不同品种桑葚果的风味成分分析

陆燕，曾霞，郑克铭，曹建平

（广东石油化工学院生物工程系，广东茂名 525000）

摘要：本文比较了六个品种桑葚的基本理化性质和风味成分。通过对桑葚的水分、灰分、总酸、可溶性固形物、pH 值和有机元素 C、H、N 元素的测定，获得其理化性质；并用高效液相色谱（HPLC）测定桑葚中有机酸含量，用固相微萃取技术（SPME）结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)检测桑葚的挥发性香气成分。结果表明:六种桑葚理化性质具有一定的差异,水分含量为 66.65%~84.83%，灰分 0.63%~1.21%，pH 4.31~6.06，总酸 0.037%~0.062%，可溶性固形物 8.7~18.2 °Brix；各种桑葚中有机酸的组成和含量存在明显的差异，白桑葚、紫桑葚、黑珍珠、大十和 283 桑葚都是酒石酸含量最高，而 32109 桑葚不含酒石酸，以柠檬酸含量最高；六种桑葚共鉴定出 99 种挥发性成分，主要包括醇类、酯类、醛类、酮、烯烃、酸和烷烃等，各种桑葚所含挥发性成分种类和含量均有较大差异。依据上述结果，大十酸度高，水分含量高，适合加工；白桑葚味甜，可溶性固形物含量高，黑珍珠、283 桑葚酸甜适中，香气浓郁，适合鲜食；32109 桑葚可溶性固形物含量低，酸度适中，香气充足，更适宜深加工；紫桑葚可溶性固形物含量较高，酸度适宜，可以酿酒。

关键词：桑葚；理化特性；有机酸；香气成分

文章篇号：1673-9078(2020)02-232-240 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.033

Analysis of Flavor Components of Different Mulberry Cultivars

LU Yan, ZENG Xia, ZHENG Ke-ming, CAO Jian-ping

(Department of Bioengineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China)

Abstract: The physicochemical characteristics and flavor components of different mulberry varieties were investigated. The moisture, ash content, total acid, soluble solids, pH and the contents of C, H and N were determined. Organic acids in different mulberry varieties were analyzed by HPLC. Volatile aroma constituents were detected by SPME and GC-MS. The results indicated that the physicochemical characteristics of different mulberry varieties were significantly different. The contents of moisture, ash, total acid, soluble solids and pH were 66.65%~84.83%, 0.63%~1.21%, 0.037%~0.062%, 8.7~18.2 °Brix and 4.31~6.06, respectively. The constituents and contents of organic acids with different mulberry varieties were different obviously. The content of tartaric acid was highest with white mulberry, purple mulberry, black pearl, Dashi and mulberry 283. While tartaric acid wasn't detected and the content of citric acid was highest in mulberry 32109. Ninety-nine volatile aroma components containing alcohols, esters, aldehydes, ketones, alkenes, acids and alkanes were identified from six mulberry cultivars. According to the above analyses, Dashi was suitable for processing for its high acidity and high moisture content. White mulberry was sweet and had high ratio of total soluble solids, black pearl and mulberry 283 had rich aroma constituents, moderate sour and sweet taste, which were suitable for fresh-eating. Mulberry 32109 had low ratio of total soluble solids, moderate acidity and enough aroma, and was more suitable for further processing. Purple mulberry could be used for making wine, for its high ratio of total soluble solids and proper acidity.

Key words: mulberry; physiochemical properties; organic acid; aroma components

桑树在我国种植广泛，桑葚作为桑蚕业的副产物，因其成份复杂，功效良多而深受人们喜爱。作为一种药食两用的水果，据《中华人民共和国药典》记载，桑葚性甘、酸，寒，归心、肝、肾经，其功能为补血滋阴，生津润燥，可治疗眩晕耳鸣，心悸失眠，须发早白，津伤口渴，内热消渴，血虚便秘等症[1]。现代研究表明，桑葚含有丰富的多酚类物质，因此具有抗氧化活性，还可为人体补充必需的矿物质和微量元素[2,3]；Kim 等从桑葚中分离到多种吡咯生物碱，可以抑制胰脂酶的活性，因此可用于减肥[4]。桑葚还含有适量可溶性固形物、还原糖、醇类、有机酸、氨基酸、脂肪酸、萜烯类化合物等，营养丰富，美味可口，可作为食物原料和酿酒原料，加工后既可保留桑葚的固有风味成分和特征成分，又延长了货架期，提高了经济效益[5-10]。桑葚果含有多糖，可用于解酒护肝保健

收稿日期：2019-08-23

基金项目：广东省普通高校特色创新项目（650465）；广东石油化工学院人才引进项目（513036）

作者简介：陆燕（1978-），女，博士，副教授，研究方向：食品、环境微生物

食品或药品的开发[11]，桑葚多糖的降血糖功能使其具备了治疗糖尿病的潜能，可开发药物和功能食品[12,13]。

但桑葚的品种和产地对其理化性质影响显著，而其特性决定了它的口感、食用品质、加工适应性及成品性能[14-16]。何雪梅等依据理化性质和主要营养成分分析从广西地区13个主栽桑品种中选出了大10、桑特优2号和桂诱M161三个适合食品开发的品种[15]；王香君等对四川地区8种桑葚的一些理化指标进行分析，总结得：大十最适宜深加工，适合加工成果汁或果酒[17]；乔宇等从湖北省和江苏省大面积种植的12个果桑品种中选出了6个适合加工成保健食品的品种[18]。

本文针对种植于广东地区的六种桑葚，对其理化性质进行分析，用 HPLC 确定其有机酸组成和含量，用 SPME 结合 GC-MS 分析其挥发性香气成分，突破了单一分析桑葚的某一个特征的局限，对桑葚品质进行综合评价，以期为桑葚的有效开发和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 原料

六个品种的桑葚：白桑葚、紫桑葚、黑珍珠、大十、283 桑葚、32109 桑葚，均由茂名市蚕业技术推广中心提供，采摘时间是 3~4 月份。

1.1.2 试剂

乙酸、草酸、酒石酸、丙酮酸、苹果酸、*α*-酮戊二酸、乳酸、柠檬酸、富马酸、琥珀酸(上海国药)；甲醇(色谱纯，美国TEDIA)。

1.1.3 主要仪器设备

PAL-1 数显手持糖度计，日本 Atago；UPT-I-5T 超纯水器，四川优普超纯科技有限公司；Vario EL Cube 元素分析仪，德国 Elementar；Mx5 百万分之一电子天平，Mettler Toledo；LC-20A 高效液相色谱仪，日本岛津；ODS Hypersil C_{18}(4.6×250 mm×5 μm)液相色谱柱，Thermo Fisher Scientific；GCMS-QP2010SE 气相色谱-质谱联用仪，日本岛津；85 μm SPME 进样器，上海安谱科学仪器公司。

1.2 试验方法

1.2.1 理化成份测定

水分测定参照 GB 5009.3-2016 的直接干燥法，设置桑葚烘干温度为60 ℃；灰分测定按 GB 5009.4-2016 总灰分的测定方法进行；总酸按 GB/T 12456-2008 滴定法进行测定；可溶性固形物测定参照 NY/T 2637-2014 折射仪法。

桑葚汁 pH 的测定：分别取六种桑葚各 5~10 颗，清洗干净并晾干；分别置于 50 mL 样品瓶中，破碎；再将桑葚果汁分别倒入 20 mL 小烧杯中。将 pH 计校正后测定各样品的 pH。

1.2.2 元素分析

将六种桑葚样品干燥至恒重，用研钵将其研磨碎。用百万分之一电子天平精确称取 2 mg 桑葚粉末，于锡杯中包紧压实，进行有机元素分析。检测条件为：氧化炉温度为：1150 ℃；还原炉温度为：850 ℃；氦气流速为：230 mL/min；氧气流速为：35~38 mL/min；充氧时间为：90 s。

1.2.3 有机酸测定

将桑葚果样品用超纯水清洗干净并除去柄，晾干；称取一定量桑葚果于 50 mL 样品瓶中，破碎，加入 pH 2.55、0.01 mol/L 磷酸二氢铵缓冲液稀释至 30 mL；摇匀后离心，取上清液，用 pH=2.55，0.01 mol/L 的磷酸二氢铵缓冲液稀释 15 倍；取稀释后的样品液 3 mL，过活化后的 C_{18} 小柱，保持样品液成液滴流出；弃去先流出的 0.5 mL 样品液，收集后续流出的样品液，过 0.22 μm 微孔滤膜，进行 HPLC 测定。色谱条件为：Thermo C_{18} 反相柱(4.6×250 mm，5 μm)，流动相为 0.01 mol/L 的磷酸二氢铵缓冲溶液，pH 2.55，洗脱流速 1.2 mL/min，色谱柱温 45 ℃，检测波长为 210 nm。以外标法进行定量。

1.2.4 挥发性成分测定

称取 0.5 g 桑葚果置于带孔、密封的 50 mL 样品瓶中，在冰浴中将其破碎，然后加入内标三甲基吡啶，1 g NaCl 和一个磁力搅拌子；再将这些样品瓶放在磁力搅拌器上，进行水浴并控制其温度，设置温度为 40 ℃；将活化后的萃取头插入样品瓶中吸附 30 min，抽出后迅速插入 GC-MS 进样口，进行 GC-MS 检测。

GC 条件为：色谱柱：Rtx-WAX (30 m×0.25 mm×0.25 μm，美国 Restek)；柱温：38.0 ℃；进样口温度：250 ℃；进样方式：不分流；柱流量为：1.00 mL/min；程序升温：38.0 ℃保持 2 min，以 3 ℃/min 的速率升至 140 ℃，再以 10 ℃/min 升至 250 ℃，保持 3 min。

MS 条件：离子源：EI；电子能量：70 eV；离子源温度：250 ℃；接口温度：260 ℃；延迟出峰时间：0.9 min；扫描方式：scan；扫描范围：*m/z* 5~600。

化合物定性定量：利用日本岛津 GC-MS 工作站与 NIST14 Library 数据库检索比对，并根据公式（1）计算各物质保留指数(RI)进行确认；各成分的含量采用内标法进行半定量分析。

$RI=100Z+100\times(Rt_i-Rt_Z)/(Rt_{Z+1}-Rt_Z)$ （1）

式中：Rt_Z 和 Rt_{Z+1} 分别为碳数为 Z 和 Z+1 的正构烷烃保留时间；Rt_i 为待测化合物的保留时间。

1.3 数据分析

每组实验做三个平行，计算平均值和标准偏差，数据以平均值±SD 的形式表示；且用 SPSS 16.0 软件对数据进行 ANOVA 差异性分析(p<0.05)。

2 结果与讨论

2.1 不同品种桑葚理化品质比较

对 6 种桑葚的理化成份进行测定，结果见表 1，各品种之间存在着明显的差异。桑葚含水量充足，白桑葚最低，为 66.65%，经 SPSS 方差分析，与其它品种差异显著(p<0.05)，其次是紫桑葚，黑珍珠、大十、283 和 32109 桑葚四个品种没有显著差异(p>0.05)，它们的水分含量相对较高，均高于 82%，比广西地区的一些主栽桑品种低一些(平均值为 87.89%)[15]，但我们测定时设置温度为 60 ℃，数据可能会偏低。灰分主要与矿物质含量相关，6 种桑葚的灰分含量约为 1%。pH 值和酸含量会影响口感，pH 值如果低于 3，口感会很酸[19]。由表 1 可知，6 个品种 pH 值均高于 4，大十和紫桑葚的 pH 值较低，总酸含量较高，而黑珍珠和 283 桑葚 pH 值较高，总酸含量较低。经 SPSS 方差分析可得，各品种 pH 值差异显著(p<0.05)，总酸含量依次为大十>紫桑葚>32109 桑葚>白桑葚>283 桑葚>黑珍珠，这与 pH 值基本一致。水果中的可溶性固形物主要是指可溶性的糖类，因此也影响水果的风味和加工性能[20]。SPSS 方差分析显示，可溶性固形物含量因品种不同而差异显著(p<0.05)，白桑葚最高(18.2 °Brix)，32109 桑葚最低(8.7 °Brix)。

表 1 不同桑葚的理化性质

Table 1 Physicochemical compositions of mulberry cultivars

理化指标	白桑葚	紫桑葚	黑珍珠	大十	283 桑葚	32109 桑葚
水分含量/%	66.65±2.72^{d}	74.41±0.63^{c}	84.83±0.08^{a}	83.39±0.11^{ab}	84.69±0.05^{a}	82.07±0.10^{b}
灰分含量/%	1.21±0.03^{a}	1.12±0.02^{b}	0.88±0.01^{c}	0.63±0.02^{d}	1.07±0.02^{b}	0.94±0.02^{c}
pH 值	5.36±0.02^{c}	4.93±0.03^{e}	6.06±0.04^{a}	4.31±0.02^{f}	6.03±0.04^{b}	5.23±0.03^{d}
总酸/%(以 HCl 计)	0.047±0.001^{c}	0.051±0.001^{b}	0.037±0.001^{d}	0.062±0.001^{a}	0.043±0.001^{c}	0.050±0.001^{b}
可溶性固形物/°Brix	18.2±0.20^{a}	16.2±0.10^{b}	11.3±0.10^{d}	12.7±0.20^{c}	10.2±0.10^{e}	8.7±0.00^{f}

注：同一行数据后面不同字母表示差异性显著(p<0.05)。

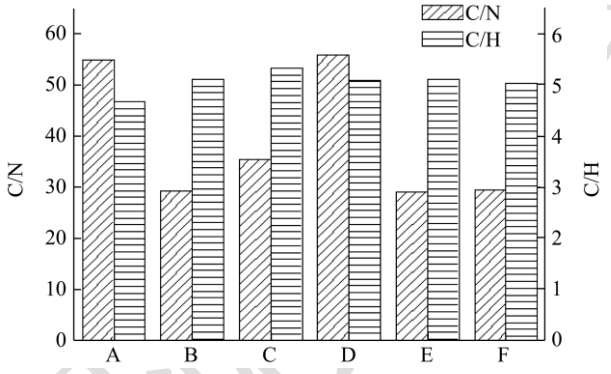


图 1 不同品种桑葚 C/N 和 C/H 的比较

Fig.1 Comparison of C/N and C/H between mulberry cultivars

注：A：白桑葚；B：紫桑葚；C：黑珍珠；D：大十；E：283；F：32109。

图 1 显示，6 种桑葚 C/N 存在着较大的差异，C/H 差异较小。果实中氮元素主要来自于含氮有机质，如蛋白质、氨基酸等营养成分，C/N 的偏差说明 6 种桑葚中这些营养成分含量存在明显的差异，白桑葚和大十的 C/N 较高，这两种桑葚的含氮量较低，也就是蛋白质、氨基酸等含氮营养成分含量较低，而紫桑葚、黑珍珠、283 和 32109 桑葚含量较高。C/H 相差不大说明各桑葚中的碳水化合物总含量相差不大。

2.2 不同品种桑葚有机酸含量分析

对 6 种桑葚有机酸含量进行测定，结果见表 2。不同品种桑葚的有机酸组成有较大差异。32109 桑葚中未检出酒石酸，而其它 5 种桑葚中酒石酸含量均最高，占有机酸总量的 37.50%~60.71%；且各品种间差异显著(p<0.05)。所有品种桑葚均含有少量丙酮酸和 α-酮戊二酸；紫桑葚、大十、283 桑葚、黑珍珠和 32109 桑葚的丙酮酸含量差异不显著(p>0.05)，32109 桑葚与其它品种的 α-酮戊二酸含量差异显著(p<0.05)。李升锋等对来源于大丰的桑葚进行测定，发现柠檬酸和苹果酸为主要有机酸[21]，产于土耳其的品种同样富含苹果酸和柠檬酸[22]，而来源于新疆的黑桑葚主要含琥珀酸、乙酸和苹果酸[23]，本文 6 个品种中仅 32109 桑葚柠檬酸含量最高，占有机酸总量的 72.73%；而其它 5 个品种仅占 0.54%(黑珍珠)~24.81%(283 桑葚)；黑珍珠和大十之间差异不显著(p>0.05)，其它品种间差异显著(p<0.05)。苹果酸为白桑葚最高，占 11.83%，白桑葚与其它品种差异显著(p<0.05)，大十最低，仅为 0.07

mg/g，占 2.78%。白桑葚、紫桑葚和 32109 桑葚未检出乳酸，283 桑葚、大十和黑珍珠乳酸含量相对较高，分别占有机酸总量的 12.40%、29.35%、29.37%，且品种间差异显著(p<0.05)。乙酸含量因品种不同，差异明显(1.02%~25.79%)。仅紫桑葚和 283 桑葚含有琥珀酸，且差异明显。桑葚果中有机酸组成和含量的差异可能来源于品种和产地的差异。

表 2 桑葚中有机酸含量(mg/g)

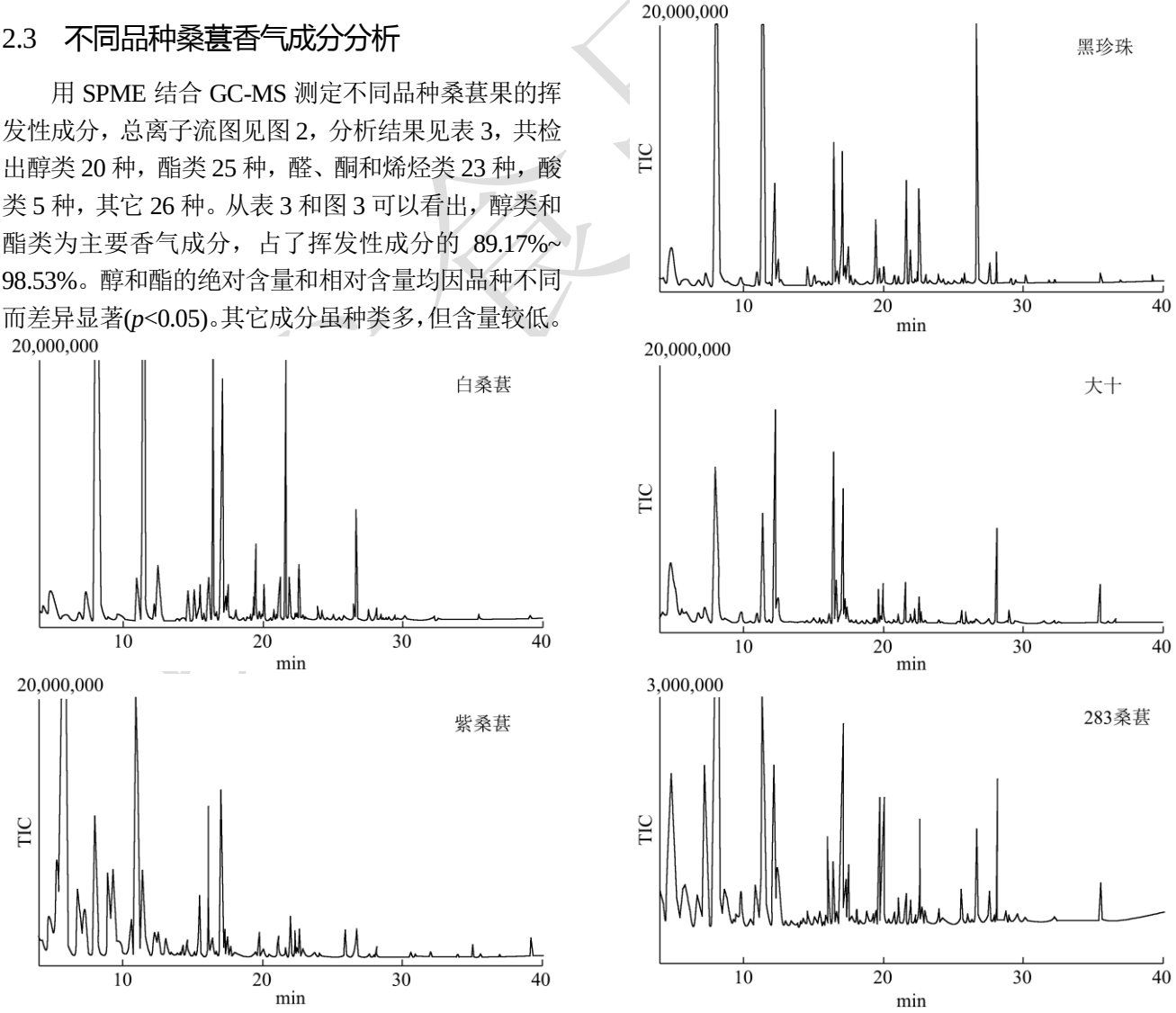
Table 2 The contents of organic acids of mulberry cultivars

有机酸	白桑葚	紫桑葚	黑珍珠	大十	283 桑葚	32109 桑葚
草酸	0.38±0.01^{a}	0.22±0.006^{b}	0.19±0.005^{bc}	0.07±0.002^{d}	0.14±0.004^{c}	0.36±0.01^{a}
酒石酸	1.31±0.05^{a}	1.19±0.05^{b}	0.69±0.03^{e}	0.93±0.04^{d}	1.03±0.04^{c}	-
丙酮酸	0.08±0.00^{a}	0.05±0.00^{b}	0.02±0.00^{c}	0.03±0.00^{bc}	0.04±0.00^{bc}	0.02±0.00^{c}
α-酮戊二酸	0.02±0.00^{b}	0.01±0.00^{b}	0.02±0.00^{b}	0.01±0.00^{b}	0.01±0.00^{b}	0.05±0.00^{a}
苹果酸	0.31±0.008^{a}	0.11±0.003^{c}	0.10±0.003^{cd}	0.07±0.002^{d}	0.15±0.004^{b}	0.09±0.002^{cd}
乳酸	-	-	0.54±0.01^{b}	0.74±0.02^{a}	0.32±0.01^{c}	-
乙酸	0.20±0.001^{c}	0.02±0.00^{e}	0.27±0.002^{b}	0.65±0.004^{a}	0.25±0.002^{b}	0.05±0.00^{d}
柠檬酸	0.32±0.003^{d}	0.36±0.004^{c}	0.01±0.00^{e}	0.02±0.00^{e}	0.64±0.006^{b}	1.52±0.02^{a}
富马酸	-	0.09±0.00^{a}	-	0.09±0.00^{a}	0.09±0.00^{a}	-
琥珀酸	-	0.34±0.002^{b}	-	-	0.64±0.004^{a}	-

注：“-”表示未检出；同一行数据后面不同字母表示差异性显著(p<0.05)。

2.3 不同品种桑葚香气成分分析

用 SPME 结合 GC-MS 测定不同品种桑葚果的挥发性成分，总离子流图见图 2，分析结果见表 3，共检出醇类 20 种，酯类 25 种，醛、酮和烯烃类 23 种，酸类 5 种，其它 26 种。从表 3 和图 3 可以看出，醇类和酯类为主要香气成分，占了挥发性成分的 89.17%~98.53%。醇和酯的绝对含量和相对含量均因品种不同而差异显著(p<0.05)。其它成分虽种类多，但含量较低。



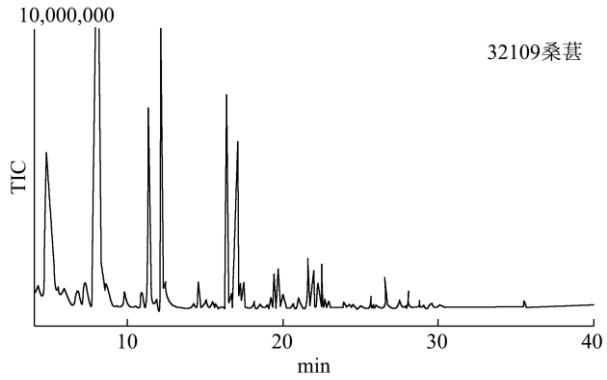


图 2 不同品种桑葚挥发性香气成分 GC-MS 总离子流图

Fig.2 GC-MS total ion chromatogram of the volatile aroma components of mulberry cultivars

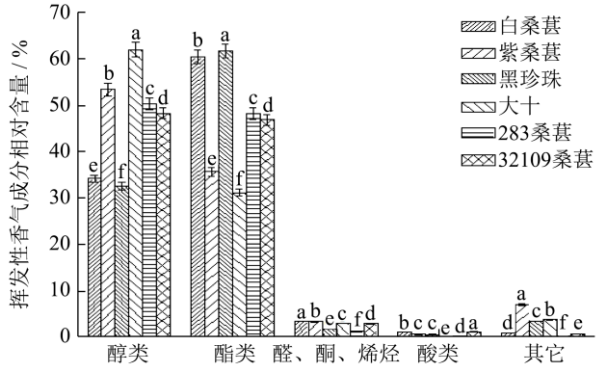


图 3 不同品种桑葚挥发性香气成分相对含量比较

Fig.3 Comparison of volatile aroma components of mulberry cultivars

醇类中白桑葚、黑珍珠、大十、32109 桑葚、283 桑葚以乙醇、异戊醇和己醇为主，占了醇类的 91.95~98.34%，其中黑珍珠和大十乙醇含量差异不明显，其它品种间均差异显著(p<0.05)；这些品种未检出 2,3-丁二醇，而紫桑葚中检出一定量的 2,3-丁二醇，占了醇类物质的 4.44%；紫桑葚的 2-戊醇、芳樟醇、苯甲醇、苯乙醇含量也相对高一些，紫桑葚所含醇类品种少(13 种)，但含量最高(1019.43 ng/g)，而黑珍珠和大十所含醇类品种最多，但含量较低，分别为 159.30 ng/g 和 184.20 ng/g。酯类以乙酸乙酯、乙酸异戊酯、碳酸烯丙基庚酯、碳酸烯丙基癸酯和亚硫酸丁基环己基甲酯为主，占酯类的 89.41~98.71%，其中乙酸乙酯含量最高，占了酯类的 70.48~90.98%，且品种间差异明显；六个品种均有检出丁内酯和 γ-壬内酯，种间差异显著(p<0.05)，内酯是水果成熟时由相应的羟基酸在酶催化下环化而成的，是水果成熟的标志物[24]；紫桑葚的丁酸乙酯含量相对较高，为 52.39 ng/g，黑珍珠仅 2.80 ng/g，其它品种均未检出。醛、酮、烯烃类除了黑珍珠未检出己醛，在其它品种中己醛均为主要成分，品种间差异显著(p<0.05)；最能反映紫桑葚与其它品种差异的是 2-庚烯醛、苯甲醛、甲基庚烯酮、癸醛、长叶烯。白桑葚、紫桑葚和 32109 桑葚含有一定量的己酸(分别占酸类的 92.68%、64.05%、92.89%)和 3-甲基丁酸，而黑珍珠和 283 桑葚含有少量己酸(分别占酸类的 9.54%和 28.42%)和丁酸，不含有 3-甲基丁酸，大十未检出这些挥发性酸；从酸的绝对含量看，种间差异明显，而从酸占挥发性成分的相对含量看，紫桑葚和黑珍珠差异不明显，而其它品种间差异显著(p<0.05)。其它类以烷烃种类居多。但白桑葚、黑珍珠和 32109 桑葚中 2-乙烯基呋喃分别占了其它类物质的 33.28%、30.77%和 36.23%，紫桑葚中 2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环占了其它类物质的 53.39%，黑珍珠中 2,5-二乙氧基四氢呋喃占了其它类物质的 33.15%，其它烷烃虽种类多，但含量低。

总的说来，紫桑葚所含香气成分含量最高，为 1906.92 ng/g，283 桑葚其次，为 1856.50 ng/g，32109 桑葚也较高，1736.39 ng/g，白桑葚和黑珍珠较低，为 682.05 ng/g 和 489.82 ng/g，大十最低，296.75 ng/g，而它们所含香气成分品种数量依次为 60、46、57、57、65 和 68，桑葚香气成分种类和含量的不同赋予了其特有的香气特征[25]，决定了桑葚及其加工产品如桑葚酒的口感和品质。

表 3 不同品种桑葚的挥发性香气成分(ng/g)

Table 3 Volatile aroma components of mulberry cultivars

挥发性香气成分	RI	白桑葚	紫桑葚	黑珍珠	大十	283 桑葚	32109 桑葚
醇类(20 种)							
乙醇	737	171.03±3.25^{d}	848.38±5.63^{a}	121.55±2.36^{e}	123.24±2.56^{e}	770.18±8.51^{b}	592.65±8.65^{c}
异丁醇	831	-	-	-	1.31±0.06^{b}	-	9.58±0.23^{a}
异戊醇	932	24.44±0.12^{e}	66.36±3.31^{c}	13.62±0.60^{f}	29.17±1.24^{d}	138.29±3.45^{a}	122.72±2.13^{b}
2-戊醇	1057	2.54±0.11^{c}	9.11±0.05^{a}	1.47±0.03^{d}	0.33±0.01^{e}	-	8.67±0.14^{b}
2,3-丁二醇	1060	-	45.22±2.26	-	-	-	-
己醇	1066	27.24±1.01^{b}	8.28±0.12^{f}	11.30±0.28^{d}	23.64±0.57^{c}	9.83±0.24^{e}	82.89±2.07^{a}
4-甲基-5-癸醇	1113	-	-	0.53±0.01	-	-	-

转下页

接上页

庚醇	1169	1.12±0.02^{b}	-	0.87±0.02^{d}	0.38±0.01^{e}	1.00±0.02^{c}	1.80±0.04^{a}
6-甲基-5-庚烯-2-醇	1188	0.28±0.01^{c}	-	2.66±0.06^{a}	0.70±0.02^{b}	-	-
2-丙基戊醇	1232	0.96±0.02^{c}	3.28±0.08^{a}	0.89±0.02^{c}	0.50±0.01^{d}	1.76±0.04^{b}	3.21±0.08^{a}
辛醇	1286	-	-	0.20±0.01^{d}	0.59±0.02^{b}	0.40±0.01^{c}	1.72±0.04^{a}
芳樟醇	1303	0.26±0.01^{d}	5.77±0.14^{a}	1.02±0.02^{b}	0.15±0.01^{e}	0.39±0.01^{c}	1.10±0.03^{b}
2-壬醇	1305	-	-	-	-	0.47±0.01	-
苯甲醇	1314	-	4.23±0.11^{a}	0.49±0.01^{b}	0.14±0.01^{c}	-	-
3-十二醇	1342	-	-	0.20±0.01	-	-	-
萜品醇	1364	-	3.13±0.07^{a}	-	0.26±0.01^{b}	-	-
苯乙醇	1376	1.22±0.03^{e}	8.91±0.22^{a}	1.30±0.03^{d}	0.87±0.02^{f}	5.76±0.14^{b}	5.71±0.14^{c}
壬醇	1383	-	1.53±0.04^{a}	0.47±0.01^{d}	0.21±0.01^{e}	0.53±0.01^{c}	0.77±0.02^{b}
二十烷醇	1674	0.66±0.02^{e}	3.87±0.09^{a}	0.53±0.02^{f}	0.76±0.02^{d}	0.97±0.02^{c}	1.40±0.03^{b}
(1R,2R,3S,5R)-(-)-2,3-蒎烷二醇	1675	3.34±0.08^{d}	11.36±0.28^{a}	2.20±0.05^{e}	1.95±0.05^{f}	4.26±0.11^{c}	6.96±0.17^{b}
酯类(25 种)							
乙酸乙酯	794	372.51±9.31^{d}	482.99±8.65^{c}	250.55±6.23^{e}	65.17±1.25^{f}	814.61±9.65^{a}	734.28±9.78^{b}
乙酸异丁酯	922	0.50±0.01^{b}	-	1.97±0.04^{a}	-	-	-
丁酸乙酯	945	-	52.39±1.30^{a}	2.80±0.07^{b}	-	-	-
乳酸乙酯	1005	-	-	0.20±0.01^{b}	-	-	0.14±0.01^{a}
羟基乙酸乙酯	1015	2.47±0.06^{d}	-	6.12±0.15^{a}	3.71±0.09^{b}	2.72±0.06^{c}	1.51±0.03^{e}
乙酸异戊酯	1027	3.30±0.08^{e}	11.03±0.27^{c}	16.33±0.40^{b}	2.13±0.05^{f}	29.53±0.72^{a}	5.12±0.12^{d}
丙酸异戊酯	1115	-	-	-	-	0.33±0.01^{b}	0.70±0.02^{a}
3-乙氧基丙酸乙酯	1161	0.31±0.01^{a}	-	0.22±0.01^{b}	0.21±0.01^{b}	-	-
丁内酯	1220	0.92±0.02^{d}	2.46±0.06^{b}	0.76±0.02^{e}	0.52±0.01^{f}	1.18±0.03^{c}	2.58±0.06^{a}
丙酸戊酯	1239	0.31±0.02^{b}	-	-	0.12±0.01^{c}	-	0.98±0.02^{a}
乙酸异辛酯	1323	0.79±0.02^{c}	-	0.37±0.01^{d}	0.23±0.01^{e}	0.98±0.02^{b}	1.89±0.04^{a}
丁二酸二乙酯	1408	-	-	-	-	-	0.79±0.02
辛酸乙烯基酯	1466	1.82±0.04^{d}	3.67±0.09^{b}	1.98±0.05^{c}	1.00±0.02^{e}	1.94±0.05^{c}	4.59±0.12^{a}
碳酸烯丙基庚酯	1545	9.84±0.24^{d}	39.11±0.96^{a}	6.16±0.15^{e}	6.15±0.15^{e}	13.11±0.32^{c}	20.86±0.52^{b}
碳酸烯丙基癸酯	1561	6.24±0.15^{d}	26.83±0.67^{a}	4.03±0.10^{f}	4.28±0.11^{e}	8.27±0.20^{c}	12.92±0.32^{b}
顺-9-十五碳烯酸乙酯	1574	0.17±0.01^{d}	1.33±0.03^{a}	0.23±0.01^{c}	0.24±0.01^{c}	-	0.38±0.01^{b}
γ-壬内酯	1695	0.34±0.01^{e}	3.44±0.08^{a}	0.68±0.02^{c}	0.25±0.01^{f}	0.40±0.01^{d}	0.94±0.02^{b}
月桂酸乙酯	1769	-	0.53±0.02^{a}	-	-	0.41±0.01^{b}	-
亚硫酸丁基环己基甲酯	1801	11.39±0.28^{d}	48.85±1.22^{a}	8.59±0.22^{e}	7.43±0.18^{f}	18.30±0.45^{c}	24.64±0.61^{b}
亚硫酸环己基甲基己酯	1817	1.01±0.02^{c}	4.17±0.10^{a}	1.06±0.02^{c}	0.64±0.02^{d}	0.48±0.01^{e}	2.24±0.06^{b}
豆蔻酸乙酯	1964	-	-	-	-	0.37±0.01	-
亚硫酸环己基甲基庚酯	2086	-	-	-	-	1.07±0.03	-
草酸环己基甲基辛酯	2125	-	1.37±0.03^{a}	0.33±0.01^{c}	0.20±0.01^{d}	0.50±0.01^{b}	-
十八酸乙酯	2178	0.18±0.01^{e}	2.20±0.05^{a}	0.28±0.01^{d}	0.18±0.01^{e}	1.16±0.03^{b}	0.64±0.01^{c}
邻苯二甲酸二异丁酯	2180	-	0.54±0.01	-	-	-	-
醛、酮、烯烃(23 种)							
己醛	966	12.37±0.31^{d}	13.89±0.34^{b}	-	1.84±0.04^{e}	12.80±0.34^{c}	26.72±0.66^{a}
1,3,5,7-环辛四烯	1036	0.43±0.01	-	-	-	-	-

转下页

接上页

2-己烯醛	1047	1.89±0.04^{b}	-	0.46±0.01^{c}	0.35±0.01^{d}	-	3.66±0.09^{a}
亚异丙基丙酮	1132	-	-	0.18±0.01	-	-	-
1-环己基-1-丁酮	1142	0.52±0.01^{d}	1.49±0.04^{b}	0.65±0.01^{c}	0.40±0.01^{e}	-	1.63±0.04^{a}
2-庚烯醛	1153	-	6.66±0.16^{a}	1.32±0.03^{b}	-	1.15±0.03^{c}	-
苯甲醛	1165	2.35±0.06^{c}	10.76±0.26^{a}	0.78±0.02^{d}	0.15±0.01^{e}	0.79±0.02^{d}	4.64±0.12^{b}
甲基庚烯酮	1173	1.05±0.03^{d}	4.83±0.12^{a}	0.61±0.01^{e}	1.13±0.03^{cd}	1.15±0.03^{c}	2.11±0.05^{b}
苯并环戊二烯	1207	0.31±0.01^{b}	-	-	0.13±0.01^{c}	-	0.54±0.01^{a}
反式-2-辛烯醛	1274	-	1.60±0.04^{a}	0.32±0.01^{c}	-	0.27±0.01^{d}	1.17±0.03^{b}
天竺葵醛	1297	1.00±0.03^{e}	4.33±0.15^{a}	1.12±0.03^{d}	0.77±0.02^{f}	1.56±0.04^{c}	2.36±0.06^{b}
顺-6-壬烯醛	1307	-	-	-	-	-	0.24±0.01
月桂醛	1395	0.16±0.01^{e}	1.07±0.03^{a}	0.19±0.01^{d}	0.25±0.01^{c}	-	0.48±0.01^{b}
癸醛	1395	1.03±0.02^{e}	7.10±0.18^{a}	1.19±0.03^{d}	1.25±0.03^{d}	1.79±0.05^{c}	2.15±0.05^{b}
二十二烯	1448	0.27±0.01^{b}	-	0.40±0.01^{a}	0.21±0.01^{c}	-	-
2,4-二甲基-2,4-庚二烯醛	1487	0.72±0.01^{d}	2.77±0.06^{d}	0.51±0.01^{e}	0.48±0.01^{f}	0.99±0.03^{c}	1.52±0.03^{b}
顺-5,5-二甲基-2-己烯	1495	-	0.81±0.02^{a}	-	0.20±0.01^{b}	-	-
长叶烯	1532	0.14±0.01^{a}	3.20±0.08^{a}	-	0.51±0.02^{b}	-	-
α-柏木烯	1537	-	1.50±0.04^{a}	-	0.26±0.01^{b}	-	-
3-乙基-4,5-二甲基-1,4-己二烯	1544	0.35±0.01^{c}	1.24±0.03^{a}	0.26±0.01^{d}	0.22±0.01^{e}	0.37±0.01^{c}	0.75±0.02^{b}
4-叔丁基-2-(1-甲基-2-硝基乙基)环己酮	1561	0.17±0.01^{a}	-	-	0.14±0.01^{b}	-	-
2,6-二叔丁基苯醌	1686	0.52±0.01^{d}	2.21±0.05^{a}	0.48±0.01^{e}	0.51±0.02^{de}	0.76±0.02^{c}	1.13±0.03^{b}
2-甲基十一醛	2036	-	-	-	-	-	0.67±0.02
酸类(5 种)							
琥珀酸酐	866	0.26±0.01^{d}	1.20±0.03^{a}	0.54±0.02^{c}	0.11±0.00^{e}	0.74±0.02^{b}	-
丁酸	1052	-	-	1.83±0.04^{a}	-	1.35±0.04^{b}	-
3-甲基丁酸	1107	0.27±0.01^{c}	0.90±0.02^{a}	-	-	-	0.77±0.02^{b}
2-甲基丁酸	1111	-	1.70±0.04^{a}	-	-	-	0.63±0.01^{b}
己酸	1267	6.71±0.16^{b}	6.77±0.16^{b}	0.25±0.01^{d}	-	0.83±0.02^{c}	18.28±0.40^{a}
其它(26 种)							
1-乙烯基-2-亚甲基环丙烷	845	-	-	0.22±0.01	-	-	-
2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环	865	-	70.77±1.23^{a}	1.19±0.03^{b}	-	-	-
2,5-二乙氧基四氢呋喃	951	-	-	5.56±0.14	-	-	-
2,4-二甲基己烷	979	-	-	0.47±0.01	-	-	-
2,3,3-三甲基辛烷	1079	0.81±0.02^{b}	-	0.68±0.01^{c}	0.45±0.01^{d}	-	1.36±0.03^{a}
3,7-二甲基壬烷	1183	0.53±0.01^{d}	1.69±0.04^{a}	0.72±0.02^{c}	0.23±0.01^{e}	-	0.77±0.02^{b}
5-甲基十一烷	1190	0.15±0.01	-	-	-	-	-
1-叔丁基-4-甲基环己烷	1293	0.22±0.01^{d}	1.52±0.04^{a}	0.34±0.01^{c}	0.22±0.01^{d}	-	1.09±0.03^{b}
十三烷	1300	0.73±0.02^{d}	2.74±0.06^{a}	0.54±0.02^{e}	0.45±0.01^{f}	1.00±0.02^{c}	1.86±0.05^{b}
2-乙烯基呋喃	1335	2.11±0.05^{c}	-	5.16±0.17^{a}	0.15±0.01^{d}	-	4.55±0.12^{b}
4,6-二甲基十二烷	1368	-	-	-	0.14±0.01	-	-
5-丁基壬烷	1372	0.27±0.01^{c}	-	0.43±0.01^{b}	0.14±0.01^{d}	-	0.71±0.02^{a}
2,6,11-三甲基十二烷	1418	-	-	0.19±0.01^{a}	0.11±0.01^{b}	-	-

转下页

接上页

2-甲基十三烷	1463	-	1.36±0.03[a]	-	0.27±0.01[b]	-	-
3-甲基十四烷	1469	-	1.40±0.03[a]	-	0.22±0.01[b]	-	-
2,6,10-三甲基十二烷	1473	-	5.31±0.13[a]	-	0.84±0.02[b]	-	-
十五烷	1500	0.52±0.01[d]	12.32±0.31[a]	0.57±0.01[d]	2.32±0.06[b]	0.57±0.01[d]	0.75±0.02[c]
芹子烷	1522	0.14±0.01[b]	0.60±0.01[a]	-	-	-	-
2,6,10-三甲基十三烷	1566	-	7.82±0.16[a]	-	1.22±0.03[b]	-	-
7-甲基十五烷	1569	-	2.57±0.06[a]	-	0.41±0.01[b]	-	-
5-甲基十五烷	1576	-	1.49±0.04[a]	-	0.30±0.01[b]	-	-
1-戊基-2-丙基环戊烷	1583	-	1.95±0.05	-	-	-	-
正十六烷	1600	0.63±0.02[e]	14.38±0.35[a]	0.52±0.01[e]	2.48±0.06[b]	0.88±0.02[d]	1.14±0.03[c]
丁香酚	1610	-	1.55±0.04	-	-	-	-
植烷	1667	-	2.57±0.06[a]	-	0.59±0.01[b]	-	-
2,6,10-三甲基十五烷	1700	0.23±0.01[d]	2.51±0.06[a]	0.18±0.01[e]	0.64±0.01[b]	0.30±0.01[c]	0.33±0.01[c]

注：“-”表示未检出；同一行数据后面不同字母表示差异性显著(p<0.05)。

3 结论

通过对六个品种桑葚的基本理化性质和风味成分进行比较，结果表明六种桑葚的理化性质、有机酸组成和含量、挥发性香气成分的组成和含量均存在一定差异，这决定了不同品种桑葚的加工适应性，及加工产品的口感和品质。综合桑葚的特性，大十水分含量高，出汁率高，但偏酸，含糖量低，有机酸含量丰富，香气成分含量低，更适合加工成果汁、果酒；白桑葚味甜，黑珍珠、283 桑葚酸甜适中，香气浓郁，均可鲜食，也可以加工；32109 桑葚可溶性固形物含量低，酸度适中，有机酸种类少，但香气充足，更适宜深加工；紫桑葚可溶性固形物含量较高，酸度适宜，可以酿酒。

参考文献

[1] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:化学工业出版社,2005

[2] Sánchez-Salcedo E M, Mena P, García-Viguera C, et al. Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 12: 399-408

[3] Maja M N, Dragana C D, Adele P, et al. Analysis and characterisation of phytochemicals in mulberry (*Morus alba* L.) fruits grown in Vojvodina, North Serbia [J]. Food Chemistry, 2015, 171: 128-136

[4] Kim S B, Chang B Y, Hwang B Y, et al. Pyrrole alkaloids from the fruits of *Morus alba* [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2014, 24: 5656-5659

[5] Donno D, Cerutti A K, Prgomet I, et al. Foodomics for mulberry fruit (*Morus* spp.): Analytical fingerprint as antioxidants' and health properties' determination tool [J]. Food Research International, 2015, 69: 179-188

[6] Kyung-Min Lee, Taek-Joo Oh, So-Hyun Kim, et al. Comprehensive metabolic profiles of mulberry fruit (*Morus alba* Linnaeus) according to maturation stage [J]. Food Science and Biotechnology, 2016, 25(4): 1035-1041

[7] Wei S, Han-Jing W, Peter B, et al. Phytochemical profiles of different mulberry (*Morus* sp.) species from China [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57: 9133-9140

[8] Lihua W, Xiangyu S, Fan L, et al. Dynamic changes in phenolic compounds, colour and antioxidant activity of mulberry wine during alcoholic fermentation [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18: 254-265

[9] 梁贵秋,吴婧婧,祁广军,等.桑椹酒的营养价值及保健作用[J].现代食品科技,2011,27(4):457-460
LIANG Gui-qiu, WU Jing-jing, QI Guang-jun, et al. Nutritional value and health function of mulberry wine [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(4): 457-460

[10] Pérez-Gregorio M R, Regueiro J, Alonso-González E, et al. Influence of alcoholic fermentation process on antioxidant activity and phenolic levels from mulberries (*Morus nigra* L.) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44: 1793-1801

[11] 尹爱武,田润,邓胜国,等.桑椹多糖对急慢性酒精中毒小鼠的护肝作用[J].现代食品科技,2016,32(12): 13-19
YIN Ai-wu, TIAN Run, DENG Sheng-guo, et al. Hepatoprotective effects of *Fructus mori* polysaccharide on mice with acute or chronic alcoholism [J]. Modern Food

Science and Technology, 2016, 32(12): 13-19

[12] 姜响.桑椹多糖的体内降糖活性及其分离纯化初步研究[D].广州:广东药科大学,2016
JIANG Xiang. Antidiabetic activities, isolation, purification and structure research of *Mori Fructus* polysaccharides [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2016

[13] Chun C, Bin Z, Xiong F, et al. The digestibility of mulberry fruit polysaccharides and its impact on lipolysis under simulated saliva, gastric and intestinal conditions [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 58: 171-178

[14] 乔宇,吕辉华,吴继军,等.不同品种桑椹中糖酸组成和甜酸风味评价[J].食品科学技术学报,2016,34(4):44-49
QIAO Yu, LYU Hui-hua, WU Ji-jun, et al. Analysis of organic acids and sugar compositions and flavor evaluation of different mulberry cultivars [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 34(4): 44-49

[15] 何雪梅,孙健,梁贵秋,等.广西地区 13 个主栽桑品种的桑椹营养与药用品质综合评价[J].食品科学,2018,39(10):250-256
HE Xue-mei, SUN Jian, LIANG Gui-qiu, et al. Nutritional and medicinal quality of mulberry fruit from 13 main varieties grown in Guangxi [J]. Food Science, 2018, 39(10): 250-256

[16] Merve T, Gamze T, Dilek B, et al. The effects of juice processing on black mulberry antioxidants [J]. Food Chemistry, 2015, 186: 277-284

[17] 王香君,吴劲轩,夏川林,等.不同品种桑椹加工品质比较研究[J].中国酿造,2019,38(3):139-143
WANG Xiang-jun, WU Jin-xuan, XIA Chuan-lin, et al. Comparison of processing quality of different mulberry varieties [J]. China Brewing, 2019, 38(3): 139-143

[18] 乔宇,廖李,刘璐,等.桑椹品质评价指标的主成分分析及12个桑品种的桑椹品质综合评价[J].蚕业科学,2014,40(5):851-856
QIAO Yu, LIAO Li, LIU Lu, et al. Principal component analysis of quality evaluation indexes of mulberry fruit and comprehensive assessment on fruit quality of twelve mulberry varieties [J]. Science of Sericulture, 2014, 40(5): 851-856

[19] Mikulic-Petkovsek M, Schmitzer V, Slatnar A, et al. Composition of sugars, organic acids, and total phenolics in 25 wild or cultivated berry species [J]. Journal of Food Science, 2012, 77: 1064-1070

[20] 张莉会,乔宇,陈学玲,等.不同保鲜剂对桑葚贮藏期间品质的影响[J].现代食品科技,2018,34(5):47-55
ZHANG Li-hui, QIAO Yu, CHEN Xue-ling, et al. Effects of different preservatives on the quality of mulberry during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(5): 47-55

[21] 李升锋,张友胜,池建伟,等.不同品种桑椹糖酸组分分析[J].农产品加工学刊,2011,250(7):108-111
LI Sheng-feng, ZHANG You-sheng, CHI Jian-wei, et al. Analysis of sugar and organic acids compositions of different mulberry cultivars [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011, 250(7): 108-111

[22] Gundogdua M, Muradoglu F, Gazioglu Sensoy R I, et al. Determination of fruit chemical properties of *Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L. by HPLC [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 132: 37-41

[23] Jiang Y, Nie W J. Chemical properties in fruits of mulberry species from the Xinjiang province of China [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 460-466

[24] Visai C, Vanoli M. Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines [J]. Scientia Horticulturae, 1997, 70(1): 15-24

[25] 于怀龙,马永昆,张荣,等.不同品种桑椹香气成分的主成分分析[J].食品工业科技,2016,37(10):62-66,71
YU Huai-long, MA Yong-kun, ZHANG Rong, et al. Principal component analysis of aroma components in mulberry from different varieties [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(10): 62-66, 71

（上接第 291 页）

[27] 孙柏玲,刘君良,柴宇博,等.基于近红外光谱和偏最小二乘法的慈竹纤维素结晶度预测研究[J].光谱学与光谱分析,2011,31(2):366-370
SUN Bai-ling, LIU Jun-liang, CAI Yu-bo, et al. Determination of crystallinity in *Neosinocalamus affinins* based on near infrared spectroscopy and PLS methods [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(2): 366-370

[28] 姚胜.相思树材性近红外预测模型的建立及优化[D].北京:北京林业大学,2010:38
YAO Sheng. The modeling and optimization of acacia app.wood properties by neat infrared spectroscopy [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010: 38