

施钾对甜叶菊糖苷跃变期生理指标和产量品质的影响

张靖^{1,2}, 谢忠清^{1,2}, 贾蕊鸿³, 刘强^{1,2}, 王祎⁴, 赵玺^{1,2}, 张亚萍^{1,2}
(1. 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃 武威 733006; 2. 甘肃-安徽甜叶菊资源评价与综合利用实验室, 甘肃 武威 733006; 3. 甘肃省耕地质量建设保护总站, 甘肃 兰州 730020; 4. 武威市凉州区农业技术推广中心, 甘肃 武威 733000)

摘要: 为提高河西绿洲灌区甜叶菊产量和品质, 提升该区甜叶菊市场竞争力。以谱星6号为试验材料, 比较了不同施钾水平(K_2O 0、60、90、120、150 kg/hm²)对甜叶菊糖苷跃变期生理指标以及产量品质的影响。结果表明, 不同施钾处理下, 甜叶菊整个糖苷跃变期叶片各生理指标含量达到峰值的时间有所不同, 叶片SOD活力、含钾量均在现蕾前5 d达到最高, 可溶性蛋白、SPAD值、含氮磷量、总苷含量以及叶片干物质在现蕾初期达到最高, POD活力、可溶性糖含量在现蕾后5 d达到最高, 以上各指标均以施用 K_2O 120 kg/hm²处理表现最佳。其中总苷含量最高, 达128.4 g/kg, 较不施钾肥增加14.19%; 产量也最高, 达7 007.64 kg/hm², 较不施钾肥增加57.24%; 净收益达5.26万元/hm², 比不施钾多3.40万元/hm²。通过甜叶菊叶片理化指标与产量品质的相关性分析, 以上各生理指标与产量品质均呈现显著或者极显著的正相关关系。在当地甜叶菊生产中施用 K_2O 120 kg/hm², 且在现蕾初期采摘叶片可获得较好收益。

关键词: 钾肥; 甜叶菊糖苷跃变期; 生理指标; 产量与品质; 河西绿洲灌区

中图分类号: R282

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)02-0148-07

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.02.011

Effects of Potassium Fertilization on Physiological Indexes, Yield and Quality of *Stevia rebaudiana* during Steviol Glycoside Transition Period

ZHANG Jing^{1,2}, XIE Zhongqing^{1,2}, JIA Ruihong³, LIU Qiang^{1,2}, WANG Yi⁴, ZHAO Xi^{1,2}, ZHANG Yaping^{1,2}
(1. Gansu Academy of Agricultural Engineering and Technology, Wuwei Gansu 733006, China; 2. Gansu-Anhui Stevia Resources Evaluation and Comprehensive Utilization Laboratory, Wuwei Gansu 733006, China; 3. Gansu Provincial General Station for Construction and Protection of Cultivated Land Quality, Lanzhou Gansu 730020, China; 4. Liangzhou District Agricultural Technology Extension Centre, Wuwei Gansu 733000, China)

Abstract: In order to increase the yield and quality of *Stevia rebaudiana* in Hexi Oasis Irrigation Area and to improve the market competitiveness of *Stevia rebaudiana* in the region, Puxing 6 was used as the test material and the effects of different levels of potassium fertilizer (K_2O at 0, 60, 90, 120, 150 kg/ha, respectively) on the physiological indexes, yield and quality of stevioside during the transition period were compared. The results showed that under different potassium fertilization treatments, the timings when the content of each physiological index in the leaves of *Stevia rebaudiana* reached the peak value during the whole glycoside climacteric stage were different. The SOD activity and potassium content of the leaves peaked 5 days before budding, and the soluble protein content, SPAD value, contents of nitrogen and phosphorus, total glycosides content and dry matter content of leaves peaked at the initial stage of budding, and POD activity and soluble sugar content peaked 5 days after budding. The above indexes all performed the best in the treatment of 120 kg/ha among which the total glycosides content under this treatment yielded the highest number of 128.4 g/kg which was 14.19% higher compared with that of the control, yield under this treatment reached 7 007.64 kg/ha which was 57.24% compared with that of the control, and the net income reached 52 600 RMB/ha which was 34 000 RMB/ha more than that of the control. The correlation analysis of the above physiological indicators showed a significant or extremely significant

收稿日期: 2022-09-05; 修订日期: 2022-10-29

基金项目: 甘肃省青年科技基金计划项目(20JR5RA072、20JR10RA484); 甘肃省知识产权计划-知识产权运用项目(22ZSCQ050)。

作者简介: 张靖(1990—), 女, 甘肃会宁人, 助理研究员, 主要从事植物营养与作物栽培研究工作。Email: 756507942@qq.com。

通信作者: 谢忠清(1967—), 男, 甘肃民勤人, 高级农艺师, 主要从事甜叶菊品种选育与栽培研究工作。Email: 1072207627@qq.com。

positive correlation with yield and quality data. To sum up, it is recommended to apply 120 kg/ha of potassium (K_2O) in local stevia production, and to harvest leaves at the early stage of budding to obtain better economic benefits.

Key words: Potash fertilizer; Steviol glycoside transition period; Physiological index; Yield and quality; Hexi Oasis Irrigation Area

甜叶菊(*Stevia rebaudiana* Bertoni)为菊科多年生草本植物,原产于南美洲,20世纪80年代引入中国,其有效成分甜菊糖苷(*Steviol glycosides*)是一种高甜度、低热量的天然甜味剂,因其具有降血糖、降血压等方面的药理作用而备受关注^[1-3]。甘肃河西绿洲地区作为我国主要的农作物育种基地,其特殊的生态环境和气候特点极利于甜叶菊养分以及糖苷积累^[4]。随着市场对甜菊糖苷需求量的增大,该区的甜叶菊繁育种植面积也逐年提升,目前甜叶菊已成为农户增产增收的主要经济作物之一^[5-6]。但随着人们生活水平的不断提升,以及农业种植成本的增加,市场对甜叶菊的产量和品质有了更高的要求,使得甜叶菊市场竞争压力增大。前期的观察和调研发现,甜叶菊植株生长存在糖苷跃变特性,主要表现为甜叶菊营养生长至生殖生长初期糖苷呈现不断累加的状态,直至达到整个生育期的最高峰,进入生殖生长后糖苷含量快速下降且叶片大量分化变小^[7]。因此分析探究糖苷含量和叶片产量最高峰峰值的影响因素,可有效指导甜叶菊增产增收。

钾元素作为植株生长所需要的大量元素之一,对作物的生理活动、营养生长和生殖生长等方面均有重要作用^[8-9]。大量研究表明,合理施用钾肥可以显著提高作物叶绿素、可溶性蛋白含量,提高超氧化物歧化酶SOD、过氧化物酶POD等抗氧化酶活性,提升整个植株的抗氧化能力,延缓衰老,从而间接影响作物品质,过量施用反而达不到良好效果^[10-11]。甜叶菊属于喜钾作物,整个生长期需要从土壤中吸收大量的钾素,以满足其生长发育^[12-14]。近年来,前人关于甜叶菊的研究主要集中于药理药性、品种选育等方面^[15-16],对规范化栽培也有报道^[1,4],但关于施钾肥对甜叶菊糖苷跃变期的影响鲜见报道。我们以施钾对甜叶菊糖苷跃变期理化指标以及最终产量品质的影响为切入点,通过大田试验中不同水平钾肥的栽培处理,分析探究了甜叶菊叶片抗氧化酶、养分含量以及产量、糖苷含量的变化规律,以期达到甜叶

菊高产优质增效目的,为当地甜叶菊生产科学施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在武威黄羊镇甘肃省农业工程技术研究院试验基地,试验区海拔1740 m,属于河西走廊石羊河流域。年平均气温约7.5℃,年均降水量约190 mm,年均日照时数达2724 h,无霜期150 d左右。试验地耕层0~20 cm土壤含有有机质16.59 g/kg、全氮1.73 g/kg、有效磷42.31 mg/kg、速效钾138 mg/kg, pH 8.65,电导率736 $\mu S/cm$ 。

1.2 供试材料

供试甜叶菊材料为谱星6号(谱赛科生物技术有限公司提供)扦插苗,由甘肃省农业工程技术研究院培育。供试肥料为尿素(N 46%),甘肃刘家峡化工集团有限责任公司生产;普通过磷酸钙(P_2O_5 16%),由甘肃白银虎豹磷肥化工有限公司生产;硫酸钾(K_2O 24%),由甘肃白银虎豹磷肥化工有限公司生产。

1.3 试验设计

试验共设5个处理。T0(CK),不施钾肥;T1,以常规的50%施用钾肥(K_2O)60 kg/hm²;T2,以常规的75%施用钾肥(K_2O)90 kg/hm²;T3,常规施钾肥(K_2O)120 kg/hm²;T4,以常规的125%施用钾肥(K_2O)150 kg/hm²。各处理均施N 300 kg/hm²、 P_2O_5 90 kg/hm²。随机区组排列,3次重复,小区面积28 m²(7 m×4 m)。甜叶菊幼苗于2021年5月12日移栽。移栽前先将全部的磷肥和1/3的氮钾肥作为底肥深翻施入,再将土地平整后,不起垄直接覆膜,膜幅宽1.0 m,膜间距0.45 m,每膜下设2条滴灌带。行距0.20 m,株距0.25 m。定植后立即滴灌,滴水至每株甜叶菊苗底部有小水坑为止,以确保移栽后的成活率,7 d后补苗。氮钾肥剩余的2/3分3次分别在移栽后约40、70、100 d随水滴入。其他管理方式同当地大田。

1.4 测定指标与方法

分别于现蕾前10 d(9月10日)、5 d(9月15

日), 现蕾期(9月20日), 现蕾后5d(9月25日)、10d(9月30日)9:00—11:00时, 每小区选取5株长势均匀一致的植株主枝上部的第5片完全叶, 用叶绿素速测仪直接测定叶绿素 SPDA 值, 之后摘取该类叶片 10~15 片, 置于 -80 °C 冰箱保存, 用于测定其他生理指标。采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定 SOD 活性, 用愈创木酚法测定 POD 活性^[17], 用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白含量^[18], 用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[19]。

每小区另外选取长势均一的甜叶菊植株 10 株, 将叶片全部摘下, 带回实验室, 用烘箱 105 °C 杀青 30 min, 70 °C 烘干至恒重后测量干重, 并折算产量。用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后分别测定叶片氮磷钾含量^[20]。用流动分析液相色谱法测定糖苷含量^[21]。

$$Y = [(DW \times TN) / A] \times 10000$$

式中, Y 为产量, DW 为叶片干重, TN 为小区总株数, A 为小区面积。

$$TV = Y \times PD$$

式中, TV 为总产值, PD 为干叶当季收购价。

$$NP = TV - TC$$

式中, NP 为净收益, TC 为总成本。

$$AE = (Y_1 - Y_0) / PA$$

式中, AE 为钾肥农学效率, Y_1 为施钾区植株产量, Y_0 为无钾区植株产量, PA 为施钾量。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2017 和 SPSS 20.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施钾对叶片 SOD 和 POD 活性的影响

由图 1A 看出, 随着生育期的推进, 甜叶菊叶片中的 SOD 活力整体呈现先增加后降低的趋势, 且在现蕾前 5 d(9月15日)达到最高, 之后现蕾时间越长其活力降幅越明显。不同时期各施钾处理比不施钾处理 T0 均具有较强的 SOD 活力, 且表现为 T3>T2>T4>T1。由图 1B 可知, 甜叶菊从营养生长到现蕾后 5 d(9月25日), 一直保持较高的 POD 活力, 随着植株现蕾时间的推迟, 各处理甜叶菊的 POD 活力大幅降低, 整体降低 4.87%~8.51%。以处理 T3、T2 表现较好, 处理 T4 在现蕾后 10 d(9月30日)的 POD 活力降低至 923 U/g。

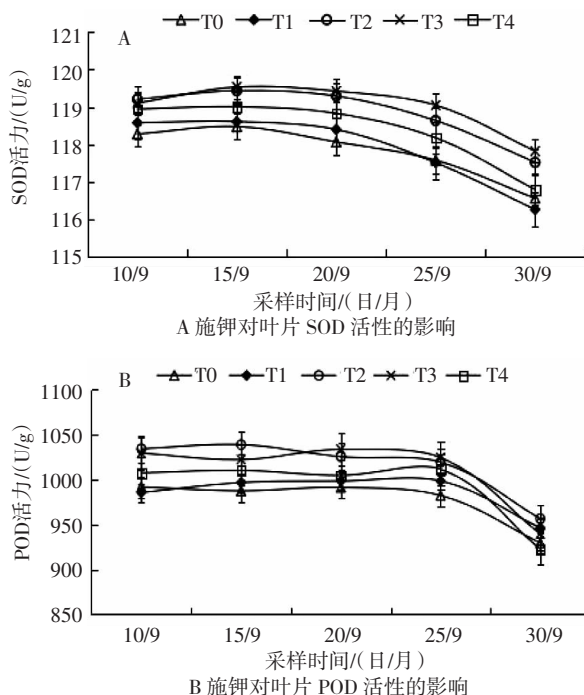


图 1 不同处理对叶片 SOD 和 POD 活性的影响

2.2 施钾对叶片可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

由图 2A 可知, 甜叶菊叶片可溶性蛋白含量随着现蕾期的临近整体略有增高, 从平均 19.63 mg/g 增至 20.03 mg/g, 增加了 2.04%; 现蕾后随即转为下降, 从 19.19~20.79 mg/g 降低至 16.61~18.16 mg/g, 平均降低 13.89%; 不同处理在各时期表现

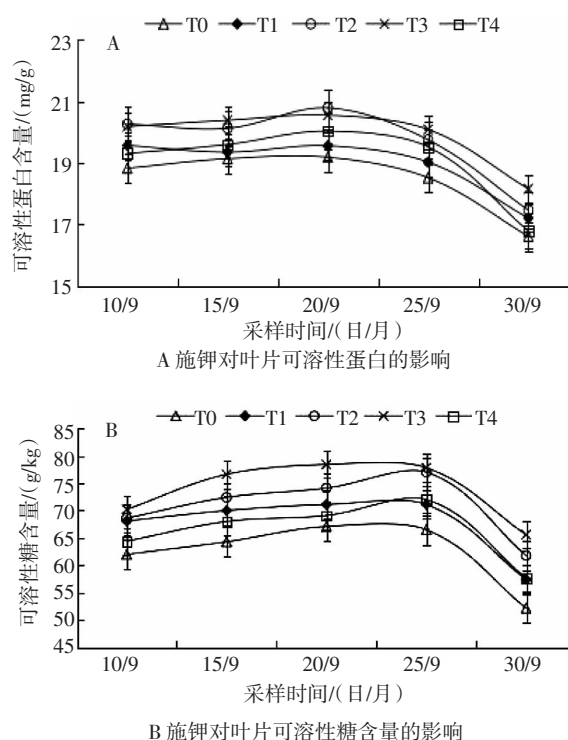


图 2 不同处理对叶片可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

为 T3>T2>T4>T1>T0。由图 2B 可以看出, 现蕾前 10 d(9 月 10 日)至现蕾后 5 d(9 月 25 日), 可溶性糖含量随着生育期的推进呈增加趋势, 但增幅逐渐减小, 各阶段较前一阶段分别增加 5.40%、2.42%、1.28%; 现蕾后 10 d(9 月 30 日)可溶性糖含量急剧降低, 从 66.5~77.8 g/kg 降低至 52.2~65.6 g/kg, 平均降低 19.13%; 在整个糖苷跃变期, 可溶性糖含量以处理 T3 最高。

2.3 施钾对叶片叶绿素含量的影响

由表 1 可知, 甜叶菊叶片叶绿素含量在糖苷跃变期整体呈先增后降的趋势, 其中在现蕾期(9 月 20 日)达到最高, 为 48.97~51.67, 各时期不同处理间以 T3 表现最好。现蕾前 10 d(9 月 10 日), 除了处理 T3, 其他施钾处理相比处理 T0 变化不显著, 但随着施钾量的增加, 绿素含量呈先增加后降低的趋势。现蕾前 5 d(9 月 15 日), 各施钾处理均显著高于处理 T0。现蕾期(9 月 20 日), 各处理之间表现为 T3>T2>T1>T4>T0。现蕾后, 叶片叶绿素逐渐降低至 41.83~46.97, 平均降低了 11.98%。施钾处理中以处理 T4 最低, 与其余处理的差异均达显著水平, 说明随着生育期的推进过量施钾不能提高甜叶菊叶片叶绿素含量。

2.4 施钾对叶片养分含量的影响

由表 2 可知, 在现蕾前 10 d(9 月 10 日), 处理 T3、T4 叶片含氮量显著高于处理 T2、T1, 显著高于处理 T0, 其中处理 T3 比处理 T0 高 54.49%; 现蕾前 5 d(9 月 15 日)各处理之间差异均显著, 表现为 T3>T4>T2>T1>T0; 现蕾期(9 月 20 日), 各施钾肥处理的含氮量均达到整个糖苷跃变期的最大值, 为 23.5~26.4 g/kg, 其中处理 T3 显著高于其他处理。现蕾后 5 d(9 月 25 日)较现蕾前, 除处理 T0 外含氮量均略有降低, 随着现蕾期的继续推进, 叶片含氮量整体下降, 其中施钾处理较现蕾期(9 月 20 日)降低 19.01%~23.99%。叶

片含磷量变化趋势呈现抛物线型, 且以现蕾期(9 月 20 日)最高, 为 1.7~2.2 g/kg; 这一时期以处理 T3 表现最好, 相比处理 T0 增加 29.41%, 比处理 T4 增加 15.79%。叶片含钾量整体在现蕾前 5 d(9 月 15 日)已达最大, 其最高值相对含磷量有所提前, 且该时期各处理表现为 T3>T4>T2>T1>T0, 其中处理 T3 比处理 T0 增加 19.59%。

表 2 不同处理各生育期叶片氮磷钾含量 g/kg

养分	处理	9月10日	9月15日	9月20日	9月25日	9月30日
氮	T0	16.7 d	17.1 e	19.2 d	20.2 c	18.2 c
	T1	21.0 c	21.3 d	23.5 c	21.2 c	19.0 b
	T2	23.8 b	24.1 c	25.0 b	22.1 bc	19.2 b
	T3	25.8 a	26.2 a	26.4 a	25.2 a	20.1 a
	T4	25.0 a	25.0 b	24.6 b	23.5 ab	19.2 b
磷	T0	1.7 a	1.7 c	1.7 c	1.8 bc	1.3 c
	T1	1.7 a	1.7 c	2.0 ab	1.8 bc	1.6 ab
	T2	1.8 a	1.9 a	2.1 ab	1.9 b	1.5 abc
	T3	1.8 a	1.8 b	2.2 a	2.1 a	1.7 a
	T4	1.7 a	1.8 b	1.9 b	1.7 c	1.5 bc
钾	T0	9.2 d	9.7 c	9.0 b	8.6 d	8.0 b
	T1	10.3 c	10.5 b	9.6 ab	9.4 c	8.9 a
	T2	10.5 bc	10.8 b	9.7 ab	9.7 b	9.2 a
	T3	11.1 a	11.6 a	10.2 a	10.1 a	9.3 a
	T4	10.9 ab	11.4 a	9.9 ab	9.5 bc	8.9 a

2.5 施钾对叶片干物质量的影响

由图 3 可知甜叶菊叶片干重在现蕾前 10 d(9 月 10 日)为 32.66~51.32 g/株, 各处理间表现为 T3>T1>T2>T4>T0, 其中处理 T3 比处理 T0 增加 57.11%。随着生育期的推进, 各处理的叶片干重进一步增加, 至现蕾前 5 d(9 月 15 日)为 34.33~52.98 g/株, 相对前一生育阶段增加 3.25%~9.86%。现蕾期(9 月 20 日)各处理叶片干重为 39.00~61.32 g/株, 均达到甜叶菊整个生育期的最大值, 其中处理 T3 显著高于其他处理, 比处理 T2、T1 分别增加 13.63%、22.12%, 较处理 T4 增加 32.35%, 较处理 T0 增加 57.24%。现蕾后叶片干重开始下降,

表 1 不同处理各生育期对叶片 SPDA 值的影响

处理	9月10日	9月15日	9月20日	9月25日	9月30日
T0	47.90±0.17 bc	47.23±0.45 d	48.97±0.06 c	47.63±0.35 d	41.83±0.64 d
T1	47.17±0.15 c	47.97±0.35 c	50.30±0.30 b	50.30±0.26 b	44.50±0.55 b
T2	48.03±0.06 b	48.67±0.35 ab	51.30±0.35 a	51.17±0.06 a	44.37±0.15 b
T3	48.90±0.95 a	48.93±0.06 a	51.67±0.25 a	51.67±0.49 a	46.97±0.06 a
T4	48.30±0.00 ab	48.23±0.45 bc	49.20±0.26 c	48.70±0.10 c	43.60±0.30 c

直至现蕾后 10 d (9 月 30 日) 叶片干重下降至 30.33~54.65 g/株, 下降了 6.64%~22.22%, 但仍以处理 T3 最高。

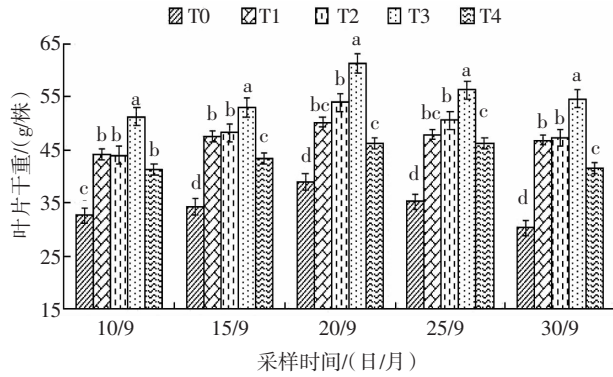
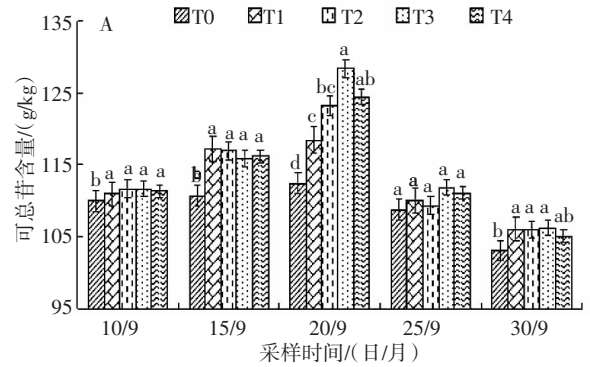


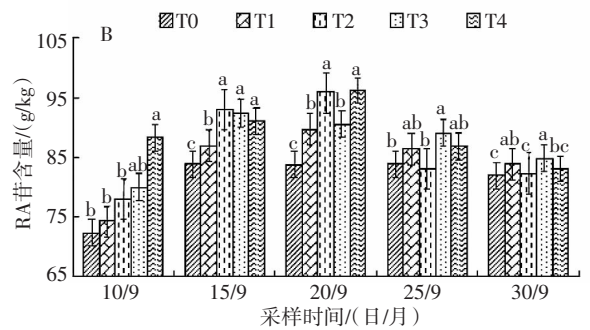
图 3 不同处理对叶片干物质质量的影响

2.6 施钾对叶片糖苷含量的影响

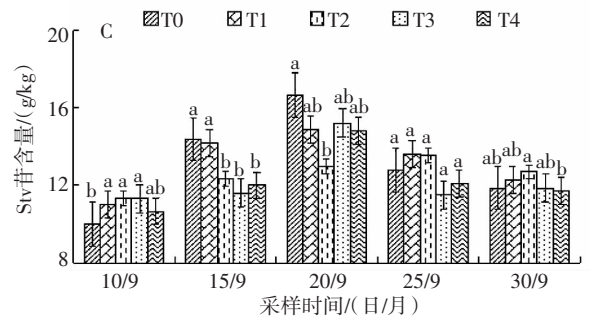
甜菊糖苷是各类糖苷的总称, 主要由大量的莱菔迪苷 A (Rebaudiosides A, RA)、甜菊苷 (Stevioside, Stv) 以及少量的莱菔迪苷 B (Rebaudiosides B, RB)、莱菔迪苷 C (Rebaudiosides C, RC)、杜尔可苷 A (Dulcoside A, DA) 等组成^[7]。由图 4A 可知, 叶片总苷含量在整个糖苷跃变期呈现先增后降的趋势, 其中在现蕾期 (9 月 20 日) 达到最高, 为 112.4~128.4 g/kg; 现蕾前, 各施钾处理之间变化不显著, 但均显著高于处理 T0; 现蕾期 (9 月 20 日) 各处理间差异显著, 其中处理 T3 比处理 T4、T2、T1、T0 分别增加 3.13%、4.22%、8.36%、14.19%; 现蕾后随着时间的增长, 处理间才出现差异。由图 4B 可知, 甜叶菊叶片 RA 苷含量占总苷的 65.80~79.81%, 且整体变化趋势与总苷一致。现蕾前, 施钾量越多 RA 苷含量显著增加; 到现蕾期 (9 月 20 日), 各处理 RA 苷含量均达到最高值, 为 83.8~96.2g/kg。现蕾后叶片 RA 苷含量降低, 各处理相较最高时降低 2.09%~14.18%, 平均降低 8.78%。由图 4C 可知, 甜叶菊叶片 Stv 苷含量平均占总苷含量的 11.25%, 除处理 T2 外各处理在现蕾期达到最高。



A 施钾对叶片总苷含量的影响



B 施钾对叶片 RA 苷含量的影响



C 施钾对叶片 Stv 苷含量的影响

图 4 不同处理对叶片糖苷含量的影响

2.7 各理化指标与产量品质的相关性分析

对甜叶菊生长旺期即现蕾期 (9 月 20 日) 各指标进行了相关分析。由表 3 可知, 甜叶菊叶片各理化指标与产量、品质均呈正相关。其中 SOD 活力、POD 活力、可溶性蛋白、可溶性糖和含磷量与总苷含量以及叶片产量极显著相关; SPDA 值与总苷含量显著相关, 与产量极显著相关; 含氮量

表 3 各理化指标与产量品质的相关性^①

	SOD活力	POD活力	可溶性蛋白	可溶性糖	SPAD	氮	磷	钾
总苷	0.793**	0.790**	0.791**	0.677**	0.595*	0.781**	0.682**	0.533*
产量	0.783**	0.880**	0.790**	0.840**	0.910**	0.611*	0.864**	0.593*

①** 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; * 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

与总苷含量极显著相关, 与产量显著相关; 含钾量与总苷以及产量均显著相关。

2.8 施钾对产值和肥料利用率的影响

甜叶菊叶片的最终产值以叶片干重计价。由表 4 可知, 不同施钾处理下甜叶菊叶片产量以处理 T3 最高, 达到 7 007.64 kg/hm², 且显著高于其他处理, 相比处理 T4 增产 32.35%, 较处理 T0 增产 57.24%。通过适量施钾可显著提高甜叶菊总产值, 且可达 9.81 万元 /hm², 抵扣成本之后, 净收益可达 5.26 万元 /hm², 显著高于低钾(T1、T2)和过量施钾(T4)处理, 且相比过量施钾净收益增加 87.19%。钾肥农学效率, 处理 T3 以及处理 T1、T2 均显著高于处理 T4。

3 讨论与结论

超氧化物歧化酶 SOD 和过氧化物酶 POD 是反映植株细胞新陈代谢能力高低的主要酶类^[22]。本研究中, 随着生育期的推进, 甜叶菊叶片中的 SOD 活力整体呈现先增高后降低的趋势, 且在现蕾前达到最高, POD 活力一直到现蕾后 5 d, 均保持相对较高水平。随后各处理均大幅降低, 此变化趋势与胡秀英^[7]的研究相类似, 这可能与甜叶菊植株从叶片的营养生长进入花芽分化的生殖生长阶段, 前期叶片生长旺盛, 各种酶促反应活跃, 后期进入生殖生长后植株逐渐衰老, 叶片中各种酶促反应逐渐减弱有关。不同处理间均以施钾 120 kg/hm² 表现最好, 说明适量施用钾肥能够显著提高甜叶菊叶片 SOD 和 POD 活性, 这在其他作物上表现出相同规律^[10-11]。

可溶性蛋白参与调节植物各种生理活动^[23]。本试验中, 甜叶菊叶片中可溶性蛋白和 SPAD 值均随着生育期的推进呈现先增高后降低的趋势,

以现蕾期最高, 可溶性糖含量的最高值出现在现蕾后 5 d, 这可能与叶片出现分化有关, 且均以施钾 120 kg/hm² 处理表现最好, 这与孙常青等人的研究结果类似^[24]。过量施钾 (150 kg/hm²) 处理下, 可溶性蛋白、SPAD 值、可溶性糖含量相比施钾 120 kg/hm² 处理有所下降, 这可能是因为钾素作为酶促反应的活化剂, 在一定浓度范围内对甜叶菊叶片内部的各种生理活动有促进作用, 过量反而出现毒害现象。

本试验中, 各施钾处理下甜叶菊叶片含 N、P 量以及叶片干重在现蕾期均达到最大值; 叶片含钾量整体在现蕾前 5 d 达到最大。不同处理间, 叶片 N、P、K 含量以施钾 120 kg/hm² 处理最高, 且显著高于其他处理, 这与郭岷江等^[9]研究结果相类似。本研究中, 甜叶菊总苷含量以及叶片总产量均在现蕾期达到最高, 以施钾 120 kg/hm² 处理最佳, 分别为 128.4 g/kg、7 007.64 kg/hm², 比不施钾对照增加 14.19%、57.24%, 这是可能是因为甜叶菊生长前期在适宜的钾素促进下各指标都表现良好, 为后期的产量和糖苷总量奠定了基础, 这与本试验生理指标与甜叶菊产量品质的相关性分析结果一致, 说明甜叶菊前期有效成分的积累有利于产量和品质的生成。本试验中施钾 150 kg/hm² 处理的钾肥农学效率也最低, 净收益相比施钾 120 kg/hm² 处理降低 46.58%, 说明钾肥过量施用并不利于甜叶菊植株吸收利用钾, 且会出现收益降低的情况, 这很可能是因为作物对养分的需求存在上限, 过量施肥会抑制作物对养分的吸收从而出现肥料利用率降低的情况^[25]。

在试验条件下, 甜叶菊叶片中的 SOD、POD、可溶性蛋白、可溶性糖、SPAD、NPK 含

表 4 不同处理的产值与钾肥利用率

处理	产量 (kg/hm ²)	总产值 ^① (万元/hm ²)	总成本 ^② (万元/hm ²)	净收益 (万元/hm ²)	钾肥农学效率 (kg/kg)
T0	4 456.77±84.37 d	6.24±0.12 d	4.38	1.86±0.12 d	
T1	5 738.30±61.71 bc	8.03±0.09 bc	4.47	3.56±0.09 b	21.36±1.03 a
T2	6 166.87±354.61 b	8.63±0.50 b	4.51	4.12±0.50 b	19.00±3.94 a
T3	7 007.64±378.86 a	9.81±0.53 a	4.55	5.26±0.53 a	21.26±3.16 a
T4	5 294.87±346.96 c	7.41±0.48 c	4.60	2.81±0.48 c	5.59±2.32 b

①干叶片当季收购价 14 元/kg, ②总成本包括肥料和其他费用 (机耕费、地膜农药费、水费、土地租赁费、种苗费、人工费等), 其中肥料价格为尿素 3 元/kg, 过磷酸钙 3.25 元/kg, 硫酸 3.5 元/kg。

量、糖苷、干物质积累量均在现蕾期前后 10 d 之内达到最最高。各生理指标均以施钾(K₂O)120 kg/hm² 处理表现最佳, 相比不施钾对照和过量施肥, 均能显著提高叶片品质和产量以及净收益。甜叶菊叶片生理指标与产量品质的相关性分析说明, 植株前期有效成分的积累有利于产量和品质的生成。综上, 建议在当地甜叶菊生产中施钾(K₂O)120 kg/hm², 且在现蕾初期采摘叶片, 以获得较好效益。

参考文献:

- [1] 马 冉, 田英豪, 刘恩琪, 等. 我国甜叶菊栽培技术研究进展[J]. 河北农业科学, 2021, 25(4): 35-38; 62.
- [2] 吴则东, 张文彬, 吴玉梅, 等. 世界甜叶菊发展概况[J]. 中国糖料, 2016, 38(4): 62-65.
- [3] 张 靖, 刘 强, 谢忠清, 等. 柠檬酸与磷肥互作对河西绿洲灌区土壤理化性状及甜叶菊产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(7): 37-42.
- [4] 柴再生, 陈年来, 赵文怀. 河西走廊发展甜叶菊的优势分析及超高产栽培措施[J]. 中国糖料, 2011(1): 50-51; 54.
- [5] 李生德. 甜叶菊及其滴灌高效栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2016(7): 75-77.
- [6] 赵永平. 灌溉和施氮对甜叶菊光合特性和产量品质的调控[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [7] 胡秀英. 甜菊糖苷含量跃变期理化特性及其 SSR 分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [8] 密 扬, 陈剑秋, 王瑞霞, 等. 不同施钾量对淀粉型甘薯光合特性、淀粉含量及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(12): 68-74.
- [9] 郭岷江, 罗照霞, 吕 汰, 等. 钾肥施用量对山旱地马铃薯产量和品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(9): 68-73.
- [10] 李宗泰, 陈二影, 张美玲, 等. 施钾方式对棉花叶片抗氧化酶活性、产量及钾肥利用效率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(3): 487-494.
- [11] 杨秀芳, 梁庆伟, 娜日苏, 等. 钾肥对紫花苜蓿越冬前后根颈抗氧化酶系统及丙二醛含量的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(7): 72-74.
- [12] 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.
- [13] MA L, SHI Y. Effects of potassium fertilizer on physiological and biochemical index of *Stevia rebaudiana* Bertoni[J]. Energy Procedia, 2011(5): 581-586.
- [14] HASSAN F R, SIDEK N J, JAAPAR S S, et al. The effect of potassium concentrations on the growth and development of *Stevia rebaudiana* Bertoni and production of stevioside and rebaudioside A[J]. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 2014, 8(2): 42-51.
- [15] 张 虹, 路国栋, 袁春春, 等. 甜叶菊中 9 种甜菊醇糖苷积累与其生物合成关键基因表达量的相关性[J]. 核农学报, 2022, 36(1): 75-82.
- [16] 陈竞天, 杨云舒, 杨文艺, 等. ⁶⁰Co-γ 射线辐射甜叶菊诱变选育优质耐盐突变体[J]. 北方园艺, 2022(9): 100-108.
- [17] 张桂荣, 张亚宏, 武军艳, 等. 旱作冬油菜越冬期生理特性与抗旱性的关系[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(3): 71-77.
- [18] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1994.
- [19] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国高等教育出版社, 2003.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [21] 唐桃霞, 王致和, 张秀华, 等. 不同品种(系)甜叶菊产量·光合生理和糖苷含量的相关性分析[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(21): 53-57.
- [22] 马新超, 轩正英, 闵昊哲, 等. 水氮耦合对沙培黄瓜叶片抗氧化酶及水氮利用的影响[J]. 节水灌溉, 2022(7): 58-64.
- [23] 刘 慧, 张静林, 刘杰超, 等. 施硒对樱桃番茄贮藏品质及 3 种活性氧代谢酶的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 256-261.
- [24] 孙常青, 杨艳君, 郭志利, 等. 施肥和密度对杂交谷可溶性糖、可溶性蛋白及硝酸还原酶的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1169-1177.
- [25] 郝 淼, 曲兆鸣, 李 兵, 等. 基于设施番茄生产效益的最佳灌水量和控释氯化钾用量组合[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(5): 894-905.