

网络出版时间:2017-06-06 13:46

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.07.002

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170606.1346.004.html

开片状况对上部烟叶烘烤过程中 失水特性的影响

宋朝鹏¹,魏 硕¹,刘相甫²,汪代斌³,徐 宸³,
李常军³,江厚龙³,汪伯军³

(1 河南农业大学 烟草学院,河南 郑州 450002;2 中国烟叶公司,北京 100000;3 中国烟草总公司 重庆市公司,重庆 400023)

【摘 要】【目的】探究烘烤过程中不同开片度上部烟叶的失水干燥特性,为烘烤工艺优化提供参考。【方法】以烤烟 K326 不同开片度(0.35,0.31 和 0.25)上部叶为试验材料,分析鲜烟叶的组织结构以及烘烤过程中烟叶水分和形态的变化。【结果】(1)鲜烟叶栅栏组织细胞密度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、紧密度随着烟叶开片度的减小而显著增大,海绵组织厚度、疏松度随着烟叶开片度的减小而显著降低。鲜烟叶中叶片水分质量所占比例随着烟叶开片度的减小而显著降低,主脉水分质量所占比例随着烟叶开片度的减小而显著增大。(2)烘烤过程中温度为 42~48 ℃时,烟叶全叶、叶片、主脉含水率随着烟叶开片度的减小呈增大趋势;在 38~42 ℃,叶片的失水比率随着烟叶开片度的减小而增大,45~48 ℃叶片失水比率随着烟叶开片度的减小而降低;烘烤过程中,叶片的束缚水/自由水随着开片度的减小而增大,叶片横向收缩率、主脉周长收缩率随烟叶开片度减小而降低。【结论】随着 K326 上部叶开片度的减小,烟叶失水干燥特性变差。

【关键词】 烟草;上部叶;开片度;水分;形态收缩

【中图分类号】 TS44⁺1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)07-0008-07

Effects of different leaf openness condition on dehydration characteristics of tobacco upper leaves during curing

SONG Zhaopeng¹, WEI Shuo¹, LIU Xiangfu², WANG Daibin³, XU Chen³,
LI Changjun³, JIANG Houlong³, WANG Bojun³

(1 College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Henan, Zhengzhou 450002, China; 2 China Tobacco Company, Beijing 100000, China; 3 Chongqing Tobacco Company of China National Tobacco Corp, Chongqing 400023, China)

Abstract: 【Objective】The characteristics of dehydration of upper leaves during curing process under different leaf open conditions were explored to provide reference for the optimization of flue-curing process. 【Method】The upper leaves of K326 with different leaf openness (0.35, 0.31 and 0.25) were used to analyze the organization structure of fresh tobacco leaves and the changes of moisture and states during curing. 【Result】The palisade tissue thickness, moisture thickness ratio between palisade tissue and sponge tissue, tightness and palisade tissue cell density of fresh tobacco leaves were increased significantly with the decrease of openness, while the thickness and porosity of spongy tissue decreased significantly. The moisture mass ratio of leaf blade in whole leaf was decreased significantly while the moisture mass ratio of midrib in whole leaf was increased significantly. (2) The water content of whole leaf, leaf and main vein were increased with decrease of openness at 42—48 ℃. The dehydration ratio of leaf blade was increased

〔收稿日期〕 2016-05-20

〔基金项目〕 中国烟草总公司重庆市公司资助项目(NY20150601070011)

〔作者简介〕 宋朝鹏(1978—),男,河南邓州人,副教授,博士,主要从事烟草调制与加工研究。E-mail: ycszp@163.com

with the decrease of openness during 38—42 ℃, while the dehydration ratio of tobacco main was decreased during 45—48 ℃. The ratio between bound water and free water of leaf blade was increased while horizontal shrinkage ratio of tobacco leaf and circumference shrinkage ratio of midrib were decreased with the decrease of openness during curing.【Conclusion】 With the decrease of openness of tobacco leaf, the dehydration and drying characteristics of tobacco leaves during curing turned to be worse.

Key words: tobacco; upper leaves; leaf openness; moisture; states changes

上部叶占烟株产量的 40%左右,上中等烟 30 个等级中上部叶占 12 个,因此上部叶是烟叶产质量的主要组成部分。但上部叶开片不足、烘烤特性较差是生产中较为常见的现象^[1-2],严重影响烟叶产质量的提高^[3]。上部叶开片程度反映了烟叶组织细胞的发育状况,受品种、生态条件的影响,与烤烟的营养状况和成熟特征有直接关系^[4-6]。不同叶片形状烟叶水力学结构特性也不同^[7-9],可能引起烟叶失水干燥特性的差异,进而影响烟叶烘烤生理变化和品质的形成。通常情况下,烘烤过程中烟叶的失水速度呈现变黄期小、定色期较大、干筋期小的规律^[10-12]。充分发育的烟叶烘烤过程中失水速率表现出“近等速—减速—再减速”的特征^[13]。叶片中自由水、总水含量在烘烤过程中呈下降趋势,束缚水含量呈先升高后降低的趋势^[14]。烘烤过程中上部烟叶形态变化呈现出变黄期缓慢、定色期剧烈、干筋期又减缓的趋势^[15]。但目前关于上部叶开片状况与烘烤过程中烟叶失水干燥特性关系的研究却鲜有报道。本研究以烤烟 K326 品种不同开片度上部叶为试验材料,分析不同开片度鲜烟叶的组织结构以及

烘烤过程中烟叶失水特性和形态的变化,以期从烟叶开片状况与失水特性关系角度解释上部叶不易烘烤的原因,为改进生产措施、优化烘烤工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

试验于 2015 年在重庆烟草科技研究所彭水试验示范基地进行。供试品种为 K326,试验田土壤肥力中等,采用规模化管理,长势一致,留叶数 18 片,待上部 6 片叶充分成熟后一次性采收,取倒 4 位叶(从上向下数第 4 片叶)为试验材料,根据烟叶开片度^[3]差异,将其划分为 T1、T2 和 T3 共 3 个类型,其烟叶的性状参数见表 1。将烟叶统一使用烟夹装烟,每个处理 30 夹,每夹约 14 kg,不同类型烟叶分别标记,置于烤房中层与其他烟叶一起烘烤,每房 350 夹,气流下降式标准密集烤房烘烤,温度计挂在上层、中层,以中层控制为主,按照三段式烘烤工艺^[16]进行烘烤。

表 1 不同开片度上部烟叶的性状参数

Table 1 Trait parameters of tobacco upper leaves with different leaf openness				
叶片类型 Leaf type	开片度 Leaf openness	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	叶面积/cm ² Leaf area
T1	0.35 a	65.0 a	23.1 a	952.70 a
T2	0.31 b	63.1 a	19.6 b	673.41 b
T3	0.25 c	62.3 a	15.4 c	503.62 c

注:同列数据后标不同小写字母表示存在显著差异($P<0.05$)。下表同。
Note: Different letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

1.2 测定项目及方法

(1)组织结构。参照王能如等^[17]的方法,分别在烟叶中部利用 8 mm 打孔器取样,常规石蜡包埋染色处理,制片 12 张,在 Olympus 光学显微镜下利用测微尺测量叶片厚度、上下表皮厚度、海绵组织厚度、栅栏组织厚度及栅栏组织细胞密度等指标,其中栅栏组织细胞密度为横切片视野内单位长度栅栏组织细胞个数,并计算叶片结构的紧密度及疏松度^[6]。

紧密度 = $\frac{\text{栅栏组织厚度}}{\text{叶片厚度}} \times 100\%$;

疏松度 = $\frac{\text{海绵组织厚度}}{\text{叶片厚度}} \times 100\%$ 。

(2)叶片水分。参照樊军辉等^[15]的方法,分别在烘烤过程中温度为 30(代指鲜烟),38,42,45,48 和 54 ℃结束时取样,用刀片将烟叶主脉与叶片剥离分开,参照行业标准 YC/T 311—2009 中烘箱法分别测定主脉、叶片和全叶(叶片+主脉)的水分质量和含水率;采用阿贝折射仪法测定^[18]烟叶自由水和束缚水含量;叶片和主脉的失水比率为其失水质量占全叶失水质量的百分比,进行无量纲化,计算公式

如下：

某阶段叶片失水比率=(叶片鲜质量×某阶段叶片含水率变化量)/(全叶鲜质量×某阶段全叶含水率变化量)×100%；

某阶段主脉失水比率=(主脉鲜质量×某阶段主脉含水率变化量)/(全叶鲜质量×某阶段全叶含水率变化量)×100%。

(3)烟叶形态收缩率。叶片横向收缩率测定参照樊军辉等^[15]的方法；烟叶主脉周长参考行业标准YC/T 142—1998 中茎围的方法并略有改进，在近叶基一端 10 cm 处，用无弹性细线均匀缠绕 10 圈，用精度为 0.5 mm 的直尺测量，平均 1 圈的长度即为主脉周长，主脉周长收缩率参考叶片收缩率的方法计算。

叶片横向收缩率=(鲜烟叶叶宽—取样时烟叶叶宽)/鲜烟叶叶宽×100%；

主脉周长收缩率=(鲜烟主脉周长—取样时主脉周长)/鲜烟主脉周长×100%。

1.3 数据处理与分析

用 Excel 2010 对数据进行统计制图，用 SPSS 23.0 对数据进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同开片度鲜烟叶组织结构的变化

由表 2 可以看出，不同开片度鲜烟叶栅栏组织厚度、海绵组织厚度、上表皮厚度、栅栏组织厚度/海绵组织厚度、紧密度、疏松度、栅栏组织细胞密度之间存在不同程度差异，其中栅栏组织厚度、栅栏组织厚度/海绵组织厚度、紧密度、栅栏组织细胞密度随着烟叶开片度的减小而显著增大，海绵组织厚度、疏松度随着烟叶开片度的减小而显著降低；叶片厚度、下表皮厚度随着烟叶开片度的减小呈增大趋势，其中 T3 类型显著大于 T1 类型。可见，随着烟叶开片度的减小叶片组织结构紧实程度增加，这与付鑫钟等^[19]喷施赤霉素促进烟叶开片，降低栅栏组织厚度、叶片厚度的研究结果相吻合。

表 2 不同开片度鲜烟叶的组织结构

Table 2 Structural analysis of leaves with different openness

叶片类型 Leaf type	叶片厚度/ μm Leaf thickness	上表皮厚度/ μm Upper epidermis thickness	下表皮厚度/ μm Lower epidermis thickness	栅栏组织细胞密度/ $(\text{个}\cdot\text{mm}^{-1})$ The cell density of palisade tissues	栅栏组织厚度/ μm Palisade tissue thickness	海绵组织厚度/ μm Sponge tissue thickness	栅栏组织厚度/海绵组织厚度 Palisade tissue thickness/ Sponge tissue thickness	紧密度/% Tightness degree	疏松度/% Loose degree
T1	301.16 b	28.39 b	19.56 b	48.5 b	112.87 b	140.34 a	0.81 c	37.18 c	47.01 a
T2	315.07 a	31.82 ab	21.81 ab	56.4 a	129.03 b	132.41 b	0.98 b	40.95 b	42.03 b
T3	321.19 a	33.47 a	23.12 a	60.4 a	138.42 a	126.18 b	1.09 a	43.13 a	39.26 c

2.2 不同开片度烟叶水分含量的变化

2.2.1 鲜烟叶水分含量分布 由表 3 可以看出，随着烟叶开片度的减小，鲜烟叶中叶片水分质量/主脉水分质量、叶片水分质量/全叶含水量显著减小，而

主脉水分质量/全叶水分质量显著增大，这可能是烟叶形态结构差异引起的，因为 T3 类型烟叶呈披针形，叶宽明显减小，导致叶片面积减小，使得全叶水分集中在主脉部分，主脉水分质量所占比例相对较大。

表 3 不同开片度鲜烟叶各部分的水分质量比

Table 3 Moisture mass ratio of tobacco leaves with different leaf openness

叶片类型 Leaf type	叶片水分质量/全叶水分质量 Moisture mass of leaf blade/ moisture mass of whole leaf	主脉水分质量/全叶水分质量 Moisture mass of midrib/ moisture mass of whole leaf	叶片水分质量/主脉水分质量 Moisture mass of leaf blade/ moisture mass of midrib
T1	0.52 a	0.48 c	1.10 a
T2	0.46 b	0.54 b	0.84 b
T3	0.41 c	0.59 a	0.70 c

2.2.2 烘烤过程中烟叶水分的变化 由表 4 可以看出，烘烤过程中全叶、叶片、主脉含水率呈逐渐减小趋势；烘烤过程中(30℃除外)全叶含水率表现为 T3>T2>T1，在 45℃之前各类型全叶含水率差异逐渐增大，45~54℃各类型烟叶间存在显著差异；38~45℃全叶含水率减少量表现为 T1>T2>T3，之后各类型全叶含水率减少量相差不大。在 42~

48℃，叶片含水率表现为 T3>T2>T1，T1 与 T3 间存在显著差异；在 38~45℃，各类型叶片含水率减少量表现为 T1>T2>T3，之后各类型叶片含水率减少量相差不大。在 42~54℃，主脉含水率表现为 T3>T2>T1，T1 与 T3 之间存在显著差异，各类型烟叶间主脉含水率减少量表现为 T1>T2>T3。可见，开片度影响烘烤过程中烟叶的失水状况。

表 4 烘烤过程中不同开片度烟叶含水率的变化

Table 4 Change of moisture content of tobacco leaves with different openness during curing		%					
指标 Index	叶片类型 Leaf type	30 ℃	38 ℃	42 ℃	45 ℃	48 ℃	54 ℃
全叶含水率 Moisture content of Whole leaf	T1	84.05 a	74.92 b	65.87 b	54.76 c	44.32 c	30.14 c
	T2	83.37 a	76.72 ab	69.54 a	60.16 b	50.46 b	36.10 b
	T3	83.24 a	77.81 a	71.65 a	64.03 a	54.40 a	40.46 a
叶片含水率 Moisture content of leaf blade	T1	79.85 a	64.94 a	50.87 b	34.49 b	20.43 b	0.47 a
	T2	77.71 a	65.39 a	52.68 ab	37.69 ab	23.12 ab	1.24 a
	T3	76.96 a	65.51 a	53.13 a	39.87 a	24.78 a	0.71 a
主脉含水率 Moisture content of midrib	T1	88.94 a	87.23 a	84.37 b	79.74 c	73.75 b	66.69 c
	T2	88.83 a	87.63 a	85.79 ab	81.82 b	76.82 a	69.72 b
	T3	88.60 a	87.60 a	86.42 a	83.30 a	78.03 a	72.20 a

由图 1 可以看出,烘烤过程中叶片失水比率呈先降低后增大的趋势,而主脉失水比率呈相反变化趋势,即在 38~48 ℃,叶片失水比率减小,而主脉失水比率增加;48~54 ℃,叶片失水比率增加,而主脉失水比率减小,这可能是定色前期温度的升高引起

主脉水分向叶片的迁移量增加,定色后期 54 ℃时进入干叶阶段叶片失水加快所致。在 38~42 ℃,叶片失水比率表现为 T3>T2>T1,45~48 ℃叶片失水比率总体表现为 T1>T2>T3。可见烟叶开片度影响叶片、主脉的失水分配。

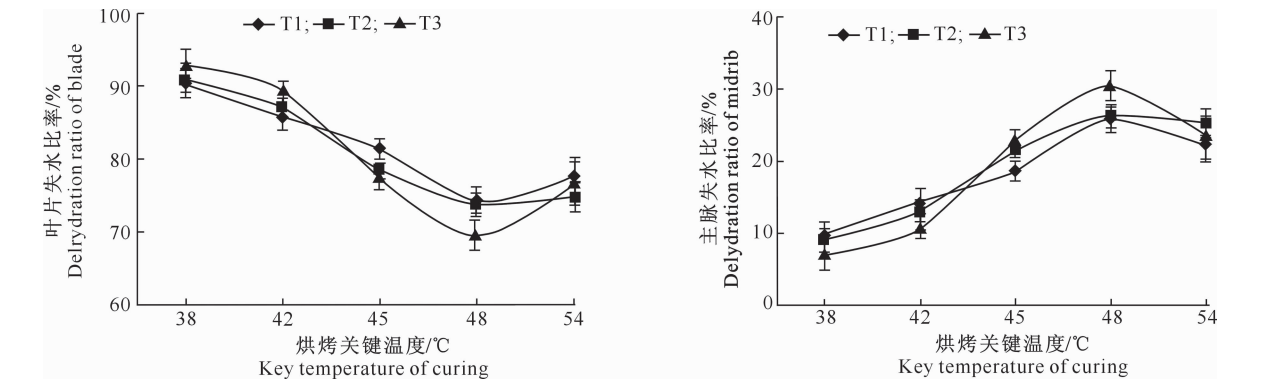


图 1 不同开片度烟叶烘烤过程中失水比率的变化

Fig. 1 Changes of dehydration ratio of tobacco leaves with different openness during curing

由表 5 可以看出,烘烤过程中自由水含量总体表现为 T1>T2>T3,束缚水含量则呈相反趋势,其中 30,42,48 ℃时 T1 自由水含量显著大于 T3,T3 束缚水含量显著大于 T1。38~42 ℃时束缚水含量

略有增大,可能是由于烟叶自由水的散失,细胞原生质黏度增加、束水能力增强所致^[20],这与任一鹏等^[14]的研究结果一致。

表 5 烘烤过程中不同开片度烟叶自由水和束缚水的变化

Table 5 Changes of free water and bound water content in leaf blade with different openness during curing							
指标 Index	叶片类型 Leaf type	30 ℃	38 ℃	42 ℃	45 ℃	48 ℃	54 ℃
自由水含量/% Free water	T1	56.89 a	42.26 a	31.42 a	19.60 a	14.79 a	—
	T2	53.84 b	40.59 a	29.15 ab	18.83 a	13.22 ab	—
	T3	51.06 b	40.40 a	29.39 b	18.40 a	11.13 b	—
束缚水含量/% Bound water	T1	21.36 b	21.71 b	20.54 b	14.95 c	7.52 c	—
	T2	22.71 b	22.26 b	22.35 b	19.29 b	10.87 b	—
	T3	25.13 a	25.84 a	25.33 a	23.51 a	15.32 a	—
束缚水/自由水 Free water/ Bound water	T1	0.38 c	0.51 c	0.65 c	0.76 c	0.51 c	—
	T2	0.42 b	0.55 b	0.77 b	1.02 b	0.82 b	—
	T3	0.49 a	0.64 a	0.86 a	1.28 a	1.38 a	—

注:“—”代表数据检测不到。

Note:“—” indicates not detected.

通常束缚水/自由水越大,烟叶失水的难度越

大^[18]。烘烤过程中各处理束缚水/自由水存在显著

差异,表现为 $T1 < T2 < T3$ (表 5),可见烟叶开片度越小,烘烤过程中烟叶失水难度越大。

2.3 不同开片度烟叶烘烤过程中的形态变化

由表 6 可以看出,烘烤过程中叶片横向收缩率、主脉周长收缩率随烟叶开片度的减小总体呈降低趋势。在 45 ℃ 之前,各类型烟叶横向收缩率差异逐渐增大,45~54 ℃ 各类型烟叶之间存在显著差异;叶片横向收缩率变化量呈先增大后减小的趋势,在 45~48 ℃ 叶片横向收缩率增幅达到最大,这主要是

由于上部烟叶通常在 45~48 ℃ 凋萎、托条引起的^[2],其中 T1 在 42~45 ℃ 时叶片横向收缩率增幅最大,T2 在 45~48 ℃ 时叶片横向收缩率增幅最大,T3 在 45~48 ℃ 时叶片横向收缩率增幅最大,可知随烟叶开片度的减小,叶片横向收缩率最大增幅发生推迟。烘烤过程中,各类型烟叶间主脉周长收缩率差异逐渐增大,主脉周长收缩率总体表现为 $T1 > T2 > T3$,45~54 ℃ 各类型烟叶之间存在显著差异。可见,开片度影响烘烤过程中烟叶形态收缩的变化。

表 6 烘烤过程中不同开片度烟叶的形态变化

Table 6 Changes in shape of tobacco leaves with different openness during curing							%
指标 Index	叶片类型 Leaf type	38 ℃	42 ℃	45 ℃	48 ℃	54 ℃	
叶片横向收缩率 Horizontal shrinkage of tobacco leaf	T1	1.33 a	5.44 a	11.84 a	16.95 a	21.45 a	
	T2	0.83 a	3.27 b	7.71 b	12.21 b	15.98 b	
	T3	0.62 a	1.62 b	4.54 c	8.13 c	10.28 c	
主脉周长收缩率 Circumference shrinkage rate of midrib	T1	1.05 a	4.11 a	9.81 a	20.74 a	33.65 a	
	T2	0.53 a	3.41 a	7.51 ab	16.09 b	29.02 b	
	T3	0.57 a	2.17 a	5.24 b	13.53 c	23.15 c	

3 讨 论

本研究表明,烘烤过程中随着开片度的减小,烟叶全叶含水率总体增大,这与李浩亮^[21]采用植物激素促进上部叶开片使得烟叶烘烤过程中失水加快的结果相吻合。这可能是由于:第一,随着开片度减小,烟叶叶片部分水分含量及比例减小,叶片水分多聚集在主脉部分,造成叶片失水时全叶含水率仍较高的假象;第二,随着开片度的减小,鲜烟叶结构趋于紧密,束缚水/自由水增加,使叶片保水能力增强,而烘烤过程中,随着烟叶开片度的减小束缚水含量显著增大也说明了这一点;第三,烘烤过程中烟叶失水主要是通过叶表面的蒸发作用这一物理过程进行的^[22],随着开片度的减小,烟叶叶面积减小,导致了烟叶失水的差异。本研究显示,烘烤过程中,随着开片度的减小,叶片失水比率在 38~42 ℃ 增大而在 45~48 ℃ 减小,主脉失水比率则呈相反趋势,可见叶片与主脉之间水分散失可能存在相互制约关系;与 48 ℃ 相比,54 ℃ 时叶片失水比率增加,主脉失水比率减小,可能是叶片干燥过快,阻断了主脉水分快速转移的通道^[2],因而不利于主脉水分散失。

本研究结果显示,烘烤过程中叶片横向收缩率随烟叶开片度的减小呈降低趋势,这可能是上部叶易产生光滑僵硬烟的原因之一^[2]。通常烘烤过程中烟叶形态变化与失水规律具有一致性^[11],而随着烟叶开片度的减小,叶片横向收缩率最大增幅发生逐渐推迟,主要是由于不同开片度烟叶的失水差异引

起的,这与朱金峰等^[6]研究不同成熟度烟叶烘烤过程形态变化的结果一致,烟叶开片度反映烟叶的形状发育程度,可能与烟叶成熟度有一定关系。

4 结 论

K326 不同开片度上部鲜烟叶组织结构和水分分布不尽相同,随着烟叶开片度的减小,鲜烟叶组织结构趋于紧密,主脉水分质量所占比例增大;K326 上部叶开片度与烘烤过程烟叶失水干燥特性密切相关,随着烟叶开片度的减小,烟叶失水难度增大,叶片与主脉失水比率发生改变,烟叶的失水程度、形态收缩程度减小。关于开片度对烘烤过程中烟叶水分迁移路径及生理代谢的影响还有待进一步研究。

[参考文献]

[1] 王 行,周 亮,柯油松,等.不同烤烟品种上部烟叶烘烤特性研究[J].云南农业大学学报,2014,29(4):612-622.
Wang H,Zhou L,Ke Y S,et al. Study on the upper leaves curing characteristics of flue-cured tobacco varieties [J]. Journal of Yunnan Agricultural University,2014,29(4):612-622.

[2] 崔国民. 烤烟密集型自动化烤房及烘烤工艺技术[M].北京:科学出版社,2012.

Cui G M. Auto-control bulk curing barn and flue-curing technology of flue-cured tobacco [M]. Beijing:Science Press,2012.

[3] 李云平,江厚龙,汪代斌,等.重庆烟区烟叶开片度对其内在品质的影响研究[J].江西农业学报,2016,28(3):62-65,70.
Li Y P,Jiang H L,Wang D B,et al. Effects of leaf openness on interior quality of flue-cured tobacco in chongqing tobacco-growing region [J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2016,28(3):62-

- 65,70.
- [4] 王婵娟,刘国顺,贺帆,等. 烤烟发育及成熟过程中细胞超微结构的变化[J]. 浙江农业学报,2010,22(2):234-238.
Wang C J, Liu G S, He F, et al. Changes in cell ultrastructure of flue-cured tobacco leaf cells during development and maturity process [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2010, 22(2): 234-238.
- [5] 黄勇,周冀衡,郑明,等. 不同成熟度烟叶结构显微分析[J]. 中国烟草科学,2008,29(2):5-8.
Huang Y, Zhou J H, Zheng M, et al. Microstructure of tobacco leaves with different maturity [J]. Chinese Tobacco Science, 2008, 29(2): 5-8.
- [6] 朱金峰,李广良,黄海棠. 不同成熟度烟叶烘烤过程中叶片组织结构和形态的变化[J]. 江西农业学报,2011,23(7):53-56.
Zhu J F, Li G L, Huang H T. Changes in tissue structure and morphology of tobacco leaves during curing of tobacco leaves with different maturities [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2011, 23(7): 53-56.
- [7] 胡静,杨秋云,严宁,等. 环境和遗传对烟草叶片结构的影响[J]. 植物分类与资源学报,2014,36(1):70-76.
Hu J, Yang Q Y, Yan N, et al. Environmental and genetic effects on leaf traits in tobacco [J]. Plant Diversity and Resources, 2014, 36(1): 70-76.
- [8] 张志亮,刘国东,张富仓,等. 植物叶片导水率的研究进展[J]. 生态学杂志,2014,33(6):1663-1670.
Zhang Z L, Liu G D, Zhang F C, et al. Research progress of plant leaf hydraulic conductivity [J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(6): 1663-1670.
- [9] 刘雷,马炎,梁宇,等. 四川地方晾晒烟品种叶面形状分析[J]. 中国烟草学报,2011,17(3):53-57.
Liu L, Ma Y, Liang Y, et al. Analysis of leaf shape in air-cured tobacco grown in Sichuan [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011, 17(3): 53-57.
- [10] 宫长荣,王晓剑,马京民,等. 烘烤过程中烟叶的水分动态与生理变化关系的研究[J]. 河南农业大学学报,2000,34(3):229-231.
Gong C R, Wang X J, Ma J M, et al. Study on the moisture content change and physiological mechanism in tobacco leaf during flue-curing process [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2000, 34(3): 229-231.
- [11] 赵钰钦,宫长荣,汪耀富,等. 不同烘烤条件下烟叶失水规律的研究[J]. 河南农业大学学报,1995,29(4):282-287.
Zhao M Q, Gong C R, Wang Y F, et al. Water loss characteristics of tobacco leaves during flue curing under different curing conditions [J]. Journal of Henan Agricultural University, 1995, 29(4): 282-287.
- [12] 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 F, Luo H X, Huang G, et al. The relationship between dehydrating regulation and backing effect of network loose-leaf bulk curing of low leaves [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(2): 417-425.
- [13] 王正刚,孙敬权,唐经祥,等. 充分发育烟叶失水特性及烘烤失水调控初报[J]. 中国烟草科学,1999(2):3-6.
Wang Z G, Sun J Q, Tang J X, et al. Study on characteristics and control of fully developed tobacco leaf desiccation in curing process [J]. Chinese Tobacco Science, 1999(2): 1-4.
- [14] 任一鹏,简彬,方力,等. 3个烤烟品种在烘烤过程中色素和水分含量的变化[J]. 安徽农学通报,2010,16(3):79-81, 181.
Ren Y P, Jian B, Fang L, et al. Study on the change of content of pigment and water in flue-curing process of flue-curing tobacco [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2010, 16(3): 79-81, 181.
- [15] 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 J H, Chen J H, Song Z P, et al. Changes in states and physical properties of tobacco leaves during curing in different curing barns [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2010, 38(6): 109-114.
- [16] 宫长荣,周义和,杨焕文. 烤烟三段式烘烤导论[M]. 北京:科学出版社,2006.
Gong C R, Zhou Y H, Yang H W. An introduction to the three stage flue curing of flue cured tobacco [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [17] 王能如,李章海,徐增汉,等. 烘烤过程中上部叶片厚度及解剖结构的变化[J]. 烟草科技,2005(9):29-31.
Wang N R, Li Z H, Xu Z H, et al. Changes of thickness and dissecting structure of upper leaves of flue-cured tobacco during curing [J]. Tobacco Science & Technology, 2005(9): 29-31.
- [18] 聂恭邦,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 R B, Tang J W. 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.
- [19] 付鑫钟,任竹,李小玲,等. 赤霉素对烟叶生理特性及产量和质量的影响[J]. 广东农业科学,2006(6):23-25.
Fu X Z, Ren Z, Li X L, et al. Effect of gibberellic acid on physiological characteristics, yield and quality of tobacco leaves [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2006(6): 23-25.
- [20] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
Li H S. Modern plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [21] 李浩亮. 植物生长物质对烤烟上部叶生理特性及产量品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2006.
Li H L. Effect of plant growth substance on physiological characteristic, curing characteristic and interior quality at the upper leaf of flue-cured tobacco [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2006.

cultural University,2006.

[22] 李卫芳,张明农,林培章,等. 烟叶烘烤过程中呼吸速率和脱水速率的变化 [J]. 南京师大学报(自然科学版),2000,23(4):112-115.

Li W F,Zhang M N,Lin P Z,et al. Variation of the respiratory rate and drying rate during the flue curing of tobacco [J]. Journal of Nanjing Normal University(Natural Science Edition),2000,23(4):112-115.

(上接第 7 页)

[40] McCord J M,Fridovich I. Superoxide dismutase: an enzyme function for erythrocuprein (Hemocuprein) [J]. J Biol Chem, 1969,224:6049-6055.

[41] 毕相东. 小球藻与优势共栖异养细菌间的相互作用及其对细菌群体感应信号分子的响应 [D]. 山东青岛:中国海洋大学,2013.

Bi X D. Ecological effects between *Chlorella vulgaris* and dominant associated heterotrophic bacteria and response to quorum sensing signal molecules [D]. Qingdao,Shandong: Ocean University of China,2013.

[42] 徐少辉. *L*-肉碱对产蛋鸡生产性能及抗氧化机能的影响 [D]. 北京:中国农业科学院,2011.

Xu S H. Effects of *L*-carnitine on performance and antioxidant capacity in laying hens [D]. Beijing:Chinese Academy of

Agricultural Sciences,2011.

[43] Joanna K,Joanna S,Barbara W. *L*-carnitine protects plasma components against oxidative alterations [J]. Nutron,2011, 27:693-699.

[44] 孙惟佳. 左卡尼汀对卵巢颗粒细胞抗氧化作用的影响 [D]. 南宁:广西医科大学,2012.

Sun W J. The antioxidative effects of *L*-carnitine on human ovarian granulosa cells [D]. Nanning: Guangxi Medical University,2012.

[45] Sharma P,Dubery R S. Involvement of oxidative stress and role of antioxidative defense system in growing rice seedlings exposed to toxic concentrations of aluminum [J]. Plant Cell Reports,2007,26(11):2027-2038.