

碳水化合物、矿质元素及活性氧代谢与富士苹果水心发生的关系

杜艳民, 王文辉*, 杭 博, 佟 伟, 王志华, 贾晓辉

(中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100)

摘 要: 以新疆阿克苏地区水心(冰糖心)富士苹果为试材, 分析讨论了果实碳水化合物、矿质元素和活性氧代谢与水心发生的关系。结果表明: 果实可溶性固形物(SSC)含量越高, 水心指数越高, 呈显著正相关($P < 0.05$); 而单果质量、果实纵横径比及 L 、 b^* 、 h° 值与水水果率和水心指数相关不显著; 进一步分析发现, 与正常果实和组织相比, 水心果实和组织中, 山梨醇和蔗糖含量均显著升高, 尤其是山梨醇含量, 分别是正常果实和组织的2.19倍和2.86倍, 果糖和葡萄糖含量相对较低; 此外, 水心组织中K和B含量显著高于正常组织, 而Ca、Zn及Fe含量则显著降低; 同时, 水心果实和组织中超氧阴离子和过氧化氢含量较正常果实和组织显著升高, 分别高282.39%、68.17%和12.6%、107.62%; POD、SOD和CAT等抗氧化酶活性显著降低, MDA含量和相对电导率显著升高, 膜质过氧化水平严重。

关键词: 苹果; 水心; 碳水化合物; 矿质元素; 活性氧

中图分类号: S 661.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 10-2023-08

Relationship of Carbohydrate, Mineral Content, Reactive Oxygen Species Metabolism and ‘Fuji’ Apple Watercore Occurred

DU Yan-min, WANG Wen-hui*, HANG Bo, TONG Wei, WANG Zhi-hua, and JIA Xiao-hui

(Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng, Liaoning 125100, China)

Abstract: The relationships of carbohydrate, mineral content and reactive oxygen species metabolism and watercore occurred of Fuji apple from Aksu, Xinjiang were investigated. The results showed that the watercore incidence positively correlated with soluble solids content ($P < 0.05$), but it did not show significant correlation with fruit weight, aspect ratio, L value, b^* value, h° value. Furthermore, higher sorbitol, sucrose and lower fructose, glucose concentrations were found in watercore fruits and tissues, especially for sorbitol, which is 2.19 times and 2.86 times of watercore-free fruits and tissues respectively. Moreover, higher accumulation of K and B and lower content of Ca, Zn and Fe were involved with watercore incidence. Meanwhile, in the watercored fruit and tissue, superoxide radical and H_2O_2 content were significantly higher than those in watercore-free apples, which were 282.39%, 68.17% and 12.6%, 107.62% higher for fruits and tissues, respectively. POD, SOD and CAT activities were significantly decreased in watercore fruits and tissues. MDA content and relative electrolytic conductivity were

收稿日期: 2015-07-13; 修回日期: 2015-10-14

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wangwenhui@caas.cn)

significantly increased, indicating the serious membrane peroxidation.

Key words: apple; watercore; carbohydrate; mineral element; reactive oxygen species

苹果水心 (Watercore), 俗称“冰糖心”, 是西北地区富士苹果中极易发生的一种生理性失调现象, 其主要症状为果肉局部组织褐变、透明化, 多发生在心室周围的维管束附近, 也可发生在果实的任何部位 (Marlow & Loescher, 1985)。由于“冰糖心”常发生在成熟度相对较高的果实中, 品质好, 味道佳, 而深受消费者喜爱, 因此“冰糖心”常被消费者认为是果实品质好的标志而购买, 品牌效益和市场价值显著, 但目前对其形成和发生的机理尚不明确。

Bowen 和 Watkins (1997) 的研究发现, 采收期晚, 富士苹果果实山梨醇含量高及果实自身 Ca 等矿质元素的缺乏会引发“冰糖心”的形成; 另外, 气调贮藏中果实果心和果肉组织中氧气含量低, 乙醛、乙醇和乙酸乙酯的积累会引发褐变 (Argenta et al., 2002a, 2002b), 同时高 CO₂ 下, 三羧酸循环 (TCA) 中琥珀酸代谢被抑制, 琥珀酸的积累亦可导致组织褐变 (Knee, 1973)。但也有研究表明乙醇、乙醛、乙酸乙酯和琥珀酸并不是造成果实组织褐变的最直接因素 (Smagula & Bramlage, 1977; Volz et al., 1998; Fernández-Trujillo et al., 2001)。有研究表明二苯胺 (DPA) 处理可有效缓解贮藏期间果肉褐变的发生 (Meheriuk, 1984; Argenta et al., 2002a; de Castro et al., 2008), 由此推测, 果肉褐变可能与过氧化反应关系密切, 同时也已有研究表明在苹果 (Gong et al., 2001; de Castro et al., 2008) 和梨 (Veltman et al., 1999, 2000; Frank et al., 2003, 2007) 部分品种中, 抗氧化物尤其是抗坏血酸, 以及抗氧化酶系统与果实组织褐变关系密切。

本试验中以新疆阿克苏产区的“冰糖心”富士苹果为试材, 系统分析比较了“冰糖心”果实和正常果实 (无水心症状), 水心果肉组织和正常果肉组织其主要碳水化合物、矿质元素及活性氧代谢差异, 为明确新疆阿克苏地区富士苹果“冰糖心”的形成和发生规律提供一定的理论基础, 进而为生产中有针对性地促进“冰糖心”果实生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2014 年 10 月 10 日在北京新发地果品批发市场购买新疆阿克苏产区“冰糖心”富士苹果, 并于当天运回中国农业科学院果树研究所 (辽宁兴城)。次日, 随机选取无病虫害和无机械伤的果实 50 个进行果实品质指标测定和水心发生情况调查。

将水心级别分为 4 级。0 级: 无水心现象的发生 (正常果实); 1 级: 只发生在心皮组织和附近维管束区域; 2 级: 在果核周围呈放射状分布, 细长放射状宽度不超过 5 mm, 长度不超过 20 mm, 不连片; 3 级: 在果核周围呈放射状分布, 细长放射状水心宽度超过 5 mm, 少量连片, 未延伸到果皮 (张鸿, 2010)。

水心果率 (%) = 水心果数/调查总数 × 100。

水心指数 = \sum (水心果数 × 级数) / (调查总数 × 最高级) × 100。

选取水心果实 (3 级) 和正常果实 (0 级) 各 25 个, 沿果实中间部位横切厚度 0.5 cm 薄片, 去掉果皮, 并将剩余部分沿果心线去除果心作为果肉组织; 另取水心果实 (3 级) 20 个, 沿果实中间部位横切厚度 0.5 cm 薄片, 分别切取水心组织 (褐变、透明部分) 和正常组织, 分别取一部分用刀切碎混匀并立即放入液氮速冻, 于 -80 °C 低温冰箱中保存, 用于相关酶活性、活性氧及不同成分糖

含量的测定, 另一部分利用组织破碎机制组织匀浆, 用于矿质元素含量的测定。

上述样品制备均设 3 次重复。

1.2 测定指标与方法

果实可溶性固形物 (Soluble solids content, SSC) 含量采用 PR-101α (日本, ATAGO) 手持折光仪测定。果皮色差利用 CR-400 色差计 (日本, MINOLTA 公司) 测定。 L^* 、 a^* 、 b^* 色度空间模式, 漫射照明, 0°观察角, 测量直径 8 mm, D65 光源, 白色标准色校准。在 “CIE Lab” 表色系中, L^* 代表着明度, 从明亮 (此时 $L^* = 100$) 到黑暗 (此时 $L^* = 0$) 之间变化; a^* 值表示颜色从绿色 ($-a^*$) 到红色 ($+a^*$) 之间变化; b^* 正值越大越偏向黄色; h° (色调角) 越大表示果皮越绿, h° 越小表示果皮越黄。单果质量和果实纵横径分别由托盘天平和游标卡尺测定。

相对电导率参照鞠志国等 (1988) 的方法测定; 丙二醛含量参照赵世杰等 (1994) 的方法测定。氮元素利用福斯公司 kjeltec2300 的自动定氮仪测定, 方法参见 GB/T 5009.5-2010; 磷、钾、钙、镁、硼等元素采用岛津 ICPE-9000 等离子发射光谱仪测定, 方法参见 NY/T 1653-2008。

SOD、CAT 和 POD 等粗酶液的提取参照 Grace 和 Logan (1996) 的方法; SOD 活性利用氮蓝四唑 (p-Nitro-Blue tetrazolium chloride, NBT) 比色法测定 (李合生, 2000); CAT 活性参照 Knörzner 等 (1996) 的方法测定; POD 活性参照 Maehly 和 Chance (1954) 的方法测定; APX 活性参照 Nakano 和 Asada (1981) 的方法测定; H_2O_2 含量参照 Patterson 等 (1984) 的方法测定; 超氧阴离子的提取及测定均参照李忠光和龚明 (2005) 的方法。果糖、蔗糖和山梨醇的提取和测定均参照李合生 (2000) 的方法。

数据采用 Excel 2007 处理, 利用 SPSS 13.1 统计软件对数据进行显著性分析和相关性分析, 所用数据均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 果实可溶性固形物含量与水心发生的关系

研究发现, 果实 SSC 含量越高, 水心指数越高, 二者呈显著正相关; 而单果质量、果实纵横径比, 以及 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 h° 值与水心果率和水心指数均未达显著相关水平 (表 1)。

表 1 苹果水心果率和水心指数与品质指标相关性分析
Table 1 Correlation analysis among watercore ratio, watercore incidence, internal quality and color index of Fuji apple

指标 Index	单果质量 Fruit weight	纵横径比 Aspect ratio	SSC	L^*	a^*	b^*	h°
水心果率 Watercore ratio	- 0.6283	- 0.8187	0.9556	- 0.5145	0.9867	- 0.7417	- 0.7889
水心指数 Watercore incidence	- 0.4445	- 0.9238	0.9968*	- 0.3161	0.9280	- 0.5784	- 0.6368

* $P < 0.05$.

2.2 水心与正常果实糖组分含量差异

研究发现, 与正常果实和组织相比, 水心果全果肉和水心组织中, 其山梨醇和蔗糖含量均显著升高, 尤其是山梨醇含量, 是正常果实和组织的 2.19 倍和 2.86 倍, 果糖和葡萄糖含量显著降低 (表 2)。可见, 果实中山梨醇和蔗糖含量的大量积累与水心发生关系密切。

表 2 水心与正常果实和组织主要糖类物质含量比较
Table 2 Comparison of sugar concentrations in watercore and watercore-free Fuji apple and flesh tissue

类型 Type	蔗糖/% DW Sucrose	果糖/% DW Fructose	山梨醇/% DW Sorbitol	葡萄糖/% DW Glucose
水心组织 Watercore tissue	28.08 a	59.61 b	7.20 a	11.69 b
正常组织 Watercore-free tissue	23.26 b	65.92 a	2.52 b	14.05 a
水心全果肉 Watercore whole fruit	23.42 a	59.47 b	6.23 a	12.43 b
正常全果肉 Watercore-free whole fruit	18.34 b	68.34 a	2.85 b	14.58 b

注：不同小写字母表示相同部位不同类型间差异达 5%显著水平。
Note: Different small letters in same position indicated significant differences at 5% level.

2.3 水心与正常果实中矿质元素含量差异

研究发现，发生水心的果实和组织中，其 B 元素含量均显著高于正常果实和组织，而 Zn 和 Fe 含量则显著低于正常果实和组织，其中水心组织中 Fe 元素的含量仅为正常组织的约 1/3；同时，与正常组织相比，水心组织中 K 含量显著增高，Ca 含量显著降低（表 3）。

表 3 水心与正常果实和组织矿质营养含量的差异
Table 3 Differences of mineral concentrations in watercore and watercore-free Fuji apple fruit and tissue

类型 Type	g · kg ⁻¹				mg · kg ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Zn	Fe	Mn	B
水心组织 Watercore tissue	3.097 a	0.621 a	8.935 a	0.312 b	1.376 b	7.899 b	2.021 a	19.596 a
正常组织 Watercore-free tissue	3.015 a	0.629 a	8.116 b	0.537 a	1.852 a	21.720 a	2.204 a	11.886 b
水心全果肉 Watercore whole fruit	3.812 a	0.698 a	8.700 a	0.403 a	1.831 b	22.312 b	3.465 a	17.144 a
正常全果肉 Watercore-free whole fruit	3.255 a	0.629 a	8.863 a	0.470 a	3.556 a	35.597 a	4.060 a	12.877b

注：不同小写字母表示相同部位不同类型间差异达 5%显著水平。
Note: Different small letters in same position indicated significant differences at 5% level.

2.4 水心与正常果实活性氧和膜质过氧化水平差异

研究发现，水心果实和组织中超氧阴离子和过氧化氢含量均显著高于正常果实和组织（ $P < 0.05$ ），分别比正常果实和组织高 282.39%、68.17%和 12.6%、107.62%；水心果实的 MDA 含量和相对电导率值显著高于正常组织（表 4），说明细胞膜透性增强。由此推测果实中活性氧积累对细胞膜系统的破坏可能是诱发富士苹果水心发生的主要原因。

表 4 水心与正常果实和组织活性氧含量与膜质过氧化水平比较
Table 4 Comparison of reactive oxygen species concentrations and membrane peroxidation level in watercore and watercore-free Fuji apple and flesh tissue

类型 Type	丙二醛含量/ (nmol · mg ⁻¹) MDA content	相对电导率/ Relative electrical conductivity	超氧阴离子含量/ (nmol · g ⁻¹ FW) Superoxide anion content	过氧化氢含量/ (ng · g ⁻¹ FW) H ₂ O ₂ content
水心组织 Watercore tissue	6.202 a	61.89 a	0.3366 a	99.43 a
正常组织 Watercore-free tissue	5.288 b	56.32 b	0.2988 b	47.89 b
水心全果肉 Watercore whole fruit	7.214 a	45.97 a	0.6256 a	71.96 a
正常全果肉 Watercore-free whole fruit	4.264 b	44.42 a	0.1636 b	42.79 b

注：不同小写字母表示相同部位不同类型间差异达 5%显著水平。
Note: Different small letters in same position indicated significant differences at 5% level.

2.5 水心和正常果实主要抗氧化酶活性差异

水心果实和组织抗氧化酶系统的 SOD 和 CAT 酶活性显著低于正常果实和组织, 分别较正常果实和组织低 15.53%、45.64%和 25.02%、33.60 %, 同时水心组织中 POD 酶活性较正常组织低 41.67% ($P < 0.05$), 主要保护酶活性的降低也一定程度上促进了果实过氧化氢和超氧阴离子的积累; 而水心果实和组织中抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 显著高于正常果实和组织, 分别高 75.15%和 81.41% (表 5)。

表 5 水心与正常果实和组织主要抗氧化酶活性比较
Table 5 Comparison of key antioxidant enzyme activities in watercore and watercore-free Fuji apple and flesh tissue

类型 Type	SOD/ (U · mg ⁻¹)	POD/ (μmol · min ⁻¹ · mg ⁻¹)	CAT/ (nmol · min ⁻¹ · mg ⁻¹)	APX/ (nmol · min ⁻¹ · mg ⁻¹)
水心组织 Watercore tissue	61.06 b	0.0056 b	1.751 b	15.42 a
正常组织 Watercore-free tissue	81.47 a	0.0096 a	2.637 a	8.50 b
水心全果肉 Watercore whole fruit	51.68 b	0.0195 a	1.567 b	28.97 a
正常全果肉 Watercore-free whole fruit	61.18 a	0.0168 a	2.883 a	16.54 b

注: 不同小写字母表示相同部位不同类型间差异达 5%显著水平。
Note: Different small letters in same position indicated significant differences at 5% level.

3 讨论

3.1 碳水化合物含量与水心发生的关系

本研究中发现新疆阿克苏地区富士苹果水心指数与可溶性固形物含量呈显著正相关, 进一步分析比较了水心与正常果实和组织中蔗糖、果糖、葡萄糖和山梨醇等主要碳水化合物含量, 发现水心果实和组织中山梨醇和蔗糖含量显著高于正常果实和组织, 其中水心果实和组织山梨醇含量分别是正常果实和组织的 2.19 倍和 2.86 倍。Williams (1966) 研究发现随着苹果果实的不断成熟, 果实水心果率不断升高, 山梨醇含量也显著增加; 同期采收的果实中, 水心果实山梨醇含量是正常果实的 2 倍, 本研究结果与之相似; 同时 Williams (1966) 还发现水心发生严重的果实横切时, 果心周边水心组织分泌物中山梨醇含量约是正常组织分泌物中的 4 倍, 因此推测组织细胞间隙中山梨醇含量的大量积累与水心发生关系密切; 有研究认为液泡膜和质膜等细胞膜系统对山梨醇渗透性的改变可能是导致水心发生的主因 (Yamaki et al., 1976; Marlow & Loescher, 1985)。果实中相对较高的碳水化合物含量, 尤其是山梨醇含量的提高一定程度上诱发了果实水心现象的发生, 但糖等碳水化合物代谢的变化与水心发生的关系机理仍不明确, 需进一步分析研究。

3.2 矿质元素含量与水心发生的关系

李宝江等 (1995) 对苹果果实内 Ca、K、P、Mg、Zn 和 Mn 等元素与苹果品质的关系进行研究, 结果表明果实 Zn 含量与可溶性固形物呈极显著负相关; 徐慧等 (2014) 的研究表明, 主要矿质元素与可溶性固形物的相关性顺序为 $P > K > Ca > B$; 在 ‘新红星’ 苹果矿质营养与果实品质的关系研究中发现, 果实钙含量高可以减少果品贮藏期间的生理病害 (Fallahi & Brenda, 1996); 同时, 已有研究表明 Ca 元素的缺乏是引发苹果水心的主要原因之一 (Fukuda, 1984)。本研究中水心组织中 Ca 元素含量显著低于正常组织, 这与人研究结果基本一致。同时水心组织中 K 和 B 含量均显著高于正常组织 ($P < 0.05$), 而 Zn 和 Fe 元素含量则相对较低; 结合本研究中水心果实和组织的可溶

性固形物含量显著提高,推测正常果实和组织与水心果实和组织中可溶性固形物和矿质元素含量的差异一定程度上诱发了苹果水心的发生。

3.3 活性氧代谢与水心病发生的关系

在植物组织中,活性氧主要包括超氧阴离子自由基,过氧化氢(H_2O_2)以及羟基自由基($\cdot OH$),这些活性氧能以极强的氧化性使蛋白质结构遭到破坏,并对质膜产生过氧化反应,引起新陈代谢功能的丧失,甚至导致细胞死亡。 H_2O_2 和超氧阴离子的过量积累,一方面两者可以相互反应,生成致命的羟基自由基,直接引发膜质过氧化,严重时可导致植物细胞死亡(蒋明义, 1993);另一方面 H_2O_2 的过量积累会抑制卡尔文循环中的酶,降低叶绿体中的 AsA (抗坏血酸)、氧化铁氧还素,进而影响果实正常的生理代谢(Nakano & Asada, 1981)。为应对 ROS 产生的危害,细胞本身又存在一套系统的 ROS 消除机制,常见的抗氧化酶有 POD、SOD、CAT 和 APX 等,其中 SOD 是消除超氧阴离子自由基的唯一酶,CAT、POD 和 APX 主要清除 H_2O_2 (Seel et al., 1992)。本研究中通过分析比较水心果实和组织与正常果实中主要活性氧离子含量和主要抗氧化酶活性差异,初步认为水心果实和组织中主要抗氧化酶 SOD、CAT 和 POD 酶活性的显著降低,造成果实 H_2O_2 和超氧阴离子的大量积累,产生膜质过氧化反应,细胞 MDA 含量显著增高,细胞膜系统稳定性被打破,细胞透性增大,进而诱发生理代谢发生紊乱,造成水心现象的发生。APX 清除活性氧的作用机理是催化电子供体抗坏血酸(AsA)与氧化剂 H_2O_2 反应形成单脱氢抗坏血酸(MDHA)(Welinder, 1991),本研究中,水心果实和组织中 APX 酶活性显著高于正常果实和组织,可能与水心果实和组织中超高含量的 H_2O_2 有关。

综上所述,新疆阿克苏地区富士苹果水心的发生一方面与果实较高的可溶性固形物含量有关,进一步研究表明主要是山梨醇和蔗糖等糖组分的大量积累;同时与有利于果实中可溶性固形物含量提高的 K 和 B 等矿质元素含量的提高也有一定相关。另一方面,苹果水心的发生与果实中超氧阴离子和过氧化氢含量的升高,抗氧化酶 POD、SOD 及 CAT 的酶活性的降低也密切相关。因此,进一步探讨采前栽培管理措施对苹果品质和水心发生的影响及其对果肉组织褐变相关基因表达调控,是今后研究的重点和切入点。

References

- Argenta L, Fan X, Mattheis J. 2002a. Responses of 'Fuji' apples to short and long duration exposure to elevated CO_2 concentration. *Postharvest Biology and Technology*, 24 (1): 13 - 24.
- Argenta L, Fan X, Mattheis J. 2002b. Impact of watercore on gas permeance and incidence of internal disorders in 'Fuji' apples. *Postharvest Biology and Technology*, 24 (2): 113 - 122.
- Bowen J H, Watkins C B. 1997. Fruit maturity, carbohydrate and mineral content relationships with watercore in 'Fuji' apples. *Postharvest Biology and Technology*, 11 (1): 31 - 38.
- de Castro E, Barrett D M, Jobling J, Mitcham E J. 2008. Biochemical factors associated with a CO_2 -induced flesh browning disorder of Pink Lady apples. *Postharvest Biology and Technology*, 48 (2): 182 - 191.
- Fallahi E, Brenda R S. 1996. Inter relations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in 'Delicious' apples. *Journal of Tree Fruit Production*, 1 (1): 15 - 25.
- Fernández-Trujillo J P, Nock J F, Watkins C B. 2001. Superficial scald, carbon dioxide injury, and changes of fermentation products and organic acids in 'Cortland' and 'Law Rome' apples after high carbon dioxide stress treatment. *Journal of American Society Horticultural Science*, 126 (2): 235 - 241.

- Frank C, Baetens M, Lammertyn J, Verboven P, Davey M W, Nicolai B M. 2003. Ascorbic acid concentration in cv. Conference pears during fruit development and postharvest storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (16): 4757 - 4763.
- Frank C, Lammertyn J, H, Q T, Verboven P, Verlinden B, Nicolai B M. 2007. Browning disorders in pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 43 (1): 1 - 13.
- Fukuda H. 1984. Relationship of watercore and calcium to the incidence of internal storage disorders of 'Fuji' apple fruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 53 (3): 298 - 302.
- Gong Y, Toivonen P M A, Lau O L, Wiersma P A. 2001. Antioxidant system level in 'Braeburn' apple is related to its browning disorder. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 42 (4): 259 - 264.
- Grace S C, Logan B A. 1996. Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species. *Plant Physiology*, 112 (4): 1631 - 1640.
- Jiang Ming-yi. 1993. Generation of hydroxyl radical in plants and its relation to the initiation of lipid peroxidation. *Plant Physiology Communications*, 29 (4): 300 - 305. (in Chinese)
- 蒋明义. 1993. 植物体内经自由基的产生及其与脂质过氧化作用启动的关系. *植物生理学通讯*, 29 (4): 300 - 305.
- Ju Zhi-guo, Zhu Guang-lian, Cao Zong-xun. 1988. The induction of flesh browning in 'Laiyang Chili' (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) by high CO₂ under controlled atmosphere storage. *Acta Horticulturae Sinica*, 15 (4): 229 - 232. (in Chinese)
- 鞠志国, 朱广廉, 曹宗巽. 1988. 气调贮藏条件下CO₂对莱阳茡梨果肉褐变的影响. *园艺学报*, 15 (4): 229 - 232.
- Knee M. 1973. Effects of controlled atmosphere storage on respiratory metabolism of apple fruit tissue. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24 (10): 1289 - 1298.
- Knörzer O C, Burner J, Boger P. 1996. Alterations in the antioxidative system of suspension-cultured soybean cells (*Glycine max*) induced by oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, 97 (2): 388 - 396.
- Li Bao-jiang, Lin Gui-rong, Liu Feng-jun. 1995. Relationship between fruit quality, storability and mineral composition of apples. *Journal of Fruit Science*, 12 (3): 141 - 145. (in Chinese)
- 李宝江, 林桂荣, 刘凤君. 1995. 矿质元素含量与苹果风味品质及耐贮性的关系. *果树科学*, 12 (3): 141 - 145.
- Li He-sheng. 2000. The principle and technology of plant physiology and biochemistry experiment. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社.
- Li Zhong-guang, Gong Ming. 2005. Improvement of measurement method for superoxide anion radical in plant. *Acta Botanica Yunnanica*, 27 (2): 211 - 216. (in Chinese)
- 李忠光, 龚 明. 2005. 植物中超氧阴离子自由基测定方法的改进. *云南植物研究*, 27 (2): 211 - 216.
- Maehly A C, Chance B. 1954. Catalases and peroxidases. *Methods of Biochemical Analysis*, (1): 357 - 424.
- Marlow G C, Loescher W H. 1985. Sorbitol metabolism, the climacteric, and watercore in apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110 (5): 676 - 680.
- Meheriuk M. 1984. Effectsof some postharvest and storage treatments on the incidence of flesh browning in-controlled-atmosphere-stored 'Delicious' apples. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 109 (3): 290 - 293.
- Nakano Y, Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22 (5): 867 - 880.
- National Technical Committee on Food Industry of Standardization Administration of China. 2010. GB/T 5009.5-2010 Determation of protein in foods. Beijing: Standards Press of China: 1 - 3. (in Chinese)
- 全国食品工业标准化技术委员会. 2010. GB/T 5009.5-2010 食品中蛋白质的测定. 北京: 标准出版社: 1 - 3.
- Patterson B D, Macrae E A, Ferguson I B. 1984. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV) . *Analytical Biochemistry*, 139 (2): 487 - 49.
- Seel W E, Hendry G A F, Lee J A. 1992. Effects of desiccation on some oxygen processing enzymes and antioxidants in mosses. *Journal of Experimental Botany*, 43 (253): 1031 - 1037.
- Smagula J M, Bramlage W J. 1977. Acetaldehyde accumulation: Is it a cause of physiological deterioration of fruits? *Hort Science*, 12: 200 - 203.

- Supervision and Testing Center for Vegetable Quality, Ministry of Agriculture of China (Beijing), Institute of Quality Standards and Testing Technology for the Chinese Academy of Agricultural Sciences. 2008. NY/T 1653-2008 Determination for mineral elements in vegetables, fruits and derives products by ICP-AES method. Beijing: China Agriculture Press: 1 - 3. (in Chinese)
- 农业部蔬菜品质监督检验测试中心(北京), 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所. 2008. NY/T 1653-2008 蔬菜、水果及制品中矿质元素的测定——电感耦合等离子体发射光谱法. 北京: 中国农业出版社: 1 - 3.
- Veltman R H, Sanders M G, Persijn S T, Pempelenbos H W, Oosterhaven J. 1999. Decreased ascorbic acid levels and brown core development in pears (*Pyrus communis* L. cv. Conference). *Physiologia Plantarum*, 107 (1): 39 - 45.
- Veltman R H, Kho R M, Schaik A C R, Van Sanders M G, Oosterhaven J. 2000. Ascorbic acid and tissue browning in pears (*Pyrus communis* L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19 (2): 129 - 137.
- Volz R K, Biasi W V, Grant J A, Mitcham E J. 1998. Prediction of controlled atmosphere-induced flesh browning in 'Fuji' apple. *Postharvest Biology and Technology*, 13 (2): 97 - 107.
- Welinder K G. 1991. Bacterial catalase-peroxidases are gene duplicated members of the plant peroxidase super family. *Biochem Biophys Acta*, 1080 (3): 215 - 220.
- Williams M W. 1966. Relationships of sugars and sorbitol to watercore in apples. *Proceedings of American Society for Horticultural Science*, 88: 67 - 75.
- Xu Hui, Chen Xin-xin, Wang Yong-zhang, Liu Cheng-lian, Yuan Yong-bing. 2014. Correlation and path analysis between mineral element and quality indicators of 'Fuji' apple fruits. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30 (25): 116 - 121. (in Chinese)
- 徐 慧, 陈欣欣, 王永章, 刘成连, 原永兵. 2014. '富士' 苹果果实矿质元素与品质指标的相关性与通径分析. *中国农学通报*, 30 (25): 116 - 121.
- Yamaki S, Kajiura I, Omura M, Matsuda K. 1976. Watercore in Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehder var. 'Culta' Rehder). II. Chemical changes in watercored tissue. *Scientia Horticulturae*, 4 (3): 271 - 277.
- Zhang Hong. 2010. Research of the watercore change during Fuji fruit storage [M. D. Dissertation]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 张 鸿. 2010. 富士苹果水心病在贮存过程中变化规律研究 [硕士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- Zhao Shi-jie, Xu Chang-cheng, Zou Qi, Meng Qing-wei. 1994. Improvements of method for measurement of malondialdehyde in plant tissue. *Plant Physiology Communications*, 30 (3): 207 - 210. (in Chinese)
- 赵世杰, 许长成, 邹 琦, 孟庆伟. 1994. 植物组织中丙二醛测定方法的改进. *植物生理学通讯*, 30 (3): 207 - 210.

征 订

欢迎订阅 2016 年《中国种业》

《中国种业》是由农业部主管, 中国农业科学院作物科学研究所和中国种子协会共同主办的全国性、专业性、技术性种业科技期刊。为全国中文核心期刊、全国优秀农业期刊。

刊物目标定位: 以行业导刊的面目出现, 并做到权威性、真实性和及时性。覆盖行业范围: 大田作物、蔬菜、花卉、林木、果树、草坪、牧草、特种种植、种子机械等, 信息量大, 技术实用。

读者对象: 各级种子管理、经营企业的领导和技术人员, 各级农业科研、推广部门人员, 大中专农业院校师生, 农村专业户和广大农业生产经营者。

月刊, 大 16 开, 每期 8 元, 全年 96 元。国内统一刊号: CN 11-4413/S, 国际标准刊号: ISSN 1671-895X, 全国各地邮局均可订阅, 亦可直接汇款至编辑部订阅, 挂号需每期另加 3 元。邮发代号: 82-132

地 址: (100081) 北京市中关村南大街 12 号 中国种业编辑部

电 话: 010-82105796 (编辑部) 010-82105795 (广告发行部)

传 真: 010-82105796; 网址: www.chinaseedqks.cn; E-mail: chinaseedqks@caas.cn, chinaseedqks@163.com