

桃果实内果皮发育过程中糖积累与木质素沉积的变化

杨爱珍^{1,2}, 张志毅², 曹爱娟¹, 孟海岭¹, 王有年^{1,3*}

(¹北京农学院, 农业部都市农业北方重点开放实验室, 北京 102206; ²北京林业大学生物学院, 林木育种国家工程实验室和林木花卉遗传育种教育部重点实验室, 北京 100083; ³农业应用新技术北京市重点实验室, 北京 102206)

摘要: 以中熟桃‘京玉’和‘大久保’果实为材料, 测定桃果实内果皮在细胞分裂和硬核期糖的含量, 分析糖积累的变化情况; 通过间苯三酚—HCl对‘大久保’桃果实内果皮进行染色, 观察木质素沉积的进程; 应用常规戊二醛—锇酸双固定法在透射电镜下观察内果皮细胞壁的发育进程。结果表明, 桃果实内果皮在花后 40 d前, 细胞不断分裂增生, 初生细胞壁不断膨大, 糖的积累快速增长, 大约 40 d时葡萄糖和果糖的积累量达到最高; 到 40 d后, 糖含量及山梨醇代谢迅速下降。此时内果皮开始木质化, 内部逐渐呈现红色, 大约半个月后, 整个内果皮都变红, 木质素从内到外基本沉积完毕, 说明木质素沉积发生在糖积累高峰之后, 糖的大量积累为木质素前体的合成奠定了物质基础, 糖积累量的多少直接影响内果皮发育的好坏。

关键词: 桃; 果实; 内果皮; 糖积累; 木质素

中图分类号: S 662.2; Q 945 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 08-1113-07

Studies of Changes in Sugar Accumulation and Lignin Deposition During Peach Fruit Endocarp Development

YANG Ai-zhen^{1,2}, ZHANG Zhi-yi², CAO Ai-juan¹, MENG Hai-ling¹, and WANG You-nian^{1,3*}

(¹Beijing University of Agriculture, Key Laboratory of Urban Agriculture of Ministry of Agriculture, Beijing 102206, China;

²National Engineering Laboratory for Tree Breeding Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants, Ministry of Education College of Biology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ³Key Laboratory of New Technology in Agricultural Application of Beijing, Beijing 102206, China)

Abstract: The experiment was conducted with peach (*Prunus persica* L.) ‘Jingyu’ and ‘Okubo’ fruits. The sugar content was measured in peach endocarp during the course of the cell division and pit hardening, analyzing the change of sugar accumulation, observing the development of endocarp cell wall through the transmission electron microscope (TEM) and detecting the progress of its lignin deposition by staining with phloroglucinol - HCl reagent. The results showed the cell in the peach endocarp divided continuously, the primary cell wall expanding, the cell organ marginalizing gradually, which was the stage of sugar rapid accumulation, before 40 days after full blooming. The internal part began red after more than 40 days, the lignin deposition finished after 15 days or so, sugar accumulation and dynamic metabolism decreased rapidly, which showed lignin deposition occurred after the peak of sugar accumulation. Its content had an important effect on endocarp development.

Key words: peach; fruit; endocarp; sugar accumulation; lignin deposition

收稿日期: 2009 - 03 - 30; 修回日期: 2009 - 07 - 13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30872029); 北京市自然科学基金重点项目 (6071001); 北京市自然科学基金项目 (6092007); 北京市教委重点项目; 北京市教委平台建设项目; 北京市都市农业学科群项目 (XK100190553); 北京市属高校人才强教深化计划项目 (PHR20090516, PHR200906134); 北京农学院青年基金项目

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: wyn1951@126.com)

一般认为桃果实的品质主要是果肉的品质, 所以大量研究工作集中在果肉品质的形成和维护上(韩涛和李丽萍, 2001; 张新生等, 2008; 张雪等, 2008)。但不少桃果实常因内果皮不正常发育造成裂核果。裂核果不仅果核开裂, 而且在果肉的果柄处或大或小同时发生开裂, 形成微生物入侵的通道, 果实成熟后种子周围布满菌丝体, 失去商业价值。这个问题一直是发展高品质桃的主要技术障碍之一(葛水莲等, 2007)。研究桃内果皮发育可能会给解决这个生产难题提供解决途径。

桃果实内果皮发育主要集中在桃果实发育的阶段和。阶段主要是桃果实内果皮的细胞分裂和增大时期, 阶段是内果皮细胞壁次生代谢物沉积时期, 即酚类物质的聚集和木质素最后的沉积(布坎南等, 2004)。木质素是次生木质部的主要基质, 聚合态木质素的主要功能是增强细胞壁硬度(Lothar & Frank, 2006)。所以内果皮细胞次生壁木质化程度对桃果核的发育具有重要意义。

木质素碳素骨架主要由葡萄糖代谢产物提供: 磷酸戊糖途径提供 4-磷酸赤藓糖, 糖酵解途径提供烯醇式磷酸丙酮酸, 这两者通过莽草酸—分支酸途径合成苯丙氨酸和酪氨酸。这两个物质是合成不同类型木质素的前体物质, 所以内果皮木质素沉积主要物质基础是葡萄糖(Buchnan et al, 2000), 其它形态的糖类物质需要转化为葡萄糖参与木质素的合成。普通高等植物光合产物 20%~30%参与木质素合成, 木本植物流向木质素的光合产物比例可能会更高(Buchnan et al, 2000)。目前国外对木材生产中木质素合成及其调控有大量研究(Cooke et al, 2004; Ralph et al, 2006; Susana et al, 2008)。鲜见对桃果核次生壁木质素代谢的研究报告。我国是桃的生产大国, 桃果实裂核问题是当前桃生产中急需解决的问题。本文初步揭示桃核前期初生壁形成及后期木质化过程与糖积累变化间的关系。这些结果对阐明内果皮形成过程中糖积累对内果皮发育的影响具有一定的理论指导意义, 对解决内果皮发育不良如核裂等问题提供实践指导。

1 材料与方法

1.1 试材与取样

试验于 2005—2006 年在北京平谷有机果园中进行。试材选树势健壮, 生长较为一致, 株行距为 4 m × 6 m 的 6 年生中熟桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch] 树 ‘京玉 (Jingyu)’ 和 ‘大久保 (Okubo)’ 各 10 株, 进行常规栽培管理, 盛花期后采样, 分别于盛花后每隔 1 周左右采样, 在每株树外围果枝中部选取中等大小, 果形端正, 无病虫害, 无机械损伤的果实 30 个左右, 置于手提冰箱中带回实验室后迅速分离内果皮, 液氮速冻处理, 随机取样, -70℃ 冰箱中存放以待糖及其代谢相关酶活性的测定。

1.2 内果皮透射电镜的检测及木质部的染色测定

内果皮透射电镜的检测在中国科学院原子能研究所进行, 用戊二醛和锇酸双固定, 常规磷酸缓冲液漂洗, 酒精梯度脱水, 国产 618 环氧树脂包埋, Leica EM UC6 超薄切片机切片, 铅铀双重染色, 日立 H-7500 透射电镜观察拍片。内果皮木质素沉积的检测方法用间苯三酚—HCl (Alba et al, 2000), 用 Olympus SZX7 体视显微镜拍照。

1.3 糖含量的测定

可溶性总糖用蒽酮比色法(汪沛洪, 1985)的测定, 称取 0.5 g 所测样品于研钵中磨成匀浆, 分 3 次加入 6 mL 80% 的乙醇倒入离心管中, 在 80℃ 水浴中保温 30 min, 1 700 g 离心 10 min, 收集上清液; 残留物再用 80% 乙醇提取两次, 合并上清液。沸水浴蒸干乙醇, 加 10 mL 蒸馏水溶解可溶性糖, 最后用蒽酮比色法测定 620 nm 下的光密度值。

仪器: 高效液相色谱系统 (HPLC), 德国 KNAUER 公司产 K-1001 型输液泵、K-1500 溶剂混合器、K-2301 型示差检测器、奥德赛斯公司 AT-150 型柱温箱。

蔗糖、果糖、葡萄糖含量 HPLC 检测的色谱条件为: 色谱柱 Carbohydrate Analysis 84038, 流速

$1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 流动相为乙腈 超纯水 = 4 1, 常温示差检测器, 灵敏度 0.05 AUFS , 进样体积 $100 \mu\text{L}$; 山梨醇含量 HPLC检测的色谱条件为: 色谱柱 Sugar-PakTM-1 (Part NO. WAT 085188), 流速 $0.4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 灵敏度 0.05 AUFS , 进样体积 $100 \mu\text{L}$ 。

1.4 山梨醇代谢酶 SOX和 SDH活性的测定

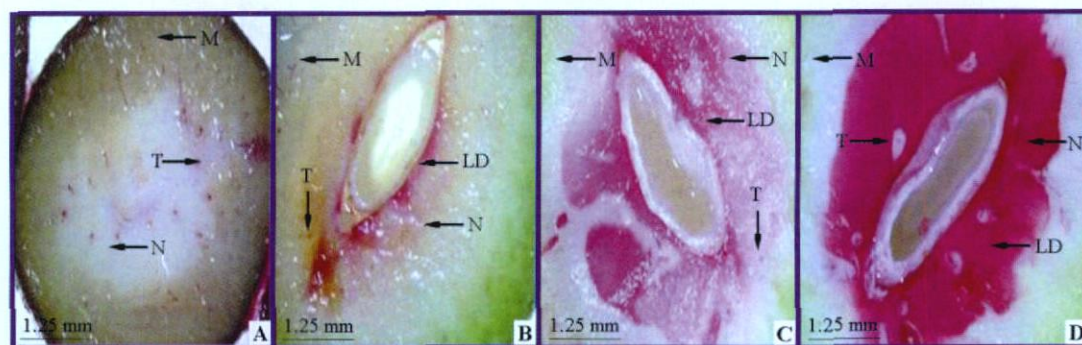
酶的提取: 参照 Lowell等 (1989) 的方法, 提取缓冲液为 Tris-HCl ($\text{pH } 7.5$) ($50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Tris, $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{MgCl}_2$, $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{EDTA}$, $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{DTT}$, $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 维生素 C, $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{PMSF}$, 3% PVPP, 0.01% Triton)。称取 1 g 样品于少量石英砂, 迅速研磨成匀浆状。15 000 g 离心 20 min, 上清液经 3 层纱布过滤后透析 20 h。透析液为稀释 10 倍且不含 PVPP 的提取缓冲液。

SOX活性测定: 参照 (Yamaki & Ishiwaka, 1986; Yamaki & Asakura, 1988) 的方法, 反应缓冲液为 $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 柠檬酸-柠檬酸钠 ($\text{pH } 4.0$), 反应底物为 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 山梨醇。反应比例为: $600 \mu\text{L}$ 反应缓冲液 + $200 \mu\text{L}$ 山梨醇溶液 + $400 \mu\text{L}$ 酶温育混合液, 用等体积的双蒸水替换山梨醇溶液作为对照, 30°C 水浴中反应 30 min, 用 1 mL 的 3, 5-二硝基水杨酸检测酶解生成的葡萄糖含量, 在 520 nm 下读取吸光值。设 3 次重复。SDH活性测定: 参照 Hideaki等 (1994) 的方法, 反应缓冲液为 $68 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Tris-HCl ($\text{pH } 9.0$), 反应底物为 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NAD, $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 山梨醇。反应比例为 $400 \mu\text{L}$ 反应缓冲液 + $200 \mu\text{L}$ NAD + $200 \mu\text{L}$ 山梨醇溶液 + $400 \mu\text{L}$ 酶温育混合液, 30°C 水浴中反应 20 min, 其余与 SOX活性测定方法一致。

2 结果与分析

2.1 桃果实内果皮细胞和细胞壁发育及木质素沉积过程的变化

利用间苯三酚染色法可观察到桃果实内果皮在 35 d 时未被染色, 而仅仅是导管先行木质化; 直到 45 d 后, 内果皮里面才略显微红; 60 d 左右时整个变红, 说明此时整个内果皮已基本木质化 (图版,)。



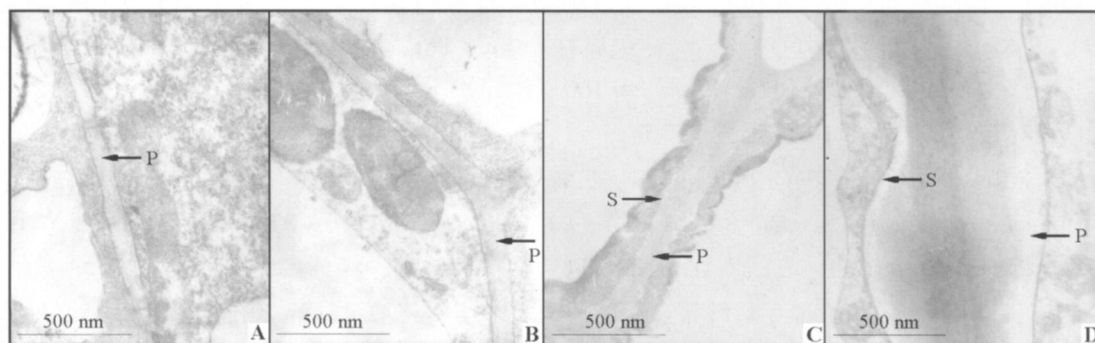
图版 说明: ‘大久保’桃果实内果皮木质素沉积的进程

A: 盛花后 35 d 内果皮木质素沉积情况; B: 盛花后 45 d 内果皮木质素沉积情况; C: 盛花后 52 d 内果皮木质素沉积情况; D: 盛花后 59 d 内果皮木质素沉积情况。M: 中果皮; N: 内果皮; LD: 木质素沉积; T: 导管。

Explanation of plate : The progress of the endocarp lignin deposition during the developing ‘Okubo’ peach fruit

A: The endocarp lignin deposition at the 35th day after full anthesis; B: The endocarp lignin deposition at the 45th day after full anthesis; C: The endocarp lignin deposition at the 52th day after full anthesis; D: The endocarp lignin deposition at the 59th day after full anthesis; M: Mesocarp; N: Endocarp; LD: Lignin deposition; T: Tube

应用透射电镜观察可知, 内果皮细胞在 40 d 前, 细胞壁不断增大和膨胀, 到 40 d 时, 初生细胞壁加粗, 同时次生壁上聚集了更多的木质素前体类物质 (图版,)。



图版 说明：‘大久保’桃果实内果皮细胞壁的发育过程

A: 盛花时内果皮细胞壁的发育; B: 盛花后 8 d 内果皮细胞壁的发育; C: 盛花后 24 d 内果皮细胞壁的发育; D: 盛花后 40 d 内果皮细胞壁的发育。P: 初生细胞壁; S: 次生细胞壁。

Explanation of plate : The growth of endocarp cell wall during the developing ‘Okubo’ peach fruit

A: Endocarp cell wall growth at full anthesis; B: Endocarp cell wall growth at the 8th day after full anthesis; C: Endocarp cell wall growth at the 24th day after full anthesis; D: Endocarp cell wall growth at the 40th day after full anthesis P: Primary cell wall; S: Secondary cell wall

2.2 桃果实发育过程中单果质量的变化趋势

由图 1 可知, ‘京玉’和 ‘大久保’桃果实都是在盛花后 20 d 左右果实质量开始迅速上升; 到第 40 天时出现第 1 次快速生长; 之后至 56 d 质量增加缓慢, 即桃果实进入发育的第 2 阶段, 桃果实内果皮逐渐硬化和种子逐渐成熟; 然后质量又开始快速增加, 到 80 d 后进入直线增长阶段, 主要是中果皮质量的增加, 即桃果实发育进入第 3 阶段, 桃果实中果皮急剧加大, 直至长到 100 d 左右时才达到成熟时大小; 最后几天质量几乎没变, 即桃果实进入发育的第 4 阶段, 仅仅是桃果实品质的形成 (图 1)。

2.3 桃果实内果皮发育过程中可溶性总糖含量的变化

桃果实内果皮发育过程中, ‘京玉’和 ‘大久保’内果皮可溶性总糖含量有相同的变化趋势 (图 2), 都是在盛花后 24 d 达到最高峰, 在 40 d 后快速下降, 到 56 d 后降为零, 这与木质素到 60 d 左右基本沉积完毕 (图版,) 相一致。说明不同品种同一成熟期的桃果实具有相同的总糖变化趋势。

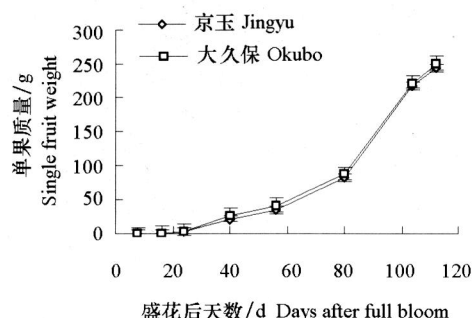


图 1 ‘京玉’和 ‘大久保’果实发育中单果质量的变化
Fig. 1 Changes of single fresh fruit weight during the developing ‘Jingyu’ and ‘Okubo’ peach fruit

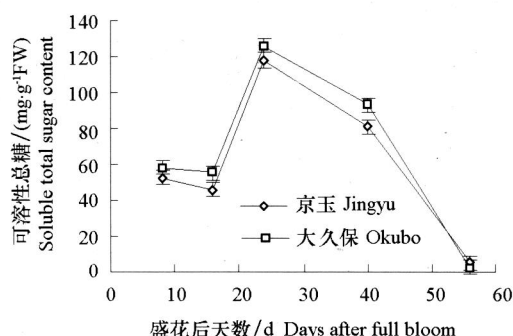


图 2 ‘京玉’和 ‘大久保’果实发育期内果皮可溶性总糖的变化
Fig. 2 Changes of endocarp soluble total sugar during the developing ‘Jingyu’ and ‘Okubo’ peach fruit

2.4 桃果实内果皮发育过程中山梨醇、葡萄糖、果糖和蔗糖含量的变化

山梨醇是蔷薇科木本果树中主要的运输态光合产物, 经过山梨醇脱氢酶和氧化酶的作用分别氧化为果糖和葡萄糖。‘京玉’和 ‘大久保’山梨醇含量在盛花后 40 d 后迅速降低 (图 3, 图 4); 而葡

葡萄糖和果糖含量在 40 d 时达到较高, 直到 40 d 之后, 糖含量迅速降低, 此时木质素开始沉积 (图版,)。

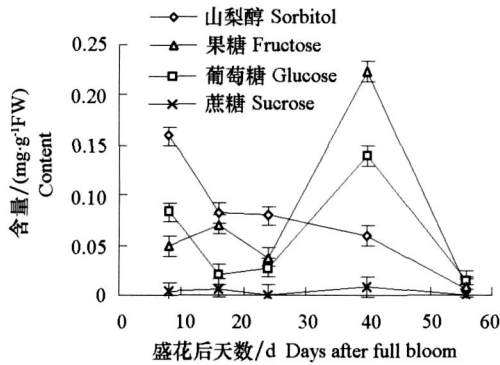


图3 ‘京玉’桃果实发育期内果皮不同糖成分含量的变化
Fig. 3 Changes of different sugar component content of endocarp during the developing of ‘Jingyu’ peach fruit

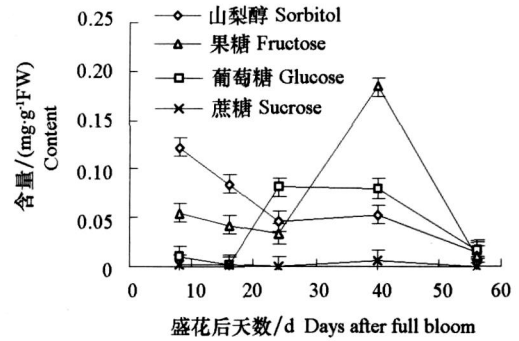


图4 ‘大久保’桃果实发育期内果皮不同糖成分含量的变化
Fig. 4 Changes of different sugar component content of endocarp during the developing of ‘Okubo’ peach fruit

2.5 桃果实内果皮发育过程中山梨醇脱氢酶 (SDH) 和氧化酶 (SOX) 活性的变化

SDH和 SOX活性都是在盛花后 24 d 达到较高值, SDH 从 24 d 后就开始急剧下降, 到 56 d 基本降为零; 而 SOX 从 40 d 后才开始迅速下降, 到 56 d 时也基本降为零。SDH 活性虽然下降较 SOX 快, 但 40 d 前仍然较相同品种的 SOX 活性高, 到 40 d 之后, 这两个酶的活性相差逐渐变小 (图 5, 图 6)。说明 ‘京玉’ 和 ‘大久保’ 桃果实在 24 d 山梨醇代谢酶活性较高, 将山梨醇氧化成果糖和葡萄糖的量较多, 与可溶性总糖含量达到峰值 (图 2) 是相一致的。

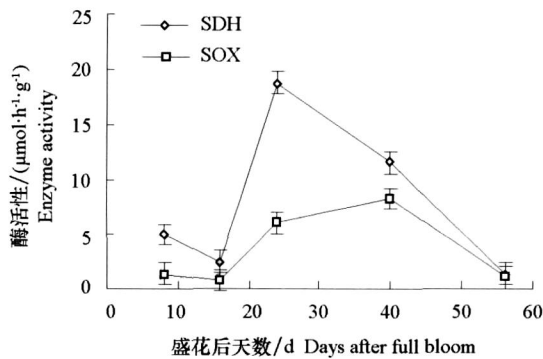


图5 ‘京玉’桃果实发育过程中内果皮山梨醇代谢酶的变化
Fig. 5 Changes of activities of sorbitol metabolic enzymes of endocarp during the developing of ‘Jingyu’ peach fruit

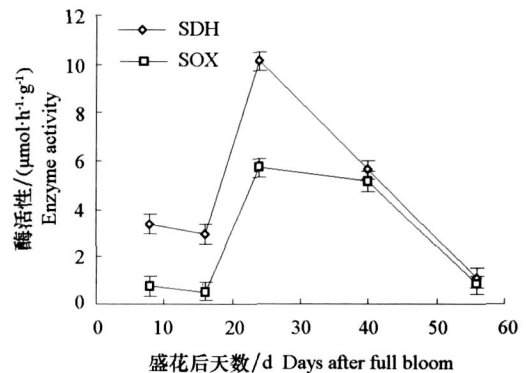


图6 ‘大久保’桃果实发育过程中内果皮山梨醇代谢酶的变化
Fig. 6 Changes of activities of sorbitol metabolic enzymes of endocarp during the developing of ‘Okubo’ peach fruit

3 讨论

3.1 桃果实内果皮自身代谢与木质素沉积的关系

桃果实内果皮的合成是一个复杂的细胞壁合成和木质素沉积的过程。果糖、葡萄糖和蔗糖是果实品质和风味物质如维生素、芳香物质和色素等合成的基础原料 (赵智中等, 2001)。糖的大量积累对前期初生壁的形成和后期木质素的沉积及纤维素和半纤维素的形成是至关重要的。蔷薇科木本果树中, 主要以山梨醇为运输态光合产物, 所以山梨醇代谢酶的活性对糖积累是至关重要的。

桃果实鲜样质量在盛花后 20~40 d内增加较快,内果皮山梨醇代谢酶 SDH 和 SOX 活性、总糖、山梨醇含量均在 20 d左右达到峰值,而果糖、葡萄糖在 40 d达到峰值(图 2,图 3),说明在 20 d左右时,SDH 和 SOX 氧化山梨醇生成的果糖和葡萄糖主要用于中、内果皮细胞的快速分裂生长发育、初生壁的扩张而消耗(图版,),并没有果糖及葡萄糖的积累,到 40 d左右时由于内果皮增长缓慢(图 1),糖分消耗较少,同时山梨醇进一步氧化生成较多的葡萄糖,所以有较多糖分的积累,以便次生细胞壁的顺利发育。由此可以推测内果皮形成可以分为两个阶段,第 1 阶段是糖的积累阶段(盛花后 20 d左右),为内果皮的正常分裂分化和后期木素沉积提供前体物质基础。在这个阶段,采取栽培措施,提高净光合产物率,引导光合产物向果实集中,有利于内果皮的正常发育,减少后期的裂核现象。第 2 个阶段是木质素沉积阶段(盛花后 40~60 d左右),在前体通过莽草酸途径合成的酚类物质,进一步沉积形成木质素。木质素的沉积直接关系到细胞壁韧性和强度。内果皮木质素合成启动过早有可能造成酚类物质累积不足,这可能是内果皮发育不良的一个重要原因。如何适当控制内果皮次生壁沉积的启动时间是一个比较复杂的问题,需要进一步深入研究。

3.2 桃果实中果皮发育与木质素沉积的关系

桃果实生长曲线属双 S 型,分 3 个阶段。第 1 阶段,果实第 1 次迅速生长期,果核木质化开始是果实生长第 1 阶段结束的标志。第 2 阶段,硬核期,在这个时期内果实体积增长缓慢,果核长到品种固有大小,并达到一定硬度,直到果实再次出现迅速生长而告结束。第 3 阶段,果实第 2 次进入迅速生长期。在盛花后 20 d左右,桃果实中果皮细胞迅速分裂(申作连等, 2005)。由电镜扫描可知(图版,),随着桃果实内果皮细胞壁初生壁的膨大,推测有可能是纤维素、半纤维素和果胶及其他蛋白相继沉积。盛花后 40 多天,用间苯三酚染色,发现有轻微的木质化,说明桃核发育已进入第 2 阶段,主要进行自身木质素代谢过程,木质素开始沉积,所以可以推测从 40~60 d内果皮累积和输入的全部糖分除一部分用于呼吸消耗之外,另一部分用于木质素的沉积和次生壁的形成,但其具体机理有待探讨。

本试验结果结合申作连等(2005)的研究,表明发育前期韧皮部可以同时向中果皮和内果皮运输光合产物,两者有基本相同的代谢途径。56 d后韧皮部物质向内果皮运输减少,向中果皮的运输逐渐增加。与此同时,内果皮的主要代谢也逐渐转变为木质素的沉积。直到 60 d后由于内果皮已基本木质化,韧皮部运输停止向内果皮运输养分,增强了向中果皮的营养运输。这个时期单果增重主要是中果皮的增重(图 1)。在生产实践中也发现,裂核的桃果实主要发生在果体较大的果实中。这些结果表明,这个时期内果皮失去合成足够木质素的碳素来源,这可能是内果皮发育不良的另外一个原因。在这个时期适当控制中果皮过度生长的生产措施(如控制水分和氮肥供应等),都可能有助于缓解桃果实的裂核问题。

References

- Alba C M, M de Forchetti S, Tigier H A. 2000. Phenoloxidase of peach (*Prunus persica*) endocarp: Its relationship with peroxidases and lignification. *Physiol Plant*, 109: 382 - 387.
- Buchanan Bob B, Gruissem Wilhelm, Jones Russell L. 2004. *Biochemistry & molecular biology of plant*. Beijing: Science Press (in Chinese)
- 布坎南 B B, 格鲁依森姆 W, 琼斯 R L. 2004. *植物生化与分子生物学*. 北京: 科学出版社.
- Buchanan B B, Gruissem W, Jones R L. 2000. *Biochemistry & molecular biology of plants*. Maryland: American Society of Plant Physiologists
- Rockville: 1286 - 1308.
- Cooke J, Morse A, Davis J. 2004. *Forestry*. Klee Cristou P. *Handbook of plant biotechnology*. United Kingdom: John Wiley and Sons: 881 - 904.
- Han Tao, Li Liping. 2001. Physiological effect of exogenous salicylic acid on peach fruit stored at low temperatures. *Plant Physiology Communications*, 37 (3): 203 - 206. (in Chinese)

- 韩 涛, 李丽萍. 2001. 外源水杨酸对冷藏桃果实的生理效应. 植物生理学通讯, 37 (3): 203 - 206
- Ge Shui-lian, Wang You-nian, Yang Ai-zhen. 2007. Effects and related preventions of pits-splitting in peach fruit. North Horticulture, (8): 20 - 21. (in Chinese)
- 葛水莲, 王有年, 杨爱珍. 2007. 裂核对桃果实品质的影响及防止措施. 北方园艺, (8): 20 - 21.
- Hideaki Yamaguchi, Yoshinori Kanayama, Shohei Yamaki. 1994. Purification and properties of NAD-dependent sorbitol dehydrogenase from apple fruit. Plant and Cell Physiology, 35 (6): 887 - 892.
- Lothar Koehler, Frank W. Telewski. 2006. Biomechanics and transgenic wood. American Journal of Botany, 93 (10): 1433 - 1438.
- Lowell C A, Tomlinson P T, Koch K E. 1989. Sucrose metabolizing enzymes in transport tissue and adjacent sink structures in developing citrus fruit. Plant Physiology, 90: 1394 - 1402.
- Ralph J, Akiyama T, Kim H. 2006. Effects of coumarate 3-hydroxylase down-regulation lignin structure. Journal of Biological Chemistry, 281 (13): 8843 - 8853.
- Shen Zuo-lian, Deng Xi-min, Zhang Wen, Liu Dong. 2005. Effects of flower thinning on the mesocarp cell division and expansion of 'Okubo' peach fruit. Acta Horticulturae Sinica, 32 (1): 84 - 86. (in Chinese)
- 申作连, 邓西民, 张 文, 刘 东. 2005. 疏花对大久保桃中果皮细胞分裂与膨大的影响. 园艺学报, 32 (1): 84 - 86.
- Susana Rasmussen-Poblete, Jorge Vald  , Maria Cecilia Gamboa. 2008. Generation and analysis of an *Eucalyptus globulus* cDNA library constructed from seedlings subjected to low temperature conditions. Electronic Journal of Biotechnology, 11: 1 - 13.
- Wang Pei-hong. 1985. Laboratory guide for basic biochemistry. Shaanxi: Shaanxi Science and Technology Press: 16 - 17. (in Chinese)
- 汪沛洪. 1985. 基础生物化学实验指导. 陕西: 陕西科学技术出版社: 16 - 17.
- Yamaki S, Asakura T. 1988. Energy coupled transport of sorbitol and other sugars into the protoplast isolated from apple fruit flesh. Plant Cell Physiology, 29: 961 - 967.
- Yamaki S, Ishiwaka K. 1986. Role of four sorbitol related enzymes and invertase in the seasonal alteration of sugar metabolism in apple tissue. Journal of the American Society for Horticultural Science, 111 (1): 134 - 137.
- Zhang Xin-sheng, Chen Hu, Fu You. 2008. Effect of light on sugar accumulation and sucrose metabolizing related enzyme activities of nectarine fruits in greenhouse. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 12 (4): 12 - 15. (in Chinese)
- 张新生, 陈 湖, 傅 友. 2008. 光照对设施油桃果实糖积累及代谢相关酶活性的影响. 河北农业大学学报, 12 (4): 12 - 15.
- Zhang Xue, Liu Zhi-min, Chen Hua-jun, Ma Huan-pu. 2008. Changes of endogenous hormones during suture softening of peach fruit. Journal of Fruit Science, 25 (2): 172 - 177. (in Chinese)
- 张 雪, 刘志民, 陈华君, 马焕普. 2008. 桃果实缝合线软化过程中内源激素的变化. 果树学报, 25 (2): 172 - 177.
- Zhao Zhi-zhong, Zhang Shang-long, Xu Chang-jie, Chen Kun-song, Liu Shuan-tao. 2001. Roles of sucrose metabolizing enzymes in accumulation of sugars in satsuma mandarin fruit. Acta Horticulturae Sinica, 28 (2): 112 - 118. (in Chinese)
- 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 陈昆松, 刘拴桃. 2001. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用. 园艺学报, 28 (2): 112 - 118.

欢迎订阅 《园艺学报》

《园艺学报》是中国园艺学会主办的学术期刊, 创刊于 1962 年, 刊载有关果树、蔬菜、观赏植物、茶及药用植物等方面的学术论文、研究简报、专题文献综述、问题与讨论、新技术新品种以及园艺研究动态与信息, 适合园艺科研人员、大专院校师生及农业技术推广部门专业技术人员阅读参考。

《园艺学报》是中国科技核心期刊, 被中国科学引文数据库 Chinese Science Citation Database 等多家重要数据库收录, 2005 年荣获第三届全国期刊奖, 2006—2008 年连续 3 年获中国科协精品科技期刊工程项目 (B 类) 资助。2008 年度引证报告《园艺学报》总被引频次 4 213 次, 影响因子 1.323。

《园艺学报》为月刊, 每月 25 日出版。2010 年每期定价 40.00 元, 全年 480.00 元。国内外公开发行, 全国各地邮局办理订阅, 国内邮发代号 82 - 471, 国外发行由中国国际图书贸易总公司承办, 代号 M448。漏订者可直接汇款至本编辑部订购。

编辑部地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号 中国农业科学院蔬菜花卉研究所《园艺学报》编辑部。

邮政编码: 100081; 电话: (010) 82109523. E-mail: yuanyixuebao@126.com; 网址: <http://www.ahs.ac.cn>