

热风干燥对荠菜风味和品质的影响

张丽^{1,2}, 薛妍君³, 汝骅¹, 李邦玉¹, 郁志芳^{3,*}

(1. 苏州市职业大学, 江苏苏州 215104;

2. 苏州市农业科学院, 江苏苏州 215155;

3. 南京农业大学, 江苏南京 210095)

摘要:本文以荠菜为原料, 研究不同热风干燥温度对荠菜风味和品质的影响。采用 40、50、60、70、80 和 90 °C 干燥荠菜, 利用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术分别对不同热风干燥温度的荠菜样品进行挥发性物质分析。结果表明: 热风干燥过程中 3-甲基-丁醇等醇类损失, 特征醇如叶醇等含量大幅下降; 生成了 3-甲基丁醛等多种新醛, 苯乙醛、 β -环柠檬醛含量有所升高, 正己醛等损失较大; 荠菜的特征酮类化合物甲基壬基甲酮在干燥过程中消失; 3-氨基-2,3-二氢苯甲酸等损失, 3-甲基丁酸等产生; 烃类化合物种类和含量均降低, 2-乙基-3,5-二甲基吡嗪等具有清香和坚果香气的吡嗪类物质合成。与其他处理组相比, 60 °C 干燥条件下荠菜干制品感官品质较好, 叶绿素和 V_C 的保留率较高, 风味物质种类最多, 风味物质保留率达 81.65%。

关键词:热风干燥, 荠菜, 风味物质, 气质联用, 品质

Effect of hot air drying on flavor compounds and quality of *Capsella bursa-pastoris* L.

ZHANG Li^{1,2}, XUE Yan-jun³, RU Hua¹, LI Bang-yu¹, YU Zhi-fang^{3,*}

(1. Suzhou Vocational University, Suzhou 215104, China;

2. Suzhou Academy of Agricultural Sciences, Suzhou 215155, China;

3. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To analyze the effect of hot air drying (40, 50, 60, 70, 80 and 90 °C) on the aroma components of wild *Capsella bursa-pastoris* L., the combination of head space-solid-phase micro-extraction and gas chromatography (HS-SPME-GC-MS) was used. The basic quality and sensory indicators including the contents of vitamin C and chlorophyll were also analyzed. During hot air drying, 3-methyl-butanol, octyl alcohol and phenylethyl alcohol disappeared, and the relative contents of leaf alcohol, trans-2-hexene-1-alcohol and 2,6-dimethyl cyclohexanol decreased significantly. Aldehydes such as 3-methyl butyl aldehyde, crotonaldehyde, 2-methyl n-butyl aldehyde, benzene acetaldehyde, beta ring citral aldehyde increased, hexanal, 4-heptene aldehyde, (E,E)2,4-diallyl aldehyde decreased. The characteristic compound methyl nonyl ketone disappeared, 3-amino-2,3-dihydro benzoic acid, N-acetyl glutamate lost largely. 3-methyl butyric acid, caproic acid, 2-methyl butyric acid and trans-3-hexene acid newly appeared. The results showed that 60 °C drying could keep good quality of *Capsella bursa-pastoris* L., maintain the highest retention rate of chlorophyll. Moreover, 60 °C drying maintained the most types and highest retention of aroma components, especially alcohols and aldehydes. The results provide valuable evidence for exploring the drying technology of *Capsella bursa-pastoris* L.

Key words: hot air drying; *Capsella bursa-pastoris* L.; flavor compounds; GC-MS; quality

中图分类号: TS255.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)15-0194-09

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.15.033

荠菜(*Capsella bursa-pastoris* L.), 别名护生草、地菜、清明菜、荠荠菜、净肠草等。作为食物, 荠菜常以茎、叶供食用, 气味清冽甘醇, 味鲜美。荠菜中含有大量纤维素、无机盐、维生素和有机酸, 尤其是维生

素 C 和胡萝卜素含量, 远高于同类蔬菜^[1]。香气馥郁是荠菜重要的感官特性, 这是由于荠菜中富含大量挥发性和半挥发性化合物所致, 这些物质对荠菜风味的维持起着至关重要的作用^[2]。

收稿日期: 2014-11-13

作者简介: 张丽(1986-), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品加工和质量安全, E-mail: slim188@126.com。

* 通讯作者: 郁志芳(1960-), 男, 博士, 教授, 主要从事农产品加工和质量控制的研究, E-mail: yuzhifang@njau.edu.cn。

基金项目: 江苏省农业科技自主创新项目(CX(13)5076)。

表1 干燥芥菜感官评定标准

Table 1 Standards for sensory evaluation of dried *Capsella bursa-pastoris* L

参数	评分等级				
	5	4	3	2	1
色泽	鲜绿,无褐变	翠绿,轻微褐变	绿色,中等褐变	黄绿,较严重褐变	黄褐色,严重褐变
形态	不变	轻微干裂或皱缩	干裂或皱缩	干裂或皱缩较多	严重干裂皱缩
香气	浓郁植物香气	植物香气较浓郁	香气较淡	无香气	出现不良气味
组织状态	茎叶平整,组织 松脆,有弹性	茎叶平整,组织 较脆,弹性较好	茎叶轻度卷曲, 微硬,较小弹性	茎叶中度卷曲, 硬度较大,粗糙, 基本无弹性	茎叶严重卷曲、 结团,生硬粗糙, 无弹性

注:总分20,质量等级为:大于15分,很好;15~10分,一般;小于10分,差。

目前,关于芥菜中风味物质的研究还较少。高义霞采用蒸馏法对芥菜叶挥发性成分进行了提取,共分离确定了其中12种化合物,鉴定出芥菜的主要化学成分为:L-肌基琥珀酰亚胺、植醇、植酮、油酸、棕榈酸等^[3]。郭华运用GC-MS鉴定出芥菜中多种挥发性物质,如叶醇、二甲三硫化物、二甲基己醛、3-甲基庚酯^[2]。作者前期建立了芥菜中风味物质的检测方法,并鉴定出芥菜中有效香气成分64种,以醇类、醛类、烃类及含硫杂氧化合物为主,确定了芥菜的特征香气成分主要有二甲基二硫、正己醛、叶醇、青叶醛、二甲三砷、2,6-二甲基环己醇、β-紫罗兰酮等^[4]。

脱水蔬菜作为新兴的食品种类受到越来越多人的青睐,并成为适应现代人高效率快节奏生活的流行食品^[5]。目前我国近90%的脱水蔬菜采用热风干燥,热风干燥对脱水蔬菜品质的研究主要集中在物料形态、质构变化、感官品质以及产品色泽和营养成分等方面,对蔬菜中特征性风味物质的研究较少。因此,本研究对新鲜芥菜和不同热风干燥得到的终产品进行感官、营养和风味品质分析和比较,探索芥菜适宜的热风干燥的参数,为芥菜工业化干燥加工提供实践参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

野生芥菜2012年11月采自南京郊外,成熟度一致、无机械损伤、无病虫害,经分级→清洗→除杂→去黄叶→剪除根部后沥干水分备用。

GT-C-O型热风循环风箱 江苏省范群干燥设备厂;FW100型万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;HH-6型数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;DJ300型精密电子天平 上海精密科学仪器有限公司;GL-20G-II型高速离心机 上海安亭科学仪器有限公司;XW-80A微型漩涡混合仪 上海沪西分析仪器;UV-2802型紫外-可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;Trace GC-MS气相色谱-质谱联用仪 美国Thermo公司;Tri-Plus自动进样器 美国Thermo公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司;15 mL萃取瓶 安捷伦科技有限公司。

美国Supelco公司;15 mL萃取瓶 安捷伦科技有限公司。

1.2 热风干燥

以10℃为温度梯度,设置40~90℃6个温度水

平,对上述处理好的芥菜鲜样进行干燥,载样量50 g,每20 min称重至样品恒重^[6]。

1.3 基本品质指标测定方法

1.3.1 含水率的测定 采用干燥称重法。随机取样于105℃烘箱中干燥,得绝干物料含水率,t时刻含水率(Wt)由式(1)计算^[7]。

$$Wt = (m_t - m_g) / m_t \quad \text{式(1)}$$

式中, m_t 为脱水t时刻的质量(g), m_g 为干物质的质量(g)。

1.3.2 叶绿素含量测定 称取芥菜0.5 g,剪碎置于研钵,加入丙酮:乙醇为2:1的提取液研磨匀浆,用滤纸过滤并用上述提取液定容至25 mL,得待测液。分别在波长645、652、663 nm处测定吸光度。根据Lambert-Beer定律计算叶绿素含量^[8]。

1.3.3 V_c 含量测定 V_c 含量采用钼蓝比色分光光度法测定^[9]。

1.3.4 复水性测定 取芥菜干样5.0 g置于1000 mL烧杯中,加500 mL蒸馏水,80℃恒温水浴,每5 min取样,用滤纸吸干样品表面水分,并称重。测量并记录前40 min相关数据。复水比(R)由式(2)计算^[10]。

$$R / (g/g) = m_2 / m_1 \quad \text{式(2)}$$

式中, m_1 为原干样质量(g); m_2 为复水后质量(g)。

1.3.5 感官品质评定 芥菜干燥后经冷却及时进行感官评价,评定标准见表1^[11]。

1.4 香气成分分析

1.4.1 SPME操作方法 将50/30 μm DVB/CAR/PDMS固相微萃取头在气相色谱仪进样口老化,老化温度270℃、时间1 h。准确称取芥菜2.0 g于15 mL萃取瓶中,用聚四氟乙烯衬里的硅橡胶垫密封后置于50℃水浴锅中平衡20 min,50℃萃取40 min,萃取吸附结束后将萃取头插入GC-MS进样口250℃解析3 min。

1.4.2 GC-MS分析条件 GC条件:HP-5MS(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)色谱柱,初温35℃,保留2 min,以5℃/min的速度上升到80℃,保持1 min;再以8℃/min上升至180℃,保留1 min;最后以10℃/min上升至250℃,保留2 min;进样口温度250℃,载气为He气,柱流量1 mL/min,不分流进样。

MS条件:离子源温度200℃,电离方式EI,检测温度240℃,电子能70 eV,灯丝电流150 μA,扫描范

围 m/z 33~540。

1.4.3 图谱解析 通过对总离子色谱图峰的分析,经计算机与 NIST Library 和 Wiley Library 质谱库匹配,挑选出匹配度和反匹配度大于 800(最大值 1000)的信号峰,根据相对分子质量、化学式及分子结构确定峰物质名称。按峰面积归一化法计算百分含量。

1.5 数据统计

采用 Excel 2007、SPSS18.0 软件对数据结果进行统计处理及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同热风温度下芥菜的失水曲线

图 1 为芥菜在不同热风干燥温度下的失水曲线。由图可知,干燥初期,由于芥菜受热温度升高,失水并不明显,为升速干燥过程。随着干燥的进行,芥菜开始大量脱水并进入恒速干燥阶段,且失水速率与干燥温度呈正相关。其中,90 °C 失水最快,干燥时间最短;干燥温度降低,失水速率随之减慢,40 °C 为最慢。热风干燥后期,芥菜中水含量逐渐减少,失水曲线趋于平缓,干燥进入降速过程。不同处理条件下芥菜干燥至恒重所需的时间分别为:90 °C, 105 min、80 °C, 120 min、70 °C, 140 min、60 °C, 160 min、50 °C, 220 min 和 40 °C, 240 min。其所对应的终产品水含量依次为:0.47%、1.04%、3.48%、7.20%、10.55% 和 13.28%。除 40 °C 和 50 °C 外,其它干燥温度所得的干制品均符合脱水蔬菜水含量低于 8% 的质量要求^[5],但高温、长时间干燥能耗高,且极易造成产品品质下降,综合以上因素,就失水特性而言,60 °C 为较优温度。

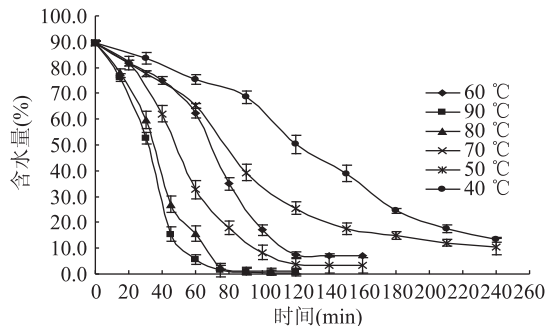


图 1 不同热风温度下芥菜的失水曲线

Fig.1 The hot-air drying curve of

Capsella bursa-pastoris under different temperature

2.2 不同热风温度对芥菜叶绿素、V_C 含量的影响

叶绿素、V_C 含量是衡量芥菜品质的主要营养指标^[12]。不同干燥温度对芥菜中叶绿素、V_C 含量的影响如图 2 所示。干燥过程造成了叶绿素、V_C 等营养物质的大量流失,且干燥温度越高、干燥时间越长,营养物质损失越严重。90 °C 热风处理对芥菜中叶绿素、V_C 成分破坏最严重,二者损失率分别高达 83.23% 和 57.28%;其次为 80 °C。低温干燥虽然有效减缓了热敏物质的氧化分解,但干燥温度低,干燥时间相应延长,同样容易造成产品品质的下降,如 40 °C 干燥条件所得的干制品叶绿素和 V_C 的保留率

仅为芥菜鲜样的 64.64% 和 53.19%。60 °C 处理对芥菜营养成分的影响作用最小,终产品中各物质的保留率最高,叶绿素、V_C 含量分别为:9.92 mg/g 干重和 11.51 mg/g 干重。

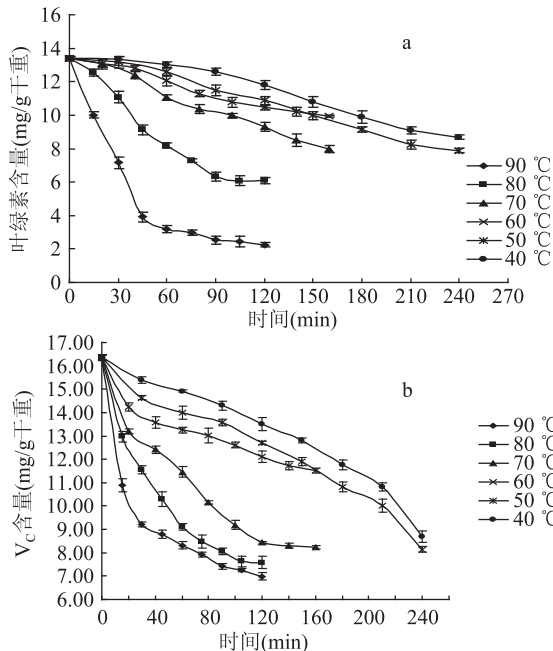


图 2 不同热风温度下芥菜叶绿素(a)、V_C(b) 含量变化曲线

Fig.2 Curve of chlorophyll(a) and vitamin C(b) contents in *Capsella bursa-pastoris* dried by different hot-air temperature

2.3 不同热风温度下芥菜感官品质比较

通过对比不同热风温度芥菜制品感官得分(表 2)可以看出,热风干燥对芥菜产品的感官品质影响较大,产品在色泽、形态、香气和组织状态等方面均发生不同程度改变,尤其对香气品质的影响最大,这是因为循环风与外界进行传热传质的同时带走了部分低沸点化合物,导致芳香物质种类和含量下降^[13]。90 和 40 °C 产品严重褐变并皱缩变形,产品评定等级为“差”,完全失去商品价值。60、70 °C 产品感官品质较好,产品评定等级为“一般”,其中 60 °C 在保留原产品色泽、形态和组织状态方面明显优于其它处理温度,所得产品褐变率低、茎叶平整并有较好弹性。

表 2 不同热风温度芥菜制品感官得分表

Table 2 Sensory scores of *Capsella bursa-pastoris* L.dried by different hot-air temperature

热风温度(°C)	40	50	60	70	80	90
色泽	2	3	4	4	3	2
形态	1	3	4	4	3	2
香气	2	3	3	3	2	1
组织状态	2	4	4	3	2	1
总得分	7	13	15	14	10	6

2.4 不同热风温度芥菜复水性比较

复水是产品经干燥处理后重新吸收水分恢复原状的过程^[14]。复水程度的高低及复水速率的快慢是

表3 芥菜经不同热风温度处理香气种类及含量分类汇总表
Table 3 Comparison of the kinds and amounts of aromatic compounds found in *Capsella bursa-pastoris* L. samples dried by different hot-air temperature

	鲜样		90 °C		80 °C		70 °C		60 °C		50 °C		40 °C	
	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 (%)
醇类	12	26.65	7	10.18	6	12.37	6	19.59	7	24.22	8	20.44	7	17.80
醛类	18	27.03	12	21.38	13	15.83	14	18.74	15	22.85	13	29.64	13	38.45
酯类	6	3.25	2	1.30	2	1.14	1	0.36	2	0.85	2	1.39	1	0.45
酮类	2	1.71	4	5.66	4	5.78	4	6.63	5	6.04	4	6.35	5	8.44
酸类	3	3.68	6	7.06	8	9.02	7	7.85	5	5.74	4	3.35	5	4.69
烃类	11	7.98	7	5.55	8	5.47	6	4.36	6	4.53	6	2.68	4	1.92
其它	12	21.00	6	33.15	9	37.76	8	28.59	12	25.70	8	21.25	9	19.66
总计	64	91.30	44	84.28	50	87.37	46	86.12	52	89.93	45	85.10	44	91.41

注:表中含量为相对含量。

衡量干制品质量的重要标准。由各处理组脱水芥菜在0~40 min的复水曲线(图3)分析可知:不同干燥温度下芥菜产品的复水性有显著差异,主要体现为复水时间和复水比的不同。60 °C干制产品复水性较好,初期复水速率最快。其次为70 °C和50 °C产品,且该二种处理温度所得的芥菜干制品复水差异不大($p > 0.05$)。高温和长时间干燥使芥菜的原始结构发生不可逆性破坏,终产品复水性差,复水比低,如90 °C产品。不同热风温度产品复水比由大到小依次为:60 °C > 70 °C > 50 °C > 40 °C > 80 °C > 90 °C,对应复水比分别为5.32、5.20、5.17、5.12、4.99、4.84。

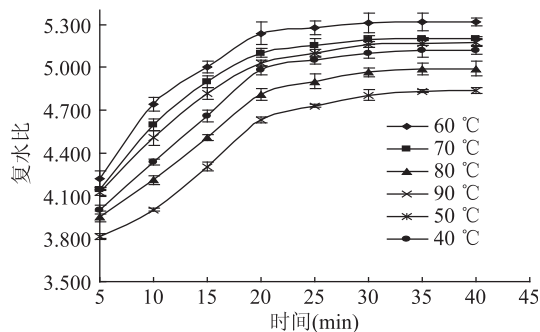


图3 不同热风温度条件下芥菜复水性比较
Fig.3 Comparison of relative rehydration ratio of *Capsella bursa-pastoris* L. dried by different hot-air temperature

2.5 不同热风温度对芥菜芳香成分的影响

图4为不同热风温度处理下芥菜的GC-MS总离子色谱图。表3为芥菜鲜样和各实验组产品芳香成分种类及含量汇总。由表3可以看出:热风干燥对芥菜中芳香物质的种类和相对含量有显著影响。与芥菜鲜样相比,各处理组产品芳香化合物种类总数均有不同程度的降低,且干燥温度越高,干燥时间越长,芳香化合物种类总数下降幅度越大。其中,90 °C和40 °C处理组产品有效香气化合物种类数最少,为44种,较芥菜鲜样减少了20种,60 °C产品最多,为52种,较芥菜鲜样减少12种(物质详见表4)。

2.5.1 不同热风温度对芥菜中醇类物质的影响 醇类化合物是芥菜芳香体系的主要组成部分,占有有效香气成分含量的26.65%。高热条件易造成低沸点醇类物质的挥发、氧化,使产品中醇含量降低。不同热风干燥温度下芥菜中醇类物质损失程度不同,90 °C和80 °C处理对芥菜醇含量影响最明显,醇类物质分别较芥菜鲜样减少5种、6种,含量损失高达61.80%和53.58%,低温加热虽能有效抑制醇的热降解,但长时间循环风作用同样加剧了产品中的醇流失,如40 °C干制品,醇含量仅为芥菜鲜样的66.79%。60 °C加热条件对醇类化合物影响较小,产品经GC-MS分析共鉴定有效醇类物质7种,相对含量24.22%。3-甲基-丁醇、四氢吡喃-2-甲醇、辛醇、苯乙醇等低含量醇在热风过程中全部损失,特征醇如叶醇、反式-2-己烯-1-醇、2,6-二甲基环己醇含量也大幅下降。4-甲基环己醇为热风干燥过程中新生成的醇,在不同温度干制品中均被检出,而实验组1-戊烯-3-醇、顺-2-戊烯-1-醇含量也高于芥菜鲜样。

2.5.2 不同热风温度对芥菜中醛类物质的影响 热风温度对芥菜中醛类物质的影响具有两重性。不同温度处理组芥菜制品中醛类物质种类普遍减少,90 °C实验组产品醛类物质种类最少,为12种,其次为40 °C和50 °C实验组。消失的醛主要包括异戊醛、巴豆醛、癸醛、柠檬醛等,其中柠檬醛有浓郁柠檬香味,对芥菜整体香气有积极贡献作用。以60 °C为温度分界点,随着温度的升高,芥菜中醛类化合物含量呈现降低趋势,温度越高,损失率越大,80 °C达到最大,醛含量损失超过41.4%,90 °C终产品中醛类化合物含量有小幅回升,这与干燥过程中苯甲醛相对含量显著提高有关。低于60 °C,醛类物质相对含量随温度的降低逐渐升高,且均高于芥菜鲜样,40 °C处理组醛含量最多,为芥菜鲜样的1.42倍。青叶醛是低温处理组中相对含量上升最高的醛类化合物,其在40 °C和50 °C产品中的相对含量高达20.67%和12.52%,分别为芥菜鲜样的5.31倍和3.22倍,但在其他温度处理组中,其含量却表现为下降趋势。热

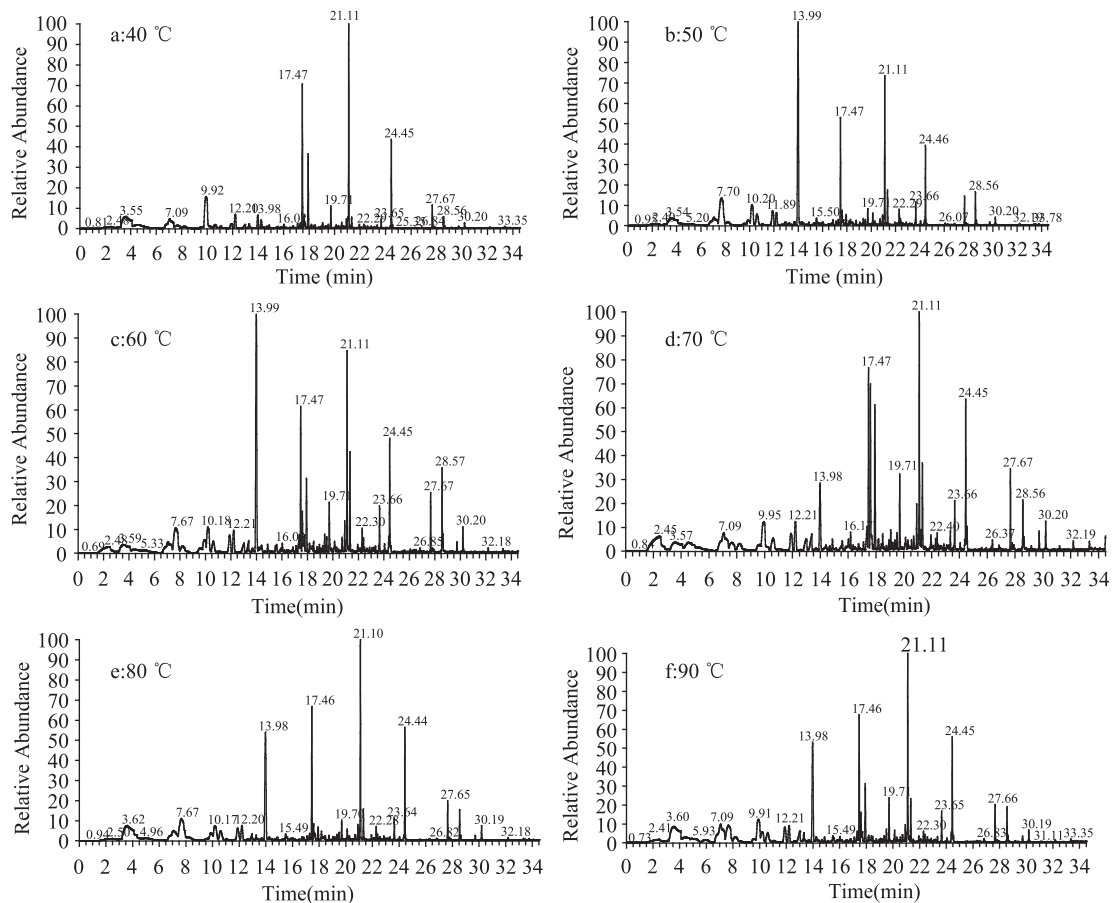


图4 不同热风温度(a-f)下芥菜的GC-MS总离子色谱图

Fig.4 Total ion chromatogram of volatile flavor compounds in *Capsella bursa-pastoris* L.dried by different hot-air temperature(a~f)

表4 不同热风温度干燥芥菜香气物质种类及含量表

Table 4 The type and content of aroma components of *Capsella bursa-pastoris* under different temperatures

序号	化合物名称	鲜样	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
醇类								
相对含量(%)								
1	3-甲基-丁醇	0.39						
2	1-戊烯-3-醇	0.74	5.96	7.31	9.22	7.68	3.31	2.76
3	4-甲基环己醇		1.11	1.65	0.31	1.36	1.36	1.34
4	顺-2-戊烯-1-醇	0.85	2.11	2.08	1.92	1.71	1.47	0.99
5	叶醇	6.84	3.61	4.12	4.38	2.85	2.33	1.52
6	反式-2-己烯-1-醇	4.91	0.29	0.34	2.52	1.37	0.81	0.57
7	1-己醇	0.93	0.46					
8	2-乙基己醇	1.04			0.73			
9	顺-3-庚烯-1-醇			0.28				
10	苯甲醇							0.57
11	四氢吡喃-2-甲醇	0.71						
12	1-辛醇	0.30						
13	2,6-二甲基环己醇	8.42	4.26	4.36	5.14	4.62	3.09	2.43
14	苯乙醇	1.05						
15	2-(苯基亚甲基)庚醇	0.47						
16	3,4-二甲基环己醇			0.3				
醛类								
相对含量(%)								
1	异戊醛	0.26						
2	2-甲基丙醛					0.64		

续表

序号	化合物名称	鲜样	40 ℃	50 ℃	60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃
3	戊二醛					0.43		
4	3-甲基丁醛			0.56	0.34	1.61	0.39	
5	巴豆醛	0.13						
6	2-甲基正丁醛		1.92	1.49	3.18	2.17	1.94	1.11
7	正戊醛				0.71			
8	(E)-2-戊烯醛	1.76	3.74	5.11	3.73	1.73	1.26	0.84
9	正己醛	5.28	2.04	2.79	3.45	2.63	1.28	1.07
10	2-己烯醛,青叶醛	3.89	20.67	12.52	2.59	2.52	1.38	0.86
11	顺-4-庚烯醛	1.99	0.35	0.74	1.06	0.58	0.43	0.25
12	庚醛	0.73	0.41	0.37	0.30	0.21		
13	(E,E)-2,4己二烯醛	1.06	0.73	0.99	0.54	0.37	0.22	0.13
14	2-甲基烯醛						0.48	
15	4-甲基-3-环己烯甲醛							
16	苯甲醛	5.64	2.02	1.19	3.55	2.14	2.28	8.8
17	正辛醛	0.19	0.46	0.39	0.28		0.67	0.64
18	(E,E)-2,4庚二烯醛	0.27			0.36			
19	苯乙醛	0.46	2.43	1.33	1.5	2.13	2.79	3.14
20	壬醛	0.92	1.11	0.59	0.87	0.78	0.91	1.63
21	癸醛	0.58						
22	β -环柠檬醛	0.70	2.02	1.57	0.39	0.8	1.8	2.06
23	柠檬醛	1.93						
24	2-苯基巴豆醛							0.85
25	2,6,6-三甲基-1-环乙烯基乙醛		0.55					
26	2-甲基十一醛	0.58						
27	6-溴吡啶-3-甲醛	0.66						
酯类		相对含量(%)						
1	异硫氰酸烯丙酯	0.27						
2	己酸甲酯						0.66	0.78
3	乙基葫芦巴内酯	0.21		0.58	0.51			
4	乙酸叶醇酯	1.47						
5	乙酰乙酸甲酯	0.34						
6	4-羟基-3-硝基苯甲酸甲酯	0.74						
7	辛酸甲酯						0.48	0.52
8	二氢猕猴桃内酯		0.45	0.81	0.34	0.36		
9	邻苯二甲酸异-4-辛酯	0.22						
酮类		相对含量(%)						
1	丁酮				0.11			
2	3-戊烯-2-酮		0.36	0.32	0.19	0.41	0.31	
3	甲基庚烯酮		2.67	2.54	2.35	2.46	2.77	2.9
4	3,5-辛二烯-2-酮		1.65	1.48	1.56	1.87	1.76	1.34
5	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮		0.61					0.45
6	甲基壬基甲酮	0.19						
7	β -紫罗兰酮	1.52	3.15	2.01	1.83	1.89	0.94	0.97
酸类		相对含量(%)						
1	乙酸						0.7	1.26
2	3-氨基-2,3-二氢苯甲酸	1.18						
3	2-甲基-4-戊烯酸	2.17					1.28	1.19
4	3-甲基丁酸		1	1.39	2.67	2.34	1.67	1.34
5	2-甲基丁酸		0.74	0.98	1.53	0.94	0.62	0.49

续表

序号	化合物名称	鲜样	40 ℃	50 ℃	60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃
6	γ-氨基丁酸					1.77	1.41	
7	己酸		1.28	0.51	0.57	0.82	1.68	1.39
8	反式-3-己烯酸		1.21	0.47	0.61	0.88	0.73	0.69
9	4-己烯酸					0.71	0.57	
10	辛酸		0.46		0.36	0.39	0.36	0.7
11	N-乙酰谷氨酸	0.33						
烃类		相对含量(%)						
1	三氯甲烷					1.11	0.86	0.91
2	对二甲苯	0.36						
3	2,5,-二甲基-3-己烯		0.49					
4	苯乙烯	0.85						
5	α-蒎烯		0.27	0.45	0.76	0.58	0.31	0.29
6	3-乙基-1,5-辛二烯			0.69				
7	2,2,4,6,6-五甲基庚烷				0.74	0.54	0.79	0.85
8	2,2,7,7,-四甲基辛烷			0.27			0.56	
9	对二氯苯	1.01			0.30		0.79	0.97
10	溴代环庚烷	0.31						
11	1-溴-4-甲基环己烷	0.26						
12	(-)-柠檬烯	0.48						
13	2,2,6-三甲基环庚烷	1.88	0.75	0.51	1.56	0.82	0.74	0.8
14	萘烷			0.29	0.29	0.35	0.37	0.47
15	2-甲基萘	0.27						
16	环十四烷	0.95						
17	环十二烷	1.19	0.41	0.47	0.88	0.96	1.05	1.26
18	2,6-二叔丁基苯醌	0.42						
其它化合物		相对含量(%)						
1	N-甲基牛磺酸钠		0.67	0.31		0.4	0.3	
2	乙醇胺	0.52						
3	2-乙基咪喃	0.93			0.46			
4	二甲基二硫	4.09	8.86	9.87	9.21	13.3	17.01	15.22
5	二甲基亚砷				0.73			
6	4-甲基戊腈				0.44			
7	甲氧基苯基肟	0.60	0.46	0.27	0.31	0.43	0.41	0.59
8	5-甲基己腈				0.49			
9	二甲三砷	6.26	3.94	5.06	5.99	4.63	8.54	8.48
10	2-正戊基咪喃	0.52	0.51					
11	顺-2-戊烯基咪喃		0.46	0.43	0.51	0.47	0.36	
12	桉叶油素	0.09						
13	戊酸酐	0.28						
14	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪		0.65	0.78	1.33	1.69	1.87	1.37
15	左旋樟脑						0.37	
16	2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	1.86	0.96	1.08	1.91	2.65	2.77	2.56
17	二甲基四硫	4.25	3.15	3.45	3.6	5.02	6.13	4.93
18	谷酰胺	0.50						
19	烯丙基甲基二硫醚	1.10			0.72			
总计		91.30	91.41	85.10	89.93	86.12	87.37	84.28

风干燥过程中生成了多种新醛,如3-甲基丁醛、2-苯基巴豆醛、2-甲基正丁醛等,苯乙醛、β-环柠檬醛含量在热风干燥过程中有所升高,且在高温组如90 ℃和低温组如40 ℃中含量较高。苯乙醛有杏仁

香气,β-环柠檬醛有柑桔样果香,这可能与物料受热温度高,受热时间长有关。正己醛、顺-4-庚烯醛、(E,E)-2,4-己二烯醛等在加热过程损失较大,且与加热温度和加热时间有显著相关性,这些醛多具有

绿叶清香气,是芥菜的主要芳香物质。

2.5.3 不同热风温度对芥菜中酯类物质的影响 酯类物质在芥菜中的相对含量较低,种类也比较少,但对香气体系的贡献作用却不可小觑。乙酸叶醇酯为芥菜中主要的酯类物质,具有强烈的香蕉香气。就整体而言,热风产品中酯类物质种类和含量都低于芥菜鲜样,除乙基葫芦巴内酯外,芥菜鲜样其它五种酯类化合物在热风产品中均未检测到,而具有药草香气的乙基葫芦巴内酯也只在50℃和60℃产品中少量存在。这与酯类化合物一般沸点较低、性质不稳定有关^[15]。己酸甲酯和辛酸甲酯是80℃和90℃干制条件下新生成的酯类,二氢猕猴桃内酯在40~70℃产品中被检出,该酯有香豆素样香气,并伴有麝香气息,可用于调配烟用香精。

2.5.4 不同热风温度对芥菜中酮类物质的影响 酮类化合物在热风干燥过程中种类和含量均呈上升趋势。40℃干制产品酮类化合物种类最多,为5种,相对含量8.44%,比芥菜鲜样酮类含量增加3.94倍,其次为60℃处理组,检出酮类化合物5种,相对含量6.04%。甲基壬基甲酮和 β -紫罗兰酮是新鲜芥菜中原有的酮类物质,且后者为芥菜的特征酮类化合物,室温下具有特征香气。甲基壬基甲酮在干燥过程中消失, β -紫罗兰酮在低于70℃产品中相对含量增加,在高温产品中含量降低,且增量与温度负相关。甲基庚烯酮和3,5-辛二烯-2-酮是各实验组干制品中含量较多的酮类物质,50~60℃处理组稍高。3-戊烯-2-酮存在于40~80℃干制品中,90℃产品中该酮含量极微,可忽略不计。

2.5.5 不同热风温度对芥菜中酸类物质的影响 酸类物质种类和含量在热风干燥过程中表现为上升趋势,80℃处理组酸类相对含量最高,为芥菜鲜样的2.45倍。70℃和80℃产品中新生成的酸种类较多,分别比芥菜鲜样增加了5种和4种。芥菜鲜样中含有的3-氨基-2,3-二氢苯甲酸、N-乙酰谷氨酸在热风过程中全部损失,大量新酸如:3-甲基丁酸、己酸、2-甲基丁酸、反式-3-己烯酸等在热风过程中产生。就整体而言,高温有利于酸类物质的合成,其中乙酸、2-甲基-4-戊烯酸只在80℃以上的干制品中存在。3-甲基丁酸、2-甲基丁酸在50~80℃产品中相对含量较多,并随着加热温度的升高和加热时间的延长稍有降低;己酸和反式-3-己烯酸恰恰相反,其在40℃和90℃产品中的含量高于其它实验组产品。4-己烯酸和 γ -氨基丁酸是70℃和80℃产品中的特有酸类成分,在其它温度处理组中未检出,而辛酸除在50℃产品中未检出外,在其它产品中均少量生成。

2.5.6 不同热风温度对芥菜中烃类物质的影响 烃类化合物一般具有较高的沸点和香气阈值,特征气味并不明显^[16],但却是芥菜芳香体系的重要组成部分,在芥菜整体香气的维持和协调中起重要作用。热风干燥对芥菜中烃类化合物影响较大,化合物种类和含量在干燥过程中显著降低,降低程度与加热时间有关。一般来说,时间越长,烃类化合物损失越严重,其中40℃干燥产品烃种类数最少,仅为4种,

含量较芥菜鲜样减少75.93%,其次为50℃处理组,烃含量为芥菜鲜样的33.58%。干燥终产品中主要的烷烃类物质有: α -蒎烯、2,2,6-三甲基环庚烷、环十二烷等,其中, α -蒎烯有松木、针叶及树脂样气息,是香料合成的重要原料。蒎烷也广泛存在于除40℃以外的热风产品中,并呈薄荷脑气味。鲜样中含有的柠檬烯、环十四烷、溴代环庚烷和甲苯及其衍生物在干燥产品中未检测到。

2.5.7 不同热风温度对芥菜中其它化合物的影响 其它化合物主要包括杂氧和含硫化合物及部分醚类,这些物质在芥菜中的相对含量很高,新鲜芥菜中硫化物和杂氧化合物含量为21%,是仅次于醇类和醛类物质的另一类主要呈香物质。二甲基二硫、二甲基三硫和二甲基四硫是主要的含硫组分,在新鲜芥菜中的含量分别为4.09%、6.26%和4.25%,二甲基三硫呈现强烈逸发性薄荷气味和浓烈辛香气,有类似新鲜洋葱的气息,二甲基二硫则为食用香料的一种,主要用于配制菠萝、橘子类果香及清香型香精^[17]。这三种物质在高温处理组产品中的相对含量均呈上升趋势,且加热温度越高,相对含量越大,80℃以上干制品中该三类物质上升幅度尤为明显。低浓度硫化物含量对芥菜的香气具有正向促进作用,但浓度过高,产品易产生不愉快气味,这也是高温处理组产品出现香气改变的原因^[18]。

芥菜在热风干燥过程生成了吡嗪类物质,如2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪等,后者有青香、蔬菜香、坚果样香气且在高温组产品中含量较多,80℃以上处理组干制品中的焦香香气也是由此而来,呋喃类物质如2-乙基呋喃、2-正戊基呋喃在热风过程中减少,但生成了新的顺-2-戊烯基呋喃,此外,60℃终产品中检测到少量二甲亚砷和腈类化合物,其对香气体系的贡献作用有待于进一步研究。

3 结论

热风干燥过程中3-甲基-丁醇、四氢吡喃-2-甲醇、辛醇、苯乙醇等醇类损失,特征醇如叶醇、反式-2-己烯-1-醇、2,6-二甲基环己醇含量大幅下降;生成了多种新醛,如3-甲基丁醛、2-苯基巴豆醛、2-甲基正丁醛等,苯乙醛、 β -环柠檬醛含量有所升高,正己醛、顺-4-庚烯醛、(E,E)-2,4-己二烯醛等损失较大;酮类化合物在热风干燥过程中种类和含量均呈上升趋势,芥菜的特征酮类化合物甲基壬基甲酮在干燥过程中消失;3-氨基-2,3-二氢苯甲酸、N-乙酰谷氨酸全部损失,大量新酸如:3-甲基丁酸、己酸、2-甲基丁酸、反式-3-己烯酸等产生;热风干燥对芥菜中烃类化合物影响较大,化合物种类和含量均降低;生成具有清香和坚果香气的吡嗪类物质,如2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪等。与其他处理组相比,60℃干燥条件下芥菜干制品感官品质较好,叶绿素和V_c的保留率较高,风味物质种类最多,风味物质保留率达81.65%。以上结果为芥菜干燥工艺的开发提供了理论基础。

(下转第207页)

337-347.

[4] 魏文毅, 张丽萍, 王琴, 等. 猪胰脏中胰酶的制备新工艺技术研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(1): 72-78.

[5] Segura-Campos M R, Tovar-Benítez T, Chel-Guerrero L, et al. Functional and bioactive properties of Velvet bean (*Mucuna pruriens*) protein hydrolysates produced by enzymatic treatments [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2014, 8(2): 61-69.

[6] Demirhan E, Apar D K, Özbek B. Sesame cake protein hydrolysis by alcalase: Effects of process parameters on hydrolysis, solubilisation, and enzyme inactivation [J]. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2011, 28(1): 195-202.

[7] Yarnpakdee S, Benjakul S, Kristinsson H G, et al. Antioxidant and sensory properties of protein hydrolysate derived from Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) by one- and two-step hydrolysis [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014: 1-14.

[8] Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J, Díaz V P, et al. Pepsin-pancreatin protein hydrolysates from extruded amaranth inhibit markers of atherosclerosis in LPS-induced THP-1 macrophages-like human cells by reducing expression of proteins in LOX-1 signaling pathway [J]. *Proteome Science*, 2014, 12(1): 1-13.

[9] Andriamihaja M, Guillot A, Svendsen A, et al. Comparative

efficiency of microbial enzyme preparations versus pancreatin for *in vitro* alimentary protein digestion [J]. *Amino acids*, 2013, 44(2): 563-572.

[10] 田伟, 冯玉萍, 李明生, 等. 水解乳蛋白的制备及在细胞培养中的初步应用[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(1): 100-104.

[11] Xie NN, Liu SS, Wang C, et al. Stability of casein antioxidant peptide fractions during *in vitro* digestion/Caco-2 cell model: characteristics of the resistant peptides [J]. *Eur Food Res Technol*, 2014, 239: 577-586.

[12] Jrad Z, El Hatmi H, Adt I, et al. Effect of digestive enzymes on antimicrobial, radical scavenging and angiotensin I-converting enzyme inhibitory activities of camel colostrum and milk proteins Dairy [J]. *Sci & Technol*, 2014, 94: 205-224.

[13] Balasubramaniam V, Mustar S, Khalid N M, et al. Inhibitory activities of three Malaysian edible seaweeds on lipase and α -amylase [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2013, 25(5): 1405-1412.

[14] Gestin M, Le Huërou-Luron I, Peiniau J, et al. Method of measurement of pancreatic elastase II activity and postnatal development of proteases in human duodenal juice and bovine and porcine pancreatic tissue [J]. *Digestive Diseases and Sciences*, 1997, 42(6): 1302-1311.

(上接第 201 页)

参考文献

[1] 张香美, 郝秋娟, 赵凤存, 等. 三种保鲜剂对荠菜保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2009(3): 295-297.

[2] 郭华, 侯冬岩, 回瑞华, 等. 荠菜挥发性化学成分的分析[J]. 食品科学, 2008(1): 254-256.

[3] 高义霞, 周向军. 荠菜叶挥发性成分分析[J]. 资源开发与市场, 2009(12): 1070-1071.

[4] 薛妍君, 张丽, 冯莉, 等. 荠菜芳香成分的固相微萃取条件优化与分析[J]. 食品工业科技, 2014, DOI: 11.1759.TS.20140618.1321.005.

[5] 陈丰, 陈晓波, 王瑞鸿. 脱水蔬菜加工技术及其研究进展[J]. 农产品加工, 2013(9): 6-7.

[6] 谭斯元, 李学琼, 陈厚荣. 紫薯热风干燥工艺参数优化[J]. 食品工业科技, 2013(7): 265-268, 272.

[7] 毕金峰, 于静静, 丁媛媛, 等. 固相微萃取 GC-MS 法测定不同干燥方式下枣产品的芳香成分[J]. 现代食品科技, 2011(3): 354-360, 365.

[8] Zude-Sasse M, Truppel I, Herold B. An approach to non-destructive apple fruit chlorophyll determination [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 25(2): 123-133.

[9] Dai X, Luo H, Jiang L, et al. Efficacy of Different Sanitizing Agents and Their Combination on Microbe Population and Quality of Fresh-cut Chinese Chives [J]. *Journal of Food Science*, 2012,

77(7): M348-M353.

[10] 徐晓飞, 向莹, 张小爽, 等. 不同干燥方式对香菇品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012(17): 259-262.

[11] 徐明亮, 周祥, 蔡金龙, 等. 不同干燥方法对海笋干品质品质的影响[J]. 食品科学, 2010(11): 64-68.

[12] 郭红艳, 葛超, 李秀锦, 等. 荠菜不同贮藏条件几项营养指标的研究[J]. 食品工业科技, 2003(3): 74-75.

[13] 杨国峰, 和珊, 丁超, 等. 热风干燥对油菜籽挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2013(4): 28-31.

[14] 李佳. 酶法浸泡及干燥方法对方便米饭复水时间影响的研究[J]. 粮食加工, 2012(5): 52-55.

[15] Capone S, Tufariello M, Siciliano P. Analytical characterisation of Negroamaro red wines by "Aroma Wheels" [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3): 2906-2915.

[16] Genovese A, Lamorte SA, Gambuti A, et al. Aroma of Aglianico and Uva di Troia grapes by aromatic series [J]. *Food Research International*, 2013, 53(1): 15-23.

[17] 张文成, 刘玲, 王瑞侠, 等. 热风干燥与冻干对葱蒜挥发性成分影响研究[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2011, (12): 1865-1868.

[18] 李大婧, 卓成龙, 刘霞, 等. 不同干燥方法对黑毛豆仁挥发性风味成分和结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2011(5): 1104-1110.