可溶性矽在雙子葉植物病害防治上的應用

台中區農業改良場／劉興隆

緒言

矽是地殼中含量第二高之元素，約占地殼組成 27.7%，僅次於氧；矽由岩石風化而進入土 壤中，在土壤中常以正矽酸(monosilicic acid，$Si(OH)_4$)形態存在，而植物體內則主要以非晶形 之二氧化矽(amorphous silica，$SiO_2.nH_2O$)存在(Mengal and Kirkby, 1981)。高等植物對於矽的吸 收差異很大，依枝幹中矽含量將植物分爲三群：(1)矽含量爲 10~15%，如水稻(主動吸收)；(2) 矽含量爲 1~3%，如胡瓜(被動吸收)；(3)矽含量爲 <0.5%，大部分的雙子葉植物，特別是豆科 植物(排除機制)。矽在植物營養學上，歸屬於有益植物生長元素，對某些作物矽爲必須元 素，缺少會造成傷害。矽最初被當成肥料使用，然而施用後發現也可降低病害發生，因而有 應用矽防治病害之研究出爐。早在 1920~1930 年代即有從事矽對病害防治研究，當時研究對像 爲穀類及牧草作物之稻熱病及白粉病，後來很多研究報告指出矽對水稻有增量及降低病害， 而近十年來學者研究發現水耕液中添加矽對　子葉植物之病害具有防治效果，另外於 1992 年 Bowen 等人首次發表應用葉面噴灑矽防治多種作物白粉病，以上是矽在農業上應用的轉變， 本編專題討論主要介紹矽在雙子葉植物病害防治上的例子、影響矽在病害防治的因子及矽之 作用機制。

生理及營養角色

矽促進單子葉植物生長增加產量，如水田每年施用矽酸爐渣 2~3 噸/公頃可提高稻穀產量 8~20%(Datnoff et al., 1991)，但對大多數雙子葉植物的發育並非必需；矽影響其它微量元素的 吸收；矽使葉片直立，是密植植物截取陽光的主要因子。在同一植株的不同器官中，含矽量 有很大的差別；嗜矽植物中，矽主要分佈於地上部，而非嗜矽植物則主要集中於根部。植物 體中矽是經由木質部轉運，沈澱於蒸散流的終點。在胡瓜矽可增加胡瓜葉的重量、延遲老 化、增加葉綠體含量使葉較綠、果實外表粗糙，但對葉面積、果實長度、產量無影響(Adatia and Besford, 1986)。

矽防治雙子葉植物病害的例子

施用可溶性矽除可降低單子葉植物病害外(Datnoff *et al.*,1991)，亦可降低雙子葉植物病害 之發生。目前雙子葉植物在病害防治上，常用的可溶性矽爲矽酸鉀(potassium silicate)及矽酸鈉 (sodium silicate)等；其施用方式係將矽加入水耕液中，使植物由根部吸收進入植物體，或以葉 片噴灑方式施用。Belanger 等人(1995)於水耕中添加 100ppm 矽，發現接種白粉病後第十天添加 矽者幾乎無白粉病病斑存在，而無添加矽者每片

葉片約有 250 個病斑。又 Cherif 等人(1994b)於 胡瓜水耕中添加 100ppm 矽，然後接種 *Pythium aphanidermatum* 發現有添加矽者降低胡瓜植株死亡率約爲不添加矽者 50%，作者也調查對胡瓜產量影響，結果有添加矽者產量比無添加者 多，可見水耕添加 100ppm 矽可防治胡瓜白粉病及 Pythium 引起之病害。此外在葉片噴灑上， Bowen 等人(1992)於葡萄葉片噴 1000ppm 的矽後，調查白粉病之發生，有噴灑矽的葡萄每片葉 片的白粉病菌落數只有 2.8 個，而無矽處理者約有 25.3 個，因此應用矽作葉面噴灑可降低葡萄 白粉病發生。矽除了可防治上述之病害外，在其它病害如洋香瓜、南瓜與玫瑰之白粉病及胡 瓜萎凋病(Fusarium wilt)、stem lesions(Botrytis cinerea 及 Didymella bryoniae)等也有效。

影響防病因子

矽在雙子葉植物病害之防治報告，約自 1980 年代後才有，而有關影響矽防病之因子探討 的不多，以下就矽的使用濃度、施用方法及葉部噴灑矽後之持久性，分別探討之。Menzies 等 人(1991)於胡瓜水耕中添加不同濃度的矽，而後調查胡瓜葉片矽含量，發現當水耕中矽含量在 1.8Mm 以上時，葉片之矽含量達到最高，約 6%，如果水耕中矽濃度高於此濃度，胡瓜葉片 矽含量不會增加，低於 1.8Mm 時，濃度增加，葉片矽含量提高，作者進而比較葉片矽含量與 白粉病發生之關係，發現當葉片矽濃度愈高白粉病發生愈少，由以上可知，在胡瓜水耕中矽含量在 1.8Mm 以上時，有好的防病效果，低於此，濃度愈低防病效果愈差。

Menzies 等人(1992)在胡瓜、洋香瓜及南瓜葉片噴灑約 1000ppm 的矽與水耕液加入 100ppm 的矽具有相同防治白粉病之效果，然而他們以同樣方式應用於葡萄，發現葡萄以 1000ppm 的 矽噴灑葉片有防治白粉病的效果，但水耕液中加入 100ppm 的矽則則無防病之效果(Bowen *et al.*, 1992)，此種防病之差異可能與寄主或病原菌種類之不同有關。

此外 Menzies (1992)探討胡瓜葉片噴灑矽後，可維持多久的保護效果，其於胡瓜噴矽後， 不同時間間隔接種白粉病菌，發現時間間隔越久防治白粉病效果越差，作者認爲 17Mm 之矽處 理可維持 7 天的防治效果，故應用矽於葉面噴灑可能須定期追加噴灑。

Menzies 等人(1991a)進一步探討水耕中添加矽酸鉀或矽酸鈉化合物，其中鉀及鈉之濃度對 於胡瓜白粉病有無影響？其於水耕之基礎培養液加入硫酸鈉，以探討鈉對病害之影響，另一 處理加入硫酸鉀，以探討鉀對病害之影響，其它處理分別添加矽酸鉀或矽酸鈉化合物，結果發現只有添加矽酸鹽的處理會降低胡瓜白粉病的菌落數，而添加硫酸鉀或硫酸鈉處理並無防 病效果，因此只有矽有防病效果，鉀或鈉無此作用。

矽在雙子葉植物病害防治之作用機制

矽在雙子葉植物真菌病害防治上作用機制(Belanger *et al.*, 1995)，仍不甚清楚。不過學者 們從以下三方面加以探討其作用機制，一爲矽對病原真菌之直接影響：Bowen 等人(1992)將葡 萄白粉病菌孢子置於不同矽含量(0~18mM)之洋菜培養基平板上，發現培養基中矽含量越高對 白粉病菌胞子發芽及發芽管生長反而有促進作用，故矽對真菌並無直接殺菌作用，此外 Menzies 等人(1992)於胡瓜白粉病菌之試驗，也有同樣結果。二爲矽阻止病菌侵入：這方面的 研究皆以矽有無分布在病原菌附近做爲其依據；而研究矽分布所使用的工具爲掃描式電子顯 微鏡(SEM)再配合能量光譜儀(Energy dispersive spectrometer)，首先是建立組織(或罹病組織)的 SEM 圖，然後使用能量光譜儀建立上述組織相同部位之矽的分布圖，最後將矽的分布圖重疊 於 SEM 圖上，即可很清楚看到矽分布於組織或病原菌的位置。胡瓜處理矽後，不接種病原菌 則矽主要分布在表皮之毛狀體(trichome)基部。Samuels 等人(1991)觀察胡瓜水耕液中添加矽， 發現接種白粉病菌 24 小時後，矽除了累積於毛狀體基部外，亦累積於白粉病菌胞子及發芽管 附近，72 小時後，則於白粉病菌絲侵入處也有矽的累積，推測矽可能扮演阻止病菌侵入的角 色；又 Bowen 等人(1992)噴灑矽於葡萄葉片後，觀察矽之分布與白粉病孢子發芽情形，發現矽 斑存在處白粉病孢子無法發芽，而無矽斑區亦有矽累積於病菌侵入點及胞子附近，作者也認 爲矽之累積可能與物理的阻力(physical barrier)有關。另一可能的機制爲矽誘導植物之抗病： Cherif 等人(1992b)發現 *P. ultimum* 感染胡瓜時，矽並未累積於病菌胞子及菌絲侵入點附近，顯 示與矽之累積產生之物理阻力無關，認爲可能有其它之抗病機制；Menzies 等人(1991b)在胡瓜 白粉病之研究上發現施用可溶性矽之胡瓜葉片，於感染部位可較早產生酚化物，且具有酚化 物之葉片細胞數量較多；經矽處理之胡瓜爲 *P. ultimum* 感染時，較無矽處理者快速且多量之不 定型物質(amorphous material)累積在根部維管束細胞附近，而菌絲經過此些不定型物質其菌絲 會受破壞，最後只剩菌絲外殼，此不定型物質可能爲對真菌具有毒性之多酚化物(Cherif *et al.*, 1992a)；又胡瓜水耕中添加矽或不添加矽，於接種 *P. ultimum* 後 6 天，分別萃取胡瓜根部酚化物 (Aglycones of glycosidically bound phenolics (Gly) obtained, after acid hydrolysis)進行研究，經矽 處理者常含較多量之酚化物，且對 *P. aphanidermatum* 的卵孢子之抑制作用較無矽處理者強，尤 其當 PDA 培養基中酚化物含量在 2.0 μl/ml 時，經矽處理者可抑制 92%之卵孢子發芽，而無矽 處理者此含量下只能抑制 56%之卵孢子發芽，此外作者將上述酚化物以不同的量(5~60 μl)滴 於薄層層析片上，然後噴 *Cladosporium cucumerinum* 的孢子，72 小時後觀察抑制孢子發芽的情形，發現經矽處理者之酚化物於 5-60 μl 皆可抑制孢子發芽，而無矽處理者只有在 30 μl 時才可 抑制孢子發芽，此外矽處理亦可促使植物過氧化酵素(peroxidase)、多酚氧化酵素 (polyphenoloxidase)及 β-glucosidase 等酵素大量且快速產生，而這些與抗病有關的酵素增加， 作者認爲代表矽處理者可誘導抗病性(Cherif *et al.*, 1994a)。

結論

應用矽防治雙子葉植物病害，主要針對白粉病及 Pythium 引起之病害，而對於其它病原引 起之病害是否也有防治效果呢？有待研究。影響矽的防病因子由於目前研究不多，應進一步 加以了解，期更能掌握對矽之使用。矽在病害防治上所擔任之角色可能與物理阻力或誘導之抗病有關，然其詳細機制，目前仍有爭議，有待進一步探討。

引用文獻：

1. 范美玲. 1992. 鈣、鉀、矽肥處理對甜椒生育與果實貯藏之影響。國立中興大學園藝學研 究所碩士論文。
2. Adatia, M. H. and Besford, R. T. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. Ann. Bot. 58:343-351.
3. Belanger, R. R., Bowen, P. A., Ehret, D. L., and Menzies, J. G. 1995. Soluble silicon : its role in crop and disease management of greenhouse crops. Plant Dis. 79:329-336.
4. Bowen, P., Menzies, J., Ehret, D., Samuels, L., and Glass, A. D. M. 1992. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117:906-912.
5. Cherif, M., Asselin, A., and Belanger, R. R. 1994a. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. Phytopathology 84:236-242.
6. Cherif, M., and Belanger, R. R.1992. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long English cucumber. Plant Dis.76:1008-1011.
7. Cherif, M., Benhamou, N., Menzies, J. G., and Belanger, R. R. 1992a. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum.* Physiol. Mol. Plant Pathol. 41:411-425.
8. Cherif, M., Menzies, J. G., Benhamou, N., and Belanger, R. R. 1992b. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. Physiol. Mol. Plant Pathol. 41:371-385.
9. Cherif, M., Menzies; J. G, Ehret, D. L., Bogdanoff, C., and Belanger, R. R. 1994b. Yield of cucumber infected with *Pythium aphanidermatum* when grown with soluble silicon. HortScience 29:896-897.
10. Datnoff, L. E., Raid, R. N., Snyder, G. H., and Jones, D. B. 1991. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. Plant Dis. 75:729-732.
11. Mengel, K. and Kirkby, E. A. 1982. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Switzerland. 655pp.
12. Menzies, J., Bowen, P., Ehret, D., and Glass, A. D. M. 1992. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117:902-905.
13. Menzies, J. G., Ehret, D. L., Glass, A. D. M., Helmer, T., Koch, C., and

Seywerd, F. 1991a. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus.* Phytopathology 81:84-88.

14. Menzies, J. G., Ehret, D. L., Glass, A. D. M., and Samuels, A. L. 1991b. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus.* Physiol. Mol. Plant Pathol. 39:403-414.
15. Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Ehret, D. L., and Menzies, J. G. 1991. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). Can. J. Bot. 69:140-146.