

簡介波爾多液 之使用與注意事項(上)

農試所植病組 林筑蕓 蔡志濃 農試所退休人員 安寶貞

一、波爾多液的由來

18至19世紀歐洲主要的葡萄酒產區爆發了數次嚴重的葡萄露菌病疫情，法國知名葡萄酒產地波爾多地區也深受其害(圖一)。一日，波爾多大學的教授米勒戴特 (Pierre-Marie-Alexis Millardet) 在波爾多地區調查葡萄病害時，發現農民為了制止路人任意採摘果實，會將靠路邊的葡萄噴灑一種嚐起來帶有苦味的淡藍色硫酸銅混合石灰染料，米勒戴特進一步發現如此處理後的葡萄露菌病發病率竟特別地低。米勒戴特與試驗田技術主管大衛 (Ernest David) 合作，於1885年發表文獻證實了此硫酸銅石灰混合物確實具有防治葡萄露菌病的效果，因此被命名為「米勒戴特-大衛處理 (Millardet-David treatment)」，或因發現的地點俗稱「波爾多液」，台灣亦有農民稱為「青銅石灰」。

二、波爾多液為長效型的保護劑

波爾多液的主要殺菌成分為二價銅離子 (Cu^{2+})，銅離子可能與蛋白的硫醇基反應 (-SH)，影響其酵素活性進而抑制真菌孢子的發芽或造成病原菌細胞的代謝異常。波爾多液不宜密集施用，由於植物同樣也會吸收銅離子，過量施用容易造成藥害。因此藉由混和石灰水，銅離子與強鹼性的石灰形成錯離子，此機制提供兩大優點：1. 銅離子與石灰形成細微懸浮粒子施用在植物表面後黏附形成保護膜，不易被雨水沖刷清除；2. 銅離子經植物生長過程所分泌的有機酸而緩慢釋放，延長藥效。

因此，一旦施用在植物表面後，能形成長效型的保護膜，提供良好的預防效果。然而，由於藥劑呈藍色，不建議直接噴灑在花或果實表面。若要在產期中使用，建議改施用低濃度波爾多液，如2-2式，或於沒有花或果實套袋後再施用(圖二)。

三、波爾多液的配製方法

波爾多液依據硫酸銅與生石灰含量有不同濃度的配方，一般採硫酸銅與生

作者：林筑蕓助理研究員
連絡電話：04-23317536

石灰等量式配置使用。例如「4-4」式波爾多液即是1公升含有4公克硫酸銅與4公克生石灰，其他常見的波爾多液濃度與配製比例請見表一。配置波爾多液時的混合順序相當重要，應以石灰水(白)當底，硫酸銅(藍)再緩慢加入，充分攪拌至溶解，配置出的顆粒細才具有良好的懸浮性；反之則容易產生沉澱的大顆粒(圖三)。

本文提供2種配製方法供選擇，最佳的配製方法是配法一，調配出的顆粒較細密，效果較佳。但若施用量大，無法慢慢混勻時，可使用配法二，調配出的顆粒雖然較大，但是不失為缺乏機器輔助時的折衷方法。

配法一、【直接使用】

調配出的顆粒較細密，適合小量或有機器輔助時使用。

1. 前一日，將所需的水量分為2桶，分別溶解石灰及硫酸銅。
2. 當日，將硫酸銅溶液(藍色)，緩緩倒入石灰水(白色)中，邊倒邊攪拌，另可暫停一下，待確定倒入之部



圖一、葡萄露菌病，造成葉片黃斑，影響葡萄產量與品質。



圖二、波爾多液提供一層「保護膜」，因為此藍色表層不容易擦拭，不建議直接噴灑於花或果實表面(圖為紅龍果幼果)。

分硫酸銅與石灰水充分混合後再繼續加。

3. 成功調配之波爾多液呈水藍色，若出現過多結晶物，過濾後直接使用。

配法二、【濃縮液配製】

調配出的顆粒可能較大，但適合大量或沒有機器輔助時使用。

1. 將石灰及硫酸銅個別溶於寶特瓶或小水桶內，成為濃縮液，可分開長期保存。
2. 使用當天，先將石灰濃縮液按比例倒入所需的水量。
3. 再將硫酸銅緩緩倒入，邊倒邊攪拌，確定倒入之部分液體充分混合後，再繼續緩慢倒入一部分，直至完全混合。

一般波爾多液最常被施用的是「4-4式波爾多液」配方，對一般果樹真菌病害即有良好效果。用於樹幹的傷口塗布與滅菌也可以增加濃度或添加黏著劑，調製成濃稠狀。亦可添加1%的糖，增加懸浮粒子的懸浮性，避免沉澱。

四、波爾多液使用時之注意事項

1. 應選用純度高、品質優良的白色生或熟石灰(圖四)和淡藍色硫酸銅(不挾帶黃色或綠色雜質)。
2. 勿使用鐵桶或其他金屬容器配置或保存，倒入之順序不可顛倒，否則效果大幅降低。
3. 波爾多液呈鹼性，勿與其他易遇鹼反應的藥劑、肥料混合，建議單獨使用。
4. 至少7天後再使用其他藥劑，避免產生藥害。例如噴灑過波爾多液後需經過20-30天才能使用石灰硫磺合劑；噴過石灰硫磺合劑後10天才能噴波爾多液。
5. 每7-10天使用一次，連續使用2-3次。
6. 混勻後當天使用，建議10小時內使用

表一、各式波爾多液之硫酸銅與生石灰使用量。

名稱	酸銅 (公斤)	生石灰 (公斤)	水 (公噸)
8-8式波爾多液	8	8	1
7-7式波爾多液	7	7	1
6-6式波爾多液	6	6	1
5-5式波爾多液	5	5	1
4-4式波爾多液	4	4	1
3-3式波爾多液	3	3	1
2-2式波爾多液	2	2	1
4-8式過石灰波爾多液	4	8	1
3-6式波爾多液	3	6	1

※註：亦可配合黏稠劑調製成濃稠狀，用於樹幹的傷口塗布與滅菌。



圖三、白(石灰水)當底，藍(硫酸銅)緩慢加入。產生的混合液顆粒細、具良好懸浮性(左)，若弄反者，產生的顆粒大，很快就沉澱(右)。

完畢，否則藥效亦會降低(圖五)。

7. 使用波爾多液應避開高溫、高濕天氣(如在炎熱的中午、陰雨天、霧天或有露水的早晨)，否則易產生藥害。一般在午後、晴天而微風藥液易乾的天氣較為安全。



圖四、純度高生石灰以及熟石灰呈現純白乾淨狀態。



圖五、配製混勻後當天使用，建議10小時內使用完畢，否則藥劑容易變質，效果降低。

8. 與施用一般農藥相同，應配戴防護設備，如長袖、長褲、帽子、手套、口罩、護目鏡等，避免接觸皮膚；施用後宜清洗噴藥桶與噴頭。

五、生石灰與熟石灰之差異

生石灰為碳酸鈣(化學式： CaO ，分子量：56.1)，加水後為產生熟石灰(化學式： $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，分子量：74.1)。因此若以熟石灰為原料，原本生石灰用量為4克的話，熟石灰則需使用5.3克才有相同的當量，依此類推。

市售的生石灰時常呈塊狀，不易溶解，可以先將生石灰搗碎後再加水。

生石灰加水後會有放熱反應，因此要小心被熱水噴濺燙傷；也必須等待石灰水溫度降至室溫後，再與硫酸銅混合，配製出的顆粒較細膩，效果較佳。

市售熟石灰則多為粉狀，且可視為已含水之石灰，與水混合時放熱現象較不顯著，使用上較為安全。

部分農民曾經反映熟石灰配置出來的效果防治效果不佳或溶解度差。由於市售熟石灰的品質參差不齊，品質不佳的產品時常含有許多雜質而不易溶解，而很難與硫酸銅混合均勻(圖六)。筆者實際施用或試驗



圖六、熟石灰品質優(左)劣(右)差異大，應選擇純度高呈現純白乾淨狀態之熟石灰。



圖七、4-4式波爾多液防治紅龍果莖潰瘍效果不亞於一般化學藥劑。(展：展著劑；賽：賽普護汰寧；2-2：2-2式波爾多液；4-4：4-4式波爾多液)

中都是使用品質優良的熟石灰，呈現的防治效果也十分良好。若對熟石灰的品質有疑慮，建議改採用生石灰調配，但需要注意上段所描述的現象。

六、波爾多液對真菌性與細菌性病害防治效果佳

波爾多液為廣效性殺菌劑，對絕大多數的真菌與細菌病害均有極佳的防治功效，經常用於果樹露菌病、疫病、白粉病、銹病、柑橘潰瘍病、檬果黑斑病及楊桃細菌性斑點病的防治。

舉例來說，於溫室中測試波爾多液防治紅龍果莖潰瘍病效果，結果顯示罹病度大幅下降，且效果不亞於一般慣行農業用的農藥(圖七)；田間實際輔導紅龍果罹染莖潰瘍病的農戶，以4-4式波爾多液配合剪枝與正確施藥時機，可有效降低園區潰瘍病發生率，防治率可達6-9成。(待續)

簡介波爾多液 之使用與注意事項(下)

農試所植病組 林筑蘋 蔡志濃 黃順源

農試所退休人員 安寶貞

(續上篇)

七、操作波爾多液時的安全考量

根據加州大學農業與自然資源部 (UC Division of Agriculture and Natural Resources) 所執行之加州整合性害物管理計畫 (UC Statewide IPM Program) 農藥資料庫之資料顯示，波爾多液除對水生生物具高度潛在風險性外，對自然天敵、蜜蜂毒性低，哺乳類口服毒性中等，尚未發現致癌或影響生育的可能 (表二)。

波爾多液施用時，除應避開水源區避免毒害水中生物外，對人體健康以及環境的影響性仍不容忽視。

1. 波爾多液與健康疑慮

無論是何種藥劑，操作過程須謹慎做好防護措施，波爾多液操作時亦是如此。在20世紀初便曾爆發過因為施用過量波爾多液，加上缺乏保護措施、操作不當，引起大規模人體健康危害之事件。

事件為聯合水果公司 (United Fruit Company) 為防治香蕉葉斑病 (Banana Sigatoka disease)，自1938年開始大規模在拉丁美洲地區噴佈波爾多液，根據文獻記載提及：

「爲了運送大量的波爾多液—每英畝250加崙，每兩周一次，終年使用。」

「每公頃一年可累積施用100-150公斤的銅離子量。」

「在整個計畫的高峰時期，有近6萬公頃土地都施用波爾多液」

更甚者，當地香蕉樹逾12米高 (圖八)，公司為確保波爾多液能完整覆蓋各面香蕉葉片，尤其是最上層葉片，缺乏防護措施的工人必須仰望地噴灑波爾多液至香蕉樹上，因而會使波爾多液進到眼、口與鼻，並沾附滿衣服與全身，也因此被暱稱為「鸚哥 (pericos, parakeets)」 (圖九)。因為長期接觸龐大的量，即便已使用肥皂清洗，工人口鼻黏膜甚至皮膚上仍無法完全清除部分的波爾多液，長期呈現淡藍色。據當時報導指稱，部分工人即便已離開該公司，數月後仍可流出淡藍綠色的汗。

最終，工人嗅覺、視力、聽覺與肺部健康出現惡化，甚至死亡。該項驚人的波爾多液施用計畫最終被其他防治技

作者：林筑蘋助理研究員
連絡電話：04-23317536

術取代，於1962年正式宣告終止(全文詳見Marquardt, 2002)。

上述事例非單純使用波爾多液造成的事故，而是跨國公司超量使用波爾多液，並在不人道、缺乏勞動安全規劃下造成的結果，在現代來看是相當不合理的制度。然而，波爾多液對於呼吸系統的危害問題仍是值得重視，因此施用時應與噴灑一般農藥相同，應當配戴防護設備，如長袖、長褲、帽子、手套、口罩、護目鏡等，操作完畢盡速清洗，務必謹慎小心。

2. 波爾多液與環境風險

波爾多液原料「硫酸銅」與「石灰」都是屬於自然界存在之無機鹽類，近年來仍是許多國家，包括美國、加拿大、歐洲、日本、中國與澳洲核准的有機農業防治資材。

但是，目前普遍認為過量的銅離子會造成土壤汙染與水汙染，可能會毒殺魚類與蚯蚓，過量使用確實有環境上的風險。各國雖核准波爾多液的施用，但多提出使用時，必須盡量減少銅在土壤中的累積。

在管制標準較為嚴格的歐洲，已在連年施用波爾多液的葡萄酒主要產區監測到土壤中銅離子有逐漸累積的情形。為維持環境的永續，在2009年歐盟將波爾多液列入觀察名單，在部分地區「限制」波爾多液的使用或零售，但並沒有「完

全禁用」波爾多液以及其他銅劑，例如在法國限制了波爾多液的使用，但仍核准另一種銅劑三鹽基硫酸銅(Tribasic copper sulfate)；另外，部分地區，例如義大利則沒有限制波爾多液使用。

我國根據「有機農產品及有機農產加工品驗證基準修正規定」，波爾多液屬於有機農業規範中的病蟲害防治技術及資材之一，有機農業亦可使用。

環保署現行對於食用作物農地之銅離子管制標準為200毫克/公斤。根據筆者



圖八、種植於拉丁美洲的香蕉樹示意圖(墨西哥城市1904)(圖片來源: Ficker)。



圖九、1940-1960年代，負責施用波爾多液的工人，在無佩戴防護設備之下，皮膚跟衣物長期呈現無法洗去的藍綠色，因此被暱稱為「鸚哥(pericos, parakeets)」。(圖片來源: Pixabay)

表二、波爾多液潛在風險評量表

具潛在風險 ¹ 之對象				
水質 ² (水生生物)	自然天敵 (有益生物)	蜜蜂 ³	人與其他哺乳類	
			口服急毒性 ⁴	致癌與生育
極高	低	低	中度	未列入危險名單

說明:

- 危險等級分為：極低、低、低到中度間、中度、中度到高、高、極高、無、無已知風險、無資料。
- 以主成分之一硫酸銅所作之評比結果，詳見Pesticide Choice: Best Management Practice for Protecting Surface Water Quality in Agriculture. UC ANR Publication 8161.
- 由低到高分為I—IV共5級，加州洲際整合性害物管理計畫 (UC Statewide IPM Program) 農藥資料庫之資料以及美國環保署皆列為IV：於安全範圍施用下可4. 於任何時期使用。
- 按加州整合性害物管理計畫提供之資料標準，口服急毒性LD50介於 50-500 mg/kg間為中度毒性。

資料參考:加州大學農業與自然資源部-加州整合性害物管理計畫 (UC Statewide IPM Program)網站<http://ipm.ucanr.edu/>

的監測，若未施用的對照組土壤含銅離子量為0.9至2.7毫克/公斤，以4-4式波爾多液連續施用3次，每次施用後隔天的土壤含銅離子微幅上升至2.3至11.0毫克/公斤，1個月後土壤銅離子含量已降至低與使用前無異(0.4至2.4毫克/公斤)；連續施用3年，每年使用5-6次，期間曾施用8-8式1-2次，其餘為4-4式，距最後一次施用(時為8-8式波爾多液) 隔1星期後再次調查，銅離子含量為4.4毫克/公斤。顯示在此施作模式下銅離子未大量殘留在土壤中，尚屬合理安全範圍內。

八、結語

波爾多液雖為廣效性且效果好之植物病害防治資材，亦為有機農業規範中可合法使用之防治資材之一，但是操作不當以及過量累積仍會產生不良影響。

為確保環境永續與人體安全，建議在使用時應配戴好防護設備，降低眼耳口鼻以及皮膚碰觸的機會，並且不要任意增加施用濃度與次數，且應配合剪枝清園做好綜合防治，一年的施用次數不

要超過5至6次，降低銅離子汙染的可能性。

九、參考文獻

- 王清玲。2010。有機農業植物保護資材規定。p157-178。作物害蟲非農藥防治資材(農試所特刊第142號)。王清玲主編。191 pp。農試所。台中。
- 加州大學農業與自然資源部-加州整合性害物管理計畫 (UC Statewide IPM Program)網站<http://ipm.ucanr.edu/>
- 台灣環保署網站<https://sgw.epa.gov.tw/Public/>
- 歐盟食品全部-農藥資料庫<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides>
- Koepfel, D. 2007. Banana: The Fate of the Fruit That Changed the World. New York. Hudson Street Press. 305 pp.
- Marquardt S. 2002. Pesticides, parakeets, and unions in the Costa Rican banana industry, 1938-1962. Latin American Research Review 37(2):3-36.