

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2008.06.010

不同灌溉方式下水稻产量构成因素投影寻踪评价方法

张正良^{1,2}, 彭世彰^{1,3}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学节水研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:为寻找出对水稻产量具有突出贡献的因子, 采用投影寻踪技术, 选择产量构成因素作为评价指标, 提出了水稻产量构成因素投影寻踪评价方法, 并用该方法对黑龙江 6 个试验站 2004 ~ 2006 年试验数据进行了分析. 分析结果表明, 常规灌溉条件下对水稻产量影响较大的产量构成因素是穗粒数和结实率, 控制灌溉条件下则为穗粒数和单位面积成穗数.

关键词:水稻产量 灌溉方式 投影寻踪

中图分类号: S511.071 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2008)06-0773-04

水稻的产量构成因素有单位面积成穗数、穗粒数、结实率及千粒重, 在产量形成过程中表现出相互联系、相互制约和相互补偿的关系^[1]. 对水稻产量构成因素的研究, 目前一般采用综合分析法、灰色关联度分析法、主成分分析法等^[2-4], 即通过对单个影响因子的分析, 结合各因子对生长、产量等影响程度, 对各评价因子进行定性描述. 但各因子差异水平不显著时, 或者不同因子之间关系不容易确定时, 所得结论亦与研究者认知水平有关, 具有一定的不确定性.

投影寻踪分类评价方法能在一定程度上解决多指标样本评价等非线性问题, 在环境、农业、水利等复杂工程系统的优化、预测及评价过程中都得到了成功应用. 金菊良等^[5-7]利用基于加速遗传算法的投影寻踪模型进行环境监测优化布点、农业生产综合力综合评价和洪水灾情评价, 付强等^[8]应用投影寻踪分类模型对水稻灌溉制度进行了研究, 王业成等^[9]利用投影寻踪方法对稻米品质进行了综合评价等, 都取得了较好的效果. 而应用该方法对水稻产量各个构成因素的评价, 国内鲜有报道. 鉴于此, 本文提出了基于加速遗传算法的水稻构成因素投影寻踪(PPC-RAGA)评价方法.

1 试验处理与设计

在黑龙江省 22 个试验站安排当地常规灌溉 1 个处理(简称常灌)和控制灌溉 2 个处理(简称控灌 I 和控灌 II)进行对比试验, 每处理设 3 次重复. 控制灌溉是指秧苗本田移栽后, 仅返青期田面保持 10 ~ 30 mm 水层, 其后生育期灌水后不再保留明水层, 以根层土壤水分为控制指标, 确定灌水时间和灌水定额. 土壤水分控制上限为饱和含水率, 各生育期控制下限分别取饱和含水率的 60% ~ 80% 组合, 黄熟期自然落干. 控灌 II 处理遇降雨, 除分蘖后期烤田外, 田间可蓄雨水, 但不超过 50 mm.

水稻收割前 3 ~ 5 d, 各试验站试验田块对水稻进行考种测产, 取得理论、样方及单打单收等水稻产量, 具体方法及步骤均按规范要求. 样方产量运用对称等距抽样方法, 选取代表性田块, 实割实测, 样本晾晒干后, 脱粒称重, 获得样方产量. 单打单收产量为各试验站代表性田块单打单收所得.

2 投影寻踪模型的建立

2.1 建模思路

根据各个产量构成因素的综合差异来评价其对水稻产量的贡献, 建立投影寻踪分类模型, 试图分别寻找

出常灌与控灌Ⅰ、控灌Ⅱ条件下对产量影响的主要因子.其基本思路^[5,8]是:通过建立基于实码加速遗传算法(RAGA)的投影寻踪分类模型(PPC),将控灌2个处理和常灌处理的产量构成因素指标通过寻求最佳投影方向合成一维投影值映射到低维子空间,根据投影值大小以及投影方向,对水稻产量各构成因素进行分析,便于对样本进行综合效益评价.

2.2 模型的建立

建模过程主要包括以下步骤:

步骤1 建立评价指标体系.选取单位面积成穗数、穗粒数、结实率及千粒重作为评价指标,建立水稻产量构成因素评价指标体系.分3个处理,设各个站点水稻构成因素指标数据的样本集为 $\{x_{ij}^* \mid i = 1 \sim n, j = 1 \sim p\}$,其中 x_{ij}^* 为第 i 个站点、第 j 个指标值.为了消除各评价指标的量纲影响,对 x_{ij}^* 进行归一化处理:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}^* - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \tag{1}$$

式中: $x_{\max j}, x_{\min j}$ ——第 j 个指标值的最大值和最小值; x_{ij} ——归一化后的数据样本值.

步骤2 构造投影指标函数 Z_i .投影寻踪分类方法就是把 p 维数据 $\{x_{ij}^* \mid j = 1 \sim p\}$ 综合成以 $a = (a_1, a_2, \dots, a_p)$ 为投影方向的一维投影值 Z_i ,设 a 为单位长度向量,即

$$Z_i = \sum_{j=1}^p a_j x_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{2}$$

即尽可能多地提取 x_{ij} 中的变异信息,即 Z_i 的标准差 S_z 尽可能大,同时投影值 Z_i 的局部密度 D_z 达到最大,基于此,投影目标函数可构造为

$$Q(a) = S_z D_z \tag{3}$$

$$S_z = \left[\sum_{i=1}^n \frac{Z_i - E(z)}{\sqrt{n-1}} \right]^{1/2} \tag{4}$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij}) u(R - r_{ij}) \tag{5}$$

式中: $E(z)$ ——序列 $\{Z_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 的均值; R ——局部密度的窗口半径,其选取既要使包含在窗口内的投影点的平均个数不太少,避免滑动平均偏差太大,又不能使它随着 n 的增大而增加太快, R 的取值范围为 $r_{\max} + \frac{p}{2} \leq R \leq 2p$; r_{ij} ——样本之间的距离, $r_{ij} = |Z_i - Z_j|$; $u(R - r_{ij})$ ——单位阶跃函数, $R - r_{ij} \geq 0$ 时其函数值为1, $R - r_{ij} < 0$ 时其函数值为0^[10-11].

2.3 求解

步骤1 优化投影指标函数,确定最佳投影方向.

最大化目标函数

$$M = \max \{Q(a)\} \tag{6}$$

约束条件

$$\sum_{j=1}^p a_j^2 = 1 \quad (-1 \leq a_j \leq 1) \tag{7}$$

利用 Matlab7.0 编程,采用实码加速遗传算法处理该问题,实现投影指标函数的优化.

步骤2 优序排列.把由步骤1求得的最佳投影方向 a_i^* 代入式(2)后可得各处理样本点的投影值 Z_i^* ^[12].若按 Z_i^* 值从大到小排序,则可以将站点从优到劣进行排序.并根据投影方向各分量大小的排序,找出各种处理条件下最具有突出贡献的影响因子.

3 计算结果与分析

根据2004~2006年3年实测数据,选取庆安、五常、汤原、海林、856农场和肇东6个站点,获得各因子评价指标的原始数据,见表1~3.

经过分析计算,得出最佳投影方向分别为:常灌 $a_{\text{常}} = (0.0161, 0.6893, 0.7219, 0.0587)$ 控灌Ⅰ $a_{\text{Ⅰ}}^* = (0.6715, 0.7375, 0.0024, 0.0720)$ 控灌Ⅱ $a_{\text{Ⅱ}}^* = (0.6175, 0.7835, 0.0028, 0.0696)$.将 $a_{\text{常}}, a_{\text{Ⅰ}}^*, a_{\text{Ⅱ}}^*$ 代入式(4)即

得各站点的样本建立的综合效益分类评价样本的投影值为： $Z_{常} = (1.3563, 0.6312, 0.6993, 0.2592, 0.0637, 0.9644)$ ， $Z_I^* = (1.3647, 0.8067, 0.1293, 0.0111, 0.5515, 0.9913)$ ， $Z_{II}^* = (1.4278, 0.7043, 0.3949, 0.2185, 0.7044, 0.8509)$ ，具体结果见表 1~3。样本的投影值越大，表明该站点的产量效果越好。3 种处理下，肇东和庆安的产量水平均排在前列，与实际情况基本相符合。

同时，最佳投影方向各分量的大小实质上反映了水稻产量各个构成因素评价指标对总体产量的综合效益评价影响程度。各构成因素评价指标对水稻产量的影响程度大小，常灌为结实率 > 穗粒数 > 千粒重 > 单位面积成穗数，控灌Ⅰ为穗粒数 > 单位面积成穗数 > 千粒重 > 结实率，控灌Ⅱ为穗粒数 > 单位面积成穗数 > 千粒重 > 结实率。从 3 年的数据分析看，当地常灌处理下对水稻产量影响较大的产量构成因素是穗粒数和结实率，而 2 种控灌的处理则为穗粒数和单位面积成穗数。控灌使得水稻的根系发育良好^[13]，茎干粗壮，群体结构合理，并通过对土壤水分的合理调控，减少了无效分蘖，提高了水分和养分的有效利用率^[14-16]，显著增加了单位面积成穗数（由基本苗和单株有效分蘖率 2 个因素决定）、穗粒数。在产量形成过程中，只要单位面积成穗数或穗粒数的增加，能够补偿或超过穗粒数或结实率的下降损失，即表现增产^[1,17]。从表 1~3 的数据可以看出，常灌处理的平均单位面积成穗数为 491.3 万穗/hm²，而控灌Ⅰ、控灌Ⅱ分别为 504.5 万穗/hm² 和 493.8 万穗/hm²；常灌处理的平均穗粒数为 87.48 粒，而控灌Ⅰ、控灌Ⅱ则分别为

85.72 粒和 87.82 粒。控灌Ⅰ、控灌Ⅱ的平均结实率分别为 86.72% 和 85.75%，而常灌则为 84.82%。常灌处理的平均千粒重为 25.12 g，而控灌Ⅰ、控灌Ⅱ则分别为 25.58 g 和 25.55 g。控灌在穗粒数接近常灌处理的前提下，总体上增加了单位面积成穗数，结实率和千粒重也高于常灌。因此，控制灌溉条件下水稻增产潜力更大。

可见由优化投影方向反映出的上述评价指标对各样本总体评价的重要程度，比较符合实际情况。因此，在今后的控灌推广实践中，应在维持一定穗粒数的基础上，适当加大基本苗量以提高成穗数，协调好这些因素之间的相互影响和制约作用，尽量防止在提高某一因素的同时对其他因素产生负面影响，从而为我国高寒地区水稻产量的高产稳产作出贡献。

4 结 语

常灌条件下对水稻产量的影响比较大的产量构成因素为穗粒数和结实率，控灌则为穗粒数和单位面积成穗数。控灌处理在保证穗粒数接近常灌处理的前提下，总体上显著地提高了单位面积成穗数，结实率和千粒重也高于常灌处理，因此更具有高产优势。

表 1 常灌水稻产量构成因素评价指标值及投影值

Table 1 Values of evaluation indices for component factors of rice yield under conventional irrigation their projections (CK)

示范点	单位面积 成穗数/ (万穗·hm ⁻²)	穗粒 数/粒	结实 率/%	千粒 重/g	实收产量/ (kg·hm ⁻²)	投影值
庆安	468	104.9	81.1	26.0	8325.0	1.3563
五常	429	84.2	89.8	23.7	7350.0	0.6312
汤原	555	71.5	82.5	24.7	7686.0	0.6993
海林	546	66.7	80.5	25.7	6450.0	0.2592
856 农场	599	80.1	86.4	25.4	7270.5	0.0637
肇东	351	117.5	88.6	25.2	8145.0	0.9644
投影向量	0.0161	0.6893	0.7219	0.0587		

表 2 控灌Ⅰ水稻产量构成因素评价指标值及投影值

Table 2 Values of evaluation indices for component factors of rice yield under controlled irrigation their projections (KⅠ)

示范点	单位面积 成穗数/ (万穗·hm ⁻²)	穗粒 数/粒	结实 率/%	千粒 重/g	实收产量/ (kg·hm ⁻²)	投影值
庆安	471	104.5	85.1	27.8	9075.0	1.3647
五常	429	86.9	90.9	24.2	8095.5	0.8067
汤原	606	63.1	83.0	24.9	7254.0	0.1293
海林	549	63.5	84.2	25.8	6300.0	0.0111
856 农场	621	78.2	86.9	25.4	7474.5	0.5515
肇东	351	118.1	90.2	25.4	8250.0	0.9913
投影向量	0.6715	0.7375	0.0024	0.0720		

表 3 控灌Ⅱ水稻产量构成因素评价指标值及投影值

Table 3 Values of evaluation indices for component factors of rice yield under controlled irrigation their projections (KⅡ)

示范点	单位面积 成穗数/ (万穗·hm ⁻²)	穗粒 数/粒	结实 率/%	千粒 重/g	实收产量/ (kg·hm ⁻²)	投影值
庆安	470	107.8	80.0	27.0	9379.5	1.4278
五常	441	85.0	89.2	24.4	7980.0	0.7043
汤原	570	70.3	82.1	24.7	7900.5	0.3949
海林	510	64.7	85.8	26.1	6723.0	0.2185
856 农场	620	81.1	87.1	25.7	8223.0	0.7044
肇东	353	118.0	90.3	25.4	8917.5	0.8509
投影向量	0.6175	0.7835	0.0028	0.0696		

本文提出的水稻产量构成因素投影寻踪评价方法克服了传统评价方法计算复杂、编程实现难、主观赋权干扰等不足,解决了高维数据全局寻优的难题,减少了寻优工作量,为控灌条件下水稻产量构成因素的评价方法研究提供了一条值得探索的新方法.

参考文献:

- [1] 刁操铨.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [2] 白良明,张凤鸣.水稻产量及构成因素的灰色关联度分析初探[J].农业系统科学与综合研究,2001,17(1): 65-66.
- [3] 马洪文,代晓华.宁夏水稻育成新品系产量及其构成因素分析[J].宁夏农林科技,2003(5): 19-21.
- [4] 季彪俊.水稻产量影响的主成分分析[J].闽西职业大学学报,2004,12(4): 97-100.
- [5] 金菊良,魏一鸣,付强,等.农业生产力综合评价的投影寻踪模型[J].农业系统科学与综合研究,2001,17(4): 241-243.
- [6] 金菊良,张欣莉,丁晶.评估洪水灾情等级的投影寻踪模型[J].系统工程理论与实践,2002,22(2): 140-144.
- [7] 金菊良,江明武,魏一鸣.用投影寻踪分类模型进行环境监测优化布点[J].安全与环境学报,2004,4(4): 10-12.
- [8] 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,2002,33(10): 39-45.
- [9] 王业成,雷涛,权龙哲,等.基于投影寻踪法的稻米品质综合评价[J].东北农业大学学报,2006,37(2): 211-214.
- [10] 封志明,郑海霞,刘宝勤.基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价[J].农业工程学报,2005,21(3): 68-72.
- [11] 赵小勇,付强,邢贞相,等.投影寻踪模型的改进及其在生态农业建设综合评价中的应用[J].农业工程学报,2006,22(5): 222-225.
- [12] 付强,赵小勇.投影寻踪模型原理及其应用[M].北京:科学出版社,2006.
- [13] 左晓霞,俞双恩,赵伟.江苏省水稻节水灌溉技术推广效益[J].水利水电科技进展,2005,25(4): 39-41.
- [14] 刘凤丽,彭世彰,徐俊增,等.控制灌溉模式下水稻群体结构试验研究[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5/6): 417-419.
- [15] 俞双恩,张展羽.江苏省水稻高产节水灌溉技术体系研究[J].河海大学学报:自然科学版,2002,30(6): 30-34.
- [16] 施世宽,施朱峰,潘德峰.水稻控灌特性及最佳密度试验研究[J].水利水电科技进展,2002,22(4): 7-8.
- [17] 蒋春月.农作物节水增效种植制度研究[J].水利经济,2007,25(3): 42-43.

Evaluation methods for component factors of rice yield based on projection pursuit classification model under different irrigation patterns

ZHANG Zheng-liang^{1,2}, PENG Shi-zhang^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China;

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

3. Water Saving Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to find the factors with prominent contribution to the rice yield, an evaluation method for component factors of rice yield based on projection pursuit classification model was put forward by use of the projection pursuit techniques and selecting the component factors as the evaluation indices. The proposed method was adopted to analyze the test data of 6 irrigation stations in Heilongjiang Province from 2004 to 2005. The case studies show that the kernel number per spike and the rice seed rate play more important role in the rice yield under the conventional irrigation, while the kernel number per spike and the spike number per 667 m² play more important role in the rice yield under the controlled irrigation.

Key words: rice yield; irrigation pattern; projection pursuit