

DOI: 10.13432/j.cnki.jgsau.2021.01.011

不同矮化中间砧对嘎啦苹果果实品质的影响

陶茹¹, 张天皓¹, 吴丹², 樊淼淼¹, 孙鲁龙¹, 刘振中¹, 高华¹

(1. 西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 成都新朝阳作物科学股份有限公司, 四川 成都 610000)

摘要:【目的】研究不同矮化中间砧(M7、JM7、SCI、SH1、SH6、SH38、M26、T337)对嘎啦苹果果实品质的影响, 为甘肃陇东地区生产高质量嘎啦苹果提供理论依据。【方法】测定8种矮化中间砧嘎啦果实的单果质量、果形指数、果实色泽、果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸和香气成分, 对果实品质指标进行综合分析。【结果】与对照相比, M7单果质量增加9.22%; SCI单果质量增加7.13%, 果皮蓝黄色度增加22.98%, 可滴定酸含量增加了0.04%; SH6果实硬度增加34.26%、可滴定酸含量增加了0.04%; SH1果皮蓝黄色度增加17.79%, 果皮红绿色度增加20.98%; M26可溶性糖含量高1.59%, 香气总含量增加60.99%, 酯类物质总含量增加70.50%, 特征香气种类最多; SH38醛类物质总含量最高; M26、JM7、T337、SCI、SH6、SH38各含一种独特香气。【结论】嘎啦/M26、JM7/新疆野苹果这2个砧穗组合果实品质综合表现优于其它组合, 对提高果实品质有益。

关键词: 苹果; 矮化中间砧; 果实品质; 香气

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1003-4315(2021)01-0072-13



Effects of different dwarfing interstocks on fruit quality of Gala apple

TAO Ru¹, ZHANG Tianhao¹, WU Dan², FAN Miaomiao¹, SUN Lulong¹,
LIU Zhenzhong¹, GAO Hua¹

(1. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China; 2. Chengdu New Chaoyang Crop Science Co Ltd, Chengdu 610000, China)

Abstract:【Objective】To study the effects of different dwarfing interstocks(M7, JM7, SCI, SH1, SH6, SH38, M26, T337) on the fruit quality of Gala apple, and to provides a theoretical basis for high-quality Gala apple production in Longdong of Gansu. 【Method】The fruit quality indicators including individual fruit weight, fruit shape index, fruit color, fruit hardness, soluble solids, titratable acid and aroma components of Gala fruits grown from 8 dwarfing interstocks were measured and comprehensively analyzed. 【Result】Compared with the control, the single fruit weight in M7 and SCI groups increased by 9.22% and 7.13% respectively; The peel blue-yellowness and titratable acid content in SCI group increased by 22.98% and 0.04%; The fruit hardness and titratable acid content in SH6 group increased by 34.26%, and 0.04%; The peel blue-yellowness and peel red-green color in SH1 group increased by 17.79% and 20.98%; The soluble sugar, total aroma and total ester contents of fruits in M26 group increased by 1.59%, 60.99% and

第一作者: 陶茹, 硕士研究生. E-mail: 361030839@qq.com

通信作者: 高华, 研究员, 硕士导师, 主要从事苹果育种研究. E-mail: gaohua2378@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201131); 国家苹果产业技术体系项目(CARS-27).

收稿日期: 2020-06-01; 修回日期: 2020-08-31

70.50% respectively. Fruits in M26 group contained most types of characteristic aroma, and those in SH38 group showed the highest content of total aldehydes. Fruits in M26, JM7, T337, SCI, SH6 and SH38 groups contained a unique aroma. 【Conclusion】 In terms of general fruit quality, M26 and JM7 are better.

Key words: apple; dwarfing interstock; fruit quality; aroma

苹果是蔷薇科苹果亚科落叶乔木,为世界四大水果(苹果、葡萄、柑桔、香蕉)之冠^[1]。嘎啦为新西兰选育的中熟新品种,其外观艳丽,香气浓郁,品质优良,深受生产者和消费者的青睐^[2]。甘肃陇东地区属于我国黄土高原苹果优势产业带之一,该地区具有发展优质苹果的优越条件,嘎啦苹果已在该地区大量种植^[3]。

目前,世界上苹果栽植的主流方向为矮砧集约栽培,已在陕西、山东等苹果大省大面积示范推广^[4]。影响苹果果实品质的重要因素之一为砧木,砧木调控果树营养物质的吸收和运输,影响果实生长发育过程中有机物的代谢和积累,因此,亲和性高的砧穗组合果实品质较优异^[5]。国内外诸多学者在苹果砧穗组合方面,针对树体地下、地上部分做了大量研究与分析^[6-7],但针对不同矮化中间砧对果实内外品质的系统评价不多^[8]。赵德英等^[9]研究发现,嘎啦苹果与 SH38 中间砧嫁接,根系对 K、Mg 元素吸收能力较强,与 SH1 中间砧嫁接,根系对 Cu、Fe、Zn 元素吸收能力较强,果实品质较好。霍强强等^[10]研究发现,在陕西千阳地区,嘎啦/M9-T337 砧穗组合在树体生长、果实品质等方面均表现较好。袁仲玉等^[11]分析了在甘肃陇东地区适宜长富 2 号的砧穗组合,结果表明与 SH1、SCI 中间砧嫁接,可有效控制树体、提早开花结果,丰产性强,果实品质较好。在陇东地区,前人初步筛选出八棱海棠为适宜的苹果矮化栽培砧木,LS 和 T337 中间砧较适宜于嘎啦中秋王等早熟品种, M9、M26、T337 等中间砧适宜于富士系晚熟品种^[12]。研究表明,矮化砧木可提高寒富苹果果实中糖酸含量、糖酸比、甜味指数和风味指数^[13],而关于不同矮化中间砧对嘎啦果实品质的影响研究较少。

本研究为筛选适宜甘肃陇东地区发展的矮化中间砧,选取砧木为新疆野苹果的嘎啦苹果为试材,分析 M7、JM7、SCI、SH1、SH6、SH38、M26、T337 不同矮化中间砧对嘎啦苹果果实品质的影响。通过测定果实基本生理指标和香气成分,探讨

当砧木为新疆野苹果时,不同矮化中间砧嘎啦果实品质的差异,以为甘肃陇东地区生产高品质的嘎啦苹果提供一定的理论基础,助力该地区苹果产业健康发展。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料在 2018 年采集于甘肃省庆城苹果试验站(N 35°0'13", E 107°54'56"),海拔 1 300 m,年降雨量 530 mm,年平均气温 9.4 °C,无霜期 150 d。试材为树龄 6 a 的嘎啦苹果,砧木为新疆野苹果,矮化中间砧为 M7、JM7、SCI、SH1、SH6、SH38、M26、T337。其中以生产中应用较多的 T337 作为对照,8 种矮化中间砧均来自于西北农林科技大学白水苹果试验站资源圃。

试验树株行距为 1.5 m×4 m,自由纺锤形整形,栽培条件和管理水平一致,单株负载量控制在 35~40 kg/株。每处理选取树势一致、结果量相近的试验树 3 棵,作为 3 次重复。于果实成熟期在每棵树不同部位均匀采摘 5 个果实,每个砧穗组合共采摘 15 个果实。

1.2 方法

1.2.1 基本指标 单果质量^[14]:用精度 0.1 g 的电子天秤称质量;果形指数^[14]:用游标卡尺分别测量果实纵径和横径,求其比值的平均值;果实色泽参数^[15]:用 Minolta CR-400 型色差计测定,测量果面的 L^* 、 a^* 、 b^* (L 表示果皮亮度, a 表示果皮红绿色度, b 表示果皮黄蓝色度)值;果实硬度^[16]:用 GS-15 型水果质地分析仪测定;可溶性固形物^[16]:用手持日产 ATAGO 数显糖度仪测定;可滴定酸^[16]:用 GMK-835F 型苹果酸度计测定。

1.2.2 香气成分测定方法 应用顶空固相微萃取法提取果实的香气成分。参照邓瑞^[15]的方法,并稍做改动。用研磨机将冻好的果肉磨成粉末。将 1 g NaCl、5 g 果肉、10 μ L 内标物(3-壬酮)加入 50 mL

样品瓶中,锡箔纸封口加盖后放置在磁力搅拌加热板上平衡 10 min.将萃取头插入已平衡好的样品瓶中进行吸附 40 min后,插入 250 °C 的 GC 进样口,解吸 2.5 min后,取出萃取头.果实挥发性成分用 GC-MSQP-2010 气相色谱-质谱联用仪测定.

1.2.3 香气物质定性与定量 未知化合物质谱图经计算机检索同时与 NIST05 质谱库相匹配,确认各种香气成分,以 3-壬酮为内标进行定量.

香气组分含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)=[各组分的峰面积/内标的峰面积 \times 内标浓度($\mu\text{L}/\text{mL}$) $\times 10 \mu\text{L}$]/样品量(g);每个处理设置 3 次重复.

香气值(U_o)=某香气成分的含量/香气阈值

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 和 SPSS 21.0 软件进行试验数据处理,Duncan's 法进行各处理间的显著性分析.

1.3.1 主成分分析 用 SPSS 分析软件对所测指标降维处理后进行主成分分析,将多个相关指标转换成新的综合指标,通过综合指标得分函数计算出各主成分的得分.

1.3.2 隶属函数分析 通过隶属函数法,求出 D 值. D 值为各矮化中间砧嘎啦综合指标评价果实品质的度量值, D 值越大,果实综合品质越好.计算公式如下:

$$D = \sum_{i=1}^n [u(x_j) \times (r_j / \sum_{i=1}^n |r_j|)] \quad (1)$$

$$u(x_j) = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (2)$$

式中: $u(x_j)$:表示各综合指标的隶属函数值, x_j 表示第 j 个指标值; x_{\min} 表示某中间砧富士第 j 个综合指标的最小值; x_{\max} 表示第 j 个综合指标的最大值; r_j 为各中间砧富士第 j 个综合指标的贡献率; $r_j / \sum_{i=1}^n |r_j|$ 为各综合指标的权重,表示第 j 个综合指标在所有综合指标的重要程度.

1.3.3 聚类分析 对各矮化中间砧嘎啦的 D 值进行系统聚类,根据聚类结果将 8 种不同矮化中间砧嘎啦的果实品质进行分类.

2 结果与分析

2.1 不同矮化中间砧对嘎啦果实外在品质的影响

2.1.1 果实大小 不同矮化中间砧对嘎啦果实大小有一定影响(表 1),M7 的单果质量高于对照 9.22%,SCI 高于对照 7.13%,SH6 最小且显著降低 26.73%;M7 的果实纵径和横径优于其他中间砧,SH6 显著小于对照;SH6、SH38、T337、SH1 的果形指数优于其它中间砧,M7 显著低于对照.

表 1 不同矮化中间砧嘎啦果实大小

Table 1 Different dwarfing interstock Gala fruit size

中间砧 Middle anvil	单果质量/g Weight	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Diameter	果形指数 Fruit shape index
M7	213.73 \pm 4.48 a	65.83 \pm 2.60 a	79.34 \pm 2.70 a	0.83 \pm 0.02 b
JM7	181.97 \pm 5.78 ab	64.08 \pm 0.99 ab	74.95 \pm 1.82 abc	0.86 \pm 0.02 ab
SCI	209.64 \pm 6.64 a	67.49 \pm 0.95 a	77.39 \pm 1.15 ab	0.87 \pm 0.01ab
SH1	178.75 \pm 6.12 ab	64.64 \pm 1.19 ab	73.31 \pm 1.31 bc	0.88 \pm 0.01 a
SH6	143.39 \pm 5.03 c	61.19 \pm 0.98 b	67.86 \pm 0.98 d	0.90 \pm 0.02 a
SH38	170.55 \pm 5.49 bc	64.58 \pm 1.07 ab	71.92 \pm 0.71 cd	0.90 \pm 0.01 a
M26	191.65 \pm 4.36 ab	65.62 \pm 1.79 ab	76.75 \pm 1.87 abc	0.86 \pm 0.02 ab
T337	195.69 \pm 8.51 ab	67.38 \pm 0.92 a	75.95 \pm 1.23 abc	0.89 \pm 0.01 a

数据来自 3 个独立生物学重复的 $\bar{x} \pm s$,纵向不同小写字母表示差异显著水平($P < 0.05$).

The data are from the mean \pm standard error of three independent biological replicates. Vertical lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.1.2 果实色泽 由表 2 可知,SH6、JM7、M26 的果实亮度高于对照且优于其它中间砧;SH1 的果皮红绿色度高于对照 20.98%;SCI、SH1 的果皮黄蓝色度显著比对照提高了 22.98%、17.79%.

2.2 不同矮化中间砧对嘎啦果实内在品质的影响

2.2.1 果实硬度和糖、酸含量 由表 3 可知,在果实硬度方面,SH6 显著比对照提高 34.26%,其它矮化中间砧高于对照但差异不显著;在可溶性固形物

方面,M26 显著比对照高了 1.59%,SH38 显著比对照低了 1.43%;在可滴定酸方面,SCI、SH6、M7 含量较高,SH38 比对照 T337 含量低了 0.11%;在

固酸比方面,各矮化中间砧嘎啦果实差异不显著,但以 SH38 最高。

表 2 不同矮化中间砧嘎啦果实色泽

Table 2 Different dwarfing interstocks Gala fruit color

中间砧 Middle anvil	色泽参数 Color parameters		
	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
M7	59.74±1.69 a	37.77±4.34 ab	27.36±1.45 ab
JM7	63.11±1.19 a	36.36±1.51 ab	24.75±0.91 ab
SCI	56.55±1.78 a	34.31±1.56 b	29.17±1.14 a
SH1	56.49±1.37 a	42.85±1.40 a	27.94±1.14 a
SH6	63.27±1.03 a	39.07±1.75 ab	26.96±1.52 ab
SH38	62.01±1.18 a	35.58±3.31 ab	24.41±1.78 b
M26	63.04±2.21 a	34.43±1.73 b	25.40±1.66 ab
T337	62.55±1.76 a	35.42±1.34 ab	23.72±1.03 b

数据来自 3 个独立生物学重复的 $\bar{x}\pm s$,纵向不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).

The data are from three independent biological replicates $\bar{x}\pm s$. Vertical lowercase letters indicate significant differences($P<0.05$).

表 3 不同矮化中间砧嘎啦果实硬度、糖酸含量

Table 3 Different dwarfing interstock Gala fruit firmness, sugar and acid content

中间砧 Middle anvil	硬度/($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) Hardness	可溶性固形物/% Soluble solids	可滴定酸/% Titratable acid	固酸比 Solid acid ratio
M7	8.29±0.32 b	14.77±0.54 ab	0.39±0.03 a	39.12±3.89 ab
JM7	8.50±0.25 b	14.45±0.28 abc	0.35±0.03 ab	42.50±2.94 ab
SCI	8.65±0.33 b	14.18±0.32 bc	0.42±0.03 a	35.02±2.49 b
SH1	8.59±0.36 b	13.33±0.31 cd	0.33±0.04 ab	42.86±4.64 ab
SH6	10.62±0.32 a	14.27±0.52 bc	0.42±0.04 a	35.80±3.75 b
SH38	8.53±0.27 b	12.55±0.37 d	0.27±0.02 b	48.40±3.51 a
M26	8.41±0.20 b	15.57±0.32 a	0.38±0.03 a	42.61±2.77 ab
T337	7.91±0.35 b	13.98±0.30 bc	0.38±0.02 a	37.44±2.70 ab

数据来自 3 个独立生物学重复的 $\bar{x}\pm s$,纵向不同小写字母表示差异显著水平($P<0.05$).

The data are from the $\bar{x}\pm s$ of three independent biological replicates. Vertical lowercase letters indicate significant differences($P<0.05$).

2.2.2 果实香气成分及含量 由附表 4 可知,8 种矮化中间砧嘎啦果实中共检测出酯类 35 种、醛类 14 种、醇类 4 种、酸类 4 种、酮类 4 种、醚类 1 种和其它类 2 种共计 64 种香气成分. T337、M26、SH38、SH6、JM7、SH1、SCI、M7 矮化中间砧嘎啦果实中分别检测出 48、47、44、43、43、42、41、40 种香气物质。

不同矮化中间砧嘎啦果实香气总含量差异显著,总含量依次为 M26($2\,491.78\ \mu\text{g}/\text{kg}$) > SH38 ($2\,119.82\ \mu\text{g}/\text{kg}$) > JM7 ($1\,919.22\ \mu\text{g}/\text{kg}$) > T337 ($1\,547.81\ \mu\text{g}/\text{kg}$) > SCI ($1\,530.42\ \mu\text{g}/\text{kg}$) > M7 ($1\,478.99\ \mu\text{g}/\text{kg}$) > SH1 ($1\,149.20\ \mu\text{g}/\text{kg}$) >

SH6 ($1\,056.96\ \mu\text{g}/\text{kg}$).

8 种矮化中间砧嘎啦果实中共有香气成分为乙酸己酯、乙酸丁酯、2-甲基-1-丁基乙酸酯、己醛、2-己烯醛、正己醇、1-辛烯-3-酮、草蒿脑等 24 种. 各矮化中间砧嘎啦果实中特有香气成分为: 1-丁醇 (T337); 己酸异戊酯 (JM7); 戊酸丁酯 (SCI); 异丁酸己酯 (SH6); D-(+)-松三糖水合物 (SH38); 丙酸正丙酯 (M26).

不同矮化中间砧嘎啦果实各类香气总含量上差异显著(图 1),M26 的酯类含量显著比对照 T337 高了 70.50%;SH38、M7、M26 的醛类含量显著高

于对照 T337;JM7、SCI、SH1、SH6 的酮类含量显著高于对照 T337;SH38 的酸类含量显著高于对照 T337;在醇类、醚类、其它类含量上,各矮化中间砧

嘎啦较对照均无显著差异;在 SH1 中间砧嘎啦果实中未检测到醚类物质,在 SCI 中间砧嘎啦果实中未检测到酸类、醚类物质.

表 4 不同矮化中间砧嘎啦苹果香气成分分析

Table 4 Analysis of aroma components of Gala apple fruit on different dwarfing interstocks

序号 Serial number	化合物 Compounds	相对含量/% Relative content							
		T337	M7	JM7	SCI	SH1	SH6	SH38	M26
酯类 Esters									
1	乙酸丙酯 n-Propyl acetate	1.54± 0.01	1.50± 0.28	1.28± 0.13	1.03± 0.07	0.97± 0.05	0.86± 0.12	1.08± 0.16	1.70± 0.11
2	异戊酸己酯 Butanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester	5.85± 0.17	2.99± 0.81	5.97± 0.14	5.34± 0.38	4.14± 0.28	4.21± 0.19	6.18± 0.73	7.23± 0.37
3	乙酸戊酯 Acetic acid,pentyl ester	5.37± 0.07	6.44± 0.60	4.97± 0.14	6.23± 0.11	6.55± 0.66	6.26± 0.46	5.03± 0.31	4.78± 0.38
4	乙酸己酯 Acetic acid,hexyl ester	19.39± 0.31	21.03± 2.57	20.87± 0.12	20.01± 0.87	21.50± 0.26	20.51± 0.22	18.92± 1.00	17.63± 0.32
5	乙酸庚酯 Acetic acid,heptyl ester	0.70± 0.01	0.48± 0.08	0.40± 0.02	0.21± 0.02	0.30± 0.02	0.23± 0.01	0.23± 0.04	0.55± 0.05
6	乙酸丁酯 Acetic acid,butyl ester	5.70± 0.07	6.82± 0.77	5.94± 0.39	6.79± 0.56	7.26± 0.17	6.39± 0.07	5.80± 0.24	5.15± 0.07
7	辛乙烯二醇单正十二烷基酯 Octaethylene glycol monododecyl ether	0.63± 0.07	0.63± 0.22	0.46± 0.09	—	0.13± 0.01	0.16± 0.07	0.92± 0.17	0.94± 0.12
8	辛酸己酯 Octanoic acid,hexyl ester	0.22± 0.02	—	0.11± 0.00	0.20± 0.05	0.12± 0.01	0.11± 0.01	0.14± 0.02	0.23± 0.04
9	辛酸丁酯 Butyl caprylate	1.14± 0.07	—	0.58± 0.03	1.32± 0.26	1.01± 0.08	1.08± 0.14	1.21± 0.12	1.41± 0.14
10	己酸戊酯 Hexanoic acid,pentyl ester	0.47± 0.02	—	—	—	—	—	0.73± 0.54	—
11	己酸己酯 Hexanoic acid,hexyl ester	3.16± 0.19	0.11± 0.11	2.39± 0.10	4.78± 0.72	2.98± 0.35	3.85± 0.33	3.45± 0.31	4.90± 0.35
12	庚酸丁酯 Heptanoic acid,butyl ester	0.12± 0.01	—	—	0.13± 0.00	0.11± 0.01	—	—	0.10± 0.00
13	丁酸己酯 Butanoic acid,hexyl ester	1.76± 0.06	1.21± 0.12	1.92± 0.08	—	1.73± 0.12	—	1.65± 0.34	2.10± 0.21
14	丁酸丁酯 Butanoic acid,butyl ester	0.74± 0.04	0.37± 0.05	1.08± 0.06	0.71± 0.08	1.12± 0.13	0.58± 0.12	0.73± 0.03	0.92± 0.06
15	丙酸己酯 Propanoic acid,hexyl ester	1.00± 0.02	0.33± 0.06	0.94± 0.06	0.33± 0.05	0.37± 0.05	0.24± 0.01	0.68± 0.22	1.36± 0.16
16	丙酸丁酯 Propanoic acid,butyl ester	0.99± 0.05	0.72± 0.10	1.08± 0.08	0.52± 0.07	0.79± 0.07	—	0.27± 0.09	1.04± 0.05
17	丙基辛酸酯 Propyl octanoate	0.05± 0.00	—	—	0.08± 0.00	—	0.05± 0.01	—	0.13± 0.01
18	5-烯己酯 5-Hexene-1-ol,acetate	1.92± 0.04	2.71± 0.30	2.40± 0.09	2.97± 0.07	2.30± 0.05	2.19± 0.06	1.84± 0.27	1.96± 0.08
19	3-甲基-丁酸戊酯 Butyl 3-methylpentanoate	2.58± 0.08	—	2.10± 0.22	—	—	—	3.99± 0.57	—
20	2-烯己酯 2-Hexen-1-ol,acetate	0.81± 0.03	1.06± 0.11	0.59± 0.03	0.53± 0.11	0.78± 0.01	—	0.65± 0.17	0.99± 0.01
21	2-甲基-丁酸丁酯 Butyl 2-methylbutanoate	2.12± 0.46	1.07± 0.19	1.53± 0.03	1.12± 0.13	1.46± 0.09	0.70± 0.06	1.92± 0.87	1.84± 0.27
22	2-甲基丁酸丙酯 Butanoic acid, 2-methyl-, propyl ester	0.10± 0.00	0.10± 0.01	0.07± 0.02	0.05± 0.00	0.04± 0.00	—	0.04± 0.00	0.17± 0.00
23	2-甲基丁基己酸酯 Hexanoic acid,2-methylbutyl ester	0.11± 0.00	—	—	—	—	—	—	0.20± 0.02

续表 4 Continued table 4

序号 Serial number	化合物 Compounds	相对含量/% Relative content							
		T337	M7	JM7	SCI	SH1	SH6	SH38	M26
24	2-甲基-1-丁基乙酸酯 1-Butanol,2-methyl-,acetate	12.86±	14.03±	12.8±	12.51±	12.80±	11.33±	7.59±	13.19±
		0.77	0.54	1.07	0.09	0.46	0.85	2.02	0.66
25	2-苯乙醇乙酸酯 Acetic acid,2-phenylethyl ester	0.34±	0.66±	0.39±	0.32±	0.18±	0.19±	0.20±	0.30±
		0.02	0.13	0.00	0.03	0.01	0.01	0.04	0.03
26	2-甲基丁酸 2-甲基丁酯 2-methylbutyric acid 2-methylbutyl Ester	0.19±	0.22±	0.19±	0.14±	0.19±	—	—	0.39±
		0.02	0.02	0.04	0.01	0.04	—	—	0.06
27	己酸丙酯 Hexanoic acid,propyl ester	—	—	—	—	—	—	0.18±	0.55±
								0.08	0.07
28	2-甲基丙酸戊酯 Propanoic acid, 2-methyl-, pentyl ester	—	—	—	—	—	0.06±	0.07±	—
							0.01	0.01	
29	己酸异戊酯 Isopentyl hexanoate	—	—	0.07±	—	—	—	—	—
				0.00					
30	异丁酸己酯 Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester	—	—	—	—	—	1.10±	—	—
							0.41		
31	己酸丁酯 Hexanoic acid,butyl ester	—	—	—	4.93±	3.35±	3.71±	—	4.63±
					1.26	0.42	0.01		0.53
32	辛基己酸酯 Hexanoic acid,octyl ester	—	—	—	—	0.36±	0.52±	—	—
						0.01	0.06		
33	戊酸丁酯 Pentanoic acid,butyl ester	—	—	—	0.07±	—	—	—	—
					0.01				
34	丙酸正丙酯 Propanoic acid,propyl ester	—	—	—	—	—	—	—	0.11±
									0.00
35	丙酸正戊酯 Propanoic acid,pentyl ester	—	0.12±	—	—	—	—	—	0.13±
			0.02						0.00
醛类 Aldehydes									
36	正辛醛 Octanal	0.16±	0.22±	0.32±	0.26±	0.43±	0.48±	0.16±	0.17±
		0.03	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01	0.02	0.01
37	己醛 Hexanal	1.06±	1.30±	1.82±	1.83±	1.63±	2.64±	0.68±	1.23±
		0.11	0.72	0.36	0.32	0.25	0.35	0.10	0.28
38	壬醛 Nonanal	0.28±	0.36±	0.43±	0.39±	0.67±	0.72±	0.27±	0.34±
		0.05	0.09	0.03	0.02	0.04	0.02	0.07	0.03
39	癸醛 Decanal	0.20±	—	0.20±	0.18±	0.34±	0.35±	—	0.19±
		0.02	—	0.00	0.01	0.04	0.03	—	0.03
40	反-2-辛烯醛 2-Octenal, (E)-	0.50±	0.64±	0.73±	0.84±	0.85±	0.90±	0.49±	0.41±
		0.07	0.10	0.04	0.14	0.04	0.09	0.08	0.04
41	5-羟甲基糠醛 5-Hydroxymethylfurfural	1.56±	7.32±	2.97±	—	—	—	7.87±	1.91±
		0.19	1.25	0.47	—	—	—	0.86	0.20
42	2-十一烯醛 2-Undecenal	0.08±	0.12±	0.12±	0.16±	0.17±	0.17±	0.09±	0.12±
		0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01
43	2-甲基-4-戊醛 4-Pentenal, 2-methyl-	0.15±	0.20±	—	—	—	0.69±	—	0.20±
		0.07	0.12	—	—	—	0.08	—	0.09
44	2-己烯醛 2-Hexenal	9.78±	10.83±	8.29±	8.94±	9.45±	12.12±	8.34±	8.04±
		0.85	0.99	0.88	0.47	0.70	0.26	0.52	0.48
45	(Z)-2-壬烯醛 2-Heptenal, (Z)-	0.19±	0.26±	0.44±	0.39±	0.56±	0.58±	0.15±	0.16±
		0.05	0.01	0.02	0.07	0.03	0.07	0.06	0.03
46	(Z)-2-庚烯醛 2-Nonenal, (Z)-	0.28±	0.55±	0.24±	0.25±	0.49±	0.46±	0.26±	0.28±
		0.02	0.04	0.01	0.00	0.04	0.09	0.04	0.02
47	(E)-2-癸烯醛 2-Decenal, (E)-	0.11±	—	0.25±	0.19±	0.30±	0.29±	0.13±	0.15±
		0.04	—	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
48	糠醛 Furfural	—	2.19±	0.75±	—	—	—	3.33±	—
		—	0.97	0.11	—	—	—	0.83	—
49	(E,E)-2,4-二己烯醛 2,4-Hexadienal, (E,E)-	—	—	—	0.13±	0.12±	0.14±	—	—
		—	—	—	0.05	0.02	0.01	—	—

续表 4 Continued table 4

序号 Serial number	化合物 Compounds	相对含量/% Relative content							
		T337	M7	JM7	SCI	SH1	SH6	SH38	M26
醇类 Alcohols									
50	正己醇 1-Hexanol	5.48± 0.50	6.17± 1.39	6.00± 0.72	6.61± 0.08	7.11± 0.68	7.95± 0.53	4.71± 1.19	4.25± 0.63
51	2-甲基丁醇 1-Butanol,2-methyl-	0.81± 0.39	0.72± 0.25	—	—	—	—	—	—
52	1-丁醇 1-Butanol	0.18± 0.03	—	—	—	—	—	—	—
53	2-甲基-1-丁醇 1-Butanol,2-methyl-,(S)-	0.41± 0.31	—	0.32± 0.18	0.29± 0.02	0.28± 0.05	0.35± 0.02	0.53± 0.09	—
酸类 Acids									
54	乙酸 Acetic acid	0.47± 0.10	1.74± 0.84	0.54± 0.26	—	—	—	2.95± 1.15	0.27± 0.05
55	2-甲基丁酸 Butanoic acid, 2-methyl-	0.18± 0.02	0.36± 0.01	0.47± 0.05	—	—	0.12± 0.00	—	0.44± 0.08
56	甲酸 Formic acid	—	1.00± 0.49	—	—	—	—	1.75± 0.47	—
57	4-己烯-1-醇,醋酸 4-Hexen-1-ol,acetate	—	—	—	—	0.50± 0.01	0.43± 0.04	—	—
酮类 Ketones									
58	1-辛烯-3-酮 1-Octen-3-one	0.15± 0.03	0.20± 0.03	0.24± 0.01	0.19± 0.03	0.33± 0.02	0.32± 0.03	0.11± 0.02	0.14± 0.01
59	(E)-6,10-二甲基-5,9-十一烷二烯-2-酮 5,9-Undecadien-2-one,6,10-dimethyl-,(E)-	0.13± 0.01	—	0.14± 0.01	0.08± 0.00	0.15± 0.01	0.13± 0.02	—	0.12± 0.02
60	甲基庚烯酮 5-Hepten-2-one, 6-methyl-	—	—	—	0.20± 0.02	0.30± 0.00	0.33± 0.05	0.08± 0.02	—
61	4,4-二甲基-3-苯基-2,5-环己二烯-1-酮 2,5-Cyclohexadien-1-one,4,4-dimethyl-3-phenyl-	—	—	—	0.16± 0.00	—	0.10± 0.02	—	—
醚类 Ethers									
62	六乙二醇单十二醚 Hexaethylene glycol monododecyl ether	0.17± 0.05	0.19± 0.06	0.16± 0.08	—	—	0.17± 0.02	0.16± 0.07	0.19± 0.04
其它 Others									
63	草蒿脑 Estragole	8.14± 0.40	5.65± 0.55	8.29± 0.20	7.80± 0.23	6.25± 0.30	5.81± 0.03	6.04± 0.29	7.49± 0.18
64	D-(+)-松三糖水合物 Melezitose	—	—	—	—	—	—	0.41± 0.13	—

2.2.3 果实特征香气种类及含量 果实感官风味取决于各香气物质的风味阈值,根据香气阈值和香气值来衡量香气强度^[17],香气值为某香气成分含量与香气阈值的比值.香气值大于1的化合物为特征香气,特征香气对整体香气的贡献率较高,香气值越大,则该化合物的呈香度越高,通过查阅已发表的香气物质阈值^[18],确定不同矮化中间砧嘎啦果实特征香气成分(表5).

M26 中间砧嘎啦果实特征香气有8种,为乙酸丁酯、丙酸丁酯、乙酸戊酯、2-甲基-丁酸丁酯、乙酸己酯、丙酸己酯、己醛、壬醛;JM7、T337、SH38 特征香气有7种,缺少丙酸丁酯;SCI、SH1 特征香气有6种,缺少丙酸丁酯、丙酸己酯;M7、SH6 特征香气有5种,缺少丙酸丁酯、2-甲基-丁酸丁酯、丙酸己酯.8种矮化中间砧嘎啦果实在特征香气种类和含量上都存在显著差异.

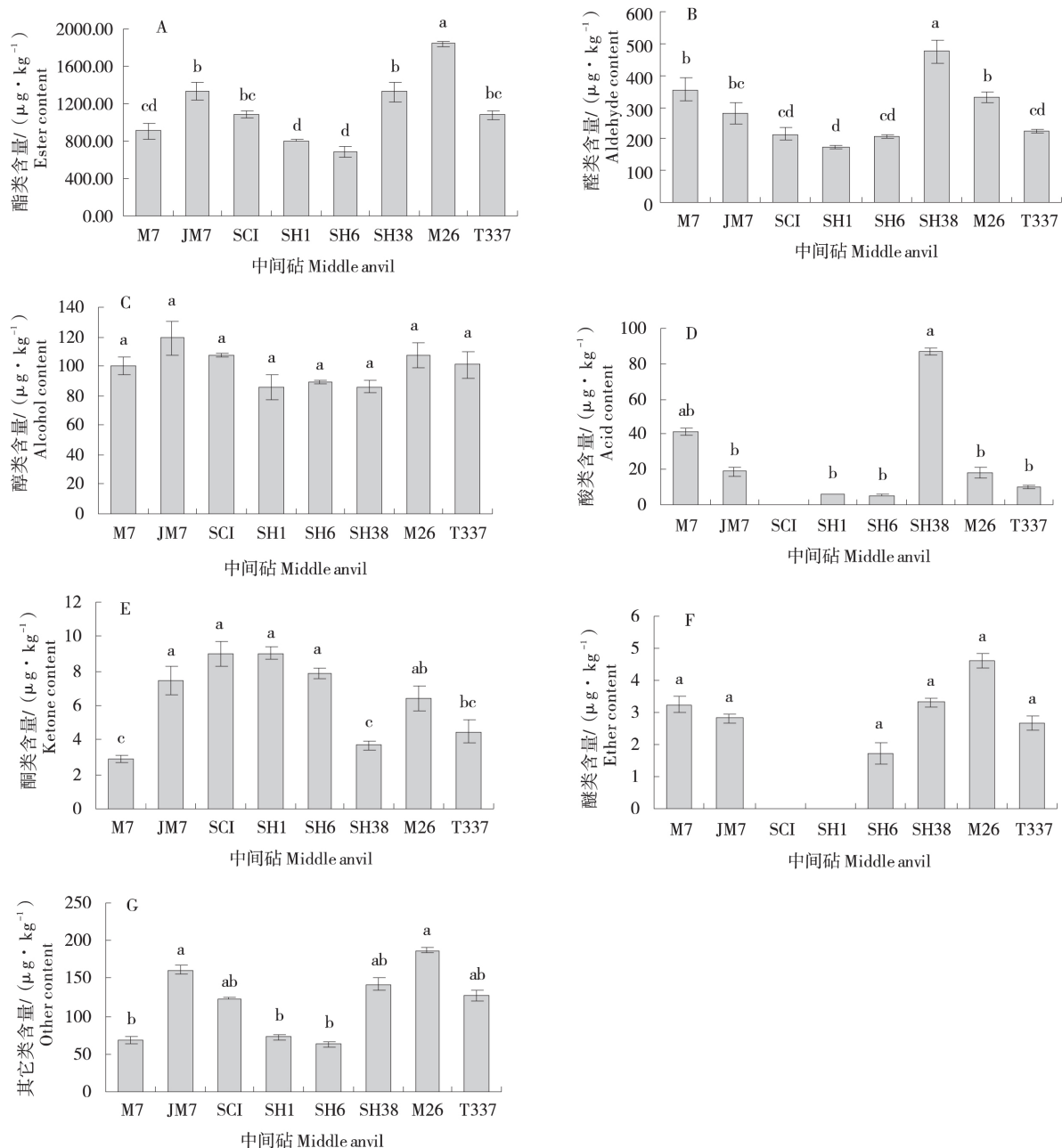


图 1 不同矮化中间砧嘎啦果实各类香气物质含量

Figure 1 The contents of various aroma substances in the fruit of different dwarfing interstocks

表 5 不同矮化中间砧嘎啦果实特征香气

Table 5 Characteristic aroma of different dwarfing interstock Gala fruits

化合物 Chemical compound	香气阈值 Aroma threshold	含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$ Content(香气值 Aroma value)							
		M7	JM7	SCI	SH1	SH6	SH38	M26	T337
乙酸丁酯 Acetic acid, butyl ester	66	98.43 (1.49)	115.72 (1.75)	107.54 (1.63)	84.25 (1.28)	69.39 (1.05)	127.05 (1.93)	129.08 (1.96)	89.47 (1.36)
丙酸丁酯 Propanoic acid, butyl ester	25	10.34 (0.41)	21.22 (0.85)	8.05 (0.32)	9.23 (0.37)	0	6.12 (0.24)	25.99 (1.04)	15.59 (0.62)
乙酸戊酯 Acetic acid, pentyl ester	43	93.47 (2.17)	96.02 (2.23)	98.27 (2.29)	76.06 (1.77)	68.36 (1.59)	109.68 (2.55)	119.47 (2.78)	84.57 (1.97)

续表 5 Continued table 5

化合物 Chemical compound	香气阈值 Aroma threshold	含量/ $(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ Content(香气值 Aroma value)							
		M7	JM7	SCI	SH1	SH6	SH38	M26	T337
2-甲基-丁酸丁酯 3-Bu- tyl 2-methylbutanoate	17	14.98 (0.88)	29.66 (1.74)	17.62 (1.04)	16.94 (1.00)	7.62 (0.45)	39.55 (2.33)	45.93 (2.70)	32.75 (1.93)
乙酸己酯 Acetic acid,hexyl ester	2	319.83 (159.92)	406.2 (203.10)	316.59 (158.80)	249.64 (124.82)	222.73 (111.37)	411.31 (205.66)	441.02 (220.51)	304.29 (152.15)
丙酸己酯 Propanoic acid,hexyl ester	8	4.79 (0.60)	18.57 (2.32)	5.25 (0.66)	4.27 (0.53)	2.64 (0.33)	15.34 (1.92)	33.99 (4.25)	15.67 (1.96)
己醛 Hexanal	10.5	20.8 (1.62)	36.8 (2.53)	29.03 (2.76)	18.98 (1.81)	28.21 (2.69)	15.16 (1.44)	30.57 (2.91)	16.65 (1.59)
壬醛 Nonanal	1	5.04 (5.04)	8.44 (8.44)	6.12 (6.12)	7.8 (7.8)	7.82 (7.82)	6.07 (6.07)	8.58 (8.58)	4.4 (4.4)

括号里数字为香气值。The number in brackets is the aroma value.

2.3 主成分分析

用 SPSS 分析软件对所测数据进行主成分分析(表 6),提取 4 个主成分,特征值分别为 5.855、4.328、2.721、1.362,贡献率(解释方差)分别为 36.593%、27.048%、17.007%、8.513%,累积贡献率达 89.161%。表明,这 4 个主成分能够反映不同

砧穗组合间果实品质的差异。

由主成分载荷矩阵(表 7)可知,单果重、果实纵径、果实横径、果实硬度、 L^* 值为第 1 主成分,其他类香气、酯类、 a^* 值、醇类、 b^* 值为第 2 主成分,酮类、醛类、醚类、酸类为第 3 主成分,可溶性固形物、可滴定酸为第 4 主成分。

表 6 主成分特征值

Table 6 Principal component characteristic values

主成分 Main ingredient	起始特征值 Starting eigenvalue		
	特征值 Eigenvalues	解释方差/% Explain variance	累积解释方差/% Cumulative explanatory variance
1	5.855	36.593	36.593
2	4.328	27.048	63.641
3	2.721	17.007	80.648
4	1.362	8.513	89.161

表 7 主成分初始因子荷载矩阵

Table 7 Principal component initial factor load matrix

	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4
单果重 Weight	0.971	0.027	0.054	0.228
纵径 Longitudinal diameter	0.928	0.173	-0.048	0.000
横径 Lateral diameter	0.926	0.131	0.115	0.296
硬度 Firmness	-0.853	-0.311	-0.136	0.199
L^*	-0.554	0.538	0.527	0.250
其它类 Others	0.177	0.974	0.062	-0.065
酯类 Esters	0.213	0.887	0.214	-0.003
a^*	-0.324	-0.672	-0.263	-0.223
醇类 Alcohols	0.353	0.617	-0.150	0.523
b^*	0.203	-0.616	-0.521	0.192
酮类 Ketones	-0.227	0.031	-0.950	0.051
醛类 Aldehydes	0.082	0.273	0.816	-0.327

续表 7 Continued table 7

	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4
醚类 Ethers	-0.062	0.532	0.787	0.212
酸类 Acids	0.012	0.070	0.776	-0.558
可溶性固形物 Soluble solids	0.128	0.273	0.006	0.898
可滴定酸 Titratable acid	0.038	-0.201	-0.308	0.890

2.4 隶属函数分析

在各主成分综合得分基础上,用公式(2)计算各综合指标的隶属函数值,再利用公式(1)求各矮化中间嘎啦苹果的 D 值. D 值可综合性评价果实品质的优劣,反映各矮化中间砧对果实品质的差异影响, D

值越大,果实品质越好. 8 种矮化中间砧嘎啦果实中, M26 的 D 值最大为 0.74, JM7 的 D 值次之, 为 0.610, SH6、SH1 的 D 值最低, 为 0.291 和 0.217. 表明, M26、JM7 矮化中间砧的嘎啦果实品质最好; SH6、SH1 果实品质较差.

表 8 8 种矮化中间砧嘎啦的综合指标值、权重、隶属函数值、D 值及综合评价

Table 8 Comprehensive index value, weight, membership function value, D value and comprehensive evaluation of 8 dwarfing intermediate anvi 'LS'

中间砧 Middle anvil	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	U(X ₁)	U(X ₂)	U(X ₃)	U(X ₄)	D 值 D value	果实品质 Fruit quality
M7	0.853	0.913	-2.031	1.957	0.257	0.215	0	0.036	0.508	好 Good
JM7	1.269	0.123	1.497	-0.526	0.279	0.180	0.140	0.011	0.610	较好 Better
SCI	-0.819	3.416	-0.535	-0.998	0.171	0.325	0.060	0.006	0.562	好 Good
SH1	-3.328	-0.105	-1.885	-1.583	0.041	0.170	0.007	0	0.217	较差 Poor
SH6	-4.110	-1.767	2.116	1.285	0	0.097	0.165	0.029	0.291	较差 Poor
SH38	1.922	-3.967	-1.074	-0.653	0.313	0	0.039	0.009	0.361	差 Poor
M26	2.753	0.897	2.023	0.088	0.356	0.214	0.161	0.017	0.748	最好 The best
T337	1.459	0.489	-0.081	0.430	0.289	0.196	0.078	0.021	0.584	好 Good
权重 Weights	—	—	—	—	0.365 9	0.270 4	0.170 0	0.085 1	—	

2.5 聚类分析

采用组间连接法对不同矮化中间砧嘎啦的 D 值进行系统聚类,建立谱系图(图 2). 聚类分析结果显示 8 种矮化中间砧嘎啦果实品质划分为 2 类; 第

1 类为 M26、M7、JM7、T337、SCI; 第 2 类为 SH1、SH38、SH6.

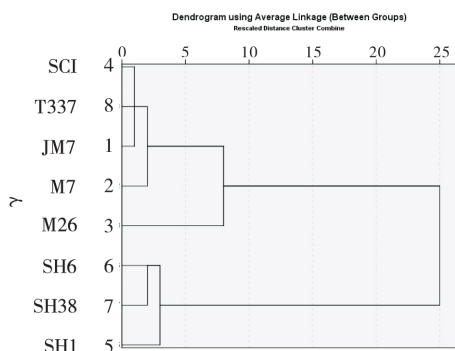


图 2 8 种矮化中间砧嘎啦果实品质聚类图

Figure 2 The clustering diagram of the quality of eight dwarfing intermediate roots Gala fruits

3 讨论

大量研究表明,嫁接品种的正常生长、开花结果、果实产量的高低、品质的优劣都与砧木有关. 砧木作为疏导系统,会影响果实激素和矿质营养的运输与积累,进而决定果实品质的优劣^[19-20].

赵玲玲等^[21]研究表明,不同砧穗组合的红将军苹果以八棱海棠砧木和 M26 中间砧木的果实最大,以 MM106 自根砧木的果实最小. 本研究中, M7 中间砧嘎啦果实最大, SH6 中间砧的果实最小. 可能是因为不同矮化中间砧内源激素含量不同,改变果实细胞的数量,从而决定了果实的大小和着色程度^[22].

赵同生等^[23]比较了不同矮化中间砧下宫崎短枝富士的果实品质,以 SH6 单果质量最大,SH3 的果形指数、着色指数最高.本研究中,以 SH6、SH38 的果形指数较大,SH6、JM7、M26 果实亮度较高,SH1 的果皮红绿色度较高,SH1、SCI 果实果皮黄蓝色度较高.决定苹果色泽的主要因素有花青苷、叶绿素、胡萝卜素及可溶性碳水化合物^[24-25].且不同砧木影响花色苷合成过程中 PAL、CHI 和 UFGT 酶活性,影响花色苷的合成^[26],这可能是导致不同矮化中间砧嘎啦苹果着色程度不一的主要原因.

不同接穗遗传型以及不同砧木对无机营养的吸收能力均有差异,不同砧穗组合无机养分的吸收及传递也不相同,砧木可调控相关离子的吸收和向地上部运输能力,改变地上部的矿质营养,从而改变果实内在品质^[27].赵玲玲等^[21]分析了不同砧穗组合红将军的果实品质,M26 中间砧的果实硬度、VC 含量、可滴定酸含量等指标均为最高,且香气物质种类也最多.张秀芝等^[28]分析了 M26、SH 中间砧、M9-T337 自根砧、乔砧 4 种砧木的果实品质,以矮化砧苹果果实较大,糖度较高,综合品质较优.本研究中,以 SH6 硬度最大,M26 可溶性固形物含量最高,SH6、SCI 可滴定酸含量最高.果实品质指标各有大小,与前人研究结果相近但略有不同.可能是因为不同砧木对不同形式的氮素反应不同,矮化砧木的木质部赤霉素与细胞分裂素类激素受氮素影响较为明显,从而影响嫁接苹果果实糖酸含量和矿质元素的积累^[29].

随着生活水平的提高,衡量果实品质的另一关键因素为香气成分^[30].于年文等^[31]等在 6 种砧穗组合的寒富苹果中共检测出酯类、醇类等 32 种香气物质,果实香气的种类、含量受不同砧穗组合影响显著,寒富/M7、寒富/GM256/山定子砧穗组合果实中特征香气种类多且含量高,寒富/M7 组合有利于果实特征香气的合成,对提高果实品质有益.王海波等^[32]研究表明,采用 M26 中间砧嫁接泰山嘎啦苹果,果实中醛类、酯类和香气总量显著高于仅使用八棱海棠嫁接.刘俊灵等^[33]在嘎啦果实中共检测出 49 种香气成分,有乙酸丁酯、丙酸丁酯、乙酸戊酯、2-甲基-丁酸丁酯、乙酸己酯、丙酸己酯、2-甲基-丁酸己酯、己醛、2-己烯醛 9 种特征香气.本研究中,8 种矮

化中间砧嘎啦果实中共检测出香气物质 64 种,酯类物质种类占 54.69%.T337 香气物质个数最多为 48 种,SH38 醛类物质总含量最高,SH1 酮类物质总含量最高,M26 的香气总含量、酯类物质总含量、特征香气个数均表现为最高.不同矮化中间砧嘎啦果实特有香气成分为 1-丁醇(T337)、己酸异戊酯(JM7)、戊酸丁酯(SCI)、异丁酸己酯(SH6)、D-(+)-松三糖水合物(SH38)、丙酸正丙酯(M26).共检测出乙酸丁酯、丙酸丁酯、乙酸戊酯、2-甲基-丁酸丁酯、乙酸己酯、丙酸己酯、己醛、壬醛 8 种特征香气.各矮化中间砧在特征香气上存在明显差异,M26 最多有 8 种,T337、JM7、SH38 有 7 种,SCI、SH1 有 6 种,M7、SH6 有 5 种,本试验结果与前人研究结果基本相似.嘎啦果实香气主要以醛类、醇类和酯类等 3 种为主,密切相关的酶分别为醇酰基转移酶、乙醇脱氢酶和脂氢过氧化物裂解酶等,在成熟过程中也是这 3 类物质相互转换的过程,而酶活性的变化速率对这 3 类物质的转化进度起到重要作用^[34].李天忠等^[35]研究表明,不同砧木吸收无机营养的能力以及向地上部运输营养的速率存在较大的差异,从而影响上述 3 种酶的活性,这可能是不同矮化中间砧嘎啦果实香气差异较大的主要原因,具体影响机理还有待进一步深入研究.

果实品质优劣由多个数量和质量性状共同决定,以上单项指标用来评价果实品质的好坏是片面的^[36].本研究利用主成分、隶属函数以及聚类分析对指标进行综合分析,以期更准确地评价各砧穗组合嘎啦的果实品质.根据主成分分析结果,从 16 项指标中提取出 4 个主成分,累积贡献率达 89.161%,结果较理想,可描述原变量的绝大部分信息.综合来看,嘎啦/M26、JM7/新疆野苹果组合的果实品质较好,可为甘肃陇东地区提供一定的参考价值.嘎啦/T337、SCI、M7/新疆野苹果组合果实品质次之,嘎啦/SH38、SH6、SH1/新疆野苹果组合果实品质较差,SH 系砧木在甘肃陇东地区的推广需综合考虑如抗寒性、抗旱性等其他因素.

4 结 论

不同矮化中间砧在改善嘎啦苹果果实品质方面各有优点.综合来看,不同矮化中间砧对嘎啦苹果品

质改善的综合效果排序为 M26、JM7、T337、SCI、M7、SH38、SH6、SH1。当基础为新疆野苹果时,嘎啦/M26、JM7/新疆野苹果砧穗组合的果实品质较好,此结果可为嘎啦系矮化中间砧的选择提供依据。

参考文献

- [1] Mditshwa A, Fawole O A, Opara U L. Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples—A review [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2018, 16(11): 59-68.
- [2] Van Hooijdonk B M, Warrington I J. Rootstocks modify ‘SCI’ on architecture, endogenous hormones, and root growth of newly grafted ‘Royal Gala’ apple trees [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2011, 136: 93-102.
- [3] 乔德华, 魏胜文, 王恒炜, 等. 甘肃苹果产业发展优势及提质增效对策[J]. *中国农业资源与规划*, 2016, 37(8): 168-174.
- [4] 何平, 李林光, 王海波, 等. 不同砧穗组合对沂水红富士苹果生长、产量和花芽分化期侧芽激素水平的影响[J]. *山东农业科学*, 2018, 50(2): 50-55.
- [5] Moore R. A Model for graft compatibility-incompatibility in higher plants[J]. *American Journal of Botany*, 1984, 71(5): 752-758.
- [6] Ma L, Hou C W, Zhang X Z, et al. Seasonal growth and spatial distribution of apple tree roots on different rootstocks or interstems[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2013, 138(2): 79-87.
- [7] Mohmmad E A, Esmail F, Masumeh S S. Influence of rootstock on mineral uptake and ‘SCI’ on growth of Golden Delicious’ and Royal Gala’ apples[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2014, 37(1): 16-29.
- [8] 李民吉, 张强, 李兴亮, 等. SH 系不同矮化中间砧对‘富士’苹果树体生长、产量和果实品质的影响[J]. *园艺学报*, 2018, 45: 1-10.
- [9] 赵德英, 袁继存, 徐锴, 等. 不同矮化中间砧‘嘎啦’苹果幼树形态与不同径级根系养分累积分布特征[J]. *华北农学报*, 2016, 31(4): 184-191.
- [10] 霍强强, 李高潮, 曹珊, 等. 不同砧穗组合对苹果生长、品质及产量的影响[J]. *北方园艺*, 2017(10): 25-31.
- [11] 袁仲玉, 刘振中, 高华, 等. 不同矮化中间砧对‘长富 2 号’苹果生长特性及早果性的影响[J]. *陇东学院学报*, 2019, 30(2): 85-89.
- [12] 慕钰文, 冯毓琴, 张永茂, 等. 陇东地区苹果矮砧密植栽培现状及发展建议[J]. *甘肃农业科技*, 2017, 4: 62-65.
- [13] 张秉宇, 刘志. 不同砧穗组合对“寒富”苹果果实品质的影响[J]. *北方园艺*, 2014(7): 30-32.
- [14] 李新文, 陈佰鸿, 毛娟, 等. 不同砧木对‘赤霞珠’葡萄生长及果实品质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2018, 53(1): 71-77.
- [15] 邓瑞, 袁仲玉, 夏雪, 等. 瑞阳苹果套袋与不套袋果实品质的比较分析[J]. *甘肃农业大学学报*, 2019, 2(54): 74-79.
- [16] 郭梦月, 范献光, 蒋小兵, 等. 苹果新品种‘瑞雪’果实主要特性研究[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(1): 84-90.
- [17] 李维妮, 郭春锋, 张宇翔, 等. 气相色谱-质谱法分析乳酸菌发酵苹果汁香气成分[J]. *食品科学*, 2017, 38(4): 146-154.
- [18] 王梦琪, 朱荫, 张悦, 等. ‘清香’绿茶的挥发性成分及其关键香气成分分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(22): 219-228.
- [19] Melnyk C W, Meyerowitz E M. Plant grafting[J]. *Current Biology*, 2015, 25(5): R183-R188.
- [20] Mudge K, Janick J, Scofield S, et al. A history of grafting[J]. *Horticultural Reviews*, 2009, 35: 437-593.
- [21] 赵玲玲, 姜中武, 宋来庆, 等. 不同砧木对红将军苹果果实品质和香气物质的影响[J]. *华北农学报*, 2014, 29(增刊): 234-238.
- [22] 闫树堂, 徐继忠. 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[J]. *园艺学报*, 2005, 32(1): 81-83.
- [23] 赵同生, 赵国栋, 张朝红, 等. 不同矮化中间砧对‘宫崎短枝富士’树体生长、产量和品质的影响[J]. *果树学报*, 2016, 33(11): 1379-1387.
- [24] 程存刚, 刘凤之, 魏长存, 等. 套袋对富士苹果果皮叶绿素和花青苷含量的影响[J]. *中国果树*, 2002(4): 11-12.
- [25] Cheng C, Liu F, Wei C, et al. Effects of bagging on chlorophyll and anthocyanin content in Fuji apple peel [J]. *China Fruit Tree*, 2002(4): 11-12.
- [26] 骆军, 沈国军, 王晓庆, 等. 不同砧木藤条嫁接苗着色差异及相关酶活性影响[J]. *上海农业学报*, 2007, 23(3): 9-13.
- [27] 何文, 潘鹤立, 潘腾飞, 等. 果树砧穗互作研究进展[J]. *园艺学报*, 2017, 44(9): 1645-1657.

- [28] 张秀芝,郭江云,王永章,等.不同砧木对富士苹果矿物质元素含量和品质指标的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(2):414-420.
- [29] Gao Y P, Motosugi H, Sugiura A. Rootstock effects on growth and flowering in young apple trees grown with ammonium and nitrate nitrogen[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(3):446-452.
- [30] Mannucci A, Serra A, Remorini D, et al. Aroma profile of Fuji apples treated with gelatin edible coating during their storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 85:28-36.
- [31] 于年文,刘志,王宏,等.不同矮化砧木对“寒富”苹果果实芳香物质的影响[J].西北农业学报,2014,23(1):148-153.
- [32] 王海波,李慧峰,何平,等.‘M26’中间砧对泰山嘎拉苹果果实挥发性成分的影响[J].山东农业科学,2014,46(1):51-53,57.
- [33] 刘俊灵,李红光,党美乐,等.苹果新品种‘瑞雪’及几个常见品种果实香气物质成分差异分析[J].果树学报,2019,36(5):590-602.
- [34] 刘振.不同砧木对砂糖橘果肉香气的影响[D].广州:仲恺农业工程学院,2018.
- [35] 李天忠,张志宏.现代果树生物学[M].北京:科学出版社,2008:157-159.
- [36] 赵玉,刘东茹,任亚梅,等.苹果品质评价体系的建立[J].北方园艺,2018(19):32-41.
- (责任编辑 李辛)

(上接第 71 页)

- [21] 冯玲玲.丹参组织培养的初步研究[D].武汉:华中师范大学,2005.
- [22] 冯书超.丹参转录因子 SmLBD23 和 SmLBD16 的克隆及功能研究[D].杨凌:陕西师范大学,2018.
- [23] 解晓红,李江辉,冯文龙,等.丹参组培快繁技术研究[J].中药材,2004,27:474-475.
- [24] 王浩如,王健,王仕英,等.丹参转录因子基因 SmMYC amiRNA 表达载体的构建及其对丹参的转化[J].植物生理学报,2013,49(12):1339-134.
- [25] 许辉.利用双基因共转化策略提高丹参毛状根中丹参酮含量的研究[D].上海:上海师范大学,2011.
- [26] 杨贤松.紫色甘薯茎尖培养一步成苗技术研究[J].资源开发与市场,2008,24(4):292-293.
- [27] 张景新,汪海霞,刘艳军,等.丹参胚性愈伤组织的诱导和细胞大量培养体系的建立[J].天津农林科技,2018(6):11-15.
- [28] 周伟.丹参叶遗传转化体系的建立及 HMGR 基因 3' 片段的克隆[D].上海:上海师范大学,2007.
- [29] 吴慎杰.过量表达 EDT1 提高棉花耐旱性的初步研究[C]//中国作物学会.中国作物学会 2015 年学术年会论文摘要集,中国作物学会,2015.
- [30] 焦改丽.EDT1 基因在棉花抗旱耐盐育种中的应用[C]//中国作物学会,2012 年学术年会论文摘要集,中国作物学会,2012.
- (责任编辑 李辛)