

## 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

唐桃霞<sup>1,2</sup>, 王致和<sup>1,2</sup>, 张秀华<sup>1,2</sup>, 邱进栋<sup>1,2</sup>, 谢忠清<sup>1,2\*</sup>

(1. 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃武威 733006; 2. 甘肃省特种药源植物种质创新与安全利用重点实验室, 甘肃武威 733006)

**摘要** 为探明甜叶菊农艺性状及产量与光合生理因子和糖苷品质之间的关系。对7个甜叶菊品种(系)的10个农艺性状、干叶产量、7个光合生理指标和5个糖苷品质进行比较和相关性分析。结果表明,干叶产量与单株干叶产量、单株鲜叶产量、一级分枝数呈极显著正相关, $r$ 分别为1.000、0.979、0.898,与其他农艺性状间的相关性均达显著水平;干叶产量与净光合速率、蒸腾速率呈极显著正相关,与气孔导度呈显著正相关,与胞间 $\text{CO}_2$ 浓度呈负相关,与叶绿素的相关性不显著;干叶产量与RA含量、总苷含量、RA/总苷呈正相关,与STV含量、RC含量呈负相关,但均未达显著水平,RA含量与STV含量呈极显著负相关( $r=0.957$ );光合生理指标与糖苷含量的关系中,RC含量与胞间 $\text{CO}_2$ 浓度和叶绿素总量呈显著负相关,与其余指标相关性不显著;总苷含量与胞间 $\text{CO}_2$ 浓度呈极显著负相关,与其余指标相关性也不显著。该研究阐明了甜叶菊多种性状间的关系,旨在为河西地区甜叶菊育种和高产栽培提供参考。

**关键词** 甜叶菊;产量;农艺性状;光合生理;糖苷含量

**中图分类号** 566.901 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)21-0053-05

**doi**:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.21.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Correlation Analysis between Photosynthetic Physiology, Glycosidic Content and Yield of Different Varieties (Strains) of Stevia

TANG Tao-xia<sup>1,2</sup>, WANG Zhi-he<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiu-hua<sup>1,2</sup> et al (1. Gansu Academy of Agri-engineering Technology, Wuwei, Gansu 733006; 2. Key Laboratory of Germplasm Innovation and Safe utilization of Special Medicinal Plants in Gansu Province, Wuwei, Gansu 733006)

**Abstract** To explore the relationship between agronomic traits, yield, photosynthetic physiological factors and glycosidic quality of stevia, 10 agronomic traits, dry leaf yield, 7 photosynthetic physiological indexes and 5 glycosidic quality of 7 stevia varieties (strains) were studied. The results showed that the yield of dry leaves was significantly positively correlated with the yield per plant, the yield of fresh leaves and the number of primary branches,  $r$  were 1.000, 0.979, 0.898, respectively, and the correlation with other agronomic traits did not reach a significant level. The yield of dry leaves was significantly positively correlated with net photosynthetic rate and transpiration rate, significantly positively correlated with stomatal conductance and negatively correlated with intercellular  $\text{CO}_2$  concentration, but not significantly correlated with chlorophyll. The yield of dry leaves was positively correlated with RA content, total glycosidic content, RA/total glycosidic, negatively correlated with STV content and RC content, but not significant levels, and RA content was extremely significantly negatively correlated with STV content ( $r=0.957$ ); In the relationship between photosynthetic physiological indexes and glycosidic content, RC content was significantly negatively correlated with intercellular  $\text{CO}_2$  concentration and total chlorophyll content, but not significantly correlated with other indexes. The content of total glycosidic was significantly negatively correlated with intercellular  $\text{CO}_2$  concentration, and not significantly correlated with other indexes. The study clarified the relationship between stevia traits, which could provide reference for stevia breeding and high-yield cultivation in western region of the Yellow River.

**Key words** Stevia; Yield; Agronomic traits; Photosynthetic physiology; Glycosidic content

甜叶菊(*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsl.)是菊科甜叶菊属多年生宿根草本植物,其体内的次生代谢产物甜菊糖苷具有高甜度低热能的特点<sup>[1]</sup>,是继甘蔗、甜菜糖之后第3种具有开发价值和健康安全天然甜味剂<sup>[2-3]</sup>,在国际上被誉为“世界第三糖源”<sup>[4]</sup>,用作食品添加剂<sup>[5]</sup>,此外甜叶菊所含的天然活性物质在降血糖、降血压、提高免疫力、抗氧化、抑菌等方面发挥重要作用,还用于医药卫生行业<sup>[6-8]</sup>,而且甜叶菊废渣还可用作饲料<sup>[9-10]</sup>。因此市场前景广阔,对优良品种的要求也随之上升。

选育高产优质的甜叶菊新品种,并采用高效合理的栽培技术,是甜叶菊科研工作者的奋斗目标。影响甜叶菊产量和品质的因素众多,研究表明,叶绿素及光合作用可引起植物的植株代谢和能量转化,进而影响小麦、谷子产量的形成<sup>[11-12]</sup>,甜叶菊新品系SR的瑞鲍迪昔A(RA)含量与干叶产量呈显著负相关<sup>[13]</sup>,而甜叶菊光合生理因子与干叶产量及

品质存在何种关系,农艺性状与产量和品质相关性如何,目前鲜见报道。笔者所在课题组在前期研究的基础上<sup>[14-16]</sup>,2017—2018年从江苏、安徽等地共引进甜叶菊种质资源31份,经过田间试验筛选优良种质资源7份,分析这7份种质材料各性状之间的关系,对甜叶菊育种和优化栽培技术具有重要意义。笔者以7个甜叶菊品种(系)为参试材料,比较不同品种(系)甜叶菊农艺性状、产量、光合生理因子、糖苷含量的差异,利用Pearson相关系数分析各因素间的相关性,旨在为甜叶菊新品种选育和高效种植提供参考。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试7份甜叶菊种质材料是从国内各地引进的甜叶菊优良品种(系)的母根扦插苗,分别为GT-1、GY-23、GY-24、GY-25、GY-26、GY-27、GY-28。

**1.2 试验地概况** 试验地位于甘肃省武威市凉州区黄羊镇甘肃省农业工程技术研究院试验基地内(103°05'E,37°30'N),海拔1740m,属大陆性干旱气候,年平均气温7.7℃,年平均降雨量194.75mm,年均日照时数2724.8h,无霜期150d左右。供试土壤为砂壤土,肥力均匀。

**1.3 试验设计** 将各地引进的不同品种(系)的母根移栽至温室,于2018年3月30日剪取插穗扦插,扦插苗长至2018

**基金项目** 甘肃省重点研发计划“甜叶菊新品种选育及集约化生产关键技术研发与产业化”(17YF1NH051)。

**作者简介** 唐桃霞(1988—),女,甘肃临洮人,助理研究员,硕士,从事特色经济作物育种研究。\*通信作者,高级农艺师,从事农作物栽培、农业技术推广及管理工作。

**收稿日期** 2019-04-28

年5月16日,移栽至铺有黑色地膜的试验小区,试验采用随机区组设计,小区面积60 m<sup>2</sup>,每膜4行,3次重复,株距约0.2 m,行距约0.4 m,保苗约12 000株/hm<sup>2</sup>。于9月6日取样测产。

**1.4 测定项目与方法** 采收期选取中间行生长良好的植株20株,进行农艺性状、产量、光合强度、叶绿素及品质测定。

**1.4.1 农艺性状及产量** 采收期对小区中间行植株进行产量测定及农艺性状考查,农艺性状包括株高、主茎粗、一级分枝数、叶长、叶宽、叶厚、叶面积、单株鲜叶重、单株干叶重、叶茎比、1 hm<sup>2</sup>干叶产量,共11个指标。

株高:测定时取中间行20株,每株用卷尺自地面量至生长点;主茎粗:用游标卡尺测定茎基部1 cm处的粗度;叶长:从生长点向下数第5对叶子,从叶尖量至叶基处;叶宽:量取叶子中间最宽处;叶厚采用游标卡尺测量,测定叶子中间厚度(不包括主叶脉);将茎叶分离后,测定单株鲜叶重;自然阴干后,在65℃烘箱烘至恒重,称量各材料的单株干叶重、单株干茎重,计算叶茎比;然后将每个材料的干叶粉碎后,装入样品袋待测糖苷;1 hm<sup>2</sup>干叶产量按12 000株计算。叶面积=叶长×叶宽×0.8。

**1.4.2 光合强度**。采用美国LI-COR公司生产的LI-6400XT便携式光合仪,于2018年9月6日10:00测定光合速率,取植株生长点向下第5~7片叶,将叶片擦拭干净后测定,每片叶测定3次。

**1.4.3 叶绿素含量**。取测定光合的叶片,立即带回实验室,每片叶去掉粗大的叶脉并剪成碎片,分别称取0.02 g用10 mL 80%丙酮浸泡法提取叶绿素,以提取试剂80%丙酮为对照,避光浸至叶片变白,采用北京普析生产的T6S紫外分光光度计分别测定645和663 nm处的OD值,并计算出相应叶绿素a、b的浓度。

**1.4.4 糖苷含量**。采用Waters 2695高效液相色谱仪测定糖苷含量,糖苷检测方法采用GB 8270—2014,流动相为乙腈

和磷酸缓冲液体积比32:68,色谱柱为兰州化物所的AT C<sub>18</sub>反相色谱柱,填料:Sino ODS AP,柱长250 mm,内径4.6 mm,粒径5 μm,流速为1 mL/min,紫外检测波长为210 nm,根据出峰面积计算瑞鲍迪苷A(RA)、甜菊苷(STV)、瑞鲍迪苷C(RC)和总苷含量。

**1.5 数据处理** 采用Excel 2003和SPSS 19.0软件进行数据统计和分析,利用方差分析和多重比较对各指标进行显著性分析,并用Pearson相关系数分析相关性。

## 2 结果与分析

**2.1 不同甜叶菊品种(系)农艺性状与产量的关系** 参试甜叶菊农艺性状及产量见表1,其农艺性状与产量的相关性见表2。由表2可知,与干叶产量相关性为正的农艺性状有6个,表现为单株干叶产量>单株鲜叶产量>一级分枝数>叶茎比>叶长>株高。

在参试的7个甜叶菊品种(系)中,干叶产量与单株干叶产量、单株鲜叶产量、一级分枝数呈极显著正相关,*r*分别为1.000、0.979、0.898,与叶茎比、叶长、株高呈正相关,与主茎粗、叶宽、叶厚、叶面积呈负相关;叶茎比与株高呈显著正相关,与主茎粗、一级分枝数、叶长、单株鲜叶产量、单株干叶产量呈正相关,与叶宽、叶厚、叶面积呈负相关;单株干叶产量与一级分枝数、单株鲜叶产量呈极显著正相关,与株高、叶长呈正相关,与主茎粗、叶宽、叶厚、叶面积呈负相关;单株鲜叶产量与主茎粗呈正相关,与其余农艺指标的相关性与单株干叶产量一致;叶面积与叶宽呈极显著正相关,与株高、主茎粗、叶长、叶厚呈正相关,与一级分枝数呈负相关;叶厚与叶长、叶宽呈正相关,与株高、主茎粗、一级分枝数呈负相关;叶宽与主茎粗和叶长呈正相关,与株高和一级分枝数呈负相关;叶长与株高、主茎粗、一级分枝数呈正相关;一级分枝数与株高和主茎粗呈正相关;主茎粗与株高呈正相关。由此可知,一级分枝数越多,干叶产量越高。

表1 参试甜叶菊农艺性状及产量

Table 1 Agronomic traits and yield of stevia

品种(系) Varieties (strains)	株高 Plant height cm	主茎粗 The main stem diameter mm	一级分枝数 First order branches 个	叶长 Leaf length cm	叶宽 Leaf width cm	叶厚 Leaf thickness mm	叶面积 Leaf area cm <sup>2</sup>	单株鲜叶产量 Yield of fresh leaves per plant g	单株干叶产量 Yield of dry leaves per plant g	叶茎比 Leaf to stem ratio	干叶产量 Dry leaf yield kg/hm <sup>2</sup>
GT-1	80.33 a	9.86 b	21.33 ab	6.47 abc	1.60 d	0.72 abc	8.26 c	206.38 a	55.78 ab	1.43 ab	6 694.00 ab
GY-23	78.33 a	11.88 ab	24.33 a	7.33 a	1.80 cd	0.59 bcd	10.56 bc	240.70 a	66.54 a	1.44 a	7 984.80 a
GY-24	65.00 a	6.91 c	16.00 bc	5.20 c	2.10 cd	0.87 a	8.82 c	174.60 a	44.56 ab	1.00 c	5 347.20 ab
GY-25	73.33 a	12.00 ab	28.67 a	6.10 abc	2.27 c	0.54 bcd	10.93 bc	214.07 a	57.89 ab	1.09 bc	6 946.40 ab
GY-26	77.00 a	14.08 a	24.33 a	6.00 bc	2.93 b	0.50 cd	14.16 b	221.56 a	58.47 ab	1.13 abc	7 016.40 ab
GY-27	76.00 a	14.94 a	13.00 bc	7.00 ab	4.70 a	0.78 ab	26.35 a	166.08 a	37.40 b	1.11 abc	4 488.00 b
GY-28	76.00 a	12.11 ab	14.00 bc	5.50 c	1.70 cd	0.43 d	7.61 c	152.46 a	40.17 ab	1.28 abc	4 820.40 ab

注:同列不同小写字母表示不同品种间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different treatments ( $P<0.05$ )

**2.2 不同甜叶菊品种(系)光合生理指标与产量的关系** 参试甜叶菊光合生理指标见表3,其光合生理指标与产量的相关性见表4。由表4可知,与干叶产量相关性为正的生理指标有6个,表现为净光合速率>蒸腾速率>气孔导度>叶

绿素总量>叶绿素a>叶绿素b。

在参试的7个甜叶菊品种(系)中,干叶产量与净光合速率、蒸腾速率呈极显著正相关,与气孔导度呈显著正相关,与叶绿素总量、叶绿素a、叶绿素b呈正相关,与胞间CO<sub>2</sub>浓度

呈负相关;蒸腾速率与净光合速率、气孔导度呈极显著正相关,与叶绿素 a 呈显著正相关,与叶绿素总量、叶绿素 b 呈正相关,与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈负相关;净光合速率与叶绿素 a、叶绿素总量呈正相关,与叶绿素 b 呈负相关;叶绿素总量与叶

绿素 a 呈极显著正相关,与叶绿素 b 呈正相关,叶绿素 b 与叶绿素 a 呈正相关。由此可知,采收期净光合速率和蒸腾速率越大,植株产量越高。

表 2 参试甜叶菊农艺性状与产量的相关性

Table 2 Correlation between agronomic traits and yield of stevia

项目 Item	株高 Plant height	主茎粗 The main stem diameter	一级 分枝数 First order branches	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	叶厚 Leaf thickness	叶面积 Leaf area	单株鲜叶 产量 Yield of fresh leaves per plant	单株干叶 产量 Yield of dry leaves per plant	叶茎比 Leaf to stem ratio	干叶产量 Dry leaf yield
株高 Plant height	1.000										
主茎粗 The main stem diameter	0.585	1.000									
一级分枝数 First order branches	0.238	0.055	1.000								
叶长 Leaf length	0.658	0.513	0.221	1.000							
叶宽 Leaf width	-0.013	0.640	-0.338	0.325	1.000						
叶厚 Leaf thickness	-0.463	-0.488	-0.383	0.045	0.292	1.000					
叶面积 Leaf area	0.117	0.682	-0.312	0.489	0.982**	0.285	1.000				
单株鲜叶产量 Yield of fresh leaves per plant	0.377	0.082	0.883**	0.497	-0.263	-0.215	-0.188	1.000			
单株干叶产量 Yield of dry leaves per plant	0.371	-0.022	0.898**	0.394	-0.449	-0.307	-0.376	0.979**	1.000		
叶茎比 Leaf to stem ratio	0.776*	0.036	0.162	0.535	-0.493	-0.279	-0.337	0.377	0.454	1.000	
干叶产量 Dry leaf yield	0.371	-0.022	0.898**	0.394	-0.449	-0.307	-0.376	0.979**	1.000**	0.455	1.000

注: \* 表示在 0.05 水平显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平极显著相关

Note: \* means significant correction at 0.05 level. \*\* means extremely significant correction at 0.01 level

表 3 参试甜叶菊光合生理指标

Table 3 Photosynthetic physiological indicators of stevia

品种(系) Varieties (strains)	叶绿素 a Chlorophyll a mg/g	叶绿素 b Chlorophyll b mg/g	叶绿素总量 Total chlorophyll mg/g	净光合速率 Net photosynthetic rate $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	气孔导度 Stomatal conductance $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration $\mu\text{mol}/\text{mol}$	蒸腾速率 Transpiration rate $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
GT-1	1.79±0.13 a	0.29±0.18 c	2.08±0.09 ab	20.41±3.48 a	0.23±0.08 b	198.37±27.80 b	4.14±0.96 ab
GY-23	1.75±0.18 a	0.50±0.03 ab	2.25±0.20 a	21.28±2.88 a	0.29±0.09 a	231.29±28.21 b	4.84±1.05 a
GY-24	1.39±0.22 c	0.41±0.09 b	1.80±0.31 b	12.19±2.01 c	0.13±0.04 cd	210.17±40.63 b	2.76±0.72 c
GY-25	1.44±0.17 bc	0.45±0.08 ab	1.89±0.24 b	12.00±3.35 c	0.11±0.02 de	197.93±34.89 b	2.37±0.33 cd
GY-26	1.77±0.19 a	0.56±0.05 a	2.33±0.24 a	14.76±1.70 b	0.18±0.04 bc	224.03±21.35 b	3.49±0.42 b
GY-27	1.63±0.06 ab	0.43±0.07 b	2.06±0.44 ab	5.11±1.83 d	0.08±0.03 e	267.26±88.57 a	1.67±0.63 e
GY-28	1.44±0.18 bc	0.44±0.09 ab	1.88±0.20 b	6.81±1.83 d	0.09±0.05 de	230.58±51.92 b	2.03±0.90 cd

注: 同列不同小写字母表示不同品种间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different treatments ( $P < 0.05$ )

表 4 参试甜叶菊光合生理指标与产量的相关性

Table 4 Correlation between photosynthetic physiological indexes and yield of stevia

项目 Item	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素总量 Total chlorophyll	净光合速率 Net photosynthetic rate	气孔导度 Stomatal conductance	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	蒸腾速率 Transpiration rate	干叶产量 Dry leaf yield
叶绿素 a Chlorophyll a	1.000							
叶绿素 b Chlorophyll b	0.061	1.000						
叶绿素总量 Total chlorophyll	0.908**	0.473	1.000					
净光合速率 Net photosynthetic rate	0.622	-0.100	0.507	1.000				
气孔导度 Stomatal conductance	0.721*	0.023	0.646	0.955**	1.000			
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	0.141	0.333	0.264	-0.529	-0.270	1.000		
蒸腾速率 Transpiration rate	0.691*	0.210	0.619	0.973**	0.993**	-0.355	1.000	
干叶产量 Dry leaf yield	0.533	0.278	0.587	0.867**	0.822*	-0.480	0.837**	1.000

注: \* 表示在 0.05 水平显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平极显著相关

Note: \* means significant correction at 0.05 level. \*\* means extremely significant correction at 0.01 level

**2.3 不同甜叶菊品种(系)糖苷含量与产量关系** 参试甜叶菊糖苷含量见图1。由表5可知,与干叶产量相关性为正的指标有3个,表现为RA>RA/总苷>总苷。

在参试的7个甜叶菊品种(系)中,干叶产量与RA含量、RA/总苷、总苷含量呈正相关,与STV含量、RC含量呈负相关;RA/总苷与RA含量呈极显著正相关,与RC含量、总苷含量呈正相关,与STV含量呈极显著负相关;总苷含量与RC含量呈极显著正相关,与RA含量呈正相关,与RC含量呈负相关;RC含量与RA含量呈正相关,与STV含量呈负相关;STV含量与RA含量呈极显著负相关。由此可知,干叶产量与各糖苷含量的相关性因糖苷种类而异。

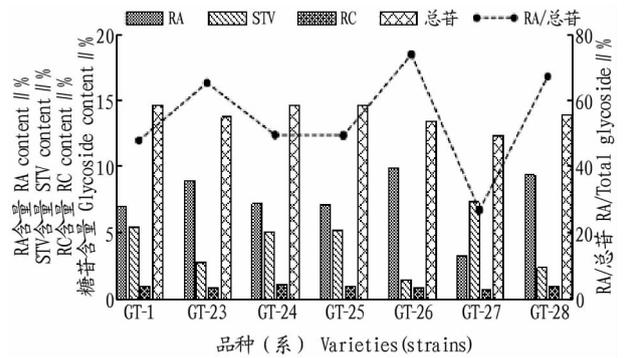


图1 参试甜叶菊糖苷含量

Fig.1 Glycoside content of stevia

表5 参试甜叶菊糖苷含量与产量的相关性

Table 5 Correlation between glycosidic content and yield of stevia

项目 Item	RA 含量 Content of RA	STV 含量 Content of STV	RC 含量 Content of RC	总苷含量 Content of total glycosides	RA/总苷 RA/total glycosides	干叶产量 Dry leaf yield
RA 含量 Content of RA	1.000					
STV 含量 Content of STV	-0.957**	1.000				
RC 含量 Content of RC	0.346	-0.106	1.000			
总苷含量 Content of total glycosides	0.414	-0.134	0.889**	1.000		
RA/总苷 RA/total glycosides	0.989**	-0.988**	0.216	0.276	1.000	
干叶产量 Dry leaf yield	0.513	-0.427	-0.070	0.337	0.498	1.000

注:RA. 瑞鲍迪忒 A,STV. 甜菊忒,RC. 瑞鲍迪忒 C。 \*\* 表示在 0.05 水平显著相关

Note:RA. Rebaudio A,STV. Stevia,RC. Rebaudio C. \*\* means extremely significant correction at 0.01 level

**2.4 不同甜叶菊品种(系)光合生理指标与糖苷含量关系** 由表6可知,甜叶菊叶片中RA含量与叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈正相关,与胞间CO<sub>2</sub>浓度呈负相关,均未达显著水平;STV含量与叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率均呈负相关,与胞间CO<sub>2</sub>浓度呈正相关,也均达显著水平;RC含量与净光合速率、蒸腾速率呈正相关,与叶绿素a、

叶绿素b、叶绿素总量、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度均呈负相关,且与胞间CO<sub>2</sub>浓度、叶绿素总量呈显著负相关;总苷含量与净光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈正相关,与叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总量、胞间CO<sub>2</sub>浓度呈负相关,且与胞间CO<sub>2</sub>浓度呈极显著负相关;RA/总苷与各光合生理指标的相关性与RA含量一致。

表6 参试甜叶菊光合生理指标与糖苷含量的相关性

Table 6 Correlation between photosynthetic physiological indexes and glycosidic content of stevia

项目 Item	RA 含量 Content of RA	STV 含量 Content of STV	RC 含量 Content of RC	总苷含量 Content of total glycosides	RA/总苷 RA/total glycosides
叶绿素 a Chlorophyll a	0.093	-0.178	-0.578	-0.325	0.161
叶绿素 b Chlorophyll b	0.455	-0.626	-0.459	-0.401	0.548
叶绿素总量 Total chlorophyll	0.273	-0.420	-0.703*	-0.455	0.372
净光合速率 Net photosynthetic rate	0.419	-0.288	0.119	0.446	0.380
气孔导度 Stomatal conductance	0.413	-0.353	-0.058	0.214	0.409
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	-0.412	0.143	-0.725*	-0.950**	-0.287
蒸腾速率 Transpiration rate	0.472	-0.394	0.013	0.293	0.459

注:\* 表示在 0.05 水平显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平极显著相关

Note:\* means significant correction at 0.05 level. \*\* means extremely significant correction at 0.01 level

### 3 结论与讨论

植物的农艺性状均由基因控制,也受栽培环境和管理措施的影响,同一品种在不同地区的表现也不尽一致,明确农艺性状对产量影响的主次关系,对选育优良的甜叶菊品种具有重要意义。

该研究中各农艺性状与产量的相关性分析结果表明,干叶产量与单株干叶产量、单株鲜叶产量、一级分枝数、叶茎比、叶长、株高呈正相关,与主茎粗、叶宽、叶厚、叶面积呈负相关。说明一级分枝数越多,叶茎比越大时,产量越高,这与赵永平<sup>[17]</sup>在甜叶菊和郑本川等<sup>[18]</sup>在甘蓝型油菜上的研究结

果一致。主茎粗与干叶产量呈负相关,原因可能是主茎越粗,导致叶茎比变小,因此影响产量降低。关于叶宽和叶厚与产量的关系还有待进一步研究。根据研究结果,可在田间管理中采取促进甜叶菊分枝的措施,进而提高产量。

光合生理指标与产量的相关性分析结果表明,干叶产量与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、叶绿素总量、叶绿素a、叶绿素b呈正相关,与胞间CO<sub>2</sub>浓度呈负相关。说明采收期甜叶菊净光合速率越大,叶绿素含量越高,产量越高。关于胞间CO<sub>2</sub>浓度与干叶产量呈负相关的原因可能是,其与净光合速率呈负相关。而在该研究中胞间CO<sub>2</sub>浓度与净光合速

率、蒸腾速率和气孔导度均呈负相关,这与赵永平<sup>[17]</sup>在甜叶菊光合特性和产量品质中的研究结果一致。

各糖苷含量与产量的相关性分析结果表明,干叶产量与RA含量、RA/总苷、总苷含量呈正相关,与STV含量、RC含量呈负相关,这与石岩等<sup>[19]</sup>研究结果不一致,可能是因为检测方法和材料不同所致;RA含量与STV含量表现为极显著负相关( $r=0.957$ ),这与杨文婷等<sup>[13]</sup>和石岩等<sup>[19]</sup>的研究结果一致,可能是因为STV和RA性状连锁,且这2种物质在流动相中的相对保留时间相差较短,出现此消彼长的趋势,因此难以同时提高二者含量,又因为STV和RA的特性应用于不同领域,因此可用来选育专用型品种。

该研究根据市场需求和育种目标仅对含量较高的3种糖苷RA、STV和RC进行了检测,但该研究结果明确了这3种糖苷之间的关系,可以为选育食品添加剂领域的高RA品种和医药行业的高STV品种提供指导。为进一步系统、准确地阐明甜叶菊产量与品质之间的关系,检测其余几种糖苷含量并进行分析是下一步的研究工作。

通过Pearson相关系数分析各性状间的相关性。甜叶菊一级分枝数、单株鲜叶产量和单株干叶产量与干叶产量呈极显著正相关;净光合速率与蒸腾速率呈极显著正相关;干叶产量与各糖苷含量的相关性因糖苷种类而异,与RA呈正相关,与STV和RC呈负相关,均未达显著水平;光合生理指标与糖苷含量的关系中,RC含量与胞间CO<sub>2</sub>浓度和叶绿素总量呈显著负相关,总苷含量与胞间CO<sub>2</sub>浓度呈极显著负相关,其余指标间相关性不显著。

## 参考文献

[1] 林明睿. 甜叶菊高密度遗传图谱构建及其分子标记筛选[D]. 杭州:浙

江农林大学,2018.

- [2] 胡献丽,董文宾,郑丹,等. 甜菊及甜菊糖研究进展[J]. 食品研究与开发,2005,26(1):36-38.
- [3] 赵秀玲. 我国甜味剂甜菊糖苷发展状况[J]. 中国调味品,2009(5):110-113.
- [4] 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.
- [5] 彭涛,宋巧,张喜萍,等. 浅谈甜叶菊在食品中的应用[J]. 食品安全导刊,2017(30):141-142.
- [6] 赵磊,迟茜,林文轩,等. 甜叶菊废渣提取物的抗氧化和抗炎作用[J]. 中国食品学报,2018,18(8):8-15.
- [7] RIZWAN F, RASHID H U, YESMINE S, et al. Preliminary analysis of the effect of Stevia (*Stevia rebaudiana*) in patients with chronic kidney disease (stage I to stage III) [J]. Contemporary clinical trials communications, 2018, 12: 17-25.
- [8] 刘琼,潘芸芸,吴卫. 甜叶菊化学成分及药理活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2018,30(6):1085-1091.
- [9] 孔智伟,张强,陈荣强,等. 甜叶菊废渣发酵饲料对巴赖肉猪肌肉营养成分的影响[J]. 中国猪业,2018,13(7):60-62.
- [10] 张正鹏. 浅谈甜叶菊副产品的开发利用[J]. 中国糖料,2015,37(6):79-80.
- [11] 衡亚蓉,李晓,贺利,等. 基于上部叶片叶绿素荧光参数的小麦产量预测与评价[J]. 麦类作物学报,2018,38(6):701-709.
- [12] 李卫明. 不同品种谷子生育期、品质性状、光合特性与产量的关系研究[D]. 太谷:山西农业大学,2016.
- [13] 杨文婷,吴卫,蔡乾蓉,等. 甜叶菊新品系的主要农艺性状及糖苷含量比较[J]. 中国糖料,2011,33(3):26-29.
- [14] 杨振华,王致和. 甜叶菊引种鉴定试验[J]. 中国糖料,2013,35(3):57-58.
- [15] 谢忠清,何友萍,王致和. 甜叶菊覆膜精量点播机的研制[J]. 中国糖料,2016,38(3):52-54.
- [16] 谢忠清,逯晓敏,王致和,等. 河西地区甜叶菊扦插育苗技术[J]. 黑龙江农业科学,2018(11):175-178.
- [17] 赵永平. 灌溉和施肥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.
- [18] 郑本川,崔成,张锦芳,等. 甘蓝型油菜育种亲本单株产量与农艺性状相关性分析[J]. 植物遗传资源学报,2019,20(1):113-121.
- [19] 石岩,孙景文,邢海根. 甜叶菊高效栽培技术与实践[M]. 北京:中国农业出版社,2013:1-12.

(上接第52页)

体生长至出菇前,需要大量的氮源合成生物酶类<sup>[21]</sup>,在此阶段菌丝体细胞新陈代谢旺盛<sup>[22]</sup>,调整合理氮源比例,有利于提高菌丝的生长速度<sup>[23]</sup>和平菇药用活性成分含量<sup>[24]</sup>,同时降低木霉菌感染<sup>[25]</sup>的风险,为科学合理地利用植物废渣栽培平菇提供理论依据。

## 参考文献

- [1] 何照范,熊绿芸,国兴明,等. 刺梨果实的营养成分[J]. 营养学报,1988(3):262-266.
- [2] 樊卫国,夏广礼,罗应春,等. 贵州省刺梨资源开发利用及对策[J]. 西南农业学报,1997,10(3):109-115.
- [3] 李达,姜楠. 刺梨果渣成分分析及发酵前后不同成分含量的变化[J]. 农产品加工,2016(2):35-36,39.
- [4] 张佳程,褚庆环. 干酪中含氮物的快速测定方法[J]. 中国乳品工业,2004(7):26-29.
- [5] 周跃男,王湛,赵小川,等. 浅谈蛋白质含量的定量检测方法[J]. 食品研究与开发,2014,35(7):127-130.
- [6] 单金津,李伟,李齐激,等. 不同药渣对平菇多糖含量及抗氧化活性的影响[J]. 贵州农业科学,2015,43(7):151-154,158.
- [7] 张宇. 不同碳源对平菇生物学转化率的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(20):10403-10404.
- [8] 郭丰梅. 用于药物包衣材料的水性肠溶型聚丙烯酸树脂的合成和研究[D]. 济南:齐鲁工业大学,2014.
- [9] 李晴媛,徐晓娜. 饲料中粗蛋白含量的测定方法[J]. 中国畜牧兽医文摘,2013(2):197,190.
- [10] 冯媛. 用体外模拟法研究日粮氮硫比对绵羊瘤胃内环境参数、产气性能和养分降解率的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.

- [11] 田春丽,介晓磊,刘曦,等. 硒锌与富啡酸施肥对紫花苜蓿产量、营养成分及氨基酸组成的影响[J]. 草业学报,2014,23(2):66-75.
- [12] 马丹. 凯氏定氮法测定食品中蛋白质含量[J]. 计量与测试技术,2008,35(6):57-58.
- [13] 张利霞. 黄淮麦玉两熟区小麦植株氮素吸收转运对氮肥及种植密度的响应[D]. 新乡:河南师范大学,2015.
- [14] 张庆波. 新型磷氮阻燃剂SPDAPT的合成及应用[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2009.
- [15] 袁炳秋,吕媛,马钰,等. 尿素、氯化铵、碳酸铵对牛奶样品微量凯氏定氮法的干扰[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2010,33(1):66-70,128.
- [16] 章平泉,金殿明,杜秀敏,等. 自动凯氏定氮仪测定烟草及其制品中的总氮[J]. 烟草科技,2011(3):43-45.
- [17] 陈世昌,侯殿明,吴文祥,等. 梨园套种平菇对土壤生物活性及果实品质的影响[J]. 果树学报,2012,29(4):583-588.
- [18] 钟思敏,杜梅,陈往滨,等. 蛹虫草菌丝产虫草素液体培养条件的研究[J]. 菌物学报,2011,30(2):229-234.
- [19] 刘东燕,冯国建,罗云菊,等. 含水量对垃圾土中有机物降解的影响[J]. 地球与环境,2010,38(1):26-30.
- [20] 何露,闵庆文,张丹. 农业多功能性多维评价模型及其应用研究:以浙江省青田县为例[J]. 资源科学,2010,32(6):1057-1064.
- [21] 盛占武,郑丽丽,高锦合,等. 香蕉纤维酶解脱胶工艺及脱胶纤维性能[J]. 农业工程学报,2014,30(10):277-284.
- [22] 张引芳,刘遐,陈建华,等. 杏鲍菇工厂化生产工艺研究[J]. 食用菌学报,2003,10(2):36-39.
- [23] 裴丽娟. 碱提松木层孔菌菌丝体多糖的结构及活性研究[D]. 长春:东北师范大学,2010.
- [24] 秦萌. 香菇多糖口服液的制备[D]. 长春:吉林农业大学,2015.
- [25] 曹现涛. 香菇菌棒腐烂病相关木霉鉴定与发生规律初步研究[D]. 武汉:华中农业大学,2015.