

積穀害蟲防除—

磷化氫燻蒸劑之作業規範

▲ 農試所應動組 姚美吉 李啟陽

一、前言

以往燻蒸劑最常使用溴化甲烷，但因溴化甲烷會破壞臭氧層，因此受到蒙特婁議定書的削減管制，目前僅在檢疫仍可豁免使用外，大都已改用替代品。而磷化氫對害蟲防治效果與溴化甲烷相當，因而逐步成為最常被使用燻蒸藥劑之一。磷化氫藥劑主要利用藥劑氣化後達到均勻分布於倉庫中，使藥劑無死角與害蟲接觸，達到完全殺蟲效果。其特色是在使用時，藥劑揮發快速，防治效果極佳。但處理過程需完全密閉（圖一），否則對處理附近之人畜將同樣造成毒害。但磷化氫燻蒸劑的使用常令人感覺困惑，為何它是劇毒物質，又可應用於民生食品呢？使用後到底對人畜是真的安全嗎？諸多疑問常造成使用者與消費者的困擾，本文將從其理化性質談起，逐步帶領讀者明白如何正確地使用這類藥劑，並解開您心中的疑慮，使您能安心使用，不再煩惱難安。

二、磷化氫藥劑的理化性質及毒理資料

(一) 磷化氫(phosphine)

分子式為 PH_3 、分子量 34g/mol 、密度 $1.38\text{g/L}(25^\circ\text{C})$ 、熔點 -134°C 、沸點 -87.8°C 、溶解度 $31.2\text{mg}/100\text{ml}(17^\circ\text{C})$ 、自燃溫度 38°C ，為無色無味的劇毒氣體。磷化氫之氣體能與空氣形成爆炸性混合物，並可以自燃，需特別留意。磷化氫容易與銅或銅合金如青銅等金屬作用，導致金屬被腐蝕在表面留下明顯痕跡，在使用上亦需留意對使用環境儀器的影響。磷化氫對人體具強烈毒性，最高容許量為 0.05ppm 。因在常溫下為氣態，保存不易，因此甚少以此形態使用。

(二) 磷化鋁(aluminum phosphide)

分子式為 AlP ，分子量為 58g/mol ，為暗灰色或黃色結晶。在乾燥中安定，



圖一、倉庫區於磷化氫藥劑燻蒸處理前將穀物完全覆蓋密封圖。

作者：姚美吉助理研究員
連絡電話：04-23317641

在濕空氣中與氫、氧反應劇烈，最後形成磷化氫。在市售產品為提升其警戒性與安全性，常於主成分磷化鋁外，再添加甲基碳酸銨 (ammonium carbamate)，在分解時可產生具警戒臭味的 NH_3 及發火防止劑 CO_2 。磷化鋁急性口服 LD_{50} 白鼠為 8.7mg/kg ，吸入 10mg/m^3 在6小時致死，屬劇毒農藥。此藥劑在常溫乾燥環境可安定保存，為現階段最常被使用之磷化氫藥劑。

(三)磷化鎂(magnesium phosphide)

分子式為 Mg_3P_2 ，分子量為 134.9g/mol ，為黃綠色結晶。磷化鎂急性口服 LD_{50} 白鼠為 11.2mg/kg ，亦屬劇毒農藥。

三、磷化氫的殺蟲機制

磷化氫 (phosphine) 屬呼吸神經殺蟲劑，氣體透過蟲體呼吸時，由氣孔吸入進入蟲體，其影響蟲體生理機制如下：

(一) 作用在神經傳導部分

磷化氫與昆蟲神經系統中突觸 (synapse) 中乙醯膽鹼酯酶 (acetylcholine esterases) 結合，導致酯酶無法水解神經傳導物質 (acetylcholine)，因此蟲體持續在神經傳導狀態中，最後因耗能量過多致死。

(二) 作用在細胞質部分

磷化氫與細胞質的磷酸甘油脫氫酶 (glycerophosphate dehydrogenase, GPDH) 結合，因此使GPDH無法將dihydroxyacetone phosphate (DHAP)轉變成甘油-3-磷酸 (glycerol 3-phosphate)，蟲體則無法將脂質合成所需的甘油 (glycerol)。

(三) 作用在粒線體部分

磷化氫在氧氣存在下，首先被活化為有毒中間產物 (H_2PO_2^- 、 HPO_3^{2-})，

然後影響細胞內粒線體膜上之能量轉換系統-檸檬酸循環 (The Citric Acid Cycle, TCA-cycle)。磷化氫與細胞色素氧化酶結合，形成一種無催化能力的穩定化合物，使該酶失去活性。導致呼吸鏈中細胞色素C無法在色素氧化酶催化下，將氫原子與氧分子結合形成水，因此整個反應流程被迫中斷，能量代謝無法正常運作，蟲體因缺能量供應而衰竭致死。另外磷化氫亦可抑制蟲體的過氧化氫酶 (peroxidase) 之活性，使其失去催化分解過氧化氫成為水的能力，導致蟲體內過氧化氫的累積，引起害蟲生理中毒，致使害蟲病變或死亡。

磷化氫上述殺蟲機制，在人體或家畜都同樣適用，透過呼吸系統吸入後，對人體的神經傳導、細胞質及粒線體均會造成劇毒影響，因此在使用上需特別留意。

四、磷化氫藥劑主要的防治對象

現階段磷化氫藥劑普遍應用於進口糙米倉、麵粉倉及煙葉貯藏倉，主要防治害蟲如(圖二)，包含米象 (*Sitophilus oryzae* L.)、粉斑螟蛾 (*Cadra cautella* Walker)、擬穀盜 (*Tribolium castaneum* Herbst)、外米綴蛾 (*Corcyra cephalonica* Stainton)、煙甲蟲 (*Lasioderma serricorne* Fabricius) 及米露尾蟲 (*Carpophilus dimidiatus* Fabricius)。

五、磷化氫藥劑使用與作業規範

(一) 磷化氫藥劑使用前之注意事項

磷化氫為劇毒物質，在燻蒸處理前需依下列事項特別注意，才能使燻蒸效果達到最理想，且對環境影響降到最低。

A. 密閉性：使用磷化氫藥劑，在使用過程需特別留意其密閉性，若無法密

閉，將導致氣體外洩，造成人畜的危險性提升。

B. 足劑量：倉庫在施藥後，磷化氫的濃度要能達到有效防治濃度後，才能達到完全防治效果。因此燻蒸前要考慮倉庫密閉效果、儲穀種類、害蟲發生及溫度，評估藥劑是否達到預期的有

效藥劑量。

C. 均勻性：當以袋表面施藥時，磷化氫在空間逐步從高濃度往低濃度方式擴散，容易造成穀堆內部濃度偏低的現象，若兩者差異懸殊時，就必須以埋藏施藥或探管施藥方式改進，使全倉庫都能達到有效防治濃度狀況。

應
用
動
物



圖二、磷化氫藥劑主要防治之重要害蟲。

D. 防腐性：因磷化氫容易與銅或銅合金如青銅等金屬作用，因此需留意倉庫內是否有這類器具(如開關、冷氣機等)，應做好隔離措施，以免造成損壞。

(二) 磷化氫藥劑標準作業流程規範

- 封倉處理：全倉密封燻蒸時，需將門、窗戶及屋頂、地面通風口用塑膠布黏貼。塑膠布覆蓋燻蒸時，用塑膠布將藥燻蒸堆疊之米包緊密覆蓋，並與地面緊密黏貼，若米包堆內有柱子，亦需將塑膠布與柱子緊密黏貼。
- 施藥濃度：使用磷化氫藥劑必須達到有效防治濃度(如全倉密封燻蒸時，每立方公尺施用磷化鋁6公克；塑膠布覆蓋燻蒸時，每公噸施用磷化鋁9公克)，施藥前須先檢查藥劑數量與藥劑有效期限，均需符合規定後，始可進行投藥燻蒸。
- 燻蒸時間：一般倉庫密閉燻蒸10天以上，低溫倉庫須密閉14天至21天。
- 環境處理：庫房內牆壁及密封燻蒸堆四周，於塑膠布覆蓋後，周遭環境防蟲處理應同時進行，以免開倉後，周遭環境之害蟲快速侵入倉庫區，導致倉庫區在燻蒸後快速發生蟲害現象。
- 排氣方式：使用低速排氣，至少2天，需注意濃度及風向，以免影響周邊人畜安全。
- 開倉處理：開啟倉門及所有窗戶，並所有密封物及覆蓋之塑膠布清除，使用過的燻蒸袋必須曝曬30天再由廠商負責交由廢棄物清運公司依一般廢棄物焚燒處理。檢查倉內濃度為0 ppm，一般人才可進入。
- 防治評估：在燻蒸前在每倉至少在3處包埋米象處理包，待開倉排

氣後取出檢驗米象之死亡率，另將3包米象處理包放置於同倉未處理環境，當作對照組。同時開倉排氣後，於袋內取樣檢查是否有活蟲存在。

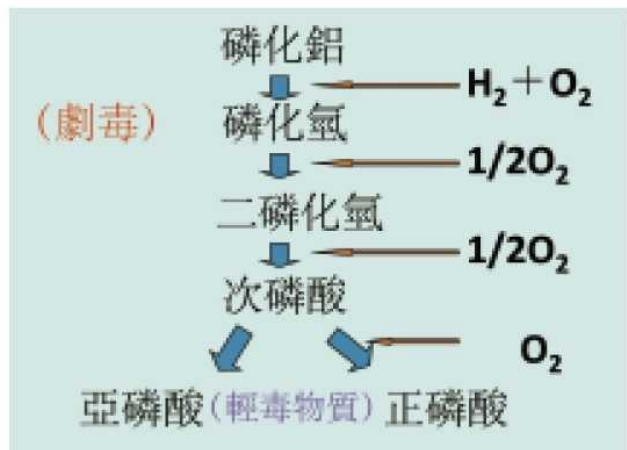
六、磷化氫燻蒸處理之安全評估

(一) 磷化氫藥劑之殘留毒性

一般市售磷化鋁與空氣作用後其化學變化如圖三，先轉變為磷化氫為劇毒氣體。再經氧化作用逐步轉變為二磷化氫、次磷酸，最後成為亞磷酸或正磷酸，最後產物已屬輕毒物質。因此磷化氫藥劑施藥後，微量為穀物吸附，絕大部分成為輕毒物質，因此在開倉通風後，磷化氫藥劑已無殘留藥效。若周遭環境未同時進行防蟲處理，曾有倉庫區在燻蒸後一個月即產生害蟲發生危害的現象。

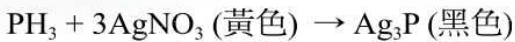
(二)、磷化氫藥劑之安全檢測

為了解燻蒸後之倉庫區是否尚有殘留之磷化氫氣體，最簡易的檢測方式是用硝酸銀檢測法。先將乾淨的白色濾紙條放在5%的硝酸銀溶液中浸濕，在需要檢查的處所揮動，如在5~7秒內濾紙出現黃色，表明空間的磷化氫濃度低於0.007 mg/L。若倉庫內含有磷化氫氣體，濾紙的顏色會由黃色轉變為黑色，



圖三、磷化鋁在空氣中之化學變化過程。

此法屬於自我簡易定性檢測。



若要準確偵測磷化氫濃度，則需要使用磷化氫電子檢測器，此檢測器可將感測出磷化氫氣體濃度值，轉換成數位信號，由液晶顯示其即為磷化氫氣體濃度值。磷化氫氣體檢測器的特點是攜帶方便，快速準確，操作簡便等，又可做定量檢測。

(三) 磷化氫藥劑操作時安全防範之道

- A. 施藥時安全配備：處在有磷化氫氣體的環境中有可能吸入過量毒氣的人員必須戴防毒面具，現今大多數國家對磷化氫毒氣濃度的衛生要求為 0.3 mL/m^3 (V/V)，在超過這個標準的環境中工作時必須戴預防性防毒面具。
- B. 留意工作人員身體狀態：在施藥過程，若工作人員感覺身體不適時，就應立刻停止施藥。急救流程如下：
 1. 立即將患者移至新鮮空氣處。
 2. 若呼吸停止，施予人工呼吸。
 3. 保持患者溫暖及休息。
 4. 即刻就醫，送大型醫院毒物科(告知磷化氫中毒)。
- C. 定時留意藥劑濃度：倉庫在磷化氫燻蒸施藥期間，應每日以磷化氫檢測器檢測是否有磷化氫外洩現象。

(四) 磷化氫藥劑操作時常見之錯誤使用方式

磷化氫燻蒸劑是劇毒藥劑，有部分倉庫管理人員未謹慎處理時，可能無形中造成自身健康之損害，更影響周遭人畜的安全。茲將以往所見所聞錯誤的案例彙整如下，以供鑑戒。

- A. 處理人員在進行磷化氫藥劑施藥時，未戴防毒面具及手套，是最常見錯誤使用方式。

- B. 藥劑使用量未達有效防治濃度，造成防治效果無法達到預期效果。
- C. 以覆蓋方式施藥時，覆蓋塑膠帆布密閉性不佳，造成磷化氫外洩。
- D. 將磷化氫燻蒸劑視為一般農藥，直接投藥在碾米機器中，在無完全密閉狀況下使用，此現象在碾米廠常發生，此錯誤使用對工作人員將造成極度危險。
- E. 處理時未定期監測周遭環境之磷化氫濃度。
- F. 倉庫區進行磷化氫處理時，周遭環境並未同時進行害蟲防治處理，造成磷化氫處理後，再經1~2月後害蟲即再度發生危害。
- G. 處理後未完全排氣通風，測定磷化氫濃度在安全值範圍，即貿然進入倉庫區，亦極為常見現象。

七、結論

磷化氫藥劑之使用特色是處理後藥劑經分解，僅微量被穀物吸附，且最後產物為輕毒物質，相對降低藥劑殘留問題，提升使用後對人畜的安全性。因此磷化氫燻蒸劑已普遍應用於木材、棧板隱藏害蟲之燻蒸防治，而在稻穀、糙米或雜糧倉之害蟲防治上更廣泛被應用，使用上既便利且能達到極佳防治效果。但因其藥劑特性，在使用時須完全密閉，且要特別留意對周遭人畜的安全性。因此在燻蒸前需先針對其密閉性、足劑量、均勻性、防腐性、殘留性、周遭性、安全性等進行評估。燻蒸時定期監測磷化氫濃度，並同時進行周遭害蟲防治，燻蒸後能完全排氣達安全值才開放。在所有流程均按標準作業流程執行且處處留意，必能使屬劇毒物質的磷化氫防治方式成為安全又有效之防治技術。