

魔芋葡甘聚糖保润剂对烟丝吸湿特性的影响

Effect of konjac glucomannan on the hygroscopic characteristics of cut tobacco

梁 森¹ 张 果² 刘翠美¹ 李 斌³ 张 柯³ 吕 斌⁴

LIANG Miao¹ ZHANG Guo² LIU Cui-mei¹ LI Bin³ ZHANG Ke³ LV Bin⁴

(1. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州轻工业大学材料与化学

工程学院, 河南 郑州 450001; 3. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001;

4. 河南省口岸食品检验检测所, 河南 郑州 450003)

(1. School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Department of Material and Chemical Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou, Henan 450001, China; 4. Food Inspection and Testing Institute of Henan Province, Zhengzhou, Henan 450003, China)

摘要:利用烟草等温吸脱附性能检测装置考察施加了魔芋葡甘聚糖(KGM)保润剂的烟丝样品的吸湿特性,结果表明:KGM有助于增强烟丝的持水能力,减缓水分散失过程,KGM不同程度地降低了各部位烟丝的干燥速率常数;烟丝样品的等温吸湿—解湿曲线呈III型吸附曲线,且KGM的施加会加剧吸湿滞后现象,吸湿滞后行为随温度升高有减弱趋势,中上部烟丝的吸湿滞后现象强于下部烟丝,DLP经验模型可较好地描述烟丝样品的等温吸湿—解湿行为。

关键词:保润剂;烟草;吸湿特性;魔芋葡甘聚糖

Abstract: The effect of konjac glucomannan (KGM) addition on the hygroscopic characteristics of cut tobacco was investigated by using isothermal adsorption/desorption ability testing device. The results showed that the introduction of KGM humectant enhanced the moisture holding capacity of cut tobacco and slowed down the water loss process. The drying rate constants (k) calculated using Henderson & Pabis model were reduced to varying degrees for cut tobacco from different parts of a tobacco plant. In addition, the isothermal sorption and desorption curves exhibited the form of adsorption curve type III. The addition of KGM can effectively increase hygroscopic hysteresis of cut tobacco. Moreover, the hy-

groscopic hysteresis behavior decreased with increasing temperature and this phenomenon of middle and upper tobacco was more significant than that of lower tobacco. DLP empirical model could describe the isothermal absorption and desorption behavior of cut tobacco with relatively high coefficient R^2 .

Keywords: humectant; tobacco; hygroscopic characteristics; konjac glucomannan

作为一种胶体毛细管多孔薄层物料,烟草具有较强的吸湿和解湿特性,而烟草原料的含水率又是影响加工过程中耗损及烟草制品内在质量的重要因素^[1]。为提高原料的耐加工性能及吸食品质,卷烟生产过程中常通过施加保润剂(如甘油、丙二醇、多糖及糖衍生物等)来改善烟草制品的保润性能^[2-3],保润剂的施加能够影响烟草原料化学物质的聚集状态和表面微结构^[4],从而使原料样品吸收和脱除水分的能力发生改变,达到增强原料持水能力,减缓原料中水分散失的目的。殷春燕等^[5]从原料水分散失动力学的角度比较了甘油和乳酸钾保润剂对烟丝内部水分有效扩散系数的影响;郭俊成等^[6]采用环境扫描电子显微镜技术和恒温恒湿箱方法,考察了丙三醇、丙二醇、木糖醇、山梨醇等多种保润剂对烟丝样品表面微结构及平衡含水率的影响。

近年来,利用中国丰富的植物资源开展植物多糖提取及烟草保润应用研究,已成为行业科研工作者关注的热点^[7]。本课题组^[8]前期考察了金钱草多糖对片烟原料干燥过程的影响规律,提供了从动力学参数的角度理解保润剂对片烟原料保润效果的方法。此外,魔芋葡甘聚

基金项目:河南省重大科技专项(编号:182102110113);郑州轻工业学院众创空间项目(编号 2018ZCKJ325);博士科研基金项目(编号:2014BSJJ067)

作者简介:梁森,男,郑州轻工业学院讲师,博士。

通信作者:吕斌(1971—),男,河南省口岸食品检验检测所副主任技师,硕士。E-mail:lvbin2003@126.com

收稿日期:2019-03-13

糖(konjac glucomannan, KGM)是一种天然水溶性高分子,分子结构中富含羟基和羧基等亲水性基团,已被证实具有良好的烟草保润性能^[9]。本试验拟研究施加了KGM保润剂烟丝的吸湿特性,采用烟草等温吸脱附性能检测装置考察KGM对不同部位烟丝的水分散失动力学影响,比较部位和温度对施加KGM烟丝的等温吸湿—解湿行为的影响,以期理解添加剂对烟草样品吸湿特性影响提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同部位的复烤片烟:上桔三(B3F)、中桔二(C2F)、下桔三(X3F),许昌襄县2014年产,天昌国际烟草有限公司;

魔芋葡甘聚糖:纯度 $\geq 98\%$,合肥博美生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

恒温恒湿箱:KNF240型,德国Binder公司;

精密电子天平:AL294型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

鼓风干燥箱:DHG-9145A型,上海一恒科技有限公司;

烟草等温吸脱附性能检测装置:MAD800A型,郑州烟草研究院。

1.3 试验方法

1.3.1 烟丝样品准备 将各等级的复烤片烟回潮后切丝(切丝宽度为1.0 mm),置于温度 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(60 \pm 2)\%$ 的恒温恒湿箱中平衡48 h,取平衡后的烟丝6.0 g平铺,采用手持喷雾器向其均匀喷洒0.3 g魔芋葡甘聚糖溶液(质量浓度0.1%),喷洒过程中及时翻动烟丝,以施加相等质量纯水的烟丝样品为对照。将烟丝样品置于 45°C 烘箱中使保润剂得以充分吸收,密封备用。

1.3.2 烟丝失水动力学试验 设置等温吸脱附性能检测装置腔体温度 (40°C) 和湿度 $(RH=10\%)$,将烟丝放入样品盘(其中C2F烟丝分别设置温度25, 40, 55, 70°C),记录样品质量的间隔为5 s。样品与腔体环境达到平衡后调整 $RH=0\%$ 以干燥样品,得烟丝干基质量 m_d ,按式(1)计算烟丝在失水过程中干基含水率^[10]。

$$M = \frac{m_t - m_d}{m_d}, \quad (1)$$

式中:

M ——干基含水率, $\%$;

m_t —— t 时刻样品质量,g;

m_d ——样品干基质量,g。

将干基含水率数据换算为相对含水率(MR),表征烟丝样品的干燥状态,按式(2)计算相对含水率。

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}, \quad (2)$$

式中:

MR ——某一时刻原料中未被干燥去除的水分;

M_t —— t 时刻原料的干基含水率, $\%$;

M_e ——平衡干基含水率, $\%$;

M_0 ——初始干基含水率, $\%$ 。

通过相对含水率随失水时间的变化曲线,采用食品干燥动力学经验模型对相对含水率变化曲线进行拟合,计算干燥速率常数,考察魔芋葡甘聚糖保润剂对不同烟丝样品失水动力学影响,采用Henderson & Pabis经验模型,按式(3)计算 MR ^[11]。

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = a \exp(-kt), \quad (3)$$

式中:

k ——干燥速率常数, s^{-1} ;

t ——干燥时间,s。

a ——干燥模型待定系数;

1.3.3 施加保润剂烟丝的等温吸湿—解湿试验 称取6.0 g施加保润剂的烟丝样品置于等温吸脱附装置的样品盘上(重复4个样品,取平均值),分别设置环境温度25, 40, 55, 70°C ,设置增湿程序(RH 10%~80%,增幅10%)、解湿程序(RH 80%~10%,降幅10%),记录样品质量随环境温湿度变化数据,绘制样品含水率随相对湿度变化曲线。进一步结合文献[12—13],选用DLP经验模型对施加保润剂的烟丝等温吸湿行为进行非线性拟合,模型表达式为式(4)。

$$X_e = b_3 x^3 + b_2 x^2 + b_1 x + b_0, \quad (4)$$

式中:

X_e ——平衡含水率, $\%$;

$x = \ln[-\ln(A_w)]$;

$b_0 \sim b_3$ ——模型参数;

A_w ——水分活度。

1.4 数据处理

使用Excel 2010和Origin 8.0软件进行数据处理和图表绘制。

2 结果与分析

2.1 KGM对不同部位烟丝水分散失动力学的影响

KGM是由葡萄糖和甘露糖聚合而成的杂多糖,具有高分子的网络结构特征,有较强的吸湿持水能力,有望作为新型烟草保润剂^[9]。由图1可知,水分比 MR 随时间增加不断降低,且对不同部位的烟丝而言,施加KGM保润剂均能够减缓水分散失过程,增强原料的持水能力。一般多糖类保润剂作用于烟丝吸湿特性可通过两种途径:①渗透进组织结构内部,利用丰富的羟基等基团与水

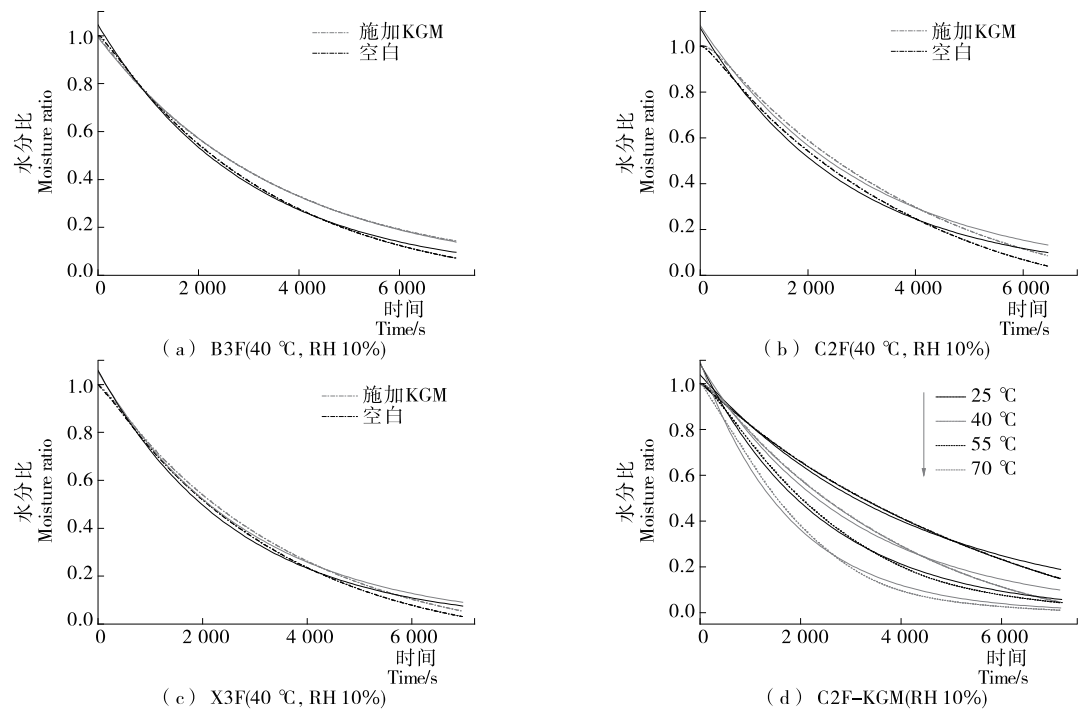


图 1 烟丝样品的 MR 随时间变化曲线
Figure 1 Variation curves for MR of cut tobacco samples

分子形成氢键持水；② 在烟草表面成膜以封阻水分的散失。研究中通过对施加 KGM 前后烟丝的扫描电镜分析，未见明显的膜状材料，且施加的 KGM 浓度较低，推测 KGM 主要是通过渗透作用进入烟丝组织内而起到保润作用。由图 1(d)可知，随着温度的升高，烟丝中水分散失的速度加快，由于提高温度一方面增加了烟草表面的水蒸气分压，从而增大了其与空气中水蒸气分压的差值，另一方面升高温度增加了烟丝与环境对流传递的热量，最终使得烟丝内部水分扩散加快，失水速率增加。

进一步采用 Lewis、Page、Henderson & Pabis 等干燥动力学经验和半经验模型对不同条件下的烟丝样品失水

曲线进行非线性拟合，以决定系数 R^2 检验模型的适用性，并确定可较好描述烟丝样品失水动力学的 Henderson & Pabis 模型。

由表 1 可知，较高的 R^2 值(均 >0.99)表明 Henderson & Pabis 模型能够较好地描述不同部位烟丝样品水分散失动力学行为。不同部位烟丝的干燥速率常数各异，在环境温湿度相同的条件下，干燥速率常数大小反映了样品自身的持水能力强弱^[14-15]。对于均未添加保润剂的样品，X3F 表现出最高的干燥速率常数($3.785\ 0\times10^{-4}$)，C2F 烟丝样品次之，B3F 烟丝最低，表明 X3F 持水能力最弱，而 B3F 烟丝样品持水能力较好，与不同部位烟丝的内

表 1 烟丝样品失水动力学的 Henderson & Pabis 模型拟合结果

Table 1 Fitting results for Henderson & Pabis drying kinetic model of cut tobacco

样品	温度/℃	干燥速率常数 k	待定系数 a	决定系数 R^2
B3F-KGM	40	$2.759\ 1\times10^{-4}$	0.994 4	0.999 9
B3F-水	40	$3.352\ 8\times10^{-4}$	1.046 3	0.997 9
C2F-KGM	40	$3.266\ 7\times10^{-4}$	1.090 3	0.992 5
C2F-水	40	$3.699\ 1\times10^{-4}$	1.080 1	0.990 1
C2F-KGM	25	$2.375\ 5\times10^{-4}$	1.037 5	0.995 1
C2F-KGM	55	$4.085\ 2\times10^{-4}$	1.088 3	0.995 5
C2F-KGM	75	$5.533\ 1\times10^{-4}$	1.094 8	0.993 8
X3F-KGM	40	$3.512\ 2\times10^{-4}$	1.053 6	0.995 6
X3F-水	40	$3.785\ 0\times10^{-4}$	1.058 9	0.993 7

部化学成分及组织结构差异有关,下部烟疏松的组织结构及较薄的形态有助于水分的散失,而上部烟较为致密的组织结构和较高的石油醚提取物、总糖等成分是其持水能力强的原因^[16]。添加 KGM 保润剂后,各部位烟丝样品的干燥速率常数均不同程度降低,对于 B3F、C2F、X3F 烟丝样品, k 值分别下降了 17.71%, 11.68%, 7.21%, 即等量的 KGM 对不同部位烟丝具有不同的保润能力,说明外加保润剂对烟丝持水能力的增强作用受烟丝样品与保润剂相互作用的影响。此外,温度是影响物料失水动力学行为的重要因素,对于施加了 KGM 保润剂的 C2F 烟丝,随着环境温度从 25 °C 升高至 70 °C,干燥速率常数增加了 1.33 倍。

2.2 施加 KGM 的 C2F 烟丝样品的等温吸湿—解湿行为

由图 2 可知,当相对湿度 < 20% 时,由于环境干燥,烟丝发生一定程度的失水现象,随相对湿度增加到 45% 时,烟丝样品质量缓慢增加,继续增加相对湿度时,烟丝质量明显增加。由图 3(a) 可知,烟丝吸湿等温曲线呈现下凹的上行曲线,为 III 型等温吸湿线,吸收的水分随相对湿度增加而递增,表明存在多层吸附现象^[17]。另外,烟丝样品解湿过程中随相对湿度不断降低,含水率逐渐下降,且解吸附曲线与吸湿曲线不重合,存在吸湿滞后现象,为植物或食品等多孔介质吸湿行为的普遍现象。由图 3(b) 可知,吸湿滞后程度与相对湿度有关,相对湿度在 45%~70% 时,吸湿滞后程度明显,相对湿度较低 (< 20%) 时吸湿滞后现象不明显,与顾中铸等^[18]报道烤烟烟叶的吸湿现象一致;且保润剂的添加整体上增强了吸湿滞后现象,根据“有效羟基说”,添加的保润剂含有可与水分子形成氢键的亲水性羟基,一方面增加了解湿阻力,另一方面,在吸湿过程中实际上降低了可吸附水分的有效羟基数目,从而使得吸湿滞后现象更加明显^[6]。

由图 4 可知,在相同的相对湿度情况下,样品的吸湿含水率和解湿含水率均随环境温度增加呈增加趋势,尤

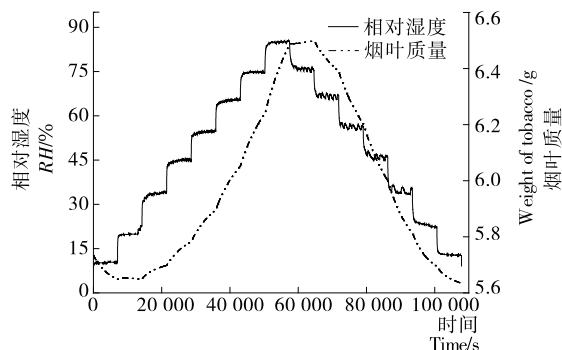


图 2 施加 KGM 的 C2F 烟丝样品质量和相对湿度随时间变化曲线

Figure 2 Variation curves for the RH and C2F tobacco mass

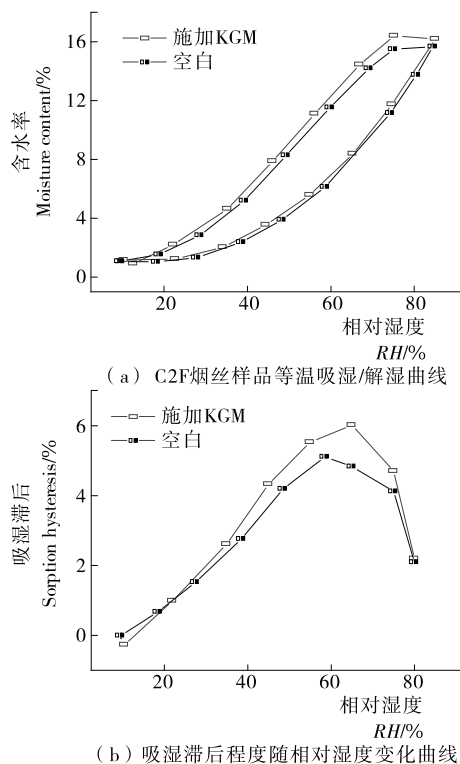


图 3 KGM 保润剂对 C2F 烟丝样品吸湿特性影响
Figure 3 Effect of KGM addition on the hygroscopic characteristics of C2F tobacco

其是吸湿含水率的增加趋势更为明显,说明温度对吸湿过程的影响更大;同时,各温度下的样品均表现出吸湿滞后现象,但吸湿滞后的程度随温度增加有减弱趋势,与木材等多孔植物材料吸湿解吸特性一致^[19-20]。试验结果表明,施加 KGM 的烟丝样品随温度升高,发生吸湿滞后现象的相对湿度区间不断减小,同时解湿和吸湿含水率的差值也有下降趋势,如 25 °C 时,在相对湿度为 40%~70% 时发生显著的吸湿滞后现象,最大含水率差值超过 5%,而温度升高至 70 °C 时,仅在相对湿度为 65%~75%

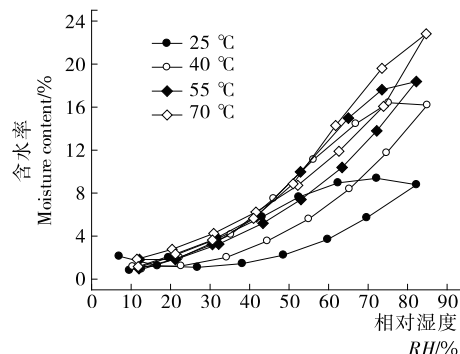


图 4 不同温度下施加 KGM 的 C2F 烟丝样品的等温吸湿/解湿曲线

Figure 4 Effect of temperature on the absorption and desorption behavior for the KGM added tobacco

时发生一定程度的吸湿滞后现象,最大含水率差值为 3% 左右。

进一步考察 KGM 对不同部位烟丝样品的水分吸湿—解湿影响,由图 5 可知,各部位烟丝均呈 III 型等温吸湿曲线,表明水分为多层吸附,且解湿过程也都出现了不同程度的滞后现象。下部烟丝吸湿能力最强,其次为中部和上部烟丝,烟丝吸湿量与其组织结构和内部化学成分有关,下部烟丝疏松的组织结构是其吸湿量和解湿量都较大的原因,中部烟丝稍疏松的组织结构和较高的糖等化学成分使其吸湿量也较大,上部烟丝较致密的结构及表面丰富的蜡质成分使其吸湿及解湿速度较慢。另外,不同部位烟丝样品吸湿滞后程度不一,B3F 和 C2F 吸湿滞后均比 X3F 明显。

进一步采用 DLP 模型对施加 KGM 的烟丝样品的吸湿—解湿行为进行非线性拟合,由表 2 可知,除对施加

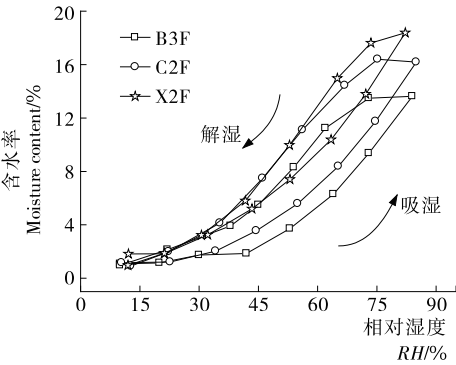


图 5 施加 KGM 的不同部位烟丝样品的等温吸湿/解湿行为曲线
Figure 5 The isothermal absorption and desorption curves for cut tobacco from different parts of a tobacco plant in the presence of KGM

表 2 烟丝样品等温吸湿—解湿的 DLP 经验模型拟合参数
Table 2 Fitting results for the isothermal absorption and desorption behavior by using DLP empirical model

样品	温度/℃	过程	b_3	b_2	b_1	b_0	R^2
C2F-水	40	吸湿	1.184	3.544	-5.311	2.488	0.998
		解湿	3.007	2.748	-9.242	4.828	0.998
	25	吸湿	0.607	2.438	-2.166	1.420	0.997
		解湿	1.531	0.276	-6.046	4.752	0.995
C2F-KGM	40	吸湿	1.048	3.390	-4.907	2.401	1.000
		解湿	3.014	3.583	-9.623	4.890	0.998
	55	吸湿	1.242	3.630	-6.267	3.905	1.000
		解湿	3.693	4.783	-10.408	4.751	0.998
	70	吸湿	0.509	2.542	-6.800	5.329	1.000
		解湿	3.013	5.360	-10.162	4.847	0.995
X3F-KGM	40	吸湿	1.243	3.631	-6.267	3.905	1.000
		解湿	3.693	4.783	-10.408	4.751	0.997
B3F-KGM	40	吸湿	0.649	3.004	-3.571	1.814	0.990
		解湿	2.770	3.372	-8.085	4.000	0.988

KGM 的上部烟丝拟合结果 R^2 在 0.99 左右外,其他样品拟合结果 $R^2 > 0.995$,表明 DLP 经验模型在描绘烟草样品等温吸湿—解湿行为具有良好的适用性。

3 结论

采用烟草等温吸附性能检测装置考察了 KGM 对烟丝样品吸湿—解湿行为的影响,结果表明,KGM 可减缓烟丝的水分散失过程,对于 B3F、C2F、X3F 烟丝样品,Henderson & Pabis 模型的干燥速率常数 k 分别下降了 17.71%,11.68%,7.21%;烟丝吸湿等温曲线呈 III 型等温

吸湿—解湿曲线,且 KGM 保润剂增强了烟丝的吸湿滞后现象,吸湿滞后行为随温度升高有减弱趋势,下部烟丝吸湿滞后现象弱于中上部烟丝;DLP 经验模型可较好地描述烟丝样品的等温吸湿—解湿行为。本研究仅以 KGM 为例,考察了其对特定产地烟丝的吸湿—解湿行为影响,后续探索常用保润剂对典型产区烟叶的吸湿—解湿影响规律可为卷烟制丝分组加工及精准加料提供指导。

参考文献

[1] 阎瑾. 环境湿度对卷烟烟气成分和风格品质的影响[J]. 食品

- 与机械, 2017, 33(11): 47-51.
- [2] 易锦满. 几种保润剂的性能比较[J]. 烟草科技, 2006(4): 9-12.
- [3] 陈芝飞, 孙志涛, 芦昶彤, 等. 两种果糖衍生物的合成、卷烟保润性能及毒理学试验[J]. 烟草科技, 2014(4): 43-49.
- [4] 郭俊成, 刘百战, 程晓蕾, 等. 保润剂对烟草叶表面微结构的影响[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(1): 67-71.
- [5] 殷春燕, 徐志强, 汪华, 等. 贮藏过程中不同保润剂对烟丝保润效果及水分散失动力学的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(1): 96-101.
- [6] 郭俊成, 吴达, 程晓蕾, 等. 保润剂对烟草吸湿特性的影响研究[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(4): 22-27.
- [7] 许春平, 杨琛琛, 高建奇, 等. 天然多糖的提取及其在卷烟中应用述评[J]. 轻工学报, 2012, 27(5): 34-37.
- [8] 梁森, 侯佩, 芦昶彤, 等. 金钱草多糖对片烟干燥动力学特性的影响[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2019, 34(1): 70-77.
- [9] 恒恒. 魔芋葡甘聚糖基吸水剂的保润性能研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 142-145.
- [10] 邓龙龙, 邓国庆, 李志刚, 等. 烟草等温吸脱附性能检测装置的设计与实现[J]. 烟草科技, 2016, 49(3): 99-104.
- [11] DOYMAZ I. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices[J]. Heat and Mass Transfer, 2017, 53(1): 25-35.
- [12] 迟广俊, 郭鹏, 洪广峰, 等. 烟草样品等温吸湿模型的比较与分析[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(2): 50-59.
- [13] OZTURK O K, TAKHAR P S. Water transport in starchy foods: Experimental and mathematical aspects[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 78: 11-24.
- [14] 种翠娟, 朱文学, 刘云宏, 等. 胡萝卜薄片干燥动力学模型研究[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 24-29.
- [15] 李叶贝, 任广跃, 屈展平, 等. 燕麦马铃薯复合面条热风干燥特性及其数学模型研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(1): 49-53, 208.
- [16] 张相辉, 李智宇, 宋振兴, 等. 石油醚提取物与烟丝保润性能的关系研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(18): 96-98.
- [17] 楼佳颖, 杨斌, 金永明, 等. 动态水分吸附分析系统在烟草中的应用[J]. 烟草科技, 2012(9): 68-70.
- [18] 顾中铸, 吴薇. 烤烟烟叶的等温吸湿和解湿特性[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2004, 4(4): 32-34.
- [19] 齐华春, 刘一星, 程万里. 高温过热蒸汽处理木材的吸湿解吸特性[J]. 林业科学, 2010, 46(11): 110-114.
- [20] 许燕, 何雁, 张爱玲, 等. 基于动态水分吸附法的花生粉吸湿特性研究[J]. 中草药, 2017, 48(16): 3353-3358.

(上接第 198 页)

- [10] ISHWARYA S P, ANANDHARAMAKRISHNAN C, STAPLEY A G F. Spray-freeze-drying: A novel process for the drying of foods and bioproducts[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 41(2): 161-181.
- [11] BRUTTINI R, LIAPIS A I. The drying rates of spray freeze drying systems increase through the use of stratified packed bed structures[J]. International Journal of Heat & Mass Transfer, 2015, 90: 515-522.
- [12] WANNING S, SÜVERKRÜP R, LAMPRECHT A. Pharmaceutical spray freeze drying[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2015, 488(1/2): 136-153.
- [13] PANG Yu-qi, DUAN Xu, REN Guang-yue, et al. Comparative study on different drying methods of fish oil microcapsules[J]. Journal of Food Quality, 2017, DOI: 10.1155/2017/1612708.
- [14] 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.
- [15] 易军鹏, 李冰, 张棋, 等. 蒸汽爆破处理对亚麻籽油脂脂肪酸组成的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 88-93.
- [16] 蔡云平, 常健, 金莉莉, 等. 林蛙卵油和深海鱼油中脂肪酸组份的研究[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(5): 580-581.
- [17] 张立坚, 杨会邦, 蔡春. 3 种淡水鱼油脂肪酸的含量分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(4): 115-117.

(上接第 203 页)

- [21] MUKHOPADHYAY S, MAJUMDAR G C, GOSWAMIT K, et al. Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of chhana podo[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 204-210.
- [22] 孙莹, 苗榕芯. 基于模糊数学综合感官评价的甘薯淀粉面包的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 180-185.
- [23] 陈琼玲, 赵永娟, 孙亚莉, 等. 模糊数学感官评价法优化花生桃酥加工工艺[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(9): 59-62.
- [24] 韩科研, 黄继超, 刘冬梅, 等. 鸭骨汤酶解液的美拉德反应条件优化[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 261-267.
- [25] 钱文文. 两类不同质地莲藕的特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [26] 徐莉, 王庆国. 莲藕采后生理生化特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(5): 166-169.
- [27] 王应强, 张慙, 赵红霞. 响应面法优化鱼藕脆片微波真空烘烤加工条件[J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 215-220.
- [28] 王辉, 陈中爱, 陈朝军, 等. 真空油炸马铃薯脆片预处理工艺优化[J]. 现代食品科技, 2018, 34(12): 187-195, 227.
- [29] 王百姓, 冯积社. 模糊综合评价在干红葡萄酒感官品评中的应用[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(8): 33-37.