

## 优化烟叶结构措施对烤烟物理特性 影响的多指标模糊评价\*

于庆涛<sup>1,2</sup>, 张光利<sup>2</sup>, 邓小华<sup>1,3\*\*</sup>, 邹凯<sup>2</sup>, 谭蓓<sup>2</sup>, 阳向馗<sup>2</sup>, 曾钰<sup>2</sup>, 刘聪聪<sup>2</sup>  
(1. 中国烟草中南农业试验站, 湖南长沙 410128; 2. 湖南省烟草公司邵阳市公司, 湖南邵阳 422000;  
3. 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128)

**摘要:** 为明确不适用鲜烟叶田间最佳摘除数量和时期, 采用下部叶摘除片数和时期、顶叶摘除片数和时期等 4 因素 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交试验和多指标模糊分析方法, 研究了不适用鲜烟叶的田间消除处理方法对烤烟物理特性的影响。结果表明: 优化烟叶结构后, 烤烟单叶重、含梗率、叶质重和平衡含水率增加; 影响烤烟物理特性的主要因素是摘除下部叶片数; 邵阳烟区稻田烤烟优化烟叶结构以打顶时摘除下部 2 片烟叶和倒数第 1 炉时摘除顶部烟叶 1 片为最佳。采用效果测度模型对烤烟物理特性指标进行归一化处理和加权指数和法计算物理特性指数, 寻找最优组合, 使复杂问题简化。

**关键词:** 烤烟; 田间不适用鲜烟叶; 消化叶片数和时期; 物理特性; 模糊综合评价

**中图分类号:** S 572.25   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1004-390X(2016)05-0950-05

## Multi-index Fuzzy Evaluation for Effects of Tobacco Structure Optimization on Physical Properties of Flue-cured Tobacco

YU Qingtao<sup>1,2</sup>, ZHANG Guangli<sup>2</sup>, DENG Xiaohua<sup>1,3</sup>, ZOU Kai<sup>2</sup>, TAN Bei<sup>2</sup>,  
YANG Xiangkui<sup>2</sup>, ZENG Yu<sup>2</sup>, LIU Congcong<sup>2</sup>

(1. China Tobacco Mid-south Agricultural Experimental Station, Changsha 410128, China;

2. Tobacco Companies in Hunan Province Shaoyang City Corporation, Shaoyang 422000, China;

3. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In order to identify the optimum number and period of removing the field inapplicability and fresh leaves, the method of fuzzy analysis and the 4-indexes orthogonal test for number of removing lower tobacco leaves, period of removing lower tobacco leaves, number of removing topping tobacco leaves, period of removing topping tobacco leaves were employed to study the influence of removing the field inapplicability and fresh leaves on physical properties of flue-cured tobacco. The results showed that the number of removing the lower leaves was the key factor for physical properties of flue-cured tobacco. The optimal model of structure optimization of flue-cured tobacco in Shaoyang was removing 2 lower tobacco leaves at the time of tobacco topping and removing 1 top tobacco leaves at the time of the first roast from the bottom. The physical properties index calculated with exponential weighting form and normalization processing of physical properties of flue-cured tobacco used comprehensive result

收稿日期: 2015-07-09   修回日期: 2015-11-09   网络出版时间: 2016-09-20 09:27

\* 基金项目: 湖南省科技厅项目 (2013NK3073); 邵阳市烟草公司项目 (sy13-15ky01)。

作者简介: 于庆涛 (1982—), 女, 山东省潍坊人, 硕士, 农艺师, 主要从事烟叶生产、科研和信息化管理工作。  
E-mail: 87041696@qq.com

\*\* 通信作者 Corresponding author: 邓小华 (1965—), 男, 湖南冷水滩人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草科学与工程技术研究。E-mail: yzdxh@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20160920.0927.054.html>

measuring could simplified complex problems on finding optimal combination.

**Keywords:** flue-cured tobacco; the field inapplicability and fresh tobacco leaves; the number and period of removing tobacco leaves; physical properties; fuzzy comprehensive evaluation

优化烟叶等级结构是近年研究的热点。田间消化处理不适用鲜烟叶是优化烟叶等级结构和部位结构的关键与核心<sup>[1-2]</sup>。不同地区优化烟叶结构的最佳留叶数不尽相同,通常为16~20片<sup>[3-6]</sup>;黄一兰<sup>[7]</sup>研究了打顶时间与留叶数对烤烟产质量及内在化学成分的影响,认为推迟打顶时间和留叶18~20片为最佳。对不同区域而言,优化烟叶结构的方法也不尽相同。湖南省张家界烟区优化烟叶结构的方法是在烟株封顶后10 d左右(移栽后70 d左右)清除2片脚叶,在上部4~6片烟叶充分成熟采烤前统一摘掉1片顶叶<sup>[8]</sup>;贵州省黔西南州烟叶结构优化以足叶打顶并去掉脚叶2~3片为好<sup>[9]</sup>;云南省曲靖市烟区优化烟叶结构则是以封顶后10 d摘除1片底叶与采烤倒数第3炉时摘除2片顶叶的经济性状表现最好<sup>[10]</sup>。上述方法主要针对旱地不适用鲜烟叶田间处理方法,其研究结论各地区存在差异,且这些研究主要集中在优化烟叶结构对烤烟生长发育、经济性状和化学成分的影响,较少涉及对烟叶物理特性影响的研究,且缺少对多指标的综合评价分析。因此,本文采用正交试验和多指标模糊综合评价方法,研究优化烟叶结构方法对烟叶物理特性的影响,以明确邵阳烟区的烟叶结构优化方法,为提升邵阳烟区特色优质烟叶开发水平和提高优质烟叶有效供给能力提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与材料

2013年在湖南省邵阳县河伯单元河边村现代烟草农业核心示范区进行了烤烟优化烟叶结构试验。试验地处北纬27°14',东经111°28',属中亚热带季风湿润气候,境内年平均气温16.1~17.1℃,无霜期272~304 d,日照时间1347.3~1615.3 h,降水1218.5~1473.5 mm,雨水大多集中在4~6月<sup>[11]</sup>;土壤pH 6.39,有机质37.35 g/kg,碱解氮164.25 mg/kg,有效磷14.85 mg/kg,速效钾86.40 mg/kg<sup>[12]</sup>。试验地前茬作物为水稻,烤烟品种为当地主栽品种云烟87。

### 1.2 试验设计

试验设4因素、2~3个水平。4个因素分别为:下部叶摘除片数(A)、下部叶摘除时期(B)、顶叶摘除片数(C)、顶叶摘除时期(D)。各因素的水平设置分别为:下部叶摘除片数设1片(A1)、2片(A2)2个水平;下部叶摘除时期设现蕾期(B1)、打顶时(B2)、打顶后10 d(B3)3个水平;顶叶摘除片数设1片(C1)、2片(C2)2个水平;顶叶摘除时期设倒数第1炉(D1)、倒数第2炉(D2)、倒数第3炉(D3)3个水平。为减少试验次数,采用正交试验设计,选用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验表安排试验,另加1个对照组(不进行顶叶和下部叶摘除,CK)。优化烟叶结构处理组合为:A1B1C1D1、A1B2C1D2、A1B3C2D3、A2B1C2D3、A2B2C1D1、A2B3C1D2、A2B1C1D2、A2B2C2D3、A2B3C1D1。随机排列10个小区,每小区200株烤烟。4月5日移栽,5月28日打顶,常规栽培烤烟留叶数20片。其余田间管理按照邵阳市优质烤烟栽培技术标准执行。

### 1.3 测定项目及方法

按照标准<sup>[13]</sup>选取中部烟叶具有代表性的C3F等级进行测定物理特性。参考文献[14-15]的方法,主要测定开片度、单叶重、含梗率、叶片厚度、平衡含水率、叶质重等物理特性指标。

### 1.4 统计分析方法及物理特性指数计算

采用Excel和SPSS统计软件进行数据处理和统计分析<sup>[16]</sup>。

本研究烟叶物理特性为“多指标正交试验”。指标“开片度”值越大越好,指标“含梗率”值越小越好,指标“单叶重”、“叶片厚度”、“叶质重”和“平衡含水率”则要求接近某目标值为好。由于指标间的不可比性和矛盾性,较难获得各指标一致的最佳处理组合。为了综合确定因素主次及最优水平组合,采用模糊数学方法对物理特性指标综合评分后进行正交试验分析。

烟叶物理特性不同指标的最适值范围不一致,且量纲也存在较大差异,运用模糊数学理论中的隶属函数计算各物理特性指标的隶属度,使各指标的原始数据转换为0.1~1的无量纲数值。本研究采用灰色局势决策中的效果测度方法<sup>[16]</sup>对烟叶

物理特性指标进行无量纲化和计算隶属度。对开片度采用上限效果测度模型  $r_{ij} = \mu_{ij} / \max(\mu_{ij})$ ；含梗率采用下限效果测度模型  $r_{ij} = \min(\mu_{ij}) / u_{i00}$ ；单叶重、叶片厚度、叶质重、平衡含水率采用适中效果测度模型  $r_{ij} = \mu_{i00} / (\mu_{i00} + |\mu_{ij} - \mu_{i00}|)$ 。式中， $\mu_{ij}$ 为局势的实际效果， $\max(\mu_{ij})$ 为所有局势效果的最大值， $\min(\mu_{ij})$ 为所有局势效果的最小值， $\mu_{i00}$ 为局势效果指定的适中值。本研究中评价烟叶为上部叶，参考其他文献<sup>[14,17-19]</sup>，单叶重 10 g、叶片厚度 100  $\mu\text{m}$ 、叶质重 80  $\text{g}/\text{m}^2$ 、平衡含水率 15% 为适中值。

不同评价指标各自具有相对重要性，利用主成分分析对其赋予不同的权重。将烟叶物理特性指标进行球形假设检验，Bartlett 值为 26.251， $P < 0.05$ ，则 6 个指标间并非独立，能够进行主成分分析。对烟叶物理特性进行主成分分析，提取累积贡献率达 86.05% 的 3 个主成分（已经代表物理特性 86.05% 的信息）<sup>[20]</sup>，计算前 3 个主成分的载荷矩阵，并计算出开片度、单叶重、含梗率、叶厚、平衡含水率、叶质重等物理特性评价指标的权重分别为：19.46%、19.73%、13.79%、12.65%、15.82%、18.55%。

采用烟叶物理特性指数（physical properties index, PPI）作为烟叶物理特性模糊综合评价依据。PPI 的计算依据公式：

$$PPI = \sum_{j=1}^6 Q_{ij} \cdot W_j$$

式中， $Q_{ij}$ 表示第  $i$  个样本、第  $j$  个指标的无量纲值，其中  $0 < Q_{ij} \leq 1$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理与对照的烤烟物理特性比较

由表 1 可看出：与对照相比，优化烟叶结构处理烤烟开片度变幅为 - 4.10% ~ 8.12%，A1B3C2D3 处理组合的烤烟开片度低于对照，其他处理组合均高于对照；烤烟单叶重增幅为 1.25% ~ 14.56%，以 A2B2C2D3 处理组合最高；烤烟含梗率降幅为 1.26% ~ 18.70%，A2B3C1D1 处理组合的烤烟含梗率最低；烤烟叶片厚度变幅为 - 3.91% ~ 10.88%，其中，A1B2C1D2、A2B2C1D1、A2B3C1D2 处理组合的烤烟叶片厚度低于对照，其他处理组合高于对照；烤烟平衡含水率增幅为 0.08% ~ 12.72%，A1B1C1D1 处理组合的烤烟平衡含水率最高；烤烟叶质重增幅为 1.56% ~ 17.97%，以 A2B2C2D3 处理组合最重。

表 1 不同处理烤后烟叶物理特性

Tab. 1 Physical properties of flue-cured tobacco in different treatments

处理 treatments	开片度/% leaf length with width proportion	单叶重/g weight per leaf	含梗率/% stem ratio	叶片厚度/ $\mu\text{m}$ leaf thickness	平衡含水率/% balance water ratio	叶质重/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) weight per unit leaf area
A1B1C1D1	38.11	11.31	30.88	98.00	14.09	94.90
A1B2C1D2	37.20	10.78	34.47	92.73	12.51	88.01
A1B3C2D3	34.59	10.50	35.38	102.00	13.08	82.80
A2B1C2D3	36.61	11.44	31.99	103.64	13.04	93.23
A2B2C1D1	36.97	10.60	29.17	96.00	12.59	85.99
A2B3C1D2	39.00	11.55	34.61	93.00	12.67	95.54
A2B1C1D2	36.90	10.98	32.94	107.00	12.69	85.35
A2B2C2D3	36.83	11.88	29.51	103.00	12.58	96.18
A2B3C1D1	38.73	11.68	29.13	99.44	12.93	93.63
CK	36.07	10.37	35.83	96.50	12.50	81.53

### 2.2 不同处理的烤烟物理特性指数排序

采用效果测度模型计算 6 个物理特性指标的无量纲值，依据物理特性指数计算公式计算 9 个处理的物理特性指数。物理特性指数值越大，物理特性

越好。将物理特性指数进行排序，结果（表 2）显示：物理特性指数以 A2B2C1D1 处理的物理特性指数最高，其次是 A1B1C1D1 处理，再次是 A2B3C1D1 处理；以 A2B3C1D2 处理的物理特性指数相对较差。

表2 不同处理烤烟物理特性无量纲值和物理特性指数

Tab. 2 Dimensionless value of physical properties of flue-cured tobacco and its indexes in different treatments

处理 treatments	无量纲值 dimensionless value						物理特性 指数 (PPI)	排序 sorting
	开片度 length with width proportion	单叶重 weight per leaf	含梗率 stem ratio	叶片厚度 thickness of leaf	平衡含水率 balance water ratio	叶质重 weight per unit leaf area		
A1B1C1D1	0.977	0.884	0.943	0.980	0.943	0.843	92.43	2
A1B2C1D2	0.954	0.928	0.845	0.932	0.857	0.909	90.73	6
A1B3C2D3	0.887	0.952	0.823	0.980	0.887	0.966	91.75	5
A2B1C2D3	0.939	0.874	0.911	0.965	0.884	0.858	90.19	7
A2B2C1D1	0.948	0.943	0.999	0.962	0.862	0.930	93.88	1
A2B3C1D2	1.000	0.866	0.842	0.935	0.866	0.837	89.20	9
A2B1C1D2	0.946	0.911	0.884	0.935	0.867	0.937	91.49	4
A2B2C2D3	0.944	0.842	0.987	0.971	0.861	0.832	89.93	8
A2B3C1D1	0.993	0.856	1.000	0.994	0.879	0.854	92.34	3

### 2.3 不同处理对烟叶物理特性影响的直观分析

对计算获得的烤烟物理特性指数(表2)采用极差法进行直观比较(表3)。由表3可看出,不同因素效应大小排序为:  $D > C > A > B$ , 表明顶叶摘除时期为影响物理特性的主要因素, 摘除下部叶片时期为重要因素, 下部烟叶和顶叶摘除片数为次要因素; A因素较优水平为A1, B因素较优水平为B2, C因素较优水平为C1, D因素较优水平为D1; 若想获得较好的烤烟物理特性, 每个因素取较高水平, 则较优处理组合为A1B2C1D1, 试验中无此处理。

表3 不同处理烟叶物理特性指数的极差分析

Tab. 3 Range analysis of physical properties indexes of flue-cured tobacco in different treatments

因素 factors	水平1 level 1	水平2 level 2	水平3 level 3	极差 rang
A	91.64	91.17	—	0.47
B	91.37	91.51	91.10	0.41
C	91.68	90.62	—	1.06
D	92.88	90.47	90.62	2.41

### 2.4 不同处理对烟叶物理特性影响的方差分析

不考虑因素交互作用, 只分析4个因素的主效应, 即: 优化烟叶结构处理的上部烟叶物理特性指数方差分析结果(表4)显示: 只有A因素间差异达极显著水平, 表明摘除下部叶片数为影响烤烟物理特性的主要因素。

### 2.5 对烟叶物理特性影响的主要因素及最佳处理组合的确定

从极差分析看, 以D因素影响较大, 但从方

差分析看, D因素的影响不显著。从方差分析看, A因素间差异达极显著水平。因此确定A因素为影响烟叶物理特性的主要因素。

表4 不同处理烟叶物理特性指数的方差分析

Tab. 4 Variance analysis of physical properties indexes of flue-cured tobacco in different treatments

因素 factors	df	SS	MS	F	Sig.
A	2	75 065.47	37 532.74	20 654.60	0.000
B	2	0.27	0.13	0.07	0.930
C	1	2.23	2.23	1.23	0.349
D	1	8.71	8.71	4.79	0.116
误差 errors	3	5.45	1.82		

按照极差分析每个因素取较高水平, 但试验中无A1B2C1D1处理组合。在此种情况下, 只能以物理特性指数排序来确定。由表2可知: 物理特性指数大小以A2B2C1D1处理组合的物理特性指数最高, 为最佳组合。说明优化烟叶结构以摘除下部2片烟叶和顶部烟叶1片、下部烟叶摘除时期在打顶期、顶部烟叶摘除时期在倒数第1炉为好。

## 3 讨论

对多指标正交试验的结果判定常用综合评分法和综合平衡法<sup>[21]</sup>。综合平衡法虽能清晰反映各因素对指标的影响, 但往往较为困难, 也无法解决复杂的多指标问题。综合评分法只要给出评分方法, 一般情况下分析计算和判断较为方便、直观。常用的综合评分法有排队法、公式评分法、回归评分法等<sup>[21]</sup>。本研究采用模糊数学方法, 尝试采用效果测度模型对数据进行归一化处理, 然后采用加权指数和法求得综合评分, 即物理特性指数, 再依据物

理特性指数高低进行判断,寻找最优组合,使复杂问题简化。该方法属于综合评分法的一种,但其采用效果测度模型对不同量纲的多指标进行归一化处理,研究方法具有一定借鉴意义。

正交试验主要分析方法包括直观分析和方差分析。直观分析法计算量小、简便、直观,但只考虑了因素、水平,而不能估计试验误差。方差分析可将因素、水平和试验误差对试验结果的影响区分开来考虑,可进一步了解分析精度;此外,极差分析不能判定试验结果是误差引起还是试验因素所致时,对试验分析以方差分析结果为准<sup>[22]</sup>,可体现因素影响的显著性水平。在实际的正交试验分析中,直观分析与方差分析结果可能不一致,如:本研究中直观分析对影响烤烟物理特性的主要因素是摘除顶叶时期,而方差分析中摘除下部烟叶片数差异达显著水平,且F值也最大,是主要影响因素。因此,本研究依据方差分析结果判定影响烤烟物理特性的主要因素,即:摘除下部烟叶片数。这个结果与邵阳烟区生产实际是吻合的。邵阳烟区烤烟大田的中、后期降雨多,解决田间湿度和隐蔽度是主要矛盾。烤烟打顶后,摘除下部2片低脚烟叶,有利于降低田间湿度和增加烟田通风透光能力,增强烟叶光合作用,减少病虫害危害,从而为上部烟叶充分发育和正常成熟打下良好基础。

邵阳烟区烟叶优化结构最佳方法是打顶时摘除下部2片烟叶和倒数第1炉时摘除顶部1片烟叶,这与邵阳烟区的烤烟生产实际情况相符。邵阳稻田烤烟受大田前期低温阴雨影响,团棵期不明显,旺长期短。过早摘除下部烟叶(现蕾期)将会减少进行光合作用的叶面积,过迟摘除(封顶后10d)对降低田间湿度作用不大,以打顶时摘除下部2片烟叶为最好。邵阳稻田烤烟一般留叶数在20片左右,顶部烟叶开片较好,过多摘除顶部烟叶(2片),会使烟叶产量下降;过早摘除顶部烟叶,会使上部烟叶绿叶数减少,光合作用随之降低,影响上部烟叶充分发育和成熟。

#### [参考文献]

- [1] 雷天义. 邵阳市烟叶结构优化的意义及措施 [J]. 现代农业科技, 2012 (1): 356.
- [2] 唐国强, 刘坚志. 优化烟叶等级结构, 提高优质烟叶有效供给能力 [J]. 中国种业, 2011 (S2): 13.
- [3] 宋淑芳, 陈建军, 周冀衡. 留叶数对烤烟品质形成的影响 [J]. 中国烟草科学, 2012, 33 (6): 39.
- [4] 潘广为, 向炳清, 孔伟, 等. 高海拔地区烟草留叶数对烤烟产量、质量的影响 [J]. 湖北农业科学, 2013, 52 (14): 3338.
- [5] 周国柱, 薛超群, 张永红, 等. 栽培因素对烤烟经济性状的效应分析 [J]. 烟草科技, 2001 (1): 41.
- [6] 王建波, 周清明, 张光利, 等. 邵阳稻田烤烟留叶数研究 [J]. 作物杂志, 2014 (5): 104.
- [7] 黄一兰, 王瑞强, 王雪仁, 等. 打顶时间与留叶数对烤烟产质量及内在化学成分的影响 [J]. 中国烟草科学, 2004 (4): 18.
- [8] 陈志敏, 彭业敏, 许忠元, 等. 优化烟叶结构对烟叶产量及质量的影响 [J]. 湖南农业科学, 2012 (12): 19.
- [9] 胡向丹, 彭宇, 马莹, 等. 兴烟1号烟叶结构优化探讨 [J]. 作物研究, 2013 (S1): 54.
- [10] 黄夸克, 马彦清, 李祖红, 等. 田间不适用鲜烟叶的消化时期与消除叶片数对烟叶经济性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2013, 29 (4): 163.
- [11] 邓小华, 邓井青, 宾波, 等. 邵阳植烟土壤有机质含量时空特征及与其他土壤养分的关系 [J]. 烟草科技, 2014 (6): 82.
- [12] 邹凯, 肖志翔, 邓小华, 等. 邵阳主产烟县气候生态适宜性研究 [J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2014, 29 (2): 278.
- [13] 国家质量技术监督局. 中华人民共和国国家标准—烤烟 (GB 2635—1992) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [14] 邓小华, 陈冬林, 周冀衡, 等. 湖南烤烟物理性状比较及聚类评价 [J]. 中国烟草科学, 2009, 30 (3): 63.
- [15] 邓小华. 湖南烤烟区域特征及质量评价指标间的关系研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007: 46.
- [16] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 229.
- [17] 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: 89.
- [18] 尹启生, 陈江华, 王信民, 等. 2002年度全国烟叶质量评价分析 [J]. 中国烟草学报, 2003 (S): 59.
- [19] 彭新辉, 邓小华, 易建华, 等. 气候和土壤及其互作对烟叶物理性状的影响 [J]. 烟草科技, 2010, (2): 48.
- [20] 王苏斌, 郑海淘, 邵谦谦, 等. SPSS统计分析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [21] 苑玉凤. 多指标正交试验分析 [J]. 湖北汽车工业学院学报, 2005, 19 (4): 53.
- [22] 胡建军, 周冀衡, 柴家荣, 等. 多指标正交试验数据的优化分析及应用 [J]. 中国烟草学报, 2008, 14 (2): 9.