亡率比較以處理後之 16 天之結果為基準，對麥蛾則以處理後之 3 天之結果為基準。因此低濃度環境，害蟲之死亡較慢，尚有產卵繁殖

機會，導致在害蟲繁殖力及穀物損失量上，低濃度處理會較高濃度處理偏高趨勢。

環境因子影響矽藻土之防治效果，Aldryhim (1990) 曾指出擬穀盜在 30°C 時對矽藻土的容忍度高於 20°C。而穀象對矽藻土的敏感度則於 30°C 時強於 20°C。矽藻土對穀蠹之毒殺效果均受溫溼度影響，當 30°C 時較 20°C 為佳。而相對溼度 40% 時強於 60% (Aldryhim, 1993)，顯示矽藻土對害蟲的防治效果亦受溫溼度變化之影響。本試驗溫溼度設定於 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對溼度為 $60 \pm 10\%$ 狀況下，並未比較其他溫溼度，將來可進一步探討，以提供最佳之使用環境條件。

Carlson (1962) 將矽藻土與麥片以每噸中含七磅的矽藻土混拌比混拌兩週後，供試之角胸穀盜 (*Cryptolestes pusillus* Schonherr)、米象、穀象及鋸胸穀盜之死亡率超過 95%。Arthur and Brown (1994) 以商品化之矽藻土處理花生，可防治擬穀盜長達 6 個月。另矽藻土對穀蠹及米象之防蟲效果極佳，且能作用於擬穀盜及鋸胸穀盜之幼蟲期，降低成蟲之羽化率。Golob (1997) 曾指出矽藻土若要持續 12 個月防蟲，則含量至少在 0.35% 以上。以本試驗之結果，要能有效抑制害蟲繁殖及持續 6 個月之防治效果，則推薦濃度以 0.5% 之試驗級或商品化矽藻土與穀物混拌，將是較佳之選擇。試驗級矽藻土每公斤約需新台幣 850 元，而商品化矽藻土約需新台幣 120 元，價格上商品化僅試驗級之 1/7，而防治效果上卻相當。因此未來以商品化矽藻土 0.5% 濃度混拌穀物，應用於積穀害蟲防治，將是理想之推薦方法。矽藻土在應用上亦有負面影響，使用矽藻土時，操作人員若接觸過多，可能造成肺氣腫及肺塵病等疾病，因此朝向機械化處理亦是未來研究方向。化學藥劑在使用上最大的困擾，乃是長久使用後害蟲逐漸發展出抗藥性，而必須常

常換新類型之藥劑。但矽藻土之殺蟲機制屬於物理方式，不會如化學防治產生抗藥性，即使長久使用只可能造成害蟲在行為上逃避接觸矽藻土(Golob, 1997)，對倉庫環境應用並無影響。另外矽藻土尚有諸多優點，如價格低且無環境污染等問題，對人畜的安全性相對提昇。因此商品化之矽藻土已廣泛應用於美國及澳洲之積穀害蟲防治上(Desmarchelier and Dines, 1987; Aldryhim, 1993; Arthur and Brown, 1994)。

台灣倉庫稻穀之害蟲防治，因推廣藥劑巴賽松已使用二十年，產生嚴重抗藥性問題，有效藥劑第滅寧(deltamethrin)則尚未通過正式推薦程序(Yao and Lo, 1997)，因此倉庫積穀害蟲面臨無藥可治之窘境。而糙米方面除以低溫冷藏外，並無任何有效之害蟲防治方法，而低溫冷藏費用甚高，使用上並不普遍。為解決稻穀及小包裝米之害蟲防治問題，應用商品化矽藻土來防治積穀害蟲，將是未來防治之新趨勢。

誌 謝

本研究承行政院農業委員會 87-科技-1.3-糧-26(4-5)及 88 科技-1.3-檢-04(14)之計畫經費補助，文成後承本所應用動物系王清玲博士、周樑鎰博士及陳健忠博士不吝撥冗斧正，試驗期中並承本系李錦霞小姐之協助，謹此一併致謝。

引用文獻

Aldryhim, Y. N. 1990. Efficacy of the amorphous silica dust, Dryacide, against *Tribolium confusum* Duv. and *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae and Curculionidae). J.

Stored Prod. Res. 26: 207-210.

Aldryhim, Y. N. 1993. Combination of classes of wheat and environmental factors affecting the efficacy of amorphous silica dust, Dryacide, against *Rhyzopertha dominica* (F.). J. Stored Prod. Res. 29: 271-275.

Arthur, F.H., and S. L. Brown. 1994. Evaluation of diatomaceous earth (Insecto) and *Bacillus thuringiensis* formulations for insect control in stored peanuts. J. Entomol. Sci. 29: 176-182.

Bano, A., and S. K. Majumder. 1965. Pathological changes induced by tricalcium phosphate in insects. J. Invert. Pathol. 7: 384-87.

Carlson, S. D., and H. J. Ball. 1962. Mode of action and insecticidal value of a diatomaceous earth as a grain protectant. J. Econ. Entomol. 55: 964-970.

Desmarchelier, J. M., and J. C. Dines. 1987. Dryacide treatment of stored wheat: its efficacy against insects, and after processing. Aust. J. Exp. Agric. 27: 301-312.

Duncan, D. B. 1951. A significance test for differences between ranked treatments in analysis of variance. Va. J. Sci. 2: 171-189.

Finny, D. J. 1971. Probit analysis. Cambridge Univ. Press, London.

Golob, P. 1997. Current status and future perspectives for inert dust for control of stored product insects. J. Stored Prod. Res. 33: 69-79.

Headlee, T. J. 1924. Certain dusts as agents for the protection of stored seeds

- from insect infestation. *J. Econ. Entomol.* 17: 298-307.
- Hill, S. B.** 1986. Diatomaceous earth: a nontoxic pesticide. *Macdonald J.* 47: 14-42.
- Hsieh, F. K., S. S. Kao, and W. G. Chen.** 1978. Tests on control of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky by nontoxic materials. *Plant Prot. Bull.* 20: 8-15 (in Chinese).
- Majumder, S. K., and A. Bano.** 1964. Toxicity of calcium phosphate to some pests of stored grain. *Nature* 202: 1355-60.
- Ross, T. E.** 1981. Diatomaceous earth as a possible alternative to chemical insecticides. *Agric. Environ.* 6: 43-51.
- Wang, S. C., F. Sun, and T. Y. Ku.** 1982. Effect of insecticides on the resistance and the reproductive rate in maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). *Plant Prot. Bull.* 24: 143-151 (in Chinese).
- Yao, M. C., and K. C. Lo.** 1992. Insect species and population densities in stored japonica rice in Taiwan. *Chin. J. Entomol.* 12: 161-169 (in Chinese).
- Yao, M. C., and K. C. Lo.** 1994. Phoxim resistance in *Rhyzopertha dominica* Fabricius in Taiwan. *Chin. J. Entomol.* 14: 331-341 (in Chinese).
- Yao, M. C., and K. C. Lo.** 1995. Phoxim resistance in *Sitotroga cerealella* Qlivier in Taiwan. *J. Agric. Res. China* 44: 166-173 (in Chinese).
- Yao, M. C., and K. C. Lo.** 1997. Synergistic effect of piperonyl butoxide on the toxicity of insecticides against *Rhyzopertha dominica* and *Sitotroga cerealella* in Taiwan. *Chin. J. Entomol.* 17: 1-10 (in Chinese).

收件日期：1999年9月1日

接受日期：1999年9月13日

Evaluation of Several Mineral Insecticides for Control of Stored Product Insects

Me-ChiYao* and Kang-Chen Lo Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute, 189 Chung cheng Road, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

In order to solve problems of stored product insects and decrease the harm to people or the environment, the effects of several mineral insecticides such as diatomite, aluminum silicon, talcum powder, calcium phosphate, silica blue, and clay to *Rhyzopertha dominica* Fabricius, *Sitotroga cerealella* Olivier, and *Sitophilus* spp. were investigated. Diatomite was the best in efficacy of control among tested insecticides. The price of diatomite of commercial grade is much lower than that of the laboratory grade, being only 1/7 as expensive. The same control effect was observed with diatomite of both grades to *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus* spp. 16 days after treatment, and to *Sitotroga cerealella* 3 days after treatment. The control effect of 0.5% Commercial grade diatomite when mixed with rough rice could last for 6 months, and when mixed with hulled rice could last for 3 months. Commercial grade diatomite, with the advantages of being non-toxic and low cost, is recommended for the control of stored products insects. It is a promising material for practical use in the future.

Key words: *Rhyzopertha dominica*, *Sitotroga cerealella*, *Sitophilus* spp., mineral insecticides, diatomite.