

外源 L-谷氨酸对荔枝果实生长与着色 以及营养品质的调控作用

冯 顺, 李绍鹏, 罗立娜, 吴 凡, 陈 婷, 杨 超, 李 美, 李茂富*

(海南大学 园艺园林学院, 海口 570228)

摘 要:以 8 年生‘妃子笑’荔枝为试验材料,于盛花后 45 d 果面喷施 0、1.10、1.30、1.50、1.70 和 1.90 g/L 的 L-谷氨酸,研究各浓度 L-谷氨酸处理对‘妃子笑’荔枝果实生长、果皮着色和果肉营养品质的影响。结果显示:(1)各浓度 L-谷氨酸处理对采收期(处理后 20 d)荔枝果皮中的叶绿素含量无显著影响,但 1.30~1.90 g/L L-谷氨酸处理采收期荔枝果皮中花青苷含量比对照显著增加 92% 以上;在采收期,1.10~1.30 g/L L-谷氨酸处理的果面色泽参数 a^* 值显著高于对照,色度角 h° 值、亮度 L^* 、色彩饱和度 C 值均显著低于对照。(2)与对照相比,1.10 g/L L-谷氨酸处理使采收期荔枝果实单果重、纵径和横径分别显著增加 30%、4% 和 6%,而 1.90 g/L L-谷氨酸处理的单果重、纵径和横径分别比对照降低了 1%~2%。(3)L-谷氨酸(1.10、1.30 和 1.70 g/L)处理使荔枝果肉可溶性固形物含量峰值的出现时间比对照延迟 5 d,缩短了果皮与果肉的发育间隔时期;各浓度 L-谷氨酸处理对果肉可滴定酸含量无显著影响,但 1.30 g/L L-谷氨酸处理使荔枝果肉中维生素 C 含量比对照提高 15%。研究表明,适宜浓度的外源 L-谷氨酸处理可显著促进‘妃子笑’荔枝果实生长和果皮着色,并有效改善果肉营养品质,其中以 1.30 g/L L-谷氨酸处理的综合效果最好,过高浓度 L-谷氨酸(1.90 g/L)则抑制荔枝生长。

关键词:L-谷氨酸;‘妃子笑’荔枝;单果重;着色;维生素 C

中图分类号:Q945.6⁺5

文献标志码:A

Regulating Fruit Growth, Coloration and Nutrient Quality of *Litchi chinensis* with Exogenous L-Glu

FENG Shun, LI Shaopeng, LUO Lina, WU Fan, CHEN Ting, YANG Chao, LI Mei, LI Maofu*

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: To evaluate the potential for exogenous L-glutamic acid (L-Glu) to improve the coloration, growth and nutrient quality of litchi fruit, we sprayed L-Glu to the pericarp of the ‘Feizixiao’ cultivar at concentrations of 0, 1.10, 1.30, 1.50, 1.70, or 1.90 g/L, 45 d after full bloom in 2014. The results showed that: (1) each concentration of L-glutamate had no significant effect on litchi pericarp chlorophyll content in harvest period (20 days post-treatment), however, the anthocyanin content of treatments with 1.30–1.90 g/L L-glutamic acid was significantly increased more than 92% than that of control harvest; In the harvest period, fruit surface color parameters a^* value treated with 1.10–1.30 g/L L-glutamic were significantly higher than that of control. The hue angle (h° values), brightness (L^*), color saturation (C values) were significantly lower than that of control. (2) Compared with the control, treatment with 1.10 g/L L-glutamate made litchi fruit weight significantly increased by 30%, a significant increase in length by 4% and diameter by 6% at harvest; while, the fruit weight, length and diameter of 1.90 g/L L-glutamate treatment were decreased by 1%–2%. (3) L-Glu treatment had no significant effect on titratable acid content in litchi fruit; however, total soluble solids content peaked at 16 d after the application of L-Glu at 1.10, 1.30 or

收稿日期: 2015-07-20; 修改稿收到日期: 2015-09-11

基金项目: 海南农垦新型农技——荔枝高效省力栽培技术推广(HD-KYH-2014044)

作者简介: 冯 顺(1990–), 女, 在读硕士研究生, 主要从事果树栽培生理与分子生物学研究。E-mail: 1552037691@qq.com

* 通信作者: 李茂富, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事果树种质资源、栽培与生理研究。E-mail: hafu98022@126.com

1.70 g/L; this represents a 5 d delay compared to the soluble solids content peak of the control; the vitamin C content of 1.30 g/L L-Glu-treated fruits was 15% higher than that of control fruits, enhancing the nutritional quality of litchi. Thus, the appropriate concentration of exogenous L-glutamic acid treatment can significantly promote fruit growth and coloration of 'Feizixiao' litchi and effectively improve the nutritional quality in pulp, but high concentrations of L-glutamic acid (1.90 g/L) treatment showed inhibition on the growth of litchi. Therefore, the results indicate that 1.30 g/L L-Glu may be the optimum treatment concentration to improve fruit coloration, growth, and nutrient levels in 'Feizixiao' litchi.

Key words: L-Glu; 'Feizixiao' litchi; fruit weight; coloration; vitamin C

‘妃子笑’荔枝(*Litchi chinensis* Sonn. cv. Feizixiao)生态适应性广,在中国福建、台湾、四川、海南等地均有广泛种植,同时在澳大利亚、美国、以色列等国家也有商业化栽培,可以称得上是一个世界性的品种^[1]。‘妃子笑’荔枝是海南栽培面积最大的荔枝品种,但往往由于其果肉生长与果皮着色发育不一致(‘滞绿’现象),果皮全红时营养品质下降,口感变差(‘退糖’现象),致使果农在荔枝青皮时期即进行采收,严重降低了荔枝的商品价值^[2]。因而如何有效缩短‘妃子笑’荔枝果皮与果肉发育的间隔时期,提高荔枝采收品质是目前‘妃子笑’荔枝生产急需解决的科研问题。前人研究表明,套袋可促进‘妃子笑’荔枝着色和单果重增加,但对营养品质无影响,且耗费人力,增加生产成本^[3-4];多效唑、乙烯利、光敏素、萘乙酸(NAA)以及各种糖营养剂均可促进‘妃子笑’荔枝着色,但对可溶性固形物和单果重无影响^[5]。由此可见,目前的研究尚未完全解决‘妃子笑’荔枝果皮与果肉发育不一致问题,且随着人们对食品和环境安全的重视,有必要寻找一种既可改善妃子笑荔枝着色,又能促进果实生长、提高其营养品质的环保、安全的方法。

谷氨酸是最常见的氨基酸之一,广泛存在于蔬菜、海鲜、肉类和奶酪等各种食品中^[6]。在果实的成熟过程中,伴随着蔗糖^[7]、己糖(葡萄糖和果糖)、柠檬酸盐^[8]和谷氨酸^[9-10]等各组分含量的大幅增加。据报道,外源喷施 L-谷氨酸能显著促进苹果着色,增加可溶性糖含量,显著提高果实品质^[11],还可显著提高红叶桃叶片花青苷含量,改善红叶桃叶片色泽^[12]。推测 L-谷氨酸或许可作为一种安全且环保的新型调控剂,可能有助于改善‘妃子笑’荔枝果皮着色和果实品质,但关于 L-谷氨酸调控‘妃子笑’荔枝果实生长和着色尚未见报道。故本研究以‘妃子笑’荔枝转色前果实为试材,外源喷施不同浓度 L-谷氨酸,分析 L-谷氨酸对海南‘妃子笑’荔枝果实生长和着色及营养品质变化的影响,为应用外源喷施 L-谷氨酸调控荔枝果实着色和品质提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与处理

试验选取 8 年生的‘妃子笑’荔枝作为试材,于 2014 年 5 月在海南省海口市澄迈县华侨农场荔枝园进行。每个处理选取生长势、负载量基本一致的 5 株树为试验用树,每株树选取树冠外围 5 个方向,每个方向选取 2 个生长一致的果穗挂牌标记,以此确定好标准果。试验设如下处理:0(对照)、1.10、1.30、1.50、1.70、1.90 g/L 的 L-Glu 水溶液,在‘妃子笑’荔枝盛花后 45 d(果皮转色前)早上 8:00~10:00,用喷壶将各处理药液均匀喷施已标记果穗,直至果实上药液呈滴水状为止。在处理时(0 d)和处理后 6、11、16、20 d(采收期)的上午 8:00~10:00 进行采样。采样时,参照标准果每株树采摘发育程度相近的 10 个果,每个处理共计采果 50 个。采摘后立即带回试验室进行各项指标的测定。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 单果重量、果肉重量、横径、纵径 利用数显游标卡尺测果实横径、果实纵径;用分析天平测单果重量和果肉重量,用果肉重量与单果重量的百分比表示可食率。每处理测定 30 个果实。

1.2.2 果肉可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量 用手持数显折光仪(PAL-1, Atago, Tokyo, Japan)测定果肉可溶性固形物含量;用酸碱滴定法测定果肉总酸含量;用 2,6-二氯酚酚滴定法测定果肉维生素 C 含量^[13],以 mg/kg 表示。每处理随机测定 10 个果实。

1.2.3 果皮色素含量 准确称取 0.2 g 果皮,加入 10 mL 1%盐酸甲醇溶液,60 °C 恒温避光浸提 1 h,用紫外分光光度计(UV-1100, Mapada, Shanghai, China)测浸提液在 530、600 nm 处的吸光值 A_{530} 和 A_{600} 。以每克鲜果皮质量的提取液的光密度变化($A_{530}-A_{600}$)0.01 作为 1 个花青苷单位,以 U 表示^[14]。每处理随机测定 10 个果。同时,参照王文杰的方法^[15]稍作改进测果皮叶绿素含量。准确称

取 0.2 g 果皮,加入 10 mL 二甲基亚砷溶液,60 ℃ 恒温避光浸提 1 h,用紫外分光光度计(UV-1100, Mapada, Shanghai, China)测浸提液在 663 nm 和 645 nm 处的吸光值 A_{663} 和 A_{645} ,并参照苏正淑^[16]的方法计算叶绿素含量。每处理随机测定 10 个果实。

1.2.4 果皮色泽参数 利用色彩色差计(CR-400, Konina Minolta Sensing, Japan)测量荔枝果实果肩部果皮色泽,每份样品随机选择 15 个果实,每个果实测两个点(平行于赤道面)。每个点均需测 L^* 、 a^* 和 b^* 值。以测得 a^* 值、 b^* 值计算 C 值(色彩浓度)和 h° 值(色度角)。C 值计算公式为: $C=[(a^*)^2+(b^*)^2]^{1/2}$ 。色度角计算公式为: $h^\circ=\arctan(b^*/a^*)/6.282\ 3\times 360^\circ(a^*\geq 0\text{ 且 }b^*\geq 0)$; $h^\circ=\arctan(b^*/a^*)/6.282\ 3\times 360^\circ+180^\circ(a^*<0\text{ 且 }b^*>0)$ ^[17]。

1.3 数据统计分析

采用软件 SAS v9.0 的 ANOVA 过程作方差分析;采用 LSD 法($\alpha=0.05$)作多重比较分析。利用模糊隶属函数综合评析各处理对采收期(处理 20 d 后)荔枝果实着色、生长和营养品质的调控效应。隶属函数值计算公式如下:若指标与果实品质呈正相

关, $R(X_j)=(X_j-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$;若指标与果实品质呈负相关,则 $R(X_j)=1-(X_j-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$ 。式中, X_j 为指标测定值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别表示参试材料某一指标的最大值和最小值^[18]。

2 结果与分析

2.1 外源 L-谷氨酸对‘妃子笑’荔枝单果重、可食率、横径和纵径的影响

图 1 显示,‘妃子笑’荔枝果实单果重(图 1,A)、纵径(图 1,C)、横径(图 1,D)随处理时间呈线性逐渐增长的趋势,后期增长变缓,而可食率(图 1,B)则呈先增加后降低的变化趋势。其中,在‘妃子笑’荔枝采收期(处理后 20 d),其单果重、纵径、横径在 1.10 g/L L-谷氨酸处理下分别比对照显著增加 30%、4%、6%左右($P<0.05$),其在 1.30~1.70 g/L L-谷氨酸处理下比对照增加 3%~16%;而 1.90 g/L L-谷氨酸处理的单果重、纵径、横径均低于对照,采收时比对照降低了 2%,表现出轻微的抑制作用。同时,L-谷氨酸各处理对荔枝果实可食率(图 1,B)均无显著影响。可见,低浓度(1.10 g/L)

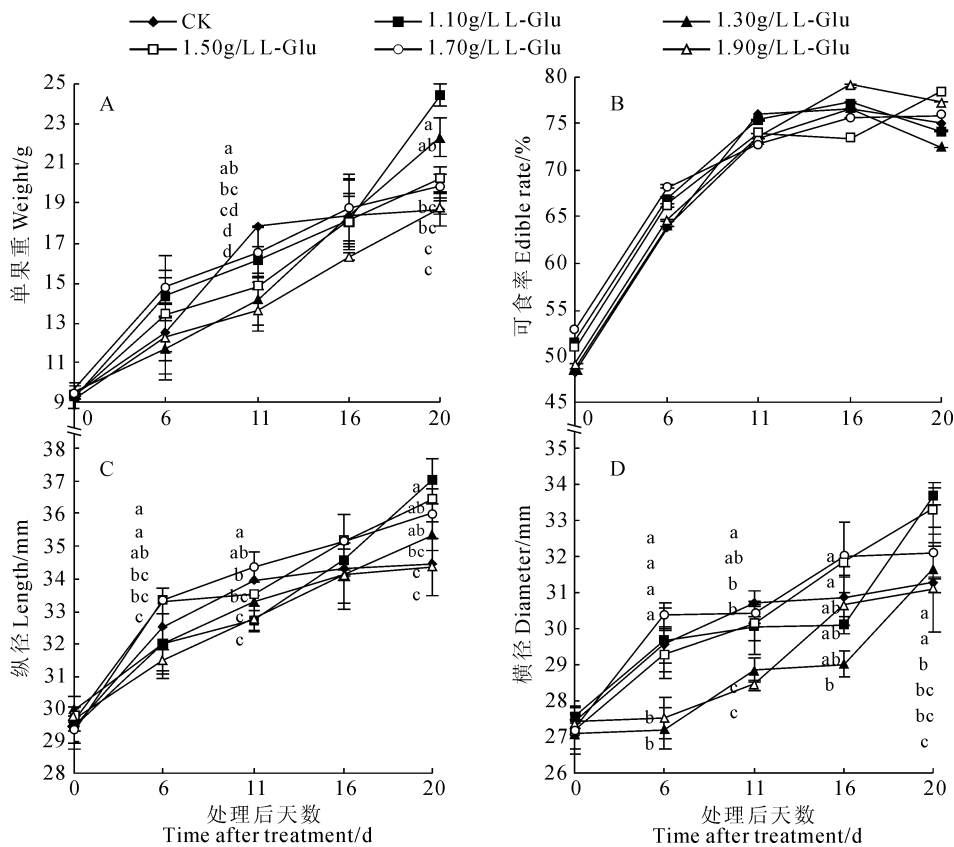


图 1 不同浓度 L-Glu 处理下‘妃子笑’荔枝果实单果重、可食率、果实纵径、果实横径的变化
同期不同字母表示处理间在 0.05 水平存在显著性差异;下同

Fig. 1 The weight, edible rate, length and diameter of ‘Feizixiao’ litchi fruits with application of exogenous L-Glu
Different normal letters within same time represent significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below

外源 L-谷氨酸能显著促进荔枝果实的生长,并有助于提高果实产量。

2.2 外源 L-谷氨酸对‘妃子笑’荔枝可溶性固形物、可滴定酸和 Vc 含量的影响

由图 2 可知,荔枝果实的可溶性固形物(图 2, A)、维生素 C 含量(图 2, B)总体随处理时间呈现先升高再下降的变化趋势,而可滴定酸(图 2, C)则呈持续下降趋势;果实可滴定酸含量在不同浓度 L-谷氨酸处理下始终没有受到显著影响,可溶性固形物和果肉维生素 C 含量也仅于处理后 16 d 时才在处

理间存在显著性差异,尤其是 1.30 和 1.70 g/L 浓度处理的维生素 C 含量最高。其中,果实可溶性固形物含量峰值在 1.10、1.30 和 1.70 g/L 浓度下均出现在 16 d,而在 0(CK)和 1.50 和 1.90 g/L 浓度下均出现在 11 d;维生素 C 含量峰值在 1.30 和 1.70 g/L 浓度下均出现在 16 d,在 0、1.10、1.50、1.90 g/L 浓度下出现在 11 d。即 1.30 和 1.70 g/L 浓度处理可溶性固形物和果肉维生素 C 含量峰值均比对照延迟了 5 d,此时该两浓度处理的果肉维生素 C 含量显著高于对照($P<0.05$)。采收时(处理后 20 d),尽管所有处理可溶性固形物、维生素 C 和可滴定酸含量均与对照无显著性差异,但 1.10 和 1.30 g/L L-谷氨酸处理果肉的维生素 C 含量比对照高出 9%~15%。以上结果说明适宜浓度 L-谷氨酸处理能够通过延迟可溶性固形物的下降时期,可在一定程度上提高采收期果实的营养品质。

2.3 外源 L-谷氨酸对‘妃子笑’荔枝果皮色泽参数的影响

在‘妃子笑’荔枝果实发育成熟过程中,随着果皮颜色由绿色转为红色,色泽指标 a^* 值(图 3, A)由负转正并逐渐升高;与对照相比,1.10 和 1.30 g/L L-谷氨酸处理显著提高了采收期果皮的 a^* 值。同时,色度角 h° 随果实发育成熟整体呈现下降趋势(图 3, B),且其在处理后 0~16 d 呈缓慢下降趋势,而在处理 16 d 后开始急剧下降,如采收期时(处理 20 d 后),1.10 和 1.30 g/L L-谷氨酸处理果皮的 h° 值显著比对照降低了 19%~25%。另外,各浓度 L-谷氨酸处理的亮度(图 3, C)和色彩饱和度(图 3, D)均显著低于同期对照。由此可见,低浓度 L-谷氨酸可通过促进 a^* 值增加,加大荔枝果皮红色的呈现面积,显著改善‘妃子笑’荔枝果皮色泽。

2.4 外源 L-谷氨酸对‘妃子笑’荔枝果皮色素含量的影响

荔枝果皮花青苷含量随着果实的发育成熟整体呈逐渐升高趋势,在各浓度 L-谷氨酸处理后 0~16 d 内没有受到显著影响,但其积累量在处理 20 d (采收期)得到显著促进(图 4, A)。当外源 L-谷氨酸在 1.10~1.70 g/L 浓度范围内,采收期果皮中花青苷含量随 L-谷氨酸浓度的升高而增加;1.30、1.50、1.70 和 1.90 g/L L-谷氨酸处理使采收期果皮中花青苷含量比对照显著增加 92% 以上。同时,荔枝果皮叶绿素含量随着果实的发育成熟整体呈逐渐下降的趋势,在外源 L-谷氨酸处理后 6 d 和 20 d (采收期)各浓度间虽有差异,但均未达到显著水平;

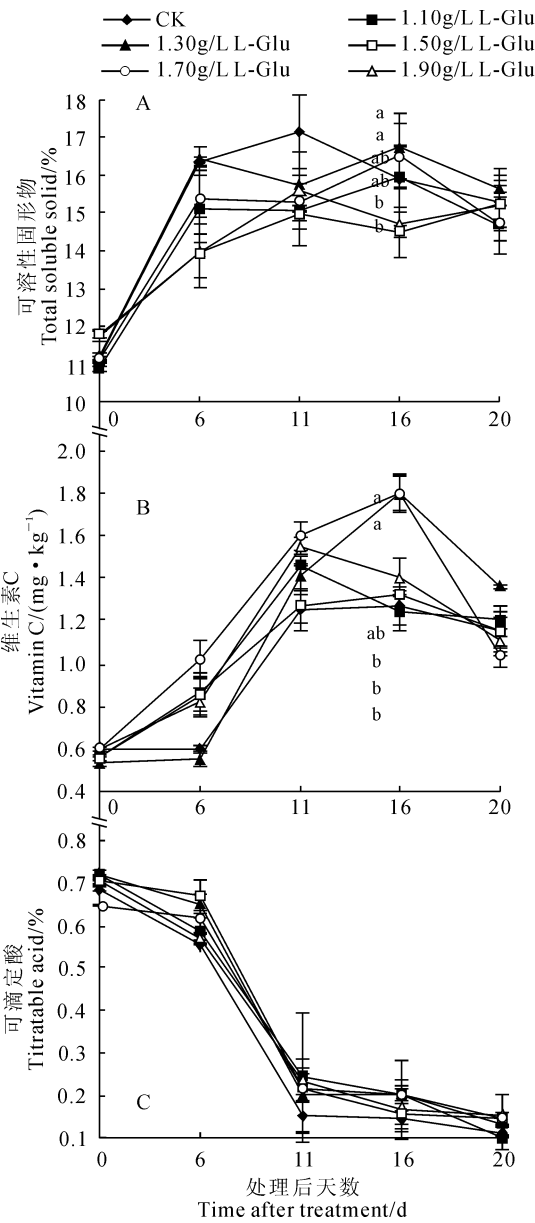


图 2 不同浓度 L-Glu 处理下‘妃子笑’荔枝可溶性固形物、维生素 C、可滴定酸含量的变化

Fig. 2 The total soluble solids, vitamin C, and titratable acid content of ‘Feizixiao’ litchi fruits with application of exogenous L-Glu

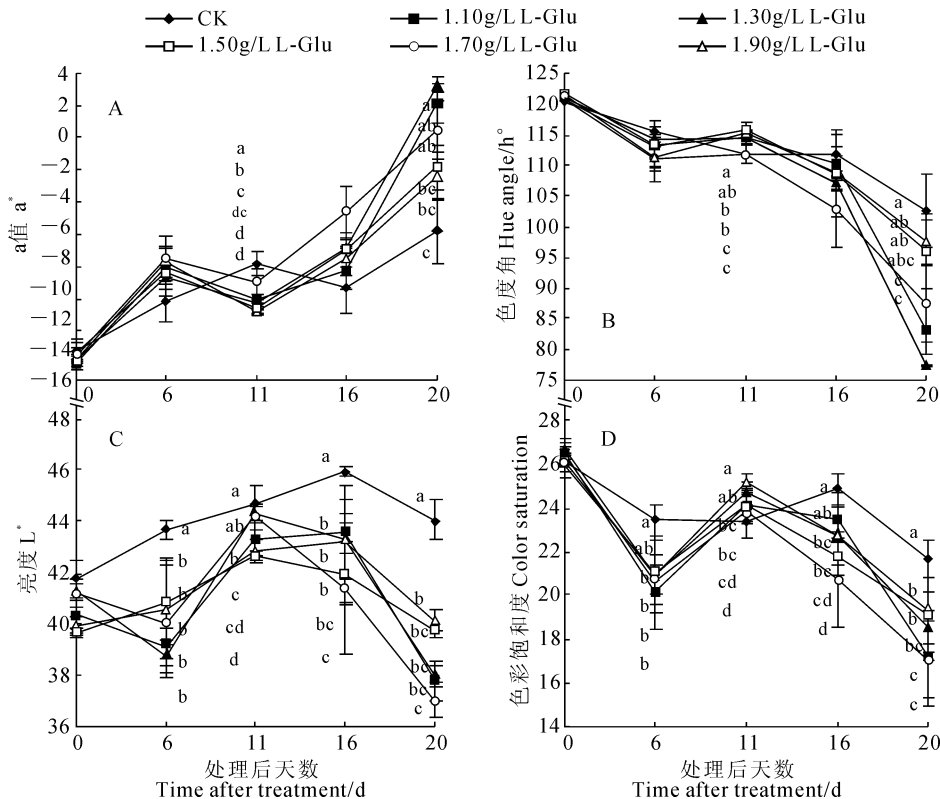


图 3 不同浓度 L-Glu 处理下‘妃子笑’荔枝果面色泽参数 a^* 、色度角 h 、亮度 L^* 、色彩饱和度 C 的变化
Fig. 3 The following skin color parameters: a^* value, hue angle h , L^* , and color saturation of the pericarp of ‘Feizixiao’ litchi fruits with application of exogenous L-Glu

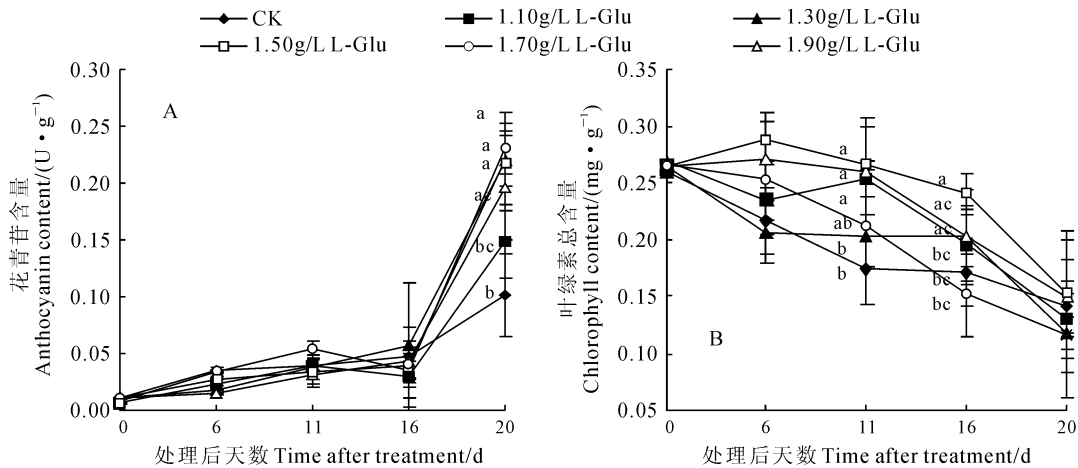


图 4 不同浓度 L-Glu 处理对‘妃子笑’荔枝果皮花青苷含量和叶绿素含量的影响
Fig. 4 The anthocyanin content and total chlorophyll content of the pericarp of ‘Feizixiao’ litchi fruits with application of exogenous L-Glu

在处理 11~16 d, 仅 1.50 g/L L-谷氨酸处理荔枝果皮叶绿素含量比对照显著增加 41%~52%, 其余浓度处理均无显著影响(图 4, B)。这些结果表明 L-谷氨酸是通过促进荔枝果皮花青苷的合成而不是促进叶绿素的降解来促进采收期荔枝果实的着色。

2.5 L-谷氨酸浓度差异对采收期荔枝果实的调控效应评价

由以上分析可知, 外源 L-谷氨酸对采收期荔枝

的果实各测定指标影响最为明显, 而此时也是表现其商品价值的最佳时期。因此, 我们将此时果实的各测定指标换算成平均隶属函数值来综合评析外源 L-谷氨酸处理的浓度差异对‘妃子笑’荔枝采收期果实着色、生长和营养品质的调控效应。如图 5 所示, 1.10~1.70 g/L L-谷氨酸处理的平均隶属函数值均高于对照, 而 1.30 g/L 处理平均隶属函数值又高于其他处理, 仅 1.90 g/L L-谷氨酸处理模糊隶属函

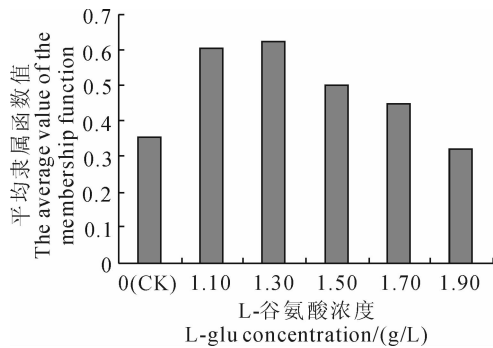


图5 各浓度外源 L-谷氨酸处理‘妃子笑’荔枝果实各观测指标在采收期的平均隶属函数值

Fig.5 Membership function value of each observations of ‘Feizixiao’ litchi fruits at harvest stage with application of exogenous L-Glu

数值低于对照,说明适宜浓度外源 L-谷氨酸处理能有效促进荔枝果实着色和生长,但浓度过高则抑制荔枝果实着色和生长。本试验中以 1.30 g/L L-谷氨酸促荔枝果实着色和生长效果最佳。

3 讨 论

荔枝果皮颜色和果肉口味在荔枝的成熟过程会发生明显变化,这些变化源于果皮花青素含量、叶绿素含量,以及果实重量和果肉维生素 C 含量等各组分的共同变化。植物通过光合作用形成碳水化合物,为植物的生长提供能量,而植物吸收光能主要是由植物的叶绿素完成的^[19]。在一定范围内,植物体内叶绿素含量的高低与植物光合作用强弱和植物生长呈正相关^[20]。谷氨酸是叶绿素生物合成的直接前体^[21],因此,谷氨酸也能影响到植物的光合作用和生长。叶面喷施适宜浓度的 L-谷氨酸可以促进荔枝叶片叶绿素的合成^[22]。本试验中,各浓度 L-谷氨酸处理促进了荔枝果实生长期(处理后 0~16 d)果皮叶绿素含量的积累,但对采收期果皮叶绿素含量没有显著影响。这说明外源 L-谷氨酸也能被果皮吸收,从而促进荔枝果皮中叶绿素的生物合成,但其效用会随着时间的推移而减弱或消退。另一方面,叶绿素含量的增加,表明植物对光能利用率加强,有利于光能的固定、贮藏,从而促进植物生长^[23]。这也许就是外源 L-谷氨酸显著促进‘妃子笑’荔枝果实横径、纵径和单果重增长的主要原因。

花青苷是类黄酮合成途径的合成产物之一,是

多种花和果实中红色、紫色、蓝色等颜色的呈色物质^[24]。花青苷的合成受光照、温度、激素、矿质元素、糖分等因素的综合影响^[25],其中,糖作为花青苷代谢过程中的前体物质,既可促进花青苷的代谢,也可作为信号分子通过特定的信号传导途径诱导花青苷的合成^[26],外施低浓度果糖和蔗糖也可有效促进红皮梨花青苷的积累,同时有效抑制果实成熟后期花青苷含量的下降^[27]。而本试验结果表明:各浓度 L-谷氨酸对处理后 0~16 d 的‘妃子笑’荔枝果皮花青素含量没有显著影响,但 1.30~1.90 g/L L-谷氨酸处理能显著促进采收期(处理后 20 d)‘妃子笑’荔枝果皮花青苷的积累。曾令达研究表明,外源喷施 L-谷氨酸能促进‘三月红’和‘水东’荔枝果皮转红,促进‘三月红’总糖的积累,但对两品种的果实大小和单果重影响不大^[28]。本试验中外源喷施适宜浓度 L-谷氨酸既可促进‘妃子笑’荔枝果实果皮转红,又可促进果实的生长,显著提升果实单果重和横径、纵径。由此说明,L-谷氨酸对不同品种荔枝各生长相关指标的调控作用虽有一定差异,但都能促进荔枝果皮转红着色。

叶绿素含量和花青素含量共同影响‘妃子笑’荔枝果皮着色^[14]。花青苷形成的时期和总量是‘妃子笑’荔枝果皮呈现红色的主要原因^[29]。对广东和海南的‘妃子笑’荔枝研究表明,花色苷含量过低或叶绿素含量过高是荔枝着色不良的主要因素^[2,14]。高叶绿素含量提高了果皮表面的背景色,遮掩或覆盖了由花青苷赋予的红色。L-谷氨酸没有影响采收期‘妃子笑’荔枝果皮总叶绿素含量,但能显著促进该时期花青苷的合成,从而有效提高采收期‘妃子笑’荔枝果实的着色。因此,我们认为,外源 L-谷氨酸主要是通过促进花青素合成,而不是促进叶绿素的降解来改善采收期‘妃子笑’荔枝果实着色。

综上所述,于‘妃子笑’荔枝盛花后 45 d,果面喷施适宜浓度的 L-谷氨酸,在施用早期可促进叶绿素合成,有利于增强光合作用,提高果实单果重和增加产量;在施用后期可显著提高果皮花青苷含量,延缓果肉可溶性固形物、维生素 C 的降解,有效改善‘妃子笑’荔枝采收期色泽及营养品质;本次试验以 1.30 g/L L-谷氨酸处理综合调控效果最佳。

参考文献:

- [1] LUO SH(罗 诗),LI J G(李建国),HUANG X M(黄旭明). Comparison of fruit development and sugar accumulation dynamics and fruit quality between fruits from early and late bloom-Feizixiao litchi[J]. *Journal of the South China Agricultural University*(华南农业学报), 2006,26(4):5-9(in Chinese).

- [2] ZHANG R(张 锐), HAN L T(韩丽婷), WANG J(王 娟), *et al.* The comparison of the differences in pericarp colouring and accumulations of sugar and acid in flesh between two litchi cultivars[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (Nat. Sci. Edi.) (福建农林大学学报·自然科学版), 2014, **43**(4): 374–378(in Chinese).
- [3] WANG J W(王建武), CHEN H B(陈厚彬), ZHOU Q(周 强), *et al.* Effects of bagging on the fruit quality in *Litchi chinensis* fruit and pesticide residues in it[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(5): 710–712(in Chinese).
- [4] TANG J(唐 健), YIN M(殷 敏), XUE J J(薛进军). Effect of bagging on mature and quality of litchi fruits[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science* (江苏农业学报), 2009, 25: 640–642(in Chinese).
- [5] HU G B(胡桂兵), CHEN D CH(陈大成), LI P(李 平), *et al.* Effect of different growth regulators and nutrients on Feizixiao Litchi fruit color and nutritional quality[J]. *Guangdong Agriculture Science* (广东农业科学), 2000, 3: 24–26(in Chinese).
- [6] JINAP S, HAJEB P. Glutamate. Its applications in food and contribution to health[J]. *Appetite*, 2010, 55: 1–10.
- [7] YELLE S, CHETEAU R, DORAIS M, *et al.* Sink metabolism in tomato fruit. IV: Genetic and biochemical analysis of sucrose accumulation [J]. *Plant Physiology*, 1991, 95: 1 026–1 035.
- [8] ROLIN D, BALDET P, JUST D, *et al.* NMR study of low subcellular pH during the development of cherry tomato fruit. Australian [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2000, 27: 61–69.
- [9] BOGGIO S B, PALATNIK J F, HELDT H W, *et al.* Changes in amino acid composition and nitrogen metabolizing enzymes in ripening fruits of *Lycopersicon esculentum* Mill[J]. *Plant Science*, 2000, 159: 125–133.
- [10] KISAKA H, KIDA T. Transgenic tomato plant carrying a gene for NADP-dependent glutamate dehydrogenase (gdh A) from *Aspergillus nidulans*[J]. *Plant Science*, 2003, 164: 35–42.
- [11] WANG L J(汪良驹), WANG ZH H(王中华), LI ZH Q(李志强), *et al.* Promotion of L-Glutamic acid on anthocyanin accumulation of Fuji apples[J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2006, **23**(2): 157–160(in Chinese).
- [12] HAN J(韩 建), SHANG G P(尚高攀), ZHANG B B(张斌斌), *et al.* Effects of foliar spraying of L-glutamic acid and rhamnose solution on changes of pigment content and physiological properties in leaves of red-leaf peach in summer[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2012, 35: 19–24(in Chinese).
- [13] LONG SH ZH(龙淑珍), HE Y Q(何永群). The determination and correlation of titratable acid and vitamin C in litchi[J]. *Guangxi Agricultural Science* (广西农业科学), 2002, 4: 188–189(in Chinese).
- [14] WANG H C, HUANG H B, HUANG X, *et al.* Differential effects of abscisic acid and ethylene on the fruit maturation of *Litchi chinensis* Sonn[J]. *Plant Growth Regulation*, 2007, 52: 189–198.
- [15] WANG W J(王文杰), HE H SH(贺海升), *et al.* Methodological comparison of chlorophyll and carotenoids content of plant species measured by DMSO and acetone extraction methods[J]. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 2009, 29: 224–229(in Chinese).
- [16] SU ZH SH(苏正淑), ZHANG X ZH(张宪政). Comparison of several methods of measuring the chlorophyll content in plants[J]. *Plant Physiology Communication* (植物生理学通讯), 1989, (5): 77–78(in Chinese).
- [17] WEI Y Z, HU F C, HU G B, *et al.* The UDP glucose: flavonoid-3-O-glucosyltransferase (UFGT) gene regulates anthocyanin biosynthesis in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) during fruit coloration[J]. *PLoS ONE*, 2011, 6: 1–11.
- [18] HUANG CH L(黄承玲), CHEN X(陈 训), GAO G L(高贵龙). Physiological response of seedlings of three azalea species of drought stress and evaluation of drought resistance[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2011, **47**(6): 48–55(in Chinese).
- [19] MENG J(孟 军), CHEN W F(陈温福), XU ZH J(徐正进), *et al.* Study on photosynthetic rate and chlorophyll content[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2001, **32**(4): 247–249(in Chinese).
- [20] WU CH(吴 楚), FAN ZH Q(范志强), *et al.* Effect of phosphorus stress on chlorophyll biosynthesis, photosynthesis and biomass partitioning pattern of *Fraxinus mandchurica* seedlings[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(6): 935–940(in Chinese).
- [21] PONTOPPIDAN B, KANNANGARA C G. Purification and partial characterisation of barley glutamyl-tRNA_{Glu} reductase, the enzyme that directs glutamate to chlorophyll biosynthesis[J]. *European Journal of Biochemistry*, 1994, **225**(2): 529–537.
- [22] 阎青云. 新型植物生长调节剂 L-谷氨酸对荔枝的生理效应[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [23] ZHOU Y T(周忆堂), MA Q H(马群红), *et al.* Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence in leaves of *catharanthus roseus* grown under different light intensities[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(11): 3 589–3 595(in Chinese).
- [24] 俞 波. 红色砂梨花青苷生物合成相关基因分离及表达研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [25] LIU Y L(刘玉莲), CHE F(车 飞), GUO Y P(郭延平), *et al.* Correlation between changes in soluble sugars and anthocyanins contents during fruit coloration[J]. *Food Science* (食品科学), 2013, **34**(17): 47–49(in Chinese).
- [26] LI Q(李 倩), ZHANG L J(张立军), ZHANG X(张 旭), *et al.* Regulation of sugar on the biosynthesis and accumulation of anthocyanins in plants[J]. *Chemistry of Life* (生命的化学), 2009, **29**(2): 218–222(in Chinese).
- [27] ZHANG Q(张 茜), YANG J(杨 健), WANG L(王 龙), *et al.* Correlation between soluble sugar and anthocyanin and effect of exogenous sugar on coloring of ‘Hongtaiyang’ pear[J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2013, **30**(2): 248–253(in Chinese).
- [28] ZENG L D(曾令达), LIAO J L(廖建良), *et al.* Effects of glutamic acid and TDZ (Thidiazuron) on the fruit coloration and quality of *Litchi chinensis* Sonn[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2012, **20**(4): 382–387(in Chinese).
- [29] ZHAO Z C, HU G B, HU F C, *et al.* The UDP glucose: flavonoid-3-O-glucosyltransferase (UFGT) gene regulates anthocyanin biosynthesis in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) during fruit coloration[J]. *Molecular Biology Reports*, 2012, 39: 6 409–6 415.