

新疆野生樱桃李果实部分表型性状的遗传多样性分析

刘崇琪^{1,2}, 陈学森^{1*}, 王金政³, 陈晓流¹, 王海波¹, 田长平¹, 吴传金¹

(¹ 山东农业大学, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; ² 章丘市林业局, 山东章丘 250200; ³ 山东省果树研究所, 山东泰安 271000)

摘要: 以中国新疆伊犁地区霍城县大西沟乡的新疆野生樱桃李 (*Prunus cerasifera* Ehrh.) 47 个实生株系的成熟果实为试材, 从果实形态性状、可溶性固形物和矿质元素含量以及挥发性化合物组分等不同层面对野生樱桃李遗传多样性进行了研究, 旨在为新疆野生樱桃李的资源保护、合理利用和遗传改良提供基本资料。结果表明: ①新疆野生樱桃李实生株系的果实形状主要为圆形, 少数为椭圆形、卵圆形、卵形和宽卵形, 果实颜色有黄色、红色、紫红色和黑色等 4 种类型, 野生樱桃李果实纵径、横径、单果质量、果形指数以及可溶性固形物含量均存在一定程度的变异, 遗传多样性较为丰富, 其中以单果质量的变异系数最大 (9.13%); ②新疆野生樱桃李实生株系果肉组织的 Zn、Ca、Mg、Mn、Fe 及 Cu 等 6 种矿质元素含量变异丰富, 其中以 Fe 元素的含量 (平均值为 $21.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和变异系数 (26.99%) 最高, 进一步筛选高铁性状单株的潜力很大; ③从新疆野生樱桃李 12 个实生株系中共鉴定出醇类、醛类、酯类、酮类、烃类及杂环类等 6 类 83 种挥发性化合物, 各实生株系挥发性化合物总含量、挥发性化合物种类及其含量以及主要挥发性化合物分离比率与含量等存在广泛的遗传变异, 遗传多样性较为丰富, 其中以甲酸己酯含量最高 (平均值为 $4.33 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 是野生樱桃李果实香气形成的重要特征性化合物。

关键词: 李; 野生樱桃李; 表型性状; 矿质元素; 挥发性化合物; 遗传多样性

中图分类号: S 662.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2008) 09-1261-08

Studies on Genetic Diversity of Phenotypic Traits in Wild Myrobalan Plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.)

LIU Chong-qi^{1,2}, CHEN Xue-sen^{1*}, WANG Jin-zheng³, CHEN Xiao-liu¹, WANG Hai-bo¹, TIAN Chang-ping¹, and WU Chuan-jin¹

(¹ State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; ² Zhangqiu Forestry Bureau, Zhangqiu, Shandong 250200, China; ³ Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: Ripe fruits of wild myrobalan plum obtained from 47 seedlings at Daxigou, Huocheng County, Xinjiang Uygur Autonomic Region of China were studied by morphological trait, soluble solids content, mineral element, volatile component. The purpose of the study was to acquire basic data for the conservation and utilization of the species. The results indicated that considerable genetic variations in these aspects: Vertical length, transverse length, shape index, fruit mass, soluble solids content. Among them, fruit mass, the variation coefficient of which was the highest (9.13%). As investigated, the shape of the fruit was mainly roundity, and the colors of the fruit were red, black, yellow, mauve. Variation coefficient of mineral elements (Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn), which revealed wider variation range and rich genetic diversity. Among them, Fe, the content and the variation coefficient of which were the highest ($21.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 26.99%), it has large potential for further selection. Ripe fruits of 12 wild myrobalan plum seedlings were analyzed using head

收稿日期: 2008-05-09; 修回日期: 2008-08-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30471196); 山东省农业良种产业化工程项目

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: chenxs@sdaa.edu.cn)

space-solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. The results showed considerable genetic variations in these aspects: The total content of volatile components, the classes and contents of each compounds classes, the segregation ratio, and content of main components. There were 83 compounds in total belonging to 6 classes detected in 12 wild myrobalan plum seedlings, including esters, alcohols, ketones, aldehydes, heterocycle and hydrocarbons. Among them, formic acid, hexyl ester, the content of which was the highest ($4.33 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), was important character impact odors.

Key words: plum; wild myrobalan plum; phenotypic traits; mineral element; volatile components; genetic diversity

由新疆野苹果 [*Malus sieversii* (Ldb.) Roem.]、野生樱桃李 (*Prunus cerasifera* Ehrh.)、野杏 (*Armeniaca vulgaris* Lam.) 及野核桃 (*Juglans regia* L.) 等组成的伊犁野果林是在中亚荒漠地带山地罕见的“海洋性”阔叶林类型,是第三纪暖温带阔叶林的孑遗群落,是北方落叶果树遗传育种十分珍贵的基因库(张新时,1973)。但由于掠夺式的资源开发及农田开垦等因素而导致新疆野生果树资源破坏严重,野果林面积急剧减少,濒临灭绝。因此,进一步加强野生果树资源遗传多样性等方面的研究,对于资源的保护与利用具有重要意义(王磊等,2006;冯涛,2007)。

国内一些学者近几年来对伊犁野果林进行了较多的考察与研究,对于新疆野苹果的遗传多样性,已从形态、化学成分(香气、糖酸组分、矿质元素)及分子水平等多个方面进行了研究(林培钧和崔乃然,2000;刘静等,2004;冯涛等,2006a;Chen et al., 2007; Zhang et al., 2007; 张小燕等,2008),何天明等(2007)对伊犁野杏的若干生物学性状的频度分布进行了研究,并与华北、中亚2个中国杏种质资源生态地理群作了比较分析;刘晓丽等(2007)对新疆野核桃居群的遗传结构进行了研究,优化并建立了新疆野核桃 SSR 的反应体系。作者在已建立野生樱桃李再生体系(刘崇琪等,2008)的基础上,进一步从果实形态性状、可溶性固形物与矿质元素含量以及挥发性化合物组分等不同层面,对野生樱桃李遗传多样性进行了研究,旨在为新疆野生樱桃李的资源保护、合理利用和遗传改良提供基本资料。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2005—2007年在山东农业大学作物生物学国家重点实验室进行。试验材料为采自新疆伊犁地区霍城县大西沟乡(约东经 $81^{\circ}30'$ ~ $81^{\circ}40'$,北纬 $44^{\circ}30'$ ~ $44^{\circ}35'$)的野生樱桃李。为保证试材具有足够的代表性,在野生樱桃李林中不同方位随机选取实生株系,共选取47个实生株系,使其覆盖野生樱桃李林的95%以上。每个株系于8月中下旬采集成熟度基本一致的果实1~2 kg,第2年在相同株系上采集作为重复。于采收当天空运回实验室进行样品处理及各项指标的测定。

1.2 方法

1.2.1 形态学数据及可溶性固形物含量测定

每个株系随机取已基本成熟的10个果实,分别用游标卡尺和电子天平测量果实纵径、横径以及单果质量;选取成熟度基本一致的3个果实,用手持糖量计测量每个果实的可溶性固形物含量。

1.2.2 矿质元素含量的测定

每株系随机选取已基本成熟的果实20~50个,测定矿质元素(Ca、Mg、Fe、Cu、Mn及Zn)含量。参照冯涛等(2006b)的原子吸收分光光度法,采用硝酸—高氯酸消化法对样品进行处理。所用仪器为英国产PYE SP9-400型原子吸收分光光度计,空气流量为35单位,乙炔气流量为20单位。测定波长:Ca 422.7 nm, Mg 285.2 nm, Fe 248.3 nm, Cu 324.8 nm, Mn 279.5 nm, Zn 213.9 nm。

1.2.3 果实挥发性化合物的测定

试验材料为从采集的 47 个株系中选取的具有一定代表性的 12 个实生株系，包含了果实颜色为黄色、红色、紫红色和黑色等 4 种类型。

所用仪器由日本岛津公司 GC-MS QP2010 Plus 气相色谱—质谱联用仪和美国 PE 公司 TurboMatrix 40 HS 顶空进样器组成。Rtx-1MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 mm) 色谱柱。25 mL PE 顶空进样瓶，铝制瓶盖和硅橡胶垫。

气相色谱条件参考冯涛等 (2006a) 和 Chen 等 (2007) 的方法并略作修改。色谱条件：进样口温度 200 ℃；起始温度 40 ℃，保持 1 min；以 4 ℃ · min⁻¹ 升至 130 ℃；再以 7 ℃ · min⁻¹ 上升到 230 ℃。载气 He (99.999%)，流速 1.27 mL · min⁻¹。

质谱条件：电离方式 EI，电子能量 70 eV，离子源温度 200 ℃，接口温度 180 ℃。扫描质量范围 45 ~ 450 amu。

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和资料分析，仅报道正反匹配度均大于 800 (最大值 1 000) 的鉴定结果。

定量方法：按峰面积归一法求得各成分相对质量百分含量，并选择 3-壬酮为内标进行精确测量。

2 结果与分析

2.1 野生樱桃李果实形态性状及可溶性固形物含量的变异与遗传多样性

对 47 个新疆野生樱桃李实生株系的果实形状及果实颜色进行观测，结果表明，多数株系的果实为圆形，少数为椭圆形、卵圆形、卵形和宽卵形，果实颜色有黄色、红色、紫红色和黑色等 4 种类型 (图 1)。

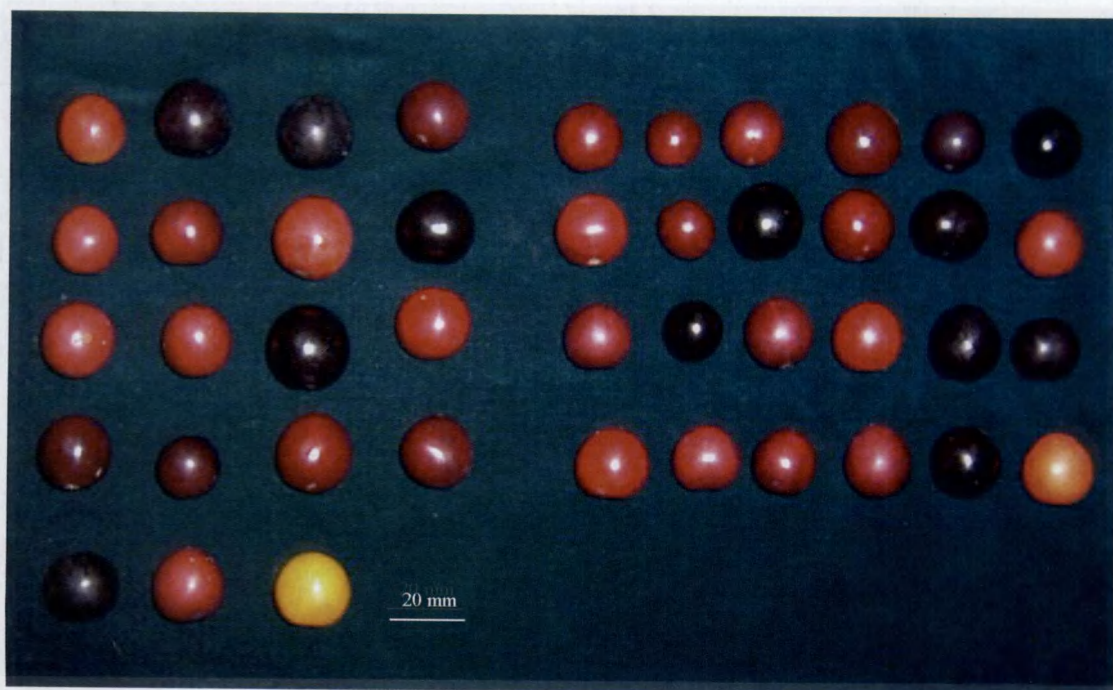


图 1 新疆野生樱桃李果实形态的多样性

Fig. 1 Morphological diversity in wild myrobalan plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.)

野生樱桃李果实纵径、横径、单果质量、果形指数及可溶性固形物含量均存在一定程度的遗传多样性,其中以单果质量的变异幅度最广,变异系数最大(9.13%),遗传多样性最为丰富(表1)。

表1 野生樱桃李果实形态性状及可溶性固形物含量的变异

Table 1 Variations in fruit traits and soluble solids contents in wild myrobalan plum

果实性状 Fruit trait	调查株数 Total individuals	平均值 Mean	变异幅度 Variation range	变异系数/% CV
纵径/cm Vertical length	47	1.81	1.48 ~ 2.15	3.93
横径/cm Transverse length	47	1.68	1.34 ~ 2.02	4.75
果形指数 Shape index	47	1.08	1.04 ~ 1.11	2.75
单果质量/g Fruit mass	47	5.92	3.25 ~ 8.07	9.13
可溶性固形物含量/% Soluble solids content	47	13.45	10.20 ~ 17.67	5.09

2.2 野生樱桃李果实矿质元素含量遗传多样性

对47个新疆野生樱桃李实生株系果肉组织的Zn、Ca、Mg、Mn、Fe及Cu等6种矿质元素含量进行测定。结果(表2)表明:在所测定的6种矿质元素中,Mg的变异系数最低(6.98%),Fe的变异系数最高(26.99%);6种矿质元素含量以Fe最高($21.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),说明进一步筛选高铁性状株系的潜力很大。

表2 野生樱桃李果实矿质元素的变异

Table 2 Variations in mineral elements in wild myrobalan plum

矿质元素 Mineral element	测定株数 Total individuals	平均值/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ Mean	变异幅度/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ Variation range	变异系数/% CV
Zn	47	1.14	0.38 ~ 1.80	16.50
Ca	47	20.3	7.37 ~ 32.1	9.67
Mg	47	13.5	2.56 ~ 19.4	6.98
Mn	47	2.18	0.62 ~ 3.63	8.22
Fe	47	21.2	4.98 ~ 78.7	26.99
Cu	47	1.3	0.40 ~ 2.18	10.98

2.3 野生樱桃李果实挥发性化合物的遗传变异与遗传多样性

2.3.1 种类及含量的遗传变异

对12个新疆野生樱桃李实生株系挥发性化合物进行内标法定量,结果(表3)表明,挥发性化合物总含量差异显著,每个实生株系的平均值为 $11.3712 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,变异幅度为 $9.9248 \sim 13.3716 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

表3 野生樱桃李挥发性化合物种类与含量的变异

Table 3 Variations in categories and contents of aroma components in wild myrobalan plum

化合物类别 Category	种类 Type		含量/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$ Content	
	平均值 Mean	变异幅度 Variation range	平均值 Mean	变异幅度 Variation range
醇类 Alcohols	9.8	5 ~ 13	1.7907	0.8191 ~ 3.4552
醛类 Aldehydes	7.8	7 ~ 9	1.3145	0.7617 ~ 2.6495
酯类 Esters	13.5	8 ~ 20	6.5877	5.5026 ~ 7.3079
酮类 Ketones	0.5	0 ~ 1	0.0014	0 ~ 0.0031
烃类 Hydrocarbons	3.8	3 ~ 4	0.5327	0.0137 ~ 1.1314
杂环类 Heterocycles	2.0	1 ~ 3	1.1441	0.4376 ~ 1.8448
总含量 Total content			11.3712	9.9248 ~ 13.3716

从 12 个实生株系中共鉴定出 83 种挥发性化合物, 平均每个株系有 37 种挥发性化合物, 变异幅度为 27~45 种, 株系间存在一定差异。根据 83 种挥发性化合物结构特点, 对这些化合物进行分类和统计分析, 结果见表 3。

从表 3 可以看出, 醇类、醛类、酯类、酮类、烃类和杂环类等各类挥发性化合物中的种类数及其含量在株系间差异显著, 其中酯类挥发性化合物中的种类数最多 (13.5), 含量最高 ($6.5877 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 酮类挥发性化合物中的种类数最少 (0.5), 含量最低 ($0.0014 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 表明野生櫻桃李果实挥发性化合物是以酯类为主。

2.3.2 主要挥发性化合物含量的遗传变异

野生櫻桃李挥发性化合物含量大于 $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 的有 24 种 (表 4)。

从表 4 可以看出, 在 24 种化合物中, 甲酸己酯的含量最高 ($4.330 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 是野生櫻桃李果实香气形成的重要特征性化合物。

各种化合物在实生株系中“有: 无”的分离比率差异很大, 甲酸己酯、(E)-乙酸-2-己烯-1-酯、(Z)-3-己烯-1-醇、(E)-2-己烯-1-醇、己醛、壬醛、2-羟基苯甲醛、(E)-2-己烯醛、2-乙烯基呋喃等 9 种化合物在 12 个实生株系中均能检测到, 而 (Z)-乙酸-3-己烯-1-酯、(E)-丙酸-2-己烯-1-酯、乙酸己酯等 15 种化合物仅在部分株系中检测到, 并表现出多种多样的有: 无的分离比率。

表 4 野生櫻桃李主要挥发性化合物含量的变异

Table 4 Variations in contents of main volatile compounds in wild myrobalan plum

化合物类别 Category	化合物名称 Compound	分离比率 (有: 无) Segregation ratio (Existence: Nonexistence)	含量/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$ Content	
			平均值 Mean	变异幅度 Variation range
酯类 Esters	甲酸己酯 Formic acid, hexyl ester	12:0	4.330	2.630~5.430
	(E)-乙酸-2-己烯-1-酯 2-hexen-1-ol, acetate, (E)-	12:0	1.350	0.180~2.680
	(Z)-乙酸-3-己烯-1-酯 3-hexen-1-ol, acetate, (Z)-	8:4	0.123	0~0.280
	乙酸己酯 Acetic acid, hexyl ester	3:9	0.039	0~0.157
	(E)-丙酸-2-己烯-1-酯 2-hexen-1-ol, propanoate, (E)-	9:3	0.065	0~0.167
	(E)-丁酸-3-己烯酯 Butanoic acid, 3-hexenyl ester, (E)-	3:9	0.045	0~0.180
	2-羟基安息香酸甲酯 Benzoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester	7:5	0.058	0~0.193
	(E)-丁酸-2-己烯酯 Butanoic acid, 2-hexenyl ester, (E)-	9:3	0.251	0~0.613
	(E)-戊酸-2-己烯酯 Pentanoic acid, 2-hexenyl ester, (E)-	6:6	0.084	0~0.265
	2-羟基安息香酸乙酯 Benzoic acid, 2-hydroxy-, ethyl ester	5:7	0.080	0~0.139
醇类 Alcohols	3-甲基-1-丁醇 1-butanol, 3-methyl-	3:9	0.127	0~1.110
	(Z)-3-己烯-1-醇 3-hexen-1-ol, (Z)-	12:0	0.569	0.134~1.318
	(E)-2-己烯-1-醇 2-hexen-1-ol, (E)-	12:0	1.086	0.385~1.946
醛类 Aldehydes	己醛 Hexanal	12:0	0.462	0.257~0.739
	辛醛 Octanal	6:6	0.162	0~0.480
	壬醛 Nonanal	12:0	0.114	0.088~0.154
	癸醛 Decanal	12:0	0.078	0.030~0.181
	(E)-2-己烯醛 2-hexenal, (E)-	12:0	0.142	0.085~0.277
	2-羟基苯甲醛 Benzaldehyde, 2-hydroxy-	12:0	0.319	0.048~0.932
烃类 Hydrocarbons	苯乙烯 Styrene	11:1	0.213	0~0.842
	(E)-3,7-二甲基-1,3,6,-辛三烯 1,3,6-octatriene, 3,7-dimethyl-, (E)-	3:9	0.125	0~0.265
	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6,-辛三烯 1,3,6-octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	10:2	0.162	0~0.594
	2-乙烯基呋喃 2-ethenylfuran	12:0	1.008	0.422~1.845
杂环类 Heterocycles	2-戊基呋喃 Furan, 2-pentyl-	8:4	0.120	0~0.4183

3 讨论

野生果树资源遗传多样性等方面的研究是保护与利用的重要基础,近几年已取得了一定进展。冯涛等(2006b)从表型性状层面对新疆野苹果遗传多样性进行了研究,其中平均单果质量的变异系数在30%以上,表现出丰富的遗传多样性,是我国苹果起源中心之一,这可能与新疆野苹果在伊犁野果林中的分布广泛、生境复杂有关;刘晓丽等(2008)用SSR分析研究表明,伊犁野核桃遗传多样性较差,这可能与其分布的局限性有关。本研究结果表明,在野生樱桃李果实纵径、横径、果形指数以及单果质量等形态性状的变异系数中,虽然以单果质量的变异系数最高,但仅为9.13%,其遗传多样性远低于新疆野苹果,造成这一结果的原因可能与野生樱桃李分布单一和资源破坏严重有关。调查发现,在新疆伊犁野果林中,野生樱桃李仅分布在霍城县婆罗科努山的大、小西沟,同时由于掠夺式的资源开发及农田开垦等因素导致野生樱桃李群落面积不足50年前的1/3,资源破坏相当严重,急需保护。

刘正辉和刘大钧(2007)研究表明,植物微量元素的吸收和积累过程主要受遗传因素控制,可以通过选择和杂交等常规手段培育高铁含量小麦品种;美国加州大学的Uauy等(2006)从野生小麦中克隆了能调控衰老提高颗粒蛋白质、锌及铁含量的基因NAC;利用高铁含量的地方品种、改良品种、野生亲缘植物和人工合成小麦在内的1500份种质资源作为亲本,和其它高产、抗病品系的杂交选育工作已经进行到高代选择,并有望在近期内将候选品系投入大田试验和室内分析(刘正辉和刘大钧,2007);杨月欣等(2002)检测了李子果实中铁元素的含量,其平均值为 $0.006 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。本试验对47个新疆野生樱桃李实生株系矿质元素的研究结果表明,Fe元素不仅含量的变异系数最高(26.99%),而且含量也最高(平均值为 $21.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),单株Fe含量最高的可达 $78.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这种高铁性状单株可能是由长期进化中铁的高效营养基因型来决定的,这一结果与张小燕等(2008)在新疆野苹果矿质元素研究中关于高钙性状单株的论述相似。因此,进一步研究新疆野生樱桃李高铁的分子机理,挖掘、鉴定铁高效基因型,对李品种的品质育种具有重要的意义。

本试验中对野生樱桃李挥发性化合物的研究结果表明,野生樱桃李果实含有醇类、醛类、酯类、酮类、烃类及杂环类等6类83种化合物,且各实生株系挥发性化合物总含量、挥发性化合物种类及其含量以及主要挥发性化合物分离比率与含量等存在广泛的遗传变异,其中甲酸己酯作为野生樱桃李主要挥发性化合物之一,在参试株系中均能检测到,其含量最高(平均值为 $4.330 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)。国内外在对苹果(Plotto & Daniel, 1999; Chen et al., 2007; 王海波等, 2007)、杏(陈美霞等, 2004)、甜樱桃(Bernalte et al., 1999; 张序等, 2007)、梨(陈计峦等, 2005)、葡萄(Guth, 1997)的果实香气研究中均未发现甲酸己酯存在,而本课题组曾在水晶梨中检测到这种成分,含量为 $0.061 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (未公开资料),甲酸己酯可能是野生樱桃李果实香气形成的重要特征性化合物。

References

- Bernalte M J, Hernandez M T, Vidal-Aragon M C, Sabio E. 1999. Physical, chemical, flavor and sensory characteristics of two sweet cherry varieties grown in Valle del Jerte (Spain). *Journal of Food Quality*, 22: 403–416.
- Chen Ji-luan, Zhou Shan, Yan Shi-jie, Ma Yong-kun, Hu Xiao-song. 2005. Analysis of aroma components of Fengshui, Dangshan and Nanguo pear by SPME/GC/MS. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (2): 301–303. (in Chinese)
- 陈计峦, 周珊, 闫师杰, 马永昆, 胡小松. 2005. 丰水梨、砀山梨、南果梨的香气成分分析. *园艺学报*, 32 (2): 301–303.
- Chen Mei-xia, Chen Xue-sen, Feng Bao-chun. 2004. GC-MS analysis of fruit aroma components of two apricot cultivars. *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (5): 663–665. (in Chinese)
- 陈美霞, 陈学森, 冯宝春. 2004. 两个杏品种果实香气成分的气相色谱—质谱分析. *园艺学报*, 31 (5): 663–665.
- Chen Xue-sen, Feng Tao, Zhang Yan-min, 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.
- Feng Tao. 2007. Study on genetic diversity of phenotypic traits in *Malus sieversii* (Ldb.) Roem. [Ph. D. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 冯涛. 2007. 新疆野苹果 [*Malus sieversii* (Ldb.) Roem.] 部分表型性状的遗传多样性分析 [博士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Feng Tao, Chen Xue-sen, Zhang Yan-min, He Tian-ming, Zhang Chun-yu, Wang Li-ping, Liu Yang-min. 2006a. Comparison study of volatile components in *Malus sieversii* and in *Malus domestica*. Acta Horticulturae Sinica, 33 (6): 1295–1298. (in Chinese)
- 冯涛, 陈学森, 张艳敏, 何天明, 张春雨, 王利平, 刘扬岷. 2006a. 新疆野苹果与栽培苹果香气成分的比较. 园艺学报, 33 (6): 1295–1298.
- Feng Tao, Zhang Hong, Chen Xue-sen, Zhang Yan-min, He Tian-ming, Feng Jian-rong, Xu Zheng. 2006b. Genetic diversity of morphological traits and content of mineral element in *Malus sieversii* (Ldb.) Roem. and its elite seedlings. Journal of Plant Genetic Resources, 7 (3): 270–276. (in Chinese)
- 冯涛, 张红, 陈学森, 张艳敏, 何天明, 冯建荣, 许正. 2006b. 新疆野苹果果实形态与矿质元素含量多样性以及特异性状单株. 植物遗传资源学报, 7 (3): 270–276.
- Guth H. 1997. Quantitative and sensory studies of character impact odorants of different white wine varieties. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 45 (8): 3022–3026.
- He Tian-ming, Chen Xue-sen, Zhang Da-hai, Xu Lin, Liu Ning, Gao Jiang-sheng, Xu Zheng. 2007. Frequency distribution of several biological characters in different apricot eco-geographical groups native to China. Acta Horticulturae Sinica, 34 (1): 17–22. (in Chinese)
- 何天明, 陈学森, 张大海, 徐麟, 刘宁, 高疆生, 许正. 2007. 中国普通杏种质资源若干生物学性状的频度分布. 园艺学报, 34 (1): 17–22.
- Lin Pei-jun, Cui Nai-ran. 2000. Wild fruit forests resources in Tianshan Mountains—Comprehensive research on wild forests in Ili, Xinjiang, China. Beijing: China Forest Press. (in Chinese)
- 林培钧, 崔乃然. 2000. 天山野果林资源——伊犁野果林综合研究. 北京: 中国林业出版社.
- Liu Chong-qi, Chen Xue-sen, Wu Chuan-jin, Zhang Hong, Cui Xiao-ping, Shi Jun, Guo Liang. 2008. Tissue culture of wild myrobalan plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.) stem segment, leaf explants and its plantlet regeneration. Journal of Fruit Science, 25 (1): 49–53. (in Chinese)
- 刘崇琪, 陈学森, 吴传金, 张红, 崔孝平, 石俊, 郭梁. 2008. 新疆野生樱桃李 (*Prunus cerasifera* Ehrh.) 茎段与叶片培养及其植株再生. 果树学报, 25 (1): 49–53.
- Liu Jing, Zhou Qing-he, Sun Hai-wei, Qiu Zhi-lin, Wang Yu-wen, Sun Zhong-xu. 2004. Study on the phenotype biodiversity of Xinjiang wild apples. Journal of Fruit Science, 21 (4): 285–288. (in Chinese)
- 刘静, 周庆和, 孙海伟, 邱治霖, 王玉文, 孙仲序. 2004. 新疆野生苹果表型多样性研究. 果树学报, 21 (4): 285–288.
- Liu Xiao-li, Chen Xue-sen, Zhang Mei-yong, Chen Xiao-liu, He Tian-ming, Zhang Li-jie, Zhang Chun-yu. 2008. Population genetic structure of *Juglans regia* using SSR markers. Journal of Fruit Science, 25 (4): 526–530. (in Chinese)
- 刘晓丽, 陈学森, 张美勇, 陈晓流, 何天明, 张立杰, 张春雨. 2008. 普通核桃 (*Juglans regia*) 3 个群体遗传结构的 SSR 分析. 果树学报, 25 (4): 526–530.
- Liu Xiao-li, He Tian-ming, Zhang Mei-yong, Zhang Li-jie, Ci Zhi-juan, Zhang Chun-yu, Chen Xue-sen. 2007. Optimization of SSR analysis system in walnut. Journal of Fruit Science, 24 (2): 140–145. (in Chinese)
- 刘晓丽, 何天明, 张美勇, 张立杰, 慈志娟, 张春雨, 陈学森. 2007. 核桃 SSR 反应体系的优化. 果树学报, 24 (2): 140–145.
- Liu Zheng-hui, Liu Da-jun. 2007. Research progress on nutritional quality of iron and zinc in wheat. Journal of Triticeae Crops, 27 (1): 172–175. (in Chinese)
- 刘正辉, 刘大钧. 2007. 小麦铁锌营养品质研究进展. 麦类作物学报, 27 (1): 172–175.
- Plotto A M, Daniel M R. 1999. Characterization of 'Gala' apple aroma and flavor differences between controlled atmosphere and air storage. J Am Soc Hort Sci, 124 (4): 416–423.
- Uauy C, Distelfeld A, Fahima T, Blechl A, Dubcovsky J. 2006. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. Science, 314: 1298–1301.
- Wang Hai-bo, Chen Xue-sen, Xin Pei-gang, Feng Tao, Shi Jun, Ci Zhi-juan. 2007. GC-MS analysis of volatile components in several early apple cultivars. Journal of Fruit Science, 24 (1): 11–15. (in Chinese)
- 王海波, 陈学森, 辛培刚, 冯涛, 石俊, 慈志娟. 2007. 几个早熟苹果品种香气成分的 GC-MS 分析. 果树学报, 24 (1):

11-15.

- Wang Lei, Xu Zheng, Liao Kang, Zhao Yong-sheng, Zhou Long. 2006. Study on ecology-biology of wild cherry plum in Xinjiang I. The analysis on ecology factors with charaters of botanic, phynology, distribution. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 43 (2): 87-95. (in Chinese)
- 王磊, 许正, 廖康, 赵永生, 周龙. 2006. 新疆野生樱桃李的生态—生物学研究 I. 生态因子与植物学、物候学特性分析. *新疆农业科学*, 43 (2): 87-95.
- Yang Yue-xin, Wang Guang-ya, Pan Xing-chang. 2002. Table of Chinese food component. Beijing: Peking University Medicine Press. (in Chinese)
- 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 2002. 中国食物成分表. 北京: 北京大学医学出版社.
- Zhang Chun-yu, Chen Xue-sen, He Tian-ming, Liu Xiao-li, Feng Tao, Yuan Zhao-he. 2007. Genetic diversity in *Malus sieversii* (Ldb.) Roem. II. Population genetic structure in *Malus sieversii* revealed by SSR markers in Xinjiang. *Journal of Genetics and Genomics*, 34 (10): 947-955.
- Zhang Xiao-yan, Chen Xue-sen, Peng Yong, Wang Hai-bo, Shi Jun, Zhang Hong. 2008. Genetic diversity of mineral elements, sugar and acid components in *M. sieversii*. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (2): 277-280. (in Chinese)
- 张小燕, 陈学森, 彭勇, 王海波, 石俊, 张红. 2008. 新疆野苹果矿质元素与糖酸组分的遗传多样性研究. *园艺学报*, 35 (2): 277-280.
- Zhang Xin-shi. 1973. On the eco-geographical characters and the problems of classification of the wild fruit-tree forest in the Ili valley of sinkiang. *Acta Botanica Sinica*, 15 (2): 239-253. (in Chinese)
- 张新时. 1973. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题. *植物学报*, 15 (2): 239-253.
- Zhang Xu, Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, He Nai-bo, Li Yan-ju, Zhao Deng-chao. 2007. Changes of aroma components in 'Hongdeng' sweet cherry during fruit development. *Scientia Agricultura Sinica*, 40 (6): 1222-1228. (in Chinese)
- 张序, 姜远茂, 彭福田, 何乃波, 李延菊, 赵登超. 2007. '红灯'甜樱桃果实发育过程中香气成分的组成及其变化. *中国农业科学*, 40 (6): 1222-1228.

欢迎订阅 2009 年《作物学报》

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物科学研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的全国性学术刊物。主要刊登农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、生态、种质资源、谷物化学、贮藏加工以及与农作物有关的生物技术、生物数学、生物物理、农业气象等领域以第一手资料撰写的学术论文、研究报告以及专题综述、评述等。读者对象是从事农作物科学研究的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《作物学报》从 1999 年起连续 8 年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”的资助, 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。从 2002 年起连续 6 年被中国科技信息研究所授予“百种中国杰出学术期刊”称号。2005 年获“第三届国家期刊奖提名奖”。据北京大学图书馆编著的《中文核心期刊要目总览 (2008 年版)》登载,《作物学报》被列在“农学、农作物类核心期刊表”的首位。

《作物学报》为月刊, 2009 年 192 页/期, 定价: 50 元/册, 全年 600 元。可通过全国各地邮局订阅, 刊号: ISSN 0496-3490, CN 11-1809/S, 邮发代号: 82-336。也可向编辑部直接订购。

编辑部地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号 中国农业科学院作物科学研究所《作物学报》编辑部;

邮编: 100081;

联系电话: 010-82108548; 传真: 010-82105793; E-mail: xzbw@chinajournal.net.cn。

网址: <http://www.chinacrops.org/zwxb/> (向读者免费提供最新录用、下期、当期及过刊全文, 有在线投稿、在线审稿、在线查询等功能)。