

网络出版时间:2014-10-16 12:59 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.074
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.074.html

基于¹⁵N 示踪技术的烤烟水氮耦合方案熵权系数评价

闫建文

(西安理工大学 土木建筑工程学院,陕西 西安 710048)

【摘要】 【目的】筛选烤烟优质高产、节水节肥的水氮耦合方案。【方法】以烤烟 K326 为材料,设计灌溉量(400,500,600 mm)与施氮量(以¹⁵N 同位素标记,90,120,150 kg/hm²)2 个因素,共计 9 个水氮耦合处理,测定不同水氮耦合条件下烤烟的品质、产量、灌溉水利用效率与肥料氮素利用率,并采用主成分分析和熵权系数评价模型,对不同水氮耦合方案进行评价。【结果】不同水氮耦合处理对烤烟品质和产量影响明显。主成分分析结果显示,T5 方案(500 mm 灌溉量+120 kg/hm² 施氮量)烟叶品质最优,T4 方案(400 mm 灌溉量+120 kg/hm² 施氮量)次之,T7 方案(400 mm 灌溉量+150 kg/hm² 施氮量)烟叶品质最差。熵权系数评价模型分析结果表明,T4 方案的熵权系数评价价值最高,该方案下烤烟的产量为 2 511.5 kg/hm²,灌溉水利用效率为 0.63 kg/m³,肥料氮素利用率为 40.49%,品质综合主成分为 2.59。【结论】T4 处理为烤烟优质高产的最佳水氮耦合方案。

【关键词】 水氮耦合;熵权系数;示踪技术;烤烟
【中图分类号】 S572.062;S572.071 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2014)11-0025-07

¹⁵N tracing technique based evaluation of entropy weight coefficients of water and nitrogen coupling schemes for flue-cured tobacco

YAN Jian-wen

(Civil & Construction Engineering Institute,Xi'an University of Technology,Xi'an,Shaanxi 710048,China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to select the best water and nitrogen coupling scheme for high quality and high yield,water-saving and fertilizer-saving tobacco production.【Method】 Using K326 as target,two factors including irrigation amount (400,500,and 600 mm) and fertilizer amount (¹⁵N labeled 90,120,and 150 kg/hm²) were designed,and quality and yield of tobacco,irrigation water use efficiency and fertilizer N use efficiency under different water-nitrogen treatments were determined. Then,principle component analysis (PCA) and entropy weight coefficient evaluation model were used to evaluate different schemes.【Result】 Different water and nitrogen coupling treatments had significant effects on tobacco quality and yield. PCA shows that tobacco quality of T5 treatment (500 mm irrigation amount+120 kg/hm² fertilizer N amount) was the optimal,followed by T4 (400 mm irrigation amount+120 kg/hm² fertilizer N amount),while tobacco quality of T7 treatment (400 mm irrigation amount+150 kg/hm² fertilizer N amount) was the worst. Entropy weight coefficient method shows that the entropy weight coefficient value of T4 was the highest with the yield of 2 511.5 kg/hm²,the irrigation water use efficiency of 0.63 kg/m³,the fertilizer N use efficiency of 40.49%,and the comprehensive quality index of 2.59.【Conclusion】 T4

【收稿日期】 2013-08-06
【基金项目】 公益性行业(农业)科研专项“盐碱地农业高效利用共性与特色关键技术研究示范”(200903001)
【作者简介】 闫建文(1967—),男,陕西兴平人,讲师,硕士,主要从事水利工程及农业环境工程研究。
E-mail:sxyanjianwen@126.com

was the best water and nitrogen coupling scheme for high quality and high yield flue-cured tobacco production.

Key words: water and nitrogen coupling; entropy weight coefficient; tracing technique; flue-cured tobacco

水分和氮素营养是烤烟优质高产的重要影响因素^[1]。合理的水分调控能使烟叶化学成分趋于协调,提高吸味品质,尤其是烤烟生育期中前期的水分调控对产量和质量的影响十分明显。我国部分烟区虽雨量充沛,但时空分布不均匀,如贵州烟区,烤烟生育后期时常出现阶段性干旱,导致上部烟叶无法正常成熟,影响烟叶品质与可用性^[2]。在施肥方面,我国的大多数烟区尚未制定有针对性的、合理的施肥策略,大多凭借经验施肥,而烟农考虑到产量施肥往往是宁多勿少,连年过度施肥导致烟叶后期吸氮过旺,不能正常成熟落黄,造成烟叶绿而厚、烟碱含量过高、还原糖含量过低、C/N 不协调、可用性差等后果^[3]。目前,关于水氮耦合效应的研究大多集中在玉米^[4]、小麦^[5-6]、水稻^[7]、棉花^[8]等作物上,对烤烟水氮协调关系方面的研究相对较少,大多局限于氮肥或水分单因素上,关于不同水氮耦合处理对烤烟品质、产量、水肥利用效率的系统研究则更为匮乏。

目前,计算烤烟氮肥利用率时常采用差值法与示踪法,差值法计算结果往往高于示踪法,这是因为差值法在计算时包含了植株所吸收的来自土壤的氮素,从农学意义来看,差值法可反映施氮后植株中氮素的实际提高程度,评价施肥策略的优劣,但在探讨肥料氮素的去向、研究烤烟植株对完全来自于肥料的氮素的吸收和利用时,宜采用示踪法。目前关于差值法计算氮素利用率的研究很多,用示踪法测定氮素利用率的报道很少。本试验设计不同灌溉和施

氮(¹⁵N 标记)处理,测定不同水氮耦合处理下烤烟品质、肥料氮素利用率、灌溉水利用效率和产量,并引入主成分分析与熵权系数评价模型进行分析,以选出综合效益最佳的水氮耦合方案,旨在为烤烟节水灌溉及优质高产烟叶的生产提供实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2012-05—09 在江苏省靖江新桥镇同里农业生态园中的设施大棚中进行。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。气温最高在 7 月,最低在 1 月,冬夏季南北的温差不大,年平均气温在 14.4~15.1℃,年平均降水量 1 037.7 mm,年平均降雨日为 113 d,但受季风的影响,降水变率较大。试验所在地土壤为黄棕壤,土壤 pH 值为 5.88,含有有机质 14.34 g/kg,速效氮 121.88 mg/kg,速效磷 26.20 mg/kg,速效钾 207.90 mg/kg。

1.2 试验设计

试验在由水泥和砖块砌成的蒸渗仪(4 m×2 m)中进行。选取烤烟 K326 为试材,每个蒸渗仪中栽烟 12 株,行距 1.2 m,株距 0.5 m。

试验设施氮量和灌溉量 2 个因素,每个因素 3 个水平,其中施氮(纯 N)量分别为 90,120 和 150 kg/hm²,灌溉量分别为 400,500 和 600 mm,共 9 个水氮耦合处理(表 1),每处理重复 3 次。

表 1 烤烟水氮耦合试验设计
Table 1 Experimental design of water-nitrogen coupling for flue-cured tobacco

处理 Treatment	施氮量/(kg·hm ⁻²) N application	灌溉量/mm Irrigation amount			合计 Total
		伸根期 Root-extending stage	旺长期 Vigorous stage	成熟期 Maturity stage	
T1	90	120	160	120	400
T2	90	150	200	150	500
T3	90	180	240	180	600
T4	120	120	160	120	400
T5	120	150	200	150	500
T6	120	180	240	180	600
T7	150	120	160	120	400
T8	150	150	200	150	500
T9	150	180	240	180	600

烟苗移栽后每隔 7 d 灌水 1 次,将水分平均灌入蒸渗仪土壤中。灌水分别于伸根期、旺长期和成

熟期进行,这 3 个生育期的灌溉量分别占总灌溉量的 30%,40% 和 30%。70% 氮肥进行基施,剩余 30% 氮肥于移栽后 26 d 追肥,氮肥为¹⁵N 标记的硝酸铵肥料,其¹⁵N 丰度为 10.28%。各处理除了灌溉量与施肥量不同外,其余田间管理均保持一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 烤烟产量 每个处理随机选取 6 株烟株,待烟叶成熟后依次取下、中、上部叶,105 ℃ 高温杀青 0.5 h 后,70 ℃ 恒温至其完全烘干,称量总的烟叶干质量。

1.3.2 灌溉水利用效率(*IWUE*,kg/m³)^[9]:

$$IWUE=\frac{Y}{I}。$$

式中:*Y* 为烤烟干产量 (kg/hm²),*I* 为总灌溉量 (m³/hm²)。

1.3.3 烟株中¹⁵N 丰度 用质谱法^[10]测定。

1.3.4 烤烟肥料氮素利用率(*R_N*)

$$R_N=\frac{W_1\times C_1\times A_1}{W_2\times C_2\times A_2}\times 100\%。$$

式中:*W*₁ 为烤烟植株样品(上部叶、中部叶、下部叶、根和茎)的干质量,*C*₁ 是烤烟植株样品中的总氮含量,*A*₁ 是烤烟植株样品¹⁵N 的丰度,*W*₂ 为肥料质量,*C*₂ 为肥料中的总氮含量,*A*₂ 为肥料中¹⁵N 的丰度^[10]。

本试验测定的是烤烟打顶前的氮素利用率。根

据试验资料,打顶后烤烟肥料氮素利用率在 20% 左右^[11]。

1.3.5 烤烟化学成分 参考文献[12-13],烟碱用紫外分光光度法测定,总氮含量用凯氏定氮法测定,还原糖含量用连续流动法(YC/T 159—2002)测定,钾含量用火焰光度计测定,氯含量用连续流动法(YC/T 162—2002)测定。

1.4 数据分析

显著性分析与主成分分析均采用 SPSS 17.0 软件,熵权系数评价模型采用 Matlab 7.1 编程并计算。

2 结果与分析

2.1 不同水氮耦合处理对烤烟化学成分的影响

表 2 为各水氮耦合处理烤烟的品质指标。由表 2 可知,相同施氮量条件下,增加灌溉量可降低烟叶烟碱和总氮的含量,增加还原糖含量;而相同灌溉量条件下,增施氮肥总体上可明显提高烟叶烟碱、总氮和钾含量,降低还原糖含量,这一研究结果与刘永贤等^[14]和王鹏等^[15]的研究成果一致,而烤烟的氯含量、氮碱比和钾氯比与灌溉量、施氮量关系并不明显。低氮处理 T1、T2 和 T3 烟叶的糖碱比处于较高水平。

表 2 水氮耦合处理对烤烟化学成分的影响

Table 2 Effect of water and nitrogen coupling on chemical components of flue-cured tobacco chemical components

处理 Treatment	烟碱/ (mg·g ⁻¹) Nicotine	总氮/ (mg·g ⁻¹) Total N	还原糖/ (mg·g ⁻¹) Reducing sugar	钾/ (mg·g ⁻¹) Potassium	氯/ (mg·g ⁻¹) Chlorine	糖碱比 Sugar/ nicotine ratio	氮碱比 Nitrogen/ nicotine ratio	钾氯比 Potassium/ chlorine ratio
T1	24.55 d	23.07 de	221.41 ab	24.15 c	2.29 a	9.02 b	0.94 b	10.55 c
T2	22.88 e	22.16 e	228.07 a	23.48 c	1.99 c	9.97 a	0.97 ab	11.77 b
T3	23.08 e	21.78 e	228.87 a	23.96 c	2.15 ab	9.93 a	0.94 b	11.13 c
T4	26.22 c	24.14 d	201.44 d	26.77 a	2.06 b	7.69 cd	0.92 b	13.00 a
T5	25.36 cd	23.59 d	201.05 d	26.88 b	2.08 b	7.93 c	0.93 b	12.95 a
T6	23.24 e	23.80 d	210.47 bcd	23.47 c	1.94 c	9.06 b	1.02 a	12.11 b
T7	31.35 a	29.46 a	198.59 d	26.82 a	2.04 b	6.34 a	0.94 b	13.12 a
T8	29.24 b	27.56 b	206.95 cd	27.73 a	2.25 a	7.08 d	0.94 b	12.31 b
T9	26.06 c	25.45 c	216.14 abc	25.68 b	2.16 ab	8.30 c	0.98 ab	11.88 b

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著(*P*<0.05)。下表同。

Note:Different lowercase letters in each column indicate significant difference (*P*<0.05). The same below.

2.2 烤烟品质指标的主成分分析

表 3 为烤烟化学成分指标的适宜范围,该评价指标是由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而制定^[16]。基于特征值大于 1,累积贡献率大于 80% 的原则,对表 2 中烤烟主要化学成分指标进行主成分提取^[17-18]。在采用主成分分析法计算烤烟化学成分综合主成分过程中,要求

指标为“越大越优”或“越小越优”,因此需要对表 2 中的指标作一些变换。由于表 3 最适宜的烤烟化学成分指标为区间指标,不妨假设各指标区间的中心值是最优取值,如果实测值越接近中心值,表示实测值所代表的指标越好,即|实测值-中心值| 越小越好。于是原来的不同区间指标即可转化为新的评价指标:烟碱* = |实测值-25|、总氮* = |实测值-

22.5|、还原糖* = |实测值 - 200|、糖碱比* = |实测值 - 9|、氮碱比* = |实测值 - 1|。采用 SPSS 17.0, 对变换后的指标进行主成分计算, 所得特征向量、特征值、贡献率(r_c)与累计贡献率(r_T)如表 4 所示。由表 4 可知, 第 1 个主成分 f_1 主要反映了烟碱含量(X_1)、总氮含量(X_2)和糖碱比(X_5)的变异信息, 第 2 个主成分 f_2 反映了还原糖含量(X_3)、钾含量

(X_4)、氮碱比(X_6)和钾氯比(X_7)的变异信息, 二者的累积方差贡献率达 81.97%, 保留了大量的原始信息。

计算不同水氮耦合处理的烤烟品质综合主成分, 结果见表 5。从表 5 可以看出, T5 处理烤烟品质最佳, T4 处理次之, T7 处理烤烟品质最差, 这说明 T5 处理更利于烤烟养分的平衡吸收。

表 3 不同烤烟化学成分的适宜范围

Table 3 Appropriate zones of chemical components of flue-cured tobacco		烟碱/ (mg · g ⁻¹) Nicotine	总氮/ (mg · g ⁻¹) Total N	还原糖/ (mg · g ⁻¹) Reducing sugar	钾/ (mg · g ⁻¹) Potassium	糖碱比 Sugar/ nicotine ratio	氮碱比 Nitrogen/ nicotine ratio	钾氯比 Potassium/ chlorine ratio
适宜范围	Appropriate zone	22~28	20~25	180~220	≥25	8.5~9.5	0.95~1.05	≥8.0

表 4 不同烤烟化学成分的特征向量、特征值及贡献率

Table 4 Weight coefficients and contribution rates of main chemical components of flue-cured tobacco										
主成分 Factor	烟碱 Nicotine (X_1)	总氮 Total N (X_2)	还原糖 Reducing sugar (X_3)	钾 Potassium (X_4)	糖碱比 Sugar/ nicotine ratio (X_5)	氮碱比 Nitrogen/ nicotine ratio (X_6)	钾氯比 Potassium/ chlorine ratio (X_7)	特征值 Eigenvalue	$r_c/\%$	$r_T/\%$
f_1	0.967	0.922	-0.299	-0.423	0.820	-0.073	-0.434	4.393	41.73	81.97
f_2	-0.028	-0.272	0.850	0.831	-0.459	-0.761	0.734	1.345	40.24	

表 5 不同水氮耦合处理的烤烟品质综合主成分、灌溉水利用率($IWUE$)、肥料氮素利用率(R_N)和产量

Table 5 Comprehensive quality index, $IWUE$, R_N , total irrigation amount and yield of flue-cured tobacco under different water-nitrogen treatments					
处理 Treatment	品质综合主成分(M) Comprehensive quality index	$IWUE/$ (kg · m ⁻³)	$R_N/\%$	烤烟产量/(kg · hm ⁻²) Flue-cured tobacco yield	
T1	1.97	0.49 b	47.57 a	1 947.2	
T2	1.25	0.44 bc	45.16 ab	2 198.7	
T3	1.56	0.37 c	48.58 a	2 244.8	
T4	2.59	0.63 a	40.49 bc	2 511.5	
T5	2.69	0.51 b	42.97 b	2 563.2	
T6	1.53	0.46 bc	44.11 ab	2 734.2	
T7	1.00	0.52 b	34.42 d	2 071.3	
T8	1.46	0.50 b	37.51 c	2 489.9	
T9	1.46	0.39 c	37.64 c	2 366.2	

2.3 不同水氮耦合处理对烤烟产量、氮素利用率及灌溉水利用效率的影响

计算不同水氮耦合处理的烤烟灌溉水利用效率和氮素利用率, 结果见表 5。由表 5 可知, 烤烟产量以 T6 处理最高, 达 2 734.2 kg/hm²; T5 处理次之, 为 2 563.2 kg/hm²; T1 处理最低, 仅为 1 947.2 kg/hm²。这说明在本试验条件下, 低水低氮处理不利于烤烟产量的提高。在相同施氮量条件下, 增加灌溉量降低了烤烟灌溉水利用效率; 而在相同灌溉量条件下, 随着施氮量的增加, 灌溉水利用效率先上升后下降, 当施氮量为 120 kg/hm² 时, 灌溉水利用效率最高。不同水氮耦合处理烤烟的氮素利用率为 34.42%~48.58%。当灌溉量相同时, 肥料氮素利用率随着施氮量的增加呈明显的下降趋势; 当施氮

量相同时, 增加灌溉量可提高氮素的利用效率。

2.4 不同烤烟水氮耦合方案的熵权系数评价

本研究利用熵权系数法^[19-20]对表 5 中不同水氮耦合方案进行评价, 从中筛选出最佳方案。设烤烟水氮耦合方案的评价指标为 n 个, 方案有 m 种, 本研究中的评价指标包括品质综合主成分、灌溉水利用效率、氮素利用率、灌溉量和烤烟产量 5 个, 水氮耦合方案共 9 种, 所以 $n=5, m=9$ 。 m 种水氮耦合方案与 n 个指标值构成的评价矩阵为:

$$R = (r_{ij})_{m \times n}.$$

式中: r_{ij} 为第 i 种水氮耦合方案下第 j 个指标值。

对于第 j 个指标值, 共有信息熵 E_j 值为:

$$E_j = - \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, j=1, 2, 3, \dots, n.$$

式中: $p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}$ 。

第 j 个指标值的熵 e_j 值为:

$$e_j = \frac{1}{\ln m} E_j, j=1, 2, 3, \dots, n。$$

第 j 个指标的客观权重 θ_j 为:

$$\theta_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j), j=1, 2, 3, \dots, n。$$

易见 $0 \leq \theta_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^n \theta_j = 1$, 除了考虑客观权重外, 本试验还考虑决策者的主观判断经验, 故将决策者的主观权重 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ (根据实际需要, 本研究赋予烤烟品质综合主成分、灌溉水利用效率、肥料氮素利用率、总灌溉量和产量的主观权重分别为 0.3, 0.2, 0.2, 0.1 和 0.2) 与客观权重 θ_j ($j=1, 2, 3, \dots, n$) 相结合可得最终的指标权重 α_j 为:

$$\alpha_j = \theta_j \bar{\omega}_j / \sum_{j=1}^n \theta_j \bar{\omega}_j, j=1, 2, 3, \dots, n。$$

记矩阵 $\mathbf{R}$ 中每列的最优值为 r_j^* , 对该矩阵中各元素 r_{ij} 做标准化处理, r_j^* 的大小因评价指标的性质而异。评价指标值可分为 2 类: r_j^* 越大越优者为收

益性指标, r_j^* 越小越优者为损失性指标。用下式对 r_{ij} 进行标准化处理:

$$d_{ij} = \begin{cases} \frac{r_{ij}}{r_j^*}, & r_j^* = \max\{r_{ij}\}; \\ \frac{r_j^*}{r_{ij}}, & r_j^* = \min\{r_{ij}\}。 \end{cases}$$

式中: d_{ij} 为标准化处理后的指标。

各种水氮耦合方案的熵权系数评价值 λ_i 可表示为:

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j d_{ij}, i=1, 2, 3, \dots, m。$$

根据品质综合主成分、灌溉水利用效率、氮素利用率、总灌溉量和产量 5 个指标, 确定 9 种水氮耦合方案的熵权系数评价值, 结果如图 1 所示。在综合上述 5 项指标的情况下, 熵权评价值越大, 说明该水氮设计方案越优。由图 1 可知, 9 种水氮耦合方案优劣排序依次为 $T4 > T5 > T1 > T6 > T3 > T8 > T9 > T2 > T7$, $T4$ 处理为最优方案, $T5$ 处理次之, $T7$ 处理最差。

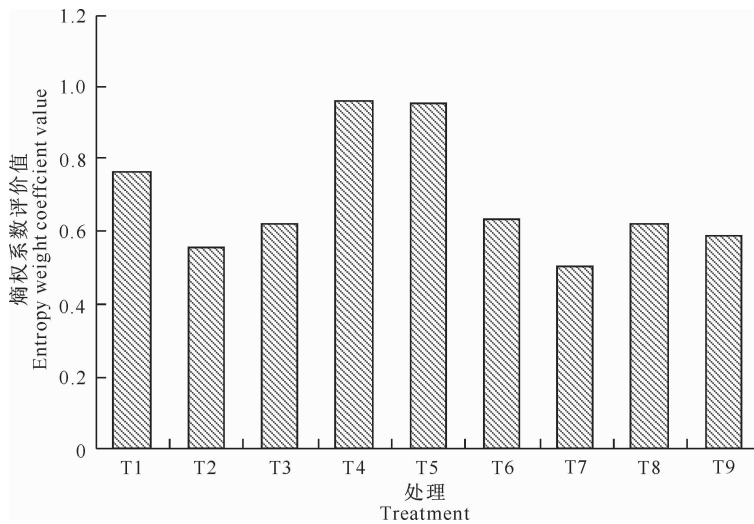


图 1 烤烟不同水氮耦合方案的熵权系数评价值

Fig. 1 Entropy weight coefficient values of different water and nitrogen coupling treatments for flue-cured tobacco

3 讨论与结论

在优质烟叶生产过程中, 进行节水灌溉设计时应充分考虑对烤烟品质的影响。本研究在进行主成分分析过程中, 将烤烟的多个主要品质指标转化为烤烟品质综合评价指标, 可较好地反映不同滴灌模式下烤烟的品质水平。主成分分析结果显示, $T5$ 方案 (500 mm 灌溉量 + 120 kg/hm² 施氮量) 烟叶品质最优, $T4$ 次之, $T7$ 方案烟叶的品质最差。

本研究中, 不同水氮耦合处理烤烟的氮素利用

率为 34.42%~48.58%, 可知烤烟植株中绝大多数的氮素来源于土壤而非肥料。这与前人研究成果基本一致, 如韩锦峰等^[21] 通过盆栽试验得出, 烟草 9.11%~40.2% 的氮素来源于当季所施肥料; 焦永鸽^[22] 在红壤土中的试验结果表明, 烤烟全生育期吸收的 29.07%~40.26% 总氮来自肥料; 谷海红等^[23] 认为, 水稻土中, 烤烟吸收的 26.55%~30.87% 的氮素来自于肥料。计算氮素利用率时, 差值法显得太过笼统, 而利用示踪法可以了解烟株对来自于肥料的氮素的吸收和利用情况, 明确水是否可以“调

肥、是否有利于肥料态的氮素向速效态转化。从本试验结果来看,水氮耦合效应十分明显,不同水氮耦合处理对烤烟产量、质量及氮素利用率和灌溉水利用效率影响显著。

本研究对最佳水氮耦合方案的要求为高产优质、节水节肥,由熵权系数评价模型计算结果可知,T4 为综合指标最优的处理,熵权系数评价价值最高,T5 次之,T7 处理最差,表明在一定灌溉量范围内,过多施氮量反而会造成烟叶品质、产量下降和水肥资源的浪费。本研究中,熵权系数模型很好地将主观权重与客观权重相结合,从而避免了单独使用主观权重或单独使用客观权重造成的片面性,提高了评价结果的可靠性。本研究将主成分分析与熵权系数评价模型结合应用,取得了良好的效果,在今后的研究中,可继续有针对性加强这方面的探索。

[参考文献]

[1] 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,2012,31(1):106-108,116.
Hou M M,Shao X H,Yuan Y B,et al. Simulation model of the leaf area index of tobacco under water and nitrogen coupling condition [J]. Journal of Irrigation and Drainage,2012,31(1):106-108,116. (in Chinese)

[2] 胡家敏,李继新,陈中云,等. 贵州省植烟土壤干旱预测模型初步研究 [J]. 水利水电科技进展,2010,30(5):45-47,89.
Hu J M,Li J X,Chen Z Y,et al. Preliminary study on drought prediction model for tobacco planting soils in Guizhou Province [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2010,30(5):45-47,89. (in Chinese)

[3] 蔡联合,韦建玉,白 森,等. 农家肥不同施用方式对烟草成长及烤烟品质的影响 [J]. 南方农业学报,2012(3):336-340.
Cai L H,Wei J Y,Bai S,et al. Effect of farmyard manure application methods on the growth and quality of flue-cured tobacco [J]. Journal of Southern Agriculture,2012(3):336-340. (in Chinese)

[4] 陈静静,张富仓,周罕觅,等. 不同生育期灌水和施氮对夏玉米生长、产量和水分利用效率的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(1):89-95.
Chen J J,Zhang F C,Zhou H M,et al. Effect of irrigation at different growth stages and nitrogen fertilizer on maize growth,yield and water use efficiency [J]. Journal of Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2011,39(1):89-95. (in Chinese)

[5] 刘小刚,张富仓,田育丰,等. 水氮互作对石羊河流域春小麦群体产量和水氮利用的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(3):107-113.
Liu X G,Zhang F C,Tian Y F,et al. Interactive impact of water and nitrogen on group yield of spring wheat and use of wa-

ter and nitrogen in Shiyang River Basin [J]. Journal of Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2009,37(3):107-113. (in Chinese)

[6] 周昌明,李援农,蒋耿民,等. 不同水氮处理对冬小麦生长及土壤硝态氮含量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(5):52-58.
Zhou C M,Li Y N,Jiang G M,et al. Effects of different water and nitrogen treatments on growth of winter wheat and soil nitrate content [J]. Journal of Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2013,41(5):52-58. (in Chinese)

[7] Ye Y S,Liang X Q,Chen Y X,et al. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice: Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use [J]. Field Crops Research,2013,144:212-224.

[8] 李培岭,张富仓. 不同沟灌方式下根区水氮调控对棉花群体生理指标的影响 [J]. 农业工程学报,2011,27(2):38-45.
Li P L,Zhang F C. Effect of root zone water and nitrogen regulation on cotton population physiological indices under different furrow irrigation patterns [J]. Transactions of the CSAE,2011,27(2):38-45. (in Chinese)

[9] Rathore S S,Shekhawat K,Premi O P,et al. Water use efficiency,productivity,photosynthesis and sustainability of pressurized irrigation systems for Indian mustard *Brassica juncea* (L.) Czern and Coss under semi-arid conditions of Rajasthan [J]. Research on Crops,2013,14(1):140-150.

[10] 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.

[11] Hou M M,Shao X H,Chen L H,et al. Study on nitrogen utilization efficiency of flue-cured tobacco with ¹⁵N tracing technique [C]//Ren N Q. Proceedings of the 1st International Conference on Energy and Environmental Protection,ICEEP. Hohhot:Trans Tech Publications,2012.

[12] 刘国顺,江厚龙,杨永锋,等. 基于烤烟品质确定烟田的养分管理分区 [J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):996-1004.
Liu G S,Jiang H L,Yang Y F,et al. Identifying management zones in tobacco-planted fields based on tobacco quality [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2011,17(4):996-1004. (in Chinese)

[13] 段俊杰,蒋美红,资文华,等. 基于遗传算法优化的投影寻踪烤烟质量综合评价 [J]. 湖北农业科学,2012,51(10):2040-2044.
Duan J J,Jiang M H,Zi W H,et al. Comprehensive evaluation of tobacco quality based on projection pursuit model and RAGA [J]. Hubei Agricultural Science,2012,51(10):2040-2044. (in Chinese)

[14] 刘永贤,李伏生,农梦玲. 烤烟不同生育时期分根区交替灌溉的节水调质效应 [J]. 农业工程学报,2009,25(1):16-20.
Liu Y X,Li F S,Nong M L. Effects of alternate partial root-zone irrigation on water saving and quality regulating of flue-

- cured tobacco at different growth stages [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 16-20. (in Chinese)
- [15] 王 鹏, 曾玲玲, 王发鹏, 等. 肥料¹⁵N 对烟叶氮和烟碱含量的影响 [J]. 土壤通报, 2010, 4(2): 389-393.
Wang P, Zeng L L, Wang F P, et al. Effects of fertilizer ¹⁵N on tobacco nitrogen and alkaloids [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 4(2): 389-393. (in Chinese)
- [16] 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, 4(8): 60-62.
Wang Y, Wei Z. Evaluation of water-saving irrigation mode for flue-cured tobacco based on projection pursuit classification model [J]. Water-saving Irrigation, 2012, 4(8): 60-62. (in Chinese)
- [17] Spurr R, Natraj V, Lerot C, et al. Linearization of the principal component analysis method for radiative transfer acceleration: Application to retrieval algorithms and sensitivity studies [J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2013, 125: 1-17.
- [18] Wang F, Du T, Qiu R. Deficit irrigation scheduling of greenhouse tomato based on quality principle component analysis [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 75-80.
- [19] Fagbote E O, Olanipekun E O, Uyi H S. Water quality index of the ground water of bitumen deposit impacted farm settlements using entropy weighted method [J]. Int J Environ Sci Technol, 2013, 26(4): 1-12.
- [20] Chen S Z, Wang X J, Zhao X J. An attribute recognition model based on entropy weight for evaluating the quality of ground-water sources [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2008, 18(1): 72-75.
- [21] 韩锦峰, 刘国顺, 韩富根, 等. 氮素用量、形态和种类对烤烟生长发育及产量品质影响的研究 [J]. 中国烟草学报, 1992(1): 44-52.
Han J F, Liu G S, Han F G, et al. Study on the effects of nitrogen levels, nitrogen forms and nitrogen classes at growth, development, yield and quality in flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 1992(1): 44-52. (in Chinese)
- [22] 焦永鸽. 红壤供氮特性及对烤烟氮素营养的贡献 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
Jiao Y G. The characteristic of nitrogen supply of red soil and its contribution to nitrogen nutrition of flue-cured tobacco [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008. (in Chinese)
- [23] 谷海红, 李志宏, 李天福, 等. 不同来源氮素在烤烟体内的累积分配及对烟叶品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 12(1): 183-190.
Gu H H, Li Z H, Li T F, et al. Accumulation and distribution of nitrogen in tobacco from different sources and their effects on quality of flue-cured leaves [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 12(1): 183-190. (in Chinese)

(上接第 24 页)

- [16] 邓 婧, 张岱尊, 杨文静. 醇取丹参液对几种口腔致病菌的体外抑菌作用 [J]. 上海口腔医学, 2006, 15(2): 107-109.
Deng J, Zhang D Z, Yang W J. An *in vitro* experiment on the antimicrobial effects of ethanol extract from *salvia miltiorrhiza* bunge on several oral pathogenic microbes [J]. Shanghai Journal of Stomatology, 2006, 15(2): 107-109. (in Chinese)
- [17] 欧丽娟, 刘启德. 陈皮药理作用研究进展 [J]. 中国药房, 2006, 17(10): 787-788.
Ou L J, Liu Q D. Advance in pharmacology of citrus [J]. China Pharmacy, 2006, 17(10): 787-788. (in Chinese)
- [18] Collier M R, Smiricky-Tjardes, Albin D M, et al. Molecular ecological analysis of porcine ileal microbiota responses to antimicrobial growth promoters [J]. Journal of Animal Science, 2003, 81: 3035-3045.
- [19] Vance J, McCracken, Joyce M, et al. Molecular ecological analysis of dietary and antibiotic-induced alterations of the mouse intestinal microbiota [J]. Journal of Nutrition, 2001, 131: 1862-1870.
- [20] 朱伟云, 姚 文, 毛胜勇. 变性梯度凝胶电泳法研究断奶仔猪粪样细菌区系变化 [J]. 微生物学报, 2003, 43(4): 503-508.
Zhu W Y, Yao W, Mao S Y. Development of bacterial community in faeces of weaning piglets as revealed by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2003, 43(4): 503-508. (in Chinese)
- [21] Zoetendal E G, Collier C T, Koike S, et al. Molecular ecological analysis of the gastrointestinal microbiota: A review [J]. Journal of Nutrition, 2004, 134: 465-472.