



Formosan Entomologist

Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

Distribution of Phosphine in Bins Storing Bagged Sorghum After Application of Aluminum Phosphate 【Research report】

袋裝高粱平倉施用磷化鋁後磷化氫之分布【研究報告】

Wu-Kang Peng, Teng-Kuei Lee and Jhin-Fang Liao
彭武康*、李騰貴、廖進芳

*通訊作者E-mail: wkpeng@ccms.ntu.edu.tw

Received: 1999/11/22 Accepted: 2000/01/05 Available online: 2000/03/01

Abstract

Experiments were conducted to compare the distribution of phosphine in bins of 2300 m³ (ca. 1000 t) when aluminum phosphide was placed on the stack surface and on the floor. The bagged sorghum was piled to a height of 6 m. In the first experiment, Detia blankets with 500 bags (9.69 kg AlP a.i./bin) were placed on the stack surface. Within 10 days, cumulative Ct products of phosphine on the stack surface (B) and the floor (A) were 6916 and 6995 ppm d, respectively, with B/A being 99%. This shows that the phosphine concentrations on the floor were 1% higher than these on the stack surface, and at the floor level, the ratios of the highest to the lowest concentrations of phosphine were 90~98%; at the stack surface level were 90~96%. In conclusion, differences in phosphine concentrations at the same level were less than 10%. Sampling for insects in the grain taken on day 15 after fumigation showed 100% control. In experiment 2, phostoxin tablets (5.7 kg AlP a.i./bin) were applied to the floor in bin 1. After 10 days, the cumulative Ct products of phosphine beneath the roof (C), on the stack surface (B) and on the floor (A) were 2300, 2410, and 2546 ppm d, respectively, with B/A being 95%. When Detia blankets with 300 bags (5.814 kg AlP a.i./bin) were applied to the stack surface in bin 2, cumulative Ct products on levels C, B, and A were 3369, 3629, and 3751 ppm d, respectively, with B/A being 97%. We conclude that when aluminum phosphide was placed on either the stack surface or the floor during fumigation, the difference in phosphine concentrations between the stack surface and floor was less than 5%. Before fumigation, laboratory-reared adults of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst) were placed on the stack surface. Results showed that they were 100% killed after fumigation in the two bins. Sampling for insects in the grain taken from bin 2 showed 100% control; however, in bin 1 it was 83.2%, due to a quick drop of phosphine concentration. We suggest that this drop be further studied.

摘要

本文報導比較磷化鋁施用於袋裝高粱平倉之積穀表面或地面，倉內磷化氫氣體濃度分布。平面32.8 × 9.6 m，容積2300 m³，容量約1000公噸之磚造平倉，儲藏國產袋裝高粱，堆積高約6 m。在試驗一，磷化鋁9.69 kg a.i./倉(德燻寶500包)施用於積穀表面，在10日之燻蒸期間，積穀表面(B)及地面(A)兩層之磷化氫氣體Ct product分別為6916及6995 ppm d，B/A為99%。顯示倉內磷化氫氣體濃度，地面層較積穀表面層稍高，僅差1%，因為磷化氫較空氣重1.2倍。在地面層之7個測試點中，磷化氫最低濃度與最高濃度之百分比為90~98%；在積穀表面層，為90~96%。顯示在同一層，磷化氫濃度高低差均在10%以內。燻蒸結束，開倉後15日之穀樣，顯示害蟲防治效果100%。在試驗二，Bin 1施用磷化鋁5.7 kg a.i./bin(好達勝錠劑10 kg)於袋裝高粱平倉地面。在10日之燻蒸期中，倉內磷化氫氣體之Ct product，在倉頂(C)、積穀表面(B)及地面(A)分別為2300、2410及2546 ppm d，B/A為95%。在Bin 2，磷化鋁5.814 kg a.i./bin(德燻寶300包)施於積穀表面，C、B及A各層之Ct product分別為3369、3629及3751 ppm d，B/A為97%。綜合試驗二之資料，兩倉之B及A兩層，磷化氫氣體濃度差異均在5%以內。對實驗室飼養之玉米象(*Sitophilus zeamais* Motschulsky)及擬穀盜(*Tribolium castaneum* (Herbst))成蟲，經燻蒸後都有100%防治效果。對積穀中之害蟲防治效果，Bin 2有100%；Bin 1僅83.2%。燻蒸期中，在Bin 1之磷化氫濃度降速率較快，其原因須再試驗證明。

Key words: bagged sorghum, phosphine distribution.

關鍵詞: 磷化氫分布、袋裝高粱平倉

Full Text: [PDF \(0.09 MB\)](#)

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

袋裝高粱平倉施用磷化鋁後磷化氫之分布

彭武康* 國立臺灣大學 106 臺北市羅斯福路 4 段 1 號

李騰貴 廖進芳 行政院農業委員會第二辦公室 100 臺北市杭州南路 1 段 15 號

摘 要

本文報導比較磷化鋁施用於袋裝高粱平倉之積穀表面或地面，倉內磷化氫氣體濃度分布。平面 32.8×9.6 m，容積 2300 m³，容量約 1000 公噸之磚造平倉，儲藏國產袋裝高粱，堆積高約 6 m。在試驗一，磷化鋁 9.69 kg a.i./倉(德燻寶 500 包)施用於積穀表面，在 10 日之燻蒸期間，積穀表面(B)及地面(A)兩層之磷化氫氣體 Ct product 分別為 6916 及 6995 ppm d，B/A 為 99%。顯示倉內磷化氫氣體濃度，地面層較積穀表面層稍高，僅差 1%，因為磷化氫較空氣重 1.2 倍。在地面層之 7 個測試點中，磷化氫最低濃度與最高濃度之百分比為 90-98%；在積穀表面層，為 90-96%。顯示在同一層，磷化氫濃度高低差均在 10%以內。燻蒸結束，開倉後 15 日之穀樣，顯示害蟲防治效果 100%。在試驗二，Bin 1 施用磷化鋁 5.7 kg a.i./bin (好達勝錠劑 10 kg) 於袋裝高粱平倉地面。在 10 日之燻蒸期中，倉內磷化氫氣體之 Ct product，在倉頂(C)、積穀表面(B)及地面(A)分別為 2300、2410 及 2546 ppm d，B/A 為 95%。在 Bin 2，磷化鋁 5.814 kg a.i./bin (德燻寶 300 包)施於積穀表面，C、B 及 A 各層之 Ct product 分別為 3369、3629 及 3751 ppm d，B/A 為 97%。綜合試驗二之資料，兩倉之 B 及 A 兩層，磷化氫氣體濃度差異均在 5%以內。對實驗室飼養之玉米象(*Sitophilus zeamais* Motschulsky)及擬穀盜(*Tribolium castaneum* (Herbst))成蟲，經燻蒸後都有 100%防治效果。對積穀中之害蟲防治效果，Bin 2 有 100%；Bin 1 僅 83.2%。燻蒸期中，在 Bin 1 之磷化氫濃度降速率較快，其原因須再試驗證明。

關鍵詞：磷化氫分布、袋裝高粱平倉。

前 言

高粱與玉米為臺灣主要之禾穀類雜糧作物。其種實含豐富之澱粉，為製造飼料或釀酒原料。政府推行稻田轉作政策，獎勵種植

玉米及高粱等雜糧，對於調節糧食產銷，貢獻良多。

在臺灣，一般穀物，包括稻穀及雜糧之儲藏方法，有散裝儲藏與袋裝儲藏兩種。過去稻穀平倉散裝儲藏時，中間放置竹篾編織

*論文聯繫人
e-mail: wkpeng@ccms.ntu.edu.tw

之竹筒，與地面之通風孔道相通，可藉空氣對流散熱。平倉袋裝儲藏時，倉庫平面面積廣，袋包間空隙較大，空氣對流良好，穀物不易發熱。但物料進出時，無法完全機械化，而費時費工。一般之散裝平倉，穀層厚約 4 至 6 m。鐵質圓筒倉散裝積穀厚達 12 m，水泥圓筒倉則 20 m。

在儲藏期間，乾燥穀物種實受害蟲為害，造成量與質之損失(Roth, 1943; Loconti and Roth, 1953; Liang *et al.*, 1954; Smith *et al.* 1971; Hsieh and Kao, 1975; Adams, 1976; Harris and Lindblad, 1978; Hsieh *et al.*, 1980; Barney *et al.*, 1991)，及在倉內形成熱點 (Sinha, 1961; Howe, 1962)，結果均不利穀物之儲藏。在散裝倉，害蟲自積穀表面或底層入侵，在穀層中移動時，受到很大之阻礙(Howe, 1951)。因此，昆蟲多分布於積穀表面，而底部次之。在稻穀散裝倉，約 60% 鞘翅類個體聚集於表面，13% 在底部(Peng and Morallo-Rejesus, 1988)。但是，袋裝倉之空間較充裕，昆蟲可自由移動，以粉斑螟(*Cadra cautella* (Walker))為例，在垂直方向分布均勻(Graham, 1970)。

一般認為袋裝儲藏之穀物，品質較佳(Chang *et al.*, 1981)。袋裝儲藏之稻穀發芽率降低速率較慢，加工後米粒之外觀、色澤，及米飯官能品評都較佳。袋包之表面積較廣，害蟲較易侵入。袋裝儲藏 18 個月之稻穀，其蟲數為散裝之 3 倍(Chang *et al.*, 1981)。Chang and Liu (1985) 報導袋裝高粱在 8 月入倉，至次年 1 月時，每 kg 穀物平均害蟲密度為 17 隻。其中以角胸粉扁蟲(*Cryptolestes ferrugineus* (Stephens))居多，穀蠹(*Rhyzopertha dominica* (Fab.))及擬穀盜(*Tribolium castaneum* Herbst)次之。

袋裝積穀害蟲之防治，Kane and Green(1968)報導用fenitrothion 乳劑噴佈於穀袋表面，害蟲於侵入之前予以觸殺。但對於較小之鋸胸粉扁蟲(*Oryzaephilus surinamensis* (L.))，效果較差。另一防治法將倉庫密封，燻蒸劑施於倉內，方法簡便。燻蒸劑有多種(Harein and Las Casas, 1976)，溴化甲烷及磷化氫是常用的種類。但近年發現溴化甲烷及氟碳化物與大氣臭氧層之破裂有關(Bell *et al.*, 1996)。因此，有些國家已逐漸減產，或不再生產。至於二溴化乙烯(EDB)，因對試驗動物有致癌性，行政院農業委員會已於民國73年公告禁止製造及輸入。

燻蒸劑係以氣體狀態達到殺蟲效果。一般言之，氣體燻蒸劑具有良好之擴散性及穿透性。實際應用時，因倉庫空間龐大，特別是圓筒倉庫，儲藏之穀物對燻蒸劑擴散造成阻礙而分布不均(Lin *et al.*, 1966; Halliady and Kazaure, 1968; Peng, 1980; Williams *et al.*, 1996; Peng *et al.*, 1999b)。Peng *et al.* (1999b)報導在 12 m 深之雜糧圓筒倉，磷化鋁施於積穀表面，結果磷化氫氣體在表層最高，倉底最低，而其濃度僅有最高濃度之 2-14%。使用氣體循環裝置時，最低濃度為最高之 81-98%，明顯地改善分布不均之現象。袋裝穀物儲藏於平倉，其平面面積較廣，且倉內空隙較多，對於燻蒸氣體擴散之阻礙影響較小。

常用之含磷化鋁之燻蒸劑，如好達勝、敵西亞及德燻寶等，劑型有袋裝及散裝錠劑。有些袋裝燻蒸劑將許多袋連續成條狀，方便施於積穀表面，也方便收取殘餘物。粒狀錠劑可隨穀入倉時投藥或埋入穀中。施用於袋包時，部分會由穀包間縫隙滑落地面。

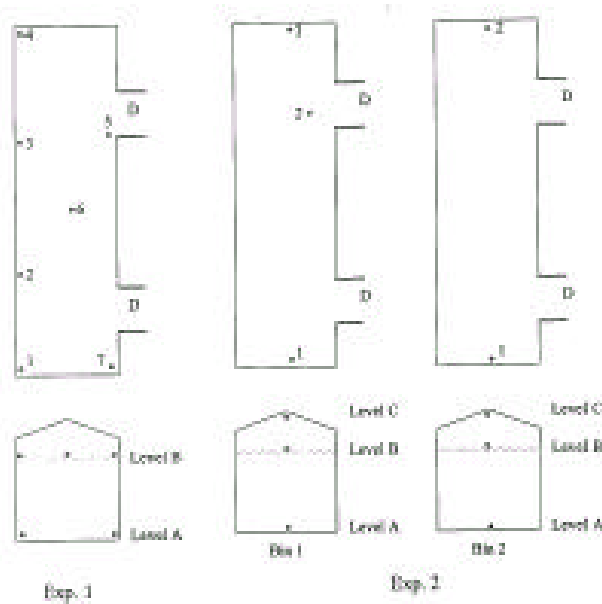
本文報導含磷化鋁之燻蒸劑施用於儲藏

袋裝高粱之平倉後，產生之磷化氫在倉內之分布與燻蒸效果。磷化氫與空氣之比重為 1.2。在平倉垂直方向沒有阻礙時，是否分布均勻，或因比重關係而沉積於地面。特別是滑落地面之錠劑，所產生之磷化氫氣體是否更集中於地面，而造成垂直方向嚴重分布不均勻之現象。再者，平倉平面面積較圓倉廣闊，在水平方向分布又如何。為解答這些疑問而設計此試驗。試驗倉積穀高度 6 m。試驗一將燻蒸劑施於積穀表面，偵測磷化氫在倉內水平方向分布之均勻度，以及垂直方向之差異。試驗二分兩部分，一將粒狀錠劑施用地面，另一施於積穀表面，分別比較其垂直方向之分布。這些資料對於燻蒸效果之評估，才能確實掌控，有助於推廣工作進行。

材料與方法

使用之燻蒸劑均為德國 Detia Freyberg GmbH 公司之產品，一為德燻寶，含磷化鋁 57%，每包重 34 g，100 包連成一長條，稱為 Detia bag blankets，裝成一筒。另一為好達勝錠劑，每筒 1 kg。磷化鋁與空氣水份作用時，產生之磷化氫氣體，即瀰漫於倉庫。磷化氫氣體藉重力及擴散作用，向周圍分散。

試驗穀倉為嘉義縣義竹鄉農會之磚造平倉（圖一），平面大小為 9.6 × 32.8 m，倉頂高 7.9 m，容積約 2300 m³，儲藏袋裝國產高粱約 1000 公噸，穀包堆積高度約 6 m。試驗開始時，在倉內敷設直徑 4 mm 之塑膠管，作為氣體取樣之用。管之一端在倉內。在各倉，開口之位置如圖一所示。其另一端經由窗門伸出倉外，與一空氣幫浦相連，抽取倉內各點之氣體樣本，送至磷化氫偵測器（Model EC80 Phosphine Fumigation



圖一 試驗穀倉剖面圖。

Fig. 1 Profile of experiment bin. A: Floor, B: Surface of stacks, C: Roof, D: Door. Opening circle (.): Openings of gas sampling lines.

Gas Monitor)。施藥後每日定時偵測倉內各點之磷化氫濃度一次，直到第 10 日。以日為單位，計算磷化氫濃度與時間(日)之乘積(*Ct product*)，將 10 日累加，得濃度時間乘積累積值(*Cumulative Ct product*)。穀倉在施藥前用塑膠布以強力膠將倉庫窗門密封。

試驗一

本試驗僅 1 倉(圖一 Expt. 1)，倉內氣體取樣管共 13 條，分 2 層敷設。地面層(Level A)之開口位於地面，共 6 點。另一層(Level B)位於穀包表面，共 7 點。使用燻蒸劑之劑量為磷化鋁 9.69 kg a.i./倉(德燻寶 500 包/倉)。使用時，平均攤開平放於積穀表面。

試驗二

本試驗共 2 倉(圖一 Expt. 2, Bin 1 及 Bin 2)，各倉氣體取樣管開口共有 3 層，分別位於地面(Level A)、積穀表面(Level B)、及倉內之倉頂(Level C)。Bin 1 每一平面點，有氣體取樣管 3 條，其開口位於倉庫兩端各一點，及近門處一點。施用磷化鋁(好達勝 10 kg) 5.70 kg a.i./倉於倉庫地面。Bin 2 每一層測氣管位於倉庫之兩端。施用磷化鋁 5.814 kg a.i./倉(德燻寶 300 包/倉)，平均攤開平放於積穀表面。

害蟲防治效果之評估有二。其一為燻蒸前，以實驗室糙米飼養之玉米象(*Sitophilus zeamais* Motschulsky)及人工飼料飼養之擬穀盜，成蟲各 50 隻，置於布包中，並放些糙米，共 15 包，預置於積穀表面。穀倉經燻蒸後開倉，取出檢查其中之成活率。其二於燻蒸前，自高粱倉表面之穀包，採取穀樣各 40 包。每包容量 1 公升，攜回實驗室，分析穀中之害蟲種類及數量。對照倉之穀樣則採於未

施藥之高粱倉。穀倉燻蒸後開倉，以同樣方法採樣分析。

結 果

試驗一之高粱倉，施用磷化鋁 9.69 kg a.i./倉(德燻寶 500 包/倉)於積穀表面後 1 日，磷化氫氣體濃度最高，2 日以後，濃度逐漸降低(表一)。至 10 日，僅有 94 ppm。施藥後 1 日，在積穀表面(Level B)及地面(Level A)兩層之磷化氫氣體平均濃度分別為 1713 及 1683 ppm，相差 30 ppm。以後每次測得 AB 兩層磷化氫氣體濃度也很相近，顯示積穀表面及地面兩水平方向磷化氫濃度差異不大，分布均勻。在燻蒸期 10 日內，A 層各點中，磷化氫最低濃度與最高濃度之比為 90-98%，在 B 層為 90-96%，相差在 10%以內。

試驗之高粱，於 87 年 7 月進倉，9 月初燻蒸。燻蒸前，不論燻蒸倉或對照倉之穀樣已有穀蠹、擬穀盜、米象蟲(*Sitophilus* spp.)、角胸粉扁蟲及鋸胸粉扁蟲等 5 種害蟲(表二)。投藥後 11 日開倉通風。第 15 日之穀樣中，處理倉害蟲全部死亡，對照倉中各種害蟲密度持續增加。燻蒸後 45 日，處理倉每公升穀樣，含穀蠹 0.2 隻，角胸粉扁蟲 0.4 隻，其他昆蟲並未出現。燻蒸後 90 日，此時為 12 月初，對照倉之穀蠹及角胸粉扁蟲密度明顯下降，擬穀盜及象鼻蟲略增。處理倉之象鼻蟲、角胸粉扁蟲及鋸胸粉扁蟲仍未出現，但是擬穀盜及穀蠹各降為 0.1 隻。

在試驗二之袋裝高粱平倉中，一倉施用磷化鋁 5.7 kg a.i./倉(好達勝錠劑 10 kg)於地面，另一倉施用磷化鋁 5.814 kg a.i./倉(德燻寶 300 包)於袋包積穀表面。各倉之地面(A)、積穀表面(B)及倉頂(C)之磷化氫氣體濃度分布列於表三。不論磷化鋁施於積穀表面或地面，

表一 磷化鋁 9.69 kg a.i./倉(德燻寶 500 包) 施用於平倉袋裝高粱積穀表面後，倉內磷化氫氣體之平均濃度(ppm)

Table 1. Concentration of phosphine at various times after aluminum phosphite application to the surface of stacks in sorghum bins at 9.69 kg a.i./bin

Level	Phosphine (ppm) on days following AIP application										$C_t^{(3)}$ (ppm d)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Mean ⁽¹⁾												
B	1713	1500	1092	827	615	447	317	213	145	94	6916	
A	1683	1493	1099	829	610	443	316	209	180	94	6995	
L/H (%) ⁽²⁾											B/A=99%	
B	96	94	90	95	92	92	91	92	90	93		
A	93	96	96	93	94	91	97	98	92	90		

(1) Mean of 7 measurements (points) at level B (surface of stacks), and 6 at level A (floor).

(2) Ratio of the lowest to highest phosphine concentration among 7 points at level B, and 6 at level A.

(3) Cumulative C_t product.

表二 袋裝高粱經磷化鋁 9.69 kg a.i./倉(德燻寶 500 包) 燻蒸後主要害蟲之平均密度 (蟲數/公升穀物)

Table 2. Number of live insects obtained per liter of sorghum sampled before and after fumigation at 9.69 kg AIP a.i./bin

Insects	Number of live insects ⁽¹⁾ /l sorghum on days following fumigation							
	0 ⁽²⁾		15		45		90	
	Control	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment
<i>Rhizopertha dominica</i>	0.2	0.1	10.9	0	6.7	0.2	0.1	0.1
<i>Tribolium castaneum</i>	0.3	0.2	2.5	0	0.9	0	1.3	0.1
<i>Sitophilus</i> spp.	0.6	0.2	9.7	0	0.7	0	1.5	0
<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	5.5	2.6	7.3	0	13.3	0.4	1.0	0
<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	0.1	0.7	0.2	0	0.1	0	0	0
Total	6.7	3.8	30.6	0	21.7	0.6	3.9	0.2

(1) Mean of 40 grain samples.

(2) Before fumigation.

磷化氫在地面之濃度較上層稍高。

實驗室飼養之擬穀盜與玉米象成蟲預置於平倉高粱袋包表面，經燻蒸後，兩燻蒸倉之試驗昆蟲活蟲率均降至0%(表四)，而對照倉試驗昆蟲擬穀盜與玉米象成蟲活蟲分別為98.5及99.5%。顯示燻蒸對於兩種試驗昆蟲成蟲有100%之防治效果。磷化鋁施用於積穀表面(表五)，燻蒸後10日，5種主要害蟲之活蟲數為0，但對照倉庫則有活蟲，顯示防治率100%。施用於地面之倉庫穀樣，有穀蠹、擬穀盜、及角胸粉扁蟲，其活蟲平均密度分別

為0.5、1.1及0.5隻。由此觀之，防治效果並未達到100%。

討 論

燻蒸劑之製劑劑型，不論為氣態、液態或固態，最後均以氣體狀態經由害蟲之呼吸系統進入蟲體內而產生殺蟲作用。雖然燻蒸劑使用劑量，係按燻蒸穀物重量或燻蒸空間大小計算，實際上，倉內燻蒸氣體有效成分濃度及分布均勻程度，是影響燻蒸效果之重

表三 磷化鋁施於袋裝高粱積穀表面或倉內地面，倉內磷化氫氣體之平均濃度

Table 3. Concentration of phosphine at various times after aluminum phosphate application to the surface of stacks or to the floor in sorghum bins

Level ⁽¹⁾	Phosphine (ppm) on days following AIP application										Ct ⁽³⁾ (ppm d)	Ratio of Ct
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Bin 1	AIP (Phostoxin) applied to the floor at 5.7 kg a.i./bin											
C	674	593	443	216	122	89	65	51	34	25	2300	95 ⁽⁴⁾
B	712	617	452	226	129	94	72	56	38	28	2410	95 ⁽⁵⁾
A	756	638	466	240	142	106	80	62	41	30	2546	90 ⁽⁶⁾
Mean	714	616	453	227	131	96	72	56	38	28	2419	
Bin 2	AIP (Detia bag) applied to the surface of stacks at 5.814 kg a.i./bin											
C	669	759	614	396	267	200	132	110	88	88	3369	93 ⁽⁴⁾
B	716	806	675	426	285	220	149	121	98	86	3629	97 ⁽⁵⁾
A	716	818	688	438	302	232	165	134	108	96	3751	90 ⁽⁶⁾
Mean	700	794	659	420	285	217	149	122	98	90	3583	
P/D ⁽²⁾ (%)	102	78	69	54	46	44	48	45	39	31	68	

(1) Level A: floor, B: surface of stacks, C: roof.

(2) Ratio of phosphine concentration produced by phostoxin to Detia.

(3) Cumulative Ct product.

(4), (5), and (6) represent C/B, B/A, and C/A, respectively.

表四 實驗室飼養之擬穀盜與玉米象成蟲預置於袋裝高粱表面，經燻蒸後之活蟲率(%)

Table 4. Survival (%) of laboratory-reared insects placed on the surface of stacks in sorghum bins after fumigation

Dose (kg a.i./bin)		<i>Tribolium castaneum</i>		<i>Sitophilus zeamais</i>	
		Before	After	Before	After
0	Control	100*	98.5	100	99.5
5.70 (Phostoxin 10 kg)	Bin 1	100	0	100	0
5.814 (Detia 300 bags)	Bin 2	100	0	100	0

* Mean of 15 samples.

要關鍵。一般平倉之平面面積廣，如本文之試驗倉，平面大小為9.6×32.8 m，容積2300 m³。燻蒸劑施用後，有效成分之分布，作以下之討論。

首先就倉內同一水平面之分布，作一整理。當磷化鋁施於積穀表面(表一 Level B)時，這層有7個測試點，在燻蒸後1日，磷化氫最低濃度與最高濃度之百分比為96%，即在這7點中，最低濃度是最高濃度之96%，兩者僅相差4%。在10次觀測值中，9日之差異較大，為90%。所以，綜合B(積穀表)層之結果，磷化氫最低濃度與最高濃度之百分比介於90~96%之間，高低濃度差為4~10%。同樣地，

在A(地面)層，磷化氫最低濃度與最高濃度之百分比介於90~98%之間，高低濃度差為2~10%。整體觀之，在同一水平面上之各點，磷化氫最低濃度與最高濃度之百分比高於90%，濃度高低差異在10%以內。

在垂直方向，磷化氫之分布由表一之Ct product觀之，B層及A層分別為6916及6995 ppm d，相差79，B/A為99%，兩者極為相近。但此種現象在試驗二(表三)差異較明顯。在Bin 1，倉頂(C)、積穀表面及地面之Ct product分別為2300、2410及2546 ppm d，B/A為95%；在Bin 2，C、B及A之Ct product分別為3369、3629及3751 ppm d，B/A為97%。

表五 袋裝高粱穀樣中燻蒸前後之主要害蟲之平均密度(蟲數/公升穀物)

Table 5 Number of live insects obtained per liter of sorghum sample before and after fumigation

Insect	Dose (ALP kg a.i./bin)					
	Bin 1		Bin 2		Control	
	5.70 (Phostoxin 10 kg)		5.814 (Detia 300 bags)		0	
	Before	After	Before	After	Before	After
<i>Rhyzopertha dominica</i>	5.0*	0.5	0.8	0	2.4	2.0
<i>Tribolium castaneum</i>	0	1.1	4.3	0	8.8	14.0
<i>Sitophilus</i> spp.	3.9	0	0.5	0	8.0	2.4
<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	3.3	0.5	1.0	0	4.1	9.9
<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	0.3	0	0	0	0.1	0.5
Total	12.5	2.1	6.6	0	23.4	28.8

*Mean of 40 samples.

綜合觀之，在平倉積穀表面(B)，高6 m，磷化氫濃度較地面者(A)低，但其差異在5%以內。

再者，磷化鋁施於倉底時，結果A、B兩層之Ct product相差136 ppm d，比值為5%；施於積穀表面時，A、B兩層相差122 ppm d，比值為3%。使用錠劑或小包劑型之燻蒸劑，部分會掉落地面，再加磷化氫較空氣重，所產生之磷化氫沉積地面而造成不均程度。但由以上之結果顯示，即使全部施於地面，A、B兩層磷化氫濃度差異為5%；施於積穀表面，A、B兩層相差3%。兩種不同施藥位置，造成A、B兩層磷化氫濃度差異僅2%而已。

Mulhearn *et al.* (1976)以模型試驗，認為倉庫周圍之空氣流動時，造成倉庫表面壓力降低。如倉庫表面有任何孔隙，倉內之氣體會被吸出。因此燻蒸時，倉庫密封特別重要。在離地面較高的空間，一般開闊而沒有阻礙物，空氣之流速會比地面快。在臺灣之鐵質圓筒倉，倉頂至地面高度約13-15m，又因屋頂面為波浪形，與倉壁連接線之縫隙不易密封。在圓筒倉空倉施磷化鋁於地面時，磷化氫最高濃度不一定在地面層(Peng *et al.*, 1999b)。因高空空氣流動，使倉外表面減壓，

倉內空氣外流，帶動倉內空氣流動，而造成倉內空氣混合之效果。而且在多次圓筒倉燻蒸試驗中，有時倉內磷化氫在2-3日就消失，可能就是風大加上密封不周之結果。但Peng (1980)以直徑25 cm，高410 cm，密封良好之鐵質圓筒模型試驗，當磷化鋁施於底部時，很明顯地，磷化氫在底部濃度較頂部高，頂部與底部之濃度比為70%左右。本文報導之倉庫，高7.9 m，且用塑膠布以強力膠黏封，雖未達氣密程度，比圓筒倉之密封程度好得多。倉內磷化氫氣體分布顯示並無混合現象。

Peng *et al.*, (1999a)報導磷化氫水平擴散穿透90 cm之高梁穀層，在3日，磷化氫濃度在擴散端為施藥端之86%。以目前臺灣使用之PP袋，裝滿穀物時，長寬厚約為75 × 45 × 35 cm。燻蒸時，磷化氫從穀袋兩旁向內擴散，進入穀包內。平均每邊擴展距離不超過37.5-22.5 cm。由此觀之，穀包周圍之磷化氫氣體向內擴散，雖受穀物阻礙而影響擴散速率，但應可均勻擴散至穀包內部，而達到預期之燻蒸效果。

植物保護手冊推薦(Fei *et al.*, 1998)，1000公噸之穀倉施用磷化鋁6.84-10.26 kg，投藥5日後開倉。但由表一及表三資料

顯示，施藥後 5 日，磷化氫濃度為 1 日之 35-40%；至 7 日仍有 20%。如能延展開倉時間，可以促使磷化氫氣體擴散進入穀包，且增長處理時間，可增進燻蒸效果。

在表一，施用磷化鋁 9.69 kg a.i./倉於倉袋裝高粱積穀表面。此劑量係介於推薦量上下限之間(Fei *et al.*, 1998)。投藥後之 10 日間，Ct product 之累積值為 6956 ppm d。燻蒸後 15 日之穀樣資料顯示，害蟲防治效果 100%。但 45 日以後，則有穀蠹、角胸粉扁蟲及擬穀盜出現。燻蒸後倉庫害蟲再發生之情形，其中有關害蟲對磷化氫之抗藥性問題，Peng *et al.*, (1999b) 已收集一些國外報告，並作討論。國內情形，根據作者之初步資料，實驗室飼養品系與穀倉者，有不同程度差異。即顯示穀倉中之昆蟲有抗藥性發生之可能。昆蟲之幼期，如卵、幼蟲或蛹期有不同之呼吸速率，吸入磷化氫量也不同，結果產生之殺蟲效果也不同(Nakakita and Winks, 1981)。如擬穀盜 15 日齡幼蟲之抗性因子為 2.0，而中齡蛹為 30.4，兩者相差極大。所以評估燻蒸效果時，也許須注意對各蟲期之防治效率。再由燻蒸後放入穀倉之黏蟲板資料顯示，發現有各種成蟲(Peng, unpublished data)。這些可能是原來倉內之幼期變成，或從倉外入侵之新蟲。

在表四，實驗室飼養試驗昆蟲，不論預置於 Bin 1 或 Bin 2，經燻蒸後都有 100% 效果。可是對穀倉中之族群(表五)，Bin 2 之防治效果有 100%，而 Bin 1 之每公升穀樣中仍有穀蠹、擬穀盜及角胸粉扁蟲等活蟲共 2.1 隻，防治效果只有 83.2%。

Bin 1 與 bin 2 所施用之燻蒸劑劑型雖不同，但等量磷化鋁應可產生等量之磷化氫。Bin 1 及 Bin 2 分別施用磷化鋁 5.7 及 5.814 kg，在劑量方面，都低於推薦量之下限。雖然 Bin 1

之磷化鋁劑量較 bin 2 短少 0.114 kg，但這些劑量在試驗倉庫中，所產生之磷化氫僅可增加 22 ppm 之濃度而已。燻蒸 10 日之期間，Bin 1 及 Bin 2 之 Ct product 累積值，分別為 2419 及 3583 ppm d，Bin 1 只有 Bin 2 之 68%。

Bin 1 施用好達勝錠劑，與空氣接觸，即快速崩解，因而增加與空氣之接觸面，結果分解速度較快。施用後 1 日，磷化氫濃度最高，達 714 ppm。bin 2 施用德燻寶，磷化鋁在不織布袋包中，分解較慢。第 1 日，磷化氫為 700 ppm，2 日最高，794 ppm。投藥後之第 1 日，在 bin 1 磷化氫濃度為 bin 2 之 102%，第 2 日降為 78%，且一直快速降低，至第 10 日只有 31%。

本文原本探討施藥後，倉內磷化氫之水平與垂直分布，結果已有如上述之結論。不過意外地，bin 1 與 bin 2 兩倉磷化氫濃度降低速度不同，且有如此懸殊之差異。其實，兩試驗倉之空間容積、倉內儲藏之高粱重量、及藥劑劑量都很相近。因此，Bin 1 中磷化氫濃度快速降低之原因，雖然缺少一些倉外磷化氫資料，不過倉庫漏氣可能性較高。事實真像，則有待加強研究，收集資料證明。

誌 謝

本研究承行政院農業委會 86 農建-3.3-糧-22 經費資助；嘉義縣義竹鄉農會提供試驗穀物及倉庫；初稿承行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所高主任穗生博士及兩位中華昆蟲審稿專家斧正；謹誌謝忱。

引用文獻

Adams, J. M. 1976. Weight loss caused by

- development of *Sitophilus zeamais* Motsch. in maize. *J. Stored Prod. Res.* 12: 269-273.
- Barney, R. J., J. D. Sedlacek, M. Siddiqui, and B. D. Price.** 1991. Quality of stored corn (maize) as influenced by *Sitophilus zeamais* Motasch. and several management practices. *J. Stored Prod. Res.* 27: 225-273.
- Bell, C. H., N. Price, and B. Chakrabarti.** 1996. The methyl bromide issue. *J. Wil.* 400 pp.
- Chang, T. C., and M. S. Liu.** 1985. Bag storage of domestically produced sorghum in flat warehouse. Taiwan Grain and Feeds Development Foundation. Storage Publications. No. 16. 17 pp (in Chinese).
- Chang, T. C., T. Y. Liu, and L. K. Leu.** 1981. Comparison of quality and insect occurrence for the paddy rice stored in bag and in bulk. *Natl. Sci. Council. Monthly, ROC* 9: 592-602.
- Fei, W. C., Y. M. Wang, K. H. Chang, C. L. Chen, and C. M. Pan.** 1998. Plant Prot. Manual. Dept. of Agriculture and Forestry, Taiwan Provincial Govt 723 pp (in Chinese).
- Graham, W. M.** 1970. Warehouse ecology studies of bagged maize in Kenya-III. Distribution of the immature stages of *Ephestia (Cadra) cautella* (Walker) (Lepidoptera, Phycitidae). *J. Stored Prod. Res.* 6: 169-175.
- Halliday, D., and I. Kazaure.** 1968. Distribution and concentration of phosphine in groundnut pyramids fumigated with phostoxin. *Rep. Nigerian Stored Prod. Res. Inst. Techn. Rep. No. 5:* 45-52.
- Harein, P. K., and E. Las Casas.** 1976. Chemical control of stored-grain insects and associated micro- and macro-organisms. pp. 232-291. *In* C. M. Christensen, ed. Storage of cereal grains and their products. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul. MN. USA.
- Howe, R. W.** 1951. The movement of grain weevils through grain. *Bull. Entomol. Res.* 42: 125-134.
- Howe, R. W.** 1962. A study of the heating of stored grain caused by insects. *Ann. Appl. Biol.* 50: 137-158.
- Hsieh, F. K., L. M. Hung, S. S. Kao, and S. L. Hsu.** 1980. Estimates of losses of stored rice caused by insects. *Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.)* 22: 385-395 (in Chinese).
- Kane, J., and A. A. Green.** 1968. The protection of bagged grain from insect infestation using fenitrothion. *J. Stored Prod. Res.* 4: 59-68.
- Liang, C. R., T. N. Chen, and T. Lin.** 1954. Present status of rice storage in Taiwan and investigation on the loss by storage insects. *Sci. Agric.* 2: 34-40 (in Chinese).
- Lin, C. H., K. S. Wai, R. S. Wang, and T. F. Chueh.** 1966. Fumigation with phostoxin in silo. *Inspection* 49: 13-26 (in Chinese).

- Loconti, J. D., and L. M. Roth.** 1953. Composition of odorous secretion of *Tribolium castaneum*. Ann. Entomol. Soc. Am. 46: 281-289.
- Mulhearn, P. J., H. J. Banks, J. J. Finnigan, and P. C. Annis** 1976. Wind forces and their influence on gas loss from grain storage structures. J. Stored Prod. Res. 12: 129-142.
- Nakakita, H., and R. G. Winks.** 1981. Phosphine resistance in immature stages of a laboratory selected strain of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). J. Stored Prod. Res. 17: 43-52.
- Peng, W. K.** 1980. Evaluation of control efficacy for phostoxin applied to different depths of the experimental bins. Natl. Sci. Council. Monthly, ROC. 8: 226-236 (in Chinese).
- Peng, W. K., and B. Morallo-Rejesus** 1988. Grain storage insects. pp. 163-178 In: Proc. Intl. Workshop Rice Seed Health. Intl. Rice Res. Inst., Manila, Philippines. 16-20, March 1987.
- Peng, W. K., C. C. Yang, and T. K. Lee.** 1999a. Horizontal diffusion of phosphine through grain. Chinese J. Entomol. 19: 201-207 (in Chinese).
- Peng, W. K., C. C. Yang, T. K. Lee, and H. Y. Cheng.** 1999b. Vertical penetration and distribution of phosphine in corn and sorghum stored in steel silos. Chinese J. Entomol. 19: 279-291 (in Chinese).
- Roth, L. M.** 1943. Studies on the gaseous secretion of *Tribolium confusum*. II. The odoriferous glands of *Tribolium confusum*. Ann. Entomol. Soc. Am. 36: 397-424.
- Sinha, R. N.** 1961. Insects and mites associated with hot spots in farm stored grain. Can. Entomol. 95: 609-621.
- Smith, L. W., Jr., J. J. Pratt, Jr., I. Nii, and A. P. Umina.** 1971. Baking and taste properties of bread made from hard wheat flour infested with species of *Tribolium*, *Tenebrio*, *Trogoderma* and *Oryzaephilus*. J. Stored Prod. Res. 6: 307-316.
- Williams, P., P. J. Nickson, M. F. Braby, and A. P. Hendson.** 1996. Phosphine fumigations of wheat in 2500 m³ steel bins without recirculation facilities. J. Stored Prod. Res. 32: 153-162.

收件日期：1999年11月22日

接受日期：2000年1月5日

Distribution of Phosphine in Bins Storing Bagged Sorghum After Application of Aluminum Phosphate

Wu-Kang Peng* Department of Entomology, National Taiwan University Taipei, Taiwan 106, R.O.C.

Teng-Kuei Lee, Jhin-Fang Liao Agriculture Council, 15 Hungchow South Road, Sec. 1, Taipei, Taiwan 100, R.O.C.

ABSTRACT

Experiments were conducted to compare the distribution of phosphine in bins of 2300 m³ (ca. 1000 t) when aluminum phosphide was placed on the stack surface and on the floor. The bagged sorghum was piled to a height of 6 m. In the first experiment, Detia blankets with 500 bags (9.69 kg AIP a.i./bin) were placed on the stack surface. Within 10 days, cumulative *Ct* products of phosphine on the stack surface (B) and the floor (A) were 6916 and 6995 ppm d, respectively, with B/A being 99%. This shows that the phosphine concentrations on the floor were 1% higher than these on the stack surface, and at the floor level, the ratios of the highest to the lowest concentrations of phosphine were 90-98%; at the stack surface level were 90-96%. In conclusion, differences in phosphine concentrations at the same level were less than 10%. Sampling for insects in the grain taken on day 15 after fumigation showed 100% control. In experiment 2, phostoxin tablets (5.7 kg AIP a.i./bin) were applied to the floor in bin 1. After 10 days, the cumulative *Ct* products of phosphine beneath the roof (C), on the stack surface (B) and on the floor (A) were 2300, 2410, and 2546 ppm d, respectively, with B/A being 95%. When Detia blankets with 300 bags (5.814 kg AIP a.i./bin) were applied to the stack surface in bin 2, cumulative *Ct* products on levels C, B, and A were 3369, 3629, and 3751 ppm d, respectively, with B/A being 97%. We conclude that when aluminum phosphide was placed on either the stack surface or the floor during fumigation, the difference in phosphine concentrations between the stack surface and floor was less than 5%. Before fumigation, laboratory-reared adults of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst) were placed on the stack surface. Results showed that they were 100% killed after fumigation in the two bins. Sampling for insects in the grain taken from bin 2 showed 100% control; however, in bin 1 it was 83.2%, due to a quick drop of phosphine concentration. We suggest that this drop be further studied.

Key words: bagged sorghum, phosphine distribution.