

## 施用矽對青花菜生長及收穫之影響

楊 馥 聿<sup>1)</sup> 宋 妤<sup>2)</sup>

關鍵字：青花菜、土壤含水量、氣孔導度、矽

**摘要：**土壤中的矽被植物吸收，可增加植物對生物性、非生物性逆境的耐受性，試驗以土壤含水量維持在 40% 及 30% 作為兩組對照組，節水處理中進行定植前將結晶狀  $\text{SiO}_2$  0.48 g 拌於土中、土施 1.5 mM 的  $\text{SiO}_2$ 、1 mM 的  $\text{SiO}_2$  以及葉面施用 1 mM 的  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  等處理。結果為生長期中所有的節水處理與 40% 的處理相比，株高及葉數無顯著差異，莖徑則顯著較低。30% 處理葉片的氣孔數最少，依序為  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ 、將  $\text{SiO}_2$  拌於介質中的處理，其餘處理間無顯著差異並列最多；氣孔開度以 30% 最低，其次為 1.5  $\text{SiO}_2$  及將  $\text{SiO}_2$  拌於介質中的處理，最高為 1  $\text{SiO}_2$  及 40% 並列。採收性狀中，株高以 40% 的 23.3 cm 顯著低於 1  $\text{SiO}_2$  及  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  的 25.5 及 25.8 cm，與其他處理並無顯著差異；全株鮮重及乾重在各處理間無顯著差異，花球以 40%、 $\text{K}_2\text{SiO}_3$  與 30% 為最重，花球出現及採收日期中，以土拌  $\text{SiO}_2$  至介質中的處理花蕾出現速度最慢，採收日期則以 40% 處理最早，花球生長天數在各處理間無顯著差異。青花菜栽培可以土施 1.5 mM 的  $\text{SiO}_2$  給予矽，達節水栽培的目的。

### 前 言

矽為土壤中含量第二高的元素，佔土壤質量的 50 - 70%，土壤溶液中的矽以矽酸 ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) 為主，在 pH 值低於 9 時可被植物根部吸收，又稱單矽酸 (monosilicic acid)、矽四面體，為一種弱酸性分子，以  $\text{Si}(\text{OH})_4$  的形式在植體內運輸，與植物細胞壁相互作用，以

---

1) 國立中興大學園藝系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝系教授、通訊作者。

SiO<sub>2</sub>的形式沉積在細胞腔、細胞壁、細胞間隙及外層，依植株與部位不同沉積在不同位置，且受到矽酸濃度、溫度、及其他離子等因素影響 (Currie and Perry, 2007 ; Epstein, 1994 ; Frew *et al.*, 2018 ; Hodson, *et al.*, 2005 ; Jones and Handreck, 1967 ; Ma and Yamaji, 2006 ; Raven, 1983)。作物的矽含量可從0.1% - 10%，分為蓄積型 (>4% Si)、中間型 (2% - 4% Si) 與低累積型 (< 2% Si)，在被子植物中，只有莎草科、禾本科和木賊科表現出高的矽累積，葫蘆科、蕁麻科及鴨跖草科屬於中間型、豆科與其他物種大多屬低累積型 (Currie and Perry, 2007 ; Vasanthi *et al.*, 2012)。矽依作物及植株部位不同在其形成二氧化矽時的結構與形成量也會改變，典型範例為禾本科、木賊科和沙草科中的矽化結構可以分為凝膠狀和球狀。禾本科的矽化結構又可分為維管束上的啞鈴狀細胞與葉片的泡狀細胞 (Currie and Perry, 2007)。

矽沒有列為必須元素，但對植物生長、其機械強度、真菌病害及介質中不利的化學成分均有幫助 (Epstein, 1994)，矽能增加植物對生物性、非生物性逆境的耐受性，非生物性逆境包括水分逆境、輻射損傷、鹽分逆境、重金屬危害、養分不均衡、高溫和凍害等等 (Coskun *et al.*, 2016 ; Currie and Perry, 2007 ; Epstein, 1994 ; Hodson, *et al.*, 2005)。矽可以抑制Na<sup>+</sup>與Cl<sup>-</sup>的攝取，減緩鹽分逆境，此外也能夠減少有重金屬離子從根部到地上部的易位 (Luyckx *et al.*, 2017)。生物性逆境目前已知矽可抑制胡瓜及葡萄的白粉病、穀類的真菌性病害、水稻稻熱病等等。有一派學者認為能夠增加植物抗真菌性病害及非生物逆境抗性的原因為單矽酸透過蒸散流被帶往植株頂端後沉積在表皮細胞中形成矽化細胞，增加物理屏障，矽化細胞包括氣孔的保衛細胞及其附屬細胞，蓄積在保衛細胞中可以延緩氣孔關閉，二氧化矽沉積在表皮層下方形成Si-表皮雙層，可以增加機械結構植株更抗倒伏 (Currie and Perry, 2007 ; Jones and Handreck, 1967 ; Van Soest, 2006)。周等 (2009)研究了施用矽酸鉀對胡瓜葉片結構及保水能力，得到施用矽的葉片、表皮層、柵狀組織厚度均會顯著增加，葉片比葉面積顯著下降，且葉片含水量顯著增加，蒸散作用顯著下降。

土壤中可利用的可溶性矽有限，大多來自植株殘體，氧化鋁和黏土會降低土壤中矽酸的可用性，故許多熱帶土壤可能缺乏二氧化矽，而石英本身利用性較低 (Jones and Handreck, 1967)，從而得知外部施用矽的必要性。

近年來氣候環境變遷，乾旱期增加，對植株生長及產量有負面影響，故節水栽培開始被大量試驗及研究。

青花菜為重要十字花科花菜類，栽培面積達1,626.94公頃 (農情報告資源網，<[https://agr.afa.gov.tw/afa/afa\\_frame.jsp](https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)>)，嘗試研究施用矽的效益及適合的施用方法，矽可使蔬菜在輕微缺水時仍可生產，將來可以其他蔬菜類作物進行進一步嘗試。

## 材料與方法

### 一、植物材料

- (一) 供試品種：青花菜'42號'(阪田種子株式會社)
- (二) 播種及育苗：將青花菜種子播於 72 格塑膠穴盤中，介質以泥炭土(Bio-Mix Potting substratum 001B, Terf, The Netherlands)、南海蛭石 2 號及真珠石以 8:1:1 比例混合使用。於一片本葉展開後每兩天施用 1000 倍葉綠精 (內容物：硫酸銨、磷酸一銨、硝酸鉀、硫酸鎂，獅馬牌、王馬企業有限公司，台灣)進行澆灌，且實施適當的病蟲害管理。於四片本葉時定植。
- (三) 試驗藥劑：
  1. 龍矽寶 (台灣龍燈股份有限公司)：10% SiO<sub>2</sub>、1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、5% 介面活性劑
  2. 水溶性矽酸鉀 K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (微綠有限公司)：13% K<sub>2</sub>O、26% SiO<sub>2</sub>，添加介面活性劑 (農台有限公司)
  3. 二氧化矽 (CHONEYE)：分子式 SiO<sub>2</sub>，純度 98%。

### 二、試驗方法

- (一) 處理：試驗於中興大學園藝系蔬菜室水牆-風扇溫室進行，時間為民國 110 年 1 月至 110 年 4 月。青花菜定植於 8 吋盆中，介質以泥炭土 (Bio-Mix Potting substratum 001B, Terf, The Netherlands)、南海蛭石 2 號及真珠石以 8:1:1 比例混合使用。處理分別為在定植前將結晶狀 SiO<sub>2</sub> 0.48 g 拌於土中、土施 1.5 mM (1 mM=1 mol/m<sup>3</sup>)的 SiO<sub>2</sub>、1 mM 的 SiO<sub>2</sub> 以及葉面施用 1 mM 的 K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>，並且以土壤含水量維持在 40%及 30%不施用矽當作兩組對照組。每次給水單位為 500 mL，土施及葉面施用於植株七片葉開始處理，並在植株 12-13 片葉時開始節水，總共施用 8 L 的矽溶液分 16 次給植株，施用標準為土壤水分含量低於 25%給水或養液，40%者則在土壤水分含量低於 35%時給水，待花球長至肉眼可見的大小 (約直徑 1 cm 時)停止節水。每處理以兩盆為一重複，共三重複，至花球生長至採收大小，進行調查。
- (二) 栽培管理：
  1. 施肥及病蟲害管理：定植後一週起每週給養液一次配方如表 2，於 14 片葉時進入青花菜'42'號的花芽分化期，將養液改為真正肥 5 號。每週進行病蟲害防治。
  2. 採收標準：於青花菜花球緊實，且小花蕾未黃化，平均大小約 2 mm 時採收，採收方式為從花球下方 5 cm 處剪下。

### 三、調查項目

#### (一) 植株性狀

1. 株高：以皮尺自地上部基部至生長點之高度，單位為 cm。

2. 莖徑：以游標尺測量子葉上方 1 cm 處之直徑，單位為 mm。
3. 葉數及落葉數：計算完全展開葉片數量，包含已脫落的葉片留下的葉痕。
4. 採收日期：自定植至小花蕾尚未開放且平均大小到達 2 mm 時。
5. 花球出現日期：自定植至小花蕾能以肉眼觀察且直徑達 1 cm 時。
6. 葉面積：於植株採收後以相機拍攝後，以 Image J 軟體計算葉面積，單位為  $\text{cm}^2$ 。
7. 鮮重：將植株各部位秤重，單位為 g。
8. 乾重：將植株各部位先以  $100^\circ\text{C}$  殺青 1 小時，再以  $80^\circ\text{C}$  烘 72 小時達恆重後進行秤重，單位為 g。

表 1. 青花菜'42 號'於本試驗中各處理代號

Table 1. The code of each treatment of broccoli '42' in experiment.

處理代號	處理
40%	土壤體積含水量維持 40%
30%	土壤體積含水量維持 30%
1.5 SiO <sub>2</sub>	土壤澆灌 1.5 mM SiO <sub>2</sub> + 土壤體積含水量維持 30%
1 SiO <sub>2</sub>	土壤澆灌 1 mM SiO <sub>2</sub> + 土壤體積含水量維持 30%
土拌	定植前將結晶狀 SiO <sub>2</sub> 0.48 g 拌於土中 + 土壤體積含水量維持 30%
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	葉面施用 1 mM K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> + 土壤體積含水量維持 30%

表 2. 青花菜養液配方 (高, 2017; 山崎, 1982)

Table 2. Broccoli nutrient solution.

養液成分	濃度 $\text{g L}^{-1}$
KNO <sub>3</sub>	0.51
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.24
MgSO <sub>4</sub>	0.125
(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.06
Fe-EDTA	0.02
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.0012

9. 葉片葉綠素 a (Chl. a)、葉綠素 b (Chl. b)及類胡蘿蔔素 ( $\beta$ -Carotene)含量：取第 4 片年輕成熟葉葉鮮重 0.1 g (W)切碎後添加 15 mL (V) 萃取液(80% Acetone 及 20% Methanol)至於玻璃管中，封上石蠟膜放置在黑暗環境中避光 24 小時以上。再以分光光度計 (U-2900, HITACHI)測量 645、663、652 及 470 nm 波長下之吸光值。以下列公式計算

$$\text{Chl. a (mg/g)} : 12.7 \times D_{663} - 2.69 \times D_{645} \times V / 1000 / W$$

$$\text{Chl. b (mg/g)} : 22.9 \times D_{645} - 4.68 \times D_{663} \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Total Chl. (mg/g)} : (D_{652} \times 1000 / 34.5) \times V / 1000 / W$$

$$\beta\text{-Carotene (mg/g)} : [ 1000 \times D_{470} - 3.27 \times (\text{Chl. a}) - 104 \times (\text{Chl. b}) ] / 227 \times V / 1000 / W$$

10. 葉片矽酸及矽含量：修改自 (顏, 1983)取植株中段葉片 (第 12、13 片葉)將葉片與葉柄分開，以 100°C 殺青 1 小時，再以 80°C 烘乾後磨粉，分別精秤 0.2 g 乾燥粉末 (A)放入 100 mL 消化試管後加入 10 mL 三酸混合液 ( $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:62\%\text{HClO}_4$ )=(5:1:2 v/v)，至於抽氣櫃 12 小時後放入分解爐以 60°C 分解 1 小時，再以 180°C 分解 2.5 小時。取出冷卻後定量至 50 mL，以 Whatman No.42 濾紙過濾，過濾完後將濾紙放入已知重量之坩堝(B)，於 80°C 烘箱烘乾後放入灰化爐內，先以 200°C 加熱 2 小時，再以 400°C 加熱 1 小時，最後以 550°C 使完全灰化，取出冷卻後秤取坩堝重量(C)。矽酸含量(%)=(C-B)/A·100%，矽含量(%)=矽酸含量·0.4677。
11. 氣孔導度：使用植物氣孔計 (SC-1 plant porometer, METER)於中午進行測量
12. 氣孔開度：取第四片完全展開葉，正常給水的處理於介質體積含水量在大約 30%時；其他處理在體積含水量 22-23% 時，於葉背避開葉脈的位置以透明指甲油輕輕塗抹，乾燥後取下，以光學顯微鏡 (Leica, 型號：MOK-93)目鏡 10 倍、接物鏡 N.A 值 0.4 與 20 倍下觀察表皮氣孔數並拍照記錄，再以 Image J 計算氣孔長寬。
13. 比葉面積 (specific leaf area, SLA)：總葉面積/葉片乾重

## (二) 花球性狀

1. 花球重：將花梗下 5 cm 剪下秤重，單位為 g。
2. 花球徑：測量花球的長軸和短軸，取其平均，單位為 cm。
3. 花莖徑：測量花球剪下後，測量花莖的長軸及短軸，取其平均，單位為 mm。
4. 10 cm 莖段重：青花菜花球剪下後剩餘的莖段，由最上面量 10 cm 剪下秤重，單位為 g。
5. 花球面積：於植株採收後以相機拍攝後，以 Image J 軟體計算葉面積，單位為  $\text{cm}^2$ 。
6. 花球葉綠素含量：隨機取花球的三朵花蕾，將小花取下混合後取 0.1 g，其餘方法同葉片葉綠素測量法。
7. 花球維生素 C 含量：隨機取花球的三朵花蕾，將小花取下混合後取 0.5 g，加上 4.5

mL 的偏磷酸研磨，再以 RQflex (Merck) 進行測量，單位為 ppm。

#### 四、統計分析

數據統計分析 SAS 套裝軟體 7.1 版 (SAS. Institute, Cary NC) 中之 ANOVA (Analysis of variance) 以 one-way ANOVA 進行變方分析 ( $\alpha = 0.05$ ) 以 Fisher's LSD 進行各處理平均值比較。

## 結 果

整個栽培期的總用水量以  $\text{SiO}_2$  拌在介質中的處理顯著最少，與 40% 相比減少了 19.4% (表 3)。在花球分化後的中午時測定氣孔導度，其中以 30% 的處理最高、1.5  $\text{SiO}_2$  次之兩者間無顯著差異，以  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  與 40% 最低 (圖 1)。一樣在中午進行調查，40% 的處理於介質體積含水量在大約 30% 時；其他處理在土壤體積含水量 22-23%，30% 處理葉片的氣孔個數最少，依序為  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ 、將  $\text{SiO}_2$  拌於介質中的處理，剩下三處理彼此無顯著差異且並列最多，氣孔數達每個視角 61 個；氣孔開度也是以 30% 最低，其次為 1.5  $\text{SiO}_2$  及將  $\text{SiO}_2$  拌於介質中的處理，最高為 1  $\text{SiO}_2$  及 40% 並列 (表 4，圖 2)。

採收時的性狀調查中 (表 5)，株高以 40% 的 23.3 cm 顯著低於 1  $\text{SiO}_2$  及  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  的 25.5 及 25.8 cm 與其他處理並無顯著差異，莖徑以 1.5  $\text{SiO}_2$  的 14.9 mm 顯著高於將  $\text{SiO}_2$  拌於介質中的 13.5 mm，與其他處理介於並無顯著差異，葉片數以 40% 的 26.2 片為最低、以將  $\text{SiO}_2$  拌於介質中的處理 28 片為最高；全株鮮重及乾重全部處理的數值介於 381.7 - 451.1 g 及 70.2 - 73.9 g 之間並無顯著差異；葉面積以 40% 為最高且與 1.5  $\text{SiO}_2$ 、30% 並無顯著差異，其次依序為  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ 、1  $\text{SiO}_2$  以及土拌  $\text{SiO}_2$  至介質中的處理，SAL 以與  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  相對較高於其他。

花球採收性狀 (表 6) 則以 40%、 $\text{K}_2\text{SiO}_3$  與 30% 之處理最重，介於 90 - 81 g 之間，且三者與 1  $\text{SiO}_2$ 、1.5  $\text{SiO}_2$  並無顯著差異，以土拌  $\text{SiO}_2$  至介質中的處理所得的 54.3 g 為最低，與 40% 相比減少了 40.3%；花球徑及花球面積均以 40% 處理最大，以土拌  $\text{SiO}_2$  至介質中的處理最小，分別為 9.1 cm、203.7  $\text{cm}^2$  及 6.2 cm、41.6  $\text{cm}^2$ ；花莖重以土拌  $\text{SiO}_2$  至介質中的處理為最輕，但與  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  之外的處理沒有顯著差異；節水及施用砂對花球維他命 C 含量並無顯著影響，數值均落在 194 - 215 ppm 之間。

在花球出現及採收日期中，以不添加砂的 40% 及 30% 處理花球出現天數顯著早於其他者在移植後 48 - 49 天，其中以土拌  $\text{SiO}_2$  至介質中的處理花蕾出現速度最慢達 54 天；採收日期則以 40% 處理最早，以 1.5  $\text{SiO}_2$  及土拌  $\text{SiO}_2$  至介質中的處理最晚，分別為移植後 63 天及 73 天；但花球生長天數在各處理間無顯著差異 (表 7)。

葉綠素及 β-胡蘿蔔素含量中，於較老的葉片中 40% 的總葉綠素及 β-胡蘿蔔素含量最低，以  $K_2SiO_3$  的含量最高；在較年輕的葉片中以將  $SiO_2$  拌至介質中的處理之總葉綠素及 β-胡蘿蔔素含量較低，其次為 40% 的處理，以  $K_2SiO_3$  的含量最高；在花球中則是以 30% 處理有最高的總葉綠素及 β-胡蘿蔔素含量 (表 9)。

在矽及矽酸含量分析上，分析葉片乾重時以介質中土拌  $SiO_2$  及葉片施用  $K_2SiO_3$  的處理矽酸含量最高；但在分析葉柄乾重的分析中以 30% 不施用矽的處理矽酸含量顯著高於其他處理。除 30% 處理外，其餘處理皆是葉片矽含量較葉柄來的高 (表 8)。

表 3. 青花菜‘42 號’於栽培期中總用水量及與 40% 相比之節水量

Table 3. The total water consumption of each treatment and the water saving compared to 40%.

處理	總水量 (mL)	節水量 (%)	WUE
40%	20583.3 a <sup>z</sup>	0.0	$3.73 \times 10^{-3}$ a
1 $SiO_2$	19333.3 a	6.1	$4.19 \times 10^{-3}$ a
1.5 $SiO_2$	18916.7 a	8.1	$4.04 \times 10^{-3}$ a
$K_2SiO_3$	20333.3 a	1.2	$4.52 \times 10^{-3}$ a
土拌	16583.3 b	19.4	$3.26 \times 10^{-3}$ a
30%	18916.7 a	8.1	$4.42 \times 10^{-3}$ a

<sup>z</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

註：水分利用效率 (water-use efficiency, WUE) = 作物產量(花球重)/總水量

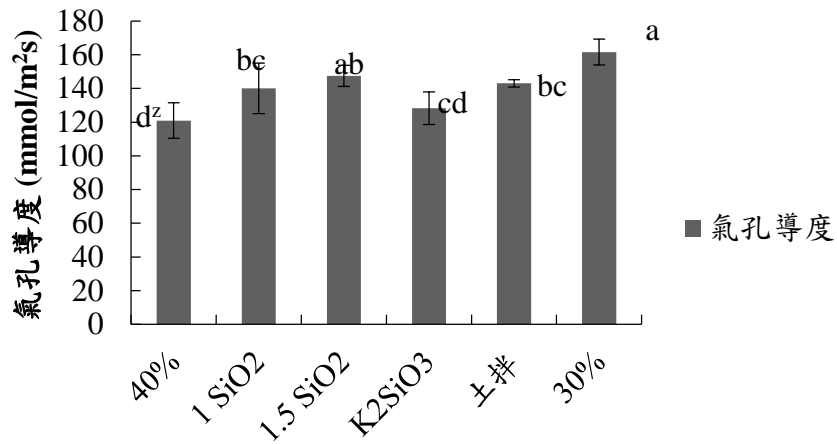


圖 1. 砂處理青花菜‘42 號’花球出現後於中午時測定的氣孔導度。

Fig. 1. Stomatal conductance of broccoli ‘42’ measured at noon after head initiation in each treatment.

.<sup>z</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher’s LSD test at 5% level.

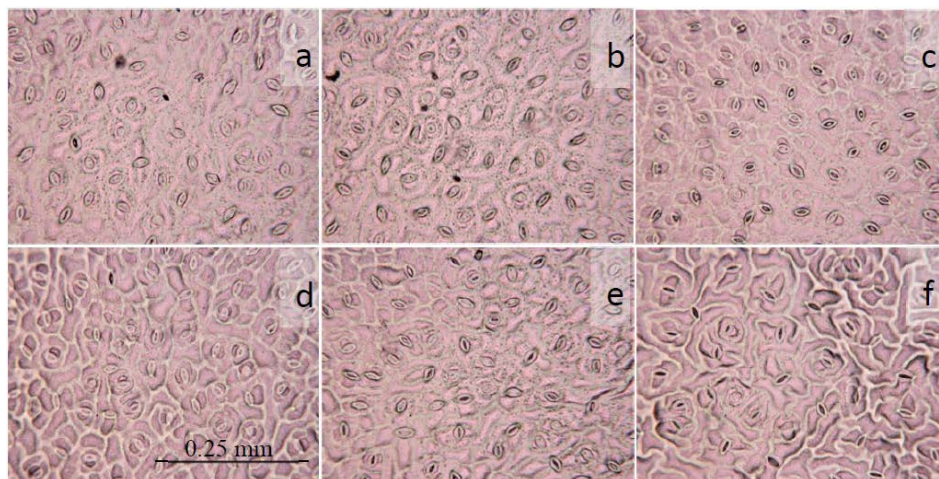


圖 2. 青花菜‘42 號’在砂及土壤體積含水量處理下葉片之氣孔分佈情形。

Fig. 2. The leaves stomata distribution of broccoli ‘42’ under the treatments.

註：a 為正常給水的處理土壤體積含水量在 30%、b 為土壤體積含水量在 20-25% 並澆灌 1.5 mM SiO<sub>2</sub>、c 為土壤體積含水量在 20-25% 並澆灌 1 mM SiO<sub>2</sub>、d 為土壤體積含水量在 20-25% 並進行葉面噴施 1 mM K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>、e 為土壤體積含水量在 20-25%、並於定植時前將 SiO<sub>2</sub> 粉末拌入介質、f 為節水處理介質體積含水量在 20-25%。  
圖片大小為 0.51 mm × 0.31 mm



表 4. 青花菜‘42 號’植株葉片氣孔個數及平均氣孔開度

Table 4. The number of stomata and the average stomatal aperture of ‘42’ broccoli's leaves.

處理	氣孔個數 (每視角/個)	氣孔開度 (氣孔寬/長)
40%	61.0 a <sup>z</sup>	0.42 a
1 SiO <sub>2</sub>	61.0 a	0.42 a
1.5 SiO <sub>2</sub>	62.7 a	0.37 b
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	52.7 c	0.40 ab
土拌	56.3 b	0.37 b
30%	36.0 d	0.33 c

<sup>z</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 5. 矽處理青花菜‘42 號’採收時植株生長情形

Table 5. Plant characters of broccoli ‘42’ under silicon treatment during harvested.

處理	株高 (cm)	莖徑 (mm)	葉數 (片)	全株鮮重 (g)	全株乾重 (g)	葉面積 (cm <sup>2</sup> )	SLA
40%	23.3 b <sup>z</sup>	14.3 ab	26.2 b	451.1 a	73.9 a	2768.3 a	95.0 a
1 SiO <sub>2</sub>	25.5 a	14.3 ab	27.6 ab	419.3 a	70.2 a	2553.1 c	90.9 a
1.5 SiO <sub>2</sub>	25.2 ab	14.9 a	27.7 ab	450.6 a	72.6 a	2680.0 ab	87.9 a
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	25.8 a	13.7 ab	27.0 ab	441.4 a	70.4 a	2636.4 bc	94.8 a
土拌	24.8 ab	13.5 b	28.0 a	381.7 a	72.3 a	2425.7 d	78.2 a
30%	25.0 ab	14.0 ab	26.3 ab	443.1 a	72.9 a	2731.8 ab	90.2 a

<sup>z</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 6. 矽處理青花菜‘42 號’採收時花球性狀

Table 6. Head characters of broccoli '42' under silicon treatment during harvested.

處理	花球重 (g)	花球徑 (cm)	花莖徑 (mm)	花莖重 (g)	花球面積 (cm <sup>2</sup> )	花球維他命 C (ppm)
40%	90.9 a <sup>z</sup>	9.1 a	23.7 a	86.5 ab	79.4 a	203.69 a
1 SiO <sub>2</sub>	72.6 ab	7.4 bc	22.8 a	88.4 ab	58.2 ab	203.61 a
1.5 SiO <sub>2</sub>	78.1 ab	7.0 bc	24.5 a	91.7 ab	54.4 ab	194.52 a
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	81.0 a	7.8 ab	23.1 a	95.8 a	62.9 ab	214.48 a
土拌	54.3 b	6.2 c	22.7 a	76.4 b	41.6 b	200.40 a
30%	84.4 a	7.9 ab	23.4 a	88.5 ab	66.5 ab	207.81 a

<sup>z</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 7. 矽處理青花菜‘42 號’花球出現及採收日期

Table 7. Day of head initiation and harvest in each treatment.

處理	採收日期 (栽培天數)	花球出現 (栽培天數)	花球生長日數 (天)
40%	63.0 b <sup>z</sup>	49.7 c	13.3 a
1 SiO <sub>2</sub>	70.8 ab	52.8 b	18.0 a
1.5 SiO <sub>2</sub>	72.0 a	53.4 ab	18.6 a
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	69.2 ab	53.0 ab	16.2 a
土拌	73.8 a	54.8 a	19.0 a
30%	66.0 ab	48.7 c	17.3 a

<sup>z</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 8. 矽處理青花菜‘42 號’於採收後取成熟展開葉測量葉片及葉柄矽酸含量

Table 8. Silicon content of leaves and petiole in each treatment.

處理	葉片		葉柄	
	矽酸含量 (%)	矽含量 (%)	矽酸含量 (%)	矽含量 (%)
40%	0.2074 b <sup>z</sup>	0.0970 b	0.1020 b	0.0477 b
1 SiO <sub>2</sub>	0.2107 b	0.0985 b	0.1254 b	0.0587 b
1.5 SiO <sub>2</sub>	0.2682 ab	0.1255 ab	0.1614 b	0.0755 b
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.3046 a	0.1425 a	0.2142 b	0.1002 b
土拌	0.3321 a	0.1553 a	0.1365 b	0.0638 b
30%	0.2710 ab	0.1267 ab	0.3526 a	0.1649 a

<sup>z</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

## 討 論

依前人研究中植株矽含量的分類(Currie and Perry, 2007 ; Vasanthi *et al.*, 2012) , 於表 20 葉片矽酸含量, 青花菜屬於低累積型(< 2% Si), 也有研究提到矽會沉積在不同的部位, 本試驗分析了青花菜葉片以及葉柄的乾重, 得出葉柄的矽酸及矽含量較葉片低, 原因為單矽酸會隨著蒸散流沉積在植株末端, 唯 30%的葉柄矽酸含量因不明原因較高, 可能是因為其氣孔導度較高。周等(2009)在胡瓜幼苗施用矽酸鉀, 得到矽能改變葉片結構及增加保水能力, 表皮層、柵狀組織厚度均會顯著增加, 表 5 中的 SLA 可用來解釋葉片厚度, 但僅 1.5 SiO<sub>2</sub> 及葉施 K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 的值高於 40%與 30%之處理。

矽累積時會形成矽化細胞, 如沉積在保衛細胞中可以延緩氣孔開閉 (Currie and Perry, 2007 ; Jones and Handreck, 1967 ; Van Soest, 2006), 本試驗在施用矽之後, 植株土壤體積含水量落在 20 - 25%, 於中午測氣孔導度與觀察氣孔型態(圖 1、圖 2、表 4), 氣孔導度中, 施用矽的處理之間以 1.5 SiO<sub>2</sub> 處理有最高的氣孔導度, 40% 處理氣孔導度最差, 意外的是 30%表現最佳, 原因尚待釐清。氣孔數以 40%、1 SiO<sub>2</sub> 及 1.5 SiO<sub>2</sub> 為無顯著差異, 1.5 SiO<sub>2</sub> 的數量多了一點, 但開度則是三者中最低的, 推測原因為若植株蒸散量固定, 氣孔密度高則平均每氣孔所得蒸散量降低, 氣孔所受壓力較小故開度較低。

表 9. 採收時青花菜‘42 號’植株葉片及花球葉綠素含量  
Table 9. Chlorophyll content in leaves and head during harvested.

測量部位	處理	Chl. a (mg/g)	Chl. b (mg/g)	Total Chl. (mg/g)	β-carotene (mg/g)
第 12 葉	40%	0.334 abz	0.449 b	2.019 c	0.531 d
	1 SiO <sub>2</sub>	0.333 ab	0.558 ab	2.353 b	0.612 bc
	1.5 SiO <sub>2</sub>	0.328 ab	0.545 ab	2.319 bc	0.588 bcd
	K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.380 a	0.638 a	2.695 a	0.696 a
	土拌	0.288 b	0.505 bc	2.126 bc	0.547 cd
	30%	0.380 a	0.542 b	2.399 ab	0.628 ab
第 14 葉	40%	0.358 ab	0.546 bc	2.385 cd	0.613 bc
	1 SiO <sub>2</sub>	0.342 b	0.564 abc	2.416 bc	0.619 b
	1.5 SiO <sub>2</sub>	0.384 a	0.630 ab	2.707 ab	0.692 ab
	K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.382 ab	0.651 a	2.765 a	0.709 a
	土拌	0.293 c	0.490 c	2.093 d	0.537 c
	30%	0.395 a	0.574 abc	2.538 abc	0.660 ab
花球	40%	0.109 ab	0.234 a	0.936 b	0.254 ab
	1 SiO <sub>2</sub>	0.092 b	0.249 a	0.945 ab	0.253 ab
	1.5 SiO <sub>2</sub>	0.098 b	0.245 a	0.948 ab	0.246 b
	K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.109 ab	0.261 a	1.021 ab	0.269 ab
	土拌	0.100 b	0.238 a	0.933 b	0.243 b
	30%	0.132 a	0.261 a	1.064 a	0.281 a

<sup>2</sup> Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher’s LSD test at 5% level.

盧和曹 (2001)利用水耕甜瓜進行矽試驗結論為施用矽對地上部生長無顯著影響，在本試驗的生長調查中，各處理間幾乎都是無差異的，但以節水觀點看土壤體積含水量維持在 30%有好的節水效果，且在表 5 採收調查的株高、莖徑、葉數中 30%的處理的生長狀況有時甚至比 40%來得好，且與加矽的各處理間無顯著差異，故推測青花菜在泥炭土中適合生長的土壤體積含水量其實是 30% - 35%左右，40% - 45%其實含水量太高，反而抑制了生長。表 6 在產量除土拌的處理外稍低外，各處理之間無顯

著差異，土拌處理在生長及產量上表現均較其他處理差，在栽培過程中觀察到其土壤體積含水量下降得很慢，但原因尚不清楚。花球出現、採收日期及生長天數在添加矽的各處理間均無顯著差異。

在用水量的部分拌土的處理因生長性狀較差，故不考慮其餘處理除  $K_2SiO_3$  外節水量均小於或等於 30% 的處理，但各處理間無顯著差異，而  $K_2SiO_3$  用水會高於 30% 的原因為栽培過程中以 500 mL 為單位施用矽，而葉施的處理大部分養液會停在地上部，造成土壤含水量較低需要額外補水。在植株葉綠素含量的部分 (表 9)，除土拌處理外均以上位葉總葉綠素含量較高，與  $\beta$ -胡蘿蔔素相除得比值後，發現不論在上位葉、下位葉還是花球中 1.5  $SiO_2$  處理比值都稍微高了些。

本試驗在整體數據下，其實最好的植株性狀表現大都落在土壤體積含水量 30% 不添加矽的處理；若在各添加矽的處理中選出較適合的，依照植株性狀、氣孔導度節水量等因素，推薦以 1.5 mM  $SiO_2$  土壤澆灌的方式給予，其次為葉面施用  $K_2SiO_3$ ，因其諸多性狀與 1.5 mM  $SiO_2$  土壤澆灌的處理無顯著差異。

## 參 考 文 獻

- 山崎肯哉。1982。養液栽培全篇。博友社。日本
- 周秀傑、趙紅波、馬成倉、李清芳。2009。外源矽對黃瓜葉片組織結構和保水能力的影響。生態學雜誌 28(3):556-559。
- 高德錚。2017。液肥配方在設施蔬菜栽培之調配與應用實務。臺中區農業改良場特刊:189-205。
- 盧鋼、曹家樹。2001。矽對甜瓜早熟性及光合特性的影響。園藝學報 28(5): 421-424。
- 顏吉甫。1983。水稻不同生長期矽在稻體組織分佈之研究。農林學報 32(1):55-64。
- Coskun, D., D. T. Britto, W. Q. Huynh, and H. J. Kronzucker. 2016. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Front. Plant Sci.* 7: 1072.
- Currie, H. A. and C. C. Perry. 2007. Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Ann. Bot.* 100:1383-1389.
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91:11-17.
- Frew, A., L. A. Weston, O. L., Reynolds, and G. M. Gurr. 2018. The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach. *Ann. Bot.* 121(7): 1265-1273.
- Hodson, M. J., P. J. White, A. Mead, and M. R. Broadley. 2005. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Ann. Bot.* 96(6): 1027-1046.
- Jones, L. H. P. and K. A. Handreck. 1967. Silica in soils, plants, and animals. *Adv. Agron.*

19:107-149.

Luyckx, M., J. F. Hausman, S. Lutts, and G. Guerriero. 2017. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. *Front. Plant Sci.* 8: 411.

Ma, J. F. and N. Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11(8):392-397.

Raven, J. A. 1983. The transport and function of silicon in plants. *Biol. Rev.* 58(2):179-207.

Van Soest, P. J. 2006. Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. *Anim. Feed Sci. Technol.* 130(3-4): 137-171.

Vasanthi, N., L. M. Saleena, and S. A. Raj. 2012. Silicon in day today life. *World Appl. Sci. J.* 17(11):1425-1440.

## Effects of Application of Silicon on the Growth and Harvest of Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*)

Fu-Yu Yang<sup>1)</sup> Yu Sung<sup>2)</sup>

Key words : Broccoli, Soil moisture, Stomatal conductance, Silicon

### Summary

The experiment was carried out to increase the tolerance of broccoli grown under water stress. Various forms and concentration of silicon was applied to plants under water deficit treatment. Plants under water deficit treatments decreased stem diameter, as well as no significant difference in height and leaves number compared to control. Plants under water deficit without application silicon had the least number of stomata, second was treatment with  $K_2SiO_3$  application and  $SiO_2$  powder mixed in media.

Stomatal opening was the lowest among the treatment that water deficit without application silicon, the second in 1.5 mM  $SiO_2$  application, and  $SiO_2$  powder mixed in media, and the highest 1 mM  $SiO_2$  application and control. During harvest stage, plant height in control was the lowest. Head weight in control,  $K_2SiO_3$ , and water deficit without application silicon were higher than other treatments. The head initiation of the treatment,  $SiO_2$  powder mixed in media, was the slowest. Harvest day of control was the earliest, and there were no significant difference was observed among other treatments.

---

1) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

