

关中平原小麦生育期 VTCI 加权估算及其与产量的相关性研究

黄 弘, 王鹏新*, 李 俐

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘 要: 选取关中平原冬小麦主要生育期的条件植被温度指数(VTCI)遥感干旱监测结果, 运用层次分析法、因子权重排序法两种主观赋权法和主成分分析法、熵值法两种客观赋权法, 分别确定加权 VTCI, 并与关中平原 5 地区冬小麦年产量建立线性回归模型, 研究 VTCI 对冬小麦产量的影响。结果表明, 两种主观赋权法确定的加权 VTCI 与产量之间存在着较好的线性相关关系, 两种客观赋权法确定的加权 VTCI 与产量之间不存在明显的线性相关关系, 表明了主观赋权法是一种较好的确定加权 VTCI 的方法, 可根据其建立加权 VTCI 与产量的线性相关关系, 同时验证了用 VTCI 预测小麦产量的可行性, 这些对监测关中平原旱情具有重要的借鉴意义。

关键词: 影响评估; 条件植被温度指数; 主观赋权法; 客观赋权法

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0173-06

干旱是因水分供求不平衡而形成的水分短缺现象。根据历年受旱面积统计, 1949~2007 年, 我国平均每年受旱面积约为 2 148.7 万 hm^2 , 约占各种气象灾害受灾面积的 60%, 其中平均成灾面积为 948 万 hm^2 , 占全国播种面积的 6.7%, 每年旱灾造成的粮食损失高达 1 000 万 $\text{t}^{[1]}$ 。

陕西省位于我国西北地区东部生态环境的脆弱带上。该省降水量偏少, 具有在地域上分布悬殊, 在时间上分配不均的降水特征, 这些都是造成干旱缺水的主导因素^[2]。近几个世纪, 陕西的气候已经逐渐变得干燥少雨, 旱灾也趋于频繁, 其中关中平原的旱灾变频趋势最为强烈。

目前农业干旱遥感监测方法已有多种。植被指数(NDVI)提供了绿色植被的生长状况和覆盖度信息^[3], 地表温度(LST)对于被植被浓密覆盖的土地, 反映的是植物冠层的表面温度。韩丽娟等^[4]对 NDVI 和 LST 的各种存在关系及其相互转换过程进行了解释; Lambin 等^[5]分析了 LST-NDVI 构成的散点图中地表覆盖随时间和空间变化的规律; 在 NDVI 和 LST 的散点图呈三角形区域分布的基础上, 王鹏新等^[6]提出了条件植被温度指数(VTCI)的干旱监测方法。

本研究运用主观赋权法中的层次分析法、因子权重排序法及客观赋权法中的主成分分析法、熵值法, 分别对 2000~2008 年 3~5 月份关中平原 5 个地区的冬小麦种植区的 VTCI 进行加权统计, 建立加权

VTCI 与历年冬小麦产量统计数据的线性回归模型, 分析、比较各种方法的回归效果, 评估干旱对小麦产量的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

关中平原位于陕西省中部, 西起宝鸡, 东至潼关, 北起北山, 南止秦岭, 其行政区域包括西安、宝鸡、咸阳、渭南、铜川 5 个地区和杨凌示范区(从地理位置上可划归在咸阳地区)。关中平原属大陆性季风气候, 处于暖温带半湿润与半干旱气候的过渡地带, 年降雨量多在 500~700 mm 之间, 是陕西省乃至全国重要的粮棉产区。据资料统计, 关中平原在 1961~2007 年间, 平均温度在波动中呈上升趋势, 降水呈减少趋势^[7,8]。20 世纪 90 年代以来, 关中平原整体上气候暖干化特征显著, 同时关中暖春、暖冬化, 春旱、秋旱等也愈加显著^[9]。

1.2 研究数据

1.2.1 冬小麦生育期的划分 冬小麦越冬后的生育期包括: 返青、拔节、抽穗、灌浆、乳熟和黄熟等时期, 结合关中平原冬小麦越冬后的生长情况, 将返青期定为 1 月下旬~3 月中旬, 拔节期为 3 月下旬~4 月中旬, 抽穗-灌浆期为 4 月下旬~5 月上旬, 乳熟期为 5 月中旬~5 月下旬。小麦各生育期间发生的干旱对其生长和最终产量的影响是不同的, 干旱对小麦生长影响的关键生育期为拔节期, 其次为抽穗

收稿日期: 2011-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071235, 40871159); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20100008110031); 国家高技术研究发展计划课题(2007AA12Z139)

作者简介: 黄 弘(1987-), 女, 四川成都人, 在读硕士, 研究方向为基于条件植被温度指数的干旱影响评估研究。

通讯作者: 王鹏新(1965-), 男, 陕西礼泉人, 教授, 博士生导师, 主要从事定量遥感及其在农业中的应用研究。http://www.cnki.net

一灌浆期,再次是乳熟期,最后是返青期^[10]。

1.2.2 VTCI 时间序列的生成 选用的遥感数据由陕西省农业遥感信息中心提供的 2000~2008 年 3~5 月份的 NOAA/AVHRR 影像,研究区域为 33°57′到 35°39′,东经 106°22′到 110°24′之间的区域。

每幅影像经过辐射校正、定标、几何校正、掩膜后,计算 VTCI:

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI_i, \max} - LST_{NDVI_i}}{LST_{NDVI_i, \max} - LST_{NDVI_i, \min}} \quad (1)$$

$$\text{其中:} \begin{cases} LST_{NDVI_i, \max} = a + bNDVI_i \\ LST_{NDVI_i, \min} = a' + b'NDVI_i \end{cases} \quad (2)$$

式中, $LST_{NDVI_i, \max}$ 、 $LST_{NDVI_i, \min}$ 分别表示在研究区域内,当 $NDVI_i$ 值为某一特定值时所有像素的地表温度的最大值和最小值; LST_{NDVI_i} 表示某一像素的 $NDVI$ 值为 $NDVI_i$ 时的地表温度; a 、 b 、 a' 和 b' 为待定系数,可以通过绘制研究区域的 $NDVI$ 和 LST 的散点图近似获得^[11]。

研究对象为关中地区的小麦,越冬后关中平原大部分农作物为小麦,首先进行计算机分类,分类后将耕地以外的面积(西安市和关中平原境内的黄河)扣除,然后和研究区的区县行政边界图叠加,得到关中 5 地区的小麦区域,在生成的 VTCI 图像上依照叠加图进行小麦的 VTCI 统计,取平均值作为该地区该年该旬的 VTCI 值。主观赋权法需计算生育期 VTCI,即取生育期间各旬 VTCI 的平均值;客观赋权法直接采用各旬 VTCI。

由于受云层的影响,最后的计算结果缺少少量的旬 VTCI 数据,因此采用三次样条插值法补充了缺少的数据。2000 年缺少拔节期中 4 月上旬,抽穗~灌浆期中 4 月下旬、5 月上旬的 VTCI,这 3 旬均处于较关键的生育时期,由于客观赋权法完全基于数理运算来获得信息权重,重要数据的缺少会影响分析的精度;而 2007 年只有 4 旬的 VTCI,数据较少,因此舍弃这两年的数据。2000~2008 年的各地区冬小麦的单产数据来自于陕西统计年鉴 2001~2009^[12~20]。

1.3 研究方法

事物的总体信息由多个因素或指标组成,某一指标的权重是指该指标在综合评价中的相对重要程度。在综合评价中,权重系数确定的精确度和科学性将直接影响评价的结果。确定权重的方法主要有两大类:一类是主观赋权法,由专家根据经验进行主观判断再赋予指标权重,如特尔菲法、层次分析法、排序法、模糊聚类法等;一类是客观赋权法,根据指标间的相关关系或各指标的变异系数来确定权重,如主成分分析法、熵值法、灰色关联分析法、神经网络

络分析法等^[21]。两种赋权方法特点不同,主观赋权法受一定的人为因素影响,在指标较多时难以保证所得权重的客观性和准确性;客观赋权法根据各指标的初始信息量来确定权重,但当指标较多时,计算量较大。

1.3.1 层次分析法 层次分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)是一种实用的多方案或多目标的决策方法。它的基本步骤如下^[22]:

(1) 分析系统中各因素之间的关系,确定层次结构,建立目标树图;

(2) 建立两两比较的判断矩阵,确定相对权重,计算子目标权重;

(3) 检验权重的一致性,计算各指标的组合权重。

本研究中选取小麦越冬后的 4 个生育期,即返青期、拔节期、抽穗~灌浆期和乳熟期为 4 项指标;采用 1~9 级标度法建立判断矩阵,其中根据专家意见将返青期定为基准 1,拔节期相对于返青期定为 9,抽穗~灌浆期的比较标度范围为 6~8 之间的整数,乳熟期的范围为 3~4 之间的整数;相对于乳熟期:拔节期的范围为 3,抽穗~灌浆期的范围为 2;相对于抽穗~灌浆期:拔节期的范围为 1~2 之间的整数^[10]。由此可得多个判断矩阵,根据各判断矩阵计算权重,再计算加权 VTCI。

1.3.2 因子权重排序法 依据排序法的原理,结合专家意见和小麦越冬后各生育期的干旱对其生长的不同影响,确定各重要生育期因子的权重。它的基本步骤如下^[23]:

(1) Q_1 、 Q_2 、 Q_3 和 Q_4 分别代表返青期、乳熟期、抽穗~灌浆期和拔节期,根据其重要性不同从小到大排列为

$$Q_1 \leq Q_2 \leq Q_3 \leq Q_4 \quad (3)$$

(2) 确定 Q_{i+1} ($i = 1, 2, 3, 4$) 对于 Q_i 的重要程度 $V(i+1, i)$, 并令 $V(1, 0) = 1$;

(3) 计算 U_i :

$$\begin{cases} U_1 = V(1, 0) \\ U_2 = V(1, 0) \cdot V(2, 1) \\ U_3 = V(1, 0) \cdot V(2, 1) \cdot V(3, 2) \\ U_4 = V(1, 0) \cdot V(2, 1) \cdot V(3, 2) \cdot V(4, 3) \end{cases} \quad (4)$$

(4) 计算任意 i 因子的权重 W_i :

$$W_i = \frac{U_i}{\sum_{j=1}^4 U_j} \quad (5)$$

与层次分析法相似,选取小麦越冬后的 4 个生育期为 4 个因子,设定拔节期的权重范围为 0.4~0.5;其次为抽穗~灌浆期,设定其权重范围为 0.3~0.4;然后是乳熟期,设定其权重范围不超过 0.2;

最后是返青期,设定其权重范围不超过 0.1^[10];计算加权 VTCI。

1.3.3 主成分分析 主成分分析(Principal components analysis, PCA) 是利用降维的思想,在损失很少信息的前提下把多个指标转化为几个综合指标的多元统计方法^[22]。它的基本步骤如下:

- (1) 整理 m 年 n 旬的 VTCI 为数据矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$, 对其进行标准化变换;
- (2) 求出相关系数矩阵的特征根和特征向量;
- (3) 根据特征根的信息贡献率选取各主成分。

1.3.4 熵值法 熵(Entropy) 原本是热力学的概念,表示任何一种能量在空间中分布的均匀程度,可用于度量已知数据所包含的有效信息量^[24]。自从数学家 Shanon 将熵引入信息论后,信息熵便成为了一种可靠的权重确定方法。系统的某项指标携带的信息越多,表示该指标对决策的作用就越大,此时熵值越小,赋予的权重越大;熵值越大,赋予的权重越小^[25]。它的基本步骤如下^[24]:

- (1) VTCI 数据归一化。整理 t 年 s 旬的 VTCI 为数据矩阵 $B = (b_{ij})_{s \times t}$, 对其归一化后得 $R = (r_{ij})_{s \times t}$, 归一化公式为:

$$r_{ij} = \frac{b_{ij} - \min_j \{b_{ij}\}}{\max_j \{b_{ij}\} - \min_j \{b_{ij}\}} \quad (6)$$

- (2) 计算第 i 旬的熵 h_i :

$$h_i = -k \sum_{j=1}^t f_{ij} \ln f_{ij} \quad (7)$$

式中, $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^s r_{ij}}$, $k = \frac{1}{\ln t}$; 当 $f_{ij} = 0$ 时, 令 $\ln f_{ij} = 0$ 。

- (3) 计算第 i 旬的差异性系数 g_i :

$$g_i = \frac{1 - h_i}{s - \sum_{i=1}^s h_i} \quad (8)$$

- (4) 求任意 i 旬的权重 δ_i :

$$\delta_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^s g_i} \quad (0 \leq \delta_i \leq 1, \sum_{i=1}^s \delta_i = 1) \quad (9)$$

- (5) 根据各旬的权重计算加权 VTCI。

最后将四种赋权法得到的加权 VTCI 或主成分分别与冬小麦产量进行线性相关分析。

2 结果与分析

2.1 两种主观赋权法的结果对比分析

层次分析法和因子权重排序法分别得到了多组权重,选择回归模型中决定系数最高的一组作为定值,表 1 是两种方法的权重系数对比。

从表 1 得出,两种主观赋权法确立的权重系数比较接近,最大差值不超过 0.05。虽然两种方法均受主观因素的影响,但结果表明两种方法分别确定的权重系数较为合理。

表 1 层次分析法和因子权重排序法的权重系数对比
Table 1 Comparison of weights between the analytical hierarchy process and factor rank ordering method

生育期 Growing stage	层次分析法 Analytical hierarchy process	因子权重排序法 Factor rank ordering method
返青期 Turning green stage	0.052	0.050
拔节期 Elongation stage	0.502	0.450
抽穗~灌浆期 Heading~Filling stage	0.290	0.300
乳熟期 Milky stage	0.156	0.200

分别建立关中平原 5 地区冬小麦产量与加权 VTCI 的回归模型,结果见表 2,对其进行线性相关分析,比较决定系数 R^2 和 F 检验,结果见表 3。

从表 3 得出,由层次分析法确定的加权 VTCI 与产量的回归效果表明,渭南、西安、咸阳和宝鸡的线性相关分析中,决定系数 R^2 均大于 0.5,并且均通过了 F 检验;铜川的决定系数 R^2 最小,没有通过 F 检验;由因子权重排序法确定的加权 VTCI 与产量的线性相关分析结果与之一致,表明了加权 VTCI 和产量呈显著的线性关系。这两种方法都能较好地分析 VTCI 和产量的相关关系。

表 2 关中五地区两种主观赋权法确定的加权 VTCI 和冬小麦单产的回归模型

Table 2 Regression models between the weighted VTCI values based on the two subjective weighting methods and wheat yield for the five regions in the Guanzhong Plain

地区 Region	层次分析法 Analytical hierarchy process	因子权重排序法 Factor rank ordering method
渭南 Weinan	$y = 3267VTCI + 1655$	$y = 3340VTCI + 1620$
西安 Xi'an	$y = 3517VTCI + 2223$	$y = 3476VTCI + 2266$
咸阳 Xianyang	$y = 3111VTCI + 2255$	$y = 2991VTCI + 2333$
宝鸡 Baoji	$y = 4717VTCI + 806$	$y = 4794VTCI + 769$
铜川 Tongchuan	$y = 1995VTCI + 1527$	$y = 1896VTCI + 1587$

运用层次分析法得到的决定系数 R^2 , 由大到小依次为西安、咸阳、宝鸡、渭南和铜川;运用因子权重排序法得到的决定系数 R^2 , 由大到小依次为西安、宝鸡、渭南、咸阳和铜川。其线性相关分析结果的好坏次序有所不同,但渭南、西安、咸阳和宝鸡的加权 VTCI 均与产量具有良好的线性相关关系,铜川属于较干旱地区,由于每年的气候差异和人为因素的影响,造成

产量的年际变化较大。除铜川外,在关中平原大部分地区用 VTCI 进行冬小麦产量的预测是可行的。

表 3 关中五地区两种主观赋权法确定的加权 VTCI 和冬小麦单产的回归效果对比

Table 3 Comparison of regression results between the weighted VTCI values based on the two subjective weighting methods and wheat yields for the five regions in the Guanzhong Plain

地区 Region	层次分析法 Analytical hierarchy process		因子权重排序法 Factor rank ordering method	
	决定系数 R^2	F 值 F value	决定系数 R^2	F 值 F value
渭南 Weinan	0.518	5.364	0.510	5.201
西安 Xi'an	0.635	8.692	0.595	7.358
咸阳 Xianyang	0.532	5.686	0.501	4.616
宝鸡 Baoji	0.526	5.557	0.529	5.617
铜川 Tongchuan	0.250	1.667	0.222	1.429

注(Note): $F_{\alpha}(1, n-2) = 4.06, \alpha=0.10, n=7$ 。

表 5 关中五地区两种客观赋权法确定的加权 VTCI 和冬小麦单产的回归模型

Table 5 Regression models between the weighted VTCI values based on the two objective weighting methods and wheat yield for the five regions in the Guanzhong Plain

地区 Region	主成分分析法 Principal components analysis	熵值法 Entropy method
渭南 Weinan	$y = 223 PCA_1 - 28 PCA_2 - 667 PCA_3 - 244 PCA_4 + 3501$	$y = 1402 VTCI + 2706$
西安 Xi'an	$y = 114 PCA_1 - 38 PCA_2 - 73 PCA_3 + 234 PCA_4 + 4572$	$y = 2786 VTCI + 2701$
咸阳 Xianyang	$y = 297 PCA_1 - 262 PCA_2 - 532 PCA_3 + 239 PCA_4 + 4289$	$y = 2292 VTCI + 2744$
宝鸡 Baoji	$y = 460 PCA_1 - 261 PCA_2 - 428 PCA_3 + 326 PCA_4 + 3779$	$y = 6239 VTCI + 88$
铜川 Tongchuan	$y = 69 PCA_1 - 14 PCA_2 - 180 PCA_3 - 95 PCA_4 + 2746$	$y = 254 VTCI + 2526$

表 6 关中五地区两种客观赋权法确定的加权 VTCI 和冬小麦单产的回归效果对比

Table 6 Comparison of regression results between the weighted VTCI values based on the two objective weighting methods and wheat yields for the five regions in the Guanzhong Plain

地区 Region	主成分分析法 Principal component analysis		熵值法 Entropy method	
	决定系数 R^2	F ₁ 值 F ₁ value	决定系数 R^2	F ₂ 值 F ₂ value
渭南 Weinan	0.510	0.521	0.077	0.416
西安 Xi'an	0.797	1.968	0.312	2.270
咸阳 Xianyang	0.914	5.309	0.207	1.307
宝鸡 Baoji	0.654	0.945	0.436	3.871
铜川 Tongchuan	0.811	2.144	0.003	0.015

注(Note): $F_{1\alpha}(4, n-5) = 9.24, \alpha=0.10, n=7; F_{2\alpha}(1, n-2) = 4.06, \alpha=0.10, n=7$ 。

主成分分析法不是确定各旬的权重,而是提取有效信息,因此会出现信息的损失;在回归模型中,不是 VTCI 而是包含了绝大多数有效信息的主成分与产量建立线性相关关系,决定系数 R^2 虽然较大,

2.2 两种客观赋权法的结果对比分析

主成分分析中,均选取前 4 个主成分,累计贡献率均超过 85%,结果见表 4。

表 4 主成分累计贡献率

Table 4 Cumulative contribution rates of PCA

地区 Region	累计贡献率 (%) Cumulative contribution rate
渭南 Weinan	92.549
西安 Xi'an	88.973
咸阳 Xianyang	90.036
宝鸡 Baoji	91.898
铜川 Tongchuan	90.890

分别建立关中平原 5 地区冬小麦产量与主成分分析法确定的主成分和熵值法确定的加权 VTCI 的回归模型,结果见表 5,对其进行线性相关分析,比较决定系数 R^2 和 F 检验,结果见表 6。

但回归过程却不是建立 VTCI 与产量的直接关系。熵值法确定的加权 VTCI 与产量的回归模型中,决定系数 R^2 均不大于 0.5,并且均不通过 F 检验。在两种客观赋权法中,主成分分析法确定的主成分与产量无法建立 VTCI 与产量之间的直接关系;熵值法确定的加权 VTCI 与产量的回归效果不理想,不能较好地分析 VTCI 和产量的线性相关关系。

3 讨论与结论

选取 7 年的 VTCI 时间序列数据,运用不同的加权方法计算关中平原 5 地区加权 VTCI,再与小麦产量进行线性相关分析,结果表明,层次分析法和因子权重排序法这两种主观赋权法确定的加权 VTCI 能建立拟合精度较高的回归模型,其中渭南、西安、咸阳和宝鸡与产量的线性相关关系显著,由此表明,主观赋权法是一种较好的能够确定加权 VTCI 的方法,并能依此建立 VTCI 与产量之间的线性相关关系,表明了关中大部分地区冬小麦生育期间的 VTCI 时间

序列与产量具有较好的线性相关性,验证了在麦区用 VTCI 预测冬小麦产量的可行性,同时对监测关中平原一定时间段内干旱情况具有借鉴意义;与主观赋权法相比,主成分分析法和熵值法这两种客观赋权法均不能较好的反映 VTCI 和产量之间的相关关系。

冬小麦干旱影响评估不仅需要选择合适的干旱监测模型,由于各旬、各生育期的实际意义和重要程度不同,数据的客观分析可能与实际情况存在一定的差距,此时主观赋权法优于客观赋权法,因此需要结合相应的农学知识和专家的主观判断等意见,使定性分析与定量分析有机结合,实现问题的量化决策。

干旱最终衡量的标准主要是对作物产量的影响,其中不同生育期内的干旱对小麦的生长和最终产量的影响不同,冷害、病虫害和施肥量等对产量也有一定的影响。冬小麦干旱影响评估工作是一项长期复杂的工作,针对 VTCI 可以进行理论上的改进;针对主客观赋权各自的优缺点可以尝试主客观综合赋权法;当地土地利用结构的变化、农作物品种的变化也需要及时地更新,同时还需要结合当地的气候特征和病虫害灾害,只有综合各方面因素才能对产量进行科学、合理的评估。

参 考 文 献:

- [1] 黄会平. 1949~2007 年全国干旱灾害特征、成因及减灾对策[J]. 干旱区资源与环境, 2010, (11): 94-98.
- [2] 葛芬莉, 韩广钧. 陕西干旱趋势与水资源利用[J]. 水资源与水工程学报, 2004, (2): 74-77.
- [3] 王鹏新, WAN Zheng-ming, 龚健雅, 等. 基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 527-531.
- [4] 韩丽娟, 王鹏新, 王锦地, 等. 植被指数——地表温度构成的特征空间研究[J]. 中国科学(D辑), 2005, 35(4): 371-377.
- [5] Lambin E F, Ehrlich D. The surface temperature vegetation index space for land cover and land cover change analysis[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(3): 463-487.
- [6] 王鹏新, 龚健雅, 李小文. 条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2001, 26(5): 412-417.
- [7] 周晓红, 赵景波. 关中地区 1500 年来洪水灾害与气候变化分析[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(2): 246-250.
- [8] 蔡新玲, 高红燕, 王繁强, 等. 气候变暖背景下关中地区水热资源变化分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 226-231.
- [9] 陈太根, 董 婕. 关中平原近 49 年来气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, (12): 76-81.
- [10] 孙月青, 王鹏新, 张树誉, 等. 基于层次分析法的加权 VTCI 和小麦产量分析[J]. 遥感信息, 2010, (2): 83-87.
- [11] 孙 威, 王鹏新, 韩丽娟, 等. 条件植被温度指数干旱监测方法的完善[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 22-26.
- [12] 杨永善. 陕西统计年鉴 2001[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001: 279.
- [13] 杨永善. 陕西统计年鉴 2002[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002: 261.
- [14] 杨永善. 陕西统计年鉴 2003[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003: 250.
- [15] 杨永善. 陕西统计年鉴 2004[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004: 258.
- [16] 胡守贤. 陕西统计年鉴 2005[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005: 237.
- [17] 王莉霞. 陕西统计年鉴 2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006: 238.
- [18] 杨天祥. 陕西统计年鉴 2007[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007: 259.
- [19] 杨天祥. 陕西统计年鉴 2008[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008: 255.
- [20] 杨天祥. 陕西统计年鉴 2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009: 243.
- [21] 张海涛, 刘超英, 田 水. 权重确定的主客观综合法[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2004, 32(4): 63-65.
- [22] 王 晖, 陈 丽, 陈 垦, 等. 多指标综合评价方法及权重系数的选择[J]. 广东药学院学报, 2007, 23(5): 583-589.
- [23] 朱德海, 严泰来, 杨永侠. 土地管理信息系统[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 259.
- [24] 陆添超, 康 凯. 熵值法和层次分析法在权重确定中的应用[J]. 电脑编程技巧与维护, 2009, (22): 19-20.
- [25] 苏恒强, 陈桂芬, 朱春晓. 基于熵值法的玉米产量组合预测模型[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(1): 125-127.

Correlations between weighted VTCl in key growth and development stages of winter wheat and wheat yields in the Guanzhong Plain

HUANG Hong, WANG Peng-xin^{*}, LI Li

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Selecting drought monitoring results of Vegetation Temperature Condition Index (VTCl) in the key growth and development stages of winter wheat in the Guanzhong Plain, two subjective weighting methods, analytic hierarchy process method and factor rank ordering method, and two objective weighting methods, principal component analysis and entropy method are used to calculate weighted VTCl values. The linear regression analysis is applied to study the correlation between the weighted VTCl values and wheat yields for the five regions in the Guanzhong Plain respectively, and as well as the drought impact on wheat yield based on VTCl. The results show that there are significant correlations between wheat yields and weighted VTCl values by using the subjective weighting methods, while there are poor correlations by using the objective weighting methods. These results indicate that the subjective weighting methods are more effective ways to calculate weighted VTCl values, which can be used to establish the linear relationship with wheat yields, prove the feasibility of wheat production forecast by using VTCl approach, and show that monitoring drought in the Guanzhong Plain is very referable.

Keywords: impact estimation; vegetation temperature condition index; subjective weighting method; objective weighting method

(上接第 146 页)

- [6] 邓聚龙. 灰色系统基础方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987: 45-51.
- [7] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用(第四版)[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 88-97.
- [8] 陈慧, 冯利华, 孙丽娜. 南京市水资源承载力的主成分分析[J]. 人民长江, 2010, 41(12): 95-98.
- [9] 黄婷, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 基于主成分分析的黄土沟壑区土壤肥力质量评价——以长武县耕地土壤为例[J]. 干旱地区农业研究, 2010, (3): 141-147.
- [10] 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): 141-147.
- [11] 刘国旗. 多重共线性的产生原因及其诊断处理[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2001, 24(4): 607-610.

Modeling on sensitivity of soil salt ions to electrical conductivity of soil extract

MA Liang¹, HE Ji-wu², LIU Feng¹, CHEN Liang-liang¹

(1. College of Water Resources & Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830032, China;

2. Major Project Management Office, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: A study was conducted on the sensitivity of soil salt ions to the electrical conductivity of soil extract to promote technical progress in improved alkaline field and salt-water movement theory in depth. A preliminary qualitative analysis was first made by applying grey relational analysis in electrical conductivity of soil extract and salt ions, and then by default factor analysis and principal component analysis for further authentication. The results show that: Cl^- and Na^+ ions are more sensitive than any other ions to the electrical conductivity of soil extract; the results of grey relational analysis method are the same as the results of principal component analysis model based on the default factor method; the seven salt ions have multicollinearity on electrical conductivity of soil extract, and the conductivity prediction model based on principal component regression method can make reasonable simulation of variables. This provides a new way for further study on salt-water movement theory.

Keywords: salt ion; electrical conductivity of soil extract; sensitive factor; principal component analysis; grey relational analysis