

不同培养基对香菇挥发性风味物质的影响

梁怡^{1,2,3}, 刘改霞⁴, 李朋泰¹, 郭红珍^{1,2,3}, 褚卓栋^{1,2,3}, 周志国^{1,2,3}, 尚校兰^{1,2,3,*}

(1. 廊坊师范学院 生命科学院, 河北 廊坊 065000; 2. 河北省食药菌资源高值利用技术创新中心, 河北 廊坊 065000; 3. 河北省高校食药菌资源开发应用技术研发中心, 河北 廊坊 065000; 4. 巴彦淖尔市食品药品检验所, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘要:采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro extraction, HS-SPME)对9种不同组成的培养基栽培的香菇挥发性成分进行提取,用气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术进行鉴定,并通过软独立模式分类(soft independent modeling of class analogy, SIMCA)进行主成分分析。结果表明:9种培养基生产的香菇挥发性成分的种类差异不大,分布在36种~43种之间,主要是烃类、醇类、酮类物质。主成分分析发现,柞木生产的香菇和果木生产的香菇挥发性成分相对较大。前两个主成分反应了原始变量72.1%的信息,对第一主成分贡献最大的是3-辛醇,其次是3-甲基-1-丁醇、3-辛酮、2-甲基-1-丁醇、2-乙基己醇;对第二主成分贡献最大的是二甲基四硫,其次是1,2,4-三硫戊烷、二甲基三硫、二甲基二硫。

关键词:香菇;挥发性成分;培养基;气相色谱-质谱联用;主成分分析

Effects of Different Media on Volatile Flavor Compounds of *Lentinus edodes*

LIANG Yi^{1,2,3}, LIU Gai-xia⁴, LI Peng-tai¹, GUO Hong-zhen^{1,2,3}, CHU Zhuo-dong^{1,2,3}, ZHOU Zhi-guo^{1,2,3}, SHANG Xiao-lan^{1,2,3,*}

(1. College of Life Science, Langfang Normal University, Langfang 065000, Hebei, China; 2. Technology Innovation Center for Utilization of Edible and Medicinal Fungi in Hebei Province, Langfang 065000, Hebei, China; 3. Edible and Medicinal Fungi Research and Development Center of Hebei Universities, Langfang 065000, Hebei, China; 4. Bayannur Food and Drug Inspection Institute, Bayannur 015000, Inner Mongolia, China)

Abstract: The volatile components of *Lentinula edodes* cultivated in 9 different media were extracted by headspace solid-phase micro extraction (HS-SPME) and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The principal components were analyzed by soft independent modeling of class analogy (SIMCA) software. The results showed that there was no significant difference among 9 kinds of volatile components, the

基金项目:河北省重点研发计划(18227146);河北省教育厅青年基金项目(QN2017351);廊坊市科技计划项目(2019012001);河北省大学生创新创业训练计划(201910100055)

作者简介:梁怡(1999—),女(汉),本科在读,研究方向:食药菌高值利用。

* 通信作者:尚校兰(1985—),女(汉),副教授,博士,研究方向:肉制品与水产品质量调控。

- Arginine of treatment for infertile men on semen parameters [J]. Tikrit Journal of Pure Science, 2019, 24(5): 1-4
- [25] Joshi S, Shah S, Kalantar-Zadeh K. Adequacy of Plant-Based Proteins in Chronic Kidney Disease [J]. Journal of Renal Nutrition, 2019, 29(2): 112-117
- [26] 蔡琴美, 高永清, 吴小南. 营养与食品卫生学 (案例版) [M]. 北京: 科学出版社, 2008
- [27] Navarro-Alarcon M, Cabrera-Vique C. Selenium in food and the human body: A review [J]. Science of The Total Environment, 2008, 400(1-3): 115-141
- [28] Torrinha A, Gomes F, Oliveira M, et al. Commercial squids: Characterization, assessment of potential health benefits/risks and discrimination based on mineral, lipid and vitamin E concentrations [J]. Food and chemical toxicology, 2014, 67: 44-56

收稿日期: 2020-08-03

number of volatile components identified was from 36 to 43, mainly including hydrocarbons, alcohols and ketones. The results of principal component analysis showed that the volatile components of *Lentinula edodes* produced by tussah and fruit wood were relatively large. The first two principal components represented 72.1% of the total variability, and 3-octanol, 3-methyl-1-butanol, 3-Octanone, 2-methyl-1-butanol and 2-ethylhexanol were biggest contributor to the first principal component. Dimethyl tetrasulfide, 1, 2, 4-trithiolane, dimethyltrisulfide and methyl disulfide were biggest contributor to the second principal component.

Key words: *Lentinula edodes*; aroma components; culture medium; gas chromatography-mass spectrometry; principal components analysis

引文格式:

梁怡,刘改霞,李朋泰,等.不同培养基对香菇挥发性风味物质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(24):17-23

LIANG Yi, LIU Gaixia, LI Pengtai, et al. Effects of Different Media on Volatile Flavor Compounds of *Lentinus edodes*[J].Food Research and Development, 2020, 41(24):17-23

香菇(*Lentinula edodes*)隶属担子菌纲、伞菌目、口蘑科、香菇属,又名香蕈、香信、冬菇、花菇等^[1],其味道鲜美、香气浓郁,而且富含多糖、氨基酸、维生素及微量元素等营养物质,具有显著的食用及药用价值^[2-3]。随着香菇产业的快速发展,传统栽培原料(柞木、栎木等)产量已不足以维持产业需求,且价格不断攀升,严重制约了香菇产业的发展。越来越多的学者开始研究利用其它材料作为香菇的培养料。研究发现,苹果枝木屑、枣木枝屑、桑木枝条屑、葡萄枝木屑、芒果枝条屑等利用果树修剪的枝条屑制成的培养料均可栽培香菇,且在产量和品质上均比传统原料栽培的香菇高^[4-8]。

河北省果木资源丰富,果木修剪枝条众多,随意堆放或焚烧造成资源严重浪费和环境污染,果木枝条资源化利用成为研究的热点^[9]。虽然很多学者已经研究了不同果木枝屑栽培的香菇的产量、营养价值等指标,但是对果木枝屑栽培的香菇的挥发性风味物质的研究,尚未见系统报道。本文以柞木栽培的香菇为对照,研究苹果木屑、梨木屑、桃木屑和枣木屑全部代替和部分代替柞木后,香菇子实体中挥发性风味物质的变化,比较果木屑和柞木屑对香菇挥发性风味物质的影响,为香菇栽培基质的选择提供了新的参考方法,同时为有效缓解农业废弃物污染、改善生态环境具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

香菇菌种:河北省食药菌资源高值利用技术创新中心提供,品种为香菇 0912 号;木屑:廊坊当地果树树枝。

1.2 仪器与设备

IKA ETS-D5 恒温水浴锅:艾卡仪器设备有限公司;DVB/CA/PDMS(2 cm,50/30 μm)萃取头:美国 Supelco 公司;TRACE 1310 气相色谱-质谱联用仪:美国 thermo scientific 公司。

1.3 方法

1.3.1 香菇子实体的生产

用粉碎机将树枝打碎成 3 mm~5 mm 左右的木屑。采用 9 种不同的培养基栽培香菇,采摘刚出菇的香菇子实体,于 12 h 内测定。培养基配方见表 1。

表 1 9 种香菇培养基组成

Table 1 9 different culture media for *Lentinula edodes*

编号	培养基组成
1	78%柞木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
2	78%苹果木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
3	78%梨木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
4	78%桃木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
5	78%枣木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
6	39%苹果木屑+39%柞木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
7	39%梨木屑+39%柞木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
8	39%桃木屑+39%柞木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸
9	39%枣木屑+39%柞木屑+1.5%石膏+0.5%石灰+20%麦麸

1.3.2 样品的制备

称取 0.2 g 样品于 15 mL 气相顶空样品瓶中,将恒温水浴调至 55 $^{\circ}\text{C}$,待温度稳定后,将样品瓶放于恒温水浴中,预热平衡 20 min,将微萃取(phase micro extraction, SPME)针头穿过样品瓶密封瓶垫,于样品瓶顶空

部分伸出固相萃取头,静置萃取 30 min,收回固相萃取头,取出萃取装置,待气相色谱仪处于准备状态后,将 SPME 针头插入进样口,伸出固相萃取头,于 250 ℃条件下解吸 15 min。下次取样前,首先将 SPME 萃取头在 250 ℃条件下老化 30 min。

1.3.3 色谱条件

色谱柱 TG-5 ms(30 m×0.25 mm,0.25 μm);固定相为聚乙二醇;载气为高纯氦气,流速 1.0 mL/min;进样口温度 250 ℃;分流比 5:1;初始炉温 40 ℃,保持 3 min,以 4 ℃/min 升到 150 ℃,保持 1 min,再以 8 ℃/min 升到 250 ℃,保持 6 min。

1.3.4 质谱条件

电子电离(electronic nization,EI)源,电子能量 70 eV;离子源温度 250 ℃;接口温度 250 ℃,质量扫描范围 43 u~500 u;调谐文件为标准调谐;数据采集为全

扫描模式;无溶剂延迟^[10]。

1.4 数据分析

将气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry,GC-MS)分析图谱经计算机和人工把每个峰与 NISTLibrary 和 Wiley Library 进行匹配检索定性,按峰面积归一化法算出样品中各个组分的相对含量(组分峰面积占总峰面积的百分比)。主成分分析(principal component analysis,PCA)采用 SIMCA14.1 软件。

2 结果与分析

2.1 不同培养基对香菇挥发性物质种类和含量的影响

不同培养基香菇挥发性风味成分及相对含量见表 2,不同培养基香菇挥发性成分种类与含量见表 3。

在 9 个样品中,共检测到 52 种化合物,其中烃类

表 2 不同培养基香菇挥发性风味成分及相对含量表

Table 2 Volatile flavor components and relative contents in *Lentinula edodes* from different culture media

物质	保留时间/ min	含量/%								
		样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6	样品 7	样品 8	样品 9
丙二酸	3.23	0.27								
3-甲基丁醛	3.62	0.39	0.23	0.11	0.06	0.20	0.09	0.29	0.08	0.09
2-甲基丁醛	3.78	0.10						0.16		0.04
3-甲基-1-丁醇	5.20	0.10	0.06	0.07	0.04		0.04	0.07	0.05	0.05
2-甲基-1-丁醇	5.30	0.14		0.05			0.02	0.03	0.04	0.03
二甲基二硫	5.41	1.91	2.58	1.23	3.97	0.35		0.28	0.20	0.09
1,3,5-环庚三烯	6.01				0.02	0.03			0.01	
1-戊醇	6.10					0.01		0.03		0.01
己醛	7.06	0.04	0.06	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03
1,3-辛二烯	7.81	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02
乙苯	9.11					0.02		0.02		
苯乙烯	10.2					0.05	0.03	0.06		
1-庚醛	10.7	0.03	0.03	0.02			0.01	0.02		0.01
3-甲硫基丙醛	10.9							0.03	0.02	0.03
二甲基三硫	13.3	5.30	4.91	2.47	5.35	0.73	2.67	0.41	0.50	0.15
1-辛烯-3-醇	13.7	1.11	31.48	20.56	16.65	9.80	15.74	34.00	23.15	32.49
3-辛酮	13.97	35.07	6.45	26.81	8.91	25.22	16.26	15.44	17.61	12.45
3-辛醇	14.3	8.35	2.65	5.42	2.01	6.75	4.50	6.59	6.20	3.97
1-辛醛	14.6	0.38	0.87	0.52	0.38	0.52	0.59	1.00	0.45	1.04
2-乙基己醇	15.6	0.28	0.12	0.18	0.04	0.12	0.13	0.15	0.09	0.05
2-苯基乙醛	16.2	0.28	0.47	0.55	0.51	0.38	0.27	0.68	0.17	0.23
反式-2-辛烯醛	16.8	0.08	0.19	0.07		0.10	0.09	0.11	0.15	0.16
3-甲基-2-庚烯-1-醇	17.1		0.29		0.24	0.31	0.28	0.53	0.30	0.43
1-辛醇	17.2	0.64		0.42				3.79		2.97
甲酸辛酯	17.2									
戊基环丙烷	17.2		1.64	1.42	1.79	1.17	2.18		1.41	
1,2,4-三硫戊烷	18.1	14.51	10.08	12.89	16.91	13.84	14.97	6.63	9.82	8.45
2-苯基丙醛	18.5	0.44	0.37	0.56	0.27	0.25		0.79	0.19	
天然壬醛	18.5						0.16			0.10
β-苯乙醇	18.9	2.06	1.77	0.31	0.88	0.57	0.46	0.89	1.05	0.65
2,4,5-三硫杂己烷	19.4	0.45	1.10	0.53	3.09	0.35	1.61	0.20	0.24	0.11
阿托醛	20.5	0.95	4.77	1.97	4.94	2.53	2.91	4.56	1.68	2.39

续表 2 不同培养基香菇挥发性风味成分及相对含量表

Continue table 2 Volatile flavor components and relative contents in *Lentinula edodes* from different culture media

物质	保留时间/ min	含量/%								
		样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6	样品 7	样品 8	样品 9
1-壬醇	21.0	0.10	0.44	0.09	0.12		0.19	0.30		0.06
2-苯基-1-丙醇	21.1	0.37	0.06	0.08					0.06	
4-苯基戊酸	21.1					0.03		0.04	0.04	
1,2-苯二硫醇	22.0	0.07		0.70	0.03	0.48	0.50	0.67	0.69	0.60
1-癸醛	22.2	0.09	0.18	0.17	0.16	0.12	0.18	0.18	0.09	0.10
二甲基四硫	22.7	2.74	0.66	0.84	1.17	0.12	0.75	0.05	0.17	
1-氧代-1,3-二硫环烷	23.1					0.21	0.15	0.12	0.14	0.09
(甲硫基)乙酸	24.2		0.47	0.05	0.42	0.12	0.35	0.08	0.15	0.08
1-十一醇	24.5				0.10					
4-烯丙基苯甲醚	25.1	0.04	0.41	0.06	0.05	0.15	0.05	0.13	0.16	0.05
1,2,4,5-四硫环己烷	27.34	10.49	12.39	12.69	13.17	21.02	16.53	12.40	19.75	18.56
2,2-二氧化物-2,4,5-三硫代己烷	27.4	2.13	4.41	1.32	9.19	0.73	6.41	0.26	0.47	0.14
4,5-二氨基-6-甲基-2-硫代嘧啶	28.1	0.15	0.26	0.42	0.61	0.76	0.83	0.49	0.69	0.65
三(甲硫基)甲烷	32.2		0.58	0.14	0.86		0.58			
1,2,4,6-四硫环己烷	32.7	0.08	0.08	0.08	0.25	0.07	0.25	0.07	0.08	0.06
N-甲基-N-[4-(4-氟-1-六氢吡啶)-2-丁基]-乙酰胺	34.7	0.04	0.09	0.06	0.06	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06
1,2,3,5,6-五硫杂环庚烷	35.6	6.29	6.52	4.44	5.24	7.92	6.53	5.11	8.94	8.90
1,2,3,4,5,6-六硫杂环庚烷	37.4	4.34	3.07	2.46	2.40	4.72	3.38	3.19	4.89	4.48
肉豆蔻酸异丙酯	38.9	0.18	0.26	0.17	0.08	0.14	0.22	0.10	0.14	0.11

表 3 不同培养基香菇挥发性成分种类与含量

Table 3 The groups and amounts of volatile compounds in in *Lentinula edodes* from different culture media

样品	烃类		醇类		醛类		酮类		醚类		酸类		酯类		芳香化合物		其他类	
	种类	含量/ %	种类	含量/ %	种类	含量/ %	种类	含量/ %	种类	含量/ %	种类	含量/ %	种类	含量/ %	种类	含量/ %	种类	含量/ %
样品 1	11	48.25	10	13.22	10	2.78	1	35.07	1	0.04	1	0.27	1	0.18	0	0	2	0.20
样品 2	13	48.03	8	36.87	9	7.17	1	6.45	1	0.41	1	0.47	1	0.26	0	0	2	0.35
样品 3	13	40.52	10	27.88	9	4.01	1	26.81	1	0.06	1	0.05	1	0.17	0	0	2	0.48
样品 4	14	63.42	9	20.11	7	6.34	1	8.91	1	0.05	1	0.42	1	0.08	0	0	2	0.67
样品 5	14	51.27	7	18.04	8	4.14	1	25.22	1	0.15	2	0.15	1	0.14	2	0.07	2	0.85
样品 6	13	56.02	9	21.86	9	4.32	1	16.26	1	0.05	1	0.35	1	0.22	1	0.03	2	0.90
样品 7	12	28.68	11	47.05	11	7.86	1	15.44	1	0.13	2	0.12	1	0.1	2	0.08	2	0.55
样品 8	14	46.63	9	31.63	9	2.87	1	17.61	1	0.16	2	0.19	1	0.14	0	0	2	0.75
样品 9	11	41.05	11	41.31	11	4.22	1	12.45	1	0.05	1	0.08	1	0.11	0	0	2	0.71

16 种、醇类 13 种、醛类 12 种、酮类 1 种、醚类 1 种、酸类 3 种、酯类 2 种、芳香化合物 2 种、其它物质 2 种。样品 1~9 号分别检测出 37、36、38、36、38、38、43、39、39 种挥发性物质,7 号样品挥发性物质的种类最多。样品 1 和样品 5 中,均是烃类物质含量最高,其次是酮类物质,然后是醇类物质;样品 2 中也是烃类物质含量最高,其次是醇类物质,而酮类物质含量较低,说明 1 号样品和 2 号样品风味具有一定差异;样品 3 中也是烃类物质含量最高,而醇类物质和酮类物质含量基本接近;样品 4、6、8 中同样也是烃类物质含量最高,其次是醇类,然后是酮类;和其它不同,样品 7 中醇类物质含量最高,烃类物质次之,然后是酮类物质;样品 9 的

烃类和醇类物质含量接近,占据了所有成分的绝大多数,其它类物质的含量均较低。

在 9 个样品中,含量差异较大的有 3 类含硫烃类化合物,1 类醇类化合物,1 类酮类化合物。其中二甲基二硫是一种具有洋葱风味的物质,二甲基三硫是一种具有卷心菜风味的物质,两者的香味阈值都较低,风味活度值较高^[1],因此在香菇整体风味的发挥中起着非常重要的作用^[2],本研究中,二甲基二硫和二甲基三硫含量最高的均为 4 号样品(分别为 3.97%和 5.35%),含量最低的均为 9 号样品(分别为 0.09%和 0.15%),不同样品间的二甲基二硫和二甲基三硫含量差异较大,因此不同培养基的香菇挥发性风味具有较大差

异;二甲基四硫,一般被认为是猪肉的挥发性成分^[13],在发酵型臭豆腐及韭菜类食品中较常见^[14],而在香菇风味的文献中很少被报道,黄雯认为在香菇干燥的过程中才会产生二甲基四硫,而在新鲜香菇中并未检测到^[15],本研究的9种香菇样品均检测到了二甲基四硫,其中含量最高的为1号样品(2.74%),含量最低的为7号样品(0.05%);1-辛烯-3-醇,俗称蘑菇醇,带有强烈、别致的清香,有米糠油臭样气息,甜的药草样味道,所以在饮料、糖果、冰制食品、烘烤食品、调味品及烟用香精中均有使用^[16],本研究中含量最高的为7号样品(34.00%),含量最低的为1号样品(1.11%);3-辛酮也是香菇中常见的一种物质,其具有香甜的水果、奶酪风味^[17],含量最高的为1号样品(35.07%),含量最低的为4号样品(8.91%);在前人对香菇风味的研究中,2,2-二氧化物-2,4,5-三硫代己烷未见报道,本研究中含量最高的为4号样品(9.19%),含量最低为9号样品(0.14%),此物质的产生可能也和培养基的组成成分有关。

2.2 不同培养基香菇挥发性风味成分的主成分分析

主成分的贡献率见表4。

主成分分析是数学上对数据降维的一种方法,其基本思想是设法用一组较少的互不相关的综合指标来代替原来众多的且具有一定相关性的指标,其目的是简化数据和揭示变量间的关系。目前主成分分析作为一种多元分析技术已广泛应用于不同物质香气成

表4 主成分的贡献率

Table 4 Contribution and cumulative contribution of principal components

主成分	贡献率/%	累积贡献率/%
1	44.3	44.3
2	27.8	72.1
3	7.8	79.9
4	5.2	85.1

分的综合分析中^[18]。常用的主成分分析的软件有赛仕软件系统(statistical analysis system,SAS)^[19]、统计产品与服务解决方案(statistical product and service solutions,SPSS)^[20]、Winmuster^[21]、软独立模式分类(soft independent modeling of class analogy,SIMCA)^[22]等。

香菇中含有的挥发性成分多,为了区分9种香菇之间挥发性成分的差异,了解哪种成分起到了主要作用,利用主成分分析是首选方法。筛选2个以上香菇样品都含有的48种风味成分,利用SIMCA14.1软件对其进行主成分分析,得到第一主成分的贡献率达到44.3%,第二主成分的贡献率为27.8%,前4个主成分的累积贡献率达到了85%以上(表4)。前2个主成分的累积贡献率达到了72.1%,能较好解释样本的总体情况,对前两个主成分作二维散点图,结果如图1和图2。

图1可以看出,1号样品距离其它样品距离比较

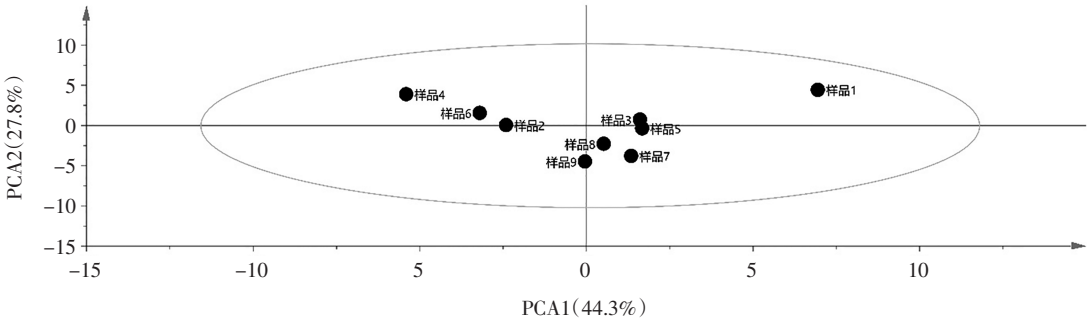


图1 PCA得分图

Fig.1 PCA score chart

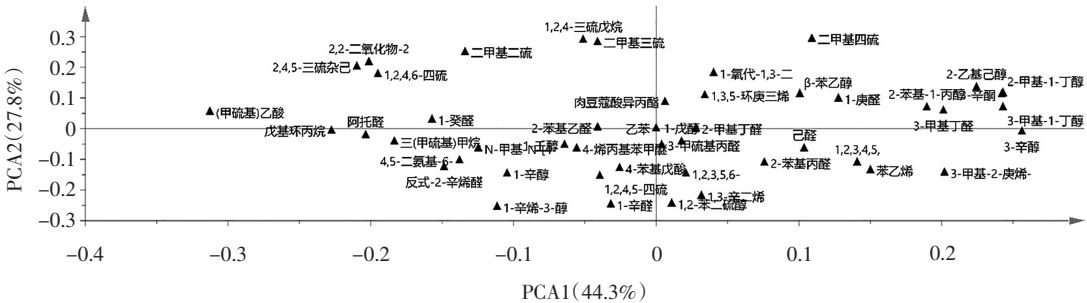


图2 主成分载荷矩阵图

Fig.2 PCA loading plot

远,意味着1号样品(柞木作为培养基)和其它样品(果木培养基)的挥发性风味物质相差较大。在得分图中,两个点靠得越近,说明两个样品的挥发性成分的组成越相同。本研究中,样品1和样品3虽然均在第一象限,但两者距离较远;样品4和样品6均在第二象限,相距也较远;样品7和样品8都在第四象限,也存在一定距离。如果两个样品在对角线的位置,说明两个样品中相同的挥发性成分的含量差异很大。本研究中,样品2和样品5处于对角线位置,说明在样品2中含量高的挥发性成分,在样品5中含量低;样品4、样品6和样品7、样品8分别位于对角线位置,样品2和样品3处于近似对角线位置,说明这些样品两两之间的挥发性风味物质差异较大。

图2可以看出,横坐标代表的是第一主成分,距离横坐标远的点,在第一主成分中起到主要的作用;纵坐标代表的是第二主成分,距离纵坐标远的点,在第二主成分中起到主要的作用。本研究中,对第一主成分贡献最大的是3-辛醇,其次是3-甲基-1-丁醇、3-辛酮、2-甲基-1-丁醇、2-乙基己醇;对第二主成分贡献最大的是二甲基四硫,其次是1,2,4-三硫戊烷、二甲基三硫、二甲基二硫。

结合图1、图2,其中样品1和样品3在第一主成分和第二主成分上呈正向分布,2-甲基-1-丁醇、3-辛酮、3-甲基丁醇、2-乙基己醇、2-苯基-1-丙醇、1-庚醛、 β -苯乙醇、二甲基四硫等也在第一主成分和第二主成分上呈正向分布,由此可见,这些挥发性成分和样品1、样品3呈正相关;样品4和样品6分布在第二象限,表明其与第一主成分呈负相关,与第二主成分呈正相关,而2,4,5-三硫杂己烷、1,2,4,6-四硫环己烷、(甲硫基)乙酸、二甲基二硫、二甲基三硫、2,2-二氧化物-2,4,5-三硫代己烷、1,2,4-三硫戊烷等也分布在第二象限,由此可见,这些是样品4和样品6中主要的挥发性成分;虽然第三象限不存在样品,但是样品4和样品9位于坐标轴上,说明此两种样品中含有的相邻两象限的挥发性成分含量接近;而样品7和样品8处于第四象限,与第一主成分呈正相关,与第二主成分呈负相关,3-甲基-2-庚烯-1-醇、苯乙烯、1,2,3,4,5,6-六硫杂环庚烷、2-苯基丙醛、己醛等位于第四象限,由此可见,样品7和样品8以这些成分为主。

3 结论

9种培养基生产的香菇挥发性成分的种类差异不大,分布在36种~43种之间,主要是烃类、醇类、酮类物质。通过主成分分析法提取了4个主成分以代表

9种培养基香菇的51种香气成分,4个主成分累积贡献率超过85%;前两个主成分的累积贡献率为72.1%,能较好解释样本整体信息,以前两个主成分作二维散点图得出,传统柞木作为培养基栽培的香菇挥发性风味和果木(苹果木屑、梨木屑、桃木屑和枣木屑)栽培的香菇挥发性风味物质差异相对较大;对第一主成分贡献最大的是3-辛醇,其次是3-甲基-1-丁醇、3-辛酮、2-甲基-1-丁醇、2-乙基己醇;对第二主成分贡献最大的是二甲基四硫,其次是1,2,4-三硫戊烷、二甲基三硫、二甲基二硫。

参考文献:

- [1] 徐天惠,刘强. 食用菌概论[M]. 北京: 中国展望出版社, 1987
- [2] 陆中华,陈俏彪. 食用菌贮藏与加工技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004
- [3] 曹丽,蒋青玲,王三. 香菇功效及甲醛残留检测研究进展[J]. 农产品加工, 2017(12): 62-73
- [4] 张锁峰,李青,韩鹏远,等. 不同果木栽培基质对香菇产量及主要养分转化的影响[J]. 中国食用菌, 2017, 37(1): 25-28, 33
- [5] 杨杰,萧晋川,刘欣,等. 枣木屑栽培香菇的对比研究[J]. 中国食用菌, 2018, 37(6): 36-39
- [6] 徐建俊,李彪,孙传齐,等. 桑枝屑香菇与杂木屑香菇的品质比较[J]. 北方园艺, 2016(3): 134-137
- [7] 贺春玲,李明,田景花,等. 葡萄木屑栽培香菇配方筛选及胞外酶活性研究[J]. 中国食用菌, 2019, 38(7): 43-49
- [8] 吴登,罗先群,梁明玉,等. 芒果枝屑栽培香菇配方试验[J]. 食用菌, 2019, 41(6): 34-35
- [9] 杜娟,韩美玲,安琪,等. 生态环境治理下果树残枝的资源化利用[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(18): 59-61, 82
- [10] 张莉会,刘杜娟,廖李,等. 真空冷冻-热风联合干燥对草莓品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(4): 194-203
- [11] 李小林,陈诚,黄羽佳,等. 顶空固相微萃取-气质联用分析4种野生食用菌干品的挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180
- [12] 李文,陈万超,杨焱,等. 香菇生长过程中挥发性风味成分组成及其风味评价[J]. 核农学报, 2018, 32(3): 325-334
- [13] Werkhoff P, Brüning J, Emberger R, et al. Flavor chemistry of meat volatiles: New results on flavor components from beef, pork and chicken[M]. VCH: Weinheim, 1993
- [14] 张媛媛,孙金沅,张锋国. 芝麻香型白酒中含硫风味组分的分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 218-225
- [15] 黄雯. 香菇风味物质研究及酶解香菇技术探索[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 30-40
- [16] 阮鸣,霍光明,张李阳,等. 新型与市售平菇香气成分的GC-MS分析与比较[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 72-81
- [17] 张宪臣,刘恭源,张静,等. 五种食用菌挥发性成分比较分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(8): 226-235

干燥加热磷酸化修饰对鸭蛋清蛋白结构和抗氧化活性影响的研究

刘自单¹,殷春雁¹,李灿鹏^{2,*}

(1. 红河卫生职业学院, 云南 红河 661199; 2. 云南大学 化学科学与工程学院, 云南 昆明 650091)

摘要:干燥加热磷酸化修饰鸭蛋清蛋白(duck egg white protein, DEWP)。通过 ABTS⁺自由基清除能力、超氧阴离子自由基清除能力和二价铁离子整合能力综合评价鸭蛋清蛋白在干燥加热磷酸化前后的抗氧化性。通过荧光光谱、红外光谱和圆二色谱法鉴定干燥加热磷酸化修饰对鸭蛋清蛋白结构的影响。结果表明,在干燥加热磷酸化修饰作用下,鸭蛋清蛋白二级结构和溶解性几乎不受影响,但它的抗氧化活性、热稳定性显著增强。干燥加热磷酸化修饰之后抗氧化性提高主要是由于蛋白中磷酸基团的引入和表面巯基含量的增加。

关键词:鸭蛋清蛋白;干燥加热磷酸化;抗氧化活性;结构

Phosphorylation of Duck Egg White Protein by Dry-heating in the Presence of Pyrophosphate: Effect on Protein Structure and Antioxidant Activity

LIU Zi-dan¹, YIN Chun-yan¹, LI Can-peng^{2,*}

(1. Honghe Health Vocational College, Honghe 661199, Yunnan, China; 2. School of Chemistry Science and Technology, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)

Abstract: Duck egg white protein (DEWP) was phosphorylated by dry-heating in the presence of pyrophosphate. The antioxidant activity of DEWP, including ABTS⁺ free-radical scavenging capacity, superoxide anion radical scavenging activity and Fe²⁺ chelating capacity, was then investigated before and after phosphorylation by dry-heating in the presence of pyrophosphate. Furthermore, the effects of phosphorylation on structure of DEWP were identified by spectra fluorescence, infrared spectra and circular dichroism spectra. The results showed that the antioxidant activity of DEWP was slightly increased after heating in a dry state. The results showed that the secondary structure and solubility of DEWP were almost unaffected under the effect of dry-heating phosphorylation, but its antioxidant activity and heat stability were significantly enhanced. The increased antioxidant activity of DEWP after dry-heating phosphorylation was mainly due to the introduction of phosphate groups and the increase of the surface SH content.

Key words: duck egg white protein; phosphorylation by dry-heating in the presence of pyrophosphate; antioxidant activity; structure

基金项目:云南省教育厅科学研究基金(2018JS 695)

作者简介:刘自单(1986—),男(汉),讲师,硕士,研究方向:功能性食品开发研究。

* 通信作者:李灿鹏(1974—),男,教授,博士,研究方向:电化学/荧光传感器、食品安全与检测、功能性食品等。

[18] 许佳妮,张剑飞,袁娅,等.不同培养基对平菇香气成分的影响[J].食品科学,2015,36(4):86-91

[19] 汪海波,罗莉,汪海玲,等.SAS统计分析与应用从入门到精通[M].北京:人民邮电出版社,2010:295-296

[20] 刘伟,张群,李志坚,等.不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J].食品科学,2019,40(10):243-250

[21] 张晓云,赵艳,吴文彬,等.高压脉冲电场对普洱生茶香气和陈化时间的影响[J].食品科学,2020,41(9):43-49

[22] 汪冬冬,唐垚,陈功,等.不同发酵方式盐渍萝卜挥发性成分动态分析[J].食品科学,2020,41(6):146-154

收稿日期:2020-02-04