

基于烤烟品质的最优控制灌溉模式选择

陈晓东¹, 许 淼²

(1. 浙江水利水电专科学校, 浙江 杭州 310000; 2. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为选择合理的烤烟控制灌溉模式, 提高烟叶品质, 在烤烟伸根期、旺长期、成熟期 3 个生育阶段进行灌溉控制, 设计不同控制灌溉模式, 并对所生产的烟叶品质进行测定, 采用投影寻踪技术对各模式进行评价。结果表明: N5 模式[60%(伸根期)–80%(旺长期)–60%(成熟期)]为最优控制灌溉设计; 成熟期 60% 的控水设计, 有利于烤烟品质的提高; N5 模式所产烟叶的烟碱、还原糖、钾含量以及氮碱比、钾氯比均处于国家烟草专卖局给出的化学成分适宜范围, 相比其他处理, 烟叶品质更优。

关键词: 烤烟; 品质; 控制灌溉; 选择; 投影寻踪

中图分类号: S572 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)06-0059-05

Selection of Optimal Irrigation Control Pattern based on Quality of Flue-cured Tobacco

CHEN Xiao-dong¹, XU Miao²

(1. Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, Hangzhou 310000, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to select the reasonable irrigation control pattern and improve the tobacco quality, different irrigation control patterns were designed during the growth period of root extending, vigorous growth, and maturity. The indexes of tobacco quality were determined and the projection pursuit model was introduced for the assessment of irrigation control patterns. Results showed that: N5 (60%–80%–60%, lower limit of root-extending stage, vigorous growth stage and maturity stage) was the optimal irrigation control pattern; the irrigation control design of 60% water during the maturity period was beneficial for the improvement of tobacco quality; among the chemical components of tobacco in N5 pattern, the nicotine content, reducing sugar content, potassium content, nitrogen/alkali ratio and potassium/chloride ratio were in the reasonable scope which was formulated by the State Tobacco Monopoly, in comparison with the other treatments, indicating a more reasonable and tobacco-preferable irrigation control pattern.

Key words: flue-cured tobacco; quality; irrigation control; selection; projection pursuit

烟叶中对烤烟评吸质量影响较大的化学成分为糖组分和含氮化合物^[1]。烟叶的总糖、还原糖含量及两糖差与香气质、香气量、余味、杂气、刺激性、评吸总分呈显著正相关, 钾含量与香气质呈显著正相关, 而氯含量则相反^[2]。黎根等^[3]认为, 钾对香气量有正面影响, 而烟碱对香气量和评吸总分、总氮对香气质均有较大的负作用, 总糖含量与烟气浓度、香气

量、杂气、劲头、刺激性呈极显著正相关。由此可见, 烟叶的化学成分对其可用性有重要影响。而烟叶的化学成分(即下述品质指标)又与水分供应有密切联系^[4]。烤烟只有在适宜的土壤水分条件下才能正常生长发育, 但在烟叶生产中, 土壤水分并非完全可以满足烤烟生长发育的需要。在烤烟的生长发育过程中, 适时适量灌水可以促进烟株生长, 提高烟叶的产

收稿日期: 2012-11-30

作者简介: 陈晓东(1965-), 男, 浙江磐安人, 教授, 硕士, 主要从事水利工程与节水灌溉研究。E-mail: zjchenxiaodong@126.com

量和品质,但灌水时期不当或灌水量过大不但会降低烟叶的产量和品质,还会加重烟田病害的发生^[4]。只有根据烤烟的需水规律合理灌水,才能获得优质适产的烟叶。目前有关烤烟节水灌溉的研究,主要集中在烤烟的调亏灌溉、膜下滴灌、同位素示踪、工程措施及自动化技术等方面,而关于不同节水灌溉下限控制指标对烤烟生长影响的报道相对较少,关于不同控制灌溉指标对烤烟品质影响的报道则更为匮乏。鉴于此,设计烤烟不同的控制灌溉处理,并测定了不同处理下烟叶的化学成分,旨在根据烟叶品质选择合理的控制灌溉模式,为优质烟叶的生产提供有益参考。

表 1 试验地土壤基本理化性质

土层深度/cm	土壤类型	pH	有机质含量/(g/kg)	速效氮含量/(mg/kg)	速效磷含量/(mg/kg)	速效钾含量/(mg/kg)
0~60	黄棕壤	5.88	14.34	121.88	26.20	207.90

1.2 试验设计

试验在蒸渗仪(4 m×2 m×0.2 m)中进行,蒸渗仪上方安装防雨棚。每个蒸渗仪栽烟 12 株,行距 1.2 m,株距 0.5 m。施肥量为纯 N 45 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 135 kg/hm²,移栽前作基肥一次性施入。在烤烟的伸根期、旺长期、成熟期 3 个生育阶段进行灌溉控制,在总结前人关于烤烟节水灌溉研究成果^[5]的基础上,设计 6 个处理,具体见表 2。每个处理重复 3 次。每个处理选择有代表性的烤烟 3 株,取充分成熟的中部叶进行烘烤,烘干后碾磨并混合均匀,待测。

表 2 不同处理各时期的控水率 %

处理	伸根期	旺长期	成熟期
N1	70	80	70
N2	60	80	70
N3	50	80	70
N4	60	70	60
N5	60	80	60
N6	60	70	50

注:表中数据为灌水下限控制指标占田间持水率的百分比;灌水上限为田间持水率的 100%。

1.3 测定指标及方法

利用连续流动分析仪,采用连续流动法测定烟叶中烟碱、还原糖、总氮、钾的含量,并计算糖碱比、氮碱比、钾氯比^[6]。

1.4 控制灌溉模式的评价方法

试验采用投影寻踪分类模型对控制灌溉模式进行选择 and 评价。多因素聚类分析是典型的高维数据分析方法,投影寻踪作为一种有效处理高维数据样

1 材料和方法

1.1 试验地概况及供试材料

试验在江苏省靖江新桥镇同里农业生态园中进行。靖江地处东亚季风盛行区,气候湿润,雨量充沛,具有明显的海洋性、季风性和过渡性气候特点。最高气温在 7 月,最低气温在 1 月,冬夏季南北温差不大,年平均气温在 14.4~15.1℃,年平均降水量 1 037.7 mm,降雨时长为 113 d,但受季风的影响,降水变化较大。试验地土壤基本理化性质如表 1 所示。供试烤烟品种为 K326,采用漂浮育苗。

本的统计方法,在土壤水分有效性评价^[7]、水土资源保护^[8]、保护性耕作效益评价^[9]、地震预报^[10]等很多领域得到了广泛应用。其实质是将高维数据向低维空间投影,通过低维投影空间来分析高维数据特征^[11-13]。投影寻踪方法是从观察结构的角度出发,将一切数据投影到此空间维中,从而通过原始数据形成的低维特征量,来了解原始数据的整体结构和特征^[14]。

利用投影寻踪技术评价不同节水灌溉模式,客观性强,充分利用了原始数据的内部结构特点,避免了人为干扰,同时保证了信息的全面性^[9]。建模方法如下^[9,14-16]:

(1)建立评价矩阵。设评价的样本容量为 n (灌溉模式,本试验为 6 种),评价指标(烟叶化学成分)数目为 p ,第 i 种灌溉模式的第 j 个化学成分指标值为 x_{ij}^* ,则所有样本指标数据可以用 $n \times p$ 列的数据矩阵 X^* 表示:

$$X^* = \begin{bmatrix} x_{11}^* & x_{12}^* & \cdots & x_{1p}^* \\ x_{21}^* & x_{22}^* & \cdots & x_{2p}^* \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1}^* & x_{n2}^* & \cdots & x_{np}^* \end{bmatrix}$$

(2)无量纲化处理。为解决各指标值的量纲不同,对不同样本指标值进行无量纲化处理。

对数值越大越优的指标采取如下处理:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}^* - \min(x_j^*)}{\max(x_j^*) - \min(x_j^*)}$$

对数值越小越优的指标采取如下处理:

$$x_{ij} = \frac{\min(x_j^*) - x_{ij}^*}{\max(x_j^*) - \min(x_j^*)}$$

处理后得到 $n \times p$ 的数据矩阵 X :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

式中: $\max(x_j^*)$ ——第 j 个指标的最大值; $\min(x_j^*)$ ——第 j 个指标的最小值。

(3) 线性投影。投影实质上就是从不同的角度去观察数据,寻找能够最大程度地反映数据特征和最能够充分挖掘数据信息的最优投影方向,从而实现数据降维。本试验将高维数据投影到一维线性空间进行研究,因此,设单位向量 $a = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 为一维线性投影方向,则矩阵 X 投影到 a 上的一维投影特征值为 z_i 。

$$z_i = \sum_{j=1}^p a_j \cdot x_{ij} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, p)$$

(4) 构造投影目标函数。综合投影指标值时,根据分类原则,投影值的散布特征尽可能满足如下要求:局部投影点尽可能密集、最好凝聚成若干点团;整体上投影点团之间尽可能散开。即使多元数据在一维空间散布的类间距离 S_Z 和类内密度 D_Z 同时取得最大值。因此,将投影目标函数表示为类间距离和类内密度的乘积:

$$Q(a) = S_Z \cdot D_Z$$

式中: S_Z ——投影特征值 z_i 的标准差,也称类间距离; D_Z ——投影特征值 z_i 的局部密度,也称类内密度。

$$S_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z_i - E(z)]^2}{n-1}}$$

式中 $E(z)$ ——序列 $\{z_i | i=1 \sim n\}$ 的平均值。

$$D_Z = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n (R - r_{ik}) \cdot f(R - r_{ik})$$

式中 R ——局部密度的窗口半径。

$$r_{ik} = |r_i - r_k|$$

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t \geq 0 \\ 1 & t \leq 0 \end{cases}$$

式中 $i, k=1, 2, 3, \dots, n$, 表示样本容量。

(5) 优化投影目标函数。对于给定的样本集指标值,投影指标函数 $Q(a)$ 随着投影方向 a 的变化而变化,能够最大可能地反映高维数据某类结构特征的投影方向即为最佳投影方向。因此,运用目标函数最大化对投影目标函数进行优化:

$$\max Q(a) = S_Z \cdot D_Z$$

$$s. t. \sum_{j=1}^p a^2(j) = 1$$

$$|a(j)| \leq 1$$

(6) 评价。按照最佳投影方向 a^* 取值大小排列,可以得到指标贡献/敏感程度大小,按照 $z^*(i)$ 取值大小排列,可以得到样本的优劣排序。

2 结果与分析

2.1 不同控制灌溉处理的烤烟品质分析

由表3可见,不同控制灌溉处理的烤烟品质中,烟碱含量处于23.91~26.38 mg/g,总氮含量处于25.41~36.60 mg/g,还原糖含量处于172.82~224.71 mg/g,钾含量处于25.11~30.01 mg/g,糖碱比处于4.72~7.90,氮碱比处于0.67~0.97,钾氯比处于8.04~13.03。

表3 不同控制灌溉处理的烤烟品质指标

处理	烟碱/(mg/g)	总氮/(mg/g)	还原糖/(mg/g)	钾/(mg/g)	糖碱比	氮碱比	钾氯比
N1	23.91	26.68	182.19	25.11	6.82	0.90	8.91
N2	24.42	29.54	224.71	25.42	7.62	0.83	12.13
N3	24.81	34.21	193.80	27.41	5.67	0.73	12.48
N4	26.38	31.22	177.41	30.01	5.69	0.85	8.04
N5	24.61	25.41	200.61	25.18	7.90	0.97	13.03
N6	24.49	36.60	172.82	25.43	4.72	0.67	9.48

2.2 烤烟最优控制灌溉模式的选择

国家烟草专卖局根据烟叶化学成分的协调性对感官质量的影响制定了烤烟化学成分指标及其适宜的范围评价指标^[17-18],具体见表4。而投影寻踪分类模型所需指标为“越大越优”或“越小越优”指标。显然,表3给出的区间指标不符合模型要求,故需要作一些变换。不妨假设区间的最中心

值是最优取值,实测值离中心值越近表示实际值所代表的指标越好,即|实际值-中心值|越小越好。于是原来的区间指标就转化为新的评价指标:烟碱* = |实际值-25|、总氮* = |实际值-22.5|、还原糖* = |实际值-200|、糖碱比* = |实际值-9|、氮碱比* = |实际值-1|。由此可得新的评价指标(表5)。

表 4 烤烟化学成分指标及其适宜范围

指标	烟碱/(mg/g)	总氮/(mg/g)	还原糖/(mg/g)	钾/(mg/g)	糖碱比	氮碱比	钾氯比
适宜范围	22~28	20~25	180~220	≥ 25	8.5~9.5	0.95~1.05	≥ 8.0

表 5 投影寻踪分类模型计算所需的烤烟品质指标

处理	烟碱*/(mg/g)	总氮*/(mg/g)	还原糖*/(mg/g)	钾/(mg/g)	糖碱比*	氮碱比*	钾氯比
N1	1.09	4.18	17.81	25.11	2.18	0.10	8.91
N2	0.58	7.04	24.71	25.42	1.38	0.17	12.13
N3	0.19	11.71	6.20	27.41	3.33	0.27	12.48
N4	1.38	8.72	22.59	30.01	3.31	0.15	8.04
N5	0.39	2.91	0.61	25.18	1.10	0.03	13.03
N6	0.51	14.10	27.18	25.43	4.28	0.33	9.48

注: * 指标为“越小越优”指标,其余为“越大越优”指标。

采用 matlab 7.1 对其建立投影寻踪分类模型。在 RAGA 优化过程中选定父代初始种群规模 $n=400$,交叉概率 $P_c=0.8$,变异概率 $P_m=0.8$,优秀个体数目 20 个, $\alpha=0.05$,加速 20 次,得出最大投影指标值为 0.349 2,最佳投影方向 $a_{(j)}^*=(0.447\ 8, 0.571\ 1, 0.121\ 9, 0.205\ 5, 0.073\ 7, 0.155\ 5, 0.053\ 7, 0.066\ 7, 0.615\ 9)$,N1—N6 6 种灌溉模式的投影值依次为 $z_{(i)}^*=(0.694\ 6, 1.442\ 8, 1.201\ 1, 0.695\ 5, 1.964\ 0, 0.694\ 8)$ 。从图 1 可更直观地看出各处理的投影值,依据投影值越大设计越优的原则,6 种控制灌溉模式的优劣排序依次为 N5、N2、N3、N4、N6、N1。其中,N5 为最优控制灌溉模式。

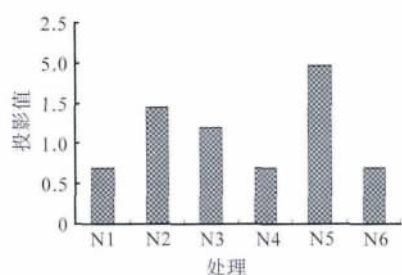


图 1 各处理投影值

2.3 烤烟最优控制灌溉模式的评价

N5 处理为最优控制灌溉模式,其前期控水设计与 N2 处理相似,成熟期水分较 N2 处理少 10 个百分点,主要是成熟期供水过多会导致烟叶贪青晚熟,不利于烟叶落黄,这也印证了 N5 处理成熟期 60% 的控水设计较为合理;N4 处理与 N6 处理投影值较小,可能因为这 2 个处理在烤烟旺长期时供水不足,处于水分胁迫状态,不利于烟叶生产。总体而言,60%(伸根期)—80%(旺长期)—60%(成熟期)为最优处理方式,伸根期 60% 的供水有利于烟叶的早期生长;旺长期为烤烟生长的关键时期,也是需水量最

大的时期,故加大供水量;成熟期控制供水,促进烟叶成熟落黄。

N5 处理所生产的烟叶化学成分中,烟碱含量为 24.61 mg/g,总氮含量为 25.41 mg/g,还原糖含量为 200.61 mg/g,钾含量为 25.18 mg/g,糖碱比为 7.90,氮碱比为 0.97,钾氯比为 13.03,对比表 3 给出的适宜范围可知,其烟碱含量、还原糖含量、钾含量、氮碱比、钾氯比均处于适宜范围,总氮含量略高于适宜范围,糖碱比略低于适宜范围。与其他处理相比,N5 处理在烤烟 3 个生育期内的水分设计更为合理,烟叶品质更优。

3 结论与讨论

根据试验与模型计算,可得以下结论:

(1)N5 模式[60%(伸根期)—80%(旺长期)—60%(成熟期)]为最优控制灌溉设计。

(2)N5 模式成熟期 60% 的控水设计,有利于烤烟品质的提高。N5 模式所产烟叶的化学成分中,烟碱含量、还原糖含量、钾含量、氮碱比、钾氯比均处于国家烟草专卖局给出的化学成分适宜范围内。相比其他处理,其控水设计更合理,烟叶品质更优。

目前,关于烤烟控制灌溉的研究已有很多,大多是基于烤烟产量^[5]、品质^[19]或对水土流失的影响^[20]。不同于其他经济作物,烤烟的产量与其品质有较为密切的关系,如增加施氮量可提高产量,但会导致烟碱和总氮含量过高,影响烟叶的可用性,因此已有的控制灌溉研究更多体现在单因素评价方面。笔者认为关于烤烟灌溉模式的选择,还应综合其经济效益、生态效益、社会效益,因地制宜,根据土壤、气候、水源等条件,对主要烟区进行划分,设计不同的控水方案。

参考文献:

- [1] 谢鹏飞,邓小华,曾中,等.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.
- [2] 章新军,任晓红,毕庆文,等.鄂西南烤烟主要化学成分与评吸质量的关系[J].烟草科技,2006(9):58-60.
- [3] 黎根,毕庆文,汪健,等.烤烟主要化学成分与烟叶品质关系研究进展[J].河北农业科学,2007,11(6):6-9,41.
- [4] 刘树杰.土壤水分与烟草生长发育和产量品质的关系[J].中国烟草,1985,6(3):9-12.
- [5] 侯毛毛,邵孝侯,袁有波,等.水氮耦合条件下烤烟叶面积指数变化的模型研究[J].灌溉排水学报,2012,11(1):106-108,116.
- [6] 李东亮,许自成,陈景云.烤烟主要物理性状与化学成分的典型相关分析[J].河南农业大学学报,2007,14(5):492-497.
- [7] 邵孝侯,王宇,毕利东,等.基于最优分割理论的土壤水分有效性评价[J].农业工程学报,2010,10(3):106-111.
- [8] 赵小勇.投影寻踪模型及其在水土资源中的应用[D].哈尔滨:东北农业大学,2006.
- [9] 原君静,李洪文.基于投影寻踪技术的保护性耕作效益评价[J].农业工程学报,2010,12(4):175-179.
- [10] 王琼,朱令人.投影寻踪聚类在新疆地震预报中的应用[J].内陆地震,2005,6(1):8-15.
- [11] 付强,刘东,王忠波.基于参数投影寻踪模型的水稻节水栽培经济效益分析[J].灌溉排水学报,2003,17(2):65-68.
- [12] 付强,金菊良,梁川.基于实码加速遗传算法的投影寻踪分类模型在水稻灌溉制度优化中的应用[J].水利学报,2002,13(10):39-45.
- [13] 石浩.投影寻踪在水文水资源中的应用[J].河南水利与南水北调,2012,10(16):51-52.
- [14] 王暄.基于投影寻踪模型的水质综合评价[J].地下水,2011,9(4):5-6.
- [15] 于建军,郭玮,毕庆文,等.基于投影寻踪的烟叶品质评价[J].浙江农业科学,2010,18(2):391-393.
- [16] 陈景云,胡建军.烟叶化学成分-品质综合评价物元模型的建立与应用[J].烟草科技,2003,14(10):31-34.
- [17] 彭黔荣,蔡元青,王东山,等.根据常规化学指标识别烟叶品质的BP神经网络模型[J].中国烟草学报,2005,31(5):19-25.
- [18] 薛超群,尹启生,王信民,等.模糊综合评判在化学成分评价烟叶可用性中的应用[J].烟草科技,2007(4):62-64.
- [19] 王宇,魏征.基于投影寻踪分类模型的烤烟节水灌溉模式评价[J].节水灌溉,2012,5(8):60-62.
- [20] Hou M M, Shao X H, Chen L H, *et al.* Study on fertilizer N leaching, accumulation, and balance in tobacco fields with N-15 tracing technique[J]. J Food Agric Environ, 2012, 10(2):1284-1289.