

陈万超, 李文, 吴迪, 等. 11 个主栽品种香菇可溶性糖和有机酸测定及滋味品质评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 273–279.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110296

CHEN Wanchao, LI Wen, WU Di, et al. Determination of Soluble Sugar and Organic Acid Components and Evaluation of Taste Quality of 11 Main Cultivars of *Lentinula edodes* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 273–279. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110296

· 分析检测 ·

11 个主栽品种香菇可溶性糖和有机酸测定及滋味品质评价

陈万超¹, 李文¹, 吴迪¹, 张忠¹, 周帅¹, 杨焱^{1,*}, 张劲松¹, 于海龙^{1,2}

(1. 上海市农业科学院食用菌研究所, 农业部南方食用菌资源利用重点实验室, 国家食用菌工程技术研究中心, 国家食用菌加工技术研发分中心, 上海市农业遗传育种重点开放实验室, 上海 201403;
2. 吉林农业大学食药菌教育部工程研究中心, 吉林长春 130118)

摘要: 本研究采用离子色谱法和高效液相色谱法分别对 11 个主要栽培品种的香菇子实体中可溶性糖和有机酸组分进行定量分析, 并结合聚类分析和因子分析对其滋味品质进行评价。分析结果显示 11 个品种香菇子实体中可溶性糖中可检测到甘露醇、海藻糖、阿拉伯糖和葡萄糖 4 种, 以甘露醇和海藻糖为主, 品种 241-4、L9015 和 L135 含量较高; 有机酸以琥珀酸和苹果酸为主, 241-4 含量最高。滋味品质评价基于上述结果和前期研究中的各品种鲜味浓度值 (EUC) 数据, 聚类结果得到两类, 分别是申香 8 号、申香 10 号、武香 1 号、J868、Cr04、939 和庆科 20 为 A 类, EUC、柠檬酸、酒石酸、乙酸和甘露醇贡献突出; L808、241-1、L9015 和 L135 为 B 类, 富马酸、苹果酸、海藻糖和琥珀酸贡献突出; 因子分析 (Factor analysis method) 得到 3 个隐性因子, 有机酸高感受因子、有机酸中等感受因子和甜味因子, 综合评价结果显示 B 类排序相对靠前, 有机酸高感受因子贡献较大, 存在不易接收风险; 而 A 类排序靠后, 属于滋味易接收区, 且 EUC 鲜味指标较高。

关键词: 香菇, 可溶性糖, 有机酸, 热图分析, 因子分析, 滋味品质

中图分类号: TS202.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)07-0273-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110296

本文网刊:



Determination of Soluble Sugar and Organic Acid Components and Evaluation of Taste Quality of 11 Main Cultivars of *Lentinula edodes*

CHEN Wanchao¹, LI Wen¹, WU Di¹, ZHANG Zhong¹, ZHOU Shuai¹,
YANG Yan^{1,*}, ZHANG Jinsong¹, YU Hailong^{1,2}

(1. Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture, National Engineering Research Center of Edible Fungi, National R & D Center for Edible Fungi Processing, Key Laboratory of Agricultural Genetics and Breeding of Shanghai, Shanghai 201403, China;
2. Engineering Research Center of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: In this study, the soluble sugar and organic acid components of 11 main cultivars of *Lentinus edodes* were determined and analyzed by ion chromatography and high performance liquid chromatography, and then the taste quality was evaluated by cluster analysis and factor analysis. The results showed that four kinds of soluble sugar, mannitol, trehalose, arabinose and glucose, in which mannitol and trehalose were main. The total contents of 241-4, L9015 and L135 were relatively high. The organic acids were mainly succinic acid and malic acid, and the total contents of 241-4 were

收稿日期: 2020-12-02

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (31901812); 上海市农业科学院卓越团队建设计划 (2017A-06)。

作者简介: 陈万超 (1987-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食用菌风味分析评价及调味品开发, E-mail: chenwanchao@saas.sh.cn。

* 通信作者: 杨焱 (1970-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 食药菌深加工, E-mail: yangyan@saas.sh.cn。

highest in the cultivars. The taste evaluation was based on the above results and EUC data of previous research. According to the clustering analysis, Shenxiang-8, Shenxiang-10, Wuxiang-1, J868, Cr04, 939 and Qingke-20 were classified as class A, in which EUC, citric acid, tartaric acid, acetic acid and mannitol contributed significantly; L808, 241-1, L9015 and L135 were classified as class B, in which fumaric acid, malic acid, trehalose and succinic acid have made outstanding contributions. And the factor analysis was used to obtain three recessive factors, et al, high sensitivity factor of organic acid, medium sensitivity factor of organic acid and sweetness factor. The comprehensive evaluation results showed that class B was relatively high in the ranking, and the contribution of high sensitivity factor of organic acid was relatively large, which was not easy to receive; while class A was relatively low in the ranking, which was easy to receive, and EUC fresh index was relatively high.

Key words: *Lentinula edodes*; soluble sugar; organic acid; heatmap analysis; factor analysis; taste quality

香菇(*Lentinula edodes*)属于真菌界(Fungi),担子菌门(Basidiomycota),伞菌纲(Agaricomycetes),伞菌目(Agaricales),光茸菌科(Omphalotaceae),香菇属(*Lentinula*),具有悠久的栽培历史,南宋嘉定二年(公元 1209 年),《龙泉县志》记载“大率厚而小者,香味俱胜”^[1-3]。香菇是我国产量最大的食用菌,2018 年产量为 1043.12 万吨,占食用菌总产量的 27.15%^[4],它营养丰富,食药价值高,且香气独特,味道鲜美,深受广大消费者的欢迎^[5-6]。

风味作为衡量香菇品质的重要指标之一,一直是许多学者关注的重点。风味差异的内在体现,即呈味物质的差异,其“结构”(如含量、比例等)不同决定其风味“性质”不同。风味主要包括挥发性物质(气味)和非挥发性成分(滋味),前期研究中通过分析不同品种香菇子实体的 SPME-GC-MS 结果,提取 42 个共有成分,建立了特征指纹图谱和香气评价阈值^[7];对于滋味评价,前期工作仅对比分析了这些品种基于呈鲜氨基酸和 5'-核苷酸计算的等鲜浓度(Equivalent umami concentration, EUC)的差异^[8-9],缺乏“糖酸”分析,无法实现其全面良好的滋味评价。而子实体中可溶性糖和有机酸的含量、种类及其组成比例亦是决定其内在滋味品质的重要因素,因此,本文利用高效液相色谱和阴离子色谱法分别对 11 个不同品种香菇子实体的有机酸、可溶性糖组分含量进行分析研究,结合前期实验计算得到的 EUC 结果、热图分析(Heatmap analysis)、主成分分

析(PCA)和因子分析(Factor analysis)等,进行良好滋味品质的评价,以期今后开展不同品种资源的风味评价及香菇产品深加工提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验选取国内主产区广泛栽培的 11 个香菇品种(如表 1 所示)作为研究对象,菌种由上海市农业科学院食用菌研究所、浙江省丽水市农科院食用菌研究所等单位提供,栽培地浙江丽水市石牛镇,均采用常规配方(79% 木屑,20% 麸皮,1% 石膏粉)。

岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖醇、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、木糖、核糖、甘露醇、海藻糖、酒石酸、苹果酸、乙酸、柠檬酸、抗坏血酸、富马酸、琥珀酸 标准品, Sigma 公司;甲醇、乙腈 色谱级,美国 Dikma 公司;其他试剂 化学纯,国药集团化学试剂有限公司。

DKY-II 恒温调速回转式摇床 上海杜科自动化设备有限公司;DHG-9240A 型鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;Allegra 15R Centrifuge 离心机 美国 Beckman 公司;BF00A 粉碎机 上海淀久机械制造有限公司;旋转蒸发仪 瑞士 BUCHI 公司;ELGA 超纯水设备 美国 ULTRA 公司;ICS2500 型离子色谱仪、CarboPac PA-20 阴离子交换分析柱 美国 Dionex 公司;Green ODS-AQ C₁₈ 色谱柱 上海易创仪器分析有限公司;Waters 600 高效液相色谱仪、2996 型二极管阵列检测器 美国 Waters 公司。

表 1 香菇栽培品种信息

Table 1 *L. edodes* cultivar information

编号	名称	品种认定编号	谱系	菌种来源
1	申香8号	2007001	野生种70与苏香单孢杂交	上海市农业科学院食用菌研究所
2	申香10号	2007002	野生种L26与苏香非对称杂交	
3	L135	2007005	国外引进品种系统选育	
4	Cr04	2007008	品种7917与当地种L21单孢杂交	
5	L9015	2007009	241, 8210, 日丰34榎木分离	浙江省丽水市农科院食用菌研究所
6	241-4	2007010	品种241系统选育	
7	武香1号	2007011	国外引进品种系统选育	
8	L808	2008009	农户处分离获得	
9	939	非国审品种	人工选育	浙江省庆元县食用菌研究中心
10	庆科20	非国审品种	LL9015自然突变品种	
11	J868	非国审品种	未知	浙江丽水市大山菇业

1.2 实验方法

1.2.1 香菇子实体栽培、样品采集及预处理 11 个香菇品种栽培方法参照谭琦等^[10]《香菇栽培实用技术》中丽水香菇栽培方法。样本均为采收的第二茬香菇子实体,按照中华人民共和国农业行业标准《NY/T 1061-2006 香菇等级规格》^[11]选取特级鲜香菇,于(50±2)℃烘干至含水量低于 10%,将烘干的样品分别粉碎过 60 目筛后封装,置于干燥器中备用。

1.2.2 可溶性糖测定 参考周帅等^[12]、LIU 等^[13]的提取方法,精确称取 500 mg 样品加入 30 mL 80%乙醇,摇床 150 r/min 25℃震荡 45 min,21000 r/min 离心 15 min,将滤渣用 80%乙醇冲洗 3 次,取滤液于 55℃真空旋转蒸发去除乙醇,超纯水定容至 25 mL,然后 16000 r/min 离心 10 min 后进行一定浓度的稀释,上清液过 0.22 μm 混合纤维素酯(MCE)微孔滤膜上离子色谱仪测试。

色谱条件^[13]: CarboPac PA-20 色谱柱(4 mm×250 mm),进样量 25 μL,流速 0.4 mL/min,柱温 30℃,流动相为 0.48 mol/L NaOH。通过标准品的出峰时间及峰面积建立的标准曲线计算样品中相应物质的含量,甘露醇: $Y=90.04X-0.0080$, $R^2=0.9999$;海藻糖: $Y=119.7X+0.1811$, $R^2=0.9999$;阿拉伯糖醇: $Y=349.2X+0.3481$, $R^2=0.9989$;葡萄糖: $Y=21.13X+0.6016$, $R^2=0.9929$ 。每个样品做 3 次平行试验。

1.2.3 有机酸测定 参考李巧珍等^[14]、余昌霞等^[15]对食用菌有机酸的测定方法,准确称取 500 mg 香菇干粉,加入 50 mL 0.1 mol/L 盐酸,60℃震荡 60 min 提取有机酸。待冷却后将提取液 16000 r/min 离心 15 min,上清液过 0.22 μm MCE 微孔滤膜于 Waters 600 高效液相色谱仪检测。

色谱条件: Green ODS-AQ C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相为 10 mmol/L KH₂PO₄ 缓冲盐, pH2.8, 采用等浓度洗脱模式,流速 1.0 mL/min,紫外检测波长为 210 nm,柱温 30℃,进样量 10 μL。

通过标准品的出峰时间及峰面积建立的标准曲线计算样品中相应物质的含量,酒石酸: $Y=14267X-26912$, $R^2=0.9986$;苹果酸: $Y=10360X-21810$, $R^2=0.9816$;乙酸: $Y=9723.9X+2655.2$, $R^2=0.9836$;柠檬酸: $Y=17161X-37799$, $R^2=0.9939$;抗坏血酸: $Y=13251X+14326$, $R^2=0.9977$;富马酸: $Y=10637X-24685$, $R^2=0.9890$;琥珀酸: $Y=1363.9X-7720.4$, $R^2=0.9934$ 。每个样品做 3 次平行试验。

1.3 数据处理

利用 Excel、IBM SPSS Statistics 20 和 Matlab 7.0 进行数据处理和分析,采用 Tukey HSD 检验进行显著性分析,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同品种香菇中可溶性糖含量分析

可溶性糖是构成香菇滋味的重要物质,其可与氨基酸等物质相互作用,从而影响加工后甜香、焦糖香等风味的产生^[16]。11 个品种香菇中可溶性糖含量如表 2 所示,结果显示共检出 4 种可溶性糖,包括甘露醇、海藻糖、阿拉伯糖醇和葡萄糖,与段秀辉等^[17]的研究结果基本一致(除了葡萄糖)。四种可溶性糖总量(88.10~131.6 mg/g)以 L9015 最高,其次 L135。甘露醇在可溶性糖中含量最高(52.52~84.66 mg/g),占总量 46%~82%,以品种 L9015、J868 和 939 含量较高(三者差异不显著($P>0.05$)),但与其他品种香菇中含量差异显著($P<0.05$)),其次是申香 8 号和 10 号,而 241-4 含量最低;海藻糖含量(7.92~45.51 mg/g)以 241-4、L9015 和 L135 含量较高,其次是 L808,而 J868 含量最低;阿拉伯糖醇含量(6.92~24.51 mg/g)以申香 8 号含量最高,其次是 J868 和武香 1 号,而 939 和 L9015 含量最低;葡萄糖含量(0.09~6.33 mg/g)以 Cr04 含量最高,并且远高于其他品种,其次 L135 品种,而 939 和 L9015 含量最低。

2.2 不同品种香菇中有机酸组分含量分析

在食用菌生长过程中,有机酸与合成酚类、氨基

表 2 不同品种香菇样品可溶性糖含量(n=3, mg/g)

Table 2 Contents of soluble sugars in *L. edodes* samples of different cultivars(n=3, mg/g)

品种	含量				
	阿拉伯糖醇	海藻糖	甘露醇	葡萄糖	总量
申香8号	24.51±2.13 ^a	17.71±2.61 ^d	70.15±2.93 ^b	0.23±0.04 ^e	112.6±3.98 ^c
申香10号	14.09±1.76 ^{de}	28.57±2.67 ^c	70.69±2.18 ^b	0.34±0.01 ^f	113.7±3.54 ^c
L135	17.46±1.32 ^c	43.26±3.11 ^a	59.82±2.19 ^d	2.87±0.10 ^b	123.4±2.89 ^b
Cr04	13.08±1.45 ^e	27.77±2.13 ^c	60.17±2.11 ^d	6.33±0.04 ^a	107.3±2.31 ^{cd}
L9015	6.92±0.87 ^e	43.51±2.55 ^a	81.11±2.78 ^a	0.13±0.03 ^b	131.6±2.13 ^a
241-4	14.97±1.78 ^d	45.51±2.67 ^a	52.52±3.10 ^e	1.67±0.11 ^c	114.6±3.13 ^c
武香1号	19.07±1.76 ^b	13.64±1.97 ^e	66.29±1.97 ^c	0.22±0.04 ^e	99.24±2.17 ^d
L808	14.61±0.97 ^d	33.62±1.68 ^b	64.09±2.19 ^c	1.03±0.09 ^d	113.3±2.37 ^c
939	6.98±0.76 ^e	11.28±1.79 ^f	83.26±3.01 ^a	0.09±0.01 ^b	101.6±2.87 ^d
庆科20	9.16±1.02 ^f	11.04±1.98 ^f	66.79±2.01 ^c	1.09±0.03 ^d	88.10±2.65 ^e
J868	20.38±0.96 ^b	7.92±2.18 ^e	84.66±2.57 ^a	0.46±0.06 ^c	113.4±2.54 ^c

注: 同列不同小写字母表示不同品种间差异显著($P<0.05$); 表3同。

表 3 不同品种香菇样品有机酸含量

Table 3 Contents of organic acids in *L. edodes* samples of different cultivars

品种	含量(mg/g)							总量
	酒石酸	苹果酸	抗坏血酸	乙酸	柠檬酸	富马酸	琥珀酸	
申香8号	0.57±0.11 ^e	21.90±1.54 ^f	0.06±0.01 ^d	0.75±0.04 ^e	12.91±0.92 ^b	2.03±0.11 ^e	109.3±2.32 ^g	147.5±3.54 ^f
申香10号	2.12±0.21 ^c	21.22±1.90 ^f	0.03±0.00 ^e	0.62±0.05 ^f	12.46±0.67 ^{bc}	1.91±0.18 ^e	143.1±3.01 ^e	181.5±3.62 ^e
L135	1.67±0.57 ^d	53.62±1.23 ^b	1.19±0.05 ^a	0.66±0.11 ^f	—	3.47±0.34 ^a	219.3±3.77 ^b	280.0±3.48 ^b
Cr04	1.33±0.28 ^d	14.72±1.83 ^g	0.01±0.00 ^f	0.05±0.02 ^g	20.27±1.31 ^a	1.33±0.22 ^f	112.5±2.49 ^g	150.2±2.89 ^f
L9015	2.13±0.43 ^c	56.04±2.04 ^{ab}	0.07±0.01 ^c	1.98±0.05 ^b	—	2.70±0.25 ^c	204.9±3.61 ^b	267.9±4.03 ^c
241-4	1.56±0.12 ^d	49.74±2.11 ^c	0.07±0.01 ^c	0.89±0.08 ^e	—	3.07±0.15 ^b	248.3±4.21 ^a	303.6±4.11 ^a
武香1号	2.84±0.16 ^b	20.45±2.28 ^f	0.06±0.01 ^d	0.06±0.01 ^g	13.66±0.79 ^b	2.21±0.21 ^d	112.8±2.35 ^g	152.2±3.01 ^f
L808	2.35±0.71 ^c	60.64±1.45 ^a	0.03±0.00 ^e	1.30±0.09 ^d	6.91±0.86 ^d	3.05±0.39 ^b	189.4±3.34 ^c	263.7±3.99 ^c
939	3.73±0.87 ^a	30.27±1.67 ^e	0.02±0.00 ^f	1.62±0.14 ^c	9.47±0.91 ^d	1.12±0.19 ^f	164.2±2.53 ^d	210.5±3.62 ^d
庆科20	2.26±0.37 ^c	36.68±2.41 ^d	0.03±0.01 ^e	2.86±0.13 ^a	11.41±0.88 ^c	1.30±0.10 ^f	82.85±2.01 ^h	137.4±3.12 ^g
J868	0.33±0.18 ^e	21.62±1.32 ^f	0.09±0.02 ^b	0.83±0.09 ^e	—	2.51±0.13 ^c	124.7±2.12 ^f	150.1±3.67 ^f

注：“—”表示未检出。

酸、酯类和芳香物质的代谢过程密切相关,其种类和含量的不同在一定程度上影响着子实体的独特风味形成^[18-19]。11个品种香菇中有机酸组分含量如表3所示。本试验对样品中7种有机酸进行检测,除品种L135、241-4、J868和L9015未检出柠檬酸外,其他均检出,总量在137.4~303.6 mg/g范围内,其中,品种241-4含量最高,其次为L135,庆科20含量最低。有机酸以琥珀酸为主(82.85~248.3 mg/g),占总量的60%~83%,品种241-4含量最高,其次为L135和L9015;苹果酸含量次之,其中以L808和L9015含量较高,其次为L135。其他,酒石酸0.33~3.73 mg/g,抗坏血酸0.01~1.19 mg/g,乙酸0.05~2.86 mg/g,柠檬酸6.91~20.27 mg/g,富马酸1.12~3.47 mg/g。

2.3 不同品种香菇风味品质评价

前期研究^[8]中分析测定了不同品种香菇的游离氨基酸和5'-核苷酸,并计算得到等鲜浓度值(EUC),按照材料编号(表1)顺序,分别为(254.6±5.12)、(342.1±4.61)、(125.1±4.62)、(184.8±3.78)、(190.3±3.90)、(161.4±3.98)、(286.7±4.02)、(71.7±3.07)、(228.6±3.87)、(313.2±5.28)和(150.3±4.58)g MSG/100 g(谷氨酸钠当量浓度值),结合本文测定得到11个品种香菇的可溶性糖和有机酸数据,进行主成分分析(PCA)^[20-21],前三个主成分的贡献率分别为38.77%、22.33%和14.12%,前两个主成分累计贡献率为61.10%,利用Matlab中biplotdi函数对其得分和权重系数绘图,结果如图1所示,11个品种可以明显区分为两类,申香8号、申香10号、武香1号、J868、Cr04、939和庆科20为A类,L808、241-4、L9015和L135为B类;对于该分类,其中,主成分1(PC1)琥珀酸、苹果酸、富马酸、海藻糖和等鲜浓度值、柠檬酸权重贡献突出,主成分2(PC2)乙酸、酒石酸、甘露醇和阿拉伯糖醇、葡萄糖权重贡献较为突出。

为进一步直观和细致展示结果,对数据基于热图(Heatmap)分析^[22],结果如图2所示,11个品种可

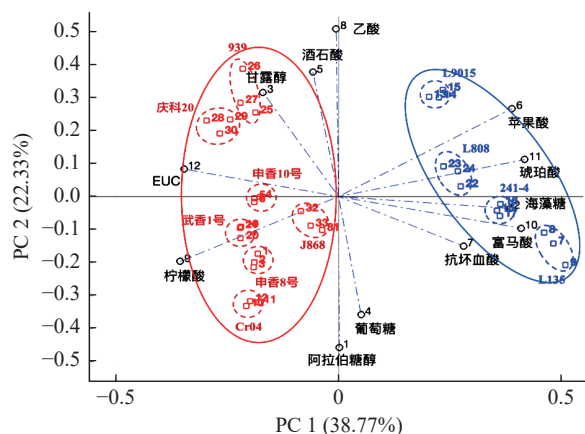


图1 11个品种香菇风味成分主成分分析图

Fig.1 PCA results of *L. edodes* samples of 11 cultivars

注: 方块及编号: 不同香菇样本; 圆圈: 风味成分。

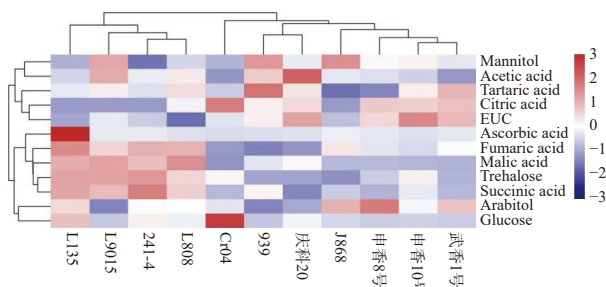


图2 11个品种香菇滋味成分热图分析结果

Fig.2 Heatmap of flavor components in *L. edodes* samples of 11 cultivars

被聚类为两大类,与PCA结果相同,左数4个品种为B类,其余为A类。对比董慧等^[23]利用遗传多样性SSR标记分析建立香菇主栽品种间的遗传相似系数UPGMA(Unweighted pair group method with arithmetic mean)聚类图谱结果,可以看出滋味成分特征和品种关系密切,申香8号、申香10号和武香1号,庆科20和939,以及L9015、241-4和L135,它们种源相近,Heatmap结果中滋味成分特征亦类似。如图2中左侧滋味成分聚类,被分成两组,一组EUC、

柠檬酸、酒石酸、乙酸和甘露醇相对含量较高;另一组富马酸、苹果酸、海藻糖和琥珀酸含量较高。

上述两种分析结果均显示 11 个品种香菇被分为两类,且两类具有自己的滋味特征成分,为了进一步全面评价本研究采用因子分析^[24],方差贡献率结果如表 4 所示,根据初始特征值方差(即合计值)大于 1 的准则,主成分的数目应为 3。经过因子转换矩阵(表 4)得到旋转因子矩阵(如表 5 所示),因子 1 主要与富马酸(阈值 0.04 mg/g^[25])、琥珀酸(阈值 0.11 mg/g^[25])和苹果酸(阈值 0.50 mg/g^[26])相关,可以命名为有机酸高感受因子,因子 2 主要与酒石酸(阈值 0.02 mg/g^[27])和乙酸(阈值 0.11 mg/g^[27])相关,可以命名为有机酸中等感受因子,因子 3 主要以葡萄糖(阈值 16.3 mg/g^[28])和海藻糖相关,可以命名为甜味因子。采用回归估算得到因子得分系数矩阵(如表 5 所示),从而可以得到因子得分函数:

$$Z_1=0.01X_1+0.15X_2-0.02X_3-0.04X_4-0.03X_5+0.19X_6+0.12X_6+0.03X_6-0.02X_9+0.20X_{10}+0.19X_{11}-0.15X_{12}$$

$$Z_2=-0.42X_1+0.10X_2-0.04X_3+0.05X_4+0.35X_5+0.16X_6-0.08X_6+0.24X_6+0.07X_9-0.15X_{10}+0.09X_{11}+0.06X_{12}$$

$$Z_3=-0.01X_1+0.20X_2-0.38X_3+0.44X_4+0.07X_5-0.03X_6+0.07X_6-0.18X_6+0.26X_9-0.08X_{10}+0.03X_{11}-0.03X_{12}$$

以上 3 个表达式中, X_i 为 12 个滋味特征成分的 Z-score 处理之后数据。各因子(Z_1 、 Z_2 和 Z_3)的权重系数通过对应的旋转平方和载荷(表 4)的方差贡献率除以 3 个主成分的总累计贡献率,从而得到综合评价模型,即

$$Z_{\text{综合}}=Z_1\times38.88/76.42+Z_2\times19.95/76.42+Z_3\times17.59/76.42=0.51Z_1+0.26Z_2+0.23Z_3$$

通过计算,最终获得因子综合评价及其排序情况(如表 6 所示),结果显示种源聚类相近的 L135 和 241-4 排在前两位,有机酸高感受因子占主导,滋味特征存在不易被接收风险,反观排名靠中间,甚至偏后的品种,滋味特征易接收程度会较高,即 PCA 分析(图 1)中 A 类属于滋味易接收区,B 类则存在不易接收风险。

3 结论

香菇营养丰富、味道鲜美,且具有较高的食药价值^[29-30],深受广大消费者的喜爱。本文对国内主产区广泛栽培的 11 个香菇品种中可溶性糖和有机酸进行分析,其中共检出四种可溶性糖,分别为甘露

表 4 总方差贡献率结果和因子转换矩阵
Table 4 Total variance explained and component transformation matrix

主成分		1	2	3
初始特征值	合计	4.72	2.73	1.72
	方差贡献率(%)	39.34	22.78	14.30
	累计贡献率(%)	39.34	62.11	76.42
旋转平方和载荷	合计	4.67	2.39	2.11
	方差贡献率(%)	38.88	19.95	17.59
	累计贡献率(%)	38.87	58.82	76.42
因子转换矩阵*	1	0.99	0.11	-0.11
	2	-0.03	0.82	0.58
	3	0.15	-0.57	0.81

注: 旋转方法: 具有Kaiser标准化的正交旋转法。

表 5 旋转后因子载荷矩阵和因子得分系数矩阵
Table 5 Rotated component matrix and component score coefficient matrix

编号	滋味成分	旋转因子矩阵			因子得分系数矩阵		
		1	2	3	1	2	3
1	阿拉伯糖醇	-0.01	-0.95	0.00	0.01	-0.42	-0.10
2	海藻糖	0.79	0.14	0.43	0.15	0.10	0.20
3	甘露醇	-0.26	0.09	-0.80	-0.02	-0.04	-0.38
4	葡萄糖	-0.02	-0.08	0.88	-0.04	0.05	0.44
5	酒石酸	-0.11	0.79	-0.03	-0.03	0.35	0.07
6	苹果酸	0.87	0.39	-0.06	0.19	0.16	-0.03
7	抗坏血酸	0.58	-0.22	0.22	0.12	-0.08	0.07
8	乙酸	0.08	0.67	-0.48	0.03	0.24	-0.18
9	柠檬酸	-0.84	0.04	0.44	-0.20	0.07	0.26
10	富马酸	0.91	-0.33	-0.01	0.20	-0.15	-0.08
11	琥珀酸	0.90	0.19	0.10	0.19	0.09	0.03
12	等鲜浓度值	-0.73	0.16	-0.15	-0.15	0.06	-0.03

表6 因子综合评价及排序

Table 6 Factor comprehensive evaluation and ranking

品种	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z _{综合}	排名
申香8号	-0.65	-1.45	-0.45	-0.81	11
申香10号	-0.68	0.06	0.02	-0.33	8
L135	1.65	-0.55	0.79	0.88	1
Cr04	-1.05	-0.13	2.26	-0.05	5
L9015	0.96	1.09	-0.87	0.57	4
241-4	1.24	0.04	0.63	0.79	2
武香1号	-0.82	-0.46	0.05	-0.53	9
L808	0.95	0.35	0.10	0.60	3
939	-0.64	1.45	-0.72	-0.11	6
庆科20	-0.91	1.19	-0.32	-0.23	7
J868	-0.04	-1.60	-1.50	-0.78	10

醇、海藻糖、阿拉伯糖醇(阿糖醇)和葡萄糖,其中,以甘露醇为主,占总量46%~82%;对于不同品种香菇,甘露醇含量J868和939含量较高,海藻糖以241-4、L9015和L135含量较高,而可溶性糖总量以L9015最高。对7种常见有机酸中,琥珀酸和苹果含量最高;单一琥珀酸含量和有机酸总含量均以品种241-4含量较高。

结合前期研究中的各品种等鲜浓度值(EUC)数据,进行主成分分析(PCA)和热图(Heatmap)分析,结果均得到两个聚类,分别是申香8号、申香10号、武香1号、J868、Cr04、939和庆科20为A类,EUC、柠檬酸、酒石酸、乙酸和甘露醇贡献突出;L808、241-1、L9015和L135为B类,富马酸、苹果酸、海藻糖和琥珀酸贡献突出。进一步采用因子分析(Factor analysis method),得到3个隐性因子,有机酸高感受因子、有机酸中等感受因子和甜味因子,综合评价结果显示B类排序相对靠前,有机酸高感受因子贡献较大,存在不易接收风险;而A类排序靠后,属于滋味易接收区,且EUC鲜味指标较高。

综上所述,本研究中香菇滋味成分聚类特征与品种种源关系相印证,为深入探究呈味差异根源提供实践基础,同时结合因子分析,挖掘滋味品质影响敏感因子,为进一步调控和筛选香菇风味产品优质原料提供有利的理论基础。

参考文献

- [1] 李传华,曲明清,曹晖,等.中国食用菌普通名名录[J].*食用菌学报*,2013,20(3):50-72. [LI C H, QU M Q, CAO H, et al. Checklist of common names of mushrooms in China[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2013, 20(3): 50-72.]
- [2] 陈洪雨,鲍大鹏,康前进,等.香菇挥发性风味物质的研究进展[J].*食用菌学报*,2018,25(4):105-114. [CHEN H Y, BAO D P, KANG Q J, et al. Research progress of volatiles in *Lentinula edodes*[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2018, 25(4): 105-114.]
- [3] 张寿橙,周昌勇.从《博物志》《龙泉县志》的有关记载再论龙庆景菇民的历史奉献[J].*食药菌*,2017,6:61-64. [ZHANG S C, ZHOU C Y. On the historical contribution of Longqingjing mushroom farmer from the records of Bo Wu Zhi and Longquan Xian Zhi[J]. *Edible and Medicinal Mushrooms*, 2017, 6: 61-64.]
- [4] 中国食用菌协会公共服务平台. <http://www.cefa.org.cn/index.html>[OL]. 2020. Public Service Platform of China Edible Fungi Association. <http://www.cefa.org.cn/index.html>[OL]. 2020.
- [5] 王琦,张立娟,王玥玮,等.香菇柄营养成分分析及高值化利用研究[J].*食品研究与开发*,2019,40(15):199-203. [WANG Q, ZHANG L J, WANG Y W, et al. Nutrient composition analysis and high value utilization of *Lentinus edodes* stalk[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(15): 199-203.]
- [6] CHEN W C, LI W, YANG Y, et al. Analysis and evaluation of tasty components in the pileus and stipe of *Lentinula edodes* at different growth stages[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(3): 795-801.
- [7] 陈万超,杨焱,李文,等.香菇挥发性成分SPME-GC-MS分析及特征指纹图谱的建立[J].*食品与生物技术学报*,2016,35(10):1074-1080. [CHEN W C, YANG Y, LI W, et al. Analysis of volatile components in *Lentinula edodes* by SPME-GC-MS and establishment of fingerprint[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2016, 35(10): 1074-1080.]
- [8] 于海龙,李玉,陈万超,等.不同品种干制香菇子实体等鲜浓度值差异分析[J].*食品科学*,2018,39(4):171-175. [YU H L, LI Y, CHEN W C, et al. Analysis of differential EUC in dried fruiting bodies of different cultivars of *Lentinus edodes*[J]. *Food Science*, 2018, 39(4): 171-175.]
- [9] CHEN Z Q, GAO H Y, WU W J, et al. Effects of fermentation with different microbial species on the umami taste of Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 141: 110889.
- [10] 谭琦,宋春艳.香菇栽培实用技术[M].北京:中国农业出版社,2011. [TAN Q, SONG C Y. Practical cultivation techniques of *Lentinula edodes*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.]
- [11] 中华人民共和国农业部.香菇等级规格:NY/T 1061-2006[S].北京:中国农业出版社,2006. [Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Grades and specifications of *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.]
- [12] 周帅,张晓昱,唐传红,等.沪农灵芝一号生长过程中子实体各部位糖醇和海藻糖积累及其代谢酶的表达变化[J].*菌物学报*,2018,37(8):1090-1099. [ZHOU S, ZHANG X Y, TANG C H, et al. Change of polyol and trehalose content and expression of their related metabolism enzymes in *Ganoderma lingzhi* SH during

- fruiting body growth[J]. *Mycosystema*, 2018, 37(8): 1090–1099.]
- [13] LIU Y F, SU P F, XU J F, et al. Structural characterization of a bioactive water-soluble heteropolysaccharide from *Nostoc sphaeroides kütz*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 200(15): 552–559.
- [14] 李巧珍, 李晓贝, 吴迪, 等. 工厂化栽培的不同杏鲍菇菌株非挥发性风味成分分析及风味评价[J]. *上海农业学报*, 2019, 35(1): 38–42. [LI Q Z, LI X B, WU D, et al. Analysis and evaluation of non-volatile flavor compounds in different strains of *Pleurotus eryngii* from industrialized production[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2019, 35(1): 38–42.]
- [15] 余昌霞, 赵妍, 陈明杰, 等. 香菇失香突变菌株的营养成分和呈味物质分析[J]. *上海农业学报*, 2019, 35(6): 17–23. [YU C X, ZHAO Y, CHEN M J, et al. Analysis of nutritional components and flavor substances in a mutant *Lentinula edodes* strain with no aroma[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2019, 35(6): 17–23.]
- [16] 刘培基, 崔文甲, 王文亮, 等. 食用菌风味物质及其在美拉德反应中的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(15): 188–192. [LIU P J, CUI W J, WANG W L, et al. Research progress of edible fungi flavor substances and their application in maillard reaction[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(15): 188–192.]
- [17] 段秀辉, 李露, 薛淑静, 等. 杏鲍菇、香菇及其预煮液中可溶性糖的 GC-MS 分析[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(17): 281–285. [DUAN X H, LI L, XUE S J, et al. Determination of soluble sugars from *Pleurotus eryngii*, *Lentinula edodes* and their blanching liquid by GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(17): 281–285.]
- [18] 于海龙, 陈万超, 李文, 等. 不同产地商业香菇品种中有机酸含量差异分析[J]. *北方园艺*, 2015, 2: 133–135. [YU H L, CHEN W C, LI W, et al. Comparison of organic acids components in commercial *Lentinula edodes* collected from different areas[J]. *Northern Horticulture*, 2015, 2: 133–135.]
- [19] 李晓贝, 杨焱, 周峰, 等. 杏鲍菇子实体及其下脚料的营养成分和呈味物质研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 35(6): 272–278. [LI X B, YANG Y, ZHOU F, et al. Nutritional contents and flavor substances in fruit bodies and leftovers of *Pleurotus eryngii*[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2015, 35(6): 272–278.]
- [20] MEENU M, XU B. Application of vibrational spectroscopy for classification, authentication and quality analysis of mushroom: A concise review[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 545–557.
- [21] 唐拥政, 宋春艳, 尚晓东, 等. 主成分分析法在香菇化学成分评价中的应用[J]. *食用菌学报*, 2014, 3: 66–69. [TANG Y Z, SONG C Y, SHANG X D, et al. Principal component analysis of nine selected biochemical constituents present in fruit bodies of eight *Lentinula edodes* cultivars[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2014, 3: 66–69.]
- [22] MALLAPPA R H, SINGH D K, ROKANA N, et al. Screening and selection of probiotic *Lactobacillus* strains of Indian gut origin based on assessment of desired probiotic attributes combined with principal component and heatmap analysis[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 105: 272–281.
- [23] 董慧, 章炉军, 张美彦, 等. 中国香菇主栽品种遗传多样性的 SSR 分析及指纹图谱构建[J]. *微生物学通报*, 2017, 44(6): 1427–1436. [DONG H, ZHANG L J, ZHANG M Y, et al. Genetic diversity and fingerprint profiles of Chinese major *Lentinula edodes* cultivars based on SSR markers[J]. *Microbiology*, 2017, 44(6): 1427–1436.]
- [24] 梁晓佳, 张力丹, 李丹, 等. 主成分分析和因子分析的异同比较[J]. *科教文汇*, 2014, 12: 38–39, 48. [LIANG X J, ZHANG L D, LI D, et al. The similarities and differences between principal component analysis and factor analysis[J]. *The Science Education Article Cultures*, 2014, 12: 38–39, 48.]
- [25] ZHANG J, YI Y, PAN D, et al. (1)H NMR-based metabolomics profiling and taste of boneless dry-cured hams during processing[J]. *Food Research International*, 2019, 122: 114–122.
- [26] ROTZOLL N, DUNKEL A, HOFMANN T. Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr.)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2705–2711.
- [27] KONG Y, ZHANG L, SUN Y, et al. Determination of the free amino acid, organic acid, and nucleotide in commercial vinegars[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(5): 1116–1123.
- [28] LOU X, YE Y, WANG Y, et al. Effect of high-pressure treatment on taste and metabolite profiles of ducks with two different vinasse-curing processes[J]. *Food Research International*, 2018, 105: 703–712.
- [29] 李谣, 陈金龙, 夏春燕, 等. 基于 HepG2 细胞模型的香菇柄粉多酚抗氧化及抗增殖活性[J]. *食品科学*, 2016, 37(11): 190–196. [LI Y, CHEN J L, XIA C Y, et al. Antioxidant and anti-proliferative activity of polyphenols in *Lentinula edodes* stipe powder on HepG2 cells[J]. *Food Science*, 2016, 37(11): 190–196.]
- [30] MORALES D, RUTCKEVIŠKI R, VILLALVA M, et al. Isolation and comparison of α - and β -D-glucans from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) with different biological activities[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 229: 115521.