

# 耕地质量多维评价与利用分区

——以黄骅市为例

关瑜<sup>1</sup>, 陈影<sup>1</sup>, 叶静<sup>2</sup>, 刘静<sup>2</sup>, 门明新<sup>1</sup>

(1.河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000; 2.河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000)

**摘要:**耕地利用分区对于未来区域空间的有序开发利用具有指导意义,对耕地质量进行多维度解析评价是拓展传统耕地质量评价理论的重要途径,是保证分区工作“落地”的关键。以“三位一体”统一质量观为理论依据,以河北省黄骅市为研究区,在构建集成“空间—功能—环境”的耕地质量三维解析评价框架的基础上,运用 Spearman 秩相关系数和  $G^*$  热点分析工具表征三维质量的空间相关性,最后基于以上成果进行耕地利用分区,提出差别化管理建议。结果表明:(1) 黄骅市各维度耕地质量分值存在空间分异。高值区主要分布于黄骅市西部和北部,低值区则主要分布于黄骅市西南部。(2) 黄骅市各维度耕地质量之间存在强烈的空间关联效应。自然环境与社会环境呈现强权衡关系,空间特征与规模、物质生产功能呈现强协同关系;不同维度质量的冷热点分布格局可能相似,同一维度质量的却可能存在空间冲突。(3) 将黄骅市划分为生产优势保护区、休闲农业发展区、规模效益提升区、休耕整治区和潜在功能挖掘区 5 个区域,各耕地利用区特点各异,应因地制宜进行耕地差别化利用与管护。研究结果对于增强耕地利用分区的可操作性具有实践意义,为优化耕地利用保护路径提供参考。

**关键词:**耕地质量; 空间-功能-环境; 多维评价; 耕地利用分区; 黄骅市

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)03-0334-10

## Multidimensional Evaluation and Utilization Division of Cultivated Land Quality

—A Case Study of Huanghua City

GUAN Yu<sup>1</sup>, CHEN Ying<sup>1</sup>, YE Jing<sup>2</sup>, LIU Jing<sup>2</sup>, MEN Mingxin<sup>1</sup>

(1.College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China;

2.College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** Cultivated land use zoning has a guiding significance for the orderly development and utilization of the future regional space. The multidimensional analytical evaluation of cultivated land quality is an important way to expand the traditional evaluation theory of cultivated land quality and is the key to ensure the implementation of the zoning work. Taking the unified quality concept of ‘Trinity’ as the theoretical basis and taking Huanghua, Hebei Province as the research area, we constructed a three-dimensional analytical evaluation framework of cultivated land quality integrated with ‘space-function-environment’, and characterized the spatial correlation of three-dimensional quality by Spearman rank correlation coefficient and  $G^*$  hot spot analysis tool. Finally, based on the above results, we carried out the cultivated land utilization zoning, and put forward the suggestions of differentiated management. The results showed that: (1) there were spatial differences in the cultivated land quality fractions in various dimensions in Huanghua; the high-value areas mainly distributed in the west and north of Huanghua, while the low-value areas mainly distributed in the southwest of Huanghua; (2) there was a strong spatial correlation effect between the cultivated land quality in various dimensions in Huanghua; there was a strong trade-off relationship between natural environment and social environment; spatial characteristics showed a strong cooperative relationship with scale and material production function; the distribution pattern of cold hot spots in different dimensions might be similar, but there might be spatial conflicts in the same dimension; (3) Huanghua was divided into five areas, namely

收稿日期:2021-03-19

修回日期:2021-04-28

资助项目:河北省重点研发计划项目“基于障碍特征分异的河北省滨海盐碱地生态改良关键技术研究”(20327506D)

第一作者:关瑜(1996—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事于土地资源利用与评价。E-mail:18331122579@163.com

通信作者:陈影(1981—),男,河北沧州人,硕士生导师,主要从事于土地利用与管理。E-mail:chenqy\_2005@163.com

production advantage protection area, leisure agriculture development area, economies of scale improvement area, fallow improvement area and potential function mining area. the characteristics of each cultivated land utilization area were different, so the cultivated land utilization and management should be carried out according to local conditions. These results of this study have practical significance for enhancing the operability of cultivated land utilization zoning, and can provide reference for optimizing the protection path of cultivated land utilization.

**Keywords:** cultivated land quality; space-function-environment; multidimensional evaluation; zoning of cultivated land use; Huanghua

耕地作为自然资源中的精华,在保证粮食安全和稳固社会安宁方面起到关键作用<sup>[1-2]</sup>,特别是对于滨海平原区而言,耕地的改良利用与保护管理极其重要。受沿海气候、人为改良修复等综合作用影响,滨海地区的耕地利用呈现内部相似性和区域差异性特点<sup>[3-4]</sup>。推进耕地“三位一体”保护,实施耕地的差别化和精细化管理对于促进耕地提质增效、支撑国家“藏粮于地、藏粮于技”战略以及指导区域空间有序开发利用具有现实意义<sup>[5-6]</sup>,而耕地利用分区是达成上述目标的重要路径之一,是耕地保护工作得以“落地”的重要保证。

从多维度多层次剖析耕地质量为进行耕地利用分区提供理论前提。随着对耕地多功能价值认知的深入,学者对耕地内涵的挖掘由耕地数量质量、格局变化、用途转移等显性内涵<sup>[7]</sup>逐步过渡到耕地产能<sup>[8-9]</sup>、潜力<sup>[10-11]</sup>、产能与健康综合评价<sup>[12-15]</sup>、功能表达等<sup>[16]</sup>隐性内涵;新技术方法的引入使耕地评价更具多元性和丰富性,比如:灰靶决策模型<sup>[17]</sup>、灰色关联度法和 AHP 法结合<sup>[18]</sup>、三维魔方模型<sup>[19]</sup>、BP 神经网络模型和 SVM 模型等<sup>[20]</sup>;由于数据局限性,相关研究多集中于中小尺度<sup>[15,21]</sup>。目前,耕地利用分区相关研究主要集中于空间分布特征<sup>[22]</sup>、聚集性规律<sup>[23]</sup>、提升潜力<sup>[24]</sup>、“质量—产出—效率”<sup>[25]</sup>、质量分维度等<sup>[26]</sup>角度,多侧重于从耕地利用效率、集约度、产能等要素入手进行分区,但往往忽略了耕地各维度质量内部之间的差异以及耕地利用分区单元之间的空间连通性和相关性,这些因素能够直接影响分区结果和管理效果的好坏<sup>[27]</sup>。2018 年学者郝晋珉提出“三位一体”统一质量观,认为质量概念包括空间质量、功能质量和环境质量。空间质量指规模、形状、分布以及空间关系等(区域、农田、地块);功能质量指生产功能、生态功能、景观功能、承载功能等(物质、能量、信息);环境质量指自然环境和社会环境(土地利用系统),这样则将数量、质量和生态统一起来,三位一体并不仅是这 3 个质量分量,而是将耕地功能性、空间性和价值性在质量维度上进行有机统一,为耕地

利用分区提供了新思路。如何剖析不同维度耕地质量,如何在精准定位、合理分类分区的同时兼顾分区单元的空间连通性和相关性,是亟待解决的问题。

本研究以郝晋珉学者的统一质量观为理论依据,以黄骅市为研究区,并借鉴前人的研究框架,拟构建集成“空间—功能—环境”的耕地质量三维解析评价框架,运用 Spearman 秩相关系数和  $G^*$  热点分析工具表征三维质量的空间相关性,并基于以上成果进行耕地利用分区,提出差别化管理建议,为优化耕地利用布局提供科学借鉴,为实现耕地“三位一体”的管理需求提供有效支撑。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

黄骅市位于河北省东南部,被京津冀和环渤海经济圈双重包围,属暖温带半湿润季风气候,因濒临渤海湾略具海洋性气候特征,地势平坦,土层深厚,土壤类型主要为潮土,植被覆盖率低。因其地势低、海潮咸水浸、地下水位高,拥有大量盐碱荒地,各地类聚集着不同浓度的可溶性盐类,使得土壤含盐量偏高,同时黄骅市耕地存在土壤理化性质差、土壤板结等现象,严重影响作物的生长发育,导致农业生产力下降。黄骅市常住人口 46.7 万人,全市辖 3 个街道、11 个乡镇,根据 2014 年耕地等别更新成果,黄骅市耕地总面积为 77 102.93 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的 31.07%。

### 1.2 数据来源与处理

耕层质地和土体构型数据来源于黄骅市 2014 年度耕地等别更新成果和实地调查。有机质含量和土壤容重来源于黄骅市农业局 2015 年耕地地力评价成果。行政区划、线状道路和耕地图斑来自黄骅市 2017 年土地利用变更调查数据。土壤蚯蚓数据来自 2017 年的实地调查取样。土壤含盐量来自黄骅市农业局测土配方数据。土壤重金属和土壤总有机碳含量来自黄骅市土壤质量地球化学调查评价样点数据成果。作物产量、人口数据和农村居民恩格尔系数均来自于统计年鉴、统计局网站和实地调研。在耕地压

力指数计算中设定人均粮食需求量和粮食自给率分别为 400 kg 和 95%。形状、密度、破碎度、分离度、耕地吸引力指数和人口承载比均通过相关模型和公式计算获得。本文考虑分区空间内部差异及连通性,将分区单元确定为 391 个行政村,在小尺度上进行从耕地图斑到行政村耕地质量的转换。

2 研究方法

2.1 耕地质量三维解析框架

耕地隐性内涵的体现在于系统内部要素的复杂组合及相互影响,对多维度耕地质量进行深入解析可充分挖掘耕地的潜在属性<sup>[28-31]</sup>。为了全面解析耕地资源的隐性内涵及要素相互作用关系,在借鉴前人提出的三维框架的基础上<sup>[23]</sup>,本研究根据黄骅市地域特点做出一定改进,提出集成“空间—功能—环境”视角的耕地质量三维解析框架(图 1)。

耕地要素组成与人类功能需求的综合叠加与相互作用凸显耕地质量在不同维度层面上的差异。耕

地空间质量反映区域耕地的空间规模、空间形态等状况,受自然和社会要素的直接影响,优化耕地的空间利用结构应从“田水路林村”的全域角度来考虑。系统理论认为要素结构对整体功能的发挥具有决定作用,因此耕地空间质量对功能质量具有直接决定性。耕地功能质量是以自然要素作用为基础的本底质量、以工程要素作用为保障的追加质量以及受自然社会要素管理的景观生态、人文生活质量等的作用集合,是耕地质量管理的核心内容,对增加经济收益、保障粮食安全及提高耕地产能起到关键作用,同时与耕地环境质量存在强烈的空间关联效应。耕地环境质量是以自然要素为载体,受社会要素变化趋势影响所呈现的结果,伴随着耕地利用历史的推进,其变化呈现动态性和适应性,今后的保护重点应是提高耕地资源本身的可持续利用水平及维持土地生态系统的健康安全。由于自然要素及社会生产力变革很难在短时间内呈现显著变化,因此耕地利用空间内部的环境质量存在相对稳定性。

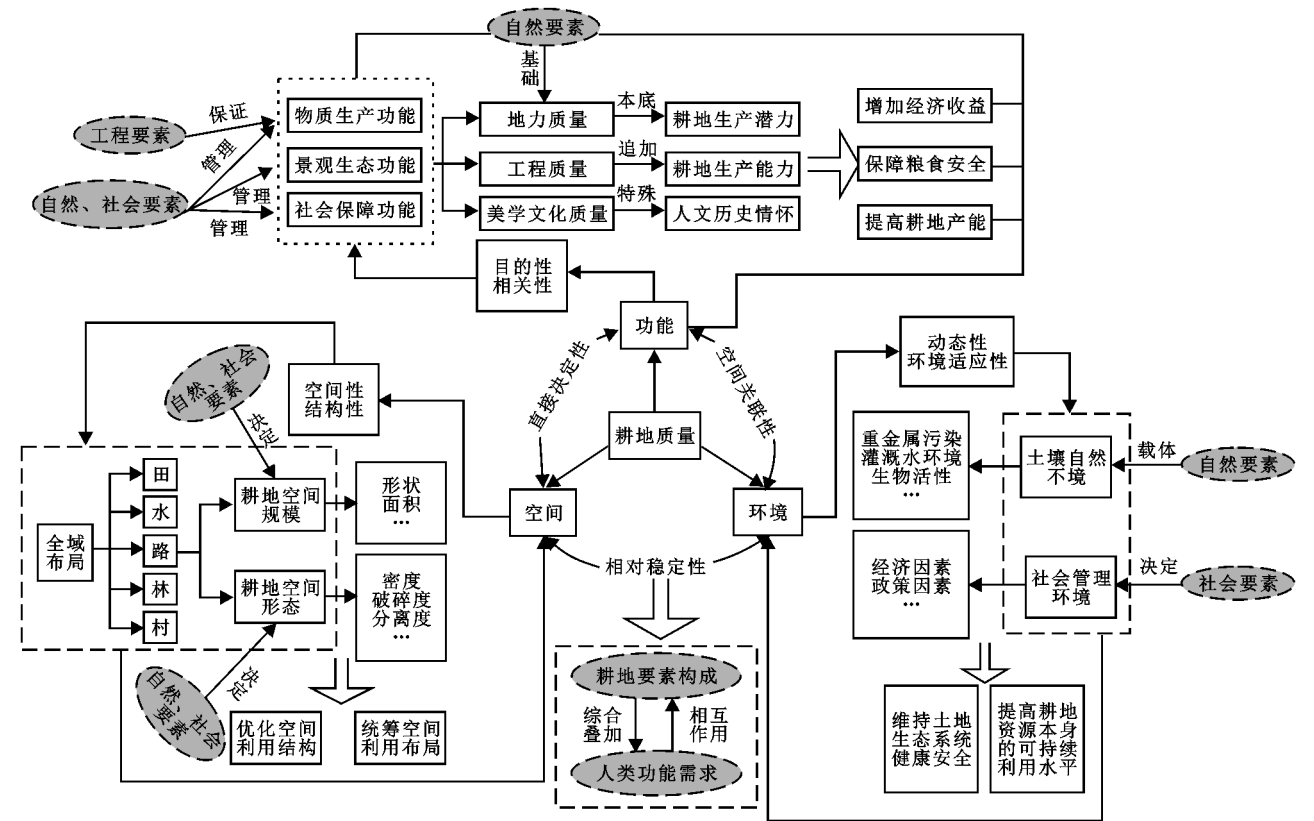


图 1 耕地质量三维解析框架

2.2 基于三维解析的耕地质量评价指标体系构建

本研究以耕地“三位一体”统一质量观为理论依据,在参考相关研究成果的基础上<sup>[17-19,23,25]</sup>,根据黄骅市的地形地貌、土壤气候、农业生产等特点,遵循科学性、可行性、地域性、主导性和综合性等原则,从“空间—功能—环境”3 个维度要素入手,构建耕地三维

质量评价指标体系,并采用层次分析法结合熵权法的方式确定各指标权重(表 1),并制定了各维度指标的赋值规则(表 2)。

耕地空间质量考虑耕地的数量规模、地块形状、空间区位、空间结构、空间关系等多个方面,采用典型景观指数综合表达耕地系统在空间尺度上的质量水平。耕

地功能质量从物质生产、景观生态和社会保障 3 个方面展开评价,其中物质生产功能从耕地本底要素入手来评估耕地生产潜力;景观生态功能考虑了耕地景观吸引力和农田生态健康水平两方面,从景观美学和生态安全角度综合评估耕地能够满足人类福祉的程度;社会保障功

能则考虑了农业增产性投入及人口承载对耕地造成的压力,从而衡量耕地保证粮食自给与消费水平的能力。耕地环境质量将土壤自然环境要素和社会管理环境要素进行整合,综合评估耕地系统的环境适应性以及耕地资源变化激化社会矛盾的程度。

表 1 基于三维解析的耕地质量评价指标体系

维度(权重)	要素(权重)	指标(权重)	计算方法	指标属性
空间质量 (0.1247)	空间特征质量 (0.5710)	规模质量		
		面积(0.6398)	利用 ArcGIS 提取村级行政区的耕地斑块面积,合并统计	正向
		(0.4290)		
		形状(0.3602)	各研究单元边界周长的四分之一/耕地总面积的平方根	负向
		密度(0.1298)	各研究单元耕地地块个数/耕地总面积	负向
功能质量 (0.6390)	景观生态功能 质量(0.1687)	破碎度(0.5986)	研究单元内最小耕地面积在耕地总面积中的占比×(耕地地块个数减 1)	负向
		分离度(0.2716)	研究单元内耕地地块中心与所属村最近居民点的距离/耕地占土地总面积的比例	负向
		耕层质地(0.2189)		非数值型指标
		物质生产功能质量		
		(0.6433)		
环境质量(0.2364)	自然环境质量(0.6073)	有机质含量(0.2589)	利用 ArcGIS 将带有属性信息的耕地斑块以村级行政区为单元进行合并和面积统计,并以相应权重计算生产功能质量	正向
		土体构型(0.0730)		非数值型指标
		土壤容重(0.0595)		负向
		盐渍化程度(0.3898)		非数值型指标
		耕地吸引力指数 (0.4867)	$Q_{ij} = \frac{M_j}{d_{ij}} \div \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{d_{ij}}$	正向
社会环境质量(0.3927)	耕地非农业用途	耕地化学品质(0.5103)	化肥施用折纯量/耕地面积	负向
		人口承载比 SR(0.5634)	$LCC = \frac{G}{G_{PC}}; SR = \frac{LCC}{P_a}$	正向
		耕地压力指数(0.4366)	(粮食自给率×人均粮食需求量)/(粮食播面单产×粮作比×复种指数×人均耕地面积)	负向
		耕地非农化强度(0.5378)	耕地非农化面积/农业从业人员	负向
		农村居民家庭恩格尔系数(0.4622)	—	负向
土壤重金属(0.6310)	土壤重金属(0.6310)		$P_i = \frac{C_i}{S_i}; P = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i\right)^2 + (P_{i\max})^2}{2}}$	负向
			(内梅罗污染指数法)	
		土壤蚯蚓(0.1409)	利用 ArcGIS 对 100 个样点蚯蚓数据进行插值,并将属性赋到耕地图斑,合并统计	正向
		土壤微生物活性(0.2282)	利用 ArcGIS 对 219 个样点土壤有机碳数据插值,并将属性赋到耕地图斑,合并统计	正向

注: $d_{ij}$ 为地块中心与临近居民点的距离; $M_j$ 为各行政村耕地面积( $\text{hm}^2$ ); $Q_{ij}$ 的计算模型是在市场概率模型的基础上进行相应调整得到的; $G$ 为耕地生产水平,以折算后的标准粮产量来表征; $G_{PC}$ 为人均粮食消费标准,参考 FAO 的公布标准,并通过调查将其定为  $400\text{ kg/人}$ ;  $P_a$ 为研究单元内人口值; $LCC$ 为耕地人口承载力。耕地非农化强度是指非农业用途的耕地资源所引发农业从业人员矛盾的程度,强度值越大,代表耕地资源缺乏所激发社会矛盾的程度越大,社会环境质量越低。 $C_i$ 为重金属  $i$  的实测含量( $\text{mg/kg}$ ); $S_i$ 为重金属  $i$  的评价标准值( $\text{mg/kg}$ ); $P_i$ 为重金属  $i$  的单因子指数; $P_{i\max}$ 为所有重金属单因子指数的最高值; $n$ 为重金属元素的数量; $P$ 为土壤污染综合指数。内梅罗(Nemerow)污染指数法兼顾单因子污染指数的最高值和平均值,可凸显高浓度重金属对环境质量的影响<sup>[32]</sup>。土壤微生物活性反映土壤中整个微生物及特殊种群的状态,可采用微生物商(土壤微生物量碳与土壤总有机碳的比值)来衡量,但微生物量碳测定复杂,且属于易变性指标,根据相关研究可知土壤微生物商与土壤总有机碳有较高的相关性,因此本研究尝试利用土壤总有机碳表征微生物的活性。

2.3 基于耕地质量三维评价及相关性分析的耕地利用分区

2.3.1 各维度耕地质量的权衡与协同关系确定

理要素在空间上通常呈现非线性和非正态的分布状态,因此有必要采用非参数相关性分析方法,其中 Spearman 秩相关是分析权衡与协同关系的常用方法,相比传统相



关系数公式来说,这一方法引入“编秩”步骤,将变量大小及排列顺序考虑在内。若相关系数为正,则说明指标之间存在空间协同,即在同一空间内,两种指标呈同向变化;若相关系数为负,则说明指标之间存在空间权衡,

即在同一空间内,两种指标呈反向变化;若相关系数为 0,则说明指标之间呈现空间兼容。相关性强度则通过相关系数绝对值高低来区分,[0,0.1)为不相关,[0.1,0.2)弱相关,[0.2,0.4)中等相关,[0.4,1]强相关。

表 2 基于三维解析的耕地质量评价指标赋值规则

要素	指标	分值										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
规模	面积/hm <sup>2</sup>	≥200	160~200		120~160		80~120		40~80		<40	
	形状	1~2	2~4		4~6							
	密度/(个/hm <sup>2</sup> )	≤0.1	0.1~0.2		0.2~0.3		0.3~0.4		≥0.4			
空间特征	破碎度	≤0.05	0.05~0.1		0.1~0.15		0.15~0.2		0.2~0.25		>0.25	
	分离度	≤1	1~2		2~3		3~4		4~5		>5	
	耕层质地	壤土	黏土		砂土			砾质土				
	有机质含量/(g/kg)	≥40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6					
物质生产功能	土体构型	通体壤、壤/砂/壤	壤/黏/壤		砂/黏/砂、壤/黏/黏、壤/砂/砂	砂/黏/黏	黏/砂/黏、通体黏、通体砂、砂/黏/砂	通体砾				
景观生态功能	土壤容重/(g/cm <sup>3</sup> )	1~1.25	<1.1.25~1.35		1.35~1.45		1.45~1.55		>1.55			
	盐渍化程度	无盐渍化	轻度盐渍化		中度盐渍化			重度盐渍化				
	耕地吸引力指数	>0.01	0.005~0.01		0.003~0.005		0.001~0.003		<0.001			
	耕地化学负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	≤100					100~225				>225	
社会保障功能	人口承载比	>6		4~6		2~4		1~2		<1		
	耕地压力指数	≤0.9		0.9~1.1			1.1~1.5		1.5~2		>2	
社会环境	耕地非农化强度(m <sup>2</sup> /人)	≤2	2~4			4~6			6~8		>8	
	农村居民家庭恩格尔系数/%	≤20		20~30		30~40		40~50		>50		
自然环境	土壤重金属	综合污染指数 $p \leq 0.7$			$0.7 < p \leq 1.0$		$1.0 < p \leq 2.0$		$2.0 < p \leq 3.0$		$p > 3.0$	
	土壤蚯蚓	>县域样点均值			县域样点均值				<县域样点均值			
	土壤微生物活性	>县域样点均值			县域样点均值				<县域样点均值			

令{(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>)}表示 n 对独立同分布的数据对,对 x<sub>i</sub>进行升序排序后得到新数据对{(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>)},其中 X<sub>1</sub>< X<sub>2</sub><...< X<sub>n</sub>为关于 x 的序统计量,Y<sub>i</sub>即为 X<sub>i</sub>的伴随,x<sub>j</sub>在序列中的位置 k 即为秩次 P<sub>j</sub>,类似地 y<sub>j</sub>的秩次即为 Q<sub>j</sub>。令  $\overline{X}$ 、 $\overline{Y}$  分别代表 X<sub>i</sub>,Y<sub>i</sub>的算数平均值,则 r<sub>s</sub>(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>)的计算公式如下:

$$r_s(X_i,Y_i)=1-\frac{6\sum_{i=1}^n(P_i-Q_i)^2}{n(n^2-1)}$$

(1)

2.3.2 各维度耕地质量的空间冷热点分布 受空间范围内各种潜在因素的影响,随机分布的事件在空间上也有可能发生某种程度的集聚,冷热点分析能够识别出具有统计显著性聚类的区域,即在了解各维度质量之间权衡与协同作用机理的基础上,表征其在内部空间及邻域范围内的聚集状态,为后期的耕地利用分区工作提供依据。本文基于 ArcGIS 空间分析模块的热点分析工具,利用 Getis-Ord G<sub>i</sub><sup>\*</sup> 局部统计量识别耕地各维度质量在空间层次上的冷热点。具体模型如下:

$$G_i^*=\frac{\sum_{j=1}^nW_{ij}X_j}{\sum_{j=1}^nX_j}$$

(2)

$$Z(G_i^*)=\frac{G_i^*-E(G_i^*)}{\sqrt{\text{var}(G_i^*)}}$$

(3)

式中:G<sub>i</sub><sup>\*</sup> 为空间单元 i 的集聚度;W<sub>ij</sub> 为空间权重; X<sub>j</sub> 为空间单元 j 的属性值;n 为空间单元总个数;Z(G<sub>i</sub><sup>\*</sup>) 为该集聚指数的显著程度; E(\* G<sub>i</sub>)和 var(G<sub>i</sub><sup>\*</sup>)分别为 G<sub>i</sub><sup>\*</sup> 的数学期望和方差。当 Z(G<sub>i</sub><sup>\*</sup>)为正且显著是热点区,反之 Z(G<sub>i</sub><sup>\*</sup>)为负且显著是冷点区, Z(G<sub>i</sub><sup>\*</sup>)为 0 则为不显著区。本文分别将 Z 值中的±1.65,±1.96 和±2.58 作为分界阈值,已通过置信度检验。

2.3.3 耕地利用分区方案确定 以耕地质量三维评价结果和各维度质量的空间相关性分布结果为依据进行耕地利用分区,充分考虑了研究单元各维度质量之间的空间关联性和集聚度,对于增强区域耕地差别化和统一化管理的可实施性具有重要实践意义,具体分区框架见图 2。

功能质量是三维质量中的核心和关键,是人类利用耕地的最终目标。因此将功能质量二级指标的冷热点重叠程度作为耕地利用初步分区的主要依据,当两个及以上的热点重合于同一研究单元,则以显著性高的功能质量为耕地利用的主导方向,分别划分为:生产优势保护区、休闲农业发展区和规模效益提升

区;两个及以上的冷点重合区域为休耕区;3 种功能都不显著的重合区域为潜在功能挖掘区,得到初步分区方案。再考虑空间和环境质量二级指标的冷热点分布及与其他指标的权衡与协同关系的强弱,将生产

优势保护区中的空间和环境质量的冷点区域划分为整治改良区,并与休耕区合并为休耕整治区,最后进行布局和环境的整体修正和区域合并,得到最终分区方案,这样能够保证分区结果的精细度和全面性。

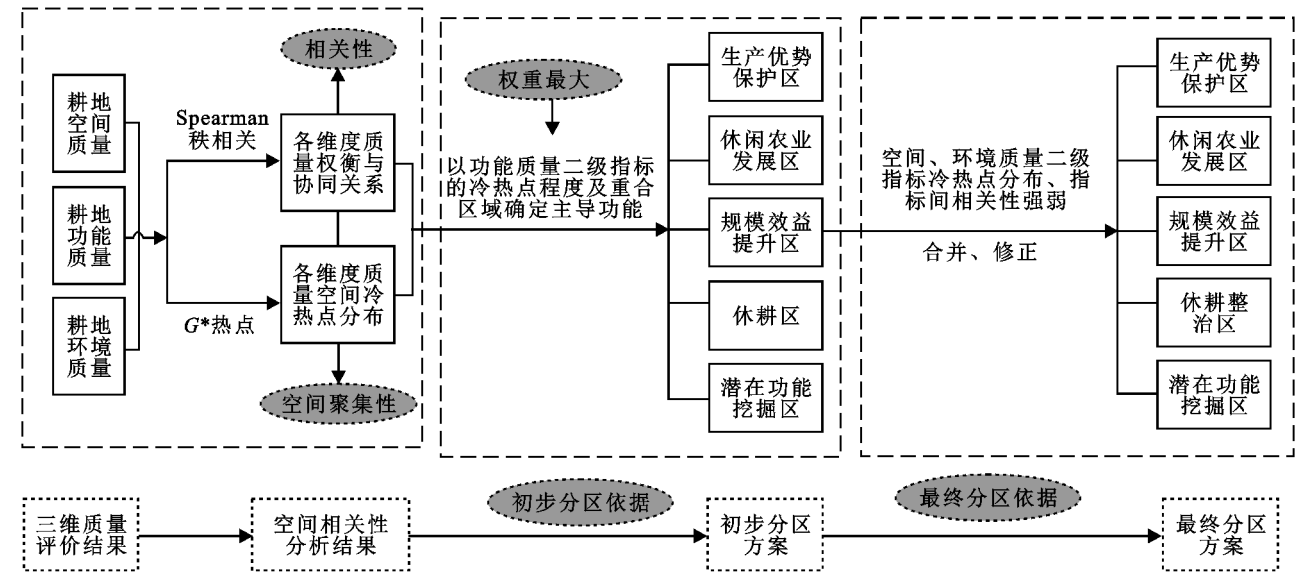


图 2 耕地利用分区框架

### 3 结果与分析

#### 3.1 黄骅市耕地质量三维评价结果

采用自然间断点分级法将各维度质量分值划分为 4 个区间,对黄骅市耕地质量三维评价结果进行统计分析(表 3—6,图 3)。

黄骅市各维度耕地质量分值存在空间分异。空间质量和功能质量较高的耕地分布在西部和东北部地区,此区域耕地以壤土为主,盐渍化程度相对较低,有机质含量较高,有较好的连片度和规整度;中部地区的空间和功能质量较低,而环境质量较高,此区域耕地土壤蚯蚓和微生物活性均高于全市均值,耕地非农化强度较低,但耕地资源匮乏,人地关系紧张;而西南和东南部地区的功能、环境质量较低,此区域土壤蚯蚓和微生物活性均低于全市均值,耕地非农化强度较大。综合质量较高的耕地分布于黄骅市北部,该区域的空间、功能和环境三大维度质量均处于良好状态,是全市耕地的精华,应高效利用。

从各维度质量分值区间分布来看,空间质量分值主要集中于(93.49~100],占耕地总面积的 82.39%,主要分布于南大港管理区、常郭镇、滕庄子乡和齐家务乡;功能质量分值主要集中于(65.39~70.35],占耕地总面积的 41.61%,主要分布于旧城镇、羊二庄回族镇和常郭镇;环境质量分值主要集中于(61.49~80.84],占耕地总面积的 60.14%,主要分布于国营中捷友谊农场、南大港管理区、吕桥镇和滕庄子乡;综合质量分值主要集中于(70.36~

83.04],占耕地总面积的 64.36%,主要分布于南大港管理区、吕桥镇和齐家务乡。

表 3 黄骅市空间质量各分值区间分布面积 hm<sup>2</sup>

乡镇名称	空间质量分值区间			
	93.49~100	83.23~93.49	71.14~83.23	<71.14
国营中捷友谊农场	5062.62	800.95	247.31	242.96
南大港管理区	9410.70	214.50	146.83	0.00
黄骅镇	2304.33	843.46	249.93	284.38
吕桥镇	5752.56	1197.33	632.77	0.00
旧城镇	4733.51	2085.86	470.63	39.79
羊二庄回族镇	4050.52	1219.73	935.31	138.86
常郭镇	8351.50	1005.10	501.65	60.29
滕庄子乡	8212.77	601.43	0.00	0.00
官庄乡	6131.22	252.44	133.65	0.00
齐家务乡	8329.59	699.98	301.66	0.00
羊三木回族乡	1182.74	125.07	78.48	70.52

表 4 黄骅市功能质量各分值区间分布面积 hm<sup>2</sup>

乡镇名称	功能质量分值区间			
	74.59~82.76	70.35~74.59	65.39~70.35	<65.39
国营中捷友谊农场	1939.42	1579.44	2184.45	650.53
南大港管理区	2958.41	3576.84	3003.93	232.85
黄骅镇	0.00	213.94	1381.11	2087.04
吕桥镇	1358.66	2473.83	2772.80	977.37
旧城镇	506.93	2148.86	4229.33	444.66
羊二庄回族镇	0.00	2142.03	3599.55	602.84
常郭镇	446.16	796.17	6336.56	2339.66
滕庄子乡	3378.62	1328.33	2790.30	1316.96
官庄乡	3592.68	1821.20	1103.43	0.00
齐家务乡	1460.78	3064.35	3617.53	1188.57
羊三木回族乡	0.00	391.61	1065.20	0.00

表 5 黄骅市环境质量各分值区间分布面积 hm<sup>2</sup>

乡镇名称	环境质量分值区间			
	66.49~80.84	61.49~66.49	53.58~61.49	<53.58
国营中捷友谊农场	2994.85	2625.60	0.00	733.40
南大港管理区	2767.56	3016.75	3399.07	588.65
黄骅镇	221.20	1294.16	768.83	1397.90
吕桥镇	2559.72	3213.73	1451.25	357.96
旧城镇	1374.41	2151.83	2280.58	1522.95
羊二庄回族镇	483.90	1693.90	2213.50	1953.12
常郭镇	0.00	2839.99	1762.72	5315.84
滕庄子乡	2965.56	4425.65	959.07	463.93
官庄乡	2992.50	2154.93	923.49	446.39
齐家务乡	2004.52	3596.04	2027.46	1703.21
羊三木回族乡	711.89	284.60	460.32	0.00

表 6 黄骅市综合质量各分值区间分布面积 hm<sup>2</sup>

乡镇名称	综合质量分值区间			
	75.82~83.04	70.36~75.82	66.39~70.36	<66.39
国营中捷友谊农场	1652.02	4198.47	365.88	137.47
南大港管理区	5095.78	2919.92	1756.32	0.00
黄骅镇	0.00	200.33	1704.07	1777.70
吕桥镇	3468.86	2228.48	1339.61	545.70
旧城镇	506.93	3052.12	3315.45	455.27
羊二庄回族镇	263.45	2734.63	2466.84	879.50
常郭镇	446.16	2402.04	5163.91	1906.43
滕庄子乡	3146.10	3985.25	1682.86	0.00
官庄乡	4505.56	1069.01	942.74	0.00
齐家务乡	2229.79	4563.32	1838.10	700.03
羊三木回族乡	299.53	654.97	502.31	0.00

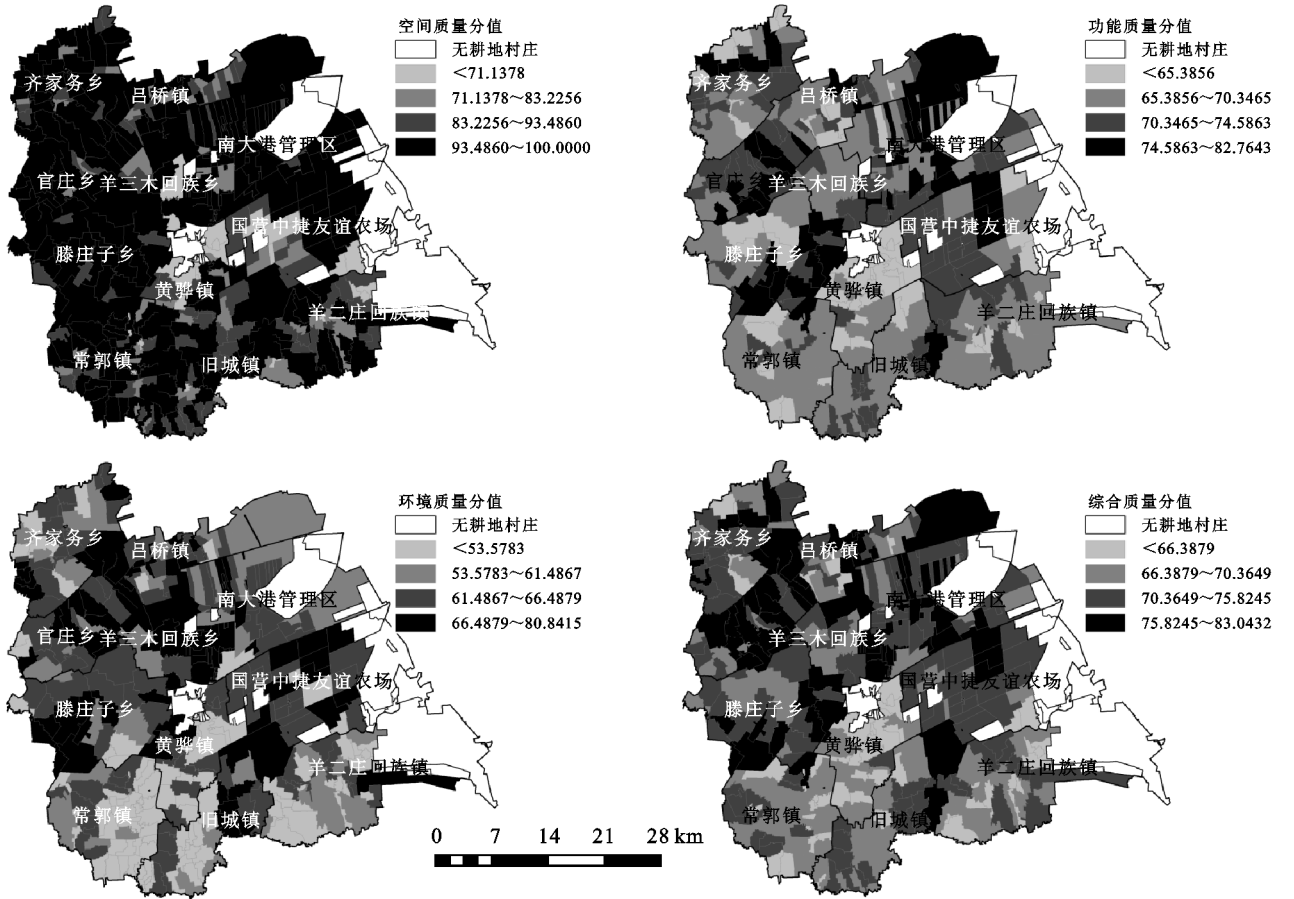


图 3 黄骅市耕地各维度质量分值

3.2 基于黄骅市耕地质量三维评价及相关性分析的耕地利用分区结果

3.2.1 各维度耕地质量的权衡与协同关系分析 以耕地三维质量评价结果为依据,运用 Spearman 秩相关系数方法得到黄骅市耕地质量各指标的权衡与协同关系(表 7)。从相关性性质来看,21 组关系中有 15 组显著正相关,1 组不显著,5 组显著负相关。具体而言,除自然环境与规模、空间特征、物质生产功能、社会保障功能和社会环境呈现权衡关系以外,其余指标相互之间均呈现协同关系;环境质量与空间质

量、功能质量之间权衡与协同关系并存,而空间质量与功能质量之间只存在协同关系。从相关性程度来看,21 组关系中有 3 组强相关,10 组中等相关,7 组弱相关和 1 组不相关。具体而言,空间特征与规模、物质生产功能,自然环境与社会环境为强相关,其相关系数分别为 0.452,0.624 和 -0.429;社会保障功能与其余 6 个指标均为中等相关,物质生产功能与规模、自然环境,空间特征与景观生态功能、自然环境均为中等相关;自然环境与景观生态功能不相关;其余指标之间为弱相关。

表 7 各维度耕地质量指标 Spearman 秩相关

			空间质量		功能质量			环境质量	
			规模	空间特征	物质生产功能	景观生态功能	社会保障功能	社会环境	自然环境
空间质量	规模	相关系数	1						
		Sig.(双侧)							
	空间特征	相关系数	0.452 **	1					
		Sig.(双侧)	0						
功能质量	物质生产功能	相关系数	0.228 **	0.624 **	1				
		Sig.(双侧)	0.01	0.005					
	景观生态功能	相关系数	0.165 **	0.265 **	0.162 **	1			
		Sig.(双侧)	0	0	0				
	社会保障功能	相关系数	0.229 **	0.291 **	0.211 **	0.371 **	1		
		Sig.(双侧)	0	0	0	0			
环境质量	社会环境	相关系数	0.116 *	0.117 **	0.186 *	0.153 **	0.272 **	1	
		Sig.(双侧)	0.016	0.005	0.016	0	0		
	自然环境	相关系数	-0.185 **	-0.262 **	-0.334 **	0.010	-0.312 **	-0.429 **	1
		Sig.(双侧)	0.006	0	0.007	0.144	0	0	

注：\* \* 在置信度(双侧)为 99%时,呈显著相关性；\* 在置信度(双侧)为 95%时,呈显著相关性。

3.2.2 各维度耕地质量的空间冷热点分析 以耕地质量二级指标的评价结果为依据,利用 G\* 热点分析工具,得到黄骅市耕地质量 7 个二级指标的冷热点空间分布图(图 4),为耕地利用分区提供依据。结果显示:部分维度质量的冷热点分布相似,例如空间特征和景观生态功能的空间分布格局相似,热点区主要分布于西北部 and 东北部,冷点区主要分布于中部和东南部,但两者的冷

热程度和分布范围却不完全一致;部分维度质量的冷热点分布存在很大差异,例如物质生产功能和社会环境呈正相关,但冷热点在空间上冲突较大,社会环境图中的西北部为不显著区域,但物质生产功能的为极热点区域。同一维度质量的冷热点分布格局差异较大,例如社会环境的不显著区域是自然环境的极热点区域,自然环境的冷点区域是社会环境的热点区域。

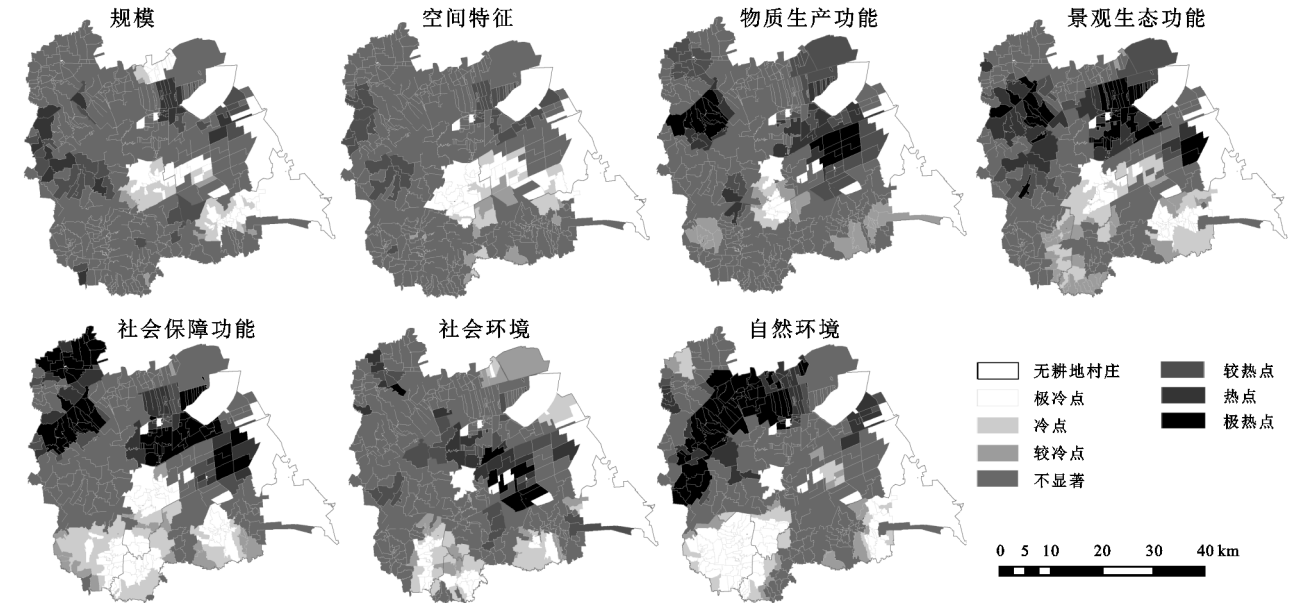


图 4 耕地质量各维度指标冷热点空间分布

3.2.3 耕地利用分区结果 以耕地质量三维评价结果和各维度质量的空间相关性分布结果为依据,通过初步、修正和合并分区等步骤,将黄骅市最终划分为生产优势保护区、休闲农业发展区、规模效益提升区、潜在功能挖掘区和休耕整治区 5 个区域(图 5),并将各类型区中各维度质量分值制成雷达图(图 6),便于

提出耕地的差别化利用与管理建议。  
耕地生产优势保护区面积为 11 740.27 hm<sup>2</sup>,占全区耕地总面积的 15.23%,综合质量较高,为 73.25,主要分布于国营中捷友谊农场、官庄乡和吕桥镇。该区域的物质生产功能质量是所有类型区中最高的,但景观生态功能和社会保障功能质量在所有区域中分值最低。因此,



该区具有土壤盐渍化程度较低,养分含量较高,基础配套设施较完善,综合质量较高等特点。应利用其耕地资源禀赋优势,因地制宜种植经济作物,培育绿色有机农产品,实现增产增收,同时维持现有耕地质量,加强耕地定期监管和基础设施的维护。

耕地休闲农业发展区面积为 14 025.38 hm<sup>2</sup>,占全区耕地总面积的 18.19%,综合质量较高,为 73.78,主要分布于南大港管理区和滕庄子乡。该区域的规模、空间特征、景观生态功能和社会环境质量是所有类型区中最高的,但物质生产功能质量在所有区域中分值最低。因此该区域耕地具有总体面积大、地块连片度和规整度较高,吸引力较高的特点,重点依托其区位和景观资源良好的先天优势,大力发展农村一、二、三产业融合,并以特色休闲农业和生态农业为先导产业,对其他类型区的耕地利用起到示范作用,同时应强化自然保护区的建设管理,确保自然生态系统安全稳定。

耕地规模效益提升区面积为 12 189.37 hm<sup>2</sup>,占全区耕地总面积的 15.81%,综合质量一般,为 70.94,主要分布于齐家务乡、官庄乡和国营中捷农场。该区域的空间特征和社会保障功能质量是所有类型区中较高的,但物质生产功能和自然环境质量在所有区域中分值均偏低。因此,该区的地块连片度和规整度虽然较高,但其本身的土壤污染较严重,土壤自然生态环境较差。应进行耕地污染修复,查找并阻断污染源,同时调整耕地生产要素投入方式,提升耕地利用的规模效益和竞争优势,发展精细化农业,充分发挥各方力量保障耕地的健康利用管护。

耕地休耕整治区面积为 21 204.37 hm<sup>2</sup>,占全区耕地总面积的 27.50%,综合质量最低,为 66.98,主要分布于常郭镇、黄骅镇和羊二庄回族镇。该区域除物质生产功能质量处于全市一般水平以外,其余指标在所有区域中分值均最低。因此,该区域具有耕地利用低效、布局不规范、综合质量低的特点,应严格控制地下水的开采,实行轮作休耕制度,并将土壤改良工程与综合整治工程相结合构建健康合理的田间路网系统,实现耕地利用价值的综合提升。

耕地潜在功能挖掘区面积为 17 943.54 hm<sup>2</sup>,占全区耕地总面积的 23.27%,综合质量较低,为 70.04,主要分布于吕桥镇和滕庄子乡。该区域空间特征和自然环境处于较高水平,其余指标均偏低,耕地功能特色不明显,可以结合黄骅市的发展需求,在保持其生态环境良好的基础上,充分挖掘该区域的内在优势,提升耕地开发利用程度。

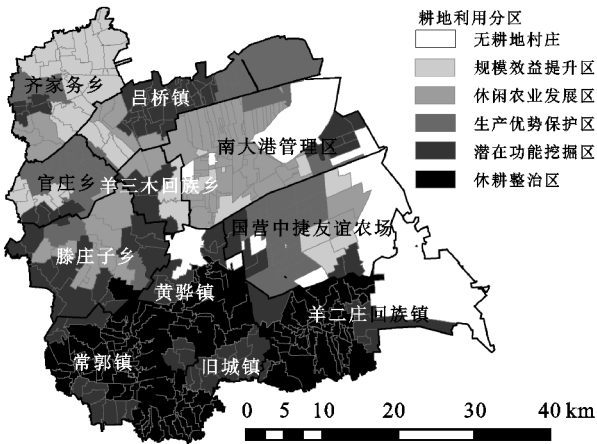


图 5 黄骅市耕地利用分区

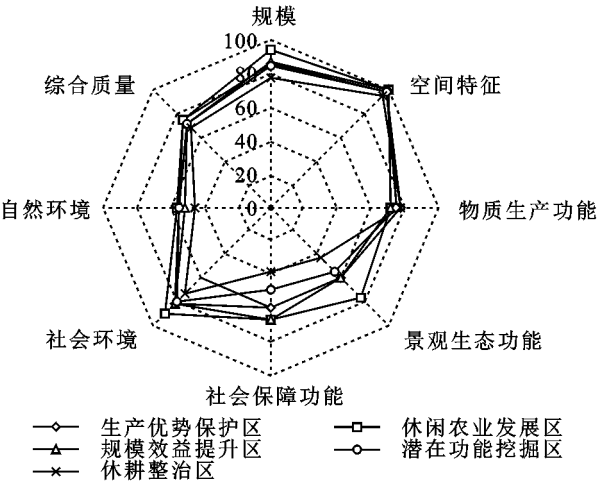


图 6 黄骅市各类型区中各维度质量分值

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究围绕耕地三维质量角度对黄骅市耕地质量进行解析与评价,并通过权衡与协同分析和冷热点分析进一步挖掘各维度质量之间的空间关联效应,以此为分区依据划分耕地利用区,但仍存在几点不足:(1) 受数据等因素影响,本研究只进行了耕地质量静态研究,缺乏耕地三维质量在不同时间阶段的波动和演替趋势分析,未能识别不同时期的障碍因素及驱动机制;(2) 耕地三维质量评价指标的选取将直接影响分区结果的合理性和科学性,受社会经济相关资料的限制,本研究未考虑政策实施、文化活动等对耕地质量的影响,后续研究应围绕重点区域的内部条件差异和外部环境响应等,深入开展耕地质量与人文活动、政策实施等的响应机制和协调耦合关系研究;(3) 本研究提出的分区优化措施侧重于各区域耕地利用的宏观导向性,未对区内每一个村庄及农户经营组织等制定精确详细的操作指南,今后应探讨更微观、具体的措施便于实施。

4.2 结论

(1) 黄骅市各维度耕地质量分值存在空间分异,

具有内部差异性。高值区主要分布于黄骅市西部和北部,低值区主要分布于黄骅市西南部,中部地区空间质量和功能质量均较差,但环境质量却较高。空间质量高的耕地适宜大型农业机械化作业;功能质量高的耕地应在保护其生产优势的同时,发展二三产业融合,反之应进行轮作休耕和综合整治;环境质量高的耕地应提升农产品的绿色化、优质化、特色化和品牌化水平,反之应实行就地保护或花卉培育等措施;综合质量高的耕地应划入永久基本农田。

(2) 黄骅市各维度耕地质量之间存在强烈的空间关联效应。自然环境除了与景观生态功能为不显著关系外,与其余指标均存在权衡关系,其中与社会环境呈现强权衡关系;其余指标相互之间均呈现协同关系,其中空间特征与规模、物质生产功能呈现强协同关系;环境与空间、功能质量之间权衡与协同关系并存,而空间与功能质量之间只存在协同关系。不同维度质量的冷热点分布格局可能相似,但冷热程度和分布范围却不完全一致;同一维度质量的冷热点分布格局也可能存在空间冲突。

(3) 黄骅市各耕地利用区特点各异,应因地制宜进行耕地差别化利用与管护。生产优势保护区的土壤本底质量较高,应维持现有耕地质量,以增产增收和绿色健康为目标进行管控;休闲农业发展区的地块规整度、连片性较好,更易吸引人群,应利用其景观资源优势发展旅游产业;规模效益提升区的耕地资源紧张,且人口密集,应优化耕地生产要素投入结构,以提高人口承载力;休耕整治区在各方面均处于劣势,需从多方面改善耕地利用方式;潜在功能挖掘区的功能特色不明显,可根据黄骅市具体发展需求充分挖掘该区域的内在优势。

#### 参考文献:

- [1] Liu Y, Fang F, Li Y. Key issues of land use in China and implications for policy making[J]. Land Use Policy, 2014,40:6-12.
- [2] 孙瑞,金晓斌,项晓敏,等.土地整治对耕地细碎化影响评价指标适用性分析[J].农业工程学报,2018,34(13):279-287.
- [3] 赵晓东,王静,郭柏枢,等.滨海地区建设用地扩张、利用效率及脱钩关系:以江苏省大丰区为例[J].水土保持研究,2020,27(5):340-348.
- [4] 韩明璋.面向综合产能提升的滨海盐碱地整治效果评价[D].山东泰安:山东农业大学,2020.
- [5] 张超,乔敏,郎文聚,等.耕地数量、质量、生态三位一体综合监管体系研究[J].农业机械学报,2017,48(1):1-6.
- [6] 钟海燕,赵小敏,黄宏胜.土地利用分区与主体功能区协调的实证研究:以环鄱阳湖区为例[J].经济地理,2011,31(9):1523-1527,1551.
- [7] 陈文广,孔祥斌,廖宇波,等.黄土高原区耕地质量评价:以陕西省延川县为例[J].水土保持研究,2021,28(2):375-381.
- [8] 卫新东,宋林韩,王筛妮,等.黄河西岸陕西各县市耕地质量时空变化特征及其分异规律[J].水土保持研究,2021,28(2):326-334.
- [9] Doran J W, Zeiss M R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality[J]. Applied Soil Ecology, 2000,15(1):3-11.
- [10] Fine A K, Van E H M, Schindelbeck R R. Statistics, scoring functions, and regional analysis of a comprehensive soil health database[J]. Soil Society of America Journal, 2017,81(3):589-601.
- [11] 宋戈,刘燕妮,张文琦,等.基于可改良限制因子的耕地质量等别提升潜力研究[J].农业工程学报,2019,35(14):261-269.
- [12] 高璐璐,张超,吕雅慧,等.耕地健康产能多要素评价体系构建与应用[J].农业机械学报,2020,51(5):215-222.
- [13] 张小丹,吴克宁,赵瑞,等.县域耕地健康产能评价[J].水土保持研究,2020,27(3):294-300.
- [14] 赵瑞,吴克宁,张小丹,等.粮食主产区耕地健康产能评价:以河南省温县为例[J].中国土地科学,2019,33(2):67-75.
- [15] 温良友,张青璞,孔祥斌,等.基于产能与健康综合评价的北京大兴区耕地整治分区[J].农业工程学报,2019,35(22):79-89.
- [16] 朱从谋,李武艳,杜莹莹,等.浙江省耕地多功能价值时空变化与权衡—协同关系[J].农业工程学报,2020,36(14):263-272.
- [17] 康甜甜.基于灰靶模型的宜兴市耕地质量评价[D].南京:南京农业大学,2016.
- [18] 曾荣,赵荣,梁勇. AHP-灰色关联度分析法的耕地质量评价:以湖北省襄阳市为例[J].测绘科学,2018,43(8):90-96.
- [19] 马瑞明,马仁会,韩冬梅,等.基于多层级指标的省域耕地质量评价体系构建[J].农业工程学报,2018,34(16):249-257.
- [20] 范胜龙,邱凌婧,茹凯丽,等.基于 BP 神经网络和支持向量机的农用地分等方法研究[J].中国农业大学学报,2018,23(12):138-148.
- [21] 单美.耕地健康评价及其应用研究[D].山东泰安:山东农业大学,2015.
- [22] 刘洋,余建新,向冬蕾,等.基于局部空间自相关的思茅区耕地利用保护综合分区[J].水土保持研究,2020,27(1):183-188,196.
- [23] 邵雅萍.基于“空间—功能—环境”的耕地质量评价及其关系研究[D].杭州:浙江财经大学,2019.

到迅速发展。按照不同的主导产业,结合生态功能、“三生”理念和实际,将研究区域划分为3个区域:城郊“三产”融合区、链式果园产业主导区、设施农业产业主导区。3个功能区整体上均为均衡发展类型。

各个分区内各行政村的协同程度不完全一致,且各行政村的农业生态经济系统耦合关系覆盖了多种类型。其中:城郊“三产”融合区各村耦合度跨度大,功能区包含了协调发展、耗损发展以及钳制发展3种耦合类型;链式果园产业主导区既包含低效协调发展类型的万庄村域又存在高效均衡发展的红庄村;设施农业的刘兴庄耦合为协调发展类型,且耦合度接近最佳。保证生态功能基础上发展经济的前提下发展同一主导产业,产生不同生态经济系统协调程度,究其原因主要是:退耕政策下,不同区域林草等生态资源储量不同,所提供生态发展资源几处不同,造成经济发展程度不同;相等生态系统背景下,资源利用率不同以及产业与资源一致性不同,造成经济系统与生态系统耦合程度不同。所以,如何进一步明确表征城郊型乡村生态经济系统耦合过程并制定发展模式,成为下一步要解决的问题。使用耦合度模型来研究空间位置上河庄坪镇各个生态功能区的农业系统耦合特征,验证了“空间代替时间序列”建立耦合度模型的可行性。以上分析同时表明:通过对“河庄坪镇生态经济系统耦合特征”分析与诊断,对于判定“城郊型乡村生态经济”互动关系以及未来发展方向具有重要的参考意义。

致谢:感谢李奇睿老师在选题、研究过程中的帮助!

#### 参考文献:

- [1] 李宗善,杨磊,王国梁,等.黄土高原水土流失治理现状、问题及对策[J].生态学报,2019,39(20):7398-7409.
- [2] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话习近平(2019年9月18日)[J].中国水利,2019(20):1-3.
- [3] 马力,李景宜,任冲.城镇化与生态环境耦合协调分析:以宝鸡市中东部为例[J].江西农业学报,2020,32(11):125-129.
- [4] 李玥.黄土丘陵区退耕与农业生态经济社会系统协同发展研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [5] 王继军,姜志德,连坡,等.70年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势[J].生态学报,2009,29(9):5130-5137.
- [6] 李玥,王继军,刘普灵,等.退耕还林工程与农业生态经济社会系统协同性研究:以安塞县为例[J].自然资源学报,2018,33(7):1179-1190.
- [7] 刘耀彬,李仁东,宋学锋.中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J].地理学报,2005,60(2):237-247.
- [8] 江红莉,何建敏.区域经济与生态环境系统动态耦合协调发展研究:基于江苏省的数据[J].软科学,2010,24(3):63-68.
- [9] 河庄坪镇.河庄坪镇基本情况简介[EB/OL]. <http://www.baotaqu.gov.cn/info/2123/66939.htm>, 2021-09-30.
- [10] 徐增辉,金继明,蔡耀辉,等.气候变化对黄土高原浅层滑坡影响的模拟研究:以延安宝塔区为例[J].水土保持研究,2021,28(1):387-393.
- [11] 韩晓佳,王继军,赵晓翠,等.城市近郊型乡镇农业生态经济系统生态潜力及产业空间布局:以延安市河庄坪镇为例[J].生态学报,2021,41(12):4720-4731.
- [12] 李奇睿,王继军.退耕背景下安塞县商品型生态农业系统耦合关系[J].农业工程学报,2011,27(9):293-298.
- [13] 乔标,方创琳.城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J].生态学报,2005,25(11):3003-3009.
- [14] 孔祥斌,刘灵伟,秦静.基于农户土地利用行为的北京大兴区耕地质量评价[J].地理学报,2008,63(8):856-868.
- [15] 张蚌蚌,孔祥斌,郎文聚,等.我国耕地质量与监控研究综述[J].中国农业大学学报,2015,20(2):216-222.
- [16] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等.耕地质量的概念和评价与管理对策[J].土壤学报,2012,49(6):1210-1217.
- [17] 王凤春.土壤重金属和养分的空间变异分析及其评价研究:以北京大兴区为例[D].北京:首都师范大学,2009.
- [18] 邵雅静,员学锋.基于限制因子分析的耕地质量提升潜力分区[J].生态学报,2019,38(8):2442-2449.
- [19] 张红梅,宋戈,王思琢.基于“质量—产出—效率”的辽宁省耕地利用分区[J].农业工程学报,2019,35(13):234-242.
- [20] 辛芸娜,范树印,孔祥斌,等.四重质量维度下的县域耕地质量评价方法研究[J].资源科学,2018,40(4):737-747.
- [21] 高建岗,黄锐.基于耕地质量指数和空间自相关的苏南地区耕地保护分区[J].水土保持研究,2019,26(3):213-218.
- [22] Bouma J. A procedure to derive land quality indicators for sustainable agricultural production[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998,85(1):103-110.

(上接第343页)