

真空—蒸汽脉动烫漂预处理对百合干燥特性的影响

The effect of vacuum steam pulsed blanching pretreatment on drying characteristics of *Lilium brownii*

巨浩羽¹ 杨劲松² 赵海燕³

JU Hao-yu¹ YANG Jing-song² ZHAO Hai-yan³

王 辉² 高振江² 肖红伟²

WANG Hui² GAO Zhen-jiang² XIAO Hong-wei²

(1. 河北经贸大学生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050061;

2. 中国农业大学工学院, 北京 100086; 3. 河北经贸大学工商管理学院, 河北 石家庄 050061)

(1. College of Biology Science and Engineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100086, China; 3. College of Business Administration, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China)

摘要:将真空—蒸汽脉动烫漂预处理技术应用于百合的烫漂预处理,研究蒸汽烫漂时间、烫漂循环次数和真空度对百合烫漂后干燥特性、水分有效扩散系数、色泽和复水比的影响。结果表明:蒸汽烫漂时间、烫漂循环次数和真空度均对烫漂后百合的干燥特性有显著性影响,当蒸汽烫漂时间 30 s,烫漂循环 3 次,真空度 90 kPa 时,百合烫漂充分,提高了细胞间的通透性并抑制 PPO、POD 酶的活性,烫漂后在 60 ℃ 热风下干燥,最短为 11.7 h;干燥后的百合片色泽 L^* 值为 83.65、 ΔE 值为 5.18,接近于新鲜百合色泽;复水比最高为 1.49 g/g,水分有效扩散系数最大为 $6.85 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$;综合评分最高为 0.98。

关键词:真空—蒸汽脉动;烫漂预处理;百合;干燥特性;色泽;复水比

Abstract: The effect of vacuum steam pulsed blanching pretreatment on drying characteristic of *Lilium brownii* was explored. The effects of different steam blanching time, cycle times, and vacuum degree on drying characteristics, moisture diffusion coefficients, color value and rehydration value of *Lilium brownii*

were investigated. All the steam blanching time, cycle times and vacuum degree had significant influence on drying time. When steam blanching time, cycle times and vacuum degree were 30 s, 3 times and 90 kPa, respectively, the minimum drying time was achieved as to be 11.7 h under hot air drying of 60 ℃. Besides, under such blanching condition, the *Lilium brownii* was blanched sufficiently. The intercellular permeability was improved and the activity of PPO and POD enzyme were restrained. The L^* and ΔE value of dried product was 83.65 and 5.18, respectively, which were close to the fresh *Lilium brownie* color value. Additionally, both the rehydration ratio and moisture diffusion coefficient were achieved its maximum value as to be 1.49 g/g and $6.85 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Besides, the comprehensive score achieved its maximum value as to be 0.98.

Keywords: vacuum-steam pulsed; blanching pretreatment; *Lilium brownii*; drying characteristic; color value; rehydration ratio

百合(*Lilium brownii* var. *viridulum* Baker)为百合科百合属植物的干燥肉质鳞叶,为药食两用植物。百合中含有丰富的氨基酸、生物碱、磷脂、皂苷和多糖等营养物质,具有抗肿瘤、降血糖、抗疲劳和调节免疫系统、治疗痢疾、疮疖、耳鸣耳聋、头晕目眩等功能,有很高的食用和药用价值^[1-2]。新鲜百合含水率高达 71%,不宜长期贮藏,除少部分鲜食外,大部分则须在短期内通过干燥的方法加工成百合干,作为制药或食品的重要原料,因此干燥

基金项目:河北省重点研发计划项目(编号:18227118D);河北经贸大学科研基金国家课题培育项目(编号:0231000293)

作者简介:巨浩羽,男,河北经贸大学讲师,博士。

通信作者:肖红伟(1982—),男,中国农业大学副教授,博士生导师,博士。E-mail: xhwcaugxy@163.com

收稿日期:2019-08-20

是百合加工的重要环节之一^{〔8〕}。

新鲜百合加工前一般需进行烫漂处理来防止酶促褐变。目前,热水烫漂和蒸汽烫漂是百合烫漂加工的两种重要方式^{〔4-6〕}。热水烫漂会使百合中的部分营养物质由于渗出和扩散而流失到水中,导致糖分、蛋白质、碳水化合物和矿物质等营养物质严重损失^{〔7-8〕};蒸汽烫漂存在烫漂不均匀、装载量小等问题。真空—蒸汽脉动烫漂技术是一种新型的烫漂灭酶技术。真空—蒸汽脉动烫漂在真空阶段排出了烫漂室内的冷空气,减小了传热热阻,因此可提高单次烫漂物料的加工量及均匀性,减少水溶性营养成分的流失^{〔9〕}。真空—蒸汽脉动技术广泛应用于医疗器械的灭菌,具有灭菌彻底、灭菌周期短、质量稳定、操作简便等优点,而应用于农产品烫漂预处理加工的较少^{〔10〕}。

试验拟将真空—蒸汽脉动烫漂技术应用于百合的烫漂预处理中,探究不同真空度、蒸汽烫漂时间和烫漂循环次数对百合烫漂效果的影响,研究烫漂后百合的干燥特性、水分有效扩散系数、色泽、复水性。为优化百合烫漂预处理工艺,提高百合干燥效率和干燥品质提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

百合:新鲜湿基含水率为 $(71\pm1)\%$,试验前将其储藏于 $(5\pm1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中,北京园霖昌顺农业种植合作社。

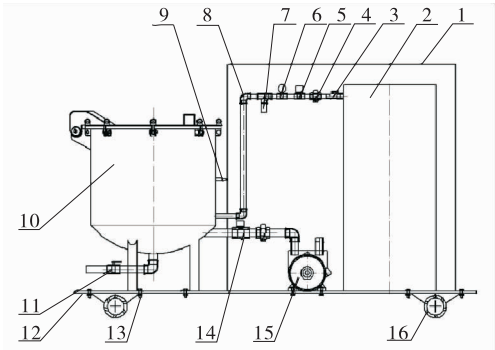
1.1.2 仪器与设备

电子天平:YP型,上海精密科学仪器有限公司;
热风干燥机:DHG-9140A型,上海一恒科技有限公司;
色差计:SMY-2000SF型,北京盛名扬科技开发有限公司;

真空—蒸汽脉动烫漂机(如图1所示):中国农业大学工学院农产品加工技术与装备实验室自制。主要由真空系统(水环式真空泵、真空管路、真空电磁阀等)、蒸汽发生系统(蒸汽发生器、蒸汽运输管路、蒸汽电磁阀等)、烫漂罐体和控制系统组成。其工作原理为:开启真空泵和真空电磁阀,抽出烫漂罐体内的冷空气,当罐体内压力达到一定真空度后,保持一段时间;开启蒸汽电磁阀,使具有一定压力的蒸汽通入到烫漂罐体内,当罐体压力达到一定值时,保持蒸汽烫漂一段时间;再次开启真空电磁阀抽出烫漂罐体内的气体,并不断循环一定次数,从而实现真空—蒸汽脉动烫漂过程。

1.2 方法

1.2.1 预处理 选取同一品种、色泽亮白、新鲜、无腐烂和病虫害、大小一致的百合;将百合须根、侧根削去并从



1. 防护外罩 2. 蒸汽发生器 3. 手动球阀 4. 螺纹连接管接头 5. 蒸汽电磁阀 6. 流量计 7. 压力传感器 8. 弯头 9. 温度传感器 10. 烫漂罐体 11. 手动球阀2 12. 机架 13. 螺栓 14. 真空电磁阀 15. 真空泵 16. 万向轮

图1 真空—蒸汽脉动烫漂机

Figure 1 Vacuum steam pulsed blanching equipment

外向内剥下鳞片;清洗百合鳞片表面的泥沙、残渣等杂质。

1.2.2 烫漂试验 每次取约250 g百合鳞片置于真空—蒸汽脉动烫漂机,设定真空度、蒸汽时间和循环次数进行真空—蒸汽脉动烫漂试验,分别研究蒸汽烫漂时间、烫漂循环次数和真空度对百合干燥特性的影响,试验参数设置见表1。

表1 试验参数设置表

Table 1 Design for experiments with run conditions included

试验号	蒸汽烫漂时间/s	烫漂循环次数	真空度/kPa
1	20	3	90
2	30	3	90
3	40	3	90
4	50	3	90
5	40	2	90
6	40	4	90
7	40	5	90
8	30	3	85
9	30	3	80

1.2.3 干燥试验 烫漂后的百合片均在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、风速 3.0 m/s 的热风干燥机中干燥,每隔 0.5 h 测定样品的质量变化,直至湿基含水率达到 13% 。干燥结束后,放入保鲜袋,置于干燥皿中贮存。

1.3 指标测定

1.3.1 水分比 分别按式(1)、(2)计算不同干燥时间百合鳞片的水分比^{〔11-13〕}和干基含水率。

$$MR = \frac{M_t}{M_0}, \tag{1}$$

$$M_t = \frac{W_t - G}{G}, \quad (2)$$

式中:

MR ——水分比;

M_t ——在任意干燥 t 时刻的干基含水率, g/g;

M_0 ——初始干基含水率, g/g;

W_t ——任意干燥 t 时刻百合鳞片的总质量, g;

G ——干物质质量, g。

1.3.2 水分有效扩散系数 可由简化的费克第二定律表示^[14]。

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \approx \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{L^2} t\right), \quad (3)$$

式中:

D_{eff} ——水分有效扩散系数, m^2/s ;

L ——百合鳞片的厚度, m;

t ——干燥时间, s。

1.3.3 色泽 采用色差计测定, 按式(4)计算色差值^[15]。

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}, \quad (4)$$

式中:

ΔE ——色差值;

L^* 、 a^* 、 b^* ——干燥后百合的色泽值;

L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* ——干燥前新鲜百合的色泽值。

1.3.4 复水性 将一定质量的样品放入 40 °C 恒温蒸馏水中, 30 min 后取出沥 20 min, 并用吸水纸拭干表面水分, 称重, 按式(5)计算复水比^[16-17]。

$$RR = \frac{m_2}{m_1}, \quad (5)$$

式中:

RR ——复水比, g/g;

m_2 ——复水后质量, g;

m_1 ——复水前质量, g。

1.3.5 综合评价方法 为使数据具有统一性, 需对评价指标进行归一化。分别按式(6)、(7)计算正向指标(复水比 RR , 明亮度 L^*)和负向指标(干燥时间 t , 色差 ΔE)归一值^[16]。

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (6)$$

$$y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (7)$$

式中:

y_i ——归一值;

x_i ——指标实际值;

$x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ ——指标最大值和最小值。

按式(8)进行加权得到烫漂条件的综合评分 Y 。

$$Y = y_1 l_1 + y_2 l_2 + y_3 l_3 + y_4 l_4, \quad (8)$$

式中:

y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 ——明亮度、复水比、色差值、干燥时间的归一值;

l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 ——各指标对应的权重, 在保证干燥品质明亮度, 复水比良好的条件下, 使得色差值和干燥时间减小, 采用层次分析方法^[16], 得出明亮度 L^* , 复水比 RR 、色差值 ΔE 和干燥时间 t 的权重分别为 0.30、0.20、0.25、0.25。

1.4 数据处理

采用 Excel 绘制干燥曲线及求解水分有效扩散系数; SPSS 18.0 分析干燥后产品色泽、复水及综合评分之间显著性差异。

2 结果与分析

2.1 蒸汽烫漂时间对百合干燥特性的影响

由图 2 可知, 蒸汽烫漂时间为 20, 30, 40, 50 s 时, 烫漂后百合热风干燥所用时间分别为 12.3, 11.7, 12.0, 13.3 h, 干燥时间随蒸汽烫漂时间的增加先减小后增大, 可能是过长时间的蒸汽烫漂会使百合内部糖分和可溶性物质向外扩散至物料表面, 干燥时这些糖分和可溶性物质滞留在百合表面, 堵塞水分迁移孔道, 阻碍水分向外扩散, 使干燥时间变长^[18]。蒸汽烫漂时间过短尚不能完全地改变百合鳞片表面致密层细胞的通透性, 不利于百合在干燥时的内部水分向外迁移。

2.2 烫漂循环次数对百合干燥特性的影响

由图 3 可知, 烫漂循环 2, 3, 4, 5 次时, 烫漂后百合热风干燥所用时间分别为 15, 12, 13, 14 h, 干燥时间随循环次数的增加先减小后增大。可能是循环次数过少不能完全改变百合鳞片表面致密层细胞的通透性, 不利于百合在干燥时的内部水分向外迁移; 而过多的循环次数导致总的蒸汽烫漂时间增长, 其内部可溶性物质向外扩散至物料表面, 堵塞了水分迁移孔道; 此外循环次数增多后,

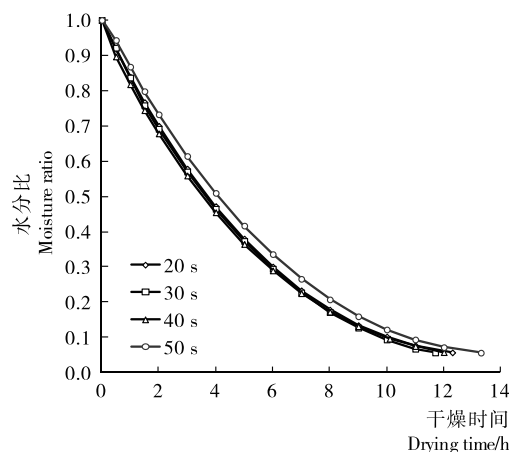


图 2 不同蒸汽烫漂时间下的干燥曲线

Figure 2 Drying curves at different steam blanching time

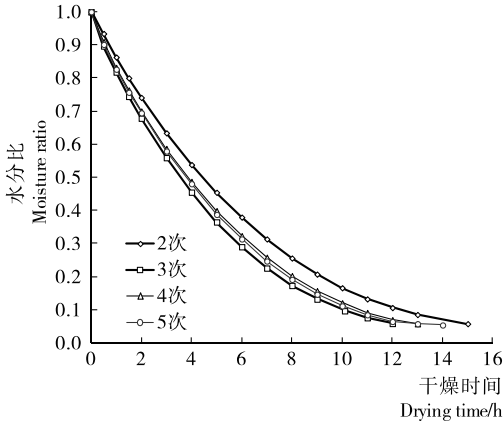


图3 不同循环次数下的干燥特性曲线

Figure 3 Drying curves at different cycle times

由于烫漂后的百合表面具有较高的温度,促使表面脱水而发生结壳现象,使干燥时间变长^[19]。

2.3 烫漂真空度对百合干燥特性影响

由图4可知,真空度为90,85,80 kPa时,烫漂后百合热风干燥所用时间分别为11.7,12.3,16.0 h。真空度越高,烫漂罐体内冷空气排除越充分,通入的高温蒸汽直接与百合鳞片接触,对百合充分烫漂,烫漂后的百合对应的干燥时间越短;真空度越低,内部冷空气或者温度较低的蒸汽排除不充分,通入的高温蒸汽遇到罐体内残留的冷空气后发生冷凝放热,导致通入的蒸汽对物料的传热效率降低,烫漂不充分,干燥时间变长。

由方差分析结果可知,蒸汽烫漂时间、循环次数和真空度均对百合的干燥时间具有显著影响($P<0.05$),且真空度>蒸汽烫漂时间>循环次数。

2.4 水分有效扩散系数 D_{eff}

由表2可知,不同干燥条件下,水分有效扩散系数 D_{eff} 在 $5.37 \times 10^{-10} \sim 6.86 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 。百合经真空度90 kPa,蒸汽烫漂时间30 s和烫漂循环3次的条件处理

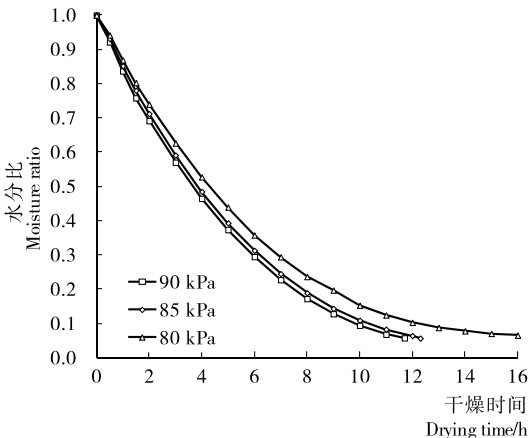


图4 不同真空度下的干燥特性曲线

Figure 4 Drying curves at different vacuum degree

表2 不同试验条件下的水分有效扩散系数 D_{eff}

Table 2 Moisture diffusion coefficient at different drying conditions

试验号	线性回归方程	R^2	$D_{eff} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
1	$\ln MR = -6.50 \times 10^{-5} t + 0.105$	0.994	6.59×10^{-10}
2	$\ln MR = -6.77 \times 10^{-5} t + 0.131$	0.989	6.86×10^{-10}
3	$\ln MR = -6.45 \times 10^{-5} t + 0.072$	0.996	6.63×10^{-10}
4	$\ln MR = -6.13 \times 10^{-5} t + 0.128$	0.994	6.21×10^{-10}
5	$\ln MR = -5.30 \times 10^{-5} t + 0.093$	0.995	5.37×10^{-10}
6	$\ln MR = -6.13 \times 10^{-5} t + 0.093$	0.994	6.21×10^{-10}
7	$\ln MR = -6.26 \times 10^{-5} t + 0.089$	0.994	6.34×10^{-10}
8	$\ln MR = -6.47 \times 10^{-5} t + 0.127$	0.993	6.56×10^{-10}
9	$\ln MR = -5.51 \times 10^{-5} t + 0.044$	0.995	5.58×10^{-10}

后,水分有效扩散系数 D_{eff} 最大,为 $6.86 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 。由于烫漂对百合微观组织结构产生了影响,在干燥过程中影响水分传递,且烫漂程度越大,百合微观组织结构被破坏的可能性越大,从而在干燥过程中水分扩散系数越高,干燥速率越快,与 Ramirez 等^[20]研究结论一致。烫漂真空度对百合水分有效扩散系数 D_{eff} 具有显著影响,且真空度越高,干燥过程中内部水分有效扩散系数 D_{eff} 越大。

2.5 干燥后百合片的色泽及复水性

百合鳞片的主导颜色是白色, L^* 越大, ΔE 值越小,则表明百合鳞片烫漂护色效果好。由表3可知,与新鲜百合色泽相比,经不同时间蒸汽烫漂的百合鳞片 L^* 值均有不同程度地减小,且随蒸汽烫漂时间的增大先增大后减小;蒸汽烫漂30,40 s时百合的 L^* 值无显著性差异,蒸汽烫漂20 s时百合的 L^* 值最低,可能是因为烫漂时间短,尚不能使PPO、POD酶完全灭活,在干燥过程中发生酶促褐变^[21-22];蒸汽烫漂50 s的可能是因为干燥时间的延长使得 L^* 值减少。复水性随蒸汽烫漂时间的增大先增大后减小;蒸汽烫漂20 s时,由于烫漂不充分,百合细胞结构仍很致密,通透性较差;蒸汽烫漂50 s时,可能由于百合中的糖分等物质流出,阻碍水分子扩散通道而使复水性较差;蒸汽烫漂30 s时,烫漂程度适宜,干燥后百合的 L^* 值较高,为83.65, ΔE 值为5.18接近于新鲜百合色泽,此条件下百合复水比最高为1.49 g/g。 L^* 值、复水比均随烫漂循环次数的增大先增大后减小,当循环次数为3次时, L^* 值最大为83.65,复水比为1.49 g/g; L^* 值、复水比均随真空度的减少而减少,真空度越高,内部冷空气或温度低的蒸汽排除越充分,烫漂越充分,从而具有较高的明亮度和复水比。

当蒸汽烫漂时间30 s,烫漂循环3次,真空度90 kPa时,明亮度、 ΔE 值、复水性及干燥时间的综合评分最高,

表 3 不同试验条件下的色泽和复水性[†]

Table 3 Color value and rehydration ratio at different drying conditions

试验号	明亮度 L^*	红绿值 a^*	蓝黄值 b^*	色差 ΔE	复水比 $RR/(g/g)$	综合评分
1	71.22±0.02 ^f	0.67±0.04 ^b	22.45±0.05 ^a	18.07±0.02 ^a	1.28±0.02 ^e	0.23±0.02 ^f
2	83.65±0.01 ^a	-0.33±0.04 ^e	15.45±0.01 ^c	5.18±0.01 ^d	1.49±0.01 ^a	0.98±0.01 ^a
3	83.80±0.05 ^a	-0.39±0.09 ^d	15.63±0.03 ^c	5.07±0.10 ^d	1.45±0.01 ^{bc}	0.93±0.01 ^{ab}
4	81.71±0.03 ^d	0.25±0.01 ^{cd}	16.70±0.06 ^b	7.24±0.05 ^b	1.45±0.02 ^{bc}	0.78±0.01 ^c
5	72.28±0.02 ^e	1.08±0.03 ^a	22.98±0.09 ^a	18.34±0.04 ^a	1.32±0.09 ^d	0.16±0.07 ^g
6	81.78±0.05 ^d	-0.29±0.05 ^e	16.70±0.50 ^b	7.23±0.02 ^b	1.42±0.03 ^c	0.15±0.07 ^{cd}
7	81.65±0.02 ^d	-0.29±0.03 ^e	16.70±0.10 ^b	7.23±0.09 ^b	1.42±0.02 ^c	0.77±0.01 ^d
8	82.06±0.10 ^c	0.48±0.04 ^{bc}	15.77±0.06 ^c	6.69±0.12 ^c	1.46±0.02 ^b	0.87±0.01 ^b
9	82.40±0.05 ^b	0.40±0.10 ^{bc}	15.70±0.07 ^c	6.35±0.05 ^c	1.28±0.03 ^e	0.46±0.01 ^e

[†] 新鲜百合色泽 L^* 、 a^* 、 b^* 值分别为 88.67, 0.72, 14.75; 字母不同表示不同干燥条件下差异显著 ($P < 0.05$)。

为 0.98, 此时 L^* 值为 83.65、 ΔE 值为 5.18、复水比为 1.49 g/g。因此, 真空—蒸汽脉动烫漂可提高百合物料细胞间的通透性, 提高干燥后复水比, 并使 PPO、POD 酶灭活, 提高干燥后的色泽。

3 结论

研究了真空—蒸汽脉动烫漂预处理的不同蒸汽烫漂时间、烫漂循环次数、真空度对百合干燥特性的影响规律。结果表明, 百合的干燥时间随蒸汽烫漂时间、烫漂循环次数的增加先减小后增大; 真空度越低, 内部冷空气或温度较低的蒸汽排除越充分, 可提高蒸汽对物料的传热效率, 缩短干燥时间。当蒸汽烫漂时间 30 s, 烫漂循环 3 次, 真空度 90 kPa 时, 烫漂预处理后百合的干燥时间最短 (11.7 h), 水分有效扩散系数最大 ($6.85 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$), L^* 值为 83.65, ΔE 值为 5.18, 复水比为 1.49 g/g, 综合评分 0.98。真空—蒸汽脉动烫漂过程可提高百合物料细胞间的通透性, 并使 PPO、POD 酶灭活, 提高百合的干燥速率和品质, 而关于真空—蒸汽脉动烫漂过程中, 蒸汽温度及保持时间与物料微观孔隙结构的变化规律值得进一步研究, 从而更直观地优化真空—蒸汽烫漂工艺; 此外物料微观孔隙结构演化规律和干燥过程中内部水分迁移扩散之间的相关关系, 也需进一步揭示以提高干燥效率。

参考文献

- [1] 黄敬, 朱文学, 刘云宏, 等. 基于 Weibull 分布函数的百合真空远红外干燥过程模拟及应用[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 71-76, 82.
- [2] 曾军英, 李胜华, 伍贤进, 等. 野百合碱诱导胰腺癌细胞 Bx-PC-3 呈巨型多倍体化研究[J]. 中草药, 2014, 45(14): 2 042-2 046.
- [3] 王博, 魏孔斌, 王雅, 等. 百合片真空低温干燥和热风干燥的品质比较[J]. 农产品加工, 2018(5): 42-44.
- [4] 张芳, 黄玉龙, 康三江, 等. 兰州百合冷冻—压差膨化干燥工艺优化[J/OL]. 食品工业科技. (2019-05-23) [2019-07-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190523.0842.004.html>.
- [5] 王存堂, 张译心, 李梦. 百合热风干制动力学研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 80-84, 90.
- [6] 黎欢, 李彦丽, 王蓉蓉, 等. 热烫方式对百合褐变内源酶及微观结构的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 164-174.
- [7] XIAO Hong-wei, BAI Jun-wen, SUN Da-wen, et al. The application of superheated steam impingement blanching (SSIB) in agricultural products processing: A review [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 132(1): 39-47.
- [8] GEERKENS C H, NAGEL A, JUST K M, et al. Mango pectin quality as influenced by cultivar, ripeness, peel particle size, blanching, drying, and irradiation [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 241-251.
- [9] 巨浩羽, 肖红伟, 方小明, 等. 果蔬真空—蒸汽脉动漂烫机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 230-238.
- [10] 冯俊佳. 脉动预真空压力蒸汽灭菌器的工作原理及常见故障[J]. 医疗装备, 2017, 30(17): 72-73.
- [11] 盘喻颜, 段振华, 刘艳, 等. 火龙果片微波间歇干燥特性及其动力学研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 195-201.
- [12] 巨浩羽, 赵士豪, 赵海燕, 等. 基于 Weibull 分布函数的枸杞真空脉动干燥过程模拟及动力学研究[J]. 中草药, 2018, 49(22): 5 313-5 319.
- [13] 张乐, 赵守涣, 王赵改, 等. 板栗微波真空干燥特性及干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 206-210.
- [14] JU Hao-yu, ZHAO Shi-hao, ZHAO Hai-yan. Energy efficient improvements in hot air drying by controlling relative humidity based on Weibull and Bi-Di models[J]. Food and Bioproducts Processing, 2018, 111: 20-29.
- [15] JU Hao-yu, ZHAO Shi-hao, MUJUMDAR A S, et al. Step-down relative humidity convective air drying strategy to enhance drying kinetics, efficiency, and quality of American ginseng root (*Panax quinquefolium*) [J]. Drying Technology, 2019, DOI: 10.1080/07373937.2019.1597373.

(下转第 216 页)

- Meat Science, 2019, 149: 55-62.
- [36] ALAMPRESE C, AMIGO J M, CASIRAGHI E, et al. Identification and quantification of turkey meat adulteration in fresh, frozen-thawed and cooked minced beef by FT-NIR spectroscopy and chemometrics[J]. Meat Science, 2016, 121: 175-181.
- [37] AL-JOWDER O, DEFERNEZ M, KEMSLEY E K, et al. Mid-infrared spectroscopy and chemometrics for the authentication of meat products[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(8): 3 210-3 218.
- [38] SCHMUTZLER M, BEGANOVIĆ A, BÖHLER G, et al. Methods for detection of pork adulteration in veal product based on FT-NIR spectroscopy for laboratory, industrial and on-site analysis[J]. Food Control, 2015, 57: 258-267.
- [39] VELIOGLU H M, SEZER B, BILGE G, et al. Identification of offal adulteration in beef by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)[J]. Meat Science, 2018, 138: 28-33.
- [40] BILGE G, VELIOGLU H M, SEZER B, et al. Identification of meat species by using laser-induced breakdown spectroscopy[J]. Meat Science, 2016, 119: 118-122.
- [41] DINCER B, SPEAROW J L, CASSENS R G, et al. The effects of curing and cooking on the detection of species origin of meat products by competitive and indirect ELISA techniques[J]. Meat Science, 1987, 20(4): 253-265.
- [42] MANDLI J, EL FATIMI I, SEDDAOUI N, et al. Enzyme immunoassay (ELISA/immunosensor) for a sensitive detection of pork adulteration in meat[J]. Food Chemistry, 2018, 255: 380-389.
- [43] KUSWANDI B, ABDUL GANI A, AHMAD M. Immuno strip test for detection of pork adulteration in cooked meat-balls[J]. Food Bioscience, 2017, 19: 1-6.
- [44] JONES S J, PATTERSON R L S. Double-antibody ELISA for detection of trace amounts of pig meat in raw meat mixtures[J]. Meat Science, 1985, 15(1): 1-13.
- [45] MARTIN R, AZCONA J I, GARCIA T, et al. Sandwich ELISA for detection of horse meat in raw meat mixtures using antisera to muscle soluble proteins[J]. Meat Science, 1988, 22(2): 143-153.
- [46] JIA Na, WANG Shi-xia, LIU Yun-xi, et al. Increased sensitivity for detecting avian influenza-specific antibodies by a modified hemagglutination inhibition assay using horse erythrocytes[J]. Journal of Virological Methods, 2008, 153(1): 43-48.
- [47] NADIA F, GUILLERMO S, MARIELA S, et al. Production of equine herpesvirus 1 recombinant glycoprotein D and development of an agar gel immunodiffusion test for serological diagnosis[J]. Journal of Virological Methods, 2014, 202: 15-18.
- [48] YUAN S, CYLC D, HSIEH Y K, et al. Determination of an endothelin receptor antagonist in rat plasma by radioimmunoassay[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2004, 34(2): 391-397.
- [49] JUAN F. HEMANDEZ C, AARÓN F, et al. Development of a polymerase chain reaction and capillary gel electrophoresis method for the detection of chicken or turkey meat in heat-treated pork meat mixtures[J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 708(1/2): 149-154.
- [50] BELINDA V C, ROBERTO R R, AARÓN F, et al. Capillary electrophoresis for bovine and ostrich meat characterisation[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 304-307.
- [51] 任冬霞, 霍雨佳, 周琛, 等. 肉类掺伪的毛细管电泳检测法[J]. 现代预防医学, 2017(22): 149-154.
- [52] LOPEZ-CANOVAS L, BENITEZ M B M, ISIDRON J A H, et al. Pulsed field gel electrophoresis: Past, present, and future[J]. Analytical Biochemistry, 2019, 573: 17-29.
- [53] NAVEENA B M, JAGADEESH D S, JAGADEESH B A, et al. OFFGEL electrophoresis and tandem mass spectrometry approach compared with DNA-based PCR method for authentication of meat species from raw and cooked ground meat mixtures containing cattle meat, water buffalo meat and sheep meat[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 311-320.

(上接第 210 页)

- [16] 巨浩羽, 肖红伟, 郑霞, 等. 干燥介质相对湿度对胡萝卜片热风干燥特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 296-304.
- [17] 王海鸥, 扶庆权, 陈守江, 等. 预处理方式对真空冷冻干燥苹果片品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 132-136.
- [18] 马琴, 谢龙, 高振江, 等. 气体射流冲击烫漂预处理对枸杞干燥的影响[J]. 食品科技, 2013, 38(10): 83-88.
- [19] JU Hao-yu, EL-MASHAD H M, FANG Xiao-ming, et al. Drying characteristics and modeling of yam slices under different relative humidity conditions[J]. Drying Technology, 2016, 34(3): 296-306.
- [20] RAMIREZ C, TRONCOSO E, MUOZ J, et al. Microstructure analysis on pre-treated apple slices and its effect on water release during air drying[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(3): 253-261.
- [21] DENG Li-zhen, MUJUMDAR A S, YANG Xu-hai, et al. High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification[J]. Food Chemistry, 2018, 261: 292-300.
- [22] WANG Jun, YANG Xu-hai, MUJUMDAR A S, et al. Effects of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment on the change of antioxidant capacity, the degradation kinetics of red pigment, ascorbic acid in dehydrated red peppers during storage[J]. Food Chemistry, 2018, 259: 65-72.