

渭北果园不同管理措施的土壤水分灰色关联度

方凯凯¹, 张中恺¹, 王志康¹, 李会科^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 农业部西北植物与肥料及农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为了解果园土壤水分的剖面 and 季节变化特征, 运用灰色关联分析法, 分析了渭北黄土高原苹果园在3种不同土地利用类型下土壤水分的垂直变化和月动态。结果表明: 不同土地利用类型的土壤水分垂直变化规律不尽相同, 深层(120—160 cm)与底层(160—200 cm)土壤水分变化态势的相似程度均较高, 即土壤水分的变化发展态势较一致, 但相似程度清耕>草地>秸秆, 表层(0—40 cm)、浅层(40—80 cm)与底层的灰色关联度最小, 土壤水分变化态势差异最大。由各月土壤水分灰色关联度可知, 清耕6—7月份与5月份的土壤水分灰色关联度处于中间水平, 土壤水分变化态势的相似程度一般, 8月份的差异明显; 草地6—8月份的灰色关联度较大, 土壤水分灰色关联度有波动, 变化趋势为大—小—大—小—小—大; 而秸秆地6—7月份与5月份的土壤水分灰色关联度相对较大, 其他各月之间水分变化态势相似度较小。灰色关联分析法可以较好地反映不同土地利用类型土壤水分变化趋势的相异或相似性。

关键词: 苹果园; 土壤水分; 灰关联分析; 土地利用类型; 渭北

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)04-0028-05

Grey Relational Analysis of Soil Moisture Under Different Management Measures in Orchards of Weibei

FANG Kaikai¹, ZHANG Zhongkai¹, WANG Zhikang¹, LI Huike^{1,2}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to investigate soil moisture profile and seasonal variation characteristics, based on the method of grey correlation analysis, we analyzed the vertical and monthly dynamic change of soil moisture content under 3 land use types of apple orchard in Weibei in the Loess Plateau. The results showed that the vertical change of soil moisture content under different land use types were quite different. In deep layer (120—160 cm) and bottom layer (160—200 cm), the variation of soil moisture was highly accordant, and the change of soil moisture development trend was consistent with an order of clear tillage>grassland>straw mulch land. Grey relational grade of the all land uses between top layer (0—40 cm) and shallow layer (40—80 cm) was less, which meant that soil moisture varied remarkably. In clear tillage, grey correlation degrees of soil moisture between June to July and May were at the middle level, however, remarkable difference was found in August. In grassland, grey correlation degree of soil moisture was high during the period from June to August, and the fluctuation of soil moisture in growth season was great with the change trend of high—low—high—low—low—high. Grey correlation degrees of soil moisture between June to July and May were at the high level in straw mulch land, however, the variation trend of soil moisture in other months was low. The method of grey correlation analysis can be used to ideally identify the dissimilarity or similarity of soil moisture content change under different land use types.

Keywords: apple orchard; soil moisture content; grey relational analysis; land use type; weibei

土壤水分作为土壤的重要性质之一, 是决定生态系统结构与功能、影响土壤—植物—大气连续体的一

个关键因子, 在土壤养分循环和能量流动中充当重要载体^[1]。它不但直接影响土壤特性和植物生长, 而且

还间接影响生态环境水资源的合理配置与最大化利用^[2-3]。渭北黄土高原地区气候干旱、土层深厚、水土流失严重,降水资源先天不足且分布不均,土壤水分经常处于亏缺状态^[4]。因此,对渭北黄土高原果园土壤水分的研究就显得尤为重要。如何科学认识土壤水分分布特征成为渭北黄土高原果园提质增产与精准灌溉中亟待解决的关键问题^[5]。

近年来,国内外学者对土壤水分垂直变化和季节动态进行了深入的研究^[6-9]。秸秆覆盖是目前广泛使用的一项增产措施,不仅能改善土壤性质,培肥地力,且在干旱季可以有效增加土壤墒情^[10]。果园生草制作为一种先进的果园管理模式,在土壤改良、水分蓄持方面,与秸秆覆盖具有同样的良好效果^[11-13]。因此了解秸秆地和草地土壤水分垂直变化和季节动态特征,对于黄土高原干旱区来说显得尤为重要。

然而,目前研究多集中于秸秆覆盖下土壤水分垂直变化或生草栽培下土壤水分垂直变化和季节变化,而针对秸秆地、草地及清耕土壤水分垂直变化和季节动态的灰关联分析还鲜见报道。鉴于此,本研究基于对不同土地利用类型土壤水分特征的充分认识上,以渭北黄土高原的典型苹果园为研究对象,运用灰色理论分析不同土地利用类型和不同土层深度的土壤水分灰关联度,旨在明确该区不同土地利用类型下土壤水分的剖面 and 季节变化特征,为土壤水分的有效利用与管理提供基础数据,为合理经营果树、提高果树生产力,充分发挥果园的经济效益和生态效益提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区为白水县长杜康镇西北农林科技大学苹果试验站果园,位于西北黄土高原苹果带,地处东经 109°16′—109°45′,北纬 35°4′—35°27′。该区属于黄土高原沟壑地貌,沟壑纵横,山少沟多。气候类型为暖温带大陆性季风气候,平均海拔 850 m 左右,土壤为黄绵土,土层深厚,剖面质地均匀。多年平均气温 11.4℃,苹果生长季昼夜温差 8~12℃,年平均降水量 577.8 mm,降水年际变化大,年内分配不均,日照充足,光热资源丰富,无霜期 217 d,年日照时数 2 397.3~2 641.2 h。土壤类型主要为瘠土、黄土及黄土状物质,土层较厚,质地中壤,通透性强,水肥供需协调,土壤属中性偏碱,为苹果栽培的优良土壤。苹果品种为 5 a 生矮化红富士(富士/新疆野苹果 *Malus demestica* Borkh),栽植密度 1 m×2 m。

1.2 试验设计与方法

取样点包括 9 行 11 列,以东、西向断面测定清

耕、草地和秸秆地土壤水分,清耕法为在生长季内多次浅清耕,松土除杂草;草地的草种为豆科多年生草本白三叶;秸秆种类为玉米秸秆,覆盖还田采用秸秆直接覆盖和免耕播种相结合的方式。试验布设于 2013 年 7 月进行,共设 90 个监测点,测量深度为 0—3 m,每 20 cm 测定一次,共测 15 次。在本次试验中将土层深度划分为 5 层,即表层 0—40 cm、浅层 40—80 cm、中间层 80—120 cm、深层 120—160 cm 和底层 160—200 cm。土壤含水量采用德国产 Trime-TDR 土壤水分速测系统测定,探头测量深度为 22 cm,测定数值为土壤体积分含水率(%)。

1.3 灰色关联分析

灰色关联分析是一种定量和定性相结合的系统分析方法。它之所以能够分清系统之间关系的密切程度,靠的是量化方法所获得的灰色关联度^[14]。其基本原理是:通过对所在系统统计序列几何关系的比较来分清该系统中多因素之间的灰关联度,序列曲线的几何形状越接近,说明它们之间的灰关联度就越大^[15-16]。关联度是相对于两个系统之间共有的影响因素而言的,它指的是其随不同对象或时间而变化的关联性大小的量度^[17-19]。

在系统的发展过程中,如果两个因素变化趋势的相似性较低或并无一致性,即有较低的同步变化程度,则两者的相关程度较低;反之,则较高。因此,灰色关联分析法是把因素之间发展趋势的相异或相似程度(灰色关联度),作为衡量因素之间相关程度的一种常用分析方法^[20-21]。在进行数据相关关联分析时,首先应当确定其参考数列,然后对其他剩余数列与选定的参考数列的接近程度进行比较,这样才能对其他数列进行比较,进一步做出合理的判断^[22]。假设 $X_0 = \{X_0(k) | k=1, 2, \dots, n\}$ 为参考数列(即母数列),而 $X_i = \{X_i(k) | k=1, 2, \dots, n\}$ ($i=1, 2, \dots, m$) 为比较数列(即子数列),则 $X_i(k)$ 和 $X_0(k)$ 的灰关联系数数学表达式可记为:

$$\xi(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0^{(k)} - x_i^{(k)}| + \rho \max_i \max_k |x_0^{(k)} - x_i^{(k)}|}{|x_0^{(k)} - x_i^{(k)}| + \rho \max_i \max_k |x_0^{(k)} - x_i^{(k)}|} \quad (1)$$

式中: ρ 称为分辨系数。 ρ 越小,表明分辨力越大。一般 ρ 的取值范围是 $[0, 1]$,通常取 $\rho=0.5$ 。 $X_0(k)$ 表示 $X_i(k)$ 称为 X_0 与 X_i 第 k 个指标(或空间和时刻)的绝对差; $\min_i \min_k |x_0^{(k)} - x_i^{(k)}|$ 和 $\max_i \max_k |x_0^{(k)} - x_i^{(k)}|$ 分别称为两级极大差和两级极小差^[23]。因而,根据以上分析可求出 $X_i(k)$ 与对应的 $X_0(k)$ 关联系数: $\xi = \{\xi(k) | k=1, 2, 3, \dots, n\}$

由关联系数计算得到的结果是比较数列和参考数列在各点的关联系数值,由于关联系数反映不出时间序列的整个关联程度,只仅仅是反映比较数列与参考数列在 k (时刻)的关联程度。其信息过于分散,结果较多,不便于比较,因而有必要引入灰色关联度,它可将每一比较数列各个时刻(或空间和指标)的关联系数集中体现在一个值上,从而克服信息分散,不利于分析的缺陷。比较数列对参考数列的灰关联度常记作 $r(X_0, X_i)$,通常可简记为 r_i 。平均值法是常用的计算关联度的方法,即:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n z(k) \quad (2)$$

灰色关联度越大,发展变化态势越相似,则两者的几何曲线形状越接近^[24]。土壤水分灰色关联度,是影响土壤水分的各因素作用的综合体现。在本次研究中,灰关联度较高的土壤水分,可作为不同地类土壤含水量对比的参照标准,并为不同区域或类型的果园土壤水分比较提供合理的选择依据^[22]。

1.4 数据处理

采用灰色系统理论建模软件(GTM 3.0)和 Excel 2007 进行数据处理和相关分析;用 Origin 8.5 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同土层土壤水分灰关联分析

选取具有代表性的清耕、草地和秸秆地 3 种土地利用类型,将土壤剖面划分为 5 层,即表层 0—40 cm、浅层 40—80 cm、中间层 80—120 cm、深层 120—160 cm 和底层 160—200 cm 5 个层次。各层 5—8 月土壤水分数列分别设为 $X_1 = \{X_1(k) | k=5, \dots, 8\}$, $X_2 = \{X_2(k) | k=5, \dots, 8\}$, $X_3 = \{X_3(k) | k=5, \dots, 8\}$, $X_4 = \{X_4(k) | k=5, \dots, 8\}$, $X_5 = \{X_5(k) | k=5, \dots, 8\}$ 分别均以表层为参考数列,浅层、中层、深层和底层为比较数列(分别记为 R_{12} , R_{13} , R_{14} 和 R_{15})以及浅层为参考数列,中层、深层和底层为比较数列(分别记为 R_{23} , R_{24} 和 R_{25}),中层为参考数列,深层和底层为比较数列(分别记为 R_{34} 和 R_{35}),深层为参考数列,底层为比较数列(记为 R_{45})。根据式(1)和式(2)计算其灰色关联度。表 1 即为不同土层土壤水分灰关联度。

由表 1 可知,清耕、草地和秸秆地有相似规律,均是表层与浅层土壤水分关系最密切,中间层次之,与底层关系最差,表明在这 3 种土地利用类型下浅层土壤水主要源自表层渗流,降水产生的表层渗流能够直接到达浅层(40 cm),还有少部分水可以到达更深层(80 cm 以下)。

表 1 不同土层深度土壤水分灰关联度

灰色关联度	清耕	草地	秸秆地
R_{12}	0.9333	0.9169	0.9714
R_{13}	0.8737	0.8418	0.8223
R_{14}	0.6517	0.5842	0.6349
R_{15}	0.4516	0.3843	0.3731
R_{23}	0.9552	0.9793	0.9576
R_{24}	0.6028	0.5684	0.8398
R_{25}	0.3666	0.3375	0.4251
R_{34}	0.9848	0.9906	0.9940
R_{35}	0.5688	0.5942	0.5642
R_{45}	0.9939	0.9935	0.9815

中间层土壤含水量与浅层含水量关系密切,其关联性高于表层与中间层,说明中间层土壤水主要来自浅层土壤水的二次渗流,部分来自表层土壤水,其蒸发消耗也要先经过浅层土壤层。

另外,在清耕和草地处理下,浅层与中间层关联性高于表层与浅层,说明二次渗流对土壤水分的作用效果优于一次渗流。与以上 2 种地类处理不同,秸秆地则表现为 $R_{12} > R_{23}$,说明在秸秆地这种土地利用类型下一次渗流对土壤水的作用效果好于二次渗流。中间层和深层灰关联度(R_{34})与深层和底层灰关联度(R_{45})差异不大,即 $R_{34} \approx R_{45}$,说明深层对底层的水分渗流作用与中间层对深层土壤水分的渗流作用效果相当。

2.2 不同土地利用类型土壤水分灰关联分析

图 1 是在 3 种不同土地利用类型下土壤水分垂直分布的月动态变化。由图 1 可知,3 种不同土地利用类型的土壤平均含水量不同,在 0—120 cm,秸秆土壤水分含量比较高,而在 120—200 cm,生草的土壤水分含量明显高于清耕和秸秆覆盖。这说明草地对深层土壤水分具有调控作用,而秸秆能对浅层的土壤水分产生作用,可以预计草地对深层次土壤水分的灰关联度大于秸秆覆盖。

由表 1 可知,在不同的土地利用类型下,均是土壤中间层与深层、深层与底层土壤水分的变化态势最为接近,但由横向比较可知,秸秆地的接近程度最好,清耕次之。清耕与草地土壤水分灰关联度最好的是深层(120—160 cm)与底层(160—200 cm), R_{34} 分别为 0.993 9, 0.993 5,而秸秆地土壤水分灰关联度最高的是在中间层(80—120 cm)与深层(120—160 cm), $R_{34} = 0.994 0$,说明在不同土地利用类型中上表层渗流对下层土壤水分的补给程度不尽相同。表层与浅层、浅层与中间层、中间层与深层土壤水分变化态势的接近程度比深层与底层弱,即 R_{45} 最大。但相对而言,对于深层次土壤水分而言,草地与清耕接近程度较好,而秸秆

地较差,说明与秸秆地相比,草地这种土地利用类型能够对相对较深的土壤水分进行调控,土壤水分在垂直方向上的变化趋势相对较为缓和。由此可知,清耕、草地和秸秆地 3 种不同土地利用类型对不同层次土壤水

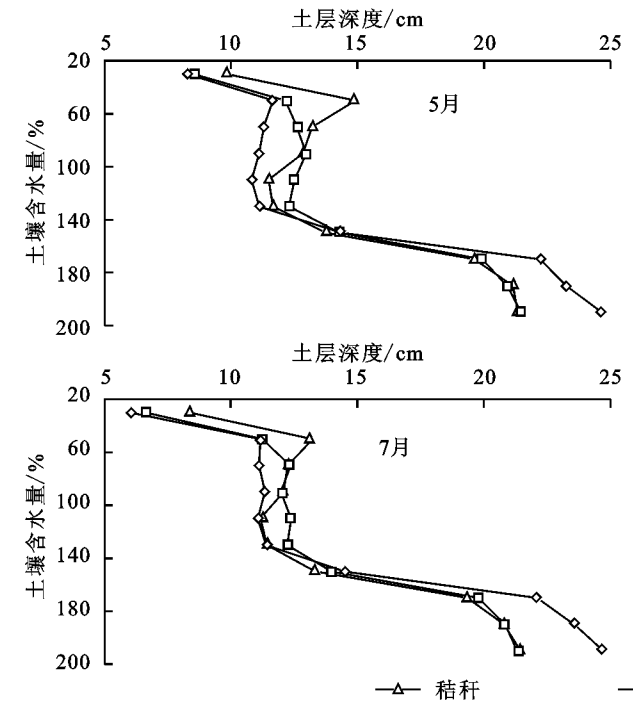


图 1 不同土地利用类型土壤水分垂直动态

2.3 不同月份土壤水分灰关联分析

用灰关联方法进行具体分析。在整个果实膨大期,在计算不同月份土壤水分灰色关联度时,以 5 月份为参考数列 $X_1=\{X_1(k)|k=1,2,\cdots,10\}$, k 表示 0—200 cm 划分为 10 个层次。6 月、7 月、8 月份土壤水分作为比较数列(分别记为 R_{12} 、 R_{13} 和 R_{14}),以 6 月份作为参考数列,7 月和 8 月作为比较数列(记为 R_{23} 和 R_{24}),以 7 月份作为参考数列,8 月作为比较数列(记为 R_{34})根据式(1)和式(2)计算得灰色关联度列于表 2 中。

表 2 不同月份土壤水分灰关联度

灰色关联度	清耕	草地	秸秆地
R_{12}	0.7871	0.8692	0.7570
R_{13}	0.7653	0.8176	0.7425
R_{14}	0.8049	0.8494	0.6798
R_{23}	0.6529	0.5840	0.6519
R_{24}	0.7283	0.6654	0.6075
R_{34}	0.7320	0.7588	0.6546

以 5 月份为参考数列的不同地类各月的灰关联度。秸秆地 6—7 月份与 5 月份土壤水分灰关联度较大,而 8 月份关联度较小,这说明 6—7 月份土壤水分变化态势与 5 月份有较高的接近程度,而 8 月份的接近程度较低。6 月份和 5 月份土壤水分的变化态势最为接近(即灰关联度最大 $R_{12}>R_{13}>R_{14}$),表明该时期虽然经过了几次较大降水量对土壤水分的补偿作用,

分变化发展态势产生的影响存在一定的差异性。因此,通过灰关联度分析土壤水分的变化发展态势,与仅从试验数据分析具有类似的结论,灰关联分析可以较好地用于分析土壤水分月间动态变化趋势。

但由于植物生长也处于旺盛时期,秸秆覆盖在一定程度上能降低果树的蒸腾量,蒸腾耗水与降雨补水在一定程度上相互抵消;同样地,8 月份虽然也经过 7 月份降水对土壤水分的补偿作用,但降水少量,而 8 月份气候干燥,土壤蒸发及果树蒸腾作用强烈,土壤水分耗损量远大于其补给量,因此 8 月份土壤水分与 5 月份相比有较显著减少,其变化态势与 5 月份相比差异显著,灰关联度下降。与秸秆地明显不同的是清耕,8 月份与 5 月份的灰关联度较大,说明其土壤水分的变化态势与 5 月份的差异性较小,土壤水分具有一定的波动性,这与采样监测时的天气状况相关。

草地 6 月土壤水分变化态势与 5 月份较接近,而 7 月份接近程度较差;6 月份降雨量虽较 5 月份多,但温度也比 5 月份高,降雨的补偿作用与土壤蒸发作用相互抵消,使得 6 月份土壤水分变化态势与 5 月份接近;而到了 7 月份,降雨量、温度、作物蒸腾等因素都相应增加,虽有一定的降水补偿作用,但由于天气干燥、土壤蒸发强烈加上生草自身的生长需要消费大量的水分,自然降水对土壤水分的补偿作用与土壤蒸发及生草生长耗水无法达到平衡,故其土壤水分的变化态势与 5 月份存在差异。

以 6 月份作为参考数列的不同地类各月的灰关联度。清耕与草地均是 $R_{24}>R_{23}$,生草区在干旱少雨

时期各标准地贮水量下降幅度比清耕区大;而在降水集中时期又表现为生草具有较强的贮集降水的作用,能显著提高土壤保墒能力。在秸秆覆盖处理下,7月份与6月份的土壤水分灰关联度较大。

以7月份为参考数列的不同地类各月的灰关联度。由于8月份与7月份具有相似的天气状况,伴有几次较大降水量,但持续时间不长,气温升高,土壤蒸发加剧,果树蒸腾强烈,果园土地仍然干旱。因此8月份土壤水分的变化态势与7月份差异不大,灰关联度较高。

3 结论

(1) 在不同土地利用类型下各层土壤水分的变化态势不尽相同。总体来说,深层(220—260 cm)与底层(260—300 cm)土壤水分变化态势的相似程度较高,不同地类的相似程度顺序为,秸秆地>草地>清耕。清耕深层与底层的灰关联度比其他2种覆盖处理大,土壤水分变化态势差异较小;草地浅层与中间层的灰关联度较大;而秸秆地在表层与浅层、中间层与深层的灰关联度明显大于清耕。

(2) 各月土壤水分灰关联度表明,清耕6—8月土壤水分变化态势与5月的相似程度较高,6月与7月出现明显的差异;而秸秆地在整个果实膨大期的土壤水分变化态势都比较稳定;生草地居中,但各月土壤水分变化态势的相似程度仍然存在一定差异,雨季前各月土壤水分变化态势较为接近,雨季后尤其是7月份与4月份灰关联度最小,仅为0.584 0。

(3) 土地利用类型对土壤水分的季节动态变化和垂直剖面变化都会产生一定的影响。由本研究的结果可知,草地对土壤水分垂直变化影响显著;而秸秆地对土壤水分的季节动态存在较大影响。

参考文献:

- [1] 何其华,何永华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报,2003,21(2):149-156.
- [2] 王浩,杨贵羽,贾仰文,等. 土壤水资源的内涵及评价指标体系[J]. 水利学报,2006,37(4):389-394.
- [3] 张北赢. 黄土丘陵区小流域不同土地利用方式土壤水分动态规律研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2008.
- [4] 赵忠,李剑,袁志发,等. 黄土沟坡刺槐林地土壤水分垂直变化的数学模型[J]. 林业科学,2009,45(10):9-13.
- [5] 张建军,李慧敏,徐佳佳. 黄土高原水土保持林对土壤水分的影响[J]. 生态学报,2011,31(23):71-81.
- [6] Wang Fei, Wang Xuan, Zhao Ying, et al. Correlation analysis of NDVI dynamics and hydro-meteorological variables in growth period for four land use types of a water scarce area[J]. Earth Science Informatics, 2014,7(3):187-196.
- [7] Bu H, Meng W, Zhang Y, et al. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China[J]. Ecological Indicators, 2014,41:187-197.
- [8] Wang G, Xu Z, Zhang S. The influence of land use patterns on water quality at multiple spatial scales in a river system[J]. Hydrological Processes, 2014, 28(20): 5259-5272.
- [9] Ye Y, He X, Chen W, et al. Seasonal water quality upstream of Dahuofang Reservoir, China-the effects of land use type at various spatial scales[J]. CLEAN-Soil, Air, Water, 2014,42(10):1423-1432.
- [10] 王昕,贾志宽,韩清芳,等. 半干旱区秸秆覆盖量对土壤水分保蓄及作物水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(4):196-202.
- [11] 李会科,张广军,赵政阳,等. 生草对黄土高原旱地苹果园土壤性状的影响[J]. 草业学报,2007,16(2):32-39.
- [12] 梅立新,李会科. 渭北旱地苹果园生草小气候效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(1):187-192.
- [13] 张先来,李会科,张广军,等. 种植不同牧草对渭北苹果园土壤水分影响的初步分析[J]. 西北林学院学报,2005,20(3):56-59.
- [14] 关玉春,李忠元. 灰色关联分析及其应用[J]. 哈尔滨建筑大学学报,1995,28(3):105-110.
- [15] 敖长林,姚晓敏,郝庆升. 灰色关联分析方法在农业总产值构成分析中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究,1998,14(2):100-102.
- [16] 马建军,李青丰,张树礼. 灰色关联分析在黑岱沟露天煤矿土壤质量评价中的应用[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(7):125-129.
- [17] 夏军. Excel2000 在灰色关联分析中的应用[J]. 中国卫生统计,2004,21(2):117-121.
- [18] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1987.
- [19] James N K, Hu Yanxing. Application of feature-weighted Support Vector regression using grey correlation degree to stock price forecasting[J]. Neural Computing and Applications, 2013,22(1):143-152.
- [20] 李超超. 溃坝水流数值模拟与灰关联度分析[D]. 济南:山东大学,2013.
- [21] 黄博. 基于灰关联的BPM软件可信评估工具的研究与实现[D]. 西安:西北大学,2010.
- [22] 张北赢,徐学选,刘文兆,等. 黄土丘陵区不同土地利用的土壤水分灰色关联度[J]. 生态学报,2008,28(1):361-366.
- [23] 胡广录,赵文智,武俊霞. 绿洲灌区小麦水分生产率及其影响因素的灰关联分析[J]. 中国沙漠,2010,30(2):369-375.
- [24] 陈林,王磊,张庆霞,等. 风沙区不同土地利用类型的土壤水分灰色关联分析[J]. 干旱区研究,2009,26(6):840-845.