

两种鲜辣椒发酵过程中香气特征及其差异分析

尹小庆^{1,2}, 汤艳燕^{1,2}, 杜木英^{1,2*}, 武亚婷³, 武运³, 阚建全^{1,2}

1(西南大学 食品科学学院, 重庆, 400715) 2(中甸食品科学合作研究中心, 重庆, 400715)

3(新疆农业大学 食品科学与药学院, 新疆 乌鲁木齐, 830052)

摘要 明晰发酵过程中二荆条鲜辣椒和牛角椒鲜辣椒的特征香气及其差异。采用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱对2种鲜辣椒的香气物质进行定性定量分析, 采用风味活度值分析其特征风味成分。结果表明, 2种鲜辣椒总挥发性物质均在65种左右, 主要香气成分是酯类和萜类, 其共有的特征风味物质是丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、芳樟醇和2-甲氧基-3-异丁基吡嗪。二荆条鲜辣椒中独有的特征香气成分是 β -紫罗兰酮, 发酵45~60 d风味更佳。而牛角椒鲜辣椒独有的特征是2-甲基丁酸乙酯、 β -月桂烯、(+)-柠檬烯和橙花叔醇, 发酵30~60 d风味更佳。在发酵过程中, 2种鲜辣椒挥发性物质总含量均先增加后减少, 在发酵45 d时达到最大值, 风味最佳。该研究对控制发酵时间和选择辣椒品种来获得不同鲜辣椒的最佳风味品质具有参考意义。

关键词 鲜辣椒; 发酵辣椒制品; 香气成分; 顶空固相微萃取(HS-SPME); 气相色谱-质谱(GC-MS)

鲜辣椒, 又称鲜海椒、酢辣椒、鲜广椒, 在湘西被称为包谷酸辣子, 是我国西南地区的一种传统特色发酵食品。鲜辣椒是以鲜辣椒、大米粉或玉米粉为主要原料, 按一定比例添加生姜、食盐等辅料, 经破碎混匀后于密闭容器中进行自然发酵而成。因其色泽鲜艳、酸辣可口、回味醇厚等特点受人们喜爱。既可单独成菜, 又能作为调味品。

目前, 鲜辣椒的研究报道主要集中在微生物的分离鉴定^[1-2]、发酵工艺的优化^[3-5]和质量评价体系^[6]的建立。只有少数文章研究鲜辣椒在发酵过程中营养成分^[7]和功能成分^[8-10]的变化。在评估鲜辣椒质量安全时, 理化指标、微生物指标以及感官评定^[11]都有确立, 但是鲜辣椒的挥发性香气成分却鲜有报道。刘昕等^[6]虽揭示了贵州几种市售鲜辣椒中的挥发性风味物质, 却未对鲜辣椒中香气成分含量随发酵时间变化进行研究。但发酵时间对鲜辣椒的香气物质的形成影响较大, 且不同品种的辣椒引起的鲜辣椒风味差异还未见报道。

因此, 本研究分别以二荆条和牛角椒为原料, 按传统工艺制作^[12], 取发酵时间为0、7、15、22、30、45、

60、90 d的鲜辣椒为研究对象, 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对鲜辣椒挥发性成分进行定性定量, 借助主成分分析, 聚类分析和香气活度值分析, 找出2种鲜辣椒的特征香气物质以及不同发酵时期主要香气成分对鲜辣椒风味的贡献率。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

样品: 按传统工艺制作的二荆条和牛角椒鲜辣椒, 分别取发酵时间为0、7、15、22、30、45、60、90 d的样品用于实验。

标准品: 2-辛醇, 购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司; C7~C40 正构烷烃, 购于上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

GC-MS-2010 气相色谱质谱联用仪, 日本岛津公司; 100 μ m PDMS 固相微萃取(SPME)装置, 美国Supelco公司; JA2003 分析天平, 上海精密科学仪器有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅, 金坛市富华仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 萃取方法

参考王巧碧等^[13]的方法: 称取5 g左右的样品置于20 mL 顶空进样瓶中, 再加入10 μ L 2-辛醇(500 mg/L), 加盖密封。在50 $^{\circ}$ C恒温水浴平衡30 min后, 将老化后的100 μ m PDMS 萃取头插入顶空进样瓶中, 顶空

第一作者: 硕士研究生(杜木英副教授为通讯作者, E-mail: muyingdu@swu.edu.cn)。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(XDJK2017B039); 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2017shms-kjfp80053); 新疆维吾尔自治区重点科技专项, 民族特色果蔬关键技术研究-新型发酵辣椒酱产业升级提质增效研究与应用(2016401001-2); 重庆市农委调味品产业技术体系项目(2018[7]号)

收稿日期: 2019-04-01, 改回日期: 2019-05-09

吸附 40 min,然后将萃取头插入 GC-MS 进样器中解析 5 min,同时启动仪器进行数据采集。

1.3.2 GC-MS 分析

色谱条件:DB-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序:柱温箱起始温度为 40 ℃,保持 2 min,先以 10 ℃/min 升温到 150 ℃,保持 2 min,再以 4 ℃/min 升温到 250 ℃,保持 5 min;柱流量 1 mL/min;进样口温度 250 ℃;不分流进样。质谱条件:电子轰击(EI)离子源,电子能量 70 eV;离子源温度 250 ℃;接口温度 250 ℃;质量扫描范围 40~400 m/z 。

1.3.3 定性定量分析

采用 NIST05、NIST08 等谱库检索和保留指数结合进行定性分析。各挥发性组分的保留指数(RI)由 C7~C40 正构烷烃的保留时间计算而得。RI^[14]值按公式(1)进行计算:

$$RI = 100 \times \left(\frac{Rt_i - Rt_n}{Rt_{n+1} - Rt_n} + n \right) \quad (1)$$

式中: Rt_i 、 Rt_n 、 Rt_{n+1} 分别为待测未知物、含 n 及 $n+1$ 个碳原子的正构烷烃的保留时间($Rt_n < Rt_i < Rt_{n+1}$)。

样品中各挥发性组分的绝对含量按公式(2)进行计算^[15]:

$$\text{绝对含量}/(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}) = \frac{\rho \times V \times A_i}{A \times m} \quad (2)$$

式中: ρ ,内标的质量浓度, $\mu\text{g}/\mu\text{L}$; V ,内标物体积, μL ; A_i ,各挥发性组分的峰面积; A ,内标物质的峰面积; m ,样品质量,kg。

1.3.4 鲜辣椒特征香气成分分析

采用香气活度值(odor activity value, OAV)表征鲜辣椒中各香气化合物对主体香气成分的贡献。当 OAV > 1 时,认为该化合物对样品的香气有贡献,且 OAV 越大表明该化合物个体贡献越大^[16]。OAV 按公式(3)进行计算^[17]:

$$OAV = \frac{C_i}{T_i} \quad (3)$$

式中: C_i ,化合物的含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$; T_i ,该化合物的香气阈值浓度, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

1.3.5 数据分析与处理

每个实验设 3 个平行,采用 Excel 2016 和 SPSS 20.0 对数据进行计算,并用 Origin 8.6 进行作图。

2 结果与分析

2.1 鲜辣椒发酵过程中香气成分分析

2 种鲜辣椒发酵过程中的挥发性香气成分

性和定量分析结果见表 1 和表 2。结合图 1 和图 2 可知,随着发酵的进行,2 种鲜辣椒挥发性成分的种类不断增加,总挥发性成分含量均先增加后减少。

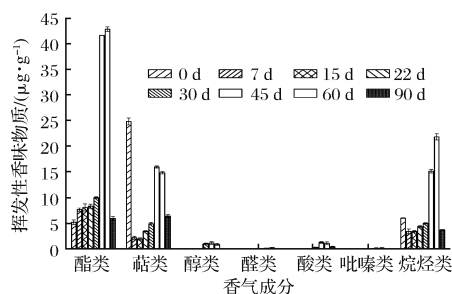


图 1 二荆条鲜辣椒中挥发性化合物含量的变化

Fig. 1 Changes of volatile compounds content in erjingtiao rice-chili during fermentation

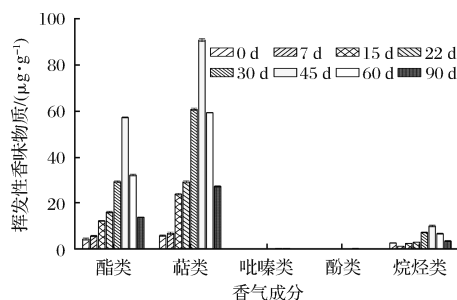


图 2 牛角椒鲜辣椒发酵过程中挥发性化合物含量的变化

Fig. 2 Changes of volatile compounds content in niujiaojiao rice-chili during fermentation

在发酵 45 d 时,2 种鲜辣椒挥发性成分的种类和含量均达到最大值。从发酵 0~45 d,二荆条鲜辣椒挥发性成分增加了 42 种,其中酯类 20 种,萜类 11 种,烷烃类 3 种,酸类 5 种,醇类、醛类和吡嗪类各 1 种。而牛角椒鲜辣椒挥发性成分增加了 26 种,比二荆条鲜辣椒少 16 种且未检测到酸类、醛类等挥发性物质。可见在发酵过程中,二荆条鲜辣椒比牛角椒鲜辣椒合成的挥发性物质的种类更为丰富。但是,从发酵 0~45 d,二荆条鲜辣椒挥发性成分含量增加了 39.50 mg/kg,而牛角椒鲜辣椒却增加了 145.73 mg/kg。牛角椒鲜辣椒在发酵过程中增加的香气物质的含量约是二荆条鲜辣椒的 3.7 倍。

在不同发酵期,鲜辣椒中挥发性成分的组成也不相同。发酵 0 d 时,二荆条鲜辣椒共检出 7 种萜类化合物,分别是 (+)-柠檬烯、(Z)-β-罗勒烯、芳樟醇、β-榄香烯、α-雪松烯、β-石竹烯和 α-姜黄烯,其中 (+)-柠檬烯含量最高,占总挥发性成分 40% 左右。7 种萜类物质含量达 24 878.43 μg/kg,占总含量的 68.9%,而酯类和烷烃类分别占 15% 左右。

表 1 二荆条鲜辣椒发酵过程中挥发性成分的变化

Table 1 Changes of volatile compounds in erjingtiao rice-chili during fermentation

序号	物质	保留指数	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)								
			0 d	7 d	15 d	22 d	30 d	45 d	60 d	90 d	
1	丁酸乙酯	769	—	—	—	—	137.87	876.56	938.81	118.00	
2	乙酸戊酯	881	—	—	—	—	706.10	1 588.79	1 632.04	515.26	
3	戊酸乙酯	904	—	—	—	—	24.14	329.18	501.03	131.28	
4	异己酸乙酯	967	—	—	—	—	74.05	373.16	685.20	23.77	
5	己酸乙酯	997	15.00	189.68	292.56	377.55	461.05	1429.51	333.51	284.53	
6	乙酸己酯	1 010	—	—	85.59	105.95	539.33	1 153.54	95.54	140.70	
7	庚酸乙酯	1 095	—	—	—	—	111.96	163.20	70.22	43.48	
8	异丁酸己酯	1 110	—	115.31	76.36	95.84	173.02	392.96	30.53	175.59	
9	2-甲基丁酸戊酯	1 137	—	—	—	—	7.26	32.63	24.55	24.05	
10	苯甲酸乙酯	1 179	—	—	—	—	40.72	88.89	143.34	46.08	
11	辛酸乙酯	1 194	—	—	300.94	343.33	438.19	945.85	529.88	142.28	
12	异戊酸己酯	1 210	1 673.52	1 217.27	856.31	464.91	549.37	1 636.44	710.71	312.63	
13	己酸异戊酯	1 219	—	—	—	—	30.01	135.95	138.40	28.97	
14	正戊酸己酯	1 275	—	—	—	—	19.55	42.66	49.92	43.02	
15	酯类	水杨酸乙酯	1 295	—	129.05	146.80	208.62	245.96	395.68	358.16	49.15
16		(Z)-4-癸烯酸乙酯	1 359	541.14	595.58	655.67	788.87	1 031.16	3 444.37	2 371.50	598.75
17		己酸己酯	1 370	—	489.43	404.44	531.72	570.16	1 579.60	863.60	406.81
18		癸酸乙酯	1 392	—	166.07	176.08	211.23	257.58	797.66	574.52	93.34
19		十一酸乙酯	1 455	—	—	—	—	164.32	520.17	493.45	72.10
20		月桂酸乙酯	1 592	153.92	146.61	199.63	193.01	300.26	1 130.99	1 461.41	171.76
21		十三酸乙酯	1 692	—	—	—	—	21.84	556.41	219.31	49.47
22		十四酸乙酯	1 792	1 597.88	1 283.73	1 469.52	1 474.50	1 458.06	6 643.37	9 041.81	596.16
23		十五酸乙酯	1 883	—	—	—	—	153.43	670.02	128.61	25.89
24		9-十六碳烯酸乙酯	1 987	—	—	—	—	34.61	81.40	432.56	93.62
25		棕榈酸乙酯	1 992	45.14	2 389.98	2 500.06	2 532.33	2 016.65	11 234.15	15 199.59	1 011.83
26		亚油酸甲酯	2 098	—	—	—	—	—	334.43	323.68	84.97
27		油酸乙酯	2 173	643.47	331.41	317.16	332.19	201.62	616.15	301.55	230.88
28		亚油酸乙酯	2 190	551.45	623.87	617.36	675.17	264.89	4 525.60	5 239.93	425.48
29	醇类	1,3-丁二醇	819	—	—	—	—	1 030.2	1 175.01	880.00	103.65
30	醛类	反式-2-壬醛	1 166	—	—	—	—	—	148.86	243.68	56.02
31		庚酸	1 073	—	—	—	—	36.56	133.02	198.99	66.06
32		辛酸	1 169	—	—	—	—	110.18	274.88	163.16	104.74
33	酸类	壬酸	1 265	—	—	—	—	17.81	670.87	442.19	124.12
34		正癸酸	1 332	—	—	—	—	53.23	76.27	47.69	23.63
35		月桂酸	1 557	—	—	—	—	45.01	111.26	243.92	86.72
36		β -月桂烯	993	—	—	—	—	178.25	393.97	279.14	387.37
37		(+)-柠檬烯	1 033	14 133.10	55.23	59.06	215.38	123.00	820.53	1 678.31	673.06
38		β -罗勒烯	1 059	2 160.50	341.00	357.68	520.83	501.15	1 593.74	958.72	308.06
39		芳樟醇	1 100	272.04	343.29	355.01	555.28	708.29	2 529.34	2 476.01	1 652.00
40		4-萜烯醇	1 187	—	—	—	—	37.61	167.97	351.32	250.38
41		β -榄香烯	1 396	1 582.97	288.79	246.70	327.43	368.61	1 120.18	905.79	154.51
42		香树烯	1 411	—	—	—	—	11.13	27.04	91.54	28.77
43		长叶烯	1 421	—	—	—	—	7.85	66.44	40.88	13.46
44	萜类	α -柏木烯	1 427	—	—	96.56	131.66	258.10	731.44	750.66	345.58
45		(E)- β -金合欢烯	1 451	—	—	—	—	61.00	182.43	217.31	66.44
46		β -紫罗兰酮	1 482	—	—	—	—	272.54	965.86	935.21	204.22
47		α -雪松烯	1 488	3 029.52	293.79	406.18	752.91	857.28	1 624.71	260.16	104.81
48		β -石竹烯	1 492	3 165.02	773.76	304.62	843.23	526.45	3 098.14	2 428.62	1 499.78
49		α -愈创木烯	1 507	—	—	—	—	93.92	218.94	260.16	101.98
50		β -雪松烯	1 511	—	—	—	—	180.23	464.64	785.18	42.15
51		α -姜黄烯	1 519	535.29	97.11	120.97	139.32	225.56	739.32	762.43	158.72
52		δ -葑澄茄烯	1 526	—	—	—	—	30.60	73.04	163.10	71.84
53		柏木脑	1 617	—	—	—	—	497.70	1 195.75	1 531.69	352.99

续表 1

序号	物质	保留指数	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)								
			0 d	7 d	15 d	22 d	30 d	45 d	60 d	90 d	
54	吡嗪类 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	1 199	—	—	—	—	29.90	108.08	178.27	22.48	
55	2-甲基十三烷	1 361	1 573.89	864.31	880.83	1 168.48	1 256.89	4 854.67	2 463.27	742.04	
56	正十四烷	1 402	497.15	253.60	249.90	301.18	344.89	906.70	657.88	142.86	
57	2-甲基四癸烷	1 462	1 565.12	915.43	955.29	1 193.559	1 395.26	2 710.25	8 504.14	910.54	
58	正十五烷	1 505	152.83	262.68	268.79	366.25	446.53	1 438.61	1 656.43	304.01	
59	2-甲基十五烷	1 544	283.89	339.94	354.73	411.53	522.91	1 895.28	2 054.65	331.20	
60	烷烃类	正十六烷	1 603	123.37	385.81	365.15	466.70	431.79	1347.43	2 117.02	399.27
61		姥鲛烷	1 646	—	—	—	—	80.01	223.68	1 076.86	266.93
62		2-甲基二六烷	1 663	594.81	84.74	86.16	104.85	133.68	405.71	789.61	147.46
63		正十七烷	1 700	914.92	220.92	174.27	258.07	217.95	895.31	1 501.69	287.35
64		3-甲基十七烷	1 771	—	—	—	—	20.08	47.93	152.15	58.22
65		植烷	1 742	—	—	—	—	95.67	218.65	448.60	43.32
66	正十八烷	1 806	301.67	98.84	79.07	99.21	56.56	235.03	448.60	90.45	

注：“—”表示未检出。下同。

表 2 牛角椒鲜辣椒发酵过程中挥发性成分的变化

Table 2 Changes of volatile compounds in niujiaojiao rice-chili during fermentation

序号	物质	保留指数	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)								
			0 d	7 d	15 d	22 d	30 d	45 d	60 d	90 d	
1	丁酸乙酯	769	—	—	—	—	—	974.94	289.03	32.75	
2	2-甲基丁酸乙酯	848	—	—	—	—	23.13	40.92	34.75	38.66	
3	乙酸异戊酯	876	—	—	490.56	636.16	1 541.80	2 092.08	2 348.91	1 139.45	
4	戊酸乙酯	904	—	—	—	—	33.18	159.99	201.27	44.95	
5	己酸乙酯	997	157.97	294.62	387.59	462.35	640.36	1 243.10	1 304.30	569.62	
6	乙酸己酯	1010	43.88	42.22	204.41	255.88	277.51	427.29	76.27	66.44	
7	庚酸乙酯	1095	—	—	52.64	49.03	144.33	187.13	153.85	79.59	
8	苯甲酸乙酯	1179	—	—	—	—	76.53	111.60	65.46	62.36	
9	辛酸乙酯	1194	110.32	206.59	265.21	291.73	66.28	713.74	633.90	275.58	
10	异戊酸己酯	1210	467.26	206.59	620.53	772.63	600.21	1 436.61	1 327.54	381.99	
11	苯乙酸乙酯	1250	—	—	—	—	48.07	53.64	28.48	17.38	
12	乙酸芳樟酯	1 272	37.28	613.56	1 747.50	2 057.32	1 259.67	3 915.26	1 337.10	506.01	
13	酯类	乙酸松油酯	1 346	13.63	221.72	492.36	582.44	636.40	1 485.99	500.86	726.53
14		乙酸橙花酯	1 379	32.31	131.01	372.66	482.33	997.75	1 482.94	848.10	367.17
15		壬酸乙酯	1 295	—	—	128.85	156.32	334.19	492.55	187.36	75.11
16	(Z)-4-癸烯酸乙酯	1 359	436.62	226.77	818.64	989.53	2 770.90	3 892.01	2 404.85	1 125.44	
17	己酸己酯	1 370	27.92	105.07	240.73	318.13	688.04	717.94	642.62	241.04	
18	癸酸乙酯	1 392	—	—	190.23	231.59	671.09	839.86	1 551.00	669.30	
19	十一酸乙酯	1 455	—	—	—	—	480.57	559.59	433.98	127.31	
20	月桂酸乙酯	1 592	78.71	100.49	283.90	332.66	1 188.10	1 816.01	946.31	361.01	
21	十四酸乙酯	1 792	726.33	687.11	1 646.01	2 041.88	5 331.18	9 240.82	4 268.73	1 510.93	
22	十五酸乙酯	1 883	39.98	108.06	233.88	311.69	823.57	1 268.31	962.88	46.22	
23	9-十六碳烯酸乙酯	1 987	13.81	64.81	65.89	113.37	229.82	970.22	325.13	136.89	
24	棕榈酸乙酯	1 992	1 712.32	1 520.61	2 554.36	3 671.61	7 697.43	14 426.9	6 926.51	2 874.44	
25	亚油酸乙酯	2 190	92.96	573.32	779.22	1 307.40	1 427.27	5 296.74	2 586.43	1 403.18	
26	油酸乙酯	2 173	96.37	379.07	449.95	779.58	1 102.92	3 226.50	1 623.61	755.79	
27	萜类	α -水芹烯	946	—	—	82.92	103.35	94.54	74.05	249.30	45.40
28		α -蒎烯	954	—	—	303.84	386.40	138.65	328.42	690.36	321.58
29		β -水芹烯	977	—	242.97	1 542.79	1 473.70	961.13	814.80	1 074.84	393.89
30		β -蒎烯	982	—	—	252.51	292.14	1 100.08	908.38	719.80	274.10
31		β -月桂烯	993	331.33	439.79	2 125.58	2 559.27	4 358.06	4 830.66	5 722.08	1 970.73
32		α -侧柏烯	1 029	—	27.03	320.58	355.87	633.29	817.46	1 310.17	327.15
33		(+)-柠檬烯	1 033	619.44	788.31	6 367.58	7 539.02	11 119.37	19 982.68	12 141.80	8 068.94
34		萜品油烯	1 040	18.78	46.41	389.54	460.89	917.20	1 739.23	1 778.08	441.92
35		β -罗勒烯	1 059	287.52	198.67	1 046.72	1 201.00	2 053.87	2 693.31	3 247.25	1 016.66

续表 2

序号	物质	保留指数	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)							
			0 d	7 d	15 d	22 d	30 d	45 d	60 d	90 d
36	γ -松油烯	1 062	53.25	101.74	1 241.04	1 443.31	1 395.52	1 223.30	2 712.37	1 717.89
37	芳樟醇	1 100	921.81	2 871.38	5 138.92	6 289.09	15 964.83	25 222.08	12 545.26	5 255.11
38	侧柏酮	1 113	—	33.35	52.75	68.66	181.50	196.52	190.24	158.39
39	4-萜烯醇	1 187	—	352.09	748.29	1 013.71	3 235.59	4 553.64	2 555.77	1 012.59
40	α -葎澄茄油烯	1 376	—	—	—	68.33	281.18	408.68	219.10	113.86
41	β -榄香烯	1396	490.64	227.18	531.95	638.99	1 601.56	2 619.75	1 072.43	494.96
42	α -柏木烯	1 427	251.88	369.75	1 154.82	1 382.04	3 323.91	4 644.45	3 296.35	1 343.39
43	γ -葎澄茄烯	1 437	—	—	53.68	147.57	743.46	709.57	531.44	61.37
44	萜类	反式- β -金合欢烯	1 457	—	—	—	477.14	542.11	334.82	73.17
45		α -雪松烯	1 488	—	—	84.58	882.57	1 459.73	1 325.18	1 459.17
46	β -石竹烯	1492	1 332.16	419.60	1 029.66	1 222.99	2 847.97	7 334.41	2 568.99	1 269.23
47	α -愈创木烯	1 507	111.04	130.31	358.01	432.20	1 291.85	1 661.45	1 189.49	441.05
48	β -雪松烯	1 511	99.19	53.27	170.58	213.86	560.37	540.08	491.72	108.31
49	α -姜黄烯	1 519	259.35	69.57	196.07	235.01	736.97	982.27	654.93	246.53
50	δ -葎澄茄烯	1 523	34.37	84.02	236.68	291.34	1 067.36	1 581.41	719.15	277.69
51	橙花叔醇	1 562	—	—	—	—	2 459.36	3 525.42	1 657.15	656.84
52	柏木脑	1 617	776.13	142.88	243.67	310.60	1 582.98	1 480.14	—	—
53	吡嗪类	2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	1 199	—	—	—	55.39	113.10	71.66	24.15
54		酚类	4-乙基愈创木酚	1 300	—	—	—	36.96	64.01	9.24
55	烷烃类	2-甲基十三烷	1 361	28.31	169.54	662.74	819.05	1 769.80	2 945.93	1 848.90
56		正十四烷	1 402	334.37	65.13	207.80	244.41	692.90	735.31	522.63
57		正十五烷	1 505	529.81	72.94	160.91	224.18	847.30	2 077.33	1 590.76
58		2-甲基十五烷	1 544	591.10	324.04	581.69	744.04	458.98	325.82	49.69
59		正十六烷	1 624	63.46	170.87	325.60	398.88	1 244.14	1 511.70	908.78
60		2-甲基二六烷	1 663	232.62	39.71	78.96	102.69	475.31	604.96	352.58
61		正十七烷	1 700	493.49	92.62	155.88	169.80	572.30	905.29	498.38
62		姥敦烷	1 647	—	—	—	—	606.92	280.92	418.28
63		植烷	1 742	—	—	—	—	129.57	195.08	132.03
64		正十八烷	1 806	136.33	41.46	63.32	78.85	193.06	245.15	162.21

发酵 7 d 后,萜类物质含量迅速下降,可能是微生物产生的各种修饰酶对碳骨架进一步修饰,如环氧化、羟基化、异构化、糖基化等^[18],使萜类化合物发生了转化。发酵 45 d 后,虽然萜类化合物的含量降到 20% 左右,却新出现了 α -柏木烯、 β -月桂烯、4-萜烯醇、香树烯、长叶烯、(*E*)- β -金合欢烯、 β -紫罗兰酮、 α -愈创木烯、 β -雪松烯、 δ -葎澄茄烯、柏木脑。同时酯类含量增加到 55% 左右,酯类物质由微生物产生的酶催化生成,或者由醇类化合物和短链脂肪酸通过非酶催化的酯化反应生成^[19]。由此可见,二荆条鲜辣椒发酵过程中主要实现了萜类物质的转化和酯类物质的生成。

发酵 0 d 时,2 种鲜辣椒共有的萜类物质包括 (+)-柠檬烯、 β -罗勒烯、芳樟醇、 β -榄香烯、 β -石竹烯和 α -姜黄烯。除此之外,牛角椒鲜辣椒中还有 β -月桂烯、萜品油烯、 γ -松油烯、 α -柏木烯、 α -愈创木烯、 β -雪松烯、 δ -葎澄茄烯、柏木脑和 16 种酯类物质,其中

含量较高的是异戊酸乙酯、(*Z*)-4-癸烯酸乙酯、十四酸乙酯和棕榈酸乙酯,这 4 种物质的含量占酯类化合物含量的 80% 左右。随着发酵的进行,萜类和酯类化合物的含量不断增加,并在发酵 45 d 时含量达到最大值。其中酯类物质中含量较高的有乙酸异戊酯、乙酸芳樟酯、(*Z*)-4-癸烯酸乙酯、十四酸乙酯、棕榈酸乙酯、亚油酸乙酯和油酸乙酯,萜类物质含量较高的有 β -月桂烯、(+)-柠檬烯、芳樟醇、 α -柏木烯、 β -石竹烯、橙花叔醇,这些萜类和酯类物质可能对鲜辣椒的风味有一定的贡献。可见牛角椒鲜辣椒发酵过程中主要生成酯类和萜类化合物。2-甲氧基-3-异丁基吡嗪和 4-乙基愈创木酚均在发酵 30 d 后检出,说明这两种物质是在发酵后生成的。

2.2 鲜辣椒发酵过程中特征香气分析

如表 3 和表 4 所示,二荆条发酵 0 d 时,己酸乙酯、芳樟醇、(*Z*)-4-癸烯酸乙酯、(+)-柠檬烯、 β -罗勒烯和 β -石竹烯 OAV > 1,说明这 6 种物质对二荆条

鲜辣椒香气有贡献;(+) -柠檬烯的 OAV > 1 000,说明它是二荆条鲜辣椒的主要香气成分。发酵 0 d 的牛角椒中 OAV > 1 的有 9 种,其中己酸乙酯和芳樟醇的 OAV > 100,说明这两种物质可能是鲜牛角椒的特征香气成分。发酵 45 d 后二荆条鲜辣椒中 OAV > 1 的化合物共 21 种,酯类 13 种,萜类 7 种,吡嗪类 1 种。其中丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、己酸己酯、芳樟醇、β-紫罗兰酮和 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪的

OAV > 100,说明这 5 种物质是二荆条鲜辣椒的主要香气成分。而牛角椒鲜辣椒中 OAV > 1 的化合物增加至 25 种,酯类 11 种、萜类 13 种、吡嗪类 1 种。其中丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、β-月桂烯、(+) -柠檬烯、芳樟醇、4-萜烯醇、β-石竹烯、橙花叔醇和 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪的 OAV > 100,可能是牛角椒鲜辣椒的特征香气成分。

表 3 二荆条鲜辣椒中主要成分的 OAV

Table 3 The OAVs of major volatile compounds in erjingtiao rice-chili

序号	物质	阈值 ^[28] / (μg · kg ⁻¹)	香气活度值(OAV)							
			0 d	7 d	15 d	22d	30 d	45 d	60 d	90 d
1	丁酸乙酯	1	-	-	-	-	137.87	876.56	938.81	118.00
2	乙酸戊酯	43	-	-	-	-	16.42	36.95	37.95	11.98
3	戊酸乙酯	5	-	-	-	-	4.83	65.84	100.21	26.26
4	己酸乙酯	1	15.00	189.68	292.56	377.55	461.05	1429.51	333.51	284.53
5	乙酸己酯	2	-	-	42.80	52.98	269.67	576.77	47.77	70.35
6	庚酸乙酯	22	-	-	-	-	50.89	74.18	31.92	19.76
7	酯类	异丁酸己酯	-	8.87	5.87	7.37	13.31	30.23	2.35	13.51
8		苯甲酸乙酯	-	-	-	-	0.68	1.48	2.39	0.77
9		(Z)-4-癸烯酸乙酯	3.61	3.97	4.37	5.26	6.87	22.96	15.81	3.99
10		己酸己酯	-	48.94	40.44	53.17	57.02	157.96	86.36	40.68
11	萜类	月桂酸乙酯	400	0.38	0.37	0.50	0.48	0.75	2.83	3.65
12		十三酸乙酯	180	-	-	-	0.12	3.09	1.22	0.27
13		棕榈酸乙酯	2 000	0.02	1.19	1.25	1.27	1.01	5.62	7.60
14		β-月桂烯	15	-	-	-	11.88	26.26	18.61	25.82
15		(+) -柠檬烯	10	1 413.31	5.52	5.91	21.54	12.30	82.05	167.83
16		β-罗勒烯	34	63.54	10.03	10.52	15.32	14.74	46.87	28.20
17		芳樟醇	6	45.34	57.21	59.17	92.55	118.05	421.56	412.67
18		4-萜烯醇	40	-	-	-	0.94	4.20	8.78	6.26
19		β-紫罗兰酮	0.007	-	-	-	38 934	137 980	133 601	29 174
20		β-石竹烯	64	49.45	12.09	4.76	13.18	8.23	48.41	37.95
21	吡嗪类	2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	0.016	-	-	-	1 868.82	6 755.24	11 141	1 405.22

酯类化合物是食品中重要的风味物质,主要赋予食品特殊的水果香味^[20]。发酵 45 ~ 60 d 时,二荆条和牛角椒鲜辣椒分别检出 13 和 11 种对风味有贡献的酯类化合物。其中丁酸乙酯具有强烈的菠萝和凤梨的香气,己酸乙酯有强烈的甜的果香,乙酸己酯具有青香和果香,且有苹果和梨的味道^[21]。这 3 种酯类化合物阈值低,OAV 均大于 100,是两种鲜辣椒中共有的特征香气成分。2-甲基丁酸乙酯具有成熟的浆果类香气,阈值仅 0.3 μg/kg,是牛角椒鲜辣椒独有的特征香气成分。己酸己酯具有青香、药草香和热带水果的香气,是二荆条鲜辣椒发酵 45 d 时的特征香气成分,但不是其他发酵阶段的特征香气成分。

萜类化合物主要存在于陆生植物中,具有生理活性且对天然风味有一定的贡献。两种鲜辣椒在发酵 45 d 时萜类化合物的数量和含量最高。发酵 45 ~

60 d 时,两种鲜辣椒中 OAV > 1 的萜类化合物分别有 7 种和 14 种。芳樟醇具有浆果和玫瑰的香气,是两种鲜辣椒发酵 45 ~ 60 d 时共有的特征香气物质。β-紫罗兰酮具有覆盆子和紫罗兰的香气,是二荆条鲜辣椒独有的特征香气成分。β-月桂烯具有青香、木香和果香,(+) -柠檬烯具有柑橘和柠檬的香气,4-萜烯醇具有青香、木香和辛香,β-石竹烯具有辛香、木香和柑橘的香气,橙花叔醇具有青香、木香和花香^[22],这 5 种萜类化合物是牛角椒鲜辣椒发酵 45 d 时的特征香气成分,而牛角椒鲜辣椒发酵 60 d 后 4-萜烯醇和 β-石竹烯不再是其特征香气成分。

烃类化合物虽然在鲜辣椒中含量高,但由于烃类化合物的风味阈值高,对鲜辣椒的风味贡献小,所以烃类化合物不是鲜辣椒的特征香气成分。2-甲氧基-3-异丁基吡嗪具有类似胡椒和咖啡的香气,是青辣椒

的主要香气成分^[23],虽然含量低但其阈值仅为0.016 μg/kg,且 OAV 在 1 000 以上,所以是鲜辣椒发酵 30 d 后的特征香气成分。2 种鲜辣椒发酵前 22 d 均未检测到 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪,可能是辣椒变红后含量降低了^[24]。而在发酵后期能检测到这种物质是因为发生 Strecker 反应,生成吡嗪类物质^[25]。

综上可知,鲜辣椒各发酵阶段的特征风味成分差别较大。且发酵 45 d 后,随发酵时间的延长,2 种鲜辣椒中大部分挥发性化合物的 OAV 逐渐降低,说明鲜辣椒的香气在不断减弱。β-紫罗兰酮是二荆条鲜

辣椒中独有的特征香气成分,2-甲基丁酸乙酯、β-月桂烯、(+)-柠檬烯和橙花叔醇是牛角椒鲜辣椒中独有的特征香气成分,说明 2 种鲜辣椒的风味各有特色。张晓辉等^[26]研究发现酯类和萜类物质不仅是新鲜辣椒的主要呈香物质,也是发酵辣椒的主要香气成分,本文中 2 种鲜辣椒主要呈香物质也是酯类和萜类。己酸乙酯、乙酸己酯和芳樟醇是发酵辣椒中的主要香气成分^[27]。在发酵 45 ~ 60 d 时,2 种鲜辣椒共有的特征香气成分除了这 3 种,还包括丁酸乙酯和 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪。

表 4 牛角椒鲜辣椒中主要成分的 OAV

Table 4 The OAVs of major volatile compounds in niujiaojiao rice-chili

序号	物质	阈值 ^[28] / (μg·kg ⁻¹)	香气活度值(OAV)							
			0 d	7 d	15 d	22 d	30 d	45 d	60 d	90 d
1	丁酸乙酯	1	—	—	—	—	—	974.94	289.03	32.75
2	2-甲基丁酸乙酯	0.3	—	—	—	—	77.09	136.41	115.83	128.88
3	戊酸乙酯	5	—	—	—	—	6.64	32.00	40.25	8.99
4	酯类	己酸乙酯	157.97	294.62	387.59	462.35	640.36	1 243.10	1 304.30	569.62
5		乙酸己酯	21.94	21.11	102.20	127.94	138.76	213.64	38.13	33.22
6		庚酸乙酯	—	—	23.93	22.29	65.60	85.06	69.93	36.18
7		乙酸芳樟酯	0.34	5.58	15.89	18.70	11.45	35.59	12.16	4.60
8		(Z)-4-癸烯酸乙酯	2.91	1.51	5.46	6.60	18.47	25.95	16.03	7.50
9		己酸己酯	2.79	10.51	24.07	31.81	68.80	71.79	64.26	24.10
10		月桂酸乙酯	0.20	0.25	0.71	0.83	2.97	4.54	2.37	0.90
11		棕榈酸乙酯	0.86	0.76	1.28	1.84	3.85	7.21	3.46	1.44
12		α-蒎烯	2 000	—	50.64	64.40	23.11	54.74	115.06	53.60
13		β-水芹烯	160	—	9.64	9.21	6.01	5.09	6.72	2.46
14		β-蒎烯	6	—	1.80	2.09	7.86	6.49	5.14	1.96
15		β-月桂烯	160	22.09	29.32	141.71	170.62	290.54	322.04	381.47
16		α-侧柏烯	140	—	0.36	4.27	4.74	8.44	10.90	17.47
17		(+)-柠檬烯	15	61.94	78.83	636.76	753.90	1 111.94	1 998.27	1 214.18
18	萜类	萜品油烯	0.07	0.18	1.50	1.77	3.53	6.69	6.84	1.70
19		β-罗勒烯	10	8.46	5.84	30.79	35.32	60.41	79.21	95.51
20		γ-松油烯	260	0.20	0.39	4.77	5.55	5.37	4.70	10.43
21		芳樟醇	34	153.64	478.56	856.49	1 048.18	2 660.80	4 203.68	2 090.88
22		4-萜烯醇	260	—	8.80	18.71	25.34	80.89	113.84	63.89
23		β-石竹烯	6	20.82	6.56	16.09	19.11	44.50	114.60	40.14
24		橙花叔醇	40	—	—	—	—	163.96	235.03	110.48
25	吡嗪类	2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	0.016	—	—	—	—	3 462.18	7 068.57	4478.49
									1 509.12	

2.3 鲜辣椒发酵过程中主成分分析与聚类分析

2.3.1 二荆条鲜辣椒主成分分析与聚类分析

由表 5 可知,二荆条鲜辣椒挥发性物质经主成分分析后可提取 5 个主成分,累计贡献率达到 99.489%,说明这 5 个主成分能够反映样本信息量。通过 SPSS 20.0 分析不同发酵阶段二荆条鲜辣椒在各个主成分中的得分,然后建立综合评价函数 $F = 0.7096F_1 + 0.123F_2 + 0.1124F_3 + 0.0333F_4 + 0.0167F_5$ 。综合得分排序为发酵 45 d > 60 d > 0 d >

30 d > 90 d > 22 d > 7 d > 15 d。表明二荆条鲜辣椒在发酵 45 d 时鲜辣椒香气成分最佳。

聚类分析作为一种无管理模式的识别方法,所得结果一定程度上取决于聚类距离的计算、聚类的方法等。本试验采用的平方欧式距离类平均法,应用 SPSS 20.0 进行系统聚类分析,将牛角椒鲜辣椒 66 种香气物质的相对含量作为特征向量以平方欧式距离、组间连接法为准则进行聚类分析,结果见图 3。

表5 二荆条鲜辣椒的主成分分析结果
Table 5 Principal component analysis results of
erjingtiao rice-chili

发酵时间/d	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	综合得分
0	-0.631	0.824	2.119	0.646	0.364	-0.080
7	-0.744	-0.128	-0.165	-0.691	-0.755	-0.598
15	-0.724	-0.161	-0.312	-0.833	-0.410	-0.603
22	-0.662	-0.069	-0.277	-0.860	-0.319	-0.543
30	-0.195	0.064	-0.916	0.135	2.265	-0.191
45	1.495	1.804	-0.582	0.017	-0.544	1.209
60	1.665	-1.550	0.815	-0.510	0.156	1.068
90	-0.204	-0.784	-0.683	2.096	-0.759	-0.261
特征值	46.832	8.117	7.415	2.2	1.099	
贡献率/%	70.957	12.299	11.235	3.333	1.665	
累计贡献率/%	70.957	83.256	94.491	97.824	99.489	

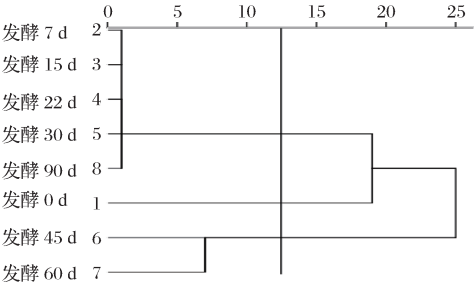


图3 二荆条鲜辣椒发酵过程中挥发性成分含量的聚类分析
Fig. 3 Cluster analysis of volatile aroma components in erjingtiao rice-chili during fermentation

不同发酵期鲜辣椒在相似系数 12.5 处可分为 3 类。第一类包括发酵 45 d 和 60 d,第二类包括发酵 0 d,剩余的归为第 3 类。发酵 45 d 的二荆条鲜辣椒得分最高,发酵 60 d 的二荆条鲜辣椒综合得分第二,两者被归为第一类,表明二荆条鲜辣椒发酵 45 ~ 60 d 风味较佳。

2.3.2 牛角椒鲜辣椒主成分分析与聚类分析

由表 6 可知,牛角椒鲜辣椒挥发性物质可提取 5 个主成分,累计贡献率达到 99.062%,说明这 5 个主成分能够反映样本信息量。通过软件分析不同发酵阶段牛角椒鲜辣椒在各个主成分中的得分,建立综合评价函数 $F = 0.7786F_1 + 0.093F_2 + 0.0531F_3 + 0.0446F_4 + 0.0213F_5$ 。综合得分排序为发酵 45 d > 60 d > 30 d > 22 d > 90 d > 15 d > 0 d > 7 d。可见发酵 45 d 时牛角椒鲜辣椒香气成分最佳,这与二荆条鲜辣椒,与叶陵等^[29]研究糯米鲜辣椒所得的结论一致。

与二荆条鲜辣椒聚类分析方式相同,结果见图 4。不同发酵期牛角椒鲜辣椒在相似系数 6 处可分为

三类。第一类包括发酵 45 d,第二类包括发酵 30 d 和 60 d,剩余的归为第三类。发酵 45 d 得分最高且归为第一类。发酵 60 d 与发酵 30 d 综合得分排在第二和第三且被归为第二类,表明牛角椒鲜辣椒发酵 30 ~ 60 d 风味较佳。

表6 牛角椒鲜辣椒的主成分分析结果
Table 6 Principal component analysis results of
niujiaojiao rice-chili

发酵时间/d	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	综合得分
0	-0.963	-0.829	-0.639	-0.436	1.629	-0.846
7	-1.024	-0.351	-0.206	-0.660	-0.146	-0.874
15	-0.622	0.151	1.154	0.547	-0.291	-0.391
22	-0.453	0.188	1.412	0.799	-0.308	-0.231
30	0.747	-0.639	-1.243	1.866	-0.203	0.535
45	1.758	-1.145	0.742	-1.079	-0.089	1.251
60	0.840	2.007	-0.169	-0.164	1.104	0.848
90	-0.283	0.618	-1.050	-0.874	-1.696	-0.294
特征值	49.832	5.954	3.396	2.855	1.362	
贡献率/%	77.863	9.303	5.306	4.462	2.128	
累计贡献率/%	77.863	87.166	92.472	96.934	99.062	

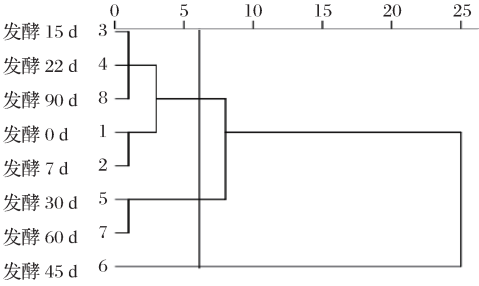


图4 牛角椒鲜辣椒发酵过程中挥发性成分含量的聚类分析
Fig. 4 Cluster analysis of volatile aroma components in niujiaojiao rice-chili during fermentation

3 结论

二荆条和牛角椒鲜辣椒发酵过程中总挥发性成分含量均先增加后减少,在发酵 45 d 时含量达到最大值,化合物种类均在 65 种左右。但在不同发酵阶段,鲜辣椒中挥发性成分的组成差异较大。 β -紫罗兰酮是二荆条鲜辣椒中独有的特征香气成分,2-甲基丁酸乙酯、 β -月桂烯、(+)-柠檬烯和橙花叔醇是牛角椒鲜辣椒中独有的特征香气成分。两种鲜辣椒的特征风味物质是丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、芳樟醇和 2-甲氧基-3-异丁基吡嗪。聚类分析表明二荆条鲜辣椒发酵 45 ~ 60 d 风味较佳,而牛角椒鲜辣椒发酵 30 ~ 60 d 风味较佳。经主成分分析,2 种鲜辣椒香气物质均在发酵 45 d 时风味最佳。本研究对通过控制

发酵时间来获得不同鲜辣椒的最佳风味品质具有重要的参考意义。鲜辣椒在发酵过程中,风味物质的形成与微生物的动态变化密不可分。要进一步丰富鲜辣椒的风味,需对鲜辣椒风味形成机理与微生物的关系进行研究。

参 考 文 献

- [1] 刘毅,袁月华. 桃源地方风味醉辣椒菌群分析及混菌发酵制作醉辣椒实验研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(2):37-39.
- [2] 夏海燕,周思多,张明喆,等. 醉辣椒中益生乳酸菌的筛选及其功能特性研究[J]. 食品科学, 2019, 40(6):93-99.
- [3] 邵伟,张亚雄,熊泽,等. 传统醉辣椒制作工艺改进[J]. 中国调味品, 2001(3):22-24;26.
- [4] 黄业传,韩珍琼,罗爽妍. 乳酸菌发酵玉米渣辣椒的工艺研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(1):98-102.
- [5] 王微,阚建全. 响应面法优化鲜辣椒的纯种发酵工艺[J]. 食品科学, 2014, 35(7):143-148.
- [6] 刘昕,曾荣妹,韩琳,等. 贵州省鲜辣椒质量评价指标分析[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(6):109-113.
- [7] 谢月英. 鲜海椒中具有抗氧化活性多糖的分离纯化及多糖结构特性初步研究[D]. 重庆:西南大学, 2018.
- [8] 朱丽娟. 碳水化合物在鲜海椒发酵中的变化及对食用品质的影响[D]. 重庆:西南大学, 2018.
- [9] 王丹. 不同淀粉原料对鲜海椒发酵中风味品质形成的影响研究[D]. 重庆:西南大学, 2015.
- [10] 张亚雄,胡滨,邵伟. 特色食品醉辣椒发酵过程中物质消长变化规律的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(12):74-76.
- [11] 王微,赵兴娥,王颖,等. 鲜辣椒产品质量评价指标体系的建立[J]. 食品科学, 2013, 34(5):72-75.
- [12] 白娟,张瑶,汪雪瑞,等. 响应面法优化鲜辣椒的发酵工艺[J]. 中国酿造, 2018, 37(10):106-110.
- [13] 王巧碧,王丹,赵欠,等. SDE和SPME法对鲜海椒发酵中香气组成的比较分析[J]. 食品科学, 2016, 37(4):108-114.
- [14] GU S Q, WANG X C, TAO N P, et al. Characterization of volatile compounds in different edible parts of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Research International, 2013, 54(1):81-92.
- [15] 陈光静,郑炯,丁涌波,等. 顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用结合嗅闻法分析异味薏米的异味成分[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1):234-241.
- [16] 刘建彬,刘梦娅,何聪聪,等. 应用AEDA结合OAV值计算鉴定可可液中关键气味活性化合物[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(9):180-184.
- [17] 于立志,马永昆,张龙,等. GC-O-MS法检测句容产区巨峰葡萄香气成分分析[J]. 食品科学, 2015, 36(8):196-200.
- [18] 李军玲,罗晓东,赵沛基,等. 植物萜类生物合成中的后修饰酶[J]. 云南植物研究, 2009, 31(5):461-468.
- [19] 孙玉亮,王颀. HS-SPME/GC-MS分析发酵前后扇贝豆酱中的香气成分[J]. 中国酿造, 2010(11):156-159.
- [20] 刘丽娜. 辣椒表面微生物区系的研究[D]. 重庆:西南大学, 2007.
- [21] ZHAO L, LI Y, JIANG L, et al. Determination of fungal community diversity in fresh and traditional Chinese fermented pepper by pyrosequencing[J]. FEMS Microbiology Letters, 2016, 363(24):fnw273.
- [22] 范文来,徐岩. 白酒79个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011, 38(4):80-84.
- [23] 张基亮,何欣,李元敬,等. 细菌纤维素减肥功能测定及其酸奶的制作[J]. 食品科学, 2013, 34(12):61-66.
- [24] JEUN J, KIM S, CHO S Y, et al. Hypocholesterolemic effects of *Lactobacillus plantarum* KCTC3928 by increased bile acid excretion in C57BL/6 mice [J]. Nutrition, 2010, 26(3):321-330.
- [25] WANG Y, XU N, XI A, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* MA2 isolated from Tibet kefir on lipid metabolism and intestinal microflora of rats fed on high-cholesterol diet [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 84(2):341-347.
- [26] 张晓辉,杨靖鹏,王少军,等. 浆水中细菌多样性分析及乳酸菌的分离鉴定[J]. 食品科学, 2017, 38(4):70-76.
- [27] 田国军,尚艳艳,黄泽元. 腊鱼中优势乳酸菌的分离、纯化及性质鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(6):78-81.
- [28] 孙宝国,陈海涛. 食用调香术(第三版)[M]. 北京:化学工业出版社, 2016.
- [29] 叶陵,李勇,王蓉蓉,等. 剁辣椒中优良乳酸菌的分离鉴定及其生物学特性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(10):112-117.

(下转第285页)