

不同品种杏果实发育进程中多酚与类黄酮物质含量的变化

张俊环, 杨 丽, 孙浩元, 王玉柱

(北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093)

摘 要:以成熟期和果实呈色不同的 2 个杏品种“青密沙”杏和“骆驼黄”杏为试材, 采用常规方法对果实与果皮中的总酚、总类黄酮与花色苷含量分别进行了测定, 以期揭示杏果实发育进程中多酚与类黄酮类物质的累积规律。结果表明: 杏果皮和果肉中的总酚和总类黄酮含量均是在果实发育前期即果实第 1 迅速生长期呈现逐渐增加的趋势, 而果实发育进入硬核期以后, 这 2 种次生代谢物质的含量即开始逐渐降低, 至商熟期又有所升高。花色苷含量则是随着果实的发育成熟而逐渐增加。“骆驼黄”杏果肉和果皮中的总酚与总类黄酮均明显高于相应的“青密沙”杏。在果实发育的任何阶段, 无论是总酚、总类黄酮还是花色苷, 2 个杏品种果皮中的含量均明显高于果肉。由此可见, 杏果实中的多酚与类黄酮类物质含量与品种、发育时期和组织部位有明显的相关性。

关键词:杏; 果实发育时期; 多酚; 类黄酮; 花色苷

中图分类号:S 662.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)24-0001-05

随着人们健康意识的不断提高, 植物来源的生理活性物质(如多糖类、维生素类、天然色素类、多酚类等)日益受到关注。其中多酚是最突出的一类生理活性物质。根据酚类物质结构和功能的不同, 通常可以把它们分为类黄酮(Flavonoids)和非类黄酮(Non-flavonoids)两大类。类黄酮物质不仅对植物本身具有重要的生理功能, 对动物细胞也具有极强的抗氧化功能和显著的抗动脉硬化、抗癌、抗病毒等生理功效^[1-2], 因此成为次生代谢的一个研究热点。类黄酮物质作为一大类多酚类次生代谢产物广泛存在于植物中。在果树上的研究主要集中在苹果^[3-4]、葡萄^[5-6]和草莓^[7]上。杏果实有着很好的营养价值和特殊的保健作用, 除富含 β -胡萝卜素之外, 还含有丰富的酚酸、黄酮醇、黄烷醇等类黄酮类物质^[8-11]。在亚油酸体系中显示出较强的抗氧化活性, 具有显著清除 $\cdot\text{OH}$ 和超氧阴离子的效果^[12], 因此杏果实中的生理活性物质正引发人们的关注, 然而, 对于杏果实发育进程中类黄酮类物质代谢规律的研究, 还鲜见报道。因此, 现以成熟期和果实呈色不同的 2 个杏品种为试材, 研究

杏果实发育进程中多酚与类黄酮类物质的累积规律, 以期通过人为栽培措施促进杏果实中类黄酮类物质的富积奠定理论基础, 对于提高杏果实的外观品质与内在的营养和保健功能都具有重要的实际意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以“骆驼黄”杏(果皮底色为橙黄色, 着红色, 果肉橙黄色, 味酸甜, 极早熟品种)和“青密沙”杏(果皮底色为黄绿色, 着紫红色, 果肉浅黄色, 味极甜, 中熟品种)2 个优良的鲜食杏品种为试材。

1.2 试验方法

试验于 2011 年在北京市农林科学院林业果树研究所进行。根据果实发育时期, “骆驼黄”杏分别于 4 月 21 日(软核期)、5 月 5 日(硬核初期)、5 月 12 日(硬核期)、5 月 19 日(硬核期)、5 月 26 日(转色期)、6 月 2 日(商熟期)等 6 个不同的发育时期进行采集; “青密沙”杏分别于 4 月 21 日(软核期)、5 月 5 日(硬核初期)、5 月 12 日(硬核期)、5 月 19 日(硬核期)、6 月 2 日(转色期)、6 月 9 日(绿熟期)、6 月 12 日(商熟期)及 6 月 15 日(完熟期)等 8 个不同的时期采集。为确保取样的代表性, 从每棵树的阴阳 2 个方向各取 5 个果, 共采集 5 棵树共 25 个果, 采后立即带回实验室, 取 10 个果进行称重后, 进行果皮、果肉和种仁的分割, 样品用液氮速冻后-80℃保存备用。

1.3 项目测定

总酚含量的测定采用 Folin-Ciocalteu 试剂法, 参考

第一作者简介:张俊环(1974-), 女, 山东菏泽人, 博士, 副研究员, 现主要从事杏资源评价与分子育种等研究工作。E-mail: zhang_junhuan@163.com.

基金项目:北京市科技新星计划资助项目(2009B27); 北京市自然科学基金资助项目(6122011); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项资助项目(KJCX201101009)。

收稿日期:2012-09-10

Bonilla 等^[13]的方法,以没食子酸为标准物,建立标准曲线,总酚含量表示为 Gallic acid mg/gFW。总类黄酮含量的测定参照 Wolfe 等^[14]的方法,以儿茶素为标准物建立标准曲线,总类黄酮含量表示为 Catechin mg/gFW。花色素苷含量测定参考 Hasegawa 等^[15]的方法。该试验中的标准物没食子酸和儿茶素均购自 Sigma 公司。

1.4 数据分析

对原始数据进行标准化处理后,用 SAS 软件(8.1 版本)做差异显著性检验和标准差分析,用 Sigma Plot 10.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 杏果实生长曲线

参照于希志等^[16]的研究方法,结合该试验中杏果实发育的物候期,通过对不同时期取样果实的鲜重测定,发现 2 个品种杏的果实发育过程均表现为“双 S”型曲线(图 1),即先后有 2 个迅速生长期,“青密沙”杏果实的第 1 迅速生长期在 4 月 21 日左右至 5 月 5 日期间、第 2 迅速生长期在 6 月 2~12 日;“骆驼黄”杏第 1 迅速生长期与“青密沙”杏同期,第 2 迅速生长期比“青密沙”杏要早,且持续时间相对较短,发生在 5 月 26 日左右至 6 月 2 日左右。

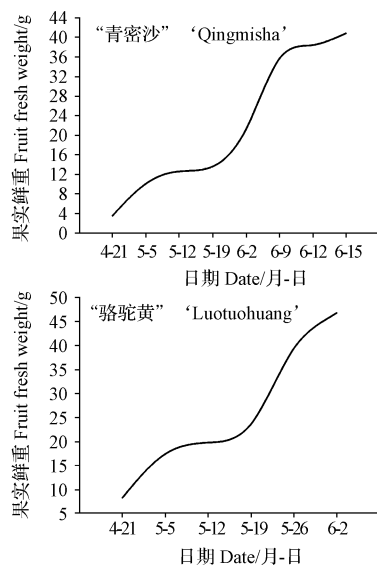


图 1 2 个品种杏果实鲜重生长曲线

Fig. 1 The growth curve of fruit weight in two apricot cultivars

2.2 杏果实发育过程中总酚含量的变化

杏果实的生长发育是一个极其复杂的代谢过程,其最主要特征是物质的合成与积累(如色素、碳水化合物等)。由图 2 可知,随着果实的生长发育,果皮、果肉中的总酚含量均发生了巨大的变化。“青密沙”杏和“骆驼黄”杏果皮中总酚含量的变化趋势基本相同。在果实发育前期,即第 1 迅速生长期,果皮中的总酚含量逐渐增

加并达到峰值,在缓慢生长期保持这一相对较高水平,之后在第 2 迅速生长期开始又迅速下降,在商熟期前后又有所回升。

与果皮的变化趋势相似,2 个品种果肉中总酚含量也是在果实发育前期积累到一定水平后便开始下降,只是从缓慢生长期开始就进入下降阶段,并且果肉中的总酚含量在各个发育阶段都明显低于果皮中的含量。如 5 月 5 日的样品,“骆驼黄”杏果皮中的多酚含量(Gallic acid 0.68 mg/gFW)是果肉(Gallic acid 0.11 mg/gFW)中的 6 倍之多,而“青密沙”杏果皮中的多酚含量(Gallic acid 0.78 mg/gFW)竟是果肉(Gallic acid 0.02 mg/gFW)中的 39 倍。

2 个品种相比较,“骆驼黄”杏果皮、果肉中的总酚含量明显高于“青密沙”杏,尤其是峰值,“青密沙”杏果皮、果肉中总酚含量最高分别为 Gallic acid 0.87 和 0.06 mg/gFW,而“骆驼黄”杏的相应峰值分别高达 Gallic acid 1.37 和 0.14 mg/gFW。

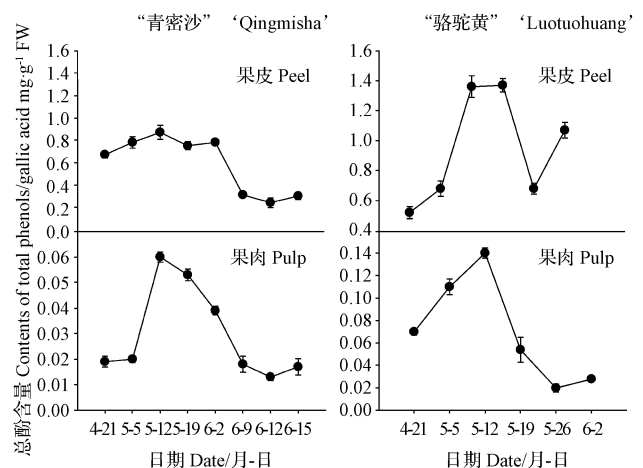


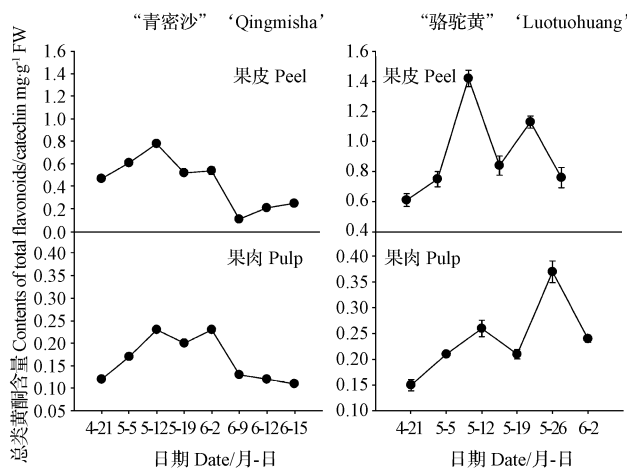
图 2 果实发育过程中 2 个品种杏果皮和果肉中总酚含量的变化

Fig. 2 Changes of total phenols contents in peel and pulp during fruit development in two apricot cultivars

2.3 杏果实发育过程中总类黄酮含量的变化

由图 3 可知,在果实发育过程中,无论是果皮还是果肉,总类黄酮含量的变化均有 2 个高峰,1 个是在 5 月 12 日,1 个在 6 月 2 日(“青密沙”杏)和 5 月 26 日(“骆驼黄”杏)。果皮中第 1 个峰值高于第 2 个峰值,即果皮中的类黄酮含量在 5 月 12 日到达第 1 个高峰之后即呈逐渐降低趋势,虽然在后面有 1 个小的回升。果肉中却是第 2 个峰值高于第 1 个峰值,2 个品种果肉中的总类黄酮含量在到达第 2 个高峰前的一段时期,基本是处于逐渐增加的趋势,积累时间较长,仅在果实发育的后期才开始降低。果肉中的总类黄酮含量明显低于果皮中的含量。

2 个品种相比较,“骆驼黄”杏果皮和果肉中的总类黄酮含量均高于相应发育时期的“青密沙”杏,尤其是最高含量,差异显著,“骆驼黄”杏果皮、果肉中的峰值含量分别达到了 Catechin 1.42 和 0.37 mg/g FW,而“青密沙”杏果皮、果肉中的类黄酮含量分别是 Catechin 0.78 和 0.23 mg/g FW,前者是后者的 1.82 和 1.60 倍。



3 果实发育过程中 2 个品种杏果皮和果肉中总类黄酮的变化

Fig. 3 Changes of total flavonoids in peel and pulp during fruit development in two apricot cultivars

2.4 杏果实发育过程中花色苷含量的变化

花色苷是类黄酮类物质的一种,是苯丙氨酸次级代谢途径的主要终产物。由图 4 可知,花色苷含量的变化趋势基本是随着果实的发育而逐渐增加,仅仅在果实成熟以后才略有下降;果皮中花色苷的含量明显高于果肉中的含量,即使果皮中的最低值(“青密沙”杏 11.83 nmol/g FW,“骆驼黄”杏 15.58 nmol/gFW)也远远高于果肉中的最高

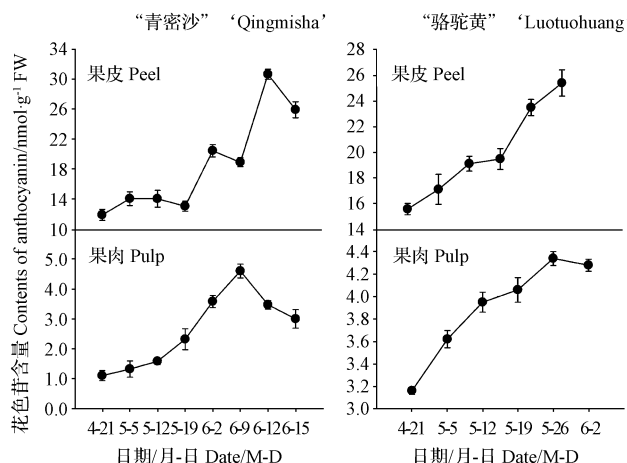


图 4 果实发育过程中 2 个品种杏果皮和果肉中花色苷含量的变化

Fig. 4 Changes of anthocyanin contents in peel and pulp during fruit development in two apricot cultivars

值(“青密沙”杏 4.6 nmol/gFW,“骆驼黄”杏 4.34 nmol/g FW),而果皮中的最高值竟分别高达 30.65 nmol/gFW(“青密沙”杏)和 25.42 nmol/gFW(“骆驼黄”杏),2 个品种间差异不显著。

3 结论与讨论

3.1 不同发育时期对总酚、总类黄酮和花色苷含量的影响

杏果实从授粉受精到充分成熟,其生长发育过程呈三慢二快“双 S”曲线,大致可分为 3 个时期,即迅速生长期(核生长、胚乳形成期),缓慢生长期(硬核、胚生长期),第 2 次迅速生长期(果肉生长成熟、胚充实成熟期)^[16]。该研究通过调查果实鲜重日增长量的变化,也证实了 2 个杏品种的果实发育呈现出“双 S”型曲线(图 1)。在发育的各个时期,果实中的糖、酸、酚类物质等都会发生着不同的变化^[11,16]。该研究从果实发育进程来看,杏果实中的总酚和总类黄酮含量基本都是在果实发育前期即果实第 1 迅速生长期呈现逐渐增加的趋势,而果实 5 月 12 日进入硬核期以后,这 2 种次生代谢物质的含量即开始逐渐降低,至商熟期又有所升高。而花色苷基本是随着果实的发育成熟而逐渐增加。这与葡萄^[17]、草莓^[18]和樱桃^[19]上的研究结果相类似。有研究表明,随着葡萄果实的发育成熟,苯丙烷类代谢途径中合成类黄酮及花色苷的关键酶及其调控因子的活性增加^[5-6],因此有利于类黄酮和花色苷的合成积累。而在到达商熟期以后,花青苷积累到一定程度后合成速率下降,底物便向着合成酚类物质方向转化。

3.2 果实颜色不同的品种间总酚、总类黄酮和花色苷含量的变化趋势

杏果实中的总酚和总类黄酮含量在品种间差异较大。“骆驼黄”杏果肉和果皮中的这 2 类物质含量均明显高于相应的“青密沙”杏品种。Meng 等^[20]研究表明,果实颜色不同的 4 个刺葡萄品种间果实中总酚、类黄酮和花色苷含量均存在差异,果实呈紫红色的品种高于绿色果实品种。杨祥燕等^[21]对菠萝果实的成色机理研究认为,类胡萝卜素和类黄酮积累量的差异是造成不同菠萝品种果肉颜色差异的主要因素。该研究中 2 个杏品种果实的花色素苷含量差异不明显,而前期研究表明,黄色或橙黄色杏品种的果肉 β -胡萝卜素含量高于白色或绿白色果肉 14 倍,而橙黄色品种“骆驼黄”杏果实中的 β -胡萝卜素含量竟是白肉品种“青密沙”杏果实的 71 倍之多^[8],由此推测杏果实的呈色可能与 β -胡萝卜素含量的相关性要高于花色苷的相关性。但是,杏果中总酚和类黄酮含量是否与 β -胡萝卜素含量或果皮、果肉的顏色不同有关,还有待于进一步的研究。

3.3 总酚、总类黄酮和花色苷分布的区域化差异

果实不同组织部位的含量差异较大。无论是总酚、

总类黄酮还是花色苷,2个杏品种果皮中的含量均明显高于果肉中的含量。这与在其它多种果树上的研究结果相一致。温鹏飞等^[22]在葡萄上的研究表明,就同一发育时期的果实而言,种子中黄烷-3-醇(葡萄果实中的主要多酚类型)总含量最高,果皮次之,而果肉最低。而苹果果皮中总酚含量是果肉的1.2~3.3倍^[3],并且总酚含量与抗氧化活性呈显著相关关系^[4]。Contreras-Calderón等^[23]对从哥伦比亚引进的24种水果的抗氧化物质的研究表明,有些果实种类(Coastal sapote 和 Algarrobo)的非食用部分即果皮和种子比果肉中含有较高的总酚和高抗氧化能力,而有的果实种类(Banana passion fruits (*P. tarminiana* 和 *P. mollissima*))是可食部分含有较高的总酚和抗氧化能力。王志远等^[24]对苹果、石榴、橄榄、芒果、香蕉、菠萝、葡萄和龙眼的壳、肉及核中的多酚含量及其抗氧化性分析也得到了一个一致的结果,果皮或种子中的多酚含量远远高于果肉。由此得知,多数果实的果皮是类黄酮、花色苷等多酚类抗氧化物质的主要来源,一定要合理利用。

参考文献

- [1] Ugras M Y, Kurus M, Ates B, et al. *Prunus armeniaca* L (apricot) protects rat testes from detrimental effects of low-dose x-rays[J]. Nutrition Research, 2010, 30: 200-208.
- [2] Heim K E, Tagliaferro A R, Boliya D J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2002, 13: 572-584.
- [3] Drogoudi P D, Michailidis Z, Pantelidis G. Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 115: 149-153.
- [4] Vieira F G K, Borges G S C, Copetti C, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of the apple flesh and peel of eleven cultivars grown in Brazil[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 128: 261-266.
- [5] Tian L, Wan S B, Pan Q H, et al. A novel plastid localization of chalcone synthase in developing grape berry[J]. Plant Science, 2008, 175(3): 431-436.
- [6] Wang W, Zhang P, Pan Q H, et al. Gene transcript accumulation, tissue and subcellular localization of anthocyanidin synthase (ANS) in developing grape berries[J]. Plant Science, 2010, 179: 103-113.
- [7] 张琼, 王红清, 冷平, 等. 草莓果实发育过程中花色苷和黄酮醇类物质的形成机制[J]. 园艺学报, 2008, 35(12): 1735-1741.
- [8] 王玉柱, 胡南, 刘奇志, 等. 若干杏品种果肉色泽与维生素含量的测定[J]. 果树科学, 1999, 16(1): 51-54.
- [9] Dragovic-Uzelac V, Delonga K, Levaj B, et al. Phenolic profiles of raw apricots pumpkins and their purees in the evaluation of apricot nectars and jams authenticity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 4836-4842.
- [10] Dragovic-Uzelac V, Levaj B, Mrkic V, et al. The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region[J]. Food Chemistry, 2007, 102: 966-975.
- [11] 冯立娟, 苑兆和, 尹燕雷, 等. 2个杏品种不同成熟期果实品质变化研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 206-210.
- [12] 马景蕃, 王有年, 于同泉, 等. 香白杏酚活性成分及抗氧化功能研究[J]. 北京农学院学报, 2005, 20(1): 15-17.
- [13] Bonilla E P, Akoh C C, Sellappan S, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of Muscadine grapes[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2003, 51: 5497-5503.
- [14] Wolfe K, Wu X, Liu R H. Antioxidant activity of apple peels[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2003, 51: 609-614.
- [15] Hasegawa H, Fukasawa A, Akada T, Okuno T, et al. Anthocyanin accumulation and related gene expression in Japanese parsley (*Oenanthe stolonifera* D C) induced by low temperature[J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158: 71-78.
- [16] 于希志, 徐秋萍, 金锡凤. 杏果实发育的研究[J]. 果树科学, 1990, 7(4): 227-230.
- [17] Chen J Y, Wen P F, Kong W F, et al. Changes and subcellular localizations of the enzymes involved in phenyl propanoid metabolism during grape berry development[J]. Journal of Plant Physiology, 2006, 163(2): 115-127.
- [18] 冯晨静, 关军锋, 杨建民, 等. 草莓果实成熟期花青苷、酚类物质和类黄酮含量的变化[J]. 果树学报, 2003, 20(3): 199-201.
- [19] Celli G B, Pereira-Netto A B, Beta T. Comparative analysis of total phenolic content, antioxidant activity, and flavonoids profile of fruits from two varieties of Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) throughout the fruit developmental stages[J]. Food Research International, 2011, 44: 2442-2451.
- [20] Meng J F, Fang Y L, Qin M Y, et al. Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant properties of 4 cultivars of spine grape (*Vitis davidii* Foex) in Chongyi County (China) [J]. Food Chemistry, 2012(10): 1016.
- [21] 杨祥燕, 蔡元保, 李绍鹏, 等. 菠萝果实不同发育阶段色泽和色素的变化[J]. 热带作物学报, 2009, 30(5): 579-583.
- [22] 温鹏飞, 陈建业, 李景明, 等. 葡萄果实中黄烷-3-醇及其聚合体的HPLC检测[J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 714-720.
- [23] Contreras-Calderón J, Calderón-Jaimes L, Guerra-Hernández E, et al. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia[J]. Food Research International, 2011, 44: 2047-2053.
- [24] 王志远, 李清彪, 杨翠娟, 等. 八种水果中的多酚含量及其抗氧化性[J]. 天然产物研究与开发, 2007, 19: 1040-1043, 1023.

Changes of the Total Phenols and Flavonoids in Apricot Peel and Pulp of Different Cultivars During Fruit Development

ZHANG Jun-huan, YANG Li, SUN Hao-yuan, WANG Yu-zhu

(Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100093)

套袋和未套袋鸭梨果实中主要营养元素的周年变化动态研究

卢伟红^{1,2}, 张玉星¹

(1. 河北农业大学 园艺学院, 河北 保定 071001; 2. 保定职业技术学院, 河北 保定 071051)

摘要:于 2009~2010 年在保定市河北农业大学梨园内, 选取具有代表性的 10 a 生鸭梨, 测定鸭梨不同发育期未套袋果实、套袋果实中营养元素含量, 研究套袋和未套袋鸭梨果实中主要营养元素含量变化规律, 揭示其含量差异。结果表明: 果实中 10 种营养元素含量随果实的膨大而逐渐减少, 套袋和未套袋果实中 N、P、K、Ca、Mg、Mn、Cu、Zn、B 元素变化规律一致; 套袋果实和未套袋果实中 N、P、K、Mg、Mn、Cu 元素含量基本相同, 套袋果实中 Fe、Zn 元素总含量低于未套袋果实, Ca、B 元素总含量高于未套袋梨果实。未套袋果实中各种常量元素总含量顺序为: K>N>P>Ca>Mg, 微量元素总含量顺序为: Fe>B>Zn>Mn>Cu。

关键词:鸭梨; 果实; 营养元素; 套袋

中图分类号:S 661. 205⁺. 9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)24-0005-04

果实中营养元素的积累动态是果实养分需求规律的一种反映, 研究果实生长发育期间主要营养元素含量的变化, 对于了解果实对营养元素的吸收及利用特性、调节果树的营养需求分配有着重要意义, 也可为果树的施肥提供重要的科学依据。有关果实中营养元素的变化在梨、苹果等果树^[1-4]中已有大量的研究报道, 但是关于鸭梨套袋和未套袋果实营养元素的研究鲜见报道。

因此, 试验通过测定鸭梨未套袋和套袋果实中不同时期的营养元素含量, 揭示主要营养元素在鸭梨果实中变化规律, 以期为鸭梨的优质高效栽培提供科学施肥的依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取生长一致、干周相近、树势健壮、具有代表性的 10 a 生鸭梨树 10 株(砧木为杜梨)为供试材料。

1.2 试验方法

试验于 2009~2010 年连续 2 a 在保定市河北农业大学梨园内进行, 梨园南北行向, 株距 3.5 m、行距 4.5 m, 生长结果正常, 肥水管理一般。

未套袋果实从盛花后 7 d 采样, 每隔 10 d 采 1 次, 套袋果实的采集从套袋后 15 d 开始。疏果前每树采果

第一作者简介:卢伟红(1969-), 女, 河北保定人, 本科, 副教授, 现主要从事果树生理学的教学与研究等工作。E-mail: luhong1969@126.com.

责任作者:张玉星(1961-), 男, 博士, 博士生导师, 现主要从事果树生理学的教学与研究等工作。E-mail: jonsonzhyx@yahoo.com.cn.

收稿日期:2012-08-27

Abstract: Two apricot cultivars ('Qingmisha' and 'Luotuohuang') differed in fruit development days and fruit color were used as experimental materials of this experiment. Changes of total phenols, total flavonoids and anthocyanin in peel and pulp of two apricot cultivars were measured from about 14 days after full bloom until harvest, in order to explore the changes mechanism of the total phenols and flavonoids in apricot fruits during fruit development. The results showed that the contents of total phenols and total flavonoids increased at early stage of rapid growth both in peel and pulp, and then generally decreased during the pit hardening, while the values in commercial mature fruits were slightly increase again. The anthocyanin levels were gradually increased with the fruit development in two cultivars. The amount of total phenols and total flavonoids in fruit of 'Qingmisha' was higher than that in 'Luotuohuang'. For any of the three bioactive compounds, the amount in peel was markedly higher than pulp. It was concluded that the polyphenols and flavonoids levels in apricot fruits were correlated with the cultivar, fruit development stage and different tissues.

Key words: apricot; fruit development; polyphenols; flavonoids; anthocyanin