

# 基于地理网格的陕西省农业水土资源分区研究

任思卿<sup>1</sup>, 徐仪玮<sup>1</sup>, 张青峰<sup>1</sup>, 阳晓原<sup>2</sup>

(1.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西安黄河工程建设咨询有限公司, 西安 710021)

**摘 要:**准确评价不同区域农业水土资源的耦合利用程度,有助于提升农业水土资源的现实生产力。基于农业水土资源的自然禀赋和人为利用情况建立嵌套分区指标体系,运用地理网格、主成分分析以及聚类分析方法,对陕西省 109 个县域的农业水土资源利用现状进行了调查和区划。结果表明:陕西省农业水土资源可被划分为 5 个一级区和 17 个亚区;一级分区总体差异明显;Ⅰ区水热充足,水资源利用情况最好,耕地利用情况中等;Ⅱ区水热条件良好,耕地利用情况很好;Ⅲ区水热条件一般,水资源利用情况良好,耕地利用情况中等;Ⅳ区气候湿润,水资源利用情况很好,但是耕地利用较不充分;Ⅴ区低温干燥,水资源较短缺,耕地利用不佳,耕地资源紧张。亚区图斑多集中在陕西中部地区。研究结果明晰了陕西省农业水资源和土地资源的匹配程度和开发利用潜力,可为有效地开发和利用水土资源提供研究基础。

**关键词:**农业资源与环境;农业分区;地理网格;主成分分析;聚类分析

中图分类号:S282

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)06-0000-07

## Geogrid-Based Framework of Agricultural Zoning for Planning and Management of Water and Land Resources in Shaanxi Province

REN Siqing<sup>1</sup>, XU Yiwei<sup>1</sup>, ZHANG Qingfeng<sup>1</sup>, YANG Xiaoyuan<sup>2</sup>

(1.College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.Xi'an Huanghe Project Construction Consulting Co., Ltd., Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Accurately evaluating the utilization situation of the usually coupled agricultural water and land resources is very helpful for improving the productivity of agricultural water and land resources in related areas. We provide a geogrid-based framework of agricultural zoning in 109 counties of Shaanxi Province through using principal component analysis and cluster analysis. The results show that the geogrid-based zoning method has a good applicability in agricultural zoning, through which the agricultural zones in Shaanxi Province can be divided into five regions and 17 subregions based on data of 36 903 geogrids. The five regions show distinct differences. Region I possesses sufficient hydrothermal resources, where the water resource utilization is the best and the land resource utilization is moderate. Region II possesses good hydrothermal resources, and the land resource utilization is also good. Region III possesses general hydrothermal resources, where the water resource utilization is good and the land resource utilization is moderate. Region IV possesses a moist climate, where the water resource utilization is good and the land resource utilization is relatively poor. Region V possesses an arid climate with relatively low temperature, where the water and land resources are insufficient and the land resource utilization is the poorest. The polygons of subregions generally distribute in the middle area of Shaanxi Province. The results of zoning reflect the current development and utilization of agricultural water and land resources in related regions of Shaanxi Province, and clarify the degree of match between agricultural water and land resources and their utilization potential in agriculture, which lay the foundation of effective utilization of water and land resources in agricultural areas in this province.

收稿日期:2022-05-06

修回日期:2022-08-18

资助项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD29B09-1);陕西省自然科学基金重点项目(2021JZ-17);大学生创新创业训练计划项目(X20210712247)

第一作者:任思卿(2001—),女,陕西咸阳人,本科生,主要从事地理信息科学应用研究。E-mail:great\_fir@163.com

通信作者:张青峰(1974—),男,山西孝义人,博士生导师,教授,主要从事土地资源与空间信息技术研究。E-mail:zhqf@nwsuaf.edu.cn

**Keywords:** agricultural resources and environment; agricultural zoning; geographic grid; principal component analysis; cluster analysis

农业水土资源是农业生产的物质基础,也是保障粮食安全和人类社会高质量发展的重要生产资料。准确评价不同区域农业水土资源的耦合利用程度,不仅有利于人们对耕地资源和水资源的数量、质量及其空间特征、结构、发展变化等有更为清晰的认识,也有助于提升农业水土资源的现实生产力。因此,结合实际利用情况对相关区域的农业水土资源进行系统调查并开展分区研究非常重要。

陕西省是我国西部重要的农业大省,农业发展对全省乃至整个西北地区 and 全国都具有重要影响。20 世纪 60 年代以来,陕西省的农业区划研究和实践大致可分为综合区划和专项(专业)区划两大类<sup>[1-2]</sup>,如农业综合区划、种植业资源与区划、生态功能区划、国土空间规划(2021—2035 年)、水土保持区划、水功能区划、土地资源区划、土地利用区划、主要农作物生态区划等<sup>[3-5]</sup>。综合而言,以往区划多将地域特征与功能相结合、自然环境特征与人类活动相结合<sup>[6-7]</sup>,旨在为区域资源开发、利用与保护提供决策依据,它们在特定的历史时期发挥了重要作用。水资源和土地资源作为限制农业发展的两个最关键因子,其综合作用或耦合效应对农业生产的影响往往高于单个因子影响。然而,目前对于水土资源的区划研究多考虑单个因子,很少将两者有机地结合起来进行综合分析,因而无法明确农业水土资源的匹配程度及其开发利用潜力<sup>[8-9]</sup>。另外,以往区划研究方法多以县域、小流域为分区单元并采用定性和半定量方法划分边界<sup>[10-11]</sup>,采用高度定量化(如地理网格)方法开展的研究一直比较缺乏,因而难以精准识别各个分区的边界,为精确配置和优化农业水土资源布设造成障碍。

陕西省位于我国西北地区,地理位置  $105^{\circ}29'—111^{\circ}15'E, 31^{\circ}42'—39^{\circ}35'N$ ,总面积约 20.56 万  $km^2$ ,横跨亚热带、暖温带、中温带 3 个气候带,从北到南依次被分为陕北黄土高原、关中平原、陕南土石山区 3 个大的地貌单元;其气候条件、土壤状况、农田水利设施建设情况、区域发展水平各异,农业水土资源利用情况各有不同。陕西省多年平均降水量为 676 mm,年平均日照时数 2 542.8 h<sup>[12]</sup>,年平均无霜期 248 d;人均耕地面积 0.1  $hm^2$ /人远低于世界平均水平 0.25  $hm^2$ /人,人均水资源占有量 1 280  $m^3$ /人也远低于全国平均水平 2 200  $m^3$ /人和世界平均水平 9 000  $m^3$ /人,耕地资源和水资源时空分布严重不均,农业生产效率较低<sup>[13]</sup>,农业灌溉用水效率低<sup>[14]</sup>,土地资源和

水土资源如不能合理、充分利用,将会对陕西省的农业发展造成严重制约。鉴于此,本研究采用地理网格法对陕西省 109 个县域的水土资源数据进行统计,并运用主成分分析与聚类分析方法,对陕西省不同地区的农业水土资源进行比较和区域划分。

## 1 研究方法

### 1.1 指标体系的确定

一个地区的农业资源利用情况不仅与当地的自然条件有关,也与人为因素(如农业政策影响土地开发利用方式、农业技术水平影响水资源利用效率、灌溉情况优劣)相关。自然条件往往在大尺度上差异明显,但在较小尺度区域差异较小;人为因素则在较小尺度区域有更加明显的差异。以往的农业分区研究范围尺度较为单一,且多针对单因素进行,在大中尺度上兼顾水土因子的分区研究较少。因此,采取大、中尺度嵌套方式,自然和人为因素相结合,兼顾农业水资源和土地资源的分区指标体系,去辨识相关地区的农业水土资源利用程度会更加合理,其结果或可反映在农业水土资源系统地域空间分异特征的同时,明确揭示农业水土资源利用现状及其在时空上适宜匹配的量比关系。参考张青峰、耿庆玲等所建立的区域农业水土资源利用分区指标体系<sup>[15-16]</sup>,确定本研究所采用的大、中尺度嵌套的陕西省农业水土资源分区指标体系,见表 1。

### 1.2 分区指标的信度检验

对陕西省 109 个县域行政单元(县、市区、示范区等)的指标值进行信度检验。其中,将一级分区中的逆向指标“干燥度”用倒数法正向化<sup>[17]</sup>,使指标趋势相同,该指标值越高说明水土资源及其利用条件越好。信度检验结果用克隆巴哈系数  $\alpha$  表示; $\alpha$  越高,表明指标设置的信度越好<sup>[18]</sup>。克隆巴哈  $\alpha$  系数公式为:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left( \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_x^2} \right)$$

式中: $k$  表示县级行政区数目; $S_i$  表示第  $i$  个指标的方差; $S_x$  表示指标总方差。

分区指标的信度检验结果见表 2。县域数据中的一级分区指标  $\alpha$  值较低,仅为 0.202;但在数据标准化后, $\alpha$  值达到 0.717。县域数据的二级分区指标  $\alpha$  值在标准化前后分别为 0.798、0.791,表明该指标信度良好。因此,本文采用标准化后的数据进行各农业区的划分。

表 1 陕西省农业水土资源利用分区指标和插值方法

| 分区级别与意义                                                                                   | 分区指标                        | 插值方法             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 大尺度(1 万 km <sup>2</sup> )<br>“一级分区”<br>反映农业水土资源系统的<br>地域空间分异特征                            | I <sub>1a</sub> 平均降水量(mm)   | 克里金指数            |
|                                                                                           | I <sub>2a</sub> 平均温度(℃)     | 克里金指数            |
|                                                                                           | I <sub>3</sub> 干燥度          | 泛克里金一次漂移函数       |
|                                                                                           | I <sub>4</sub> 有效积温(℃)      | 反距离权重(power=2.5) |
|                                                                                           | I <sub>5</sub> 耕地指数         | 反距离权重(power=2.5) |
|                                                                                           | I <sub>6</sub> 水资源指数        | 反距离权重(power=1.0) |
| 中等尺度(1×10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )<br>“二级分区(亚区)”<br>反映农业水土资源利用现状及其<br>在时空上适宜匹配的量比关系 | II <sub>1</sub> 粮食播种面积比例    | 反距离权重(power=3.0) |
|                                                                                           | II <sub>2</sub> 复种指数        | 反距离权重(power=3.0) |
|                                                                                           | II <sub>3</sub> 种植业产值比例     | 反距离权重(power=3.0) |
|                                                                                           | II <sub>4</sub> 已耕地占可耕地面积比例 | 反距离权重(power=3.0) |
|                                                                                           | II <sub>5</sub> 耕地灌溉率       | 反距离权重(power=2.0) |
|                                                                                           | II <sub>6</sub> 农业用水比重      | 径向基函数(优化模型后的参数)  |

表 2 分区指标的可靠性

| 指标   | $\alpha$ | 标准化后的 $\alpha$ | 指标数量 |
|------|----------|----------------|------|
| 一级指标 | 0.202    | 0.717          | 6    |
| 二级指标 | 0.798    | 0.791          | 6    |

1.3 分区单元的确定

在描述分区特征时,本研究基于地理网格单元,根据其网格面积将行政统计数据转化为网格数据。网格覆盖陕西省全域。为使县域行政单元能被精确划分,并且减少网格数量以缩短 ArcGIS 10.8 软件的操作处理时间,每个网格大小依据如下原则进行确定:网格面积小于行政区划单元面积时,为减少网格数量,采用公式  $H = \frac{1}{2} \sqrt{[\min(A_i)]}$  ( $H$  为网格边长,  $A_i$  代表第  $i$  个行政区图斑的面积)来确定网格规格。陕西省最小县域行政单元面积为 22.84 km<sup>2</sup>,依据该公式,本研究的分区网格单元边长被确定为 2.39 km,陕西省全域被划分为 36 903 个网格单元,作为分区的基本单元。

1.4 数据来源与预处理

本研究的所有气候数据和水土资源数据均来源于近几年的陕西统计年鉴、陕西省各市统计年鉴和各市水资源公报,分区指标使用其中的统计指标或由它们计算得到;县域行政边界矢量数据来源于地理国情监测云平台;海拔采用 ASTER GDEM 30 M 数字高程模型(DEM)数据。

采用面积加权方法将数据标准化后的矢量行政区数据转换为网格单元的属性数据时,根据地理学第一定律,对缺失的个别数据进行数据插值补全<sup>[19]</sup>,插值方法见表 1。对于 DEM 和其他栅格数据,采用网格单元相关统计数据的均值。

1.5 分区方法

首先建立覆盖陕西省行政区边界的网格单元,计算县级行政区的几何中心点(带有县区名称);按地名查询几何中心点,把指标数据表附着到几何中心点;然后使用表 1 中的方法进行插值,由带属性的几何中心点得到相应的栅格数据;将栅格数据对应到网格单元上,获得所在位置的指标信息,构成网格单元的数据表,即 36 903×6 的网格数据矩阵。然后,通过聚类分析确定分区数目,作为主要的边界参考,在 ArcGIS 软件中进行图斑划分。此后,结合大尺度地貌格局和行政规划边界,根据区域共轭原则按主要类型区进行网格单元合并,划分出农业水土资源一级分区,并依据同样方法继续对每个一级区进行亚区的划分。分区的具体步骤见图 1,其中的 K-均值聚类为无需训练样本的非监督聚类方法<sup>[20]</sup>,其聚类数目和迭代次数可设置调整,已被广泛用于农业自然资源状况分区。按照以上步骤获得的各个分区,既有较明晰的识别边界,又能最大限度保持与相关行政边界的统一。

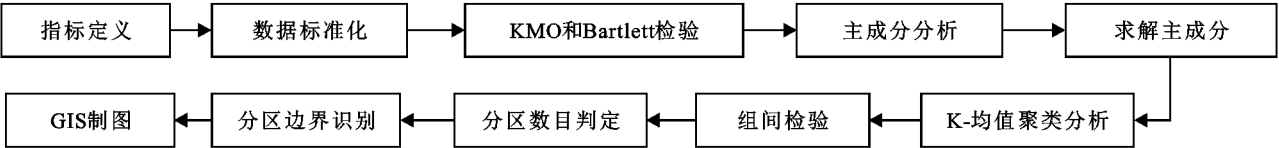


图 1 农业水土资源利用分区步骤

2 结果与分析

2.1 一级分区

2.1.1 指标标准化与相关性检验 为了排除量纲不一致对主成分分析结果的影响,并保持较高的指标信度,本研究对网格单元数据进行标准化时,采用如下公式:

z\_{ij} = \frac{x\_{ij} - \bar{x}\_j}{\sqrt{\text{var}(x\_j)}}

式中: x\_{ij} 是第 i 个网格单元的第 j 个指标的未标准化数据值; \bar{x}\_j 和 \sqrt{\text{var}(x\_j)} 分别是第 j 个指标的平均值和标准差。

由于各指标的相关关系尚未明确,本研究采用目前最为常用的 KMO 和 Bartlett 球度检验,来检验同级别指标间的相关关系。其中,KMO 统计量用于检验多个指标之间的信息重叠,该值越接近 1,表明指标相关性越强。Bartlett 球度检验用于检验相关阵中各指标间的相关性,判断各指标是否相互独立<sup>[21]</sup>;若 Bartlett 球度检验 p<0.05,则各指标相关性强,表明原有指标越适合用主成分分析进行降维,然后利用所获主成分进行分区。

指标相关性检验结果见表 3。其中,KMO 值均大于 0.6,Bartlett 球度检验 p<0.01,拒绝指标相互独立原假设,且标准化处理对于相关性检验结果没有影响。

表 3 分区指标相关性检验

| 检验            | 一级分区指标 |            | 二级分区指标    |
|---------------|--------|------------|-----------|
|               |        | 标准化数据      | 标准化数据     |
| KMO 统计量       |        | 0.802      | 0.616     |
| Bartlett 球度检验 | 卡方近似   | 183773.375 | 44673.039 |
|               | 自由度    | 15         | 15        |
|               | 显著性    | 0.000      | 0.000     |

2.1.2 主成分分析与聚类分析 将 36 903×6 的网格数据进行主成分分析,结果见表 4。

表 4 一级主成分方差贡献率

| 成分 | 初始特征值 | 方差贡献率 % | 累计方差贡献率 % |
|----|-------|---------|-----------|
| 1  | 3.813 | 63.542  | 63.542    |
| 2  | 1.268 | 21.136  | 84.678    |
| 3  | 0.391 | 6.518   | 91.196    |

前 3 个主成分的累计方差贡献率达到 91.196%,表明前 3 个主成分保留了绝大多数信息。求解主成分的过程是根据成分矩阵和特征值,计算各主成分表达式,公式如下:

F\_1 = a\_{11} \times z\_1 + a\_{12} \times z\_2 + \cdots + a\_{1m} \times z\_m

F\_2 = a\_{21} \times z\_1 + a\_{22} \times z\_2 + \cdots + a\_{2m} \times z\_m

⋮

F\_m = a\_{m1} \times z\_1 + a\_{m2} \times z\_2 + \cdots + a\_{mm} \times z\_m

且

a\_{ij} = \frac{b\_{ij}}{\sqrt{\lambda\_i}}

式中: b\_{ij} 是成分矩阵的元素; \lambda\_i 是初始特征值。将网格单元的标准化指标值与 6×3 的系数矩阵对应相乘得到 36 903×3 的主成分矩阵,进而进行聚类分析。

用 SPSS 26.0 进行 K-均值聚类分析。聚类数的步长增量为 1,从 2 类开始,随着所划分出的聚类区逐渐增多,则单个聚类区面积逐步减小;最终所有聚类区的面积将会小于一级区的面积尺度下限(1 万 km<sup>2</sup>)。此时,参考地貌类型和气候条件<sup>[22-23]</sup>,观察所得聚类区边界与风沙过渡区、黄土高原区、关中平原区、秦巴山地的地貌分布类型符合程度,并能体现网格单元所属县域的总体特征。同时,在分区边界的辨识时,以聚类边界最接近行政区边界为原则,并采用各县域原始数据组间检验的结果作为对照。结果表明,组间检验方差分析的 F 值为 13 869.079, p<0.01,表明一级分区各区之间的差异显著,分区数目合理。因此,最终确定聚类区数目为 5,即陕西省农业水土资源可被划分为 5 个一级分区。

2.1.3 一级分区及其主要特征 根据主成分分析与聚类分析所获的陕西省农业水土资源 5 个一级分区,从南至北依次为: I 南部湿润气候农业水资源利用良好区; II 中部半湿润气候农业水土资源利用充分区; III 中东及中西半湿润气候农业水土资源利用均衡区; IV 西南部半湿润气候农水利用充分农地利用紧张区; V 北部半干旱气候农业水土资源利用紧张区(图 2)。各分区的耕地指数、水资源指数差异明显,并与当地的气候条件(年平均降水量、年平均温度、干燥度、有效积温等)密切相关,自然环境条件较好的 I, II, III 区耕地指数高于 IV, V 区(表 5)。

2.2 二级分区

2.2.1 指标标准化与相关性检验 在一级分区基础上,分别构建二级分区网格数据矩阵,采用与一级分区相同的方法进行数据标准化并进行相关性检验。结果表明,KMO 值分别为 0.54, 0.51, 0.59, 0.52, 0.43,且 Bartlett 球度检验 p<0.01,表明每个一级区内的原有指标相关性强,适合用主成分分析进行降维,并采用新获的各主成分进行聚类分区。

2.2.2 二级亚区划分 二级亚区分区的 6 个指标标准化数据主成分分析结果见表 6。结果表明,前 4 个主成分累计方差贡献率均大于 85.88%。用 SPSS 26.0 软件,根据这 4 个主成分进行 K-均值聚类,并对聚类结果进行组间检验,表 7 的结果表明 I, II, III, IV, V 区被分别分为 4, 4, 3, 3, 3 个二级亚区时,每个

一级区内的二级亚区差异水平已达到极显著 ( $p < 0.01$ ), 分区数目合理。这 17 个二级亚区的具体名称及分布格局见图 3。在每个一级区内, 都出现二级亚区面积大小不均衡现象(以 II, III 区尤为明显), 且不同亚区在复种指数及粮食播种面积比例方面具有较明显差异(图 3, 表 8)。

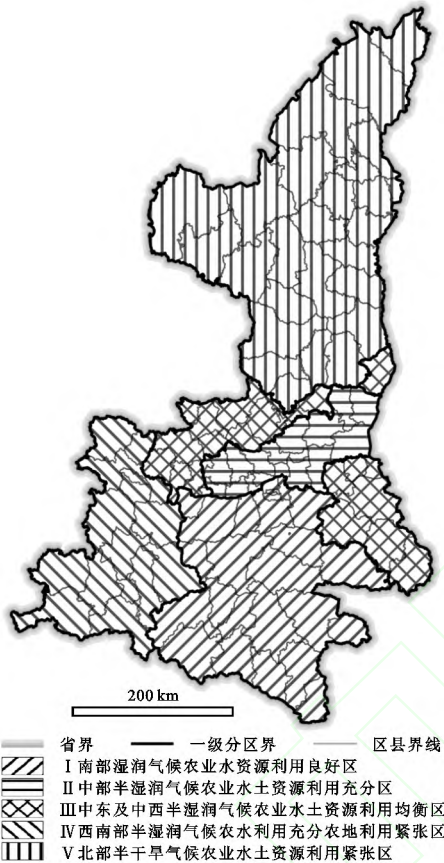


图 2 农业水土资源利用一级分区

表 5 陕西省一级分区主要特征

| 分区序号               | I       | II      | III     | IV      | V       |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 县域行政单元数量*/个        | 27      | 19      | 23      | 15      | 26      |
| 人口/万人              | 1237.97 | 1058.10 | 667.02  | 506.16  | 612.96  |
| 面积/km <sup>2</sup> | 50140   | 14606   | 27348   | 35104   | 81766   |
| 年平均降水量/mm          | 883.72  | 614.22  | 616.77  | 868.89  | 459.52  |
| 年平均温度/℃            | 13.60   | 11.81   | 11.63   | 13.02   | 9.57    |
| 干燥度 mm/mm          | 1.36    | 1.69    | 1.57    | 1.31    | 2.52    |
| 有效积温/℃             | 4067.85 | 4135.50 | 3687.58 | 3409.77 | 3383.04 |
| 耕地指数               | 0.20    | 0.53    | 0.27    | 0.12    | 0.11    |
| 水资源指数              | 1.32    | 0.49    | 0.69    | 1.69    | 0.46    |

注: \* 县域分区单元共 109 个, 其中永寿县北部在 III 区, 南部在 II 区。

表 6 各二级分区的指标主成分方差贡献率

| 成分 | 累计方差贡献率/% |         |          |         |        |
|----|-----------|---------|----------|---------|--------|
|    | 一级分区 I    | 一级分区 II | 一级分区 III | 一级分区 IV | 一级分区 V |
| 1  | 41.962    | 35.248  | 42.190   | 41.962  | 32.228 |
| 2  | 64.390    | 57.098  | 70.650   | 63.958  | 56.041 |
| 3  | 82.708    | 73.206  | 83.522   | 81.176  | 78.698 |
| 4  | 92.003    | 85.880  | 92.542   | 91.719  | 89.104 |

表 7 二级分区组间检验

| 一级分区 | 二级聚类数 | 威尔克逊 λ 统计量 | F 值       | 显著性   |
|------|-------|------------|-----------|-------|
| I    | 4     | 0.046      | 5601.481  | 0.000 |
| II   | 4     | 0.054      | 702.720   | 0.000 |
| III  | 3     | 0.082      | 2094.268  | 0.000 |
| IV   | 3     | 0.045      | 3481.974  | 0.000 |
| V    | 3     | 0.021      | 14026.547 | 0.000 |

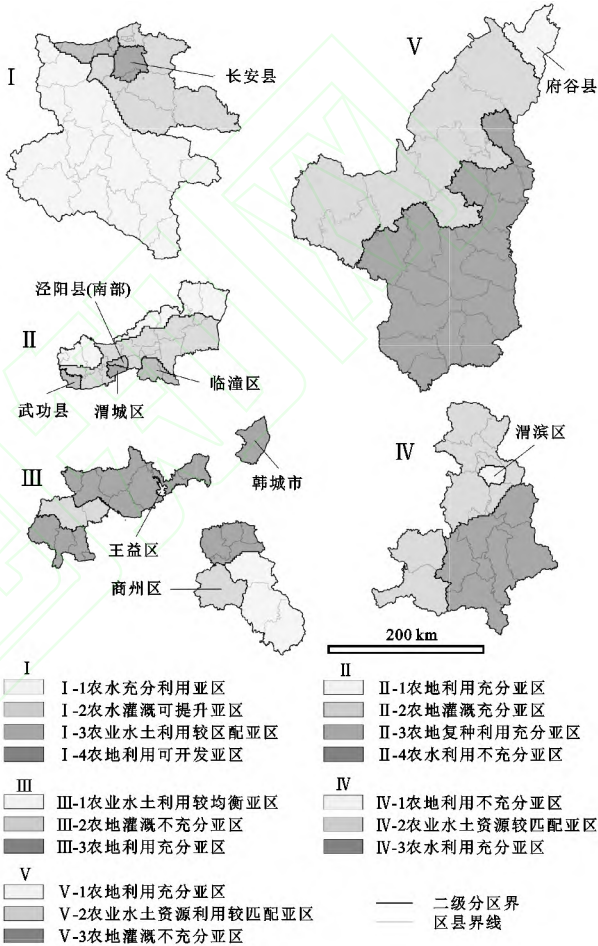


图 3 农业水土资源利用二级分区

3 讨论与结论

本研究结合陕西省不同地区的自然因素和人为因素, 兼顾农业水资源和土地资源, 在大、中尺度上对陕西省农业水土资源进行了调查和区域分区研究。相关结果表明, 采用地理网格、主成分分析和聚类分析相结合的方法进行农业水土资源分区具有良好适用性, 可为同类研究提供较好的方法参考。虽然本研究中的一级分区和二级亚区划分结果与行政边界未能严格吻合, 但结合大尺度地貌格局和行政规划边界, 根据区域共轭原则对主要类型区进行网格单元合并, 可以使各(亚)区的边界划分在符合实际情况的同时, 也具有更好的可操作性。将本研究和郑景云等<sup>[23]</sup> 2010 年的中国气候区划新方案, 黄姣等<sup>[24]</sup> 的中国综合自然区划进行对比, 与已有综合自然地理区划的异同点是:

表 8 各亚区基本特征表

| 分区<br>序号 | 面积/<br>km <sup>2</sup> | 粮食播种<br>面积比例 | 复种<br>指数 | 种植业<br>产值比例 | 已耕地占可<br>耕地面积比例 | 耕地<br>灌溉率 | 农业<br>用水比重 |
|----------|------------------------|--------------|----------|-------------|-----------------|-----------|------------|
| I-1      | 34499.62               | 0.63         | 0.74     | 0.65        | 0.66            | 0.59      | 0.74       |
| I-2      | 12740.36               | 0.70         | 2.81     | 0.61        | 0.63            | 0.26      | 0.52       |
| I-3      | 1485.55                | 0.70         | 1.92     | 0.68        | 0.61            | 0.75      | 0.64       |
| I-4      | 1621.03                | 0.79         | 2.09     | 0.70        | 0.60            | 0.59      | 0.47       |
| II-1     | 5154.68                | 0.80         | 0.85     | 0.73        | 0.95            | 0.54      | 0.69       |
| II-2     | 7501.90                | 0.73         | 1.17     | 0.75        | 0.91            | 0.71      | 0.72       |
| II-3     | 1657.35                | 0.81         | 1.24     | 0.68        | 0.85            | 0.66      | 0.78       |
| II-4     | 268.34                 | 0.82         | 1.31     | 0.74        | 0.73            | 0.44      | 0.35       |
| III-1    | 6917.74                | 0.63         | 1.68     | 0.59        | 0.69            | 0.16      | 0.52       |
| III-2    | 5112.39                | 0.80         | 1.34     | 0.50        | 0.84            | 0.20      | 0.49       |
| III-3    | 15243.19               | 0.81         | 0.97     | 0.75        | 0.93            | 0.37      | 0.50       |
| IV-1     | 673.77                 | 0.81         | 1.23     | 0.68        | 0.85            | 0.12      | 0.20       |
| IV-2     | 16323.37               | 0.69         | 1.45     | 0.58        | 0.74            | 0.33      | 0.62       |
| IV-3     | 14964.41               | 0.68         | 1.45     | 0.63        | 0.85            | 0.68      | 0.78       |
| V-1      | 3194.91                | 0.85         | 0.79     | 0.59        | 0.65            | 0.05      | 0.40       |
| V-2      | 37726.87               | 0.92         | 1.03     | 0.60        | 0.78            | 0.27      | 0.52       |
| V-3      | 40588.37               | 0.86         | 1.27     | 0.81        | 0.72            | 0.39      | 0.39       |

(1) 分区目的和指标选取。综合自然地理区划面向植被的生长环境,把气候作为主要因子,选取的指标均影响或反映植物的生存状况。综合自然地理区划采用温度带、干湿区、自然区三级分区系统。系统中温度带划分选取气温和积温作为指标,反映植物生长环境的差异;干湿区划分选取指标为干燥度、年降水量,反映水分收支的平衡程度、区分水分来源;自然区划分选取净初级生产力、海拔高度作为指标,反映植物生长状况差异、地形差异。本研究面向水资源和土地资源的优劣、两者的匹配程度、人类对资源的利用是否充分展开区域划分。分区系统分为两级,一级分区考虑气候、耕地和水资源,反映农业水土资源系统的地域空间分异特征;二级分区考虑农业生产因子,反映农业土地资源利用、水资源利用现状以及农业生产成效,偏向反映资源利用情况,可以根据结论结合其他区划因子继续研究,对陕西省农业生产提供改进优化的指导建议。

(2) 综合自然地理区划的边界形态和行政区界限完全不重合,主要划分成不同的温度干湿气候区,在陕西所在区域大致划分为秦巴山地区、汾渭平原区、黄土高原南部区(暖温带半湿润)、黄土高原东部区、黄土高原西部区(中温带半干旱)等区域,按照从南到北的方向分布。本研究中划分的区域与农业生产相关,按照由南到北的方向分布,同时东西方向的差异也有所体现,例如,一级分区的 I 区、IV 区、V 区

呈东西方向分布,亚区划分和行政区部分重合,分区的差异反映了陕西省土地资源利用不够充分,需要再充分开发利用,部分地区水资源条件良好但利用不足,部分地区水资源不充足,利用紧张,很少有区域的水资源和土资源利用都良好的现状。在农业生产中需要注意充分利用土地资源并且加强对水资源的开发利用,并且提高利用效率,减少流失和浪费。由于少部分地区的数据信息缺失,本研究在将点状的县域数据转化为连续的面状栅格数据时,采用了没有障碍的插值方法,对缺失的点状数据进行了补充,这些插值方法的假设是指标数据在地理位置上的变化是平滑的。但是,由于陕南和关中之间的气候地域分异较大,实际指标数据的变化难以真正平滑,因此在这种情况下,使用含障碍的插值方法进行分析或许可以获得更加符合实际的研究结果。本研究在聚类分析时采用了 K-均值聚类方法,可以对该方法的初始化进行优化,降低其对初始簇中心值的敏感度,减小偶然因素对聚类结果的影响<sup>[25]</sup>。但该方法未考虑研究区域内网格间的地理位置关系,只是将所采用的指标值用于运算分析,这对聚类结果及区域划分结果可能会有所影响。类似研究将来可考虑在采用 K-均值聚类方法时,同时采用与地理空间位置相关的 SOFM 聚类算法,或在快速处理聚类数目待定的大量地理空间数据时使用网格增长聚类算法<sup>[26]</sup>,或可获得更合理的研究结果。

本研究基于农业水土资源的自然禀赋和人为利用情况建立嵌套分区指标体系,运用地理网格、主成分分析以及聚类分析方法,对陕西省109个县域的农业水土资源利用现状进行了调查和区划。结果表明,陕西省农业水土资源可被划分为5个一级区和17个亚区;一级分区总体差异明显;Ⅰ区水热充足,水资源利用情况最好,耕地利用情况中等;Ⅱ区水热条件良好,耕地利用情况很好;Ⅲ区水热条件一般,水资源利用情况良好,耕地利用情况中等;Ⅳ区气候湿润,水资源利用情况很好,但是耕地利用较不充分;Ⅴ区低温干燥,水资源较短缺,耕地利用不佳,耕地资源紧张。各区域难以达到水资源和土地资源利用都良好的状态。亚区图斑多集中在陕西中部地区,这主要与该区域的农业水土资源利用差异明显、利用强度较大相关。本研究的分区结果比较精准地揭示了陕西省农业水资源和土地资源实际利用情况,明晰了陕西省农业水资源和土地资源的匹配程度和开发利用潜力,为更加有效因地制宜地开发和利用水土资源奠定了良好基础。

#### 参考文献:

- [1] 刘北桦.再接再厉开拓创新推动农业资源区划工作再上新台阶[J].中国农业资源与区划,2016,37(7):4-7.
- [2] 高江波,黄姣,李双成,等.中国自然地理区划研究的新进展与发展趋势[J].地理科学进展,2010,29(11):1400-1407.
- [3] Host G E, Polzer P L, Mladenoff D J, et al. A quantitative approach to developing regional ecosystem classifications [J]. Ecological Applications, 1996,6(2):608-618.
- [4] Williams C L, Hargrove W W, Liebman M, et al. Agri-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2008,123(1/3):161-174.
- [5] 雷泳南.基于GIS的福建省水土保持功能重要性评价[J].水土保持通报,2020,40(5):262-267.
- [6] 牛叔文,张馨,董建梅,等.基于主体功能分区的空间分析[J].经济地理,2010,30(5):732-737.
- [7] 樊杰.我国主体功能区划的科学进展基础[J].地理学报,2007,62(4):339-350.
- [8] 熊昌盛,张永蕾,王雅娟,等.中国耕地多功能评价及分区管控[J].中国土地科学,2021,35(10):104-114.
- [9] Tan Kun, Zhao Xiaoping, Pu Junwei. Zoning regulation and development model for water and land resources in the Karst Mountainous Region of Southwest China[J]. Land Use Policy, 2021,109:105683.
- [10] 弥智娟,朱艳艳,姜宏雷,等.基于多元数据的云南省水土保持规划方法研究[J].水土保持研究,2017,24(2):64-67.
- [11] 邓永旺,王成,杨庆媛,等.县域土地利用综合分区研究:以重庆云阳县为例[J].水土保持研究,2013,20(6):240-245.
- [12] 胡清升.陕西统计年鉴2021[M].北京:中国统计出版社,2021:18-19.
- [13] 田宏伟.2020年陕西省水资源公报[R].陕西:陕西省水利厅,2019.1-19.
- [14] 杨飞,李爱宁,周翠萍,等.兼业程度、农业水资源短缺感知与农户节水技术采用行为:基于陕西省农户的调查数据[J].节水灌溉,2019(5):113-116.
- [15] 张青峰,张翔,田龙.区域农业水土资源利用分区指标体系建设方案:以西北旱区为例[J].中国农业资源与区划,2016,37(9):117-124.
- [16] Geng Qingling, Wu Pute, Zhao Xining, et al. A framework of indicator system for zoning of agricultural water and land resources utilization: A case study of Bayan Nur, Inner Mongolia[J]. Ecological Indicators, 2014,40:43-50.
- [17] 颜明,许炯心.天山北麓绿洲自然适宜性研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(6):1-5.
- [18] 薛薇.SPSS统计分析方法及其应用[M].2版.北京:电子工业出版社,2009:366-367.
- [19] 汤国安,杨昕,等.地理信息系统空间分析教程[M].2版.北京:科学出版社,2012:419-425.
- [20] 何晓群.多元统计分析[M].3版.北京:中国人民大学出版社,2012:52-65.
- [21] Richard A J, Dean W W. Applied Multivariate Statistical Analysis, Six Edition [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007:296-309.
- [22] 刘胤汉.关于陕西省自然地带的划分[J].地理学报,1980,35(3):210-218.
- [23] 郑景云,尹云鹤,李炳元.中国气候区划新方案[J].地理学报,2010,65(1):3-12.
- [24] 黄姣,高阳,赵志强,等.基于GIS与SOFM网络的中国综合自然区划[J].地理研究,2011,30(9):1648-1659.
- [25] Celebi M E, Hassan A K, Patricio A V. A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm[J]. Expert Systems with Applications, 2013,40(1):200-210.
- [26] Zhao Q P, Shi Y, Liu Q, et al. A grid-growing clustering algorithm for geo-spatial data[J]. Pattern Recognition Letters, 2015,53:77-84.