

# 黄河三角洲水土资源空间匹配格局探析

王薇<sup>1,2</sup>, 吕宁江<sup>1</sup>, 王昕<sup>1</sup>, 孙力<sup>1</sup>

(1. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省水资源与水环境重点实验室, 山东 济南 250013)

**摘要:** 水土资源二者在空间上的匹配程度直接影响着区域农业的可持续发展、资源的可持续利用。本文以黄河三角洲中心城市东营市及所辖区县为研究区域, 分析了该区域水土资源空间分布的差异、构建了水土资源匹配测算模型、测算了水土资源匹配系数、划分了水土资源空间匹配程度。结果表明: 该区域水土资源总体呈现出“土地资源丰富, 水资源缺乏”的态势; 东营市水土资源匹配系数为 0.19 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 低于山东省平均水平 0.30 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 更远远低于全国平均水平 1.72 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 东营市各区县水土资源匹配系数利津县最低 0.07 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 广饶县最高 0.42 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 相差达到 0.35 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。研究区水土资源空间匹配程度总体呈现出“南高、北次之、中间低”的格局; 地表水资源短缺、地下淡水资源非常有限, 是导致黄河三角洲水土资源空间匹配程度差的主要限制因子。

**关键词:** 水土资源; 空间匹配; 水资源匹配系数; 黄河三角洲

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)02-0066-05

## Study on spatial matching pattern of water and soil resources in Yellow River delta

WANG Wei<sup>1,2</sup>, LÜ Ningjiang<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>1</sup>, SUN Li<sup>1</sup>

(1. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China;

2. Key Laboratory of Water Resources and Water Environment of Shandong Province, Jinan 250013, China)

**Abstract:** The spatial matching pattern of water and soil resources directly effects the sustainable development of regional agriculture and the sustainable use of resources. Regarding Dongying city and its counties in district of Yellow River delta as research area, the paper analyzed the different spatial distributions of water and soil resources in the area, constructed the matching calculation model, calculated the matching coefficient and divided the spatial matching degree of water and soil resources. The results show that the whole water and soil resources in the area presents the situation which soil resources are rich and water resources are scarce. The matching coefficient of water and soil resources in Dongying city is 1900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> which is below the average ratio of 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> in Shandong province, and is far below the national average value of 17200 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>. Among the counties of Dongying City, the lowest coefficient in Lijin County is 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> and the highest in Guangrao is 4200 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>. The difference between the two counties is 3500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>. The matching degree of the research area on the whole presents that the south is high, the middle is low and the north is in the middle. The shortage of surface water resources and the finite underground resources are the major factors which lead to the lower spatial matching degree of water and soil resources in Yellow River Delta.

**Key words:** water and soil resources; space matching pattern; space matching pattern of water and soil resources; Yellow River delta

水土资源是一个区域社会经济发展的基础资源, 也是区域农业生产的先决条件。分析区域水土资源空间匹配格局及其匹配状况, 开展水土资源承

载力评价, 认识农业发展的基础条件, 揭示水土资源供需矛盾, 对于区域水土资源的开发利用规划以及农业可持续发展具有重要意义。因此, 基于不同区

收稿日期: 2013-11-20; 修回日期: 2013-12-06

基金项目: 水利部公益性行业科研专项项目(201201115); 水利部科技推广项目(TG1204)

作者简介: 王薇(1980-), 女, 山东济宁人, 博士, 工程师, 主要从事农业水土资源利用、农业节水方面的研究。

域的水土资源分布格局及承载力分析一直是国内学者关注的热点<sup>[1-8]</sup>。其中水土资源匹配系数的计算是定量研究区域水土资源的匹配特征的关键,目前我国学者主要采用基尼系数法和单位面积耕地所拥有的水资源量法<sup>[2-3]</sup>。

黄河三角洲是最具开发潜力的大河三角洲,土地资源优势突出、地理区位条件优越、自然资源较为丰富,是保持山东省耕地总量动态平衡、增加耕地面积的重要区域之一。东营市位于山东省东北部、黄河入海口的三角洲地带,内控黄河、外濒渤海,是环渤海经济圈与黄河经济带的交汇点,具有特别重要的区位优势。基于行政区域的完整性,本文把东营市作为黄河三角洲代表区域(占黄河三角洲面积的 93%),分析该区域水土资源构成及分布特征;构建区域水土资源匹配测算模型,测算研究区水土资源匹配系数;运用 ArcGIS 的数据空间可视化的功能,划分研究区各区县水土资源空间匹配程度,为区域水资源开发利用、土地开垦方案的合理制定提供参考。

## 1 水土资源构成及利用

黄河三角洲位于渤海湾南岸和莱州湾西岸,以宁海为顶点,北到套尔河口,南到支脉河口,是黄河三角洲高效生态经济区和山东半岛蓝色海洋经济区两大国家战略的交叉区域。主体在山东省东营市境内的呈扇状三角形的地区,地处 118°05' ~ 119°18'E 和 36°55' ~ 38°16'N 之间,总面积 13 230.8 km<sup>2</sup>。东营市于 1983 年建市,是共和国最年轻的城市,现辖东营、河口 2 个区,垦利、利津、广饶 3 个县。

### 1.1 水资源构成及利用

东营区、河口区、垦利县、利津县水资源以地表水为主,地表水资源量占水资源总量的比例分别为:93.04%、94.79%、89.40%、86.17%,广饶县地表水、地下水均丰富<sup>[9-11]</sup>。东营市人均水资源量 333 m<sup>3</sup>/人,与山东省多年人均水资源量接近(山东省多年人均水资源量 334 m<sup>3</sup>/人),不足全国平均水平的 1/6(全国多年人均水资源量 2 300 m<sup>3</sup>/人),不足世界平均水平的 1/25,远远低于国际公认维持一个地区经济社会发展所必须的人均 1 000 m<sup>3</sup> 的临界值,属严重缺水地区。东营市及各区县多年平均水资源量见表 1。

### 1.2 土地资源构成及利用

根据 2008 年东营市土地利用变更数据得出,东营市总面积为 792 772 hm<sup>2</sup>,农用地、建设用地、未利

用地分别为 376 313、115 135、301 274 hm<sup>2</sup>。其中农用地中耕地、林地、牧草地、其他农用地分别为 220 608、23 884、26 044、97 558 hm<sup>2</sup>。东营市及各区县土地资源概况见表 2。东营区、河口区、垦利县、利津县、广饶县、东营市农业用地、建设用地、未利用地占总用地三者比例分别为:43.54:32.92:23.54、38.31:9.25:52.44、40.37:10.41:49.22、58.08:11.97:29.95、70.42:16.62:12.96、47.47:14.52:38.01。由于东营市独特的区域特征,东营市及各区县存在大量未利用土地,其中垦利县、河口区未利用地比例大于农用地。

表 1 东营市及各区县多年平均水资源量统计表

区县	万 m <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> /人				
	地表水资源量	地下水资源量	重复计算量	水资源总量	人均水资源量
东营区	6681	560	60	7181	116
河口区	7277	450	50	7677	358
垦利县	5902	780	80	6602	300
利津县	5607	1000	100	6507	218
广饶县	17269	24708	8348	33629	677
东营市	42736	27498	8638	61596	333

2010 年东营市人均耕地 0.12 hm<sup>2</sup>/人,接近同期山东省人均耕地面积 0.12 hm<sup>2</sup>/人,高于全国 0.09 hm<sup>2</sup>/人的耕地水平,也远高于联合国粮农组织确定的 0.05 hm<sup>2</sup>/人警戒线。东营市各区县人均耕地存在较大空间差异,东营区、河口区、垦利县、利津县、广饶县人均耕地量分别为 0.04、0.18、0.19、0.18、0.12 hm<sup>2</sup>/人。

## 2 水土资源空间分布格局

单位面积水资源量可较为直观的反映区域水资源量的丰缺;垦殖率(区域内耕地面积占土地总面积的比例)可反映区域耕地资源的开垦程度。因此,以东营市各区县为基本地域单元,以单位面积水资源量、垦殖率为度量指标,将东营市各区县按照单位面积水资源量和垦殖率分为 4 个等级,并依据其大小划分 4 个类型区,分析其水土资源空间分布的差异。

### 2.1 水资源空间分布

东营市多年平均单位面积水资源量为 7.77 万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>,远低于全国平均单位面积水资源量 29.60 万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>(全国多年平均水资源量 28 412 亿 m<sup>3</sup>、土地面积 960 万 km<sup>2</sup>),不足全国平均水平的 1/3;同

表2 东营市及各区县土地资源统计表

hm<sup>2</sup>

土地类型	东营区	河口区	垦利县	利津县	广饶县	东营市
耕地	25852	38018	41655	53623	61460	220608
园地	1646	1282	1645	1329	2317	8219
林地	1080	6598	14227	1630	349	23884
牧草地	24	15471	8618	1918	13	26044
其它农用地	21743	20615	22883	16287	16030	97558
小计	50345	81984	89028	74787	80169	376313
居民点工矿	20736	10163	13228	11467	15288	70882
交通过地	2306	2210	1891	1037	1814	9258
水利设施	15021	7419	7831	2906	1818	34995
小计	38063	19792	22950	15410	18920	115135
未利用地	27212	112211	108539	38557	14755	301274
土地总面积	115620	213987	220517	128754	113844	792722

注:土地数据为2008年数据。

样,低于山东省平均单位面积水资源量 19.28 万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>(山东省多年平均水资源量 303 亿 m<sup>3</sup>、土地面积 15.71 万 km<sup>2</sup>),不足山东省平均水平的 2/5,可见,东营市单位面积水资源量十分缺乏。东营市平均单位面积水资源量空间分布极不均衡,呈现出“高、北次之、中间低”的特点,广饶县 > 东营市 > 东营区 > 利津县 > 河口区 > 垦利县,其中广饶县 29.54 万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>,接近全国平均水平;垦利县 2.99 万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>,仅为全国平均水平的 1/10。东营市各区县多年平均单位面积水资源量见图 1。



图1 东营市各区县多年平均单位面积水资源量分布图

## 2.2 土地资源空间分布

黄河三角洲土地主要是百余年来由黄河泥沙淤积而形成的新成土。这些土地虽然地形平坦,起伏不大,但由于泥沙沉积物不同,土壤土体构型复杂繁多,浅层地下水埋深较浅,矿化度高,土壤盐分重,有机质含量低,缺乏团粒结构,普遍存在旱、涝、碱、瘦

的问题,因此其垦殖率较低。2010 年底东营市垦殖率为 27.83%,低于山东省的垦殖率 47.80% (山东省耕地面积 75107.61 km<sup>2</sup>、土地面积 15.71 万 km<sup>2</sup>)。东营市各区县垦殖率在空间上的分布表现出不均一性和较强的差异性,总体呈现“南高、北低、中间次之”的特点,其中,各区县垦殖率河口区最低 17.77%,广饶县最高 53.99%。东营市各区县垦殖率见图 2。

## 3 水土资源匹配系数及测算

### 3.1 水土资源匹配系数

水土资源匹配系数的计算可以定量的描述水土资源的时空匹配程度。水土资源匹配系数 ( $R$ ) 是表征特定区域农业生产所拥有的水资源量与耕地资源在时空上适宜匹配的量比关系。将该系数引入区域水土资源匹配测度,旨在揭示一定区域尺度水资源和土地资源时空分配的均衡状况与满足程度。区域水资源与耕地资源分配的一致性与量比水平越高,其匹配程度就越高,农业生产的基础条件就越优越<sup>[2,12]</sup>。

### 3.2 水土资源匹配系数测算模型

本研究采用单位面积耕地所拥有的农业水资源量定量计算水土资源匹配系数,其中农业水资源量是根据东营市及各区县 2010 年用水结构中农业用水的比重来确定的<sup>[8-10]</sup>。

3.2.1 区县尺度水土资源测算模型 东营市各区县水土资源测算模型为<sup>[13]</sup>:

$$R_i^{wl} = W_i \alpha / L_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中:  $R_i^{wl}$  为东营市第  $i$  个区(县)水土资源匹配系数,万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;  $w_i$  为东营市第  $i$  个区(县)水资源

量,万 m<sup>3</sup>;  $\alpha_i$  为东营市第  $i$  个区(县)农业用水占总用水量比重;  $L_i$  为东营市第  $i$  个区(县)耕地面积, hm<sup>2</sup>;  $n$  为东营市行政区划内区(县)的数量,  $n = 5$ 。

3.2.2 区域尺度水土资源测算模型 东营市水土资源测算模型为:

$$R^p = \left( \sum_{i=1}^n W_i \times \alpha^p \right) / \sum_{i=1}^n L_i \quad (2)$$

式中:  $R^p$  为东营市水土资源匹配系数, 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;  $\alpha^p$  为东营市农业用水占总用水量比重。其他参数表示含义同公式(1)。

### 3.3 水土资源匹配系数的测算

根据东营市各区县多年平均水资源量和 2008 年耕地面积统计数据, 运用水土资源匹配系数测算模型, 得出东营市及各区县的水土资源匹配系数(表 3)。

根据全国、山东省多年平均水资源量、农业用水比例及耕地面积(全国: 28 412 亿 m<sup>3</sup>、0.74, 12 172 万 hm<sup>2</sup>; 山东: 303 亿 m<sup>3</sup>、0.74、7 510 761 hm<sup>2</sup>) 计算得出 2010 年全国水土资源匹配系数为 1.72 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 山东省水土资源匹配系数为 0.30 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

表 3 东营市及各区县 2010 年水土资源及其匹配系数  
万 m<sup>3</sup>, hm<sup>2</sup>, 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>

区县	水资源总量	总用水量	农业用水	农业用水比例	耕地面积	水土资源匹配系数
东营区	7181	13098	6033	0.46	25852	0.13
河口区	7677	10388	7497	0.72	38018	0.15
垦利县	6602	16595	12254	0.74	41655	0.12
利津县	6507	20077	11672	0.58	53623	0.07
广饶县	33629	32650	24962	0.76	61460	0.42
东营市	61596	92808	62418	0.67	220608	0.19

由表 3 可知, 东营市水土资源匹配系数为 0.19 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 低于山东省平均水平 0.30 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 更远远低于全国平均水平 1.72 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。东营市各区县水土资源匹配系数利津县最低 0.07 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 广饶县最高 0.42 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 相差达到 0.35 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

## 4 水土资源空间匹配格局

### 4.1 水土资源空间匹配程度分析

根据东营市及各区县水土资源匹配系数, 在 GIS 技术支持下, 运用 ArcGIS 的数据空间可视化的功能, 直观呈现东营市各区县水土资源空间匹配的空间分布。依据水土资源匹配系数( $R_i$ ) 的积聚与离散的分异特征, 参考山东省和全国水土资源匹配系数, 将东营市水土资源匹配系数的区内相对匹配程度划分为 4 个等级: I - 匹配程度较优(0.15 <  $R$  ≤ 0.42)、II - 匹配程度良好(0.13 <  $R$  ≤ 0.15)、III - 匹配程度较差(0.07 <  $R$  ≤ 0.13)、IV - 匹配程度极差(0 <  $R$  ≤ 0.07)。

由图 3 可知, 广饶县水土资源匹配程度较优, 东营区、河口区水土资源匹配程度良好, 垦利县水土资源匹配较差, 而利津县水土资源匹配极差。东营市水土资源空间匹配程度总体呈现出“南高、北次之、中间低”的格局, 匹配程度较差和极差地区数量占东营市区县总数的一半以上。

### 4.2 水土资源空间匹配差异原因

对比图 1、2、3 可知, 水资源较为丰富、垦殖率高的广饶县水土资源匹配较优; 水资源最差、垦殖率较差的垦利县水土资源匹配较差。

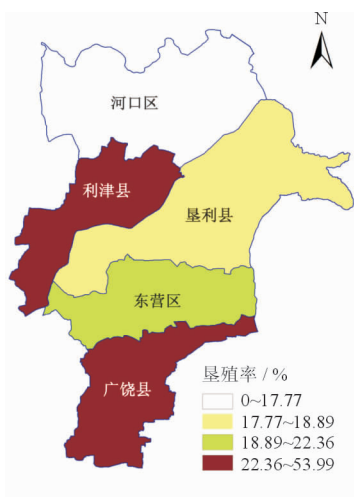


图 2 东营市各区县垦殖率分布

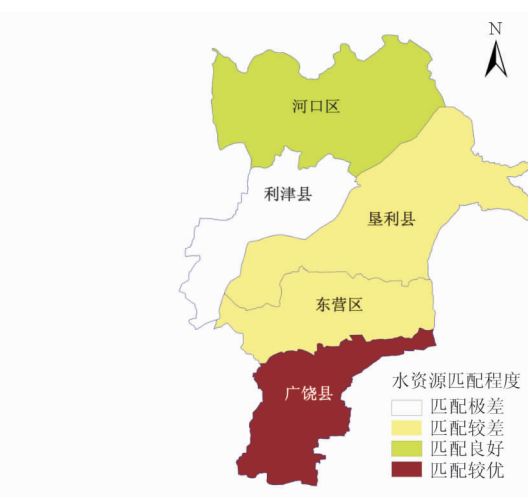


图 3 东营市各区县水土资源空间匹配格局

(1) 东营市水资源短缺是导致水土资源空间匹配程度差的主要限制因子。东营市处于全省年降水量低于 600 mm 的区域, 大部分区域年均径流深不足 50 mm。径流模数仅为全省平均水平的 42.6%。受自然条件限制, 东营市当地水资源十分匮乏, 当地地表水资源可利用量少, 且仅能用于农业灌溉和河道生态用水, 黄河是该地区最主要的可开发利用的客水资源, 全区 90% 以上的用水需要由黄河来供给。但据黄河利津水文站 1950 - 2009 年系列径流资料统计分析, 利津站黄河来水量总体呈不断减少趋势。据统计, 黄河利津水文站自 20 世纪 50 年代以来, 来水量年均值从 480.6 亿  $m^3$  减少到前 10 年的年均的 140.9 亿  $m^3$ , 降幅十分巨大。由此, 也严重影响了黄河三角洲地区可引水量, 进一步加剧了区域水资源供需矛盾。

(2) 东营市地下淡水资源也非常有限。可供开采的地下水资源主要集中在仅在小清河以南的广饶县、黄河滩地及黄河故道的部分地段有地下淡水分布, 面积约占东营市面积的 10%, 小清河以北的大部分区域, 由于矿化度太高, 地下水难以利用。但为了增加供水量, 在过去的一段时间内, 地下水遭受了高强度的开采甚至超采。目前, 小清河南部井灌区漏斗区面积已扩大到 355  $km^2$ , 负值区面积达 310.6  $km^2$ , 漏斗中心水位达 -12.0 m。大面积地下漏斗区的存在, 引发了一系列的生态环境问题。一方面, 大量浅井抽空吊泵而报废, 需不断更新机井和提水设备; 另一方面, 海水入侵日益恶化, 累计入侵面积 63  $km^2$ , 咸淡水界面平均向南推移约 200 m, 最远达 400 m。另外, 自 1984 年以来南部井灌区还出现地面裂缝 10 余条, 裂缝最长 1 000 m、宽 0.3 m。

## 5 结 语

(1) 根据对黄河三角洲水土资源构成及其利用分析得出: 从水土资源总量上来看, 该区域耕地面积约占山东省的 2.94%, 而其水资源量仅占山东省的 2.03%; 从水土资源平均水平来看, 该区域人均耕地面积 0.119  $hm^2$ , 接近山东人均耕地面积, 而人均水资源量为 333  $m^3$ , 不足全国平均水平的 1/6, 地均水资源量为 777  $m^3/hm^2$ , 不足全国平均水平的 1/3, 是山东省平均水平的 40.29%; 该区域水土资源总体呈现出“土地资源丰富, 水资源缺乏”的态势。

(2) 东营市水土资源匹配系数为 0.19 万  $m^3/hm^2$ , 低于山东省平均水平 0.30 万  $m^3/hm^2$ , 更远远低于全国平均水平 1.72 万  $m^3/hm^2$ , 东营市各区县水土资源匹配系数利津县最低 0.07 万  $m^3/km^2$ , 广饶县最高 0.42 万  $m^3/km^2$ , 相差达到 0.35 万  $m^3/km^2$ 。

(3) 东营市水土资源匹配程度总体呈现出“南高、北次之、中间低”的格局, 匹配程度较差和极差地区数量占东营市区县总数的一半以上。

(4) 水资源短缺、地下淡水资源非常有限, 是导致黄河三角洲水土资源空间匹配程度差的主要限制因子。

## 参考文献:

- [1] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 847 - 854.
- [2] 姜秋香, 付强, 王子龙, 等. 三江平原水土资源空间匹配格局[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 271 - 277.
- [3] 陶国芳, 蒋兆恒, 秦丽杰. 基于基尼系数的通化地区水土资源匹配分析[J]. 中国农业资源与区划, 2012, 33(4): 67 - 71.
- [4] 施开放, 刁承泰, 孙秀锋. 基于熵权可拓决策模型的重庆三峡库区水土资源承载力评价[J]. 环境科学学报, 2013, 33(2): 609 - 616.
- [5] 杨广, 何新林, 杜玉娇, 等. 叶尔羌河灌区水土资源特征及其承载力分析[J]. 人民黄河, 2013, 35(2): 78 - 80.
- [6] 杜怀玉. 基于 GIS 的张掖市水土资源空间匹配格局及承载力研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2008.
- [7] 付昆. 驻马店市基于水土资源承载力的区域可持续发展研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [8] 姜秋香. 三江平原水土资源承载力评价及其可持续利用动态仿真研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- [9] 东营市水资源公报(2002 - 2010 年) [R]. 东营市水利局.
- [10] 东营市统计局, 国家统计局东营调查队. 东营市统计年鉴(2011) [M]. 东营: 中国统计出版社, 2011.
- [11] 东营资源水利发展研究[M]. 东营水利局, 2000. 9.
- [12] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 847 - 854.
- [13] 侯薇, 刘小学, 魏晓妹. 陕西关中地区农业水土资源时空匹配格局研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 134 - 138.