

云南野生黄毛草莓的营养价值评价和香气成分分析

赵倩, 杨京, 周丽免, 陈光辉, 白忠彬

(云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201)

摘要: 分析黄毛草莓的果实品质和香气成分并对比其他栽培品种的差异, 为其品质特性评价和香气利用奠定基础。通过直接滴定法、酸碱滴定法、福林酚法、直接法、2,6-二氯靛酚滴定法和质构仪测定法对4种草莓(黄毛草莓、密宝、哈尼、R7)的还原糖、总酸、总酚、花色苷、维生素C和硬度共6项指标进行测定, 综合比较4种草莓的品质; 运用顶空固相微萃取和气相色谱—质谱联用技术分析草莓果实的香气成分并做聚类分析。结果显示, 在营养价值方面, 黄毛草莓综合评分值仅次于哈尼排在第2位, 高于密宝和R7。在果实香气方面, 黄毛草莓的香气鉴定物质种类最多为83种, 密宝有66种, 哈尼有64种, R7有57种。在4种草莓的挥发物中, 酯类是主要的挥发物(30.23%~52.70%), 其中黄毛草莓的酯类相对含量最高(52.70%)。构成黄毛草莓特征香气的主要成分是香味酯: 异戊酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸辛酯、甲酸辛酯、癸酸乙酯、乙酸癸酯、香味醇反式-2-己烯-1-醇。黄毛草莓香气主成分聚类分析的结果显示, 黄毛草莓和其他3个栽培品种分为两类, 在香气主成分上与其他3个栽培品种存在显著差异。黄毛草莓中富含多种香精香料与洗护产品等行业所需的特殊香气成分, 具有极大应用潜力。

关键词: 黄毛草莓; 营养品质; 香气成分; 聚类分析

文章编号: 1673-9078(2020)09-277-283

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0175

Evaluation of Nutritional Value and Detection of Aroma Components of Wild *F.nilgerrensis Schlecht* in Yunnan

ZHAO Qian, YANG Jing, ZHOU Li-mian, CHEN Guang-hui, BAI Zhong-bin

(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: This paper analyzed the characteristics of fruit quality and aroma components of strawberry *F.nilgerrensis* Schlecht, and compared the differences of cultivated varieties, which laid a foundation for the evaluation of their quality characteristics and the utilization of their aroma. Reducing sugar, total acid, total phenol, anthocyanin, vitamin C, hardness of four kinds of strawberries (*F.nilgerrensis* Schltdl, Mibao, Hani, R7) were determined by direct titration, acid-base titration, folin-phenol method, direct method, 2,6-dichloroindophenol titration, texture analyzer method, respectively, and the qualities of four kinds of strawberries were compared comprehensively. The aroma components of strawberry fruits were analyzed by headspace solid-phase microextraction (HSSPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and then the cluster analysis was performed. In terms of nutritional value, the comprehensive score of *F.nilgerrensis* Schlecht was ranked second after Hani, higher than Mibao and R7. In terms of fruit aroma, 83 species of aroma substances were identified in *F.nilgerrensis* Schltdl, 66 species in Mibao, 64 species in Hani, and 57 species in R7. Among the four kinds of strawberry volatiles, esters were the main volatiles (30.23%~52.70%), and the esters in *F.nilgerrensis* Schltdl were the highest (52.70%). the main components of the characteristic aroma of *F.nilgerrensis* Schltdl were aroma esters, such as ethyl isovalerate, ethyl caproate, ethyl octanoate, octyl formate, ethyl decanoate, decanol acetate, trans-2-hexene-1-alcohol of aroma alcohol. The results of the cluster analysis showed that *F.nilgerrensis* Schltdl and three other

引文格式:

赵倩,杨京,周丽免,等.云南野生黄毛草莓的营养价值评价和香气成分分析[J].现代食品科技,2020,36(9): 277-283

ZHAO Qian, YANG Jing, ZHOU Li-mian, et al. Evaluation of nutritional value and detection of aroma components of wild *F.nilgerrensis schlecht* in Yunnan [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 277-283

收稿日期: 2020-02-25

基金项目: 国家级大学生创新创业训练项目(201710676021); 云南农业大学引进人才科研启动费(A2002320)

作者简介: 赵倩(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏

通讯作者: 白忠彬(1969-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能食品

cultivars could be divided into two categories, whose components of aroma were significantly different from those of other three cultivars. *F. nilgerrensis* Schldl is rich in a variety of valuable compounds needed in flavors, fragrances and washing and protecting products, which have great application potential in food, daily chemical and other fields.

Key words: *F. nilgerrensis* Schlecht; nutritional quality; aroma components; cluster analysis

黄毛草莓 (*Fragaria nilgerrensis* Schldl) 是草莓属下的一个种, 多年生草本。主要产于陕西、湖北、四川、湖南、贵州、云南、台湾等地^[1]。植株健壮, 生长势强, 抗旱、抗高温、抗病性强, 抗寒性差, 果实成熟快^[2], 聚合果为白色, 口感酸甜, 有非常独特的蜜桃香味或杏子味^[3]。作为一种野生草莓, 黄毛草莓具有良好的基因适应性、丰富的抗性基因和独特浓郁的香气, 是草莓新品种改良的优质资源, 将这些优良性状导入栽培品种可以有效改善栽培品种的品质。研究黄毛草莓的果实品质和香气成分, 可以为黄毛草莓的进一步利用提供更多的科学依据。

目前国内外对黄毛草莓的研究集中在资源调查、组培选育、组织遗传学等方面。在资源调查方面, 李洪雯等^[4]对四川及周边地区的黄毛草莓的资源分布进行了调查, 对其农艺性状和抗非生物和生物胁迫能力作出了评价。在组培选育方面, 王燕等^[5]对黄毛草莓的组织培养和快速繁殖技术进行了研究; 刘玲^[6]、马鸿翔^[7]在黄毛草莓的抗性、选育方面有所研究, 其中刘玲还对四倍体黄毛草莓的低温胁迫效应进行了探索。Noguchi^[8,9]等将黄毛草莓与栽培品种丰香杂交得到了新种, 新种的果实具有良好的食用特性, 果实还具有特殊的浓郁的桃香味。现阶段对黄毛草莓的研究主要集中在组织栽培, 培育新品种等方面, 对其果实品质的综合评价和香气成分的研究报道较少。

草莓含有丰富的营养成分, 不仅有常见的糖、酸、维生素、蛋白质、氨基酸、钾、钙矿物质元素等基本营养物质, 还富有花色苷、总酚、黄酮等活性营养物质^[10]。李桂香^[11]指出黄毛草莓鲜果中的必须氨基酸占总氨基酸的 35.22%, 显著高于苹果、葡萄等; 矿物质钙是日常食用水果平均值的 10 倍。除了草莓内在的营养价值, 独特的香气也逐渐成为消费者选择购买的重要因素之一。目前, 从草莓中鉴定出 360 多种挥发性物质, 主要是酯类、酮类、醛类、醇类化合物。其中, 酯类是最主要的挥发物^[12]。

笔者将云南地区的野生黄毛草莓与其他 3 种栽培品种在营养价值和香气成分两方面进行比较分析, 着重挖掘黄毛草莓的主要营养价值, 鉴定出黄毛草莓特殊香气形成的关键性成分, 为我国特有的野生草莓的培育, 香气品质的改良, 以及野生草莓行业的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器设备

黄毛草莓于 2017 年 6 月中旬在云南昭通野外采摘; 3 个栽培品种购于哈尔滨果戈里食品有限公司, 原料均放入 -80 °C 超低温冷冻储存箱中保存待测。

福林酚购于北京索莱宝科技有限公司。葡萄糖, 酚酞, 乙酸锌, 亚铁氰化钾, 酒石酸钾钠, 碳酸氢钠, 结晶碳酸钠, 硫酸铜, 冰乙酸购于天津市风船化学试剂科技有限公司。2,6-二氯靛酚购于上海源叶生物科技有限公司, 亚甲基蓝购于上海埃彼化学试剂有限公司。盐酸购于重庆川东化工有限公司。

TMS-Touch 质构仪, 美国 FTC 公司; SF-TDL-4A 离心机, 上海菲恰尔分析仪器有限公司; 1510 酶标仪, 赛默飞世尔科技有限公司; GCMS-QP2010 气象色谱-质谱联用仪, 日本岛津公司。

1.2 试验方法

1.2.1 草莓果实品质分析

为有效地避免实验人员主观选择果实品质指标引起各指标产生信息重叠而造成评价误差, 参照李丽^[13]所建立的草莓果实综合品质评价体系中的模型:

综合得分 = 0.288285 × 糖酸比 + 0.092083 × 总酚 + 0.092462 × 花色苷 + 0.056268 × Vc + 0.150529 × 硬度 - 0.032088 × 汁液流失比

选取糖酸比、总酚、花色苷、Vc、硬度和汁液流失率六个果实品质指标进行测定, 将指标参数标准化处理后带入模型计算出综合评分值, 根据分值高低判断草莓果实综合品质的情况。

1.2.1.1 还原糖的测定

采用 GB 5009.7-2016 直接滴定法。

1.2.1.2 总酸的测定

采用 GB 12456-2008 酸碱滴定法。

1.2.1.3 总酚的测定

采用福林酚法测定草莓中的总酚含量^[14]。取 5 g 样品, 10 mL 无水乙醇研磨, 静置 30 min 后稀释 10 倍。取 40 μL 稀释液于酶标板中, 分别加入 20 μL 0.5 mol/L 福林酚, 混匀后室温静置 5 min, 然后加入 120 μL 75 g/L Na₂CO₃, 室温下避光孵育 1 h 后, 测定反应液在 765 nm 处的吸光度。在相同条件下测定不同浓度

的没食子酸的吸光度, 并制作标准曲线。

1.2.1.4 花色苷的测定

采用直接法测定草莓中的花色苷含量^[15]。取 5 g 样品, 0.1% 盐酸-60% 乙醇提取, 离心, 取上清液在 285 nm 处测定吸光值。

1.2.1.5 Vc 的测定

采用 GB 5009.86-2016 2,6-二氯酚酚滴定法。

1.2.1.6 硬度的测定

采用质构仪测定法测定草莓的硬度^[16]。参数设置: 选择 5 mm 的圆柱形探头, 变形百分量 30%, 检测速度 20 mm/min, 起始力 0.5 N。每个样品选择 12 个进行测试。

1.2.1.7 汁液流失率的测定

草莓称量重量, 作为原质量。常温解冻至果实中心温度 4 °C 时, 用滤纸擦去草莓表面的汁液, 称量果实重量。计算减少质量占原有质量的百分比, 即为该果实的汁液流失率^[17]。

1.2.2 草莓香气挥发物的鉴定

采用顶空固相微萃取和气相色谱—质谱联用技术。样品榨汁后, 取 6 mL 汁液置于 20 mL 顶空瓶中, 加入 15 μL、50 μg/mL 的 2-辛醇作内标, 将老化后的

50/30 μm CAR/PDMS/DVB 萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 40 °C 吸附 30 min, 吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口, 于 250 °C 解吸 3 min, 同时启动仪器采集数据。

色谱条件: 色谱柱 DB-WAX (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 进样口温度 250 °C; 柱温: 初始柱温 40 °C 保持 5 min, 先以 5 °C/min 升至 90 °C, 保持 0 min, 最后以 10 °C/min 升至 230 °C, 保持 7 min。

质谱条件: 载气为 He; 流速 0.8 mL/min; 电离方式 EI; 电子能量 70 eV; 发射电流 100 μA; 界面温度 250 °C; 离子源温度 200 °C; 探测器电压 1000 V。

1.2.3 统计分析

实验数据采用 SPSS 20.0 软件进行处理。

2 结果与讨论

糖酸组分决定着水果的风味及口感。一般来说, 果实中含糖量高, 含酸量低的果实, 其风味最佳。由表 1 可知, 黄毛草莓的糖酸比较高, 为 2.14, 硬度和汁液流失率两项指标不理想, 硬度低于 3 个栽培品种, 仅有 4.73 g/cm², 汁液流失过多, 为 31.83%, 其他品质指标与 3 个栽培品种相比处于中等水平。

表 1 4 种草莓果实品质指标参数

指标	黄毛草莓	蜜宝	哈尼	R7
糖酸比	2.14±0.04 ^a	1.08±0.03 ^b	1.15±0.01 ^b	0.90±0.06 ^c
总酚/(mg/100 g)	20.23±0.72 ^b	22.33±0.50 ^a	17.33±0.25 ^c	14.19±0.45 ^d
花色苷/(mg/100 g)	16.70±0.39 ^c	19.04±0.18 ^b	25.95±1.69 ^a	15.29±0.07 ^c
Vc/(mg/100 g)	32.40±0.98 ^c	31.67±0.12 ^c	42.08±1.37 ^a	35.75±2.33 ^b
硬度/(g/cm ²)	4.73±1.49 ^c	18.55±2.62 ^a	23.69±8.93 ^a	11.66±1.61 ^b
汁液流失率/%	31.83±7.73 ^a	4.95±0.93 ^c	5.65±1.15 ^c	13.83±1.95 ^b

注: 表中同行不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

将 4 种草莓果实品质指标参数标准化处理后带入模型计算出综合评分值, 结果见表 2。综合评分值越高, 草莓的综合品质性状也就越好。综合评分排名第一的是哈尼, 说明哈尼的综合品质表现最好; 黄毛草莓综合评分值仅次于哈尼, 综合品质表现较好; R7 的综合评分排名最后, 其综合品质表现最差。

表 2 4 种草莓的综合评分值

Table 2 Comprehensive scoring value of four strawberries

品种名称	综合得分	排名
哈尼	0.25	1
黄毛草莓	0.22	2
蜜宝	0.01	3
R7	-0.49	4

虽然黄毛草莓的果实品质综合评价较好, 但商品

种植的推广优势不大, 把黄毛草莓与其他在食用品质上表现良好的栽培品种进行育种进而得到性状优良的新品种是利用黄毛草莓的重要途径, 并且黄毛草莓在组织培养、染色体加倍后抗逆性表现, 驯化栽培等方面已经有所研究^[8,9], 可以为黄毛草莓的进一步培育提供理论依据。

2.1 黄毛草莓与 3 个栽培品种挥发物质种类的比较分析

采用顶空固相微萃取和气相色谱—质谱联用技术分析 4 种草莓的挥发性物质, 黄毛草莓总离子流程图见图 1。对果实香气挥发物的鉴定表明, 4 种草莓共鉴定出 141 种香气成分, 其中酯类 59 种、醇类 32 种、

醛类 12 种、酮类 13 种、酸类 4 种, 其它类 21 种。黄毛草莓的香气鉴定物质种类最多为 83 种, 密宝的香气鉴定物质数量有 66 种, 哈尼的香气鉴定物质数量有 64 种, R7 的香气鉴定物质数量有 57 种。在 4 种草莓的挥发物中 (图 2), 酯类是主要的挥发物 (30.23%~52.70%), 与曾祥国的甜查理等 5 种草莓的研究结果类似, 这一结果进一步说明酯类在草莓的香味中起重要作用。醇类次之, 在醇类物质中起主要作用的是橙花叔醇和沉香醇 (表 3), 4 种草莓只有哈尼检测到橙花叔醇 (9.52%), 黄毛草莓的沉香醇 (0.21%) 远低于 3 个栽培品种, 而黄毛草莓的脂类物质远高于其他 3 种草莓, 所以黄毛草莓的特殊香气很可能是由酯类引起。

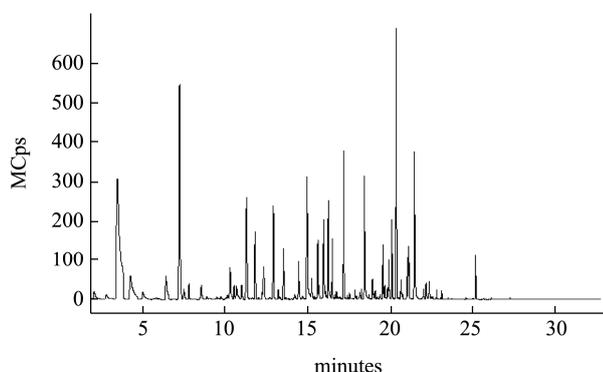


图 1 黄毛草莓挥发性物质 GC-MS 总离子流程图

Fig.1 GC-MS total ion chromatogram of Volatile substance of

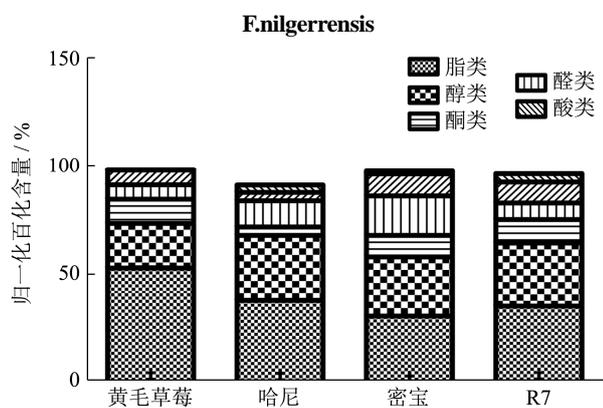


图 2 4 种草莓品种香气成分分类比较

Fig.2 Aroma compositions detected in the four strawberry varieties

2.2 黄毛草莓与 3 个栽培品种特征香气物质的比较

从表 3 可以看出, 黄毛草莓挥发物含量大于 1% 的成分共有 21 种, 其中脂类 11 种、醇类 4 种、醛类 1 种、酮类 3 种、苯类 1 种、烯类 1 种。异戊酸乙酯 (9.97%, 水果香味)、己酸乙酯 (2.37%, 愉快的气

味)、辛酸乙酯 (1.37%, 白兰地酒香)、乙酸辛酯 (3.41% 花香、略带果香)、甲酸辛酯 (3.65%, 清甜的水果香)、癸酸乙酯 (1.30%, 梨花香)、乙酸癸酯 (1.73%, 橙子和玫瑰样香气)、反式-2-己烯-1-醇 (2.44%, 强烈未成熟果实气味) 是构成黄毛草莓特征香气的主要成分。

密宝挥发物含量大于 1% 的成分共有 20 种, 其中脂类 8 种、醇类 3 种、醛类 3 种、酮类 3 种, 酸类 1 种, 苯 1 种、烯 1 种。异戊酸乙酯 (3.07%)、乙酸异戊酯 (1.70%, 香蕉气味)、己酸乙酯 (1.48%)、乙酸己酯 (4.82%, 愉快的水果香)、丙位癸内酯 (2.48%, 桃香)、乙酸丁酯 (2.97%, 苦杏仁、青草味)、(E)-乙酸-2-己烯酯 (4.27%, 青草香韵)、沉香醇 (15.50%, 百合花的香气)、2,3-丁二酮 (4.35%)、壬醛 (3.03%, 具有玫瑰、柑橘等香气)、正己酸 (1.30%, 类似于干奶酪气味) 是构成密宝特征香气的主要成分。

哈尼挥发物含量大于 1% 的成分共有 18 种, 其中脂类 8 种、醇类 4 种、醛类 3 种、酮类 1 种, 酸类 1 种, 烯 1 种。异戊酸乙酯 (2.94%)、己酸甲酯 (3.31%)、己酸乙酯 (1.55%)、丙位癸内酯 (3.33%)、沉香醇 (7.56%)、正辛醇 (1.38%, 蔷薇香气)、橙花叔醇 (9.52%, 苹果和玫瑰香气)、2,3-丁二酮 (1.77%)、壬醛 (1.01%)、正己酸 (2.62%)、辛酸甲酯 (1.55%, 具有酒、水果、甜橙香气) 是构成哈尼特征香气的主要成分。

R7 挥发物含量大于 1% 的成分共有 19 种, 其中脂类 8 种、醇类 4 种、醛类 2 种、酮类 2 种, 酸类 1 种, 苯 1 种、烯 1 种。异戊酸乙酯 (5.01%), 己酸甲酯 (2.97%)、己酸乙酯 (2.93%)、乙酸己酯 (1.31%)、丙位癸内酯 (3.11%)、辛酸甲酯 (1.01%)、沉香醇 (10.58%)、正辛醇 (1.63%)、2,3-丁二酮 (3.28%)、正己酸 (3.59%) 是构成 R7 特征香气的主要成分^[19-22]。

前人研究表明, 乙酯是果实成熟阶段的主要挥发性化合物, 其中己酸乙酯是成熟草莓中主要的挥发性化合物^[23,24]。本实验中的 4 种草莓的己酸乙酯虽不是含量最多的成分但相对含量均大于 1% (1.48%~2.93%)。异戊酸乙酯也在 4 种草莓中被鉴定出来, 其中黄毛草莓的相对含量达到 9.97%, 远高于其他 3 种草莓。黄毛草莓中除了己酸乙酯和异戊酸乙酯外 8 种特征香气物质中有 6 种与栽培品种不同, 分别是辛酸乙酯、乙酸辛酯、甲酸辛酯、癸酸乙酯、乙酸癸酯和反式-2-己烯-1-醇, 其中乙酸辛酯和乙酸癸酯只在黄毛草莓中发现。3 个栽培品种的特征香气物质种类均比黄毛草莓多, 共同的特征香气物质有丙位癸内酯、沉香醇、2,3-丁二酮、正己酸, 4 种挥发物在黄毛草莓果实中的相对含量较低或未被检测到。

表 3 4 个品种草莓主要香气成分相对含量

Table 3 Relative Contents of Main Aroma Components in Four Strawberry Varieties

分类	保留时间/min	化合物	相对含量/%			
			黄毛草莓	密宝	哈尼	R7
脂类	3.44	乙酸乙酯	16.43	5.85	14.28	11.21
	6.72	异戊酸乙酯	9.97	3.07	2.94	5.01
	8.54	乙酸异戊酯	0.58	1.70	0.21	0.50
	10.40	己酸甲酯	0.03	0.79	3.31	2.97
	11.77	己酸乙酯	2.37	1.48	1.55	2.93
	12.89	乙酸己酯	3.27	4.82	0.91	1.31
	13.53	异戊酸异戊酯	1.58	NF	NF	NF
	14.44	反-2-己烯乙酸酯	1.16	NF	0.99	1.19
	16.48	辛酸乙酯	1.37	0.19	0.78	0.47
	17.18	乙酸辛酯	3.41	NF	NF	NF
	18.44	甲酸辛酯	3.65	NF	NF	NF
	19.55	癸酸乙酯	1.30	0.05	0.15	0.10
	20.10	乙酸癸酯	1.73	NF	NF	NF
	25.17	丙位癸内酯	0.93	2.48	3.33	3.11
	7.29	乙酸丁酯	NF	2.97	NF	NF
	14.46	(E)-乙酸-2-己烯酯	NF	4.27	NF	NF
	17.16	2-乙基己基乙酸酯	NF	0.32	1.43	0.95
	15.63	辛酸甲酯	NF	NF	1.55	1.01
	19.28	丁酸辛酯	NF	NF	1.24	0.36
	醇类	4.26	乙醇	2.87	0.29	0.22
14.94		正己醇	4.67	1.34	1.12	1.41
15.96		反式-2-己烯-1-醇	2.44	1.19	0.84	1.02
18.25		沉香醇	0.21	15.50	7.56	10.58
18.43		正辛醇	0.08	0.17	1.38	1.63
21.46		(Z)-4-癸烯-1-醇	4.34	NF	NF	NF
24.04		橙花叔醇	NF	NF	9.52	NF
醛类	7.48	正己醛	0.47	6.77	5.29	3.78
	11.27	2-己烯醛	4.64	5.63	3.87	1.83
	15.68	壬醛	0.32	3.03	1.01	0.81
酮类	5.02	2,3-丁二酮	0.61	4.35	1.77	3.28
	10.29	2-庚酮	1.36	1.26	0.69	0.76
	15.61	2-壬酮	1.58	NF	NF	NF
	20.38	环十二酮	7.22	NF	NF	NF
	2.66	丙酮	NF	3.36	0.40	6.36
酸类	22.03	正己酸	NF	1.30	2.62	3.59
萜类	6.40	甲苯	1.52	6.00	NF	5.46
烯类	12.30	苯乙烯	1.48	2.59	1.87	2.18

2.3 4 种草莓香气主成分的聚类分析

使用 SPSS 20 软件和 Excel 2010 软件对 4 种草莓香气主成分进行聚类分析。聚类方法为组间联接。结

果如图 3，经聚类分析可看出，可以将 4 个草莓品种分成 2 组：

第 1 组包含 3 个品种，分别是：密宝、哈尼和 R7，它们共同的香气主成分是异戊酸乙酯、己酸乙酯、丙

位癸内酯、沉香醇、2,3-丁二酮、正己酸。

第2组包含1个品种为：黄毛草莓，异于第1组的特殊香气主成分是异戊酸异戊酯、乙酸辛酯、甲酸辛酯、乙酸癸酯。

黄毛草莓和其他的3个栽培品种的类型间距较大，两类之间的香气主成分存在较大的差异。

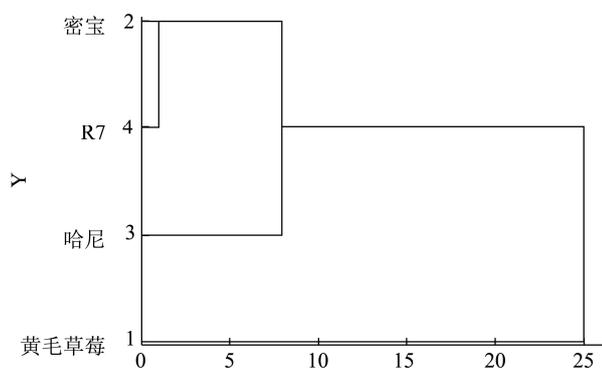


图3 4种草莓香气主成分聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of four strawberry aroma principal components

3 结论

3.1 在营养价值方面，黄毛草莓综合评分值仅次于哈尼排在第2位，高于密宝和R7。3项指标总酚、花色苷、维生素C处于中等水平，而硬度(4.73 g/cm²)、汁液流失率(31.83%)较差，糖酸比(2.14)最为突出，预示黄毛草莓的口感相对其他对比草莓更适宜。

3.2 在果实香气方面，4种草莓共鉴定出141种香气成分，其中酯类59种、醇类32种、醛类12种、酮类13种、酸类4种。黄毛草莓的香气鉴定物质种类最多为83种，其中酯类化合物相对含量最高(52.70%)；构成黄毛草莓特征香气的成分主要是香味酯：异戊酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸辛酯、甲酸辛酯、癸酸乙酯、乙酸癸酯、香味醇反式-2-己烯-1-醇；黄毛草莓香气主成分聚类分析的结果显示，黄毛草莓和其他3个栽培品种分为两类，并且类间距远，说明两类的呈香化合物有较大的区别。

3.3 因此，通过对云南野生黄毛草莓的果实综合品质和特征香气成分分析，并与其他3个栽培品种进行比较，明确了黄毛草莓特殊香气的主要成分，可为黄毛草莓在香水香料领域的应用提供一定的理论依据。

参考文献

[1] 陈露茜,李宁宁,邓晗彦.染色体加倍对黄毛草莓叶片形态的影响[J].江苏农业科学,2017,45(16):123-125
CHEN Lu-qian, LI Ning-ning, DENG Han-yan. Effects of chromosome doubling on leaf morphology of bramberry [J].

Jiangsu Agric sci, 2017, 45(16): 123-125

- [2] 雷家军,杨高,代汉平.我国的草莓野生种质资源[J].果树学报,1997,3:198-200
LEI Jia-jun, YANG Gao, DAI Han-ping. Wild germplasm resources of strawberry in China [J]. Acta Fruta Sinica, 1997, 3: 198-200
- [3] 王建辉,李洪雯,刘建军.利用野生种质进行草莓香味改良研究进展[J].中国农学通报,2016,32(22):189-193
WANG Jian-hui, LI Hong-wen, LIU Jian-jun. Research progress of strawberry fragrance improvement using wild germplasm [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(22): 189-193
- [4] 李洪雯,刘建军,何健,等.四川及其周边地区野生草莓资源调查、收集与评价[J].植物遗传资源学报,2012,13(6):946-951
LI Hong-wen, LIU Jian-jun, HE Jian, et al. Investigation, Collection and evaluation of wild strawberry resources in Sichuan and its surrounding areas [J]. Acta Botanica Genetic Resources, 2012, 13(6): 946-951
- [5] 王燕,陈丙义,章镇,等.黄毛草莓组织培养与快繁技术研究[J].西南农业学报,2012,25(1):252-256
WANG Yan, CHEN Bing-yi, ZHANG Zhen, et al. Study on tissue culture and rapid propagation technology of Chinese yellow clover berry [J]. Acta Agriculturae Sinica Sinica, 2012, 25(1): 252-256
- [6] 刘玲.四倍体野生草莓的诱导与四倍体黄毛草莓的低温胁迫效应[D].南京:南京农业大学果树学,2016
LIU Ling. Induction of tetraploid wild strawberry and effects of low temperature stress on *Fnilgerrensis* Schlecht [D]. Nanjing: Fruit Science, Nanjing Agricultural University, 2016
- [7] 马鸿翔,陈佩度,余桂红.黄毛草莓、东北草莓与凤梨草莓种间杂交种的胚拯救[J].江苏农业学报,2003,19(1):37-40
MA Xiong-xiang, CHEN Pei-du, YU Gua-hong. Embryo rescue of interspecific hybrids of *Fnilgerrensis* Schlecht, northeast strawberry and pineapple strawberry [J]. Acta Agriculturae Sinica, 2003, 19(1): 37-40
- [8] YU Ji, Noguchi, Tatsuya, et al. Interspecific hybrids originated from crossing asian wild strawberries (*Fragaria nilgerrensis* and *F. iinumae*) to *F.xananassa* [J]. HortScience, 1997,32(3): 35
- [9] Noguchi Y, Mochizuki T, Sone K. Breeding of a new aromatic strawberry by interspecific hybridization *Fragaria X Ananassa X F.Nilgerrensis* [J]. Journal of The Japanese Society For Horticultural Science (Japan), 2002, 71(71):

- 208-213
- [10] 董辉,李莉,杨莉,等.草莓新品种“石莓 8 号”营养成分及特性分析[J].食品研究与开发,2019,40(22):171-174
DONG Hui, LI Li, YANG Li, et al. Analysis of nutritional composition and characteristics of a new strawberry variety "Shimei 8" [J]. Food Research and Development, 2019, 40(22): 171-174
- [11] 李桂香,吕建召,肖湘滇,等.云南野生黄毛草莓鲜果的营养成分分析[J].大理大学学报,2017,2(6):64-67
LI Gui-xiang, LYU Jian-zhao, XIAO Xiang-dian, et al. Nutrient composition analysis of fresh fruit of Yunnan wild bramble [J]. Journal of Dali University, 2017, 2(6): 64-67
- [12] 张运涛,董静,王桂霞.草莓香味的形成和香味育种[J].中国农业科学,2004,7:1039-1044
ZHANG Yun-Tao, DONG Jing, WANG Gui-Xia. Formation and breeding of strawberry scent [J]. Chinese Agricultural Science, 2004, 7: 1039-1044
- [13] 李丽.速冻草莓品质评价体系的建立研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016
LI Li. Research on Establishment of quality evaluation system for quick-frozen strawberry [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016
- [14] Schlesier, K, Harwat M, V. Böhm, et al. Assessment of antioxidant activity by using different *in vitro* methods [J]. Free Radic Res, 2002, 36(2): 177-187
- [15] Fuleki T, Francis F J. Quantitative Methods for Anthocyanins. 4. Determination of individual anthocyanins in cranberry and cranberry products [J]. Journal of Food Science, 1968, 33(5): 8
- [16] Keenan D F, Valverde J, Gormley R, et al. Selecting apple cultivars for use in ready-to-eat desserts based on multivariate analyses of physico-chemical properties [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 48(2): 308-315
- [17] 余小颖.冷冻和解冻工艺对猪肉保水性和组织结构的影响研究[D].南京:南京农业大学,2007
YU Xiao-ling. Effects of freezing and thawing on water retention and tissue structure of pork [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007
- [18] 曾祥国,韩永超,向发云,等.不同品种草莓果实挥发性物质的 GC-MS 分析[J].亚热带植物科学,2015,1:10-14
ZENG Xiang-guo, HAN Yong-chao, XIANG Fa-yun, et al. GC-MS analysis of volatile substances in different strawberry fruits [J]. Subtropical Plant Science 2015, 1: 10-14
- [19] 王雪薇,王舸楠,江伟等.新疆产区不同品种葡萄酒香气成分分析[J].中国酿造,2018,37(11):159-165
WANG Xue-wei, WANG Ke-nan, JIANG Wei, et al. Analysis of aroma components of different wine varieties in Xinjiang [J]. China Vinification, 2008, 37(11): 159-165
- [20] 左俊伟,吴志军,张军翔,等.宁夏贺兰山东麓产区霞多丽、贵人香干白葡萄酒呈味特征差异及相关性分析[J].食品工业制造,2017,1:184-189
ZUO Jun-wei, WU Zhi-jun, ZHANG Jun-xiang et al. Analysis on the difference and correlation of chardonnay and noble dry white wine in the eastern foothill of Helan Mountain in Ningxia [J]. Food Industry Manufacturing, 2017, 1: 184-189
- [21] 丁耐克.食品风味化学[M].北京:中国轻工业出版社,1996
DING Nai-ke. Food Flavor Chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1996
- [22] 里奥·范海默特.化合物嗅觉阈值汇编第二版[M].北京:科学出版社,2019
Leo Van Hemmert. The Second Edition of Olfactory Threshold Collection of Compounds [M]. Beijing: Science Press, 2019
- [23] Perez A G. Aroma Components and free amino acids in strawberry variety chandler during ripening [J]. The Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(11): 83
- [24] Perez, A.G., Sanz, C, Olias, et al. Aroma quality evaluation of strawberry cultivars in southern Spain [J]. Acta Horticulturae. 1997, 4(39): 337-340

(上接第 80 页)

- [28] 介晓磊,马闯,刘世亮,等.喷施硫酸钴对紫花苜蓿产量及微量元素吸收的影响[J].安徽农业科学,2007,35(35):11514-11516
JIE Xiao-lei, MA Chuang, LIU Shi-liang, et al. Effect of spraying cobalt sulfate on the yield and absorption of trace elements in alfalfa [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(35): 11514-11516
- [29] 王建伟,王朝辉,毛晖,等.硒锌钼对黄土高原马铃薯和小白菜产量及营养元素与硒镉含量的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(11):2114-2120
WANG Jian-wei, WANG Zhao-hui, MAO Hui, et al. Effect of Se, Zn and Mo on yield and contents of nutrient elements and selenium and cadmium of potato and cabbage on the Loess Plateau [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(11): 2114-2120