

# 苹果不同品种高位嫁接‘红露’对果实品质的影响

姜中武<sup>1</sup>, 束怀瑞<sup>1\*</sup>, 陈学森<sup>1</sup>, 李元军<sup>2</sup>, 张序<sup>2</sup>, 于青<sup>2</sup>, 刘美英<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 山东农业大学作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; <sup>2</sup> 山东省烟台市农业科学研究院, 山东烟台 265500)

**摘要:** 应用高位嫁接方法和固相微萃取与气相色谱—质谱联用技术, 研究了高位嫁接对‘红露’苹果果实品质构成因素和香气组成的影响, 结果表明: ‘富士’改接的红露果实硬度最大 ( $7.02 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), 可溶性糖含量最高 (12.5%), 而‘乔纳金’上果实单果质量最大 (211.85 g), 但硬度 ( $6.42 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) 与可溶性糖含量 (11.6%) 最小; 高位嫁接对香气成分的具体种类有较显著影响; 高位嫁接能显著影响红露果实不同香气类别的含量, 其中富士高位嫁接红露果实中酯类和醇类含量最高, 分别为 4.56% 和 42.93%, 乔纳金高位嫁接红露果实酯类和醇类含量最低, 分别为 1.98% 和 29.76%。选用富士树高接, 有利于提高红露果实风味品质。

**关键词:** 苹果; 高位嫁接; 果实; 品质; 气相色谱—质谱联用

**中图分类号:** S 661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 01-0001-06

## Effect of Different Cultivars Body Interstocks on Fruit Quality of ‘Honglu’ Apple

JIANG Zhong-wu<sup>1</sup>, SHU Huai-rui<sup>1\*</sup>, CHEN Xue-sen<sup>1</sup>, LI Yuan-jun<sup>2</sup>, ZHANG Xu<sup>2</sup>, YU Qing<sup>2</sup>, and LU Mei-ying<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China; <sup>2</sup> Yantai Agricultural Science and Technology Academy, Yantai, Shandong 265500, China)

**Abstract:** Method of body interstocks, head space-solid phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to measure the composing factors of fruit quality and aroma compound of Honglu apple fruit on different cultivars body interstocks. The results showed that the firmness ( $7.02 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) and soluble sugar content (12.5%) of Honglu fruit on Fuji highly graft were the highest. However, the firmness and soluble sugar of Honglu fruit on Jonagold interstock were the lowest, but its fruit weight was the highest (211.85 g). The body interstock could not affect the number of aroma compounds of Honglu, but it could affect kinds of aroma significantly. The relative content of the same aroma category of Honglu fruit was different on different cultivars body interstocks. The contents of esters and alcohols were the highest (4.56% and 42.93%, respectively) on Fuji interstock, and they were the lowest on Jonagold body graft, 1.98% and 29.76% respectively. So grafting on Fuji body interstock could enhance the fruit quality of Honglu apple.

**Key words:** apple; body interstock; fruit; quality; gas chromatography-mass spectrometry

探讨砧穗组合对苹果果实大小、硬度、糖酸含量及香气组成等品质构成因素的影响, 对苹果优质生产具有重要意义。目前国内外关于不同砧木对苹果果实品质影响的研究报道较多 (Gao et al, 1992; Motosugi et al, 1995; 牛自勉等, 1996; 王丽琴等, 2003; 阎振立等, 2007), 但不同品种

收稿日期: 2008-06-03; 修回日期: 2008-11-07

基金项目: 国家自然科学基金项目 (506090022); 国家‘863’计划重点项目 (2006AA100108)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: hrshu@sdau.edu.cn)

高位嫁接早中熟苹果对果实品质的影响尚未见报道。针对我国晚熟苹果品种‘富士’比例过高,亟待调整的问题,选优良早熟苹果品种‘红露’(该品种具有短枝、丰产、早熟、果肉甜脆和耐贮等特点),探讨不同品种高位嫁接对红露苹果果实品质的影响,旨在为优良苹果品种引选和开发利用提供参考,并为探讨砧穗互作机理提供基本资料。

## 1 材料与方法

试验于2006—2007年在山东蓬莱市刘沟镇及山东农业大学作物生物学国家重点实验室进行。1992年建园,面积 $0.33\text{ hm}^2$ ,地势平坦,土层深厚,砂壤质土,土质均匀。建园时栽植品种为八棱海棠砧‘乔纳金’、‘富士’和‘王林’,栽植密度 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ ,隔行栽植。2001年采用多头高位嫁接‘红露’,嫁接高度 $0.8 \sim 1.5\text{ m}$ ,每品种改接 $50 \sim 60$ 株,改接树树势健壮,长势一致。高接当年,在同一片园内以栽植2年生八棱海棠砧红露20株作对照。供试果园2006年进入初盛果期,果园常规管理,壁蜂授粉,人工疏果,单株负载量控制在 $50 \sim 60\text{ kg}$ 。果实套内红外褐双层纸袋,2006年8月10日摘袋,8月27日采收。随机选取不同高位嫁接树10株,每株东南西北四个方位的树体中部外围随机取样果10个,每处理取100个果,进行各个指标的测定。

每处理随机取30个果实用于测量果实纵径、横径、硬度与单果质量,根据纵径与横径计算果形指数,利用GY-1型硬度计测定果实硬度。各指标取30次测定的平均值。可溶性糖的测定参照GB6194-86,用斐林试剂法测定;可滴定酸含量参照GB12293-90,用NaOH滴定法测定。测定结果为3次重复的平均值。

采用手动固相微萃取进样器,PDMS萃取头,使用前将萃取头在气相色谱进样口于 $270^\circ\text{C}$ 老化1 h。果实去皮去核后,用榨汁机迅速榨取果汁,并迅速转移7 mL果汁到15 mL样品瓶中。将老化好的萃取头插入样品瓶顶空部分,在磁力搅拌器上于 $40^\circ\text{C}$ 萃取35 min。将吸附完成的萃取头插入进样口于 $270^\circ\text{C}$ 解吸5 min。

气相色谱—质谱联用仪为Finnigan Trace GC-MS。测定条件参照Chen等(2007)的方法略作修改。色谱条件:色谱柱为Supelco CV1701( $30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ );进样口温度 $250^\circ\text{C}$ ,柱温:起始温度为 $34^\circ\text{C}$ ,保持3 min,以 $3^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 $50^\circ\text{C}$ ,再以 $6^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 $140^\circ\text{C}$ ,最后以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 $230^\circ\text{C}$ ,保持7 min。不分流方式进样,进样量 $1\text{ }\mu\text{L}$ 。质谱条件:载气为氦气(He),流量 $0.8\text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,EI离子源,离子源温度 $200^\circ\text{C}$ ;电子能量70 eV;发射电流 $200\text{ }\mu\text{A}$ 。扫描模式为全扫描。

数据处理采用Xcalibur软件。定性方法:未知化合物质谱图经计算机检索同时与NIST library和Wiley library两个质谱库相匹配,并结合人工图谱解析及资料分析。本文仅报道正反匹配度均大于800(最大值1000)的鉴定结果。定量方法:按峰面积归一化法求得各成分百分含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种高位嫁接红露对果实质量、硬度及糖酸含量的影响

以红露/八棱海棠为对照,分别检测了富士、王林、乔纳金改接的红露苹果果实质量、硬度及糖酸含量。

由表1可以看出,富士、王林及乔纳金等对红露苹果果形指数及果实可滴定酸含量的影响较小;单果质量、硬度及可溶性糖含量等指标均存在显著差异,其中以乔纳金单果质量最大( $211.85\text{ g}$ ),王林及对照单果质量最小,分别为 $175.70\text{ g}$ 和 $175.20\text{ g}$ ;而果实硬度及可溶性糖含量均以富士最高,分别为 $7.02\text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $12.5\%$ ,乔纳金最低,分别为 $6.42\text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $11.6\%$ ,差异达到显著水平。

表 1 不同品种高位嫁接红露对果实大小、硬度及糖酸含量的影响

Table 1 Fruit shape index, fruit weight, firmness, soluble sugar and titratable acid of Honglu fruit on different interstocks

中间砧 Interstock	果形指数 Fruit shape index	单果质量 /g Fruit weight	硬度 / (kg · cm <sup>-2</sup> ) Firmness	可溶性糖 / % Soluble sugar	可滴定酸 / % Titratable acid
富士 Fuji	0.84a	178.48b	7.02a	12.5a	0.26a
王林 Orin	0.84a	175.70c	6.65b	12.4a	0.24a
乔纳金 Jonagold	0.84a	211.85a	6.42c	11.6b	0.25a
对照 Control	0.84a	175.20c	6.95a	12.3a	0.25a

注：不同小写字母表示 Duncan's 新复极差检验 5% 显著水平。  
Note: Different small letters indicate significant difference at  $\alpha=0.05$  by Duncan's test

2.2 不同品种高位嫁接红露对果实香气成分种类及其含量的影响

气相色谱—质谱联用检测结果（表 2）表明，从富士、王林、乔纳金改接的红露苹果果实中检测出的香气成分均为 36 种，从对照红露苹果果实中检测出的香气成分为 34 种，4 种嫁接组合中共有的成分为 19 种，主要为己醛、1-丁醇、(E)-2-己烯醛、2-甲基-1-丁醇、1-己醇、1-戊醇等醛类与醇类成分，在各品种高位嫁接的红露果实中均含有一些特有成分，如富士改接红露中的丁酸戊酯、乙苯、丁酸己酯、苯乙醇，王林改接红露中的 3-甲基-2-丁醇、5-甲基-5-己烯-2-醇、3-甲基-2-丁醛、2-甲基-4-戊醛、丙酸-2-甲基-1-丁酯，乔纳金改接红露中的 2-乙基呋喃、1-戊烯-3-酮、(E)-2-戊烯醛、(Z)-3-己烯醛、乙酸、2-甲基丁酸等，说明不同品种高位嫁接对香气成分种类数影响不显著，但对香气成分的具体种类存在较显著影响。

表 2 苹果不同品种高位嫁接红露果实的香气成分及其相对含量

Table 2 Aroma compounds and their relative contents of Honglu fruit on different body interstocks

/ %

保留时间 /min Retention time	香气成分 Aroma compound	中间砧 Interstock			
		富士 Fuji body interstock	王林 Orin body interstock	乔纳金 Jonagold body interstock	对照 Control
3.25	乙酸乙酯 Ethyl Acetate	0.37		0.15	0.10
4.11	3-甲基-2-丁醇 2-Butanol, 3-methyl-		0.04		
4.35	2-乙基呋喃 Furan, 2-ethyl-			0.10	
4.39	5-甲基-5-己烯-2-醇 5-Hexen-2-ol, 5-methyl-		0.04		
4.85	乙酸丙酯 Propyl acetate	1.12	1.02		0.23
4.88	戊醛 Pentanal			0.58	0.21
5.94	1-戊烯-3-酮 1-Penten-3-one			0.20	
6.85	1-丙醇 1-Propanol	0.77	0.71	0.29	0.13
7.64	乙酸丁酯 Acetic acid, butyl ester	1.20	0.19	0.15	0.16
7.93	己醛 Hexanal	28.74	32.24	35.70	30.07
8.98	2-甲基-1-丙醇 1-Propanol, 2-methyl-		0.10		0.02
9.00	乙苯 Ethylbenzene	0.17			
9.09	2-甲基丙酸戊酯 Propanoic acid, 2-methyl-, pentyl ester	0.21	0.14		0.10
9.39	3-甲基-2-丁醛 2-Butenal, 3-methyl-		0.21		
9.39	(E)-2-戊烯醛 2-Pentenal, (E)-			0.12	
9.62	(Z)-3-己烯醛 3-Hexenal, (Z)-			1.48	
9.77	2-甲基-4-戊醛 4-Pentenal, 2-methyl-		0.35		
10.73	1-丁醇 1-Butanol	15.12	11.75	10.71	7.79
10.97	庚醛 Heptanal	0.31	0.35	0.21	0.14
11.04	丙酸-2-甲基-1-丁酯 1-Butanol, 2-methyl-, propanoate		0.05		
12.10	(E)-2-己烯醛 2-Hexenal, (E)-	18.33	22.10	25.94	25.32
12.24	2-甲基-1-丁醇 1-Butanol, 2-methyl-	6.54	7.32	6.34	11.71
12.39	2-甲基丁酸丁酯 Butyl 2-methylbutanoate	0.33	0.44	0.24	1.36
13.38	1-戊醇 1-Pentanol	4.43	3.43	1.99	0.42

续表 1

保留时间 / min Retention time	香气成分 Aroma compound	中间砧 Interstock			
		富士 Fuji body interstock	王林 O rin body interstock	乔纳金 Jonagold body interstock	对照 Control
13.56	乙酸己酯 Acetic acid, hexyl ester	0.28	0.10	0.17	0.22
13.68	2-甲基丁酸 - 2-甲基丁酯 Butanoic acid, 2-methyl-, 2-methylbutyl ester		0.08	0.04	
14.34	1-辛烯 - 3-酮 1-Octen-3-one	0.06			0.02
14.72	丁酸戊酯 Butanoic acid, pentyl ester	0.06			
14.90	(Z) - 2-庚烯醛 2-Heptenal, (Z) -	0.05		0.11	0.02
15.01	2-甲基丁酸戊酯 Butanoic acid, 2-methyl-, pentyl ester	0.07	0.14	0.04	
15.11	2-甲基 - 2-丁烯 - 1-醇 2-Buten-1-ol, 2-methyl-	0.16	0.18	0.22	0.09
15.30	6-甲基 - 5-庚烯 - 2-酮 5-Hepten-2-one, 6-methyl-	0.11	0.15	0.25	0.02
15.97	1-己醇 1-Hexanol	14.51	10.1	9.77	9.18
16.14	4-甲基 - 1-戊醇 1-Pentanol, 4-methyl-	0.11			0.17
16.62	(Z) - 2-壬烯 - 1-醇 2-Nonen-1-ol, (Z) -	0.08	0.07	0.08	0.06
16.86	(E, E) - 2,4-己二烯醛 2,4-Hexadienal, (E, E) -	0.42	0.10	0.63	0.29
17.11	反 - 2-甲基 - 环戊醇 Cyclopentanol, 2-methyl-, trans-		0.36		
17.12	己酸 - 1,1-二甲基乙酯 Hexanoic acid, 1,1-dimethylethyl ester	0.25		0.42	0.18
17.18	丁酸己酯 Butanoic acid, hexyl ester	0.32			
17.24	5-己烯 - 1-醇 5-Hexen-1-ol	0.12		0.04	0.08
17.44	2-甲基丁酸己酯 Butanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester	0.35	0.46	0.57	1.54
18.24	1-庚醇 1-Heptanol	0.77	0.20	0.13	0.50
18.40	乙酸 Acetic acid			0.29	
18.97	2-甲基 - 1-己醇 1-Hexanol, 2-ethyl-		0.06	0.10	0.06
20.37	1-辛醇 1-Octanol	0.07	0.04		0.02
21.25	己酸己酯 Hexanoic acid, hexyl ester		0.12	0.10	
21.27	己酸 Hexanoic acid	0.12			
21.31	辛酸丁酯 Butyl caprylate		0.04	0.04	
21.46	5-辛烯 - 1-醇 5-Octen-1-ol	0.14	0.10	0.09	0.11
22.97	2-甲基己酸 Hexanoic acid, 2-methyl-	0.06	2.34		0.20
22.73	2-甲基丁酸 Butanoic acid, 2-methyl-			0.15	
23.56	-法呢烯 -farnesene	0.17	0.08	0.05	0.07
23.66	丁酸丁酯 Butyl butyrate				0.09
26.03	苯乙醇 Phenyl alcohol	0.06			
28.84	丙酸己酯 Propanoic acid, hexyl ester		0.09	0.06	
29.19	1,5-己二醇 1,5-Hexanediol	0.05			0.09

每种香气成分的相对含量在不同嫁接组合间亦存在差异 (表 2), 如对苹果香气有较大贡献的 1-丁醇, 在富士、王林、乔纳金以及对照红露果实中的相对含量分别为 15.12%、11.75%、10.71%和 7.79%, 丁酸己酯在富士改接的红露苹果果实中的相对含量为 0.32%, 而在其它组合中均未检测到。

### 2.3 不同品种高位嫁接红露对果实香气物质类别的影响

将检测结果按醇类、醛类、酮类、酯类、酸类、烃类及杂环类分别进行统计分析, 不同品种高位嫁接的红露果实中各类物质的相对含量存在明显差异, 其中醇类、酯类和烃类化合物以富士含量最高, 分别为 42.93%、4.56%和 0.34%, 而醛类和酮类化合物以乔纳金的含量最高, 分别为 64.77%和 0.27%, 酸类化合物以王林含量最高, 为 2.34% (表 3)。

表 3 苹果不同品种高位嫁接红露的果实香气物质类别

Table 3 Aroma categories and their relative contents of Honglu fruit on different body interstocks

/%

化合物类别 Aroma categories	富士中间砧 Fuji interstock	王林中间砧 Orin interstock	乔纳金中间砧 Jonagold interstock	对照 Control
醇类 Alcohols	42.93a	34.50b	29.76c	30.43c
醛类 Aldehydes	47.85c	55.35b	64.77a	56.05b
酮类 Ketones	0.17b	0.15b	0.27a	0.04c
酯类 Esters	4.56a	2.87c	1.98d	3.98b
酸类 Acids	0.18c	2.34a	0.44b	0.20c
烃类 Hydrocarbons	0.34a	0.08b	0.05c	0.07b
杂环类 Heterocycles			0.10	

注：不同小写字母表示 Duncan's 新复极差检验 5%显著水平。

Note: Different small letters indicate significant difference at  $\alpha=0.05$  by Duncan's test.

### 3 讨论

Samad等（1999）的研究表明，不同砧木对苹果内源激素及矿质营养均会产生影响，从而导致果实硬度、含糖量、单果质量等指标的变化。闫树堂和徐继忠（2005）的研究表明苹果不同矮化中间砧能够影响果实大小和果实细胞数。本研究中，不同品种高位嫁接对红露果实单果质量与硬度影响较大，中间砧作为连接根系与嫁接品种的输导系统，可能影响了果实不同内源激素的水平或矿质养分的转运与积累，导致红露果实的单果质量与硬度变化。多倍体品种往往表现出果实体积大，产量高等特点（沈德绪，1999），本研究中，以乔纳金改接的红露果实单果质量显著增加，而以王林、富士改接的红露果实单果质量无明显变化，这是否与乔纳金为三倍体有关，还有待进一步研究。Motosugi等（1995）研究发现，使用 M. 26、MM. 106嫁接能够影响富士果实钙含量。钙能抑制多聚半乳糖醛酸酶（PG）的活性，从而降低了不溶性果胶的降解（Brady et al, 1985），而增加果实硬度。本研究表明，王林、乔纳金改接的红露果实硬度均低于对照，可能是两品种影响了钙的转运，导致 PG活性上升，使果实硬度下降，具体还有待进一步研究。

果实的风味物质或果实风味复合物（FFC）由味感物质（糖、酸等）和嗅感物质（香味物质）构成，其组成及含量对果实内在品质有着重要影响（Dandekar et al, 2004; 陈美霞等，2006a, 2006b）。不同砧木类型对不同的氮素形式反应不同，矮化砧和半矮化砧 M. 26、MM. 106木质部赤霉素类与细胞分裂素类激素受氮素影响明显（Gao et al, 1992）。而这种影响能够反映在嫁接品种果实的单果质量、果皮色泽、糖酸含量以及矿质积累上（Motosugi et al, 1995）。本研究表明，不同品种高位嫁接对红露果实可溶性糖含量与香气成分均产生显著影响，而对可滴定酸影响不大，不同品种高位嫁接可能存在比基础更复杂的作用过程。

不同砧木会对苹果的香气成分产生影响（牛自勉等，1996; 阎振立等，2007）。本研究中红露主要的香气成分醛类、醇类和酯类物质在3种不同品种高位嫁接树上均存在种类和含量上的差异，富士为“酯香型”（赵峰等，2006），富士改接的红露果实酯类含量显著高于王林和乔纳金改接的果实，说明富士促进了红露酯类物质的合成，但其醇类含量也显著高于其它嫁接组合，说明香气成分的代谢过程可能存在砧穗互作。感官评价结果表明，富士改接红露果实风味优于其它嫁接组合，可能与其酯类和醇类含量较高有关，选用富士树高接，有利于提高红露果实香气品质。

果实中糖类物质不仅是构成果实味感的成分，也是许多嗅感成分如醇、醛、酸、酯等的重要前体物质（Sanz et al, 1997），单糖经无氧代谢生成丙酮酸进入香气合成过程（陈美霞等，2006a, 2006b）。本研究结果发现，在不同嫁接组合中乔纳金改接红露果实可溶性糖含量最低，同时乔纳金的果实香气成分中酯类和醇类含量均低于其它类型果实，可能是乔纳金影响了红露果实的糖类代谢，

从而影响了上述香气成分的合成, 还有待进一步研究。

## References

- Brady C J, McGlasson W B, Pearson J A, Meldrum S K, Kopeliovitch E. 1985. Interactions between the amount and molecular forms of polygalacturonase, calcium, and firmness in tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110: 254 - 258.
- Chen Mei-xia, Chen Xue-sen, Ci Zhi-juan, Shi Zuo-an. 2006a. Changes of sugar and constituents in apricot during fruit development. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (4): 805 - 808. (in Chinese)
- 陈美霞, 陈学森, 慈志娟, 史作安. 2006a. 杏果实糖酸组成及其不同发育阶段的变化. *园艺学报*, 33 (4): 805 - 808.
- Chen Mei-xia, Chen Xue-sen, Wang Xin-guo, Ci Zhi-juan. 2006b. Inheritance of flavor constituents in  $F_1$  progenies of 'Kate' and 'Xinshiji' apricot. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (5): 942 - 946. (in Chinese)
- 陈美霞, 陈学森, 王新国, 慈志娟. 2006b. '凯特'与'新世纪'杏杂种后代风味物质遗传的初步研究. *园艺学报*, 33 (5): 942 - 946.
- Chen Xue-sen, Feng Tao, Zhang Yan-min, He Tian-ming, Feng Jian-rong, Zhang Chun-yu. 2007. Genetic diversity of volatile components in Xinjiang wild apple (*Malus sieversii*). *Journal of Genetics and Genomics*, 34 (2): 171 - 179.
- Dandekar A M, Teo G, Defilippi B G, Uratsu S L, Passey A J, Kader A A, Stow J R, Colgan R J, James D J. 2004. Effect of down-regulation of ethylene biosynthesis on fruit flavor complex in apple fruit. *Transgenic Research*, 13: 373 - 384.
- Gao Y P, Motosugi H, Sugiura A. 1992. Rootstock effects on growth and flowering in young apple trees grown with ammonium and nitrate nitrogen. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117: 446 - 452.
- Motosugi H, Gao Y P, Sugiura A. 1995. Rootstock effects on fruit quality of 'Fuji' apples grown with ammonium or nitrate nitrogen in sand culture. *Scientia Horticulturae*, 61 (3 - 4): 205 - 214.
- Niu Zhi-mian, Wang Xian-ping, Meng Yu-ping, Lin Gui-rong, Xu Yue-ming. 1996. Influence of rootstocks on the contents of volatile aroma compounds in the flesh of some apple varieties. *Journal of Fruit Science*, 13 (3): 153 - 156. (in Chinese)
- 牛自勉, 王贤萍, 孟玉萍, 林桂荣, 许月明. 1996. 不同砧木苹果品种果肉芳香物质的含量变化. *果树科学*, 13 (3): 153 - 156.
- Samad A, Mcneil D L, Khan Z U. 1999. Effect of interstock bridge grafting (M9 dwarfing rootstock and same cultivar cutting) on vegetative growth, reproductive growth and carbohydrate composition of mature apple trees. *Scientia Horticulturae*, 79: 23 - 38.
- Sanz C, Olías J M, Perez A G. 1997. Aroma biochemistry of fruits and vegetables. Tomás-Barberán F A, Robins R J. *Phytochemistry of fruit and vegetables*. New York: Oxford University Press Inc: 125 - 155.
- Shen De-xu. 1999. Breeding science of fruits. Beijing: China Agricultural Press: 118 - 120. (in Chinese)
- 沈德绪. 1999. 果树育种学. 北京: 中国农业出版社: 118 - 120.
- Wang Li-qin, Tang Fang, Zhang Jing, Shu Huai-rui. 2003. Effect of dwarfing rootstock on carbohydrate transportation and distribution of apple. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 17 (3): 212 - 214. (in Chinese)
- 王丽琴, 唐芳, 张静, 束怀瑞. 2003. 苹果矮化砧对 $^{14}\text{C}$ -同化物运输分配的影响. *核农学报*, 17 (3): 212 - 214.
- Yan Shu-tang, Xu Ji-zhong. 2005. The effects of different dwarfing interstocks on the endogenous hormones, polyamines and cell division in fruits of Red Fuji apple. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (1): 81 - 83. (in Chinese)
- 闫树堂, 徐继忠. 2005. 不同矮化中间砧对红富士苹果果实内源激素、多胺与细胞分裂的影响. *园艺学报*, 32 (1): 81 - 83.
- Yan Zhen-li, Zhang Quan-jun, Guo Guo-nan, Zhao Suo-yin, Zhang Shun-ni, Li Yu-ping. 2007. Effects of producing area and rootstock on aromatic components and flavor of Huaguan apple. *Journal of Fruit Science*, 24 (3): 263 - 267. (in Chinese)
- 阎振立, 张全军, 过国南, 赵锁印, 张顺妮, 李玉萍. 2007. 产地和砧木对华冠苹果芳香物质及风味的影响. *果树学报*, 24 (3): 263 - 267.
- Zhao Feng, Wang Shao-min, Gao Hua-jun, Sun Shan. 2006. Effect of bagging on the content of aromatic substances of Red Fuji apple. *Journal of Fruit Science*, 23 (3): 322 - 325. (in Chinese)
- 赵峰, 王少敏, 高华君, 孙山. 2006. 套袋对红富士苹果果实芳香成分的影响. *果树学报*, 23 (3): 322 - 325.