

不同施肥处理对甜菊生长及糖苷含量和积累量的影响

包亚英¹, 胡秀英², 郝雨杉¹, 杨永恒¹, 原海燕¹, 黄苏珍^{1,①}

[1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014; 2. 南京农业大学, 江苏 南京 210095]

摘要: 采用盆栽法,以甜菊(*Stevia rebaudiana* Bertoni)品种‘中山4号’(‘Zhongshan No. 4’)当年生扦插苗为研究对象,研究不同形态氮肥(硫酸铵、硝酸钠和尿素)及不同施氮量(纯氮)、施磷量(P_2O_5)和施钾量(K_2O)对幼苗生长及糖苷含量和单株积累量的影响。结果显示:随氮肥、磷肥和钾肥施用量的提高,甜菊幼苗的株高、茎粗、叶长、叶宽、单株叶干质量和单株茎干质量均呈先升后降的变化趋势,且总体上与对照无显著差异,仅施磷量 $300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的叶长显著高于对照;根据施肥量与单株叶干质量的回归方程,确定硫酸铵、硝酸钠、尿素、磷肥和钾肥的施用量分别为 64.87 、 660.21 、 735.84 、 211.54 和 $775.92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,幼苗单株叶干质量最高。在硫酸铵处理组中, $300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组甜菊叶片中的莱鲍迪苷A(R-A)含量及甜菊苷(St)、R-A和总苷的单株积累量以及 $600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的St单株积累量高于对照,多数处理组的St、R-A和总苷含量及单株积累量均低于对照;在硝酸钠处理组中, $1200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的R-A和总苷含量, 600 和 $900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的St单株积累量以及 $300\sim 900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的R-A和总苷单株积累量高于对照,其他处理组的St、R-A和总苷含量及单株积累量均低于对照;在尿素处理组中, $1500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的R-A和总苷的含量和单株积累量以及 600 和 $900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的R-A和总苷单株积累量高于对照,其他处理组的St、R-A和总苷含量及单株积累量均低于对照;各施氮处理组中,仅 $1500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的R-A含量与对照差异显著,其他指标均与对照无显著差异。在施磷处理组中, $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的R-A含量以及 100 和 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的St、R-A和总苷的单株积累量高于对照,多数处理组的St、R-A和总苷含量及单株积累量低于对照且与对照均无显著差异。在施钾处理组中,各处理组的St、R-A和总苷含量及单株积累量均高于对照,其中仅 $900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理组的St、R-A和总苷含量与对照显著差异。各施肥处理组的St含量占总苷含量的百分率均低于对照、R-A含量占总苷含量的百分率均高于对照,且总体上与对照无显著差异。经过综合分析,建议在甜菊生育期内的施肥量为纯氮 $600\sim 900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 P_2O_5 $200\sim 300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 K_2O $600\sim 900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中氮肥以尿素为宜。

关键词: 甜菊; 氮磷钾肥; 氮素形态; 生长指标; 糖苷含量; 糖苷积累量

中图分类号: S566.9.03; S606+.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)01-0071-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.01.09

Effects of different fertilizer treatments on growth, and content and accumulation of glycoside in *Stevia rebaudiana* BAO Yaying¹, HU Xiuying², HAO Yushan¹, YANG Yongheng¹, YUAN Haiyan¹, HUANG Suzhen^{1,①} (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(1): 71-80

Abstract: Taking annual cutting seedlings of cultivar ‘Zhongshan No. 4’ of *Stevia rebaudiana* Bertoni as research objects, effects of different forms of nitrogen fertilizer [$(NH_4)_2SO_4$, $NaNO_3$ and $CO(NH_2)_2$] and different applying amounts of nitrogen (pure nitrogen), phosphate (P_2O_5) and potassium (K_2O) fertilizers on seedling growth, and content and accumulation per plant of glycoside were studied by pot method. The results show that with enhancing of applying amounts of nitrogen, phosphate and potassium fertilizers, height, stem diameter, leaf length, leaf width, leaf dry weight per plant and stem dry weight

收稿日期: 2015-12-22

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(13)2020]; 江苏省科技支撑计划项目(BE2014402)

作者简介: 包亚英(1991—),女,江苏常州人,硕士研究生,主要从事甜菊高产优质栽培方面的研究。

①通信作者 E-mail: hsz1959@163.com

per plant of seedling all appear the trend of firstly increasing and then decreasing, and generally there is no significant difference with the control, only leaf length in the treatment group with applying amount of phosphate fertilizer of $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ is significantly higher than that of the control. According to regression equation between applying fertilizer amount and leaf dry weight per plant, when applying amounts of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaNO_3 , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, phosphate and potassium fertilizers are 64.87, 660.21, 735.84, 211.54 and $775.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, leaf dry weight per plant of seedling is the highest. In $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ treatment group, content of rebaudioside A (R-A) in leaf and accumulations per plant of stevioside (St), R-A and total glycosides of *S. rebaudiana* in the treatment group with $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and accumulation per plant of St in the treatment group with $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ are higher than those of the control, contents and accumulations per plant of St, R-A and total glycosides in most treatment groups are lower than those of the control. In NaNO_3 treatment group, contents of R-A and total glycosides in the treatment group with $1200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, accumulation per plant of St in the treatment groups with 600 and $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and accumulations per plant of R-A and total glycosides in the treatment groups with $300-900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ are higher than those of the control, and contents and accumulations per plant of St, R-A and total glycosides in other treatment groups are lower than those of the control. In $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ treatment group, contents and accumulations per plant of R-A and total glycosides in the treatment group with $1500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and accumulations per plant of R-A and total glycosides in the treatment groups with 600 and $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ are higher than those of the control, and contents and accumulations per plant of St, R-A and total glycosides in other treatment groups are lower than those of the control. In all treatment group applying nitrogen fertilizer, only R-A content in the treatment group with $1500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ is significantly higher than that of the control, and there is no significant difference between other indexes and the control. In the treatment group applying phosphate fertilizer, content of R-A in the treatment group with $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and accumulations per plant of St, R-A and total glycosides in the treatment groups with 100 and $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ are higher than those of the control, and contents and accumulations per plant of St, R-A and total glycosides in most treatment groups are lower than those of the control with no significant difference. In the treatment group applying potassium fertilizer, contents and accumulations per plant of St, R-A and total glycosides in all treatment groups are higher than those of the control, in which, only in the treatment group with $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ there are significant differences in contents of St, R-A and total glycosides with those of the control. In all fertilizer treatment groups percentages of St content to total glycosides content are lower than those of the control, while those of R-A content to total glycosides content are higher than those of the control, and totally there is no significant difference with those of the control. Based on comprehensive analysis, it is suggested that during growth period of *S. rebaudiana*, the suitable fertilizer amount is pure nitrogen of $600-900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, P_2O_5 of $200-300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and K_2O of $600-900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, in which urea is the suitable nitrogen fertilizer for *S. rebaudiana*.

Key words: *Stevia rebaudiana* Bertoni; nitrogen, phosphate and potassium fertilizers; nitrogen form; growth index; glycoside content; glycoside accumulation

甜菊 (*Stevia rebaudiana* Bertoni) 又名甜叶菊、甜草, 是一种天然的甜味植物, 其茎和叶片中的甜味成分甜菊糖苷的甜度约为蔗糖的 300 倍, 但热量仅为蔗糖的 $1/300$, 且不参与人体代谢^[1-2], 被国际上誉为“第三糖源”; 甜菊糖苷对糖尿病、肥胖和小儿龋齿等有一定的辅助治疗功效^[3-4]。

近年来, 对甜菊的相关研究较多, 涉及育种^[5-7]、栽培繁殖^[8]、抗逆性^[9-12]、甜菊糖苷含量分析^[13-15]及甜菊糖苷提取^[16]等方面。李国清等^[17]的研究结果表明, 施用钾肥能促进甜菊生长, 增加甜菊干叶产量;

Aladakatti 等^[18]研究了氮、磷、钾对甜菊生长发育的影响, 认为氮肥、磷肥和钾肥用量分别为 400 、 200 和 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时甜菊干叶产量较高; 栾良福等^[19]研究认为: 将总施肥量控制在 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 氮、磷、钾质量比 $3:3:1$, 喷施 2 次 KH_2PO_4 , 且氮肥底肥与追肥质量比为 $1:4$, 甜菊产量高且成本低。虽然目前对甜菊栽培和肥料使用等方面的研究较多, 但多偏重于营养元素对甜菊产量的影响, 而有关施肥对甜菊生长及糖苷含量影响的系统研究较少。

为深入了解施肥对甜菊生长及糖苷含量和积累

量的影响,作者采用盆栽法,以株高、茎粗、叶长、叶宽、单株叶干质量和单株茎干质量为生长指标,以甜菊苷(St)、莱鲍迪苷 A(R-A)和总苷含量、St 含量占总苷含量的百分率、R-A 含量占总苷含量的百分率以及 St、R-A 和总苷单株积累量为经济指标,研究氮肥、磷肥和钾肥用量与甜菊生长、糖苷含量和积累量的关系,以期为甜菊高产优质栽培提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为甜菊品种‘中山 4 号’(‘Zhongshan No. 4’)扦插繁殖的当年生植株,种植于江苏省中国科学院植物研究所甜菊种质资源圃。甜菊苷(St)标准品和莱鲍迪苷 A(R-A)标准品均购自日本和光纯药工业株式会社,纯度均大于 99.0%。

1.2 方法

于 2014 年 6 月 14 日至 8 月 7 日在普通温室内进行盆栽实验。选取株高和茎粗基本一致的扦插苗栽植于塑料盆(高 13.0 cm、口径 16.2 cm、底径 11.0 cm,底部有小孔)中,盆底有托盘,每盆装 0.8 kg 栽培基质。栽培基质为园土、草炭和珍珠岩混合基质(体积比 2:2:1);其中,园土取自江苏省中国科学院植物研究所林下,园土的基本理化性质:有机质含量为 0.88%,全氮、速效磷和速效钾含量分别为 600.00、0.93 和 131.90 mg·kg⁻¹,pH 6.8。缓苗 15 d 后进行施肥试验。

1.2.1 实验设计 施氮量设置:氮肥总量分别为 0 mg·kg⁻¹(N1,CK)、300 mg·kg⁻¹(N2)、600 mg·kg⁻¹(N3)、900 mg·kg⁻¹(N4)、1 200 mg·kg⁻¹(N5)和 1 500 mg·kg⁻¹(N6),并添加 300 mg·kg⁻¹磷肥和 600 mg·kg⁻¹钾肥。施磷量设置:磷肥总量分别为 0 mg·kg⁻¹(P1,CK)、100 mg·kg⁻¹(P2)、200 mg·kg⁻¹(P3)、300 mg·kg⁻¹(P4)和 400 mg·kg⁻¹(P5),并添加 900 mg·kg⁻¹氮肥(尿素)和 600 mg·kg⁻¹钾肥。施钾量设置:钾肥总量分别为 0 mg·kg⁻¹(K1,CK)、300 mg·kg⁻¹(K2)、600 mg·kg⁻¹(K3)、900 mg·kg⁻¹(K4)和 1 200 mg·kg⁻¹(K5),并添加 900 mg·kg⁻¹氮肥(尿素)和 300 mg·kg⁻¹磷肥。氮肥、磷肥和钾肥施用量分别以纯氮、P₂O₅和 K₂O 计,其中,氮肥为硫酸铵(铵态氮)、硝酸钠(硝态氮)和尿素(酰胺态氮),磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。分别于 6 月 29 日、7 月

14 日和 7 月 29 日分 3 次施入肥料,各次施肥量分别占各施肥总量的 20%、30% 和 50%;实验周期 54 d,每处理设 3 次重复。实验过程中采取常规水分管理,并及时将托盘内的溢出溶液倒回,以防养分流失。

1.2.2 生长指标测定 实验结束时,用直尺测定株高,即从地面到植株顶端的高度;用数显游标卡尺测定茎粗,即植株中部的直径;用直尺测量叶长和叶宽,植株中部最长叶片叶基至叶尖的长度即为叶长,植株中部最宽叶片的宽度即为叶宽。分别收集各单株的茎和叶,洗净后于 105 °C 杀青 15 min,然后于 75 °C 烘干至恒质量,称取干质量。

1.2.3 糖苷含量测定 采用上海伍丰 LC100 高效液相色谱仪(包括紫外检测器和色谱工作站)并参照文献[13]的方法测定甜菊叶片中糖苷含量,色谱柱为 Hypersil-NH₂(250.0 mm×4.6 mm,5 μm)(大连依利特分析仪器有限公司)。

1.3 数据整理和统计分析

采用 EXCEL 2010 软件处理实验数据,并采用 SPSS 19.0 统计分析软件进行相关的统计和分析;采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验($P < 0.05$)。按照公式“糖苷的单株积累量 = 单株叶干质量 × 糖苷含量”^[20]计算单株地上部分经济指标。

2 结果和分析

2.1 氮肥、磷肥和钾肥对甜菊幼苗生长的影响

2.1.1 不同形态氮肥和施氮量对幼苗生长的影响 在施磷量和施钾量相同的条件下,不同形态氮肥(硫酸铵、硝酸钠和尿素)和施氮量对甜菊幼苗生长的影响见表 1。结果表明:随不同形态氮肥施用量的提高,甜菊幼苗的各项生长指标均呈先升后降的变化趋势,其中,除幼苗株高外,其他生长指标总体上与对照(0 mg·kg⁻¹)无显著差异($P > 0.05$)。

在施用硫酸铵处理组中,1 500 mg·kg⁻¹处理组甜菊幼苗的株高和单株茎干质量与对照有显著差异($P < 0.05$),分别较对照减少 25.3% 和 40.7%。其余处理组的各项指标或高于对照或低于对照,但总体上均无显著差异。

在施用硝酸钠处理组中,300 和 600 mg·kg⁻¹处理组甜菊幼苗的株高显著高于对照,1 200 和 1 500 mg·kg⁻¹处理组的幼苗株高均显著低于对照;300 mg·kg⁻¹处理组的幼苗叶长较对照增加 23.1%,差异

表1 不同形态氮肥和施氮量对甜菊幼苗生长的影响¹⁾Table 1 Effect of different forms and applying amounts of nitrogen fertilizer on growth of *Stevia rebaudiana* Bertoni seedling¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	株高/cm Height	茎粗/mm Stem diameter	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	单株叶干质量/g Leaf dry weight per plant	单株茎干质量/g Stem dry weight per plant
硫酸铵 (NH ₄) ₂ SO ₄						
N1 (CK)	62.62±2.49ab	1.06±0.07ab	3.98±0.15a	0.93±0.06ab	1.250±0.134ab	1.237±0.174a
N2	64.40±2.72ab	1.18±0.15ab	4.08±0.26a	0.99±0.09ab	1.476±0.114a	1.284±0.122a
N3	67.50±2.60a	1.24±0.14a	4.28±0.29a	1.09±0.11a	1.521±0.099a	1.441±0.165a
N4	64.46±1.57ab	1.07±0.13ab	4.30±0.14a	1.10±0.04a	1.485±0.145a	1.204±0.068a
N5	57.32±3.22b	0.97±0.06ab	4.43±0.15a	1.07±0.05a	1.396±0.126ab	1.107±0.172ab
N6	46.78±1.580c	0.83±0.15b	3.81±0.27a	0.78±0.08b	1.030±0.171b	0.733±0.080b
硝酸钠 NaNO ₃						
N1 (CK)	66.59±1.49b	1.18±0.07a	3.94±0.25b	0.84±0.11a	1.256±0.149a	1.467±0.218a
N2	73.62±1.70a	1.30±0.13a	4.85±0.16a	0.97±0.07a	1.412±0.156a	1.498±0.219a
N3	76.72±1.16a	1.28±0.13a	4.40±0.12ab	1.02±0.04a	1.417±0.081a	1.563±0.154a
N4	62.85±2.07b	1.20±0.18a	4.33±0.10ab	1.02±0.14a	1.473±0.135a	1.336±0.139a
N5	54.96±1.74c	1.06±0.17a	4.22±0.19b	0.10±0.09a	1.248±0.112a	1.016±0.086ab
N6	52.30±2.26c	0.81±0.28a	3.92±0.22b	1.00±0.13a	1.130±0.120a	0.741±0.181b
尿素 CO(NH ₂) ₂						
N1 (CK)	62.89±2.07b	1.17±0.09ab	4.34±0.17a	1.02±0.10a	1.315±0.053a	1.303±0.056ab
N2	72.77±1.87a	1.34±0.13a	4.52±0.21a	1.07±0.13a	1.392±0.119a	1.452±0.116a
N3	70.54±1.86a	1.35±0.08a	4.54±0.32a	1.18±0.12a	1.529±0.034a	1.459±0.102a
N4	62.99±0.98b	1.23±0.14ab	4.56±0.13a	1.11±0.03a	1.642±0.211a	1.367±0.128ab
N5	62.97±2.11b	0.99±0.08b	4.42±0.11a	1.11±0.06a	1.384±0.111a	1.362±0.186ab
N6	56.92±2.77b	0.99±0.10b	4.10±0.25a	1.07±0.08a	1.366±0.104a	1.044±0.119b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示同一形态氮肥的不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments of the same form of nitrogen fertilizer ($P < 0.05$).

²⁾ N1-N6: 分别相当于纯氮施用量 0、300、600、900、1 200 和 1 500 mg · kg⁻¹ Being equal to applying amount of pure nitrogen of 0, 300, 600, 900, 1 200 and 1 500 mg · kg⁻¹, respectively.

显著; 1 500 mg · kg⁻¹ 处理组的幼苗单株茎干质量显著低于对照。其余处理组的各项指标或高于对照或低于对照, 但均与对照无显著差异。

在施用尿素的处理组中, 300 和 600 mg · kg⁻¹ 处理组的幼苗株高与对照有显著差异, 分别较对照增加 15.7% 和 12.2%。其余处理组的各项指标或高于对照或低于对照, 但均与对照无显著差异。

将单株叶干质量 (Y) 分别与硫酸铵中纯氮施用量 (X_1)、硝酸钠中纯氮施用量 (X_2) 和尿素中纯氮施用量 (X_3) 进行回归方程拟合, 获得的回归方程分别为: $Y = (-6.937 \times 10^{-7}) X_1^2 + 0.000 09 X_1 + 1.249 9$ ($r = 0.987$), $Y = (-4.544 \times 10^{-7}) X_2^2 + 0.000 60 X_2 + 1.262 5$ ($r = 0.953$), $Y = (-4.077 \times 10^{-7}) X_3^2 + 0.000 60 X_3 + 1.291 1$ ($r = 0.831$)。根据上述方程可知: 当硫酸铵、硝酸钠和尿素中纯氮施用量分别为 64.87、660.21 和 735.84 mg · kg⁻¹ 时, 单株叶干质量最高, 分别为 1.253、1.461 和 1.291 g。

2.1.2 不同施磷量对幼苗生长的影响 在施氮量和

施钾量相同的条件下, 不同施磷量对甜菊幼苗生长的影响见表 2。结果表明: 随施磷量的提高, 幼苗的各生长指标均呈先升后降的变化趋势。在所有处理组中, 100、200 和 300 mg · kg⁻¹ 处理组的幼苗叶长和叶宽显著高于对照 ($P < 0.05$), 其中, 300 mg · kg⁻¹ 处理组的幼苗叶长和叶宽均最大, 分别较对照增加 34.3% 和 47.4%。其余处理组的各项指标或高于对照或低于对照, 但均与对照无显著差异 ($P > 0.05$)。

将单株叶干质量 (Y) 与磷肥中 P₂O₅ 施用量 (X_4) 进行回归方程拟合, 获得的回归方程为: $Y = (-5.200 \times 10^{-6}) X_4^2 + 0.002 20 X_4 + 1.153$ ($r = 0.855$)。根据方程可知: 当磷肥中 P₂O₅ 施用量为 211.54 mg · kg⁻¹ 时, 单株叶干质量最高, 为 1.386 g。

2.1.3 不同施钾量对幼苗生长的影响 在施氮量和施磷量相同的条件下, 不同施钾量对甜菊幼苗生长的影响见表 3。结果表明: 随施钾量的提高, 甜菊幼苗的各生长指标均呈先升后降的变化趋势。其中, 300 ~ 1 200 mg · kg⁻¹ 处理组的幼苗株高和单株叶干质量均

表 2 不同施磷量对甜菊幼苗生长的影响¹⁾Table 2 Effect of different applying amounts of phosphate fertilizer on growth of *Stevia rebaudiana* Bertoni seedling¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	株高/cm Height	茎粗/mm Stem diameter	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	单株叶干质量/g Leaf dry weight per plant	单株茎干质量/g Stem dry weight per plant
P1 (CK)	66.35±2.34ab	0.82±0.17a	3.56±0.11c	0.78±0.10c	1.115±0.074a	0.953±0.094a
P2	68.14±2.62ab	1.09±0.16a	4.20±0.12b	1.03±0.04ab	1.394±0.131a	1.212±0.196a
P3	72.93±1.38a	1.06±0.08a	4.22±0.08b	1.04±0.02ab	1.380±0.140a	1.307±0.143a
P4	70.38±1.33ab	1.05±0.09a	4.78±0.17a	1.15±0.05a	1.262±0.129a	1.215±0.092a
P5	63.90±2.63b	0.97±0.13a	3.89±0.19bc	0.94±0.09bc	1.229±0.063a	1.035±0.085a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments ($P < 0.05$).

²⁾ P1-P5: 分别相当于 P_2O_5 施用量 0、100、200、300 和 400 $mg \cdot kg^{-1}$ Being equal to applying amount of P_2O_5 of 0, 100, 200, 300 and 400 $mg \cdot kg^{-1}$, respectively.

表 3 不同施钾量对甜菊幼苗生长的影响¹⁾Table 3 Effect of different applying amounts of potassium fertilizer on growth of *Stevia rebaudiana* Bertoni seedling¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	株高/cm Height	茎粗/mm Stem diameter	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	单株叶干质量/g Leaf dry weight per plant	单株茎干质量/g Stem dry weight per plant
K1 (CK)	61.18±2.65b	0.85±0.09a	4.06±0.25a	1.08±0.10a	1.112±0.045b	1.005±0.080b
K2	72.38±2.40a	1.21±0.24a	4.27±0.23a	1.15±0.08a	1.445±0.108a	1.286±0.056ab
K3	76.40±2.86a	1.09±0.10a	4.29±0.10a	1.04±0.02a	1.499±0.110a	1.394±0.114a
K4	74.36±2.20a	1.07±0.10a	4.56±0.25a	1.03±0.08a	1.425±0.110a	1.295±0.099ab
K5	72.76±1.27a	0.89±0.14a	4.07±0.16a	1.02±0.08a	1.416±0.081a	1.260±0.120ab

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments ($P < 0.05$).

²⁾ K1-K5: 分别相当于 K_2O 施用量 0、300、600、900 和 1 200 $mg \cdot kg^{-1}$ Being equal to applying amount of K_2O of 0, 300, 600, 900 and 1 200 $mg \cdot kg^{-1}$, respectively.

显著高于对照 ($P < 0.05$), 以 600 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的株高和单株叶干质量最大, 分别较对照增加 24.9% 和 34.8%; 600 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的单株茎干质量也显著高于对照, 较对照增加 38.7%。其余处理组的各项指标或高于对照或低于对照, 但均与对照无显著差异 ($P > 0.05$)。

将单株叶干质量 (Y) 与钾肥中 K_2O 施用量 (X_5) 进行回归方程拟合, 获得的回归方程为: $Y = (-6.444 \times 10^{-7}) X_5^2 + 0.001 00 X_5 + 1.146$ ($r = 0.934$)。根据方程可知: 当钾肥中 K_2O 施用量为 775.92 $mg \cdot kg^{-1}$ 时, 单株叶干质量最高, 为 1.534 g。

2.2 氮肥、磷肥和钾肥对甜菊叶片中糖苷含量的影响

2.2.1 不同形态氮肥和施氮量对糖苷含量的影响

在施磷量和施钾量相同的条件下, 不同形态氮肥 (硫酸铵、硝酸钠和尿素) 和施氮量对甜菊叶片中糖苷含量的影响见表 4。

在施用硫酸铵的处理组中, 随施氮量的提高, 甜菊叶片中甜菊苷 (St) 含量呈逐渐下降的趋势, 当施氮量在 600 $mg \cdot kg^{-1}$ 及以上时, St 含量均显著低于对照

($P < 0.05$); 而莱鲍迪苷 A (R-A) 和总苷含量则随施氮量的提高呈先升后降的变化趋势, 当施氮量在 600 $mg \cdot kg^{-1}$ 及以上时, R-A 和总苷含量均显著低于对照。300 ~ 1 500 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的甜菊苷含量占总苷含量的百分率 (P_{St}) 均显著低于对照, 而莱鲍迪苷 A 含量占总苷含量的百分率 (P_{R-A}) 均显著高于对照, 且 300 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组中 P_{R-A} 最高, 较对照增加 9.9%。

在施用硝酸钠的处理组中, 甜菊叶片中 St 和总苷含量以及 P_{St} 均低于对照, 而 P_{R-A} 则高于对照。其中, 600、1 200 和 1 500 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的 St 和总苷含量与对照差异显著; 1 200 和 1 500 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的 P_{St} 和 P_{R-A} 均与对照差异显著。各处理间以及与对照间 R-A 含量均没有显著差异。

在施用尿素的处理组中, 随施氮量提高, 甜菊叶片中 St 含量及 P_{St} 呈逐渐下降的趋势, R-A 和总苷含量则总体上呈先降后升的变化趋势, P_{R-A} 呈逐渐升高的趋势。其中, 600 ~ 1 500 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的 St 含量、1 500 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的 R-A 含量、900 和 1 200 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的总苷含量以及 1 500 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的 P_{St} 和 P_{R-A} 均与对照差异显著。

2.2.2 不同施磷量对糖苷含量的影响 在施氮量和施钾量相同的条件下,不同施磷量对甜菊叶片中糖苷含量的影响见表5。结果显示:随施磷量提高,甜菊叶片中 St 和总苷含量及 P_{St} 呈逐渐下降的趋势,R-A 含量则呈先升后降的变化趋势, P_{R-A} 呈逐渐升高的趋

势。300 和 400 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的 St 和总苷含量、400 $mg \cdot kg^{-1}$ 处理组的 R-A 含量均显著低于对照。

2.2.3 不同施钾量对糖苷含量的影响 在施氮量和施磷量相同的条件下,不同施钾量对甜菊叶片中糖苷含量的影响见表6。结果表明:随施钾量提高,甜菊叶

表4 不同形态氮肥和施氮量对甜菊叶片中糖苷含量的影响¹⁾

Table 4 Effect of different forms and applying amounts of nitrogen fertilizer on glycoside content in leaf of *Stevia rebaudiana* Bertoni¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	含量/% Content			$P_{St}/\%$	$P_{R-A}/\%$
	甜菊苷 Stevioside	莱鲍迪苷 A Rebaudioside A	总计 Total		
硫酸铵 $(NH_4)_2SO_4$					
N1 (CK)	6.89±0.24a	12.26±0.21a	19.15±0.36a	35.96±0.76a	64.04±0.76b
N2	5.86±0.19a	13.93±0.54a	19.80±0.71a	29.65±0.37b	70.36±0.37a
N3	4.81±0.64b	10.44±0.83b	15.25±1.40b	30.98±1.74b	69.02±1.74a
N4	4.04±0.10bc	9.02±0.31bc	13.06±0.34bc	31.00±0.77b	69.00±0.77a
N5	3.97±0.26bc	8.64±0.77bc	12.61±0.99bc	31.67±1.07b	68.33±1.07a
N6	3.50±0.24c	7.56±0.56c	11.06±0.66c	31.93±1.65b	68.07±1.65a
硝酸钠 $NaNO_3$					
N1 (CK)	5.90±0.23a	10.90±0.30a	16.80±0.43a	35.09±0.92a	64.91±0.92b
N2	5.29±0.13ab	10.64±0.36a	15.93±0.46ab	33.25±0.54a	66.75±0.54b
N3	5.07±0.17bc	10.08±0.16a	15.15±0.27b	33.41±0.71a	66.59±0.71b
N4	5.26±0.25ab	10.21±0.20a	15.47±0.41ab	33.91±0.86a	66.09±0.86b
N5	4.29±0.38d	11.01±0.48a	15.31±0.47b	28.05±2.23b	71.95±2.23a
N6	4.39±0.24cd	10.48±0.57a	14.87±0.68b	29.57±1.29b	70.44±1.29a
尿素 $CO(NH_2)_2$					
N1 (CK)	5.36±0.38a	8.59±0.61b	13.95±0.74a	38.62±2.42a	61.38±2.42b
N2	4.85±0.21ab	7.83±0.07b	12.68±0.24ab	38.12±0.99a	61.88±0.99b
N3	4.43±0.10bc	7.91±0.35b	12.33±0.43ab	36.06±0.80a	63.94±0.80b
N4	3.89±0.35cd	7.63±0.62b	11.53±0.54b	34.22±3.47a	65.78±3.47b
N5	3.66±0.22d	7.32±0.43b	10.97±0.63b	33.31±0.82a	66.69±0.82b
N6	3.45±0.16d	10.84±0.10a	14.29±1.05a	24.92±1.65b	75.08±1.65a

¹⁾ P_{St} : 甜菊苷含量占总苷含量的百分率 Percentage of stevioside content to total glycosides content; P_{R-A} : 莱鲍迪苷 A 含量占总苷含量的百分率 Percentage of rebaudioside A content to total glycosides content. 同列中不同的小写字母表示同一形态氮肥的不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments of the same form of nitrogen fertilizer ($P < 0.05$).

²⁾ N1-N6: 分别相当于纯氮施用量 0、300、600、900、1 200 和 1 500 $mg \cdot kg^{-1}$ Being equal to applying amount of pure nitrogen of 0, 300, 600, 900, 1 200 and 1 500 $mg \cdot kg^{-1}$, respectively.

表5 不同施磷量对甜菊叶片中糖苷含量的影响¹⁾

Table 5 Effect of different applying amounts of phosphate fertilizer on glycoside content in leaf of *Stevia rebaudiana* Bertoni¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	含量/% Content			$P_{St}/\%$	$P_{R-A}/\%$
	甜菊苷 Stevioside	莱鲍迪苷 A Rebaudioside A	总计 Total		
P1 (CK)	4.80±0.20a	9.22±0.44a	14.02±0.44a	34.39±1.42a	65.61±1.42a
P2	4.20±0.21ab	9.39±0.41a	13.59±0.31a	31.11±1.78a	68.90±1.78a
P3	4.16±0.28ab	8.96±0.47a	13.12±0.49ab	31.80±1.95a	68.20±1.95a
P4	3.86±0.37bc	8.10±0.46ab	11.96±0.77b	31.93±1.55a	68.07±1.55a
P5	3.23±0.23c	7.22±0.34b	10.44±0.41c	30.94±1.94a	69.06±1.94a

¹⁾ P_{St} : 甜菊苷含量占总苷含量的百分率 Percentage of stevioside content to total glycosides content; P_{R-A} : 莱鲍迪苷 A 含量占总苷含量的百分率 Percentage of rebaudioside A content to total glycosides content. 同列中不同的小写字母表示同一形态氮肥的不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments of the same form of nitrogen fertilizer ($P < 0.05$).

²⁾ P1-P5: 分别相当于 P_2O_5 施用量 0、100、200、300 和 400 $mg \cdot kg^{-1}$ Being equal to applying amount of P_2O_5 of 0, 100, 200, 300 and 400 $mg \cdot kg^{-1}$, respectively.

表 6 不同施钾量对甜菊叶片中糖苷含量的影响¹⁾Table 6 Effect of different applying amounts of potassium fertilizer on glycoside content in leaf of *Stevia rebaudiana* Bertoni¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	含量/% Content			P _{St} /%	P _{R-A} /%
	甜菊苷 Stevioside	莱鲍迪苷 A Rebaudioside A	总计 Total		
K1 (CK)	3.60±0.20b	6.60±0.43c	10.20±0.41c	35.62±2.32a	64.38±2.32a
K2	3.61±0.46b	7.33±0.16c	10.95±0.40bc	32.38±3.39a	67.62±3.39a
K3	3.98±0.28ab	7.82±0.25bc	11.81±0.29b	33.62±1.94a	66.39±1.94a
K4	4.74±0.17a	9.63±0.72a	14.37±0.78a	33.53±1.68a	66.47±1.68a
K5	4.69±0.22a	8.72±0.30ab	13.40±0.42a	34.95±1.18a	65.06±1.18a

¹⁾ P_{St}: 甜菊苷含量占总苷含量的百分率 Percentage of stevioside content to total glycosides content; P_{R-A}: 莱鲍迪苷 A 含量占总苷含量的百分率 Percentage of rebaudioside A content to total glycosides content. 同列中不同的小写字母表示同一形态氮肥的不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments of the same form of nitrogen fertilizer ($P < 0.05$).

²⁾ K1-K5: 分别相当于 K₂O 施用量 0、300、600、900 和 1 200 mg · kg⁻¹ Being equal to applying amount of K₂O of 0, 300, 600, 900 and 1 200 mg · kg⁻¹, respectively.

片中 St、R-A 和总苷含量均呈先升后降的变化趋势; 其中, 900 和 1 200 mg · kg⁻¹ 处理组的 St 和 R-A 含量, 600、900 和 1 200 mg · kg⁻¹ 处理组的总苷含量显著高于对照。各处理组的 P_{St} 均低于对照, P_{R-A} 均高于对照, 但均无显著差异。

2.3 氮肥、磷肥和钾肥对甜菊糖苷单株积累量的影响

2.3.1 不同形态氮肥和施氮量对糖苷单株积累量的影响 在施磷量和施钾量相同的条件下, 不同形态氮肥 (硫酸铵、硝酸钠和尿素) 和施氮量对甜菊中糖苷单株积累量的影响见表 7。

在施用硫酸铵的处理组中, 随施氮量的提高, 甜菊中甜菊苷 (St) 的单株积累量呈逐渐下降的趋势且总体上低于对照; 莱鲍迪苷 A (R-A) 和总苷的单株积累量呈先升后降的趋势, 其中 300 mg · kg⁻¹ 处理组 R-A 和总苷的单株积累量高于对照, 分别较对照增加 34.6% 和 22.2%。

在施用硝酸钠的处理组中, 300 和 900 mg · kg⁻¹ 处理组甜菊的 St 单株积累量, 以及 300、600 和 900 mg · kg⁻¹ 处理组的 R-A 和总苷的单株积累量高于对照; 其中 900 mg · kg⁻¹ 处理组的 St 和总苷的单株积累量均最大, 分别较对照增加 4.1% 和 7.6%。其余处理组的 St、R-A 和总苷单株积累量均低于对照。

在施用尿素的处理组中, 随施氮量的提高, 甜菊中 St 单株积累量逐渐降低且均低于对照。而 R-A 和总苷的单株积累量则呈波动的变化趋势, 其中, 600、900 和 1 500 mg · kg⁻¹ 处理组的 R-A 和总苷的单株积累量均高于对照。

2.3.2 不同施磷量和施钾量对糖苷单株积累量的影响 在施磷量或施钾量不同的条件下, 甜菊中糖苷的单株积累量见表 8。

在施氮量和施钾量相同的条件下, 随施磷量的提高, 甜菊中 St、R-A 和总苷的单株积累量均呈先升后降的趋势; 其中 100 和 200 mg · kg⁻¹ 处理组的这三项

表 7 不同形态氮肥和施氮量对甜菊中糖苷单株积累量的影响¹⁾Table 7 Effect of different forms and applying amounts of nitrogen fertilizer on accumulation per plant of glycoside in *Stevia rebaudiana* Bertoni¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	单株积累量/g Accumulation per plant			处理 ²⁾ Treatment ²⁾	单株积累量/g Accumulation per plant			处理 ²⁾ Treatment ²⁾	单株积累量/g Accumulation per plant		
	St	R-A	总计 Total		St	R-A	总计 Total		St	R-A	总计 Total
硫酸铵 (NH ₄) ₂ SO ₄				硝酸钠 NaNO ₃				尿素 CO(NH ₂) ₂			
N1 (CK)	0.086	0.153	0.239	N1 (CK)	0.074	0.137	0.211	N1 (CK)	0.070	0.113	0.183
N2	0.086	0.206	0.292	N2	0.075	0.150	0.225	N2	0.068	0.109	0.177
N3	0.073	0.159	0.232	N3	0.072	0.143	0.215	N3	0.068	0.121	0.189
N4	0.060	0.134	0.194	N4	0.077	0.150	0.227	N4	0.064	0.125	0.189
N5	0.055	0.121	0.176	N5	0.054	0.137	0.191	N5	0.051	0.101	0.152
N6	0.036	0.078	0.114	N6	0.050	0.118	0.168	N6	0.047	0.148	0.195

¹⁾ St: 甜菊苷 Stevioside; R-A: 莱鲍迪苷 A Rebaudioside A.

²⁾ N1-N6: 分别相当于纯氮施用量 0、300、600、900、1 200 和 1 500 mg · kg⁻¹ Being equal to applying amount of pure nitrogen of 0, 300, 600, 900, 1 200 and 1 500 mg · kg⁻¹, respectively.

表8 不同施磷量和施钾量对甜菊中单株糖苷积累量的影响¹⁾Table 8 Effect of different applying amounts of phosphate and potassium fertilizers on accumulation per plant of glycoside in *Stevia rebaudiana* Bertoni¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	单株积累量/g Accumulation per plant			处理 ³⁾ Treatment ³⁾	单株积累量/g Accumulation per plant		
	St	R-A	总计 Total		St	R-A	总计 Total
P1 (CK)	0.054	0.103	0.157	K1 (CK)	0.040	0.073	0.113
P2	0.059	0.131	0.190	K2	0.052	0.106	0.158
P3	0.057	0.124	0.181	K3	0.060	0.117	0.177
P4	0.049	0.102	0.151	K4	0.068	0.137	0.205
P5	0.040	0.089	0.129	K5	0.066	0.123	0.189

¹⁾ St: 甜菊苷 Stevioside; R-A: 莱鲍迪苷 A Rebaudioside A.

²⁾ P1-P5: 分别相当于 P₂O₅ 施用量 0、100、200、300 和 400 mg · kg⁻¹ Being equal to applying amount of P₂O₅ of 0, 100, 200, 300 and 400 mg · kg⁻¹, respectively.

³⁾ K1-K5: 分别相当于 K₂O 施用量 0、300、600、900 和 1 200 mg · kg⁻¹ Being equal to applying amount of K₂O of 0, 300, 600, 900 and 1 200 mg · kg⁻¹, respectively.

指标均高于对照,并以 100 mg · kg⁻¹ 处理组最高,分别较对照增加 9.3%、27.2% 和 21.0%。

在施氮量和施磷量相同的条件下,随施钾量的提高,甜菊中 St、R-A 和总苷的单株积累量均呈先升后降的趋势。各处理组的这 3 项指标均高于对照,并以 900 mg · kg⁻¹ 处理组最高,分别较对照增加 70.0%、87.7% 和 81.4%。

3 讨论和结论

3.1 施肥量对甜菊生长的影响效应

氮、磷、钾是植物生长中最重要的营养元素。施用氮肥可以促进植株对氮的吸收及增加叶绿素含量,并可促进植物生长、增强光合作用、增加干物质的积累和产量。如:氮肥可促进药用菊花 [*Dendranthema morifolium* (Ramat.) Tzvel.] 的生长和花芽分化,提高菊花产量,但是影响菊花的药用品质,推荐施氮量为 0.30~0.40 g · kg⁻¹^[21];高氮 (24 mmol · L⁻¹) 处理能促进广藿香 [*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.] 分蘖抽枝,并大幅度提高单株产量^[22];施用 450 kg · hm⁻² 氮肥可促进超高产玉米 (*Zea mays* Linn.) 的光合作用,显著提高籽粒产量^[23]。本研究中,不同类型氮肥对甜菊幼苗单株叶干质量的影响效应不同,以硫酸铵、硝酸钠和尿素中纯氮施用量分别达到 64.87、660.21 和 735.84 mg · kg⁻¹ 时甜菊幼苗单株叶干质量最高,分别为 1.253、1.461 和 1.291 g。

磷对植物的生长发育,特别是对花的发育和果实的形成有重要的促进作用,但不同植物适应的磷水平存在较大差异。如:增施磷肥能促进药用菊花的生长

和花芽分化,并显著提高其鲜花的产量和外观品质,且生育期内磷肥用量以 0.25~0.27 g · kg⁻¹ 为宜^[24];随磷素水平的提高,闽楠 [*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang] 苗高和总生物量均呈先升高后稳定的趋势,推荐单株施磷量为 22.5~30.0 mg^[25];供磷可促进杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 幼苗植株和各器官生物量的增加^[26]。本研究中,当施磷量为 211.54 mg · kg⁻¹ 时,甜菊幼苗单株叶干质量最高,达到 1.386 g。

钾是植物光合作用中不可缺少的矿质元素之一,植株缺钾可导致叶尖和叶缘枯死、叶色变黄,施钾可改善叶绿体的结构和功能,提高叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的含量,对植物增产具有明显作用,但不同植物适应的钾水平有较大差异。如:施用 100~400 mg · kg⁻¹ 外源 KCl 可以有效促进长春花 [*Catharanthus roseus* (Linn.) G. Don] 的生长,但过量供应钾肥则抑制长春花的生长^[27];甜荞麦 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 籽粒产量随施钾量的提高呈先升后降的趋势,在施钾量 45 kg · hm⁻² 时达到最高^[28]。本实验中,当施钾量为 775.92 mg · kg⁻¹ 时甜菊幼苗单株叶干质量最高,达到 1.534 g,表明钾肥对甜菊幼苗单株叶干质量有显著的促进作用,且施用钾肥可使甜菊幼苗的株高、茎粗、叶长和单株茎干质量一定程度增加。

由此可见,氮肥、磷肥、钾肥的施用量对甜菊幼苗生长有较大影响,在生产实践中应根据肥料种类、栽种时期、土壤养分含量以及植株发育时期来确定适宜的施肥量。

3.2 施肥量对甜菊叶片中糖苷含量的影响效应

在甜菊糖苷中,莱鲍迪苷 A (R-A) 的甜味与蔗糖

接近,而甜菊苷(St)略有苦味,由于 St 和 R-A 的总量约占总苷含量的 90%,因此其比例也决定了甜菊糖苷的味质^[29]。本研究中,增施 3 种形态氮肥均可使甜菊叶片中 St 含量降低,使莱鲍迪苷 A 含量占总苷含量的百分率(P_{R-A})提高,因此增施氮肥有利于改善甜菊糖苷的味质。赵福成等^[30]认为,合理施氮能增加玉米籽粒中的糖分,改善品质,使玉米籽粒中可溶性糖和蔗糖含量提高,且均在施氮量 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时最高;彭天沁等^[31]的研究结果表明:适当施用尿素,可使黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.)果实中可溶性固形物和可溶性糖含量提高、酸度降低。由此可见,适量施用氮素均能有效改善植株有用部位的品质。

本研究中,各施磷处理组甜菊叶片中 St 和总苷的含量以及甜菊苷含量占总苷含量的百分率(P_{St})均低于对照,而 R-A 含量高于对照且以施磷量 $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 P_{R-A} 最高,较对照增加 5.3%。但整体上看,施磷量对甜菊叶片中糖苷含量的影响较小。本研究中,各施钾处理组 St、R-A 和总苷含量以及 P_{R-A} 均高于对照,以施钾量 $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 St、R-A 和总苷的含量最高,而施钾量 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 P_{R-A} 最高,可见施用适量钾肥能改善甜菊味质。李录久等^[32]的研究结果显示:施用适量钾肥后生姜(*Zingiber officinale* Rosc.)块茎的粗蛋白质、 V_C 和可溶性糖含量相应提高,且均在施钾量 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时最高;郭熙盛等^[33]认为,钾肥可显著提高结球甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata* Linn.)中 V_C 和营养元素的含量。由此可见,适量施用钾肥也可改善植株有用部位的营养品质。

本研究结果还显示:施用适量氮肥可使甜菊中 R-A 和总苷的单株积累量增加,并可使 St 单株积累量下降;施磷量 100 和 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 St、R-A 和总苷的单株积累量均高于对照,且均在施磷量 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 条件下最高;施用钾肥均可使甜菊中 St、R-A 和总苷的单株积累量提高,且均在施钾量 $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时最高。表明适量施用氮肥、磷肥、钾肥对甜菊中糖苷单株积累量有明显影响。

3.3 不同形态氮素对甜菊生长和糖苷含量的影响效应

在植物的生长过程中需要不同形态的氮源,其中,铵态氮、硝态氮和酰胺态氮是植物吸收的主要氮素形态。本研究结果表明:适量施用铵态氮、硝态氮和酰胺态氮(即硫酸铵、硝酸钠和尿素)均有利于促进甜菊生长、增加单株叶干质量,但却导致甜菊苷含量

降低。樊卫国等^[34]发现:单一施用酰胺态氮、铵态氮或硝态氮不利于铁核桃(*Juglans sigillata* Dode)实生苗叶片光合同化物的积累及营养元素的吸收;黄武杰等^[35]认为,施用酰胺态氮对晚稻(*Oryza sativa* Linn.)有一定的增产作用;不同形态氮素对樱桃番茄(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Alef.)果实发育和品质有一定影响,其中全硝和铵硝配施可使其单果质量有一致的变化,而成熟期铵硝配施则可使其单果质量更大,且不同形态氮素处理下果实总糖含量均呈先升后降的变化趋势^[36]。由此可见,不同形态氮肥对植物产量和品质的影响效应有一定差异。综合考虑 3 种形态氮肥对甜菊生长、糖苷含量尤其是糖苷味质的影响,施用尿素对甜菊较为适宜。

综上所述,在甜菊生长期应合理施肥,建议甜菊生育期内以尿素为氮肥,推荐施氮量(纯氮) $600 \sim 900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、施磷量(P_2O_5) $200 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、施钾量(K_2O) $600 \sim 900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] GEUNS J M C. Stevioside[J]. *Phytochemistry*, 2003, 64: 913-921.
- [2] 黄耀亚. 甜叶菊茎叶生药性状及组织的研究[J]. *吉林农业大学学报*, 1986, 8(2): 21-26.
- [3] SINGH S D, RAO G P. Stevia: the herbal sugar of 21st century[J]. *Sugar Tech*, 2005, 7: 17-24.
- [4] TADHANI M B, PATEL V H, SUBHASH R. *In vitro* antioxidant activities of *Stevia rebaudiana* leaves and callus[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2007, 20: 323-329.
- [5] 韩玉林, 黄苏珍, 张坚勇, 等. 甜菊良种的单株选育[J]. *植物资源与环境学报*, 2002, 11(1): 25-28.
- [6] 杨永恒, 黄苏珍, 佟海英. 甜菊不同杂交组合结实率及其 F_1 代萌发和生长及对 NaCl 耐性的比较[J]. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(2): 73-78.
- [7] 杨敬敏, 黄苏珍, 杨永恒. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 及离子束注入对甜菊杂交后代种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2013, 22(2): 52-58.
- [8] 韩玉林, 黄苏珍, 汪鸿江, 等. 甜菊扦插繁殖快速成苗的研究[J]. *特产研究*, 2001(2): 36-37.
- [9] SHENG R L, YUAN H Y, HUANG S Z. Influences of Na_2CO_3 stress on physiological metabolisms of different alkali tolerant varieties of *Stevia rebaudiana* [J]. *Agricultural Science and Technology*, 2011, 12: 1837-1841.
- [10] 绳仁立, 佟海英, 柴翠, 等. NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗生长的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(2): 60-67.
- [11] YANG Y H, HUANG S Z, HAN Y L, et al. Environmental cues induce changes of steviol glycosides contents and transcription of corresponding biosynthetic genes in *Stevia rebaudiana* [J]. *Plant*

- Physiology and Biochemistry, 2015, 86: 174-180.
- [12] 原海燕, 绳仁立, 黄苏珍. 甜叶菊不同品种对盐胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学, 2011(1): 106-109.
- [13] 刘超, 李来生, 许丽丽, 等. 高效液相色谱法测定甜叶菊糖中的甜菊苷和莱鲍迪苷 A[J]. 分析试验室, 2007, 26(7): 23-26.
- [14] 李爱峰, 孙爱玲, 柳仁民, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射测定甜菊糖中甜菊糖苷和莱鲍迪苷 A 的含量[J]. 食品工业科技, 2011, 32(4): 373-375.
- [15] 邹盛勤, 姜琼. 反相高效液相色谱法测定甜叶菊中 A 苷甜菊糖和甜菊苷含量[J]. 中国调味品, 2014, 39(6): 121-123.
- [16] 张雪颖, 徐仲伟, 战宇, 等. 酶法浸提甜菊糖甙的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 190-192.
- [17] 李国清, 马磊, 石岩. 不同钾肥处理对甜叶菊生长发育及叶产量的影响[J]. 中国糖料, 2011(1): 36-38.
- [18] ALADAKATTI Y R, PALLED Y B, CHETTI M B, et al. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium levels on growth and yield of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) [J]. Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25: 25-29.
- [19] 栾良福, 臧传江, 李绪太, 等. 甜菊施肥配比试验简报[J]. 中国糖料, 1998(4): 25-32.
- [20] DENG B, SHANG X, FANG S, et al. Integrated effects of light intensity and fertilization on growth and flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 6286-6292.
- [21] 刘大会, 朱端卫, 郭兰萍, 等. 氮肥用量对药用菊花生长及其药用品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 188-195.
- [22] 卢丽兰, 杨新全, 杨勇, 等. 不同供氮水平对广藿香产量与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 702-708.
- [23] 景立权, 赵福成, 刘萍, 等. 施氮对超高产夏玉米干物质及光合特性的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(2): 317-326.
- [24] 刘大会, 刘伟, 朱端卫, 等. 磷肥施用量对药用菊花生长、产量和养分吸收的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(5): 1575-1580.
- [25] 王东光, 尹光天, 杨锦昌, 等. 磷肥对闽楠苗木生长及叶片氮磷钾浓度的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(3): 40-44.
- [26] 于钦民, 徐福利, 王渭玲. 氮、磷肥对杉木幼苗生物量及养分分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 118-128.
- [27] 宋姗姗, 隆小华, 刘玲, 等. 不同钾肥用量对长春花盛花期生长和生物碱含量的影响[J]. 土壤, 2011, 43(6): 935-940.
- [28] 侯迷红, 范富, 宋桂云, 等. 钾肥用量对甜荞麦产量和钾素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 340-346.
- [29] SOEJARTO D D, KINGHORN A D, FARNSWORTH N R. Potential sweetening agents of plant origin. III. Organoleptic evaluation of *Stevia* leaf herbarium samples for sweetness [J]. Journal of Natural Products, 1982, 45: 590-599.
- [30] 赵福成, 景立权, 闫发宝, 等. 施氮量对甜玉米产量、品质和蔗糖代谢酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 45-54.
- [31] 彭天沁, 徐刚, 高文瑞, 等. 不同氮肥施用量对无土栽培黄瓜产量和营养品质的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(4): 39-42.
- [32] 李录久, 王家嘉, 姚殿立, 等. 不同钾肥用量对生姜生长和营养品质的影响[J]. 土壤, 2014, 46(2): 245-249.
- [33] 郭熙盛, 王文军, 武际, 等. 不同钾肥用量和品种对结球甘蓝产量品质和养分吸收的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2006, 33(1): 35-39.
- [34] 樊卫国, 葛慧敏, 吴素芳, 等. 不同形态氮素及其配比对铁核桃实生苗叶片光合特性和养分含量的影响[J]. 果树学报, 2013, 30(3): 437-443.
- [35] 黄武杰, 李少泉. 不同形态氮素肥料对水稻产量的影响[J]. 广西农学报, 2000(3): 23-36.
- [36] 徐新娟, 李庆余, 孙瑞, 等. 不同形态氮素对樱桃番茄果实发育和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1425-1432.

(责任编辑: 张明霞)