

雪茄烟专栏

叶惠源, 丁松爽, 段旺军, 等. 雪茄烟叶晾制过程中形态与水分含量的协同变化研究[J]. 中国烟草学报, 2023, 29(1). YE Huiyuan, DING Songshuang, DUAN Wangjun, et al. Study on the synergistic changes of morphological parameters and moisture content during the drying process of cigar tobacco leaves[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2023, 29(1). doi:10.16472/j.chinatobacco. 2022.T0079

雪茄烟叶晾制过程中形态与水分含量的协同变化研究

叶惠源¹, 丁松爽¹, 段旺军², 胡希³, 卢瑞琳¹, 郭文龙¹, 时向东^{1*}

1 河南农业大学烟草行业栽培重点实验室, 河南 郑州 450002;

2 四川中烟工业有限责任公司技术中心, 四川 成都 610066;

3 四川中烟工业有限责任公司长城雪茄厂雪茄烟技术创新中心, 四川 德阳 618400

摘要:【目的】为探究雪茄烟叶晾制过程中形态参数、水分含量的变化及其关系。【方法】以德雪3号品种中部叶为试验材料, 对晾制过程中6个时期进行取样, 测定其形态参数和水分含量, 并对其进行回归分析。【结果】(1) 随着晾制进程的推进, 烟叶的叶片收缩率、卷曲度及厚度收缩率均不断提高, 总水含量及自由水含量呈下降趋势, 束缚水含量则呈先升高后下降的变化趋势。(2) 可根据所筛选出的形态参数与整叶含水率所拟合的方程, 结合晾制各时期整叶含水率的适宜范围, 确定晾制过程中形态参数的适宜范围, 有效调控晾制环境。(3) 在变黄期, 烟叶的纵向收缩率、纵向卷曲度及叶片厚度收缩率应分别控制在4.7%~8.6%、2.6%~3.4%、20.4%~48.8%范围内, 在变褐期则应依次为8.6%~9.5%、3.4%~3.5%、48.8%~61.1%, 而在定色期应依次为9.5%~10.7%、3.5%~3.8%、61.1%~63.1%。【结论】在晾制过程中可根据烟叶的纵向收缩率、横向收缩率或叶片厚度收缩率的大小来判断烟叶水分含量, 从而实现雪茄烟叶晾制技术的精准调控。

关键词: 雪茄烟叶; 晾制; 形态参数; 水分

雪茄烟叶的晾制过程是品质形成的关键阶段, 通过调节晾房内环境温湿度可以有效促进烟叶失水干燥及内在物质转化^[1-2], 最终实现提高烟叶工业可用性的目的。在这个过程中, 烟叶进行了一系列复杂的生理生化反应, 而较直观地体现在其形态的变化^[3], 同时水分作为晾制过程中烟叶生理生化变化的重要介质, 其含量高低及失水速率在一定程度上影响着烟叶外观及内在质量变化^[4-8]。烤烟烘烤过程中通常以烟叶的皱缩程度来判定其失水速率。李峥等^[9]研究认为烘烤中烟叶的水分与形态密切相关, 且可以通过形态变化精准预测烟叶含水量。魏硕等^[10]通过研究带茎烘烤时烟叶的水分及形态变化规律, 并分析二者之间的关系, 认为可通过烟叶的形态收缩率判断其水分变化。目前关于调制过程中烟叶的形态参数、水分的变化研究大多集中在烤烟上, 而雪茄烟叶晾制过程中的变化与烤烟相比差异较大且鲜见报道。因此, 本研究通过研究

晾制过程中雪茄烟叶的形态参数、水分含量的变化规律及其关系, 以期及时精准地调控雪茄烟叶晾制过程中的温湿度环境, 从而提高烟叶的工业可用性, 为实现国产雪茄烟叶高质量发展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2021年7—9月在四川省什邡市皂角烟站进行, 海拔530 m, 夏季环境温度26~34℃, 环境相对湿度60%~90%。供试品种为德雪3号, 按当地优质雪茄烟生产技术规范进行栽培管理, 选取烟田中长势良好、叶片大小相对一致的烟株, 对其中部适熟叶片进行采收。将采收后的烟叶均匀悬挂于控温控湿晾房进行晾制, 晾制期间外界环境温湿度及晾房内温湿度如表1所示。晾制过程中分别在鲜叶期(S1)、凋萎期(S2)、变黄期(S3)、变褐期(S4)、定色期(S5)、

基金项目: 四川中烟工业有限责任公司重大专项项目(ctx201902)

作者简介: 叶惠源(1999—), 研究生, 主要研究雪茄烟方向, Tel: 13781035407, Email: yhyuan0402@163.com

通讯作者: 时向东(1966—), Tel: 13513710938, Email: sxd@henau.edu.cn

收稿日期: 2022-04-13; 网络出版日期: 2022-08-01

干筋期 (S6) 进行测定和取样。其中, 在晾房中标记 6 片大小均匀一致的烟叶, 并对其叶片长宽及自然垂落状态下叶片的长宽进行测定作为初始参照, 后续各晾制时期均对标记叶片进行形态参数的测定; 每次取

样同时选取 20 片颜色均匀的完整烟叶, 用于烟叶水分、厚度的测定。为了避免取样后装烟密度及叶间隙风速对于试验误差产生影响, 每次取样后选取同样大小晾制过程中的叶片进行填充^[11]。

表 1 雪茄烟叶晾制过程中外界环境及晾房内温湿度

Tab. 1 The external environment and the temperature and humidity in the drying room during the drying process of cigar tobacco leaves

晾制时期	环境温度/℃	环境湿度/%	晾房设定温度/℃	晾房设定湿度/%
凋萎期	27~28	88~90	25~28	80~90
变黄期	27~31	75~80	28~30	80~85
变褐期	28~34	60~70	30~35	70~80
定色期	28~33	75~80	33~35	45~55
干筋期	26~28	75~85	35~40	30~40

1.2 测定项目及方法

1.2.1 烟叶形态参数的测定

用直尺测定晾房内标记烟叶的长度、宽度及自然垂落状态下的长度、宽度; 利用植物叶片厚度仪 (精度 0.01 mm) 测定叶片及主脉厚度, 叶片的测量位置为图 1 中的 1、2、3 位点, 主脉的测量位置为图 1 中的 4、5、6 位点。根据测量数据参照樊军辉等^[12]的方法计算烟叶的收缩率、烟叶卷曲度及烟叶厚度收缩率。计算公式如下:

纵向收缩率 = (鲜叶叶片长度 - 取样时叶片长度) / 鲜叶叶片长度 × 100%

横向收缩率 = (鲜叶叶片宽度 - 取样时叶片宽度) / 鲜叶叶片宽度 × 100%

纵向卷曲度 = (取样时叶片长度 - 自然垂落状态下叶片长度) / 取样时叶片长度 × 100%

横向卷曲度 = (取样时叶片宽度 - 自然垂落状态下叶片宽度) / 取样时叶片宽度 × 100%

叶片厚度收缩率 = (鲜叶叶片厚度 - 取样时叶片厚度) / 鲜叶叶片厚度 × 100%

主脉厚度收缩率 = (鲜叶主脉厚度 - 取样时主脉厚度) / 鲜叶主脉厚度 × 100%

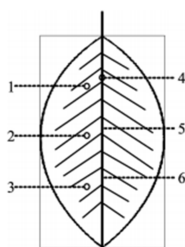


图 1 叶片检测位点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the leaf detection site

1.2.2 烟叶水分测定方法

整叶含水率的测量方法: 将叶片和主脉剥离, 利用烘箱及电子天平^[13]分别测量叶片和主脉的鲜重及干重, 并按照下式计算烟叶的总水含量:

叶片含水率 = (叶片鲜重 - 叶片干重) / 叶片鲜重

主脉含水率 = (主脉鲜重 - 主脉干重) / 主脉鲜重

整叶含水率 = [(叶片鲜重 + 主脉鲜重) - (叶片干重 + 主脉干重)] / (叶片鲜重 + 主脉鲜重)

叶片自由水和束缚水的测定方法: 与 1.2.1 中厚度测量位点一致, 采用阿贝折射仪法^[14]测定叶片和主脉中自由水、束缚水的含量。具体方法如下: 使用打孔器在所取叶片的测量位点处对称打取圆片 (避开大叶脉), 在每个已精准称重的称量瓶 (W1) 中放入 50 片, 盖紧, 分别精确称重 (W2)。将其中 3 只称量瓶放入烘箱中, 于 105℃ 下杀青 10 min, 然后转入 75℃ 下 30 min, 取出冷却后精准称重 (W3)。准备质量分数为 60% 的蔗糖溶液, 用阿贝折射仪测定其浓度 (C1), 向另外 3 只放有叶片的称量瓶中分别加入 5 mL 蔗糖溶液, 加盖并称重, 算出糖液重 (S), 然后置于暗处, 并经常摇动, 6 h 后测定糖液的浓度 (C2)^[14]。最终按下式计算烟叶自由水与束缚水含量:

自由水含量 = S (C1 - C2) / C2 (W2 - W1)

鲜重含水量 = (W2 - W3) / (W2 - W1)

束缚水含量 = 鲜重含水量 - 自由水含量

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 对数据进行处理、作图, 利用 SPSS 26.0 对数据进行回归分析。

2 结果分析

2.1 晾制过程中烟叶形态参数的变化

由图 2 可知，在晾制过程中，雪茄烟叶的叶片收缩率、叶片卷曲度及烟叶厚度收缩率均不断提高，其中以烟叶横向卷曲度及厚度收缩率变化幅度较大，烟叶纵向卷曲度变化较小。烟叶的纵向及横向收缩率在 S1~S3 时期增长幅度较小，在 S3~S4 时期增长幅度最大，分别为 115.22%、106.29%，S4 后叶片的收缩率变化幅度减缓。而叶片的卷曲度自晾制开始便呈快

速增长趋势，且横向卷曲度要显著高于纵向卷曲度，S4 后烟叶的卷曲度变化幅度均减缓，至 S6 烟叶的纵向及横向卷曲度分别为 3.89%、72.50%，与 S1 相比分别增加了 2.85%、50.40%。在晾制过程中雪茄烟叶叶片及主脉的厚度收缩率变化趋势与烟叶卷曲度变化趋势相似，均呈先快后慢的增长趋势，在 S1~S5 期间变化较大，且表现为叶片厚度收缩率>主脉厚度收缩率，S5 后增长幅度减缓，此时主脉厚度收缩率>叶片厚度收缩率，S6 时烟叶的叶片及主脉厚度收缩率分别为 63.94%、69.33%。

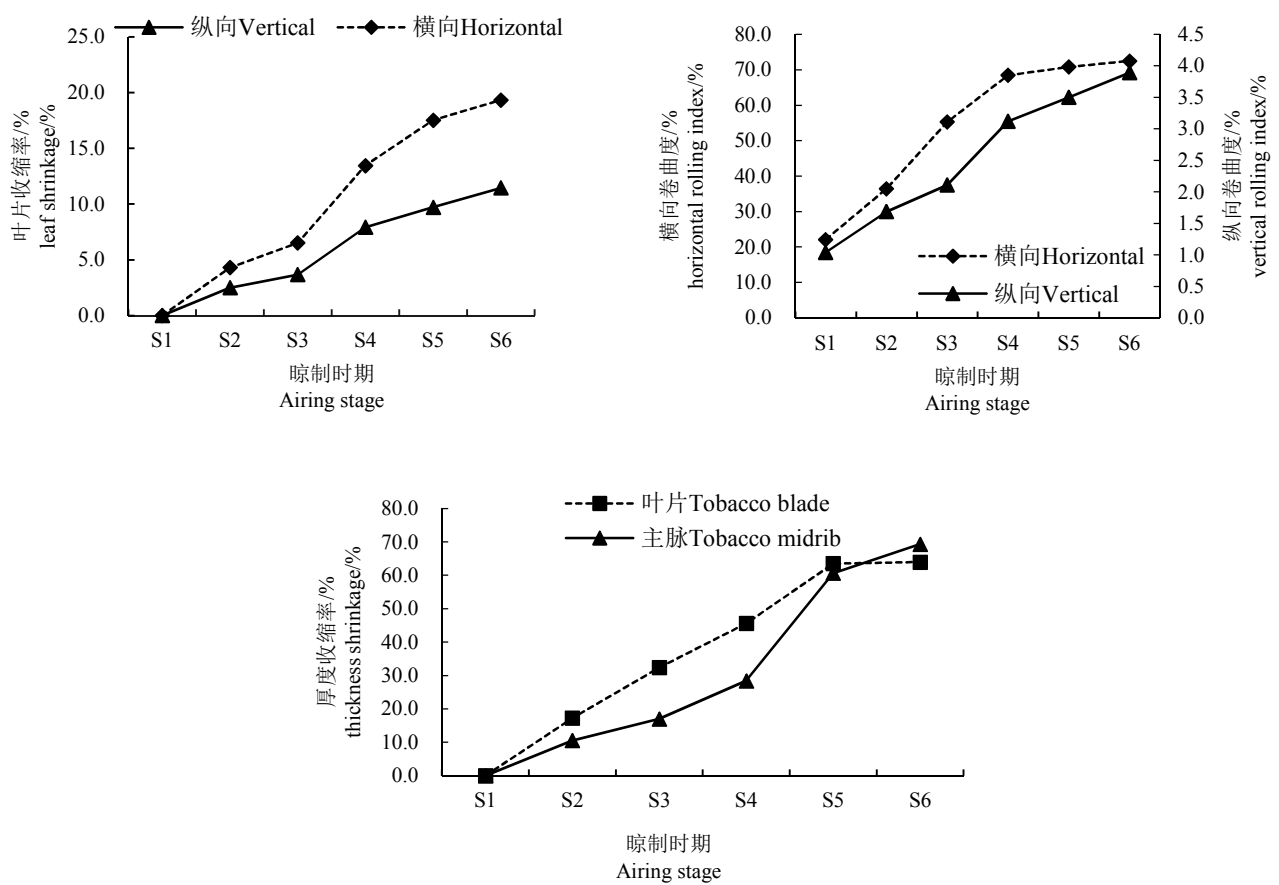


图 2 晾制过程中烟叶形态参数的变化
Fig. 2 Changes of morphological parameters of tobacco leaf during drying

2.2 晾制过程中烟叶水分含量的变化

2.2.1 晾制过程中烟叶总水含量的变化

由图 3 可以看出，雪茄烟叶总水含量在整个晾制过程中表现为：主脉>整叶>叶片，且随晾制进程的推进烟叶总水含量均不断降低，但在不同晾制阶段，叶片、主脉及整叶含水率的失水速率因晾制环境不同而

存在差异。烟叶含水率在晾制初期下降幅度较缓，S3 后失水速度加快，且在 S3~S4 时期降幅最大为 54.98%，S5 后烟叶叶片基本干燥，叶片含水率无明显变化；而烟叶晾制过程中主脉、整叶含水率的变化稍滞后于叶片含水率的变化，其含水率降低主要集中在 S4~S6 时期，期间降低幅度分别为 76.42%、74.16%。

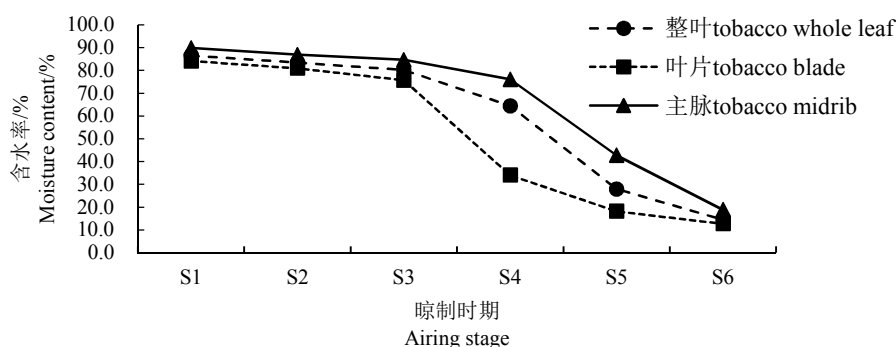


图3 晾制过程中烟叶含水率的变化

Fig.3 Changes of moisture content of tobacco leaves during drying

2.2.2 晾制过程中烟叶自由水束缚水含量的变化

雪茄烟叶晾制过程中自由水、束缚水含量的变化如图4所示。鲜烟叶中主脉自由水含量高于叶片，而束缚水含量则低于叶片；随着晾制的进行，烟叶主脉及叶片自由水含量呈先快后慢的下降趋势，束缚水含量则表现为先升高再下降的变化趋势。叶片及主脉自由水含量自晾制开始后便快速下降，至S3时期，叶片自由水含量降低幅度增大，S4时叶片自由水含量为8.67%，与鲜烟叶相比减少了85.30%，而主脉自由水

的散失主要在S4~S5时期，S5时主脉自由水含量为11.42%，与鲜烟叶相比减少了84.15%，S6时叶片及主脉的自由水含量几乎为0。叶片及主脉的束缚水含量在S1~S3时期均呈上升趋势，且叶片束缚水含量高于主脉，S3时叶片及主脉束缚水含量分别为33.52%、32.32%，S3~S4期间叶片束缚水含量开始大幅降低，降低幅度为49.64%，S4后叶片束缚水含量降低幅度减缓。而主脉束缚水含量在S3后一直高于叶片，S5后开始大幅降低，由27.92%降低至12.27%。

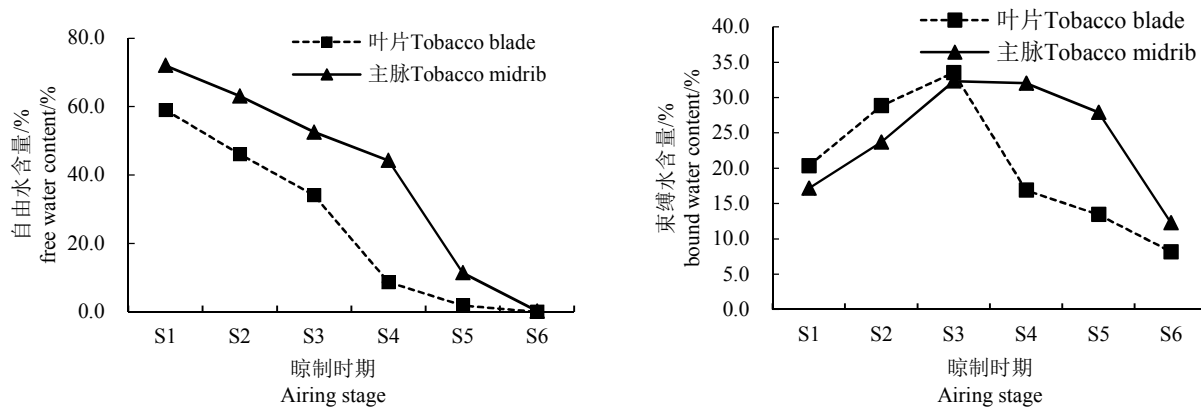


图4 晾制过程中烟叶自由水、束缚水含量的变化

Fig.4 Changes of free water and bound water content of tobacco leaves during the drying process

2.3 晾制过程中烟叶形态参数与水分含量的关系

为明确晾制过程中雪茄烟叶形态参数与水分含量间的关系，分别以6项形态参数指标为X，7项水分含量指标为Y进行回归分析，对拟合出方程的 R^2 及系数a值进行分析。由表2可知，曲线拟合方程的决定系数 R^2 均在0.6以上，说明当前模型均能解释60%以上的因变量变化。其中烟叶的纵向收缩率与烟叶整叶、叶片、主脉含水率及烟叶自由水、叶片束缚水的

拟合方程决定系数与横向收缩率相比明显较高。纵向卷曲度与整叶含水率、主脉含水率及主脉自由水束缚水含量的拟合方程决定系数大于横向卷曲度；而叶片厚度收缩率与叶片含水率、叶片自由水及主脉束缚水含量的拟合方程决定系数大于主脉厚度收缩率。由系数a可看出，纵向收缩率与烟叶水分含量拟合方程的系数a绝对值与横向收缩率相比均较高；而纵向卷曲度与烟叶水分含量拟合方程的系数a绝对值明显大于

横向卷曲度。通过以上分析可知，纵向收缩率、纵向卷曲度及叶片厚度收缩率更能代表烟叶水分含量，因此可利用晾制过程中烟叶的纵向收缩率、纵向卷曲度及叶片厚度收缩率的变化反映烟叶水分含量状况。

表 2 晾制过程中烟叶形态参数与水分含量的回归分析
Tab. 2 Regression analysis of morphological parameters and moisture content of tobacco leaves during drying

参数	纵向收缩率		横向收缩率		纵向卷曲度		横向卷曲度		叶片厚度收缩率		主脉厚度收缩率	
	R^2	系数 a	R^2	系数 a	R^2	系数 a	R^2	系数 a	R^2	系数 a	R^2	系数 a
整叶含水率	0.9176	0.0381	0.8482	0.0086	0.9209	-1.1991	0.901	-0.0028	0.9776	-0.0004	0.9919	0.0002
叶片含水率	0.9857	0.117	0.9165	0.0221	0.9842	7.6552	0.9925	-0.0017	0.9633	0.0007	0.919	0.0007
主脉含水率	0.8932	-0.005	0.7884	0.0025	0.9017	-5.0467	0.8362	-0.003	0.9287	-0.0006	0.9902	-0.0002
叶片自由水	0.9517	0.0383	0.8967	0.0047	0.9601	3.0807	0.9707	-0.0008	0.9597	0.0005	0.9069	0.0003
主脉自由水	0.9089	0.0002	0.861	-0.0002	0.9262	-3.0939	0.8949	-0.0022	0.9833	-0.0004	0.988	0.0000
叶片束缚水	0.8309	0.0624	0.6879	0.0151	0.7863	4.1649	0.8389	-0.0006	0.735	0.0003	0.6471	0.0003
主脉束缚水	0.602	0.0066	0.6337	-0.0019	0.8812	-3.5481	0.6539	-0.0012	0.6041	-0.0003	0.8311	-0.0003

以整叶含水率为 X，筛选出的形态参数指标为 Y 进行曲线估算，如图 5 所示，最终得到的拟合方程决定系数 R^2 均达到 0.95 以上，说明方程具有较好的拟合度，以各晾制时期烟叶的纵向收缩率、纵向卷曲度、叶片厚度收缩率来判断整叶含水率的变化具有一定的可行性。

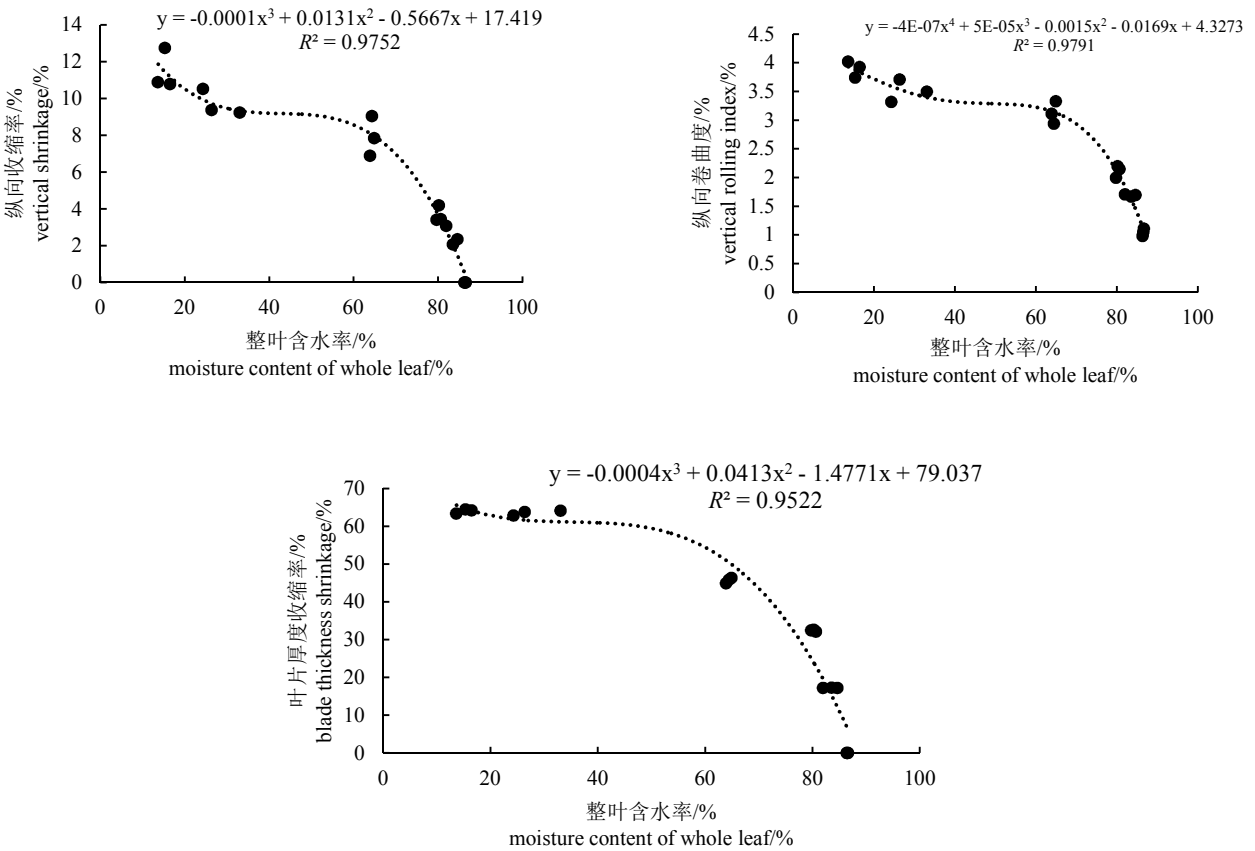


图 5 晾制过程中烟叶纵向收缩率、纵向卷曲度、叶片厚度收缩率与整叶含水率的拟合方程
Fig. 5 Fitting equation of longitudinal shrinkage, longitudinal curling degree, leaf thickness shrinkage and moisture content of tobacco leaves during drying

前人对于晾制过程中烟叶水分含量的变化做了大量的研究,柴家荣等^[15]认为烟叶失水率 15%~20%为白肋烟晾制的最佳凋萎程度。顾会战等^[16]发现高温、高湿条件下可提高雪茄外包皮的多种酶活性从而加速大分子物质的降解,此种晾制条件下烟叶凋萎期含水率为 80%~85%、变色期含水率为 40%~80%、调制结束时含水率为 10%~18%。雪茄烟叶的酶促棕色化反应是烟叶颜色变化、品质形成的重要反应,而棕色化反应在烟叶失水量大于 50%时不易发生^[1],所以烟叶开始褐变时含水率不宜低于 50%。赵松超、刘博远等^[17-18]认为适熟采收烟叶有利于酶促棕色化反应进行,晾制后烟叶化学成分协调,品质较好。其中赵松超研究发现适熟烟叶晾制过程中凋萎期(1~5 d)烟叶含水率为 81%~85%,变黄期(6~10 d)为 68%~80%,变褐期(11~15 d)为 30%~64%,定色期(16~20 d)为 20%~28%,干筋期(21~25 d)为 10%~19%。刘博远发现适熟处理的烟叶变黄期(10 d)含水率为 64.3%,变褐期(15 d)为 33%,定色期(20 d)为 19.3%,

干筋期(25 d)为 13.1%。卢绍浩等^[5]研究发现适宜晾制密度下烟叶水分含量表现为:变色期(5~10 d)含水率为 60.9%~73.5%,定色期(15 d)为 29.39%,干筋期(20 d)为 17.26%。结合前人研究^[5,15-18]与晾制实际可得出各晾制时期烟叶整叶含水率的合适范围,如表 3 所示,晾制前期水分散失不能过快,要为烟叶的酶促反应提供条件,而后期水分不能过大,以免烟叶霉变降低工业可用性。将晾制各时期适宜的整叶含水率代入图 5 方程中,得出各晾制时期纵向收缩率、纵向卷曲度及叶片厚度收缩率的适宜范围。由表 3 可知,变黄期叶片纵向收缩率、纵向卷曲度及叶片厚度收缩率分别在 4.7%~8.6%、2.6%~3.4%、20.4%~48.8% 范围内时,烟叶水分含量能够满足正常生理生化变化的需要^[5,19],变褐期纵向收缩率、纵向卷曲度及叶片厚度收缩率在 8.6%~9.5%、3.4%~3.5%、48.8%~61.1% 范围内时,烟叶此阶段未失水过快,能够满足氧化酶活性从而促进酶促棕色化反应的顺利进行,最终保证烟叶颜色变化均匀,具有一定香气物质^[1,18]。

表 3 晾制各时期烟叶水分含量及形态参数的适宜范围

Tab. 3 Suitable ranges of moisture content and morphological parameters of tobacco leaves in each period of drying

晾制时期	整叶含水率/%	纵向收缩率/%	纵向卷曲度/%	叶片厚度收缩率/%
凋萎期	80~85	2.5~4.7	1.9~2.6	6.2~20.4
变黄期	64~80	4.7~8.6	2.6~3.4	20.4~48.8
变褐期	30~64	8.6~9.5	3.4~3.5	48.8~61.1
定色期	19~30	9.5~10.7	3.5~3.8	61.1~63.1
干筋期	10~19	10.7~13	3.8~4.1	63.1~68

3 讨论

雪茄烟叶在晾制过程中随着水分的散失烟叶的形态也发生变化,主要表现为烟叶收缩、向内卷曲和烟叶变薄等特征,而烟叶形态变化的本质是由于晾制过程中烟叶的细胞、组织结构发生变化^[9,20],晾制过程中烟叶形态变化可反映其失水干燥状况^[21-22]。研究表明雪茄烟叶各形态指标均随晾制进程的推进而不断提高。其中叶片的平面收缩率在变黄期前变化较平缓,变黄期后收缩率大幅提高,以变褐期增幅最大,其变化规律与晾制过程中烟叶失水规律相似,这与谢鹏飞等^[23]研究结果一致。在晾制过程中烟叶正面及背面的失水速率由于其组织结构不同而存在差异,因此在晾制过程中烟叶表现为向内卷曲。烟叶的平面卷曲度在晾制过程中表现为定色期前增长速度较快,定色期后

变化较缓,且横向卷曲度明显大于纵向卷曲度,这是由主脉与叶片组织结构不同,失水特性不同而造成的。烟叶厚度收缩率从晾制开始至干筋期前整体呈现较大变化,但是进入干筋期烟叶基本干燥,主脉七成干,此时叶片厚度收缩率无明显变化,而主脉厚度收缩率仍在增长但变化趋势稍减缓,这与王涛等^[3]的研究结果一致。

烟叶的调制是其不断脱水干燥的物理过程与叶内生理生化变化过程的协调与统一^[1]。而晾制过程中雪茄烟叶水分的变化在一定程度上影响着晾制后烟叶的质量。烟叶在晾制过程中随着环境温湿度的变化叶片表面蒸发逐渐加剧,晾制后期烟叶的组织细胞结构发生降解,叶片形态皱缩率增大,这导致叶片蒸发面积逐渐减小,水分运输机能减退。本研究结果表明:晾制过程中,叶片含水率的下降幅度表现为变黄期较缓,

变褐期定色期加大,干筋期再减缓,而主脉及整叶则表现为变黄期较小、定色期后降幅增大的趋势,这与范宁波^[24]、刘伟^[25]等的研究结论相似。烟叶中的水分根据其功能及特性分为自由水和束缚水,研究表明在晾制过程中自由水含量呈慢-快-慢的下降趋势,且始终表现为主脉>叶片,束缚水含量则表现为先升高再降低,叶片及主脉束缚水含量均在变黄期时达到峰值,随后呈下降趋势,且主脉束缚水变化要滞后于叶片。这与高娅北^[26]的研究结果相似。自由水与束缚水的比值与植物抗逆性密切相关,在一定条件下,二者之间可以相互转化,束缚水含量越高说明植物抗逆性越强^[1]。烟叶在温度较高、失水的逆境环境下自由水可能转化为束缚水从而适应环境的变化,因此束缚水含量表现为先升高后降低。由此可见调制过程中先散失的是自由水,而在变黄期之前雪茄烟叶内自由水可能转化为束缚水以适应晾制过程中温湿度的变化。而主脉及叶片由于其结构不同,失水特性差异也较大。

在雪茄烟叶晾制过程中合理调控烟叶失水速率是促进烟叶外观特性与内在品质协调统一变化的关键,也是保证晾制后雪茄烟叶颜色均匀,品质协调的要素之一。回归分析结果表明,晾制过程中雪茄烟叶的形态参数与水分含量的拟合方程具有较高的拟合度,也表明了各形态参数能反应水分含量的程度,从而为进一步筛选出精准判断水分含量的形态参数提供依据。通过建立整叶含水率与筛选出的形态参数间的方程,最终得出各晾制时期形态参数的适宜范围,对于晾制过程中判断烟叶水分含量提供思路。凋萎期时若烟叶纵向收缩率超过 4.7%、纵向卷曲度超过 2.6%或者叶片厚度收缩率>20.4%,说明烟叶失水过快,叶绿素尚未降解而叶片细胞已死亡导致出现死青等现象^[27-28]。变黄期若烟叶形态收缩率超过适宜范围说明此时烟叶水分不能满足正常变黄的要求,叶绿素等物质降解不充分,进而导致烟叶不正常褐变^[5,19]。通过晾制过程中形态参数的变化判断雪茄烟叶水分含量的情况,可快速调整晾房温湿度从而实现晾制后烟叶颜色均匀、品质协调等目标,对于精准调控雪茄烟叶晾制技术具有一定指导意义。

4 结论

雪茄烟叶在晾制过程中,烟叶的形态参数均随晾制时间的推进呈增长趋势。烟叶失水主要集中在变黄期-定色期,在晾制前期散失的水分主要是自由水,主

脉水分含量变化要滞后于叶片。通过回归分析筛选出具有代表性的形态参数,并根据其与整叶含水率所拟合的方程,结合晾制各阶段整叶含水率的适宜范围可确定晾制过程中形态参数的适宜范围,例如在变黄期,烟叶的纵向收缩率、纵向卷曲度及叶片厚度收缩率应分别控制在 4.7%~8.6%、2.6%~3.4%、20.4%~48.8%的范围内,而在变褐期则应依次为 8.6%~9.5%、3.4%~3.5%、48.8%~61.1%。这一结果为快速判断雪茄烟叶晾制过程中水分含量是否合适并为及时调整晾房温湿度提供了依据。

参考文献

- [1] 宫长荣. 烟草调制学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 248-249.
GONG Changrong. Tobacco modulation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 248-249.
- [2] 卢绍浩. 雪茄烟叶晾制过程中物质含量的动态变化[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021.
LU Shaohao. Dynamic changes of substance content in cigar tobacco leaf drying process[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2021.
- [3] 王涛, 贺帆, 詹军, 等. 密集烘烤过程中基于色度学和形态学的烤烟外观变化与化学成分关系[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(6): 765-770.
WANG Tao, HE Fan, ZHAN Jun, et al. Relationship between appearance change and chemical composition of flue-cured tobacco based on chromatography and morphology during intensive baking[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(6): 765-770.
- [4] 刘慧, 赵松超, 武志勇, 等. 不同采收方式对雪茄烟上部叶晾制效果的影响[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(3): 65-72.
LIU Hui, ZHAO Songchao, WU Zhiyong, et al. Effects of different harvesting methods on the drying effect of upper leaves of cigar smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27(3): 65-72.
- [5] 卢绍浩, 张嘉雯, 赵喆, 等. 晾制密度对雪茄烟叶非挥发性有机酸代谢的影响[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(1): 92-97.
LU Shaohao, ZHANG Jiawen, ZHAO Zhe, et al. Effects of drying density on non-volatile organic acid metabolism in cigar tobacco leaves[J]. China Tobacco Science, 2021, 42(1): 92-97.
- [6] 迟飞, 罗红香, 黄刚, 等. 网式散叶密集烘烤下部烟叶失水规律与烘烤效应关系研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(2): 417-425.
CHI Fei, LUO Hongxiang, HUANG Gang, et al. The Relationship between dehydrating regulation and baking effect of network loose-leaf bulk curing of low leaves[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(2): 417-425.
- [7] 宫长荣, 袁红涛, 陈江华. 烤烟烘烤过程中烟叶淀粉酶活性变化及色素降解规律的研究[J]. 中国烟草学报, 2002(2): 17-21.
GONG Changrong, YUAN Hongtao, CHEN Jianghua. Study on amylase activity changes and pigment degradation of tobacco leaf during flue-cured tobacco baking[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2002(2): 17-21.
- [8] 孙帅帅, 孙福山, 王爱华, 等. 变筋温度对烤烟新品种 NC55 生理指标及烟叶质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(3): 72-76.
SUN Shuaishuai, SUN Fushan, WANG Aihua, et al. Effects of

- tendon temperature on physiological indexes of NC55 and tobacco leaf quality of flue-cured tobacco cultivar[J]. China Tobacco Science, 2012, 33(3): 72-76.
- [9] 李峥, 邱坤, 方明, 等. 基于形态学和色度学的烘烤过程中烟叶水分含量变化的模型[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(19): 209-214. LI Zheng, QIU Kun, FANG Ming, et al. Model of variation of tobacco leaf moisture content during baking based on morphology and colorology[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(19): 209-214.
- [10] 魏硕, 罗定棋, 顾勇, 等. 烤烟上部叶带茎烘烤水分状态及形态变化分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(9): 1659-1664. WEI Shuo, LUO Dingqi, GU Yong, et al. Analysis of moisture status and morphological change of upper leaf strip stem baking of flue-cured tobacco[J]. Southern Journal of Agricultural Sciences, 2017, 48(9): 1659-1664.
- [11] 卢绍浩, 张嘉雯, 赵喆, 等. 晾晒湿度对雪茄烟叶碳氮代谢关键酶活性及品质的影响[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(4): 26-34. LU Shaohao, ZHANG Jiawen, ZHAO Zhe, et al. Effects of drying humidity on activities and qualities of key enzymes in carbon and nitrogen metabolism in cigar tobacco leaf[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(4): 26-34.
- [12] 樊军辉, 陈江华, 宋朝鹏, 等. 不同烤房烘烤过程中烟叶形态和物理特性的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(6): 109-114. FAN Junhui, CHEN Jianghua, SONG Zhaopeng, et al. Changes in tobacco leaf morphology and physical characteristics during baking in different baking rooms[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2010, 38(6): 109-114.
- [13] YC/T 31—1996, 烟草及烟草制品试样的制备和水分的测定-烘箱法[S]. 1996. YC/T 31—1996, Preparation and moisture determination of tobacco and tobacco product specimens-Oven method[S]. 1996.
- [14] 聂荣邦, 唐建文. 烟叶烘烤特性研究 I. 烟叶自由水和束缚水含量与品种及烟叶着生部位和成熟度的关系[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(4): 290-292. NIE Rongbang, TANG Jianwen. Studies on the leaf curing characteristics of flue-cured tobacco I. relationships between the free water, bound water and the variety, stalk position, maturity[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Science Edition), 2002, 28(4): 290-292.
- [15] 柴家荣, 雷永和, 黄学跃, 等. 白肋烟砍株凋萎对烟叶质量的影响研究[J]. 烟草科技, 2000(1): 36-39. CHAI Jiarong, LEI Yonghe, HUANG Xueyue, et al. Effects of withering of burley tobacco cut-down plants on tobacco leaf quality[J]. Tobacco Science and Technology, 2000(1): 36-39.
- [16] 顾会战. 调制温湿度条件对雪茄外包烟叶生理变化与理化特性的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006. GU Huizhan. Effects of modulated temperature and humidity conditions on physiological changes and physicochemical characteristics of cigar outer skin tobacco leaves[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2006.
- [17] 赵松超, 田培, 刘博远, 等. 采收成熟度对雪茄烟叶晾晒过程酶促棕色化反应及品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(5): 51-59. ZHAO Songchao, TIAN Pei, LIU Boyuan, et al. Effects of harvest maturity on enzymatic browning reaction and quality in cigar tobacco leaf drying process[J]. China Agricultural Science and Technology Review, 2020, 22(5): 51-59.
- [18] 刘博远, 赵松超, 李一凡, 等. 不同成熟度雪茄烟晾晒过程碳水化合物及相关酶活性变化规律研究[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(4): 192-201. LIU Boyuan, ZHAO Songchao, LI Yifan, et al. Variation of carbohydrate and related enzyme activities in the drying process of cigar smoke of different maturity levels[J]. China Agricultural Science and Technology Review, 2021, 23(4): 192-201.
- [19] 宫长荣, 李艳梅, 李常军. 烘烤过程中烟叶脂氧合酶活性与膜脂过氧化物的关系[J]. 中国烟草学报, 2000(1): 40-42. GONG Changrong, LI Yanmei, LI Changjun. Relationship between lipoxygenase activity and membrane lipid peroxidation in tobacco leaf leaves during baking[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2000(1): 40-42.
- [20] 张国超. 不同烘烤温度和抑制剂对烤烟棕色化反应与质量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013. ZHANG Guochao. Effects of different baking temperatures and inhibitors on browning reaction and quality of flue-cured tobacco[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.
- [21] 魏硕, 谭方利, 马明, 等. 上部叶带茎烘烤水分迁移及形态结构变化[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(2): 187-192, 231. WEI Shuo, TAN Fangli, MA Ming, et al. Water migration and morphological structure change of upper leaf strip stem baking[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2018, 52(2): 187-192, 231.
- [22] 宋朝鹏, 魏硕, 贺帆, 等. 利用低场核磁共振分析烘烤过程烟叶水分迁移干燥特性[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(4): 50-55. SONG Zhaopeng, WEI Shuo, HE Fan, et al. Drying characteristics of tobacco leaf moisture migration in the roasting process using low-field nuclear magnetic resonance analysis[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(4): 50-55.
- [23] 谢鹏飞, 邓小华, 周清明, 等. 密集烘烤过程中烟叶颜色、形态和水分变化及相互关系[J]. 作物研究, 2012, 26(5): 486-490. XIE Pengfei, DENG Xiaohua, ZHOU Qingming, et al. Changes and correlations of tobacco leaf color, morphology and moisture during intensive baking[J]. Crop Research, 2012, 26(5): 486-490.
- [24] 范宁波, 张瑞娜, 路晓崇, 等. 雪茄烟叶晾晒过程中颜色与水分含量和膜脂过氧化的关系[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(6): 96-102. FAN Ningbo, ZHANG Ruina, LU Xiaochong, et al. Relationship between color and moisture content and membrane lipid peroxidation in the process of drying cigar tobacco leaves[J]. China Tobacco Science, 2020, 41(6): 96-102.
- [25] 刘伟, 过伟民, 徐磊, 等. 烘烤过程烟叶物理状态与主要化学成分的协同变化[J]. 河南农业科学, 2021, 50(11): 172-180. LIU Wei, GUO Weimin, XU Lei, et al. Synergistic changes of physical state and main chemical components of tobacco leaves during baking process[J]. Henan Agricultural Sciences, 2021, 50(11): 172-180.
- [26] 高娅北, 钟秋, 王松峰, 等. 雪茄茄衣晾晒过程中烟叶颜色和含水量变化及其相关分析[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(2): 57-63, 72. GAO Yabei, ZHONG Qiu, WANG Songfeng, et al. Variation of tobacco leaf color and moisture content during cigar drying and its correlation analysis[J]. China Tobacco Science, 2019, 40(2): 57-63, 72.
- [27] 于连营, 杨锦鹏, 余君, 等. 基于代谢组学分析雪茄烟叶晾晒时“青斑”组织的代谢差异及形成原因[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 152-159. YU Lianying, YANG Jinpeng, YU Jun, et al. Metabolomics analysis of metabolic differences and causes of "green spot" tissue in cigar tobacco leaf drying[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 152-159.

[28] 戴培刚, 陈爱国, 谢利忠, 等. 几个烤烟品种成熟期及采后的色素和水分含量变化[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(5): 6-9.
DAI Peigang, CHEN Aiguo, XIE Lizhong, et al. Changes in

pigment and moisture content of several flue-cured tobacco cultivars at maturity stage and after harvest[J]. China Tobacco Science, 2009, 30(5): 6-9.

Study on the synergistic changes of morphological parameters and moisture content during the drying process of cigar tobacco leaves

YE Huiyuan¹, DING Songshuang¹, DUAN Wangjun², HU Xi³, LU Ruilin¹, GUO Wenlong¹, SHI Xiangdong^{1*}

1 Key Laboratory of Tobacco Industry Cultivation, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China;

2 Technology Center, China Tobacco Sichuan Industrial Co., Ltd., Chengdu 610066, Sichuan, China;

3 Cigar Technology Innovation Center, Great Wall Cigar Factory of Sichuan China Tobacco Industry Co., Ltd., Deyang 618400, Sichuan, China

Abstract: [Objective] The objective of this study was to investigate the changes of morphological parameters, moisture content and their relationships during the drying process of cigar tobacco leaves, in order to provide a reference basis for the accurate regulation of cigar tobacco leaf drying. [Methods] Taking the central leaf of Dexue No. 3 variety as the test material, samples were collected from 6 periods in the drying process to determine the morphological parameters and moisture content, and regression analysis was carried out.. [Results] With the advancement of the drying process, the leaf shrinkage, degree of curling and thickness shrinkage of tobacco leaves were continuously improved, the total moisture content and free water content showed downward trends, and the bound water content showed a trend of first increasing and then declining. According to the equations fitted by the morphological parameters and the moisture content of the whole leaf and the suitable range of the moisture content of the tobacco leaves at each stage of drying, the suitable range of morphological parameters in the drying process can be determined, which is beneficial for regulation of the drying environment. In the yellowing stage, the longitudinal shrinkage, longitudinal curling degree and leaf thickness shrinkage of tobacco leaves should be controlled in the range of 4.7%-8.6%, 2.6%-3.4%, 20.4%-48.8%, respectively; in the browning period, it should be 8.6%-9.5%, 3.4%-3.5%, 48.8%-61.1%; in the color setting period, it should be 9.5%-10.7%, 3.5%-3.8%, 61.1%-63.1%. [Conclusion] During the drying process, the moisture content of tobacco leaves can be judged according to the longitudinal shrinkage, transverse shrinkage or leaf thickness shrinkage of tobacco leaves, so as to achieve accurate regulation of cigar tobacco drying.

Keywords: cigar tobacco leaf; drying; morphological parameters; moisture

*Corresponding author. Email: sxd@henau.edu.cn

《烟草科技》2023 年第 1 期目次

· 烟草农学	针式中心加热卷烟抽吸后烟丝中烟碱和雾化剂的径向变化
烤烟上部叶成熟过程中代谢组的差异分析	 张 璟, 王 康, 谭 健, 等
..... 贾中林, 郑庆霞, 戴华鑫, 等	
普通烟草 GATA 转录因子家族鉴定及基因表达分析	· 烟草工艺
..... 杨玄松, 谢雯榕, 顾 钢, 等	电子烟多口抽吸过程的传热传质数值模拟
不同生态区影响烤烟上部烟叶感官品质的关键外观指标	 黄忠辉, 黄洁洁, 高峰涵, 等
..... 张 恒, 徐文韬, 张子颖, 等	基于造纸法的加热卷烟降温材料的制备及应用
重庆地区烟叶辣椒脉斑斑驳病毒的检测与鉴定	 赵 杨, 申钦鹏, 李世卫, 等
..... 田绍锐, 温玉霞, 马 婷, 等	· 设备与仪器
雪茄烟中霉菌计数方法的适用性评价	基于质量流量法的透气度流量盘测量方法的建立与应用
..... 黄 阔, 叶长文, 李东亮, 等	 于千源, 郭超豪, 张鹏飞, 等
β-氨基丁酸对烟草黑胫病的抗性诱导	S400 型残烟机烟丝回用工艺的优化与应用
..... 任锡跃, 刘 涛, 朱发亮, 等	 徐 敏, 章 敏, 孙科雷, 等
· 烟草化学	· 信息技术
基于 TMT 标记蛋白质组学技术研究接装纸赋甜对唾液蛋白表达的影响	基于用户画像的卷烟消费者特征识别和价值评估
..... 杨 月, 刘梦梦, 张 媛, 等	 金吉琮, 居 雷, 张 易, 等
加热卷烟抽吸过程中气溶胶动态分布表征系统的开发	
..... 崔华鹏, 孟 璠, 陈 黎, 等	