

微波干燥对野生荠菜品质和挥发性物质的影响

张丽^{1,2}, 薛妍君³, 邓金花², 刘臣¹, 俞莉¹, 汝骅¹, 董明辉², 郁志芳³

(1. 苏州市职业大学, 教育与人文学院, 江苏苏州 215104) (2. 苏州市农业科学院, 农产品质量认证中心, 江苏苏州 215155) (3. 南京农业大学, 食品科技学院, 江苏南京 210095)

摘要: 本文以野生荠菜为材料, 研究不同微波干燥工艺对野生荠菜品质和挥发性物质的影响。采用 120 W、240 W、360 W、480 W、600 W 和 700 W 微波功率干燥野生荠菜, 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微波干燥功率的荠菜样品进行挥发性物质分析。结果表明: 微波干燥导致荠菜鲜样中的特征醇类化合物如叶醇、反式-2-己烯-1-醇、2,6-二甲基环己醇等的含量大大降低, 醛类化合物种类和含量总体略有下降, 但异戊醛、(E)-2-戊烯醛、正辛醛和苯乙醛含量增加; 亚硝酸异戊酯和 2-甲基-戊酸乙酯的含量增加; 新增酸类如: 3-甲基丁酸、2-甲基丁酸、己酸、辛酸等, 苯乙烯、环十四烷等烃类化合物消失。品质试验表明, 480W 干燥条件下荠菜干制品感官品质较好, 叶绿素和 Vc 的保留率分别高达 67.14% 和 71.20%, 挥发性芳香化合物种类最多, 挥发性物质保留率高达 93.68%, 其中醇类和醛类物质的保留率均较高, β -紫罗兰酮的保留率高达 84.21%。

关键词: 微波干燥; 野生荠菜; 挥发性物质; 气相色谱-质谱法(GC-MS); 品质

文章编号: 1673-9078(2015)8-226-236

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.8.036

Effect of Microwave Drying on Quality and Volatile Substances of Wild *Capsella bursa-pastoris* (L.)

ZHANG Li^{1,2}, XUE Yan-jun³, DENG Jin-hua², LIU Chen¹, YU Li¹, RU Hua¹, DONG Ming-hui², YU Zhi-fang³
(1.College of Education and Humanity, Suzhou Vocational University, Suzhou 215104, China) (2.Quality Certification Center of Agricultural products, Suzhou academy of agricultural sciences, Suzhou 215155, China) (3.College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The effect of different microwave-drying methods on the quality and volatile substances of wild *Capsella bursa-pastoris* (L.). Different microwave powers (120, 240, 360, 480, 600, and 700 W) were applied to dry the samples of wild *Capsella bursa-pastoris* (L.) and a combination of head space-solid phase micro-extraction and gas chromatography (HS-SPME-GC-MS) was used to analyze the volatile substances in the dried samples. The results showed that microwave drying extensively decreased the content of characteristic alcohols such as *cis*-3-hexen-1-ol, *trans*-2-hexene-1-alcohol, and 2,6-dimethyl cyclohexanol. The types and content of aldehydes slightly decreased, whereas the content of isovaleraldehyde, (E)-2-pentenal, *n*-octylaldehyde, and phenylacetaldehyde increased. The content of isoamyl nitrite and 2-methyl-ethylvalerate also increased. Acids such as 3-methylbutanoic acid, 2-methylbutanoic acid, and caproic acid were generated, whereas styrene, cyclotetradecane, and other hydrocarbons disappeared during the microwave-drying process. The results showed that good sensory quality of dried *Capsella bursa-pastoris* (L.) can be obtained with microwave-drying at 480 W, wherein retention rates of chlorophyll and Vc reached 67.14% and 71.20%, respectively. Volatile components comprised a majority of aromatic compounds. Retention rate of volatile substances was 93.68%, where those of alcohols and aldehydes were relatively high, with β -ionone retention rate reaching as high as 84.21%.

Key words: microwave drying; wild *Capsella bursa-pastoris* (L.); volatile substances; gas chromatography-mass spectrometry; quality

近年来, 随着人们消费水平的提高和饮食观念的改变, 野生蔬菜越来越多地从山间走向餐桌, 对丰富

收稿日期: 2014-09-12

项目基金: 江苏省农业科技自主创新项目 (CX(13) 5076)

作者简介: 张丽 (1986-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向为农产品保鲜加工及质量控制

通讯作者: 郁志芳 (1960-), 男, 博士, 教授, 研究方向为农产品保鲜加工及质量控制

百姓菜篮子起到非常重要的作用, 同时, 许多野生蔬菜还有一定的药效功能, 越来越受到消费者的青睐。荠菜, 十字花科植物, 是一种老少皆宜的可食用野菜。野生荠菜散叶, 趴在地上生长, 颜色呈灰绿色。气味清香甘甜, 由于富含谷氨酸等多种氨基酸, 味道鲜美至极, 被誉为“野菜之上品”^[1]。就香气而言, 荠菜多呈现特有的草叶清香和蔬果香气。作为特种野生蔬菜, 荠菜对冬季绿色蔬菜匮乏有一定缓解作用, 但由于受

生长季节性限制明显,且采摘期和贮藏期较短,其食用价值和经济效益都得不到充分发挥^[2]。采用合适的干燥技术,将荠菜加工成干制品,既可满足不同的消费需求,又能有效延长荠菜产品的供应时间。

目前,蔬菜干燥最常用的方法是热风干燥方法,但是热风干燥时间长、干燥温度高、干燥过程破坏了产品的组织结构,干燥后产品品质下降严重,营养损失大^[3]。冷冻干燥虽然可以较大程度地保存产品的天然品质和营养价值,但是干燥时间过长,设备价格昂贵,生产成本低,使其适用范围受到局限^[4]。微波干燥由于其独特的加热特性,干燥时直接深入物料内部,使内外水分同时汽化,去除物料水分能力强,弥补了传统干燥方法的不足^[5]。

野生荠菜具有其特有的香气,干燥工艺对香气物质的影响也是考察的重点,作者前期利用固相微萃取结合气质联用(GC-MS)建立了检测野生荠菜挥发性物质的方法,鉴定出了野生荠菜中的主要挥发性物质^[6],这为本文研究奠定了基础。本文通过研究不同微波干燥功率对野生荠菜品质和挥发性物质的影响,为寻找野生荠菜最佳干燥工艺提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 原料

野生荠菜采自南京郊外,挑选成熟度一致、无机械损伤且无病虫害的荠菜作为实验材料,经除杂、清洗,剪除根部后沥干水分备用;无水乙醇、丙酮、浓硫酸、冰醋酸、四水合钼酸铵、偏磷酸、二水草酸、乙二胺四乙酸二钠等均为分析纯,购自国药集团。

1.2 主要仪器设备

NJL07-3 型实验专用微波炉(微波炉专用盘为玻璃材质,直径 30 cm):南京杰全微波设备有限公司;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:上海安亭科学仪器厂;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。

1.3 试验方法

1.3.1 微波干燥

将准备好的荠菜样品分成 6 份,每份 50 g,平铺在微波炉专用盘中,分别选用 120 W、240 W、360 W、480 W、600 W、700 W 六个功率水平对荠菜进行微波干燥,每隔固定时间将样品取出称重,记录数据,直至样品到恒重^[7]。

1.3.2 挥发性物质分析

1.3.2.1 顶空固相微萃取(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 $^{\circ}\text{C}$ 、时间 1 h。准确称取荠菜 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 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中平衡 20 min,50 $^{\circ}\text{C}$ 萃取 40 min,萃取吸附结束后将萃取头插入 GC-MS 进样口 250 $^{\circ}\text{C}$ 解析 3 min。

1.3.2.2 GC-MS 分析条件

色谱柱:HP-5MS 色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:初温 35 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度上升到 80 $^{\circ}\text{C}$,保持 1 min;再以 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升至 180 $^{\circ}\text{C}$,保留 1 min;最后以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升至 250 $^{\circ}\text{C}$,保留 2 min;进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,载气为 He 气,柱流量 1 mL/min,不分流进样。

质谱条件:电子能量 70 eV,检测温度 240 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$,电离方式 EI,灯丝电流 150 μA ,质量扫描范围 m/z 33~540。

1.3.2.3 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。

1.3.3 含水量测定

采用干燥称重法。随机取样于 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中干燥,得绝干物料含水率, t 时刻含水率(W_t)由式(1)计算^[8]。

$$W_t = (m_t - m_g) / m_t \quad (1)$$

注: m_t 为脱水 t 时刻的质量/g, m_g 为干物质的质量/g。

1.3.4 叶绿素含量测定

称取荠菜 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^[9]计算叶绿素含量。

1.3.5 Vc 含量测定

Vc 含量采用钼蓝比色分光光度法测定^[10]。

1.3.6 复水性测定

取芥菜干样 5.0 g 置于 1000 mL 烧杯中,加 500mL 蒸馏水, 80℃ 恒温水浴, 每 5min 取样, 用滤纸吸干样品表面水分, 并称重。测量并记录前 40min 相关数据。复水比(R)由式(2)计算^[11]。

$$R/(g/g) = m_2 / m_1 \quad (2)$$

注: m_1 为原干样质量/g; m_2 为复水后质量/g。

1.3.7 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^[12]。

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。

1.3.8 数据统计

采用 Excel 2007、SPSS 18.0 软件对数据结果进行统计处理及显著性分析。

干燥时间分别为 35 min、28 min、21 min, 终产品水含量分别为 4.13%、3.82% 和 3.21%。

2 结果与讨论

2.1 不同微波功率下芥菜的失水曲线

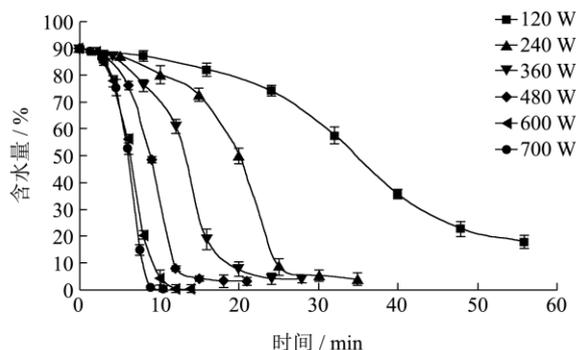


图 1 不同微波功率下芥菜的失水曲线

Fig.1 Drying curve of *Capsella bursa-pastoris* (L.) using different microwave powers

微波功率是影响微波干燥效率的主要因素^[13]。由芥菜在不同功率下的失水曲线看出(见图 1): 随着微波功率的升高, 芥菜失水速率增大, 干燥时间缩短。700 W 功率作用下芥菜失水速率最大, 水分含量由最初的 89.72% 降为 0.40% 所用时间仅为 10 min; 600 W 处理组完全脱水共用时 12 min, 终产品水含量 0.55%; 120 W 功率作用下芥菜的失水曲线最为平缓, 所需时间也最长, 为 56 min, 升速干燥阶段延长, 导致匀速和降速干燥时间缩短, 干燥效率降低。240 W、360 W 和 480 W 条件下, 芥菜失水呈现规律的升速、匀速、降速过程, 但匀速干燥阶段不明显, 三种功率对应的

2.2 不同微波功率对芥菜叶绿素和 Vc 含量的影响

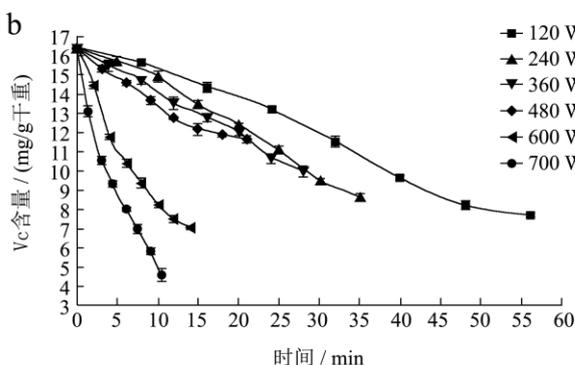
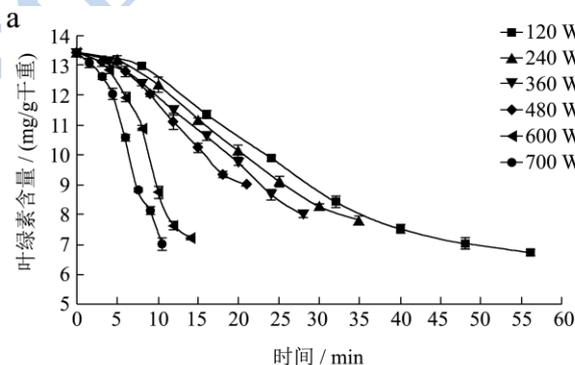


图 2 不同微波功率下芥菜叶绿素(a)、Vc(b)含量变化曲线

Fig.2 Curves for changes in content of chlorophyll (a) and vitamin C (b) in *Capsella bursa-pastoris* (L.) dried using different microwave powers

不同微波功率下芥菜叶绿素和 Vc 含量变化曲线见图 2。随着干燥的进行, 芥菜中叶绿素和 Vc 含量呈

现降低趋势,且前期下降速率快,到干燥后期逐渐减慢。不同干燥功率对芥菜中叶绿素、Vc含量的影响不同,高功率加热条件如600W、700W对该两种物质的破坏作用远远大于其它处理组($P < 0.01$),尤其是700W干制品,其叶绿素、Vc损失率分别高达47.71%和71.90%,这可能与微波加热时物料瞬时升温加速了热敏性物质的降解有关^[4]。低功率下叶绿素、Vc损失速率较小,但功率过低,干燥时间必然增加,同样不利于营养成分的保持,如120W和240W干制品,叶绿素保留率分别为:50.22%和58.29%;Vc保留率更低,仅为47.11%和52.73%。480W干燥处理组芥菜中叶绿素、Vc含量虽然也有一定程度降低,但由于功率适中,且干燥时间相对较短,因此营养成分保留效果最好,上述两种物质的损失率只有32.86%和28.80%。

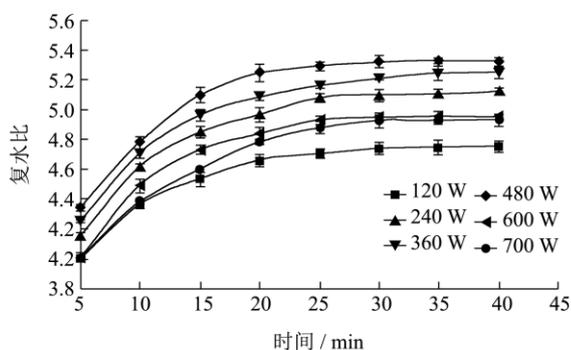


图3 不同微波功率条件下芥菜复水性比较

Fig.3 Comparison of relative rehydration ratios of *Capsella bursa-pastoris* (L.) dried using different microwave powers

图3为不同微波功率处理组芥菜制品的复水曲线。微波干制品复水时间为30~35min,复水初期,各功率处理组复水速率不同,480W处理组在0~20min内复水最快,复水比相对最高,为5.24,其次为360W处理组。120W和700W产品在0~10min内复水性无显著差异($P > 0.05$),10min以后700W产品复水比高于120W,并与600W产品复水性差异减小。35min左右,各产品完成复水,且最终复水比差异较大($P < 0.05$),复水性最好的为480W处理组,终产品复水比5.32,最差为120W处理组,终产品复水比4.74,其余处理组产品复水性由高到低依次为360W、240W和600W,对应复水比分别是:5.24、5.11和4.95。

2.3 不同微波功率芥菜感官品质比较

通过对比表2中不同微波功率芥菜制品感官得分可知:芥菜感官品质在微波过程中发生较大变化,功率越高,品质变化越明显。700W和120W功率作用下产品出现明显褐变、皱缩现象,叶片弹性几乎全部丧失,香气在干燥过程中损失也较大,700W处理组

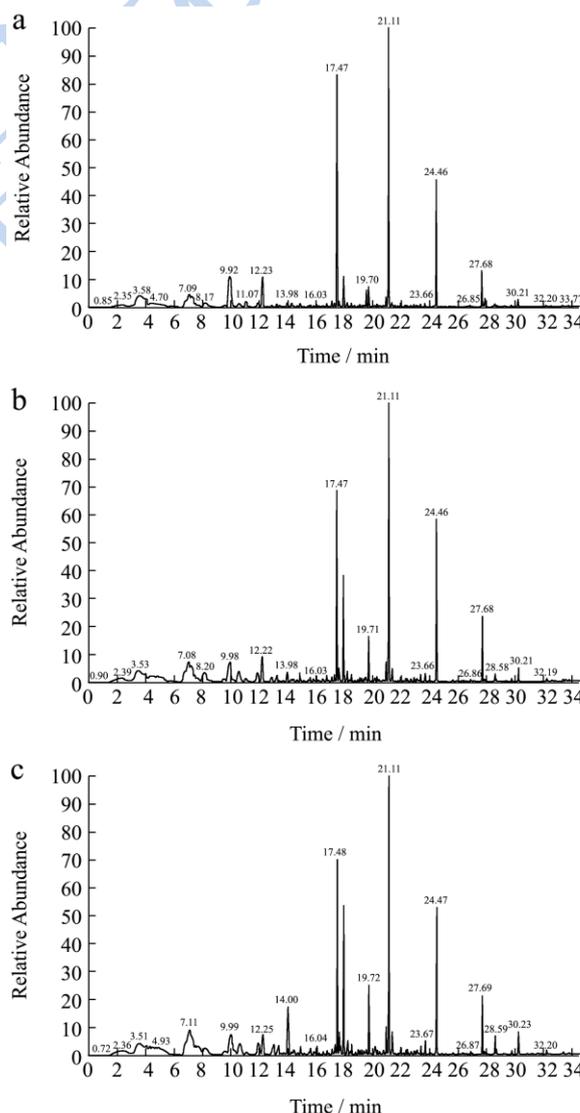
产品甚至出现不愉快气味,感官评定等级为“差”。360W和480W处理条件下所得的干制品较其它处理组在产品色泽、形态、香气及组织状态方面保留效果较好,产品褐变率较低,茎叶较平整,相对得分最高,均为13分,产品评定等级“一般”。其它处理产品感官品质介于上述两类产品之间。

表2 不同微波功率芥菜制品感官得分表

Table 2 Sensory scores of *Capsella bursa-pastoris* (L.) dried using different microwave powers

微波功率	120W	240W	360W	480W	600W	700W
色泽	3	3	4	4	3	3
形态	2	3	3	3	3	2
香气	2	3	3	3	3	1
组织状态	2	3	3	3	2	2
总得分	9	12	13	13	11	8

2.4 不同微波功率芥菜复水性比较



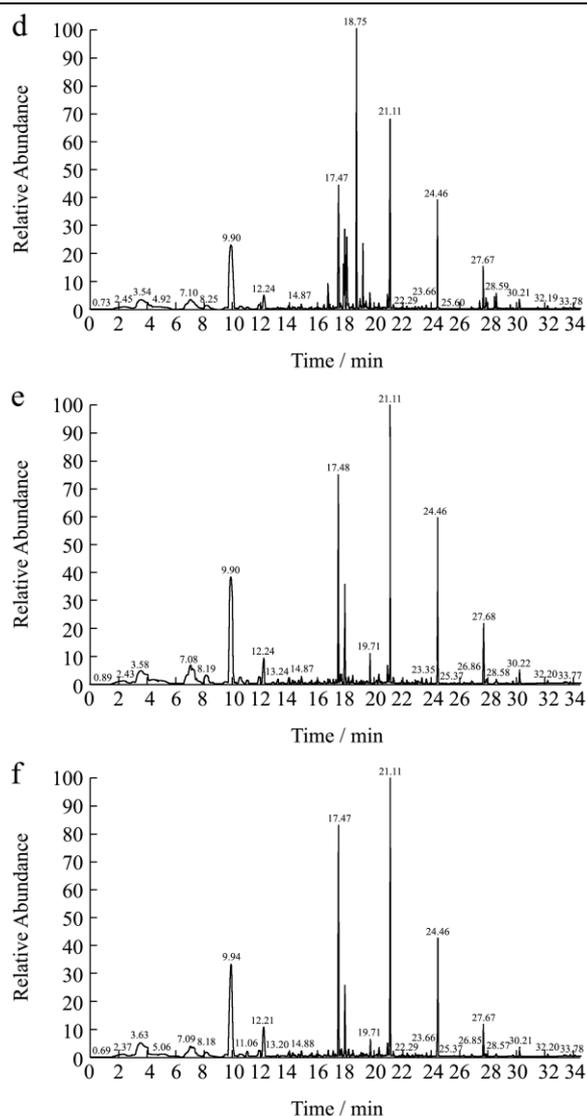


图4 不同微波功率下荠菜的GC-MS总离子色谱图

Fig.4 Total ion chromatograms of volatile flavor compounds in *Capsella bursa-pastoris* (L.) dried by different microwave powers

注: a: 微波120 W荠菜GC-MS总离子色谱图, b: 微波240 W荠菜GC-MS总离子色谱图, c: 微波360 W荠菜GC-MS总离子色谱图, d: 微波480 W荠菜GC-MS总离子色谱图, e: 微波600 W荠菜GC-MS总离子色谱图, f: 微波700 W荠菜GC-MS总离子色谱图。

2.5 不同微波功率对荠菜芳香成分的影响

荠菜经不同微波功率处理其芳香成分种类及含量汇总表(见表3)和GC-MS总离子色谱图分别见图4(a-f)。荠菜经各功率微波加热获得的干制产品有效挥发性物质种类为48~52种,其中,480 W微波干制品中挥发性芳香化合物种类最多,有效香气得率93.68%,240 W微波产品最少。其余功率处理组荠菜挥发性物质种类均为50种,较荠菜鲜样减少14种。

总体来说,微波处理对荠菜中香气影响较大。(物质详表参见表4)

2.5.1 不同微波功率对荠菜中醇类物质的影响

荠菜中的醇类化合物在微波加热过程中大量损失,不但种类比荠菜鲜样少,而且含量也显著降低。微波功率和干燥时间与醇类物质的损失量有一定相关性,功率越高、微波加热时间越长,醇类损失越严重。如600 W和700 W处理组干制品中醇种类均只为5种,较鲜样减少7种,含量也分别仅为鲜样的19.74%和29.08%。480 W和120 W微波干燥所得的终产品中醇类化合物含量差异不大,损失率约为60%,前者含有效醇类化合物5种,后者为7种。240 W和360 W处理组干制品醇种类和含量相对较高。荠菜中的特征醇类化合物含量如叶醇、反式-2-己烯-1-醇、2,6-二甲基环己醇等在微波干燥过程中变化很大,变化量与微波加热功率和时间有关,高功率长时间加热加剧了醇类化合物的流失^[15]。以反式-2-己烯-1-醇为例,新鲜荠菜中反式-2-己烯-1-醇相对含量为4.91%,经120 W微波功率干制后,含量减少为0.99%,而经700 W微波功率加热后,含量仅为0.74%。顺-2-戊烯-1-醇、辛醇、苯乙醇等在微波干制品中完全消失,4-甲基环己醇、1-戊醇在荠菜鲜样中不存在但在微波产品中检出,为微波干燥过程中新产生的醇类化合物,前者存在于120~360 W产品中,后者在6种微波产品的GC-MS色谱图中均出现离子峰,并以240 W干制品峰值最大。

2.5.2 不同微波功率对荠菜中醛类物质的影响

低微波功率干燥对荠菜中醛类物质的影响作用较小,与荠菜鲜样相比,醛类化合物种类和含量虽有下降但不明显,120 W干燥条件制得的荠菜产品醛种类数最多,为18种,其次为240 W产品,共鉴定有效醛类化合物16种,两种产品中醛相对含量分别为26.25%和25.75%。480 W干燥由于微波功率和加热时间适中,因此醛类物质的保留率也较高,种类只较鲜样减少一种,相对含量较鲜样下降4.54%。高功率微波加热对荠菜中醛类物质的破坏程度较大,醛类化合物损失较多,600 W和700 W处理组荠菜制品中醛类化合物种类均为13种,比鲜样减少5种,含量分别为13.72%和10.50%,前者损失率为49.24%,后者61.15%。

微波干燥荠菜中的醛类化合物种类相对较集中,各微波功率处理组产品中醛种类大致相同,仅有少数醛类化合物单独存在于某一到两种干制品中,但含量一般比较低,如3-甲基丁醛和2-甲基-2-己烯醛只存在于480 W微波功率组产品中,3-甲硫基丙醛、2-甲基烯醛只在120 W微波制品中检出,癸醛只在360 W微

波产品中检测到。鲜样中原有的醛类化合物除异戊醛、(E)-2-戊烯醛、正辛醛和苯乙醛含量在微波产品中呈增长趋势外,其它醛类物质相对含量均为下降。苯乙醛是一种有浓郁的玉簪花香气的醛,是芥菜中的有效芳香组分,在微波产品中较鲜样显著增加,尤其在120 W和240 W微波制品中。正己醛、青叶醛、苯甲醛等芥

菜中的特征醛类化合物在微波干燥过程中损失率较大,微波功率越高,加热时间越长,损失越明显。2-甲基正丁醛、正戊醛在各微波干制品色谱图中均出现吸收高峰,且峰值较大,而在芥菜鲜样相对含量较高的柠檬醛则在微波过程中消失。

表3 芥菜经不同微波功率处理香气种类及含量分类汇总表

Table 3 Comparison of the types and content of aromatic compounds found in *Capsella bursa-pastoris* (L.) samples that were dried using different microwave powers

	芥菜鲜样		700 W		600 W		480 W		360 W		240 W		120 W	
	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	5	5.26	5	7.75	5	11.02	6	12.62	7	12.66	7	11.05
醛类	18	27.03	13	10.50	13	13.72	17	22.49	15	20.02	16	25.75	18	26.25
酯类	6	3.25	1	1.63	1	1.58	2	0.65	2	0.90	2	1.87	2	2.47
酮类	2	1.71	4	2.70	4	2.76	3	1.86	2	1.58	3	2.70	3	1.77
酸类	3	3.68	4	3.25	4	3.33	6	4.96	5	3.51	5	3.97	6	4.46
烃类	11	7.98	16	19.28	14	22.26	7	4.91	11	8.17	8	9.52	5	8.19
其它	12	21.00	7	45.36	9	43.77	12	47.79	9	37.58	7	37.27	9	35.86
总计	64	91.30	50	87.98	50	95.17	52	93.68	50	84.38	48	93.74	50	90.05

注:表中含量为相对含量。

2.5.3 不同微波功率对芥菜中酯类物质的影响

微波加热对芥菜中酯类化合物影响较大,不同功率处理组中酯种类差异不大,但含量不同。480 W微波干制品酯类化合物损失较多,含量仅为鲜样的20%,其次为360 W产品,较鲜样减少了72.33%。新鲜芥菜中的6种酯类化合物除乙基葫芦巴内酯在480 W功率干燥所得的产品中检出外,其它五种全部消失。微波干燥过程中生成了两种新酯,即亚硝酸异戊酯和2-甲基-戊酸乙酯,前者有水果香味,后者呈现带略酒香的果香气,主要用于配制苹果、柠檬等水果型食用香精,这两种酯类化合物均为微波干制品中的有效芳香酯。亚硝酸异戊酯在700 W和120 W微波功率产品中的相对含量较高,在480 W产品中未检出,2-甲基-戊酸乙酯则存在于480 W以下的微波干制品中。

2.5.4 不同微波功率对芥菜中酮类物质的影响

β -紫罗兰酮是各微波芥菜干制品中主要的酮类化合物,其在各处理组产品中的含量与鲜样相比有不同程度降低,微波加热功率越高,加热时间越长,对 β -紫罗兰酮的破坏性越大。240 W微波产品中 β -紫罗兰酮含量基本无损失,480 W微波条件下 β -紫罗兰酮的保留率为84.21%。3-戊烯-2-酮也是微波干制品中的主要酮类物质,存在于除700 W微波加热产品以外的其他处理组制品中,相对含量以120 W和240 W产品为高。此外,高功率微波加热促进了丁酮、2-异丁基酮、3-甲基环戊烷-1,2-二酮等酮类化合物的转化。其中3-

甲基环戊烷-1,2-二酮有烘烤坚果的甜香味。

2.5.5 不同微波功率对芥菜中酸类物质的影响

酸类化合物在微波加热过程中种类较鲜样增多,新增酸类如:3-甲基丁酸、2-甲基丁酸、己酸、辛酸等,但鲜样中含量较高的3-氨基-2,3-二氢苯甲酸和2-甲基-4-戊烯酸在微波产品中均未检出,物料瞬时升温造成部分酸类成分裂解是造成上述两种酸消失的可能原因。肉桂酸产生于480 W和600 W微波干燥过程中,有桂皮香气,是微波干制品特有的酸类组分,DL-B-苯乳酸和反-3-己烯酸则分别只存在于700 W和120 W产品中。3-甲基丁酸在各功率微波处理中相对含量较其它酸类化合物高,是微波干制品主要的酸类化合物,有轻微辛辣味和酸味,低浓度下呈现水果香味,其在480 W处理组终产品中含量较高。2-甲基丁酸在低浓度时有愉快的水果香气,在各微波处理组产品中均被检出,含量以360 W和480 W微波处理组较高。

2.5.6 不同微波功率对芥菜中烷烃类物质的影响

烃类化合物种类在较高功率微波干制品中增加,700 W干制品含烃种类数最多,为16种,比鲜样多5种,其次为600 W,烃种类由11种增加到14种。360 W微波干制品烃种类数与鲜样相同,均为11种,其余三个功率烃类化合物种类都表现为下降,且120 W干制品含烃类物质最少,仅为5种。与鲜样相比,除480 W芥菜干制品烃类化合物含量由原来的7.98%下

降到 4.91%外, 其它功率干燥所得的芥菜产品烃类化合物总含量均呈现上升趋势, 其中, 600 W 处理组对应的芥菜制品烃含量最多, 为 22.26%, 其次为 700 W 产品, 烃类化合物相对含量 19.28%, 分别为鲜样的 2.79 倍和 2.42 倍。

微波干燥过程导致了包括苯乙烯、环十四烷等在内的 7 种烃类化合物的消失, 芥菜鲜样中原有的 2, 2, 6-三甲基环庚烷和环十二烷等在各处理组产品中虽有检出但相对含量都有一定程度的降低, 降低幅度随干燥功率的升高和时间的延长而增加。但微波干燥同时也促进了许多新烯烃类化合物的生成, 如 α -蒎烯(松木、针叶及树脂样气息)、水芹烯(黑胡椒似香气)、松油烯(柑橘香味)、P-伞花烃(胡萝卜样气味)、罗勒烯(橙花油气息)、反式石竹烯(丁香似香味)、金合欢烯(青香、花香并伴有香脂气)、十五烷等, 这些物质极大地丰富了芥菜干制品的芳香体系。

2.5.7 不同微波功率对芥菜中其它化合物的影响

微波干制品中的其它化合物也主要以含硫化合物为主, 化合物种类和含量以 480 W 处理组干制品为最多, 共鉴定有效物质 12 种, 与鲜样一致, 相对含量却由 21.00%上升为 47.79%,。经 120 W、240 W、360 W、600 W 和 700 W 微波干燥得到的干制品中其它化合物含量分别为鲜样的 1.71 倍、1.54 倍、1.79 倍、2.08 倍和 2.16 倍, 种类虽然减少, 含量却增加。硫化物相对含量的增加是造成其它化合物总含量增加的主要因素, 尤其是二甲基二硫, 在各微波功率处理组产品中的相对含量远高于鲜样含量, 360 W 以上微波功率产品中二甲基二硫含量均超过 20%, 二甲硫醚、二甲基三硫和二甲基四硫相对含量也在微波过程中整体呈现上升趋势, 但增加幅度较二甲基二硫小。360 W 和 480 W 中硫化物含量稍低于其它处理组。2-乙基-3, 5-二甲基吡嗪在 6 种功率的微波处理组产品中均被检出, 芥菜产品中原有的呋喃类物质除顺-2-戊烯基呋喃在 120 W 产品中少量检出外, 其余全部消失。

表 4 不同微波功率干燥芥菜香气物质种类及含量详表

Table 4 Types and contents of aromatic compounds found in *Capsella bursa-pastoris* (L.) samples that were dried using different microwave powers

序号	化合物名称	保留时间/min	鲜样	120 W	240 W	360 W	480 W	600 W	700 W
醇类			相对含量%						
1	3-甲基-丁醇	3.21	0.39						
2	1,3-丁二醇	3.57				0.39			
3	环戊醇	7.24							
4	1-戊烯-3-醇	7.56	0.74	0.74	0.26				
5	4-甲基环己醇	8.44		1.28	1.44	1.32			
6	1-戊醇	10.55		1.67	2.10	1.23	0.98	0.48	0.28
7	顺-2-戊烯-1-醇	10.82	0.85						
8	叶醇	12.91	6.84	3.73	4.06	3.45	3.09	1.98	1.24
9	反式-2-己烯-1-醇	14.50	4.91	0.99	1.42	1.77	1.95	1.33	0.74
10	1-己醇	14.54	0.93						
11	2-乙基己醇	14.93	1.04				0.56		
12	CIS-4-庚烯醇	15.77		0.25					
13	6-甲基-2-环己烯-1-醇	15.95			0.40				
14	四氢吡喃-2-甲醇	19.91	0.71						
15	1-辛醇	20.07	0.30						
16	2,6-二甲基环己醇	21.18	8.42	2.39	2.98	4.46	4.44	3.67	2.58
17	苯乙醇	21.32	1.05						
18	2-(苯基亚甲基)庚醇	21.46	0.47						
19	3,4-二甲基环己醇	21.60						0.29	0.42
醛类			相对含量%						
1	2-甲基丙醛	4.13		0.39	0.61				

转下页

接上页

2	异戊醛	6.76	0.26	3.52	2.18	1.60	0.49	1.20	0.76
3	3-甲基丁醛	6.03					0.27		
4	巴豆醛	6.71	0.13						
5	2-甲基正丁醛	7.08		2.00	2.54	2.19	3.22	1.76	1.17
6	正戊醛	8.16		1.98	3.03	2.10	2.40	1.10	0.75
7	(E)-2-戊烯醛	10.47	1.76	1.53	2.17	2.39	2.56	1.34	1.02
8	正己醛	11.65	5.28	2.10	4.58	3.26	3.06	2.19	1.73
9	青叶醛	14.04	3.89	3.00	1.27	1.63	1.74	1.37	0.81
10	5-甲基己醛	14.42		0.42	0.38		0.27		
11	2-甲基-2-己烯醛	14.68					0.36		
12	顺-4-庚烯醛	15.42	1.99	1.15	1.29	1.14	0.91	0.43	
13	3-甲硫基丙醛	15.84		0.29					
14	庚醛	15.88	0.73	0.58	0.41	0.22	0.27	0.19	0.11
15	2-甲基烯醛	16.11		0.63					
16	(E,E)-2,4-己二烯醛	16.21	1.06	0.45	0.92	0.87	1.03	0.77	0.38
17	苯甲醛	17.54	5.64	1.57	1.24	1.6	2.57	1.39	1.45
18	正辛醛	18.71	0.19	0.51	0.45	0.29	0.53	0.33	0.24
19	(E,E)-2,4-庚二烯醛	18.95	0.27						
20	苯乙醛	19.65	0.46	4.06	3.04	1.65	1.67	0.95	1.11
21	壬醛	20.87	0.92	1.35	1.12	0.68	0.85	0.70	0.76
22	癸醛	23.21	0.58			0.16			
23	β -环柠檬醛	23.49	0.70	0.72	0.52	0.24	0.29		0.21
24	柠檬醛	24.36	1.93						
25	2-甲基十一醛	24.51	0.58						
26	6-溴吡啶-3-甲醛	30.77	0.66						

酯类

相对含量%

1	亚硝酸异戊酯	10.69		2.09	1.47	0.73		1.58	1.63
2	异硫氰酸烯丙酯	14.89	0.27						
3	乙基葫芦巴内酯	17.22	0.21				0.38		
4	乙酸叶醇酯	18.62	1.47						
5	乙酰乙酸甲酯	19.55	0.34						
6	4-羟基-3-硝基苯甲酸甲酯	20.93	0.74						
7	2-甲基-戊酸乙酯	23.35		0.38	0.40	0.17	0.27		
8	邻苯二甲酸异-4-辛酯	33.80	0.22						

酮类

相对含量%

1	丁酮	5.32					0.24	1.06	0.94
2	丁二酮	5.50			0.48				
3	2-异丁基酮	9.12							0.30
4	3-戊烯-2-酮	9.53		0.55	0.67	0.34	0.34	0.17	
5	3-甲基环戊烷-1,2-二酮	14.33						0.47	0.56
6	3,5-辛二烯-2-酮	20.15		0.30					
7	甲基壬基甲酮	24.76	0.19						
8	β -紫罗兰酮	28.75	1.52	0.92	1.55	1.24	1.28	1.06	0.90

转下页

接上页

酸类		相对含量%							
1	N-甲基牛磺酸	2.43		0.31	0.73	0.30	0.29	0.31	0.36
2	3-氨基-2,3-二氢苯甲酸	7.82	1.18						
3	2-甲基-4-戊烯酸	12.10	2.17						
4	3-甲基丁酸	12.59		1.59	1.68	1.27	2.20	1.75	1.61
5	2-甲基丁酸	13.24		0.85	0.72	1.37	1.41	1.08	0.77
6	己酸	17.38		0.76	0.51	0.31	0.22		
7	肉桂酸	17.70					0.61	0.19	
8	DL-B-苯乳酸	17.81							0.51
9	反-3-己烯酸	17.99		0.53					
10	辛酸	21.94		0.42	0.33	0.26	0.23		
11	N-乙酰谷氨酸	22.33	0.33						
烃类		相对含量%							
1	乙苯	14.60							0.23
2	邻二甲苯	14.73			0.24	0.17			
3	对二甲苯	14.89	0.36						
4	苯乙烯	15.61	0.85						
5	壬烷	15.68							0.21
6	3,4-二甲基-1-己烯	16.03				0.20			
7	α -蒎烯	16.76		1.35	1.51	0.3	0.82	3.88	3.50
8	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]-2-己烯	17.25						0.37	
9	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	18.19		1.00	0.91	0.51	0.60	0.33	
10	2,2,7,7-四甲基辛烷	18.34							0.69
11	α -水芹烯	18.80					0.21	8.29	7.33
12	1,3,8-对-孟三烯	18.99				0.16			
13	松油烯	19.09						0.98	
14	对二氯苯	19.15	1.01		0.30	0.21	0.20	0.24	0.28
15	溴代环庚烷	19.27	0.31						
16	1-溴-4-甲基环己烷	19.30	0.26						
17	P-伞花烃	19.38						2.55	2.79
18	邻-异丙基苯	19.42							0.20
19	(-)-邻-异丙基苯	19.44	0.48					0.26	0.20
20	β -水芹烯	19.47						0.52	
21	2,2,6-三甲基环庚烷	19.60	1.88	1.45	1.58	1.33	1.78	1.54	1.36
22	罗勒烯	19.63		3.27	3.44	3.31			
23	萘烷	20.24			0.29	0.21			
24	十二烷	23.04							0.16
25	C15H24(待鉴定)	23.67						0.63	0.20
26	丁子香烯	23.80				0.20			
27	2-甲基萘	25.24	0.27						
28	环十四烷	26.83	0.95						
29	反式石竹烯	27.16						0.61	0.52

转下页

接上页		相对含量%							
30	金合欢烯	27.89				0.64	0.34	0.88	0.66
31	环十二烷	28.32	1.19	1.12	1.25	1.09	0.96	0.73	0.31
32	2,6-二叔丁基苯醌	28.43	0.42						
33	十五烷	29.58						0.82	0.64
其它化合物									
1	乙醇胺	2.50	0.52						
2	2-乙基呋喃	8.71	0.93				0.21		
3	二甲基二硫	9.95	4.09	14.58	15.24	20.41	27.47	24.61	25.77
4	非那西丁	11.06		0.38	0.53	1.12	0.51	0.24	
5	4-甲基戊腈	13.57					0.61		
6	甲氧基苯基胍	15.07	0.60	0.72	0.89	0.41	0.62	0.37	0.48
7	5-甲基己腈	16.89					0.63	0.30	
8	二甲三砷	18.13	6.26	7.77	8.71	3.08	6.48	5.45	5.38
9	2-正戊基呋喃	18.13	0.52						
10	顺-2-戊烯基呋喃	18.50		0.29					
11	2-乙基-6-甲基吡嗪	19.04		0.31					
12	桉叶油素	19.48	0.09						
13	戊酸酐	19.73	0.28						
14	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	20.33		1.19	1.27	1.93	1.65	1.22	1.74
15	2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	22.49	1.86			1.75	2.08		
16	左旋樟脑	22.81							0.18
17	二甲基四硫	23.89	4.25	4.33	4.60	4.95	3.51	6.11	5.95
18	谷酰胺	28.52	0.50						
19	二甲硫醚	3.46		6.29	6.03	3.77	3.08	5.10	5.86
20	烯丙基甲基二硫醚	16.65	1.10				0.94		
总计		91.30	90.05	93.74	84.38	93.68	95.17	87.98	

3 结论

3.1 本试验采用 120W~700W 微波功率干燥芥菜, 利用顶空固相微萃取结合 GC-MS 检测微波干燥芥菜干制品中的挥发性物质, 结果表明: 微波干燥条件下, 芥菜鲜样中的特征醇类化合物如叶醇、反式-2-己烯-1-醇、2, 6-二甲基环己醇等的含量大大降低, 醛类化合物种类和含量总体略有下降, 但异戊醛、(E)-2-戊烯醛、正辛醛和苯乙醛含量在微波产品中呈增长趋势; 微波干燥产品中生成两种新酯, 亚硝酸异戊酯和 2-甲基戊酸乙酯; 微波干燥过程中酸类化合物种类增多, 新增酸类如: 3-甲基丁酸、2-甲基丁酸、己酸、辛酸等, 7 种烃类化合物包括苯乙烯、环十四烷等消失。

3.2 试验对不同微波功率干燥的芥菜进行干燥特性和品质分析表明, 功率是影响微波加热过程的主要因素, 功率越高, 加热速度越快, 干燥时间越短, 对食品的破坏程度越大。360 W 和 480 W 干燥条件均能较好地保持产品的感官品质、复水性、营养成分。与其

他处理组相比, 480 W 微波干制品中挥发性化合物种类最多, 有效香气得率 93.68%。480 W 微波干燥所得的终产品中醇类和醛类物质的保留率均较高, β -紫罗兰酮的保留率高达 84.21%, 含硫化合物的种类也较多。综上所述, 在本实验条件下, 样品载样量 50 g, 微波干燥功率 480 W, 干燥 21 min 获得的芥菜干制品具有较好的营养品质、感官品质和风味质量, 这为后期芥菜干制工艺的开发提供了良好的研究基础。

参考文献

[1] CUI Hai-lan, LI Xiang-ju, WANG Gui-qi, et al. Acetolactate synthase proline (197) mutations confer tribenuron-methyl resistance in *Capsella bursa-pastoris* populations from China [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2012, 102(3): 229-232

[2] 张艳芬, 姜丽, 蒋娟, 等. 包装方式对冷藏芥菜的保鲜效果[J]. 江苏农业学报, 2010, 5: 1118-1120

- ZHANG Yan-fen, JIANG Li, JIANG Juan, et al. Effect of packing manner on fresh-keeping of *Capsella bursa-pastoris* L. [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 5: 1118-1120
- [3] Demarchi Silvana M, QUINTERO Ruiz NA, CONCELLÓN Anal á, et al. Effect of temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple leathers [J]. Food and Bioproducts Processing, 2013, 91(4): 310-318
- [4] 赵凤敏,李树君,张小燕,等.常见浆果的真空冷冻干燥特性研究[J].现代食品科技,2014,4:220-225
- ZHAO Feng-min, LI Shu-jun, ZHANG Xiao-yan, et al. Vacuum freeze-drying characteristics of common Berries [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 4: 220-225
- [5] ZHANG Min, TANG Ju-ming, MUJUMDAR AS, et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(10): 524-534
- [6] 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
- XUE Yan-jun, ZHANG Li, FENG Li, et al. Optimization and analysis of volatile components of *Capsella bursa-pastoris* L. by SPME-GC-MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014
- [7] 茹赛红,曾晖,方岩雄,等.微波干燥和热风干燥对金萱茶叶品质影响[J].化工进展,2012,10:2183-2186
- RU Sai-hong, ZENG Hui, FANG Yan-xiong, et al. Effect of microwave drying and hot air drying on quality of Jin Xuan tea [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2012, 10: 2183-2186
- [8] 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
- BI Jin-feng, YU Jing-jing, DING Yuan-yuan, et al. Application of Solid Phase Microextraction with GCMS method for analysis of volatile compounds in dried Jujube products [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 3: 354-360, 365
- [9] ZUDE-Sasse M, TRUPPEL I Ingo, HEROLD B Bernd. An approach to non-destructive apple fruit chlorophyll determination [J]. Postharvest Biology and Technology, 2002,25(2): 123-133.
- [10] DAI Xiao-mei, LUO Hai-bo, JIANG Li, 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
- [11] 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
- XU Xiao-fei, XIANG Ying, ZHANG Xiao-shuang, et al. Effect of different drying methods on the quality of mushroom [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 17: 259-262
- [12] 徐明亮,周祥,蔡金龙,等.不同干燥方法对海芦笋干品品质的影响[J].食品科学,2010,11:64-68
- XU Ming-liang, ZHOU Xiang, CAI Jin-long, et al. Effect of drying methods on the physico-chemical and sensory quality of *Salicornia bigelovii* Torr [J]. Food Science, 2010, 11: 64-68
- [13] ARSLAN Derya, MUSA ÖZCAN Mehmet. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(7): 1121-1127.
- [14] 张凌云,魏青,吴颖,等.不同干燥方式对金牡丹乌龙茶品质的影响[J].现代食品科技,2013,29(8):1916-1920
- ZHANG Ling-yun, WEI Qing, WU Ying, et al. Effect of different drying technologies on qualities of Jinmudan Oolong tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(8): 1916-1920
- [15] SÁROSI S, SIPOS L, KÓKAI Z, et al. Effect of different drying techniques on the aroma profile of *thymus vulgaris* analyzed by GC-MS and sensory profile methods [J]. Industrial Crops and Products, 2013, 46(0): 210-216