

张 浩, 宋 扬, 王建国, 等. 刺角瓜嫁接对厚皮甜瓜抗南方根结线虫病及成熟期果实风味、品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(5): 817-826.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.05.006

刺角瓜嫁接对厚皮甜瓜抗南方根结线虫病及成熟期果实风味、品质的影响

张 浩^{1,2}, 宋 扬³, 王建国³, 黄 远³, 张学军^{1,2,4}, 马 跃⁵, 符小发^{1,2},
王 敏⁶, 周 勃^{1,2}, 梁其干^{1,2}, 陈积豪^{1,2}, 高 强^{1,2}

(1. 新疆农业科学院海南三亚农作物育种试验中心, 海南 三亚 572000; 2. 三亚明珠甜瓜西瓜展示评价研究中心, 海南 三亚 572000; 3. 华中农业大学, 湖北 武汉 430070; 4. 新疆农业科学院哈密瓜研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830091; 5. 中国农业科学院郑州果树研究所, 河南 郑州 450000; 6. 海南农业科学院蔬菜研究所, 海南 海口 570100)

摘要: 为了明确刺角瓜砧木嫁接对厚皮甜瓜抗南方根结线虫病的效果以及对成熟期果实风味、品质的影响。本研究以厚皮甜瓜黄梦脆为接穗, 刺角瓜 ZM1、PI1029 为砧木, 在设施栽培条件下, 测定成熟果实的相关品质、芳香物质; 以自根甜瓜为对照在盆栽条件下测定根部根结指数。结果表明, 两种刺角瓜砧木嫁接甜瓜根部根结指数均低于自根甜瓜, 2023 年 1 月 1 日和 2023 年 1 月 20 日的茎粗高于自根甜瓜; 果实维生素 C 含量、可滴定酸含量均高于自根甜瓜; PI1029 为砧木嫁接甜瓜果实单瓜重低于自根甜瓜, 而 ZM1 为砧木嫁接甜瓜果实单瓜重高于自根甜瓜; 甜瓜果实中共检出 116 种芳香物质。两个砧木嫁接甜瓜果实较对照果实芳香物质种类减少; 以 ZM1 为砧木嫁接甜瓜果实酯类、烷类、酸类芳香物质相对含量高于对照果实。由此可见, 不同砧木嫁接甜瓜芳香物质成分、含量发生变化, 导致共有芳香物质种类、含量的差异以及特有特征成分的存在; 以 ZM1 为砧木嫁接甜瓜的综合性状优于自根甜瓜, ZM1 适宜作为黄梦脆的嫁接砧木。

关键词: 刺角瓜; 甜瓜; 嫁接; 南方根结线虫; 品质

中图分类号: S652 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)05-0817-10

Effects of grafting with *Cucumis metuliferus* on resistance to *Meloidogyne incognita* and fruit flavor and quality at mature stage of muskmelon

ZHANG Hao^{1,2}, SONG Yang³, WANG Jianguo³, HUANG Yuan³, ZHANG Xuejun^{1,2,4}, MA Yue⁵,
FU Xiaofa^{1,2}, WANG Min⁶, ZHOU Bo^{1,2}, LIANG Qigan^{1,2}, CHEN Jihao^{1,2}, GAO Qiang^{1,2}

(1. Hainan Sanya Crops Breeding Trial Center of Xinjiang Academy Agricultural Sciences, Sanya 572000, China; 2. Sanya Mingzhu Melon and Watermelon Variety Demonstration Evaluation and Research Center, Sanya 572000, China; 3. Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 4. The Research Center of Hami-melon, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 5. Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy Agricultural Sciences, Zhengzhou 450000, China; 6. Vegetable Research Institute of Hainan Academy Agricultural Sciences, Haikou 570100, China)

收稿日期: 2023-06-08

基金项目: 新疆农业科学院青年科技骨干项目(xjnkq-2019021); 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01B59); 海南省自然科学基金面上项目(319MS109); 海南省重大科技计划项目(ZDKJ2021005); 海南省院士创新平台科研专项资助项目(YSPTZX202141)

作者简介: 张 浩(1987-), 男, 甘肃定西人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为甜瓜栽培生理学。(E-mail) 842760455@qq.com

通讯作者: 高 强, (E-mail) 865335503@qq.com; 陈积豪, (E-mail) 389708326@qq.com

Abstract: The purpose of this study was to clarify the effects of rootstock grafting on the resistance to *Meloidogyne incognita* and fruit flavor and quality at mature stage of muskmelon. In this study, Huangmengcui, a thick-skinned melon, was used as a scion, and *Cucumis metuliferus* as rootstock. The results showed that the root knot index of two types of Cucumis metuliferus rootstock grafted sweet melons was lower than that of self-rooted sweet melons, and the stem diameter was higher than that of self-rooted sweet melons on January 1 and January 20, 2023. The vitamin C content and titratable acid content of the fruit were higher than those of self-rooted sweet melons. PI1029 rootstock grafted sweet melon fruit single weight was lower than that of self-rooted sweet melon, while ZM1 rootstock grafted sweet melon fruit single weight was higher than that of self-rooted sweet melon. A total of 116 aromatic substances were detected in the fruit. Compared with the control fruit, the number of aromatic substances in the fruit of two types of rootstock grafted sweet melons was reduced. The relative content of ester, alkane and acid aromatic substances in the fruit of ZM1 rootstock grafted sweet melon was higher than that of the control fruit. It can be seen that the composition and content of aromatic substances in sweet melon fruit grafted with different rootstocks changed, leading to differences in the number and content of common aromatic substances and the existence of characteristic components. The comprehensive traits of sweet melon grafted with ZM1 rootstock were better than those of self-rooted sweet melon, and ZM1 was suitable as the rootstock for Huangmengcui.

liferus ZM1 and PI1029 were used as rootstocks. Under facility cultivation conditions, the related quality and aromatic substances of mature fruits were determined. Taking self-rooted melon as control, the root-knot index was measured under pot conditions. The results showed that the root-knot index of grafted melon was lower than that of self-rooted melon, and the stem diameter on January 1, 2023 and January 20, 2023 was higher than that of self-rooted melon. The vitamin C content and titratable acid content of the fruit were higher than those of the self-rooted melon. The single fruit weight of melon grafted with PI1029 as rootstock was lower than that of self-rooted melon, while the single fruit weight of melon grafted with ZM1 as rootstock was higher than that of self-rooted melon. A total of 116 aromatic substances were detected in melon fruits. Compared with the control, the types of aromatic substances in melon fruits grafted with two rootstocks decreased. Compared with the control, the relative contents of esters, alkanes and acids in melon fruit grafted with ZM1 as rootstock were higher. In conclusion, the composition and content of aromatic substances in melons grafted with different rootstocks changed, resulting in differences in the types and contents of common aromatic substances and the existence of unique characteristic components. The comprehensive traits of grafted melons with ZM1 as rootstock were better than those of self-rooted melons, and ZM1 was suitable as a grafting rootstock for Huangmengcui.

Key words: *Cucumis meluliferus*; melon; graft; *Meloidogyne incognita*; quality

甜瓜(*Cucumis melon* L.)是具有高附加值的经济作物,但随着重茬和连作年限增加,南方根结线虫在设施栽培条件下数量增多且危害逐年加重,对甜瓜的生长和发育造成严重影响^[1]。嫁接是一种有效的防治方法。大多数刺角瓜种质资源具有抗南方根结线虫病的特性,将其与甜瓜嫁接,可减轻南方根结线虫病的危害。除此之外,通过研究厚皮甜瓜品质和香气受嫁接刺角瓜砧木类型的影响,对于刺角瓜砧木筛选以及明确嫁接影响果实品质的生理和分子机制具有重要意义^[2-3]。嫁接甜瓜可使芳香物质成分改变,且砧木是影响甜瓜产量、品质和生长发育的主要因素之一^[4-6]。齐红岩等^[7]以白籽南瓜圣砧 1 号为砧木嫁接甜瓜,发现降低了果实中酯类物质的相对含量和挥发性物质总量。Guler 等^[8]以南瓜为砧木进行嫁接,发现嫁接后的甜瓜中厚皮的有机物质产生了较大变化,厚皮甜瓜嫁接后产生了嫁接前没有出现的有机化合物,如橙花基丙酮、癸烷、2-二甲基-2-甲酯、L-丙氨酸乙酯等。王金茹^[9]研究了关于嫁接砧木品种对甜瓜的影响,结果发现嫁接对维生素 C 含量、糖含量(包括总糖和还原糖含量),还有可溶性物质(包括可溶性蛋白质和固形物)含量产生较大影响;可滴定酸含量变化不大。Li 等^[10-11]的研究结果表明,嫁接甜瓜相较于普通甜瓜增加了某些单萜类、醛类、酮类和脂类等的种类和含量,尤其是柠檬烯、 β -芳樟醇、芳香乙醇等。本研究探讨刺角瓜为砧木嫁接对厚皮甜瓜抗南方根结线虫病的效果及刺角瓜为砧木嫁接对厚皮甜瓜成熟期果实风味和品质的影响,可为刺角瓜为砧木嫁接厚皮甜瓜的应用提供科学依据。当务之急是要

筛选出与嫁接甜瓜亲和性高、对甜瓜产量和质量没有负影响、抗病性的刺角瓜砧木,并研究嫁接后对甜瓜成熟期果实风味的影响,为有效控制设施甜瓜根结线虫病,实现环境保护和农药使用量下降的目标,让甜瓜生产更加科学、绿色。

1 材料与方法

1.1 材料

接穗甜瓜品种为厚皮甜瓜黄梦脆(新疆农业科学院哈密瓜研究中心提供),砧木选择刺角瓜资源 ZM1 及 PI1029(中国农业科学院郑州果树研究所提供)。以厚皮甜瓜黄梦脆自根植株对照(CK)。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验地为改良的沙壤土,土壤有机质含量 7.84 g/kg,碱解氮含量 228.00 mg/kg,速效磷含量 380.20 mg/kg,速效钾含量 135 mg/kg,总氮含量 0.50 g/kg,土壤 pH 值 6.94。2022 年,在海南三亚进行了一次前期嫁接试验,试验地是新疆农业科学院的科技示范大棚。当年 11 月 3 日播种刺角瓜 ZM1、PI1029,11 月 13 日播种厚皮甜瓜黄梦脆,待甜瓜两片真叶展开时分别与 2 个砧木进行插接。本试验结果表明,厚皮甜瓜黄梦脆生理成熟天数为 40 d。考虑到嫁接在一定程度上延迟了果实的成熟,因此,分别取嫁接各处理植株开花后 45 d 和自根植株开花后 40 d 果实各 3 个(节位相同)定果,每株 1 果,收获时测产,计算单果重,采集果实样品测定呈味物质相关指标含量,重复 3 次。

1.2.2 芳香化合物含量测定 先对待测样品进行

萃取,然后采用固相微萃取技术(HS-SPME)进行测定。

1.2.3 果实品质、生长指标测定 采用2,6-二氯酚酚滴定法对植物维生素C含量进行测定^[12];植物中的可溶性糖分含量测定选用蒽酮法^[13];采用酸碱滴定法测定植物可滴定酸含量^[14];植物中的可溶性蛋白质含量利用亮蓝比色法进行测定^[15];采用DBR45型手持式折光仪测定甜瓜果实中可溶性固形物含量;果实肉厚和果实外形用游标卡尺测量。

1.2.4 南方根结线虫的接种方法 由华中农业大学提供南方根结线虫,利用无菌土栽培的易感番茄,将根结线虫接种到其根部,经历50 d的生长周期后,当番茄根部长出根瘤后,从番茄根部根瘤处分离得到虫卵,采用刘维志^[16]的方法对嫁接幼苗和自根幼苗接种根结线虫。接种过程:首先按每盆5孔的标准在幼苗根周围打孔,然后按每盆5 000个卵的标准注入线虫卵悬浮液,最后注入等量清水,用水掩盖。每个花盆两株植株,一株为刺角瓜为砧木的嫁接苗,另一株为甜瓜自根苗。

1.2.5 根结指数计算方法 计算线虫繁殖指数(RF)、卵粒指数(EI)和根结指数(GI),利用的是Boiteux等^[17]的计算方法。计算公式:GI=单株根结数/单株根鲜重;EI=单株卵粒数/单株根鲜重;RF=单株卵粒数/单株卵接种量。根结线虫病的病情分级:0级,无根结;1级,0<有根结的根数占总根系<10%;2级,10%≤有根结的根数占总根系<25%;3级,25%≤有根结的根数占总根系<50%;4级,50%≤有根结的根数占总根系<75%;5级,75%≤有根结的根数占总根系≤100%。

1.3 数据处理

试验数据采用Excel 2021和SPSS 18.0软件进行统计分析。Excel 2021处理分析南方根结线虫对不同刺角瓜砧木幼苗的影响。SPSS 18.0处理分析不同砧木对嫁接甜瓜芳香物质、果实品质、甜瓜生长、甜瓜单瓜重的影响。

2 结果与分析

2.1 不同刺角瓜砧木嫁接甜瓜幼苗对南方根结线虫病的抗性

由表1和图1可见,不同刺角瓜砧木嫁接幼苗的根结线虫繁殖指数(RF)、根结指数(GI)、病情指

数(DI)以及卵粒指数(EI)都会有所区别。不同品种刺角瓜砧木嫁接苗4项抗病指标均较高,表明其对南方根结线虫病具有抗性。而砧木品种PI1029嫁接苗4项抗病指标均最高,说明其抗性强于砧木品种ZM1嫁接苗。

表1 不同刺角瓜砧木嫁接甜瓜幼苗对南方根结线虫病的抗性
Table 1 Resistance of melon seedlings grafted with different *Cucumis metuliferus* as rootstocks to *Meloidogyne incognita*

幼苗	抗病指标			
	根结指数 (GI)	卵粒指数 (EI)	繁殖指数 (RF)	病情指数 (DI) (%)
甜瓜自根幼苗	27.52a	1 432.00a	7.44a	90.00a
砧木 PI1029 嫁接甜瓜幼苗	2.10b	67.00c	3.91b	17.00b
砧木 ZM1 嫁 接甜瓜幼苗	4.65b	175.00b	5.76a	21.00b

同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

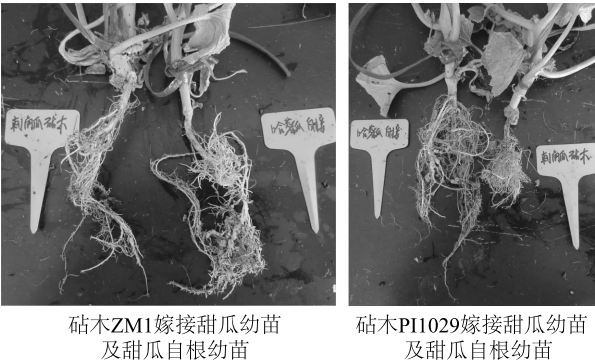


图1 南方根结线虫对不同刺角瓜砧木嫁接甜瓜幼苗的侵染情况
Fig.1 Infection of *Meloidogyne incognita* on melon seedlings grafted with different *Cucumis metuliferus* as rootstocks

2.2 不同嫁接处理对甜瓜果实芳香物质成分的影响

不同嫁接处理下,对成熟度一致的甜瓜进行分析,共检测出116种芳香物质(表2),包括酯类、醇类、酸类、烷类、醛类、酮类、呋喃类、酞类、酚类、苯类、其他类。芳香物质主要含有乙酸乙酯、乙酸甲酯、2-甲基丁醇等。不同砧木嫁接甜瓜引起芳香物质成分种类改变。厚皮甜瓜自根苗(CK)果实芳香物质成分种类最多,共检测出87种,包括24种酯、21种醇类、8种酸、6种烷类、10种醛类、11种酮类、呋喃类及其他类共7种。砧木PI1029、ZM1嫁接厚皮甜瓜果实中分别有85种和68种香气成分。

2 种刺角瓜砧木嫁接苗果实与 CK 果实共有的芳香物质有 54 种,其中酯类 20 种(乙酸乙酯、乙酸甲酯、丙酸乙酯等),醇类 18 种(乙醇、正丁醇、2-甲基丁醇等),酸类 2 种(丙酰胺酸、L-半胱氨酸)、烷类 4 种(正十一烷、正十二烷等)、醛类 3 种(壬醛、苯甲醛等),酮类 4 种(香叶基丙酮、菊苣酮、4-甲基-2-戊酮等),酚类 2 种(3-甲基-4-异丙基苯酚、对叔丁

基苯酚),其他类 1 种(乙酰胆碱)。
在特有芳香物质方面,砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实中有 7 种,主要是 2-甲基丁基乙酸酯、乙酸叶醇酯、苯甲酸乙酯等。砧木 PI1029 嫁接甜瓜苗果实中有 18 种,主要是丙酮酸丙酯、乙酸仲戊酯、乙酸异戊酯等。

表 2 不同砧木嫁接甜瓜果实芳香物质成分及含量

Table 2 Composition and content of aromatic substances in the fruits of melon grafted with different rootstocks

芳香物质		相对含量 (%)		
		砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实	砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实	自根甜瓜果实
酯类	乙酸乙酯	15.690 425 210	10.638 675 410	15.248 116 890
	乙酸甲酯	0.134 122 108	0.054 268 785	0.619 677 202
	丙酸乙酯	0.824 031 201	0.163 969 152	0.390 951 403
	醋酸正丙酯	0.404 443 852	0.272 243 925	0.486 870 781
	乙酸仲丁酯	0.012 538 452	0.009 018 912	0.015 141 897
	2-甲基丙酸乙酯	0.387 845 834	0.056 505 373	0.143 003 356
	2-甲基丁酸甲酯	0.247 226 018	0.143 847 992	0.253 904 165
	乙酸异丁酯	0.794 190 384	0.869 401 364	1.471 280 537
	丁酸乙酯	1.571 838 533	0.225 314 790	0.298 725 021
	2-甲基丁酸乙酯	1.736 332 899	0.194 971 624	0.247 900 735
	乙酸丁酯	0.162 338 944	0.156 652 762	0.257 896 580
	3-甲基丁酸乙酯	0.126 485 319	0.034 651 648	0.029 522 127
	碳酸二乙酯	0.128 513 869	0.011 531 552	0.043 231 753
	2-甲基丁基乙酸酯	0.281 517 805	0.723 197 391	0.281 915 133
	戊酸乙酯	0.022 425 318	0	0
	丙酮酸丙酯	0	0.018 627 444	0
	邻苯二甲酸单乙基酯	0	0	0.004 731 479
	己酸乙酯	0.156 011 528	0.017 587 605	0.008 902 129
	乙酸己酯	0.035 066 301	0.109 505 598	0.039 206 343
	乙酸叶醇酯	0.265 001 544	0	0
	苯甲酸乙酯	0.508 565 105	0	0
	乙酸苄酯	0.028 492 512	0.037 319 540	2.347 240 005
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	0.045 574 866	0.030 888 643	0.040 789 051
	邻苯二甲酸二丁酯	0.016 244 121	0.024 263 291	0.012 257 842
	乙酸仲戊酯	0	0.048 804 979	0
	乙酸异戊酯	0	0.274 909 035	0
	乙酸戊酯	0.003 847 192	0.010 419 651	0.006 022 180
	炔丙菊酯 / 右旋炔丙菊酯	0	0.007 492 339	0
	乙酸-3-甲基-3-丁烯-1-醇酯 5205-07-2	0	0.147 588 331	0.131 301 039
	二氢猕猴桃内酯	0	0.013 223 538	0.016 156 325
	乙酸 2-辛酯	0	0	0.016 413 847
醇类	乙醇	2.611 817 146	0.418 173 003	1.622 062 146
	甲醇	6.783 692 721	4.015 939 746	5.991 158 736
	异丁醇	0.135 983 458	0.015 257 822	0.043 231 753

续表2 Continued 2

芳香物质	相对含量 (%)		
	砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实	砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实	自根甜瓜果实
正己醇	0.085 047 320	0.094 365 106	0.175 548 528
正丁醇	0.019 847 675	0.002 738 672	0.005 779 919
2-甲基丁醇	0.118 579 244	0.061 068 898	0.239 844 939
反式-橙花叔醇	0	0	0.019 865 273
顺-3-壬烯-1-醇	0.066 332 248	0.690 090 574	0.773 281 564
顺-6-壬烯醇	0.010 341 691	3.620 117 050	3.334 529 121
正戊醇	0.012 851 663	0.015 964 022	0.015 005 704
反式-3-己烯-1-醇	0.064 090 640	0.055 454 904	0.098 629 959
2-辛醇	1.489 778 953	1.576 845 133	1.804 388 415
1-辛烯-3-醇	0.036 258 907	0.058 429 017	0.037 774 363
2-乙基己醇	0.082 818 997	0.050 144 005	0.048 339 832
2-丙基-1-庚醇	0.016 123 877	0	0
正辛醇	0.025 303 335	0.029 771 897	0.043 118 053
1-壬醇	0.508 671 887	2.930 970 869	2.816 997 148
苯甲醇	0.434 345 297	0.237 395 571	0.256 788 983
苯乙醇 / 苯基乙醇 60-12-8	0.026 951 002	0	0.047 833 544
3,6-亚壬基-1-醇	0.056 070 383	0.540 379 296	0.667 693 631
反式-2-壬烯-1-醇	0	0.907 701 938	0
顺-2-戊烯醇	0	0.018 627 444	0
1-戊烯-3-醇	0	0.019 858 894	0.009 737 741
反-2,顺 6-壬二烯醇	0.054 483 254	1.429 259 897	0.274 833 212
苏合香醇	0	0.019 643 179	0
酸类 正壬酸	0	0	0.050 989 547
反式-菊酸	0	0	0.043 937 859
丙酰胺酸	0.555 091 642	0.842 638 439	1.685 642 893
反式 3,5-二甲氧基肉桂酸	0.026 050 299	0	0
L-半胱氨酸	7.356 860 263	4.311 993 273	6.435 280 978
正丁酸	1.736 332 899	0	0
α -甲基-L-酪氨酸	0.007 671 590	0	0
丙酮酸	0	0.030 713 039	0
4-磷酸基丁酸	0	0	0.021 066 075
咪唑-4-乙酸	0	0	0.006 312 333
N-苯乙酰基-L-谷氨酰胺	0	0	0.031 650 875
烟酸单核苷酸	0	0.015 261 636	0
胍基乙酸	0	0	0.029 369 111
3-甲氧基苯甲酸	0	3.611 470 262	0
烷类 2,4,6-三甲基辛烷	0	0	0.026 302 461
2,6,10-三甲基十二烷	0	0	0.017 414 286
环氧乙烷	2.637 715 075	0	0
正十一烷	0.030 048 377	0.019 977 100	0.023 920 660
正十二烷	0.116 641 605	0.147 450 024	0.131 191 083
正十三烷	0.080 329 293	0.125 079 521	0.093 118 935
2,2,6-三甲基环庚烷	0.009 676 751	0.017 378 518	0.016 631 217

续表2 Continued 2

芳香物质		相对含量 (%)		
		砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实	砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实	自根甜瓜果实
醛类	2,7-二甲基辛烷	0	0.015 398 881	0
	(E)-壬-6-烯醛	0	0	0.258 453 740
	壬醛	0.062 160 877	0.456 150 974	0.301 379 787
	(Z)-6-壬烯醛	0.026 602 722	0.627 343 821	0
	苯甲醛	0.094 200 744	0.208 779 436	0.072 710 493
	反式 2,6-壬二醛	0.023 578 011	0	0
	BETA-环柠檬醛	0.042 874 779	0.101 909 748	0.095 116 396
	庚醛	0	0.019 510 968	0.014 075 324
	反式-2-壬醛	0	0.683 033 979	0.250 717 094
	反-2-,顺-6-壬二烯醛	0	0.937 502 910	0.246 840 813
	(E)-2-庚烯醛	0	0.023 016 115	0.013 435 497
	正己醛	0	0.050 249 987	0.040 815 322
	异丁醛	0	0.009 230 218	0.012 898 795
	1-萘甲醛	0	0.017 728 163	0
	香叶基丙酮	0.021 718 207	0.069 975 325	0.041 875 390
酮类	紫罗酮	0.059 175 426	0	0.116 005 145
	菊苣酮	0.013 407 295	0.002 771 029	0.005 830 864
	3-戊酮	0	0.276 704 033	0
	4-甲基-2-戊酮	0.050 731 045	0.034 857 202	0.052 452 559
	3-乙酰基-2-丁酮	0	0	0.021 066 075
	6-甲基-2 庚酮	0	0.022 326 641	0.010 083 491
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.003 673 483	0.010 848 330	0.009 185 269
	酰胺哌啶酮	0	0	0.008 902 129
	羟基丙酮	0	0	0.056 188 288
	1-巯基-2-丙酮	0	0	0.039 268 407
	β -紫罗兰酮	0	0.096 719 243	0
	3-羟基-2-丁酮	0.146 242 142	0	0.159 947 837
	呋喃类 3-甲基呋喃	0	5.511 429 315	0
	2-正戊基呋喃	0	0.008 964 139	0.005 144 707
	酞类 丙酸酐	0	0	0.496 311 901
酚类	偏苯三酸酐	0	0.014 434 667	0
	3-甲基-4-异丙基苯酚 3228-02-2	0.017 815 766	0.031 016 540	0.028 433 534
苯类	对叔丁基苯酚	0.643 163 525	0.484 500 372	0.599 139 689
	间二甲苯	0.022 134 039	0	0
其他	异丙隆	0	0	0.013 062 676
	2'-脱氧尿苷	0	0.057 896 608	0.039 232 761
	乙酰胆碱	0.009 405 087	0.025 465 635	0.011 955 443
	N-苄基苯胺	0	0.018 877 423	0
	5-羟基丙戊羧酸钠盐	0	0.018 877 423	0

0 表示未检出。

2.3 不同砧木对嫁接甜瓜果实芳香物质含量的影响

由表 3 可以看出,砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实中酸类、烷类相对含量高于 CK 果实,而醛类低于 CK 果实。砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实中其他类相对含量高于 CK 果实,而酯类低于 CK 果实。砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实中有 5 种相对含量超过 2.00% 的物质:乙酸乙酯(15.69%)、乙醇(2.61%)、L-半胱氨酸(7.36%)、环氧乙烷(2.64%)等,这些含量较多的芳香物质是醇类、酯类、酸类、烷类,其余物质均低于 2.00%。砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实中平均含量大于 2.00% 的物质有 6 种:乙酸乙酯(10.64%)、顺-6-壬烯醇(3.62%)、L-半胱氨酸(4.31%)、3-甲基呋喃(5.51%)等。这些含量较多的芳香物质是酯类、醇

类、酸类,小部分属于呋喃类,其余物质均低于 2.00%。在特有芳香物质中,砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实中正丁酸(1.74%)、环氧乙烷(2.64%)相对含量较高。砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实中 3-甲氧基苯甲酸(3.61%)、3-甲基呋喃(5.51%)含量相对较高,其他物质相对含量均在 1.00% 以下。甜瓜特征芳香物质方面,乙酸乙酯在各个处理芳香物质中相对含量最高。砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实中除乙醇、2-甲基丁酸乙酯相对含量高于 CK 果实外,其他特征芳香物质乙酸丁酯、乙酸异丁酯、乙酸己酯、乙酸甲酯均低于 CK 果实。砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实中特征芳香物质乙酸己酯、(Z)-6-壬烯醛相对含量高于 CK 果实,而 2-甲基丁酸乙酯、乙酸异丁酯、乙酸丁酯、乙酸甲酯、乙醇低于 CK 果实。

表 3 不同嫁接处理甜瓜果实芳香物质相对含量的变化

Table 3 Changes in relative contents of aromatic substances in melon fruits under different grafting treatments

甜瓜果实	相对含量 (%)						
	酯类	醇类	酸类	醛类	酮类	烷类	其他类
自根甜瓜果实	28.63±2.33a	20.73±1.87a	8.59±0.84b	1.32±0.63a	0.53±0.31a	0.32±0.03b	1.21±0.03b
砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实	22.21±1.67b	20.71±2.32a	9.79±0.56b	3.35±0.78a	0.50±0.04a	0.36±0.02b	6.50±0.97a
砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实	32.04±3.44a	14.66±1.66a	10.09±0.41a	0.25±0.06b	0.29±0.01a	2.91±0.21a	0.69±0.07b

同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

2.4 不同砧木对嫁接甜瓜生长的影响

由表 4 可知,2 种砧木嫁接苗株高、茎粗都随时间增长而持续增长。在整个调查期内,砧木 PI1029

嫁接甜瓜苗茎粗均大于 CK,表明砧木 PI1029 嫁接甜瓜有利于甜瓜的生长。2 个砧木嫁接甜瓜苗株高与 CK 差异不显著。

表 4 不同角瓜嫁接组合对甜瓜生长势的影响

Table 4 Effects of different grafting combinations on growth vigor of melon

甜瓜苗	茎粗 (cm)			株高 (cm)		
	2023-01-01	2023-01-10	2023-01-20	2023-01-01	2023-01-10	2023-01-20
自根甜瓜苗	0.45b	0.60b	0.78c	55.00a	105.67a	197.33a
砧木 ZM1 嫁接甜瓜苗	0.57a	0.61b	1.02a	56.33a	115.00a	199.83a
砧木 PI1029 嫁接甜瓜苗	0.60a	0.72a	0.90b	54.83a	110.33a	198.50a

同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

果实纵横径决定甜瓜果实的大小和形状,而皮厚度、果肉厚度决定甜瓜果实的可食率。本研究对不同砧木嫁接甜瓜果实纵、横径和果肉、果皮厚度进行比较分析(表 5),结果显示,砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实纵径、横径与 CK 果实差异不显著;砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实纵径与 CK 果实差异显著,横径与 CK 果实差异不显著。砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实纵径较 CK 果实增加了

23.08%。砧木 ZM1 嫁接甜瓜和砧木 PI1029 嫁接甜瓜的果肉厚度均低于自根甜瓜,分别较自根甜瓜果肉厚度降低了 7.56%和 16.81%。砧木 ZM1 嫁接甜瓜和砧木 PI1029 嫁接甜瓜的果皮厚度均高于自根甜瓜,分别较自根甜瓜果皮厚增加了 33.33%和 23.30%。由表 5 可知,两种砧木嫁接甜瓜果实之间果形指数差异显著,砧木 ZM1 嫁接甜瓜有助于果形指数的提升。

表 5 不同砧木对嫁接甜瓜果实性状的影响

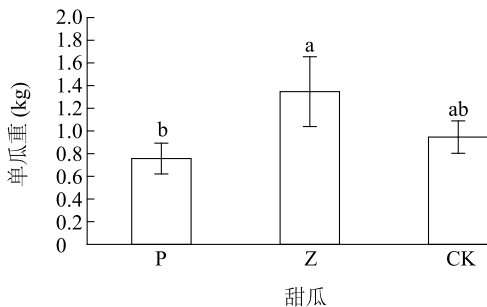
Table 5 Effects of different rootstocks on fruit traits of grafted melon

甜瓜果实	纵径 (cm)	横径 (cm)	果型指数	皮厚 (cm)	果肉厚 (cm)
自根甜瓜果实	13.00±3.45b	11.83±4.32ab	1.10±0.32ab	0.30±1.23a	3.57±0.02a
砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实	16.00±2.64a	13.33±3.28a	1.20±0.22a	0.40±0.01a	3.30±0.03a
砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实	11.83±3.49b	11.00±1.91b	1.10±1.34b	0.37±0.02a	2.97±0.11a

同列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.5 不同砧木对嫁接甜瓜单瓜重量的影响

从图 2 可以看出,成熟期砧木 ZM1 嫁接甜瓜的单瓜重高于 CK,砧木 PI1029 嫁接甜瓜的单瓜重与对照差异不显著,两个砧木嫁接甜瓜之间差异显著。其中,砧木 ZM1 嫁接甜瓜单瓜重最大,为 1.30 kg,比 CK 高 44.40%。表明不同的刺角瓜砧木嫁接甜瓜会直接影响甜瓜的单瓜重。通过前期对刺角瓜的生长势调查,ZM1 的生长势比 PI1029 强。据此推测,刺角瓜砧木本身的生长势可能影响嫁接甜瓜的单瓜重。



P:砧木 PI1029 嫁接甜瓜;Z:砧木 ZM1 嫁接甜瓜;CK:自根甜瓜。

图柱上不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图 2 不同砧木嫁接对甜瓜单瓜重量的影响

Fig.2 Effects of grafting with different rootstocks on single melon weight

表 6 不同砧木对嫁接甜瓜果实品质的影响

Table 6 Effects of different rootstocks on fruit quality of grafted melon

甜瓜果实	边部可溶性固形物含量 (%)	中心可溶性固形物含量 (%)	中边部可溶性固形物含量差 (%)	可溶性蛋白质含量 (mg/g)	可溶性总糖含量 (mg/g)	维生素 C 含量 (mg/g)	可滴定酸含量 (%)
自根甜瓜果实	12.23±2.74a	16.67±2.61a	4.44±0.73a	0.86±0.01a	108.87±8.43a	0.065 2±0.013 3c	0.09±0.01c
砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实	9.13±1.29a	17.00±3.19a	7.87±2.37a	0.52±0.02c	89.33±7.43b	0.128 0±0.036 2a	0.11±0.01b
砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实	12.00±2.66a	16.90±4.60a	4.90±1.35a	0.62±0.01b	70.10±5.87c	0.104 6±0.026 0b	0.12±0.01a

同列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

3 讨论

前人研究结果表明,在植株发育过程中,通过嫁

2.6 不同砧木对嫁接甜瓜果实品质的影响

不同刺角瓜作为砧木嫁接甜瓜对甜瓜果实品质的影响见表 6,从果实中心可溶性固形物含量可见,砧木 ZM1 嫁接甜瓜、砧木 PI1029 嫁接甜瓜、自根甜瓜果实中心可溶性固形物含量三者之间差异均不显著,其中砧木 ZM1 嫁接甜瓜含量最高,为 17.00%,其次为砧木 PI1029 嫁接甜瓜,含量为 16.90%,自根甜瓜含量最低,为 16.67%。从果实中边部可溶性固形物含量差可见,自根甜瓜果实<砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实<砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实,中边部可溶性固形物含量差是衡量果实口感的重要指标之一,差值越小口感越好,砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实中边可溶性固形物含量差较大,可食用的部分相较砧木 PI1029 嫁接甜瓜和自根甜瓜少,口感相对较差。可溶性蛋白质含量决定甜瓜的品质,2 个砧木嫁接甜瓜果实可溶性蛋白质含量均显著低于 CK 果实。可滴定酸含量表现为砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实>砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实>CK 果实,2 个砧木嫁接甜瓜果实间可滴定酸含量的差异显著。甜瓜维生素 C 含量 2 个砧木嫁接甜瓜果实均高于 CK 果实,其中砧木 ZM1 嫁接甜瓜最高。在果实可溶性糖方面,2 个砧木嫁接甜瓜果实可溶性糖含量均显著低于 CK 果实。表明砧木刺角瓜嫁接对甜瓜果实可溶性糖含量的影响较大。

接的植物无论是在叶面积,还是在茎粗、植株的高度方面都远超过自根栽培的植物^[18-23],本研究结果与前人相似。理想的刺角瓜砧木能显著增强甜瓜抵抗南

方根结线虫的危害,并具有增产作用。以 ZM1 为砧木的甜瓜发育中后期与自根甜瓜相比,长势得到了大幅度提高,果实长得更大,单瓜重有所增加;根部根结指数较低。以 PI1029 为砧木的甜瓜虽然能够抗南方根结线虫,但增加成熟果实的单瓜重不显著。造成这一结果的主要原因可能与砧木本身的生长势有关。本课题组对砧木 ZM1 及 PI1029 进行了生长势调查,PI1029 根系不发达,生长势较弱;而 ZM1 根系较发达,生长势较强。

不同刺角瓜砧木嫁接甜瓜会引起果实芳香物质种类、含量及特征芳香物质等变化。与自根甜瓜果实相比,砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实可以检测到超过 10 种芳香物质,主要包括戊酸乙酯、2-丙基-1-庚醇、反式 3,5-二甲氧基肉桂酸、正丁酸、环氧乙烷、反式 2,6-壬二醛等。与自根甜瓜果实相比,砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实可以检测到超过 18 种芳香物质,包括丙酮酸丙酯、乙酸仲戊酯、3-戊酮、(Z)-6-壬烯醛、 β -紫罗兰酮、反式-2-壬烯-1-醇、3-甲基呋喃、乙酸异戊酯等。乙酸乙酯散发的是水果气味,可以令人愉悦;乙酸己酯有类似菠萝的果实香与酒香。砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实乙酸乙酯的相对含量较 CK 果实降低了 30.20%,乙酸己酯的相对含量较 CK 果实升高了 179.00%。砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实令人愉悦的气味变淡,而果实香与酒香提高。砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实乙酸乙酯的相对含量较 CK 果实升高了 2.90%,乙酸己酯的相对含量较 CK 果实降低了 10.3%,令人愉悦的水果气味略微变浓,而类似菠萝的果实香与酒香变淡^[24]。果实的香气物质种类也受到嫁接的影响。

影响嫁接甜瓜品质的因素有很多,比较复杂多样,主要有砧木种类和栽培环境差异、矿质元素吸收发生变化、内源激素发生变化、植株开花和果实成熟时间发生改变等。嫁接对果实品质的影响可能是积极的影响,也可能使果实品质下降^[5]。砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实和砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实可溶性蛋白质含量均显著低于 CK 果实。可滴定酸含量砧木 PI1029 嫁接甜瓜果实>砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实>CK 果实。甜瓜维生素 C 含量 2 个砧木嫁接甜瓜果实均高于 CK 果实,以砧木 ZM1 嫁接甜瓜果实最高。在果实可溶性糖方面,CK 果实可溶性糖含量远远高于 2 个砧木嫁接甜瓜果实。

4 结 论

2 个刺角瓜砧木嫁接甜瓜根部根结指数低于自根甜瓜,2023 年 1 月 1 日和 1 月 20 日调查结果显示,2 个刺角瓜砧木嫁接甜瓜茎粗高于自根甜瓜;维生素 C 含量、可滴定酸含量均高于自根甜瓜果实;PI1029 为砧木嫁接甜瓜果实单瓜重与自根甜瓜单瓜重差异不显著,而 ZM1 为砧木嫁接甜瓜果实高于自根甜瓜果实;甜瓜果实中共检出 116 种芳香物质。2 个刺角瓜砧木嫁接甜瓜较对照芳香物质种类减少;甜瓜果实中酯类、醇类、酸类含量较高;以 ZM1 为砧木嫁接甜瓜果实中酯类、烷类、酸类芳香物质相对含量高于自根甜瓜果实。以 ZM1 为砧木嫁接甜瓜的综合性状优于自根甜瓜,ZM1 适宜作为甜瓜黄梦脆的嫁接砧木。

参考文献:

- [1] 王娟娟,李 莉,尚怀国. 我国西瓜甜瓜产业现状与对策建议[J]. 中国瓜菜,2020,33(5):69-73.
- [2] 王志伟,李焕秀,孙德玺,等. 西瓜甜瓜根结线虫病研究进展[J]. 中国瓜菜,2010,23(2):31-33.
- [3] 王志伟,李 涵,孙德玺,等. 4 个甜瓜野生近缘种对南方根结线虫的抗性评价[J]. 中国瓜菜,2014,27(1):13-16.
- [4] 张新英,付秋实,朱慧芹,等. 嫁接对甜瓜果实发育及风味品质的影响[J]. 中国蔬菜,2014(6):13-19.
- [5] 黄 远,别之龙,孔秋生,等. 嫁接对西瓜和甜瓜果实品质影响的研究进展[J]. 中国蔬菜,2012(4):10-18.
- [6] ZHANG Y, LI H, SUN J, et al. ITRAQ and RNA-Seq analyses revealed the effects of grafting on fruit development and ripening of oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa*) [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2019, 145:1-13.
- [7] 齐红岩,魏 敏,刘 圆,等. 嫁接对薄皮甜瓜果实香气物质影响的初步研究[J]. 中国蔬菜,2008(2):21-24.
- [8] GULER Z, CANDIR E, YETISIR H, et al. Volatile organic compounds in watermelon (*Citrullus lanatus*) grafted onto 21 local and two commercial bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) rootstocks[J]. Horticultural Science & Biotechnology, 2014, 89(4):448-452.
- [9] 王金茹. 甜瓜耐低温砧木的筛选及嫁接对品质的影响[D]. 长春:吉林大学,2014.
- [10] LI M, YAN S, LI J, et al. Effects of grafting on the aroma components and sensory quality of honeydew melon (*Cucumis melo* L. var. *inodorus*) [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(6):2875-2882.
- [11] SIGVENZA C, TELLO J, VELA M D. Nematicidal activity of *Cucurbita* spp. extracts against *Meloidogyne arenaria* and *M. javanica* [J]. Plant Pathology, 2005, 54(5):678-683.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中抗坏血

- 酸的测定:GB/T 5009.86-2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [13] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:202-204.
- [14] 张 劲, 黄 丽, 夏 宁, 等. 6 个芒果品种品质特性评价研究[J]. 食品科技, 2011, 36(9):65-69.
- [15] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:190-192.
- [16] 刘维志. 植物病原线虫学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [17] BOITEUX L S, CHARACHAR J M. Genetic resistance to root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in eggplant (*Solanum melongena*) [J]. Plant Breeding, 1996(3):198-200.
- [18] 张新英. 嫁接对甜瓜(*Cucumis melo* L.) 苗期耐盐性和果实发育期品质的影响[D]. 北京:中国农业科学院, 2014.
- [19] 赵利强. 不同种类砧木嫁接对西瓜生长发育和果实品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学, 2014.
- [20] 贾瑞瑞, 祝艳艳, 杨秀莲, 等. 不同砧木对楸树嫁接苗生长及光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(5):97-106.
- [21] 翟挺楷, 郝思怡, 林碧英, 等. 愈合期不同光照度对亚低温胁迫下黄瓜嫁接苗生长和生理的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1):129-135.
- [22] 黄 海, 段军娜, 刘 荣, 等. 芒果不同砧穗组合早期嫁接亲和性综合评价[J]. 南方农业学报, 2022, 53(5):1216-1226.
- [23] 闫 卓, 秦金凤, 瞿辉, 等. 砧木和接穗对嫁接月季生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(4):126-130.
- [24] WYLLIE S G, LEACH D N. Sulfur-containing compounds in the aroma volatiles of melons (*Cucumis melo* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(2):253-256.

(责任编辑:黄克玲)