

李丽丽, 李臻峰, 李 静, 等. 基于气味在线检测的苦瓜微波干燥过程[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 179-185.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.01.026

## 基于气味在线检测的苦瓜微波干燥过程

李丽丽<sup>1</sup>, 李臻峰<sup>1,2</sup>, 李 静<sup>1,2</sup>, 徐晚秀<sup>2</sup>

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 采用基于气味在线检测的微波干燥试验系统, 研究干燥温度(50 ℃、65 ℃、80 ℃)、切片厚度(2 mm、4 mm、6 mm)对苦瓜微波干燥过程的影响。利用表面声波式电子鼻在线采集恒温干燥过程中的挥发性气味, 通过分析干燥特性、气味峰面积曲线、气味散失强度寻找气味散失规律, 结合干燥后品质确定一种较优的干燥方案。结果表明: 苦瓜气味峰面积散失规律与水分散发规律具有一定的一致性; 干燥温度较切片厚度对苦瓜气味散失、干燥速率的影响更大; 50~80 ℃区间内干燥温度越低、切片厚度越大时, 气味峰面积越小且变化越平稳、气味散失强度越低。综合来看, 微波干燥温度65 ℃、切片厚度2 mm, 气味峰面积变化较平稳, 气味保留较佳, 干燥速率适中, 且干燥后品质较好。

**关键词:** 苦瓜; 在线气味检测; 微波干燥; 温度; 切片厚度; 气味

**中图分类号:** TS255.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2018)01-0179-07

## The microwave drying process of balsam pear based on online flavor detection

LI Li-li<sup>1</sup>, LI Zhen-feng<sup>1,2</sup>, LI Jing<sup>1,2</sup>, XU Wan-xiu<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Microwave drying system based on online flavor detection was used to study the effects of drying temperature(50 ℃, 65 ℃, 80 ℃) and slice thickness(2 mm, 4 mm, 6 mm) of balsam pear on microwave drying process. The surface acoustic wave type of electronic nose was used to detect the online volatiles. To choose the optimal drying scheme, the flavor peak area curves and flavor emission intensity, drying characteristic as well as dried quality were analyzed. Results showed that the rule of flavor peak emission and moisture diffusion had some consistency, and the drying temperature had more significant influences on flavor emission and moisture diffusion than slice thickness. The lower drying temperature (50~80 ℃) and greater slice thickness resulted that the flavor peak area curve had a smaller peak and changed more smoothly, and flavor emission intensity was smaller. Generally, when drying temperature at 65 ℃ and slice thickness was 2 mm, the flavor peak area curve changed smoothly, the capability of flavor retention was better, the drying rate was appropriate, the dried quality was good.

**Key words:** balsam pear; online volatile detection; microwave drying; temperature; slice thickness; flavor

收稿日期: 2017-08-10

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(KYLX\_1158); 国家自然科学基金项目(21206051); 江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2016022-10)

作者简介: 李丽丽(1991-), 女, 湖北老河口人, 硕士研究生, 主要从事食品微波干燥研究。(E-mail) 2550609858@qq.com

通讯作者: 李臻峰, (E-mail) 2059253380@qq.com

苦瓜素有药用蔬菜之称, 富含维生素、矿物质、氨基酸等营养物质及三萜、生物碱、甾类化合物、萜类色素、脑苷等药物活性成分, 风味独特, 深受消费

者喜爱,具有极高深加工价值,干燥处理是常见的深加工方法<sup>[1-2]</sup>。

气味是一种重要的品质检测指标,气味物质大多属于不稳定性物质,气味检测可以帮助研究者优化干燥产品<sup>[3-5]</sup>。Toontom 等<sup>[6]</sup>使用气质联用方法检测太阳、冷冻、热风干燥后的辣椒挥发性气味,发现保留特定挥发性气味有利于增加干辣椒甜醇与表面绿色度。Fei 等<sup>[7]</sup>通过气味检测发现冷冻结合微波真空干燥方法处理的蘑菇样品挥发性气味与鲜蘑菇相似,且味道活性氨基酸和鲜味物质含量更高。Li 等<sup>[8]</sup>在苹果微波干燥过程中利用表面声波式电子鼻在线检测挥发性物质,发现模糊控温法对挥发性气味保留较好。

干燥过程中气味物质变化是一个复杂的传质过程,离线气味检测不能反映干燥过程中气味变化<sup>[8]</sup>。目前市场上常见的气味检测方法主要有顶空固相微萃取、气质联用、核磁共振与电子鼻等,气质联用等方法耗时较长,而表面声波式电子鼻检测方法周期短且全面,适合在线检测<sup>[9]</sup>。本研究使用表面声波式电子鼻对苦瓜干燥过程中挥发性气味物质进行在线检测,以气味散发强度、干燥特性及苦瓜干燥后品质为指标,研究苦瓜微波干燥过程中气味变化,以期对微波干燥技术在高品质干制品的工业生产上提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

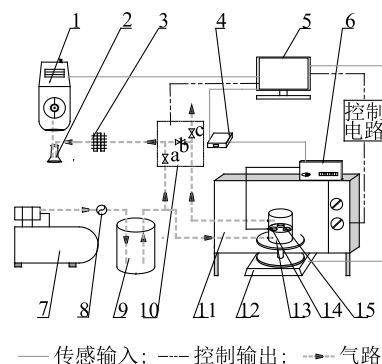
选取大小基本一致的新鲜苦瓜,初始干基含水量为 18.305 g/g(直接干燥法,105 ℃热风干至恒质量),试验前置于 4 ℃冰箱中储存待用。

### 1.2 干燥系统

自制基于气味在线检测的微波干燥系统(图 1)。系统主要包含 4 大部分:在线气味检测部分,温度实时检测与控制部分,质量检测部分,功率线性可调微波干燥部分。

在线气味检测部分包括表面声波式电子鼻、空压机、三路电磁阀模块、冷凝器。表面声波式电子鼻通过检测气味频率的变化反映气味量的大小(以峰面积表示)。干燥时光纤、电子鼻将样品中心温度信号、峰面积信号实时输入到计算机内,设定相应恒定温度后,在 Labview 软件中通过 PID 反馈调节微波功率,实现样品中心温度恒定( $\pm 3$  ℃)。同时电

脑根据电子鼻检测的峰面积信号,判断电子鼻清洗测量要求,通过 NI 数字输出实时控制继电器,调节电磁阀通断,在线控制清洗与测量线路。测量时,电磁阀 b 接通,电磁阀 a、c 断开,密封物料罐内的挥发性气味分子经过冷凝器干燥后供电子鼻采样;清洗时,电磁阀 a、c 接通,电磁阀 b 断开,清洁电子鼻气体流入采气瓶,干燥气味则通过电磁阀 c 排到空气中。在线采集的物料质量、功率控制和温度控制数据以 1 秒间隔存入计算机。



1: 电子鼻(z-Nose); 2: 采样瓶; 3: 冷凝器; 4: 数据采集卡; 5: 计算机; 6: 光纤测温仪(解调仪); 7: 空压机; 8: 气体流量控制器; 9: 气体缓冲罐; 10: 三路电磁阀模块; 11: 微波炉; 12: 电子秤; 13: 密封物料罐; 14: 光纤; 15: 苦瓜。

图 1 基于气味在线检测的微波干燥系统

Fig.1 Microwave drying system based on online volatile detection

### 1.3 主要仪器

UV-1800 紫外分光光度计,日本岛津公司产品; 4200 快速气相分析仪(表面声波式电子鼻),美国 Electronic Sensor Technology 公司产品; 3NH NR110 色差仪,深圳市三恩时科技有限公司产品; 恒温水浴锅,常州恒隆仪器有限公司产品; GCMS-QP2010S 气质联用仪,日本岛津公司产品。

### 1.4 试验方法

室温下,在基于气味在线检测的微波干燥系统中研究确定缓冲罐出口气体流量为 3 L/min,干燥方法如表 1 所示。每组试验中,称取(25±1)g 新鲜苦瓜,干燥至干基含水率约为 11%时停止。计算机对恒温干燥过程中的气味峰面积值、样品质量、功率和温度控制数据进行在线采集并处理(图 1),并对干燥后样品进行品质分析。每组试验重复 3 次。

气味检测参数:色谱柱为 DB-5 压电石英晶体,传

感器温度 30 ℃,取样时间 0.5 s,泵压时间 10 s,吸入时间 0.5 s,等待时间 2 s,升温程序为以 10 ℃/min 升至 200 ℃,数据处理时间 20 s,传感器烘烤时间 30 s。

表 1 基于气味在线检测的苦瓜微波干燥方法

Table 1 Microwave drying method of balsam pear based on online flavor detection

试验组	干燥温度 (℃)	苦瓜切片厚度 (mm)
1	50	2
2	50	4
3	50	6
4	65	2
5	65	4
6	65	6
7	80	2
8	80	4
9	80	6

## 1.5 指标测定方法

1.5.1 干燥速率及干燥速率曲线斜率的计算 干燥速率计算公式:  $V = (C_{m2} - C_{m1}) / (t_2 - t_1)$ , 式中,  $V$  为样品的干燥速率 [ $\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ],  $C_{m1}$ 、 $C_{m2}$  分别为样品  $t_1$ 、 $t_2$  时刻的干基含水率。以干燥速率下降阶段的近似斜率( $S$ ) 反映干燥速率变化快慢。干燥速率曲线斜率计算公式:  $S = [(V_2 - V_1) / (T_2 - T_1)] \times$

100, 式中,  $S$  为干燥中期干燥速率曲线斜率 [ $\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min}^2)$ ],  $V_2$ 、 $V_1$  分别为样品在干燥速率下降阶段开始、结束时的干燥速率 [ $\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ],  $T_2$ 、 $T_1$  分别对应开始与结束时刻(min)。

1.5.2 气味散失强度计算 气味散失强度用气味峰面积曲线对时间积分之和表示,用 Matlab15.0 拟合积分

分计算气味散失强度。计算公式:  $Q_1 = \int_{t_0}^{t_1} p(t) dt$ , 式中,  $Q_1$  为苦瓜在干燥  $t_0$  时刻至  $t_1$  时刻的总气味散发强度 [ $\text{cts}/(\text{min} \cdot \text{g})$ ],  $p(t)$  为气味峰面积曲线随时间的函数,  $t_0$ 、 $t_1$  分别为干燥初始与结束时刻(min)。

1.5.3 复水比测定 精确称取干燥后苦瓜 1 g, 在 250 ml 烧杯中加入蒸馏水 200 ml, 于 80 ℃ 恒温水浴 10 min, 复水后用滤纸去除表面水分, 测定物料复水后质量<sup>[10]</sup>。计算样品复水比:  $R_d = R_a / R_b$ ,  $R_a$  为样品复水后质量,  $R_b$  为样品复水前质量。

1.5.4 维生素 C( $V_C$ ) 含量测定 采用紫外分光光度法测定干燥后苦瓜的  $V_C$  含量<sup>[11]</sup>。

1.5.5 物料色差测定 用色差计测量新鲜和干燥后的苦瓜色度, 每个样品重复 2 次, 取平均值。用  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  分别代表亮度、红绿度、黄蓝度,  $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$  表示干燥前、后  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值之差, 干燥前、后的色差值  $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ 。

1.5.6 感官品质评定 样品干燥冷却后及时进行感官品质评定, 评定标准见表 2<sup>[12]</sup>。

表 2 干燥苦瓜感官评定标准

Table 2 Standards for sensory evaluation of dried balsam pear

参数	评分等级			
	4	3	2	1
色泽	色泽均匀, 呈淡绿色或绿色	色泽较均匀, 黄绿色, 轻微色变	色泽不均匀, 黄褐色, 色变较严重	色泽不均匀, 褐色, 严重色变
形态组织状态	皱缩较少, 酥脆, 有弹性	轻微皱缩, 脆, 弹性较好	皱缩较多, 硬, 弹性较小	严重皱缩, 生硬粗糙, 无弹性
气味	有苦瓜特有香味, 香气浓郁	有苦瓜特有香味, 香气较淡	无苦瓜特有香味	出现不良气味

满分为 20 分。质量等级: 大于 14 分为好; 14~9 分为一般; 小于 9 分为差。

1.5.7 数据处理 采用 spss21.0 进行试验统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥温度、切片厚度下苦瓜干燥特性

不同干燥处理的苦瓜干燥速率随干基含水率变化如图 2、图 3 所示。在微波恒温控制条件下, 苦瓜干燥速率平衡变化阶段不明显, 因此将其分为 2 个阶段, 即干燥速率上升阶段与干燥速率下降阶段, 大

部分水分蒸发发生在干燥速率下降阶段(图 2、图 3 中的 A-B 区间)。

以图 2-b 为例, 在切片厚度均为 4 mm、干燥温度为 50 ℃、65 ℃、80 ℃ 时, A-B 区间干燥速率曲线斜率分别为 0.010 8  $\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min}^2)$ 、0.019 8  $\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min}^2)$ 、0.044 3  $\text{g}/(\text{g} \cdot \text{min}^2)$ 。设定干燥温度升高时, 微波作用加强, 样品中水分子运动加剧, 样品内部蒸气压高于表面蒸气压, 升高的蒸气压会导

致内部孔洞增大,甚至会膨胀,减少水分的扩散阻力,水分溢出速度加快。温度从 50 ℃ 升到 65 ℃,斜率增加 0.009 0 g/(g · min<sup>2</sup>);从 65 ℃ 升到 80 ℃,斜

率增加 0.024 5 g/(g · min<sup>2</sup>)。高温对水分溢出影响更为明显,因为高温下苦瓜内部吸收的微波功率增加,水汽化溢出速度加快<sup>[13]</sup>。

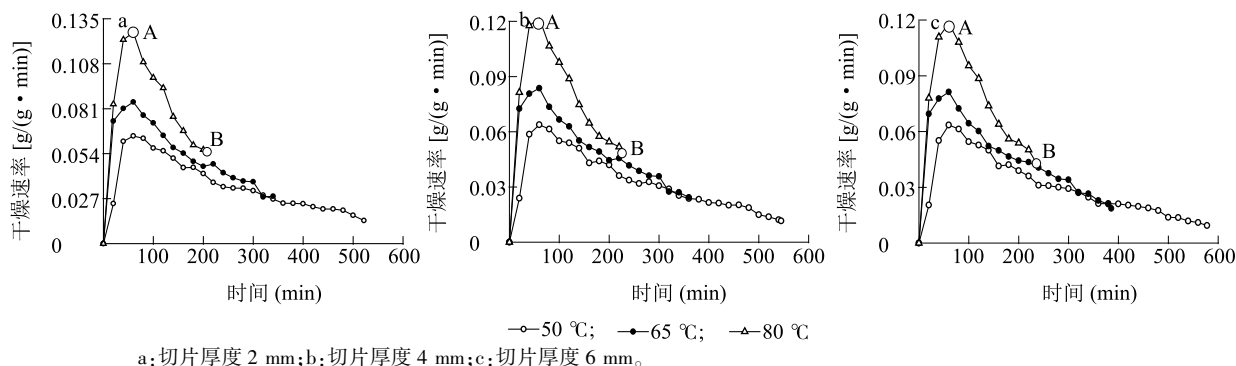


图 2 切片厚度相同时不同干燥温度下苦瓜干燥速率变化曲线

Fig.2 The curves of drying rate at same slice thickness with different drying temperatures of balsam pear

由图 3 可知,切片厚度减小时,干燥速率上升。样品中心温度一定时,相同质量的样品,切片越薄,比表面积越大,水分扩散越容易<sup>[14]</sup>。以图 3-b 为例,干燥温度为 65 ℃、厚度为 2 mm、4 mm、6 mm 时,A-B 区间干燥速率曲线斜率分别为 0.020 2 g/(g · min<sup>2</sup>)、0.019 8 g/(g · min<sup>2</sup>)、0.019 2 g/(g · min<sup>2</sup>)。斜率变

化小,可能是微波干燥为体加热,恒温干燥且样品为片状时,干燥速率受厚度影响小。

对比图 2 与图 3 可知,厚度相同、干燥温度变化时斜率变化量远大于温度相同、切片厚度变化时的斜率变化量,说明干燥温度较切片厚度对苦瓜干燥速率影响更大。

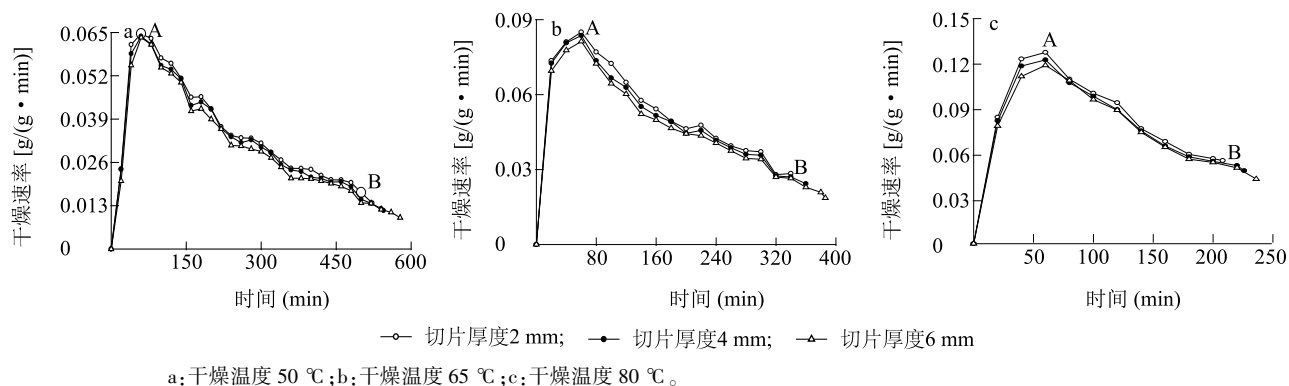


图 3 干燥温度相同时不同切片厚度苦瓜干燥速率变化曲线

Fig.3 The curves of drying rate at same drying temperature with different slice thickness of balsam pear

## 2.2 不同干燥温度、切片厚度下苦瓜气味峰面积变化

新鲜苦瓜气味峰面积图谱如图 4 所示(5 g 新鲜苦瓜置于 25 ml 密封瓶中顶空采气)。发现峰 3 峰面积最大且在不同干燥方法(表 1)的干燥过程中一直存在,前期利用气质联用鉴定苦瓜干燥过程中挥发性气味时发现峰 3 主要代表醛、醇、烷烃这几类物质,与杨敏<sup>[1]</sup>测得的新鲜苦瓜主要挥发气味成分相似,因此取峰 3 作为气味峰(大小以峰面积表示)。

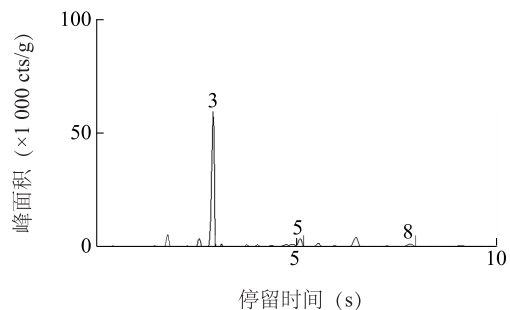


图 4 新鲜苦瓜气味峰面积图谱

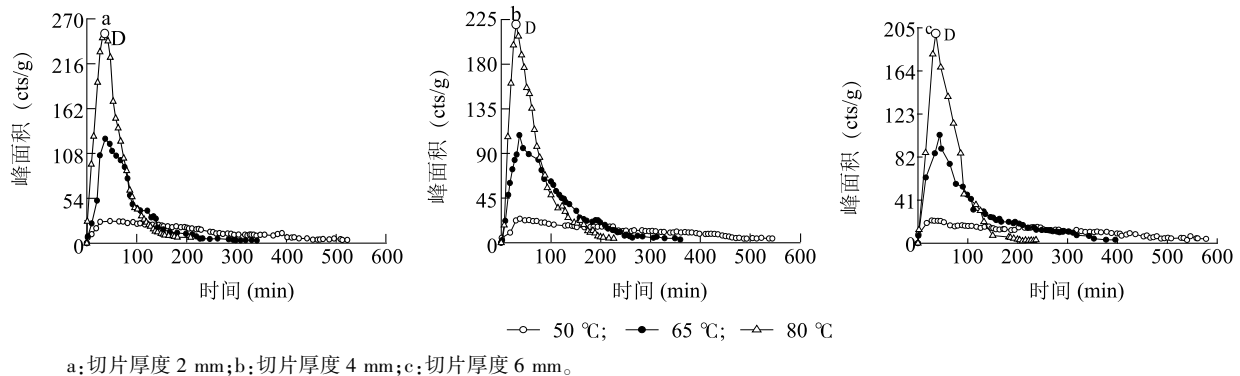
Fig.4 The peak area of fresh balsam pear flavor



不同干燥方法干燥过程中气味峰面积变化曲线如图5、图6所示。气味峰面积曲线也分为2个变化阶段,即峰面积上升阶段与峰面积下降阶段,气味峰面积曲线存在一个较明显的峰值(图5中D点)。

相同切片厚度、不同干燥温度下苦瓜气味峰面积变化曲线如图5所示。以图5-b切片厚度4 mm为例,温度50℃、65℃、80℃峰面积曲线峰值分别为24 cts/g、108 cts/g、220 cts/g,干燥时长分别为542 min、360 min、226 min。可见,干燥温度越高,气

味峰面积曲线峰值越大,对应的干燥时间越少,气味峰面积曲线越陡峭。干燥前期,苦瓜升温过程中气道孔隙率迅速增加,气味物质挥发迅速,气味峰面积快速上升至峰值。随着干燥进行,细胞可能发生破碎、错位,造成毛细管收缩,干燥中后期气道孔隙塌陷,气味溢出受阻,气味峰面积迅速下降<sup>[15]</sup>。温度越高,塌陷越严重,峰面积曲线下落越迅速,因此,如果干燥温度过高,苦瓜内部结构破坏较大,峰面积曲线峰值过大且变化陡峭,不利于气味保留。



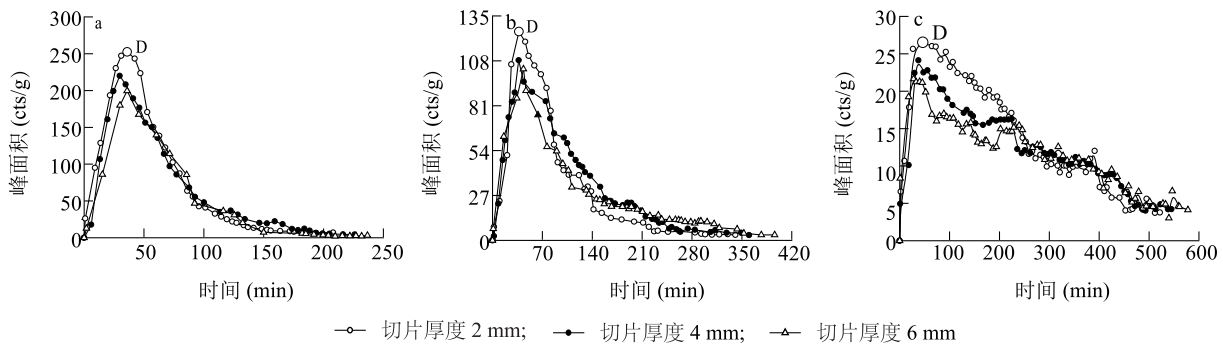
a:切片厚度2 mm;b:切片厚度4 mm;c:切片厚度6 mm。

图5 切片厚度相同时不同干燥温度下苦瓜气味峰面积变化曲线

Fig.5 The peak area curve of flavor during balsam pear drying at same slice thickness with different drying temperature

由图6可看出,相同干燥温度、不同切片厚度时气味峰面积变化较小,峰面积曲线重合较明显。以图6-b干燥温度均为65℃、切片厚度2 mm、4 mm和6 mm为例,峰面积曲线峰值分别为125 cts/g、108 cts/g、103 cts/g,对应干燥时间分别340 min、360 min、386 min。图6-a、图6-c峰面积变化情况与图6-b基本一致,说明切片厚度对苦瓜挥发性气味散失影响较小。

干燥温度相同切片厚度变化时,气味峰面积曲线基本重合,且对应干燥速率曲线变化也不大;切片厚度相同时,温度越高气味峰面积曲线峰值越高且曲线越陡峭,对应干燥速率值越大且曲线斜率越大,水分散发与气味散失规律具有一定的一致性。同时,干燥温度较切片厚度对苦瓜水分散发与气味物质散失过程影响较大。



a:干燥温度80℃;b:干燥温度65℃;c:干燥温度50℃。

图6 相同干燥温度时不同切片厚度下苦瓜气味峰面积变化曲线

Fig.6 The peak area curve of flavor during balsam pear drying at same drying temperature with different slice thickness

### 2.3 不同干燥方法下苦瓜气味散失强度变化

不同干燥方法下苦瓜的风味散失强度如表3所

示。厚度4 mm、温度50℃时气味散失强度为6 762 cts/(min·g),分别是65℃与80℃时气味散失强

度的 60%、42%。气味散失强度越大, 苦瓜气味物质在干燥过程中流失的总量越大, 干制后样品中保留的气味越少。因此, 与 50 ℃、65 ℃相比, 高温 80 ℃干燥处理风味保留能力显著下降。设定的温度越高, 微波功率越高, 传质推动力越强, 热敏性气味挥发也越多<sup>[16]</sup>。同时, 较高温度下苦瓜内部酶促等反应使得大分子物质分解生成的芳香类气味分子多, 气味散失较多<sup>[17]</sup>。

表 3 不同干燥方法下苦瓜气味散发强度和干燥时间

Table 3 The emission intensity of volatile flavor and drying time at different drying schemes of balsam pear

试验组	干燥温度 (℃)	切片厚度 (mm)	干燥时间 (min)	气味散失强度 [cts/(min·g)]
1	50	2	522b	7 038d
2	50	4	542b	6 762de
3	50	6	578a	6 472e
4	65	2	340d	11 246c
5	65	4	360cd	11 183c
6	65	6	386c	10 978c
7	80	2	208ef	16 323a
8	80	4	226e	15 953ab
9	80	6	236e	15 462b

同一列中不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由表 3 可知, 干燥温度相同时, 不同切片厚度气味散失强度基本接近。以相同干燥温度 65 ℃、切片厚度 2 mm、4 mm、6 mm 为例, 对应气味散失强度分别为 11 246 cts/(min·g)、11 183 cts/(min·g)、10 978 cts/(min·g), 差异不大。这是因为样品内部温度相同时, 内外部传质压力梯度差别不大<sup>[18]</sup>, 气味散失强度变化较小。

干燥温度较切片厚度对气味散发强度的作用明显。80 ℃、2 mm 时气味散失强度和干燥时间分别是 16 323 cts/(min·g)、208 min, 分别是 50 ℃、2 mm 时气味散失强度、干燥时间的 2.3 倍与 39%, 说明高温会造成苦瓜气味物质大量流失, 但低温下干燥时间又显著增加, 干燥效率低下。考虑气味保留率和干燥效率, 以干燥温度 65 ℃较为合适。

#### 2.4 不同干燥方法下干燥后苦瓜品质

厚度相同时, 温度 50 ℃和 80 ℃干燥后苦瓜复水性能都较差(表 4)。原因可能是低温 50 ℃时微波作用时间较长, 苦瓜细胞和孔道萎缩变形的程度比在 65 ℃干燥条件下严重。而较长时间处于较高

干燥温度 80 ℃下, 苦瓜导管孔隙被过快的传质气体、水分破坏, 组织细胞受到破坏, 同时在强热力作用下, 部分蛋白质变性而失去吸水能力, 导致亲水性下降<sup>[19]</sup>。由表 4 可以看出, 温度相同时, 切片越薄复水性能越好, 这与 Azizi 等<sup>[19]</sup>结果一致。干燥温度 65 ℃时, 切片 2 mm 的苦瓜复水比为 6.2, 细胞和孔道萎缩变形最小。

表 4 干燥后苦瓜色差、复水比与维生素 C 含量的变化

Table 4 Rehydration, chromatism and  $V_c$  content of dried balsam pear

干燥温度 (℃)	切片厚度 (mm)	复水比	色差	$V_c$ 含量 (mg/kg)
50	2	5.1±0.31d	11.38±0.08ef	2 406.2±21.5e
50	4	4.9±0.31de	11.62±0.08de	2 753.7±26.7cd
50	6	4.8±0.15ef	12.31±0.22d	2 878.3±35.7bc
65	2	6.2±0.20a	7.29±0.02h	3 052.6±40.9b
65	4	5.9±0.25b	8.44±0.04g	3 196.5±21.0ab
65	6	5.6±0.25c	10.85±0.44f	2 628.3±31.0d
80	2	4.8±0.26fg	15.45±0.35c	2 397.3±20.9e
80	4	4.7±0.26g	17.41±0.02b	2 457.8±25.2e
80	6	4.3±0.21h	19.97±0.02a	2 142.9±46.3f

同一列中不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由表 4 可知, 厚度相同时, 干燥温度 50 ℃与 80 ℃相比, 干燥后苦瓜色差较大, 可能是由于高温促进褐变反应, 使干制苦瓜颜色加深, 色差变大; 低温干燥时干制时间延长, 色素降解, 色泽变差<sup>[20]</sup>。65 ℃干制的苦瓜色差普遍较小, 切片厚度为 2 mm 时色差值为 7.29, 色泽变化最小。

干燥温度 80 ℃时,  $V_c$  含量普遍较小(表 4), 这与 Hanif 等<sup>[21]</sup>的结果一致, 因为温度较高时  $V_c$  更容易被氧化分解。低温 50 ℃时, 随着厚度增加  $V_c$  含量增加。干燥温度 65 ℃时  $V_c$  保留率相对较高, 其中切片厚度 2 mm 时  $V_c$  含量较大, 达到 3 052.6 mg/kg。

苦瓜在不同干燥方法下干燥后感官品质发生了较大变化(表 5)。与 65 ℃、50 ℃相比, 80 ℃干燥后的苦瓜出现较明显褐变、皱缩、硬化, 苦瓜气味损失也较多。干燥温度 65 ℃、切片厚度 2 mm 时干燥后的苦瓜气味、组织状态、色泽及形态方面保留效果较好, 褐变率低, 制品酥脆, 感官品质得分最高。

表5 不同干燥方案干燥的苦瓜感官品质得分

Table 5 Sensory scores of dried balsam pear at different drying schemes

试验组	色泽	形态	组织状态	气味	总分
1	3	3	3	4	13
2	3	3	2	4	12
3	2	3	2	3	10
4	4	4	4	3	15
5	3	4	4	3	14
6	2	3	2	3	10
7	2	2	2	1	7
8	2	2	1	1	6
9	1	1	1	1	4

各试验组见表1。

### 3 讨论

在自建的基于气味检测的微波干燥控制系统中使用表面声波式电子鼻在线检测不同恒定干燥温度(50℃、65℃、80℃)、切片厚度(2 mm、4 mm、6 mm)下挥发性气味,通过分析气味峰面积曲线和干燥速率曲线变化规律,发现干燥温度较切片厚度对苦瓜挥发性气味、干燥速率影响更大。不同干燥温度、切片厚度下苦瓜气味散失规律与水分散发规律具有一致性。干燥温度越高、切片厚度越薄时,干燥速率与气味峰面积值越大且曲线越陡,气味散失强度越高,气味保留效果越差,同时干燥后苦瓜复水性能、表面色泽、 $V_c$ 保留率都较差。较优的干燥方法为干燥温度65℃、切片厚度2 mm,在此方法下气味峰面积曲线峰值适中(125 cts/g),气味峰面积变化较平稳,气味散失强度较小[11 246 cts/(min·g)],气味保留较好,干燥效率适中,干燥后品质较优。

#### 参考文献:

- [1] 杨敏. 苦瓜挥发性成分的固相微萃取-气质联用分析[J]. 食品科学, 2010, 31(2):171-174.
- [2] 王琪,吕小兰,王贵生. 苦瓜生物活性及其深加工研究进展[J]. 农业技术与装备, 2015(4):24-25.
- [3] 李大婧,刘霞,江宁. 热风联合微波真空干燥苏ZY01毛豆仁气味成分的变化[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(6):1450-1452.
- [4] 张丽,刘腾飞. 冷冻干燥温度对芥菜挥发性成分的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4):915-923.

- [5] JEYAPRAKASH S, FRANK D C, DRISCOLL R H, et al. Influence of heat pump drying on tomato flavor[J]. Drying Technology, 2016, 34(14):1709-1718.
- [6] TOONTOM N, MEENUNE M, POSRI W. Effect of drying method on physical and chemical quality, hotness and volatile flavour characteristics of dried chilli. [J]. International Food Research Journal, 2012, 19(2):1023-1031.
- [7] PEI F, YANG W, MA N. Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72(5):343-350.
- [8] LI Z, RAGHAVAN G S V, WANG N. Apple volatiles monitoring and control in microwave drying [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(4):684-689.
- [9] 刘纯友,李子娟. 水产品挥发性气味成分提取与检测方法研究进展[J]. 广州化工, 2017, 45(6):30-33.
- [10] SRIMAGAL A, MISHRA S, PRADHAN R C. Effects of ethyl oleate and microwave blanching on drying kinetics of bitter melon [J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(5):1192-1198.
- [11] 王凤霞,黄玉琴,谢天柱,等. 测定果蔬中维生素C含量的方法比较[J]. 落叶果树, 2013, 45(2):8-11.
- [12] 李大婧,卓成龙. 不同干燥方法对黑毛豆仁挥发性气味成分和结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(5):1104-1110.
- [13] ELSHESHETAWY H E, FAID S M. Effect of pretreatments and air temperatures on drying characteristics and color changes of Ziziphus fruits.[J]. World Journal of Dairy & Food Sciences, 2015, 10(1):15-26.
- [14] SADIN R, CHEGINI G R, SADIN H. The effect of temperature and slice thickness on drying kinetics tomato in the infrared dryer [J]. Heat & Mass Transfer, 2014, 50(4):501-507.
- [15] 韦玉龙,于宁,许铭强. 热风干制温度对枣果微观组织结构的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 34(7):244-251.
- [16] 罗伟,余以刚,胡双芳. 不同干燥方式加工的梅干菜气味物质研究[J]. 广东农业科学, 2016, 43(8):131-137.
- [17] 裴斐. 双孢蘑菇冷冻干燥联合微波真空干燥传质动力学及干燥过程中气味成分变化研究[D]. 南京:南京农业大学, 2014.
- [18] IBRAHIM DOYMAZ. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices[J]. Heat & Mass Transfer, 2016, 53(1):1-11.
- [19] AZIZI D, JAFARI S M, MIRZAEI H. The influence of refractance window drying on qualitative properties of kiwifruit slices[J]. International Journal of Food Engineering, 2016, 13(2):1-14.
- [20] MITRA J, SHRIVASTAVA S L, RAO P S. Process optimisation of vacuum drying of onion slices[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2011, 29(6):586-594.
- [21] HANIF M, KHATTAK M K, ALI S A, et al. Impact of drying temperature and slice thickness on retention of vitamin C in persimmons (*Diospyros kaki* L.) dried by a flat plate solar collector [J]. Pakistan Journal of Food Sciences, 2015, 25:66-70.

(责任编辑:张震林)