

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.08.008

烟草孔隙结构与其物理保润性能的关联性分析

Correlation between physical moisture retention property in tobacco samples and its pore structure

郭华诚¹ 李强² 孙雪平¹ 侯鹏娟²

GUO Hua-cheng¹ LI Qiang² SUN Xue-ping¹ HOU Peng-juan²

(1. 河南中烟工业有限责任公司, 河南 郑州 450016;

2. 红河红河烟草[集团]有限责任公司红河卷烟厂, 云南 弥勒 652300)

(1. China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450016, China;

2. Honghe Cigarette Factory of HongyunHonghe Tobacco Group Co., Ltd., Mile, Yunnan 652300, China)

摘要:采用烟草动态含水率监测装置在温度(22±1)℃、相对湿度30%环境下测定(1次/min)烤烟、白肋烟、香料烟、再造烟叶与膨胀梗丝共计26个烟草样品在4000min以上时间内的失水速率,并由失水速率计算出其热力学Weibull模型中的 α 值和 β 值;压汞法测定烟草样品孔隙结构,并对样品Weibull模型中的 α 值和 β 值与其孔隙结构进行相关分析。结果表明:在相同的贮存温度、湿度下和相同的时间内再造烟叶与膨胀梗丝样品的失水速率最大,白肋烟和香料烟样品其次,烤烟样品最低;试验样品Weibull模型中 α 值和 β 值均与其微孔平均微孔直径呈显著负相关,烟草样品的保润性能均与其微孔的平均微孔直径显著负相关。

关键词:烟草;保润性能;含水率;压汞法;孔隙结构;Weibull模型

Abstract: In order to understand the relationship between the moisture content of tobacco and its microporous structure, and to provide a theoretical basis for the preservation of tobacco, the dehydration rate over 4 000 min of 26 Tobacco samples including flue-cured tobacco, burley tobacco, oriental tobacco, reconstituted tobacco leaf and expanded cut stems were measured (1 time/min) at a temperature of (22±1) °C and a relative humidity of 30% using a tobacco dynamic moisture content monitoring device. The α and β values in the thermodynamic Weibull model were calculated from the dehydration rate. Results: At the same storage temperature, humidity and the same time, the rate of water loss of the reconstituted tobacco leaves and the expanded cut stem samples was the highest, followed by the burley tobacco and the oriental tobacco samples, and the flue-cured tobacco sam-

ples were the lowest. The values of α and β in the Weibull model of samples were significantly negatively correlated with the average pore diameter of the microwells. The moisture retention properties of tobacco samples were significantly negatively correlated with the average pore diameter of their micropores.

Keywords: tobacco; moisture retentively; mercury porosimetry; pore structure; Weibull model; relativity

烟草原料的保润性能对其耐加工性乃至卷烟产品的吸味都有重要影响^[1-2]。为减少加工过程中烟草原料的造碎,改善卷烟产品的吸味,国内外学者对烟草原料和卷烟产品的保润性能进行了大量研究,并取得了较大的进展。Tso等^[3]研究发现,烟草中多孔体构成的胶质毛细管以及蛋白质、果胶、水溶性糖、有机盐类等亲水性化合物较多,其吸湿性也较强;康文功等^[4]研究发现,烟丝失水量与烷烃含量呈显著负相关,烷烃含量越高,烟丝水分散失越少,保润性能越好;楼佳颖等^[5]研究发现,膨胀烟丝和薄片经工艺处理后,对水分子的吸附量以及保持力都劣于叶丝;张相辉等^[6]研究发现,烟丝石油醚提取物含量与其吸湿、解湿平衡含水率均呈负相关;然而,有关烟草原料保润性能与其孔隙结构之间的关系研究甚少,试验旨在通过烟草原料的保润性能与其微观孔结构的关联性分析研究,为降低加工过程中烟草原料造碎提供相关理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

烤烟、香料烟、白肋烟、再造烟叶、膨胀梗丝共计26个试验样品;河南中烟工业有限责任公司;

烟草动态含水率监测装置:INFRA LAB710E型,英国NDC公司;

作者简介:郭华诚(1980—),男,河南中烟工业有限责任公司工程师,硕士。E-mail: 517389082@qq.com

收稿日期:2019-03-16

电热鼓风干燥箱:DHG-9145A型,上海一恒科技有限公司;

电子天平:EL204型,感量0.0001g,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;

实验室烟叶切丝机:QS-2A型,郑州嘉德机电科技有限公司;

压汞仪:AutoPore IV 9500型,美国麦克仪器公司。

1.2 方法

1.2.1 试验样品制备 根据文献[7],对26个试验样品进行平衡水分处理,经切丝机切丝后(宽度1.0mm),再次置于相对湿度(60±3)%,温度(22±1)℃恒温恒湿室中,平衡水分处理48h。

1.2.2 试验样品保润性能测试 准确称取4g(精确至0.0001g)烟草样品于70mm×40mm称量瓶,置于温度(22±1)℃、相对湿度为30%的烟草动态含水率监测装置中,称量瓶放置在对应编号电子天平上,每60s记录1次样品质量,测试时间4000min以上。根据文献[8]采用烘箱法测定样品干基含水率,使用水分比(干燥条件下,物料水分残余量的相对比值)描述失水过程^[9-11],并通过热力学Weibull模型拟合样品水分比随失水时间的变化曲线^[12-14]。Weibull模型中 α 值大小可作为评价样品物理保润性能指标^[15-16]。水分比按式(1)计算:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}, \quad (1)$$

式中:

MR——水分比;

M_o ——初始干基含水率,%;

M_e ——最终干基含水率,%;

M_t —— t 时刻干基含水率,%。

Weibull模型公式见式(2)。

$$MR = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad (2)$$

式中:

α ——尺度参数;

β ——形状参数;

t ——失水时间,min。

Weibull模型中, α 值可用于描述水分比随失水时间变化的快慢程度,取水分比为 e^{-1} 时所用时间为 α 值(min)。 α 值即样品散失水分过程中,水分散失达到初始含水率63%时所需时间^[17-19], α 值越大,样品水分比变化缓慢,物理保润性能越好。 β 值可用来反映失水过程前期水分散失速率的大小,其值越大表示初始干燥速率越小。

1.2.3 试验样品孔隙结构测定 采用压汞仪在137.9~34475.0Pa压力范围内,提供34.5Pa的压力增量,浸润

角为130°,汞表面张力0.48N/m对试验样品孔隙结构进行测定,步骤如下。

(1) 样品预处理:称取0.4g样品(精确至0.0001g)置于样品室中,通入氩气进行真空脱气处理,去除影响测试结果的吸附物质(水分、杂质),保证汞能有效填充样品中的微孔。

(2) 膨胀计加载装样:样品预处理后,分析天平称重,然后置入洁净、干燥的样品膨胀计中。

(3) 低压分析:保持测试环境(20±1)℃,将载有待测样品的膨胀计装载到低压站上,在0.6895~137.9000Pa压力范围内,逐步增加压力,汞压入待测样品孔隙中,压汞仪实时记录施压数值和相应注汞体积,然后进行高压分析。

(4) 高压分析:保持测试环境(20±1)℃,将膨胀计装载到高压站,在137.9~413700.0Pa压力范围内,实时记录施压数值和相应的注汞量。

(5) 软件导出试验数据,采用PoroWin软件进行孔隙结构数据的处理。

2 结果与分析

2.1 样品保润性能测定结果

由表1可知,除24号样品的 R^2 最低为0.929,其余25个样品的决定系数 $R^2 > 0.980$,表明Weibull模型对26个样品干燥曲线拟合效果良好,能较好地描述干燥过程中水分散失过程。

对不同类型烟草样品(烤烟、薄片、梗丝、白肋烟、香料烟)的物理保润性能指标进行方差分析,结果见表2。由表2可知,5类烟草样品之间,尺度参数和形状参数均达到极显著差异,说明不同类型的烟草样品之间物理保润性能差异显著。对不同烟叶样品Weibull模型的 α 值和 β 值进行统计分析发现(表3),烤烟、白肋烟与香料烟样品Weibull模型中 α 值的平均值分别为376,289,288min,说明白肋烟与香料烟样品的失水速率要快于烤烟,烤烟的物理保润性能优于白肋烟和香料烟;烤烟、白肋烟与香料烟样品Weibull模型中 β 值的平均值分别为0.935,0.816,0.836,说明白肋烟与香料烟样品在失水过程前期的失水速率也要高于烤烟样品。再造烟叶、膨胀梗丝样品Weibull模型中 α 值的平均值分别为258,395min,表明再造烟叶样品的失水速率高于膨胀梗丝,且再造烟叶样品的 β 值小于膨胀梗丝,表明在失水过程前期,再造烟叶样品的失水速率高于膨胀梗丝。

2.2 孔隙结构测定结果

烟草是毛细管状的多孔体,通过压汞法,测定26个烟草样品的孔隙结构,通过软件计算,相关孔隙结构物理量测定结果见图1。以面积基准计算得出的中值孔直径可用来描述50%孔容积对应的孔径大小。

表 1 烟草样品的 Weibull 模型拟合结果

Table 1 Weibull model fitting results of tobacco samples

序号	α 值/min	α 误差	β 值	β 误差	离差平方和($\times 10^{-4}$)	R^2
1#	368.065	0.449	0.920	0.002	1.13	0.997
2#	374.595	0.501	1.080	0.002	1.30	0.996
3#	370.899	0.381	0.963	0.001	0.82	0.998
4#	415.675	0.375	0.938	0.001	0.69	0.998
5#	286.847	0.624	0.870	0.002	2.51	0.991
6#	291.878	0.677	0.898	0.003	3.13	0.989
7#	374.769	0.218	0.996	0.001	0.28	0.999
8#	389.295	0.375	0.971	0.001	0.77	0.998
9#	427.593	0.179	0.970	0.001	0.16	1.000
10#	460.022	0.332	0.948	0.001	0.49	0.999
11#	246.784	0.820	0.759	0.003	4.35	0.981
12#	292.609	0.834	0.773	0.003	3.89	0.985
13#	250.863	0.671	0.792	0.003	3.03	0.987
14#	242.528	0.832	0.684	0.002	4.06	0.981
15#	396.851	0.158	1.048	0.001	0.17	1.000
16#	394.232	0.134	1.045	0.001	0.12	1.000
17#	331.466	0.473	0.915	0.002	1.51	0.995
18#	301.795	0.498	0.906	0.002	1.81	0.993
19#	262.126	0.695	0.704	0.003	3.44	0.985
20#	244.038	0.759	0.732	0.003	3.91	0.981
21#	269.559	0.677	0.818	0.003	3.30	0.986
22#	278.723	0.696	0.837	0.003	3.45	0.986
23#	287.782	0.529	0.676	0.002	2.05	0.992
24#	340.231	2.232	0.846	0.004	18.70	0.929
25#	283.212	0.668	0.810	0.002	2.82	0.989
26#	293.306	0.588	0.861	0.002	2.29	0.992

表 2 不同类型烟草物理保润性能的方差分析

Table 2 Variance analysis of physical moisture retention property of different types of tobacco

参数	差异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
α	组间	66 552.597	4	16 638.149	9.685	0.000
	组内	36 076.552	21	1 717.931		
	总数	102 629.149	25			
β	组间	0.227	4	0.057	12.520	0.000
	组内	0.095	21	0.005		
	总数	0.322	25			

由图 1 可知,不同烟草原料间各孔隙结构指标表现出一定的差异性,其中中值孔直径、平均孔直径均呈现为:薄片>白肋烟>香料烟>膨胀梗丝>烤烟的规律;孔容积呈现:香料烟>膨胀梗丝>白肋烟>薄片>烤烟,且这一趋势与骨架密度变化呈相反的关系,主要与香

料烟、白肋烟组织结构疏松,而烤烟组织结构较为紧密有关。

2.3 烟草的保润性能与其孔隙结构的相关性

对烟草样品物理保润性能与孔隙结构进行相关性分析(表 4), α 值与中值孔直径、平均孔直径在 0.01 水平(双

侧)上显著负相关, β 值与中值孔直径在 0.01 水平(双侧)上显著负相关,而与平均孔直径在 0.05 水平(双侧)上显著负相关。结果表明烟草中值孔直径与平均孔直径较大时,不利于烟叶水分的保持。进一步利用回归分析探讨烟草空隙结构对物理保润性能的影响(图 2),发现平均孔

直径与 Weibull 模型的 α 值和 β 值均呈线性负相关, R^2 分别达到了 0.70 和 0.74,说明随着烟叶平均孔直径的增大,烟叶物理保润性能逐渐减弱,烟草组织结构中富含多孔,平均孔直径较大,水分子在细胞内、细胞间流动性较高,影响烟草原料对水分的持有能力,其保润性能较差。

表 3 物理保润性能描述性统计分析

Table 3 Descriptive statistical analysis of physical moisture retention property

参数	类型	样本量	均值	标准差	标准误	均值 95% 置信区间		极小值	极大值
						下限	上限		
α/min	烤烟	10	375.964	54.354	17.188	337.081	414.847	286.847	460.022
	白肋烟	8	289.465	33.421	11.816	261.524	317.406	244.038	340.231
	香料烟	2	288.259	7.138	5.047	224.131	352.387	283.212	293.306
	再造烟叶	4	258.196	23.193	11.597	221.291	295.101	242.528	292.609
	膨胀梗丝	2	395.542	1.852	1.309	378.903	412.180	394.232	396.851
	总数	26	325.990	64.072	12.565	300.111	351.869	242.528	460.022
β	烤烟	10	0.935	0.042	0.013	0.905	0.966	0.870	0.996
	白肋烟	8	0.816	0.091	0.032	0.739	0.892	0.646	0.915
	香料烟	2	0.836	0.036	0.026	0.511	1.160	0.810	0.861
	再造烟叶	4	0.752	0.047	0.024	0.677	0.827	0.684	0.792
	膨胀梗丝	2	1.047	0.002	0.002	1.027	1.066	1.045	1.048
	总数	26	0.871	0.104	0.020	0.829	0.913	0.646	1.048

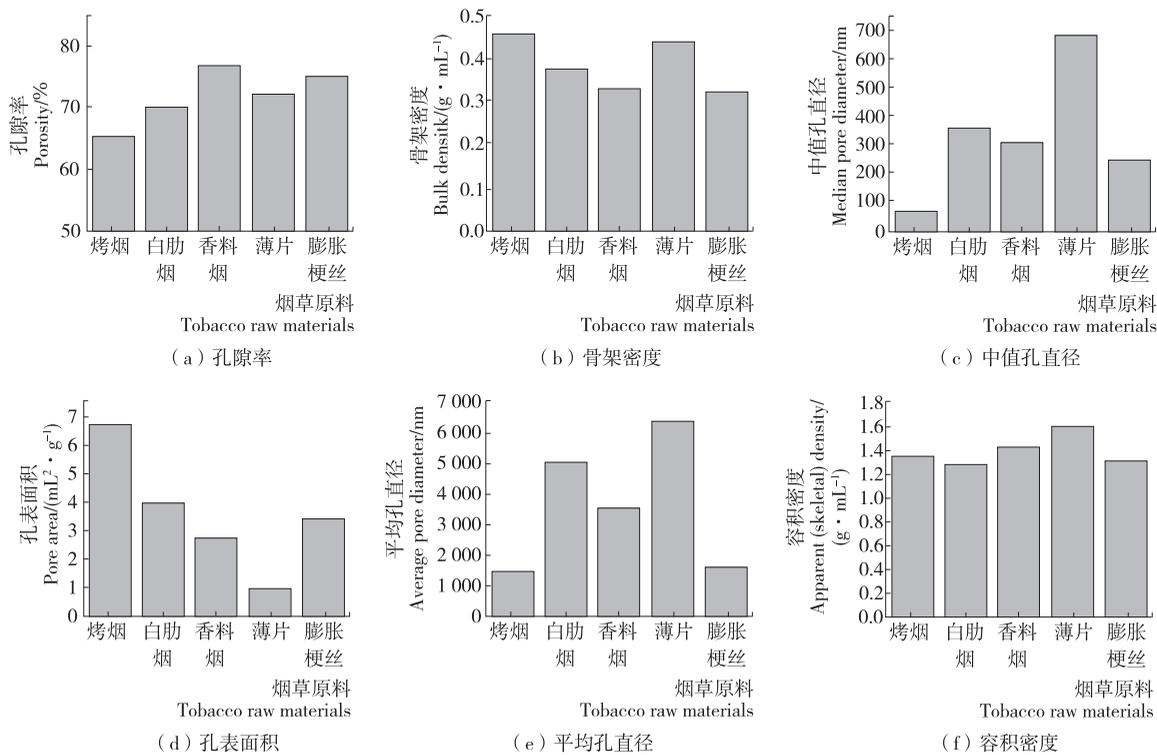


图 1 不同烟草原料孔隙结构对比

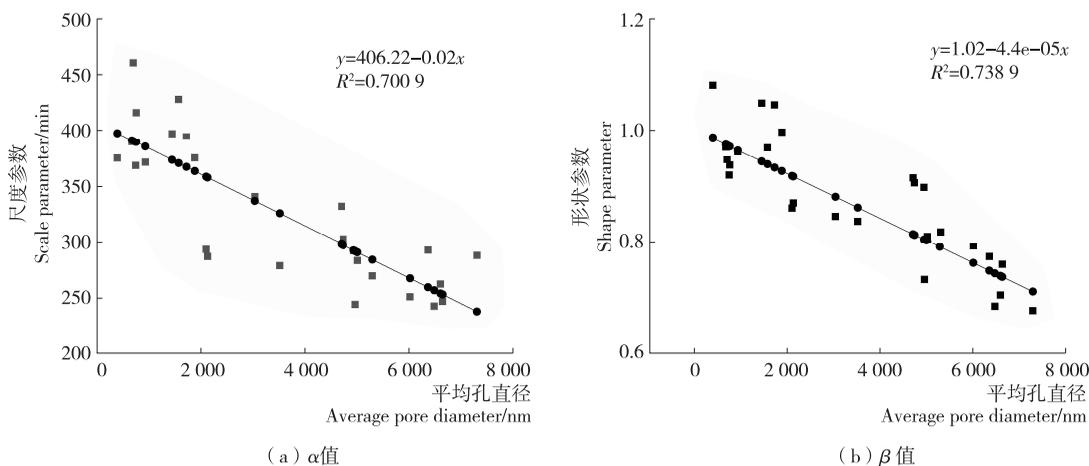
Figure 1 Comparison of pore structure of different tobacco raw materials

表 4 烟草孔隙结构与物理保润性能相关性分析[†]

Table4 Correlation analysis of pore structure and physical moisture retention property of tobacco

参数	相关性	孔容积	孔表面积	中值孔直径	平均孔直径	容积密度	骨架密度	孔隙率
α	Pearson 相关性	-0.418*	0.452*	-0.647**	-0.670**	0.431*	-0.212	-0.472*
	显著性(双侧)	0.034	0.020	0.000	0.000	0.028	0.298	0.015
β	Pearson 相关性	-0.127	-0.043	-0.501**	-0.439*	0.100	-0.236	-0.240
	显著性(双侧)	0.537	0.834	0.009	0.025	0.626	0.246	0.238

[†] ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。



方形黑点表示测量值,圆形红色点表示预测值

图 2 平均孔直径与 Weibull 模型的回归分析

Figure 2 Regression analysis of average pore diameter and Weibull model

3 结论

利用烟草动态含水率监测装置测定烟草物理保润性能,压汞法测定烟草孔隙结构,并对物理保润性能与烟叶孔隙结构的相关性进行分析,得出如下结论:

(1) 白肋烟与香料烟样品的失水速率要快于烤烟,再造烟叶样品的失水速率高于膨胀梗丝,梗丝的保润性能最好,其次是烤烟,而再造烟叶样品的保润性能最差;在失水过程前期,白肋烟与香料烟样品失水速率高于烤烟样品,再造烟叶样品的失水速率也要高于膨胀梗丝。

(2) 烟草中值孔直径与平均孔直径较大时,不利于水分的保持,并且随着平均孔直径的增加,烟叶物理保润性能逐渐减弱,因此可以考虑在卷烟叶组配方设计和维护时,合理配伍,在不降低卷烟感官品质的基础上,合理控制烟叶原料中值孔直径与平均孔直径的比例,提高烟叶保润性能,进一步降低卷烟加工过程中的原料造碎。

后续将开展烟草中细胞内自由水和结合水的相互转化,及转化后水分散失速率的研究。

参考文献

[1] 张丽. 卷烟保润性能及其应用技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 10.

[2] 杨斌. 卷烟原料物理保润性能评价及封阻性保润剂的应用研究[D]. 上海: 复旦大学, 2013: 5.
 [3] TSO T C. Production, physiology, and biochemistry of tobacco plant[J]. Production Physiology & Biochemistry of Tobacco Plant, 1990, 14(4): 25.
 [4] 康文功, 马林, 胡军, 等. 烷烃对烟叶保润性能的影响[J]. 烟草科技, 2014, 47(5): 55-59, 71.
 [5] 楼佳颖, 张乾, 王兵, 等. 不同卷烟原料物理保润机理研究[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(6): 49-55.
 [6] 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.
 [7] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 16447—2004 烟草及烟草制品调节和测试的大气环境[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
 [8] 中国国家标准化管理委员会. YC/T 31—1996 烟草及烟草制品试样的制备和水分测定烘箱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
 [9] 丁玉庭, 胡逸茗, 吕飞, 等. 丁香鱼薄层干燥数学模型研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 86-89.
 [10] 刘坤, 鲁周民, 包蓉, 等. 红枣薄层干燥数学模型研究[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 80-83.
 [11] 关志强, 王秀芝, 李敏, 等. 荔枝果肉热风干燥薄层模型[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 151-158, 191.

(下转第 54 页)

3 结论

研究表明,黄精多糖可减小样品失水过程的 k 值和解吸速率,将黄精多糖作为烟丝保润剂时,其保润效果显著优于丙二醇及其他多糖保润剂;黄精多糖可增加烟丝的化学结合水含量,进而提高烟丝的长效保润能力。因此,黄精多糖可替代丙二醇作为烟草保润剂,防止烟丝在低湿条件下水分的散失。同时,多糖的保润性能也与其结构和链长有关,通过适当的工艺(如酶解、酸降解)改变多糖的链长,可进一步提高其保润性能,改善烟丝中的水分稳定性。

参考文献

- [1] 马晓静,刘新歌,徐志强,等. 槐糖脂的保润性能及其在卷烟中的应用[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(2): 356-362.
- [2] 陈文,王楠,张民,等. 燕麦多糖的纤维素酶降解及理化性质分析[J]. 中国食品添加剂, 2014(2): 159-163.
- [3] 王笑月,刘效兰,薛燕,等. 黄精及其复配植物多糖提取工艺优化及人体保湿评价[J]. 食品与机械, 2018, 39(5): 221-225.
- [4] 陶陶,贺凡,姬小明,等. 响应面法优化丙式提取葫芦巴多糖及其保润性能研究[J]. 精细化工, 2016, 33(6): 666-673.
- [5] QI Jia, KIM S M. Characterization and immunomodulatory activities of polysaccharides extracted from green alga *Chlorella ellipsoidea*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 95: 106-114.
- [6] 陈芝飞,郝辉,孙志涛,等. 灵芝多糖、提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, 103965369A[P]. 2014-08-06.
- [7] WANG Jing, JIN Wei-hua, HOU Yun, et al. Chemical composition and moisture-absorption/retention ability of polysaccharides extracted from five algae[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 57(6): 26-29.
- [8] YAN Heng, CAI Bing, CHENG Yan, et al. Mechanism of lowering water activity of konjac glucomannan and its derivatives[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(2): 383-388.
- [9] 徐迎波,陈开波,徐志强,等. 卷烟烟丝食用蜡复配保润剂的保润性能及应用[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 179-182.
- [10] ERTEKIN C, YALDIZ O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63(3): 349-359.
- [11] DOYMAZ Ibrahim. Drying behaviour of green beans[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(2): 161-165.
- [12] 田大昕,冀小雄,毛海波,等. 几种天然多糖的吸湿和保湿性能的初步研究[J]. 化学与生物工程, 2007, 24(10): 46-48.
- [13] 艾绿叶,冯雪研,张昊,等. 羧甲基烟叶多糖的持水性及热解产物研究[J]. 食品工业科技.[2019-02-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20180918.1705.015.htm>.
- [14] SHAO Ping, CHEN Xiao-xiao, SUN Pei-long. Improvement of antioxidant and moisture-preserving activities of sargassum horneri polysaccharide enzymatic hydrolyzates[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 74: 420-427.
- [15] 韩聃. 卷烟吸湿规律及机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 10-26.
- [16] 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.
- [17] WEI Shuo, TIAN Bing-qiang, JIA Hong-fang, et al. Investigation on water distribution and state in tobacco leaves with stalks during curing by LF-NMR and MRI[J]. Drying Technology, 2018, 36(4): 1-8.
- [18] 钱静漪,王梦茹,张宁宁,等. 亚抑菌浓度茅苍术挥发油对金黄色葡萄球菌毒力因子表达的抑制作用初步研究[J]. 中国病原生物学杂志, 2014, 9(5): 408-411.
- [19] OSTYN A, GUILLIER F, PRUFER A L, et al. Intra-laboratory validation of the Ridascreen® SET total kit for detecting staphylococcal enterotoxins SEA to SEE in cheese[J]. Letters in Applied Microbiology, 2011, 52(5): 468-474.
- [20] QIU Jia-zhang, FENG Hai-hua, LU Jing, et al. Eugenol reduces the expression of virulence-related exoproteins in *Staphylococcus aureus*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(17): 5 846-5 851.
- [21] 徐晓,王欢,吕火焯. 金黄色葡萄球菌溶血素的研究进展[J]. 中国微生态学杂志, 2017, 29(6): 720-724, 730.
- [22] 刘宏巨. 关于影响葡萄球菌血浆凝固酶试验因素的探讨[J]. 临床医药实践, 2009, 18(24): 578-579.
- [23] 云盛,索晓敏,徐正挺,等. 金黄色葡萄球菌肠毒素检测的研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2012, 12(19): 3 756-3 758.
- [12] 王振中,林孔勋. Weibull 曲线拟合方法的研究: 优选法在拟合植物病害流行方程的应用[J]. 华南农业大学学报, 1986(1): 17-20.
- [13] 刘泽,李斌,于川芳. 复合传热对薄层烟丝干燥强化传质作用的动力学分析[J]. 烟草科技, 2009, 42(11): 5-10.
- [14] 徐德龙,戴永生,金殿明,等. 干燥脱水条件对片烟复水特性的影响[J]. 烟草科技, 2013, 46(4): 5-8, 15.
- [15] 孙志涛,崔凯,霍现宽,等. 盒包材料对烟支水分散失速率的影响[J]. 烟草科技, 2017, 50(7): 82-87.
- [16] 马骥,崔凯,陈芝飞,等. 滤嘴对卷烟物理保润性能的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(3): 68-76.
- [17] 白峻文,王吉亮,肖红伟,等. 基于 Weibull 分布函数的葡萄干燥过程模拟及应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 278-285.
- [18] 张峻松,李强,崔凯,等. 不同烟草原料物理保润性能影响因素研究[J]. 轻工学报, 2016, 31(2): 47-53.
- [19] 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.

(上接第 14 页)

(上接第 48 页)