

网络出版时间:2016-11-24 13:52

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.01.010

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20161124.1352.020.html

烤烟散叶插签烘烤过程中叶间隙风速的变化

路晓崇¹,宋朝鹏¹,裴晓东²,王建安¹,武劲草¹,孙 谋¹,杨晓亮¹

(1 河南农业大学 烟草学院,河南 郑州 450002; 2 湖南省烟草公司 长沙市公司浏阳市分公司,湖南 浏阳 410300)

[摘要] 【目的】了解烟叶密集烘烤过程中叶间隙风速的变化,为实现烤烟的精准烘烤提供参考。【方法】采用风速仪对中棚烟叶8个位点的叶间隙风速进行实时监测,同时记录烤房的干湿球温度,并于烘烤开始后每隔4 h取样1次,测定烟叶叶片与叶脉的含水率。【结果】烘烤过程中8个位点叶间隙风速差异较大,其中6号位点的风速始终处于较低水平;不同烘烤阶段各位点风速的变化比较复杂,大部分位点表现为先降后升的趋势;烟叶变黄阶段、定色阶段、干筋阶段烟叶间隙风速变化的主导因素分别为湿球温度与叶片含水率、烟叶主脉含水率与干球温度及主脉含水率。【结论】不同烘烤阶段影响叶间隙风速变化的因素并不相同,烘烤过程中可以有目的地调整烤房温湿度,并通过改善烟叶形态变化控制叶间隙风速的变化。

[关键词] 烤烟;密集烘烤;散叶插签;叶间隙风速;烘烤阶段

[中图分类号] S572.092

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2017)01-0070-06

Change of wind speed in leaves gap of lose-leaf bulk curing with leaf-holding needle during curing process

LU Xiaochong¹, SONG Zhaopeng¹, PEI Xiaodong², WANG Jian'an¹, WU Jincan¹,
SUN Mou¹, YANG Xiaoliang¹

(1 College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

2 Liuyang Branch of Hunan Province Tobacco Company, Liuyang, Hunan 410300, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the changes of wind in tobacco leaves gap in bulk curing process to provide reference for accurate curing. 【Method】 The leaves gap wind at 8 loci in middle layer was monitored using anemometer in bulk curing process, and wet and dry bulb temperatures were recorded. Samples were taken every 4 h since the beginning of curing for water contents of leaf blade and main veins. 【Result】 There were large differences in leaves gap wind among the 8 loci during curing process. The wind speed of 6th loci was always at low level. The change of wind speed was complex at different curing stages with the tendency of increasing first before decreasing at most loci. Wet bulb temperature and moisture content of leaves were the dominant factors for the change of wind speed in yellowing stage. Moisture content of main vein and dry bulb temperature were the dominant factors in the color-setting stage. Moisture content of main vein was the dominant factor in the killing-out stage. 【Conclusion】 The influence factors were different in different curing stages. The wind speed of leaves gap could be controlled by adjusting the temperature and humidity of the curing barn.

Key words: Flue-cured tobacco; bulk curing; lose-leaf with leaf-holding needle; wind speed of leaf gap;

[收稿日期] 2015-09-06

[基金项目] 中国烟草总公司科技项目“浓香型烤烟调制关键技术研究”(Ts-01-2011006)

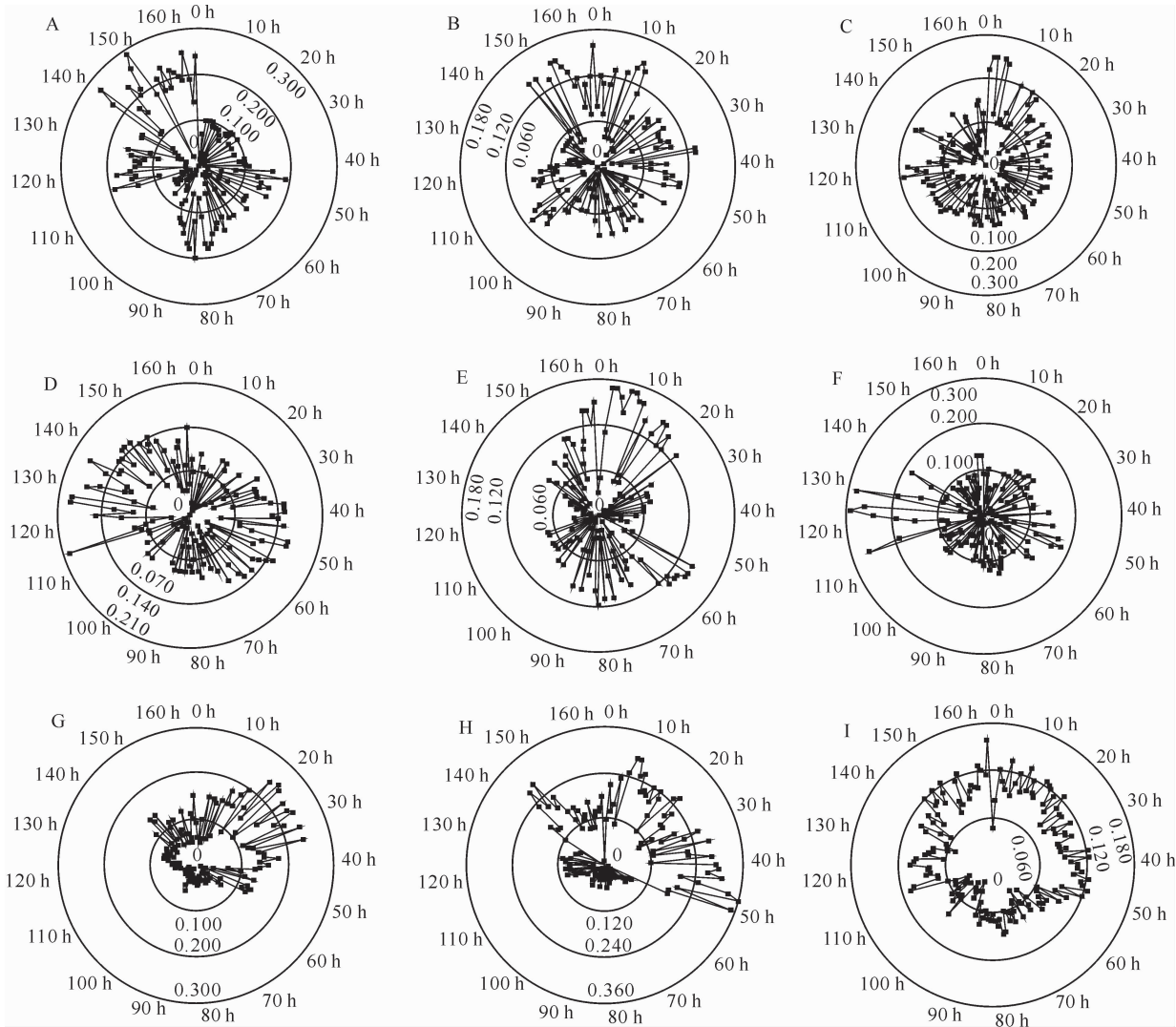
[作者简介] 路晓崇(1988—),男,河南漯河人,在读硕士,主要从事数据挖掘与烟叶调制生理研究。E-mail: ruciyubici@163.com

[通信作者] 宋朝鹏(1978—),男,河南邓州人,副教授,博士,主要从事烟叶调制研究。E-mail: ycszp@163.com

精良技术、精准作业、精细管理是当前烟草行业
发展的一项重要战略^[1], 打造优质、高效、低能耗的
精益生产模式^[2]是提升烟叶生产效率, 推进现代烟
草业发展的有效途径。近年来, 随着精益生产模式
研究的不断深入, 优质烟叶的生产取得了一系列重
大进展, 烟叶的烘烤是烟草生产的一个重要环节, 是
实现烟叶经济价值的重要途径。然而烟叶烘烤存在
劳动强度大、对烘烤人员技术要求较高、部分烟叶烘
烤难度大及烘烤成功率低等问题^[3-5], 从而使烟叶的
经济价值有所降低。近年来, 不同装烟设备的研发、
烘烤工艺的不断改善、新型能源的应用, 在一定程度
上提高了烟叶的烘烤质量, 增加了烟叶的经济效
益^[6-9]。烘烤环境的控制对烤烟的烘烤效果有直接
的影响, 而热风作为温度与水分的载体对提高农产
品加工效率与质量具有很大的促进作用^[10-13], 对烟
叶质量的提高亦有较大影响。宫长荣等^[14]研究表
明, 叶间隙风速对烟叶质量的形成有较大影响。然
而目前对烤烟烘烤过程中不同位点叶间隙风速变化
以及影响因素的研究却鲜见报道。为此, 本研究采
用风速仪对中棚烟叶 8 个位点的叶间隙风速进行实
时监测, 并对烤房的干湿球温度进行记录, 然后测定
叶片与叶脉的含水率, 运用通径分析法对烘烤过程
中的叶间隙风速进行研究, 以为烤烟精准烘烤的
实现提供依据。

由图 2 可知,烘烤过程中 8 个位点的叶间隙风速差异较大,其中位点 1(图 2-A)在烘烤进行 115 h 之后叶间隙风速较大,70~90 h 风速也比较大,整个变黄阶段与 90~115 h 风速则相对较小;与位点 2 相比,整个烘烤过程中位点 2(图 2-B)叶间隙风速均相对较小,尤其是在定色前期叶间隙风速在 0.05 m/s 以下,在干筋后期叶间隙风速略高;与位点 1 相比,整个烘烤过程中位点 3(图 2-C)叶间隙风速均相对较高,尤其是在变黄前期与定色中后期以及整个干筋阶段达到 0.1 m/s 以上,且持续时间较长;与位点 3 相比,位点 4(图 2-D)叶间隙风速相对较小,但在变黄后期、定色前期与干筋期叶间隙风速与其他阶段相比相对较高;位点 5(图 2-E)在变黄阶段中前期叶间隙风速较高,在其他烘烤阶段风速则相对较低;位点 6 在(图 2-F)整个烘烤过程中叶间隙风速均较低,仅在定色后期部分时段风速较高;位点 7(图 2-G)叶间隙风速在烘烤的前 50 h 内保持在较高水平,在定色阶段与干筋阶段叶间隙风速则相对较低;位点 8(图 2-H)叶间隙风速在变黄阶段与干筋阶段保持在较高水平,在定色阶段则相对较低。从

整个烤房的平均风速(图 2-I)看,整个烘烤阶段风速 对较小。
在变黄期与干筋期均保持较高水平,在定色期则相



A~H. 1~8 号位点风速;I. 平均风速

A—H. Wind speeds of bumper 1—8;I. Average wind speed

图 2 烘烤过程中烤房内不同位置叶间隙风速(m/s)的变化

Fig. 2 Wind speed (m/s) at leaves gap at different locations in the curing process

2.2 不同烘烤阶段 8 个位点风速的差异分析

由表 1 可知,在烘烤过程中,变黄阶段位点 8 叶间隙风速显著大于其他他点,位点 1、位点 2、位点 4、位点 5 及位点 6 叶间隙风速均较小,且差异不显著,位点 3 和位点 7 叶间隙风速相对适中,风速大小依次表现为位点 8>位点 7>位点 3>位点 6>位点 4>位点 2>位点 5>位点 1。定色阶段位点 3 叶间隙风速显著大于其他位点,位点 1 和位点 6 叶间隙风速显著低于位点 3、位点 2、位点 5、位点 7 和位点 8,烘烤过程中定色阶段的主要任务是将变成烟叶的内部水分尽快排出烤房,实现烟叶叶片的干燥,最终将烟叶的颜色保留下来,烘烤过程中叶间隙较小则

不利于热空气的流通,进而降低烟叶水分的排出,影响定色进度。干筋阶段各位点风速差异较大,其中位点 1 的风速显著高于其他位点,位点 3、位点 5 和位点 6 的风速较小,由于定色阶段后期循环风机的运行由高速档转换为低速档,进入烤房的风速、风压减小,使得叶间隙风速相应减小,再者因烤房不同位点的温湿度分布不均,则烟叶的干燥程度差异较大,对叶间隙风速的影响同样有较大差异,就整个烘烤过程而言,大部分位点的叶间隙风速均呈现先降后升的趋势,表明散叶插签烘烤过程中叶间隙风速的变化具有一定的规律性。

表 1 不同烘烤阶段烤房不同位点叶间隙风速的差异

Table 1 Difference in wind speed of leaves gap at different locations in the flue-curing barn during curing process

传感器位点 Position of sensor	叶间隙风速 Wind speed of leaf gap		
	变黄阶段 Yellowing stage	定色阶段 Color-setting stage	干筋阶段 Killing-out stage
1	0.065 2 c	0.089 6 b	0.195 8 a
2	0.075 9 c	0.046 1 d	0.088 8 cd
3	0.121 1 b	0.103 5 a	0.074 0 de
4	0.076 1 c	0.072 3 c	0.107 2 c
5	0.068 6 c	0.048 6 d	0.076 4 de
6	0.077 0 c	0.088 8 b	0.063 2 e
7	0.136 4b	0.037 4 d	0.087 2 cd
8	0.203 4a	0.040 2 d	0.164 0 b

注:同列数据后不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。
Note:Different lowercase letters show significant difference at 0.05 level.

2.3 烤房内温湿度、烟叶含水率对叶间隙风速的影响

为探明烤房温湿环境以及烟叶状态对叶间隙风速的影响,对烘烤过程中烤房内的干、湿球温度,烟叶叶片与主脉的含水率与平均风速进行通径分析,结果见表 2。由表 2 可以看出,烟叶变黄阶段干球温度对叶间隙风速的直接作用较小,且对风速有负作用,表明随着干球温度的升高叶间隙风速逐渐减小;湿球温度对叶间隙风速的影响最大,直接通径系数为 0.818 3;叶片含水率对叶间隙风速有较大的负作用,随着烟叶叶片含水率的减小,叶间隙风速增加;主脉含水率对烟叶间隙风速的直接影响较小,表明变黄阶段对烟草叶间隙风速影响的主导因素是湿

球温度与叶片含水率。定色阶段各因素对叶间隙风速均有较大的直接影响,其中主脉含水率对叶间隙风速影响的直接通径系数为-0.968 1,干球温度对叶间隙风速的直接影响为-0.808 1,且其他因素通过主脉含水率与干球温度对叶间隙风速的间接通径系数均较大,表明定色阶段烟草叶间隙风速变化的主导影响因素是烟叶主脉含水率与干球温度。在干筋阶段,干、湿球温度和叶片、主脉含水率 4 个指标对烟草叶间隙风速影响的直接通径系数均为负值,且主脉含水率对叶间隙风速影响最大,直接通径系数为-0.832 5,表明干筋阶段影响烟草叶间隙风速变化的主导因素是烟叶主脉含水率。

表 2 烘烤过程中干湿球温度、烟叶含水率与叶间隙风速的通径分析

Table 2 Path analysis of wind speed of leaves gap with temperature,water content and colorimeter

烘烤阶段 The stage of curing	影响因子 Norm	干球温度 Dry bulb temperature	湿球温度 Wet bulb temperature	叶片含水率 Moisture content of leaf	主脉含水率 Moisture content of main vein
变黄阶段 Yellowing stage	干球温度 Dry bulb temperature	−0.002 4 *	0.502 5	0.381 1	−0.179 6
	湿球温度 Wet bulb temperature	−0.001 5	0.818 3 *	−0.020 5	0.018 6
	叶片含水率 Moisture content of leaf	0.001 5	0.026 2	−0.637 8 *	0.228 4
	主脉含水率 Moisture content of main vein	0.001 6	0.054 8	−0.525 8	0.277 0 *
定色阶段 Color-setting stage	干球温度 Dry bulb temperature	−0.808 1 *	0.246 7	−0.505 1	0.987 1
	湿球温度 Wet bulb temperature	−0.655 4	0.304 2 *	−0.404 5	0.785 4
	叶片含水率 Moisture content of leaf	0.710 4	−0.214 2	0.574 5 *	−0.972 6
	主脉含水率 Moisture content of main vein	0.709 9	−0.188 4	0.440 6	−0.968 1 *
干筋阶段 Killing-out stage	干球温度 Dry bulb temperature	−0.185 5 *	−0.254 3	0.157 2	0.710 0
	湿球温度 Wet bulb temperature	−0.126 2	−0.373 7 *	−0.048 8	0.479 8
	叶片含水率 Moisture content of leaf	0.075 9	−0.047 5	−0.383 9 *	−0.220 3
	主脉含水率 Moisture content of main vein	0.155 9	0.215 4	−0.101 6	−0.832 5 *

注: * 数据为该因素对风速的直接通径系数。
Note;Data with * show direct path coefficient.

3 讨 论

由于烘烤过程中烤房内的热空气流动受到烟叶

以及烤房墙壁的阻挡,烤房内不同位置的风速与风压^[16]有所不同,这使得烤房内不同区域烟叶的变黄失水状况不一致。本研究通过对中棚 8 个位点叶间

隙风速的研究可知,不同烘烤阶段各位点的风速变化差异较大,与其他位点相比,一些位点在变黄阶段风速较高,但在定色或干筋阶段风速则相对较低;6号位点风速在整个烘烤过程均表现较低,可能是由于6号位点位于烤房低温区所致^[14],烟叶的变黄和干燥与其他位点相比相对滞后,尤其是在干筋阶段6号位点烟叶容易出现干筋时间较长、能耗较大、湿筋等现象^[17]。

烘烤过程中变黄末期循环风机由低速档(960 r/min)转换成高速档(1 440 r/min),加热室进风口风速风压增加^[16],烟叶间隙风速风压出现突发性的改变,再者随着烟叶失水程度的不断增加,烤房内的相对湿度升高,热空气绝对含水量增大^[18-19],通过叶间隙的热空气质量增加,致使进入定色阶段后多数位点风速相对减小,个别位点风速增加^[17]。定色后期烟叶水分含量相对较低,烟叶结构稳定,烤房内的相对湿度较低,烤房热空气的干燥能力较强^[15,20-22],叶间隙增加使得风阻较小,与定色期相比即使循环风机切换成低速档,风速依然较大。本研究中,各阶段不同位点叶间隙风速存在差异,表明散叶插签烘烤过程中相同棚次不同位置烟叶的变黄失水过程及变化程度相应有一定差异,这与宫长荣等^[14]的研究结果一致。刘闯等^[23]研究表明,烘烤过程中叶层间风速在变黄阶段、定色阶段与干筋阶段分别为 (0.22 ± 0.05) m/s、 (0.35 ± 0.12) m/s 和 (0.40 ± 0.17) m/s 时,烤后烟叶外观质量较好,这与本研究结果有所差异,可能是由于装烟方式不同所致,具体原因还需要进一步研究分析。

烘烤环境的变化不仅影响烟叶的状态,而且会使烤房内热空气的性质有所改变^[15]。本研究结果表明,烟叶变黄阶段湿球温度与叶片含水率是导致烟叶叶间隙风速变化的主导因素。烘烤过程中湿球温度的高低决定了烤房排湿效率的快慢^[14],湿球温度越低烤房内外的空气交换量越大,变黄后期烟叶的失水量较大,叶片的发软塌架程度越高,叶间隙风速受到烟叶的阻力越强,进而导致风速减小^[20]。定色阶段烟叶主脉含水率与干球温度是烟叶叶间隙风速变化的主导因素。由于随着叶片水分的不断排出,烟叶的叶片结构发生较大的变化,而干球温度越高烟叶的排水速率越高,热风的空气密度越大,进而使叶间隙风速减小,再者由于叶脉含水量较高,烘烤过程中干燥速率较慢^[14],随着叶片的不断干燥,主脉水分成为烤房内空气水分的主要来源,对烟叶叶间隙风速的变化有较大影响。干筋阶段烘烤的主要

任务是干燥主脉,主脉水分排出的速率与含量直接影响着热空气含湿量的变化,因此对叶间隙风速有较大影响。

目前只是对散叶插签烘烤过程中烟叶叶间隙风速的变化进行了初步研究,证实烘烤过程中不同烘烤阶段风速差异较大,影响叶间隙风速变化的主导因素也有所不同,但关于叶间隙风速变化对烟叶生理生化指标和烘烤质量的影响,以及不同装烟方式、不同棚次间风速的差异与相应的影响因素还需进一步深入研究。

参考文献

- [1] 冰 火,建 利,江洪东.论烟叶精益生产 [J].中国烟草学报,2014,20(1):1-8.
Bing H,Jian L,Jiang H D. On lean management in tobacco leaf production [J]. Acta Tabacaria Sinica,2014,20 (1):1-8.
- [2] 吴开成,王暖春,刘中庆.山东烟叶精益生产的探索与思考 [J].中国烟草科学,2014,35(3):104-108.
Wu K C,Wang N C,Liu Z Q. Exploration on lean production of flue-cured tobacco leaves in Shandong [J]. Chinese Tobacco Science,2014,35(3):104-108.
- [3] 王传义,孙福山,王廷晓,等.不同成熟度烟叶烘烤过程中生理生化变化研究 [J].中国烟草科学,2009,30(3):49-53.
Wang C Y,Sun F S,Wang T X,et al. Studies on physiological and biochemical changes in tobacco leaves of different maturity during flue-curing [J]. Chinese Tobacco Science,2009,30(3):49-53.
- [4] 董志坚,陈江华,宫长荣,等.烟叶烘烤过程中不同变黄和定色温度下主要化学组成变化的研究 [J].中国烟草科学,2000,21(3):21-24.
Dong Z J,Chen J H,Gong C R,et al. Study on changes of main chemical components in flue-cured tobacco leaf under different yellowing and colour-fixing temperature [J]. Chinese Tobacco Science,2000,21(3):21-24.
- [5] 路晓崇,宋朝鹏,娄元菲,等.烤烟散叶插签烘烤过程中叶温的变化 [J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(3):118-123.
Lu X C,Song C P,Lou Y F,et al. Changes of leaf temperature during the loose-leaf bulk curing of flue-cured tobacco with leaf-holding needle [J]. Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition),2014,42(3):118-123.
- [6] 宫长荣,潘建斌.热泵型烟叶自控烘烤设备的研究 [J].农业工程学报,2003,19(1):155-158.
Gong C R,Pan J B. Heat pump type of auto control equipment for tobacco leaf flue-curing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2003,19(1):155-158.
- [7] 王能如,徐增汉,何明雄,等.不同气流运动方向密集烤房烟叶烘烤质量差异研究 [J].中国烟草科学,2011,32(2):81-85.
Wang N R,Xu Z H,He M X,et al. The quality difference of tobacco leaves cured in bulk curing barns of airflow in different

- directions [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2011, 32(2): 81-85.
- [8] 孙永海, 瞿越, 佟月英, 等. 烟叶烘烤调制自动控制系统研究 [J]. *农业机械学报*, 2002, 33(6): 72-75.
- Sun Y H, Qu Y, Tong Y Y, et al. Study of automatic control on curing process of flue-cured tobacco [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2002, 33(6): 72-75.
- [9] 余金龙, 谭方利, 邓世雄. 烤房纳米功能涂料在烟叶烘烤中的应用效果 [J]. *中国烟草科学*, 2009, 30(5): 29-33, 40.
- Yu J L, Tan F L, Deng S X, Application effect of nano-coating to curing barns in tobacco curing [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2009, 30(5): 29-33, 40.
- [10] 邓宇, 郑先哲. 蕨菜微波真空干燥特性和品质试验研究 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(5): 253-257.
- Deng Y, Zheng X Z. Experiment and research on the techniques for microwave vacuum drying of *Pteridium aquilinum* [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(5): 253-257.
- [11] 张建军, 王海霞, 马永昌, 等. 辣椒热风干燥特性的研究 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(3): 298-301.
- Zhang J J, Wang H X, Ma Y C, et al. Experimental research on hot-air drying properties of capsicum [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(3): 298-301.
- [12] 诸爱士, 夏凯. 瓠瓜薄层热风干燥动力学研究 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(1): 365-369.
- Zhu A S, Xia K. Dynamics of thin layer hot-air drying of *lagenaria leucantha* rusby [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(1): 365-369.
- [13] 张黎骅, 徐中明, 夏磊, 等. 银杏果热风干燥工艺参数响应面法优化 [J]. *农业机械学报*, 2012, 43(3): 140-145, 156.
- Zhang L H, Xu Z M, Xia L, et al. Optimization of the hot-air drying technical parameters for ginkgo fruit based on response surface methodology [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2012, 43(3): 140-145, 156.
- [14] 宫长荣, 陈江华, 吴洪田, 等. 密集烤房 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- Gong C R, Chen J H, Wu H T, et al. Bulk curing barn [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [15] 宋小勇, 常志娟, 苏树强, 等. 远红外辅助热泵干燥装置性能试验 [J]. *农业机械学报*, 2012, 43(5): 136-141.
- Song X Y, Chang Z J, Su S Q, et al. Performances of far-infrared-assisted heat pump dryer [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(5): 136-141.
- [16] 王行, 邱妙文, 柯油松, 等. 砖混二次配热密集烤房设计与应用 [J]. *中国烟草学报*, 2010, 16(5): 39-43.
- Wang X, Qiu M W, Ke Y S, et al. Development and application of secondary thermal distribution brick-concrete structure bulk curing barn [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2010, 16(5): 39-43.
- [17] 宫长荣, 杨焕文, 艾复清, 等. 烟草调制学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- Gong C R, Yang H W, Ai F Q, et al. Tobacco flue-curing [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2003.
- [18] 王志英, 吴晓君, 刘启东, 等. 环境相对湿度对高疏水性 PVDF 膜结构与性能的影响 [J]. *功能材料*, 2013, 44(16): 2320-2323, 2328.
- Wang Z Y, Wu X J, Liu Q D, et al. Effects of relative humidity on morphology and performance of PVDF porous membrane [J]. *Journal of Functional Materials*, 2013, 44(16): 2320-2323, 2328.
- [19] 熊程程, 向飞, 吕清刚, 等. 温度和相对湿度对褐煤干燥动力学特性的影响 [J]. *化工学报*, 2011, 62(10): 2898-2904.
- Xiong C C, Xiang F, Lü Q G, et al. Effects of temperature and relative humidity on drying kinetics of lignite [J]. *CIESC Journal*, 2011, 62(10): 2898-2904.
- [20] 腊栋, 代彦军, 李勇, 等. 干空气和冷冻水联产除湿空调节能特性研究 [J]. *工程热物理学报*, 2009, 30(6): 923-926.
- La D, Dai Y J, Li Y, et al. Energy saving potential of a desiccant cooling system producing dry air and chilled water [J]. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2009, 30(6): 923-926.
- [21] 陈东, 孔德雨, 谢继红, 等. 内加热式热泵干燥装置的结构与性能分析 [J]. *化工装备技术*, 2012, 33(3): 1-5.
- Chen D, Kong D Y, Xie J H, et al. Analysis of the structures and performance of an inner-heating heat pump dryer [J]. *Chemical Equipment Technology*, 2012, 33(3): 1-5.
- [22] 杜垲, 张建成. 分离式热管回热器用于热泵干燥系统传热分析 [J]. *中国电机工程学报*, 2001, 21(12): 50-53.
- Du K, Zhang J C. Analysis of heat transfer on heat recovery exchanger of separate heat pipe applying to heat pump drying system [J]. *Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering*, 2001, 21(12): 50-53.
- [23] 刘闯, 陈振国, 赵华武, 等. 密集烘烤中风机转速变化对烟叶中性致香物质的影响 [J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2010, 36(6): 640-643.
- Liu C, Chen Z G, Zhao H W, et al. Effect of fan speed changes on neutral aroma components of flue-cured tobacco during bulk curing [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2010, 36(6): 640-643.