

# 黑果枸杞风味品质的分析研究

周琪乐<sup>1\*</sup>, 罗诗萌<sup>2</sup>, 龚凌慧<sup>1</sup>, 解庆刚<sup>3</sup>, 蒋士龙<sup>3</sup>, 梁爱梅<sup>3</sup>

(1. 北京市营养源研究所, 北京 100069; 2. 北京市丰台区疾病预防控制中心, 北京 100071;  
3. 黑龙江飞鹤乳业有限公司, 北京 100015)

**摘要:** **目的** 分析黑果枸杞风味物质的构成及对产品品质的影响。**方法** 采取顶空固相微萃取(headspace-solid phase microextraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对其挥发性成分进行分析, 采用峰面积归一化法计算各成分的相对质量分数。采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)和氨基酸分析仪(amino acid analyzer)对糖酸类化合物及氨基酸的含量进行测定。**结果** 共鉴别出包括醇类、醛类、酮类、酯类、酸类、酚类、杂环化合物和含硫化合物等共99种挥发性物质, 其中53种为食用香料, 呈香物质中杂环类化合物含量最高, 其次是酯类和醇类。2种鲜味氨基酸和6种甜味氨基酸的含量分别为0.48和0.50 g/100 g, 糖酸类化合物中苹果酸、柠檬酸、果糖和蔗糖的含量分别为0.011、0.11、0.0885和0.0217 g/100 g。**结论** 本研究明确了黑果枸杞中主要的风味物质, 分析了影响其风味品质的香气成分、糖酸类物质和呈味氨基酸的组成和含量。

**关键词:** 黑果枸杞; 挥发性化合物; 氨基酸; 有机酸; 糖类; 风味品质

## Study on flavor quality of *Lycium ruthenicum* Murr.

ZHOU Qi-Le<sup>1\*</sup>, LUO Shi-Meng<sup>2</sup>, GONG Ling-Hui<sup>1</sup>, XIE Qing-Gang<sup>3</sup>,  
JIANG Shi-Long<sup>3</sup>, LIANG Ai-Mei<sup>3</sup>

(1. Beijing Institute of Nutritional Resources, Beijing 100069, China; 2. Fengtai Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100071, China; 3. Heilongjiang Feihe Dairy Co., Ltd., Beijing, 100015, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the composition of flavor compounds in *Lycium ruthenicum* Murr. and its influence on product quality. **Methods** The volatile components were analyzed by headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and the relative mass fraction of each component was calculated by peak area normalization. The content of sugar, acid and amino acids were determined by high performance liquid chromatography (HPLC) and amino acid analyzer. **Results** A total of 99 kinds of volatile compounds including alcohols, aldehydes, ketones, esters, acids, phenols, heterocyclic compounds and sulfur-containing compounds were identified, 53 kinds of which were edible fragrances, and the heterocyclic compounds in the aroma-producing substances were the highest in content, followed by esters and alcohols. The content of the 2 kinds of umami amino acids and the 6 kinds of sweet amino acids were 0.48 and 0.50 g/100 g, respectively, and the content of malic acid, citric acid, fructose and sucrose in the sugar and acid

基金项目: 北京市优秀人才培养资助项目(2018400685627G341)、丰台区科技新星计划项目(KJXX201904)

Fund: Supported by the Beijing Municipal Excellent Talents Training Program (2018400685627G341), and the Fengtai Nova Program (KJXX201904)

\*通信作者: 周琪乐, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品功能因子和中药药效物质研究。E-mail: zqllzmy@163.com

\*Corresponding author: ZHOU Qi-Le, Ph.D, Associate Professor, Beijing Institute of Nutritional Resources, No.4, Dongbinhe Road, Fengtai District, Beijing 100069, China. E-mail: zqllzmy@163.com

compounds were 0.011, 0.11, 0.0885 and 0.0217 g/100 g, respectively. **Conclusion** In this study, the main flavor substances in *Lycium ruthenicum* are identified, and the composition and content of aroma components, sugar and acid substances and flavor amino acids affecting its flavor quality are analyzed.

**KEY WORDS:** *Lycium ruthenicum* Murr.; volatile compounds; amino acids; organic acids; sugars; flavor quality

## 0 引言

黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)是一种茄科枸杞属多年生植物<sup>[1]</sup>,在我国主要分布于青海、西藏、宁夏和新疆等地<sup>[2]</sup>。传统上,黑果枸杞一直是药食两用的名贵药材,藏药名“旁玛”,具有性平、味甘、清心热的特性和护肝、抗辐射、增强免疫力、抗氧化、抗疲劳、降血糖、抑制过敏及炎症、改善关节柔韧性等药理活性作用<sup>[3-4]</sup>。

自古以来,枸杞就被视为滋补佳品,其营养价值非一般水果可比。据报道,相比其他种类的枸杞,黑果枸杞营养价值更高,可以被制作成黑枸杞茶<sup>[5]</sup>,也可以作为超级水果<sup>[6]</sup>,而其衍生产物提取物浸膏和油脂在食品和保健品领域也越来越受到欢迎<sup>[2,7-8]</sup>。黑果枸杞成熟果浆为蓝紫色,富含花青素<sup>[4,9]</sup>,抗氧化能力远高于其他种类的枸杞<sup>[5,10-12]</sup>。作为一种可以直接食用的果实,除氨基酸、维生素、糖类、脂肪酸、矿物质和多酚类生物活性成分以外<sup>[13-15]</sup>,黑果枸杞还含有多种构成其独特品种特性的风味物质。通常,感官和风味是消费者选择水果等食品的重要影响因素,也是决定其品质优劣的重要指标之一<sup>[16-19]</sup>。水果中的风味物质包括挥发性呈香物质和非挥发性呈味物质<sup>[20]</sup>。其中挥发性呈香物质主要是由酯类、醛类和醇类等组成的混合物,非挥发性呈味物质主要包括蔗糖、果糖和葡萄糖等可溶性糖类,柠檬酸、苹果酸和酒石酸等有机酸类,及氨基酸等鲜味物质。目前,对黑果枸杞的营养物质、功能成分及其生理活性的研究报道较多,但对其风味品质的研究报道较少。

不同产地和不同品种的枸杞口感、风味不尽相同。本研究采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)-气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对宁夏黑枸杞果实原浆挥发性化合物的种类和相对含量进行分析,采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)和氨基酸分析仪(amino acid analyzer)对糖酸类化合物及氨基酸进行测定,确定了黑枸杞中主要香气成分和甜、酸、鲜等非挥发性滋味物质的构成,为黑果枸杞果实的风味品质评价提供理论依据,对黑枸杞生产和加工具有一定的指导意义。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

黑果枸杞果实原浆来自宁夏沃福百瑞枸杞产业股份有限公司。

17种氨基酸标准溶液(H型)(2.50 μmol/mL,含谷氨酸、天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、酪氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、组氨酸、半胱氨酸)、氨基酸分离分析用缓冲溶液、反应液(日本富士胶片和光纯药株式会社);乙酸钠(纯度≥99.0%)、丁二酸钠(纯度≥98%)、C<sub>6</sub>-C<sub>40</sub>正构烷烃混合溶液(美国Sigma-Aldrich公司);L-酒石酸(纯度≥98.0%)、L-苹果酸(纯度≥98.0%)、果糖(纯度≥98.0%)、葡萄糖(纯度≥98.0%)、蔗糖(纯度≥98.0%)(北京索莱宝科技有限公司);柠檬酸(纯度≥98.0%,中国食品药品检定研究院);甲醇、乙腈(色谱级,美国Fisher Chemical公司);盐酸(优级纯,上海沪试实验室器材股份有限公司);其他试剂(分析纯,北京化工厂);实验用水为超纯水。

### 1.2 仪器与设备

SHIMADZU GCMS-TQ8050NX 气相色谱质谱联用仪(日本岛津公司);PAL System 50/30 μm 二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(Divinylbenzene/Carboxen Wide Range/Polydimethylsiloxane, DVB/C-WR/PDMS)萃取头(瑞士思特斯分析仪器有限公司);InertCAP Pure-WAX 弹性石英毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)、HITACHI L-8900 全自动氨基酸分析仪(日本日立公司);Agilent 1260 Infinity II 高效液相色谱仪,配置示差折光检测器(美国安捷伦科技公司);Thermo Scientific Vanquish 系列超高效液相色谱仪[含VH-P10 高压二元体系泵、VH-A10 自动进样器、LC-VQ 柱温箱、HL 型二极管阵列检测器(diode-array detector, DAD)和Chromleon 7.2 SR4 色谱数据系统等][美国赛默飞世尔科技(中国)有限公司];KQ5200DE 型数控超声波清洗仪(昆山市超声仪器有限公司);HITACHI CF16RX 高速冷冻离心机(日本Hitachi Koki有限公司);EYELA TVE-1100 型平行蒸发仪(日本东京理化器械株式会社);RE-2000A 旋转蒸发仪(郑州科泰实验设备有限公司);Five Easy Plus™台式pH计(瑞士Mettler Toledo集团);MX-F 涡旋混合器(北京联合科仪科技有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 挥发性风味化合物测定

样品处理方法:经过条件优化实验,确定的固相微萃取条件为:准确称取黑果枸杞原浆样品2.5 g于20 mL顶空瓶中,加入0.625 g氯化钠,涡旋混匀。用50/30 μm DVB/C-WR/PDMS 萃取头对样品中的挥发性物质进行富集提取。萃取温度50 °C,萃取时间40 min,振摇速率为500 r/min。萃取头在进样口解吸时间为3 min。每次测定后

萃取头老化时间为 3 min, 老化温度 250 °C。

气相色谱条件: 进样口温度 250 °C, 分流比为 5:1; InertCAP Pure-WAX 弹性石英毛细管色谱柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 载气为氦气, 流速 1.0 mL/min; 程序升温条件为 40 °C 保持 4 min, 以 5 °C/min 升至 200 °C, 保持 1 min, 再以 10 °C/min 升至 220 °C, 保持 15 min。

质谱条件: 接口温度 250 °C; 电子电离源 (electron ionization, EI) 电离电压 70 eV; 离子源温度 250 °C; 质谱扫描范围 ( $m/z$ ) 为 35~500。

挥发性化合物的定性鉴别方法: 以 C<sub>6</sub>~C<sub>40</sub> 正构烷烃试剂确定化合物保留指数。采用美国国家标准与技术研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 20 谱库检索 (匹配度大于 80 的化合物)、文献报道的保留指数 (retention index, RI) 对比和标准品对比进行定性鉴别。采用峰面积百分比法计算各化合物的含量。样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

### 1.3.2 氨基酸含量测定

氨基酸的含量按照 GB/T 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》测定。色谱柱为磺酸型阳离子树脂, 检测波长为 570 和 440 nm。样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

### 1.3.3 有机酸的含量测定

苹果酸、柠檬酸等有机酸的含量按照 GB/T 5009.157—2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》测定。试样直接用水提取后, 采用 Agilent ZORBAX SB-Aq (250 mm×4.6 mm, 5 μm) 色谱柱分离, 210 nm 为检测波长, 以保留时间定性, 外标法定量。样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

### 1.3.4 可溶性糖的测定

果糖等可溶性糖的含量按照 GB/T 5009.8—2016《食

品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》第一法高效液相色谱法测定。采用 Agilent ZORBAX NH<sub>2</sub> (250 mm×4.6 mm, 5 μm) 色谱柱为分析柱, 用示差折光检测器检测, 外标法进行定量。样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 挥发性风味化合物的分析

在 HS-SPME 最优萃取条件下, 用 GC-MS 对样品中的挥发性化合物进行分析, 通过 NIST 20 谱库检索、保留指数和标准品进行定性鉴别, 采用峰面积百分比法进行定量分析, 样品中各类化合物的含量比较如图 1, 其含量结果详见表 1。

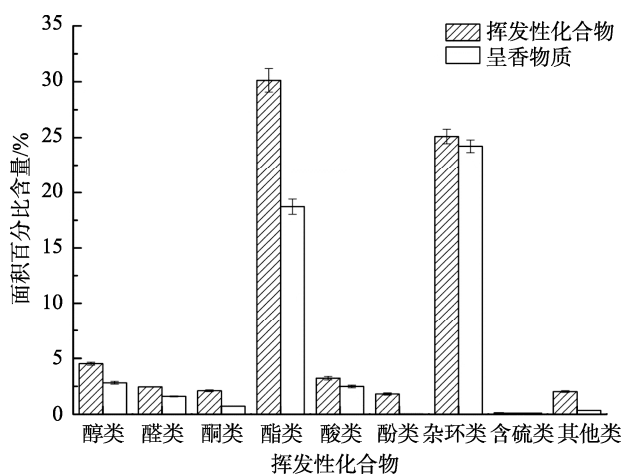


图 1 挥发性化合物和香气成分的峰面积百分含量 ( $n=3$ )

Fig.1 Peak area percentage content of volatile compounds and aroma components ( $n=3$ )

表 1 黑枸杞中的挥发性化合物

Table 1 Volatile compounds in *Lycium ruthenicum* Murr.

化合物名称	CAS 编号	分子式	保留时间 /min	RI	含量/%	气味描述*	阈值 /( $\mu\text{g/L}$ )	FEMA 编号
醇类								
异丙醇	67-63-0	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	3.665	925	0.15	/	/	2929
乙醇	64-17-5	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	3.733	929	0.17	甜味	100000	/
异丁醇	78-83-1	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	7.439	1088	0.14	酒味、溶剂味、苦味	16000	2179
1-戊烯-3-醇	616-25-1	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	9.432	1155	0.07	辛辣味	400	3584
3-甲基丁醇	123-51-3	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	10.842	1202	0.64	麦芽香	300	2057
戊醇	71-41-0	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	12.101	1246	0.09	香料香	4000	2056
4-己烯-1-醇	6126-50-7	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	15.815	1377	0.03	/	/	3430
1-辛烯-3-醇	3391-86-4	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	17.656	1446	0.51	蘑菇味	1	2805
2-乙基己醇	104-76-7	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	18.665	1485	0.19	玫瑰香、草木香	/	3151
芳樟醇	78-70-6	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	20.101	1542	0.43	花香、薰衣草香	6	2635
正辛醇	111-87-5	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	20.347	1552	0.33	强烈的油脂气味和柑橘气息	110	2800
2,3-丁二醇	24347-58-8	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	20.686	1566	0.65	水果香、洋葱味	95	/
3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	29957-43-5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	21.57	1602	0.79	/	/	/

表1(续)

化合物名称	CAS 编号	分子式	保留时间/min	RI	含量/%	气味描述*	阈值/( $\mu\text{g/L}$ )	FEMA 编号
1-壬醇	143-8-8	$\text{C}_9\text{H}_{20}\text{O}$	22.786	1654	0.08	有一些似桔子、甜橙气息	50	/
松油醇	10482-56-1	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	23.525	1685	0.15	紫丁香花香	330	3045
反-2-十一烯醇	75039-84-8	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$	23.991	1705	0.02	具有油脂和甜的花香气	/	/
苯乙醇	60-12-8	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$	28.031	1891	0.08	蜜香、玫瑰、丁香花香	1100	2858
醛类								
3-甲基丁醛	590-86-3	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	3.44	913	0.86	麦芽香	1	/
己醛	66-25-1	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	7.052	1073	0.41	动物油脂味	5	2557
庚醛	111-71-7	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	10.057	1176	0.08	柑橘样香气	3	2540
辛醛	124-13-0	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	13.113	1280	0.08	柠檬样香气	0.7	2797
壬醛	124-19-6	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	16.044	1385	0.42	玫瑰、柑橘样香气	1	2782
反-2-辛烯醛	2548-87-0	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	16.892	1417	0.02	呈脂肪和肉类香气, 并有坚果香味	3	3215
苯甲醛	100-52-7	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	19.144	1503	0.57	樱桃样的水果香	350	2127
2-壬烯醛	2463-53-8	$\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}$	19.63	1523	0.02	具有脂肪气息、青香、蜡香、黄瓜香、甜瓜香	0.08	3213
酮类								
4-羟基-5-甲基-3-丙基-2-己酮	61141-74-0	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	2.473	1002	0.75	有宜人气味	/	/
甲基异丁基甲酮	108-10-1	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	5.117	1121	0.36	有芳香酮气味	/	/
4-甲基-3-戊烯-2-酮	141-79-7	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	8.41	1145	0.05	蜂蜜样气味	/	3368
3-庚酮	106-35-4	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	9.114	1173	0.03	有微香气味	50000	2545
2-庚酮	110-43-0	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	9.967	1271	0.08	类似梨的水果香味	10	2544
3-羟基-2-丁酮, 乙偶姻	513-86-0	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	12.836	1276	0.06	奶油香味	800	2008
2-辛酮	111-13-7	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	12.998	1289	0.10	奶酪、蘑菇样香气	50	2802
6-甲基-2-庚烯-4-酮	49852-35-9	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	13.363	1328	0.05	/	/	/
6-甲基-5-庚烯-2-酮	110-93-0	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	14.465	1381	0.17	甜椒和蘑菇样香气	50	2707
2-壬酮	821-55-6	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	15.925	1497	0.01	果香、甜香、青香和奶油味	5	2785
樟脑(2-茨酮)	464-49-3	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	18.986	1630	0.07	有刺激性特臭味, 味初辛, 后清凉	/	4513
苯乙酮	98-86-2	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$	22.24	2319	0.15	有芳香气和杏仁味	750	2009
1-四氢萘酮	529-34-0	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}$	36.229	1002	0.22	有刺激性气味	/	/
酯类								
乙酸乙酯	141-78-6	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	3.088	<900	5.55	菠萝香、酒香气	1000	2414
丙酸乙酯	105-37-3	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	4.146	951	0.15	菠萝香	10	2456
乙酸丙酯	109-60-4	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	4.475	969	3.12	柔和的水果香味	2000	2925
乙酸仲丁酯	105-46-4	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	4.753	984	1.53	水果香味	6	/
丙酸丙酯	106-36-5	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	6.14	1040	0.1	菠萝香	57	2958
乙酸丁酯	123-86-4	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	6.885	1067	9.37	有梨子果香气味	66	2174
丙二醇甲醚醋酸酯	108-65-6	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_3$	11.3	1218	0.26	/	/	/
甲基丙烯酸丁酯	97-88-1	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	11.384	1221	0.11	有甜味和酯气味	/	/
亚硫酸己基辛酯	/	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}\text{O}_3\text{S}$	12.252	1251	0.01	/	/	/
己酸乙烯基酯	3050-69-9	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	14.181	1318	0.02	/	/	/
甲酸己酯	629-33-4	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	15.02	1348	0.43	水果香味	2	2570
戊酸, 2,2,4-三甲基-3-羧基异丙基异丁基酯	/	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_4$	27.582	1870	0.20	/	/	/

表 1(续)

化合物名称	CAS 编号	分子式	保留时间/min	RI	含量/%	气味描述*	阈值/( $\mu\text{g/L}$ )	FEMA 编号
顺丁烯二酸二丁酯	105-76-0	$\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_4$	31.877	2083	0.05	/	/	/
2-庚烯酸异丁酯	/	$\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{O}_2$	34.403	2218	0.12	/	/	/
邻苯二甲酸二甲酯	131-11-3	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$	35.341	2270	0.10	略有芳香味	/	/
邻苯二甲酸二乙酯	84-66-2	$\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$	36.682	2343	0.47	略有芳香味	/	/
邻苯二甲酸-3-庚基异丁基酯	/	/	39.587	2618	0.64	/	/	/
对苯二甲酸二丁酯	1962-75-0	$\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$	42.294	2768	0.87	/	/	/
对羟基苯甲酸甲酯	99-76-3	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$	48.482	2997	0.29	微有刺激性气味	/	/
对羟基苯甲酸乙酯	120-47-8	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3$	49.697	>3000	6.74	有特殊香味	/	/
酸类								
乙酸	64-19-7	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	17.455	1438	0.38	刺鼻的酸味	180000	2006
甲酸	64-18-6	$\text{CH}_2\text{O}_2$	18.884	1493	0.12	刺鼻的酸味	450000	/
丙酸	79-09-4	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	19.682	1525	0.03	有刺激性气味	20000	2924
异丁酸	79-31-2	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	20.444	1556	0.16	有强烈刺激性气味	50	2222
丁酸	107-92-6	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	21.866	1614	0.02	汗臭味	1000	2221
2-甲基丁酸	116-53-0	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	22.887	1658	0.22	汗臭味	1600	2695
己酸	142-62-1	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	26.753	1831	0.24	汗臭味	10000	2559
2-乙基己酸	149-57-5	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	28.973	1942	0.49	有刺激性气味	/	/
2-乙基-2,5-二甲基己酸	26896-20-8	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	30.986	2037	0.12	/	/	/
辛酸	124-7-2	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	31.877	2100	0.05	稀释后呈水果香气	3000	2799
壬酸	112-5-0	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	33.147	2146	0.38	有草木香气	3000	2784
8-甲基壬酸	5963-14-4	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	35.083	2256	0.04	/	/	/
苯甲酸	65-85-0	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$	37.71	2399	0.08	无气味或微有类似安息香的气味	/	2131
十二烷酸(月桂酸)	143-7-7	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	38.796	2468	0.59	微有月桂油香味	10000	2614
十四酸(肉豆蔻酸)	544-63-8	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	42.419	2775	0.34	/	10000	2764
酚类								
2,6-二叔丁基对甲苯酚	128-37-0	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	28.234	1900	0.13	/	/	/
2-甲氧基-4-乙基苯酚	2785-89-9	$\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2$	30.413	2108	0.04	木香、烟味、香辛料和甜香兰素香气	50	2671
2,4-二叔丁基苯酚	96-76-4	$\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}$	35.814	2296	1.64	/	/	/
杂环类								
反- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙基四氢化-2-咪喃甲醇	34995-77-2	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	17.36	1434	0.15	花香味	/	/
3-咪喃甲醛	498-60-2	$\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$	17.691	1447	0.61	/	/	/
3,6-二氢-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃	1786-8-9	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	18.028	1460	0.07	花香味	/	/
2-乙酰基咪喃	1192-62-7	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$	18.753	1488	0.06	甜的、杏仁、坚果、烤香、烟熏香	10000	3163
2-咪喃甲醇	98-0-0	$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$	22.602	1646	0.05	特殊的苦辣气味	2000	/
2-乙酰基吡咯	1072-83-9	$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$	29.187	1947	0.05	核桃、甘草、烤面包、炒榛子和鱼样香气	170000	3202
2-乙基-3-羟基-4-吡喃酮(乙基麦芽酚)	4940-11-8	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_3$	30.043	1990	24.11	焦糖香味和甜的水果样香气	35000	3487
含硫化合物类								
二甲基二硫	624-92-0	$\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$	6.708	1061	0.08	恶臭味	0.16	3536

表 1(续)

化合物名称	CAS 编号	分子式	保留时间/min	RI	含量/%	气味描述*	阈值/( $\mu\text{g/L}$ )	FEMA 编号
二甲基三硫	3658-80-8	$\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_3$	15.42	1362	0.05	恶臭味	0.01	3275
其他化合物类								
2,2-二甲基-癸烷	17302-37-3	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	4.313	960	0.68	/	/	/
2,2,4,4-四甲基辛烷	62183-79-3	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	5.427	1014	0.14	/	/	/
1,3,5-环庚三烯	544-25-2	$\text{C}_7\text{H}_8$	5.845	1029	0.13	/	/	/
$\beta$ -蒎烯	127-91-3	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	7.659	1096	0.10	特有的松节油香气, 干燥木材和松脂气味	140	2903
1,4-桉叶素	470-67-7	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	9.847	1169	0.24	柔和的香料风味		3658
右旋萜二烯	5989-27-5	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	10.389	1187	0.03	有柑橘、薄荷的香气	/	/
桉叶油醇(桉树脑)	470-82-6	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	10.664	1196	0.18	薄荷气味	/	/
1,3,5-三甲基苯	108-67-8	$\text{C}_9\text{H}_{12}$	12.722	1267	0.04	有特殊气味	/	/
2-溴十二烷	13187-99-0	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{Br}$	15.565	1368	0.03	/	/	/
正十四烷	629-59-4	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	16.46	1400	0.17	/	/	/
3,5,5-三甲基-2-己烷	26456-76-8	$\text{C}_9\text{H}_{18}$	18.512	1479	0.10	/	/	/
正十六烷	544-76-3	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	19.064	1500	0.08	/	/	/
1-乙酰基-2-甲基-1-环戊烯	3168-90-9	$\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}$	20.961	1577	0.06	/	/	/
9-甲基十九烷	13287-24-6	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	23.864	1700	0.05	/	/	/

注: \*<http://www.flavornet.org/flavornet.html> 和 <http://www.perflavor.com/index.html>; FEMA 编号是美国香料和香精制造者协会(Flavor & Extract Manufacturers Association, 简称 FEMA)对香料的编号, 是安全的食品香料; /未见文献报道。

果实香气是挥发性有机化合物的混合物协同作用的结果<sup>[18]</sup>。在果实成熟过程中由大量非挥发性植物前体经多种生化途径转化, 经分解代谢形成挥发性化合物, 例如, 植物中的挥发性醇类来自脂肪酸的氧化和氨基酸的降解。挥发性化合物是消费者感知水果品质的主要决定因素之一<sup>[20]</sup>。由表 1 可知, 鉴别出包括醇类 17 种、醛类 8 种、酮类 13 种、酯类 20 种、酸类 15 种、酚类 3 种、杂环化合物 7 种、含硫化合物 2 种和 14 种其他类化合物, 共计 99 种挥发性化合物。这些挥发性化合物中包括我国国家标准 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》规定的允许使用的食品用合成香料有 53 种, 其中, 醇类 12 种、醛类 7 种、酮类 9 种、酯类 6 种、酸类 11 种、酚类 1 种、杂环化合物 3 种、含硫化合物 2 种和其他类化合物 2 种。如图 1 所示, 挥发性物质的含量大小依次为酯类>杂环类>醇类>酸类>醛类>酮类>其他类>含硫类>酚类。其中, 杂环类和酯类香气成分面积百分比含量分别为 24.2%和 18.7%。

黑果枸杞中的杂环类化合物包含呋喃、吡咯和吡喃酮类化合物, 其中 2-乙基-3-羟基-4-吡喃酮(乙基麦芽酚)含量最高, 达 24.1%。乙基麦芽酚是一种安全可靠食品添加剂, 具有甜蜜的焦糖香气<sup>[21-22]</sup>。作为一种香味改良剂和增香剂, 加入微量就可以使产品的香味更加浓郁, 在烟草、

食品、饮料、香精、果酒、日用化妆品生产领域的应用广泛, 对食品风味的改善和增强具有显著效果, 对甜食起着增甜作用, 且能延长食品储存期。2-乙酰基呋喃和 2-乙酰基吡咯也都有特殊的香气, 含量均不高。

酯类由于易于挥发且容易被人的嗅觉感知, 是水果中最重要风味化合物之一<sup>[20,23]</sup>。成熟水果释放出的怡人香气主要为果香。果香型(fruitynote)化合物是指那些有成熟水果香气且伴有甜蜜气味的物质。低分子量的酯类化合物如乙酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸丁酯和己酸乙酯等呈果香, 黑果枸杞中乙酸丁酯和乙酸乙酯的含量均较高, 分别为 9.37%和 5.55%。这两种低分子量酯类化合物也是甜瓜<sup>[17]</sup>、葡萄、香蕉和苹果等水果中含量较高的特征香气成分<sup>[20]</sup>。

醇类化合物通常呈现出令人愉快的香甜味。样品中醇类化合物总面积百分比含量为 4.52%, 2,3-丁二醇、3-甲基丁醇、1-辛烯-3-醇、芳樟醇、乙醇和苯乙醇的含量相对较高。3-甲基丁醇有苹果白兰地香气和辛辣味, 也是我国 GB 2760—2014 允许使用的食用香料, 主要用以配制苹果和香蕉型香精。苯乙醇存在于甜瓜、柑橘、苹果、杏仁、香蕉、桃子、梨子、草莓等水果中<sup>[20]</sup>, 具有清甜的玫瑰花香气, 可以作为香精香料使用。1-辛烯-3-醇具有新鲜的蘑菇味。芳樟醇又名沉香醇, 属于链状无环单萜醇类化合物, 有似铃兰或百合花香, 也常以乙酸酯形式存在于植物中, 是一种常用香料, 也可作为良好的抗白血病药物<sup>[24]</sup>。

本研究共鉴别出的 15 种酸类化合物中, 除苯甲酸外都是脂肪酸, 含量较高的是十二烷酸, 这种化合物微有月桂油香味, 而短链脂肪酸甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、2-甲基丁酸和己酸具有刺激性气味和汗臭样的气味, 辛酸和壬酸经稀释后呈水果样香气和草木香气<sup>[25-26]</sup>。

8 种醛类化合物含量仅为 2.46%, 具有不同的香味, 有 7 种是天然香料, 可以用作食品添加剂。其中含量较高的有 3-甲基丁醛、苯甲醛、壬醛和己醛。3-甲基丁醛具有麦芽清香, 苯甲醛、壬醛都具有果香或花香, 己醛呈青草香, 均为天然存在于果实中的化合物<sup>[16-17]</sup>, 也存在于许多发酵食品中<sup>[27]</sup>。

13 种酮类化合物的含量都比较低, 有 9 种可以作为香精香料, 总含量仅为 0.72%, 含量较高的有 6-甲基-5-庚烯-2-酮、苯乙酮和 2-辛酮。其中, 2-辛酮天然存在于香蕉和柑橘类水果中, 具有奶酪和蘑菇样的气味, 2-壬酮存在于草莓和干酪中<sup>[20]</sup>。

样品中仅有二甲基二硫和二甲基三硫 2 种含硫化合物, 含量不高, 具有恶臭味。这 2 种化合物也存在于葡萄酒和酱油等其他酿造产品中, 是由含硫蛋白质酶解产生的<sup>[27]</sup>。

在鉴别出的 3 种酚类化合物中, 2-甲氧基-4-乙基苯酚呈香辛料和草药似的香气, 含量不高。这种化合物也是发酵食品中非常重要的香气成分<sup>[27]</sup>, 存在于酿造酱油中。

其他类化合物总体含量不高, 主要包含烷烃类化合物。其中, 精制的  $\beta$ -蒎烯可用于日化香精的调配和为其他工业品的加香。桉树脑具有薄荷味, 也是桉树油的活性成分, 具有多种药理作用<sup>[24]</sup>。1,4-桉叶素和  $\beta$ -蒎烯均为可以使用的食品用烃类合成香料。

## 2.2 呈味物质的含量分析

### 2.2.1 氨基酸的含量分析

黑枸杞中的氨基酸如表 2 所示。氨基酸是食品中重要的营养物质, 是影响食品品质的一类重要化合物, 也是水果风味和功能的主要贡献者。研究证实游离氨基酸对食品的滋味有显著影响, 尤其是对鲜味和甜味有重要贡献<sup>[19]</sup>。它们大体上可以被分成呈鲜味的氨基酸(Glu 和 Asp)、呈甜味的氨基酸(Thr、Ser、Gly、Ala、Pro 和 Lys)以及呈苦味的氨基酸(Trp、Phe、Arg、Tyr、Leu、Ile、Val、Met 和 His)。

总氨基酸(total amino acids, TAA)含量为 1.41 g/100 g, 其中鲜味氨基酸 Glu 和 Asp 的含量最高, 总量达到 0.48 g/100 g, 尤其是 Glu, 其含量达 0.25 g/100 g, 鲜味氨基酸占 TAA 含量的 34%。甜味氨基酸和苦味氨基酸的含量分别为 0.50 g/100 g 和 0.43 g/100 g, 分别占 TAA 含量的 35% 和 31%。芳香族氨基酸(Tyr 和 Phe)的含量为 0.091 g/100 g。人体必需氨基酸(essential amino acid, EAA)含量(Thr、Val、Met、Ile、Leu、Phe、Lys 和 Trp)占 TAA 的相对含量为 27.4%。鲜味氨基酸是黑枸杞呈现鲜爽滋味属性的主要来源。

表 2 黑枸杞中氨基酸的含量  
Table 2 Concentration of amino acids in *Lycium ruthenicum* Murr.

氨基酸名称	英文缩写	氨基酸的味	含量/(g/100 g)
谷氨酸	Glu	鲜味	0.25
天冬氨酸	Asp	鲜味	0.23
苏氨酸	Thr	甜味	0.049
丝氨酸	Ser	甜味	0.079
甘氨酸	Gly	甜味	0.058
丙氨酸	Ala	甜味	0.19
脯氨酸	Pro	甜味	0.070
赖氨酸	Lys	甜味	0.053
苯丙氨酸	Phe	苦味	0.059
精氨酸	Arg	苦味	0.12
酪氨酸	Tyr	苦味	0.032
亮氨酸	Leu	苦味	0.077
异亮氨酸	Ile	苦味	0.042
缬氨酸	Val	苦味	0.060
甲硫氨酸	Met	苦味	0.015
组氨酸	His	苦味	0.027
总计			1.41

### 2.2.2 有机酸的含量分析

有机酸是天然的食物成分, 大多具有爽快的酸味, 影响其感官特性, 如风味、颜色和香气, 及健康特性如抗氧化和抗菌活性<sup>[25-26]</sup>。它们自然地存在于不同的水果和蔬菜中, 是水果有氧代谢所必需的, 是影响水果品质、感官特性和酸度的风味成分<sup>[28]</sup>。水果的酸味和口感与有机酸组分的种类和构成比例有关。有机酸组分与含量差异使不同类型果实各具独特风味。水果中的有机酸以苹果酸或柠檬酸为主<sup>[20,25,28-30]</sup>。与大多数水果一样, 柠檬酸和苹果酸是黑枸杞可食组织中最丰富的有机酸, 是决定其味感的重要成分。黑枸杞原浆中的苹果酸含量为 0.011 g/100 g, 柠檬酸含量为 0.11 g/100 g。与柑橘、菠萝、杨梅等水果相同, 属于柠檬酸优势型果实<sup>[31]</sup>。柠檬酸酸味爽口, 苹果酸酸味比柠檬酸还强, 在口中呈味时间也长于柠檬酸, 常用作饮料和果冻加工品的增酸剂。

### 2.2.3 可溶性糖的含量分析

糖类物质是水果的主要滋味物质之一, 赋予果实甘醇的口感滋味<sup>[29]</sup>。可溶性糖既是水果中的重要营养成分,

也是衡量果实甜度和风味品质的重要指标,可溶性糖组分的种类和含量比例是决定水果甜度与风味品质的关键因素。研究证明多数水果以果糖、蔗糖和葡萄糖中的某一种为主,不同种类甚至同一种类不同品种的水果,可溶性糖构成存在一定的差异。果糖甜度(1.75)高于蔗糖和葡萄糖甜度(1和0.7)<sup>[32]</sup>。测定结果显示黑果枸杞中含有果糖0.0885 g/100 g,蔗糖0.0217 g/100 g,葡萄糖含量很少。说明黑果枸杞果实总糖含量主要取决于果糖和蔗糖的含量,并且与苹果、梨、草莓等水果相同,也属于果糖积累型果实<sup>[31]</sup>。

图2是黑果枸杞味觉指标雷达图,可见其味道丰富,甜味和鲜味大于苦味和酸味,以甘甜为主,符合藏医学经典《晶珠本草》中对黑果枸杞味道“性甘”的描述。

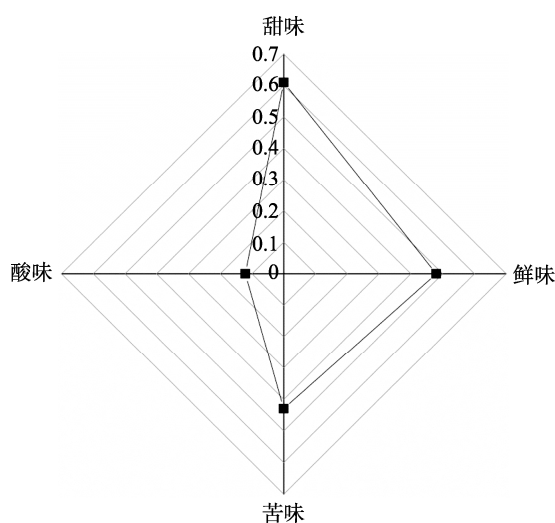


图2 黑果枸杞味觉指标雷达图

Fig.2 Radar map of taste index of *Lycium ruthenicum* Murr.

### 3 结论与讨论

风味是水果品质的重要指标之一,研究结果证明黑果枸杞中存在多种影响其风味品质的香气成分,这些化合物的协同作用使黑果枸杞呈现出特有的果香味。通常,不是所有鉴别到的挥发性物质都对香气具有贡献,贡献的显著性取决于果浆/汁中呈香化合物的浓度及其气味阈值<sup>[25]</sup>,阈值越低/小,越容易被人体感知,并对果浆/汁样品的香气具有贡献。如表1所示,在水中阈值较低的化合物为1-辛烯-3-醇(1 μg/L)、芳樟醇(6 μg/L)、3-甲基丁醛(1 μg/L)、己醛(5 μg/L)、庚醛(3 μg/L)、辛醛(0.7 μg/L)、壬醛(1 μg/L)、反-2-辛烯醛(3 μg/L)、2-壬烯醛(0.08 μg/L)、2-壬酮(5 μg/L)、乙酸仲丁酯(6 μg/L)、甲酸己酯(2 μg/L)、二甲基二硫(0.16 μg/L)和二甲基三硫(0.01 μg/L),它们的气味阈值均低于10 μg/L,并且黑果枸杞中1-辛烯-3-醇、芳樟醇、3-甲基丁醛、己醛、壬醛、乙酸仲丁酯和甲酸己酯的相对含量较高,由此推断这些化合物对果实香气的贡献较大。此外,呈果香味的乙

酸丁酯含量较高而阈值也较低。2-庚酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、丙酸乙酯、2-甲氧基-4-乙基苯酚等主要风味成分尽管含量很低,但因它们的香气阈值相对较低,对黑果枸杞果实的综合风味也具有非常重要的影响。

此外,黑果枸杞中还含有高达0.48 g/100 g的鲜味氨基酸和0.50 g/100 g的甜味氨基酸,苹果酸和柠檬酸的含量为0.011 g/100 g和0.11 g/100 g,果糖和蔗糖的含量为0.0885 g/100 g和0.0217 g/100 g。黑果枸杞属于果糖积累型和柠檬酸优势型果实,呈味物质中甜味物质总含量最高,总含量(包括甜味氨基酸)为0.610 g/100 g。

研究结果为黑枸杞产品的品质评价提供了理论基础,对黑果枸杞的鲜果消费、产品开发及选育风味多样的黑果枸杞品种具有一定的指导意义。

### 参考文献

- [1] CHEN S, ZENG Z, HU N, *et al.* Simultaneous optimization of the ultrasound-assisted extraction for phenolic compounds content and antioxidant activity of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit using response surface methodology [J]. *Food Chem*, 2018, 242: 1-8.
- [2] LIU ZG, LIU BL, KANG HL, *et al.* Subcritical fluid extraction of *Lycium ruthenicum* seeds oil and its antioxidant activity [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2019, 54(1): 161-169.
- [3] PENG YJ, YAN YM, WAN P, *et al.* Effects of long-term intake of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murray on the organism health and gut microbiota *in vivo* [J]. *Food Res Int*, 2020, 130: 108952.
- [4] WANG H, LI J, TAO W, *et al.* *Lycium ruthenicum* studies: Molecular biology, phytochemistry and pharmacology [J]. *Food Chem*, 2018, 240: 759-766.
- [5] LIU B, XU QQ, SUN YJ. Black goji berry (*Lycium ruthenicum*) tea has higher phytochemical contents and *in vitro* antioxidant properties than red goji berry (*Lycium barbarum*) berry tea [J]. *Food Qual Saf*, 2020, 4(4): 193-201.
- [6] WETTERS S, HORN T, NICK P. Goji who? morphological and DNA based authentication of a "Superfood" [J]. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 1859.
- [7] SÁ RR, CALDAS CJ, SANTANA AD, *et al.* Multielemental/centesimal composition and determination of bioactive phenolics in dried fruits and capsules containing Goji berries (*Lycium barbarum* L.) [J]. *Food Chem*, 2018, 273: 15-23.
- [8] ZHAO XH, DONG B, LI P, *et al.* Fatty acid and phytosterol composition, and biological activities of *Lycium ruthenicum* Murr. seed oil [J]. *J Food Sci*, 2018. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14328>
- [9] LIU P, LI WR, HU ZZ, *et al.* Isolation, purification, identification, and stability of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 126: 109334.
- [10] ZHANG G, CHEN SS, ZHOU W, *et al.* Anthocyanin composition of fruit extracts from *Lycium ruthenicum* and their protective effect for gouty arthritis [J]. *Ind Crop Prod*, 2019, 129: 414-423.
- [11] YAN YM, PENG YJ, TANG JL, *et al.* Effects of anthocyanins from the fruit of *Lycium ruthenicum* Murray on intestinal microbiota [J]. *J Funct Foods*, 2018, 48: 533-541.



- [12] SKENDERIDIS P, LAMPAKIS D, GIAVASISI, *et al.* Chemical properties, fatty acid composition, and antioxidant activity of goji berry (*Lycium barbarum* L. and *Lycium chinense* Mill.) fruits [J]. *Antioxidants*, 2019, 8: 1–13.
- [13] KULCZYNSKI B, GRAMZA-MIXHALOWSKA A. Goji berry (*Lycium barbarum*): Composition and health effects—A review [J]. *Pol J Food Nutr Sci*, 2016, 66(2): 67–75.
- [14] WANG YB, LIANG XB, GUO SA, *et al.* Evaluation of nutrients and related environmental factors for wolfberry (*Lycium barbarum*) fruits grown in the different areas of China [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2019, 86: 103916.
- [15] MASCI A, CARRADORISS S, CASSADEI MA, *et al.* *Lycium barbarum* polysaccharides: Extraction, purification, structural characterisation and evidence about hypoglycaemic and hypolipidaemic effects. A review [J]. *Food Chem*, 2018, 254: 377–389.
- [16] GRIMM JE, STEINHAUS M. Characterization of the major odor-active compounds in jackfruit pulp [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(20): 5838–5846.
- [17] SHI JD, WU HB, XIONG M, *et al.* Comparative analysis of volatile compounds in thirty nine melon cultivars by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2020, 316: 126342.
- [18] COZZOLINO R, DE GIULIO B, PETRICCIONE M, *et al.* Comparative analysis of volatile metabolites, quality and sensory attributes of *Actinidia chinensis* fruit [J]. *Food Chem*, 2020, 316: 126340.
- [19] GHIRRI A, BIGNETTI E. Occurrence and role of umami molecules in foods [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2012, 63: 871–881.
- [20] 汤泽波, 冯涛, 庄海宁. 大宗水果风味物质的研究进展[J]. *中国果菜*, 2020, 40(6): 2–10.  
TANG ZB, FENG T, ZHUANG HN. Research progress of flavor compounds in bulk fruits [J]. *China Fruit Veget*, 2020, 40(6): 2–10.
- [21] 易封萍, 毛海舫. 合成香料工艺学 第2版[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2016.  
YI FP, MAO HF. *Synthetic Perfumery Technology 2th Ed* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2016.
- [22] 穆旻, 郑福平, 孙宝国, 等. 麦芽酚和乙基麦芽酚的合成及其在食品工业中的应用[J]. *中国食品学报*, 2006, (1): 407–410.  
MU M, ZHENG FP, SUN BG, *et al.* The synthesis of maltol and ethylmaltol and the application in food industry [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2006, (1): 407–410.
- [23] 孙嘉卿, 冯涛, 宋诗清, 等. 果蔬风味物质形成的生物化学基础[J]. *中国果菜*, 2020, 40(6): 10–17.  
SUN JQ, FENG T, SONG SQ, *et al.* Biochemical basis for the formation of flavor substances in fruits and vegetables [J]. *China Fruit Veget*, 2020, 40(6): 10–17.
- [24] SCURRIA A, SCIORTINO M, PRESENTATO A, *et al.* Volatile compounds of lemon and grapefruit Integro Pectin [J]. *Molecules*, 2020, 26(1): 51–51.
- [25] GEMERT LJV. Odour thresholds-compilations of odour threshold values in air, water and other media [M]. The Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [26] ZHU YP, ZHANG FF, ZHANG CN, *et al.* Dynamic microbial succession of Shanxi aged vinegar and its correlation with flavor metabolites during different stages of acetic acid fermentation [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 8612–8622.
- [27] DIEZ-SIMON C, EICHELSHEIM C, JACOBSD M, *et al.* Stir bar sorptive extraction of aroma compounds in soy sauce: Revealing the chemical diversity [J]. *Food Res Int*, 2021, 144: 110348.
- [28] UZHEL AS, BORODDINA AN, GORBOVSKAYA AV, *et al.* Determination of full organic acid profiles in fruit juices and alcoholic beverages using novel chemically derivatized hyperbranched anion exchanger [J]. *J Food Compos Anal*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103674>
- [29] COELHO EM, PADILHA CS, MISKINIS GA, *et al.* Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil [J]. *J Food Compos Anal*, 2018, 66: 160–167.
- [30] ROBLES A, FABJANOWICZ M, CHMIEL T, *et al.* Determination and identification of organic acids in wine samples. Problems and challenges [J]. *TrAC Trends Anal Chem*, 2019, 120: 1–13.
- [31] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. *果树学报*, 2015, 32(2): 304–312.  
ZHENG LJ, NIE JY, YAN Z. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits [J]. *J Fruit Sci*, 2015, 32(2): 304–312.
- [32] 郑丽静, 聂继云, 闫震, 等. 苹果可溶性糖组分及其含量特性的研究[J]. *园艺学报*, 2015, 42(5): 950–960.  
ZHENG LJ, NIE JY, YAN Z, *et al.* Studies on the characteristics of the composition and content of soluble sugars in apple fruit [J]. *Acta Horti Sin*, 2015, 42(5): 950–960.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

## 作者简介



周琪乐, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品功能因子和中药药效物质研究。  
E-mail: zqllzmy@163.com