

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201409032

苏阳,周晓超,高丹,等. 紫娘喜荔枝果皮 K、Ca 和 Mg 含量变化对着色的影响[J]. 广西植物, 2015, 35(3): 354—359

Su Y, Zhou XC, Gao D, et al. Effects of the changes in the contents of K, Ca and Mg in pericarp on the pericarp's coloring of *Litchi chinensis* cv. Ziniangxi [J]. Guihaia, 2015, 35(3): 354—359

紫娘喜荔枝果皮 K、Ca 和 Mg 含量变化对着色的影响

苏 阳, 周晓超, 高 丹, 周开兵*

(海南大学 园艺园林学院, 海口 570228)

摘 要: 为探讨紫娘喜荔枝(*Litchi chinensis*)着色与果皮 K、Ca 和 Mg 含量变化的关系,以紫娘喜荔枝果皮为试材,通过对数据作典型性相关和一元指数函数回归分析,研究其 K、Ca、Mg 含量变化及其对叶绿素、花色素苷等含量的影响特点。结果表明:随着果皮不断转红,叶绿素含量呈显著下降趋势,而花色素苷含量却呈显著上升趋势;全 K、水溶性 K 和全 Ca、水溶性 Ca 含量分别呈下降和上升的趋势,水溶性 Mg 含量呈上升趋势,全 Mg 含量变化不显著,同期全 K、Ca、Mg 和水溶性 K、Mg、Ca 等含量分别呈依次递减趋势;花色素苷含量与全 Ca 和全 K 含量分别呈正和负相关的一元指数函数回归关系;叶绿素含量与水溶性 Mg、全 Ca 和全 K 含量分别呈负、负和正相关一元指数函数回归关系。可见,全 Ca 含量较高是促进果皮转红的关键因素,研究结果可为制定紫娘喜荔枝合理施肥技术提供理论依据。

关键词: 着色机理; 花色素苷; 叶绿素; 典型性相关; 一元指数函数回归

中图分类号: S667.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)03-0354-06

Effects of the changes in the contents of K, Ca and Mg in pericarp on the pericarp's coloring of *Litchi chinensis* cv. Ziniangxi

SU Yang, ZHOU Xiao-Chao, GAO Dan, ZHOU Kai-Bing*

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

Abstract: In order to study the characteristics of the changes in the contents of K, Ca and Mg in pericarp and its effects on the pericarp's coloring of Ziniangxi litchi, a study based on the pericarp was finished. The characteristics of the tendencies of the changes in the contents of K, Ca and Mg and the indicators of coloring in pericarp were detected, and the relationship between the changes in the contents of 3 kinds of mineral nutrients and the pericarp's reddening were analyzed by the methods of the canonical correlation analysis and the unitary exponential regression analysis. The results in the course of the development of the pericarp's reddening were as follows: The content of chlorophyll in pericarp decreased significantly while the content of anthocyanin in pericarp increased significantly. The contents of the total K, the water-soluble K and the total Ca, the water-soluble Ca generally dropped and rose respectively. The content of the water-soluble Mg generally rose. The content of the total Mg changed insignificantly. The contents of the total K, Ca and Mg and those of the water-soluble K, Mg and Ca respectively decreased significantly in sequence at the same time. The unitary exponential regression equations of the content of the anthocyanin to those of the total Ca and K respectively were both significant, and the correlation was respectively positive and negative. The unitary exponential regression equations of the

收稿日期: 2014-11-16 修回日期: 2015-03-27

基金项目: 国家自然科学基金(31160383)

作者简介: 苏阳(1990-), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事果树栽培与生理学研究, (E-mail)200801154@qq.com.

*通讯作者: 周开兵, 博士, 教授, 主要从事果树栽培与生理学研究, (E-mail)kaibingzhou0528@163.com.

content of the chlorophyll to those of the water-soluble Mg and the total Ca and K were all significant respectively, meanwhile, the former two were both negative, and the latter was positive. In summary, the higher content of the total Ca was the key factor improving the pericarp's reddening, and it would guide to formulate the technical proposals on the fertilizer application for improving the pericarp's reddening of Ziniangxi litchi.

Key words: mechanism on the pericarp's coloring; anthocyanin; chlorophyll; canonical correlation; unitary exponential regression

紫娘喜荔枝(*Litchi chinensis*)是海南本地优良的特色品种,具有果大、色艳、肉厚等优点,颇受国内外消费者欢迎(陈业光等,2008),尤其果皮呈鲜艳的紫红色为其一大特色。然而,在一些管理粗放的果园,紫娘喜荔枝果皮常呈浅红色,导致其外观优势尽失,所以有必要开展其果皮着色问题研究。

笔者所在课题组已报道叶面喷施 P、K 和 Ca 肥可以促进三月红荔枝果皮着色(周开兵等,2006),不同施肥技术通过影响果皮矿质营养代谢来影响着色,但荔枝果皮着色与果皮矿质营养代谢的关系未见报道。前人研究表明,荔枝果皮着色归因于果皮花色苷含量升高和果皮叶绿素含量下降,而与果皮类胡萝卜素含量变化关系不明显(张锐等,2013;周开兵等,2007;王家保等,2006)。因此,本文以紫娘喜荔枝果皮为试材,对其 K、Ca 和 Mg 含量变化特点及其与色素含量变化关系展开试探性研究,为制定紫娘喜荔枝合理施肥技术和改善果实外观品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点为海南省农业科学院热带果树研究所永发科研示范基地,位于海南省澄迈县北部平原台地,属于热带季风气候区,年平均气温 23.8 °C,年均日照时数为 2 059 h,年均降雨量为 1 786.1 mm,热雨同季,终年无霜;土壤为肥沃的砖红壤。选 16 年生、生长势一致和无任何不良表现的紫娘喜荔枝本砧嫁接树 5 株,单株小区。

1.2 取样方法

稳果时,在树冠中部外围选 5 个不同方位且纵径为(35±2)mm、横径为(30±2)mm 的果实作为标准果,并挂牌标记,此后在不同生长发育时期采样均参照标准果大小,采集与其果径一致的样果。从稳果开始到果皮全红时为止,每隔 3 d 或 4 d 取 1 次果样,在每株样树上采果实 5 个。在田间及时对各样果测定果皮 a、b 和 h 值后,再对不同样果编号并

用液氮速冻,分装于封口塑料袋中,随液氮罐带回实验室。在实验室趁冻将各样果剥皮,再剪碎果皮,按照不同样果编号分装于 20 mL 塑料离心管中,储存于 -80 °C 超低温冰箱中备用。

1.3 样品测定

1.3.1 果实着色指标测定 用日本产 Minolta CR2300 型全自动测色色差计测定荔枝果皮 a、b 值,换算出色度角(h),公式为 $h = \tan^{-1}(b/a)$, a、b 和 h 值与颜色的关系如图 1 所示。对各样果顶部、基部各一点和胴部对称 4 个方位各一点测定 a、b 和 h 值,取这 6 点的平均值为该样果着色指标值。

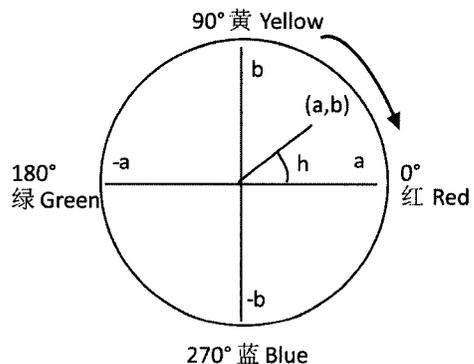


图 1 a、b 和 h 值与颜色的关系示意图 h 越小,颜色越红。

Fig. 1 Relationship among a, b and h values and colours

The smaller the value of h is, the redder the color is.

1.3.2 K、Ca、Mg 营养元素含量测定 将各样果果皮的一半鲜样化冻后,用自来水冲洗干净,再用去离子水漂洗 2~3 次,放入烘箱,在 110 °C 下杀青 15 min,接着在 65 °C 下烘干至恒重,取出研磨成粉末。粉末过 60 目筛后放入封口塑料袋,按照样果编号贴好标签,置于干燥器中保存备用。用于测定全 K、Ca 和 Mg 含量,称取 0.0500 g 左右的干粉,用 1 mol·L⁻¹分析纯盐酸震荡过夜;用于测定水溶性 K、Ca 和 Mg 含量,称取 0.1000 g 左右干粉,用去离子水震荡过夜。两种样品溶液过滤后收集滤液,采用原子吸收分光光度法测定 3 种营养元素各相应的含量,原子吸收分光光度计为德国进口的耶拿 NO-

VAA400P。

1.3.3 叶绿素和类胡萝卜素含量测定 对各样果果皮另一半鲜样,采用改良 Arnon 法测定叶绿素和类胡萝卜素含量(齐秀娟等,2006),采用张昭其等(2003)的方法测定花色苷含量。

1.4 数据统计分析

采用 SAS 软件 ANOVA 过程作方差分析,采用 LSD 法作多重比较分析;采用 REG 过程作一元指数函数回归分析;采用 CANCORR 过程作典型性相关分析。

2 结果与分析

2.1 K、Ca 和 Mg 含量的动态变化

2.1.1 全 K、Ca 和 Mg 含量动态变化 由图 2 可见,全 K 含量总体上呈下降趋势,虽然自 5 月 26 日至 6 月 2 日显著上升,但 6 月 2 日显著低于 5 月 19 日。全 Ca 含量在总体呈显著上升趋势,其中自 5 月 22 日至 26 日和自 5 月 29 日至 6 月 2 日分别显著上升。全 Mg 含量除在 5 月 29 日显著较低外,其余各点相互间无显著差异。自 5 月 22 日至 29 日,全 K 和全 Ca 的含量变化趋势相反。全 K 含量均显著高于同期全 Ca 和全 Mg 含量;除在 5 月 19 日和 22 日无显著差异外,全 Ca 含量均显著高于同期全 Mg 含量。

2.1.2 水溶性 K、Ca 和 Mg 含量动态变化 图 3 显示,水溶性 K 含量呈平缓下降趋势,虽然水溶性 K 含量从 5 月 22 日($6.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)至 5 月 29 日($5.68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)分别与 5 月 19 日($6.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)和 6 月 2 日($5.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)无显著差异,但 5 月 19 日显著高于 6 月 2 日。水溶性 Ca 含量总体呈上升趋势;在 5 月 22 日最低($0.12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$),且与其它时间差异显著;5 月 19 日($0.19 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)和 26 日($0.16 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)、5 月 29 日($0.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)和 6 月 2 日($0.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)分别差异不显著,但前两者显著低于后两者。水溶性 Mg 含量呈现上升趋势,仅 5 月 26 日($1.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)与 29 日($1.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)差异不显著。同期水溶性 K、水溶性 Mg 和水溶性 Ca 含量依次显著递减。

2.2 色素与着色指标的动态变化特点

2.2.1 主要色素含量动态变化 由图 4 可见,叶绿素和类胡萝卜素含量均呈急剧下降趋势,花色苷含量

呈平缓上升趋势。

2.2.2 着色指标动态变化 由图 5 可以看出,果皮 a 值呈持续显著上升趋势,果皮 h 值则呈持续显著下降趋势。

2.3 K、Ca 和 Mg 含量变化与着色的关系

2.3.1 色素含量与 K、Ca 和 Mg 含量的一元指数函数回归分析 对果皮着色发育过程中的花色苷、叶绿素和类胡萝卜素含量与 K、Ca 和 Mg 的含量、水溶性含量分别作一元指数函数回归分析,结果表明,花色苷含量与全 K 和全 Ca 含量分别呈显著负和正相关一元指数函数回归关系(图 6-7);叶绿素含量与全 K、全 Ca 和水溶性 Mg 含量分别呈正、负和负相关一元指数函数回归关系(图 8-10);其余的一元指数函数回归方程均不显著。

2.3.2 K、Ca 和 Mg 含量与着色指标间典型性相关分析 对果皮着色发育过程中的 3 种元素的水溶性含量、全量与着色指标间作典型性相关分析,得到 6 对典型性相关变量,其中仅第一对典型性相关变量的相关性达到显著水平 [$F_{(87,848)} = 3, P < 0.0001$],表明典型性相关分析结果是理想的。第一对典型性相关变量如表 1 所示。两组变量中主要是 x_2 与 y_1 、 y_2 、 y_4 、 y_5 和 y_6 相关,即全 Ca 含量与花色苷含量和 a 值呈正相关,与叶绿素含量、b 和 h 值呈负相关。说明在果皮着色发育过程中,果皮全 Ca 含量较高是促进果皮着色转红的关键因素。

3 讨论与结论

3.1 Ca 和 Mg 含量变化特点

全 Ca 含量高于全 Mg 含量,二者水溶性含量则反之。可能的原因是,果皮 Ca 以束缚态为主,其中绝大多数存在于细胞壁结构之中,少量的 Ca 为游离态,如行使信使功能的游离 Ca (Wallace *et al.*, 1996)。全 Mg 含量相对稳定,而水溶性 Mg 含量总体上升,说明 Mg 元素在果皮当中存在束缚态和游离态的转换,并且游离态 Mg 元素可能并未向果皮外转移而能稳定积累分布;游离态 Mg 的主要来源可能是果皮着色过程中叶绿素降解,即叶绿素叶啉环解体释放中心元素 Mg,造成束缚态 Mg 转化为游离态,这与果皮着色过程中叶绿素不断降解是完全一致的(张锐等,2013;王慧聪等,2002),同时果皮叶绿素含量与水溶性 Mg 含量呈负相关指数函数回归关系,也能与此相互印证。

表 1 典型性相关分析
Table 1 Canonical correlation analysis

典型性相关变量 Canonical correlation variable	线性回归方程 Linear regression equation	典型性相关变量与其回归变量的相关系数 Correlation coefficient between the canonical correlation variable and the regression variable
U	$U = -0.2402x_1 + 0.8074x_2 - 0.2075x_3 + 0.1888x_4 + 0.1102x_5 - 0.0407x_6$	-0.4678, 0.9277, 0.2652, -0.4538, 0.4983, 0.1867
V	$V = -1.1573y_1 + 0.2249y_2 - 0.2959y_3 + 0.0058y_4 - 0.2863y_5 + 0.0608y_6$	-0.9728, 0.6131, -0.4079, 0.7814, -0.7145, -0.6911

注：(1) $x_1 - x_6$ 依次表示全 K、全 Ca、全 Mg、水溶性 K、水溶性 Ca 和水溶性 Mg 含量； $y_1 - y_6$ 依次表示果皮叶绿素含量、花色苷含量、类胡萝卜素含量、a、b 和 h 值；(2) 表中典型相关变量与各自回归变量的相关系数排列顺序与相应回归方程中回归变量先后顺序一致。

Note: (1) $x_1 - x_6$ are the contents of the total K, Ca, Mg, the water-soluble K, the water-soluble Ca and the water-soluble Mg in sequence; $y_1 - y_6$ the contents of chlorophyll, anthocyanin, carotenoids and the values of a, b and h in sequence; (2) The correlation coefficients of the canonical correlation variables have the same sequences as the variables $x_1 - x_6$ or $y_1 - y_6$.

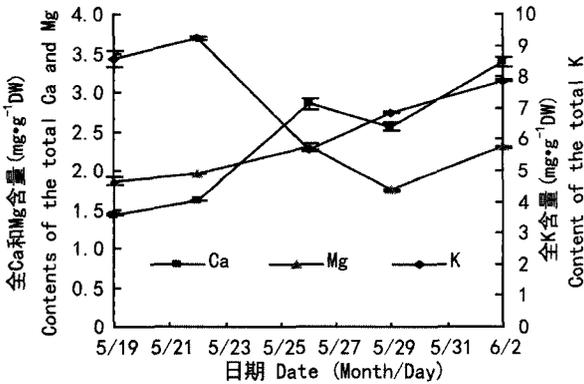


图 2 果皮 a 值和 h 值动态变化

Fig. 2 Changes in the values of a and h in pericarp

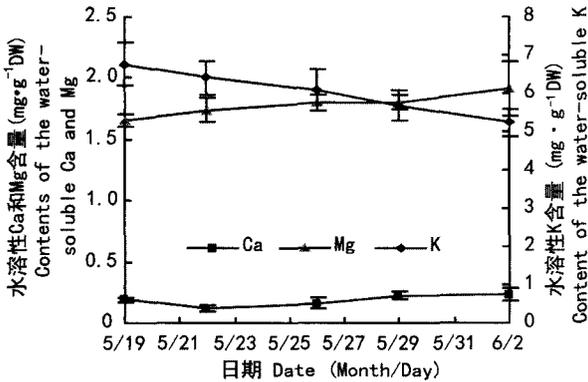


图 3 果皮水溶性 K、Ca、Mg 含量动态变化

Fig. 3 Changes in the contents of the water-soluble K, Ca and Mg in pericarp

3.2 K、Ca 和 Mg 含量变化与着色的关系

本试验系列结果均指向全 Ca 含量较高促进着色转红。其可能的机理是，植物花色苷的生物合成过程受植物内部信号和环境信号间的复杂互动调节(王小菁等, 2003; 于忠范等, 2011)，糖作为植物内部信号之一，在花色苷合成过程中，既是其合成的前体物质，也是调节其合成的信号物质(张学英等,

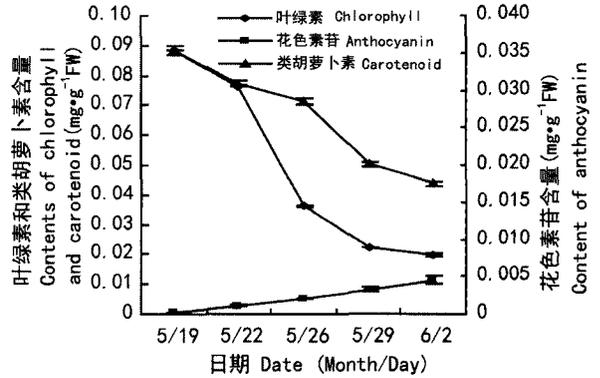


图 4 果皮主要色素含量动态变化

Fig. 4 Changes in the contents of the main pigments in pericarp

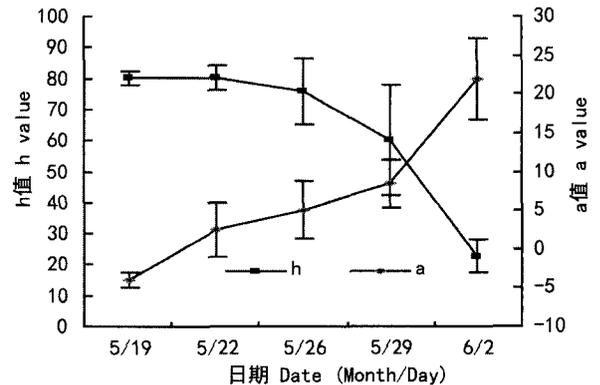


图 5 果皮 a 值和 h 值动态变化

Fig. 5 Changes in the values of a and h in pericarp

2004)，糖对花色苷生物合成的调节是通过蛋白激酶信号转导途径(Inbal *et al.*, 2000)，而已经证实植物 Ca 含量是刺激蛋白激酶表达的重要因素(ROBERTS *et al.*, 1992)。在苹果果实的着色机理上与此类似，其也是通过调节糖的积累来促进花色苷的积累(刘玉莲等, 2013)。另外，在三月红荔枝和山楂果实成熟前经叶面喷施 $CaCl_2$ 后，显著提高 2 种

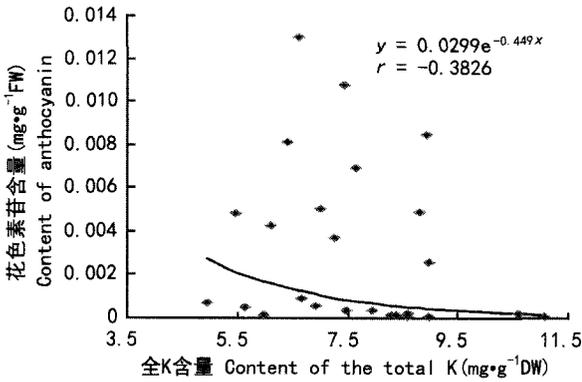


图 6 花色素苷含量与全 K 含量一元指数函数回归方程
Fig. 6 Exponential regression equation of the content of anthocyanin to that of the total K

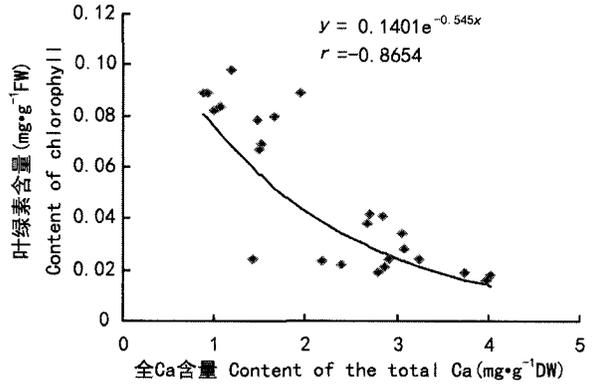


图 9 叶绿素含量与全 Ca 含量一元指数函数回归方程
Fig. 9 Exponential regression equation of the content of chlorophyll to that of the total Ca

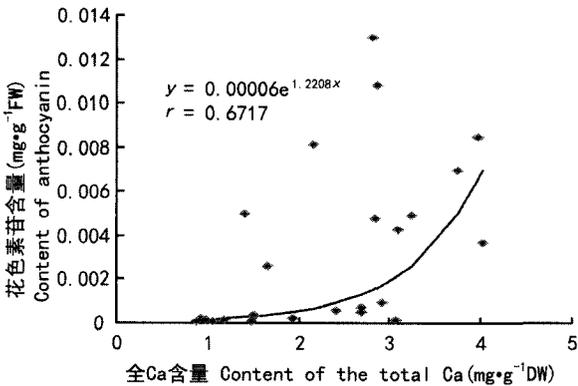


图 7 花色素苷含量与全 Ca 含量一元指数函数回归方程
Fig. 7 Exponential regression equation of the content anthocyanin to that of the total Ca

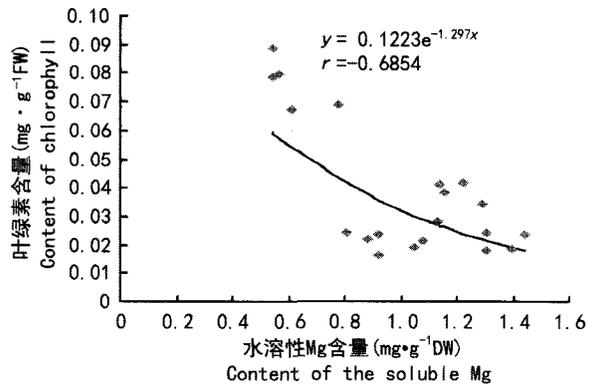


图 10 叶绿素含量与水溶性 Mg 含量一元指数函数回归方程

Fig. 10 Nonlinear regression equation of the content of chlorophyll to that of the water-soluble Mg

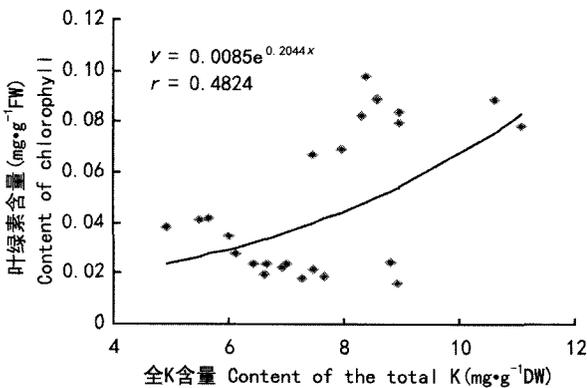


图 8 叶绿素含量与全 K 含量一元指数函数回归方程
Fig. 8 Exponential regression equation of the content of chlorophyll to that of the total K

水果果皮花色素苷含量,从而促进 2 种水果果皮着色(周开兵等,2006;齐秀娟等,2006),也说明了 Ca 促进果皮着色转红的关键作用。

本研究结果表明果皮全 K 和全 Ca、水溶性 K 和水溶性 Ca 等含量动态变化趋势分别基本上相反,说明果皮 K 和 Ca 可能相互抑制吸收,这种互动可能对紫娘喜荔枝果皮着色有重要影响。实际上,矿质元素对果实色泽的作用应该从矿质元素的浓度和不同矿质元素浓度间平衡比例两大变量的相互作用上考虑,竞争性离子引诱的缺 Ca 是一个相当普遍的现象(Reay *et al.*,1998);在 K 含量较高的情况下可能会抑制植物对 Ca 的吸收,导致 Ca 含量降低,从而通过抑制 Ca 积累而抑制果皮花色素苷积累,不利于果皮转红。在苹果(潘芝梅等,2009)和李果实(刘玉莲等,2013;姜学玲等,2014)上也类似地表现为高含量的 K 抑制果实着色。另外,在三月红荔枝上,Ca 和 K 混合喷肥处理的着色指标显著低于单独喷施 Ca 肥处理的(周开兵等,2006),本研究

K 含量高抑制果皮着色与前人研究一致,也说明了 K 抑制果皮着色转红的关键作用。

依据本研究结果同时可提出一个重要问题,即在荔枝果实常规管理中倡导在果实膨大期增施 P、K 肥,那么施 K 后是否会引起紫娘喜荔枝果皮 K 含量升高而不利果皮着色呢?在增施 K 肥的同时是否应该同时补充 Ca 和 Mg 肥来保护果皮着色,防止过高的 K 含量导致果皮着色不良?这些问题值得关注。

本研究结果表明,应以提高果皮全 Ca 含量为中心来开展测土配方施肥技术的创新研究,从而确保紫娘喜荔枝果皮能良好着色。此外,在前人关于荔枝产量形成机理的研究基础上(许淑珺等,2012),可深入探讨紫娘喜荔枝果皮 Ca 代谢与其产量之间相关性;同时在有关荔枝生物技术的研究基础上(王家保等,2008),可开展紫娘喜荔枝果皮 Ca 代谢对果皮着色影响的分子生理机理研究。

参考文献:

- Chen YG(陈业光),Guo JC(过建春),He F(何帆),*et al.* 2008. The development status and countermeasure of Litchi in Hainan province (海南荔枝发展现状及对策)[J]. *Chin Trop Agric* (中国热带农业), (3): 21-24
- Jiang XL(姜学玲),Xu WH(徐维华),Li YJ(李延菊),*et al.* 2014. Influence and mechanism of potassium fertilizer on the coloration of 'Fuji' apple(钾对富士苹果着色的影响及机理)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), 7(5):946-954
- Li JG(李建国),Gao AP(高爱平),Wang ZH(王泽槐),*et al.* 2003. The comparisons in the traits between the big fruit cultivars Edanli and Ziniangxi(大果荔枝品种鹅蛋荔和紫娘喜的性状比较)[J]. *S Chin Fruit*(中国南方果树), 32(1):29-30
- Liu YL(刘玉莲),Che F(车飞),Guo YP(郭延平),*et al.* 2013. Correlation between changes in soluble sugars and anthocyanin contents during fruit coloration(苹果着色期花青苷和糖组分含量变化及关联性)[J]. *Food Sci*(食品科学), 17(34):47-52
- Pan ZM(潘芝梅),Xu JG(徐金刚),Lu G(卢刚),*et al.* 2009. Variation and relative analysis on mineral element and anthocyanidin content during fruit growth(李果实发育期矿质元素和果皮花青素含量的变化规律及相关性分析)[J]. *J Zhejiang For Sci & Technol*(浙江林业科技), 29(4):21-24
- Qi XJ(齐秀娟),Xu SK(徐善坤),Li ZX(李作轩),*et al.* 2006. Dynamic changes of mineral elements and skin pigments of hawthorn fruit during its development process and their correlation(山楂果实发育期矿质元素和色素含量的动态变化及相关关系)[J]. *J Fruit Sci*(果树学报), 32(2):214-217
- Reay PF, Fletcher RH, Thomas VJG. 1998. Chlorophylls, carotenoids and anthocyanin concentrations in the skin of Gala apples during maturation and the influence of foliar applications of nitrogen and magnesium[J]. *J Sci Food Agric*, 76(1): 63-71
- Roberts DM, Harmon AC. 1992. Calcium-modulated proteins: Targets of intracellular calcium signals in higher plants[J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 43:375-414
- Sharir IN, Shoseyov O, Weiss D. 2000. Sugars enhance the expression of gibberellin-induced genes in developing petunia flowers [J]. *Physiol Plant*, 109(2):196-202
- Wallace A, Frolich E, Lunto P. 1996. Calcium requirements of higher plants[J]. *Nature*, 269:634-638
- Wang HC(王惠聪),Huang XM(黄旭明),Huang HB(黄辉白). 2002. A study on the causative factors retarding pigmentation in the fruit of Feizixiao litchi(妃子笑荔枝果实着色不良原因的研究)[J]. *Acta Horticult Sin*(园艺学报), 29(5): 408-412
- Wang JB(王家保),Jia CH(贾彩红),Xu BY(徐碧玉),*et al.* 2008. Advances in biotechnological research on litchi (*Litchichinensis*)(荔枝生物技术研究进展)[J]. *Guihaia*(广西植物), 28(6):832-836
- Wang JB(王家保),Liu ZY(刘志媛),Du ZJ(杜中军),*et al.* 2006. Analysis of the factors related to pericarp color formation during fruit development of litchi(荔枝果实发育过程中果皮颜色形成的相关分析)[J]. *Chin J Trop Crops*(热带作物学报), 27(2): 11-17
- Wang XQ(王小菁),Meng XC(孟祥春),Peng JZ(彭建宗). 2003. Regulation of flower growth and pigmentation(花色形成与花生长的调控)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), 23(7):1105-1110
- Xu SJ(许淑珺),Wu LF(吴林芳),Hu XY(胡晓颖),*et al.* 2012. Floral organogenesis and development of *Litchi chinensis* Sonn. cv. Guiwei(桂味荔枝花器官的发生和发育过程研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), 32(2):167-172
- Yu ZF(于忠范),Wang YY(王悦燕),Cui LJ(崔丽静),*et al.* 2011. The fertilizer factors influencing apple's coloring and the improving way(影响苹果着色的施肥因素及改良途径)[J]. *Fruits in Yantai*(烟台果树), 2(114):25-26
- Zhang R(张锐),Yang Y(杨迎),Zhou KB(周开兵),*et al.* 2013. Dynamic comparison between Sanyuehong and Baitangying litchi (*Litchi chinensis* Sonn. cv. Ziniangxi) in pericarp color change (三月红和白糖荔枝果皮着色动态差异的比较)[J]. *Fujian J Agric Sci*(福建农业学报), 28(9): 892-896
- Zhang XY(张学英),Zhang SL(张上隆),Luo J(骆军),*et al.* 2004. Advances in research on fruits anthocyanin synthesis(果实花色苷合成研究进展)[J]. *J Fruit Sci*(果树学报), 21(5): 456-460
- Zhang ZQ(张昭其),Pang XQ(庞学群),Duan XW(段学武),*et al.* 2003. The anthocyanin degradation and anthocyanase activity during the pericarp browning of lychee fruit(荔枝采后果皮花色苷的降解与花色苷酶活性变化)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), 36(8): 945-949
- Zhou KB(周开兵),Su J(苏举),Xu YF(徐远峰). 2006. Effects of P, K and Ca on the pigmentation of Sanyuehong litchi (*Litchi chinensis* Sonn. cv. Sanyuehong) fruits(磷、钾和钙元素对三月红荔枝果皮着色的影响)[J]. *Soil Fert Sci Chin*(中国土壤肥料), (6):54-57
- Zhou KB(周开兵),Su J(苏举),Xu YF(徐远峰). 2007. The peel pigmentation in relation to pigment content of litchi(荔枝果皮着色与色素含量的关系)[J]. *J Mount Agric Biol*(山地农业生物学报), 2(1): 30-33