

伏旱条件下中部烟叶烘烤工艺研究

陈勇华, 孙红权*, 田慧源*, 艾永峰, 史金钟, 龙鹏臻, 杨洪, 刘国权, 鲁博文, 刘红飞, 杨力, 付超, 杨振, 陈森, 柳太卫

贵州省烟草公司铜仁市公司, 贵州 铜仁

收稿日期: 2025年6月16日; 录用日期: 2025年7月15日; 发布日期: 2025年7月24日

摘要

为了探讨烘烤过程中水分调控对伏旱烟叶生化变化的影响。通过设置烘烤变黄期、定色期不同湿球温度, 分析了伏旱条件下中部叶烘烤过程中主要生化指标的动态变化及烤后烟叶品质。研究表明: 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程含水量、总糖、还原糖、蛋白质、K含量的变化影响较大, 对淀粉、烟碱、石油醚提取物影响不明显。采用烘烤工艺(关键干球温度38℃、42℃、47℃, 对应湿球温度分别为36.5℃、37℃、37℃/36.5℃)对云烟87中部叶进行烘烤时, 烟叶综合质量较好。

关键词

伏旱, 中部烟叶, 烘烤工艺, 生化变化

Research on the Flue-Curing Process of Tobacco Leaves in Middle Part under the Condition of Drought

Yonghua Cheng, Hongquan Sun*, Huiyuan Tian*, Yongfeng Ai, Jinzhong Shi, Pengzhen Long, Hong Yang, Guoquan Liu, Bowen Lu, Hongfei Liu, Li Yang, Chao Fu, Zhen Yang, Sen Chen, Taiwei Liu

Tongren Tobacco Company of Guizhou Province, Tongren Guizhou

Received: Jun. 16th, 2025; accepted: Jul. 15th, 2025; published: Jul. 24th, 2025

Abstract

To investigate the effect of moisture regulation on the biochemical changes of drought tolerant tobacco leaves during the baking process. By setting different wet bulb temperatures during the yellowing and color fixing periods, the dynamic changes of major biochemical indicators during the

*通讯作者。

文章引用: 陈勇华, 孙红权, 田慧源, 艾永峰, 史金钟, 龙鹏臻, 杨洪, 刘国权, 鲁博文, 刘红飞, 杨力, 付超, 杨振, 陈森, 柳太卫. 伏旱条件下中部烟叶烘烤工艺研究[J]. 农业科学, 2025, 15(7): 924-937. DOI: 10.12677/hjas.2025.157115

middle leaf baking process under drought conditions and the quality of tobacco leaves after baking were analyzed. The research results indicated that different roasting processes have a significant impact on the changes in moisture content, total sugar, reducing sugar, protein, and K content during tobacco roasting, while their effects on starch, nicotine, and petroleum ether extracts are not significant. When the Yunyan 87 mid-leaf was dried using the baking process (with key dry bulb temperatures of 38°C, 42°C, 47°C, corresponding to wet bulb temperatures of 36.5°C, 37°C, 37°C/36.5°C), the overall quality of the tobacco leaves was fairly good.

Keywords

Drought, Central Tobacco Leaves, Flue-Curing Technology, Biochemical Changes

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

烟叶烘烤过程实质上是合理控制烘烤环境的过程，其不同阶段合理的温湿度控制极大地影响着烤后烟叶质量。目前，有关烤烟烘烤过程温湿度对烟叶烤后品质影响的研究已有报道[1][2]，但针对伏旱气候条件下烟叶烘烤温湿度调控方面的研究报道较少[3][4]。干旱环境中生长的烟草，燃烧性较差，烟叶烟碱、蛋白质和其它含氮化合物含量高，劲头大烟味浓，吃味辛辣，香气质差[5]-[7]。铜仁是贵州省内夏旱最严重的地区[8]，铜仁烟区高温和干旱成为影响烤烟产量和品质的主要气象因素[9]，研究伏旱烟叶烘烤湿度对烤后烟叶质量的影响，可为伏旱烟叶烘烤提供理论与技术参考。

2. 材料与方法

2.1. 材料与方法

供试材料：云烟 87 中部叶。

试验地点：贵州省铜仁市印江县合水镇高寨村，地理位置为东经 108°55' 北纬 28°03'，平均海拔 700 米，土壤类型为黄壤，土壤肥力中等，前作空闲。

2.2. 主要栽培措施

统一采用育苗工场的烟苗并在 2021 年 4 月下旬移栽，种植密度 1100 株/667m²，留叶 21 片，施肥量为纯氮 7 kg/667m²，N:P₂O₅:K₂O = 1:1:2.3，基追肥比例为 6:4，其他栽培管理措施均按铜仁优质烤烟生产技术方案进行。

2.3. 试验设计

选取烟叶素质一致的烟叶，采用本试验设置的烘烤曲线进行烘烤，每隔 6 小时考察水分变化情况、干物质积累及化学成分变化规律。采用生物质密集烤房进行烘烤，在变黄期中、后期和定色前期三个关键稳温点设置不同湿球温度，共设置 6 个处理，一个处理三个重复，研究其对烤后烟叶质量的影响。

T1：变黄期中期干球温度 38°C，湿球温度 36.5 (干湿差温度设置为 1.5°C)、变黄后期干球温度 42°C，湿球温度 37°C (干湿差温度设置为 5°C)、定色期干球温度 47°C、湿球温度 36.5°C (10.5°C)；

T2：变黄中期干球温度 38°C，湿球温度 36.5°C (干湿差温度设置为 1.5°C)、变黄后期干球温度 42°C，湿球温度 37°C (干湿差温度设置为 5°C)、定色期干球温度 47°C，湿球温度 37°C (干湿差温度设置为 10°C)；

T3: 变黄中期干球温度 38℃, 湿球温度 36℃(干湿差温度设置为 2℃)、变黄后期干球温度 42℃, 湿球温度为 36.5℃(干湿差温度为 5.5℃)、定色期干球温度 47℃, 湿球温度 36.5℃(干湿差温度设置为 10.5℃);

T4: 变黄中期干球温度 38℃, 湿球温度 36℃(干湿差温度设置为 2℃)、变黄后期干球温度 42℃, 湿球温度 36.5℃(干湿差温度为 5.5℃)、定色期干球温度 47℃, 湿球温度 37℃(干湿差温度设置为 10℃);

T5: 变黄中期干球温度 38℃, 湿球温度 35.5℃、变黄后期干球温度 42℃, 湿球温度 36℃、定色期干球温度 47℃, 湿球温度 36.5℃;

T6: 变黄期干球温度 38℃, 湿球温度 35.5℃、变黄后期干球温度 42℃, 湿球温度 36℃、定色期干球温度 47℃, 湿球温度 37℃。(表 1)

Table 1. The temperature setting parameters for the mid- and later-stages of yellowing period and the fixation period during the tobacco leaves flue-curing process

表 1. 烟叶烘烤过程中变黄期中期、后期及定色期干湿球温度设置参数

处理	试验设置表	
	干球温度/℃	湿球温度/℃
T1	38	36.5
	42	37
	47	36.5
T2	38	36.5
	42	37
	47	37
T3	38	36
	42	36.5
	47	36.5
T4	38	36
	42	36.5
	47	37
T5	38	35.5
	42	36
	47	36.5
T6	38	35.5
	42	36
	47	37
对照	按当地烘烤曲线进行	

注：各处理除三个关键干球温度 38℃、42℃、47℃对应的湿球温度按此表进行设置外，其他时间段均按三段式烘烤曲线进行。

2.4. 试验取样

鲜烟叶绑杆前进行称重。每隔 6 h 取一次样(取样从烘烤开始至烘烤结束)，每次取 6 片叶，取样后称重，将称重后的样品剪去叶尖和叶基后分为两份，一份放入自封袋置于-20℃环境中保存用于酶活性测定；另一份烘箱 105℃杀青 15 min 后，80℃烘干称重后于自封袋中保存用于主要化学成分测定。

烘烤结束后，对烤后烟叶按国标 42 级进行分级，然后分别取综合样及 C3F 各 0.5 kg，用于化学成分

分析和评吸。

主要化学指标测定于贵州大学烟草学院实验室进行，评吸送样贵州中烟技术中心进行。

2.5. 分析测定项目及方法

- (1) 水分、干物质采用称重法测定。
- (2) 淀粉、总糖、还原糖采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定。
- (3) 总氮及蛋白质采用 H₂SO₄、H₂O₂ 消化法 - 靛酚蓝分光光度法测定。
- (4) 石油醚提取物采用石油醚浸提法测定。
- (5) 烟碱采用紫外分光光度计法测定。
- (6) K 采用火焰分光光度法测定。

2.6. 数据分析

数据分析采用 Excel 2010 软件进行。

3. 结果与分析

3.1. 不同烘烤工艺对伏旱烟叶烘烤过程主要化学成分的影响

3.1.1. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程含水量的影响

由图 1 可知，云烟 87 中部叶烘烤过程中各处理间含水率总体呈下降趋势。各处理烟叶成熟时含水量都在 78.2%~79.5%之间，除对照组外，其他处理在 30 h 以前，烟叶含水率在缓慢下降；30 h 之后，烘烤过程中干湿差越大，烟叶含水量下降越快。这表明在烘烤前期，干湿差对含水率下降影响较小，而后期干湿差的作用逐渐显现。

(1) 变黄期关键干球温度 38℃、42℃，干湿差为 2.5℃、6℃时，T5、T6 烟叶含水率下降最快，分别下降了 26.9、24.9 个百分点；干湿差最小的是对照组，烟叶含水量下降最慢，下降了 6.5 个百分点。

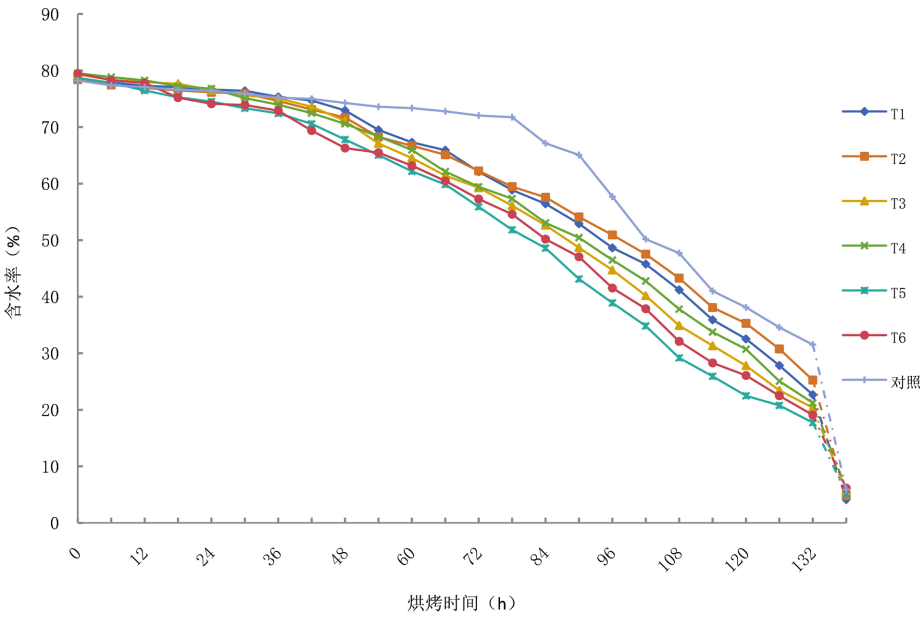


Figure 1. the variation pattern of moisture content in tobacco leaves under different treatments during the drought period
图 1. 伏旱烟叶不同处理间含水率变化规律

(2) 定色期烟叶含水率下降最快的是对照组, 下降了 40.2 个百分点, 其他处理定色期下降程度基本相同, 在 34.1~36.2 个百分点之间。

(3) 干筋期烟叶含水率下降最快的是对照组, 下降了 25.7 个百分点, 下降最慢的是 T5, 下降了 12.6 个百分点。

3.1.2. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程总糖含量的影响

由图 2 可知, 烟叶烘烤过程各处理总糖含量总体呈上升的趋势, 干湿差越小, 总糖含量增加越快, 此后总糖含量增加变缓。整个烘烤结束时, 各处理烟叶总糖含量在 25.77%~29.95%之间。其中, 烟叶总糖含量最高是 T2 为 29.95%, T5 最低为 25.77%。

(1) 变黄期对照干湿差最小, 总糖含量增加最快增加了 15.94 个百分点, T1、T2 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 1.5℃、5℃, 烟叶总糖含量增加较快, 分别增加了 15.90、15.78 个百分点。T3、T4 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 2℃、5.5℃, 烟叶总糖含量增加略慢, 分别增加了 12.77、13.74 个百分点。T5、T6 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 2.5℃、6℃, 烟叶总糖含量增加较慢, 分别增加了 9.91、10.33 个百分点。

(2) 定色期烟叶总糖含量增加变缓, 其干球关键温度点为 47℃时, 干湿差为 10℃, T5 总糖含量增加较快, 增加了 7.71 个百分点, 干湿差为 10.5℃时, T6 总糖含量增加较快, 增加了 8.57 个百分点。

(3) 干筋期各处理间总糖含量缓慢增加, 都在 0.95~2.81 个百分点之间。

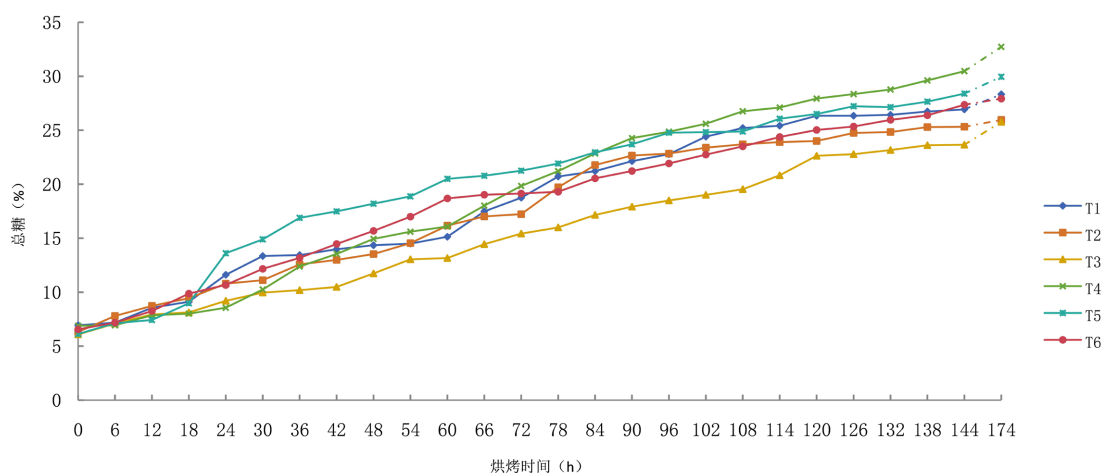


Figure 2. The influence of different flue-curing processes on the total sugar content of tobacco leaves

图 2. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程总糖含量的影响

3.1.3. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程还原糖含量的影响

由图 3 可知, 烟叶烘烤过程各处理还原糖含量总体呈上升的趋势。变黄期干湿差越小, 烟叶还原糖含量增加越快, 定色期干湿差越小, 烟叶还原糖含量增加越缓慢, 干筋期烟叶还原糖含量都变化不大。各处理烟叶还原糖含量在 22.93%~25.39%之间。其中, 烟叶还原糖含量最高是 T2 为 25.39%, T6 最低为 22.93%。

(1) 变黄期 T1、T2 在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 1.5℃、5℃, 烟叶还原糖含量增加较快, 分别增加了 12.99、12.79 个百分点, 对照组次之, 增加了 12.73 个百分点, T3、T4 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 2℃、5.5℃, 烟叶还原糖含量增加略慢, 分别增加了 10.85、10.95 个百分点。T5、T6 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 2.5℃、6℃, 烟叶还原糖含量增加较慢, 分别增加了 9.87、8.68 个百分点。

(2) 定色期各处理烟叶还原糖含量增加变缓。干球关键温度点为 47℃时,干湿差为 10℃,T5 总糖含量增加较快,增加了 7.03 个百分点,T1 增加较慢,增加了 4.09 个百分点。干湿差为 10.5℃时,T6 还原糖含量增加较快,增加了 6.37 个百分点,T2 增加较慢,增加了 4.50 个百分点。其中,对照还原糖含量增加介于各处理之间,增加了 4.67 个百分点。

(3) 干筋期各处理间还原糖含量缓慢增加,都在 0.82~2.26 个百分点之间。

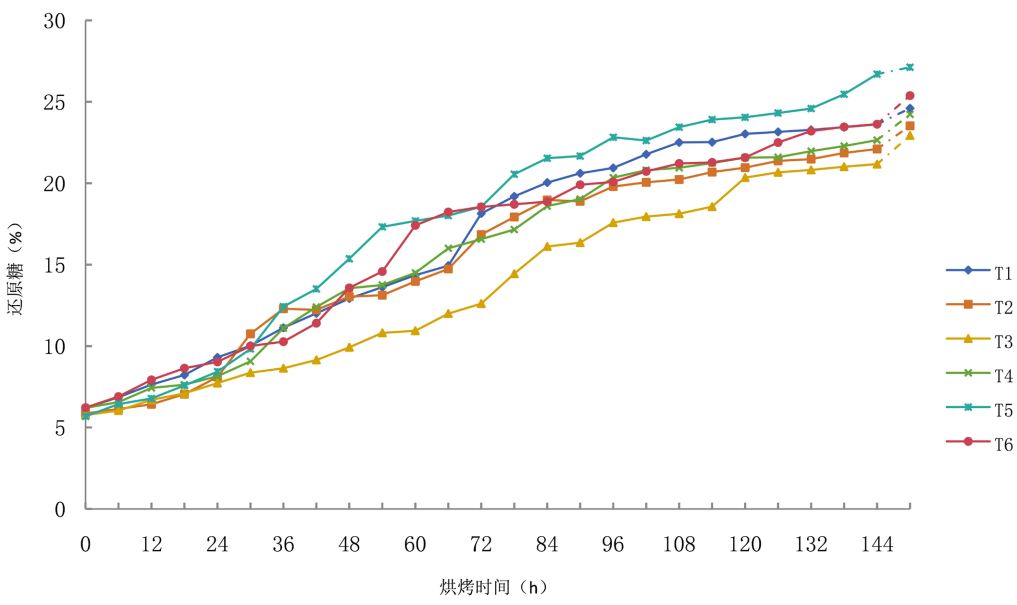


Figure 3. The influence of different flue-curing processes on the reducing sugar content of tobacco leaves
图 3. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程还原糖含量的影响

3.1.4. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程淀粉含量的影响

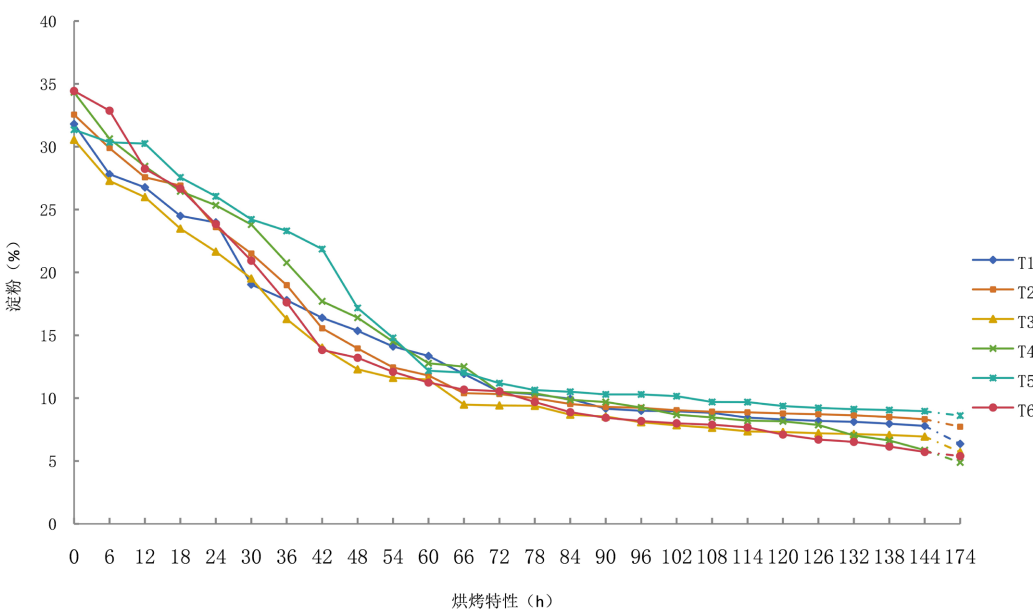


Figure 4. The influence of different flue-curing processes on the starch content of tobacco leaves
图 4. 不同处理烘烤过程中对淀粉含量的影响

由图 4 可知,随着烘烤时间的推进,各处理烟叶淀粉含量总体呈下降的趋势。整个烘烤过程中淀粉降解受干湿差的影响较小。烘烤结束后各处理烟叶淀粉含量在 4.83%~8.61%之间,烟叶淀粉含量最高是 T5 为 8.61%,对照最低为 4.83%。

(1) 变黄期各处理淀粉降解较快,但降解过程受干湿差的影响较小,各处理淀粉降解了 20.73~24.74 个百分点之间。

(2) 定色期各处理烟叶淀粉降解减缓,受干湿的影响较小,各处理淀粉降解了 1.19~3.35 个百分点之间。

(3) 干筋期各处理间淀粉缓慢降解,淀粉降解都在 0.90~2.15 个百分点之间。

3.1.5. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程总氮含量的影响

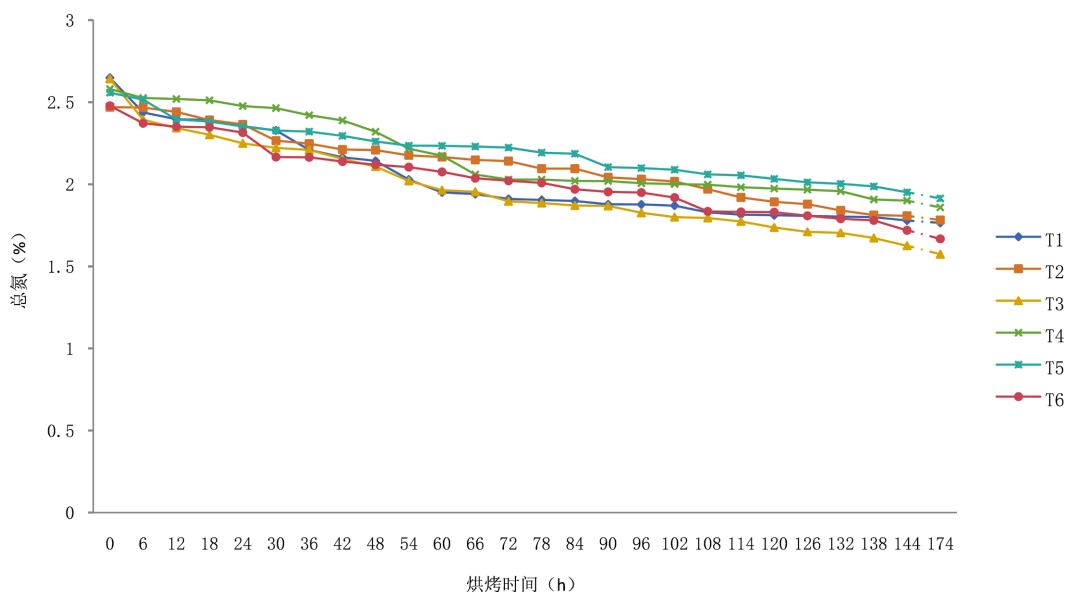


Figure 5. The influence of different flue-curing processes on the total nitrogen content of tobacco leaves

图 5. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程总氮含量的影响

由图 5 可知,烟叶烘烤过程各处理总氮含量总体呈缓慢下降的趋势。整个烘烤结束后,各处理烟叶总氮含量在 1.57%~1.91%之间。其中, T6 总氮含量最低,为 1.57%, T2 总氮含量最高,为 1.91%。

(1) 变黄期对照组烟叶总氮含量下降较快,下降了 0.55 个百分点。其他处理变黄期干湿差越大,烟叶总氮含量下降越快。变黄期 T5、T6 在干球关键温度点 38℃、42℃时,干湿差都为 2.5℃、6℃,烟叶总氮含量下降较快,分别下降了 0.53、0.54 个百分点。T3、T4 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时,干湿差都为 2℃、5.5℃,烟叶总氮含量下降略慢,分别下降了 0.44、0.47 个百分点。T1、T2 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时,干湿差都为 1.5℃、5℃,烟叶总氮含量增加较慢,分别增加了 0.40、0.38 个百分点。

(2) 变黄期之后,各处理受干湿差的影响不大,除 T5 烟叶总氮含量下降较慢,下降了 0.18 个百分点,其他处理下降程度在 0.27~0.34 个百分点之间。

3.1.6. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程烟碱含量的影响

由图 6 可知,烟叶烘烤过程各处理烟碱含量总体呈缓慢下降的趋势,且受干湿差影响不大。整个烘烤结束后,各处理烟叶烟碱含量在 1.65%~2.13%之间,其中, T6 烟碱含量最低,为 1.65%, T1 烟碱含量最高,为 2.13%。

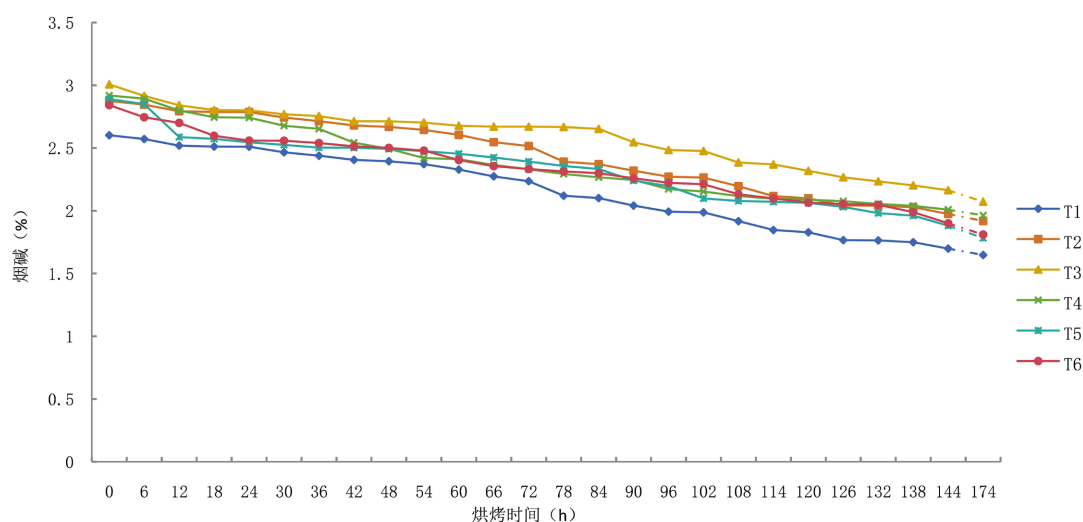


Figure 6. The influence of different flue-curing processes on the nicotine content of tobacco leaves
图 6. 不同烘烤工艺对烟叶烟碱含量的影响

变黄期各处理烟叶烟碱含量下降较快, 受干湿差的影响不明显。变黄期烟碱含量对照组下降较快, 下降了 0.59 个百分点, T2 下降较慢, 下降了 0.38 个百分点。其他处理下降了 0.38~0.59 个百分点之间。

定色期各处理烟叶烟碱含量下降较慢, 受干湿差影响不明显。定色期各处理烟叶烟碱含量下降较慢, 下降了 0.31~0.42 个百分点之间。

干筋期各处理烟叶烟碱含量下降缓慢, 各处理下降了 0.06~0.13 个百分点之间。

3.1.7. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程蛋白质含量的影响

由图 7 可知, 随着烘烤时间的推进, 各处理烟叶蛋白质含量总体呈缓慢下降的趋势。除对照外, 其他处理变黄期干湿差越大, 烟叶蛋白质含量下降越快, 此后, 各处理受干湿差影响不明显。烘烤结束时, 烟叶蛋白质含量在 8.06%~9.82%之间。其中, 烟叶蛋白质含量最高是 T2 为 9.82%, 最低是 T6 为 8.06%。

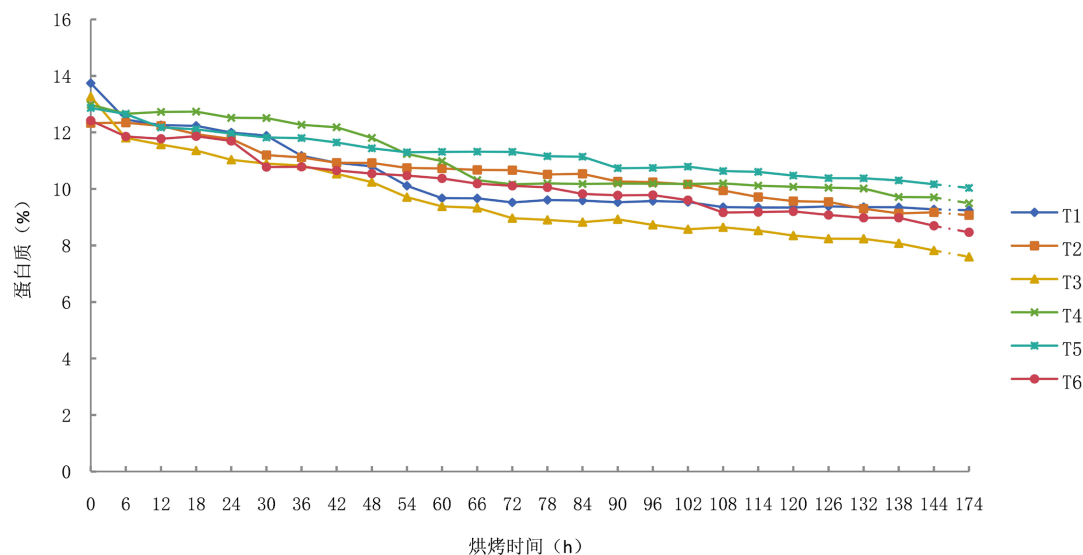


Figure 7. The influence of different flue-curing processes on protein content of tobacco leaves
图 7. 不同烘烤工艺对烟叶蛋白质含量的影响

(1) 变黄期, 烟叶蛋白质含量下降较快, 对照组下降 2.82 个百分点。其他处理, 变黄期干湿差越大, 烟叶蛋白质含量下降越快。变黄期 T5、T6 在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 2.5℃、6℃, 烟叶蛋白质含量下降较快, 分别下降了 2.70、2.84 个百分点。T3、T4 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 2℃、5.5℃, 烟叶蛋白质含量下降略慢, 分别下降了 2.18、2.44 个百分点。T1、T2 变黄期在干球关键温度点 38℃、42℃时, 干湿差都为 1.5℃、5℃, 烟叶蛋白质含量增加较慢, 分别增加了 2.02、1.93 个百分点。

(2) 变黄期之后, 各处理受干湿差的影响不大, 除 T5 烟叶蛋白质含量下降较慢, 下降了 0.64 个百分点, 其他处理下降程度在 0.64~1.60 个百分点之间。

3.1.8. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程 K 含量的影响

由图 8 可知, 烟叶烘烤过程各处理 K 含量总体呈上升的趋势。在整个烘烤过程中, 烟叶钾含量变化不大, 干湿差越小, K 含量变化越快。烘烤结束后, T6K 含量最低为 1.71%, 对照 K 含量最高为 2.07%, 其他处理 K 含量在 1.71%~2.07%之间。

(1) 变黄期对照组干湿差最小, 烟叶 K 含量增加最快, 增加了 0.53 个百分点。变黄期 K 含量以 T1、T2 增加较快, 分别增加了 0.46、0.41 个百分点, 其次是 T3、T4 分别增加了 0.43、0.37 个百分点, T5、T6 增加较慢, 分别增加了 0.33、0.35 个百分点。

(2) 定色期各处理烟叶 K 含量增加变缓。其中, 对照 K 含量增加缓慢, 增加了 0.17 个百分点。K 含量以 T5 增加较快, 增加了 0.42 个百分点, T1 增加较慢, 增加了 0.17 个百分点。

(3) 干筋期各处理 K 含量缓慢增加, 但增加范围较小, 各处理增加了 0.04~0.23 个百分点之间。

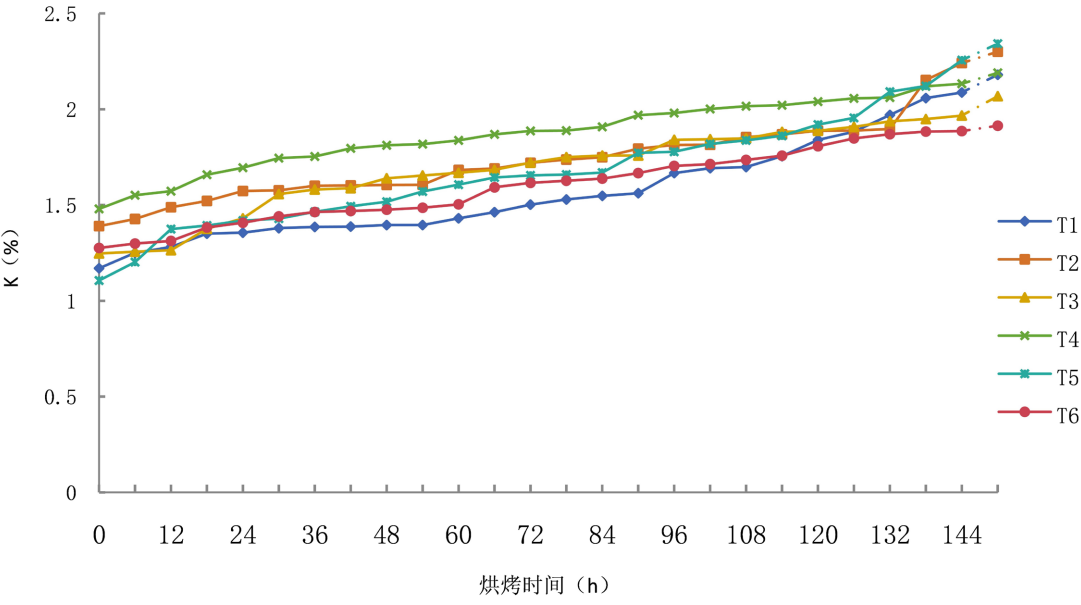


Figure 8. The influence of different flue-curing processes on the K conten of tobacco leaves

图 8. 不同烘烤工艺对烟叶 K 含量的影响

3.1.9. 不同烘烤工艺对烟叶烘烤过程石油醚提取物的影响

由图 9 可知, 烟叶烘烤过程各处理石油醚提取物含量总体呈: 缓慢上升趋势。各处理石油醚提取物受干湿差的影响不大。整个烘烤结束时, 烟叶石油醚提取物含量, 最低是 T6 为 7.18%, 最高是 T1 为 9.74%, 其他处理石油醚提取物含量在 7.18%~9.74%之间。

变黄期对照组石油醚提取物增加了 2.22 个百分点，T1 增加最多，增加了 2.85 个百分点，增加较慢的是 T6，增加了 1.34 个百分点。其他处理石油醚提取物含量增加都在 1.34~2.85 个百分点之间。

变黄期之后，烟叶石油醚提取物缓慢增加，增加最快的是 T3，增加了 2.20 个百分点，增加最慢的是 T6，增加了 1.64 个百分点。

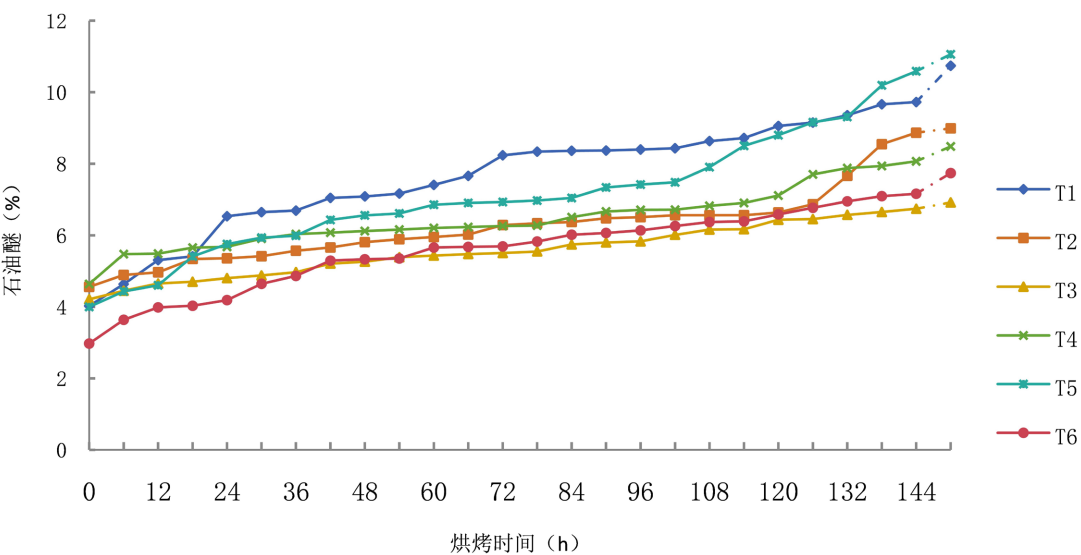


Figure 9. The influence of different flue-curing processes on the petroleum ether extract content of tobacco leaves
图 9. 不同烘烤工艺对烟叶石油醚提取物含量的影响

3.2. 不同烘烤工艺对云烟 87 中部叶烤后品质的影响

3.2.1. 对烤后烟叶等级质量的影响

Table 2. The influence of different flue-curing processes on the appearance quality of flue-cured tobacco leaves
表 2. 不同烘烤工艺烤后对烤后烟叶外观质量的影响

处理	T1	T2	T3	T4	T5	T6	对照
上等烟率	65.52	66.31	60.98	59.20	53.97	48.31	51.83
上中等烟率	85.37	84.24	80.66	82.21	76.61	79.10	78.86
杂色烟率	14.63	15.76	19.34	17.79	23.39	20.90	21.14
均价	29.41	29.77	29.38	29.18	28.72	27.97	28.56

由表 2 可知，上等烟率最高的是 T2 为 66.31%；最差的是 T6，为 48.31%。中上等烟率最好的是 T1，为 85.37%，最差是 T5，为 76.61%。均价 T1、T2 较好，分别为 29.41 元/kg、29.77 元/kg；均价最低是 T6，为 27.97 元/kg。从均价、上等烟率、中上等烟率来看，T1、T2 经济效益较好，T3、T4 略差，其次是 T5 和对照，经济效益最差的是 T6。

3.2.2. 对烤后烟叶主要化学成分的影响

由表 3 和表 4 可知，烟叶烘烤过程中干湿差越小，烟叶烤后化学品质越好。各处理化学指标呈：T1、T2、对照有 8 个指标(T1：总糖 28.33%、还原糖 24.60%、烟碱 2.13%、蛋白质 9.32%、K 1.99%、石油醚提取物 9.74%、两糖比 0.87、氮碱比 0.87；T2：总糖 29.95%、还原糖 25.39%、烟碱 1.98%、蛋白质 9.82%、

K 2.06%、石油醚提取物 9.06%、两糖比 0.85、氮碱比 0.96；对照：总糖 26.02%、淀粉 4.83%、烟碱 2.02%、蛋白质 8.70%、K 2.07%、石油醚提取物 9.48%、两糖比 0.91、氮碱比 0.86)。T3、T4 有 7 个指标(T3：总糖 25.96%、烟碱 1.96%、蛋白质 9.02%、K 1.87%、石油醚提取物 9.14%、两糖比 0.91、氮碱比 0.91；T4：总糖 25.96%、还原糖 24.23%、蛋白质 8.50%、K 2.14%、石油醚提取物 8.48%、两糖比 0.87、氮碱比 0.94)。T6 有 6 个指标(T6：总糖 26.72%、淀粉 4.89%、蛋白质 8.06%、石油醚提取物 7.18%、两糖比 0.86、氮碱比 0.96)。T5 有 5 个指标(T5：总糖 25.77%、蛋白质 9.14%、K 1.98%、石油醚提取物 8.24%、两糖比 0.92)在需求范围内。

Table 3. The main chemical components of flue-cured tobacco leaves
表 3. 烤后烟叶主要化学成分

主要化学指标	T1	T2	T3	T4	T5	T6	对照
总糖(%)	28.33	29.95	25.96	27.92	25.77	26.72	26.02
还原糖(%)	24.60	25.39	23.53	24.23	23.82	22.93	23.64
淀粉(%)	6.37	5.71	7.73	5.39	8.61	4.89	4.83
总氮(%)	1.86	1.91	1.78	1.67	1.76	1.57	1.74
烟碱(%)	2.13	1.98	1.96	1.78	1.75	1.65	2.02
蛋白质(%)	9.32	9.82	9.02	8.50	9.14	8.06	8.70
K (%)	1.99	2.06	1.87	2.14	1.98	1.71	2.07
石油醚提取物(%)	9.74	9.06	9.14	8.48	8.24	7.18	9.48
两糖比	0.87	0.85	0.91	0.87	0.92	0.86	0.91
氮碱比	0.87	0.96	0.91	0.94	1.01	0.96	0.86
糖碱比	11.57	12.79	11.99	13.59	13.61	13.92	11.73
施木克值	3.04	3.05	2.88	3.29	2.82	3.32	2.99
范围值内指标数/个	8	8	7	7	5	6	8

Table 4. Chemical composition content requirements for Tongren Region
表 4. 铜仁化学成分含量需求标准

指标位	总糖%	还原糖%	淀粉粉%	总氮%	烟碱%	蛋白质%	K%	石油醚 提取物%	两糖比	氮碱比	糖碱比	施木 克值
中部叶	25~34	24~32	≤5	2.0~2.6	1.9~2.7	8~10	≥1.8	≥7	≥0.8	0.7~1	6.5~11.5	2.0~2.5

- (1) 总糖含量 T2 最高，为 29.95%，T1 次之为 28.33%，烘烤过程各处理总糖含量总体呈上升的趋势，干湿差越小，总糖含量增加越快，此后总糖含量增加变缓。整个烘烤结束时，烟叶总糖含量最高是 T 为 29.95%，T5 最低为 25.77%，其他处理在 25.77%~29.95%之间。说明较小的干湿差有利于总糖的积累。
- (2) 还原糖含量最高的是 T2，为 25.39%，其中 T1、T4 略低分别为 24.60%、24.23%，各处理在烘烤过程中还原糖含量总体呈上升的趋势。变黄期干湿差越小，烟叶还原糖含量增加越快，定色期干湿差越小，烟叶还原糖含量增加越缓慢，干筋期烟叶还原糖含量都变化不大。整个烘烤结束时，烟叶还原糖含量最高是 T2 为 25.39%，T6 最低为 22.93%，其他处理都在 22.93%~25.39%之间。不同烘烤阶段干湿差对还原糖含量的影响不同。
- (3) 淀粉含量范围 ≤5%，烟叶烘烤过程各处理淀粉含量总体呈下降的趋势。整个烘烤过程淀粉降解

受干湿差的影响较小。整个烘烤结束时，烟叶淀粉含量最高是 T5 为 8.61%，对照最低为 4.83%，其他处理都在 4.83%~8.61%之间。说明干湿差不是影响淀粉降解的主要因素。

(4) 总氮需求含量范围是 2.0%~2.6%，随着烘烤时间的推进，各处理烟叶总氮含量总体呈缓慢下降的趋势。整个烘烤结束后，各处理烟叶总氮含量在 1.57%~1.91%之间。其中，T6 总氮含量最低，为 1.57%，T2 总氮含量最高，为 1.91%。总氮含量受干湿差有一定影响。

(5) T1、T2、T3 和对照，烟碱含量分别为 2.13%、1.98%、1.96%、2.02 %，除这 4 个处理都在烟碱含量需求范围 1.9%~2.7%内，其他处理烟碱含量低于烟碱需求。

(6) 蛋白质含量需求范围是 8%~10%，烟叶烘烤过程各处理蛋白质含量总体呈缓慢下降的趋势。除对照外，其他处理变黄期干湿差越大，烟叶蛋白质含量下降越快，此后，各处理受干湿差影响不明显。整个烘烤过程结束时，烟叶蛋白质含量在 8.06%~9.82%之间。其中，烟叶蛋白质含量最高是 T2 为 9.82%，最低是 T6 为 8.06%。变黄期干湿差对蛋白质含量下降有一定促进作用。

(7) K 含量需求范围是≥1.8%，烟叶烘烤过程各处理 K 含量总体呈上升的趋势。整个烘烤过程烟叶 K 含量变化不大，干湿差越小，K 含量变化越快。烘烤结束后，T6 K 含量最低为 1.71%，对照 K 含量最高为 2.07%，其他处理 K 含量在 1.71%~2.07%之间。较小的干湿差有利于 K 含量的增加。

(8) 石油醚提取物含量需求范围是≥7%，随着烘烤时间的推进，各处理烟叶石油醚提取物含量总体呈缓慢上升趋势。各处理石油醚提取物受干湿差的影响不大。烘烤结束时，烟叶石油醚提取物含量最低时 T6 为 7.18%，最高是 T1 为 9.74%，其他处理石油醚提取物含量在 7.18%~9.74%之间。干湿差对石油醚提取物含量影响较小。

(9) 两糖比需求范围是≥0.8，各处理两糖比都在两糖比需求范围内，且各个处理的两糖比都较为接近，在 0.90 附近，两糖比含量最高的是 T5 为 0.92，最低是 T2 为 0.85，其他处理两糖比都在 0.85~0.92 范围内。

(10) 氮碱比需求范围是 0.7~1，随着烘烤时间的推进，各处理烟叶烟碱含量总体呈缓慢下降的趋势，且受干湿差影响不大。整个烘烤结束后，各处理烟叶烟碱含量在 1.65%~2.13%之间，其中，T6 烟碱含量最低，为 1.65%，T1 烟碱含量最高，为 2.13%。烟碱含量相对较为稳定，干湿差影响有限。

3.2.3. 对烤后烟叶评吸质量的影响

由表 5 可知，干湿差对烤后烟叶的燃烧性和灰色均没有影响，对其它评吸指标均有不同程度影响。T5 及 T6 受干湿差的影响较大，不管是香气和香吃味，还是它们的综合评分来看，其内在质量都较差。其他处理受干湿差的影响不明显。

Table 5. County level planning schedule
表 5. 烤后烟叶评吸质量

内在质量(75 分)									
处理	香气质(10)	香气量(10)	吃味(12)	杂气(10)	刺激性(10)	劲头(8)	燃烧性(9)	灰色(6)	总分
T1	7.92	7.86	8.86	7.56	7.42	7.86	9.00	6.00	62.5
T2	7.96	7.92	8.92	7.64	7.64	7.92	9.00	6.00	63.0
T3	7.88	7.88	8.96	7.86	7.86	7.86	9.00	6.00	63.3
T4	7.88	7.88	8.84	7.42	7.64	7.86	9.00	6.00	62.5
T5	7.42	7.56	8.42	7.12	7.62	7.86	9.00	6.00	61.0
T6	7.62	7.82	8.64	7.24	7.28	8.00	9.00	6.00	61.6
对照	7.84	7.86	8.88	7.82	7.68	7.86	9.00	6.00	62.9

干湿差对烤后烟叶的燃烧性和灰色均没有影响, 对其它评吸指标均有不同程度影响。关键温度点 38℃、42℃、47℃时, 干湿差较大的分别是 T5 (2.5℃、6℃、10.5℃) 及 T6 (2.5℃、6℃、10℃), 它们受干湿差的影响较大, 不管是香气和香吃味, 还是它们的综合评分来看, 其内在质量都较差。而其他处理受干湿差的影响不明显。从总分来看 T2、T3 处理的评吸质量较好。

4. 讨论

烟叶烘烤工艺阶段的温、湿度水平调控着烟叶的生理生化变化以及大分子生物物质的转化[10], 对烟叶的烤后质量的形成有着极大的影响, 尤其是在变黄期、定色期的温湿度差异对烟叶质量的影响极为显著[11][12]。

4.1. 烟叶含水量变化分析

在烘烤过程中, 烟叶的含水量呈现出明显的阶段性下降趋势。整个烘烤过程烟叶水分总量散失了 92.5%, 其中变黄期和定色期的水分散失速度较快。这种“慢-快-慢”的水分下降模式, 与烟叶内部生理生化反应的进程密切相关。合理的湿球温度设置能够有效控制烟叶的失水速率, 避免过快或过慢的失水导致的质量问题, 从而保证烟叶的品质[13]。

4.2. 主要生化指标动态变化

4.2.1. 总糖和还原糖

总糖和还原糖是影响烟叶品质的重要指标。在不同烘烤工艺条件下, 总糖和还原糖的含量变化较为显著。适当的湿球温度能够促进糖类的积累和转化, 从而提高烟叶的甜味和香气, 这与王松峰等[14]的部分研究结果一致。

4.2.2. 蛋白质和 K 含量

蛋白质和钾(K)含量的变化同样受到烘烤工艺的影响。王行等[15]研究认为高湿处理能够将蛋白质含量调节至合理范围内, 在本研究结果中也显示, 较高的湿球温度能够显著地降低蛋白质的含量, 改善了烟叶的燃烧性和吸味, 说明在一定的范围内, 合理地提高湿球温度能够有效促进烟叶中的蛋白质的降解。

钾是烟草灰分的主要成分, 其含量的高低直接影响着烟叶的燃烧性和吸湿性。谢鹏飞等[16]研究表明, 在变黄、定色阶段以较高的湿球温度能够有效烟叶的吸湿性, 本研究结果同样也发现在较小的干湿差条件下, 烟叶中钾的含量也随之增加, 而钾含量的适当增加则有利于提升烟叶的燃烧性和灰分质量。

4.2.3. 淀粉、烟碱和石油醚提取物

刘勇等[17]研究表明烘烤过程中较小的温湿度差可提高烟叶中的淀粉的降解量。而在本研究中, 淀粉、烟碱和石油醚提取物的含量变化表现出受烘烤工艺的影响较小, 这与前人的研究结果不一致, 可能受环境因素的影响, 还需对不同产区烟叶开展相应研究。

5. 结论

通过对云烟 87 不同烘烤工艺中下部烟叶含水量、主要生化指标、评吸质量进行综合分析可知, 相较于常规烘烤工艺, 在本试验条件下, 优化的烘烤工艺(关键干球温度 38℃、42℃、47℃, 对应湿球温度分别为 36.5℃、37℃、37℃/36.5℃), 更有利于总糖和还原糖的积累、蛋白质的降解、钾含量的优化以及烟叶评吸质量的提升, 能够显著提高云烟 87 中部叶的综合质量, 具体表现为: 烟叶颜色均匀, 油分适中, 香气浓郁, 吃味舒适, 燃烧性强。

本研究为伏旱条件下烟叶烘烤工艺的优化提供了一定的技术参考, 然而, 不同地区、不同品种的烟

叶烘烤特性存在差异, 关键稳温点干湿差的控制也不同, 未来研究需在实际生产中针对不同品种、不同生态环境下确定湿球温度, 以进一步优化烟叶烘烤工艺, 以形成更加全面和科学的烘烤技术体系。此外, 结合现代传感技术和智能控制系统, 实现烘烤过程的精准调控, 也是提升烟叶烘烤效率和品质的重要方向。

基金项目

中国烟草总公司贵州省公司科技项目(2023XM33)。

参考文献

- [1] 李峥, 邱坤, 杨鹏, 等. 烟叶烘烤过程中水分迁移干燥特性研究进展[J]. 昆明学院学报, 2017, 39(6): 37-41.
- [2] 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.
- [3] 赖冰. 干旱气候条件下成熟的烟叶怎样烘烤[J]. 农村百事通, 2010(20): 22.
- [4] 罗会斌. 干旱烟叶的特殊烘烤方法[J]. 农技服务, 2017, 34(11): 24.
- [5] 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.
- [6] 苏德成. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术大学出版社, 2005.
- [7] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海: 上海远东出版社, 1993.
- [8] 李洪勋. 贵州省铜仁地区烤烟生长的气象灾害分析[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(30): 9589-9590.
- [9] 肖正中. 铜仁烟区主要气候因子与烤烟质量综合评价[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [10] 宫长荣. 烟草调制学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [11] 张保占, 孟智勇, 马浩波, 等. 密集烘烤定色阶段不同湿球温度对烤后烟叶品质的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(1): 56-61.
- [12] 孟智勇, 马浩波, 王正平, 等. 密集烘烤变黄阶段升温速度和干湿差对烤烟质量的影响[J]. 种业导刊, 2011(10): 15-17.
- [13] 许威, 肖先仪, 黄建, 等. 变黄期不同烘烤时间及温湿度对烟叶质量的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(7): 85-89.
- [14] 王松峰, 王爱华, 毕庆文, 汪健, 徐秀红, 王传义, 孙福山, 王晓宾. 烘烤过程中湿度条件对烤烟生理指标及烤后质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(5): 52-56.
- [15] 王行. 烘烤过程中温湿度与烟叶淀粉含量及淀粉酶活性变化的关系[J]. 烟草科技, 2004(11): 33-35.
- [16] 谢鹏飞, 邓小华, 曾中, 裴晓东, 龙大彬, 刘涛, 毛巍然. 密集烘烤关键温度点湿度控制对烤烟理化性状的影响[J]. 天津农业科学, 2012, 18(5): 95-99.
- [17] 刘勇, 叶为民, 王玉胜, 何宽信, 杏朝刚, 张海伟, 张根平, 李立新. 不同烘烤工艺对云烟 87 烟叶烘烤质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(1): 56-60.