

# 環境友善的水溶性木材防腐劑

林亞立

國立宜蘭大學森林暨自然資源學系

## 一、前言

防腐處理可提高木材使用壽命，維護使用者安全，更能讓木材使用於較不適宜未處理木材的環境，就減少林木資源砍伐、提升碳吸存功效、生命週期評估結果等環境效益指標來看，木材防腐處理應是環境友善作為，所需注意的是適當的材種、防腐劑、滲透分佈、吸收量、處理程序、施作使用及廢棄物處理(或再利用)。如此，即可將木材防腐處理的功效發揮到最大，使其成為環境友善的產業。

本文以水性木材防腐劑為題材，說明目前的使用規範及未來的可能性，促進防腐劑的適當使用，使木材防腐處理發揮最大環境保護功效的首要項目。

## 二、水溶性木材防腐劑的種類

目前常用的水溶性(水性或水載型)木材防腐劑(waterborne preservatives)依主要成分及型態分類如下：(SFPA, 2014)

### (一)含銅類(Copper Based)

此類防腐劑利用銅對生物劣化因子的廣效性，搭配可抑制對銅有耐受性之真菌的協力藥劑，組成可供室內及戶外各種環境使用的木材防腐劑。依防腐劑中銅的型態，可再分為兩個類別：

#### 1.可溶性銅(Dissolved copper-based)

用於加壓處理，溶解於處理液的銅成分對木材細胞壁有良好的滲透性，提供處理材對真菌及白蟻危害長時間抵抗效力。主要有銅、烷基銨(Alkaline Copper Quat, ACQ)、銅、唑(Copper Azole, CA)、鉻化砷酸銅(Chromated Copper Arsenate, CCA)及環烷酸銅乳劑(Copper Naphthenate, Waterborne; NCU or CuN-W)等。

#### 2.微米化銅(Micronized copper-based)

防腐劑中的銅成分是經微米化的銅粒子(1 nm~25 μm, avg. 190 nm；Freeman and McIntyre, 2008)，以懸浮而非溶解的形式存在於處理液中。主要優點為降低防腐劑對水域及陸域環境的衝擊及對金屬的腐蝕。目前有微米化銅、唑(Micronized Copper Azoles, MCA)。

### (二)非銅類(Non-Copper Based)

不含銅的防腐劑對環境衝擊較小，處理材材色改變少，對金屬不具腐蝕性，但不適用於生物劣化嚴重的使用環境。

### 1. 有機碳(Carbon-based)

使用於室內及戶外離地(interior and exterior above-ground uses)的場合，目前有 Cyproconazole/Propetamphos (AZP; 標檢局, 2011)、Propiconazole/Tebuconazole / Imidacloprid (PTI; AWWA, 2010)及 DCOI/Imidacloprid (EL2; AWWA, 2010)。

### 2. 硼化合物(Borates)

主要為室內使用，常用的無機硼化合物(B in CNS, SBX in AWWA)有 Sodium octaborate, Sodium tetraborate, Sodium pentaborate 及 Boric acid。

以上各種防腐劑的名稱及成分整理於表 1。

表 1 目前常用水溶性防腐劑種類及成分

| 可溶性銅(Dissolved copper-based)  |                                |       |       |             |  |                                       |                    |  |            |            |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------|--|---------------------------------------|--------------------|--|------------|------------|
| 中文                            | 名稱                             |       | 代號    |             |  | 有效成分 <sup>1</sup>                     | 備註                 |  |            |            |
|                               | 英文                             | CNS   | AWPA  | 商用          |  |                                       |                    |  |            |            |
| 銅、烷基銨化合物系                     | Alkaline Copper Quat           | ACQ-1 |       |             |  | CuO (56.0)                            |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | BKC (44.0)                            |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | ACQ-C                                 |                    |  | CuO (66.7) |            |
|                               |                                |       |       |             |  | BKC (33.3)                            |                    |  | CuO (66.7) |            |
|                               |                                |       |       |             |  | ACQ-2                                 | ACQ-B <sup>3</sup> |  |            | CuO (66.7) |
| ACQ-3 <sup>2</sup>            | ACQ-D                          |       |       | DDAC (33.3) |  |                                       |                    |  |            |            |
| 銅、唑化合物系                       | Copper Azole                   | CuAz  | CA-B  |             |  | Cu (96.1)                             |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | Tebuconazole (3.9)                    |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | CA-C                                  |                    |  | Cu (96.1)  |            |
|                               |                                |       |       |             |  | Tebuconazole (1.95)                   |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | Propiconazole (1.95)                  |                    |  |            |            |
| 鉻化砷酸銅                         | Chromated Copper Arsenate      | CCA-3 | CCA-C |             |  | CrO <sub>3</sub> (47.5)               |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | CuO (18.5)                            |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (34.0) |                    |  |            |            |
| 環烷酸銅                          | Copper Naphthenate             | NCU   |       |             |  | Cu (6.3)                              | 乳劑                 |  |            |            |
|                               | Copper Naphthenate, Waterborne |       | CuN-W |             |  | Cu (5.0)                              |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | Cu-Naphthenate (48.0)                 | 乳劑                 |  |            |            |
| 微米化銅(Micronized copper-based) |                                |       |       |             |  |                                       |                    |  |            |            |
| 中文                            | 名稱                             |       | 代號    |             |  | 有效成分                                  | 備註                 |  |            |            |
|                               | 英文                             | CNS   | AWPA  | 商用          |  |                                       |                    |  |            |            |
| 微米化銅、唑化合物系                    | Micronized Copper Azole        |       |       | MCA         |  | Cu (96.1)                             |                    |  |            |            |
|                               |                                |       |       |             |  | Tebuconazole (3.9)                    |                    |  |            |            |
| 有機碳(Carbon-based)             |                                |       |       |             |  |                                       |                    |  |            |            |

| 名稱            |  | 代號  |      |    | 有效成分   | 備註 |
|---------------|--|-----|------|----|--|----|
| 中文            | 英文   | CNS | AWPA | 商用 |  |    |
| 唑化合物系         | Azoles   | AZP |      |    | Cyproconazole (60.0)<br>Propetamphos (40.0)  | 乳劑 |
|               | Propiconazole /<br>Tebuconazole/<br>Imidacloprid     |     | PTI  |    | Propiconazole (47.6)<br>Tebuconazole (47.6)<br>Imidacloprid (4.8)                      | 乳劑 |
|               | DCOI /<br>Imidacloprid/<br>Stabilizer,<br>Waterborne |     | EL2  |    | 4,5-Dichloro-2-N-octy<br>l-4-isothiazolin-3-one<br>(DCOI) (98.0)<br>Imidacloprid (2.0) | 乳劑 |
| 硼化合物(Borates) |  |     |      |    |  |    |
| 名稱            |  | 代號  |      |    | 有效成分   | 備註 |
| 中文            | 英文   | CNS | AWPA | 商用 |  |    |
| 硼化合物系         | Inorganic<br>Boron                                   | B   | SBX  |    | Inorganic Boron<br>Compounds (100.0)   |    |

1.括弧內數字為有效成分百分比(%)。

2.DDAC 於 CNS 中分列為 chloride 及 carbonate/bicarbonate 兩類型，分別為 ACQ-2 及 ACQ-3；AWPA 中則無此區別，DDAC 可為 chloride 或 carbonate/bicarbonate 類型。

3.ACQ-B 與其他 ACQ 的差別為溶劑中只含有 ammonia，其餘者的溶劑皆含有 ethanolamine 及 ammonia。

### 三、水溶性木材防腐劑的選擇

防腐處理材表現的優劣與使用環境有絕對的關係，CNS 及 AWPA 的相關標準中，皆依使用環境對處理材中防腐劑的種類、滲透深度、滲透面積及有效成分吸收量予以規範。CNS 3000 (2011，表 3 木材使用環境與危害分級)及 AWPA Standard U1-10 (2010, Table 2-1 Service conditions for use category designations)對處理材使用環境皆有分級規範，對照於表 2。前述防腐劑於各分級的吸收量基準，對照於表 3。

表2 CNS與AWPA處理材使用環境分級對照表\*

| CNS 3000 |  | AWPA Standard U1         |  |  |
|----------|--|--------------------------|--|--|
| 危害分級     | 使用環境   | USE CATEGORY             | SERVICE CONDITIONS                               | USE ENVIRONMENT  |
| K1       | 處於室內，且無蟲蟻危害之虞。                                     | UC1<br>INTERIOR/<br>DRY  | Interior<br>construction<br>Above Ground Dry     | Continuously<br>protected from<br>weather or other<br>sources of moisture  |
| K2       | 處於室內，室內相對濕度均佈，且 $\leq 70\%$ 。                      | UC2<br>INTERIOR/<br>DAMP | Interior<br>construction<br>Above Ground<br>Damp | Protected from<br>weather, but may be<br>subject to sources of<br>moisture |
| K3       | 1.處於室內，室內相對濕度均佈，且 $> 70\%$ 。<br>2.處於室內潮濕範圍，並有防水處理。 |                          |  |  |

|    |   |  |   |  |
|----|---|--|---|--|
|    | 3.處於室外，但無直接受天候劣化。                               | UC3A<br>ABOVE<br>GROUND<br>Protected         | Exterior<br>construction<br>Above Ground<br>Coated & rapid<br>water runoff                | Exposed to all<br>weather cycles, not<br>exposed to<br>prolonged wetting                   |
| K4 | 1.處於室外，並直接受天候劣化，但無持續接觸水與(或)地。<br><br>2.處於室內潮濕處。 | UC3B<br>ABOVE<br>GROUND<br>Exposed           | Exterior<br>construction<br>Above Ground<br>Uncoated or poor<br>water run-off             | Exposed to all<br>weather cycles<br>including prolonged<br>wetting                         |
|    |   | UC4A<br>GROUND<br>CONTACT<br>General Use     | Ground Contact or<br>Fresh Water<br>Non-critical<br>components                            | Exposed to all<br>weather cycles,<br>normal exposure<br>conditions                         |
| K5 | 處於室外，長期間暴露於濕潤環境或接觸土壤。                           | UC4B<br>GROUND<br>CONTACT<br>Heavy Duty      | Ground Contact or<br>Fresh Water<br>Critical<br>components or<br>difficult<br>replacement | Exposed to all<br>weather cycles, high<br>decay potential<br>includes salt water<br>splash |
|    |   | UC4C<br>GROUND<br>CONTACT<br>Extreme<br>Duty | Ground Contact or<br>Fresh Water<br>Critical structural<br>components                     | Exposed to all<br>weather cycles,<br>severe environments<br>extreme decay<br>potential     |

\* AWPA Standard 中與木材防腐相關的分級尚有 UC5 與海水接觸的部份，CNS 中並無相對應者，故未列入表中。

表 3 CNS 與 AWPA 各處理材使用環境分級之可使用防腐劑及吸收量(kg/m<sup>3</sup>)基準對照表<sup>1</sup>

| 使用環境分級 |      | 防腐劑種類          |                      |     |                      |                 |             |      |                  |                      |
|--------|------|----------------|----------------------|-----|----------------------|-----------------|-------------|------|------------------|----------------------|
|        |      | ACQ            |                      | CA  |                      | Carbon-based    |             |      | SBX <sup>2</sup> |                      |
| CNS    | AWPA | CNS            | AWPA                 | CNS | AWPA                 | CNS<br>AZP      | AWPA<br>PTI | EL2  | CNS              | AWPA                 |
| K1     |      | — <sup>3</sup> |                      | —   |                      | NA <sup>6</sup> |             |      | 1.2              |                      |
| K2     | UC1  | 1.3            | 4.0/2.4 <sup>4</sup> | 0.5 | 1.7/1.0 <sup>5</sup> | NA              | 0.21        | 0.30 | 8.0              | 5.0/8.0 <sup>7</sup> |
| K3     | UC2  | 2.4            | 4.0/2.4 <sup>4</sup> | 1.0 | 1.7/1.0 <sup>5</sup> | NA              | 0.21        | 0.30 | —                | —                    |
|        | UC3A |                | 4.0/2.4 <sup>4</sup> |     | 1.7/1.0 <sup>5</sup> |                 | 0.21        | 0.30 |                  |                      |
| K4     | UC3B | 5.2            | 4.0/2.4 <sup>4</sup> | 2.0 | 1.7/1.0 <sup>5</sup> | NA              | 0.21        | 0.30 | —                | —                    |
|        | UC4A |                | 6.4                  |     | 3.3/2.4 <sup>5</sup> |                 |             |      |                  |                      |
| K5     | UC4B | —              | 9.6                  | —   | 5.0                  | NA              | —           | —    | —                | —                    |
|        | UC4C |                | 9.6                  |     | 5.0                  |                 | —           | —    |                  |                      |

1.環烷酸銅(NCU 及 CuN-W)建議為處理材施作現場用防腐劑，未列入本表；MCA 尚未被 AWPA 列入標準，依美國 Southern Forest Products Association 對處理南方松的建議，MCA 吸收量比照 CA-C (SFPA, 2014)。

2. CNS 以 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 計，AWPA 以 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 計，本表依 CNS，AWPA 數值已轉換為以 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 計。

3. “—” 表於該分級未建議使用。
4. ACQ-B 及 ACQ-C 為 4.0 / ACQ-D 為 2.4。
5. CA-B 為 1.7 / CA-C 為 1.0；CA-B 為 3.3 / CA-C 為 2.4。
6. “NA” 表無資料。
7. 5.0 無家白蟻危害可能 / 8.0 有家白蟻危害可能。

研究結果顯示(李, 2013), 各種類防腐劑對木材的注入效果與處理材樹種、邊心材比例有絕對的關係, 各種水性防腐劑對木材的滲透性差異不大, 無需作為選擇防腐劑時的考慮因素, 處理材使用環境分級與各類木質構件於使用場所的微環境情況才是主要考慮因素。

綜合前列三表, 對防腐劑的選擇提出以下意見:

1. 提高 ACQ 及 CA 處理材的防腐劑吸收量, 應可達到 K5 使用環境分級的防腐要求, 民國 105 年起, ACQ 及 CA 有潛力替代 CCA 成為主要的戶外用木材防腐劑。
2. CNS 可依防腐劑組成分對藥劑種類及相對應於各使用環境分級的吸收量制定更明確的規範, 以避免混淆或誤用, 例如 CuAz 的組成分等同於 CA-B, 於 K3 環境分級卻與 CA-C 有相同的吸收量基準。
3. 防腐處理材於現場施作時因作樺、鑽孔等加工而暴露未經防腐劑滲透的部位, 依 AWP Standard M4-08 (AWPA, 2010), 可(應)使用以 Cu 計 1% 或 2% 的環烷酸銅(乳劑或油性皆可)或等同於 2.7%  $H_3BO_3$  的硼化合物防腐劑塗刷, 以維護處理材防腐效能。

#### 四、水溶性木材防腐劑未來發展

比較前述防腐劑, 有機碳及硼化合物防腐劑因不含金屬成分, 相對於含金屬(銅)防腐劑對環境較友善, 前者因防腐效力限制而後者因水流失性高, 其處理材在未受遮蔽或適當塗裝保護的情況下, 皆不適合作為戶外使用。有機碳防腐劑未來仍應以複方乳劑為發展趨勢, 以提高效力、效期及降低成本為目標。硼化合物防腐劑則以降低流失性為主, 朝戶外使用的目標發展。

以環境友善的觀點, 微米化銅防腐劑若能進一步降低銅粒子的大小, 提升對木材細胞壁的滲透性能(McIntyre, 2010), 並增加銅粒子於處理液中的分散性, 有機會成為含銅類防腐劑的主要種類。

#### 五、結語

以現今(及未來)人民團體對安全友善環境的重視與要求，能獲得環保機構認證可使用的木材防腐劑，應都為環境可接受的種類。縱使於製造或使用過程有些許污染產生，相對於防腐處理材提供的環境保護，木材防腐處理的環境效益絕對是正向的，而達到最大正向效益則有賴完善的相關規範、嚴肅的遵守規範、消費大眾相關知識的提升、相關機構團體的監督、木材防腐廠商投身綠色產業的意志等項目的推行與作為。

## 六、參考文獻

李委蓁 (2013) 台灣常用木材防腐藥劑之滲透性及其處理材發黴現象。國立宜蘭大學碩士論文。113 pp.。

標準檢驗局 (2011) CNS 3000 加壓注入防腐處理木材。9 pp. 經濟部，台北。

標準檢驗局 (2011) CNS 14495 木材防腐劑。55 pp. 經濟部，台北。

American Wood Protection Association (2010) Standard for the care of preservative-treated wood. AWWA Standard M4-08. 2 pp.

American Wood Protection Association (2010) Standard for waterborne preservatives. AWWA Standard P5-09. 7 pp.

American Wood Protection Association (2010) Use Category system: user specification for treated wood. AWWA Standard U1-10. 67 pp.

Freeman, M.H. and C.R. McIntyre (2008) A comprehensive review of copper based wood preservatives with a focus on new micronized or dispersed copper systems. Forest Products Journal 58(11):6-27.

McIntyre, C.R. (2010) Comparison of micronized copper particle sizes. International Research Group on Wood Preservation Document, IRG/WP 10-30538.

Southern Forest Products Association (2014) Pressure-treated southern pine. 23 pp.