

CPPU 对三种典型黄瓜类型果实生长及品质的影响

唐艳领¹, 宋 策¹, 荆艳彩¹, 米国全¹, 马 凯¹, 蔡毓新²,
王腾起¹, 王坐京¹, 牛莉莉¹, 吴陈陈¹

(1. 河南省农业科学院蔬菜研究所 郑州 450002; 2. 河南省庆发种业有限公司 郑州 450002)

摘要: 为明确氯吡脞(CPPU)对不同类型黄瓜生长与品质的影响,并为精准调控提供理论依据,以华南型黄瓜绿宝珠 6 号、欧洲型黄瓜绿翠 2 号及华北型黄瓜博杰 616 为试材,在雌花开放当天采用 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CPPU 进行喷花处理,测定坐果率、果实生长动态、单果质量以及可溶性蛋白、可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C 和游离氨基酸含量等指标。结果表明,与对照(清水处理)相比,CPPU 处理显著增加了所有品种果实的生长速率、单果质量及坐果率,并将绿宝珠 6 号和绿翠 2 号的坐果率提升至 100%;显著或极显著提高了 3 种黄瓜的可溶性糖、可溶性固形物及可溶性蛋白含量,其中绿翠 2 号处理后分别比对照高 3.7%、8.9%和 8.4%,绿宝珠 6 号分别比对照高 11.9%、13.7%和 11.9%。CPPU 对游离氨基酸含量的调控呈现明显的品种差异,增加了绿宝珠 6 号和绿翠 2 号的多种游离氨基酸含量,降低了博杰 616 中谷氨酸和脯氨酸等关键风味氨基酸含量。综上所述, $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CPPU 能有效提升黄瓜产量和多数营养风味指标,但其对氨基酸的调控具有强烈的品种依赖性。因此,在生产中应用 CPPU 时,需充分考虑品种特性,以实现真正的优质高产。

关键词: 黄瓜; 氯吡脞; 生长; 品质

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)10-075-08

Effects of forchlorfenuron (CPPU) on fruit growth and quality in three different cucumber cultivars

TANG Yanling¹, SONG Ce¹, JING Yancan¹, MI Guoquan¹, MA Kai¹, CAI Yuxin², WANG Tengqi¹,
WANG Zuoqing¹, NIU Lili¹, WU Chenchen¹

(1. Vegetable Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. Henan Qingfa Seed Industry Co., Ltd., Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: To clarify the effects of forchlorfenuron (CPPU) on the growth and quality of different cucumber types and provide a theoretical basis for precise regulation, this study used the South China-type cucumber Lübaozhu No. 6, the European-type cucumber Lücu No. 2, and the North China-type cucumber Bojie 616 as test materials. On the day of female flower opening, a $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CPPU solution was applied by spraying, and the fruit-setting rate, fruit growth dynamics, single fruit mass, and quality indicators such as soluble protein, soluble sugar, soluble solids, vitamin C, and amino acid content were systematically measured. The results showed that compared with the control, CPPU treatment significantly increased the growth rate, single fruit mass, and fruit-setting rate of all cultivars, and increased the fruit-setting rate of Lübaozhu No. 6 and Lücu No. 2 to 100%. It also significantly enhanced the soluble sugar, soluble solid, and protein content in all three cucumber cultivars. Specifically, after treatment, Lücu No. 2 exhibited increases of 3.7%, 8.9%, and 8.4% compared to the control, while Lübaozhu No. 6 showed increases of 11.9%, 13.7%, and 11.9%, respectively. The regulation of free amino acids by CPPU exhibited significant cultivar-dependent differences, increasing the content of various free amino acids in Lübaozhu No. 6 and Lücu No. 2, and reducing the amino acid content of key flavors such as glutamate and proline in Bojie 616. In conclusion, $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CPPU effectively improves cucumber yield and most nutritional flavor indicators, but its regulation of amino acid is strongly variety-dependent. Therefore, the application of CPPU in production must fully consider cultivar characteristics to achieve genuine high quality and yield.

Key words: Cucumber; Forchlorfenuron (CPPU); Growth; Quality

收稿日期: 2025-07-15; 修回日期: 2025-09-03

基金项目: 河南省大宗蔬菜产业技术体系黄瓜品种改良岗位专家项目(HARS-22-07-G2); 河南省中央引导地方科技发展资金项目(Z20241471128); 河南省农业科学院科技创新团队项目(2024TD38); 河南省农业科学院自主创新项目(2025ZC34)

作者简介: 唐艳领, 女, 助理研究员, 研究方向为蔬菜设施栽培、工厂化育苗。E-mail: tangtangyanling@126.com

通信作者: 马 凯, 男, 副研究员, 研究方向为蔬菜工厂化育苗、蔬菜栽培与育种。E-mail: mkbioenergy@163.com

黄瓜口感清脆,富含维生素及其他对人体有益的矿物质,是我国重要的蔬菜作物^[1]。2023 年全国黄瓜种植面积达 132 万 hm^2 ^[2]。黄瓜种植的类型主要为华北型、华南型和欧洲型,华北型果实细长,遍布密刺,颜色深绿;华南型黄瓜短棒状,果皮较厚,刺瘤大且稀^[3];欧洲型黄瓜又称水果黄瓜、荷兰小黄瓜,果皮光滑无刺,多为雌性系^[4]。不同类型的黄瓜在栽培过程中容易出现化瓜、果实不膨大等问题,影响经济效益^[5]。氯吡脲(CPPU)在黄瓜生产中被广泛用于提高坐果率、改善果实形态及增产^[6]。然而,部分生产者对不同的黄瓜类型是否需要使用植物生长调节剂及其对品质的影响缺乏了解,使用不当可能不利于可持续发展。因此,了解 CPPU 促进黄瓜生长及对品质的影响情况,针对不同黄瓜类型的特点合理规范使用 CPPU 对黄瓜生产具有重要意义。

CPPU 是一种人工合成的苯基脲类细胞分裂素,通过激活细胞周期蛋白依赖性激酶(CDKs)和调控细胞壁代谢相关基因表达,促进细胞分裂和膨大^[7],通过调整作物内源激素平衡来促进生长,影响力远超一般细胞分裂素(CTK)类物质,活性约为 6-苄氨基嘌呤(6-BA)的 10 倍之多^[8]。CPPU 在农业生产领域的应用日益广泛,其与赤霉素(GA_3)配合使用可以用于葡萄的无核化及膨大处理,提高糖类积累量和固酸比,同时提高萜烯类、醛类香气组分含量,增加香气层次^[9-10];CPPU 处理猕猴桃能增加果实的单果质量和提高采后软化速率,促进淀粉的降解,提升可溶性糖、可溶性固形物和总黄酮含量^[11];CPPU 处理西瓜幼果后,能提高西瓜果实硬度、脆度、胶着性和咀嚼性,能增加硬脆基因型西瓜的粗纤维与纤维素含量,进而对西瓜果肉质地产生的影响^[12];CPPU 在黄瓜制种中能发挥有效的作用,3~6 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ CPPU 于授粉后浸蘸瓜,种子产量能增加 30.0%^[13]。CPPU 目前已被广泛应用于蔬菜、水果、粮食作物生产中,表现出了较大的增产潜力^[14]。

目前,在黄瓜生产中,CPPU 处理对不同类型黄瓜生长及品质风味的影响尚未系统研究。本研究在黄瓜雌花开放当天分别对 3 种不同类型黄瓜的雌花子房喷施 CPPU,分析其对黄瓜果实生长速率、品质及游离氨基酸含量的影响,综合考虑制定 CPPU 的使用方案,在确保提高黄瓜产量和品质的同时,保障农产品质量安全与生态环境安全,为有效应用 CPPU 生产绿色安全优质黄瓜提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试黄瓜为 3 个不同类型的品种,博杰 616 由天津德瑞特种业有限公司提供,为华北型黄瓜;绿翠 2 号由河南省庆发种业有限公司提供,为欧洲型黄瓜;绿宝珠 6 号由青岛海诺瑞特科技有限公司提供,为华南型黄瓜。供试 CPPU 试剂为四川施特优化工有限公司生产的 0.1%可溶液剂,本次试验采用黄瓜生产中常用的最佳 CPPU 浓度(ρ ,后同)10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[15]。

1.2 方法

试验于 2024 年 7—12 月在河南现代农业研究开发基地进行,选取长势、结瓜部位基本一致的植株,从第 5~第 6 节开始留瓜。当黄瓜雌花花朵刚刚开放时,用 10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CPPU 为处理,以清水为对照,对准整个花朵和子房进行喷花处理,喷花后挂上标签标记。每个处理选取 10 株,每株喷花 1 朵,每个处理 3 次重复。

1.3 指标测定

从喷花开始,每 2 d 用游标卡尺测定 1 次 3 种类型黄瓜果实的横径,用皮尺测定黄瓜果实纵径,记录黄瓜幼瓜的坐果率。单果质量采用电子天平(精度 0.01 g)称量。

采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用数显糖度仪测定可溶性固形物含量;采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量^[16]。

采用 2,4-二硝基氟苯柱前衍生 HPLC 法测定黄瓜果实中 17 种游离氨基酸含量^[17],仪器使用 Thermo(赛默飞)U3000 二元高压液相色谱仪。称取样品 0.5 g 置于 15 mL 试管中,加入 5 mL 6 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸,110 $^{\circ}\text{C}$ 下水解 24 h 后,用 6 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钾调节 pH 至中性,离心。用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液待衍生用,取 200 μL 试样于 2 mL 进样瓶中。加入 400 μL 碳酸钠—碳酸氢钠缓冲溶液和 200 μL 的 1 g $\cdot$ 100 mL^{-1} 2,4-二硝基氟苯(DNFB)溶液,在 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴反应 1 h。用 0.1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的磷酸盐缓冲液定容至 2 mL,混匀。用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,供液相分析。

1.4 数据分析

用 Excel 2019 和 GraphPad Prism 8.0.2 进行数据处理及绘制图表,用 IBM SPSS Statistics 27 对数据作差异显著性分析。

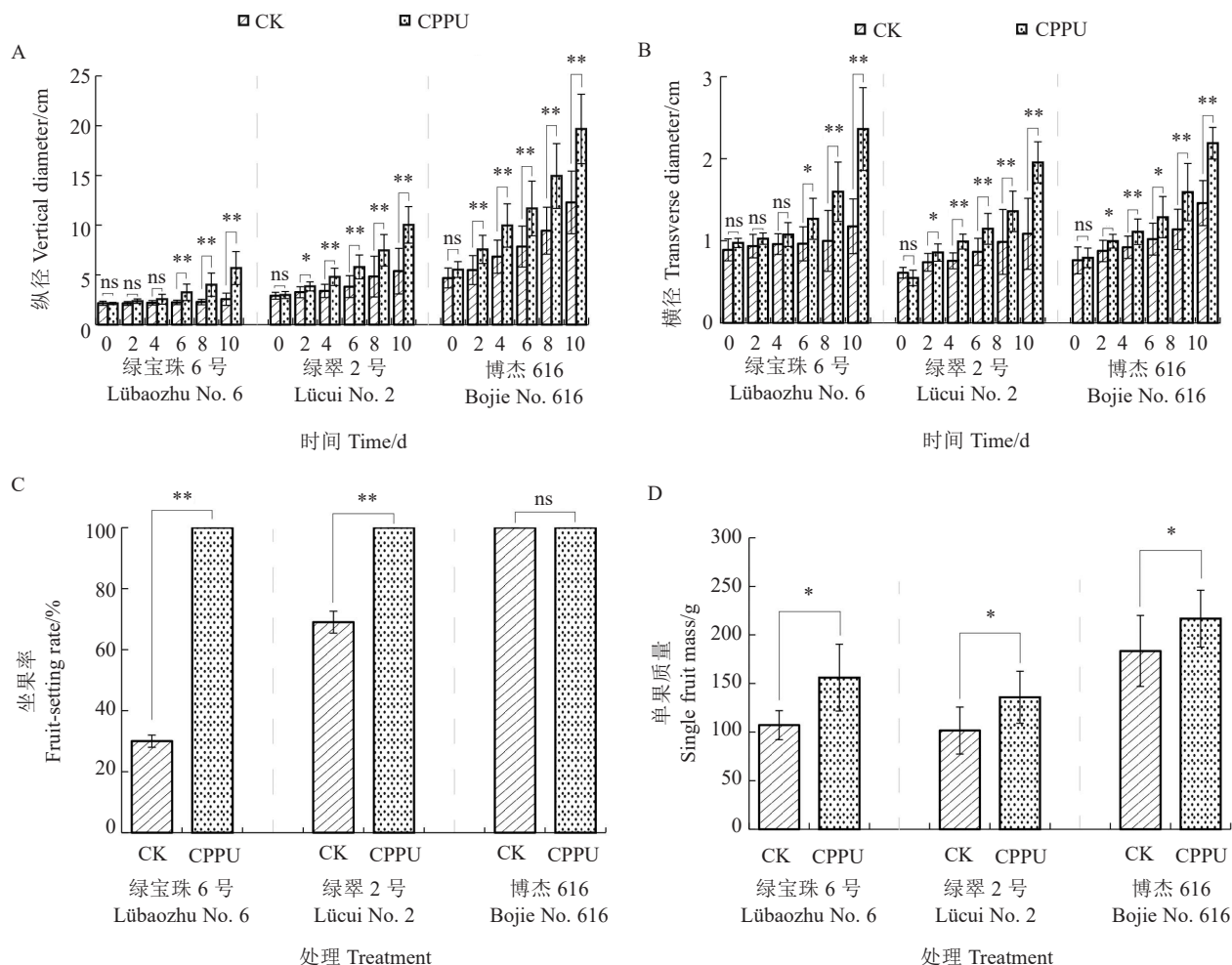
2 结果与分析

2.1 CPPU处理对黄瓜果实大小、单果质量和坐果率的影响

从图 1-A 可以看出, $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CPPU 处理对 3 种类型黄瓜的果实前期膨大产生了显著的影响。博杰 616 在处理 2 d、绿翠 2 号在处理 4 d 和绿宝珠 6 号在处理 6 d 时的纵径与对照组出现极显著差异, 根据品种特性不同, 分别增加了 38.00%、41.06%、48.42%, 且随着天数的增加一直保持极显著水平。喷花 2 d 后, 博杰 616、绿翠 2 号果实的横径显著增加(图 1-B), 分别比对照增加 13.6%、18.6%, 并从第 4 天起维持极显著优势。绿宝珠 6 号的横径则在第 6 天开始与对照组产生显著差异, 增加 0.26 cm。CPPU 处理对 3 种类型黄瓜的纵径

和横径都有显著促进作用, 表明 CPPU 能有效激活果实细胞的分裂与伸长, 显著加快果实的生长速度, 但在响应时间上随品种类型不同会有所差别。

在果实坐果率方面, CPPU 处理后坐果率均在 100%, 表现出了促进黄瓜坐果的特性(图 1-C)。3 个品种中, 绿宝珠 6 号的生理落果(俗称化瓜)问题最为严重, 喷施 CPPU 后, 坐果率由 30% 提升至 100%, 提升效果最明显, 绿翠 2 号由 70% 提升至 100%, 博杰 616 处理前后均为 100%。综上, 绿宝珠 6 号在雌花开花后应及时喷施 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CPPU, 可以最大程度地增加果实数量, 对此品种的整体产量和经济效益有显著促进作用, 但绿翠 2 号是强雌性品种, 自身坐果率高, 生产中为了保证品质, 避免过分浪费植株营养, 会进行人工疏果, 除非存在严重化瓜现象, 否则施用 CPPU 对提高其产量和品质而



注: ns 表示处理组与对照组在同一时间点无显著差异, * 表示在 0.05 水平差异显著, ** 表示在 0.01 水平差异极显著。下同。

Note: ns represents no significant difference between the treatment group and the control group at the same time point, * represents significant difference at 0.05 level, and ** represents extremely significant difference at 0.01 level. The same below.

图 1 CPPU 处理对三种不同类型黄瓜果实大小、单果质量和坐果率的影响

Fig. 1 Effects of CPPU treatment on fruit size, single fruit mass and fruit-setting abortion rate in three cucumber cultivars

言意义不大。而博杰 616 自然坐果率已近饱和,施用 CPPU 能促进快速结果采摘,但对其整体产量作用不明显。在单果质量方面,3 种黄瓜经 CPPU 处理后均显著高于各自的对照组(图 1-D)。同一时期的绿宝珠 6 号、绿翠 2 号、博杰 616 的单果质量分别提升 47.7%、35.0%、18.1%。单果质量的普遍增加和坐果率的显著提升,共同揭示了 CPPU 处理能够从 2 个维度协同作用,极大地促进黄瓜提早上市。

2.2 CPPU 处理对黄瓜果实内在品质的影响

可溶性蛋白、可溶性糖、可溶性固形物及维生素 C 含量是评价黄瓜果实重要的内在品质指标。由图 2-A~C 可知,经 CPPU 处理后,3 种黄瓜果实的可溶性蛋白含量及与风味密切相关的可溶性糖和可溶性固形物含量相较于 CK 均有不同程度提高。其中,绿翠 2 号处理前的 CK 数值最高,处理后分别比 CK 高 8.4%、3.7%和 8.9%,绿宝珠 6 号处理后分别比 CK 高 11.9%、11.9%和 13.7%,且这 2 个品种都是极显著增加,而博杰 616 的可溶性蛋白含量增幅达到极显著水平,可溶性糖和可溶性固形物

含量增幅均达到显著水平。对于维生素 C 含量,与 CK 相比,绿宝珠 6 号增幅达到极显著水平(图 2-D),博杰 616 增幅达到显著水平,而绿翠 2 号在处理水平略有上升,但差异并不显著。综上,CPPU 处理后对 3 个品种的可溶性蛋白、可溶性糖、可溶性固形物及维生素 C 的含量都有一定积极的影响,尤其对绿宝珠 6 号的促进作用最佳。

2.3 CPPU 处理对黄瓜果实氨基酸含量的影响

果实氨基酸含量是影响果品鲜食品质的主要因子。鲜味氨基酸主要包括天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)等,甜味氨基酸主要包括苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、丙氨酸(Ala)、甲硫氨酸(Met)、脯氨酸(Pro)、甘氨酸(Gly)等,苦味氨基酸主要包括精氨酸(Arg)、组氨酸(His)、亮氨酸(Leu)、异亮氨酸(Ile)、苯丙氨酸(Phe)等^[18]。由图 3 可以看出,本试验共检测了 3 种黄瓜果实中 17 种游离氨基酸含量,CPPU 处理后各氨基酸含量的变化在品种间存在显著差异。绿宝珠 6 号中经 CPPU 处理后(图 3-A),17 种氨基酸的含量呈显著或极显著增加。鲜味氨基酸

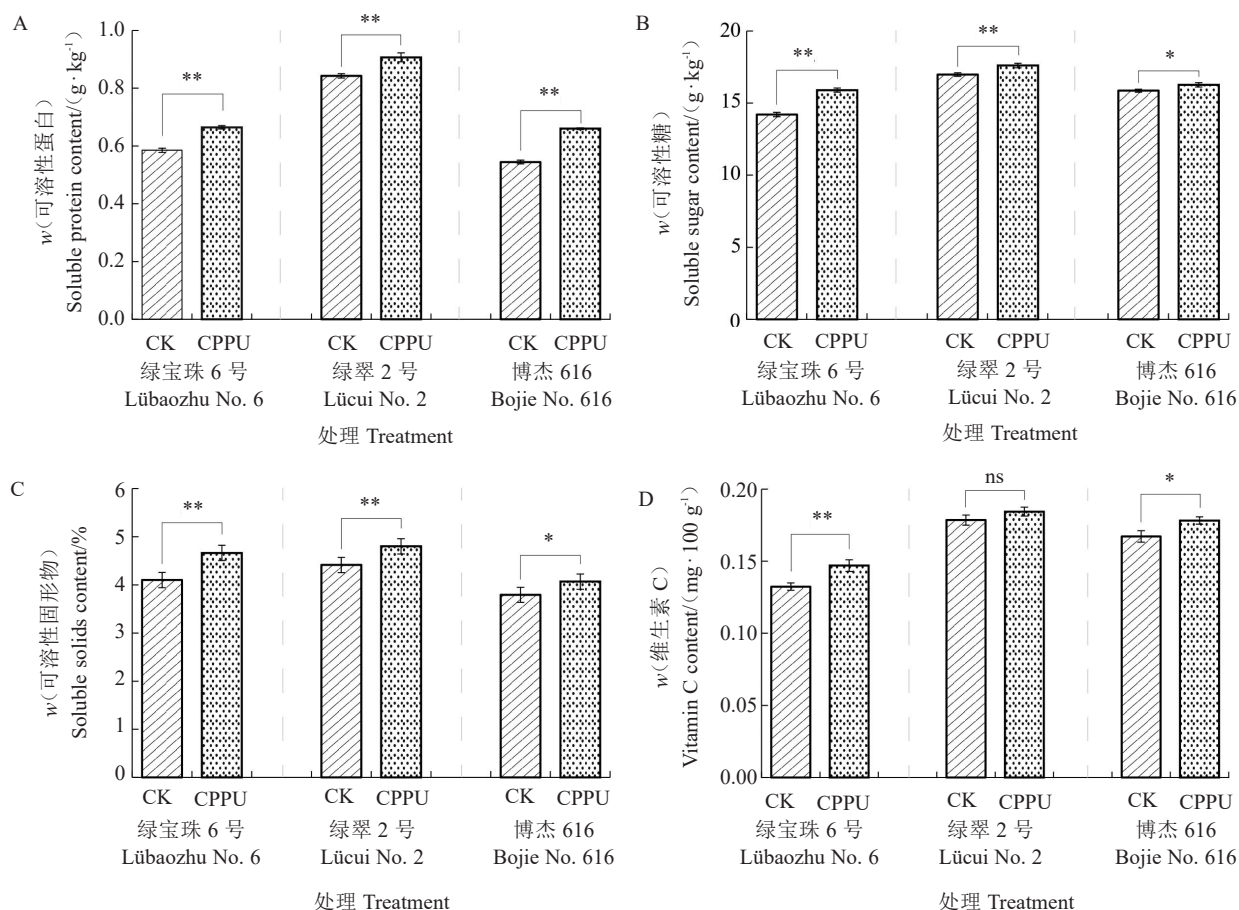


图 2 CPPU 处理对三种不同类型黄瓜果实内在品质的影响

Fig. 2 Effects of CPPU treatment on the internal fruit quality in three cucumber cultivars

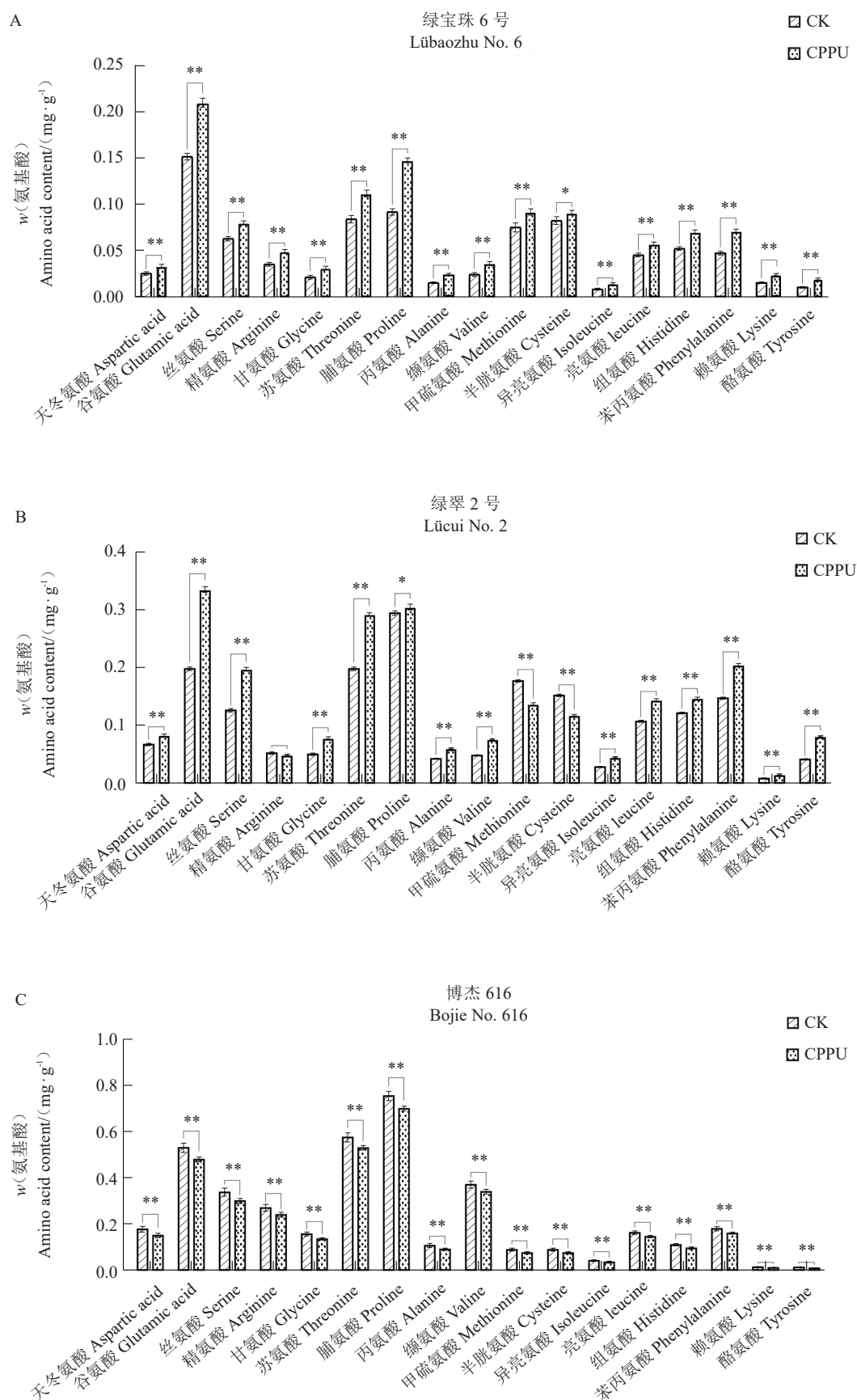


图3 CPPU处理对三种不同类型黄瓜果实氨基酸含量的影响

Fig. 3 Effects of CPPU treatment on amino acid content in three cucumber cultivars

谷氨酸、天冬氨酸的含量分别从 0.15 、 $0.025 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 提升至 0.21 、 $0.033 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 甜味氨基酸丝氨酸、丙氨酸等含量也有极显著增加。绿翠 2 号经 CPPU 处理后谷氨酸、天冬氨酸、丝氨酸、甘氨酸等多种氨基酸含量也均有极显著提高。说明这 2 个品种的整体风味得到了有效改善。博杰 616 果实中谷氨酸、苏氨酸和脯氨酸含量远高于另外 2 个品种, 但 CPPU 处理后呈现显著的负向效应(图 3-C)。CPPU 处理后含量最高的 3 种氨基酸谷氨酸、苏氨酸和脯氨酸分别下降了 9.1%、8.4% 和 6.3%, 同时几乎所有其他被检测到的游离氨基酸含量均呈现极显著的降低趋势。这些氨基酸含量的普遍降低, 特别是作为关键风味物质的谷氨酸和脯氨酸含量的大幅降低, 表明 CPPU 的施用减弱了博杰 616 原有的浓郁鲜味和醇厚口感, 对其独特的风味品质造成了不利影响。

综上所述, CPPU 处理能且显著改变不同类型黄瓜果实中的游离氨基酸含量, 特别是对谷氨酸、脯氨酸等关键风味氨基酸的积累有极大影响, 这从化学成分层面揭示了 CPPU 能够改善黄瓜风味品质的内在机制, 但这种效果并不具备普适性。

3 讨论与结论

3.1 CPPU 处理对黄瓜果实外观品质的影响

CPPU 作为一种具有细胞分裂素活性的苯脲类植物生长调节剂, 广泛应用于果蔬的生产中^[19], 具有成本低、收效快、节省劳动力等优点, 在现代农业生产应用方面日趋广泛^[20], 其可以替代 CTK 发挥作用, 促进果实膨大, 提高坐果率^[21]。黄瓜化瓜是一种生理病害, 可能是由品种结实特性或种植密度等引起的^[22], 也可能是由于品种对设施光照强度、温度等因素的不适应^[23]。本研究结果表明, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CPPU 处理能够有效促进 3 种不同类型黄瓜品种果实的纵、横向生长, 并提升坐果率和单果质量。这一结论与众多研究结果相符, 证实了 CPPU 的核心功能在于促进细胞分裂和膨大, 从而有效促进果实发育, 防止幼瓜脱落。品种绿宝珠 6 号坐果率只有 30%, 可能与品种自身在果实膨大期分泌的植物激素(如细胞分裂素等)不足有关, 需进一步检测验证。本研究通过对华南型黄瓜(绿宝珠 6 号)、欧洲型黄瓜(绿翠 2 号)和华北型黄瓜(博杰 616)的比较, 揭示了 CPPU 作用效果的品种特异性。

3.2 CPPU 处理对黄瓜果实内在品质的影响

可溶性蛋白、可溶性糖、可溶性固形物和维生

素 C 含量是评价果实内在品质的重要指标。植物生长调节剂对品质的影响常根据地区、品种、施用浓度等不同而表现出差异^[24]。本研究结果表明, 黄瓜果实的可溶性蛋白、可溶性糖和可溶性固形物含量经 CPPU 处理后均显著或极显著增加, 这与李晓桂^[25]报道的 CPPU 有助于增加阳光玫瑰葡萄可溶性固形物与可溶性糖含量, 郭琳琳等^[26]提出 CPPU 能够提高草莓果实的可溶性固形物含量和草莓甜味, 以及王林闯等^[27]发现 $12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 0.1% CPPU 能提高西瓜可溶性固形物含量 4.7%、提高中心糖和边糖的结论相符。CPPU 的施用可促进脐红猕猴桃果实膨大, 增加果实风味, 如提高可溶性固形物含量、降低可滴定酸含量, 但高浓度处理降低了果实营养品质, 如维生素 C、花色苷、钙元素、鲜味氨基酸和芳香氨基酸含量, 这表明 CPPU 对品质的调控效果可能因物种而异^[28]。本研究系统地证实了 CPPU 对黄瓜多种营养及风味物质的正面调控作用。下一步应深入到代谢调控层面, 整合质构分析与代谢组学技术, 以更全面地评估其对品质的影响, 并揭示 CPPU 调控果实品质形成的分子生理机制。

3.3 CPPU 处理对果实氨基酸含量的影响

游离氨基酸是果实重要的核心物质, 能决定果实的营养价值、香气、口感等^[29], 具有鲜味、甜味、苦味等不同风味, 其组成与含量直接影响消费者的感官评价, 对果实风味有重要影响^[30]。谷氨酸、天冬氨酸等是鲜味的关键组分, 苏氨酸、丝氨酸、丙氨酸等是甜味的关键组分^[31]。张承等^[32]报道 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ CPPU 对贵长猕猴桃浸果能极显著增加果实香气成分、脯氨酸和甜味氨基酸含量, 降低鲜味氨基酸、苦味氨基酸和芳香族氨基酸含量; 王凤怡等^[33]报道 CPPU 浸果处理可通过特异性调控风味氨基酸含量来优化红阳猕猴桃的口感和品质。植物激素能够调控氨基酸代谢已有广泛报道, 而 CPPU 作为类细胞分裂素, 其作用机制可能与调控氮素代谢有关。研究表明, 细胞分裂素能够上调与硝酸盐转运和同化相关的基因表达, 从而影响氨基酸合成的底物供应, 最终促进氨基酸的积累^[34]。本研究结果表明, CPPU 处理绿宝珠 6 号和绿翠 2 号显著或极显著促进了谷氨酸、天冬氨酸等多种鲜、甜味氨基酸的积累, 从而优化了其风味构成。而 CPPU 处理博杰 616 中几乎所有氨基酸含量, 特别是其风味特征的谷氨酸和脯氨酸含量出现了极显著下降。脯氨酸在植物中是一种多功能氨基酸, 它既是应对逆境胁迫时重要的渗透调节物质, 其本身也具有独特的甜

味和苦味,对整体风味有重要贡献^[29,35]。CPPU对脯氨酸的负向调控说明CPPU的作用并非普遍有益,其效果与作物品种的遗传背景紧密相关。Li等^[36]发现,在草莓中CPPU抑制了丙酮酸脱羧酶的表达和脂肪酸的代谢途径,LUO等^[37]采用代谢组学和转录组分析,施用CPPU影响猕猴桃中的脂肪酸代谢及萜类骨架生物合成,陈海文^[38]发现,CPPU的施用影响了甜瓜香气合成的氨基酸途径,导致酯类物质的降低,进而影响果实的风味和口感。正如现代代谢组学研究所揭示的,作物的代谢图谱(包括氨基酸)受到其基因型的严格控制^[39]。因此,这种负向效应的出现,可能归因于博杰616的遗传背景使其对CPPU的响应过于敏感,极速的细胞膨大速率超越了营养物质的合成与转运速率,或直接或间接地干扰了该特定品种的氨基酸合成通路。后续研究应聚焦于博杰616品种,通过转录组学与代谢组学联合分析,深入探究其响应CPPU后氨基酸含量下降的分子机制,这对指导精准育种和调节剂的个性化应用具有重要的理论价值。

提升不同黄瓜品种类型的坐果率和口感,对经济效益和品质有重要影响。本研究通过对华北型、华南型、欧洲型3种黄瓜类型喷施 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CPPU处理,探讨了其对黄瓜生长、坐果率、可溶性糖含量等内在品质及17种游离氨基酸含量的影响。结果表明,CPPU处理后能促进3个黄瓜品种快速膨大,绿宝珠6号的坐果率由30%提升至100%,同时对3种黄瓜的可溶性糖、可溶性固形物含量等其内在品质有显著的促进作用,但对17种氨基酸含量的作用效果具有强烈的品种依赖性。CPPU在提升绿宝珠6号和绿翠2号氨基酸的含量同时,却极显著降低了博杰616中作为其风味特征的谷氨酸和脯氨酸含量,对其品质产生负面影响。该发现揭示了CPPU并非普适性的品质提升剂。因此,生产中必须依据品种特性精准施用,以规避品质劣变风险,实现优质与高产的统一。

参考文献

- [1] 李森. 黄瓜种质群体遗传结构分析和黄瓜心皮数基因 *Cn* 的克隆[D]. 山西晋中: 山西农业大学, 2015.
- [2] 唐艳领, 马凯, 米国全, 等. 葡萄秸秆复合有机肥对设施黄瓜产量、品质及土壤特性的影响[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(5): 108-115.
- [3] 刘策. 黄瓜产量和商品品质性状全基因组选择杂种优势预测模型的建立[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [4] 臧柯昕. 无刺长黄瓜主要性状配合力测定及杂种优势研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2022.
- [5] 刘锦. 日光温室黄瓜品种试验及其配套栽培技术研究[D]. 河北秦皇岛: 河北科技师范学院, 2014.
- [6] 张作标, 许春梅, 柳景兰. CPPU、对氯苯氧乙酸钠对黄瓜果实生长的影响[J]. 北方园艺, 2016(20): 37-40.
- [7] 张飞雪, 张书红, 马延东, 等. TDZ、CPPU 和 GA_3 对阳光玫瑰葡萄果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2023, 50(12): 2633-2640.
- [8] 李玲, 肖浪涛. 植物生长调节剂应用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [9] 董洁, 张鹏, 李旺泽, 等. 基于 GA_3 与 CPPU 的无核化与膨大处理对‘阳光玫瑰’葡萄果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2025, 58(10): 2008-2021.
- [10] 梁静怡, 蔡晓月, 张剑侠. 植物生长调节剂处理对阳光玫瑰葡萄果实香气含量的影响[J]. 中国果树, 2024(9): 30-36.
- [11] 谢新玥, 姚东良, 毛积鹏, 等. 氯吡脲 CPPU 处理对 6 个猕猴桃品种果实发育与品质的影响[J/OL]. 陕西科技大学学报, 1-9 (2025-07-01). <https://doi.org/10.19481/j.cnki.issn2096-398x.20250428.001>.
- [12] 张继文, 朱红菊, 何楠, 等. CPPU 对不同基因型西瓜果肉质地的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(10): 38-46.
- [13] 孔维良, 李愚鹤, 黄洪宇, 等. 乙烯利和 CPPU 在黄瓜制种中的应用[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(10): 42-44.
- [14] 姚少轩. CPPU 对甘草产量与品质的提升效应及机理研究[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2024.
- [15] 张作标, 许春梅, 顾兴芳, 等. 不同蘸花剂对黄瓜果实生长及品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2016(5): 10-13.
- [16] 王鸿飞, 邵兴峰. 果品蔬菜贮藏与加工实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [17] 赵英莲, 牟德华, 李艳. 2,4-二硝基氟苯柱前衍生 HPLC 检测树莓中游离氨基酸[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 178-182.
- [18] 罗睿雄, 魏玲, 王光瑛, 等. 20 份黄皮种质资源果肉游离氨基酸对风味品质和药用价值的影响及其评价[J]. 热带作物学报, 2024, 45(3): 485-494.
- [19] 解鑫. CPPU 对猕猴桃果实发育期及贮藏期营养物质变化的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2023.
- [20] 赖灯妮, 张群, 尚雪波, 等. 植物生长调节剂在果蔬中的应用与安全性分析研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 451-459.
- [21] 安莉, 汪红, 李萌, 等. 基于转录组的 CPPU 对草莓果实成熟的调控机制研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(14): 5636-5643.
- [22] 刘道广. 设施黄瓜越夏防病防化瓜高效栽培技术[J]. 农业工程技术, 2023, 43(30): 53-54.
- [23] 王魁岩. 设施黄瓜化瓜的原因分析及防治措施[J]. 现代农村科技, 2023(3): 32.
- [24] 刘瑶, 张娜, 张鹤, 等. GA_3 和 CPPU 处理对‘津郁’葡萄无核化和果实品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2024(5): 69-75.
- [25] 李晓桂. 噻苯隆与 CPPU 对‘阳光玫瑰’葡萄果实内源激素及品质的影响[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2024.
- [26] 郭琳琳, 罗静, 庞荣丽, 等. 基于电子舌的 CPPU 对草莓风味影响的研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 182-188.
- [27] 王林闯, 赵建锋, 刘璐, 等. 不同浓度 CPPU 处理对西瓜果实发育、品质和产量的影响[J]. 北方园艺, 2022(14): 43-48.

- [28] 张文,罗赛男,王仁才,等.CPPU处理对脐红猕猴桃果实品质的影响[J].中国果树,2024(2):58-62.
- [29] KIRIMURA J, SHIMIZU A, KIMIZUKA A, et al. The contribution of peptides and amino acids to the taste of foodstuffs[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1969, 17(4): 689-695.
- [30] 李学贤,张雪,童灵,等.游离氨基酸改善作物风味品质综述[J].中国农业大学学报,2022,27(4):73-81.
- [31] 蒋滢,徐颖,朱庚伯.人类味觉与氨基酸味道[J].氨基酸和生物资源,2002(4):70.
- [32] 张承,王秋萍,吴小毛,等.CPPU对贵长猕猴桃果实氨基酸和香气成分的影响[J].核农学报,2019,33(11):2186-2194.
- [33] 王凤怡,吴双慧,李曦,等.CPPU施用方式对四川猕猴桃品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2025,16(13):230-236.
- [34] SAKAKIBARA H, TAKEI K, HIROSE N. Interactions between nitrogen and cytokinin in the regulation of metabolism and development[J]. Trends in Plant Science, 2006, 11(9):440-448.
- [35] SZABADOS L, SAVOURÉ A. Proline: A multifunctional amino acid[J]. Trends in Plant Science, 2010, 15(2):89-97.
- [36] LI L, LI D D, LUO Z S, et al. Proteomic response and quality maintenance in postharvest fruit of strawberry (*Fragaria × ananassa*) to exogenous cytokinin[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1):27094.
- [37] LUO J, GUO L L, HUANG Y N, et al. Transcriptome analysis reveals the effect of pre-harvest CPPU treatment on the volatile-compounds emitted by kiwifruit stored at room temperature[J]. Food Research International, 2017, 102:666-673.
- [38] 陈海文.不同坐果技术对设施甜瓜果实挥发性物质的影响[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [39] FERNIE A R, SCHAUER N. Metabolomics-assisted breeding: A viable option for crop improvement[J]. Trends in Genetics, 2009, 25(1):39-48.