

戈慧敏,郭震宇. 甘氨酸与尿素配施对桃树光合作用、糖代谢及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(12):121-127.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.12.017

甘氨酸与尿素配施对桃树光合作用、糖代谢及果实品质的影响

戈慧敏,郭震宇

(山西运城农业职业技术学院,山西运城 044000)

摘要:采用原位培养试验,设置尿素(U)/甘氨酸(G)共5个比例(100/0、70/30、50/50、30/70、0/100),分别记为U100G0、U70G30、U50G50、U30G70、U0G100,以不施氮肥为对照(CK),探索甘氨酸与尿素配施对桃树光合作用、糖代谢及果实品质的影响。结果表明,尿素与甘氨酸不同配施比例对桃树光合生理、糖含量、糖代谢酶及品质的影响不同。高比例的甘氨酸处理(U30G70、U0G100)可显著提高光合色素(叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素)含量($P<0.05$)、促进气孔开放和提高净光合速率,改善叶绿素荧光特征(PS II 最大光化学效率、光化学荧光淬灭系数、实际光化学效率、非光化学荧光淬灭系数),提高以可溶性糖、蔗糖为主的糖组份含量,增强糖代谢酶(蔗糖合成酶、细胞壁蔗糖转化酶、蔗糖分解酶、蔗糖磷酸合酶、细胞质蔗糖转化酶)的活性。说明高比例的甘氨酸可促进叶部糖贮存及糖向果实转移,整体以U30G70处理优于U0G100处理。此外,U30G70处理的桃鲜质量、可溶性固形物含量、维生素C含量、可溶性糖含量均较高,可滴定酸含量最低。综上,在桃树种植中,尿素与甘氨酸适宜的配施比例可显著提高桃树的光合作用,增加叶部糖含量及糖代谢酶活性,从而改善桃品质,以尿素/甘氨酸配施比例为30%/70%处理效果最佳。

关键词:甘氨酸;尿素;光合作用;荧光参数;糖代谢;品质

中图分类号:S662.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)12-0121-06

氮(N)是合成蛋白质、核酸、磷脂、激素以及维生素等化合物所必需的组成元素;对于植物而言,N在叶绿素、花青素、可溶性蛋白质及生物碱等的合成过程中发挥着不可替代的作用^[1]。目前,向土壤补充化学氮肥已成为农业生产的重要措施,而施氮量与作物吸收利用间存在一定阈值,我国现今的农业生产系统过度依赖化肥(尤其是铵态氮、硝态氮),但农作物对氮肥的利用率仅为20%~30%,远低于发达国家的45%^[2]。化学肥料的不合理使用,不仅造成资源浪费,增加农业投入成本,降低农产品质量,还会造成土壤退化^[3]。研究表明,氮肥的不适当施用是导致温室效应、水体富营养化以及农田面源污染等因素^[4],优化施肥技术以提高作物氮利用率已成为发展可持续性农业的关键问题。

氨基酸是重要的氮素形式,其可直接被植物吸收,且可促进土壤微生物矿化,因此经常被用作氮

源以提高植物的氮素利用效率^[5]。甘氨酸(glycine)是化学结构最简单的氨基酸种类之一,常被用作研究植物有机氮吸收的模式氨基酸,同时甘氨酸也是农药生产的重要原料^[6]。据报道,甘氨酸在缓解植物干旱、霜冻以及重金属非生物胁迫方面发挥着关键作用^[7-8],但甘氨酸作为供应植物生长的氮源时,其作用可能不同。Zhang等研究发现,与硝态氮相比,甘氨酸显著降低了白菜的鲜质量、总氮吸收量、叶面积和净光合速率^[9]。然而,Noroozlo等的研究表明,叶面喷施甘氨酸可提高生菜产量、叶绿素含量和维生素C含量^[10];Mosa等研究发现,苹果叶施甘氨酸可显著提高苹果的生物量、外观品质和产量,但甘氨酸应用效果的不一致可能是因为作物对甘氨酸的吸收偏好不同^[11]。

光合作用对植物生长发育至关重要,糖代谢是植物转化和运输光合产物的主要代谢过程^[12]。大量研究表明,氮的供给直接影响着光合产物和氨基酸的合成,进而影响碳氮代谢^[13]。蔗糖是水果品质特性和风味物质的合成前体,据报道,植物可通过光合作用和糖代谢合成蔗糖,并提高果实中的糖含量^[14]。甘氨酸可增加乙醛酸(光呼吸中间体)的含量,从而改变电子传输和碳同化之间的化学计量关

收稿日期:2022-12-04

基金项目:山西省农业技术推广项目(编号:2020cyy1-17)。

作者简介:戈慧敏(1982—),女,山西运城人,硕士,讲师,主要从事果树技术研究。E-mail:gehuimin@163.com。

系,并影响植物光合作用^[15]。Cao 等的研究表明,甘氨酸可通过提高氮素利用效率和光合电子转移来改善水稻的光合性能^[6]。Li 等的研究表明,外源甘氨酸可通过增强水稻的光合作用,加速碳水化合物代谢,从而促进贮藏器官中淀粉的生物合成^[16]。然而,目前关于甘氨酸对桃树生长、果实产量和品质形成的影响研究较少。基于此,本研究探索甘氨酸和尿素不同配比对桃树氮素利用、光合作用以及蔗糖代谢的影响,以期甘氨酸运用于桃树栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于山西农业职业技术学院遮雨场地中进行。供试桃树品种为脆玉,是 3 年生植株。供试尿素、甘氨酸均为同位素标记物,标记¹⁵N - 尿素(N 46%, $\delta^{15}\text{N} = 10.24\%$)、¹³C - 甘氨酸(N 21%, $\delta^{13}\text{C} = 99.18\%$),均购自上海同位素化工研究院中心。磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 , 16%),钾肥为分析纯的硫酸钾(K_2O , 50%),二者均购自同杰化学试剂。试验地土壤类型为中壤土,0 ~ 20 cm 表层土壤理化性质:pH 值 6.97,全氮含量 1.35 g/kg,有效氮含量 85.27 mg/kg,有效磷含量 21.96 mg/kg,速效钾含量 117.43 mg/kg。

1.2 试验设计

试验所用氮肥形态为尿素(urea)、甘氨酸(glycine),设置 5 个不同水平的尿素(U)/甘氨酸(G)比例,即尿素比例/甘氨酸比例为 0/100%、70%/30%、50%/50%、30%/70%、100%/0,分别记为 U0G100、U70G30、U50G50、U30G70、U100G0,以不施氮肥为对照(CK),试验共 6 个处理组合(表 1),每个处理重复 3 次。

2021 年 3 月 21 日选取长势一致的 3 年生桃树,将磷、钾肥采用水溶性方式分 2 次加入,首次移栽为 4 月 5 日,第 2 次移栽在盛夏(2021 年 7 月 5 日)。氮肥皆采用叶面喷施方式加入,施用时间同磷、钾肥。培养期间采用滴灌方式补充水分以确保培养基质水分,试验总周期为 155 d。

1.3 样品采集及测定分析

1.3.1 桃树光合色素、光合特征参数及叶绿素荧光参数测定 光合色素包含叶绿素 a、叶绿素 b 及类胡萝卜素,三者前期采用液氮研磨,丙酮 - 乙醇(体积比为 2/1)混合浸提,之后采用 UV - 2450 型紫外

表 1 不同处理肥料施用量				g/株
处理	尿素	甘氨酸	过磷酸钙	硫酸钾
CK	0	0	12.50	6.00
U100G0	4.348	0	12.50	6.00
U70G30	3.044	2.857	12.50	6.00
U50G50	2.174	4.762	12.50	6.00
U30G70	1.304	6.667	12.50	6.00
U0G100	0	9.524	12.50	6.00

分光光度计(Pharma Spec, Shimadzu, Japan)测定其含量,具体步骤参照高俊凤的方法^[17]。采用便携式光合测定系统(LI - 6200, LI - COR, America)测定桃叶的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和气孔导度(G_s);系统前端叶室温度、 CO_2 浓度通量及系统光量子密度参数设置参考高战武等的研究^[18]。

采用叶绿素荧光仪(Yaxin - 1161G, 北京雅欣理仪科技有限公司)测定叶片的荧光动力学参数:包括初始荧光强度(F_0)、最大荧光强度(F_m)及自然光照下的初始荧光强度(F_0')、最大荧光产量(F_m')及稳态荧光强度(F_s)。叶绿素荧光参数中,PS II 的最大光化学效率(F_v/F_m)、非光化学荧光淬灭系数(NPQ)、实际光化学效率(Φ_{PSII})、光化学荧光淬灭系数(q_p)的计算参考高战武等的研究^[18]。

1.3.2 桃树叶片糖组分含量及其糖代谢酶活性测定 糖组分包括可溶性糖、蔗糖、葡萄糖、果糖及淀粉。其中,可溶性糖含量采用蒽酮 - 比色法测定,蔗糖含量采用间苯二酚 - 比色法测定,葡萄糖含量采用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法测定,果糖含量采用蒽酮 - 紫外分光光度法测定,淀粉含量采用苯酚 - 比色法测定^[17]。

糖代谢酶包括蔗糖合酶(SS)、细胞壁蔗糖转化酶(CWINV)、蔗糖分解酶(DSS)、蔗糖磷酸合酶(SPS)及细胞质蔗糖转化酶(CINV)。上述酶活性均采用上海酶联生生物科技有限公司生产的检测试剂盒测定,试剂盒型号分别为 ml10561、ml076682、ml076990、ml022832 及 ml077027。

1.3.3 桃果实品质指标测定 单果质量采用电子天平测定;桃子硬度(未去皮)用数显硬度计测定;维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定;可滴定酸含量采用氢氧化钠滴定法测定;可溶性固形物含量采用数字折光仪测定。

1.4 数据处理与统计分析

采用 Excel 2013 进行数据整理,采用 SPSS 26.0 软件进行试验数据统计分析($\alpha=0.05$),采用 Origin 2018 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 甘氨酸与尿素配施对桃树叶片光合色素含量及气体交换参数的影响

由表 2 可知,CK 的叶绿素 a 含量最低,尿素 + 甘氨酸配施处理(U100G0、U70G30、U50G50、U30G70、U0G100)较其提高了 5.03% ~ 20.13%;而在尿素 + 甘氨酸配施处理中,各处理表现为 U50G50 < U70G30 < U100G0 < U0G100 < U30G70,

与 U30G70 处理相比,U50G50、U70G30、U100G0、U0G100 处理分别显著降低 6.81%、10.47%、12.57%、5.76% ($P<0.05$)。各处理的叶绿素 b、类胡萝卜素含量与叶绿素 a 含量变化规律基本一致。在光合气体交换参数中,各处理净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)整体表现为 CK < U50G50 < U70G30、U100G0 < U0G100、U30G70,且与 CK 相比,在 P_n 、 G_s 和 T_r 指标中,尿素 + 甘氨酸配施处理分别增加 15.56% ~ 77.28%、1.49% ~ 50.52% 及 14.08% ~ 30.67%。各处理胞间 CO_2 浓度(C_i)表现为 U100G0 < U70G30 < U50G50 < U0G100 < CK < U30G70,其中 CK 与 U30G70 处理数值接近,且二者均显著大于其他处理。

表 2 甘氨酸与尿素配施对桃树叶片光合色素及气体交换参数的影响

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)	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
CK	1.59 ± 0.13d	0.64 ± 0.08e	0.35 ± 0.01b	15.23 ± 0.45d	289.00 ± 4.08c	371.67 ± 6.24a	4.76 ± 0.18d
U100G0	1.78 ± 0.03b	0.77 ± 0.03c	0.37 ± 0.01a	22.57 ± 0.53b	375.00 ± 13.88b	281.00 ± 8.98d	5.94 ± 0.34ab
U70G30	1.71 ± 0.05bc	0.74 ± 0.04c	0.36 ± 0.01ab	18.10 ± 0.16c	423.00 ± 5.72a	301.00 ± 4.90c	5.76 ± 0.27bc
U50G50	1.67 ± 0.10cd	0.69 ± 0.07d	0.36 ± 0.01ab	17.60 ± 0.57c	293.31 ± 3.68c	315.00 ± 9.80c	5.43 ± 0.11c
U30G70	1.91 ± 0.01a	0.97 ± 0.01a	0.38 ± 0.01a	27.00 ± 1.63a	432.00 ± 3.27a	373.00 ± 4.08a	6.01 ± 0.11ab
U0G100	1.80 ± 0.02b	0.84 ± 0.03b	0.37 ± 0.01a	23.10 ± 0.33b	435.00 ± 6.53a	334.00 ± 4.90b	6.22 ± 0.20a

注:同列数据后标有不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.2 甘氨酸与尿素配施对桃树叶绿素荧光特征参数的影响

由图 1-A、图 1-B、图 1-C 可知,在 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII})、光化学淬灭系数(q_p)指标中,各处理整体表现为 U50G50 < CK < U100G0 < U70G30 < U30G70、U0G100。在 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 及 q_p 指标中尿素 + 甘氨酸组合处理与 CK 相比,变幅分别为 -2.47% ~ 10.84%、-1.85% ~ 14.81% 及 -0.83% ~ 10.32%;且在上述任一叶绿素荧光特征参数中,U30G70、U0G100 均显著大于 U50G50、CK、U100G0 处理。非光化学淬灭系数(NPQ)是反映 PS II 反应中心吸收的光能无法用于光合电子传递,而以热能形式损失的散逸部分^[18-19]。由图 1-D 可知,各处理 NPQ 表现为 CK > U50G50 > U100G0 > U70G30 > U0G100 > U30G70,其中 CK 除与 U50G50、U100G0 处理无显著差异外,均显著大于其他处理;而在尿素 + 甘氨酸配施处理中,以 U30G70 处理最低,其他尿素 + 甘氨酸处理较其提高 19.23% ~ 57.69%,其中 U30G70 处理与 U0G100 处

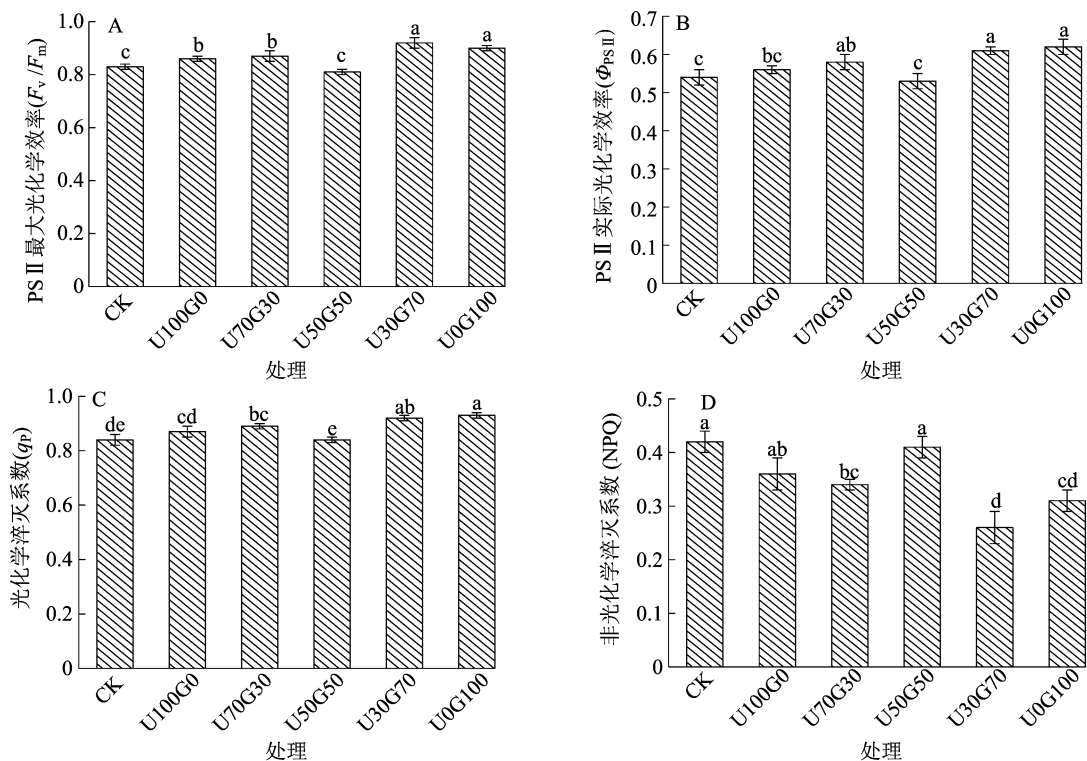
理无显著差异。

2.3 甘氨酸与尿素配施对桃树叶片糖组分含量的影响

由图 2 可知,桃树糖组分含量中,各组分含量表现为葡萄糖含量 < 果糖含量 < 蔗糖含量 < 可溶性糖含量 < 淀粉含量,其中淀粉、可溶性糖、果糖、蔗糖及葡萄糖分别占总糖分的 32.28% ~ 39.14%、30.15% ~ 32.67%、5.56% ~ 7.61%、16.61% ~ 24.36% 及 3.04% ~ 5.06%。可溶性糖、蔗糖组分含量以 U30G70 处理较高,各处理整体表现为 CK < U70G30、U50G50、U100G0 < U0G100、U30G70。而淀粉、可溶性糖组分含量则以 U30G70 处理最高,其他处理较其降低 1.67% ~ 26.79%、7.44% ~ 24.33%。就总糖分含量而言,各处理表现为 CK < U50G50 < U70G30 < U100G0 < U0G100 < U30G70。

2.4 甘氨酸与尿素配施对桃树叶片糖代谢酶活性的影响

由表 3 可知,在蔗糖合酶(SS)指标中,以高比例甘氨酸处理(U30G70、U0G100)的酶活性最高,各处理表现为 CK < U50G50 < U70G30 < U100G0 < U0G100 < U30G70,其中 U0G100、U30G70 均显著大



柱上标有不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。图 2 同

图1 甘氨酸与尿素配施对桃树叶色素荧光特征参数的影响

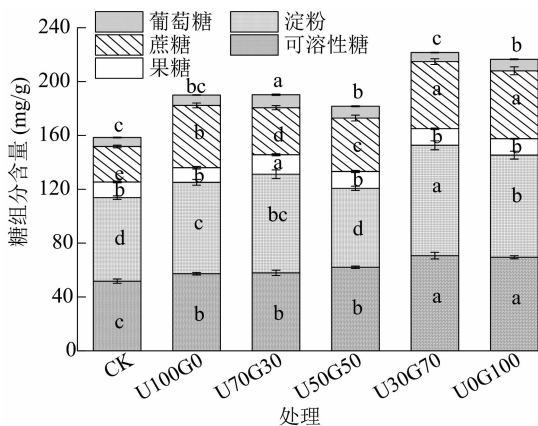


图2 甘氨酸与尿素配施对桃树叶片糖组分含量的影响

于其他处理。各处理蔗糖分解酶(DSS)活性变化规律与 SS 指标基本一致。在蔗糖磷酸合酶(SPS) 指标中,也是高比例甘氨酸处理(U30G70、U0G100)

的酶活性最高,且显著高于其他处理,而其余尿素-甘氨酸配施处理与 CK 无显著差异。各处理细胞壁蔗糖转化酶(CWINV) 活性变化规律则与 SS、SPS 相反,即 CK、U70G30、U50G50 处理的 CWINV 活性最高,三者均显著大于 U100G0、U30G70、U0G100 处理,其中以 U30G70 处理的酶活性最低,其他处理较其显著提高 10. 75% ~ 46. 45%。细胞质蔗糖转化酶(CINV) 指标中,各处理表现为 U50G50 < U70G30 < U100G0 < CK < U0G100 < U30G70,与 CK 相比,尿素+甘氨酸组合处理变幅为-41. 67% ~ 16. 67%;而就尿素+甘氨酸组合处理而言,以 U30G70、U0G100 处理显著大于其他处理。

2.5 甘氨酸与尿素配施对桃品质的影响

由表 4 可知,在桃果实品质中,鲜质量表现为 CK < U50G50 < U100G0 < U70G30 < U0G100 <

表 3 甘氨酸与尿素配施对桃树叶片糖代谢酶活性的影响

mg/(g·h)

处理	DSS 活性	SS 活性	SPS 活性	CWINV 活性	CINV 活性
CK	3. 90 ± 0. 37d	3. 18 ± 0. 31d	22. 17 ± 0. 92b	8. 08 ± 0. 46a	0. 12 ± 0. 01a
U100G0	8. 75 ± 0. 39b	4. 86 ± 0. 19b	23. 84 ± 0. 89b	6. 52 ± 0. 22b	0. 09 ± 0. 00b
U70G30	6. 03 ± 0. 41c	4. 05 ± 0. 26bc	23. 03 ± 0. 91b	8. 23 ± 0. 17a	0. 08 ± 0. 00b
U50G50	5. 41 ± 0. 28c	3. 39 ± 0. 49cd	22. 29 ± 1. 13b	8. 45 ± 0. 29a	0. 07 ± 0. 01c
U30G70	10. 36 ± 0. 53a	6. 34 ± 0. 45a	26. 45 ± 1. 04a	5. 77 ± 0. 32c	0. 14 ± 0. 01a
U0G100	8. 96 ± 0. 27b	6. 06 ± 0. 35a	25. 98 ± 0. 65a	6. 39 ± 0. 23b	0. 13 ± 0. 01a

U30G70,其中 U30G70 处理显著大于 CK,而 U50G50、U100G0、U70G30、U0G100 处理的波动较小,处理间均无显著差异。在硬度指标中,以 U0G100、U30G70 处理较低,尤其是 U0G100 处理,显著小于 U70G30、U50G50 处理。可溶性固形物含量指标中,各处理表现为 CK < U50G50 < U30G70 < U100G0 < U70G30 < U0G100,与 CK 相比,尿素 - 甘氨酸配施处理提高 4.81% ~ 16.58%。维生素 C 含量指标中,以 CK 最低,尿素 - 甘氨酸配施处理较其显著提高 21.05% ~

52.63%;在尿素 - 甘氨酸处理中,以 U30G70 处理最高,U100G0、U70G30、U50G50、U0G100 处理较其分别降低 6.90%、6.90%、20.69%、10.34%,其中 U30G70 处理与 U50G50 处理存在显著差异。各处理可溶性糖含量变化规律与维生素 C 含量基本趋于一致。可滴定酸含量中,各处理表现为 U30G70 < U0G100、U100G0 < U50G50 < U70G30 < CK,且 U50G50、U70G30、CK 这 3 个处理间无显著差异,且均显著大于 U30G70、U0G100、U100G0 处理。

表 4 甘氨酸与尿素配施对桃品质的影响

处理	鲜质量 (g)	硬度 (kg/cm ²)	可溶性固形物含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/g)	可溶性糖含量 (%)	可滴定酸含量 (%)
CK	246.91 ± 4.95b	6.45 ± 0.90abc	9.77 ± 0.49c	0.19 ± 0.004c	4.63 ± 0.36c	0.23 ± 0.02a
U100G0	250.79 ± 7.85ab	6.31 ± 0.57abc	11.02 ± 0.38ab	0.27 ± 0.032ab	6.46 ± 0.47a	0.17 ± 0.01b
U70G30	253.40 ± 6.86ab	6.99 ± 0.33a	11.15 ± 0.51ab	0.27 ± 0.021ab	5.23 ± 0.34b	0.22 ± 0.02a
U50G50	250.35 ± 8.37ab	6.86 ± 0.74ab	10.24 ± 0.46bc	0.23 ± 0.014b	5.76 ± 0.45ab	0.20 ± 0.01a
U30G70	264.11 ± 5.53a	5.92 ± 0.29bc	10.92 ± 0.38ab	0.29 ± 0.025a	6.87 ± 0.94a	0.14 ± 0.02b
U0G100	261.37 ± 5.39ab	5.54 ± 0.48c	11.39 ± 0.37a	0.26 ± 0.008ab	6.85 ± 0.39a	0.17 ± 0.01b

3 讨论与结论

3.1 讨论

光合色素是影响植物光能吸收、转化和分配的重要基础物质,其中类胡萝卜素是重要的抗氧化物质,它可有效清除光反应系统中多余的光合传递电子^[20]。本研究中,与 CK 相比,U100G0、U0G100、U30G70 处理的光合色素(叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素)含量最高,尤其是 U0G100、U30G70 处理。前人研究表明,甘氨酸可以延缓植物冠层衰老并抑制叶绿素分解,而尿素为酰胺态氮通常不参与叶绿素的生物合成^[21],这可能是高比例甘氨酸处理光合色素较高的原因。影响光合气体交换效率的因素分为光合作用气孔因子和非气孔因子^[22],当净光合速率、气孔导度同时降低时则为气孔限制,反之则由叶肉细胞的羧化限制所引起^[23]。本研究结果表明, P_n 在 U30G70、U0G100 处理中最高,而 G_s 峰值则出现在 U0G100 处理中,表明气孔闭合对甘氨酸敏感;这与 Cao 等的研究结果(外源喷施甘氨酸可提高水稻植株的 G_s)^[6] 相一致。甘氨酸是光呼吸途径的中间产物,外源甘氨酸可通过反馈调节抑制光呼吸^[24],这可能是较高比例的甘氨酸可显著促进气孔打开的主要原因。

PS II 最大光化学效率是评价 PS II 反应中心光

能的初级转化效率的重要参数^[18];实际光化学效率、光化学淬灭系数分别反映反应中心光合传递的净收益值、光化学电子转移中光合色素捕获的光能比例^[18-19,25]。本研究结果表明,U0G100 和 U30G70 处理具有较高的 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 q_P ,而 U100G0、U50G50 处理中的 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、 q_P 较低,说明较高比例的甘氨酸可促进最大光化学潜能并可有效促进光合电子的传递。非光化学淬灭系数(NPQ)是反映光反应中心吸收的光能无法用于光合电子传递,而以热能形式损失掉的光能部分^[18-19]。本研究中,U100G0、U50G50 处理的 NPQ 较高,这可能是因为相比于尿素,桃树叶部更容易吸收甘氨酸,从而较高比例的尿素施用量反而降低了总氮吸收量,从而导致光抑制^[26]。

糖分是叶部重要的光合有机产物形式,较多的糖含量及较高的转化能力是决定环境耐受性和果实品质形成的重要基础^[27]。本研究结果表明,淀粉、可溶性糖以及蔗糖是叶片中含量最高的糖组分,其中在可溶性糖和蔗糖组分中,U30G70、U0G100 处理均具有最大值,且各处理总糖分含量呈 CK < U50G50 < U70G30 < U100G0 < U0G100 < U30G70。前人研究表明,植物叶片中的化学物质以蔗糖的形式贮存和运输,当叶片中的糖代谢酶活性较强时,可显著提高光合性能、碳转移能力和产

量^[28]。本研究中,在蔗糖生物代谢酶中,SPS、DSS、SS 的活性均以高比例甘氨酸处理(U0G100、U30G70)较高,且 DSS 活性大于 SS 活性。这表明高比例的甘氨酸可调控叶片中的糖贮存,并促进糖向果实转移,从而有利于果实中的蔗糖积累^[29]。

本研究中,与 CK、U70G30 处理相比,高比例甘氨酸处理(U0G100、U30G70)显著降低了桃叶中 CWINV 的活性。CWINV 是调节“源-库”代谢中的重要媒介^[30],高比例的甘氨酸处理可通过减少叶片中蔗糖的分解促进韧皮部蔗糖的负载,加速果实中蔗糖的卸荷作用,从而提高果实品质。类似的,CK、U0G100、U30G70 处理的 CINV 活性较高,说明高比例的甘氨酸可以提高叶片中蔗糖的转化,从而为叶部的发育提供充足的碳源。此外,在桃果实品质中,U30G70 处理的鲜质量、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量均较高,可滴定酸含量显著低于其他处理,表明 U30G70 处理最有利于桃果实的品质提高。

3.2 结论

本研究结果表明,适宜的尿素+甘氨酸配施比例可显著提高桃树的光合色素含量、改善光合气体交换参数以及叶绿素荧光特征,从而提高光合作用为“源-库”代谢提供物质和能量,整体以高比例的甘氨酸处理(U30G70、U0G100)效果更佳。U30G70、U0G100 显著提高了以可溶性糖、蔗糖为主的糖组分含量,通过调节糖代谢酶促进了叶片对蔗糖的累积及糖向果实的转移。此外,U30G70、U0G100 处理的桃鲜质量、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量均较高,可滴定酸含量较低,整体以 U30G70 处理优于 U0G100 处理,即以尿素含量/甘氨酸含量为 30%/70% 作为氮素施用可提高桃树光合作用,促进糖代谢及改善果实品质。

参考文献:

- [1] Zhang Z H, Cao B L, Chen Z J, et al. Grafting enhances the photosynthesis and nitrogen absorption of tomato plants under low-nitrogen stress[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2022, 41(4): 1714-1725.
- [2] 巨晓棠, 张 翀. 论合理施氮的原则和指标[J]. *土壤学报*, 2021, 58(1): 1-13.
- [3] Ichihashi Y, Date Y, Shino A, et al. Multi-omics analysis on an agroecosystem reveals the significant role of organic nitrogen to increase agricultural crop yield[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(25): 14552-14560.
- [4] Qasim W, Xia L L, Lin S, et al. Global greenhouse vegetable production systems are hotspots of soil N₂O emissions and nitrogen leaching: a meta-analysis[J]. *Environmental Pollution*, 2021, 272: 116372.
- [5] 曹小闯, 吴良欢, 马庆旭, 等. 高等植物对氨基酸态氮的吸收与利用研究进展[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(3): 919-929.
- [6] Cao X C, Zhong C, Zhu L F, et al. Glycine increases cold tolerance in rice via the regulation of N uptake, physiological characteristics, and photosynthesis[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017, 112: 251-260.
- [7] 杨永志, 高 伟, 高 翔, 等. 外源甘氨酸促进火龙果根系生长和养分吸收[J]. *热带作物学报*, 2022, 43(7): 1440-1449.
- [8] Zhang Y L, He S R, Zhang Z, et al. Glycine transformation induces repartition of cadmium and lead in soil constituents[J]. *Environmental Pollution*, 2019, 251: 930-937.
- [9] Zhang B, Li P, Su T B, et al. Comprehensive analysis of wall-associated kinase genes and their expression under abiotic and biotic stress in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2020, 39(1): 72-86.
- [10] Noroozlo Y A, Souri M K, Delshad M. Stimulation effects of foliar applied glycine and glutamine amino acids on lettuce growth[J]. *Open Agriculture*, 2019, 4(1): 164-172.
- [11] Mosa W F A, Ali H M, Abdelsalam N R. The utilization of tryptophan and glycine amino acids as safe alternatives to chemical fertilizers in apple orchards[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(2): 1983-1991.
- [12] 冯 琛, 黄学旺, 李兴亮, 等. 不同苹果矮化砧穗组合的抗旱性比较研究[J]. *园艺学报*, 2022, 49(5): 945-957.
- [13] 徐洪超, 逢洪波, 王兰兰, 等. 高粱净光合速率和氮代谢关键酶活性对施氮量的响应及相关性分析[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(17): 82-89.
- [14] Wyatt L E, Strickler S R, Mueller L A, et al. Comparative analysis of *Cucurbita pepo* metabolism throughout fruit development in acorn squash and oilseed pumpkin[J]. *Horticulture Research*, 2016, 3: 16045.
- [15] 薛 娴, 许会敏, 吴鸿洋, 等. 植物光合作用循环电子传递的研究进展[J]. *植物生理学报*, 2017, 53(2): 145-158.
- [16] Li C Z, Yao W J, Wang J P, et al. A novel effect of glycine on the growth and starch biosynthesis of storage root in sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam.) [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2019, 144: 395-403.
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [18] 高战武, 范春燕, 鄢上钦, 等. 盐碱胁迫下外源油菜素内酯与 AM 真菌对羊草光合特性及抗氧化酶系统的影响[J]. *山东农业科学*, 2022, 54(5): 44-52.
- [19] 杜社妮, 耿桂俊, 白岗桢. 苹果树冠不同部位采样对果品品质分析的影响[J]. *北方园艺*, 2012(13): 8-12.
- [20] 陈绕生, 薛林宝. 纳米硒、铜对于旱胁迫下番茄生长、光合特性及产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(12): 127-134.

王彦铮, 黄家健, 张 娟, 等. 基于 SD 法的海南植物园景观评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(12): 127–134.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.12.018

基于 SD 法的海南植物园景观评价

王彦铮^{1,2}, 黄家健², 张 娟², 朱勇学², 赵书彬¹, 黄贵修²

(1. 海南大学林学院, 海南海口 570228;

2. 中国热带农业科学院科技信息研究所/海南省热带作物信息技术应用研究重点实验室, 海南海口 571101)

摘要:在国家植物园体系建设背景下, 为提高海南省植物园的园艺园林建设水平, 以兴隆热带植物园、海口热带农业科技博览园、椰子大观园和海南热带植物园为研究对象, 从被访者的视角进行分析并提出优化建议。借助语义差异分析法(SD 法)分析被访者对海南省植物园景观现状的心理感受; 运用因子分析法, 使用 SPSS 26.0 对 SD 问卷的数据进行降维, 提取出主要影响海南省植物园景观的活动因子、植被因子和感受因子等 3 个主要因子。结果表明, 活动因子、植被因子和感受因子是影响被访者对植物园印象和景观评价的 3 个主要因子; 兴隆热带植物园的综合评分最高, 其次是海口热带农业科技博览园、椰子大观园和海南热带植物园。进而从 3 个主要因子层面提出优化策略, 以期 4 个植物园的景观优化提供科学依据, 也为同类型植物园的造景及景观提升提供可借鉴的参考。

关键词:海南; 植物园; SD 法; 景观评价; 因子分析

中图分类号: TU986 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)12-0127-08

我国植物园的起源可追溯到古代的“神农百草园”和汉代皇家御苑“上林苑”, 其演变伴随着华夏

的草药文明与园艺园林的发展, 是人类文明发展史的重要组成部分^[1-3]。现代植物园不仅追求科学研究、植物保护 2 项科研功能, 更注重挖掘其资源利用、知识传播的社会功能, 并肩负着生物多样性保护、生态文明建设的使命^[4]。尽管植物园的定义和功能在不同时代侧重点不同, 但“科学的内容、艺术的外貌、使命的担当、文化的展示”这一宗旨贯穿植物园始终^[5-7]。国家先后批复了北京国家植物园、华南国家植物园^[8-11], 国家植物园体系建设进入实

收稿日期: 2022-09-14

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号: 1630072022003、1630072022006); 海南省自然科学基金(编号: 423QN301)。

作者简介: 王彦铮(1997—), 女, 海南海口人, 硕士研究生, 从事风景园林历史理论与规划设计研究。E-mail: 237907806@qq.com。

通信作者: 黄贵修, 博士, 研究员, 从事热带地区植物病理学研究。E-mail: hgxiu@vip.163.com。

[21] Muttucumaru N, Powers S J, Elmore J S, et al. Effects of nitrogen and sulfur fertilization on free amino acids, sugars, and acrylamide-forming potential in potato[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(27): 6734–6742.

[22] 王 珣, 杨小龙, 叶子飘, 等. 不同温度下甜高粱叶片光合作用的气孔限制和非气孔限制特征分析[J]. *植物生理学报*, 2022, 58(7): 1245–1253.

[23] 权佳惠, 招礼军, 朱栗琼, 等. 罗汉松幼苗在不同磷环境下添加氮的生理响应[J/OL]. *热带作物学报*, (2022-10-09)[2022-10-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20221009.1812.006.html>.

[24] Kang T, Wu H D, Lu B Y, et al. Low concentrations of glycine inhibit photorespiration and enhance the net rate of photosynthesis in *Caragana korshinskii*[J]. *Photosynthetica*, 2018, 56(2): 512–519.

[25] 王兰兰, 李 琦, 宋晓芹, 等. 环境条件对植物叶绿素荧光参数影响研究进展[J]. *沈阳师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 37(4): 362–367.

[26] Queiroz A M, Mezacasa A V, Graciano D E, et al. Quenching of chlorophyll fluorescence induced by silver nanoparticles[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2016, 168: 73–77.

[27] 尚文倩, 张春玲, 何松林, 等. 不同光质对牡丹试管苗糖代谢及相关酶活性的影响[J]. *北方园艺*, 2022(13): 79–86.

[28] Li M J, Li P M, Ma F W, et al. Sugar metabolism and accumulation in the fruit of transgenic apple trees with decreased sorbitol synthesis[J]. *Horticulture Research*, 2018, 5: 60.

[29] Li Y Y, Lv Y, Lian M, et al. Effects of combined glycine and urea fertilizer application on the photosynthesis, sucrose metabolism, and fruit development of peach[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 289: 110504.

[30] 雷钰欣, 曹子千, 李纪璇, 等. 高等植物转化酶的研究进展[J/OL]. *分子植物育种*, (2021-07-08)[2022-10-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210708.0958.008.html>.