

杨婉莹,王文晓,熊超明,等. 植物生长抑制剂对草莓花芽分化、产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(12):113-120.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.12.016

# 植物生长抑制剂对草莓花芽分化、产量及品质的影响

杨婉莹<sup>1</sup>,王文晓<sup>1</sup>,熊超明<sup>1</sup>,孙齐宇<sup>1</sup>,李 慧<sup>2</sup>,孙文喜<sup>1</sup>

(1. 河南省农业科学院长垣分院,河南长垣 453400; 2. 河南省长垣市农业农村局,河南长垣 453400)

**摘要:**为研究生长抑制剂对草莓花芽分化、产量及品质的影响,以短日晚熟品种艳丽为材料,以清水为对照,通过苗期根施 5 mL 不同浓度调环酸钙(50、100、200 mg/L)、拿敌稳(100、200、400 mg/L),测定草莓苗期生长指标,后续进行花芽分化形态学观察并结合物候期,分析生长抑制剂对花芽分化的影响,最终运用主成分法进行果实产量及品质分析。结果表明,在苗期生长阶段,生长抑制剂处理对草莓子苗株高、叶面积、叶柄长及冠径影响显著,各处理均显著低于 CK,且随抑制剂浓度的升高,抑制效果越明显;T3、T6 的壮苗指数显著高于 CK,叶绿素 a + b 含量仅 T6 显著增加。综合来看,T6 植株形态与叶片颜色都显著优于 CK。花芽分化方面,生长抑制剂处理不同程度提前了花芽分化的进程。与 CK 比较,T1 ~ T6 分别提前 5、2、2、1、7、5 d 进入二分割期,并且物候期明显提前,其中 T6 表现最为突出。产量方面,T1、T2、T4、T5、T6 的年前单株产量显著高于 CK,但年后单株产量仅 T2、T6 显著高于 CK,其余处理差异不显著甚至低于 CK,T6 的综合产量排首位。品质方面,生长抑制剂处理显著增加了草莓果实维生素 C 含量、可溶性糖含量和糖酸比,优化了草莓风味。T6 的品质综合排名也是首位。总而言之,苗期根施适宜浓度的生长抑制剂可以培育壮苗,促进花芽分化,提前上市,提高果实产量和品质,本试验中,T6 处理(400 mg/L 拿敌稳)对花芽分化、产量、品质的效果最好。

**关键词:**草莓;植物生长抑制剂;花芽分化;产量;品质

**中图分类号:**S668.401 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)12-0113-08

草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.) 属于蔷薇科草莓属植物,是世界范围内广泛栽培的浆果之一。

收稿日期:2022-08-22

基金项目:河南省农业科学院长垣分院共建现代农业科技综合示范县项目(编号:豫农科【2020】59号)。

作者简介:杨婉莹(1993—),女,河南获嘉人,硕士研究生,研究实习生,主要从事草莓栽培生理研究。E-mail:360904967@qq.com。

通信作者:孙文喜,副研究员,主要从事作物栽培研究。E-mail:wensexun@126.com。

草莓作为一种适应性强、易栽培、营养价值高的都市型经济作物,深受消费者和种植户的喜爱。伴随着经济的迅速发展和国民消费水平的不断提高,促进草莓花芽分化,提前并延长草莓的供应期,是目前生产中亟待解决的问题。

花芽分化指植物茎生长点由分生出叶片、腋芽转变为分化出花序或花朵的过程,也是植物由营养生长向生殖生长转化的过程<sup>[1]</sup>。光周期、温度、营养物质和激素是影响草莓花芽分化的主要因素。

[14] 刘子记,申龙斌,杨 衍,等. 甜椒核心种质遗传多样性与亲缘关系分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):199-202.

[15] 王瑞清,闫志顺,刘 英. 冬小麦品种数量性状的典型相关分析[J]. 种子,2004,23(11):56-58.

[16] 芮文婧,张倩男,王晓敏,等. 47 份大果番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):92-95.

[17] 何润铭,黎振兴,郭汉权,等. 基于表型性状的番茄品种遗传多样性分析[J]. 湖北农业科学,2021,60(18):115-120.

[18] 庄萍萍,李 伟,魏育明,等. 波斯小麦农艺性状相关性主成分分析[J]. 麦类作物学报,2006,26(4):11-14.

[19] Guillén - Casla V, Rosales - Conrado N, León - González M E, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam

irradiation on ready-to-eat food[J]. Journal of Food Composition and Analysis,2011,24(3):456-464.

[20] Vainionpää J, Smolander M, Alakomi H L, et al. Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis[J]. Journal of Food Engineering,2004,65(2):273-280.

[21] 王益民,张 珂,许飞华,等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学,2014,35(1):34-38.

[22] Yoder P S, St - Pierre N R, Weiss W P. A statistical filtering procedure to improve the accuracy of estimating population parameters in feed composition databases[J]. Journal of Dairy Science,2014,97(9):5645-5656.

目前,关于草莓促花研究多集中在调节温度和光周期方面,而喷施植物生长调节剂对调节草莓花芽分化效果显著,且更易操作,鲜有报道。调环酸钙和戊唑醇,作为赤霉素合成抑制剂,多用于果树生产中进行控制枝条旺长,促进花芽分化,平衡营养生长和生殖生长的关系<sup>[2-4]</sup>。调环酸钙和戊唑醇在草莓生产中的应用,多是草莓苗期控旺以及回暖后抑制匍匐茎的抽生及防止徒长,其对花芽分化的影响少有观察研究。戊唑醇作为三唑类植物生长调节剂,可消除植物顶端优势,起到增产、抗倒、抗逆等作用,关于其促进花芽分化的研究未见报道<sup>[5-7]</sup>。调环酸钙是应用较多的二酮类植物生长延缓剂,常用来提高果蔬产量和品质<sup>[8]</sup>。研究发现,叶面喷施调环酸钙,可提高大白菜头产量、紧实度和可溶性总糖含量以及杨梅果实质量和果实糖度<sup>[9-10]</sup>。将其应用在花生生产上,调环酸钙可以控制花生地上部营养生长、增加单株果数和果质量以及提高荚果产量<sup>[11]</sup>。在草莓生产中,叶面喷施调环酸钙抑制匍匐茎的抽生,增加花序数,提高总产量,但推迟了盛果期,并且与三唑类赤霉素抑制剂比较,调环酸钙具有低毒、低残留、在环境中的光降解和生物降解迅速等优点,广泛应用在农业生产中<sup>[12-14]</sup>。因此,以晚熟品种艳丽为研究对象,设置不同浓度的调环酸钙和戊唑醇处理,探索生长调节剂对草莓花芽分化、产量及品质的影响,比较筛选出适宜的生长调节剂施用浓度,以期获得在保证植株健壮的基础上花芽分化早、产量高、品质好的生长调节剂施用配方,为提早草莓成花提供理论依据和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试品种为艳丽,由沈阳农业大学提供。该草莓品种株型半直立,生长势较强,育苗率高,抗病性极强,果实硬度大,花序较多,口感酸甜,晚熟,高产,2018—2021 年在长垣当地综合表现良好。

选取健壮且生长一致的 3 叶 1 心的母苗采用“之”字栽培于长条盆内(60 cm × 20 cm × 16 cm),基质采用成品基质,由郑州皓泉农业技术有限公司提供。

供试植物生长调节剂分别为调环酸钙(有效成分含量为 92%,粉剂,由郑州郑式化工有限公司提供)、戊唑醇[由于戊唑醇在水中的溶解度(20 ℃)为 32 mg/L,采用德国拜尔公司的拿敌稳(含 50% 戊

唑醇)]。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验于 2021 年 7 月至 2022 年 4 月分别在河南省长垣市现代农业示范园的玻璃温室及日光温室内进行。依据生长调节剂的种类和施用浓度设置 6 个处理,分别为调环酸钙处理(50、100、200 mg/L)和拿敌稳处理(100、200、400 mg/L);标记为 T1 ~ T6,清水为对照(CK)。采用移液管根施,每株 5 mL。7 月 14 日,收集子苗并修剪成 2 叶 1 心,扦插至装满基质的 32 穴穴盘(54 cm × 28 cm × 11 cm)内,前 3 d 进行遮阴,之后正常管理。8 月 4 日开始处理,每周 1 次,共处理 3 次。处理结束后,于 9 月 1 日进行花芽分化的形态学观察,将分化至二分割期的处理,定植于日光温室内,田间管理各处理均一致。

1.2.2 植株形态指标测定 依据《草莓种质资源描述规范和数据标准》,于定植前随机取 5 株,收集并计算植株的株高、茎粗、叶面积、叶柄长、冠径、壮苗指数<sup>[15]</sup>。采用 95% 乙醇法测定叶片色素含量<sup>[15]</sup>。

1.2.3 物候期测定 定植缓苗后,各处理随机选取生长一致的 100 株草莓,50 株为 1 个重复,共 2 个重复。每 5 d 统计 1 次草莓植株的现蕾率与开花率。观察并记录每个处理的物候期,包括现蕾期、始花期、果实始收期,具体判定参照《草莓种质资源描述规范和数据标准》<sup>[15]</sup>。

现蕾期:25% 植株现蕾;

始花期:25% 植株开出第 1 级序花;

果实始收期:25% 的花序第 1 级序果着色成熟。

1.2.4 花芽分化形态学观察 从 9 月 1 日至 10 月 10 日,每 3 d 进行 1 次花芽分化的形态学观察。每次取样 5 株,于体视解剖镜下,将叶原基及生长点以外的组织轻轻剥离,观察并拍照记录花芽分化形态。各分化阶段的划分以及确定参照韩佩汝等的方法<sup>[16]</sup>。

1.2.5 果实产量和品质测定 每个处理随机选取 15 株,进行标记,在成熟期使用电子天平分批测量草莓果实单果质量,记录草莓单株产量,最后折算成公顷产量。产量统计分为年前和年后两部分,以 2 月 17 日为界限。可溶性固形物含量采用糖度计(PAL-1)测定。参照王学奎的方法进行可溶性糖、可滴定酸、维生素 C 含量的测定<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用 SPSS 25.0 与 Excel 2019 软件进行数据的分析( $\alpha = 0.05$ )与作图。

2 结果与分析

2.1 生长抑制剂对草莓植株生长的影响

由表 1 可知,生长抑制剂处理对草莓子苗株高、叶面积、叶柄长及冠径影响显著,各处理均显著低于 CK 组,且随抑制剂浓度的升高,抑制效果越明显;株高方面,处理组较 CK 组降低 25.8% ~ 72.5%,且调环酸钙处理抑制效果好于戊唑醇处理;叶面积方面,处理组较 CK 降低 11.6% ~ 54.6%,处理组间仅 T3 显著低于其他处理,其余各处理间无显著差异;叶柄长与冠径方面,处理组较 CK 分别降

低 41.6% ~ 72.9%、29.6% ~ 71.4%,其中 T3、T6 显著低于其他处理。壮苗指数作为反映种苗质量的综合评价参数,结果显示 T3、T6 处理的子苗质量显著优于其他处理与对照;短缩茎粗度方面,各处理与 CK 间无显著差异。叶片是植株重要的同化器官,是植株能量的来源,叶绿素含量反映叶绿体的发育和光合性能<sup>[18]</sup>。表 2 显示,T6 处理的叶绿素 a、叶绿素 a + b 含量显著高于其他处理及 CK,T2 ~ T6 的叶绿素 a/b 值显著高于 T1 与 CK 的叶绿素 a/b 值。综上所述,T6 处理植株形态与叶片颜色都显著优于 CK。

表 1 生长抑制剂处理对草莓子苗植物学性状的影响

处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	叶柄长 (cm)	冠径 (cm × cm)	壮苗指数
CK	15.34 ± 1.45a	7.36 ± 0.20a	19.50 ± 1.33a	12.92 ± 1.47a	349.00 ± 19.25a	1.77 ± 0.33c
T1	6.90 ± 0.61d	7.81 ± 0.76a	13.13 ± 0.86b	5.85 ± 0.92bc	194.58 ± 16.13c	2.09 ± 0.55bc
T2	6.42 ± 0.75d	8.26 ± 0.33a	12.77 ± 2.36b	4.48 ± 0.70c	164.88 ± 15.77c	2.40 ± 0.41abc
T3	4.22 ± 0.15e	7.71 ± 0.65a	8.84 ± 0.66c	3.50 ± 1.20d	99.85 ± 13.63d	2.86 ± 0.41a
T4	11.38 ± 1.42b	7.99 ± 0.48a	17.23 ± 0.80b	7.54 ± 1.11b	245.74 ± 17.38b	2.10 ± 0.09bc
T5	9.66 ± 0.52c	7.80 ± 0.57a	16.06 ± 1.47b	6.32 ± 1.09bc	248.96 ± 21.58b	2.11 ± 0.34bc
T6	6.80 ± 0.40d	7.71 ± 0.04a	13.18 ± 0.17b	3.66 ± 0.42d	185.03 ± 19.85c	2.57 ± 0.23ab

注:同列数字后标不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著(P < 0.05)。下表同。

表 2 生长抑制剂处理对草莓子苗叶片色素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	类胡萝卜素含量 (mg/g)	叶绿素 a + b 含量 (mg/g)	叶绿素 a/b
CK	0.90 ± 0.03bc	0.36 ± 0.02ab	2.50 ± 0.01d	1.26 ± 0.05b	2.50 ± 0.12c
T1	0.82 ± 0.09d	0.32 ± 0.05cd	2.56 ± 0.03bc	1.14 ± 0.14c	2.56 ± 0.20bc
T2	0.90 ± 0.07bc	0.34 ± 0.03bcd	2.70 ± 0.03ab	1.24 ± 0.10bc	2.70 ± 0.08ab
T3	0.84 ± 0.06cd	0.30 ± 0.02d	2.78 ± 0.02a	1.14 ± 0.08c	2.78 ± 0.03a
T4	0.97 ± 0.03b	0.35 ± 0.01bc	2.75 ± 0.01a	1.32 ± 0.04b	2.76 ± 0.04a
T5	0.97 ± 0.03b	0.36 ± 0.04ab	2.70 ± 0.01ab	1.33 ± 0.06b	2.70 ± 0.21ab
T6	1.08 ± 0.04a	0.39 ± 0.02a	2.74 ± 0.01a	1.47 ± 0.06a	2.74 ± 0.05a

2.2 生长抑制剂对草莓植株花芽分化进程及物候期的影响

图 1 所示为艳丽草莓花芽分化不同时期生长点的分化情况。花芽分化各个阶段的形态是固定的,与品种、处理无关。

一般认为二分割期是花芽分化的开始期。图 2 显示,生长抑制剂处理不同程度地提前了花芽分化的进程。与对照比较,T1 ~ T6 分别提前 5、2、2、1、7、5 d 进入二分割期,且二分割期持续时间也不相同,T5、T6 仅持续 1 d 就进入萼片形成期;花芽分化

从开始到花形成经历时间各不相同,CK 10 月 18 日花形成,T1 ~ T6 分别提前了 7、4、1、9、12、15 d。

图 3 和表 3 显示,经过生长抑制剂处理,现蕾率和开花率没有持续高于 CK,其中 T2、T3 与 CK 差异不大,前期甚至略低于 CK,后期略高于 CK,T1、T4 ~ T6 持续明显地高于 CK,现蕾期相对提前 3、4、6、8 d;始花期相对提前 5、6、5、5 d;T2、T3 的现蕾期和始花期较 CK 分别推迟 2、4 d 和推迟 1、1 d。果实始收期表现出 T1、T4 ~ T6 提前 8、8、8、16 d;T2 推迟大约 16 ~ 23 d,T3 与 CK 无差异。

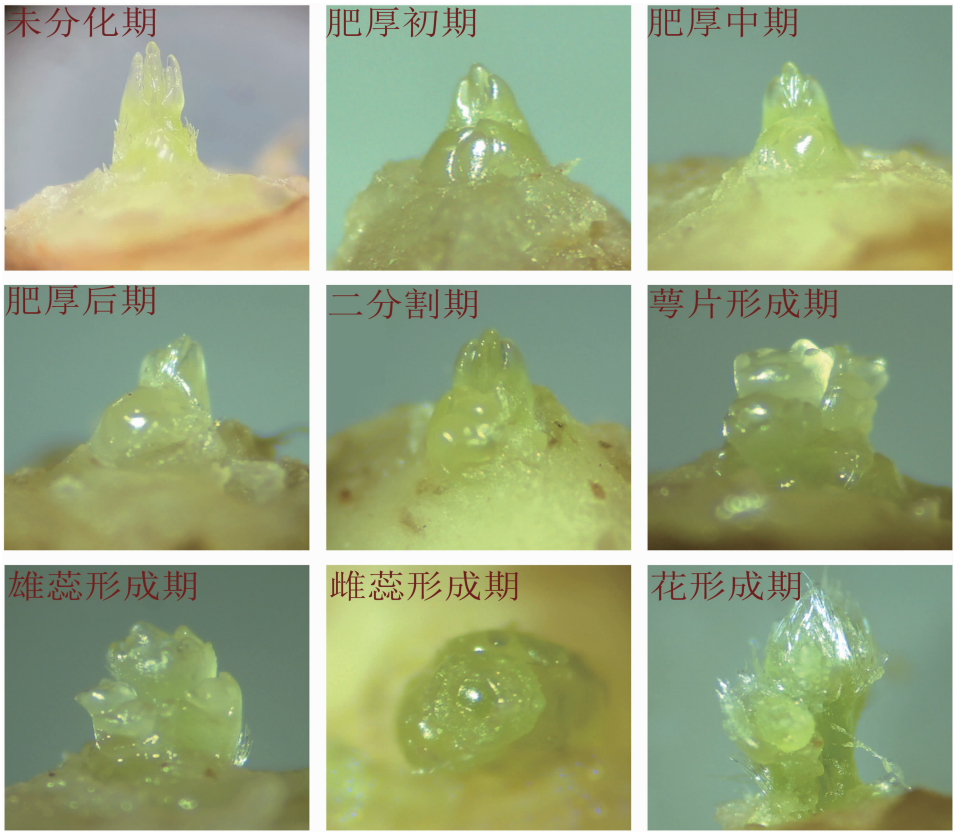


图1 花芽分化各时期形态学观察

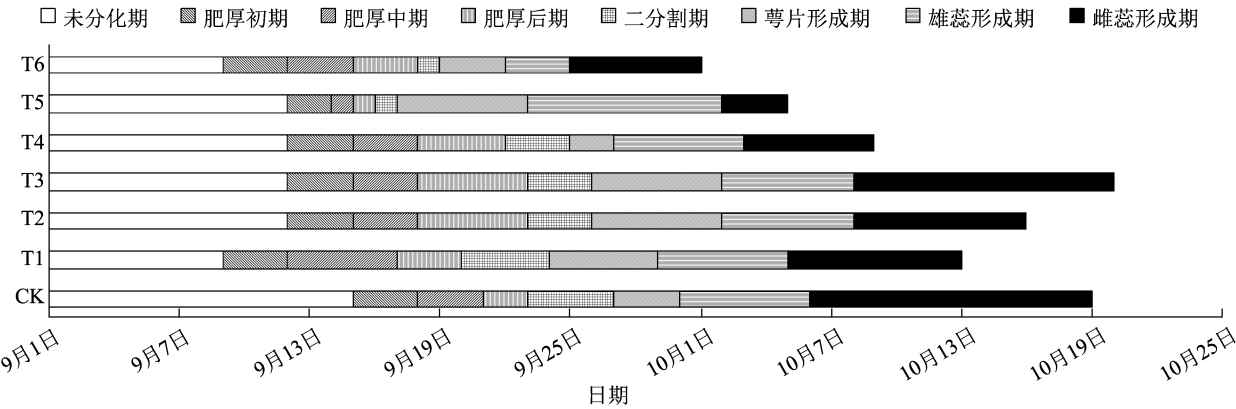


图2 生长抑制剂处理对草莓种苗花芽分化进程的影响

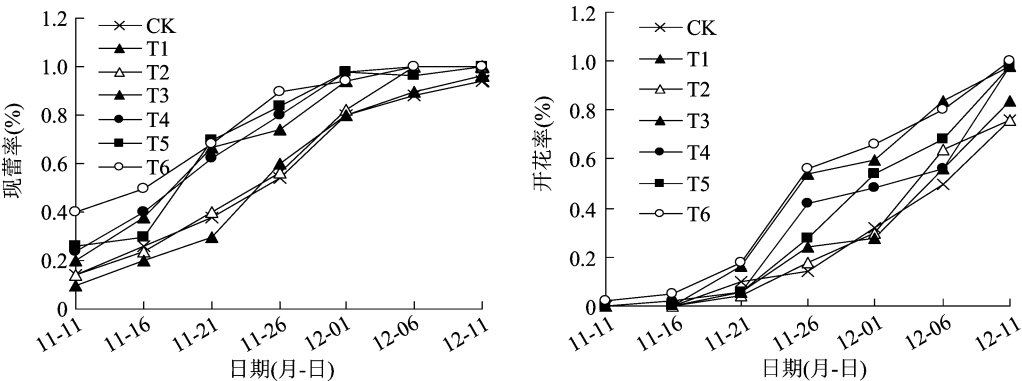


图3 生长抑制剂处理对草莓现蕾和开花的影响

表 3 生长抑制剂处理对草莓物候期的影响

处理	现蕾期 (月-日)	始花期 (月-日)	果实始收期 (月-日)
CK	11-15	11-28	01-13
T1	11-12	11-23	01-05
T2	11-17	11-29	01-29-02-07
T3	11-19	11-29	01-13
T4	11-11	11-22	01-05
T5	11-09	11-23	01-05
T6	11-07	11-23	12-28

### 2.3 生长抑制剂对草莓结果及产量的影响

草莓产量测定是从开始结果至次年 4 月 21 日结束,其中年前产量指 2 月 17 日前的产量。图 4 所示,草莓各处理的年前单株产量依次为 T5 > T1 > T4 > T6 > T2 > T3 > CK,并且除 T3 处理外,其余处理均显著高于 CK。草莓各处理的年后单株产量依次为 T6 > T2 > T4 > T5 > CK > T3 > T1,其中,仅 T2 年后单株产量显著高于其他各处理。平均单果质量和最大单果质量也是产量的重要组成部分,各处理间年前的平均单果质量和最大单果质量无显著差异,年后最大单果质量表现为 T6 显著大于 CK 组,其余处理与 CK 无显著差异;年后平均单果质量表现为 T6 显著高于 CK,其余各处理与 CK 无显著差异。年前后平均单果质量表现为年后平均单果质量低于年前平均单果质量,而年前后的最大单果质量表现为,CK、T2、T6 年后最大单果质量较年前变大,T1、T3 较年前变小,其余无明显差异。

### 2.4 生长抑制剂对草莓品质的影响

表 4 显示,维生素 C 是草莓果实中重要的营养物质,生长抑制剂处理后,T6、T5、T2、T4、T1 的维生素 C 含量较 CK 下显著升高,分别提高了 44.79%、42.79%、24.77%、22.52%、9.51%;T3 的维生素 C 含量较 CK 显著降低了 16.77%。草莓的风味主要由可溶性糖和酸含量及糖酸比影响,如表 4 所示,生长抑制剂处理后的草莓果实可溶性糖含量均显著高于 CK,可滴定酸方面,T1 显著高于 CK,其余处理与 CK 无显著差异,且调环酸钙处理组间(T1 ~ T3)呈现出可溶性糖与可滴定酸含量随浓度升高而下降的趋势,最终各处理间的糖酸比均显著高于 CK 组,从高到底顺序依次为 T6、T5、T4、T3、T2、T1。可溶性固形物也是反映果实糖度的一个重要指标,结果显示,仅 T3 的可溶性固形物显著低于 CK,T5、T6 的固酸比显著高于 CK。

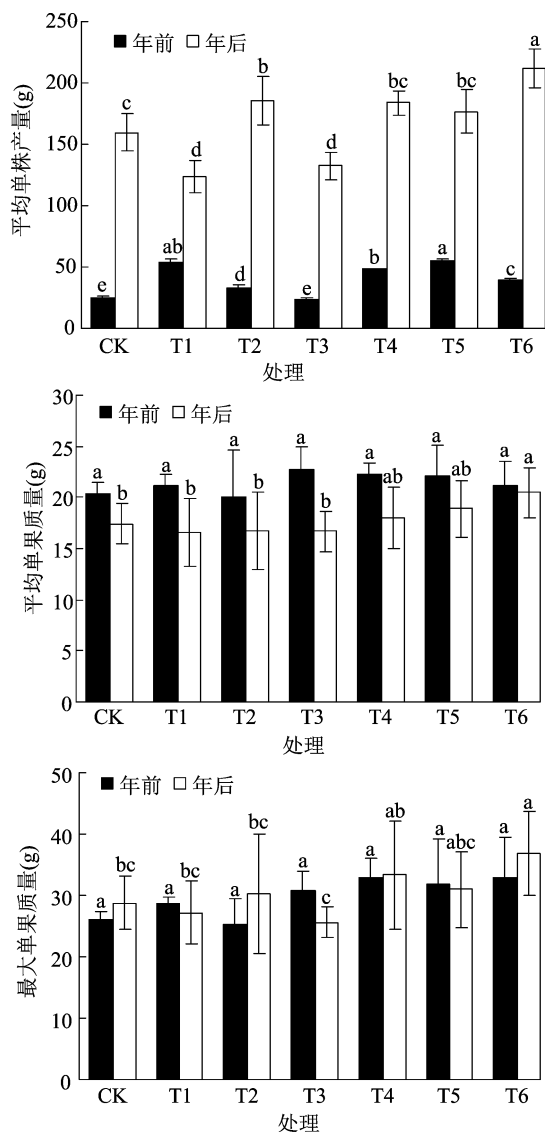


图 4 生长抑制剂处理对草莓产量的影响

### 2.5 生长抑制剂对草莓产量和品质影响的综合评价

#### 2.5.1 生长抑制剂处理对草莓产量的主成分分析

由表 5、表 6 可知,试验提取了 2 个主成分,累计方差贡献率达 84.653%,可代表 7 个产量指标所反映的产量情况。由表 6 可知,主成分 1 主要综合了年后最大单果质量、每公顷产量、年后平均单果质量、年后单株产量,贡献率分别是 95.9%、94.5%、91.8%、87.0%;主成分 2 主要综合了年前平均单果质量、年前最大单果质量、年前单株产量,贡献率分别为 94.0%、71.5%、43.6%。计算出特征向量,构建主成分表达式:

$$Y_1 = 0.476 \ 0X_1 + 0.469 \ 1X_2 + 0.455 \ 6X_3 + 0.431 \ 7X_4 + 0.066 \ 2X_5 + 0.330 \ 1X_6 + 0.214 \ 5X_7;$$

表 4 生长抑制剂处理对草莓果实品质的影响

处理	维生素 C 含量 (mg/100 g)	可溶性糖含量 (%)	可滴定酸含量 (%)	糖酸比	可溶性固形物含量 (%)	固酸比
CK	44.94 ± 0.89d	3.33 ± 0.07d	0.77 ± 0.00bcd	4.33 ± 0.09c	12.44 ± 0.77ab	16.20 ± 1.01b
T1	49.21 ± 1.73c	4.07 ± 0.17a	0.83 ± 0.00a	4.89 ± 0.21b	12.52 ± 0.62ab	15.05 ± 0.75b
T2	56.07 ± 1.55b	3.88 ± 0.04b	0.79 ± 0.04ab	4.93 ± 0.26b	12.76 ± 0.27a	16.18 ± 0.52b
T3	37.40 ± 0.85e	3.65 ± 0.07c	0.70 ± 0.00cd	5.18 ± 0.10b	9.67 ± 0.71c	13.73 ± 1.01b
T4	55.06 ± 0.89b	4.12 ± 0.06a	0.73 ± 0.04cd	5.69 ± 0.23a	11.20 ± 1.01b	15.51 ± 2.10b
T5	64.17 ± 1.79a	3.89 ± 0.05b	0.68 ± 0.04d	5.72 ± 0.38a	12.93 ± 0.90a	18.98 ± 1.66a
T6	65.07 ± 1.66a	4.04 ± 0.07ab	0.70 ± 0.06cd	5.76 ± 0.44a	13.44 ± 0.83a	19.16 ± 1.36a

表 5 总解释方差

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率(%)	累积贡献率(%)	特征值	方差贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	4.059	57.983	57.983	4.059	57.983	57.983
2	1.867	26.670	84.653	1.867	26.670	84.653
3	0.814	11.634	96.288			
4	0.194	2.770	99.058			
5	0.064	0.910	99.968			
6	0.002	0.032	100.000			
7	1.110 × 10 <sup>-16</sup>	1.586 × 10 <sup>-15</sup>	100.000			

表 6 成分矩阵

指标	成分矩阵	
	1	2
年后最大单果质量	0.959	-0.224
每公顷产量	0.945	-0.221
年后平均单果质量	0.918	0.009
年后单株产量	0.870	-0.429
年前平均单果质量	0.133	0.940
年前最大单果质量	0.665	0.715
年前单株产量	0.432	0.436

$Y_2 = -0.163\ 7X_1 - 0.162\ 1X_2 + 0.006\ 3X_3 - 0.313\ 8X_4 + 0.687\ 9X_5 + 0.523\ 0X_6 + 0.318\ 9X_7$ 。  
式中： $Y_1$ 、 $Y_2$  分别表示主成分 1 与主成分 2 的特征向量权重值； $X_1 \sim X_7$  分别代表各处理标准化后年后最大单果质量、每公顷产量、年后平均单果质量、年后单株产量、年前平均单果质量、年前最大单果质量、年前单株产量的值。

生长抑制剂对草莓综合产量得分的计算公式为：  
 $Y = 0.579\ 83Y_1 + 0.266\ 70Y_2$ 。

将标准化后的数据带入主成分综合得分模型，最终得到综合产量排名为 T6 > T4 > T5 > T1 > T2 > T3 > CK (表 7)。

表 7 产量主成分因子得分及排序

处理	主成分因子得分		综合得分	排名
	PC1	PC2		
CK	-1.47	-1.48	-1.25	7
T1	-1.70	0.74	-0.79	4
T2	-0.63	-2.06	-0.91	5
T3	-2.21	1.45	-0.90	6
T4	1.51	0.95	1.13	2
T5	1.35	0.96	1.04	3
T6	3.15	-0.56	1.67	1

2.5.2 生长抑制剂处理对草莓品质的主成分分析  
由表 8、表 9 可知,试验提取了 3 个主成分,累计方差贡献率达 99.569%,可代表 6 个品质指标所反映的情况。由表 9 可知,主成分 1 主要综合了维生素 C 含量、可溶性糖、可滴定酸、糖酸比、固酸比,贡献率分别是 97.3%、88.9%、78.2%、64.8%、61.2%;主成分 2 主要代表糖酸比、可溶性固形物,其贡献率为 75.5%、72.2%;主成分 3 主要代表固酸比,贡献率为 77.6%。计算出特征向量,构建主成分表达式:

$$Y_1 = 0.531\ 6X_1 + 0.485\ 5X_2 + 0.427\ 2X_3 + 0.354\ 1X_4 - 0.249\ 1X_5 + 0.334\ 2X_6;$$
$$Y_2 = 0.148\ 4X_1 + 0.196\ 4X_2 - 0.477\ 9X_3 + 0.603\ 2X_4 + 0.577\ 0X_5 - 0.119\ 5X_6;$$
$$Y_3 = 0.025\ 4X_1 - 0.371\ 7X_2 + 0.167\ 8X_3 - 0.086\ 9X_4 + 0.506\ 1X_5 + 0.754\ 5X_6。$$

式中： $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$  分别表示主成分 1、主成分 2、主成分 3 的特征向量权重值； $X_1 \sim X_6$  分别代表各处理标准化后维生素 C、固酸比、糖酸比、可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖的值。

生长抑制剂对草莓综合品质得分的计算公式为：  
 $Y = 0.558\ 55Y_1 + 0.260\ 83Y_2 + 0.176\ 30Y_3$ 。

表 8 总解释方差

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率(%)	累积贡献率(%)	特征值	方差贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	3.351	55.855	55.855	3.351	55.855	55.855
2	1.565	26.083	81.939	1.565	26.083	81.939
3	1.058	17.630	99.569	1.058	17.630	99.569
4	0.026	0.428	99.996			
5	0.000	0.004	100.000			
6	$2.041 \times 10^{-9}$	$3.402 \times 10^{-8}$	100.000			

表 9 成分矩阵

指标	成分矩阵		
	1	2	3
维生素 C 含量	0.973	0.186	0.026
可溶性糖含量	0.889	0.246	-0.382
可滴定酸含量	0.782	-0.598	0.173
糖酸比	0.648	0.755	-0.089
可溶性固形物含量	-0.456	0.722	0.521
固酸比	0.612	-0.149	0.776

将标准化后的数据带入主成分综合得分模型,最终得到综合品质排名为 T6 > T5 > T2 > T1 > T4 > CK > T3(表 10)。

表 10 果实品质主成分因子得分及排序

处理	主成分因子得分			综合得分	排名
	PC1	PC2	PC3		
CK	-1.84	1.27	-1.47	-0.95	6
T1	-0.83	1.12	1.52	0.10	4
T2	-0.13	1.04	0.42	0.27	3
T3	-2.25	-1.96	-0.31	-1.82	7
T4	0.40	-1.23	0.92	0.07	5
T5	2.15	-0.32	-0.81	0.97	2
T6	2.49	0.08	-0.28	1.36	1

3 讨论

本研究通过调环酸钙和拿敌稳 2 种植物生长抑制剂采用根施处理艳丽草莓子苗,结果显示,2 种抑制剂显著抑制草莓株高、叶面积、叶柄长、冠径,且高浓度抑制剂显著提高了壮苗指数。此结果与前人研究结果相似,赵密珍等的研究表明,宁玉草莓苗期喷施拿敌稳、烯啶醇、多效唑 3 种生长抑制剂,均可抑制株高以及苗期和定植前期的匍匐茎抽生<sup>[19]</sup>。Kim 等对 Maehyang 草莓母株进行调环酸钙

处理发现,植株叶柄长度、匍匐茎数量及长度都显著降低,并且 50 mg/L 调环酸钙处理后匍匐茎的鲜质量和干质量都显著增加,且处理后前 2 周,显著提高了草莓叶片的 SPAD 值,提高  $F_v/F_m$  值,但是对植株冠径没有显著影响<sup>[20]</sup>。这与本试验结论不一致,可能是由于草莓品种、草莓苗龄和处理浓度及方式等因素的影响。

培育壮苗是产量形成的基础,而花芽分化是产量形成的决定性因素。本试验经过对各处理生长点的持续观察记录,发现各处理均比 CK 提前进入花芽分化,但最终果实始收期保持提前的仅有 T1 与 T4 ~ T6(拿敌稳处理),结果与赵密珍在宁玉苗期喷施拿敌稳使其果实成熟提前 14 d<sup>[19]</sup>一致。不同的是,T2、T3 进入花芽分化和花形成仅提前 2 d 左右,但其现蕾期和始花期较 CK 分别推迟 2、4 d 和推迟 1 d,果实始收期也有所延迟,这可能与子苗质量有关。前人研究发现,叶片数 4 片及以上、短缩茎粗在 0.84 cm 以上的草莓植株,花芽分化时期和进程差异小<sup>[21-22]</sup>。本试验中,抑制剂处理后,以株高、叶面积为依据,T2、T3 受抑制影响最大,即使叶片数与其他处理保持一致,但由于叶面积太小、叶绿素含量低影响后续光合作用及营养利用,不能持续为花芽分化及果实发育提供充足的营养。

开花早晚及花序多寡直接影响草莓的产量及莓农的收益。前人研究表明,种植 3 周开始调环酸钙处理,在不影响平均果质量的情况下,增加了花序数和总商品草莓产量,同时减少早期产量,推迟产量高峰,延长收获期<sup>[13]</sup>。本试验测定了单株产量、每公顷产量、最大单果质量、平均单果质量 4 个产量指标,且以 2 月 17 日为时间节点区分年前年后。本试验中,随着调环酸钙处理(T1 ~ T3)浓度的增高,年前单株产量呈现下降趋势,且 T3 与 CK 间无显著差异,年后产量表现为 T2 > CK > T1 > T3,与前人研究认为的增加产量推迟产量高峰不完全一致,这可能是调环酸钙施用时期不同所致。本试验中,随着调环酸钙浓度的增高,花芽分化期赤霉素类物质减少,开花后赤霉素类物质又开始增加。前人研究表明,不同时期的赤霉素处理可能引起草莓的成花逆转、成花延迟、花器官分化加速等不同的生理反应<sup>[23-24]</sup>。育苗期施用调环酸钙,减少了花芽分化期赤霉素含量,促进生长点向花芽的分化,而在实际试验中 T1 的确开花提前但由于植株体量小不能持续给花蕾供给营养导致年前单株产量最高,

但年后产量相对其他处理较低,T2 花芽分化没有提前,定植后的主要营养流向植株的生长,并且后期随着抑制作用的减弱,产量达到 3 个处理中的最高,T3 植株长势最弱,新叶抽生缓慢等生长过分受抑的现象,显示出花芽分化延后和产量下降。拿敌稳各处理的年前、年后单株产量指标均显著高于 CK,并且出现年前产量高而年后产量较低的规律,所以过早开花并不一定形成高产量。最终利用主成分分析法,综合来看,400 mg/L 拿敌稳在艳丽草莓苗期根施使用对增产的效果最佳。

调环酸钙在果蔬上的应用广泛,可提高脐橙、苹果、轮台白杏果实的可溶性固形物含量、可滴定酸、果实光泽度等品质<sup>[2,25-26]</sup>。本试验结果表明,生长抑制剂处理显著增加了草莓果实可溶性糖含量和糖酸比,优化了草莓风味。利用主成分分析法,对维生素 C、可溶性糖、可滴定酸、糖酸比、可溶性固形物、固酸比 6 个品质指标进行综合分析,最终品质综合排名依次为 400 mg/L 拿敌稳、200 mg/L 拿敌稳、100 mg/L 调环酸钙处理。

综上所述,综合苗期长势、物候期、产量及品质,最终认为 400 mg/L 拿敌稳处理对草莓综合效果最好,调环酸钙处理可以适当降低浓度,即低于 50 mg/L 或者根施改为喷施。此外,2 种抑制剂处理后的子苗现蕾后,可喷施芸苔素内酯解除生长抑制,促进植株生长,为草莓结果提供壮苗基础。

#### 参考文献:

- [1] 余红,马华升,方献平,等. 草莓花芽分化机理及调控技术研究进展[J]. 江西农业学报,2011,23(1):58-61,67.
- [2] 刘丽,高登涛,魏志峰,等. 调环酸钙对富士苹果生长及果实品质的影响[J]. 果树学报,2021,38(7):1084-1091.
- [3] 李珊珊. 调环酸钙和 CPPU 对苹果营养生长和花芽形成的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2020:12-42.
- [4] 李富根,吴新平,刘乃焱. 戊唑醇的作用特点及其应用概况[J]. 农药科学与管理,2001,22(3):40-41.
- [5] Mohsin S M, Hasanuzzaman M, Borhannuddin Bhuyan M H M, et al. Exogenous tebuconazole and trifloxystrobin regulates reactive oxygen species metabolism toward mitigating salt-induced damages in cucumber seedling[J]. Plants,2019,8(10):428.
- [6] 郭世保,陈俊华,史洪中,等. 拿敌稳防治黄瓜白粉病应用研究[J]. 北方园艺,2013(16):137-139.
- [7] 杨莎莎,段劲生,王梅,等. 手性三唑类杀菌剂四氟醚唑、戊唑醇和己唑醇的研究进展[J]. 农药科学与管理,2017,38(4):31-38.
- [8] Rehman M, Singh Z, Khurshid T. Pre-harvest spray application of

- prohexadione-calcium and paclobutrazol improves rind colour and regulates fruit quality in M7 Navel oranges[J]. Scientia Horticulturae,2018,234:87-94.
- [9] Kang S M, Kim J T, Hamayun M, et al. Influence of prohexadione-calcium on growth and gibberellins content of Chinese cabbage grown in alpine region of South Korea[J]. Scientia Horticulturae,2010,125(2):88-92.
- [10] 王引,陈方永,倪海枝,等. 调环酸钙对东魁杨梅生长与结果的影响研究[J]. 浙江柑橘,2017,34(4):36-39.
- [11] 王才斌,吴正锋,赵品绩,等. 调环酸钙对花生某些生理特性和产量的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2008,14(6):1160-1164.
- [12] Greene D W, Schloemann S G. Prohexadione-calcium inhibits runner formation and enhances yield of strawberry[J]. Journal American Pomological Society,2010,64(3):125-139.
- [13] Hytönen T, Mouhu K, Koivu I, et al. Planting year prohexadione-calcium treatment increases the cropping potential and yield of strawberry[J]. Acta Horticulturae,2009,842:741-744.
- [14] 熊永,张娇,郭聪聪,等. 超高效液相色谱-质谱联用检测调环酸钙在花生及土壤中的残留[J]. 农药,2018,57(9):675-677.
- [15] 赵密珍. 草莓种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:7-95.
- [16] 韩佩汝,张正伟,郑静,等. 低温对草莓花芽分化的影响[J]. 中国农业大学学报,2019,24(1):30-39.
- [17] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2006:1-295.
- [18] Lu T, Yu H J, Li Q, et al. Improving plant growth and alleviating photosynthetic inhibition and oxidative stress from low-light stress with exogenous GR24 in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings[J]. Frontiers in Plant Science,2019,10:490.
- [19] 赵密珍,庞夫花,王庆莲,等. 生长抑制剂对‘宁玉’草莓苗及其定植后生长的影响[J]. 中国果树,2021(2):60-62.
- [20] Kim H, Lee H, Kang J, et al. Prohexadione-calcium application during vegetative growth affects growth of mother plants, runners, and runner plants of maehyang strawberry[J]. Agronomy,2019,9(3):155.
- [21] 李世一,李景佳,张延明. 草莓花芽分化规律的初步研究[J]. 河北农业大学学报,1983,6(2):17-24,115.
- [22] 杨红,王连君. 寒地草莓植物学特性与花芽分化的关系[J]. 北方园艺,2007(3):31-32.
- [23] 侯智霞,黄卫东,孔维府. 赤霉素处理影响草莓成花的解剖学研究[J]. 中国农学通报,2004,20(3):26-29.
- [24] 王玮玮,孙玉东,赵苏海,等. 不同浓度 GA<sub>3</sub> 对红颜草莓育苗的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(2):124-126.
- [25] 柳嘉程,刘永忠,凌永河,等. 调环酸钙对赣南纽荷尔脐橙夏梢生长和果实品质的影响[J]. 中国南方果树,2022,51(3):12-15.
- [26] 章世奎,罗晓琴,王亚铜,等. 调环酸钙对轮台白杏营养生长和果实品质的影响[J]. 新疆农业科学,2021,58(5):846-853.