

网络出版时间:2017-03-31 16:08

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.05.011

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170331.1608.022.html

不同移栽期对烟叶烘烤特性的影响

周振超¹, 邓世媛¹, 钟俊周², 文国宇², 李俊业¹, 黄跃鹏², 陈杰², 陈建军¹

(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2 广东烟草韶关市有限公司, 广东 韶关 512000)

【摘要】【目的】探讨不同移栽期对烟叶烘烤特性的影响,为密集烘烤工艺的优化和完善提供理论依据。【方法】以始兴烟区常规移栽期(2月20日)为参照,设置4个不同移栽期处理,研究密集烘烤过程中不同移栽期烟叶的水分、叶绿素和类胡萝卜素、丙二醛(MDA)含量和多酚氧化酶(PPO)活性的变化状况及烤后烟叶的经济性状。【结果】移栽期对烟叶烘烤特性的影响十分显著。4个处理中,2月13日(提早移栽)、2月20日(常规移栽期)移栽的烟叶在烘烤过程中各观察阶段失水速率相对接近各自72 h内失水速率的平均值,失水均衡性好,且2个处理叶绿素在变黄期降解量较大(分别为92.38%,90.70%)、降解速率较快(分别为1.925,1.889%/h),烟叶失水与变黄协调性较好。2月13日移栽的烟叶在烘烤过程中PPO活性保持最低(4.652 U/g),并且在定色初期温度升高时仍然保持最低的PPO活性(5.12 U/g);而2月27日移栽的PPO活性最高(6.242 U/g),在烘烤中易出现褐变现象,耐烤性较差。2月13日移栽的烟叶膜脂过氧化水平最低,MDA积累少且慢。在经济性状方面,随着移栽时间的推迟,各处理的产量逐渐增加,但是中上等烟的比例显著降低,其中2月13日移栽烟叶的产值(46 024.85元/hm²)和中上等烟比例(86.78%)最高,经济效益最好。【结论】始兴烟区在传统移栽期基础上适当提早移栽(2月13日)可以改善烟叶烘烤特性,获得更好的经济性状;推迟移栽和过度推迟移栽的烟叶烘烤特性均较差,烟叶质量显著降低。

【关键词】 烤烟;移栽期;烘烤特性

【中图分类号】 S572.01

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)05-0073-08

Effects of transplanting date on curing characteristics of flue-cured tobacco

ZHOU Zhenchao¹, DENG Shiyuan¹, ZHONG Junzhou², WEN Guoyu²,
LI Junye¹, HUANG Yuepeng², CHEN Jie², CHEN Jianjun¹

(1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

2 Shaoguan Municipal Tobacco Company, Shaoguan, Guangdong 512000, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of different transplanting periods on curing characteristics of flue-cured tobacco to provide reference for optimization and improvement of the bulk-curing processing and to enrich the theory of flue-cured tobacco curing technology. 【Method】 A field experiment with 4 different transplanting dates was conducted in tobacco planting areas in Shixing with the local transplanting date (February 20) as reference. The changes of water content, chlorophyll, carotenoid, MDA content and PPO activity at leaf-drying stage in the bulk-curing barn, as well as the economic characters of cured tobacco leaves were analyzed. 【Result】 The effect of transplanting date on baking characteristics of tobacco leaves was significant. Dehydrating rates of tobacco leaves transplanted in February 13 and those transplanted in local conventional date (February 20) at different stages during the curing process were

【收稿日期】 2016-03-25

【基金项目】 广东省烟草专卖局(公司)科技项目(201101, 201209, 201202, 201311, 201312)

【作者简介】 周振超(1989—),男,河南安阳人,在读硕士,主要从事烟草栽培生理研究。E-mail: zzc365t@163.com

【通信作者】 陈建军(1965—),男,湖北黄梅人,教授,博士,主要从事烟草栽培与品质生理研究。E-mail: chenjianjun@scau.edu.cn

closer to average of the whole process compared to others. Thus, the tobacco transplanted in February 13 and those transplanted in local conventional date had better dehydrating balance. The degradation of chlorophyll in tobacco leaves transplanted in February 13 and February 20 was larger (92.38% and 90.70%), and the degradation rate was faster (1.925 and 1.889 %/h), indicating better dehydrating and yellowing characteristics. During the curing process, PPO activity in the tobacco leaves transplanted in February 13 kept the lowest (4.652 U/g), while delayed transplanting leaves (transplanted in February 27) was the highest (6.242 U/g). The browning phenomenon also appeared premature and the resistance to baking was worse. Apart from this, the tobacco leaves transplanted in February 13 maintained a lower membrane lipid oxidation level with less and slower MDA accumulation. In terms of economic characters, as the transplanting time delays, the yield of each treatment increased gradually, but the ratio of upper-middle class tobacco leaves was significantly reduced. The flue-cured tobacco transplanted in February 13 possessed the highest average price of tobacco leaves (46 024.85 yuan/hm²) and ratio of upper class tobacco (86.78%), showing largest economic benefits. 【Conclusion】 The tobacco should be transplanted in advance (in February 13) in tobacco-growing regions of Shixing to improve curing potential for better yield and quality. The tobacco leaves with delayed transplanting and excessive delayed transplanting had worst curing properties and led to worse economic characters.

Key words: flue-cured tobacco; transplanting date; curing characteristics

烟叶烘烤特性是影响烤后烟叶质量的重要内在因素之一。在烟叶烘烤过程中,不同素质的烟叶对温度、湿度和时间的要求不同^[1]。在实际烤烟生产中,由于没有重视对烟叶烘烤特性地位的认识,也没有采取配套的烘烤工艺,在密集烘烤条件下烟叶常出现挂灰、烤青和烤后烟叶等级质量不高等问题^[2],降低了烟农的经济收益及其工业可用性。因此,研究密集烘烤条件下烟叶烘烤特性,对制定和完善密集烘烤工艺和提高烤后烟叶产质量具有重要意义。

移栽是影响优质烤烟生产的关键环节之一。在东南烟区,烟苗易遇到低温阴雨、光照不足的天气,如移栽过早,会导致花芽分化过早而出现早花,造成有效叶数减少,叶片增厚,含水量较少,难以烘烤;如移栽过迟,烟苗则会由于前期温度高、光照足导致生长加快,干物质积累少,中下部叶片变薄^[3]。不同的移栽期,实质上是通过改变烤烟大田生长期间所处的光、温和降雨量等气候条件而影响烤烟的生长发育特性^[4],并表现在烟叶烘烤特性上,最终对烟叶产量和质量产生明显作用。在我国发展密集烤房群实行专业化烘烤技术背景下,许多烟农对烟叶烘烤特性了解不多,移栽时间跨度大,形成同一种烟大户在移栽期上的不一致,而不同时期移栽的烟叶烘烤特性不同,却采用同一烘烤工艺进行调制,势必影响烤后烟叶质量一致性。迄今为止,国内外对烤烟移栽期的研究多集中在烤烟生长发育^[5]、经济性状^[6]和烤后烟叶化学成分^[7]等方面,但对移栽期与烟叶烘

烤特性之间关系的研究报道极少,也不系统^[8-9]。为此,本研究采用大田试验方法,在密集烘烤条件下,针对不同移栽期下烟叶失水特性、色素、多酚氧化酶活性、丙二醛含量等指标进行动态研究,旨在探明不同移栽期对浓香型烟叶烘烤特性及其产质量的影响,以期对密集烘烤工艺的优化和完善提供依据,这也对丰富烤烟调制技术理论具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验于 2013—2014 年在广东省韶关市始兴县马市镇安水村进行。该试验区属中亚热带季风湿润区,平均气温 20.1℃,雨量充沛,降雨量为 1 701 mm,平均日照时数为 1 582.7 h,太阳辐射总量 4 336.7 MJ/m²;烟叶生长期(3 月—7 月)平均温度为 24.9℃,该区域适合烟叶种植,是广东省优质烟叶产区之一。供试土壤为牛肝土,前茬为水稻,土壤基本理化性状为:pH 7.16,有机质含量 2.65%,全氮含量 0.18%,全磷含量 0.13%,全钾含量 2.93%,碱解氮含量 98.12 mg/kg,速效磷含量 20.19 mg/kg,速效钾含量 70.65 mg/kg。

1.2 试验材料与试验设计

供试品种为 K326,采用漂浮育苗技术培育烟苗,于 2013 年 11 月 23 日播种育苗。

采用随机区组试验设计,以移栽期为试验因素,设置 4 个处理:2014 年 2 月 13 日(处理 A:提早移

栽)、2014年2月20日(处理B:常规移栽期)、2014年2月27日(处理C:推迟移栽)、2014年3月6日(处理D:过度推迟移栽)。每处理重复3次,共计12个小区。每小区种植烤烟75株,采用膜下小苗移栽技术进行移栽,株行距为0.6 m×1.2 m,四周设2行保护行,共计1 000株。田间试验于2月~7月进行,5月1日~5月5日打顶,每株留叶数为18片,5月28日开始采收,7月10日全部采收完毕。其他栽培措施按当地优质烟叶生产技术规范进行。

1.3 烘烤条件与取样方法

采用2011年建造的4 m(长)×2.7 m(宽)卧式密集烤房,用三段式烘烤工艺进行烘烤。选取4个处理的中部叶(自下而上第10~12叶位)为供试材料,分别于开始烘烤前及开烤后12,24,36,48,60,72 h各取样2份:一份切去叶尖和叶基部各1/3区域,留叶中部用于色素、多酚氧化酶和丙二醛含量的测定;另一份去除主脉用于测定烟叶水分。

1.4 测定项目及方法

(1)烟叶水分含量测定采用杀青烘干法^[10],失水量、失水速率的计算公式如下:

$$\text{失水量} = \text{烘烤 } 0 \text{ h 烟叶含水量} - \text{该时期烟叶含水量};$$
$$\text{失水速率} = (\text{该时期失水量} - \text{前一时期失水量}) / 12。$$

(2)叶绿素和类胡萝卜素含量测定采用乙醇丙酮法^[11],色素降解速率计算公式如下:

$$\text{色素降解速率} = (\text{该时期色素降解量} - \text{前一时期色素降解量}) / 12。$$

(3)多酚氧化酶(PPO)活性测定采用邻苯二酚氧化法^[12],以1 min内OD_{398 nm}值变化1时为1个酶活力单位(U);丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法^[13]。

(4)收获时各小区随机取20株烟叶进行计产,烤后烟叶按照国家烤烟分级标准(GB 2635—1992)进行分级,各级别烟叶价格按照当地烟叶收购价格,计算产量、产值、均价、下等烟和中上等烟比例。

1.5 统计分析方法

参照冷寿慈《生物统计与田间实验设计》(1992年),利用SPSS21.0软件进行试验数据的方差分析,利用OriginPro 8.1进行图表的生成。

2 结果与分析

2.1 不同移栽期烟叶含水量和失水速率的变化

烘烤过程中烟叶水分的动态控制与烟叶的形态

变化、内含物的分解转化直接相关,甚至决定着烤后烟叶的质量^[14-15]。由表1可知,不同处理烟叶含水量有显著性差异,处理D的鲜烟叶含水量显著大于其他处理。在密集烘烤过程中,随着烘烤时间的推移,各处理烟叶的失水量和失水速率差异也较大,失水特性存在明显不同。在变黄初期(12 h),各处理的失水量和失水速率逐渐增大,处理D失水量最高,达到5.85%,失水速率为0.488 %/h。至24 h,处理A和处理B的烟叶失水速率显著加大,增加幅度分别为69.01%和18.56%;而处理C、D的烟叶失水速率相比烘烤12 h明显减小。至变黄中期(36 h),与其他处理相比,处理A依旧保持较高的失水速率。进入定色初期(60 h)各处理的烟叶失水速率明显加快,其中处理C和处理D的失水速率增加较快,分别从烘烤48 h的0.204,0.444 %/h升高到1.987,2.093 %/h。至72 h时,处理A的烟叶含水量只有29.94%,显著小于其他处理。

从整个烘烤过程来看,处理A的烟叶前72 h平均失水速率为0.601 %/h,随着烘烤的进行,失水速率先缓慢上升,在烘烤60 h达到峰值,之后轻微减弱,并且各阶段的失水速率均接近于平均水平,波动较小;处理B的失水速率变化规律与处理A类似,但在烘烤36 h时,失水速率变慢,而后再缓慢升高。处理C和处理D虽然在变黄初期有较高的失水速率,进入变黄中期后却保持较低的失水速率,在烘烤60 h时,失水速率骤然加大,为褐变反应提供了有利条件。

2.2 不同移栽期烟叶色素含量的变化

烟叶中的质体色素主要包括叶绿素和类胡萝卜素。随着烘烤的进行,烟叶的叶绿素和类胡萝卜素都处于不断降解的过程^[16],其降解产物是烟叶香气成分的重要来源之一,对品质有重要影响^[17]。从图1可以看出,不同移栽期处理对鲜烟叶叶绿素含量及烘烤过程中叶绿素降解速率有显著影响。鲜烟叶中叶绿素含量随着移栽时间的推移而升高,表现为提早移栽的烟叶(处理A) < 当地常规时间移栽(处理B) < 推迟移栽(处理C) < 过度推迟移栽(处理D)。变黄前中期(0 h~36 h)各处理的叶绿素降解速率逐渐升高,处理A的叶绿素降解量最大,降解较快,明显大于其他处理。至烘烤36 h,处理A、处理B、处理C的降解速率达到最大值,而处理D的叶绿素降解速率于烘烤48 h达到峰值,比其他处理达到峰值的时间晚约12 h。进入定色期后,各处理的降解速率逐渐减弱。变黄期是叶绿素降解的主要时期,处理A和处理B的叶绿素在烘烤0~48 h的降

解量分别为 92.38%和 90.70%，显著大于处理 C 的 82.10%，处理 D 的降解量最小，为 72.92%。

表 1 密集烘烤过程中不同移栽期烟叶含水量和失水速率的变化(不含主脉)

烘烤时间/h Flue-curing time	处理 Treatment	含水量/% Water content	失水量/% Water loss	失水速率/(%·h ⁻¹) Rate of water loss
0	A	80.42±0.954 b	0	0
	B	84.41±0.402 b	0	0
	C	83.74±0.324 b	0	0
	D	86.27±0.648 a	0	0
12	A	76.68±0.578 b	3.75±0.064 c	0.313±0.004 c
	B	79.23±0.612 a	5.17±0.092 b	0.431±0.009 b
	C	78.25±0.578 ab	5.45±0.085 a	0.454±0.008 b
	D	80.35±1.156 a	5.85±0.109 a	0.488±0.011 a
24	A	70.30±0.351 c	10.12±0.029 b	0.529±0.009 a
	B	73.10±0.668 b	11.31±0.075 a	0.511±0.010 a
	C	75.50±0.459 a	8.24±0.034 d	0.229±0.008 c
	D	76.90±0.612 a	9.37±0.084 c	0.287±0.010 b
36	A	63.12±0.419 d	17.28±0.109 a	0.598±0.012 a
	B	68.12±0.135 c	16.28±0.081 b	0.415±0.009 b
	C	71.35±0.247 b	12.35±0.074 c	0.346±0.008 c
	D	74.23±0.351 a	11.97±0.095 c	0.223±0.012 d
48	A	54.70±0.512 c	25.70±0.121 a	0.702±0.011 a
	B	60.50±0.657 b	23.90±0.168 a	0.635±0.012 a
	C	68.90±0.694 a	14.80±0.174 c	0.204±0.014 c
	D	68.90±0.481 a	17.30±0.056 b	0.444±0.009 b
60	A	41.90±0.419 b	38.50±0.105 b	1.067±0.051 c
	B	45.49±0.713 a	38.91±0.198 b	1.251±0.075 b
	C	45.13±0.493 a	38.57±0.106 b	1.987±0.061 a
	D	43.78±0.517 a	42.42±0.123 a	2.093±0.051 a
72	A	29.94±0.159 c	50.46±0.094 a	0.997±0.084 a
	B	33.80±0.151 b	50.60±0.108 a	0.974±0.091 a
	C	34.68±0.107 b	49.02±0.094 b	0.871±0.085 a
	D	36.97±0.217 a	49.23±0.102 ab	0.568±0.092 b

注:同列内不同小写字母表示在 5%水平上差异显著。下表同。
Note: Different letters indicate significant difference at 5% level. The same below.

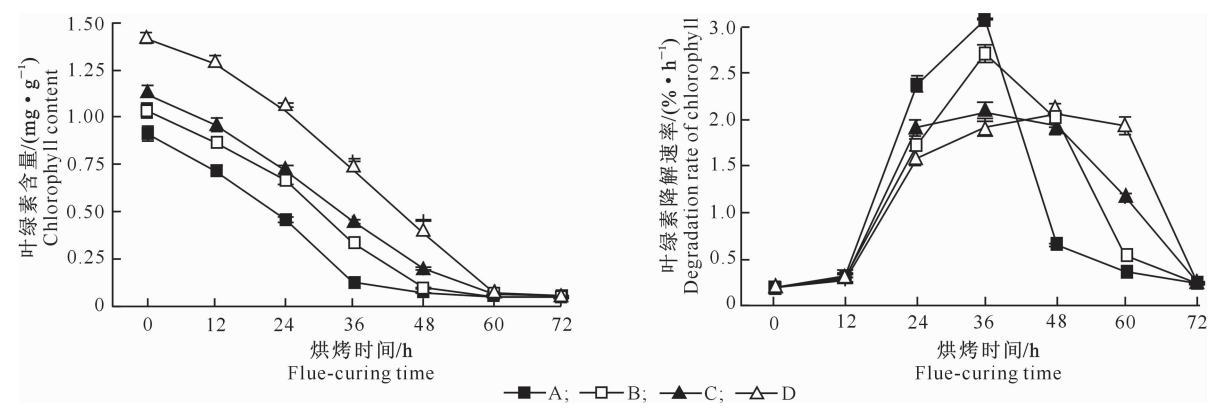


图 1 密集烘烤过程中不同移栽期烟叶叶绿素含量及其降解速率的变化

Fig.1 Changes of chlorophyll content and degradation rate in tobacco leaves during curing process

图 2 表明,不同移栽期鲜烟叶类胡萝卜素含量随移栽时间的推迟而升高。烘烤过程中类胡萝卜素的降解与叶绿素不同,随着移栽时间的改变呈现不同的变化趋势。处理 A 的类胡萝卜素降解速率在烘烤 24 h 出现峰值,而处理 B、C、D 在烘烤 36 h 出现降解速率最大值,之后逐渐降低,在 72 h 处理 D

依旧保持较高的降解速率,为 0.494 %/h,显著大于处理 C 的 0.388 %/h;处理 B 次之,为 0.240 %/h;处理 A 最小,为 0.114%/h。此时,处理 A 的类胡

萝卜素降解量最少,显著小于处理 B,而处理 C 和处理 D 的类胡萝卜素降解量相对较大。

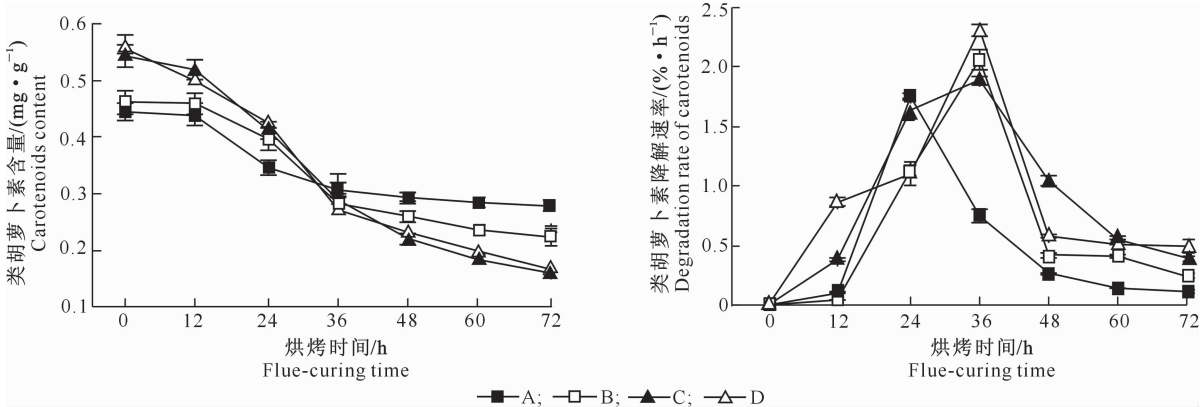


图 2 密集烘烤过程中不同移栽期烟叶类胡萝卜素含量及其降解速率的变化

Fig. 2 Changes of carotenoids content and degradation rate in tobacco leaves during curing process

2.3 不同移栽期烟叶 PPO 活性的变化

PPO 活性与酶促褐变关系密切,PPO 活性过高会降低烟叶的品质^[18]。图 3 表明,随着移栽期的推迟,鲜烟叶中的 PPO 活性逐渐增大;各处理的 PPO 活性从烘烤开始后逐渐降低,在变黄中期(36 h)达到第 1 次低谷,此后各处理的 PPO 活性开始升高,在 48 h 各处理的 PPO 活性达到峰值,之后呈明显降低趋势。变黄末期到定色初期(烘烤 48 h)是酶促

棕色反应的敏感期,处理 A 的 PPO 活性最小,为 5.197 U/g,显著小于其他处理,其次为处理 B,处理 C 和处理 D 较大。

在整个烘烤过程中,提早移栽的烟叶中 PPO 活性均小于其他处理,当地常规时间移栽烟叶 PPO 活性均值为 5.623 U/g,显著小于推迟移栽(6.242 U/g)和过度推迟移栽(5.971 U/g)。

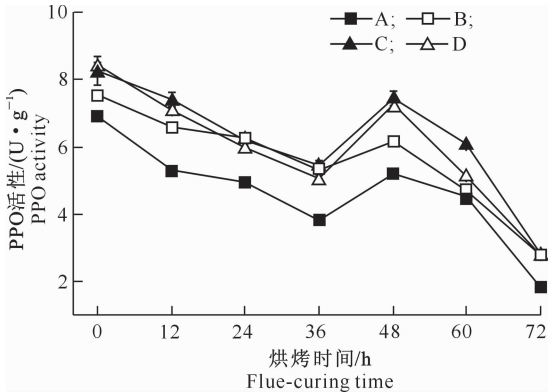


图 3 密集烘烤过程中不同移栽期烟叶 PPO 活性的变化

Fig. 3 PPO activity changes in tobacco leaves with different transplanting dates during curing process

2.4 不同移栽期烟叶 MDA 含量的变化

MDA 是膜脂过氧化反应的最终产物,其含量能够反应烟叶细胞的膜脂过氧化水平^[19]。烟叶烘烤调制过程中,细胞衰老速度影响着烟叶内化学物质分解转化,最终影响着烤后烟叶质量。由图 4 可知,随着烘烤的进行,不同移栽期烟叶中 MDA 含量

图 4 密集烘烤过程中不同移栽期烟叶 MDA 含量的变化

Fig. 4 Changes of content of MDA in tobacco leaves with different transplanting dates during curing process

逐渐增加,在变黄前中期缓慢升高,进入定色期后快速增加。在鲜烟叶中,各处理的 MDA 含量差异不明显,随着烘烤的进行,在变黄初期(0~24 h)处理 C 的 MDA 含量明显增加。在定色中期(72 h),与处理 A 相比,处理 C、D 中 MDA 含量较大,且处理 C 中 MDA 含量显著高于处理 D,这可能是由于进入

定色期后,烟叶大量失水,失水逆境造成膜脂过氧化水平升高使 MDA 含量增加。

从整个过程来看,提早移栽烟叶中 MDA 含量最少,其次是当地常规时间移栽的烟叶,而推迟移栽和过度推迟移栽的烟叶中 MDA 含量较高。

2.5 不同移栽期烤后烟叶的经济性状

产量、产值、均价、中上等烟比例是烟叶的主要经济性状,它们综合反映了烟叶质量和经济效益。从表 2 可以看出,处理 D 的产量最高,达到 2 165.08

kg/hm²,其次是处理 C 和 B,A 最小,为 2 008.73 kg/hm²;处理 C 除了产值外,其他经济指标与处理 B 差异不明显,而处理 A 产值、均价最高。移栽期对烤烟中上等烟比例有显著影响,其中,处理 A 的中上等烟比例最高,为 86.78%,随着移栽时间的推迟,中上等烟比例显著降低。综合分析,在本试验条件下,提早移栽能取得较好的产质量,其中均价和上等烟比例最高,经济效益最优。

表 2 不同移栽期对烤后烟叶经济性状的影响
Table 2 Effects of different transplanting dates on economic characters of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	产值/(元·hm ⁻²) Output	均价/(元·kg ⁻¹) Average price	下等烟比例/% Ratio of inferior quality tobacco leaves	中上等烟比例/% Ratio of high and middle quality tobacco leaves
A	2 008.73±24.66 b	46 024.85±144.03 a	22.91±0.81 a	13.22±0.34 c	86.78±0.34 a
B	2 088.44±49.13 ab	43 940.78±96.31 b	21.04±0.12 b	15.33±0.15 b	84.67±0.15 b
C	2 134.57±31.50 ab	41 346.62±120.12 c	19.37±0.67 b	15.14±0.82 b	84.86±0.82 b
D	2 165.08±50.91 a	44 210.93±124.69 b	20.42±0.36 b	17.76±0.72 a	82.24±0.72 c

3 讨 论

影响烟叶烘烤特性的因素很多,如品种、气候条件、烤房类型、栽培条件等^[20],这些因素在一定程度上都会影响烟叶烘烤质量。烤烟移栽期的不同,使烤烟生长发育期间的光照、积温和降水等气候因素产生差异^[21],气候资源配置的不同必然会引起烟叶烘烤特性的变化。因此在密集烘烤条件下,不同移栽期的烟叶中水分含量、色素降解速率、酶活性等呈现不同的变化规律。

本研究结果表明,不同移栽期烟叶在烘烤过程中的水分动态呈现前期失水少,失水速度慢;中期失水多,失水速度快的特点。宫长荣等^[22]和谢鹏飞等^[23]也得到类似的研究结果。黄维^[24]研究表明,烟叶含水量及其在烘烤过程中的变化动态,是研究烟叶烘烤特性及烘烤方法的重要依据之一。不同移栽期烟叶失水特性的差异主要体现在变黄阶段和定色阶段失水速率的均衡上,提早移栽和当地常规时间移栽的烟叶在烘烤过程中各阶段失水速率接近于平均速率;当地常规时间移栽的烟叶在烘烤开始时失水速率缓慢增加,但在烘烤 36 h 时失水速率降低,小于烘烤 24 h 的失水速率,因此提早移栽烟叶失水特性要好于当地常规时间移栽烟叶。推迟移栽和过度推迟移栽的烟叶在变黄前期有较高的失水速率,在变黄中期失水速率减弱,在变黄后期和定色期失水速率显著加快,为棕色反应提供条件,导致烤后烟叶中杂色烟比例高,烟叶质量较差。

本试验结果表明,提早移栽的采后鲜烟叶中含有较少的叶绿素,并且在变黄期 0 h~48 h 叶绿素降解量达到 92.38%,具有较快的降解速率,而当地常规时间移栽的烟叶在变黄期的降解量为 90.70%,显著大于推迟移栽烟叶的降解量(82.10%)和过度推迟移栽的降解量(72.92%)。各处理烟叶叶绿素降解速率远远大于类胡萝卜素的降解速率,由此引起组织内色素比例的变化,即类胡萝卜素占色素总量的比例增加,从而使烟叶在外观上呈现黄色,这与孟可爱等^[25]和宋朝鹏等^[26]的研究基本一致。提早移栽的烟叶中类胡萝卜素的平均降解速率较慢,在烘烤 72 h 后含量为 0.279 6 mg/g,仍处于适宜范围^[27]。以上分析表明,提早移栽的鲜烟叶叶绿素含量稍低,在烘烤的变黄阶段,叶绿素的降解快,降解量大,具有较好的变黄特性,易烤性好;其次为当地常规时间移栽的烟叶;而推迟移栽的烟叶和过度推迟移栽的烟叶在烘烤中降解量最少,降解速率慢,烟叶很难变黄,变黄特性不理想,易烤性差。

韩锦峰等^[28]研究表明,烟叶的烘烤质量与鲜烟叶 PPO 活性有关,更重要的是与烘烤过程中 PPO 活性变化有关。推迟移栽和过度推迟移栽的鲜烟叶中 PPO 活性较高,表现为不耐熟,田间易出现焦尖烂叶现象,应及时采收;当地常规时间移栽的鲜烟叶中 PPO 活性处于中等水平,而提早移栽的鲜烟叶中 PPO 活性较弱,比较耐熟,可推迟采收提高成熟度。因此,对于推迟移栽和过度推迟移栽的烟叶,在收烟之前,可喷施一定量的 PPO 抑制剂来保证烟叶的质

量。宫长荣等^[29]研究表明,烘烤过程中烟叶 PPO 活性呈缓慢减弱的趋势,而本研究发现,不同移栽期烟叶的 PPO 活性在烘烤过程中呈“N”型变化趋势,可能是由于在定色初期温度突然增高导致烘烤 48 h 的 PPO 活性变大。在整个烘烤过程中,提早移栽的烟叶中 PPO 平均活性最小,并且在定色初期温度升高时,仍然保持较低的 PPO 活性,耐烤性最好,烤后烟叶中上等烟叶的比例最高。而推迟移栽和过度推迟移栽烟叶的 PPO 活性显著大于其他处理,在烘烤中过早的出现变褐现象。

MDA 是膜脂过氧化的产物。宫长荣等^[30]研究表明,叶绿素、不饱和脂肪酸含量的变化与 MDA 含量密切相关。李艳梅等^[31]认为,防止膜脂过氧化,降低 MDA 含量是提高烟叶品质的关键所在。随着烘烤的进行,各处理的 MDA 含量呈现上升趋势。在烘烤过程中提早移栽的烟叶膜脂过氧化水平较低,抗氧化酶类保持较高的活性并持续较长时间,烟叶的生命代谢活动持续时间较长,MDA 积累少且慢,有利于形成品质优良的烟叶。

在本试验中,提早移栽的烟叶在密集烘烤过程中具有较快的失水速率、变黄速率,特别是失水与变黄协调一致性好,有关酶活性处于适宜水平,这可能是因为提早移栽的烤烟能充分利用当地烟区气候资源,烤烟生长发育充分,生育进程时间分布合理,成熟采收处在适宜的环境条件下,形成内容物充实、素质好的鲜烟叶,具备良好的烘烤特性,从而提高烤后烟叶中上等烟比例,最终获得最高产值。

4 结 论

提早移栽(7 d)的烟叶在密集烘烤各时期失水速率适宜、均衡,失水特性好;叶绿素降解速率快,与失水速率协调一致,变黄特性好;烘烤期间 MDA 含量较低,表明细胞膜被烘烤破坏的进程较缓慢;PPO 活性较低,耐烤性好。烤后烟叶黄烟多,副组烟叶极少,中上等烟比例最高,产值高。这说明提早 7 d 移栽的烟叶烘烤特性最好。

在烘烤过程中,正常移栽的烟叶在烘烤各时期失水适宜、协调,失水速率较均衡,失水特性较好;叶绿素降解速率较快,烟叶变黄速率较快,变黄特性较好;烘烤期间 MDA 含量一般,细胞膜被烘烤破坏的进程也较慢;PPO 活性中等,耐烤性一般,烤后青杂烟中等,烘烤特性一般。

在烘烤过程中,推迟移栽(7 d)和过度推迟移栽(14 d)的烟叶在变黄前、中期失水速率较小,在变黄

后期和定色期失水速率突然加快,增大了褐变几率,失水特性差;色素降解量较少,变黄速率较差,易烤性较差;烘烤期间 PPO 活性高,定色较难,耐烤性差;MDA 含量较高,对温度较为敏感,细胞膜被烘烤破坏的进度快,烘烤特性明显变差。

本研究选取烘烤过程中的关键指标对烟叶烘烤特性进行判断和描述,不同移栽期会显著影响烟叶烘烤特性。在东南烟区烤烟生产中,应适当提早移栽,以保证形成烘烤特性好的烟叶,便于烟农取得较高的经济效益并提高其工业可用性。对于推迟移栽的烟叶,在烘烤中可适当延长变黄时间,保证叶绿素和类胡萝卜素的充分降解,提高变黄程度;在定色前期,应平稳增加烤房的升温速率,促进失水速率平稳变化,降低烟叶褐变机率。烟叶的烘烤特性与烟叶烘烤有着极为密切的关系,对于不同烘烤特性的烟叶,应该采取适合的烘烤工艺,才能充分显现、固定和改善烟叶田间所形成的潜在质量,对提高烟叶烘烤质量具有十分重要的意义。

【参考文献】

- [1] 杜树民. 烟叶烘烤特性浅谈 [N]. 经理日报, 1997-07-27(3).
Du S M. Brief talking about curing characteristics of flue-cured tobacco [N]. The Manager Daily, 1997-07-27(3).
- [2] 徐秀红, 孙福山, 王永, 等. 我国密集烤房研究应用现状及发展方向探讨 [J]. 中国烟草科学, 2008, 29(4): 54-56.
Xu X H, Sun F S, Wang Y, et al. Current situation and further direction on research and application of bulk curing barn in China [J]. Chinese Tobacco Science, 2008, 29(4): 54-56.
- [3] 刘德玉, 李树峰, 罗德华, 等. 移栽期对烤烟产量、质量和光合特性的影响 [J]. 中国烟草学报, 2007, 13(3): 40-46.
Liu D Y, Li S F, Luo D H, et al. Effects of transplanting timing on yield, quality and photosynthesis characteristics in flue-cured tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2007, 13(3): 40-46.
- [4] 田家乐. 区域气候对烟叶质量影响研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2013.
Tian J L. Study on the influence of regional climate on tobacco quality [D]. Chongqing: Southwest University, 2013.
- [5] 黄泽生, 林伟. 高山区不同播栽期对烤烟生长的影响 [J]. 现代农业科技, 2009(18): 11-12.
Huang Z S, Lin W. Effects of planting on the growth of flue-cured tobacco in mountainous area [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(18): 11-12.
- [6] 荐春晖, 袁治理, 刘荣田, 等. 不同移栽期对烤烟产量和质量的影响 [J]. 江西农业学报, 2012(10): 83-84.
Jian C H, Yuan Z L, Liu R T, et al. Effects of transplanting dates on the yield and quality of flue-cured tobacco [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012(10): 83-84.
- [7] 王克占, 孙伟奇, 王玉军. 不同移栽时间对烟草长势及烟叶产量、质量的影响 [J]. 山东农业科学, 2009(2): 48-49.

- Wang K Z, Sun W Q, Wang Y J. Effects of transplanting dates on the growth, yield and quality of flue-cured tobacco [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2009(2): 48-49.
- [8] 霍开玲, 江 凯, 贺 帆, 等. 鲜烟叶烘烤特性影响因素研究进展 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49(5): 1125-1128.
- Huo K L, Jiang K, He F, et al. Research advance in influencing factors on fresh tobacco curing characteristics [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(5): 1125-1128.
- [9] 王传义, 张忠锋, 徐秀红, 等. 烟叶烘烤特性研究进展 [J]. 中国烟草科学, 2009, 30(1): 38-41.
- Wang C Y, Zhang Z F, Xu X H, et al. Advance in leaf curing characteristics of flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(1): 38-41.
- [10] 王瑞新, 韩富根, 杨素琴, 等. 烟草化学品质分析法 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998: 37-170.
- Wang R X, Han F G, Yang S Q, et al. Tobacco chemistry quality analysis [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1998: 37-170.
- [11] 邹 琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 31-39.
- Zou Q. Guidance of plant physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 31-39.
- [12] 朱广廉, 钟文海, 张爱琴. 植物生理学实验 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1991.
- Zhu G L, Zhong W H, Zhang A Q. Plant physiology experiments [M]. Beijing: Peking University Press, 1991.
- [13] 白宝璋, 孔祥生, 王玉昆, 等. 植物生理学(下: 实验教程) [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- Bai B Z, Kong X S, Wang Y K, et al. Plant physiology guide (next volume: experimental course) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996.
- [14] 赵 兴. 关于烤烟三段式烘烤工艺及配套技术应用推广的几点意见 [J]. 中国烟草科学, 1997(3): 14-16.
- Zhao X. Suggestions on the application and promotion of the three-step baking process and related technologies [J]. Chinese Tobacco Science, 1997(3): 14-16.
- [15] 西 波. 烤烟三段式烘烤工艺 [J]. 农家参谋, 1995(4): 19.
- Xi B. Flue-cured tobacco three-step baking process [J]. The Farmers Consultant, 1995(4): 19.
- [16] 崔国民. 烟叶烘烤原理与工艺技术 [N]. 云南科技报, 2006-07-21(1): 26.
- Cui G M. Tobacco baking principle and process technology [N]. Yunnan Science and Technology Newspaper, 2006-07-21(1): 26.
- [17] 刘加红, 强继业, 徐建平, 等. 烤烟下部烟叶在烘烤过程中叶绿素的降解研究 [J]. 安徽农业科学, 2008(3): 1090-1092.
- Liu J H, Qiang J Y, Xu J P, et al. Study on the degradation of chlorophyll in lower leaves of flue-cured tobacco during curing process [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2008(3): 1090-1092.
- [18] 官长荣. 烟草调制学 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2003.
- Gong C R. Modulation theory of tobacco [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2003.
- [19] 周冀衡, 朱小平, 王彦亭, 等. 烟草生理与生物化学 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996.
- Zhou J H, Zhu X P, Wang Y T, et al. Tobacco physiology and bio-chemistry [M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 1996.
- [20] 岳伦勇, 朱列书, 廖雪芳, 等. 烟叶烘烤研究进展 [J]. 作物研究, 2013, 27(4): 411-415.
- Yue L Y, Zhu L S, Liao X F, et al. Progress in the study of tobacco baking [J]. Crop Research, 2013, 27(4): 411-415.
- [21] 陈建军, 吕永华, 王 维. 烟草品质生理及其调控研究 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2009: 65-97.
- Chen J J, Lü Y H, Wang W. Study on tobacco quality physiology and regulation of tobacco quality control [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2009: 65-97.
- [22] 官长荣, 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.
- [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 P F, Deng X H, Zhou Q M, et al. Changes of color, morphology and moisture of tobacco leaves during bulk curing and their relationship [J]. Crop Research, 2012, 26(5): 486-490.
- [24] 黄 维. 不同品种及部位烟叶烘烤过程中水分变化规律研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.
- Huang W. Changes of moisture content in tobacco leaves with different varieties and parts during bulk curing process [D]. Changsha: Journal of Hunan Agricultural University, 2009.
- [25] 孟可爱, 聂荣邦, 肖春生, 等. 密集烘烤过程中烟叶水分和色素含量的动态变化 [J]. 湖南农业大学学报, 2006, 32(2): 1007-1032.
- Meng K A, Nie R B, Xiao C S, et al. Changes of pigment and moisture content in cured tobacco leaves during bulk curing process [J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2006, 32(2): 1007-1032.
- [26] 宋朝鹏, 高 远, 武圣江, 等. 密集烘烤定色期烟叶类胡萝卜素降解及相关酶活性变化 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2875-2881.
- Song Z P, Gao Y, Wu S J, et al. The degradation mechanism of carotenoids in flue-cured tobacco and the changes of the related enzymes activities at leaf-drying stage during the bulk curing process [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(8): 2875-2881.

at early growing stage [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(3): 486-495.

[26] 贾晓红,余雪标,周再知,等. 缺素对柚木无性系幼苗生长和生理特性的影响 [J]. 热带作物学报, 2014, 35(1): 47-52.

Jia X H, Yu X B, Zhou Z Z, et al. Effects of different nutrient deficiency on growth and physiology of *Tectona grandis* Linn. clone seedlings [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(1): 47-52.

[27] Barrett D R, Jed F. Santalum album: kernel composition, morphological and nutrient characteristics of preparasitic seedlings under various nutrient regimes [J]. Annals of Botany, 1997, 79(1): 59-66.

[28] Trubat R, Cortin A J, Vilagrosa A. Plant morphology and root hydraulics are altered by nutrient deficiency in *Pistacia lentiscus* (L.) [J]. Trees, 2006, 20(3): 334-339.

[29] 王 忠. 植物生理学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.

Wang Z. Plant physiology [M]. Beijing: China Forestry Publishing, 2000.

[30] Sullivan W M, Jiang Z, Hull R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in *Kentucky bluegrass* [J]. Crop Science, 2000, 40(3): 765-772.

[31] 司东霞,胡树文,陈 清,等. 控释肥料不同用量对黄瓜幼苗生长及养分吸收的影响 [J]. 园艺学报, 2009, 36(1): 53-58.

Si D X, Hu S W, Chen Q, et al. Effects of seedling growth and nutrient uptake of cucumber with different rates of controlled release fertilize [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(1): 53-58.

[32] 曹 秀,夏仁学,张德健,等. 水培条件下营养元素对枳幼苗根毛发育及根生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1525-1530.

Cao X, Xia R X, Zhang D J, et al. Effects of nutrients on the seedlings root hair development and root growth of *Poncirus trifoliata* under hydroponics condition [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1525-1530.

[33] 刘延吉,田晓艳,曹敏建. 低钾胁迫对玉米苗期根系生长和钾吸收特性的影响 [J]. 玉米科学, 2007, 15(2): 107-110.

Liu Y J, Tian X Y, Cao M J. The effects of low potassium stress on root growth and potassium absorption of maize seedling [J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(2): 107-110.

[34] Gerardeaux E, Jordan-Meille L, Constantin J, et al. Changes in plant morphology and dry matter partitioning caused by potassium deficiency in *Gossypium hirsutum* (L.) [J]. Environmental and Experimental Botany, 2010, 67(3): 451-459.

(上接第 80 页)

[27] 李雪震,张希杰,李念胜,等. 烤烟烟叶色素与烟叶品质的关系 [J]. 中国烟草, 1988(2): 23-27.

Li X Z, Zhang X J, Li N S, et al. Relationship between tobacco leaf pigment and quality of flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 1988(2): 23-27.

[28] 韩锦峰,李荣兴,韩富根,等. 烤烟烘烤过程中多酚氧化酶活性变化规律的初步探讨 [J]. 中国烟草, 1984(3): 4-8.

Han J F, Li R X, Han F G, et al. Preliminary study on the change of polyphenol oxidase activity during bulk curing process [J]. Chinese Tobacco Science, 1984(3): 4-8.

[29] 宫长荣,王爱华,王松峰. 烟叶烘烤过程中多酚类物质的变化及与化学成分的相关分析 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(11): 2316-2320.

Gong C R, Wang A H, Wang S F. Changes of polyphenols in tobacco leaves during the flue-curing process and relative analysis of some chemical components [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(11): 2316-2320.

[30] 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, 6(1): 39-41.

Gong C R, Li Y M, Li C J. Relationship between lox activity and lipid peroxidation in tobacco leaf [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2000, 6(1): 39-41.

[31] 李艳梅,宫长荣,陈江华,等. 烟叶在烘烤过程中脂氧合酶、脱落酸与色素降解的关系 [J]. 中国烟草学报, 2001, 7(3): 46-48.

Li Y M, Gong C R, Chen J H, et al. Relationship between lipooxygenase, ABA and degradation of chlorophyll and carotenoid at curing in flue-cured tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2001, 7(3): 46-48.