

不同嫁接方式及不同中间砧嫁接对黄瓜果实品质及挥发性风味物质的影响

王立霞, 董玉惠, 孙秀东, 刘世琦*

山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 山东泰安271018

摘要:以‘津优35号’黄瓜(*Cucumis sativus*)为接穗, ‘伊丽莎白’、‘东方脆甜’、‘景甜F₁’甜瓜(*C. melo*)为中间砧, ‘威盛一号’南瓜(*Cucurbita moschata*)为根砧, 采用中间砧嫁接方法, 设黄瓜自根苗、常规嫁接苗、黄瓜/‘伊丽莎白’/南瓜、黄瓜/‘东方脆甜’/南瓜和黄瓜/‘景甜F₁’/南瓜的中砧嫁接苗等5个处理, 以黄瓜自根苗为对照, 探究不同嫁接方式及不同品种的甜瓜中间砧嫁接对黄瓜果实品质及挥发性风味物质的影响。结果表明: 嫁接显著改变黄瓜果实外观指标, 与常规嫁接相比, 中间砧嫁接不同程度地提高了黄瓜果实的可溶性蛋白、游离氨基酸、干物质、可溶性糖、维生素C及可溶性固形物含量, 同时降低了可滴定酸、鞣质、硝酸盐含量。中间砧嫁接处理挥发性物质的种类和含量均高于常规嫁接和自根苗。‘东方脆甜’中间砧嫁接黄瓜的综合品质及产量明显高于其他两个中间砧嫁接处理。因此较好的嫁接方式为中间砧嫁接, 且较好的中间砧品种为‘东方脆甜’。

关键词: 黄瓜; 中间砧; 品质; 气质联用(GC-MS)

黄瓜(*Cucumis sativus*)别名王瓜、胡瓜, 是我国主要蔬菜之一, 南北方均广泛种植。随着设施栽培技术的快速发展, 黄瓜现已成为保护地栽培的主要作物之一。由于温室栽培倒茬换土困难, 致使枯萎病、疫病等土传病害严重; 次生盐渍化等土壤栽培生理问题显现并逐年加重, 严重影响了产量和效益, 嫁接是防治土传病害、克服保护地土壤连作障碍的最有效措施(张宇等2011)。嫁接可以显著提高植株的抗病性(King等2008; 张宁等2016)、耐热性(李思思等2018)和耐寒性(孙世君等2017), 增加产量(王磊等2017)。嫁接也不可避免地影响了果实品质, 嫁接后果实维生素C (vitamin C, VC)含量降低, 可溶性蛋白、可溶性糖、有机酸、粗纤维含量增加(陈利平等2004; 赵依杰等2009; 刘润秋等2003), 果实中香气物质总量及特征性酯类物质的相对含量显著降低(Pérez等2002)。随着嫁接研究的深入, 一些新的嫁接技术也不断提出, 张小平等(2015)研究发现双根嫁接显著改善果实品质; 李洪娜等(2014)和任淑年和唐家雨(2016)研究指出中间砧的引入可显著影响植株的生长和品质。选择良好的砧木是嫁接栽培的关键, 不同种类砧木有其不同的特性, 嫁接后, 不同砧木对接穗植株的产量和品质的影响都存在差异; 张红梅等(2007)研究发现以不同砧木嫁接黄瓜, 果实中VC含量下降, 而可溶性糖含量增加。目前, 黄瓜嫁接在生产上主要

面临嫁接砧木种类繁多、果实品质下降等问题, 而前人对黄瓜嫁接的研究多集中在增产及抗性方面, 对嫁接方法研究较少, 因此探索一种既保持嫁接抗性又提升品质的方法和适宜嫁接的中间砧品种, 对工厂化育苗有重要意义。

本试验通过采用中间砧嫁接方法, 探讨了不同嫁接方法及不同中间砧嫁接对黄瓜果实品质及挥发性风味物质的影响, 以期探索出一种既能保持嫁接抗性又能提升果实品质的嫁接方法和筛选出一种适宜嫁接的中间砧品种, 在高效高产的前提下, 降低生产成本, 为生产实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)试验材料为‘津优35号’, 甜瓜(*Cucumis melo* L.)试验材料分别为‘伊丽莎白’、‘东方脆甜’、‘景甜F₁’, 南瓜(*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poir.)试验材料为‘威盛一号’, 试验于2016~2017年在山东农业大学科技创新园进行。

1.2 试验设计

试验以黄瓜‘津优35号’作为接穗试材、3种不同的甜瓜品种做中间砧、南瓜‘威盛一号’做根砧

收稿 2018-10-27 修定 2019-05-22

资助 国家自然科学基金(31372084)。

* 通讯作者(liusq99@sdau.edu.cn)。

进行种植,共设5个处理:(1)黄瓜自根苗(CK);(2)黄瓜/南瓜嫁接苗(T1);(3)黄瓜/甜瓜‘伊丽莎白’/南瓜的中间砧嫁接苗(T2);(4)黄瓜/甜瓜‘东方脆甜’/南瓜的中间砧嫁接苗(T3);(5)黄瓜/甜瓜‘景甜F₁’/南瓜的中间砧嫁接苗(T4)。

试验供试土壤为壤土,含碱解氮117.2 mg·kg⁻¹、速效磷50.3 mg·kg⁻¹、速效钾90.1 mg·kg⁻¹、有机质9.82 g·kg⁻¹、酸碱度pH 6.79。2017年2月8日南瓜种子浸种催芽露白后播种于盛有相同基质的10 cm×10 cm育苗钵中,基质体积比为草炭:蛭石:珍珠岩=2:1:1。5 d后进行甜瓜的浸种催芽,甜瓜露白后播种到育苗盘中,待南瓜一叶一心、甜瓜子叶展平时采用顶插法进行嫁接,嫁接后置于小拱棚中,覆盖塑料薄膜、保温被,保湿遮荫,白天温度控制在20~25℃,夜间18~20℃,空气相对湿度在90%以上。4 d后逐渐揭去遮盖物,早晚开始通风,相对湿度保持在70%左右;逐渐增加通风的次数,10 d后去掉遮盖物。嫁接成活后进行南瓜和黄瓜的育苗。待甜瓜长出2片真叶后,去心,使其茎部加粗,待黄瓜子叶展平时进行甜瓜/黄瓜嫁接,同时进行黄瓜/南瓜的嫁接,待嫁接成活后,每天浇一次营养液,其余正常管理。4月20日黄瓜幼苗两叶一心时,取大小一致、长势健壮的嫁接苗及自根苗定植到日光温室中,每个处理90株,重复3次,每重复30株。

1.3 测定项目与方法

6月2日盛果期各处理选取同一天开花的果实(每个重复任选3个花期一致的商品果实,每个处理共9个)标记,7 d后采收。

1.3.1 外观指标的测定

记录横径、纵径、果把长并计算果形指数,所有果实称重测果实产量,丙酮比色法测定果皮色素含量(赵世杰等2002)。

1.3.2 营养品质指标的测定

可溶性固形物含量用手持糖度计测定,游离氨基酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量的测定均参照赵世杰等(2002)的方法,VC、可滴定酸、硝酸盐含量的测定均参照王学奎和黄见良(2015)的方法,鞣质含量的测定采用张国伟等(2008)和李鹏等(2009)的方法,类黄酮含量采用Toor和Savage (2005)的方法,烘干法测定干物质含量。品质评价采用模糊

数学隶属函数法,即 $X(\mu)=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$,其中 $X(\mu)$ 表示隶属函数, X_{\min} 表示最小值, X_{\max} 表示最大值,利用模糊数学中的隶属函数法对各项指标进行综合评价。

1.3.3 挥发性物质的测定

挥发性香气组分采用固相微萃取气质联用方法测定,仪器为气相色谱-质谱联用仪(Shimadzu公司,日本)。气相色谱(gas chromatography, GC)条件:色谱柱为HP-INNOWAX石英弹性毛细管柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度250℃;进样方式:不分流进样;升温程序:40℃保持2.5 min, 10℃·min⁻¹升至110℃,然后以6℃·min⁻¹升温至230℃,维持8 min;载气为高纯He;流速1.0 mL·min⁻¹。

质谱(mass spectrometry, MS)条件:电子电离(electron ionization, EI);电离电压70 eV;离子源温度250℃;采用选择离子检测(selected ion monitor, SIM)进行扫描,扫描质量范围35~500 u。

1.4 数据分析和处理

采用DPS 6.55软件(Duncan新复极差法)进行数据处理和统计分析,Microsoft Excel进行作图。

2 实验结果

2.1 不同甜瓜中间砧嫁接对黄瓜品质的影响

2.1.1 不同甜瓜中间砧嫁接对黄瓜外观品质的影响

由表1可见,嫁接明显改变黄瓜果实外观指标。与自根苗相比,中间砧嫁接明显提高黄瓜果实的横径、单果重,降低果形指数,各处理下的单果重及果实产量变化规律相似,均以T1最高,T3次之,CK最低;不同处理间果皮叶绿素含量差异不显著;此外,嫁接对黄瓜果实果形指数、果皮叶绿素含量及产量影响较大,变异系数分别高达6.32%、5.33%和9.43%,而对果实横、纵径和单果重影响较小,仅分别为1.65%、4.84%和4.78%。

2.1.2 不同甜瓜中间砧嫁接对黄瓜营养品质的影响

由表2可知,不同嫁接处理下黄瓜果实的可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸、硝酸盐、可滴定酸、可溶性固形物含量均有较大变异,变异系数达10%~23%,表明嫁接显著影响黄瓜果实营养品质,但不同嫁接方式对黄瓜果实营养品质相关指标有不同影响。

表1 不同嫁接处理下黄瓜果实外观品质指标

Table 1 Appearance quality indices of cucumber fruit under different grafting treatments

处理	果实横径/cm	果实纵径/cm	果形指数	单果重/g	果把长/果长	叶绿素含量/mg·g ⁻¹ (FW)	产量/kg·亩 ⁻¹
CK	3.03 ^b	36.04 ^a	11.91 ^a	186.24 ^d	0.26 ^b	1.05 ^a	4 235.16 ^d
T1	3.25 ^a	31.90 ^c	9.81 ^d	222.43 ^a	0.28 ^a	0.98 ^a	5 325.95 ^a
T2	3.13 ^{ab}	34.84 ^{ab}	11.12 ^{bc}	208.92 ^b	0.24 ^c	1.03 ^a	4 984.03 ^b
T3	3.15 ^{ab}	35.72 ^a	11.34 ^{ab}	210.82 ^b	0.23 ^c	1.10 ^a	5 148.53 ^{ab}
T4	3.18 ^a	33.74 ^b	10.63 ^c	197.97 ^c	0.25 ^{bc}	1.09 ^a	4 401.54 ^c
平均值	3.18	34.05	10.73	209.54	0.25	1.05	4 692.32
CV/%	1.65	4.84	6.32	4.78	8.57	5.33	9.43

1亩≈667 m²。CV: 变异系数, 表示嫁接后黄瓜果实某一指标的变异程度, 表2同。同列不同处理数据用不同小写字母标识表示差异显著($P<0.05$), 表2和3同。

表2 不同嫁接处理下黄瓜果实营养品质指标

Table 2 Nutritional quality indices of cucumber fruit under different grafting treatments

处理	可溶性糖含量/mg·g ⁻¹	可溶性蛋白含量/mg·g ⁻¹	VC含量/mg·g ⁻¹	游离氨基酸含量/mg·g ⁻¹	硝酸盐含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	可滴定酸含量/mg·g ⁻¹	可溶性固形物含量/mg·g ⁻¹	鞣质含量/mg·g ⁻¹	平均隶属函数值
CK	3.04 ^b	2.14 ^c	686 ^{bc}	1.07 ^d	130.04 ^b	0.14 ^c	2.40 ^b	8.33 ^d	0.10
T1	2.37 ^c	2.66 ^b	679 ^c	1.42 ^c	143.25 ^a	0.20 ^a	2.17 ^c	10.54 ^a	0.36
T2	3.65 ^a	2.72 ^b	698 ^b	2.22 ^a	119.38 ^c	0.16 ^b	2.73 ^a	9.58 ^b	0.62
T3	3.92 ^a	3.30 ^a	702 ^{ab}	2.54 ^a	104.27 ^d	0.15 ^b	3.08 ^a	9.29 ^c	0.81
T4	3.66 ^a	3.03 ^{ab}	719 ^a	2.00 ^b	120.31 ^c	0.18 ^{ab}	2.67 ^a	9.87 ^{ab}	0.56
平均值	3.4	2.93	700	2.05	121.80	0.17	2.66	9.82	—
CV/%	20.53	10.13	2.35	23.08	13.20	12.85	14.08	5.45	—

平均隶属函数值表示黄瓜果实综合品质。

与自根苗相比, 两种方式嫁接都显著提高黄瓜果实的可溶性蛋白和游离氨基酸含量, 其中T3处理下黄瓜果实可溶性蛋白和游离氨基酸含量最高, 分别比常规嫁接高出24.06%和78.87%。与自根苗相比, 常规嫁接不同程度降低了黄瓜果实中可溶性糖、VC及可溶性固形物含量, 引入中间砧后显著提高了其含量, 三个中间砧处理下除T4处理的VC含量略高外, 其余均以T3含量最高, 分别比对照高出28.95%和28.33%。

可滴定酸含量是植物品质的重要构成性状之一, 与可溶性糖一起构成影响果实风味品质的重要因素。常规嫁接不可避免地提高了黄瓜果实的可滴定酸含量, 影响了鲜食黄瓜的口感, 但甜瓜中间砧的引入不同程度降低了黄瓜果实中的可滴定酸含量, 三个中间砧处理下以T4含量最高, T3含量最低。鞣质是鲜食果蔬中涩味的主要来源, 嫁接后鞣质含量变化规律与可滴定酸含量变化规律基本

一致, 依次是T1>T4>T2>T3>CK。硝酸盐在烹饪的过程中易转化为亚硝酸盐, 进而危害人体的健康, 所以其含量是衡量蔬菜品质的一个重要因素, 与自根苗相比, 常规嫁接显著提高了黄瓜果实的硝酸盐含量, 而中间砧嫁接又显著降低了硝酸盐含量, 以T3处理含量最低, 并与其他处理差异显著。

2.2 不同甜瓜中间砧嫁接对黄瓜挥发性香气物质的影响

由表3可知, 不同处理下的黄瓜果实挥发性香气物质种类及含量略有不同, 各处理下黄瓜果实的挥发性香气物质种类分别为22、24、28、28和27种, 均包含醇类、醛类、酮类、酯类、烷烃类等多种物质。常规嫁接处理的醇类物质含量最高, 占香气总量的17.04%, 并且与其他处理之间差异显著。不同处理间醛类物质含量差异明显, 依次为CK>T4>T2>T3>T1。T3和T4处理的酯类化合物含量最高, 分别占香气总量的1.63%和1.67%, 两者

表3 不同中间砧嫁接条件下黄瓜果实的挥发性香气物质种类

Table 3 The volatile aroma compounds in cucumber fruit grafted with different interstocks

处理	化合物种数(比例/%)						总计
	醇	醛	酮	酯	烷烃类	其他	
CK	5 (4.34 ^d)	10 (92.39 ^a)	1 (0.26 ^a)	2 (0.98 ^c)	1 (0.54 ^b)	3 (1.39 ^a)	22
T1	6 (17.04 ^a)	11 (80.81 ^d)	1 (0.28 ^a)	1 (0.44 ^d)	2 (0.53 ^b)	3 (0.89 ^d)	24
T2	7 (6.39 ^b)	12 (90.45 ^b)	1 (0.18 ^a)	3 (1.52 ^b)	1 (0.44 ^c)	3 (1.17 ^b)	28
T3	7 (6.60 ^b)	11 (89.85 ^c)	1 (0.20 ^a)	4 (1.63 ^a)	2 (0.71 ^a)	3 (1.13 ^c)	28
T4	7 (6.04 ^c)	11 (90.60 ^b)	1 (0.20 ^a)	4 (1.67 ^a)	1 (0.43 ^c)	3 (1.15 ^c)	27

间无显著差异, 但均高于常规嫁接和自根苗。T3处理的烷烃类化合物含量最高, 占香气总量的0.71%, T4处理最低, 仅为T3处理的60.56%。几个处理间酮类物质含量无显著差异。

如表4所示, 不同处理间果实共有的香气物质有20种, 处理间各香气物质的含量有一定差别。

与自根苗相比, 常规嫁接显著降低了黄瓜果实中(3E)-壬烯醇、十二醛、具有清香气息的沉香醇和(E)-石竹烯、蔬菜香韵的2-正戊基呋喃以及橙

子香的壬酸含量, 同时2-壬烯醇、2,4-己二烯醛、乙酸-2-己基乙酯、具有黄瓜果实特征性风味的(2E, 6Z)-壬二烯醛和(2E, 6Z)-壬二烯醇以及具有甜瓜果实特征性风味物质的(6E)-壬烯醛含量也有一定程度的降低。引入中间砧后, 其含量均有不同程度的提升, 除2,4-己二烯醛、乙酸-2-己基乙酯和(6E)-壬烯醛含量高于自根苗外, 其余仍低于自根苗。

常规嫁接使得黄瓜果实中具有麝香味的3,6-壬二烯醇、青草香的正己醛和壬醛、牛脂香的(2E)-

表4 不同中间砧嫁接黄瓜果实共有香气成分GC-MS分析

Table 4 GC-MS analysis of common aroma components in cucumber fruit grafted with different interstocks

化合物类别	化合物名称	含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$					香气特征
		CK	T1	T2	T3	T4	
醇类	(3E)-壬烯醇	0.54 ^a	0.48 ^c	0.50 ^b	0.51 ^b	0.51 ^b	—
	沉香醇	0.13 ^a	0.07 ^d	0.08 ^c	0.09 ^b	0.08 ^c	清香
	(2E, 6Z)-壬二烯醇	2.78 ^b	2.08 ^d	2.67 ^b	3.04 ^a	2.44 ^c	甜瓜、黄瓜清香
	2-壬烯醇	0.50 ^a	0.37 ^c	0.48 ^a	0.48 ^a	0.43 ^b	—
	3,6-壬二烯醇	0.20 ^d	0.33 ^a	0.28 ^c	0.22 ^d	0.31 ^b	麝香味
醛类	正己醛	4.46 ^b	5.81 ^a	4.33 ^b	4.48 ^b	4.32 ^b	青草香
	壬醛	2.65 ^c	2.95 ^b	3.41 ^a	3.34 ^a	3.38 ^a	青草香
	(2E)-己烯醛	19.78 ^a	20.86 ^a	20.58 ^a	20.14 ^a	19.76 ^a	青草香
	2,4-己二烯醛	0.10 ^c	0.08 ^c	0.16 ^a	0.12 ^b	0.15 ^{ab}	—
	(6E)-壬烯醛	14.87 ^b	13.44 ^c	15.74 ^{ab}	16.61 ^a	16.01 ^a	甜瓜清香
	(2E, 6Z)-壬二烯醛	35.80 ^a	21.03 ^d	22.40 ^{bc}	24.97 ^b	25.00 ^c	黄瓜香
	(2E)-壬烯醛	7.41 ^c	8.83 ^{ab}	9.05 ^a	9.15 ^a	8.50 ^b	牛脂香
	十二醛	0.27 ^a	0.20 ^c	0.26 ^{ab}	0.22 ^c	0.24 ^b	—
	十三醛	1.88 ^b	1.93 ^b	2.10 ^a	2.18 ^a	2.12 ^a	—
	烷烃类	(E)-石竹烯	0.52 ^a	0.34 ^d	0.45 ^b	0.39 ^c	0.44 ^{bc}
酮类	1-戊烯-3-酮	0.25 ^b	0.31 ^a	0.18 ^d	0.21 ^c	0.20 ^c	—
酯类	乙酸-2-己基乙酯	0.57 ^c	0.48 ^d	0.77 ^b	0.86 ^a	0.86 ^a	—
其他	2-正戊基呋喃	0.62 ^a	0.36 ^c	0.51 ^b	0.45 ^b	0.48 ^b	蔬菜香韵
	庚酸	0.12 ^c	0.21 ^a	0.15 ^d	0.18 ^b	0.16 ^c	—
	壬酸	0.59 ^a	0.41 ^d	0.53 ^c	0.58 ^a	0.54 ^b	橙子香

同行不同处理数据用不同小写字母标识表示差异显著($P < 0.05$), 表5同。

壬烯醛和1-戊烯-3-酮以及庚酸含量显著增加, 青草香的(2E)-己烯醛和十三醛的相对含量也有不同程度的增加。与常规嫁接相比, 中间砧嫁接明显提高了壬醛、(2E)-壬烯醛和十三醛的相对含量, 却不同程度降低了果实中3,6-壬二烯醇、(2E)-己烯醛、正己醛、1-戊烯-3-酮和庚酸的含量。

不同中间砧嫁接对黄瓜果实香气物质含量的影响也不同, 以中间砧T3嫁接黄瓜果实中沉香醇、(2E,6Z)-壬二烯醇、(6E)-壬烯醛、(2E)-壬烯醛、十三醛和乙酸-2-己基乙酯含量高于其他两个中间砧嫁接的黄瓜果实。

从表5可知, 与自根苗相比, 常规嫁接后黄瓜果实中新检测出1,10-癸二醇、(2E,6Z)-壬二醛、十四醛、1-氯庚烷等物质, 中间砧嫁接后新检测出正己醇、具有甜瓜果实特征性风味物质的(6Z)-壬烯醇、(2E,6E)-壬二醛、十四醛、十六烷、枫香脂、苯甲酸己酯和邻苯二甲酸二丁酯, 2,4-壬二烯醛和枫香脂为黄瓜自根苗和中间砧嫁接苗共有, 且含量不同程度高于黄瓜自根苗。三个中间砧品种中, 以T3嫁接黄瓜果实中(6Z)-壬烯醇、(2E,6E)-壬二醛、2,4-壬二烯醛和邻苯二甲酸二丁酯含量最高, 并与其他处理之间差异显著。

3 讨论

嫁接后, 南瓜根系取代了黄瓜根系, 砧木根系发达, 在砧木与接穗共生亲和性较好情况下, 接合

部位发育正常, 可显著提高嫁接植株对水分和矿物质的吸收能力, 从而促进植株生长, 增强植株叶片的光合能力, 提高产量(高方胜等2014)。本研究中嫁接显著提高黄瓜果实产量, 以常规嫁接产量最高, 中间砧‘东方脆甜’次之, 并与常规嫁接差异不显著。嫁接后黄瓜果实横径增加, 纵径减小, 单果重增加, 果形指数降低, 与常规嫁接黄瓜相比, 中间砧嫁接显著降低果把长/果长, 提高果实纵径、果形指数, 增加果实商品性。

嫁接可以提高蔬菜的抗性, 增加产量, 但不可避免地影响果实品质。朱进等(2006)研究认为, 嫁接可提高黄瓜果实可溶性蛋白、VC含量, 降低游离氨基酸含量; 李红丽(2006)研究表明, 嫁接可以提高黄瓜果实硝酸盐、鞣质、可滴定酸含量, 降低游离氨基酸和可溶性糖含量; 孟凡鲁(2012)研究表明, 甜瓜中间砧既可以保持常规嫁接的强生长势又能显著提高西瓜的品质。不同砧木对果实品质影响不同, 且同一砧木对果实不同品质影响也不尽相同, 本研究结果证实, 不同砧木嫁接均能提高黄瓜果实可溶性蛋白和游离氨基酸含量, 降低可溶性糖、可溶性固形物和VC含量, 但引入中间砧后, 又不同程度提高了其含量, 且高于黄瓜自根苗, 造成品质表现差异的原因可能是甜瓜中间砧通过根系调控嫁接植株对矿质元素和植物激素的吸收与合成进而影响果实糖分的代谢与积累(Rouphael等2008; Lopez-Galarza等2004; 高方胜等

表5 不同中间砧嫁接黄瓜果实非共有香气成分GC-MS分析

Table 5 GC-MS analysis of non-common aroma components in cucumber fruit grafted with different interstocks

化合物类别	化合物名称	含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$				
		CK	T1	T2	T3	T4
醇类	正己醇	—	—	0.44 ^a	0.39 ^b	0.43 ^a
	(6Z)-壬烯醇	—	—	2.07 ^b	2.33 ^a	1.97 ^b
	1,10-癸二醇	—	15.37	—	—	—
醛类	(2E,6E)-壬二醛	—	12.71 ^d	14.53 ^b	15.89 ^a	13.90 ^c
	2,4-壬二烯醛	0.08 ^d	—	0.13 ^b	0.15 ^a	0.12 ^c
	十四醛	—	0.82 ^b	1.01 ^a	—	—
烷烃类	十六烷	—	—	—	0.37	—
	1-氯庚烷	—	0.25	—	—	—
酯类	枫香脂	0.37 ^a	—	0.36 ^a	0.28 ^b	0.24 ^c
	苯甲酸己酯	—	—	0.42 ^a	0.37 ^b	0.41 ^a
	邻苯二甲酸二丁酯	—	—	—	0.23 ^a	0.20 ^b

2014)。鞣质和可滴定酸是衡量果实品质的重要因素,其含量高低直接决定黄瓜鲜食的口感。李红丽等(2006)研究发现,黄瓜/南瓜嫁接可显著增加黄瓜果实中鞣质和可滴定酸含量;张宇等(2011)研究表明,与常规嫁接相比,中间砧嫁接使黄瓜鞣质含量降低,本试验中得到相似的结果,常规黄瓜/南瓜嫁接后,黄瓜果实中可滴定酸和鞣质含量等指标均较自根苗有不同程度的提升,但在引进甜瓜中间砧后,鞣质和可滴定酸含量明显降低,可能由于不同中间砧影响了黄瓜果实内有机酸合成与降解的基因表达,从而影响了相关酶的活性,使有机酸含量出现差异(史娟等2016)。硝酸盐含量是蔬菜及其加工产品安全品质的重要指标,结合可溶性糖指标来看,中间砧嫁接在提高黄瓜果实中可溶性糖含量的同时也降低了硝酸盐含量,且低于黄瓜自根苗,可能由于黄瓜中增加的糖引起硝酸还原酶mRNA的增加,进而降低了硝酸盐含量(陈晓丽等2017)。除此之外,三个中间砧嫁接处理中以‘东方脆甜’嫁接处理下黄瓜果实可滴定酸、鞣质、硝酸盐含量最低,可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物、游离氨基酸含量最高,其隶属函数值也最大,即甜瓜中间砧‘东方脆甜’嫁接黄瓜综合营养品质最好。

果实香气物质由挥发性物质的种类和含量共同决定,香气物质种类多的品种整体风味更浓郁(Bult等2002;李芳芳等2014),牛自勉等(1996)研究表明,矮化中间砧可显著提高苹果(*Malus pumila*)中酯类乙酸乙酯含量,降低乙醇的含量。赵玲玲等(2014)通过对不同砧穗组合对苹果品质的影响得知,中间砧嫁接可显著增加果实中香气种类。本研究中嫁接同时改变了黄瓜果实中香气物质的种类和含量,常规嫁接中检测到24种,三个中间砧中分别检测到28、28和27种。常规嫁接降低了具有清香气息的沉香醇和石竹烯、蔬菜香韵的2-正戊基呋喃、橙子香的壬酸、具有黄瓜果实特征性风味的(2*E*,6*Z*)-壬二烯醛和(2*E*,6*Z*)-壬二烯醇以及具有甜瓜果实特征性风味物质的(6*E*)-壬烯醛含量,这与李红丽等(2006)研究一致。而中间砧嫁接后不仅新检测到具有甜瓜果实特征性风味的(6*Z*)-壬烯-1-醇,与常规嫁接相比,明显提高了壬醛、(2*E*)-

壬烯醛、十三醛以及具有黄瓜果实特征性风味物质的(2*E*,6*Z*)-壬二烯醛和(2*E*,6*Z*)-壬二烯-1-醇的相对含量。

综上所述,在常规嫁接基础上通过引入甜瓜中间砧可以不同程度地提高黄瓜果实可溶性糖、可溶性蛋白、VC、游离氨基酸和可溶性固形物含量,降低硝酸盐、可滴定酸和鞣质含量。尽管嫁接对黄瓜果实影响不尽相同,但通过隶属函数对黄瓜综合评价可知中间砧嫁接黄瓜果实品质明显优于常规嫁接,其中,三个中间砧品种以‘东方脆甜’的综合品质及产量较好,为中间砧嫁接的适宜品种。

参考文献(References)

- Bult JHF, Schifferstein HNJ, Roozen JP, et al (2002). Sensory evaluation of character impact components in an apple model mixture. *Chem Senses*, 27 (6): 485–494
- Chen LP, Song ZJ, Ma XZ, et al (2004). Effect of grafting on quality of cucumber in solar-greenhouse. *Acta Agr Boreal Occident Sin*, 13 (2): 170–171 (in Chinese with English abstract) [陈利平, 宋增军, 马兴庄等(2004). 嫁接对日光温室黄瓜产品品质的影响. *西北农业学报*, 13 (2): 170–171]
- Chen XL, Yang QC, Zhang X, et al (2017). Effects of green LED light on the growth and quality of lettuce. *Sci Agr Sin*, 50 (21): 4170–4177 (in Chinese with English abstract) [陈晓丽, 杨其长, 张馨等(2017). LED绿光补光模式对生菜生长及品质的影响. *中国农业科学*, 50 (21): 4170–4177]
- Gao FS, Wang L, Xu K (2014). Comprehensive evaluation of relationship between rootstocks and yield and quality in grafting tomato. *Sci Agr Sin*, 47 (3): 605–612 (in Chinese with English abstract) [高方胜, 王磊, 徐坤(2014). 砧木与嫁接番茄产量品质关系的综合评价. *中国农业科学*, 47 (3): 605–612]
- King SR, Davis AR, Liu W, et al (2008). Grafting for disease resistance. *HortScience*, 43 (6): 1673–1676
- Li FF, Zhang HP, He ZS, et al (2014). Effects of bagging on soluble sugars, organic acids, and aroma compounds in *Pyrus sinkiangensis* ‘Korla Xiangli’ fruit. *Acta Hort Sin*, 41 (7): 1443–1450 (in Chinese with English abstract) [李芳芳, 张虎平, 何子顺等(2014). 套袋对‘库尔勒香梨’果实糖酸组分与香气成分的影响. *园艺学报*, 41 (7): 1443–1450]
- Li HL, Wang ML, Yu XC, et al (2006). Effect of different scions/rootstocks on quality of cucumber fruits in greenhouse. *Sci Agr Sin*, 39 (8): 1611–1616 (in Chinese with

- English abstract) [李红丽, 王明林, 于贤昌等(2006). 不同接穗/砧木组合对日光温室黄瓜果实品质的影响. 中国农业科学, 39 (8): 1611–1616]
- Li HN, Ge SF, Men YG, et al (2014). Effect of SH6 dwarfing interstock on N absorption, distribution and storage characteristic in apple saplings. *Acta Horti Sin*, 41 (5): 851–858 (in Chinese with English abstract) [李洪娜, 葛顺峰, 门永阁等(2014). 苹果树矮化中间砧SH6对幼树氮素吸收、分配和贮藏的影响. 园艺学报, 41 (5): 851–858]
- Li P, Zhang HS, Niu GX (2009). Research on the extraction methods of tannin from persimmon leaf. *Sci Technol Food Ind*, 30 (9): 220–222 (in Chinese with English abstract) [李鹏, 张海生, 牛国霞(2009). 柿叶单宁提取技术研究. 食品工业科技, 30 (9): 220–222]
- Li S, Zhang H, Jin H, et al (2018). Effects of rhizosphere high temperature on growth, photosynthesis and biochemical indexes of grafted cucumber seedlings on different rootstocks. *Chin Agr Sci Bull*, 34 (1): 61–67 (in Chinese with English abstract) [李思思, 张红梅, 金海军等(2018). 根际高温对不同砧木黄瓜嫁接幼苗生长、光合及生理特性的影响. 中国农学通报, 34 (1): 61–67]
- Liu RQ, Zhang HM, Xu JH, et al (2003). Effects of rootstocks on growth and fruit quality of grafted watermelon. *J Shanghai Jiaotong Univ Agr Sci*, 21 (4): 289–294 (in Chinese with English abstract) [刘润秋, 张红梅, 徐敬华等(2003). 砧木对嫁接西瓜生长及品质的影响. 上海交通大学学报(农业科学版), 21 (4): 289–294]
- Lopez-Galarza S, San Bautista A, Perez DM, et al (2004). Effect of grafting and cytokinin-induced fruit setting on colour and sugar-content traits in glasshouse-grown triploid watermelon. *J Horti Sci Biotechnol*, 79 (6): 971–976
- Meng F, Liu S, Sun X, et al (2012). Effects of melon interstock on growth and fruit quality of grafted watermelon. *Acta Agr Boreal Occident Sin*, 21 (6): 112–117 (in Chinese with English abstract) [孟凡鲁, 刘世琦, 孙秀东(2012). 甜瓜中间砧对嫁接西瓜生长及品质的影响. 西北农业学报, 21 (6): 112–117]
- Niu Z, Wang X, Meng Y, et al (1996). Influence of rootstocks on the contents of volatile aroma compounds in the flesh of some apple varieties. *J Fruit Sci*, 13 (3): 153–156 (in Chinese with English abstract) [牛自勉, 王贤苹, 孟玉萍等(1996). 不同砧木苹果品种果肉香气物质含量的变化. 果树科学, 13 (3): 153–156]
- Pérez AG, Olías R, Luaces P, et al (2002). Biosynthesis of strawberry aroma compounds through amino acid metabolism. *J Agr Food Chem*, 50: 4037–4042
- Ren S, Tang J (2016). Seedling raising and early maturing cultivation techniques of watermelon with two segments of anvil and double paste grafting. *Shanghai Veget*, (2): 70–72 (in Chinese) [任淑年, 唐家雨(2016). 西瓜两段砧双贴嫁接育苗及早熟栽培技术. 上海蔬菜, (2): 70–72]
- Rouphael Y, Cardarelli M, Colla G, et al (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience*, 43 (3): 730–736
- Shi J, Li FF, Ma H, et al (2016). Effects of different interstocks on key enzymes activities and the expression of genes related to malic acid metabolism in apple fruit. *Acta Horti Sin*, 43 (1): 132–140 (in Chinese with English abstract) [史娟, 李方方, 马宏(2016). 不同中间砧对苹果果实苹果酸代谢关键酶活性及其相关基因表达的影响. 园艺学报, 43 (1): 132–140]
- Sun SJ, Fu CY, Song Y, et al (2017). Effect of low root-zone temperature on growth and ^{15}N uptake and distribution characteristics in grafted cucumber seedling root. *Plant Physiol J*, 53 (8): 1545–1552 (in Chinese with English abstract) [孙世君, 付崇毅, 宋阳等(2017). 根区低温对嫁接的黄瓜幼苗根系生长和 ^{15}N 吸收分配的影响. 植物生理学报, 53 (8): 1545–1552]
- Toor RK, Savage GP (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res Int*, 38 (5): 487–494
- Wang L, Gao FS, Xu K (2017). Effect of rootstock-scion interaction on plant growth and leaf carbon-nitrogen assimilation in overwintering tomato. *Plant Physiol J*, 53 (9): 1695–1702 (in Chinese with English abstract) [王磊, 高方胜, 徐坤(2017). 砧穗互作对越冬番茄生长及叶片碳氮同化能力的影响. 植物生理学报, 53 (9): 1695–1702]
- Wang X, Huang J (2015). Principle and Technology of Plant Physiological and Biochemical Experiments. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 118–119 (in Chinese) [王学奎, 黄见良(2015). 植物生理生化实验原理与技术. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 118–119]
- Zhang GW, Yi ZZ, Yi H, et al (2008). Extraction of tannin from pomegranate rind and its physical properties analysis. *J Anhui Agr Sci*, 36 (18): 7529–7530 (in Chinese with English abstract) [张国伟, 易中周, 矣辉等(2008). 蒙自石榴皮中鞣质的提取及其物性分析. 安徽农业科学, 36 (18): 7529–7530]
- Zhang HM, Jin HJ, Yu JZ, et al (2007). Effects of different pumpkin rootstocks on growth and fruit quality of grafted cucumber. *J Inner Mongolia Agr Univ*, 28 (3): 177–181 (in Chinese with English abstract) [张红梅, 金海军, 余纪柱等(2007). 不同南瓜砧木对嫁接黄瓜生长和果实品质的影响. 内蒙古农业大学学报, 28 (3): 177–181]
- Zhang N, Bi YF, Guo J, et al (2016). Changes of PAL, PPO and POD activities in melon with different resistances after inoculated with *Didymella bryoniae*. *Plant Physiol J*, 52 (8): 1169–1175 (in Chinese with English abstract) [张宁, 毕研飞, 郭静等(2016). 不同抗性甜瓜接种蔓枯病菌后PAL、PPO与POD活性的变化. 植物生理学报, 52

- (8): 1169–1175]
- Zhang X, Guo Z, Ji H, et al (2015). A new technique of grafting and raising seedlings of muskmelon with thick skin and double roots in early spring greenhouse. *Northwest Hortic*, (9): 24–25 (in Chinese) [张小平, 郭智勇, 纪辉等 (2015). 早春大棚厚皮甜瓜双根嫁接育苗新技术. *西北园艺*, (9): 24–25]
- Zhang Y, Liu SQ, Zhang ZK, et al (2011). Effect of melon interstock on the growth and fruit quality of grafted cucumber. *Sci Agr Sin*, 44 (13): 2730–2737 (in Chinese with English abstract) [张宇, 刘世琦, 张自坤等(2011). 甜瓜中间砧对嫁接黄瓜生长和果实品质的影响. *中国农业科学*, 44 (13): 2730–2737]
- Zhao LL, Jiang ZW, Song LQ, et al (2014). Effects of different rootstocks on fruit quality and aroma components of red general Fuji apple. *Acta Agr Boreali Sin*, 29 (S1): 234–238 (in Chinese with English abstract) [赵玲玲, 姜中武, 宋来庆等(2014). 不同砧木对红将军苹果果实品质和香气物质的影响. *华北农学报*, 29 (S1): 234–238]
- Zhao S, Shi G, Dong X (2002). Techniques of plant physiology experiment. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press (in Chinese) [赵世杰, 史国安, 董新纯 (2002). 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社]
- Zhao YJ, Wu YF, Chen Y, et al (2012). Effect of different fertilizer application on growth, yield and quality of graft pellicular muskmelon. *China Veget*, (22): 59–62 (in Chinese with English abstract) [赵依杰, 吴宇芬, 陈贻钊等 (2012). 不同肥料施用对嫁接薄皮甜瓜生长、产量及品质的影响. *中国蔬菜*, (22): 59–62]
- Zhu J, Bie ZL, Xu R, et al (2006). Effects of different rootstocks on growth, yield and quality of cucumber fruits. *J Huazhong Agr Univ*, 25 (6): 668–671 (in Chinese with English abstract) [朱进, 别之龙, 徐容等(2006). 不同砧木嫁接对黄瓜生长、产量和品质的影响. *华中农业大学学报*, 25 (6): 668–671]

Effects of different grafting methods and different interstock graftings on fruit quality and volatile compounds in cucumber

WANG Li-Xia, DONG Yu-Hui, SUN Xiu-Dong, LIU Shi-Qi*

College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Ministry of Agriculture Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops in Huanghuai Region, Taian, Shandong 271018, China

Abstract: This experiment was carried out to study the effects of grafting methods and graftings with different varieties of melon (*Cucumis melo*) interstocks on fruit quality and volatile compounds in cucumber (*C. sativus*), using ‘Jinyou 35’ cucumber as the scion, ‘Elizabeth’, ‘Oriental crisp sweet’ and ‘Jingtian F₁’ melons as the interstocks, and ‘Weisheng No.1’ pumpkin (*Cucurbita moschata*) as the root stock. We used the cucumber self-rooted seedlings as the control, and designed five treatments, such as cucumber self-rooted seedlings, conventional grafted seedlings, cucumber/‘Elizabeth’/pumpkin, cucumber/‘Oriental crisp sweet’/pumpkin and cucumber/‘Jingtian F₁’/pumpkin grafted seedlings. The results show that the appearance quality indices of cucumber fruit were significantly changed by grafting. Compared to conventional grafting, the contents of soluble protein, free amino acid, dry matter, soluble sugar, vitamin C and soluble solids in cucumber fruit were increased by interstock grafting, and the contents of titratable acid, tannin and nitrate were decreased. The types and contents of volatile substances in the grafted interstock were higher than those in the conventional grafting and self-rooted seedlings. The comprehensive quality and yield of ‘Oriental crisp sweet’ were apparently higher than other varieties. Therefore, the best grafting method is interstock grafting, and the best interstock is ‘Oriental crisp sweet’.

Key words: cucumber; interstock; quality; GC-MS

Received 2018-10-27 Accepted 2019-05-22

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31372084).

*Corresponding author (liusq99@sda.u.edu.cn).