



西北农业学报
Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica
ISSN 1004-1389, CN 61-1220/S

《西北农业学报》网络首发论文

题目: 黄瓜果皮和果肉芳香物质的成分鉴定及差异比较
作者: 尚明月, 吴燕, 陈劲枫, 姜群峰
收稿日期: 2021-01-21
网络首发日期: 2021-09-26
引用格式: 尚明月, 吴燕, 陈劲枫, 姜群峰. 黄瓜果皮和果肉芳香物质的成分鉴定及差异比较[J/OL]. 西北农业学报.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20210924.1803.006.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。



黄瓜果皮和果肉芳香物质的成分鉴定及差异比较

尚明月, 吴 燕, 陈劲枫, 娄群峰

(南京农业大学 作物遗传与种质创新国家重点实验室/园艺学院, 南京 210095)

摘 要 为揭示黄瓜果皮、果肉间香气差异及不同黄瓜品种果实香气特点, 利用气相色谱-质谱联用技术对 6 个黄瓜品种进行芳香物质成分的检测分析。结果表明: 从黄瓜果皮、果肉中分别检测出 60 种和 47 种芳香物质, 主要包括醛类、醇类、酮类、酯类和烃类。醛类是黄瓜果肉的主要风味物质, 含量高达总风味物质的 83.78%~96.31%, 显著高于果皮; 醇类、酮类、酯类等主要分布在果皮中。综合比较黄瓜不同品种、不同部位的特征芳香物质差异可知, 果实的黄瓜味主要来源于果肉, 清香味来源于果皮; 6 个黄瓜品种香气风味物质存在明显差异, 其中温室水果型品种相较于其他供试品种, 含有较多的 (E)-6-壬烯醛和壬醛, 具有独特的水果香甜味道, ‘南水 8 号’ (E,Z)-2-6-壬二烯醛含量最高, 黄瓜风味最为浓郁。

关键词 黄瓜; 果皮; 果肉; 芳香物质; 气相色谱-质谱联用技术

中图分类号 S642.2 文献标志码 A

园艺作物果实中芳香物质的种类和含量是影响风味品质的主要因素, 果实风味的差异主要取决于特征芳香物质的种类和含量。同一果实不同部位的芳香物质种类有所不同, 李瑞等^[1]和靳兰等^[2]对苹果果皮、果肉芳香物质的研究中均表明果皮中芳香物质种类多于果肉, 且酯类物质是苹果的主要芳香物质。此外, 石榴^[3]、蓝莓^[4]等果实的果皮、果肉和果汁中的芳香物质也存在明显差异。

目前对黄瓜果实芳香物质的研究主要集中在果实内风味物质的鉴定、不同时期芳香物质动态变化研究以及影响果实风味品质的主要因素等方面, 如郝丽宁等^[5]在 11 个不同基因型黄瓜果实中共检测到 78 种芳香物质, 并根据香气值确定 16 种特征芳香物质; 刘春香等^[6]通过研究黄瓜果实发育过程中特征芳香物质的变化发现, 随着果实的发育, 乙醛、丙醛等逐渐减少, 而 (E)-2-壬烯醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛含量迅速增加; 董邵云等^[7]、赵丽丽^[8]的相关研究表明, 利用适当的嫁接砧木可以有效改善黄瓜果实中芳香物质的分布及含量变化。有关黄瓜果实不同品种、不同部位芳香物质差异性研究的相关报道较少。本研究利用

气相色谱-质谱联用技术, 对 6 个黄瓜品种的果皮、果肉进行芳香物质含量的测定, 分析不同品种黄瓜不同部位的芳香物质差异性, 旨在了解黄瓜果皮、果肉间芳香物质差异及不同品种黄瓜果实香气风味特点, 为黄瓜风味品质综合评价及育种改良提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取 6 个黄瓜品种为试验材料, 分别为华北型黄瓜‘津优 35’, 华南型黄瓜‘曼蒂露’, 温室水果型黄瓜‘南水 2 号’‘南水 8 号’和‘碧玉黄瓜’, 美国型黄瓜‘宁运 3 号’。2020 年 8 月—11 月种植于南京农业大学白马教学科研基地, 所有试验材料进行相同的栽培管理, 选择自然授粉花后 10 d 左右长势一致的商品瓜, 在采后 24 h 内进行果皮、果肉芳香物质含量的测定。

1.2 主要仪器和试剂

三重四级杆气质联用仪 (Trace1310/TSQ 9000, Thermo Scientific); 固相萃取纤维头 (65 μ m PDMS/DVB, Supelco); TG-5MS 毛细管色谱柱 (30 m \times 0.25 mm I.D., 0.25 μ m film,

收稿日期 2021-01-21 修回日期 2021-04-01

基金项目 江苏省农业科技自主创新基金 (CX(20)2019); 江苏省农业重大新品种创制项目 (PZCZ201719); 江苏高校“青蓝工程”人才项目。

第一作者 尚明月, 女, 硕士研究生, 从事黄瓜遗传育种研究。E-mail: 2019804172@njau.edu.cn

通信作者 娄群峰, 女, 教授, 博士生导师, 主要从事蔬菜细胞分子生物学与遗传育种研究。E-mail: qflou@njau.edu.cn

Thermo Scientific)。氯化钠购于上海 Macklin 公司;内标物 3-壬酮购于 Sigma-Aldrich 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备与芳香物质的萃取 每个黄瓜品种摘取外观长势一致的商品瓜各 3 个,洗净晾干,分离果皮、果肉并切成小块,混匀;称取黄瓜果皮、果肉各 3 g,置于灭菌后的研钵中进行冰浴研磨,研磨成匀浆后置于 15 mL 样品瓶中,加入 3 mL 饱和氯化钠溶液助挥发,再加入 3 μ L 内标物 3-壬酮溶液(16.4 μ g/ μ L),密封后混合均匀备用。将制备好的样品瓶放入 Thermo RSH 自动进样器中等待萃取,萃取过程由进样器的 SPME 模块自动完成,程序为:设定炉温箱 40 $^{\circ}$ C,样品先平衡 20 min,固相微萃取纤维头 250 $^{\circ}$ C 老化 3 min 后,在样品瓶上空吸附 20 min,插入进样口(250 $^{\circ}$ C)解析 3 min,启动仪器采集数据。

1.3.2 气相色谱与质谱条件 芳香物质的分离与检测在气质联用仪上完成。色谱条件:分离用 TG-5MS 毛细管色谱柱;载气为 He 气(99.999%),流量 1.0 mL/min,分流比 3.5 : 1;程序升温,进样口 250 $^{\circ}$ C,柱温起始温度 50 $^{\circ}$ C 保持 4 min,以 5 $^{\circ}$ C/min 升温至 95 $^{\circ}$ C 保持 1min,而后以 1 $^{\circ}$ C/min 升温至 100 $^{\circ}$ C 保持 2 min,再以 5 $^{\circ}$ C/min 升温至 180 $^{\circ}$ C 保持 1 min,最后以 15 $^{\circ}$ C/min 升温至 260 $^{\circ}$ C 保持 2 min。质谱条件:GC-MS 接口温度 270 $^{\circ}$ C;离子源温度 280 $^{\circ}$ C,电离方式 EI,电子能量 70 eV;扫描质量范围 33~400 amu。

1.3.3 定性定量分析 化合物鉴定基于标准谱库 NIST library (2017)的自动检索、各化合物在谱库中的保留指数信息。最终筛选得分 80 以上,且正反比对应值大于 700 的化合物作为定性结果。各芳香物质的定量计算参考田长平等^[9]的方法。

芳香物质含量=(该组分的峰面积/内标的峰面积 \times 内标浓度 \times 内标体积/样品重量

1.3.4 特征芳香物质的确定 基于芳香化合物香气值大于 1 的原则,选择特征芳香物质^[10]。香气值按照如下公式计算:香气值=芳香化合物含量/该芳香化合物的香气阈值。

2 结果与分析

2.1 黄瓜果皮和果肉芳香物质比较

6 份黄瓜材料果皮、果肉中各化合物成分经与标准谱库比对,共检测出 66 种芳香物质(表

1),其中醛类 23 种,醇类 18 种,酮类 8 种,酯类 5 种,烃类 10 种,呋喃类 2 种。果皮、果肉中分别含有 60 种和 47 种芳香物质。6 份黄瓜材料均表现为果皮中的芳香物质种类多于果肉,其中‘津优 35’果皮和果肉芳香物质种类最多,分别有 47 种和 32 种。

2.1.1 醛类物质 醛类是黄瓜果实的主要芳香物质^[11]。由图 1 可知,醛类物质在所有芳香物质中占比最大,果皮中醛类物质含量占所检测总芳香物质含量的 57.87%~83.29%,果肉中醛类物质含量所占比重为 83.78%~96.31%,果肉中醛类物质含量显著高于果皮。6 个品种中果皮醛类物质含量最高的为‘南水 8 号’,最低的为‘宁运 3 号’;果肉醛类物质含量最多的品种为‘宁运 3 号’,最低的为‘南水 2 号’。

由表 1 可见,果皮和果肉中醛类物质分别有 22 和 18 种,两者共有的醛类物质为 17 种,含量较高的有(E,Z)-2,6-壬二烯醛、(E)-2-壬烯醛和壬醛等。果皮中含有的丙醛、丁醛、苯甲醛等未在果肉中检测出,而果肉中也检测到果皮中未发现的(Z,Z)-3,6-壬二烯醛。

2.1.2 醇类物质 黄瓜果实中醇类物质含量在 6 类芳香化合物中所占比排名第二。6 个黄瓜品种中,果皮的醇类物质含量占总芳香物质含量的占比为 8.27%~22.79%,含量最高品种为‘宁运 3 号’,最低为‘南水 8 号’;果肉中的醇类物质含量占比为 2.35%~11.95%,低于果皮中醇类物质含量,含量最高品种为‘南水 2 号’,最低为‘宁运 3 号’。

由表 1 可知,果皮、果肉中醇类物质分别有 16 和 12 种。果皮中特有的醇类物质有(E)-2-己烯醇、正庚醇、1-辛醇等,共 6 种;果肉中特有的醇类物质是 2,6-壬二烯醇和(E,Z)-2,6-壬二烯醇。

2.1.3 烃类物质 黄瓜果实中烃类物质含量仅次于醇类,6 个黄瓜品种果皮烃类物质含量占总芳香物质含量的 5.39%~16.32%,含量最高的品种为‘津优 35’,最低的是‘南水 8 号’;果肉中烃类物质所占比较少,仅占总芳香物质的 0.44%~1.43%,含量最高的品种是‘南水 2 号’,最低为‘曼蒂露’。

检测出的 10 种烃类物质主要分布在果皮中,正壬烷、正癸烷和十四烷只在果皮中检测到,1-辛烯和十五烷只在果肉中检测到,其余 5 种烃类物质为果皮、果肉所共有。

表 1 黄瓜果皮和果肉 GC-MS 分析结果

Table 1 Results of GC-MS analysis in peel and flesh of cucumber

		μg/g											
类别 Organic compounds	芳香物质组成 Aroma component	果皮 Peel						果肉 Flesh					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
醛类(23) Aldehydes	乙醛 Acetaldehyde	0.55	0.43	0.89	0.48	0.77	0.97	0.05	0.10	0.18	0.05	0.05	0.09
	丙醛 Propanal	0.58	0.93	1.05	0.54	1.06	1.38	—	—	—	—	—	—
	丁醛 Butanal	0.04	0.07	0.08	0.03	0.06	0.10	—	—	—	—	—	—
	甲基丁醛 3-Methyl-butanal	—	—	0.05	0.02	0.03	0.04	—	—	—	—	—	—
	戊醛 Pentanal	—	—	—	0.19	0.29	0.41	—	0.03	—	0.02	—	—
	(E)-2-戊烯醛 (E)-2-Pentenal	0.04	0.05	0.10	0.06	0.08	0.21	—	—	—	—	—	—
	正己醛 Hexanal	2.14	3.03	3.59	5.46	6.13	14.34	0.83	1.61	2.07	0.64	0.74	1.16
	2-己烯醛 2-Hexenal	2.14	4.38	3.03	1.25	4.33	0.94	0.25	0.44	0.68	0.23	0.31	0.44
	庚醛 Heptanal	0.05	0.05	0.10	0.08	0.08	0.17	0.04	0.06	0.11	0.02	0.02	0.05
	(Z)-2-庚烯醛 (Z)-2-Heptenal	0.18	0.24	0.27	0.41	0.64	0.88	0.10	0.16	0.17	0.06	0.05	0.08
	苯甲醛 Benzaldehyde	0.04	0.06	0.25	0.08	0.17	0.40	—	—	—	—	—	—
	辛醛 Octanal	0.03	0.05	0.05	0.07	0.06	0.10	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02
	(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-Heptadienal	0.97	1.44	2.30	1.62	2.55	5.33	0.08	0.17	0.43	0.02	0.08	0.13
	(E)-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	0.11	0.14	0.14	0.18	0.31	0.39	0.17	0.24	0.16	0.10	0.09	0.09
	(E)-4-壬烯醛 (E)-4-Nonenal	—	—	—	0.08	—	—	0.11	0.09	—	0.07	0.06	—
	(Z,Z)-3,6-壬二烯醛 (Z,Z)-3,6-Nonadienal	—	—	—	—	—	—	0.15	0.08	0.07	0.15	0.13	0.07
	(E)-6-壬烯醛 (E)-6-Nonenal	2.21	3.06	3.60	0.47	0.36	0.45	1.73	2.60	2.71	2.70	2.43	2.13
	壬醛 Nonanal	1.12	1.25	1.02	0.67	0.42	0.71	0.86	1.18	0.92	1.10	0.79	0.72
	(E)-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	3.17	1.77	1.79	0.69	0.46	0.15	0.50	0.43	0.21	0.42	0.28	0.13
	(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-Nonadienal	14.63	9.15	12.83	1.11	1.09	0.25	99.81	84.26	54.32	95.68	81.60	42.75
	十三醛 Tridecanal	—	0.06	0.07	0.10	—	0.02	0.08	0.05	0.03	0.04	0.02	0.05
	正十四烷醛 Tetradecanal	—	0.11	0.19	—	—	—	0.11	—	—	—	—	—
	十五醛 Pentadecanal	0.17	0.83	1.12	0.69	0.09	0.24	0.66	0.39	0.36	0.23	0.14	0.22
	总计 Total	28.18	27.08	32.52	14.28	18.96	27.49	105.54	91.92	62.44	101.55	86.82	48.14
醇类(18) Alcohols	丙醇 1-Propanol	0.02	0.03	0.12	0.06	—	0.04	—	0.02	—	—	—	—
	戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	0.13	—	0.26	0.14	0.26	0.46	—	—	0.09	—	0.02	—
	环戊醇 Cyclopentanol	0.13	—	0.29	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03
	戊醇 1-Pentanol	0.05	0.07	0.12	0.16	0.17	0.23	—	—	0.02	—	—	—
	(Z)-2-戊烯-1-醇 (Z)-2-Penten-1-ol	0.03	0.06	0.10	0.05	0.07	0.05	—	—	—	—	—	—
	(E)-3-己烯-1-醇 (E)-3-Hexen-1-ol	0.26	1.36	2.06	0.24	0.77	0.43	—	—	—	—	—	—
	(E)-2-己烯醇 (E)-2-Hexenol	0.12	0.26	0.18	—	0.50	—	—	—	—	—	—	—
	正己醇 1-Hexanol	1.41	3.13	3.47	2.17	5.04	2.62	—	—	0.15	—	—	—
	正庚醇 1-Heptanol	0.00	0.03	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	0.13	0.20	—	0.23	0.60	0.93	0.04	0.13	0.17	0.05	0.04	0.10
	辛醇 1-Octanol	—	—	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	芳樟醇 Linalool	—	0.16	—	—	—	—	0.09	0.31	0.22	0.28	—	—
	2,6-壬二烯醇 2,6-Nonadien-1-ol	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.66	—
	(E,Z)-2,6-壬二烯醇 (E,Z)-2,6-Nonadien-1-ol	—	—	—	—	—	—	3.94	2.20	—	1.05	—	1.44
	(Z)-6-壬烯-1-醇 (Z)-6-Nonen-1-ol	0.53	0.08	1.10	—	—	—	1.27	2.09	3.39	0.99	0.54	1.55
	2-壬烯-1-醇 (E)-2-Nonen-1-ol	—	—	—	—	—	—	2.30	1.80	3.76	0.59	0.36	0.91
	壬醇 1-Nonanol	—	—	—	—	—	0.05	—	1.71	1.10	—	—	0.37
	3-丁炔-2-醇 3-Butyn-2-ol	—	—	—	—	0.05	0.30	—	—	—	0.88	0.49	—
	总计 Total	2.80	5.38	7.78	3.05	7.47	5.11	7.65	8.25	8.91	3.84	2.12	4.38
酮类(8) Ketones	戊烯-3-酮 1-Penten-3-one	—	—	0.15	0.14	—	—	—	—	—	—	—	—
	羟基-2-丁酮 Acetoin	0.20	0.45	0.80	0.15	0.48	0.98	—	—	—	—	—	—
	庚烯-3-酮 1-Hepten-3-one	—	—	—	—	—	0.25	0.02	0.05	—	—	—	—
	5-甲基-3-庚酮 5-Methyl-3-heptanone	0.15	0.35	—	0.43	0.43	0.41	—	—	—	—	—	—

(续表 1 Continued table 1)

类别 Organic compounds	芳香物质组成 Aroma component	果皮 Peel						果肉 Flesh					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
酯类(5) Esters	3-辛酮 3-Octanone	—	—	0.51	—	—	—	—	0.11	0.17	—	—	—
	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	—	—	0.04	0.09	0.05	0.04	—	—	—	—	—	—
	3-辛烯-2-酮 3-Octen-2-one	—	—	—	—	0.06	0.13	—	—	—	—	—	—
	(E,E)-辛二烯-2-酮 (E,E)-3,5-Octadien-2-one	0.22	0.43	0.99	0.27	0.59	1.32	0.10	0.20	0.31	0.09	0.12	0.15
	总计 Total	0.56	1.23	2.48	1.08	1.61	3.13	0.13	0.35	0.49	0.09	0.12	0.15
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	0.12	0.11	0.08	0.30	0.10	0.14	0.07	0.08	0.08	0.09	0.06	0.12
	正己酸乙烯酯 n-Caproic acid vinyl ester	0.16	0.29	0.30	0.29	0.80	0.48	0.11	0.18	0.19	0.08	0.10	0.12
	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	—	0.05	0.29	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—
	棕榈酸甲酯 Methyl ester-hexadecanoic acid	—	—	0.01	0.11	0.01	0.04	—	—	—	0.01	—	—
	二氢猕猴桃内酯 2(4H)-Benzofura- none, 5,6,7,7a-tetrahydro-4,4,7a- trimethyl-	—	—	—	—	0.01	0.02	—	—	—	—	—	—
烃类(10) Olefins	总计 Total	0.28	0.46	0.69	0.70	0.93	0.68	0.18	0.26	0.31	0.18	0.15	0.24
	辛烯 1-Octene	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—
	2,4-辛二烯 2,4-Octadiene	1.80	2.35	2.97	2.54	3.29	6.84	0.19	0.33	0.59	0.16	0.20	0.27
	正壬烷 Nonane	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	正癸烷 Decane	—	—	—	0.04	—	0.05	—	—	—	—	—	—
	十三烷 Tridecane	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	0.02
	十四烷 Tetradecane	—	—	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	石竹烯 Caryophyllene	—	—	0.01	—	0.01	0.09	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.08
	α -石竹烯 Humulene	—	—	—	—	0.02	0.13	0.29	0.20	0.20	0.25	0.32	0.32
	十五烷 Pentadecane	—	—	—	—	—	—	0.06	0.08	0.22	0.05	0.02	0.05
	十三烷 Tridecane	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—	0.02
	总计 Total	1.82	2.35	3.05	2.58	3.31	7.18	0.56	0.62	1.06	0.47	0.55	0.76
	乙基呋喃 2-Ethyl-furan	0.07	0.11	0.19	0.14	0.18	0.21	—	0.03	0.07	0.02	0.01	0.02
	2-戊基呋喃 2-Pentyl-furan	0.13	0.24	0.40	0.18	0.32	0.21	0.42	0.94	1.25	0.41	0.37	1.00
其他(2) Others	总计 Total	0.19	0.35	0.59	0.31	0.50	0.42	0.42	0.97	1.32	0.43	0.38	1.03

注：“—”：未检测出；A~F 分别代表‘南水 8 号’‘碧玉黄瓜’‘南水 2 号’‘曼蒂露’‘宁运 3 号’和‘津优 35 号’6 个黄瓜品种。下同。

Notes: “—” Not detected; A-F represent 6 cucumber varieties of ‘Nanshui No.8’ ‘Biyu cucumber’ ‘Nanshui No.2’ ‘Mandilu’ ‘Ningyun No.3’ and ‘Jinyou No.35’ respectively. The same below.

2.1.4 酮类物质 黄瓜果实中的酮类物质与醛类、醇类、烃类相比,种类和含量均明显减少。在供试黄瓜材料中检测出的 8 种酮类物质在果皮中均存在,而果肉中只含有 3 种。酮类物质在果皮和果肉中占总芳香物质含量的比重分别为 1.66%~7.11%和 0.09%~0.65%,果皮中酮类物质含量显著高于果肉。6 个黄瓜品种中,果皮酮类物质含量最多的是‘津优 35’,最少的是‘南水 8 号’;果肉酮类物质含量最多的是‘南水 2 号’,最少的为‘曼蒂露’。

2.1.5 酯类物质 黄瓜果实中酯类物质含量相对较少,在 6 个黄瓜品种果皮中所检测出的酯类物质含量占总芳香物质含量的比重为 0.82%~3.19%,含量最高品种为‘曼蒂露’,最低为‘南水 8 号’;果肉中酯类物质含量占比仅为 0.16%~0.44%,含量最高品种为‘津优 35’,最低为‘南水 8

号’。果皮中酮类物质含量显著高于果肉。果皮含有的 5 种酮类物质中,二氢猕猴桃内酯未在果肉中检测到,果皮酯类物质的种类多于果肉。

2.1.6 呋喃类物质 除了以上 5 类主要芳香物质外,在 6 个黄瓜品种果实中又检测到少量呋喃类物质,分别为 2-乙基呋喃和 2-戊基呋喃。果皮和果肉中呋喃类物质的含量、种类差异较小。

2.2 黄瓜果皮和果肉特征芳香物质比较

黄瓜果实的特征芳香物质种类和含量决定果实特征香气的浓郁程度,特征芳香物质是由该化合物的香气值决定^[12]。从 6 份黄瓜材料中共检测出 12 种特征芳香物质,主要来自醛类、醇类和呋喃类物质。黄瓜不同品种、不同部位间特征芳香物质的分布存在较大差异,各品种黄瓜果皮、果肉特征芳香物质的种类和含量如表 2 所示。

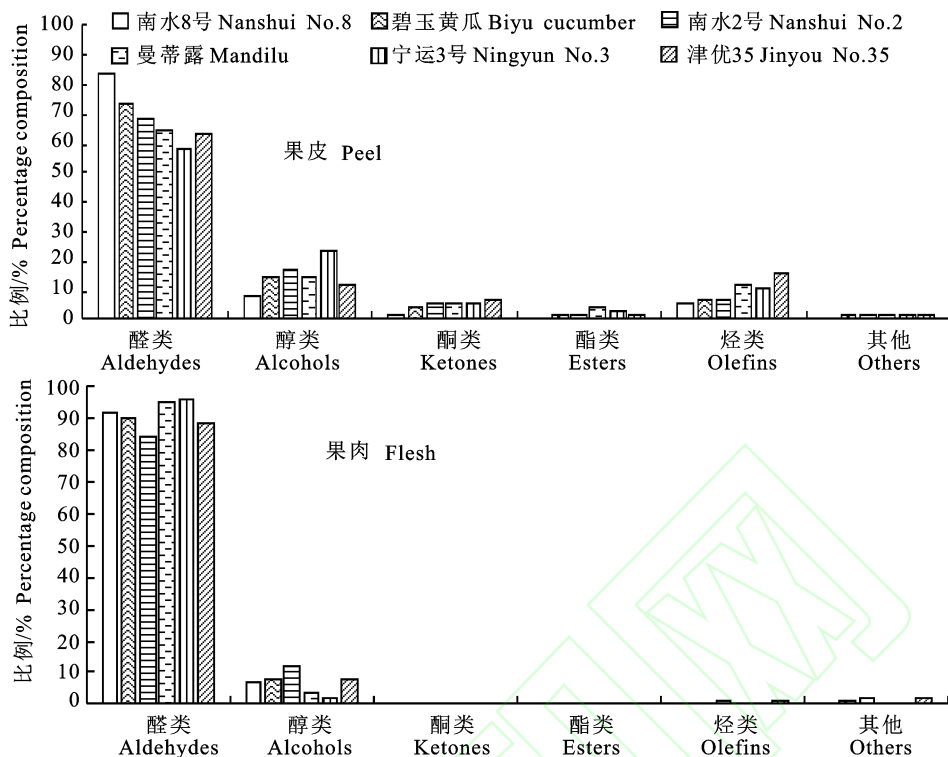


图1 黄瓜果皮和果肉中芳香物质类型及所占比例

Fig.1 Types and proportions of aromatic substances in peel and flesh of cucumber

2.3 黄瓜果皮和果肉特征芳香物质差异性比较

黄瓜果实的特征芳香物质种类和含量决定果实特征香气的浓郁程度,特征芳香物质是由该化合物的香气值决定^[12]。从6份黄瓜材料中共检测出12种特征芳香物质,主要来自醛类、醇类和呋喃类物质。黄瓜不同品种、不同部位间特征芳香物质的分布存在较大差异,各品种黄瓜果皮、果肉特征芳香物质的种类和含量如表2所示。

12种特征芳香物质中含量最高的是(E,Z)-2-6-壬二烯醛,具有独特的黄瓜香味,在果肉中的含量为42.75~99.81 $\mu\text{g/g}$,显著高于果皮;戊醛、(Z)-2-庚烯醛和(E,E)-2,4-庚二烯醛等具有清香味的芳香物质主要分布于果皮中,因此果实中浓郁的黄瓜味主要来自果肉,独特的清香风味来自果皮。

黄瓜果实中的主要特征芳香物质(E,Z)-2-6-壬二烯醛在‘南水8号’果皮和果肉中的含量最高,分别为14.63 $\mu\text{g/g}$ 和99.81 $\mu\text{g/g}$,显著高于其他品种,因此‘南水8号’黄瓜味道最为浓郁。‘宁运3号’果皮中含有较多的2-己烯醛和正己醇,两种芳香物质分别具有苹果味和草莓清香味。温室水果型黄瓜‘南水2号’、‘南水8号’和‘碧玉黄瓜’果皮中具有较多的(E)-6-壬烯醛和壬醛,其

含量显著高于其他品种,而两种芳香物质分别具有浓郁的水果香味和橙子香味,因此与其他3个黄瓜品种相比具有独特的水果香甜味道。丙醛具有刺激性气味,正己醛具有青草味,影响果实香气风味,而两者在‘津优35’黄瓜果皮中的含量分别为1.38 $\mu\text{g/g}$ 和14.34 $\mu\text{g/g}$,显著高于其他品种,且‘津优35’果皮和果肉中(E,Z)-2-6-壬二烯醛含量仅为0.25 $\mu\text{g/g}$ 和42.75 $\mu\text{g/g}$,显著低于其他品种,因此‘津优35’的黄瓜风味较清淡。

3 讨论

黄瓜的香味是许多挥发性芳香物质共同作用的结果,但其风味特征往往只取决于特征芳香物质的种类和含量^[12]。本研究检测出的12种特征芳香物质与郝丽宁等^[5]的研究结果基本一致。津优35果实中总芳香物质种类最多,但特征芳香物质表现不突出,使其整体风味并不浓郁。

在苹果^[1]、蓝莓^[4]等研究中发现果实不同部位的芳香物质含量与种类存在明显差异,本研究也得到相似结论,在黄瓜果皮和果肉中分别检测出60种和47种芳香化合物,其中,醛类物质主要分布在果肉中,而醇类、酯类、烃类和酮类物质在果皮中含量更高。有研究表明,果实不同部位的

表 2 黄瓜果皮和果肉特征芳香物质成分及含量($\bar{x}\pm s$)

Table 2 Characteristic aromatic substance components and contents in peel and flesh of cucumber

特征芳香物质成分 Characteristic aroma substance	嗅觉描述 Aroma value	参考文献 Reference	果皮 Peel					
			A	B	C	D	E	F
丙醛 Propanal	刺激性 Stimulating	[13]	0.58±0.04 c	0.93±0.26 bc	1.05±0.17 ab	0.54±0.07 c	1.06±0.09 ab	1.38±0.32 a
戊醛 Parental	清香味 Fresh	[13]	—	—	—	0.19±0.02 b	0.29±0.04 b	0.41±0.12 a
正己醛 Hexanal	青草味 Green grass	[12]	2.14±0.28 bcd	3.03±1.18 bcd	3.59±1.39 bcd	5.46±0.81 bc	6.13±0.71 b	14.34±5.35 a
2-己烯醛 2-Hexenal	苹果味 Smell of apple	[12]	2.14±0.18 bc	4.38±0.74 a	3.03±0.60 b	1.25±0.17 cd	4.33±0.40 a	0.94±0.12 d
(Z)-2-庚烯醛 (Z)-2-Heptenal	清香味 Fresh fragrance	[14]	0.18±0.03 de	0.24±0.06 cde	0.27±0.07 cd	0.41±0.01 c	0.64±0.09 b	0.88±0.21 a
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-Heptadienal	清香味 Fresh fragrance	[15]	0.97±0.26 def	1.44±0.42 cde	2.30±0.68 bc	1.62±0.13 bcd	2.55±0.37 b	5.33±0.32 a
(E)-6-壬烯醛 (E)-6-Nonenal	水果香味 Fruity	[15]	2.21±0.12 b	3.06±0.61 ab	3.60±1.01 a	0.47±0.03 cd	0.36±0.06 d	0.45±0.11 cd
壬醛 Nonanal	橙子香 Smell of orange like	[12]	1.12±0.12 abc	1.25±0.23 a	1.02±0.26 abcd	0.67±0.04 de	0.42±0.06 e	0.71±0.12 cde
(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-Nonadienal	黄瓜味 Smell of cucumber	[12]	14.63±1.46 d	9.15±3.00 d	12.83±3.96 d	1.11±0.24 e	1.09±0.10 e	0.25±0.08 e
正己醇 1-Hexanol	草莓、清香味 Smell of strawberry and fresh	[16]	1.41±0.37 cd	3.13±0.85 bc	3.47±0.77 ab	2.17±0.23 bc	5.04±0.36 a	2.62±1.53 bc
1-壬醇 1-Nonanol	玫瑰花香 Smell of rose	[17]	—	—	—	—	—	0.05±0.00 c
2-正戊基呋喃 2-Pentyl-Furan	蔬菜香味 Smell of vegetable	[18]	0.13±0.01 d	0.24±0.00 cd	0.40±0.12 c	0.18±0.02 cd	0.32±0.05 cd	0.21±0.04 cd

特征芳香物质成分 Characteristic aroma substance	嗅觉描述 Aroma value	参考文献 Reference	果肉 Flesh					
			A	B	C	D	E	F
丙醛 Propanal	刺激性 Stimulating	[13]	—	—	—	—	—	—
戊醛 Parental	清香味 Fresh	[13]	—	0.03±0.00 c	—	0.02±0.01 c	—	—
正己醛 Hexanal	青草味 Green grass	[12]	0.83±0.10d	1.61±0.13 cd	2.07±0.17 bcd	0.64±0.07 d	0.74±0.10 d	1.16±0.02 cd
2-己烯醛 2-Hexenal	苹果味 Smell of apple	[12]	0.25±0.03d	0.44±0.03 d	0.68±0.06 d	0.23±0.01 d	0.31±0.03 d	0.44±0.00 d
(Z)-2-庚烯醛 (Z)-2-Heptenal	清香味 Fresh fragrance	[14]	0.10±0.01de	0.16±0.01 de	0.17±0.01 de	0.06±0.01 de	0.05±0.01 e	0.08±0.00 de
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-Heptadienal	清香味 Fresh fragrance	[15]	0.08±0.00f	0.17±0.02 f	0.43±0.04 ef	0.02±0.01 f	0.08±0.01 f	0.13±0.01 f
(E)-6-壬烯醛 (E)-6-Nonenal	水果香味 Fruity	[15]	1.73±0.03bc	2.60±0.13 ab	2.71±0.18 ab	2.70±0.05 ab	2.43±0.15 ab	2.13±0.00 b
壬醛 Nonanal	橙子香 Smell of orange like	[12]	0.86±0.06abcd	1.18±0.06 ab	0.92±0.03 abcd	1.10±0.03 abc	0.79±0.05 bcde	0.72±0.05 cde
(E,Z)-2,6-壬二烯醛 V (E,Z)-2,6-Nonadienal	黄瓜味 Smell of cucumber	[12]	99.81±12.55a	84.26±9.50ab	54.32±5.05bc	95.68±3.50a	81.60±6.49ab	42.75±1.08c
正己醇 1-Hexanol	草莓、清香味 Smell of strawberry and fresh	[16]	—	—	0.15±0.07 d	—	—	—
1-壬醇 1-Nonanol	玫瑰花香 Smell of rose	[17]	—	1.71±0.30 a	1.10±0.00 b	—	—	0.37±0.37 c
2-正戊基呋喃 2-Pentyl-Furan	蔬菜香味 Smell of vegetable	[18]	0.42±0.03 c	0.94±0.08 b	1.25±0.01 a	0.41±0.07 c	0.37±0.06 cd	1.00±0.16 ab

注:同行数值后的不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: The different letters within a same row represent significant differences ($P<0.05$).

酶活性差异及代谢反应的不同,可能是果实不同部位芳香物质含量和种类存在差异性的主要原因^[2,19]。

6 个黄瓜品种特征芳香物质种类、含量的差

异性,导致各品种具有不同的香气风味特点。其中,温室水果型品种‘南水 2 号’、‘南水 8 号’和‘碧玉黄瓜’与其他华北、华南、美国型品种相比具有独特的水果香甜味道,这表明果实香味特点可

能与生态类型有关。有研究显示,黄瓜果实风味的差异还可能与果型有关,大果型较小果型有较多的十八碳三烯醛和十五醇^[20]。在番茄、西瓜等果实中也存在不同品种间风味特点有差异的现象^[21-22]。

影响黄瓜果实芳香物质的因素诸多,例如:基因遗传、成熟度、生长环境和栽培方式以及采后贮藏条件等^[23-24]。在今后的研究中可加大对黄瓜果实芳香物质调控技术与应用的探索与研究,提高果实风味,改善黄瓜果实的食用和加工品质。

4 结 论

利用气相色谱-质谱联用技术在 6 个品种黄瓜果皮、果肉中共检测出 66 种芳香物质,包括醛类、醇类、酮类、酯类、烃类和呋喃类物质。醛类是黄瓜果实的主要芳香物质,在果肉中含量较高,其他类物质在果皮中含量较高。综合比较黄瓜不同品种、不同部位的特征芳香物质差异性可知:果实的黄瓜味主要来源于果肉,清香味来源于果皮;温室水果型黄瓜‘南水 2 号’‘南水 8 号’和‘碧玉黄瓜’相较于其他供试品种含有较多的(E)-6-壬烯醛和壬醛,具有独特的水果香甜风味,其中‘南水 8 号’(E,Z)-2-6-壬二烯醛含量最高,黄瓜风味最为浓郁。

参考文献 Reference:

- [1] 李 瑞,刘翠华,石金瑞,等.‘蜜脆’苹果果皮和果肉香气差异[J].西北农业学报,2019,28(10):1621-1631.
LI R, LIU C H, SHI J R, et al. Analysis of aroma compounds in peel and flesh of ‘Honeycrisp’ apple[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(10): 1621-1631.
- [2] 靳 兰,陈佰鸿,毛 娟,等.两个品种苹果果皮和果肉中香气成分的比较[J].甘肃农业大学学报,2010,45(6):149-154.
JIN L, CHEN B H, MAO J, et al. Comparison of aroma components in peel and pulp of two apple cultivars[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2010, 45(6): 149-154.
- [3] 苑兆和,尹燕雷,李自峰,等.石榴果实香气物质的研究[J].林业科学,2008,44(1):65-69.
YUAN ZH H, YIN Y L, LI Z F, et al. Aromatic substances in pomegranate fruit[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(1): 65-69.
- [4] 吴 林,张 强,臧慧明,等.气味活度值法评价蓝莓果皮、果肉、果汁挥发性香气成分[J].食品工业科技,2020,41(1):195-200.
WU L, ZHANG Q, ZANG H M, et al. Evaluation of volatile aroma components in blueberry peel, pulp and juice by odor activity value[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(1): 195-200.
- [5] 郝丽宁,陈书霞,王聪颖,等.不同基因型黄瓜果实芳香物质组成及含量差异研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):139-146.
HAO L N, CHEN SH X, WANG C Y, et al. Aroma components and their contents in cucumbers from different genotypes[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2013, 41(6): 139-146.
- [6] 刘春香,何启伟,艾希珍.黄瓜果实发育过程中特征芳香物质及相关因素的变化[J].中国蔬菜,2006(3):9-12.
LIU CH X, HE Q W, AI X ZH. Changes of some aromatic compounds and relative factors during fruit development of cucumber[J]. *China Vegetables*, 2006(3): 9-12.
- [7] 董邵云,曹 力,张圣平,等.嫁接砧木对黄瓜外观品质及果实风味物质的影响[J].中国蔬菜,2013(22):44-51.
DONG SH Y, CAO L, ZHANG SH P, et al. Effect of grafting on fruit appearance quality and flavor substances in cucumber[J]. *China Vegetables*, 2013(22): 44-51.
- [8] 赵丽丽.不同砧木嫁接对黄瓜果实风味品质影响及香气合成相关基因 CsADH7-like 功能分析[D].沈阳:沈阳农业大学,2019.
ZHAO L L. Effects of different rootstocks grafting on flavor quality and functional analysis of CsADH7-like gene associated with aromatic volatiles synthesis in cucumber fruit[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.
- [9] 田长平,魏景利,刘晓静,等.梨不同品种果实香气成分的 GC-MS 分析[J].果树学报,2009,26(3):294-299.
TIAN CH P, WEI J L, LIU X J, et al. GC-MS analysis of fruit aromatic components of pear cultivars originated from different species of *Pyrus* [J]. *Journal of Fruit Science*, 2009, 26(3): 294-299.
- [10] 张春雨,李亚东,张志东,等.高丛越橘果实香气成分不同发育阶段的变化[J].中国农业科学,2009,42(9):3216-3223.
ZHANG CH Y, LI Y D, ZHANG ZH D, et al. Changes of aroma components of different developmental fruits of high-bush blueberry [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(9): 3216-3223.
- [11] 徐坤范,王明林,艾希珍.日光温室黄瓜发育过程中主要芳香物质和脂肪酸含量的变化[J].西北植物学报,2009,29(2):390-396.
XU K F, WANG M L, AI X ZH. Changes of main aromatic compounds and fatty acids contents of cucumber fruits during development in solar-greenhouse[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29(2): 390-396.
- [12] 刘春香,何启伟.黄瓜芳香物质的研究进展[J].园艺学报,2004(2):269-273.
LIU CH X, HE Q W. Advance in the study on cucumber flavor compounds [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004

- (2):269-273.
- [13] PATRICK L P, WANG Y, LIN J M. Analysis of honeydew melon (*Cucumis melo* var. *inodorus*) flavour and GC-MS/MS identification of (E, Z)-2, 6-nonadienyl acetate[J]. *Journal of Flavour and Fragrance*, 2009, 24(6):341-347.
- [14] 刘明池, 郝 静, 唐晓伟. 番茄果实芳香物质的研究进展[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(5):1444-1451.
LIU M CH, HAO J, TANG X W. Advances in studies of aroma components in tomato fruits[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(5):1444-1451.
- [15] AMARO A L, BEAULIEU J C, GRIMM C C, *et al.* Effect of oxygen on aroma volatiles and quality of fresh-cut cantaloupe and honeydew melons[J]. *Food Chemistry*, 2012, 130(1):49-57.
- [16] 谷风林, 房一明, 胡荣锁, 等. 白兰花挥发性成分的 GC-MS 分析[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(9):1769-1773.
GU F L, FANG Y M, HU R S, *et al.* Chemical constituents of the volatiles of *Michelia alba* DC by GC-MS[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32(9):1769-1773.
- [17] 贾 恺, 胡小松, 廖小军, 等. 顶空固相微萃取法测定哈密瓜中挥发性芳香成分研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(10):239-243.
JIA K, HU X S, LIAO X J, *et al.* Headspace solid-phase microextraction followed by GC-MS analysis of volatile flavor composition of Hami melon[J]. *Food Science*, 2010, 31(10):239-243.
- [18] SOTIROUDIS G, MELLIOU E, SOTIROUDIS T G, *et al.* Chemical analysis, antioxidant and antimicrobial activity of three greek cucumber (*Cucumis sativus*) cultivars[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2010, 34:61-78.
- [19] WARDALE D A, GALLIARD T. Subcellular localization of lipoxygenase and lipolytic acyl hydrolase enzymes in plants[J]. *Pergamon*, 1975, 14(11):2323-2329.
- [20] SOTIROUDIS G, MELLIOU E, SOTIROUDIS T G, *et al.* Chemical analysis, antioxidant and antimicrobial activity of three greek cucumber (*Cucumis sativus*) cultivars[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2010, 34:61-78.
- [21] 程国亭, 王新宇, 徐玉顺, 等. 番茄 (*Solanum lycopersicum*) 果皮和果肉挥发物及香气比较[J]. *食品科学*, 2020, 1-22 [2021-03-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201211.1657.034.html>.
CHENG G T, WANG X Y, LI Y S, *et al.* Comparison of the volatiles and aroma between the peel and flesh of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) [J]. *Food Science*, 2020, 1-22 [2021-03-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201211.1657.034.html>.
- [22] LIU C H, ZHANG H Y, DAI ZH Y, *et al.* Volatile chemical and carotenoid profiles in watermelons [*Citrullus vulgaris* (Thunb.) Schrad (Cucurbitaceae)] with different flesh colors[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2012, 21(2):531-541.
- [23] 乜兰春, 孙建设, 黄瑞虹. 果实香气形成及其影响因素[J]. *植物学通报*, 2004(5):631-637.
NIE L CH, SUN J SH, HUANG R H. The biosynthesis and affecting factors of aroma in some fruits[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2004(5):631-637.
- [24] 徐 强. 栽培环境对黄瓜果实风味品质遗传效应的影响与特征芳香物质含量变化的初步研究[D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2014.
XU Q. Genetic analysis of major flavor traits in different cultivation environments and preliminary study on content changes of characteristic aroma substance in cucumber [D]. Yangzhou Jiangsu: Yangzhou University, 2014.

Identification and Comparison of Aroma Components in Peel and Flesh of Cucumber

SHANG Mingyue, WU Yan, CHEN Jinfeng and LOU Qunfeng

(State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Innovation/College of Horticulture,

Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract In order to reveal the aroma differences between peel and flesh of cucumber and the aroma characteristics of cucumber fruits in different varieties, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to detect and analyze the aroma components in the peel and flesh of cucumber. The results showed that 60 and 47 aroma compounds were detected in the peel and flesh of tested cucumber varieties, respectively, which mainly included aldehydes, alcohols, ketones, esters and hydrocarbons. Aldehydes were the main flavor compounds in flesh of cucumber, and its content was 83.78% — 96.31% of the total flavor compounds, which was significantly higher than that in peel of cucumber. While other aromatic substances such as alcohols, ketones, and esters were mainly distributed in the flesh. By comprehensive comparison of the differences of characteristic aromatic compounds in the peel and flesh of cucumber, it suggested that the cucumber flavor of cucumber fruits mainly came from the flesh, while the fresh fragrance came from the peel. There were significant differences in aroma and flavor among the six cucumber varieties, among which the fruit type varieties for greenhouses contained more (E)-6-nonenal and nonenal than other tested varieties, and had unique flavor of sweet fruit. ‘Nanshui No. 8’ had the highest (E,Z)-2,6-nonenal content, and the flavor of cucumber was the strongest among all tested varieties.

Key words Cucumber; Peel; Flesh; Aromatic compounds; GC-MS

Received 2021-01-21

Returned 2021-04-01

Foundation item Agricultural Science and Technology Independent Innovation Foundation of Jiangsu Province (No. CX(20)2019); Jiangsu Agricultural New Variety Creation Project (No. PZCZ201719); “Qinglan Project” Talent Project of Universities in Jiangsu.

First author SHANG Mingyue, female, master student. Research area: cucumber genetics and breeding. E-mail: 2019804172@njau.edu.cn

Corresponding author LOU Qunfeng, female, professor, doctoral supervisor. Research area: vegetable cell and molecular biology and genetic breeding. E-mail: qflou@njau.edu.cn

(责任编辑: 史亚歌 Responsible editor: SHI Yage)