

矽對植物生育及抗逆境之影響

吳省寬¹⁾ 林瑞松²⁾

關鍵字：矽、生育、耐受性

摘要：矽元素雖非植物生育所需之必要元素，主要是以矽酸形式 ($\text{Si}(\text{OH})_4$) 被植物體吸收及運輸，並以水化物 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 形式累積於植物體內，栽培及組織培養適量供給矽有利於促進作物生長發育、健化及增強對逆境耐受性，如促進水稻植株生長及乾重的累積，同時亦發現可防止植株過度的蒸散，增加水分的利用效率及光合活性，玉米植株葉片氣孔型態及密度發生改變，增進豇豆葉綠素含量及鐵元素之含量，降低脯氨酸含量。非洲菊則產生較粗的花梗，增加花朵直徑及提早開花，葉片大量元素及微量元素含量改變，秋海棠保衛細胞及氣孔呈現排列較緊密、平整且數量少有助於降低水分散失之效果。矽元素增強對逆境之耐受性逐漸受到重視如溫度、乾旱、鹽分及金屬離子逆境等，水稻植株於乾旱及高溫逆境增加細胞壁多糖含量，降低於逆境下葉片離子滲漏率，改善生殖生長表現，大麥於鹽分逆境提升 SOD (superoxide dismutase) 活性、根部 H^+ -ATPase 活性，減少脂質過氧化及 MDA (malondialdehyde) 含量。挪威雲杉於鋁金屬離子逆性藉由矽元素使細胞壁增厚、改善液泡、粒線體、高爾基體、內質網及核細胞之變性崩解程度，延緩金屬離子對細胞損傷。綜合上述矽對植物正向影響，未來對園藝作物生理影響及機制上值得更加深入研究。

前 言

矽 (silicon) 為自然界中分布甚廣，地殼中含量最多的元素約占 27%，雖然不是植物生長所必需的營養元素，但對水稻、玉米、小麥、大麥及甘蔗等作物有正面的幫助，因此被認為是有益元素，適量的矽有利於促進作物生長發育、提升光合作用能力、使葉片表皮呈現矽質細胞 (Silica cell)，增加機械抗性並減少病蟲害，若植物遭受到生物及非生物的逆境

1) 國立中興大學園藝學系博士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

時，應用矽肥可增強逆境下植物的耐受性(tolerances) 及緩和不良之影響(王鐘和，2002；張則周，2011；楊秋忠，2005；Agarie *et al.*, 1992；Agarie *et al.*, 1998；Balakhnina and Borkowska, 2013；Epstein, 1999；Kamenidou and Cavins, 2008；Kamenidou *et al.*, 2010；Lim *et al.*, 2012；Riaz *et al.*, 2008；Sivanesan and Park, 2014；Snyder *et al.*, 2006；Ma, 2004；Yoshida, 1975；Zhu and Gong, 2014)。

植體對矽元素吸收、運輸及累積

植物體由根部吸收矽元素，主要是以矽酸形式 ($\text{Si}(\text{OH})_4$)被植體吸收及運輸，植物對於矽的吸收能力有所不同，約佔 0.1-10.0% (乾物重)，相較於其他單子葉植物，禾本科及棕櫚科植物對於矽有較高的需求，針對禾本科及莎草科研究發現有較高的矽含量於植物體內，雙子葉植物植物體內矽含量較低，單、雙子葉物種之間矽含量的差異被歸因於植體根部對矽元素吸收所造成的結果 (Epstein, 1999；Ma and Yamaji, 2006)。植物對於矽的吸收機制取決於植物種類，Mitani and Ma (2005)於水稻、黃瓜及番茄研究指出三種作物對於矽的需求不盡相同，其中以水稻矽含量較高，黃瓜次之，番茄矽含量較低，三種作物根系吸收矽進入皮層細胞，其 K_m 值為 0.15 mM，矽從外部溶液被吸收進入皮層細胞徑向運輸及皮層細胞釋放進入木質部，Liang (2005)研究指出黃瓜對矽的吸收及運輸是藉由濃度梯度的主動過程，同時會受低溫及代謝抑制劑 (2,4-dinitrophenol)所影響，Rains 等 (2006)研究指出 DNP (dinitrophenol)及 KCN (potassium cyanide)會抑制小麥對矽的吸收，Casey 等 (2003)及 Mitani 等 (2005)於水稻與小麥研究證實矽由根部吸收經由木質部運輸，Ma 和 Takahashi (2002)指出矽經由蒸散流以矽酸形式轉運至植體地上部，並以水化物 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)形式累積於植物體內，Henrie 等 (2006)於香蕉的研究也指出蒸散流是矽於植體累積的主要作用。Mitani 和 Ma (2005)於水稻、黃瓜及番茄等作物其研究指出徑向運輸中含有高密度的轉運蛋白 (SIT1, *Lsi1* 和 *Lsi2*)含量及木質部卸載之轉運蛋白 (SIT2, *Lsi6*)，因此認為水稻累積較多的矽於植體內的重要因素，而黃瓜和番茄矽含量累積較低則認為兩轉運蛋白密度較低所致。Ma 等 (2002；2004；2006；2007)研究指出 *Lsi1* 主要表現於水稻根部，並分布外皮層與內皮層細胞質膜上遠端側，*Lsi2* 同樣也分布水稻根部外皮層與內皮層細胞質膜上位於近端側，而 *Lsi1* 是將矽從植體外轉運至細胞內，而 *Lsi2* 則是將矽運移出細胞外，同時研究認為將矽排出細胞外的過程需耗費能量，Yamaji 等 (2008)研究發現地上部轉運蛋白為 *Lsi6*，並表現於水稻葉片及葉鞘，但也表達於根部，主要位於木質部的薄壁細胞內，*Lsi6* 可以將木質部內的矽轉運出去並影響矽於葉片的含量(圖 1 及 2)。

Ma 和 Takahashi (2002)及 Hodson 等 (2005)矽沉積緊接在水稻薄角質層下方，形成角質層-矽雙層，分成兩種類型的矽質細胞 (silica cells, silica bodies or silica motor cells)。silica cells 位於維管束並啞鈴狀的形狀，silica bodies 位於葉片的呈現泡狀，除了葉片及葉

鞘，莖的表皮與輸導組織皆可觀察到矽的沉積情形。高等 (2010) 植體吸收矽元素後主要沉積於細胞腔、細胞壁及細胞間隙，矽於植體內之分布及沉積受植體生育時期、部位及環境條件等因素影響 (圖 1 及 2)。

矽元素應用對植體之影響

一、矽元素對光合作用葉片生育之影響

Sommer (1926) 首次證實矽元素為水稻的有益元素，Yoshida (1975) 針對矽元素於水稻的生理有較詳細研究論述，Agric 等 (1992; 1998) 栽培液添加矽元素於不同水稻品種後，除了促進植株生長及乾重的累積，同時亦發現可防止植株過度的蒸散，增加水分的使用效率及光合活性，Gillman 和 Zlesak (2000) 利用 $50-150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 矽於玫瑰 (*Rosa L.* × 'Nearly Wild') 扦插繁殖，插穗發根率介於 75-88.7%，對照組則只有 59.7%，適宜的濃度能降低插穗上葉片脫落、促進新葉生長及降低插穗的黑斑病的情形，Hossain 等 (2002) 於水稻、燕麥及小麥三種禾本科植物其栽培液添加矽 5-10 mM，可促進水稻第 3 片葉生長，燕麥及小麥則是促進第 2 片葉的生長外，另發現水稻葉片表皮基部細胞長度增加，細胞伸長現象並不是細胞分裂所致，同時亦發現矽會增進細胞壁的可伸展性。

二、改變葉片微細構造及組成分

Gao 等 (2006) 給予 $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 矽於玉米植株後可顯著降低葉片蒸散速率及電導度，觀察葉片微細構造發現氣孔型態及密度發生改變，歸因氣孔型態及密度改變進而影響葉片蒸散速率。Guo 等 (2006) 紫花苜蓿給予矽可增加葉面積、株高及產量，促進根系數量及生物量累積。Kamenidou 和 Cavins (2008) 於向日葵 ('Ring of Fire') 指出矽可以使植株莖較直立且厚，還可以增進花朵、莖的直徑及植株高度，但取決於施用濃度、種類及方式。Mail 和 Aery (2009) 於豇豆給予矽後，可增進產量、葉面積、葉綠素含量及鐵元素之含量，降低脯氨酸含量。Soares 等 (2012) 選用 *Brassavola perrinii* 原生種蘭花與 (*Laeliacattleya Culminant* 'Tuilerie' × *Laeliacattleya* Sons Atout Rotunda) × *Brassolaelia cattleya* Startifire Moon Beach) 雜交種蘭花，培養基添加矽後觀察其葉部細胞組織之型態，觀察其葉背表皮細胞之氣孔型態。矽有助於增加葉肉、葉面表皮細胞、葉背表皮細胞之厚度，維持葉部細胞結構之穩定性。添加矽，在雜交種蘭花之葉肉細胞結構表現上，施用矽之處理組其葉肉細胞大小均一，形狀正常。矽之添加直接影響為促進培植體葉部發育，並間接促進日後光合作用速率之提升。Bae 等 (2010) 施用 $40 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 矽於長壽花及康乃馨株高表現較佳，葉片較厚及增加植株根部鮮重及乾重，觀察葉片及根部組織呈現較緊密排列，若提供過量矽則會抑制植體生長。

三、改變生殖生長植體之表現

楊秋忠 (2005) 近年來矽元素之應用逐漸受到關注亦開始有較多的相關研究，

Hogendorp 等 (2012)及 Jana 和 Jeong (2013)分別測量矽肥於園藝作物上含量及彙整施用種類、作物類別、濃度、方式及對植體的影響 (圖 3)。Sivanesan 和 ParK (2014)彙整矽元素於組織培養上之應用。Kamenidou 等 (2010)於非洲菊 ('Acapella')施用矽後會產生較粗的花梗，植株有較佳的高度、增加花朵直徑及提早開花，葉片大量元素及微量元素含量有些微的改變，如鉀、硫、硼、銅、鐵、錳等，而矽也會累積於植體葉片、花梗及花朵組織。園藝作物對矽元素生理及應用研究較少。

四、改變葉片氣孔排列緊密增強水分逆境耐受性

Lim 等 (2012)選用秋海棠 (*Begonia semperflorens* Link et Otto) 'Super Olympia Red'和 'Super Olympia Rose'及三色堇 (*Viola × wittrockiana* Hort.) 'Matrix White Blotch'和 'Matrix Yellow Blotch'培養基添加矽後結果顯示，矽元素之添加有助於提升秋海棠'Super Olympia Red'品種之葉片數、葉面積、葉綠素含量、莖及根之鮮乾重、乾物重。矽元素之添加有助於提升'Super Olympia Rose'品種之葉綠素含量及莖鮮重及根乾重。氣孔特性影響上，無論是在保衛細胞之大小或是氣孔、氣孔群之大小或者是數量上，矽處理組小於對照組。'Super Olympia Rose'品種，保衛細胞及氣孔之排列較緊密、平整且數量較無添加矽之對照組小，此種型態呈現出添加矽有助於降低水分散失之效果。矽元素之添加有助於提升三色堇 'Matrix White Blotch'品種之葉面積、葉綠素含量。矽元素之添加有助於提升三色堇 'Matrix Yellow Blotch'品種之葉面積及莖與根之鮮乾重及乾物重。'Matrix White Blotch'品種，保衛細胞及氣孔之排列較平整且無突起。

矽元素對植物抗逆境之影響

一、水分及溫度逆境耐受性

矽元素的應用逐漸受到重視，上述相關研究指出矽肥可促進作物生長發育外，Ma (2004)提及矽於對抗植物的逆境中扮演相當重要的角色。Agarie 等 (1998)於水稻乾旱及高溫逆境研究指出施用 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 細胞壁多糖含量較未施用矽肥高 1.6 倍，同時可降低於逆境下葉片離子滲漏率，並認為矽肥於植體水分使用、細胞壁合成及功能扮演重要角色，植株離子滲漏減少與細胞膜磷脂質的穩定性有關。Ma 等 (2004)針對黃瓜研究也指出乾旱逆境矽肥處理會促進植體淨光合作用率、植體生物量及含水量，降低蒸散速率及氣孔導度，植體抗氧化能力及脂質過氧化產物也發生變化，研究證實乾旱逆境下矽肥增進植體保持水分的能力且維持植體生理代謝。李文彬等 (2005)研究指出矽肥能增強水稻生殖生長於高溫環境時之耐受性，Duan 等 (2013)石斛蘭於培養基添加矽後， 4°C 條件下能改變滲透調節能力、增加脯氨酸、可溶性糖及可溶性蛋白含量，降低 MDA 含量 (圖 4)。

二、鹽分逆境耐受性

Liang (1999)指出大麥於鹽分逆境施用矽肥會提升 SOD (superoxide dismutase)活性、根

部 H⁺-ATPase 活性，降低 MDA (malondialdehyde)含量，改變植體鉀、鈣及鈉的含量，歸因矽於對抗鹽分逆境選擇性吸收及轉運鈉鉀離子外，也有關於代謝及生理上的改變。Liang 等 (2003)鹽分逆境下施用矽肥，大麥根部抗氧化酵素及脂質過氧化反應產生改變，認為矽對植體鹽分逆境之耐受性跟細胞膜功能保持完整性及穩定性有關，Liang 等 (2006)研究發現鹽分逆境下矽能維持膜層的流動性並增促進 GSH (glutathione)活性，Sivanesan 和 Jeong (2014)於多花筋骨草鹽分逆境研究中培養基添加矽肥後可促進芽體誘導、改變增殖芽體抗氧化酵素活性 (圖 4)。

三、金屬離子耐受性

Prabagar 等 (2011)探討挪威雲杉施用矽元素與金屬離子鋁毒害研究發現，鋁的毒性作用取決於持續時間、濃度及 pH。矽肥使鋁毒害力下降，而於 pH 為 5.0 相較 pH 為 4.2 時強。植體含矽時，鋁處理之細胞超微結構顯示細胞壁增厚，液泡、粒線體、高爾基體、內質網及核細胞之變性崩解的程度改善。值得注意的是，矽緩和鋁於細胞壁含量、毒害及細胞損傷 (圖 4)。

結 論

本文以植體對矽元素吸收、運輸、累積，對植體生育及逆境耐受性層面，來探討矽元素對植體之影響，綜合上述矽對於栽培及組織培養研究，指出適量供給將有助於植體生長及發育，改變作物生理代謝及微細構造，進而影響植體生長發育。針對逆境耐受性上，藉由改變生理代謝、增進抗氧化能力、降低脂質過氧化，維持細胞壁及細胞膜完整性。矽肥應用已逐漸朝向多元化之發展，園藝作物也逐漸到重視，但大多集中於作物施用種類、作物類別、濃度及方式。未來於生理層面扮演角色及機制上能有更進一步的探討。

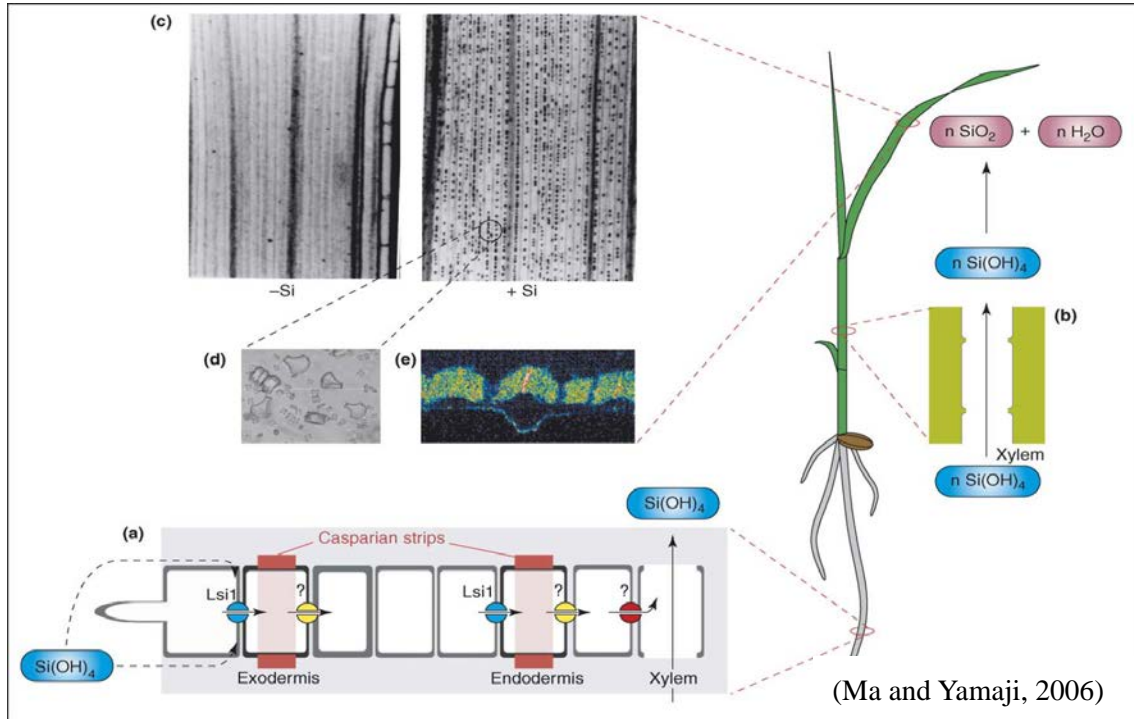
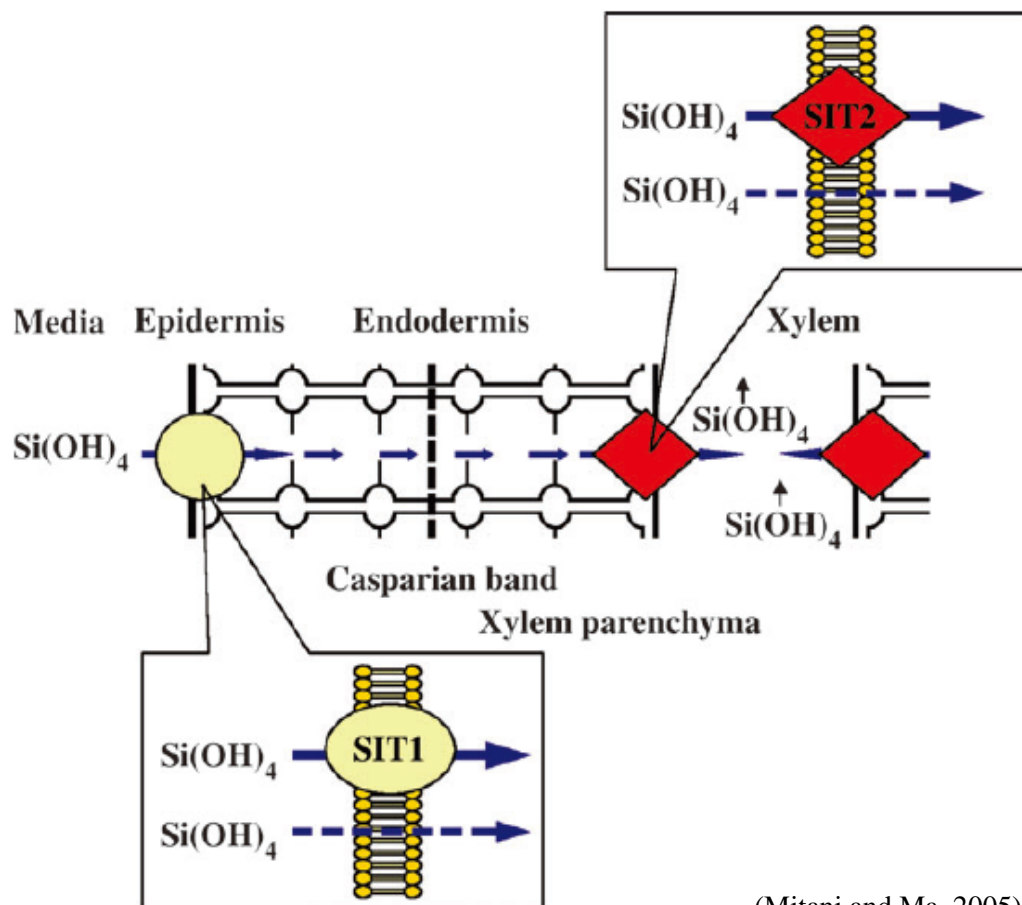


圖 1. 水稻對矽的吸收、分配與累積。

- (a) 透過矽酸的形式轉運。
- (b) 地上部以相同的形式轉運到
- (c-e) 以聚合成物形式沉積於植體和角質層。

Fig. 1. Uptake, distribution and accumulation of silicon (Si) in rice.

- (a) Si is taken up via transporters in the form of silicic acid.
- (b) In the shoot, Si is translocated to the shoot in the same form.
- (c-e) In the shoot, Si is polymerized into plant and under the cuticle.



(Mitani and Ma, 2005)

圖 2. 植體對矽吸收系統的示意圖。

Fig. 2. Schematic representation of Si uptake system in plant.

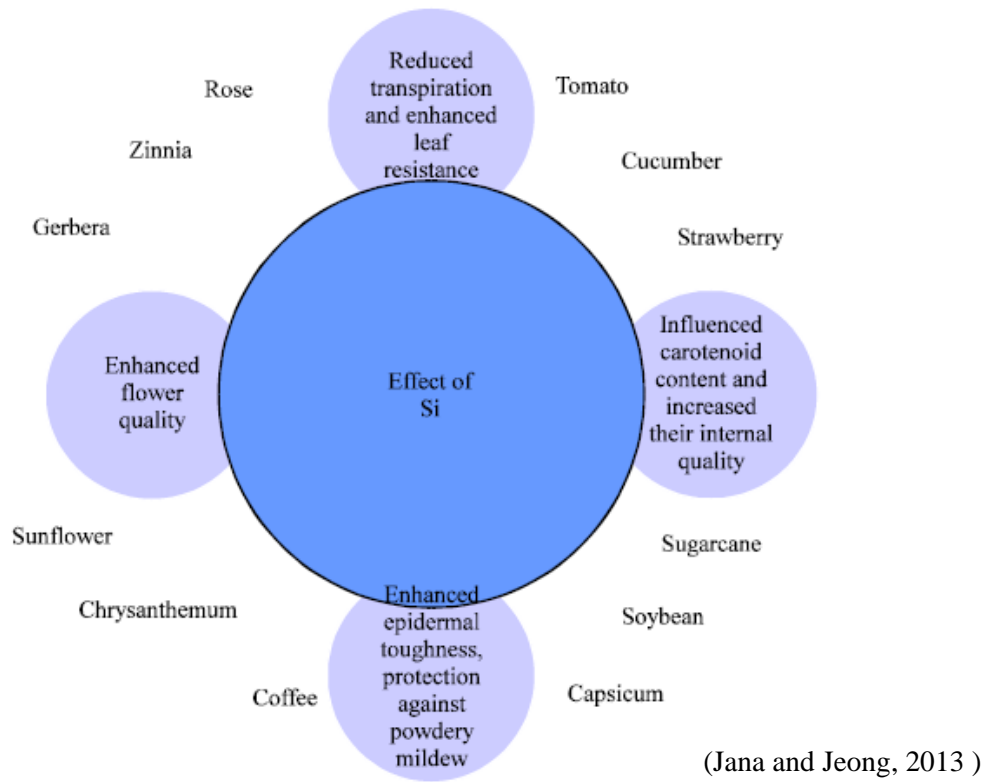


圖 3. 矽元素對園藝作物正向影響。

Fig. 3. Some positive effects of silicon on horticultural crops.

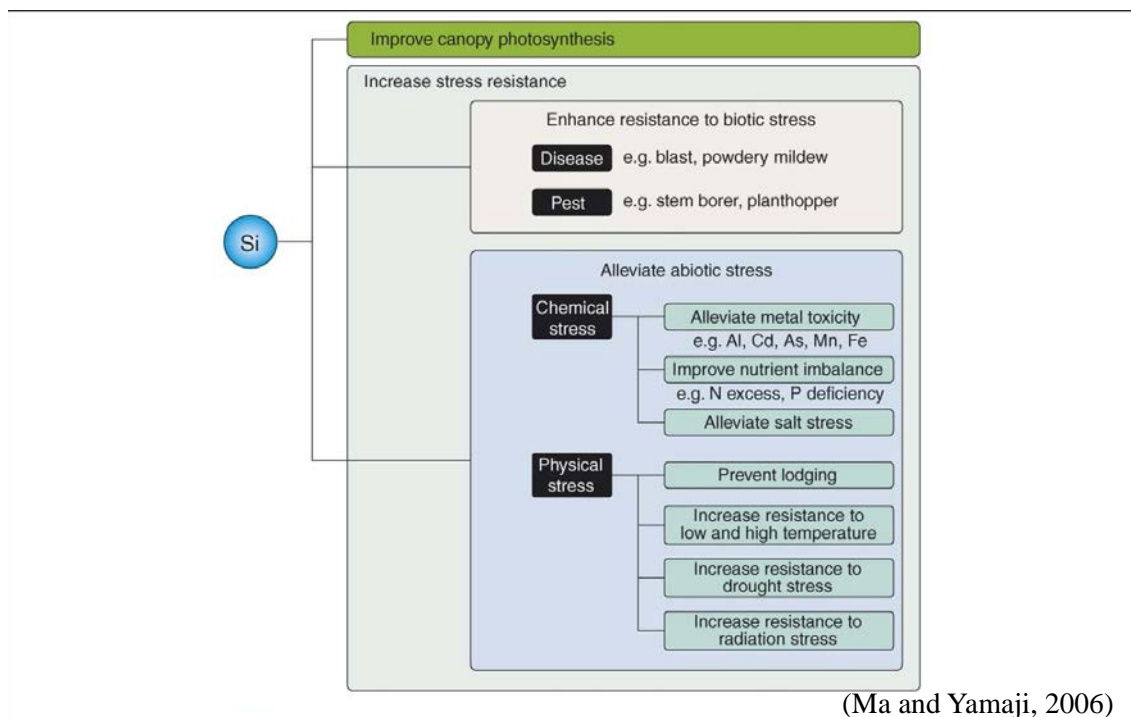


圖 4. 矽元素對植體正向影響。

Fig. 4. Beneficial effects of silicon on plant.

參 考 文 獻

- 王鐘和。2002。矽與作物生長之關係。農業世界 221: 46-49。
- 李文彬、王賀、張福鎖。2005。高溫脅迫條件下矽對水稻花藥開裂及授粉量的影響。作物學報 31: 134-136。
- 高丹、陳基寧、蔡昆爭、駱世明。2010。矽於植體內分布和吸收及其在病害逆境脅迫中的抗性作用。生態學報 30: 2745-2755。
- 唐旭、鄭毅、張朝春。2005。植物的矽吸收及其對病蟲害的防禦作用。雲南農業大學學報 20: 495-499。

- 張則周。2011。植物營養學。五南出版社。524pp。
- 楊秋忠。2005。矽肥特徵及應用要領。農業世界 257: 48-51。
- Agarie, S., W. Agata, F. Kubota, and P. B. Kaufman. 1992. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plant. I. Effect of silicon and shading treatments. Jpn. J. Crop Sci. 61: 200-206.
- Agarie, S., H. Uchida, W. Agata, F. Kubota, and P. B. Kaufman. 1998. Effect of Silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants. Plant Prod. Sci. 1: 89-95.
- Agarie, S., N. Hanaoka, O. Ueno, A. Miyazaki, F. Kubota, W. Agata, and P. B. Kaufman. 1998. Effect of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.) monitored by electrolyte leakage. Plant Prod. Sci. 1: 96-103.
- Bae, M. J., Y. G. Park., and B. R. Jeong. 2010. Effect of a silicate fertilizer supplemented to a medium on the growth and development of potted plants. Flower Res. J. 18: 50-56.
- Balakhnina, T. and A. Borkowska. 2013. Effect of silicon on plant resistance to environmental stress: review. Int. Agrophys. 27: 225-232.
- Casey, W. H., S. D. Kinrade, C. T. G. Knight, D. W. Rains, and E. Epstein. 2003. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. Plant Cell Environ. 27: 51-54.
- Duan, X. Y., M. Tang, and W. S. Wang. 2013. Effect of silicon on physiology and biochemistry of *Dendrobium moniliforme* plantlets under cold stress. Agri. Biotechnol. 2: 18-21.
- Epstein, E. 1999. Silicon. Annu. Rev. Plant Physiol. 50: 641-664.
- Gao, X. P., C. Zou, L. J. Wang, and F. S. Zhang. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. J. Plant Nutri. 29: 1637-1647.
- Gillman, J. H. and D. C. Zlesak. 2000. Mist application of sodium silicate to Rose (*Rosa* L. × 'Nearly Wild') cutting decrease leaflet drop and increase rooting. HortScience 35: 773.
- Guo, Z. G., H. X. Liu, F. P. Tian, Z. H. Zhang., and S. M. Wang. 2006. Effect of silicon on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa*). Aust. J. Exp. Agric. 46: 1161-1166.
- Henriet, C. X. Draye, I. Oppitz, R. Swennen, and B. Delvaux. 2006. Effects distribution and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under controlled conditions. Plant and Soil 287: 359-374.
- Hodson, M. J., P. J. White, A. Mead, and M. R. Broadley. 2005. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. Ann. Bot. 96: 1027-1046.
- Hogendorp B. K., R. A. Cloyd, and J. M. Swiader. 2012. Determination of silicon concentration in some horticultural plant. HortScience 47: 1593-1595.
- Jana, S., and B. R. Jeong. 2013. Silicon: The most under-appreciated element in horticultural crop. Trends Hortic. Res. 4: 1-19.

- Kamenidou, S. and T. J. Cavins. 2008. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. *HortScience* 43: 236-239.
- Kamenidou, S., T. J. Cavins, and S. Marek. 2010. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentration of greenhouse produced gerbera. *Sci. Hortic.* 123: 390-394.
- Liang, Y. C. 1999. Effect of silicon on enzyme activity and sodium potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil.* 209: 217-224.
- Liang, Y. C., J. Si, and V. Römheld. 2005. Silicon uptake and transport is an active process in *Cucumis sativus*. *New Phytol.* 167: 797-804.
- Liang, Y. C., Q. Chen, Q. Liu, W. H. Zhang, and R. X. Ding. 2003. Exogenous silicon increase antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in root of salt stress barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Plant Physiol.* 160: 1157-1164.
- Liang, Y. C., W. H. Zhang, Q. Chen, Y. L. Liu, and R. X. Ding. 2006. Effect of exogenous silicon on H⁺-ATPase activity phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt stress barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environ. Exp. Bot.* 57: 212-219.
- Lim, M. Y., E. J. Lee, S. Jana, I. Sivanesan, and B. R. Jeong. 2012. Effect of potassium silicate on growth and leaf epidermal characteristics of begonia and pansy grown in vitro. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30: 579-585.
- Ma, C. C., Q. F. Li, Y. B. Gao, and T. R. Xin. 2004. Effect of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 623-632.
- Ma, J. F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 11-18.
- Ma, J. F. and Takahashi, E. 2002. *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*, Elsevier. 294pp.
- Ma, J. F. and N. Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11: 392-397.
- Ma, J. F., K. Tamai, M. Ichii, and G. F. Wu. 2002. A rice mutant defective in Si uptake. *Plant Physiol.* 130: 2111-2117.
- Ma, J. F., N. Mitani, S. Nagao, S. Konishi, K. Tamai, T. Iwashita, and M. Yano. 2004. Characterization of Si uptake system and molecular mapping of Si transporter gene in rice. *Plant Physiol.* 136: 3284-3289.
- Ma, J. F., K. Tamai, N. Yamaji, N. Mitani, S. Konishi, M. Katsuhara, M. Ishiguro, Y. Murata, and M. Yano. 2006. A silicon transporter in rice. *Nature.* 440: 688-691.
- Ma, J. F., N. Yamaji, N. Mitani, K. Tamai, S. Konishi, T. Fujiwara, M. Katsuhara, and M. Yano. 2007. An efflux transporter of silicon in rice. *Nature.* 448: 209-212.

- Mail, M. and N. C. Aery. 2009. Effect of silicon on growth biochemical constituents and mineral nutrition of cowpea. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 1041-1052.
- Mitani, N. and J. F. Ma. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *J. Exp. Bot.* 56: 1255-1261.
- Mitani, N., J. F. Ma, and T. Iwashita. 2005. Identification of silicon form in the xylem of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell Physiol.* 46: 279-283.
- Prabagar, S., M. J. Hodson, and D. E. Evans. 2011. Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Environ. Exp. Bot.* 70: 266-276.
- Raiz, S., M. Arshad, A. Younis, A. Raza, and M. hameed. 2008. Effect of different growing media on growth and flowering of *Zinnia elegans* cv. Blue point. *Pak. J. Bot.* 40: 1579-1585.
- Sivanesan, I. and S. W. Park. 2014. The role of silicon in plant tissue culture. *Front. Plant Sci.* 5: 571-574.
- Sivanesan, I. and B. R. Jeong. 2014. Silicon promotes adventitious shoot regeneration and enhances salinity tolerance of *Ajuga multiflora* Bunge by altering activity of antioxidant enzyme. *The Scientific World Journal* (2014). Article ID 521703.
- Snyder, G. H., V. V. Matichenkov, and L. E. Datnoff. 2006. Silicon. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press. pp. 551-568.
- Soares, J. D. R., M. Pasqual, A. G. d. Araujo, E. M.d. Castro, F. J. Pereira, and F. T. Braga. 2012. Leaf anatomy of orchids micropropagated with different silicon concentrations. *Acta sci. Agron.* 34: 413-421.
- Sommer, A. L. 1926. *Studies Concerning the Essential Nature of Aluminum and Silicon for Plant Growth*. University of California Press, California. 81pp.
- Yamaji N., N. Mitatni, and J. F. Ma. 2008. A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. *The Plant Cell.* 20: 1381-1389.
- Yoshida, S. 1975. *The Physiology of Silicon in Rice*. Asian and Pacific Council, Food and Fertilizer Technology Center. 27pp.
- Zhu, Y. and H. Gong. 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plant. *Agron. Sustain. Dev.* 34: 455-472.

Effect of Silicon on Plant Growth, Development and Resistance Stress

Shing-Kuan Wu ¹⁾ Ruey-Song Lin ²⁾

Key word: Silicon, Growth and development, Tolerance

Summary

Silicon is not an essential elements on plant growth and development. It's absorbed, translocated and accumulated by silicic acid and silica gel form in plant. In some case, silicon accelerated growth, development and enhanced stresses tolerance of plant, such as inhibited serious extra transpiration and increased water utility and photosynthetic activity of rice, changed morphological and density of stomata in maize, increased chlorophyll and iron content, decreased proline content in cowpea, gerbera had thicker flower stalk, bigger diameter and blooming earlier affected leaf macro and micro element content, Begonias showed guard cell and stomata closely that reduced water loss. In other hand, silicon showed enhanced stresses tolerance such as increased cell wall polysaccharide content, decreased leakage at drought and heat stresses in rice. Moreover, increased superoxide dismutase, root H⁺-ATPase activity, decreased lipid peroxidation and malondialdehyde content at salt stress on barley. The cell wall became thicker, degree and degeneration of vacuolation, mitochondria, golgi bodies, endoplasmic reticulum and nucleus cell death, that alleviated cell damage at aluminum stress on Norway spruce. Overall, beneficial element silicon on physiological advantage and mechanism of horticultural crop should be more investigated.

1) Graduate student. Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor. Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

