

## 喷钛对甜叶菊糖苷含量和积累量的影响

马婷婷, 张咪咪, 李鹏, 魏亚, 常江\*

(安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036)

**摘要:** 为探索喷钛对甜叶菊叶片中糖苷、甜菊苷 (St) 和莱鲍迪苷 A (RA) 的含量、积累量及其比例的影响, 为中药材的施肥提供科学依据, 应用盆钵培养方法, 在甜叶菊生长前期和中期进行叶面喷钛。结果表明: 菊隆 5 号的最佳喷施区间 12.22~19.36 mg·kg<sup>-1</sup>, 在喷钛浓度为 19.36 mg·kg<sup>-1</sup> 时含量达到最高; 新品种 2 号的最佳喷施区间为 12.10~16.71 mg·kg<sup>-1</sup>, 在喷钛浓度为 16.71 mg·kg<sup>-1</sup> 时含量达到最高; 喷钛后新品种 2 号 St 所占比例的最高增幅为 156.71%, 菊隆 5 号 St 的最高增幅为 42.28%。喷钛可明显提高糖苷含量和积累总量, 与对照相比, 差异显著; 经回归发现糖苷含量或积累量与喷钛浓度间存在二次曲线关系, 相关极显著; 喷钛可以增加 2 个品种糖苷中 St 的比例。

**关键词:** 螯合钛; 莱鲍迪苷 A; 甜菊苷; 高效液相色谱; 经济效益

**中图分类号:** S143.72

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-352X (2015)04-0621-06

### Effect of spraying titanium on the glycoside content and accumulation in stevia leaves

MA Tingting, ZHANG Mimi, LI Peng, WEI Ya, CHANG Jiang

(School of Resources and Environmental Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** In order to provide a scientific basis of fertilization for traditional Chinese medicinal plants, an indoor simulation experiment was carried out. A titanium solution was sprayed on the leaf surface of stevia at the early and middle growth stages. The effects of different concentrations of titanium on the contents, accumulation, and proportion of glycoside, St, and RA in the stevia leaf were studied. Results showed that the optimum concentration of spraying titanium was in the range of 12.22-19.36 mg·kg<sup>-1</sup> for Julong No.5 and 12.10-16.71 mg·kg<sup>-1</sup> for variety No.2, respectively and the maximum content of glycoside was obtained when the concentration reached to 19.36 mg·kg<sup>-1</sup> and 16.71 mg·kg<sup>-1</sup>, correspondingly. The highest increase rate of St after titanium spraying was 156.71% in new variety No.2 and 42.28% in Julong No.5. In conclusion, the glycoside content and accumulation in the stevia leaf were significantly increased by spraying titanium. There was a significant statistical difference between the treatment and the control was observed. Regression analysis indicated that a significant correlation and quadratic curve relation between glycoside content and accumulation and titanium concentration existed. The proportion of St in glycosides in both varieties was increased by titanium application.

**Key words:** titanium chelate; rebaudioside A; stevioside; high performance liquid chromatography (HPLC); economic benefits

甜叶菊 (*Stevia rebaudiana Bertoni*) 属菊科甜菊属, 是一种多年生草本植物。其次生代谢产物是天然、低热量、高甜度的甜味剂甜菊糖苷<sup>[1-2]</sup>, 具有共同的甜菊醇苷元结构。甜叶菊富含甜菊苷 (stevioside, 简称 St)、莱鲍迪苷 A (rebaudioside A, 简称 RA)、斯替维伯苷、莱鲍迪苷 B、莱鲍迪苷 D、

莱鲍迪苷 E、杜尔可苷 A、杜尔可苷 B、悬钩子苷等糖苷类物质, 其中仅甜菊苷 (St) 和莱鲍迪苷 A (RA) 含量就占甜菊醇糖苷的 80% 以上。RA 糖苷的甜度为蔗糖 350~450 倍, 热量仅为蔗糖的 1/300<sup>[3]</sup>, 它的味质和口感较好, 比较最接近于蔗糖, 是一种新型的绿色保健型甜味剂; St 糖苷的甜度为

收稿日期: 2015-03-13

基金项目: 安徽省中草药产业体系项目资助。

作者简介: 马婷婷, 硕士研究生。E-mail: matingting918@163.com

\* 通信作者: 常江, 教授。E-mail: thbg@ahau.edu.cn

蔗糖的 250~300 倍, 作为甜味剂来说不如 RA 苷, 有后苦味。但 St 糖苷有很好的抗癌活性<sup>[4-5]</sup>和降低 II 型糖尿病血糖浓度和控制高血压的作用<sup>[6-8]</sup>, 在开发为医药保健产品上有巨大潜力。目前, 甜叶菊糖苷已经被广泛运用于食品和药品。因此, 甜菊醇糖苷是一种有待开发的新型糖原, 具有极其可观的经济效益和社会价值。所以, 如何提高甜叶菊产量和糖苷的含量, 如何根据需要改良甜叶菊的品种, 增加 RA 或 St 的比重成为人们关注的焦点。钛是自然界广泛存在的元素, 在地壳中的含量约  $6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}(\text{TiO}_2)$ <sup>[9]</sup>, 我国的土壤钛含量  $2\sim 36 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}(\text{TiO}_2)$ , 平均含量  $7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}(\text{TiO}_2)$ <sup>[10-12]</sup>。目前虽无确切的依据证明钛是植物生长所必需的营养元素, 但通过在多种作物上的比较研究发现, 施钛会对作物产生明显的生理影响和增产效果<sup>[13]</sup>。鲍碧娟<sup>[14]</sup>对玉米、小麦幼苗叶片喷施钛肥后发现, 其光合作用分别提高了 7.09% 和 8.07%。张莉枝等<sup>[15]</sup>用  $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的螯合钛处理离体黄瓜叶, 研究发现钛能促进蛋白质的合成, 有利于机体的新陈代谢和生长发育; 钛还能增加黄瓜子叶叶绿素的合成, 使叶绿素 a 的增加多于 b, 从而促进了植物的光合作用。安毅等<sup>[16]</sup>研究发现喷钛改善烟叶化学成分的协调性, 提高烟叶含糖量, 降低烟碱含量, 提高烟叶糖碱比等, 从而提高烟叶的总体品质。刘铮<sup>[17]</sup>对小麦施钛后发现其过氧化氢酶活性提高了 55.19%, 硝酸还原酶活性提高了 35%, 玉米施钛后其过氧化氢酶活性提高了 59.92%, 硝酸还原酶活性提高了 38%。

此外, 钛对豆科植物固氮酶的活性有促进作用, 可以提早形成根瘤, 增加根瘤数量<sup>[18]</sup>。胡艳燕等<sup>[19]</sup>研究发现喷钛能显著提高柑桔果汁的还原糖、转化糖含量, 降低柠檬酸含量, 果汁中的可溶性固形物和维生素 C 含量也明显提高。由于钛化合物的溶解度都很低, 所以土壤中全钛含量很高, 而可提取态钛很少, 植物的含钛量因而也很低, 属于微量元素级。据前期对 22 种中药材进行测定分析时发现, 甜叶菊对钛元素具有相对的富集作用, 其含量为  $41.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 是其他中药材的几倍, 甚至几十倍, 这么高的钛含量是否为甜叶菊所必需, 是否对甜叶菊的产量以及糖苷的含量产生影响, 是否会改善甜叶菊糖苷的质量 (St 与 RA 的比例)? 为此, 作者利用盆栽技术, 研究喷钛对甜叶菊糖苷含量和积累量的效应, 探讨喷钛浓度与糖苷含量间的定量相关关系, 为钛肥在甜叶菊上的使用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试植物: 甜叶菊菊隆 5 号、新品种 2 号 (来自安徽明光)。

供试试剂: 有机螯合钛 ( $\text{TiO}_2$  计, 10%, 杨凌益妙螯合技术有限公司提供);

对照品: 甜菊苷 (购自北京北纳创联生物技术研究院, 分析标准品  $\geq 98\%$ )、莱鲍迪苷 A (购自上海晶纯生化科技股份有限公司, 分析标准品  $\geq 97\%$ )

供试土壤: 黄褐土, 基本理化性状见表 1。

表 1 盆栽用土的基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of potting soil

土壤样品 Soil sample	pH	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Organic matter	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Total nitrogen	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Alkali-hydrolyzable nitrogen	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Rapidly available phosphorus	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Available potassium
黄褐土 Drab soil	6.33	11.40	0.52	41.64	6.35	121.82

表 2 盆栽试验施肥处理

Table 2 Fertilizer application in each treatment

处理 Treatment	喷钛浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Titanium concentration	每盆施肥总量/g The amount fertilization of each pot			
		N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	营养土 Nutritive soil
CK	0.0	0.15	0.15	0.15	5
T1	3.3	0.15	0.15	0.15	5
T2	6.7	0.15	0.15	0.15	5
T3	13.3	0.15	0.15	0.15	5
T4	20.0	0.15	0.15	0.15	5
T5	26.7	0.15	0.15	0.15	5
T6	33.3	0.15	0.15	0.15	5

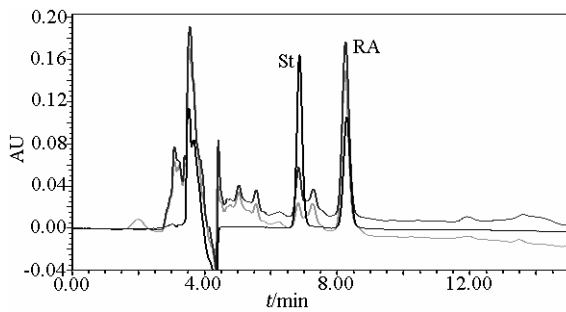


图 1 甜菊糖苷的高效液相色谱图

Figure 1 Chromatogram of stevia glycoside by HPLC detection

## 1.2 试验设计

本实验采用盆钵培养, 每盆装风干土 1 kg, 每千克土壤中施用尿素 0.33 g、五氧化二磷 0.15 g、氯化钾 0.4 g、多元营养土 5.0 g。把所施氮肥的 2/3 以及磷钾肥作基肥, 1/3 氮肥追施, 6 月中旬追肥。选择长势一致的甜叶菊幼苗每盆栽种两株。实验设 7 个处理 (表 2), 在 5、6 月下旬各喷施一次。每个处理作 3 次重复, 8 月上旬收获。叶片经 105℃ 杀青 30 分钟, 70℃ 下烘至恒重, 粉碎后过 80 目筛, 作

分析样。

## 1.3 分析方法

钛含量分析: 采用干灰化—NaHSO<sub>4</sub> 熔融, 二胺替吡啶甲烷比色法<sup>[20-21]</sup>。

糖苷分析: 甜叶菊 St、RA 糖苷采用乙醇超声提取<sup>[22]</sup>, 分析采用高效液相色谱法 (Waters 601 controlle), 色谱柱: LUNA NH2 (4.6×250 mm, 5 μm); 流速: 1.0 mL·min<sup>-1</sup>; 柱温: 30℃; 检测波长: 210 nm; 进样量: 10 μL; 流动相 A: 水, 流动相 B: 乙腈, 75%乙腈/水等度洗脱<sup>[23-24]</sup>; 图 1 为甜菊糖苷的高效液相色谱图。

## 2 结果与分析

### 2.1 喷钛对甜叶菊糖苷含量的影响

钛对甜叶菊糖苷含量产生明显的影响, 无论是菊隆 5 号、还是新品种 2 号其 St、RA 以及糖苷总含量均比对照明显的提高。方差分析显示, 均达到显著或极显著水平 (表 3)。

表 3 钛对甜叶菊糖苷含量的影响

Table 3 Effect of titanium on the content of stevia glycoside

处理 Treatment	St	RA	总含量 Total content			g·kg <sup>-1</sup>
			St	RA	Total content	
CK	34.84±3.19 <sup>cC</sup>	135.75±2.96 <sup>dC</sup>	170.59±5.25 <sup>dC</sup>	12.42±1.18 <sup>eE</sup>	125.24±1.89 <sup>dC</sup>	137.67±4.94 <sup>dD</sup>
T1	39.91±2.50 <sup>bcBC</sup>	141.60±1.82 <sup>bcBC</sup>	181.51±1.62 <sup>cdBC</sup>	27.82±3.06 <sup>dCD</sup>	137.44±5.35 <sup>bcABC</sup>	165.26±4.10 <sup>eBC</sup>
T2	47.00±4.69 <sup>abABC</sup>	146.01±1.36 <sup>aA</sup>	193.01±14.17 <sup>abAB</sup>	32.02±2.81 <sup>cBC</sup>	140.45±9.99 <sup>aA</sup>	172.47±10.99 <sup>abAB</sup>
T3	56.22±1.07 <sup>aA</sup>	148.92±3.47 <sup>aA</sup>	205.14±4.45 <sup>aA</sup>	43.63±3.11 <sup>aA</sup>	145.30±6.63 <sup>abAB</sup>	188.93±8.16 <sup>aA</sup>
T4	55.47±1.37 <sup>aA</sup>	145.75±1.86 <sup>abAB</sup>	201.22±3.12 <sup>abA</sup>	37.35±3.48 <sup>bB</sup>	140.40±3.76 <sup>bcABC</sup>	177.75±4.86 <sup>bcAB</sup>
T5	56.50±1.80 <sup>aA</sup>	142.49±3.48 <sup>bcAB</sup>	199.00±2.75 <sup>abA</sup>	36.75±1.31 <sup>bB</sup>	129.90±5.61 <sup>cdBC</sup>	166.64±6.24 <sup>eBC</sup>
T6	50.79±5.02 <sup>aAB</sup>	139.58±4.47 <sup>cdBC</sup>	190.37±4.80 <sup>bcAB</sup>	24.97±1.73 <sup>dD</sup>	127.96±2.51 <sup>cdC</sup>	152.93±2.65 <sup>dCD</sup>

注: 同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平。下同。

Note: The data in the same column followed by different small letters mean significant difference at the 0.05 level, and those followed by different capital letters mean significant difference at the 0.01 level, the same below.

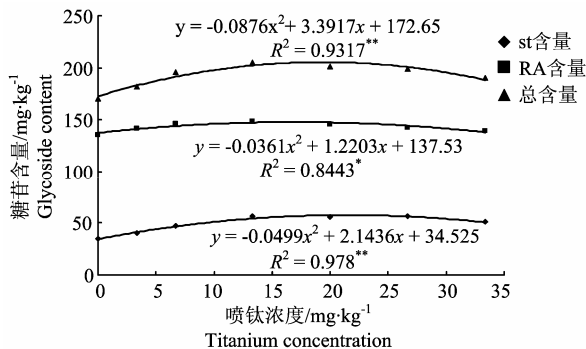


图 2 喷钛与菊隆 5 号叶片糖苷含量之间的关系

Figure 2 The relationship between titanium concentration and glycoside content in Julong No.5

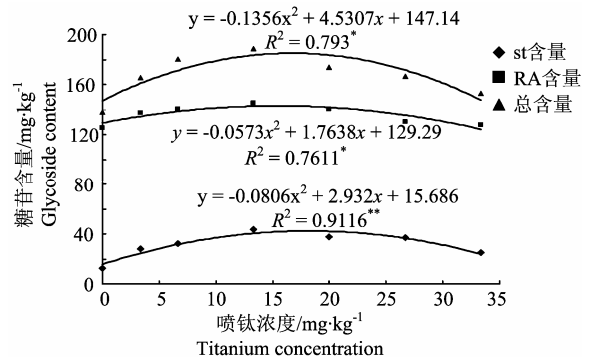


图 3 喷钛与新品种 2 号叶片糖苷含量之间的关系

Figure 3 The relationship between titanium concentration and glycoside content in new variety No.2

两品种总糖苷含量均是在 T3 时达到最高, 分别为 205.14 g·kg<sup>-1</sup> 和 188.93 g·kg<sup>-1</sup>, 比对照分别增加

了 20.25% 和 37.23%, 差异极显著。St 和 RA 含量的增加与总含量的增加有相同的趋势, 最大值几乎

都出现在 T3 处理, 与对照相比均有极显著差异。

进一步回归分析发现, 2 个试验品种 (菊隆 5 号、新品种 2 号) 的糖苷总含量与喷施钛浓度间存在抛物线关系, 菊隆 5 号符合方程  $y = -0.0876x^2 + 3.3917x + 172.65$ , 相关极显著 ( $R^2 = 0.9317^{**}$ ), 计算可得钛的喷施浓度为  $19.36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 最高糖苷含量为  $205.58 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 与处理 3 很接近; 最佳经济喷施浓度为  $12.22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 糖苷含量为  $201.02 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。St 和 RA 与钛喷施浓度之间也存在着类似曲

线关系 (图 2)。

新品种 2 号回归方程为  $y = -0.1356x^2 + 4.5307x + 147.14$ , 达显著水平 ( $R^2 = 0.7930^*$ ), 根据方程同样可计算出最高糖苷含量的喷施浓度和最佳经济效益的喷施浓度, 分别为  $16.71 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $12.10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , St 和 RA 具有相同的趋势 (图 3)。由此可见, 喷钛对甜叶菊糖苷含量的效应与施肥对农作物产量的效应具有相类似的结果。

表 4 钛对甜叶菊糖苷积累量的影响

Table 4 Effect of titanium on the accumulation of stevia glycoside

处理 Treatment	菊隆 5 号 Julong No.5			新品种 2 号 New variety No.2		
	St	RA	总积累量 Total amount of accumulation	St	RA	总积累量 Total amount of accumulation
CK	114.22±5.76 <sup>eD</sup>	445.97±14.10 <sup>eE</sup>	560.19±8.34 <sup>eE</sup>	43.77±3.99 <sup>fF</sup>	441.93±27.50 <sup>dD</sup>	485.70±28.71 <sup>eE</sup>
T1	162.62±5.08 <sup>dC</sup>	571.71±10.78 <sup>dD</sup>	734.32±20.76 <sup>eD</sup>	112.69±10.42 <sup>dDE</sup>	557.56±26.67 <sup>bB</sup>	670.26±16.34 <sup>cC</sup>
T2	229.28±16.89 <sup>cB</sup>	665.39±8.32 <sup>aA</sup>	894.67±22.80 <sup>bB</sup>	130.79±10.84 <sup>cCD</sup>	607.62±17.11 <sup>aAB</sup>	739.82±12.46 <sup>bB</sup>
T3	270.62±6.93 <sup>aA</sup>	716.49±23.70 <sup>aA</sup>	987.11±8.86 <sup>aA</sup>	187.69±6.97 <sup>aA</sup>	623.80±9.89 <sup>aA</sup>	811.49±16.86 <sup>aA</sup>
T4	265.74±11.62 <sup>aAB</sup>	650.21±29.71 <sup>bB</sup>	915.95±18.06 <sup>bcB</sup>	164.97±12.26 <sup>bB</sup>	603.41±16.57 <sup>aAB</sup>	768.38±4.31 <sup>bAB</sup>
T5	252.67±13.63 <sup>abAB</sup>	636.97±23.61 <sup>bBC</sup>	889.64±31.79 <sup>bcB</sup>	140.67±12.70 <sup>cC</sup>	496.61±14.67 <sup>cC</sup>	637.27±25.49 <sup>cC</sup>
T6	222.49±23.31 <sup>bcAB</sup>	611.41±26.03 <sup>cC</sup>	833.90±32.97 <sup>dC</sup>	90.96±4.16 <sup>eE</sup>	465.02±12.37 <sup>cdCD</sup>	555.98±14.34 <sup>dD</sup>

表 5 甜叶菊糖苷积累量与喷钛浓度的相关分析

Table 5 The correlation analysis between stevia glycoside accumulation and titanium concentration

品种 Variety	糖苷 Glycoside	回归方程 Regression equation	$R^2$
菊隆 5 号	St	$y = -0.3841x^2 + 15.525x + 122.36$	0.9501 <sup>**</sup>
Julong No.5	RA	$y = -0.5873x^2 + 22.261x + 491.40$	0.7682 <sup>*</sup>
	总量 The total content	$y = -0.9716x^2 + 37.789x + 613.83$	0.8574 <sup>*</sup>
新品种 2 号	St	$y = -0.3960x^2 + 14.008x + 56.536$	0.9363 <sup>**</sup>
New variety No.2	RA	$y = -0.5796x^2 + 17.897x + 481.53$	0.7973 <sup>*</sup>
	总量 The total content	$y = -0.9762x^2 + 31.916x + 538.29$	0.8702 <sup>*</sup>

表 6 喷钛对甜叶菊 St、RA 积累比例的影响

Table 6 Effect of titanium on the accumulation rates of stevia St and RA

处理 Treatment	菊隆 5 号 Julong No.5			新品种 2 号 New variety No.2		
	St 和 RA 占总量百分比/% The St and RA percentage	St 增幅/% The growth of St		St 和 RA 占总量百分比/% The St and RA percentage	St 增幅/% The amplification of St	
CK	20.39	79.61	—	9.01	90.99	—
T1	22.15	77.85	8.63	16.81	83.19	86.57
T2	25.63	74.37	25.70	17.68	82.32	96.22
T3	27.42	72.58	34.48	23.13	76.87	156.71
T4	29.01	70.99	42.28	21.47	78.53	138.29
T5	28.40	71.60	39.28	22.07	77.93	144.95
T6	26.68	73.32	30.85	16.36	83.64	81.57

## 2.2 喷钛对甜叶菊糖苷积累量的影响

由于钛对甜叶菊糖苷的含量及产量都产生了明显的效果, 从而钛对糖苷积累量的影响也很明显。方差分析显示 (表 4), 喷钛能显著或者极显著的提

高 2 个实验品种 (菊隆 5 号、新品种 2 号) 糖苷的积累量, 处理组糖苷积累量均明显高于 CK。菊隆 5 号中糖苷总积累量以及 St、RA 积累量的最大值几乎均出现在 T3 处理, 与对照相比分别增加 76.21%、

136.93%和 60.66%，且差异极显著；新品种 2 号糖苷总积累量以及 St、RA 积累量的变化趋势与菊隆 5 号相同，最大值也出现在 T3 处理，并且与对照相比也达到了极显著水平。

进一步分析表明，喷施钛浓度与 2 个试验品种（菊隆 5 号、新品种 2 号）的糖苷积累量之间符合二次抛物线方程（表 5），拟合结果均达到显著或极显著水平这与农作物施肥量与产量间的函数关系相类似。

根据总积累量方程计算可得菊隆 5 号、新品种 2 号喷施浓度在 19.45 和 16.35 mg·kg<sup>-1</sup> 时，总糖苷积累量达最大值，分别为 981.27 和 799.16 mg。此结果与上述喷钛与糖苷含量的回归方程计算结果十分相近，两者具有相互印证性。说明喷施钛肥不仅能提高甜叶菊糖苷含量，同时可增加甜叶菊叶片产量。而最佳经济喷施浓度分别为 18.80 和 15.71 mg·kg<sup>-1</sup>。

St 和 RA 与钛喷施浓度之间也存在着类似函数关系。

### 2.3 喷钛对甜叶菊中 St、RA 积累的影响

由表 6 可以看出喷钛可以改变甜叶菊叶片中 2 种糖苷所占的比例，菊隆 5 号、新品种 2 号对照 St 所占的比例分别为 20.39%和 9.01%。

随着喷钛浓度的升高，St 所占比例逐渐提高，最高时菊隆 5 号可达 29.01%，新品种 2 号为 23.13%。品种间经比较可得，新品种 2 号 St 所占比例的最高增幅为 156.71%，菊隆 5 号 St 的最高增幅仅有 42.28%，并且新品种 2 号 St 所占比例的增幅普遍高于菊隆 5 号，因此，喷钛对增加新品种 2 号 St 的比例更明显。近年来文献表明 St 苷有降低 II 型糖尿病血糖浓度，控制高血压以及抗癌、抗氧化性作用<sup>[25]</sup>，所以高 St 的甜叶菊虽然口感逊色于高 RA 的甜叶菊，但是具有更高的药用价值。

表 7 菊隆 5 号经济效益比较

Table 7 The comparison of the economic benefit of Julong No.5 with different treatments

处理 Treatment	实际产量/mg·株 <sup>-1</sup> Output	增产率/% Yield increase rate	成本/元·株 <sup>-1</sup> Cost	收益/元·株 <sup>-1</sup> Income	收益增幅/% The growth of income
CK	560.19	—	0	0.18	—
T1	734.32	31.08	6.67×10 <sup>-6</sup>	0.22	22.22
T2	894.67	59.71	1.33×10 <sup>-5</sup>	0.28	55.56
T3	987.11	76.21	2.67×10 <sup>-5</sup>	0.30	66.67
T4	915.95	63.51	4.00×10 <sup>-5</sup>	0.30	66.67
T5	889.64	58.81	5.20×10 <sup>-5</sup>	0.28	55.56
T6	833.90	48.86	6.67×10 <sup>-5</sup>	0.26	44.44

表 8 新品种 2 号经济效益比较

Table 8 The comparison of the economic benefit of new variety No.2 with different treatments

处理 Treatment	实际产量/mg·株 <sup>-1</sup> Output	增产率/% Yield increase rate	成本/元·株 <sup>-1</sup> Cost	收益/元·株 <sup>-1</sup> Income	收益增幅/% The growth of income
CK	485.70	—	0	0.16	—
T1	670.26	38.00	6.67×10 <sup>-6</sup>	0.22	37.50
T2	739.82	52.32	1.33×10 <sup>-5</sup>	0.24	50.00
T3	811.49	67.08	2.67×10 <sup>-5</sup>	0.26	62.50
T4	768.38	58.20	4.00×10 <sup>-5</sup>	0.24	50.00
T5	637.27	31.21	5.20×10 <sup>-5</sup>	0.20	25.00
T6	555.98	14.47	6.67×10 <sup>-5</sup>	0.18	12.50

注：钛肥的成本按 200 yuan/kg 计算，钛肥中的有效含量为 10%，人工等未计入成本。

Note: The cost of titanium-fertilizer was calculated at 200 yuan/kg, the effective content of the titanium-fertilizer was 10%, and the cost of manpower was not included.

### 2.4 喷钛对甜叶菊经济效益的影响

仅从成本来看，钛元素投入量最大的 T6 成本最高，随着喷钛浓度的降低，投入的成本也随之下落（表 7 和表 8）。从效益来看，2 个甜叶菊品种所有喷钛处理均高于对照，均以 T3 的效益最好，菊隆 5 号和新品种 2 号分别比对照的效益提高 66.67%和 62.50%。

## 3 讨论

合理施肥是作物增产的重要手段，也是提高作物品质的重要途径。大量的实验表明了钛对植物的某些生理功能具有明显的促进作用。我国于 20 世纪 80 年代初开始了钛在农业上的应用研究<sup>[13]</sup>。钛肥在

作物、果树和蔬菜上的施用前人已经进行了较多研究<sup>[14-19]</sup>，其结果表明，钛能提高植物叶绿素含量，促进光合作用，促进植物对养分的吸收和转运，促进植物体内多种酶的活性，提高作物产量，改善作物品质<sup>[26]</sup>。本研究结果显示，喷钛可以显著提高甜叶菊2个品种（菊隆5号、新品种2号）叶片中糖苷含量和积累量，这与安毅等<sup>[16]</sup>研究发现的叶面喷钛可以提高白肋烟叶总糖和还原糖的含量，增加干物质积累的结果相类似。随着喷钛浓度的增加甜叶菊叶片中糖苷的含量和积累量呈先增加后降低的趋势，这与施肥对作物产量的效应相一致。

钛同铁、锰等植物微量营养元素相似都是变价元素，化合价的改变可以使它参与植物中各种氧化还原过程，钛在太阳光作用下有很强的氧化还原性，能积极参与光合作用、氮化物同化和生物固氮和酶的催化等反应<sup>[13]</sup>。喷钛之所以能提高糖苷含量和积累量可能是由于钛提高了甜叶菊的光合速率，促进植株对其他营养物质和矿质元素的吸收从而使干物质的得到积累，也可能是因为钛元素提高了与糖苷形成有关的酶的活性，从而改善了作物的品质，具体原因有待进一步研究。

此外喷钛可以改变甜叶菊 St 与 RA 的比例，喷施高浓度钛可以增加 RA 的比例，RA 的口感较 St 更佳，与蔗糖类似，甜度更高，可以代替蔗糖作为新一代的糖源；低浓度钛可以增加 St 的比例，St 有抗癌活性<sup>[4-5]</sup>和降低 II 型糖尿病血糖浓度和控制高血压的作用。所以可以根据种植和甜叶菊产业化综合利用的目的的不同，利用钛肥来调节 St 或 RA 含量达到其目的。

#### 4 小结

喷钛可以提高甜叶菊糖苷的含量和积累量，两者间存在二次曲线关系，相关达显著或极显著水平，最适喷钛浓度范围在  $12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ~ $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  左右。

喷钛可以改变甜叶菊 St 和 RA 占总累积量的比例，品种间有一定的差异。新品种 2 号 St 所占比例的最高增幅为 156.71%，菊隆 5 号 St 的最高增幅仅有 42.28%。

#### 参考文献:

- [1] Hanson J R, de Oliveira B H. Stevioside and related sweet diterpenoid glycosides[J]. *Nat Prod Rep*, 1993(10): 301-309.
- [2] 何群, 胡洪天, 冷吉亮, 等. 甜叶菊种子阳畦育苗及农艺措施[J]. *中国糖料*, 2007(3): 45-47.
- [3] Chan P, Xu D Y, Liu J C, et al. The effect of stevioside on blood pressure and plasma catecholamines in spontaneously hypertensive rats [J]. *Life Sci. Including Pharmacology Letters*, 1998, 63(19): 1679-1684.
- [4] Midori T, Takao K, Mutsuo K, et al. Cancer preventive agents Part 8: Chemopreventive effects of stevioside and related compounds[J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2009, 17(2): 600-605.
- [5] 王贵民, 董振红, 郝再彬. 甜叶菊糖苷的应用和安全性的研究进展[J]. *中国食品添加剂专论综述*, 2007(6): 65-69.
- [6] Hsieh M H, Chan P, Sue Y M, et al. Efficacy and tolerability of oral stevioside in patients with mild essential hypertension two-year, randomized, placebo-controlled study[J]. *Clin Ther*, 2003, 25: 2797-2808.
- [7] Gregersen S, Jeppesen P B, Holst J J, et al. Antihyperglycemic effects of stevioside in type 2 diabetic subjects[J]. *Metab Clin Exp*, 2004, 53:73-76.
- [8] 马琴玉, 楼凤昌, 李翱. 甜叶菊的研究进展[J]. *国外医学药学分册*, 1992, 19(1): 5-9.
- [9] 韩凤祥. 我国土壤中可提取态钛含量与分布的初步研究[J]. *中国农业科学*, 1993, 26(1): 69-74.
- [10] 卢卡舍夫 KI I, 卢卡舍夫 B K. 曾志远, 译. 表生带地球化学[M]. 北京: 科学技术出版社, 1992: 43-250.
- [11] 何毓蓉, 等. 中国紫色土(下)[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 59-129.
- [12] 熊毅, 李庆远. 中国土壤[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 1987.
- [13] 范秀菊. 钛的氧化还原特性及其在植物生化过程中的作用[J]. *中国土壤与肥料*, 2012(5): 1-4.
- [14] 鲍碧娟. 植物生长的有效元素-Ti(钛)[J]. *磷肥与氮肥*, 2001, 16(5): 83.
- [15] 张莉枝, 李枏, 宋艳茹, 等. 钛对离体黄瓜子叶几种生理指标的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(3): 48-51.
- [16] 安毅, 李辉, 任胜超, 等. 叶面喷施钛肥对白肋烟生长发育及品质的影响[J]. *江西农业学报*, 2011, 23(11): 69-72.
- [17] 刘铮. 土壤与植物中的钛[J]. *土壤学进展*, 1991, 19(1): 1-7.
- [18] 赵久明, 戴建军. 钛肥对大豆产量及品质的影响[J]. *东北农业大学学报*, 1998, 29 (1): 27-32.
- [19] 胡艳燕, 郝进杰, 杨剑虹, 等. 叶面喷施钛肥对柑桔品质的影响[J]. *中国南方果树*, 2006, 35(3): 13-14.
- [20] 特拉津.那斯尔, 加那提.艾合麦提, 哈提拉. 植物样品钛含量测定方法改进研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(29): 16114-16116.
- [21] 杨剑虹, 胡艳艳, 卢扬, 等. 四川盆地紫色母岩中钛与母岩原始风化度关系的研究[J]. *土壤学报*, 2006, 43(4): 541-547.
- [22] 罗庆云, 田敏, 谢越盛, 等. 甜叶菊甜菊糖苷含量分析用 RA 和 STV 乙醇超声提取体系优化[J]. *中国糖料*, 2014 (2): 10-13.
- [23] 史一鸣, 杨虹, 李燕艳, 等. 亲水色谱法测定甜叶菊叶片中糖苷含量[J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(12): 134-137.
- [24] 项秀珠, 郭秀珠, 黄品湖. 甜菊苷含量的测定方法研究[J]. *浙江农业科学*, 1996(2): 97-99.
- [25] 李斌, 魏超田, 劳扬, 等. 三种菊科植物抗癌抗炎组分分离与功能研[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(7): 1620-1625.
- [26] 杜鹃, 许自成, 李志刚, 等. 植物钛素营养研究进展[J]. *江西农业学报*, 2010, 22(1): 42-44.