

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.010

畦田灌水质量敏感性灰色关联分析

王志涛¹, 缴锡云², 卢健²

(1. 安徽省水利水电勘测设计院, 安徽 合肥 230088; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对畦田灌水质量进行敏感性分析。应用已有的畦灌各影响因素的空间变化范围, 采用均匀设计方法设计模拟方案, 利用 WinSRFR 模型模拟得到各方案的灌水效率、灌水均匀度、储水效率和综合指标等灌水质量结果。在此基础上, 利用灰色关联分析方法分析畦田灌水质量对各因素的敏感程度。结果表明, 灌水质量综合指标对各因素的敏感程度从大到小排序为: 改水成数 G 、单宽流量 q 、田面糙率 n 、畦长 L 、入渗系数 K 、入渗指数 α 、畦田纵坡 Z 。由此可见, 灌水质量对技术要素的敏感性要高于自然要素, 因此在进行灌溉设计和管理时, 更应注重灌水技术要素的控制精度。

关键词: 畦灌; 均匀设计; 灌水质量; 灌水技术要素; 灰色关联分析; 敏感性分析

中图分类号: S282 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2018)02-0161-04

Grey relational analysis of the quality sensitivity for the border irrigation

WANG Zhitao¹, JIAO Xiyun², LU Jian²

(1. Anhui Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Hefei 230088, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: There are many influencing factors of irrigation quality in the border irrigation, and it is important to analysis the quality sensitivity of these factors. Based on the results of field experiments, the grey correlation analysis was combined with the WinSRFR model and uniform design to study the factor sensitivity on the irrigation quality of border irrigation. The analysis shows that the sensitivity of the factors for border irrigation can be listed according to the order from large to small as: inflow cutoff G , unit discharge q , surface roughness n , border length L , infiltration coefficient K , infiltration index α , and longitudinal slope of border field Z . The irrigation quality is more affected by the irrigation technology than the natural elements. During the design and management of border irrigation, it should be taken more attention on the controlling accuracy of irrigation technology.

Key words: border irrigation; uniform design; irrigation quality; irrigation technology; grey relational analysis; sensitivity analysis

畦田灌水质量影响因素的敏感性分析对畦灌系统几何参数选取和管理系统设计具有重要意义。由于畦灌系统的影响因素多, 且空间变异性程度不同^[1-2], 给畦田灌水质量的敏感性分析带来了困难^[3]。敏感性分析方法可分为单因素影响分析法、正交试验方差分析法和基于均匀设计的灰色关联分析法^[4-5]。田间试验很难剥离其他因素的干扰, 所以以数值模拟为基础的单因素影响分析方法应用较多^[6-7]。王维汉等^[3]应用稳健设计的基本理论, 结合地面灌溉 SRFR 模拟模型, 评价畦田的灌水质量, 模拟单宽流量和入渗参数对灌水质量的影响, 分析了各影响因素对灌水质量的敏感性。然而, 在畦灌影响因素的变化范围内, 综合研究和量化评价各影响因素对畦田灌水质量敏感程度的研究较少。为量化分析畦灌各影响因素对灌水质量的敏感程度, 本文在均匀设计和 WinSRFR 模型模拟的基础上, 利用灰色关联分析方法研究畦灌各影响因素对灌

作者简介: 王志涛(1987—), 男, 工程师, 主要从事水利工程规划工作。E-mail: wztauh@126.com
通信作者: 缴锡云, 教授。E-mail: xyjiao@hhu.edu.cn
引用本文: 王志涛, 缴锡云, 卢健. 畦田灌水质量敏感性灰色关联分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 161-164. DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.010.

水质量的敏感度。

1 数据与方法

1.1 基础数据

影响畦田灌水质量的因素很多,除灌水流量、改水成数和畦长等灌水技术要素外,还包括土壤特性参数、田面糙率和畦田纵坡等自然因素。文献[1]在田间调查的基础上,应用经典统计学方法分析了入渗参数、田面糙率、畦田微地形、畦宽误差、灌溉流量以及改水成数等畦灌影响因素的空间变异规律,得到了各影响因素的空间变异范围。本文中所涉及单宽流量 q 、改水成数 G 、畦长 L 、入渗系数 K 、入渗指数 α 、田面糙率 n 和畦田纵坡 Z 的取值范围均采用文献[1]中成果。畦灌各影响因素及它们的取值范围^[1]如下: $q=2.3\sim7.25\text{ L}/(\text{m}\cdot\text{s})$, $G=0.700\sim1.000$, $L=75\sim130\text{ m}$, $K=3.90\sim11.05\text{ mm}/\text{min}^a$, $\alpha=0.448\sim0.943$, $n=0.0141\sim0.0669$, $Z=0.00010\sim0.00252$ 。其中 n 的统计结果不包含不合理值。

入渗模型采用考斯加科夫公式

$$I=Kt^\alpha$$

(1)

式中: I ——累积入渗量,mm。

1.2 均匀设计

均匀设计是1978年由方开泰和王元共同提出的。与正交设计类似,均匀设计表是进行均匀设计的基础。均匀设计表用 $U_n(r')$ 或 $U_n^*(r')$ 表示,其中 U 表示均匀设计, n 表示要做 n 次试验(均匀表横行数), r 为试验因素的水平数, l 表示该均匀设计表有 l 纵列^[8]。均匀设计的试验数与水平数相同,与正交设计不同的是更注重试验点的“均匀分散”,而不考虑“整齐可划”,从而大幅度降低了试验次数。目前,均匀设计广泛应用于多个领域,如设计遗传神经网络的训练样本^[5],分析多因素多水平的模糊决策权重敏感性分析^[9],研究地下滴灌灌水器流量变化特性^[10],优化设计畦灌灌水技术要素^[11]等。

本文选用 $U_{12}^*(12^{10})$ 均匀设计表,设计灌水技术方案,并利用WinSRFR模型^[12]模拟畦田灌溉。在此基础上,以灌水效率 E_a 、灌水均匀度 D_u 、储水效率 E_s ^[13]以及综合指标 Y (灌水效率、灌水均匀度、储水效率三者的算术平均值^[14])进行灌水质量评价。均匀设计方案及评价结果见表1。

表1 $U_{12}^*(12^{10})$ 均匀设计方案及灌水质量计算结果

Table 1 The $U_{12}^*(12^{10})$ uniform design scheme and related irrigation quality

方案	$q/$ ($\text{L}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)	G	L/m	$K/$ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-a}$)	α	n	Z	E_a	D_u	E_s	Y
1	2.30	0.727	100	8.45	0.808	0.0573	0.00252	0.028	0.000	0.733	0.254
2	2.75	0.781	130	5.20	0.628	0.0429	0.00230	0.995	0.512	0.683	0.730
3	3.20	0.835	95	10.40	0.448	0.0285	0.00208	0.995	0.869	0.683	0.849
4	3.65	0.889	125	7.15	0.853	0.0141	0.00186	0.011	0.315	0.900	0.409
5	4.10	0.943	90	3.90	0.673	0.0621	0.00164	0.889	0.722	0.767	0.792
6	4.55	0.997	120	9.10	0.493	0.0477	0.00142	0.820	0.803	0.983	0.869
7	5.00	0.700	85	5.85	0.898	0.0333	0.00120	0.937	0.020	0.667	0.541
8	5.45	0.754	115	11.05	0.718	0.0189	0.00098	0.493	0.040	0.767	0.433
9	5.90	0.808	80	7.80	0.538	0.0669	0.00076	0.994	0.904	0.583	0.827
10	6.35	0.862	110	4.55	0.943	0.0525	0.00054	0.535	0.327	0.883	0.582
11	6.80	0.916	75	9.75	0.763	0.0381	0.00032	0.651	0.613	0.967	0.743
12	7.25	0.970	105	6.50	0.583	0.0237	0.00010	0.951	0.979	1.000	0.977

注:WinSRFR模型模拟时,畦宽取为1.5 m,作物需水定额 D_{rep} 取为60 mm。

1.3 灰色关联分析

灰色关联分析是灰色系统理论的一部分,是在点与点之间的比较测度(灰色关联系数)的基础上,计算序列与序列之间的比较测度(灰色关联度)^[15]。根据各序列曲线与参考序列曲线之间的几何相似程度来判定其关联是否紧密,曲线形状越相似则相关程度越大^[16]。灰色关联分析常用于研究边坡各影响因素的敏感性^[17-18],并常用于验证BP模型缺省因子检验法得到的各因子的敏感性^[19-20]以及构建多层次灰色关联综合评价模型^[19,21]。

灰色关联分析的具体步骤如下^[15-16]:(a)数据无量纲化。在影响空间中各列数据极性一致的情况下,进

行数据无量纲,将不可比数据变换为可比数据。数据无量纲化有 3 种方法,初值化生成(INIT)、均值化生成(AVRG)和区间值化生成(INTV)。本文为了从平均的观念对各因素对灌水质量的影响进行分析,选用均值化生成方法,即用各个因素序列的平均值除相应序列中的各原始数据。(b)计算灰色关联系数。在均值化生成数据的基础上,确定比较序列*i*与参照序列*O*,并计算二者的灰色关联差异信息 $\Delta_{oi}(k)$ 以及灰色关联系数 $\gamma(x_o(k),x_i(k))$ 。(c)计算灰色关联度。子序列*i*与母序列*O*的灰色关联度 r_{oi} 为二序列的灰色关联系数 $\gamma(x_o(k),x_i(k))$ 的平均值,即

$$r_{oi} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \gamma(x_o(k),x_i(k))$$

(2)

式中:*N*——比较序列的长度; $x_o(k)$ 、 $x_i(k)$ ——比较序列和参照序列的第*k*点信息。

2 结 果

在均匀设计的基础上,利用灰色关联分析,得到畦灌各影响因素对灌水质量指标的灰色关联度,结果见图 1。灌水效率 E_a 对各因素的敏感度从大到小排序为: G 、 n 、 L 、 q 、 Z 、 K 、 α ;灌水均匀度 D_u 对各因素的敏感度从大到小排序为: n 、 G 、 K 、 q 、 L 、 Z 、 α ;储水效率 E_s 对各因素的敏感度从大到小排序为: G 、 L 、 α 、 K 、 q 、 n 、 Z ;综合指标 Y 对各因素的敏感程度从大到小排序为: G 、 q 、 n 、 L 、 K 、 α 、 Z 。

畦灌影响因素对不同灌水质量指标的敏感程度不同,如 n 对 D_u 和 E_a 的影响较大,对 E_s 的影响却弱于其他因素。

畦田灌水质量对 G 、 q 和 L 等灌水技术要素的敏感度较大,对 K 、 α 和 Z 的敏感度偏小。综合分析,与自然因素相比,灌水技术要素对畦田灌水质量的影响更大、更敏感,这与文献[3]的研究结论基本一致。

3 结 论

a. 均匀设计理论和灰色关联分析可用于畦田灌水质量对各影响因素的敏感性分析。均匀设计保证了试验方案中的畦灌各因素的均匀分布;灰色关联分析从序列差异信息的角度定量分析了各因素对灌水质量指标的敏感程度。

b. 畦灌质量综合指标对各因素的敏感度为:改水成数 G >单宽流量 q >田面糙率 n >畦长 L >入渗系数 K >入渗指数 α >畦田纵坡 Z 。畦田宽度相同时,与土壤入渗参数等自然因素相比,改水成数 G 、单宽流量 q 和畦长 L 等灌水技术要素更容易影响灌水质量。因此,为实现地面灌溉的精细化控制,在进行畦田灌溉设计和管理时,更应注重灌水技术要素的控制精度。

参考文献:

[1] 王维汉. 畦灌影响因素变异规律及灌水技术要素稳健设计[D]. 南京: 河海大学, 2009.

[2] 白美健, 许迪, 李益农, 等. 地面灌溉土壤入渗参数时空变异性试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 122-125, 153. (BAI Meijian, XU Di, LI Yinong, et al. Evaluating spatial and temporal variability of infiltration on field-scale under surface irrigation[J]. Journal of Soil and Water Coservation, 2005, 19(5): 122-125,153. (in Chinese))

[3] 王维汉, 缴锡云, 彭世彰, 等. 基于稳健设计理论的畦灌质量敏感性分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 37-42. (WANG Weihang, JIAO Xiyun, PENG Shizhang, et al. Sensitivity anlysis of border irrigation performance using robust design theory[J]. Transaction of the CASE, 2010, 26(11): 37-42. (in Chinese))

[4] 苏永华, 罗正东, 李翔. 基于均匀试验的半填半挖路基边坡稳定性灰色关联分析法[J]. 岩土力学, 2012, 33(8): 2259-2264. (SU Yonghua, LUO Zhengdong, LI Xiang. Gray correlation analysis method for cut-and-fill roadbed slope stability based on uniform experiment[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(8): 2259-2264. (in Chinese))

[5] 李端有, 甘孝清, 周武. 基于均匀设计及遗传神经网络的大坝力学参数反分析方法[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(1): 125-130. (LI Duanyou, GAN Xiaoping, ZHOU Wu. Back analysis on mechanical parameters of dams based on uniform design and genetic neural network[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(1): 125-130. (in Chinese))

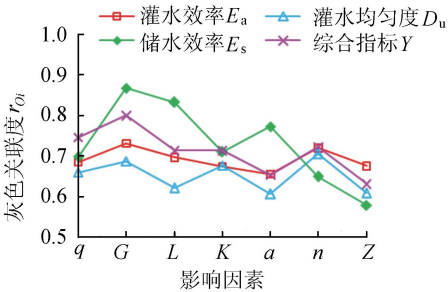


图 1 各因素对灌水质量指标的灰色关联度
Fig.1 Grey correlation degree of each factor to the irrigation quality index

- [6] 朱艳, 缴锡云, 王维汉, 等. 畦灌土壤入渗参数的空间变异性及其对灌水质量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 46-49. (ZHU Yan, JIAO Xiyun, WANG Wei-han, et al. Spatial variability of infiltration parameters and its influences on border irrigation performace[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(3): 46-49. (in Chinese))
- [7] 王维汉, 缴锡云, 朱霞, 等. 畦灌性能对微地形和畦宽变异性的敏感性分析[C]//中国农业工程学会. 中国农业工程学会农业水土工程专业委员会第五届学术年会论文集(上册). 石河子: 石河子大学出版社, 2008: 377-381.
- [8] 方开泰. 均匀设计与均匀设计表[M]. 北京: 解放出版社, 1994: 161.
- [9] 邓丽华, 程圣国. 基于均匀设计的多目标模糊决策权重敏感性分析[J]. 中国农村水利水电, 2008(2): 84-87. (DENG Lihua, CHENG Shengguo. Analysis of weight sensitivity for multi-objective fuzzy decision making based on uniform design[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(2): 84-87. (in Chinese))
- [10] 王晓愚, 白丹, 李占斌, 等. 地下滴灌灌水器水力要素试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 6-10. (WANG Xiaoyu, BAI Dan, LI Zhanbin, et al. Experimental study on hydraulic characteristics of emitter under subsurface drip irrigation [J]. Transaction of the CASE, 2008, 24(10): 6-10. (in Chinese))
- [11] 聂卫波, 费良军, 马孝义. 畦灌灌水技术要素组合优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 83-88, 107. (NEI Weibo, FEI Liangjun, MA Xiaoyi. Optimization for combination of irrigation technique element for border irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 83-88, 107. (in Chinese))
- [12] Arid-Land Agricultural Research Center. WinSRFR 3.1 user manual[R]. Montana: Arid-Land Agricultural Research Center, 2009.
- [13] 史学斌, 马孝义, 聂卫波, 等. 地面灌溉的研究现状与发展趋势[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(1): 34-40. (SHI Xuebin, MA Xiaoyi, NEI Weibo, et al. Research status and trend of surface irrigation[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2005, 16(1): 34-40. (in Chinese))
- [14] 朱艳. 基于均匀试验方法的沟灌技术方案优化设计[D]. 南京: 河海大学, 2009.
- [15] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 1-496.
- [16] 夏军. 灰色系统水文学: 理论、方法及应用[M]. 武昌: 华中理工大学出版社, 2000: 390.
- [17] 陈高峰, 卢应发, 陈龙, 等. 基于均匀设计的边坡敏感性灰色关联分析[J]. 水力发电, 2010, 36(4): 20-22. (CHEN Gaofeng, LU Yingfa, CHEN Long, et al. Uniform designbased gray relationship matrix analysis on sensitivity of slope stability [J]. Water Power, 2010, 36(4): 20-22. (in Chinese))
- [18] 燕乔, 吴长彬, 张岩. 基于均匀设计的邓肯 E-B 模型参数敏感性分析[J]. 中国农村水利水电, 2010(7): 82-85. (YAN Qiao, WU Changbin, ZHANG Yan. Analysis of parameter sensitivity of duncan E-B Model based on uniform design[J]. China Rural Water and Hydropower, 2010(7): 82-85. (in Chinese))
- [19] 丁丽宏. 基于熵权与灰色关联法的引水方案评价研究[J]. 节水灌溉, 2012(10): 56-58, 62. (DING Lihong. Evaluation of diversion scheme based on entropy weight and gray relation[J]. Water Saving Irrigation, 2012(10): 56-58, 62. (in Chinese))
- [20] 于国强, 李占斌, 张霞, 等. 土壤水盐动态的 BP 神经网络模型及灰色关联分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 74-79. (YU Guoqiang, LI Zhanbin, ZHANG Xia, et al. Dynamic simulation of soil water-salt using BP neural network model and grey correlation analysis[J]. Transaction of the CASE, 2009, 25(11): 74-79. (in Chinese))
- [21] 罗金耀, 李道西. 节水灌溉多层次灰色关联综合评价模型研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(5): 38-41. (LUO Jianyao, LI Daoxi. Study on grey multi-hierarchal synthetic evaluation model for water saving irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003, 22(5): 38-41. (in Chinese))

(收稿日期: 2017-01-18 编辑: 高建群)