

京津冀地区耕地质量空间分布分形机制研究

杨永侠^{1,2} 孙 婷¹ 张丽红¹ 李 岳¹ 孟 丹¹

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100035)

摘要: 为了进一步推进京津冀耕地规划统筹和协调配置, 实施耕地质量空间管制与全面提升机制, 保障京津冀协同发展的耕地资源需求, 采用 GIS 技术、分形理论、灰色关联度分析相结合的方法, 系统研究京津冀耕地质量空间分布分形特征及其机制。主要结论为: 京津冀耕地质量在空间上呈现规律分布的态势, 具有南北差异明显、南高北低、区域边缘低、中间高的特征; 分形理论可以用于京津冀耕地质量空间分布的结构特征研究, 分形特征反映了京津冀耕地质量类型的空间形态复杂性和空间占据度。京津冀高等地空间结构最简单, 形态最稳定, 空间占据度在自然质量水平上最高, 在经济质量水平上最低; 中等地的空间结构和稳定性居中, 但空间占据度最大; 低等地空间结构复杂度、空间形态稳定性和空间占据度与高等地完全相反。影响京津冀耕地质量分形特征的主要因素是光温/气候等自然条件, 农业生产条件和社会经济条件在此基础上进一步扰动了其分形特征。

关键词: 耕地质量; 空间分布; 分形; 京津冀

中图分类号: F301.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)02-0165-07

Fractal Mechanism of Spatial Distribution of Arable Land Quality in Beijing – Tianjin – Hebei Region

YANG Yongxia^{1,2} SUN Ting¹ ZHANG Lihong¹ LI Yue¹ MENG Dan¹

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

2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: In order to further promote the overall planning and coordination configuration of arable land in Beijing – Tianjin – Hebei region, the space control and comprehensive upgrading mechanism is implemented about arable land quality, and the demand of coordinated development of arable land resource needs to be ensured. Fractal characteristics of spatial distribution of arable land quality in Beijing – Tianjin – Hebei region and its mechanism were studied by the combining means of GIS, fractal theory and grey relational grade analysis. Main conclusions can be drawn as: in Beijing – Tianjin – Hebei region, the quality of arable land showed a trend with certain regularity in space with the characteristics of obvious differences between the north and the south, which was high in south and low in north, low in regional edge, and high in middle region. There was less arable land but good quality in Beijing and Tianjin and a large number of arable land in Hebei; but the quality was generally not high. The fractal theory can be used to study the structural characteristics of the spatial distribution of arable land quality, fractal features represented the spatial form complexity and spatial occupation of arable land quality in Beijing – Tianjin – Hebei region. The spatial structure of Beijing – Tianjin – Hebei region was the simplest with the most stable form and the highest quality, and its space occupying was the highest at the natural quality level. While at the economic quality level it was remained the lowest; the spatial structure and stability of medium land were in the middle, but the space occupying was the largest; spatial structure complexity, the stability of space form and the space occupying of low quality arable land were opposite to the higher quality arable land. The main factors that affected the fractal characteristics of arable land quality were the natural conditions, such as light, temperature and climate, based on this, agricultural production conditions and socio-economic conditions disturbed its fractal characteristics further.

Key words: arable land quality; spatial distribution; fractal; Beijing – Tianjin – Hebei

收稿日期: 2016 – 10 – 22 修回日期: 2016 – 12 – 09

基金项目: 国土资源部财政预算项目(2015 – 02 – 02 – 01)

作者简介: 杨永侠(1965—), 男, 副教授, 主要从事土地利用与土地信息系统研究, E-mail: yangyx@cau.edu.cn

引言

1967 年 MANDELBROT^[1]解释了海岸线不同程度的不规则性和复杂性,标志着分形理论的正式面世。该理论已被广泛应用在土壤^[2]、地貌^[3]、交通^[4]和土地利用^[5]等众多学科领域,为解释自然和社会状态下几何体的复杂性提供了思路,也成为科学描述土地利用类型空间形态的有力工具^[6]。目前基于分形理论的土地利用类型研究具有多尺度、多方法、多时段^[7]的特点。但研究对象多集中在土地利用结构方面,而且针对大尺度区域的研究方法较为单一,研究方法较为全面的则集中于小尺度区域,缺乏针对大尺度区域采用多种方法面向其他土地业务的研究,例如针对耕地质量空间分布方面的研究。

耕地质量直接影响着粮食产量,也间接影响着京津冀和全国的社会稳定及进步。而目前对京津冀土地资源方面的研究主要集中在土地利用^[8-9]、耕地变化^[10]、耕地非农化^[11]、耕地破碎化^[12]、耕地集约利用^[13]等问题上,对耕地质量的研究较少。

目前针对耕地质量空间分布特征的研究已取得了一定的成果^[14-18],但从研究方法上看,大多采用空间自相关和景观生态学的技术手段,缺少新理论和新方法的创新;从研究对象上看,主要针对耕地的自然质量,而耕地的利用质量和经济质量在土地业务中应用更为广泛,从而使研究结果缺少了一定的实用性;从研究结论上看,多数研究只是定性反映了耕地质量的影响因素,缺乏定量分析。

因此,本文拟以京津冀耕地分等成果为主要数据源,采用 GIS 技术、分形理论、灰色关联等方法,定量研究京津冀耕地质量等别在特有空间结构基础上的分形特征,反映区域耕地利用存在的问题,并揭示其矛盾存在的机理,以期为进一步整合京津冀耕地资源、全面提升耕地质量提供理论基础。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

京津冀一体化发展的构想由首都经济圈的概念发展而来,包括北京市、天津市以及河北省的保定、廊坊、唐山、石家庄、沧州、秦皇岛、承德、张家口、衡水、邢台和邯郸 11 个地级市(图 1)。其位于华北平原北部,从西部、北部的太行-燕山山系向东部、南部的渤海湾、华北平原过渡,整体地势也呈现西北高东南低态势。以平原为主,山地、滩涂、湿地、海河流域为辅的地形地貌横贯整个地区,介于东经 113°67′~119°77′、北纬 36°28′~41°93′。截止 2013 年底,京

津冀土地面积 21.78 万 km²,占全国土地总面积的 2.26%,其中耕地面积为 7.24 万 km²,占全国耕地总面积的 5.35%。常住人口占全国总人口的 9.02%,粮食产量占全国粮食总产量的 6.04%,GDP 在全国占比 10.62%。



图 1 京津冀区划图

Fig. 1 Zoning map of Beijing – Tianjin – Hebei region

1.2 主要数据源和处理

本文依据《中国耕地质量调查与评定(北京卷、天津卷、河北卷)》^[19-21]、2010 年 1:500 000 农用地分等省级汇总成果,以及来源于 2010 年中国国家统计局年鉴和地方统计年鉴以及公报的统计数据作为研究的基础。其中图形数据的数字化、属性数据的编辑与管理、等别面积统计量算、数据分析等均基于 GIS 平台和数学统计软件 Matlab 实现。

2 研究思路与方法

2.1 形状分维数

土地利用形状分维数 D 是表征土地利用空间结构复杂程度和稳定性的指标^[7]。对于耕地质量而言,各耕地质量类型空间结构分维的计算公式^[22]为

$$A = kP^{\frac{2}{D}}$$
 (1)

式中 A ——某一图斑面积, m^2
 P ——同一图斑周长, m
 k ——待定常数

对式(1)进行取对数变换,建立各耕地等别类型斑块的面积-周长关系,拟合出二者的直线,可得

$$\lg A = \frac{2}{D} \lg P + C$$
 (2)

式中 C ——截距

D 的取值范围为 1~2,值越大,表示空间上的镶嵌结构越复杂。 $D=1.0$ 时,耕地图斑边界形状为圆形,边界最规则;当 $D=2.0$ 时,耕地斑块最复杂,

边界最不规则;当 $D = 1.5$ 时,表示处于一种类似于布朗运动的随机运动状态,即空间结构最不稳定。耕地质量空间结构稳定性可用稳定性指数 S_k 表示,计算公式为

$$S_k = |1.5 - D| \tag{3}$$

式中, S_k 值越大,表示空间结构越稳定。

对于耕地质量而言,计算同一耕地类型的分维数时(例如高等地),因为是对相同的耕地图斑区域进行分析,所以该耕地类型的自然质量、利用质量、经济质量的形状分维数理论上差别不大。也可以将此作为先决条件来验证分形理论是否适用于耕地质量空间分布的研究。

2.2 计盒维数

在耕地质量中,计盒维数 B 代表不同质量等别的耕地空间占比程度和受人为因素干扰程度。计盒维数的取值范围为 $0 \sim 2$,如果某类耕地的计盒维数值越大,则表明该类耕地的空间占比越大,反之亦然。计盒维数值计算的基本思路是用边长为 r 的小盒子把同一质量类别的耕地图斑覆盖起来,并把非空小盒子的总数计做 $N(r)$,则 $N(r)$ 会随盒子边长 r 的变化而变化,对 $N(r)$ 和 r 取对数并做出 $\ln N(r) - \ln r$ 的变化曲线,其直线部分的斜率就是计盒维数 B 。

2.3 灰色关联度分析

关联度是事物之间、因素之间关联性大小的量度。它定量描述了事物或因素之间相关变化的情况,即变化的大小、方向与速度等的相对性。如果事物或因素变化的态势基本一致,则可以认为它们之间的关联度较大,反之,关联度较小^[23]。相较于回归、相关等统计方法对数据量和数据分布特征有较高的要求,灰色关联度所需数据较少、对数据的要求较低、原理简单、易于操作。

关联度计算的主要步骤分为:①原始数据的处

理,消除数据的量纲和数量级上的差异,主要包括初值化和均值化等方法。②计算关联系数,目前关于灰色关联度算法模型的构造一方面主要是通过反映特征序列和因素序列间发展过程或量级的相近性来构造关联度;一方面主要是通过反映两序列间发展趋势或曲线形状的相似性来构造。计算方法见文献[24]。③求关联度,为了集中关联信息,取因素序列与特征序列关联系数的平均值来定量反映这两个序列之间的关联程度。④排关联度,关联度数值的绝对大小没有太大意义,关键是要反映各个因素序列与同一特征序列的关联度大小。按关联度数的大小顺序排序,便可反映出各个因素对于同一特征的“主次”、“优劣”关系。

3 耕地质量等别空间分布的分形特征

3.1 耕地质量空间分布特征

在 ArcGIS 软件中,将京津冀耕地质量按 4 大等别类型输出成图,得到如图 2 所示的 3 种类型的耕地质量等别空间分布图。

由于京津冀的地形地貌具有类型多样、高差较大、排列有序的特征,光温和气候也随着纬度变化呈规律性变化,各地区耕地的耕作制度和种植种类也呈现差异特征,导致了耕地自然等别的空间差异;耕地生产开发与利用受到社会平均利用水平的限制,使得耕地利用等别在空间形成了差异;而社会经济条件的不同会导致投入产出水平的不同,致使耕地经济等别产生空间差异。

由图 2 得知,京津冀耕地资源主要集中在河北省,耕地质量在空间上呈现规律分布的态势,且经济等别与利用等别的空间分布在整体上与自然等别具有一致性,均具有“南北差异明显,南高北低,区域边缘低,中间高”的特征。但利用质量和经济质量的空间分布特征较自然质量的变化略有地域性差

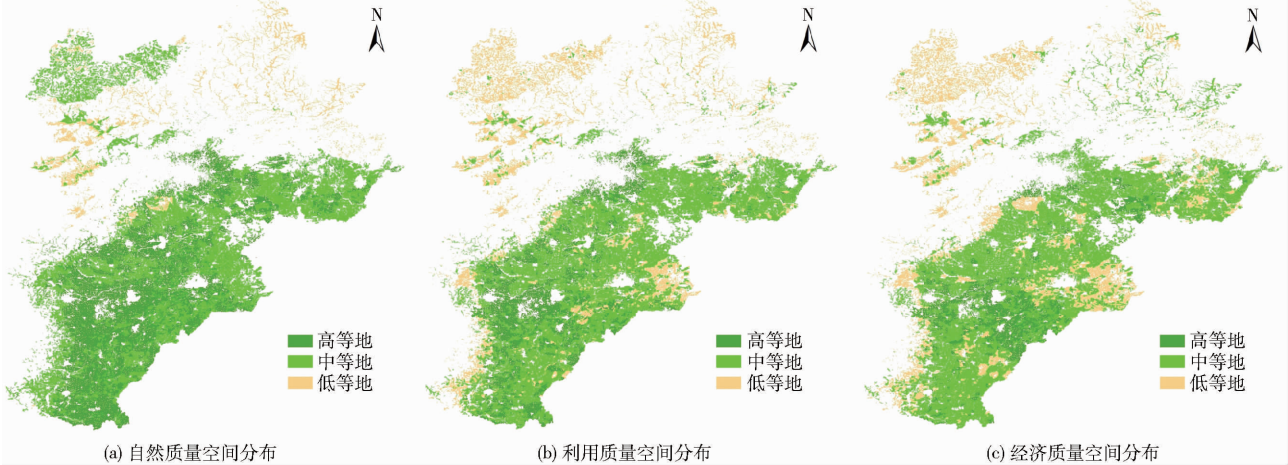


图 2 京津冀耕地质量空间分布图

Fig. 2 Spatial distributions of arable land quality in Beijing - Tianjin - Hebei region

异,且均差于自然质量,尤其是河北省耕地的利用质量和经济质量下降幅度较大。

3.2 耕地质量空间分布的分形特征

3.2.1 耕地质量形状分维数特征

根据式(2),分别建立京津冀耕地自然质量、利用质量和经济质量的3大等别类型的面积-周长关系式,并计算其分维数和稳定性指数,结果如表1所示。

表 1 京津冀耕地质量形状分维数计算结果
Tab.1 Results of fractal dimension of arable land grade in Beijing – Tianjin – Hebei region

耕地质量 类型	D			S _k		
	高等地	中等地	低等地	高等地	中等地	低等地
自然质量	1.167	1.155	1.668	0.333	0.345	0.168
利用质量	1.125	1.174	1.605	0.375	0.881	0.105
经济质量	1.144	1.155	1.591	0.356	0.345	0.091

从各耕地类型的空间形态复杂性和稳定性来看,高、中、低这3种耕地类型的自然质量、利用质量和经济质量的形状分维数差别不大,结果说明了分形理论可以用于耕地质量空间分布的研究。

从各耕地质量类型的形态复杂性来看,分维数大小排序为:自然质量为低等地、高等地、中等地;利用质量为低等地、中等地、高等地;经济质量为低等地、中等地、高等地。且低等地的D值远大于自然质量和经济质量的D值。由利用质量和经济质量的耕地类型分维数规律可以看出,低等地的空间结构最复杂,中等地次之,高等地最简单。这反映出人类社会经济活动,例如耕地占用、土地工程整治、修路等行为多发生在高等地和中等地区域,而人类活动恰恰可以较为容易改变耕地的利用质量和经济质量,而耕地的自然质量却由当地长期稳定形成的气候、地形土壤等因素决定的,因此也不难解释耕地高、中、低类型的自然质量所表现出来的分维数规律。

3.2.2 耕地质量计盒维数特征

由表2计算结果可知,按耕地等别将3种耕地质量类型的计盒维数进行排序:高等地为自然质量、利用质量、经济质量;中等地为经济质量、利用质量、自然质量;低等地为利用质量、经济质量、自然质量。按耕地质量类型将3种耕地等别的计盒维数进行排序:自然质量为中等地、高等地、低等地;利用质量为中等地、低等地、高等地;经济质量为中等地、低等地、高等地。

京津冀耕地面积和面积比例与计盒维数值遵循同样的大小顺序,可以初步判定,在同一个空间范围上,面积或面积比重越大,其分维数越大,但在本研

表 2 京津冀耕地质量计盒维数计算结果
Tab.2 Results of box counting dimension of arable land grade in Beijing – Tianjin – Hebei region

耕地质 量类型	耕地等别	面积/ 万 hm ²	所占比 例/%	B
自然质量	高等地	293.76	41	1.5723
	中等地	344.44	47	1.6358
	低等地	84.4	12	1.2406
利用质量	高等地	131.07	18	1.3571
	中等地	402.62	56	1.7014
	低等地	188.91	26	1.3942
经济质量	高等地	85.27	11	1.2325
	中等地	427.7	6	1.7356
	低等地	209.64	29	1.4236

究中面积或面积比重与计盒维数值并没有检测出相关函数关系,但在相关文献中指出区域内面积或面积占比与计盒维数值有某种关系^[25]。

京津冀的耕地质量主要以中等地为主,尤其从利用质量和经济质量来看,中等地所占面积比例较大,分维值均在1.7以上,高等地的计盒维数值按照自然质量、利用质量和经济质量的顺序递减,而低等地却在递增。分析其原因主要是由于地区经济发展不均衡,种植结构不合理、种植技术和生产生活方式不协调而导致的京津冀耕地利用质量和经济质量较自然质量下降的主要原因。

3.2.3 分形特征的区域变化分析

由于京津冀内部自然、社会和经济条件的差异,导致各耕地质量等别有所差异,分形特征也存在明显的差异。为了更好地探讨京津冀耕地质量分形特征的区域变化规律,将各市的分维数进行归一化处理(表3),根据京津冀高、中、低3种耕地质量等级,可将分维数和稳定性指数也划分为3级:I级简单(0.00~0.33)、II级随机(0.33~0.66)、III级复杂(0.66~1.00)。同样稳定性指数也划分为3级:I级不稳定(0.00~0.33)、II级适中(0.33~0.66)、III级稳定(0.66~1.00)。将其反映在空间上,结果如图3所示。

从形态复杂性来看,北京最为简单,天津、石家庄等地较为复杂,承德、张家口等地最为复杂。京津冀区域内耕地质量表现出了北部较为复杂,南部较为简单的态势,这种规律与耕地质量的空间分布具有一致性。从形态稳定性来看,京津冀区域内从目前的数据处理结果显示没有明显差异,在以后的研究中还需进行深入探讨。

4 耕地质量等别的分形机制

研究表明,按照土地自然质量状况评定出来的

表 3 京津冀各地耕地质量的形状分维数和稳定性指数计算结果

参数	北京	天津	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊	衡水
D	1.139	1.48	1.464	1.547	1.489	1.513	1.483	1.494	1.619	1.701	1.466	1.575	1.541
D 级别	I	II	II	III	II	III	II	II	III	III	II	III	III
S_k	0.361	0.02	0.036	0.047	0.011	0.013	0.017	0.006	0.119	0.201	0.034	0.075	0.041
S_k 级别	III	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I

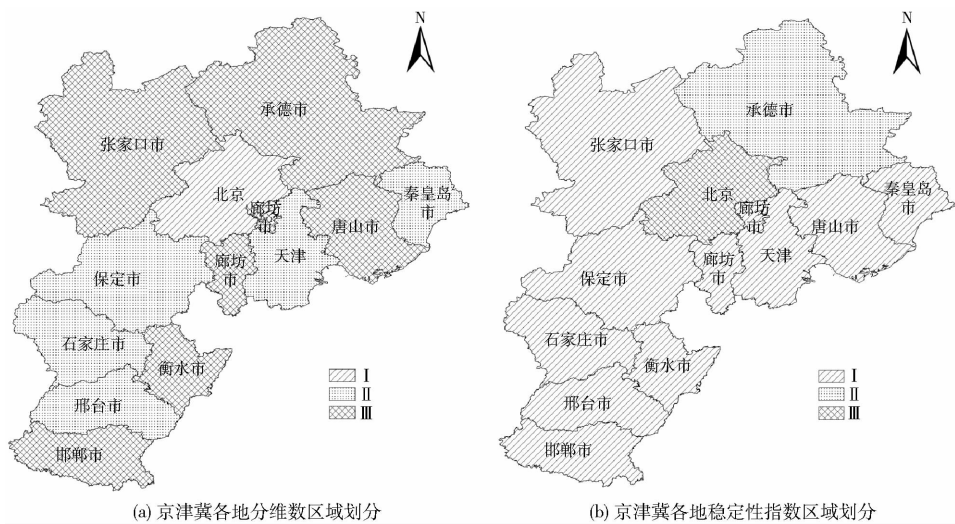


图 3 耕地质量分维数和稳定性指数区域划分

Fig. 3 Regional divisions of fractal dimension and stability index of arable land quality

潜力等别,只是土地可能的生产量,并非土地的实际产量,土地实际生产量还受当地长时间形成的农耕水平、用地强度、种植技能、劳动态度的限制^[26]。气候因素决定了土地的本底质量,而土壤养分和水资源灌溉设施情况则修正了区域内土地的自然质量。进一步地,相关研究表明集中连片的土地粮食生产能力更强^[27],而图斑平均面积则可以侧面反映自然状态下土地集中连片程度,这些因素共同决定了耕地的自然质量;农业机械总量和化肥使用量等生产条件会造成在相同自然质量的耕地上土地利用程度的差异,进一步地,也可能会影响耕地利用质量的分形特征;人口密度可以反映一个区域经济发展水平,

而一个地区的经济发展水平则影响着农村从业人口数和农民收入,这些社会经济条件的不同会导致土地经济收益不同,农民在土地上的收益差异影响着耕地的经济质量,也很有可能影响耕地经济质量的分形特征。

因此本文选取了光温/气候、土壤、水资源、图斑平均面积、农机械化总动力、化肥使用量、人口密度、农村从业人口数、农村居民人均收入 9 个指标,应用灰色关联分析法定量计算京津冀耕地自然质量、利用质量和经济质量的分维数与各灰色影响因素之间关联系数,探讨耕地质量空间分布的分形机制,结果如表 4 所示。

表 4 分维数与影响因子的关联度计算结果

耕地质量类型	光温/气候	土壤	图斑平均面积	水资源总量	农业机械总动力	化肥使用量	人口密度	农村从业人口数	农村居民人均收入
自然质量	0.646 0	0.634 3	0.600 7	0.590 2	0.504 5	0.508 9	0.533 5	0.521 0	0.504 5
利用质量	0.626 8	0.619 7	0.605 1	0.592 8	0.597 1	0.588 7	0.523 7	0.522 7	0.521 6
经济质量	0.631 4	0.622 0	0.604 2	0.591 2	0.508 3	0.506 3	0.582 7	0.582 0	0.580 9

由灰色关联分析可知,自然质量,关联度由小到大的因子为:光温/气候、土壤、图斑平均面积、水资源、其他影响因素;利用质量,关联度由小到大的因子为:光温/气候、土壤、图斑平均面积、水资源、人口密度≈农村从业人口数≈农村居民人

均收入、农业机械总动力≈化肥使用量;经济质量,关联度由小到大的因子为:光温/气候、土壤、图斑平均面积、水资源、农业机械总动力、化肥使用量、人口密度≈农村从业人口数≈农村居民人均收入。9 大影响因素中,3 种不同耕地质量类型

的关联系数都是气候/光温、土壤、水资源大于其他影响因子,这些结果表明自然因素是影响京津冀耕地质量分形的主要因素。其中以光温/气候的关联值最大,说明耕地质量的分形特征由宏观的气候因素决定,并且不会轻易改变。

与耕地利用质量分形维数关联值较大的因子是农业机械总量和化肥使用量;与耕地经济质量分形维数关联值较大的因子是人口密度、农村从业人口数和农村居民人均收入。表明在相同自然质量状态下的耕地,由于不同的生产条件会导致不同的耕地利用质量分形,不同的社会经济条件会导致不同的耕地经济质量分形特征。

由此可见,影响京津冀耕地质量分形特征的主要因素为光温/气候等宏观因素,生产条件和社会经济条件在此基础上进一步扰动了其分形特征。

5 结论

(1)京津冀耕地质量在空间上呈现规律分布的态势,具有南北差异明显、南高北低、区域边缘低、中间高的特征,京津两地耕地少、质量好,河北耕地数

量多,但质量普遍不高。

(2)分形特征代表了区域内耕地质量类型的空间形态复杂性和空间占据度,为耕地质量研究和总体规划提供了新思路。结果表明京津冀高等地空间结构最简单,形态最稳定,空间占据度在自然质量水平上最高,在经济质量上最低;中等地的空间结构和稳定性居中,但空间占据度最大。低等地中间结构复杂度、空间形态稳定性和空间占据度与高等地完全相反。

(3)影响京津冀耕地质量分形特征的主要因素是光温/气候等自然条件,农业生产条件和社会经济条件在此基础上进一步扰动了其分形特征。在今后京津冀的耕地保护中,应严格执行“占优补优”的政策,控制高质量耕地占用规模,也应从整体出发,综合考虑耕地自然条件基础和人为干涉措施的合理性,以期促进京津冀耕地质量全面提升。同时在未来的农业资源规划中,应充分发挥河北的耕地资源优势,改善农业基础设施,提高土地和劳动生产率,提高京津冀现代农业发展水平,实现区域一体化协同发展。

参 考 文 献

- 1 MANDELBROT B B. How long is the coast of britain? Statistical self-similarity and fractional dimension[J]. Science, 1967, 156(3775): 636-638.
- 2 王展, 张玉龙, 虞娜, 等. 冻融作用对土壤微团聚体特征及分形维数的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 83-88.
WANG Zhan, ZHANG Yulong, YU Na, et al. Effects of freezing-thawing on characteristics and fractal dimensions of soil micro-aggregates[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(1): 83-88. (in Chinese)
- 3 高义, 苏奋振, 周成虎, 等. 基于分形的中国大陆海岸线尺度效应研究[J]. 地理学报, 2011, 66(3): 331-339.
GAO Yi, SU Fenzhen, ZHOU Chenghu, et al. Scale effects of china mainland coastline based on fractal theory[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(3): 331-339. (in Chinese)
- 4 沈惊宏, 陆玉麒, 兰小机. 基于分形理论的公路交通网络与区域经济发展关系的研究[J]. 地理科学, 2012, 32(6): 658-665.
SHEN Jinghong, LU Yuqi, LAN Xiaoji. Relationship between the road network and regional economic development based on the fractal theory[J]. Geographical Research, 2012, 32(6): 658-665. (in Chinese)
- 5 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用分形特征及其影响机制[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 330-335, 404.
YE Changsheng, DONG Yuxiang. Fractal analysis of land use in Zhujiang River Delta[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 330-335, 404. (in Chinese)
- 6 李昭阳, 汤洁, 孙平安, 等. 松嫩平原西南部土地利用动态变化的分形研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(2): 250-258.
LI Zhaoyang, TANG Jie, SUN Ping'an, et al. Fractal research on dynamic change of land resources in southwest of Songnen Plain[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(2): 250-258. (in Chinese)
- 7 李保杰, 顾和和, 纪亚洲. 矿区土地利用分形特征动态变化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 233-240, 302.
LI Baojie, GU Hehe, JI Yazhou. Dynamic change of land use fractal characteristic in mining area[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(21): 233-240, 302. (in Chinese)
- 8 胡乔利, 齐永青, 胡引翠, 等. 京津冀地区土地利用/覆被与景观格局变化及驱动力分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1182-1189.
HU Qiaoli, QI Yongqing, HU Yincui, et al. Changes and driving forces of land use/cover and landscape patterns in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(5): 1182-1189. (in Chinese)
- 9 闫苗苗, 李家存, 任丽丽. 京津冀地区土地利用及典型城市景观格局分析[J]. 地理空间信息, 2016, 14(2): 69-72, 8-9.
YAN Miaomiao, LI Jiacun, REN Lili. Analysis of land use and typical urban landscape pattern in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Geospatial Information, 2016, 14(2): 69-72, 8-9. (in Chinese)

10 吕昌河,王涛. 京津冀地区耕地变化分析及未来趋势预测[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2011, 34 (3): 500 – 506.
Lǚ Changhe, WANG Tao. Farmland change and feature trend in the Beijing – Tianjin – Hebei region[J]. Journal of Shanxi University: Natural Science Edition, 2011, 34 (3): 500 – 506. (in Chinese)

11 王磊,刘逢媛,李双成,等. 耕地非农化格局的演变及其影响因子分析——以京津冀都市圈为例[J]. 中国土地科学, 2008, 22(1): 32 – 38.
WANG Lei, LIU Fengyuan, LI Shuangcheng, et al. Cultivated land conversion pattern and impact factors in urban agglomeration: a case study on urban agglomeration of Beijing, Tianjin and Hebei province[J]. China Land Sciences, 2008, 22(1): 32 – 38. (in Chinese)

12 李鹏山,吕雅慧,张超,等. 基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5):281 – 287. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20160538&journal_id = jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160538&journal_id=jcsam). DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2016. 05. 038.
LI Pengshan, Lǚ Yahui, ZHANG Chao, et al. Analysis of cultivated land fragmentation based on kernel density estimation for Beijing – Tianjin – Hebei region[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 281 – 287. (in Chinese)

13 宁小李. 京津冀地区耕地集约利用空间格局及其影响因素分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
NING Xiaoli. Analysis of spatial pattern of the intensive utilization of cultivated land its impact factors in the Beijing – Tianjin – Hebei region[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2015. (in Chinese)

14 孔祥斌,张青璞. 中国西部区耕地等别空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2012,28(22): 1 – 7.
KONG Xiangbin, ZHANG Qingpu. Spatial distribution characteristics of arable land grade in Western China[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(22): 1 – 7. (in Chinese)

15 任奎,周生路,张红富,等. 江苏农用地资源质量空间格局及影响机制研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 127 – 134, 313.
REN Kui, ZHOU Shenglu, ZHANG Hongfu, et al. Spatial pattern and influence mechanism of farmland resources quality in Jiangsu Province[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 127 – 134, 313. (in Chinese)

16 贾树海,邱志伟,潘锦华. 辽宁省农用地质量空间分布格局及影响因素研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(5):1143 – 1150.
JIA Shuhai, QIU Zhiwei, PAN Jinhua. Spatial distribution pattern of agricultural land resources quality and influence factors in Liaoning province[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(5):1143 – 1150. (in Chinese)

17 魏洪斌,吴克宁,赵华甫,等. 中国中部粮食主产区耕地等别空间分布特征[J]. 资源科学, 2015, 37(8): 1552 – 1560.
WEI Hongbin, WU Kening, ZHAO Huaifu, et al. Spatial distribution characteristics of cultivated land quality gradation in the main grain production area of central China[J]. Resources Science, 2015, 37(8): 1552 – 1560. (in Chinese)

18 熊昌盛,韦仕川,栾乔林,等. 基于 Moran’s I 分析方法的耕地质量空间差异研究——以广东省广宁县为例[J]. 资源科学, 2014, 36(10): 2066 – 2074.
XIONG Changsheng, WEI Shichuan, LUAN Qiaolin, et al. Spatial pattern disparity and cultivated land quality based on Moran’s I analysis[J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2066 – 2074. (in Chinese)

19 魏成林,刘辉. 中国耕地质量等级调查与评定(北京卷)[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010.

20 吴延龙. 中国耕地质量等级调查与评定(天津卷)[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010.

21 蔡博广,许喲. 中国耕地质量等级调查与评定(河北卷)[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010.

22 余世孝,郭涿. 山东泰山地区景观结构变化及其分形分析[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 129 – 134.
YU Shixiao, GUO Luo. Landscape structures and fractal analyses of Taishan Mountain, Shandong Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(1): 129 – 134. (in Chinese)

23 孙芳芳. 浅议灰色关联度分析方法及其应用[J]. 科技信息, 2010, 2(17): 880 – 882.

24 田民,刘思峰,卜志坤. 灰色关联度算法模型的研究综述[J]. 统计与决策, 2008(1): 24 – 27.

25 施泽进,罗蛰潭,彭大钧,等. 四川盆地油气田空间分布的分形特征[J]. 地球科学, 1995,20(1): 68 – 72.
SHI Zejin, LUO Zhetan, PENG Dajun, et al. Fractal characteristics of spatial distribution of oil-gas fields in Sichuan Basin[J]. Earth Science, 1995, 20(1): 68 – 72. (in Chinese)

26 郦文聚. 农用地分等及其应用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
YUN Wenju. Agricultural land classification and its application[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)

27 陈光,高然,张世文,等. 基于多维分形法的土壤养分空间预测[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(8):159 – 168. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20150822&journal_id = jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150822&journal_id=jcsam). DOI:10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2015. 08. 022.
CHEN Guang, GAO Ran, ZHANG Shiwen, et al. Spatial predictoin of soil nutrients based on multi-dimensional fractal methods [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8):159 – 168. (in Chinese)