

苹果果肉颜色及褐变多样性研究

杨巍^{1,*}, 赵锁成¹, 和阳¹, 张素敏¹, 伊凯¹, 刘志¹, 徐贵轩¹,
董文轩², 温雨彬³

(¹ 辽宁省果树科学研究所, 辽宁熊岳 115009; ² 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110866; ³ 吉林省舒兰市法特农业技术推广站, 吉林舒兰 132619)

摘要: 为了评价苹果品种在果实鲜切后果肉颜色变化及褐变程度, 寻找抗褐变品种, 选用 40 个品种的果实进行了果肉颜色和褐变多样性的研究, 并进行差异显著性和聚类分析。结果表明: 苹果果肉颜色可分为黄、白、绿 3 种; 初始色泽为黄色的切分 1 h 后大部分变为黄褐色; 初始色泽为绿色和白色的, 切分 1 h 后一般呈灰褐色, 也有的呈黄褐色; 苹果果实切分后褐变现象普遍发生, 表型多样, 品种间差异较大, 而且成熟期越晚褐变渐轻。苹果品种华红、华冠是优良的抗褐变种质资源。

关键词: 苹果; 品种; 果肉褐变; 多样性; 抗褐变

中图分类号: S 661.1 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2010) 11-1729-06

The Pulp Color and Browning Diversity in Apple

YANG Wei^{1,*}, ZHAO Suo-cheng¹, HE Yang¹, ZHANG Su-min¹, YI Kai¹, LIU Zhi¹, XU Gui-xuan¹,
DONG Wen-xuan², and WEN Yu-bin³

(¹Liaoning Institute of Pomology, Xiongyue, Liaoning 115009, China; ²College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; ³Fate Town Agricultural Technology Promotion Station, Shulan, Jilin 132619, China)

Abstract: In order to evaluate the pulp color and browning degrees about apple cultivars after the fresh-cut fruit treatment and look for the anti-browning resources, 40 apple cultivars were employed to carry out the research in the pulp color and browning diversity and then the significant and cluster analyses were carried out. The results showed that the main types of apple pulp color are yellow, white and green. One hour later after the fresh-cut fruit treatment, the yellow pulp turned into yellow-brown, the green and white pulp became grey-brown mostly or turned into yellow-brown. The pulp browning phenomenon in apple cultivars occurred widely with the phenotypic diversity. Among the cultivars there were obviously differences in the pulp browning degree, especially for the cultivars with different ripened stage, in which the later the mature stage was, the less the browning was. ‘Huahong’ and ‘Huaguan’ were the much better anti-browning cultivars.

Key words: apple; cultivar; pulp browning; diversity; anti-browning

果肉褐变是苹果品种普遍存在的不良性状, 在采收成熟度把握不当(石建新等, 1999)、组织

收稿日期: 2010-07-06; 修回日期: 2010-10-26

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(20092020)

* E-mail: ywsys@yeah.net

衰老 (Cheeseman, 1993)、冻害、冷害、贮藏环境气体比例失调 (Anon, 1994)、机械伤害、病原微生物侵染、钙含量低 (杨增军 等, 1995) 等逆境条件下均可能发生, 遍及果实生长发育、贮藏加工过程中的各个环节。

果肉褐变是由酚类物质氧化造成的, 褐化导致果肉质劣变和酚类物质大量损失。寻找抗褐变资源可为苹果生产中品种选择、种质创新、新品种培育及筛选有效的褐变防控技术奠定基础。褐变研究由来已久, 但大多是围绕果实酚类物质发育生理、氧化作用 (Chinnici et al., 2004) 和酶的适宜环境以及酚含量、酶活性变化与褐变发生的关系 (Amiot et al., 1992; Cheng & Crisosto, 1995; Larrigaudiere et al., 1998), 乃至影响褐变发生的因素与防止其发生的技术措施 (田世平等, 2001) 展开的。前人的研究大多是针对整果贮藏保鲜进行的, 对机械切分后的果块研究较少且不够深入 (刘新有 等, 2007)。目前还没有苹果资源果肉颜色、切分后变化、褐变程度的生物学多样性的详尽调查。

作者以40个苹果品种果实为试材, 调查果肉颜色、褐变多样性, 进一步发掘耐褐变品种, 期为苹果资源评价、种质创新及栽培生产实践服务。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2009年, 于辽宁省果树科学研究所苹果资源圃内采集立地条件相同、管理水平一致、无机械损伤和病虫害的大小相近、着色均匀、位置相似的夏红等40个苹果品种 (表2) 的成熟果实, 用蒸馏水清洗干净, 擦干, 于室温 (25℃) 条件下放置1h, 待材料与环境条件平衡稳定后, 于阴阳果面交界处取材, 去皮、除心, 纵向切成约1mm厚度均匀的月牙形果片, 用培养皿盛装, 置室温条件下, 于0、1h进行果肉色泽调查。对果实果肉颜色、切分后果肉颜色、色泽变化特性及褐变指数4个表型性状数据进行多样性分析, 对褐变指数进行聚类分析和不同熟期品种褐变指数的差异显著性分析。

1.2 调查项目及计算方法

褐变指数调查参照文献 (杨增军 等, 1995; 田世平等, 2001; 寇莉苹 等, 2004; 张有林和张润光, 2007) 中的方法并略有改动, 依切面上的褐变面积及程度划分为5级。0级: 无褐变, 切面保持初始色泽和质地; 1级: 轻度褐变, 切面轻微褐化; 2级: 中度褐变, 明显发生褐变, 但初始色泽和质地仍清晰可见; 3级: 严重褐变, 初始色泽和质地很难辨别、模糊不清; 4级: 极度褐变, 初始色泽及质地已无法辨认, 呈溃烂状。

每次调查选10个果片, 定时记录其褐变级数及每级果片数。褐变指数 = Σ (褐变级别 × 该级别果片数) / 4 × 调查果片数, 其中: 4代表褐变的最重级次。

1.3 数据统计分析

采用Excel 2003进行基础数据的整理。

利用DPS7.05统计软件进行聚类、差异显著性和相关性分析。表型性状聚类分析采用多元统计分析中的系统聚类方法。差异显著性分析采用完全随机区组单因素统计方法, 多样性指数采用专业统计中的多样性指数统计方法。

数值型性状褐变指数直接取测定值。果肉初始色泽、切分1h后果肉色泽及切分前后果肉颜色变化3个非数值型性状依据《苹果种质资源描述规范和数据标准》 (浦富慎, 1990) 进行描述评价,

适当加以改进, 非数值型性状赋值转换见表 1。

计算 Simpson 遗传多样性指数 (D') 和 Shannon-Wiener 遗传多样性指数 (H') (唐启义和冯明光, 2002)。

表 1 非数值型性状赋值
Table 1 Quantified value of traits of nonnumeric types

性状 Trait	赋值 Quantified value
果肉色泽 Pulp color	白=1; 绿白=2; 淡绿白=3; 淡黄白=4; 黄=5; 淡黄=6; 橙黄=7; 绿=8; 淡绿=9; 黄绿=10; 淡绿=11 White=1; Green white=2; Weak green white=3; Weak yellow white=4; Yellow=5; Weak yellow=6; Orange yellow=7; Green=8; Weak green=9; Yellow green=10; Weak green=11
果肉颜色变化 The change of pulp color	白→黄白=1; 白→黄=2; 白→黄褐=3; 白→灰褐=4; 白→深灰褐=5; 绿白→黄白=6; 绿白→淡灰褐=7; 绿白→灰褐=8; 绿白→深灰褐=9; 绿白→黄褐=10; 黄→黄白=11; 淡黄→黄褐=12; 橙黄→深黄褐=13; 绿→灰褐=14; 绿→黄褐=15; 淡绿→灰褐=16; 淡绿→黄褐=17; 黄绿→灰褐=18; 黄绿→黄褐=19; 淡黄白→黄褐=20; 淡绿白→深灰褐=21 White→Yellow white=1; White→Yellow=2; White→Yellow brown=3; White→Grayer brown=4; White→Deep grayer brown=5; Green white→Yellow white=6; Green white→Weak grayer brown=7; Green white→Grayer brown=8; Green white→Deep grayer brown=9; Green white→Yellow brown=10; Yellow→Yellow white=11; Weak yellow→Yellow brown=12; Orange yellow→Deep yellow brown=13; Green→Grayer brown=14; Green→Yellow brown=15; Weak green→Grayer brown=16; Weak green→Yellow brown=17; Yellow green→Grayer brown=18; Yellow green→Yellow brown=19; Weak yellow white→Yellow brown=20; Weak green white→Deep grayer brown=21
切分 1 h 后 色 泽 Pulp color 1h later after cutting	灰褐=1; 淡灰褐=2; 深灰褐=3; 黄褐=4; 深黄褐=5; 黄=6; 黄白=7 Grayer brown=1; Weak grayer brown=2; Deep grayer brown=3; Yellow brown=4; Deep yellow brown=5; Yellow=6; Yellow white=7

2 结果与分析

2.1 果肉色泽及其变化

对 40 个苹果品种果实鲜切后进行的调查发现 (表 2, 表 3): 果肉颜色是一个基础性状而且表型比较丰富, 果肉颜色变化特征最为复杂, 以黄、白、绿为基色共衍生出 11 种不同类型; 褐变使果肉颜色发生了很大变化, 切分前后果肉颜色的变化途径复杂多样, 40 个苹果品种中, 感官辨别就存在 21 种变化方式, 也是 4 个指标当中 Simpson 和 Shannon 指数最高的一项; 切分 1 h 后果肉颜色有 7 种类型, 但均以褐变为基调, 颜色近于一致, 表型相对单一, 预示着不同苹果品种果肉褐变可能存在着相似甚至相同的机理。

表 2 不同苹果品种鲜切后果肉色泽变化与褐变指数调查结果
Table 2 The flesh color change and browning index of fruit fresh-cut in different apple cultivars

编号 Number	品种 Cultivar	成熟期 Mature stage (M-D)	初始色泽 Initial pulp color	鲜切 1 h 后色泽 Pulp color 1 h later after cutting	褐变程度 Degree of browning	褐变指数 Browning index
1	夏红 Summer red	07-10	绿白 Green white	深灰褐 Deep grayer brown	重 Serious	0.60
2	南浦 5 号 Nanpu 5	07-20	绿白 Green white	灰褐 Grayer brown	重 Serious	0.50
3	伏红 Fuhong	07-24	淡黄白 Weak yellow white	黄褐 Yellow brown	中 Medium	0.50
4	红魁 Red Astrachan	07-27	绿白 Green white	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.50
5	甜黄魁 Tianhuangkui	07-30	白 White	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.50
6	伏花皮 Gravenstein	07-30	淡绿白 Weak green white	深灰褐 Deep grayer brown	重 Serious	0.65
7	早生旭 Early McIntosh	08-01	绿白 Green white	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.50
8	黄魁 Yellow Transparent	08-03	绿白 Green white	淡灰褐 Weak grayer brown	中 Medium	0.40

续表2

编号 Number	品种 Cultivar	成熟期 Mature stage (M-D)	初始色泽 Initial pulp color	鲜切 1 h 后色泽 Pulp color 1h later after cutting	褐变程度 Degree of browning	褐变指数 Browning index
9	双红 Shuanghong	08-03	白 White	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.45
10	瑞香 Ruixiang	08-05	淡绿 Weak green	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.50
11	萌 Kizashi	08-05	淡黄 Weak yellow	黄褐 Yellow brown	中 Medium	0.40
12	伏锦 Fujin	08-08	黄绿 Yellow green	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.50
13	藤牧 1 号 OBIR-2T-47	08-10	白 White	灰褐 Grayer brown	轻 Mild	0.30
14	普兰红 Pulanhong	08-20	淡绿 Weak green	黄褐 Yellow brown	中 Medium	0.40
15	冬红果 Donghongguo	08-20	黄绿 Yellow green	黄褐 Yellow brown	重 Serious	0.50
16	绿帅 Lushuai	08-23	绿 Green	黄褐 Yellow brown	重 Serious	0.55
17	翠秋 Cuiqiu	08-23	白 White	灰褐 Grayer brown	重 Serious	0.55
18	珊夏 Sansa	08-25	绿白 Green white	灰褐 Grayer brown	轻 Mild	0.35
19	香果 Xiangguo	08-30	绿白 Green white	黄褐 Yellow brown	重 Serious	0.65
20	津轻 Tsgaru	09-05	绿白 Green white	黄白 Yellow white	轻 Mild	0.30
21	嘎啦 Gala	09-09	淡黄 Weak yellow	黄褐 Yellow brown	中 Medium	0.45
22	摩里士 Mollie's Deli	09-09	绿白 Green white	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.50
23	锦红 Jinhong	09-09	绿白 Green white	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.40
24	吉红 Jihong	09-15	橙黄 Orange yellow	深黄褐 Deep yellow brown	极重 Extremely serious	0.85
25	首红 Redchief	10-01	绿 Green	灰褐 Grayer brown	重 Serious	0.60
26	寒富 Hanfu	10-01	黄绿 Yellow green	灰褐 Grayer brown	重 Serious	0.55
27	金冠 Golden Delicious	10-01	淡黄 Weak yellow	黄褐 Yellow brown	中 Medium	0.45
28	红将军 Benishogun	10-01	淡黄 Weak yellow	黄褐 Yellow brown	重 Serious	0.60
29	红玉 Jonathan	10-10	绿白 Green white	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.40
30	华红 Huahong	10-10	黄 Yellow	黄白 Yellow white	不褐变 Nonoccurrence	0.00
31	白卡维 Calville Blanche	10-15	白 White	灰褐 Grayer brown	中 Medium	0.40
32	岳红 Yuehong	10-15	绿白 Green white	黄褐 Yellow brown	重 Serious	0.55
33	富士 Fuji	10-15	白 White	黄褐 Yellow brown	重 Serious	0.60
34	澳洲青苹 Granny Smith	10-15	绿 Green	灰褐 Grayer brown	轻 Mild	0.30
35	华冠 Huaguan	10-15	白 White	黄白 Yellow white	极轻 Extremely mild	0.05
36	新世界 Shinsekai	10-15	白 White	黄褐 Yellow brown	中 Medium	0.45
37	东光 Toko	10-15	白 White	黄褐 Yellow brown	中 Medium	0.50
38	国光 Ralls	10-15	绿白 Green white	黄褐 Yellow brown	重 Serious	0.55
39	岳帅 Yueshuai	10-15	白 White	黄 Yellow	重 Serious	0.30
40	鸡冠 Jiguan	10-15	白 White	深灰褐 Deep gray brown	重 Serious	0.60

表 3 非数值型性状的遗传多样性指数

Table 3 Genetic diversity index for traits of nonnumeric types

性状 Trait	Simpson 指数 Simpson index	Shannon-wiener 指数 Shannon-wiener index
果肉颜色 Pulp color	0.8182	2.6802
果肉颜色变化 The change of pulp color	0.9423	4.0027
切分1 h 后颜色 Pulp color 1 h later after cutting	0.7026	2.0333
褐变指数 Browning index	0.8808	3.0732

2.2 果实褐变程度

不同品种果肉褐变程度差异较大, 目测调查得到 11 级不同水平 (表 1, 表 2)。

聚类分析结果 (图 1) 表明: 在距离系数为 0.19 时可将 40 个品种果实的褐变特征分成 4 大类, 其中褐变极重的仅有吉红 1 个品种、占 2.5%, 较重的有 32 个品种、占 80.0%, 较轻的有 5 个, 分别为藤牧 1 号、珊夏、津轻、澳洲青苹、岳帅, 占 12.5%, 褐变极轻甚至不发生褐变的有华红和华冠 2 个、占 5.0%。说明苹果果实切分后褐变是一种普遍的生理现象, 而且大部分品种褐变严重。

通过统计不同熟期果实褐变程度发现 (表 4), 在早熟品种 (7 月末之前成熟)、中熟品种 (8 月初—9 月底成熟) 和晚熟品种 (10 月份成熟) 中, 熟期越晚, 褐变越轻, 品种间褐变程度差异很大。

表 4 不同成熟期苹果品种褐变指数均值差异显著性分析

Table 4 Significant difference analysis on the mean of different mature apple cultivars pulp browning index

品种类别 Categories	样本 数量 Number of samples	均值 Mean	标准差 Standard deviation	标准误 Standard error	95%置信区间 95% Confidence interval
早熟 Early-maturing	6	0.5417a	0.0665	0.0271	0.4719~0.6114
中熟 Mid-maturing	18	0.4750b	0.1298	0.0306	0.4105~0.5395
晚熟 Later-maturing	16	0.4313c	0.1879	0.0470	0.3311~0.5314

注: 不同小写字母表示 0.05 ($P < 0.05$) 水平的差异显著性。
Note: The small letters mean significant difference at 0.05 level.

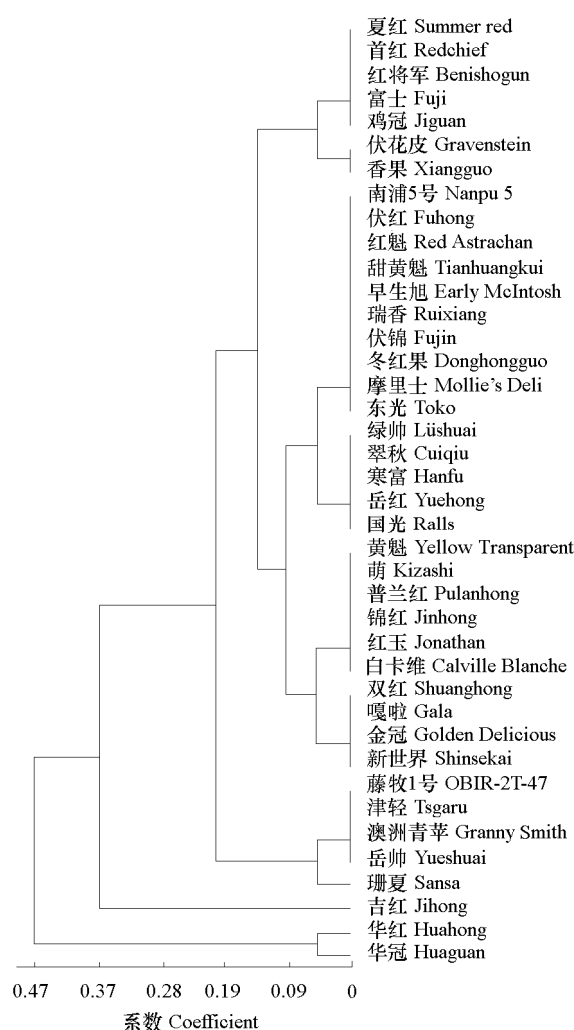


图 1 40 个苹果品种果实褐变指数分析树状图

Fig. 1 Dendrogram of pulp browning index for 40 apple cultivars

3 讨论

苹果资源褐化形式丰富多样, 资源褐变特征分类意义重大。从试材外表观察, 不论原始颜色和质地如何, 大多都褐变严重, 而且褐变特征丰富多样。通过对供试 40 个品种的筛查, 发现了褐变极重的夏红、伏花皮、吉红, 褐变较轻的藤牧 1 号、珊夏、津轻、澳洲青苹、岳帅, 基本不发生褐变的华红、华冠。种质资源是性状的载体和传递媒介, 本项研究的资源褐变情况筛查工作不但发现了几个抗褐变资源, 为苹果果实抗褐变机理研究及褐变防控技术研发寻找到了理想的试材, 并对苹果生产、加工过程中品种选择以及抗褐变育种具有借鉴意义。

褐变发生与果肉颜色无关, 但褐化途径具有倾向性, 褐变程度与熟期具有相关性。大量调查表明: 各种颜色果肉的果实切分后都基本发生褐变, 而抗褐变品种华红果肉为黄色, 华冠为白色, 但都不发生褐变, 说明果肉颜色与褐变发生本身没有必然联系。同时本研究还发现, 切分前后果肉有从白、绿色褐化成灰褐色, 从黄色褐化成黄褐色的规律, 这对研究褐变过程中物质变化规律具有启

迪作用。从不同品种褐变发生的情况来看,其褐变程度与果实成熟期具有显著的相关性,成熟期越早褐变越重,成熟期越晚褐变越轻,这可能与果实发育期、经历气象条件差异导致酚类物质、有机酸、酶代谢生理机制不同有关。

试验通过评价切分前后果肉颜色发现了褐变的广泛存在,进而对 40 个苹果品种进行褐变性状调查评价,发现了抗褐变品种。苹果果肉主要呈黄、白、绿 3 种颜色,褐变后呈黄褐和灰褐色,初始色泽为黄色的品种褐变后呈黄褐色,初始色泽为绿、白色的褐变后多呈灰褐色,少数褐变严重的呈黄褐色。苹果果实切分后果肉褐变是一种普遍现象,大部分品种褐变发生较重,褐变过程丰富多样,多样性指数达 0.9423,品种间差异较大,成熟期越晚,褐变越轻,华红、华冠是优良的苹果抗褐变种质资源。

References

- Anon. 1994. Mature Fuji more at risk for internal browning. *Good Fruit Grower*, 45 (5): 27.
- Amiot M J, Tacchini M, Aubert S, Nicolas J. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *J Food Sci*, 57: 958 - 962.
- Cheeseman K H. 1993. An introduction to free radical biochemistry. *British Medical Bulletin*, 49: 481 - 493.
- Cheng G W, Crisosto C H. 1995. Browning potential phenolic composition and polyphenoloxidase activity of buffer extracts of peach and nectarine skin tissue. *J Amer Soci Hort Sci*, 120: 835 - 838.
- Chinnici F, Bendini A, Gaiani A, Riponi C. 2004. Radical scavenging activities of peels and pulps from cv. Golden Delicious apples as related to their phenolic composition. *J Agric Food Chem*, 52: 4684 - 4689.
- Kou Li-ping, Liu Xing-hua, Ma Hong-juan. 2004. Influence of Fuji flesh browning on activity of protective enzymes and superoxidation of cell membrane. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 13 (1): 80 - 83. (in Chinese)
- 寇莉苹, 刘兴华, 马洪娟. 2004. 富士苹果果肉褐变对保护酶活性和膜质过氧化的影响. *西北农业学报*, 13 (1): 80 - 83.
- Larrigaudiere C, Lenthalic I, Vendrell M. 1998. Relationship between enzymatic browning and internal disorders in controlled-atmosphere stored pears. *J Amer Soci Hort Sic*, 78: 232 - 236.
- Liu Xin-you, Nan Hai-juan, Hao Ya-qin, Gao Yuan-jun, Zhang Juan, Tang Yan-hong. 2007. Study on coating preservation of fresh-cut Fuji apples. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, (3): 85 - 87. (in Chinese)
- 刘新有, 南海娟, 郝亚勤, 高愿军, 张娟, 唐艳红. 2007. 鲜切富士苹果涂膜保鲜研究. *河南农业科学*, (3): 85 - 87.
- Pu Fu-shen. 1990. Fruit germplasm descriptors. Beijing: China Agriculture Press: 1 - 20. (in Chinese)
- 浦富慎. 1990. 果树种质资源描述符. 北京: 中国农业出版社: 1 - 20.
- Shi Jian-xin, Zhao Ying-li, Zhao Meng, Liang Xiao-e. 1999. A study on the postharvest physiology of "Red Fuji" apples. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 27 (2): 61 - 64. (in Chinese)
- 石建新, 赵迎丽, 赵猛, 梁小娥. 1999. 红富士苹果采后生理研究. *山西农业科学*, 27 (2): 61 - 64.
- Tang Qi-yi, Feng Ming-guang. 2002. DPS data processing system for practical statistics. Beijing: Science Press: 162 - 164. (in Chinese)
- 唐启义, 冯明光. 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社: 162 - 164.
- Tian Shi-ping, Xu Yong, Jiang Ai-li, Wang Yi. 2001. Changes in enzymatic activity and quality attributes of dongxue peaches in response to controlled atmosphere conditions. *Scientia Agricultura Sinica*, 34 (6): 656 - 661. (in Chinese)
- 田世平, 徐勇, 姜爱丽, 汪沂. 2001. 冬雪蜜桃在气调冷藏期间品质及相关酶活性的变化. *中国农业科学*, 34 (6): 656 - 661.
- Yang Zeng-jun, Wang Dai-rong, Feng Shuang-qing. 1995. Influence of dipping and vacuum-infiltrating CaCl_2 solution after harvest on flesh browning of 'Xue' pears. *Acta Horticulturae Sinica*, 22 (3): 225 - 229. (in Chinese)
- 杨增军, 王代荣, 冯双庆. 1995. 采后浸钙对雪花梨果肉褐变的影响. *园艺学报*, 22 (3): 225 - 229.
- Zhang You-lin, Zhang Run-guang. 2007. Study on the mechanism of browning of pomegranate peel in different storage conditions. *Scientia Agricultura Sinica*, 40 (3): 573 - 581. (in Chinese)
- 张有林, 张润光. 2007. 石榴贮藏果皮褐变机理的研究. *中国农业科学*, 40 (3): 573 - 581.