

柠檬柚果实发育过程中金属营养元素含量变化及活性氧代谢研究

陈丽璇^{1,2,*}, 刘福平^{1,2}, 蔡晓东^{1,2}, 陈 淳^{1,2}, 郭 莹^{1,2}

(¹福建省亚热带植物研究所, 福建厦门 361006; ²福建省亚热带植物生理生化重点公共实验室, 福建厦门 361000)

摘 要: 研究柠檬柚 (*Citrus limonum* Grandis Osbeck, 柠檬与麻豆文旦柚杂交的新品种) 果实发育过程中 K、Ca、Mg、Zn、Cu、Mn、Fe 7 种金属营养元素的含量与分布、吸收规律及其与活性氧代谢的相关性。结果表明: (1) 4—5 月、6—9 月和 10—11 月分别是果皮迅速生长期、果肉迅速生长期和果实转色成熟期。(2) 果皮和果肉中 K、Ca、Mg、Zn、Mn、Fe 的含量都随着果实的发育总体呈递减规律, 但元素的吸收总量却相反。K、Zn、Fe 以果肉居多, Ca、Mg、Mn 则主要分布在果皮。K 含量位居 7 元素之首。Cu 在幼果期的含量是其它月份的 5 ~ 6 倍, 且果皮果肉中的含量相当。(3) K、Ca、Mg、Zn、Mn 的吸收量集中在 7—9 月, Cu 和 Fe 的吸收高峰则在 11 月果实转色期 (39.83% 和 45.95%)。(4) 果肉中 7 种金属营养元素间相关性显著率大于果皮。(5) 与活性氧代谢相关性较显著的是 Fe 元素, 其余依次是 K、Zn、Cu、Ca、Mg、Mn 最低。

关键词: 柠檬柚; 果实发育过程; 金属营养元素; 吸收规律; 活性氧代谢

中图分类号: S 666.3

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 12-1893-08

Physiological Research on Changes of Metal Elements During the Fruits Development of Lemon Shaddock

CHEN Li-xuan^{1,2,*}, LIU Fu-ping^{1,2}, CAI Xiao-dong^{1,2}, CHEN Chun^{1,2}, and GUO Ying^{1,2}

(¹Fujian Institute of Subtropical Botany, Xiamen, Fujian 361006, China; ²Fujian Key Public Laboratory of Physiology and Biochemistry for Subtropical Plant, Xiamen, Fujian 361006, China)

Abstract: During the fruits development of a new cultivar Taiwan Lemon shaddock (*Citrus limonum* Grandis Osbeck), relationship between contents, distribution, absorption regularity of seven metal elements and metabolism of active oxygen were investigated. The results were as follows. (1) The main peel growth period, flesh growth period and flesh colour-changed period were from April to May, June to September and October to November respectively. (2) The contents of K, Ca, Mg, Zn, Mn and Fe in peel and flesh decreased with the fruit growth, but the total adsorption quality was opposite. K content was highest of seven. K, Zn and Fe primary in flesh, while Ca, Mg and Mn were dominant in peel. The highest concentration of Cu was observed in young fruits and the contents of Cu in peel and flesh were almost the same. (3) Absorption centralization of K, Ca, Mg, Zn and Mn were from July to September, however,

收稿日期: 2010-07-04; 修回日期: 2010-11-24

基金项目: 福建省科技重大项目 (99-I-1); 福建省自然科学基金项目 (B0610016)

* E-mail: lxchenxm@163.com

致谢: 本文承庄伊美教授审阅, 深表感谢。

the highest adsorption of Cu and Fe was in November (39.83% and 45.95% respectively). (4) Correlation of seven metals in flesh was more significant than that in peel. (5) There was significant correlation between Fe and metabolism of active oxygen, then were K, Zn, Cu, Ca and Mg, and the lastest was Mn.

Key words: lemon shaddock; fruit development; metal element; adsorption regularity; metabolism of active oxygen

柠檬柚 (*Citrus limonum grandis* Osbeck) 是柠檬与麻豆文旦柚杂交的新品种, 其果实形色优美, 风味独特, 营养颇高。5 年前由台湾引种到大陆, 采用台湾的精作模式栽培, 产品的品质达到台湾进口柚果的标准。

国内外研究表明, 果实矿质元素的水平直接影响果实品质和耐藏性 (韩振海和王倩, 1995; 陈丽璇 等, 1999, 2008), 一些生理病害与果实内个别矿质元素的含量及比例密切相关, 如草莓腐烂 (Davies & Dennis, 1983)、梨黑心病 (龚云池 等, 1992) 等。因此, 研究果实发育过程中矿质营养元素的含量与平衡, 比对叶片的研究更直接。在国内, 相关方面的研究已有少量报道 (龚云池 等, 1987; 关军锋, 2004), 但在柠檬柚的研究仍为空白。

作者研究柠檬柚果实发育过程 7 种金属营养元素的含量变化、吸收规律及其与活性氧代谢的相关性, 旨在为柠檬柚的推广及其它台湾果树的引种栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试材取样及处理

试验于 2008—2009 年在福建省厦门市同安区台湾詹家柚园进行。选取 5 年生前一年株产约 25 kg 的柠檬柚 18 株为试材, 6 株为 1 小区, 3 次重复。

自盛花期后 15 d (4 月 25 日) 起, 每隔一个月自每株树选取不同部位的同类果枝上的正常果 (外观颜色和果实大小相当) 10~30 个 (视果实大小而定)。

采后立即按如下方法洗净擦干: 自来水→0.1%中性洗涤剂→3 次自来水→2 次蒸馏水→2 次去离子水, 整个洗涤过程在 3 min 内完成。分别测定果实外径、果肉直径 (即内径)、单果质量和单果果皮质量。将果皮、果肉分别切碎 (4—5 月果肉不明显, 测全果), 一半样品置液氮速冻, -80 °C 贮存, 供活性氧代谢指标包括 SOD (超氧化物歧化酶)、POD (过氧化物酶)、超氧阴离子 (超氧阴离子自由基) 和 MDA (丙二醛) 的测定, 另一半烘干磨碎保存, 供金属营养元素包括 K、Ca、Mg、Zn、Cu、Mn 和 Fe 含量的测定。

1.2 测定方法

金属营养元素 (K、Ca、Mg、Zn、Cu、Mn、Fe) 按国标 GB/T5009.1~09.100—2003 中的方法测定, 即统一经 $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (4:1) 消化后, 用 VARIAN AA240FS 原子吸收分光光度计测定。

活性氧代谢指标参照现代植物生理学试验指南 (中国科学院上海植物生理研究所, 1999), 即 SOD 用氮蓝四唑 (NBT) 还原法测定, POD 用愈创木酚法测定, 超氧阴离子用王爱国和罗广华 (1990) 的方法测定, MDA 用硫代巴比妥酸法测定。

1.3 数据处理

试验数据用 SPSS13.0 统计分析软件分析。

2 结果与分析

2.1 果实发育过程中质量和直径的变化

由表 1 可见，柠檬柚果实发育过程中，果实外径、果肉直径和单果质量随着时间的递增而递增，其中，4—5 月为果皮的迅速生长期，之后果皮继续生长但较缓慢；6—9 月为果肉的迅速生长期，其中 6—8 月是极速生长期，短短 3 个月内径的增长量占全期的 72.76%；自 6 月起，单果质量迅速增大，11 月果实外径和果肉直径增速减缓，但单果质量的增幅却加大，这可能与果实转熟期大量的有机营养积累和汁胞内果汁大量增加有关。

相关分析表明，柠檬柚果实生长过程中生长月与单果质量、外径、果肉直径均呈极显著正相关（ $r_{\text{单果质量}} = 0.975^{**}$ ， $r_{\text{外径}} = 0.956^{**}$ ， $r_{\text{果肉直径}} = 0.968^{**}$ ， $n = 8$ ，下同）；单果质量与外径、果肉直径间也呈极显著正相关（ $r_{\text{外径}} = 0.937^{**}$ ， $r_{\text{果肉直径}} = 0.941^{**}$ ）。

表 1 柠檬柚果实发育过程中单果质量和果实直径的变化
Table 1 Changes of weight and diameter of lemon shaddock fruits during fruit growth and development

月份 Month	单果质量/g Single fruit weight	外径/cm Diameter	果肉直径/cm Flesh diameter	果皮厚度/cm Peel thickness
4	0.18 ± 0.04 (0.09)	0.58 ± 0.13 (7.89)	-	0.29
5	3.93 ± 2.11 (1.92)	1.62 ± 0.21 (22.05)	0.63 ± 0.13 (10.86)	0.50
6	22.30 ± 2.23 (19.87)	3.44 ± 0.11 (46.80)	2.23 ± 0.04 (38.45)	0.61
7	62.74 ± 12.11 (30.58)	4.97 ± 0.42 (67.62)	3.75 ± 0.16 (64.66)	0.61
8	113.87 ± 7.82 (55.50)	6.15 ± 0.11 (83.67)	4.85 ± 0.17 (83.62)	0.65
9	138.10 ± 8.40 (67.31)	6.97 ± 0.34 (94.83)	5.31 ± 0.10 (91.55)	0.83
10	149.73 ± 8.11 (72.98)	7.09 ± 0.15 (96.46)	5.53 ± 0.25 (95.35)	0.78
11	205.18 ± 31.47 (100)	7.35 ± 0.25 (100)	5.80 ± 0.15 (100)	0.78

注：括号内数据为占成熟时的%。
Note: Datum in bracket is the percentage of mature fruit.

2.2 果实发育过程中金属营养元素含量的变化与分布

图 1 表明，柠檬柚果皮和果肉中 K、Ca、Mg、Zn、Mn、Fe 的含量都随着果实的发育总体呈递减规律，其中 K、Zn 及果肉中 Mg 与生长月达极显著负相关（ $r_{K皮} = -0.880^{**}$ ， $r_{K肉} = -0.906^{**}$ ， $r_{Zn皮} = -0.852^{**}$ ， $r_{Zn肉} = -0.854^{**}$ ， $r_{Mg肉} = -0.836^{**}$ ），果皮 Mg、Fe 及果肉 Ca 达显著负相关（ $r_{Mg皮} = -0.7270^{*}$ ， $r_{Fe皮} = -0.804^{*}$ ， $r_{Ca肉} = -0.819^{*}$ ）。

在 4—5 月幼果期 6 种金属营养元素含量都较高；6 月因果实迅速增大，各元素含量明显降低；K、Zn 在 9—10 月，Ca、Mg、Mn 在 7—10 月出现增加过程，5 个元素在 11 月果实转色期又明显降低，Ca 尤其突出。

Cu 在 4—5 月幼果期含量达到 60 mg · kg⁻¹ 以上，之后迅速降到 10 mg · kg⁻¹ 左右并保持平稳，直至果实成熟时果皮中的 Cu 又迅速增加（图略）。

此外，柠檬柚果中 K、Zn、Fe 含量以果肉居高，其平均含量在果皮：果肉中的比例分别为 1：1.33、1：1.21 和 1：1.18。相反，Ca、Mg、Mn 则主要分布在果皮，其在果皮：果肉中的比例分别为 1.37：1、1.20：1 和 1.31：1。Cu 在果皮和果肉中的含量相当。

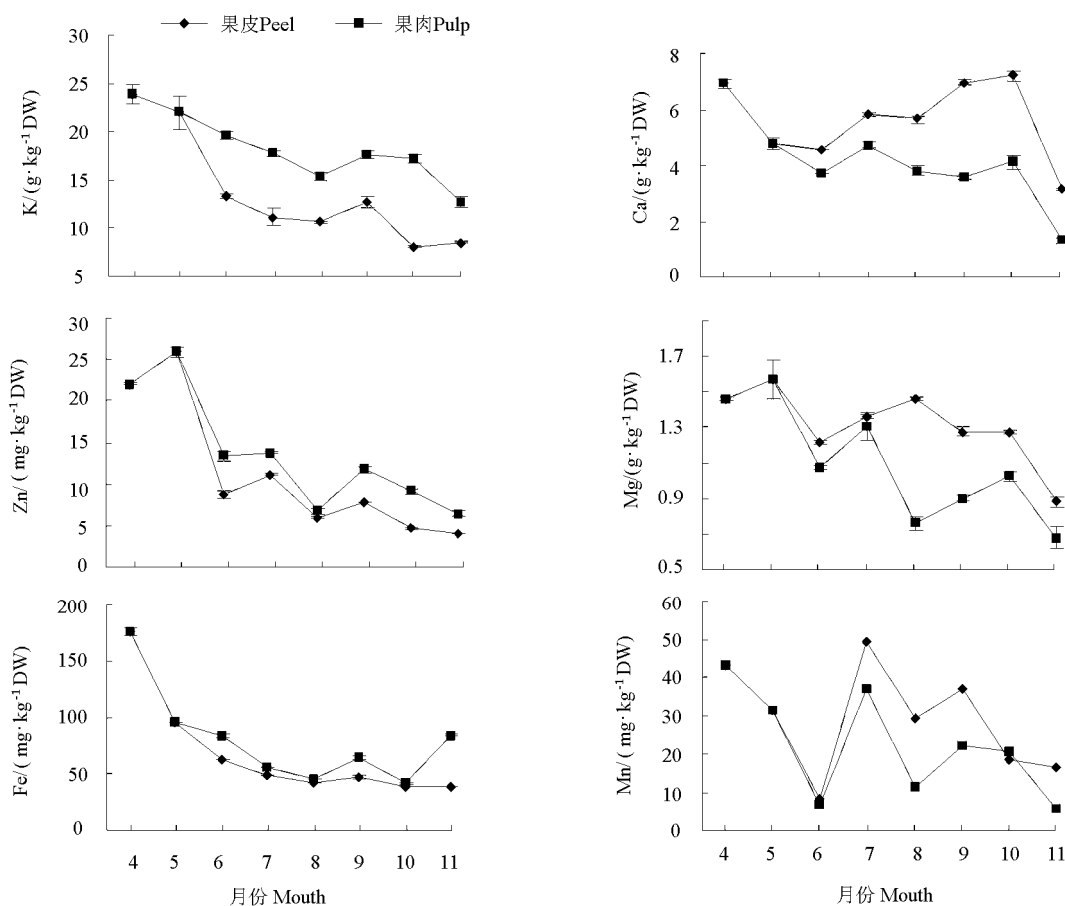


图 1 柠檬柚果实发育过程中 K、Zn、Fe、Ca、Mg 和 Mn 含量的变化
Fig. 1 Concentration changes of K, Zn, Fe, Ca, Mg and Mn in lemon shaddock during fruit growth and development

2.3 果实发育过程中金属营养元素的累积规律

如表 2 所示, 在果实生长前期 (4—7 月), 7 种金属营养元素的累积率都随着时间的延长而增大, 其中 K 和 Fe 此规律延长到 9 月。

K、Ca、Mg、Zn、Mn 的累积主要集中在 7—9 月, 3 个月的累积量分别占总累积量的 72.62%、74.70%、72.51%、80.49%和 96.26%。

Cu 和 Fe 3 个月的累积量只占 30.47%和 42.51%, 累积高峰出现在 11 月果实转色期, 其单月的累积量分别达到 39.83%和 45.95%。

10—11 月果实成熟期对 K、Ca、Mg、Zn、Mn、Fe 的累积出现负值, 表明当月果实中的几种金属营养含量比上月低。

相关分析表明, 果实全生育期金属营养元素累积率与果实增长率之间的相关性, 除了 Fe 与单果质量、Mg 与果肉直径呈显著正相关外 ($r_{Fe}=0.740^*$, $r_{Mg}=0.720^*$), 其余元素的相关性均不显著。

表 2 柠檬柚金属营养元素的平均单果累积量
Table 2 Accumulation rate of metal element in a lemon shaddock fruit

月份 Month	K/mg	Ca/mg	Mg/mg	Zn/ μ g	Cu/ μ g	Mn/ μ g	Fe/ μ g
4	4.33±0.16 (0.18)	1.25±0.03 (0.15)	0.26±0 (0.15)	3.96±0.02 (0.28)	10.96±0.22 (0.42)	7.75±0.07 (0.18)	31.58±0.60 (0.22)
5	82.33±5.54 (3.47)	17.48±1.72 (2.06)	5.90±0.66 (3.43)	97.77±2.12 (6.84)	104.84±2.94 (4.05)	26.17±1.17 (0.59)	344.72±3.46 (2.44)
6	280.73±1.02 (11.83)	72.98±0.61 (8.59)	19.35±1.09 (11.24)	145.14±4.42 (10.15)	147.56±1.37 (5.70)	131.72±2.62 (2.97)	1253.83±8.65 (8.88)
7	538.89±32.98 (22.71)	240.12±3.23 (28.26)	57.97±5.00 (33.68)	388.49±1.57 (27.18)	418.18±6.72 (16.15)	2084.53±18.57 (47.00)	1623.13±18.57 (11.49)
8	570.61±26.15 (24.05)	206.55±13.77 (24.31)	42.86±2.21 (24.90)	145.79±2.17 (10.20)	311.25±16.85 (12.02)	461.26±2.91 (10.04)	1632.36±11.04 (11.56)
9	613.25±13.00 (25.86)	188.03±3.42 (22.13)	23.98±3.10 (13.93)	616.12±20.36 (43.11)	59.45±1.12 (2.30)	1739.62±28.19 (39.22)	2748.46±59.83 (19.46)
10	- 194.56±7.02 (- 8.20)	123.31±1.99 (14.51)	21.80±1.57 (12.67)	- 310.04±17.81 (- 21.69)	505.61±19.10 (19.53)	- 1115.55±34.12 (- 25.15)	- 1669.83±38.20 (- 11.82)
11	282.41±3.86 (11.90)	- 390.53±7.96 (- 45.96)	- 11.90±0.55 (- 6.91)	32.08±2.49 (2.24)	1030.76±44.19 (39.83)	- 662.94±37.77 (- 14.95)	6489.16±12.20 (45.95)

注：括号内数据为单果该月平均累积量占总累积量的%。
Note: Datum in bracket is the percentage of fruit accumulation in the investigated month/to the accumulation of the total.

2.4 果实发育过程中金属营养元素含量间的相关性

表 3 表明，果肉中 7 种金属营养元素含量间相关性显著率大于果皮。在果肉中，K 与 Ca、Mg、Zn，Ca 与 Mg、Mn，Mg 与 Zn、Cu、Mn，Zn 与 Cu 均呈极显著正相关，K 与 Cu、Mn，Zn 与 Ca、Mn，Cu 与 Fe 呈显著正相关；而在果皮中，只有 K 与 Zn、Cu、Fe，Zn 与 Cu、Fe 呈极显著正相关，Cu 与 Fe 呈显著正相关。

以 Ca 为中心的 Ca、K、Mg 三元素密切关系到柠檬柚果的品质及其耐贮性。在果皮和果肉中，都以 K 的含量最大，Ca 次之，Mg 最小。三元素间在果肉中的相关性都达到极显著，而在果皮中的相关性都不显著。果皮的 Ca/K 和 Ca/Mg 在 5—10 月呈递增趋势，而果肉的 Ca/K 和 Ca/Mg 变化不大。

表 3 柠檬柚果实金属营养元素含量间的相关性
Table 3 Correlation of metal nutrition elements content in lemon shaddock fruit

元素 Element	果皮 Peel						果肉 Flesh					
	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn
Ca	0.138						0.876**					
Mg	0.640	0.498					0.892**	0.807**				
Zn	0.954**	0.078	0.689				0.911**	0.720*	0.940**			
Cu	0.858**	- 0.104	0.413	0.882**			0.816*	0.688	0.827**	0.922**		
Mn	0.401	- 0.492	0.545	0.452	0.262		0.708*	0.848**	0.820**	0.716*	0.685	
Fe	0.914**	0.242	0.483	0.811**	0.793*	0.389	0.700	0.574	0.546	0.665	0.736*	0.498

注： $r_{0.05} = 0.666$ ， $r_{0.01} = 0.798$ ， $n = 8$ 。下同。
Note: $r_{0.05} = 0.666$ ， $r_{0.01} = 0.798$ ， $n = 8$. The same below.

2.5 果实发育过程中金属营养元素含量与活性氧代谢指标的相关性

在 4—8 月果实增大期，柠檬柚果实中的活性氧代谢指标（SOD、POD、超氧阴离子和 MDA）都极速降低（其中 POD 甚至以百倍递减）。随后，SOD、POD 和超氧阴离子均回升，其中 POD 于 9 月；超氧阴离子和果肉的 SOD 于 10 月，出现小峰后下降；而果皮的 SOD 则继续增大，直至果实成熟。MDA 含量 8 月后果皮果肉均未被检出。

由表 4 可见，7 种金属营养元素含量中，与活性氧代谢指标相关性最显著的是 Fe 元素，其余依次是 K、Zn 和 Cu、Ca 和 Mg，而 Mn 最低。果皮中 Ca、Mg、Mn 与活性氧代谢指标均未达到显著，与 SOD 甚至显示出负相关。在活性氧代谢指标中，与金属营养元素含量相关性较显著的是果皮和果肉的 POD 和果肉 SOD。

表 4 柠檬柚果实金属营养元素含量与活性氧代谢指标的相关性
Table 4 Correlation of metal nutrition elements content and active oxygen metabolism in lemon shaddock fruit

元素 Element	果皮 Peel				果皮 Flesh			
	SOD	POD	超氧阴离子 Superoxide anion	MDA	SOD	POD	超氧阴离子 Superoxide anion	MDA
K	0.576	0.961**	0.655	0.839*	0.883**	0.864**	0.763*	0.517
Ca	- 0.187	0.150	0.480	0.226	0.669	0.744*	0.780*	0.388
Mg	- 0.082	0.549	0.378	0.507	0.806*	0.781*	0.603	0.429
Zn	0.520	0.913**	0.540	0.772*	0.909**	0.881**	0.647	0.544
Cu	0.680	0.921**	0.583	0.593	0.942**	0.956**	0.761*	0.635
Mn	- 0.333	0.347	0.439	0.379	0.534	0.655	0.655	0.475
Fe	0.579	0.957**	0.889**	0.938**	0.786*	0.887**	0.924**	0.935**

3 讨论

3.1 果实生长发育

根据柠檬柚果实生长发育状况，将 4—5 月、6—9 月、10—11 月分别定为果皮迅速生长期、果肉迅速生长期和果实转色成熟期，其中 6—8 月为果肉极速生长期。

3.2 元素累积与分布

柠檬柚果皮果肉中 K、Ca、Mg、Zn、Mn、Fe 含量尽管都随着果实的发育呈递减规律，甚至出现极显著或显著负相关，但其累积率在果实生长前期（4—7 月）却随着果实的发育而增大（K 和 Fe 延长到 9 月）。10—11 月成熟期，尽管 K、Ca、Mg、Zn、Mn 的累积率降低甚至出现负累积即部分营养元素转移到其它器官的现象，但整个生长期元素的累积总量仍呈递增趋势。元素含量的递减认为与果实迅速生长和干物质迅速增加所产生的稀释效应有关，此与刘勇等（2000）在甜柿、高启明等（2005）在金光杏梅、肖家欣等（2004）在柑橘的研究结果极其相似；当然，也不排除因新芽的生长带走部分养分。

K、Ca、Mg、Zn、Mn 的累积量主要集中在 7—9 月果实迅速增长期，此与关军锋（2004）在苹果幼果的研究结果果实生长率与 K、Ca、Mg 吸收率呈密切正相关相似，表明果实发育有利于元素的吸收，反之元素的吸收又促进果实进一步发育；而 Cu 和 Fe 的累积高峰在 11 月果实转色期；因此适时施用相应的营养元素肥料是果实优质高产耐贮的保障，在 7—9 月果实迅速增长期应适当增施 K、Ca、Mg、Zn、Mn 肥，而在 11 月果实转色期补充 Cu、Fe 肥。

3.3 K 元素

K 是果实发育成熟的重要元素之一, 对提高产量, 增强营养, 提高风味, 促进着色, 延长果实贮藏期都起到积极的作用(孙骞等, 2006); 尽管 K 在植物体中主要以离子态存在, 并具有很强的移动性, 但通常在果树的各器官中以果实的含量最高(陈贵林等, 1999); 在本研究中 K 含量位居 7 种金属营养元素之首, 且主要分布于果肉中, 可见 K 对果实生长的重要性。

3.4 Ca 元素

Ca 是细胞膜的重要组成部分, 它在果实保鲜上的应用和作用机理研究已屡见报道(陈丽璇等, 1998, 1999; 冯磊等, 2005)。Mn 能使果肉致密, 果实细胞结构紧凑, 有利于贮藏(董家伦和李树真, 1990)。本研究中, 与果实耐贮性密切相关的 Ca、Mg、Mn 三元素主要分布于果皮, 以加强果皮对外界环境的抗逆性。

Ca/K、Ca/Mg 是反映 Ca、K、Mg 元素的平衡关系, 许多研究表明 Ca、K、Mg 间存在拮抗作用。柠檬柚果肉的 Ca/K 和 Ca/Mg 变化不大, 而果皮却在 5—10 月呈递增趋势, 说明三元素在果肉中相对平衡, 而在果皮中 Ca 的增加不断地打破这种平衡。

3.5 相关性

果皮果肉中 4 项活性氧代谢指标在 4—8 月果实增大期呈极速降低趋势, 此与元素含量的递减规律相类似; 其中, 与金属营养元素含量相关性较显著的是果皮果肉的 POD 和果肉 SOD, 表明活性氧防御酶系统 POD 和 SOD 比代谢产物超氧阴离子和 MDA 能更敏锐的反应金属营养元素的变化。7 种金属营养元素含量中, 与活性氧代谢指标相关性显著率最高的是 Fe 元素, 其余依次是 K、Zn 和 Cu、Ca 和 Mg, 而 Mn 最低; 其相关深入研究已见 K、Ca、Mg 元素的报道, 认为三者在活性氧代谢中能使植物避免活性氧的毒害, 延缓衰老(李延和泰遂初, 1995; 邓美玲等, 1999; 孙骞等, 2006)。

References

- Chen Gui-lin, Zhao Rui-shen, Ge Hui-bo, Li Shi-yi. 1999. The studies on content distributions of nitrogen, phosphorus and potassium in strawberries. Hebei Agric Univ, 22 (4): 62 - 64. (in Chinese)
- 陈贵林, 赵瑞森, 葛会波, 李世一. 1999. 草莓体内氮磷钾分布动态研究. 河北农业大学学报, 22 (4): 62 - 64.
- Chen Li-xuan, Tang Hui-hua, Chen Li-hong, Zhuang Rong-fu. 2008. Correlativity between concentration of calcium applied and nutrient element contents in fruits and leaves of strawberry. Chienes Journal of Tropical Crops, 29 (6): 720 - 724. (in Chinese)
- 陈丽璇, 汤惠华, 陈丽虹, 庄荣福. 2008. 外源钙与草莓叶果营养元素含量的相关性研究. 热带作物学报, 29 (6): 720 - 724.
- Chen Li-xuan, Huang Wei-nan, Chen Li-hong, You Rui-chen. 1999. Effect of preharvest Ca spary on biochemical characteristics of strawberry fruit// Chinese Youth Agric Sic. Beijing: China Agriculture Press: 844 - 848. (in Chinese)
- 陈丽璇, 黄维南, 陈丽虹, 尤瑞琛. 1999. 采前喷钙对草莓果实生化性状的影响//中国青年农业科学学术年报. 北京: 中国农业出版社: 844 - 848.
- Chen Li-xuan, Huang Yu-huan, You Rui-chen. 1998. Influence of Ca treatment to litchi during storing. Fujian Fruit Trees, 104(2): 4 - 6. (in Chinese)
- 陈丽璇, 黄玉环, 尤瑞琛. 1998. 荔枝贮藏过程的钙处理及其影响. 福建果树, 104 (2): 4 - 6.
- Chinese Academy of Sciences, Shanghai Institute of Plant Physiology. 1999. Modern plant physiology test guidelines. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 中国科学院上海植物生理研究所. 1999. 现代植物生理学试验指南. 北京: 科学出版社.
- Davies Anthony M C, Dennis C. 1983. Distribution of potassium, calcium and magnesium in strawberry fruit in relation to break down of the sulfited fruit. Food Chem, 12 (4): 219.
- Deng Mei-ling, Long Yun, Tan Feng. 1999. Effects of Ca on active oxygen metabolism in leaves of *Crocus sativus* L. Journol of Southwest China

- Normal University: Natural Science, 24 (1): 87 - 91. (in Chinese)
- 邓美玲, 龙 云, 谈 锋. 1999. Ca^{2+} 对番红花叶片中活性氧代谢的影响. 西南师范大学学报: 自然科学版, 24 (1): 87 - 91.
- Dong Jia-lun, Li Shu-zhen. 1990. Relationship between the storage of fresh fruit and the nutrition of Ca, Mn, Zn, B in tomato. Gansu Agric Univ, 25 (1): 62 - 68. (in Chinese)
- 董家伦, 李树真. 1990. 番茄钙、锰、锌、硼营养与贮藏关系的研究. 甘肃农业大学学报, 25 (1): 62 - 68.
- Feng Lei, Wang You-nian, Han Tao, Yu Ji-zhou, Yu Tong-quan, Lu Ping, Du Dong. 2005. Effects of manganese and calcium treatments on metabolism of active oxygen species in peaches. Beijing Agric Coll, 20 (1): 10 - 14. (in Chinese)
- 冯 磊, 王有年, 韩 涛, 于继洲, 于同泉, 路 苹, 杜 栋. 2005. 采前锰钙处理对桃果实保护酶系统的影响. 北京农学院学报, 20 (1): 10 - 14.
- Gong Yun-chi, Xu Ji-e, Lü Rui-jiang. 1992. Studies on the content of different forms of calcium compound and their change in the fruits of pear. Acta Horticulturae Sinica, 19 (2): 129 - 134. (in Chinese)
- 龚云池, 徐季娥, 吕瑞江. 1992. 梨果实中不同形态钙的含量及其变化的研究. 园艺学报, 19 (2): 129 - 134.
- Gong Yun-chi, Xu Ji-e, Zhang Shu-zhen, Lü Rui-jiang. 1987. Seasonal variation of the calcium content in the leaves and fruits of the 'Yali' pear (*Pyrus bretschneideri* Redh. cv. Yali). Acta Horticulturae Sinica, 14 (1): 1 - 6. (in Chinese)
- 龚云池, 徐季娥, 张淑珍, 吕瑞江. 1987. 鸭梨叶片和果实中钙素含量年周期变化的研究. 园艺学报, 14 (1): 1 - 6.
- Guan Jun-feng. 2004. Change of content of Ca, Mg and K during apple fruitlet growth. Journal of Hebei Normal University of Science & Technology, 18 (2): 19 - 22. (in Chinese)
- 关军锋. 2004. 苹果幼果发育期间 Ca、Mg、K 含量的变化. 河北科技师范学院学报, 18 (2): 19 - 22.
- Gao Qi-ming, Li Jiang, Zhang Chuan-lai, Hou Jiang-tao. 2005. Variation of several mineral element content in the fruit of marne cultivar Jinguang during the development. Journal of Fruit Science, 22 (4): 331 - 334. (in Chinese)
- 高启明, 李 疆, 张传来, 侯江涛. 2005. 金光杏梅果实生长发育期间几种矿质元素含量的变化. 果树学报, 22 (4): 331 - 334.
- Han Zhen-hai, Wang Qian. 1995. Current situation and prospects of research on fruit mineral nutrition in China: A literature review. Acta Horticulturae Sinica, 22 (2): 138 - 146. (in Chinese)
- 韩振海, 王 倩. 1995. 我国果树营养研究的现状和展望——文献评述. 园艺学报, 22 (2): 138 - 146.
- Li Yan, Qin Sui-chu. 1995. Effect of magnesium on accumulation and transport of sugar, starch rice. Journal of Fujian Agricultural University, 24 (1): 54 - 57. (in Chinese)
- 李 延, 秦遂初. 1995. 镁对水稻糖、淀粉积累与运转的影响. 福建农业大学学报, 24 (1): 54 - 57.
- Liu Yong, Liu Shan-jun, Huo Guang-hua, Xiao De-xing, Luo Lai-shui. 2000. Seasonal variation of the amounts of some mineral elements and nutrition concentration during the development course of swat persimmon fruit. Acta Agriculmme Universitatis Jiangxiensis, 22 (2): 265 - 270. (in Chinese)
- 刘 勇, 刘善军, 霍光华, 肖德兴, 罗来水. 2000. 甜柿果实发育期间矿质元素和营养成分变化. 江西农业大学学报, 22 (2): 265 - 270.
- National Standard of People's Republic of China GB/T5009.1 ~ 5009.100-2003 Chemical Part of The Food Hygiene Inspection Method (1). 2004. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 中华人民共和国国家标准 GB/T5009.1~5009.100—2003 食品卫生检验方法理化部分 (一). 2004. 北京: 中国标准出版社.
- Sun Qian, Yang Jun, Zhang Shao-yang, Zhang Feng-qi, Ding Shi-lin. 2006. Rearch progress on relationship beteen potassium nutrition and photosynthesis physiology & fruit quality of fruit trees. Guangdong Agricultural Sciences, (12): 126 - 128. (in Chinese)
- 孙 骞, 杨 军, 张绍阳, 张凤琪, 丁士林. 2006. 钾营养与果树光合生理及果实品质关系研究进展. 广东农业科学, (12): 126 - 128.
- Wang Ai-guo, Luo Guang-hua. 1990. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants. Plant Physiology Communications, 26 (6): 55 - 57. (in Chinese)
- 王爱国, 罗广华. 1990. 植物的超氧化物自由基与羟胺的定量关系. 植物生理学通讯, 26 (6): 55 - 57.
- Xiao Jia-xin, Peng Shu-ang, Zhang Hong-yan. Studies on dynamics of calcium and potassium during fruit development of parthenocarpic and self-pollinated citrus varieties. Acta Horticulturae Sinica, 31 (1): 7 - 10. (in Chinese)
- 肖家欣, 彭抒昂, 张红艳. 2004. 单性结实与自花结实柑橘果实发育中钙钾动态的研究. 园艺学报, 31 (1): 7 - 10.