

# 旋转式喷头质量评价指标定量筛选方法对比分析

赵 华<sup>1,2</sup>, 许 迪<sup>1,2</sup>, 龚时宏<sup>1,2</sup>

(1. 国家农业灌排设备质量监督检验中心, 北京 100044; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

**摘 要:** 对节水灌溉产品质量评价指标进行定量筛选, 可实现借助测定有代表性的指标就能开展质量评价的目的。该文依据室内性能测试数据, 借助聚类分析法和主成分分析法对旋转式喷头质量评价指标进行定量筛选, 对比分析了两种方法的筛选效果和适用性。结果表明, 采用两种方法对旋转式喷头质量评价指标进行定量筛选得出的结论基本相近, 在常用的旋转式喷头质量评价的 7 个指标当中, 射程与喷射高度的相关性最强, 对农业灌溉中常见的中、低射程旋转式喷头应保留射程而筛除喷射高度指标。考虑聚类分析法着重于每对指标间的相关性, 而主成分分析法则注重所有指标间的相关程度, 因此利用后者对旋转式喷头及其节水灌溉产品质量评价指标进行定量筛选更为有效。

**关键词:** 旋转, 喷洒装置, 灌溉, 评价指标, 定量筛选

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.017

中图分类号: S275.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0097-05

赵 华, 许 迪, 龚时宏. 旋转式喷头质量评价指标定量筛选方法对比分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 97—101.  
Zhao Hua, Xu Di, Gong Shihong. Comparative analysis of quantitative sieving methods of quality evaluation indicators for rotating sprinklers[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 97—101. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

中国已制定出用于评价节水灌溉产品质量的各类标准规范 50 多项, 但其中一些产品的质量评价指标之间互为矛盾或重复, 存在着指标数量冗余现象<sup>[1-2]</sup>, 亟待借助定量数学方法与手段, 深入开展节水灌溉产品质量评价指标的定量筛选研究, 以便借助测定有代表性的指标而无需测定所有指标即可达到反映产品质量状况的目的<sup>[3]</sup>。利用聚类分析、主成分分析、多元逐步回归分析等数学统计方法对评价指标进行定量筛选已在农业相关领域中得到应用。

鲍艳等采用主成分聚类分析方法对土地利用生态安全性进行评价, 利用主成分分析得到的具有代表性的主成分指标代替原有评价指标, 对土地利用生态安全性进行聚类分析<sup>[4]</sup>; 陈国顺对猪的 16 个生物学指标进行聚类分析和主成分分析, 将两种分析法一致筛选出的相关生物学指标作为血清代表性指标, 评价预测猪的肉质性状<sup>[5]</sup>; 周显青等采用多元逐步回归分析法对采集的籼稻样品电导率、脂肪酸值等品质指标进行新鲜度敏感指标筛选, 建立了敏感指标与稻谷新鲜度的预测模型<sup>[6]</sup>。尽管上述数学统计方法也在节水灌溉产品质量评价中得到应用<sup>[7-8]</sup>, 但都集中在利用单一分析方法仅对节水灌溉产品水力性能评价指标进行定量筛选, 且对由不同分析方法获得的定量筛选结果, 缺乏必要的相互比较和分析。本文根据室内产品性能测试数据, 借助聚类分析法和主成分

分析法对旋转式喷头质量评价指标进行定量筛选, 在此基础上探讨两种分析方法的指标筛选效果及其适用性, 为旋转式喷头及节水灌溉产品质量评价指标的定量筛选提供适宜的方法。

## 1 产品质量评价指标与定量筛选方法

### 1.1 产品质量评价指标

旋转式喷头是目前国内外使用最为广泛的节水灌溉产品之一, 通常用来反映该类喷头质量的主要评价指标包括: 1) 轴承密封性, 轴承处渗漏量相对于规定试验压力下喷头流量的百分数(%); 2) 喷嘴连接密封性, 喷嘴连接处渗漏量相对于规定试验压力下喷头流量的百分数(%); 3) 转动均匀性, 喷头转动每 1/4 转所需时间与其 5 次平均值的最大相对偏差(%); 4) 流量, 流量实测值与规定试验压力下喷头流量的相对偏差(%); 5) 水量分布, 水量实测值与规定值的相对偏差(%); 6) 射程, 实际射程与额定射程的相对偏差(%); 7) 喷射高度, 高度测量值与额定值之比; 8) 耐久性, 在对喷头进行纯工作时间不少于 2 000 h 的试验后, 再开展轴承密封性、转动均匀性、流量和水量分布等试验检测, 判断是否满足相关标准要求<sup>[9]</sup>。

### 1.2 定量筛选方法

#### 1.2.1 聚类分析法

聚类分析是一种将分类学与多元分析相结合的多元统计方法。通过聚类分析, 将评价指标按照相似性进行分类, 归类相似程度较高的指标, 并根据分类结果以及评价指标间存在的相关性, 选择每类指标中具有代表性的相关指标作为相对重要的因子, 而去除相关性较强的指标<sup>[10]</sup>。若指标  $X_i$  和  $X_j$  有  $n$  次观测值, 即  $X_i=(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni})^T$  和  $X_j=(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})^T$ , 则二者间的相关系数  $r_{ij}$  定

收稿日期: 2008-02-11 修订日期: 2009-12-08

基金项目: 科技部社会公益研究专项 (2002DIA10005)

作者简介: 赵 华 (1962—), 男, 北京人, 高级工程师, 博士生, 主要从事节水灌溉技术与设备质量检测研究。北京 中国水利水电科学研究院, 100044。Email: zhaohua@iwhr.com

义为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\left[ \sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2}} \quad (1)$$

式中  $\bar{x}_i$ 、 $\bar{x}_j$ ——指标  $X_i$  和  $X_j$  的  $n$  次观测值的均值。

聚类分析中的评价指标分为极大型、居中型和极小型 3 类, 旋转式喷头的轴承密封性和喷嘴连接密封性为极小型指标, 而转动均匀性、流量、水量分布、射程和喷射高度为居中型指标。在求其相关系数前, 需对相关指标数据进行一致化处理, 通过变换将所有指标化为同类指标。判断归类评价指标的原则是根据相关系数绝对值的大小, 二指标间相关系数的绝对值愈大, 其相关性愈强, 相似性愈大。当二指标的相关系数大于 0.8~0.9 时, 可合并为 1 个指标, 该值称为阈值。选择阈值的依据往往与需得到的指标个数有关, 当指标较多时, 可加大阈值, 反之可减小阈值。

本文采用系统聚类法对旋转式喷头质量评价指标开展聚类分析, 先将所需筛选的  $s$  个指标分为  $s$  类, 计算得到不同指标间的相关系数, 若最大相关系数大于阈值, 则除去 2 个指标中的 1 个, 此时的指标集个数为  $s-1$ , 继续重复上述计算过程, 直至所有指标间的相关系数均小于设定的阈值<sup>[11]</sup>。

### 1.2.2 主成分分析法

主成分分析法是将多个要素转化为少数综合指标的统计方法, 其利用降维思路, 将原有较多的指标用约化后较少的综合主成分指标替代, 后者保留了原始变量的绝大多数信息, 且彼此间互不相关, 可使复杂问题简单化。主成分分析法的基本原理是将指标体系视为 1 个随机向量  $X=(X_1, X_2, \dots, X_s)^T$ , 借助正交变换  $A=(a_1, a_2, \dots, a_s)$  将其分量相关的原始随机变量  $X$  转化成互不相关的新随机向量  $Z=(Z_1, Z_2, \dots, Z_s)^T$ 。若  $X$  的方差矩阵特征值为  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_s \geq 0$ ,  $a_1, a_2, \dots, a_s$  为相应特征向量, 则  $X$  的第  $i$  个主成分为  $Z_i = a_i^T X$  ( $i=1, 2, \dots, s$ )。对  $X$  进行经过标准化和一致化处理得到  $Y$ , 即  $X$  的  $n$  个产品的检测数据矩阵  $[x_{ij}]_{n \times s}$  处理后变为  $[y_{ij}]_{n \times s}$ 。X 的方差矩阵用  $Y$  的相关系数矩阵  $R$  估计<sup>[12]</sup>

$$R = [r_{ij}]_{s \times s} = \frac{[y_{ij}]_{n \times s}^T [y_{ij}]_{n \times s}}{n-1} \quad (2)$$

由于  $X$  的方差矩阵特征值反映了  $Z$  对  $X$  贡献的多少, 则称  $\lambda_k / \sum_{i=1}^s \lambda_i$  和  $\sum_{i=1}^m \lambda_i / \sum_{i=1}^s \lambda_i$  分别为主成分  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  ( $m < s$ ) 的贡献率和累计贡献率。通常贡献率越大, 对应的主成分反映  $X$  的能力愈强, 一般要求前  $m$  个指标的累计贡献率超过 80%~90%。主成分  $Z_k$  与原始变量  $X_i$  的相关系数  $\rho(Z_k, X_i)$  反映了其与原始变量的相关程度<sup>[13]</sup>

$$\rho(Z_k, X_i) = \rho_{ik} = \sqrt{\lambda_k} a_{ik} \quad (i=1, 2, \dots, s; k=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

式中  $a_{ik}$ ——第  $k$  个特征向量  $a_k$  的第  $i$  个元素值。

若将  $s$  个指标看作为  $m$  维空间上的  $s$  个点,  $\rho(Z_k,$

$X_i)$  为指标  $X_i$  对应点  $Q_i$  的坐标, 2 个指标间的距离为  $\|X_i - X_j\|^2$ , 则当  $(\rho_{i1} - \rho_{j1})^2 + \dots + (\rho_{im} - \rho_{jm})^2 \approx 0$  时, 有  $\|X_i - X_j\|^2 \approx 0$ , 即指标  $X_i$  和  $X_j$  应归为一类。按距离最近原则可对  $s$  个点进行分类, 采用欧氏距离

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{t=1}^m |\rho_{it} - \rho_{jt}|^2} \quad (i, j=1, \dots, s), \text{ 且规定 2 个指标间的}$$

距离与最大距离的比值小于 0.2 的阈值后, 可将指标  $X_i$  和  $X_j$  合并为一类。

## 2 产品质量评价指标定量筛选与方法比较分析

### 2.1 评价指标测试结果

在国家农业灌排设备质量监督检验中心喷灌试验台上, 开展旋转式喷头样品性能检测试验, 基于集水器收集的泄漏水量, 测定轴承密封性和喷嘴连接密封的效果; 采用秒表记录喷头旋转 1/4 转所需的时间, 确定转动均匀性; 利用涡轮式流量计, 观测喷头流量; 根据雨量桶收集的水量, 确定喷撒水量分布状况; 从喷撒水量分布图中得到喷头射程; 使用水准踏尺, 测定喷射高度, 相关检测方法步骤依据旋转式喷头标准<sup>[9]</sup>。表 1 给出对随机抽样的 20 个旋转式喷头 (PY<sub>1</sub>S15A) 质量进行性能检测试验得到的评价指标样本数据, 其涉及除耐久性外的其他 7 个评价指标, 且样本数量大于被定量筛选的指标个数。由于测定旋转式喷头的耐久性能需耗费大量时间, 相关的数据较难获得, 故分析中暂不予考虑。本文基于表 1 给出的相关测试数据, 利用聚类分析法和主成分分析法分别对 7 个旋转式喷头质量评价指标进行定量筛选。

表 1 旋转式喷头产品质量评价指标测试数据  
Table 1 Test data for quality evaluation indicators of rotating sprinklers

序号	轴承密封性 $X_1/\%$	喷嘴连接密封性 $X_2/\%$	转动均匀性 $X_3/\%$	流量 $X_4/\%$	水量分布 $X_5/\%$	射程 $X_6/\%$	喷射高度比值 $X_7$
1	0.4	0	4.4	2	1	6	1.06
2	0.4	0	7.4	-5	-7	-3	0.98
3	0.2	0.1	-6.3	6	-8	2	1.01
4	0.3	0	-4.1	5	4	2	1.02
5	0	0	3.3	-11	-5	-2	0.98
6	0	0	4.2	2	1	1	0.99
7	0.8	0.1	-5.1	-4	-7	-4	0.97
8	0	0	-2.2	-1	2	0	1.00
9	0	0	1.4	-1	10	-2	0.97
10	0.2	0	7.6	-1	-2	0	1.01
11	0.2	0	-5.6	0	1	-1	1.00
12	0.2	0	3.8	4	8	2	0.98
13	0.3	0.1	4.7	4	-1	1	1.01
14	0.3	0	3.2	5	-5	4	1.05
15	0.2	0	9.1	2	4	1	1.00
16	0	0	7.2	8	6	4	1.05
17	0	0	1.2	1	3	-2	0.97
18	0	0	-2.6	-2	-6	-3	0.97
19	0.5	0.1	4.1	1	5	6	1.06
20	0.2	0	-4.8	8	4	5	1.05

2.2 评价指标定量筛选结果

采用 SPSS 统计软件<sup>[14-15]</sup>对表 1 给出的 7 个相关指标测试数据进行系统聚类分析, 得到各指标间的相关系数 (表 2)。由表 2 可以看出, 不同指标间的相关系数最大值为  $r_{67}=0.929$ , 最小值为  $r_{37}=-0.222$ , 这表明射程  $X_6$  与喷射高度  $X_7$  间的相关性最强, 而转动均匀性  $X_3$  与喷射高度  $X_7$  间的相关性最弱。由于只有  $r_{67}=0.929$  大于阈值 0.8, 则意味着可将射程  $X_6$  与喷射高度  $X_7$  合为一类。在基于中、低射程的旋转式喷头开展田间喷灌工程设计中, 通常采用射程作为设计依据之一, 故应筛选喷射高度指标。

表 2 不同指标间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient among different indicators

评价指标	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$X_1$	1						
$X_2$	0.586	1					
$X_3$	0.298	0.106	1				
$X_4$	-0.037	0.018	0.155	1			
$X_5$	0.075	0.143	-0.066	0.298	1		
$X_6$	0.474	0.200	-0.064	0.250	0.224	1	
$X_7$	0.267	0.052	-0.222	0.219	0.195	0.929	1

利用主成分分析法对表 1 给出的 7 个相关指标测试数据进行分析。采用 MATLAB 软件<sup>[16-17]</sup>求解相关系数矩阵  $R$  的特征值和特征向量, 确定主成分个数  $m=4$  的阈值为 85%, 累计贡献率 87.2% 大于 85%。表 3 给出  $m$  维空间  $s$  个指标点处  $Q_i=(\rho_{i1}, \rho_{i2}, \rho_{i3}, \rho_{i4}) (i=1, 2, \cdots, 7)$  间的距离, 可以看出不同指标间距离的最小值为  $d_{67}=0.242$ , 最大值为  $d_{37}=1.538$ , 这表明射程  $X_6$  与喷射高度  $X_7$  间的相关性最强, 而转动均匀性  $X_3$  与喷射高度  $X_7$  间的相关性最弱。在阈值为 0.2 下, 最小距离与最大距离的比值  $0.242/1.538=0.157<0.2$ , 第二小距离与最大距离之比  $0.5/1.538=0.325>0.2$ , 则意味着可将射程  $X_6$  与喷射高度  $X_7$  归为一类。

表 3 不同指标点间的距离

Table 3 Distances among different indicators points

评价指标点	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$	$Q_7$
$Q_1$	0						
$Q_2$	0.500	0					
$Q_3$	1.027	1.171	0				
$Q_4$	1.318	1.349	1.033	0			
$Q_5$	1.267	1.031	1.443	0.815	0		
$Q_6$	0.914	1.171	1.427	1.093	1.184	0	
$Q_7$	1.096	1.307	1.538	1.118	1.199	0.242	0

2.3 定量筛选方法比较分析

表 4 给出根据聚类分析法和主成分分析法计算得到的不同评价指标间相关性由强到弱的排序, 其中来自两种方法的相关性排序在 1、2、5、15、16、19、20、21 位置上完全相同, 占总数的 38%, 在其他位置上存在差异。对相关性相对较强的前 5 位排序而言, 基于聚类分析法和主成分分析法给出的相关结果在 1、2、5 位置上相同, 尽管在位置 3、4 间有所差异, 却只是结果的换位。

表 4 两种方法得到的相关指标排序  
Table 4 Correlative indicators sorting by the two kind of methods

排序	聚类分析法		主成分分析法	
	相关指标	相关系数 $R$	相关指标	距离比值 $d$
1	$X_6 \sim X_7$	0.929	$X_6 \sim X_7$	0.242
2	$X_1 \sim X_2$	0.586	$X_1 \sim X_2$	0.500
3	$X_1 \sim X_6$	0.474	$X_4 \sim X_5$	0.815
4	$X_4 \sim X_5$	0.298	$X_1 \sim X_6$	0.914
5	$X_1 \sim X_3$	0.298	$X_1 \sim X_3$	1.027
6	$X_1 \sim X_7$	0.267	$X_2 \sim X_3$	1.031
7	$X_4 \sim X_6$	0.250	$X_3 \sim X_4$	1.033
8	$X_5 \sim X_6$	0.224	$X_4 \sim X_6$	1.093
9	$X_4 \sim X_7$	0.219	$X_1 \sim X_7$	1.096
10	$X_2 \sim X_6$	0.200	$X_4 \sim X_7$	1.118
11	$X_5 \sim X_7$	0.195	$X_2 \sim X_6$	1.171
12	$X_3 \sim X_4$	0.155	$X_2 \sim X_3$	1.171
13	$X_2 \sim X_5$	0.143	$X_5 \sim X_6$	1.184
14	$X_2 \sim X_3$	0.106	$X_5 \sim X_7$	1.199
15	$X_1 \sim X_5$	0.075	$X_1 \sim X_5$	1.267
16	$X_2 \sim X_7$	0.052	$X_2 \sim X_7$	1.307
17	$X_2 \sim X_4$	0.018	$X_1 \sim X_4$	1.318
18	$X_1 \sim X_4$	-0.037	$X_2 \sim X_4$	1.349
19	$X_3 \sim X_6$	-0.064	$X_3 \sim X_6$	1.427
20	$X_3 \sim X_5$	-0.066	$X_3 \sim X_5$	1.443
21	$X_3 \sim X_7$	-0.222	$X_3 \sim X_7$	1.538

采用 Wilcoxon 符号秩检验可有效判断两种定量筛选方法结果间的差异<sup>[18-19]</sup>。对表 2 和表 3 中的相关数据进行标准化处理得到的结果如表 5 所示, 在此基础上, 利用 SPSS 统计软件对两种筛选方法进行 Wilcoxon 符号秩检验。假定由聚类分析法和主成分分析法得到的结果是等价的, 通过 Wilcoxon 符号秩检验获得的标准化距离与标准化相关系数之间关系的检验统计量  $Z=-0.209$ , 相伴概率  $p=0.835>0.10$  (显著水平), 故两种定量筛选方法得到的相关结果间基本一致。

聚类分析法是依据产品质量各评价指标间的相关程度对其进行筛选, 指标间的相似系数可通过其间的夹角余弦或相关系数表示, 该法未对相关指标检测数据进行初始加工, 而是直接利用指标间的相关系数来反映不同指标间的相似程度。而主成分分析法是先对相关评价指标进行降维处理, 再寻找各指标间的相关性, 虽然该法的计算过程相对复杂, 但由于对指标进行了降维处理, 故得到的结果应更能反映各指标间的关系。正如表 4 所示, 在由聚类分析法和主成分分析法得到的相关指标排序中, 只需对相关性相对较强的前几位指标排序进行分析比较, 故对前五位指标排序而言, 聚类分析法将相关指标  $X_1 \sim X_6$  和  $X_4 \sim X_5$  置于 3 和 4 排序, 而主成分分析法则将此排序倒置。由于流量  $X_4$  与水量分布  $X_5$  同属喷头水力特性, 其间的相关程度应比轴承密封性  $X_1$  与射程  $X_6$  间的相关性要强, 则  $X_4 \sim X_5$  的相关性排序应高于  $X_1 \sim X_6$ , 为此, 基于主成分分析法得到的相关指标排序结果似应比聚类分析法合理一些。

表 5 标准化指标间相关系数和指标点间距离  
Table 5 Standardization correlation coefficients  
and distances among different indicators points

排序	相关指标	标准化相关系数	标准化距离比值
1	$X_1 \sim X_2$	1.568	1.995
2	$X_1 \sim X_3$	0.411	0.263
3	$X_1 \sim X_4$	-0.931	-0.695
4	$X_1 \sim X_5$	-0.484	-0.527
5	$X_1 \sim X_6$	1.120	0.635
6	$X_1 \sim X_7$	0.289	0.037
7	$X_2 \sim X_3$	-0.359	-0.211
8	$X_2 \sim X_4$	-0.713	-0.795
9	$X_2 \sim X_5$	-0.209	0.249
10	$X_2 \sim X_6$	0.021	-0.210
11	$X_2 \sim X_7$	-0.573	-0.657
12	$X_3 \sim X_4$	-0.161	0.241
13	$X_3 \sim X_5$	-1.050	-1.105
14	$X_3 \sim X_6$	-1.039	-1.053
15	$X_3 \sim X_7$	-1.676	-1.419
16	$X_4 \sim X_5$	0.413	0.958
17	$X_4 \sim X_6$	0.218	0.046
18	$X_4 \sim X_7$	0.095	-0.036
19	$X_5 \sim X_6$	0.117	-0.254
20	$X_5 \sim X_7$	-0.001	-0.305
21	$X_6 \sim X_7$	2.944	2.844
检验统计量 Z	-0.209	相伴概率 p	0.835

### 3 结 论

依据样品室内性能检测试验数据,利用聚类分析法和主成分分析法对旋转式喷头质量评价指标进行定量筛选得出的结果基本一致,旋转式喷头质量评价指标中的射程与喷射高度间的相关性最强,对农业灌溉中常用的中、低射程旋转式喷头而言,可保留射程指标而剔除冗余的喷射高度指标。由于聚类分析法着重考虑每对指标间的相关性,而主成分分析法更注重所有指标间的相关程度,故对旋转式喷头及其节水灌溉产品质量评价指标进行定量筛选时,采用主成分分析法显得更为有效。

#### [参 考 文 献]

- [1] 许迪,龚时宏,高本虎,等.中国节水灌溉产品质量现状分析及改善对策[J].农业工程学报,2004,20(5):6—11.  
Xu Di, Gong Shihong, Gao Benhu, et al. Status analysis of the quality of China's efficient irrigation products and perfecting countermeasures[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5): 6—11. (in Chinese with English abstract)
- [2] 高本虎.我国主要节水灌溉产品质量评价指标体系分析[J].节水灌溉,2003,(2):21—22.  
Gao Benhu. Analysis of evaluating indicator system for domestic main water-saving product[J]. Water Saving Irrigation, 2003, (2): 21—22. (in Chinese with English abstract)
- [3] Harold H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components[J]. Journal of Educational Psychology, 1993, 24: 417—441

- [4] 鲍艳,胡振琪,柏玉,等.主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J].农业工程学报,2006,22(8):87—90.  
Bao Yan, Hu Zhenqi, Bai Yu, et al. Application of principal component analysis and cluster analysis to evaluating ecological safety of land use[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 87—90. (in Chinese with English abstract)
- [5] 陈国顺.运用聚类分析和主成分分析筛选猪的血清指标[J].甘肃农业大学学报,2005,40(6):723—727.  
Chen Guoshun. Selecting serum indexes of pigs by clustering analysis and factor analysis[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2005, 40(6): 723—727. (in Chinese with English abstract)
- [6] 周显青,张玉荣,王锋.籼稻新鲜度敏感指标的筛选及其验证[J].河南工业大学学报:自然科学版,2007,28(4):12—15.  
Zhou Xianqing, Zhang Yurong, Wang Feng. The selection and verification of sensitive indexes for long-grain rice freshness[J]. Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition, 2007, 28(4): 12—15. (in Chinese with English abstract)
- [7] 喻黎明,吴普特,范兴科.模糊综合评判在评价喷头水力性能中的应用[J].节水灌溉,2001,(3):7—8.  
Yu Liming, Wu Pute, Fan Xinke. Application of fuzzy comprehensive evaluation in sprinkler performances[J]. Water Saving Irrigation, 2001, (3): 7—8. (in Chinese with English abstract)
- [8] 门宝辉,梁川.喷头水力性能评价的属性识别模型及应用[J].节水灌溉,2002,(5):5—6.  
Men Baohui, Liang Chuan. Model of attribute recognition and its application on evaluating hydraulic performance of sprinkler[J]. Water Saving Irrigation, 2002, (5): 5—6. (in Chinese with English abstract)
- [9] GB/T 19795.1—2005.农业灌溉设备—旋转式喷头 第1部分:结构和运行要求[S].
- [10] Raftery A E, Dean N. Variable selection for model-based clustering[J]. Journal of the American Statistical Association, 2006, 101: 168—178.
- [11] Fowlkes E B, Gnanadesikan R, Kettenring J R. Variable selection in clustering[J]. Journal of Classification, 1988, (5): 205—228.
- [12] 傅荣林.主成分综合评价模型的探讨[J].系统工程理论与实践,2001,(11):68—74.  
Fu Ronglin. Discussion of integrated evaluation models of the principal component analysis[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2001, (11): 68—74. (in Chinese with English abstract)
- [13] 高惠璇.应用多元统计分析[M].北京:北京大学出版社,2005:266—284.
- [14] 王苏斌,郑海涛,邵谦谦,等.SPSS统计分析[M].北京:机械工业出版社,2003:361—369.
- [15] 张凤太,苏维词,张吉伟.重庆三峡库区生态经济区农业发展水平聚类分析[J].生态与农村环境学报,2007,23(2):18—22.  
Zhang Fengtai, Su Weici, Zhang Jiwei. A clustering analysis

- of agricultural development level of the three-gorges eco-economic region in chongqing[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007, 23(2): 18—22. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王沫然. MATLAB 与科学计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 265—266.
- [17] 彭书凤, 田盈. 基于改进主成分分析法的全国城市化水平研究[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2007, 24(3): 1—5.
- Peng Shufeng, Tian Ying. Research into the urbanization levers of 31 regions and cities based on the developed methods of principal component analysis[J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition, 2007, 24(3): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [18] 吴喜之. 非参数统计[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 57—62.
- [19] 胡尧. 两样本问题中的非参数检[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2005, 22(3): 232—235.
- Hu Yao. A non-parametric test for the two-sample problem[J]. Journal of Guizhou University: Natural Sciences, 2005, 22(3): 232—235. (in Chinese with English abstract)

## Comparative analysis of quantitative sieving methods of quality evaluation indicators for rotating sprinklers

Zhao Hua<sup>1,2</sup>, Xu Di<sup>1,2</sup>, Gong Shihong<sup>1,2</sup>

(1. National Center for Quality Supervision and Test of Agricultural Irrigation and Drainage Equipment, Beijing 100044, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Quantitative sieving for the quality evaluation indicators of water saving irrigation products can achieve the purpose of evaluating the product quality only by representative indicators. According to the test data, quality evaluation indicators for rotating sprinklers were sieved by means of cluster analysis and principal component analysis. Effectiveness and applicability of two methods were given in comparative analysis. Results showed that the quantitative sieving results of two methods are basically similar, and spraying range and height have the maximum correlation among seven common quality evaluation indicators for rotating sprinklers. Spraying height could be deleted, while spray range should be reserved in the quality evaluation indicators for the common sprinklers with middle and low spray ranges for field irrigation. The cluster analysis focused on the correlation between two indicators, whereas principal component analysis focused on the correlation among total indicators, therefore the latter was seemly more effective for quantitative sieving of quality evaluation indicators for the rotating sprinklers and other water saving irrigation products.

**Key words:** rotation, sprinkler systems, irrigation, evaluation indicators, quantitative sieving