

新兴县耕地质量和耕地产能评价

钟丽¹, 李佳能^{2,3}, 李建华¹, 王东杰^{2,3}, 缙武龙^{4*} (1. 广东省土地开发整治中心, 广东广州 510635; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642; 3. 广州市华南自然资源科学技术研究院, 广东广州 510642; 4. 广东友元国土信息工程有限公司, 广东广州 510642)

摘要 基于对耕地质量和耕地产能的进一步认识, 从耕地的物理、化学、生物、环境和工程 5 个维度出发, 采用特尔斐法确定评价指标和权重, 再运用加权求和法和影响因素逐级修正法构建模型, 对广东省新兴县的耕地质量和耕地产能状况进行评价。结果表明: 新兴县耕地质量评价结果为良等、中等和低等, 主要为低等, 耕地产能评价结果介于 7~11 等, 主要为 8、9 等; 耕地质量指数(不计入生物特性)和国家自然等指数、耕地产能指数和国家利用等指数均呈极显著相关, 耕地质量等别和国家自然等、耕地产能等别和国家利用等之间衔接良好; 与农用地质量分等体系相比, 采用该研究构建的评价体系对整治项目建设前后耕地等别变化进行分析, 更能体现土地整治工程对耕地等别的提升效果。构建的县域耕地质量和耕地产能评价体系紧密结合区域实际, 评价结果与农用地质量分等结果衔接较好, 且能够相对较明显地体现土地整治项目在耕地质量和耕地产能方面的功效, 可为土地整治、耕地占补平衡和基本农田保护等土地管理工作提供依据。

关键词 耕地质量; 耕地产能; 评价体系; 高标准农田建设; 广东省新兴县

中图分类号 F301.21 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)11-0067-08

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.11.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation of Cultivated Land Quality and Cultivated Land Productivity in Xinxing County, Guangdong Province

ZHONG Li¹, LI Jia-neng^{2,3}, LI Jian-hua¹ et al (1. Guangdong Land Development and Management Center, Guangzhou, Guangdong 510635; 2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642; 3. South China Academy of Natural Resources Science and Technology, Guangzhou, Guangdong 510642)

Abstract The cultivated land quality and cultivated land productivity status of Xinxing County, Guangdong Province were evaluated in this paper. The theoretical basis of the evaluation was a further understanding of the quality and productivity of cultivated land. The evaluation indicators included the physical, chemical, biological, environmental and engineering dimensions of cultivated land. The evaluation indicators and weights were determined based on the Delphi method. The construction of the evaluation model was a combination of the weighted summation method and the stepwise correction method of the influencing factors. The results showed that: the evaluation result of cultivated land quality in Xinxing County were good, medium and low, mainly low, and the evaluation result of cultivated land productivity were between 7 and 11, mainly 8 and 9; the cultivated land quality index (excluding biological characteristics) was significantly correlated with the national natural quality index, the cultivated land productivity index was also significantly correlated with the national utilization index. The connection between the quality level of cultivated land and the national natural quality level, the cultivated land productivity level and the national utilization level were good. The evaluation system constructed in this study and the agricultural land quality grading system were respectively used to evaluate the cultivated land quality and cultivated land productivity before and after the construction of renovation projects. The comparative analysis of the results showed that the former can improve the responsiveness of various engineering measures in the remediation project, and reflect the improvement effect of the land remediation project on cultivated land. The evaluation systems which were established to evaluate the quality and productivity of cultivated land are closely related to the actual situation in the study area, and the evaluation results in this study are well connected with the grading results of agricultural land quality. They also can more clearly show the effect of the land improvement project on cultivated land quality and cultivated land productivity. The results can provide basis for land reclamation, cultivated land occupation and supplementary balance, basic farmland protection and other related land management work.

Key words Cultivated land quality; Cultivated land productivity; Evaluation system; High standard farmland construction; Xinxing County, Guangdong Province

我国人口众多, 土地资源较少, 耕地资源尤为紧缺, 其安全对国家粮食安全、农业效益等具有重要影响^[1]。随着人口的持续增长、城市扩张需求的不断增加, 在耕地面积不断受到侵占的同时, 耕地肥力和生产力退化、地块零碎化、土壤环境污染等诸多问题频发^[2], 我国耕地保护形势严峻^[3]。加强耕地质量建设、管理和保护至关重要^[4-5]。作为耕地保护工作中最主要的关键任务之一, 科学、准确、全面、合理地认识和评价耕地的质量状况, 是进行耕地资源有效管理的核心和关键^[1]。评价体系的构建作为评价过程的一个重要环节, 对耕地质量评价结果具有很大影响^[3]。为保障国家粮食安全,

我国政府先后提出严守耕地红线、占补平衡、永久基本农田划定、高标准农田建设等一系列耕地保护政策及措施。相关职能部门和科研机构亦先后开展了一系列由粗到细、从定性到定量、多方位的耕地质量评价工作^[3], 如原国土资源部就耕地生产能力方面开展的农用地分等定级^[6-7], 原农业部进行的旨在改良土壤与培肥耕地地力的耕地地力等级调查评价^[8-9]等。上述工作大都基于部门职责, 有着不同的评价对象和工作依据, 评价指标存在差异, 模型方法亦不尽相同^[10], 且多侧重对耕地质量的某一方面进行评价, 难以全面支撑耕地质量管理工作。

该研究基于对耕地质量和耕地产能的进一步认识, 从耕地的物理、化学、生物、环境和工程 5 个维度, 构建了耕地质量和耕地产能评价指标体系。以广东省新兴县为例, 采用影响因素逐级修正法进行实证评价, 评价结果与分等规程方法评价结果进行比较分析。此外, 还在研究区内选取

基金项目 广州市科技计划项目(201804020034)。

作者简介 钟丽(1970—), 女, 湖北荆州人, 工程师, 从事土地整治与不动产登记工作。* 通信作者, 高级工程师, 硕士, 从事土地资源利用与评价研究。

收稿日期 2019-03-28

高标准农田建设项目进行了整治项目建设目标的响应分析。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 新兴县位于广东省西部,地处 $111^{\circ}57'37''\sim 111^{\circ}31'32''E, 22^{\circ}22'46''\sim 22^{\circ}50'36''N$,土地总面积 $152\ 167.88\ \text{km}^2$ 。县域四面环山,地势西南高,东北低,南部多高山,海拔多在 $500\ \text{m}$ 以上,中东部为起伏的丘陵,北部地势较低。县域处于北回归线以南,属亚热带季风气候,季节分明,日照充足,雨量充沛,无霜期长。年平均气温 $21.56\ ^{\circ}\text{C}$ 。全县多站多年平均降雨量 $1\ 663.7\ \text{mm}$,每年降雨集中在 $4\sim 9$ 月,年际变化较大,易出现洪涝和干旱等灾害。历年年平均日照 $1\ 694.8\ \text{h}$,年日照百分率 38% 。县域内山地从高到低垂直分布有黄壤、红壤、赤红壤 3 个土类、3 个亚类、10 个土属、34 个土种。黄壤多分布于海拔 $700\ \text{m}$ 以上的山地,红壤一般分布在海拔 $450\sim 700\ \text{m}$,海拔 $450\ \text{m}$ 以下的山丘为赤红壤,赤红壤是新兴县面积最大、分布最广的土类。新兴县共辖 12 个镇,2016 年全县总人口(户籍总人口)46 万,耕地面积为 $18\ 947.43\ \text{km}^2$,占土地总面积的 12.45% 。

1.2 数据来源 此次新兴县耕地质量和耕地产能评价的数据包括:①数据库。新兴县 2010 年耕地地力评价数据库,新兴县 2010 年耕地质量等级补充完善成果数据库,新兴县 2016 年度耕地质量等别更新评价数据库,新兴县农业局提供的耕地地力评价数据库。②图件。新兴县耕地地力评价数据库中的耕地资源管理单元,新兴县 2016 年度土地变更调查中的耕地图斑,耕地土壤养分分布图。③其他。新兴县 $30\ \text{m}$ DEM ($30\ \text{m}$ 精度的数字高程模型)数据,新兴县河道水质检测结果,新兴县土壤普查报告书,新兴县 2010 年耕地地力评价报告,土壤重金属指标数据,道路、农村居民点等基础地理数据,新兴县 2015 年统计年鉴,广东省农用地分等技术参数,以及实地调查确认数据等。

1.3 耕地质量和耕地产能评价方法

1.3.1 评价单元划分。此次耕地质量和耕地产能评价均采用地块法划分评价单元,即以新兴县 2016 年度土地变更调查中的耕地图斑作为评价单元,共划分评价单元 6 133 个,其中水田 3 931 个,水浇地 17 个,旱地 2 185 个。

1.3.2 耕地质量评价指标体系构建。耕地质量评价指标体系是一个综合考虑影响耕地的自然、社会和经济等因素建立起来的,能够反映耕地资源和相关生态环境变化的指标体系。评价指标以反映耕地自然状况的可获取指标为主。该研究基于主导性、易获取、可量测、区域性、稳定性等原则,并结合新兴县的实际情况选取指标,指标涵盖地形特征、土壤性状、耕作条件、健康状况和生物特性 5 个方面。相比现行的农用地质量分等体系,增加了以灌溉水环境质量和土壤重金属元素为代表的表征土壤健康状况的土壤健康系数,和以土壤蚯蚓数量为代表的表征土壤生物特性的生物特性系数,对耕地质量得分进行逐级修正。指标筛选和权重确定是邀请了当地 10 家单位的专家采用特尔斐法分两轮确定。具体见表 1。

表 1 耕地质量评价指标及权重

Table 1 Cultivated land quality evaluation indicators and weights

| 一级指标 Primary indicators | 权重 Index weight | 二级指标 Secondary indicators | 权重 Index weight |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| 地形特征 Topographical features | 0.17 | 地形部位 | 0.44 |
| | | 田面坡度 | 0.39 |
| | | 海拔高度 | 0.17 |
| 土壤性状 Soil properties | 0.50 | 有效土层厚度 | 0.19 |
| | | 有机质含量 | 0.13 |
| | | 耕层质地 | 0.16 |
| | | 障碍层距地表深度 | 0.08 |
| | | 土体构型 | 0.14 |
| | | 土壤容重 | 0.07 |
| | | 土壤养分元素 | 0.10 |
| | | 土壤 pH | 0.13 |
| 耕作条件 Farming conditions | 0.33 | 灌溉保证程度 | 0.26 |
| | | 排水条件 | 0.21 |
| | | 田块状况 | 0.16 |
| | | 田间道路通达度 | 0.15 |
| | | 耕作距离 | 0.12 |
| 健康状况 Health status | — | 农田防洪标准 | 0.11 |
| | | 灌溉水环境质量 | — |
| | | 土壤重金属 | — |
| | | 生物特性 Biological characteristics | — |
| 生物特性 Biological characteristics | — | 土壤蚯蚓数量 | — |

1.3.3 耕地质量评价。

(1) 地形特征分值(G)的计算,采用加权求和法,即对评价指标和权重进行指数综合。公式如下:

$$G = \sum_{i=1}^n A_i B_i (i=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

式中, A_i 表示地形特征第 i 个二级指标对应分值; B_i 表示第 i 个二级指标权重; n 表示评价指标个数。

同理,可分别计算出土壤性状和耕作条件的分值, S 和 C 。

(2) 健康状况系数(H)的计算采用“ $1+X$ ”的累加模型,即以未受到污染耕地为基准“1”,依据灌溉水环境、土壤重金属对应分级分值“ X ”进行累加。

(3) 生物特性系数(B)的计算采用如下:

$$B = K_i / 100 (i=1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

式中, K_i 为第 i 个地块土壤蚯蚓数量对应分值。

(4) 耕地质量指数以地形特征、土壤性状、耕作条件这 3 个自然质量指数为基础,与健康状况系数和生物特性系数相乘得到。公式如下:

$$Q = (G+S+C) \times H \times B \quad (3)$$

式中, Q 表示耕地质量指数; G 表示地形特征分值; S 表示土壤性状分值; C 表示耕作条件分值; H 表示健康状况系数; B 表示生物特性系数。

1.3.4 耕地产能评价指标体系构建。耕地产能评价指标以影响耕地实际产量的可获取指标为主,基于主导性、易获取、可量测、区域性、稳定性等原则,从气候条件、耕地自然质量、技术水平 3 个方面选取指标。其中,气候条件指标由光温生产潜力和作物产量比系数构成;耕地自然质量指标由耕地质

量评价体系中的地形特征指标和土壤性状指标构成,各二级指标的权重比例也与耕地质量评价体系保持一致;表征技术水平的评价指标和权重基于特尔斐法确定。具体见表 2。

表 2 耕地产能评价指标及权重

Table 2 Cultivated land productivity evaluation indicators and weights

| 一级指标 Primary indicators | 二级指标 Secondary indicators | 权重值 Index weight |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 气候条件 Climate condition | 光温(气候)生产潜力 作物产量比系数 | — — |
| 耕地自然质量 Cultivated land quality | 地形部位 | 0.11 |
| | 田面坡度 | 0.08 |
| | 有效土层厚度 | 0.14 |
| | 有机质含量 | 0.09 |
| | 耕层质地 | 0.14 |
| | 障碍层距地表深度 | 0.05 |
| | 土体构型 | 0.12 |
| | 土壤容重 | 0.05 |
| | 土壤养分元素 | 0.07 |
| | 土壤 pH | 0.09 |
| | 盐渍化程度 | 0.06 |
| 技术水平 Tillage technology | 灌溉保证程度 | 0.23 |
| | 排水条件 | 0.18 |
| | 农田防洪标准 | 0.15 |
| | 灾害防治水平 | 0.14 |
| | 农机化水平 | 0.14 |
| | 农艺管理水平 | 0.16 |

1.3.5 耕地产能评价。

(1) 新兴县的作物光温(气候)生产潜力指数 α 参照《农用地质量分等规程》,作物产量比系数 β 从农用地质量分等数据库中查找。

(2) 耕地自然质量系数的计算采用如下公式:

$$q = Q' / 100 \quad (4)$$

式中, Q' 为地形特征与土壤性状分值之和的耕地自然质量分值。

技术水平系数的计算采用如下公式:

$$t = \sum_{i=1}^n w_i f_i / 100 \quad (5)$$

式中, w_i 为技术水平第 i 个二级指标标准化分值; f_i 为第 i 个二级指标权重。

(3) 耕地产能指数的计算采用逐级修正法,即用光温(气候)生产潜力指数和作物产量比系数反映气候条件,作为耕地产能评价的基础,再用耕地自然质量系数和技术水平系数进行逐级修正,计算耕地产能。公式如下:

$$P = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (\alpha_i \times \beta_i) \times q \times t & \text{(一年一熟、两熟、三熟时)} \\ \sum_{i=1}^n (\alpha_i \times \beta_i) / 2 \times q \times t & \text{(两年三熟时)} \end{cases} \quad (6)$$

式中, P 为耕地产能指数; α_i 为第 i 种作物的光温(气候)生产潜力指数; β_i 为第 i 种作物的产量比系数; q 为耕地自然质量系数; t 为技术水平系数。

1.4 耕地质量和耕地产能等别划定 根据耕地质量指数,采用 25 分等间距作为质量等别划分区段,将耕地质量划分为优、良、中、低 4 个等别。根据耕地产能指数,采用 300 分

等间距作为产能等别划分区段,将耕地产能划分为 1, 2, ..., 15, 共计 15 个等别。

2 结果与分析

2.1 耕地质量和耕地产能评价结果 经测算,新兴县耕地质量指数主要分布在 17.4~68.5,其对应质量等别主要分布在良等、中等和低等。其中,低等耕地的面积最多,为 16 111.37 hm^2 ,占比为 84.89%。从各镇来看,良等耕地主要分布在东城镇;中等耕地主要分布在太平镇;低等耕地主要分布在天堂镇。从各地类来看,水田、水浇地、旱地的质量等别均主要为低等,水田质量为低等的耕地面积为 14 010.72 hm^2 ,占比为 86.22%;旱地质量为低等的耕地面积为 2 082.57 hm^2 ,占比为 76.92%;水浇地质量为低等的耕地面积为 18.07 hm^2 ,占比为 81.83%。

从分布规律来看,耕地质量主要为中等和低等,良等耕地占比仅为 0.89%,零星分布在东城镇、簕竹镇、大江镇,原因在于这些地方土壤条件优秀,耕作条件相对较好,土壤蚯蚓数量较多,为作物生长提供了合适的环境。耕地质量等别为中等的耕地主要分布在新兴县的中部和西部地区,涉及太平镇、河头镇、新城镇、天堂镇,原因在于这些地方的耕地位于地势平坦的低海拔地区,交通条件便利,管理水平较高,土壤熟化程度也相对较高。耕地质量等别为低等的耕地在新兴县全域均有分布,其中又以六祖镇、太平镇、天堂镇等地的面积较多,原因在于这些地方耕地的土壤蚯蚓数量普遍偏少,在土壤生物特性系数的修正下,耕地质量等别偏低。此次评价中,以土壤蚯蚓数量来表征土壤生物特性,对总体耕地质量有较大的影响,因田间调查蚯蚓数量与分布易受天气、采样时间等因素的影响,难以准确反映耕地土壤蚯蚓数量水平,导致土壤生物特性系数具有不稳定性,直接影响耕地质量评价结果的准确性。新兴县耕地质量等别分布如图 1。

新兴县耕地产能指数主要分布在 1 438~2 446,其对应产能等别主要为 7~11 等,其中 8、9 等耕地的面积最大,分别为 8 650.56、6 990.55 hm^2 。从各镇来看,六祖镇、太平镇、天堂镇耕地的产能等别较高,7~9 等耕地分布较多;大江镇、河头镇耕地的产能等别较低,10、11 等耕地分布较多。从各地类来看,水田的产能等别主要为 8、9 等,面积分别为 8 220.6、5 775.74 hm^2 ;水浇地的产能等别主要为 8、9 等,面积分别为 1 206.56、1 023.65 hm^2 ;旱地的产能等别主要为 9、10 等,面积分别为 1 206.56、1 023.65 hm^2 。

从分布特点来看,新兴县耕地产能指数主要分布在 1 440~2 440,六祖镇、天堂镇、太平镇、东城镇南部及车岗镇西部耕地产能指数较高,其中车岗镇耕地产能指数最高。原因在于这些乡镇多分布于城郊,地势平坦、土壤肥沃,交通和区位条件好,易于田间管理。因此,田间管理水平、灌溉保证程度、排水条件、农机化程度、农艺管理水平等指标分值较高,耕地产能指数高于周边其他乡镇。河头镇、簕竹镇、大江镇、稔村镇、水台镇及里河镇的耕地产能指数较低,其中大江镇耕地产能指数最低。原因在于这些乡镇大多位于丘陵地

区,地势起伏大,交通和区位条件差,导致农田管理水平相对不足。另外,这些乡镇的灌溉保证程度、排水条件、土壤 pH、

土壤有机质含量等指标分值较低,更加显化了偏低的耕地产能。新兴县耕地产能等别分布如图 2。

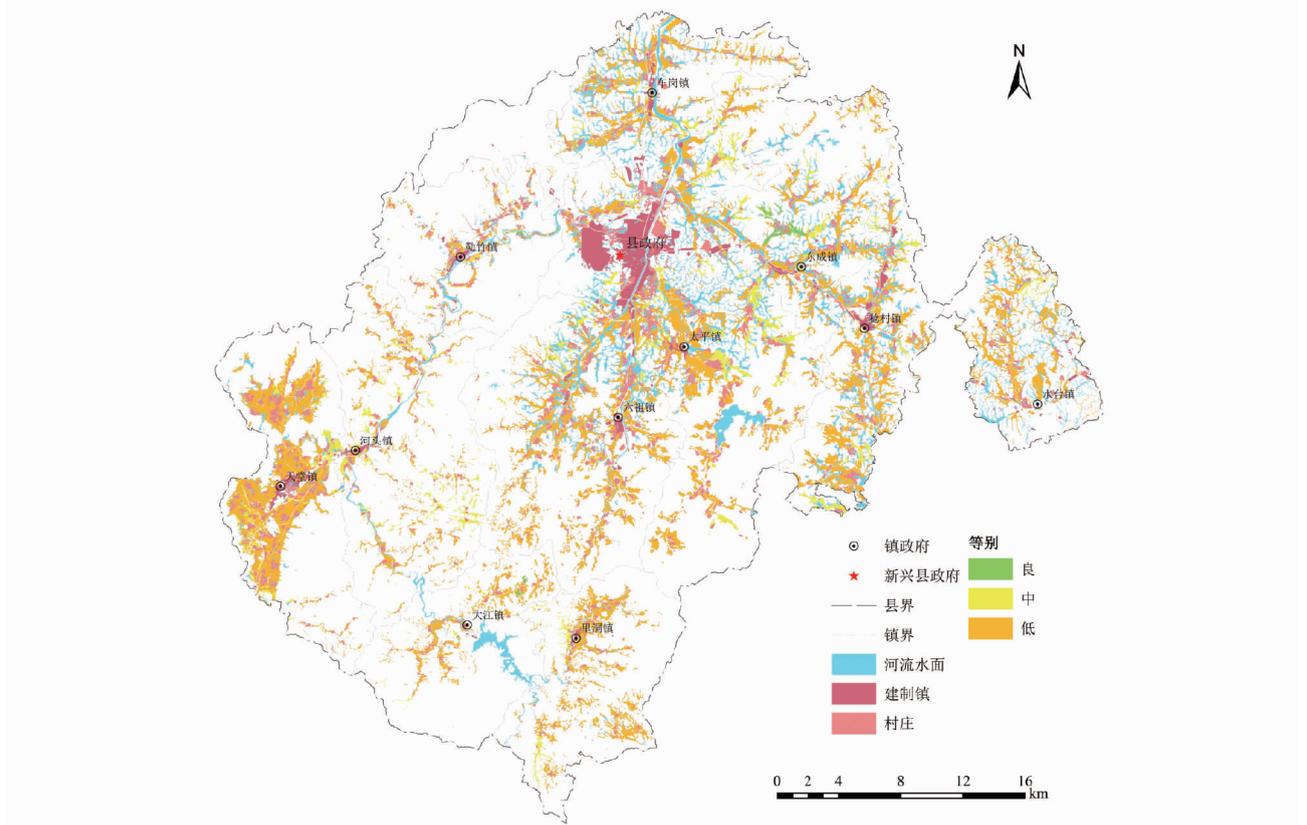


图 1 新兴县耕地质量等别分布

Fig. 1 Distribution map of cultivated land quality grade in Xinxing County

2.2 与农用地分等成果对比分析

2.2.1 耕地质量等别与国家自然等的对比分析。为检验耕地质量和耕地产能评价指标、算法,及耕地质量和耕地产能评价成果与年度更新成果的衔接性,对比此次新兴县耕地质量等别和 2016 年度新兴县国家自然等的空间分布,两者总体均呈中部高四周低的趋势。从面积来看,2016 年度国家自然等中,优等地面积为 527.90 hm²,占比 2.78%;高等地面积为 18 451.6 hm²,占比 97.22%。此次新兴县耕地质量评价中,良等地面积为 168.05 hm²,占比 0.88%;中等地面积为 2 700.08 hm²,占比 14.23%;低等地面积为 16 111.37 hm²,占比 84.89%。

新兴县耕地质量指数和 2016 年度国家自然等指数相关性分析(表 3)表明,两者的 Pearson 相关系数为 0.068, $P=0.00$,呈极显著正相关,表明国家自然等指数越大,耕地质量等指数也越高。但从散点图来看(图 3),此次新兴县耕地质量指数与 2016 年度国家自然等指数之间的衔接性一般。

此次新兴县耕地质量评价结果与 2016 年度国家自然等结果衔接性一般。原因在于,受生物学特征限制,蚯蚓难以在水田中生存。加之野外采样的时间、天气都对采集到的蚯蚓数量有很大影响,难以准确反映耕地土壤蚯蚓数量的真实水平,直接影响生物特性数值的准确性,进而导致全县耕地质量等别偏低。此次耕地质量评价和农用地质量分等的指

标体系都是基于耕地的自然状况,评价结果的趋势亦大体一致。与农用地质量分等体系相比,此次新兴县耕地质量评价体系侧重从地形特征、土壤性状和耕作条件 3 个方面选取指标,增加了地形部位、田面坡度、土壤养分元素、田间道路通达度、耕作距离等更能细致反映耕地状况的指标。在此基础上,采用以灌溉水环境质量和土壤重金属元素等指标为代表测算的健康状况系数,和以土壤蚯蚓数量为代表测算的生物特性系数先后进行修正,进而得到耕地质量指数。指标体系更加细致,对耕地质量的差异也更加显化。但因受蚯蚓数量的影响,全县耕地质量等别普遍偏低。

表 3 新兴县耕地质量指数与 2016 年度国家自然等指数相关性分析
Table 3 Correlation analysis of cultivated land quality index and the national natural quality index in 2016 of Xinxing County

| 项目 Item | 相关性 Correlation | 耕地质量指数 Cultivated land quality index | 国家自然等指数 National natural quality index |
|--|-------------------------------|--|--|
| 耕地质量指数 Cultivated land quality index | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 1 6 133 | 0.068** 0.000 6 133 |
| 国家自然等指数 National natural quality index | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 0.068** 0.000 6 133 | 1 0.000 6 133 |

注: ** 表示在 0.01 水平上(双尾)相关性显著

Note: ** indicated significant (two-tailed) correlation at the 0.01 level

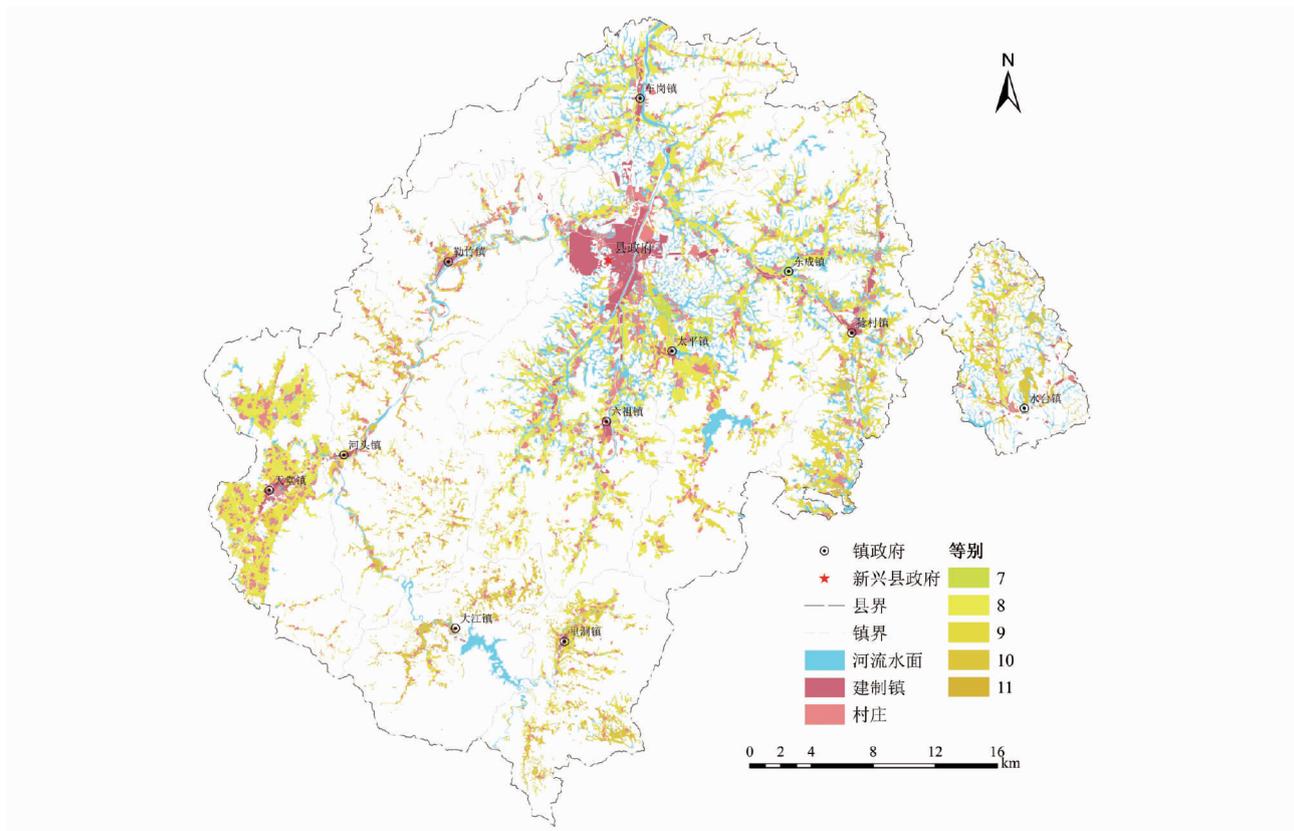


图 2 新兴县耕地产能等别分布

Fig. 2 Distribution map of cultivated land productivity grade in Xinxing County

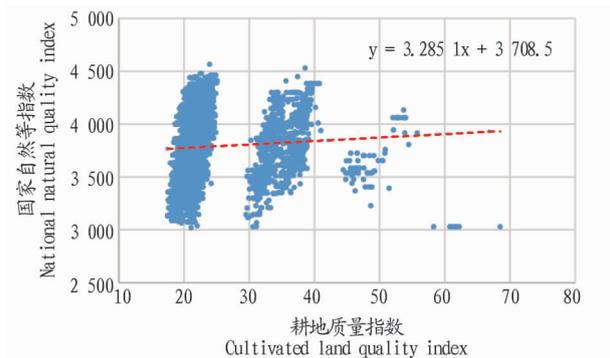


图 3 新兴县耕地质量指数与 2016 年度国家自然等指数相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of cultivated land quality index and national natural index in 2016 of Xinxing County

若考虑暂不计入生物特性,对比不计入生物特性的耕地质量等别和 2016 年度国家自然等。不计入生物特性的耕地质量指数和 2016 年度国家自然等指数的相关性分析表明(表 4),两者的 Pearson 相关系数为 0.530, $P=0.00$ 。呈极显著正相关,表明国家自然等指数越大,耕地质量等指数越高。散点图亦表明(图 4),不计入生物特性的耕地质量指数与 2016 年度国家自然等指数之间有良好的衔接性。不计入生物特性,仅采用健康状况进行修正,得到的耕地质量等别,总体得到提升。综上所述,此次新兴县耕地质量评价(不计入生物特性),不仅评价结果与 2016 年度国家自然等具有较好的衔接性,构建的评价指标体系也更加科学合理。

表 4 新兴县耕地质量指数(不计入生物特性)与 2016 年度国家自然等指数相关性分析

Table 4 Correlation analysis of cultivated land quality index (not corrected by the biometric coefficient) and national natural quality index in 2016 of Xinxing County

| 项目 Item | 相关性 Correlation | 耕地质量指数(不计入生物特性) Cultivated land quality index(not corrected by the biometric coefficient) | 国家自然等指数 National natural quality index |
|--|-------------------------------|--|---|
| 耕地质量指数(不计入生物特性) Cultivated land quality index(not corrected by the biometric coefficient) | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 1 6 133 | 0.530** 0.000 6 133 |
| 国家自然等指数 National natural quality index | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 0.530** 0.000 6 133 | 1 6 133 |

注: ** 表示在 0.01 水平上(双尾)相关性显著
Note: ** indicated significant (two-tailed) correlation at the 0.01 level

2.2.2 耕地产能等别与国家利用等的对比分析。此次新兴县耕地产能评价结果中的 7、8 等大致对应 2016 年度国家利用等结果中的 4~6 等,主要分布在太平镇、六祖镇、东城镇和天堂镇;此次新兴县耕地产能评价结果中的 10、11 等所在的

区域相应的2016年度国家利用等为9、10等,主要分布在大江镇、水台镇和稔村镇。此次新兴县耕地产能评价采用全国试点统一标准进行等别划分,也使得局部产能差异更为明显,同时该划分方法在反映县域内部耕地产能相对差异方面也更为细致。从面积来看,产能相对较高的耕地(利用等为4~6等)面积占65.53%,产能等别为7~8等的耕地面积占46.43%左右。产能相对较低的耕地(利用等为9~10等)面积占7.8%,产能等别为10~11等的耕地占16.74%,详见图5。

此次新兴县耕地产能指数和2016年度国家利用等指数的相关性分析(表5)表明,两者的Pearson相关系数为0.682, $P=0.000$,呈极显著正相关,表明国家利用等指数越大,耕地产能指数越高。此次新兴县耕地产能指数与2016年度国家利用等指数的衔接性较好,详见图6。

此次新兴县耕地产能等别与2016年度国家利用等之间有良好的衔接性。原因在于两者都是基于光温(气候)生产

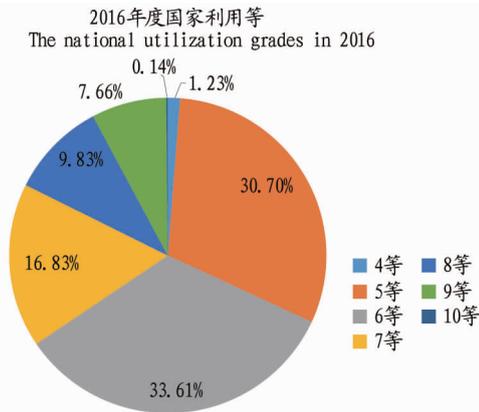


图5 新兴县2016年度国家利用等与耕地产能等别对比

Fig. 5 Correlation analysis of the national utilization grades in 2016 and the cultivated land production grades of Xinxing County

表5 新兴县耕地产能指数与2016年度国家利用等指数相关性分析

Table 5 Correlation analysis of the cultivated land production index and the national utilization index in 2016 of Xinxing County

| 项目 Item | 相关性 Correlation | 国家利用等指数 National utilization index | 耕地产能指数 Cultivated land productivity index |
|--|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 国家利用等指数 National utilization index | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 1 6 133 | 0.682** 0.000 6 133 |
| 耕地产能指数 Cultivated land productivity index | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 0.682** 0.000 6 133 | 1 0.000 6 133 |

注:**表示在0.01水平上(双尾)相关性显著

Note:** indicated significant (two-tailed) correlation at the 0.01 level

潜力指数修正所得。此次耕地产能评价是采用耕地自然质量系数和技术水平系数对光温(气候)生产潜力指数进行修正得到,2016年度国家利用等是采用耕地自然质量分和土地利用系数对光温(气候)生产潜力指数进行修正得到。

两者的区别主要在于耕地自然质量基底、技术水平系数和土地利用系数之间的差异。耕地自然质量系数相比于自然质量分,增加考虑了反映耕作条件的指标(如田间道路通达度、耕作距离等),使对耕地自然质量的评价更为全面。技

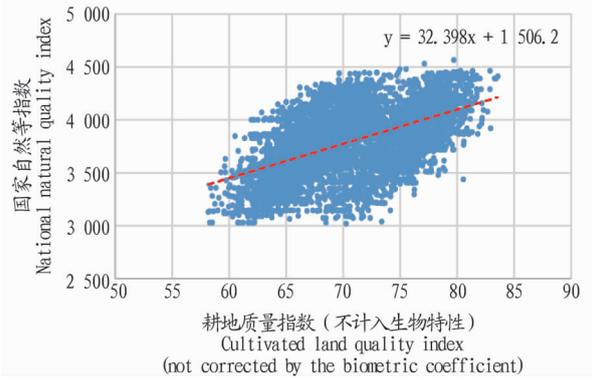


图4 新兴县耕地质量指数(不计入生物特性)与2016年度国家自然等指数相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of cultivated land quality index (not corrected by the biometric coefficient) and national natural quality index in 2016 of Xinxing County

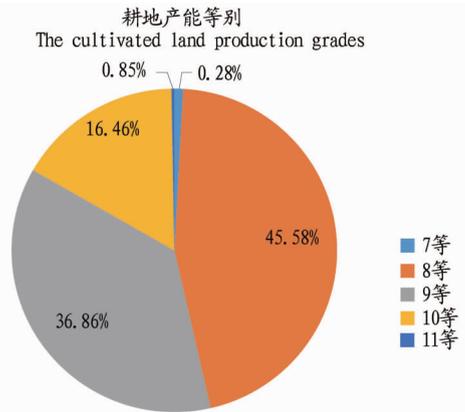


图6 新兴县耕地产能指数与2016年度国家利用等指数相关性分析

Table 5 Correlation analysis of the cultivated land production index and the national utilization index in 2016 of Xinxing County

| 项目 Item | 相关性 Correlation | 国家利用等指数 National utilization index | 耕地产能指数 Cultivated land productivity index |
|--|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| 国家利用等指数 National utilization index | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 1 6 133 | 0.682** 0.000 6 133 |
| 耕地产能指数 Cultivated land productivity index | Pearson 相关性 显著性(双尾) 个案数 | 0.682** 0.000 6 133 | 1 0.000 6 133 |

图6 新兴县耕地产能指数与2016年度国家利用等指数相关性分析

Fig. 6 Correlation analysis of the cultivated land production index and the national utilization index in 2016 of Xinxing County

术水平系数是由农艺管理水平、农机化水平、灾害防治水平等指标加权计算所得,而土地利用系数则是由区域最大产量与二级区最大产量之间的比值来反映,相比而言,由技术水平修正而得的耕地产能相对较为科学严谨。综上所述,此次新兴县耕地产能评价结果与2016年度国家利用等之间具有良好的衔接性,构建的评价指标体系也更为科学合理。

2.3 耕地质量和耕地产能评价体系的提质效应验证 高标准农田建设,对提高耕地综合生产能力、发展现代农业、保障粮食安全具有重要意义。2016 年新兴县国土资源局投资 1 757.9 万元于稔村镇、坝塘村等 7 个村实施高标准农田建设项目。建设内容主要包括灌溉排水等水利设施、田间道路等。该研究应用耕地质量和耕地产能评价指标体系,对项目实施前后的耕地质量和耕地产能进行评价,并分析项目实施前后的等别提升效果,进而和基于农用地质量分等体系的项目实施前后耕地质量和耕地产能的变化情况进行对比,以论证耕地质量和耕地产能评价指标体系是否比农用地质量分

等体系更能显化土地整治对耕地质量和耕地产能的提升效果。

2.3.1 项目实施前后耕地国家利用等对比。基于农用地质量分等体系的评价结果显示(表 6、图 7),项目实施后项目区内耕地的平均国家利用等提升了 0.20 等。具体表现为:国家利用等为 6 等的耕地面积比例由 60.06% 增至 78.15%, 7 等耕地的面积比例由 22.09% 降至 4%, 8 等耕地的面积比例由 5.27% 增至 7.07%, 9 等耕地的面积比例由 12.58% 降至 10.78%。

表 6 项目实施前后耕地国家利用等变化统计

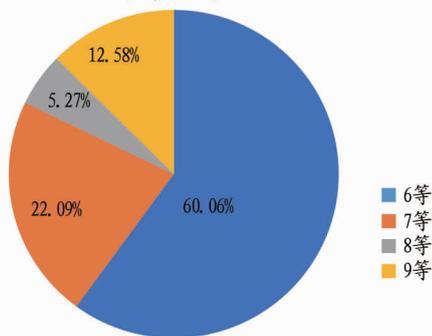
Table 6 Statistics on changes of the national utilization grades of cultivated land before and after project implementation

| 村名 Village name | 项目实施前 Before project implementation | | | | | 项目实施后 After project implementation | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | 6 等//hm ² | 7 等//hm ² | 8 等//hm ² | 9 等//hm ² | 平均等别 Average//等 | 6 等//hm ² | 7 等//hm ² | 8 等//hm ² | 9 等//hm ² | 平均等别 Average//等 |
| 坝塘 Batang | 158.16 | 53.88 | 9.17 | 40.62 | 6.74 | 211.49 | 0.55 | 9.17 | 40.62 | 6.54 |
| 布辰 Buchen | 127.37 | 25.88 | 6.45 | 3.25 | 6.30 | 150.78 | 2.47 | 6.68 | 3.02 | 6.15 |
| 高村 Gaocun | 154.89 | 0 | 14.14 | 44.5 | 6.76 | 154.89 | 0 | 29.66 | 28.98 | 6.68 |
| 芦村 Lucun | 131.92 | 36.23 | 18.37 | 25.48 | 6.70 | 138.14 | 30.01 | 18.87 | 24.98 | 6.67 |
| 皮村 Picun | 74.58 | 0 | 0 | 1.31 | 6.05 | 74.58 | 0 | 0 | 1.31 | 6.05 |
| 页村 Yecun | 57.59 | 59.16 | 2.02 | 6.29 | 6.66 | 116.75 | 0 | 2.02 | 6.29 | 6.18 |
| 云盏 Yunzhan | 10.59 | 87.89 | 12.59 | 28.37 | 7.42 | 83.89 | 14.59 | 17.77 | 23.19 | 6.86 |
| 合计 Total | 715.10 | 263.04 | 62.76 | 149.83 | 6.70 | 930.53 | 47.60 | 84.19 | 128.40 | 6.50 |

2.3.2 项目实施前后耕地质量等别对比。此次新兴县耕地质量评价结果显示(表 7),经高标准农田建设后,项目区内耕地的质量等别总体呈现出大面积耕地由低等提升至中等的趋势。具体表现为:中等耕地的面积由原来的 152.03 hm²

(占比 12.8%) 增加至 1035.68 hm²(占比 13.02%),低等耕地的面积相应地由原来的 1038.69 hm²(占比 87.2%) 减少至 155.04 hm²(占比 86.98%)。

项目实施前耕地国家利用等
National utilization grades of cultivated
land before project implementation



项目实施后耕地国家利用等
National utilization grades of cultivated
land after project implementation

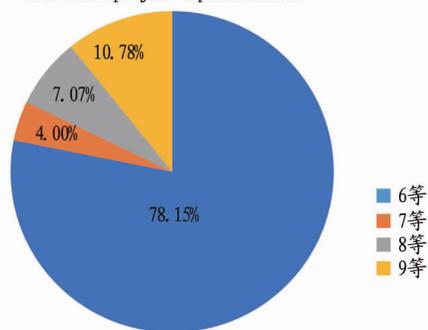


图 7 项目实施前后耕地国家利用等面积变化统计

Fig. 7 Statistics on the area change of the utilization grades of cultivated land before and after the implementation of the project

2.3.3 项目实施前后耕地产能等别对比。此次耕地产能评价结果显示(表 8),项目实施后项目区内耕地的平均产能等别提升了 0.75 等。具体表现为:产能等别为 8 等的耕地面积比例由 1.91% 增至 49.02%, 9 等耕地的面积比例由 69.69% 降至 50.9%, 10 等耕地的面积比例由 28.4% 降至 0.08%。

综上所述,运用农用地质量分等体系对高标准农田建设项目实施前后耕地国家利用等进行评定时,项目实施前后耕地国家利用等的变化不明显。而运用耕地质量和耕地产能

评价体系进行评定时,能够较明显地表征项目实施后耕地质量和耕地产能等别的提升状况。究其原因,主要在于农用地质量分等体系所采用的评价指标虽能在一定程度上反映耕地的质量状况,但其更多的是反映耕地的自然质量状况。然而,在实际生产和生活中,耕地本身的自然条件变化是一个十分缓慢的过程。因此,农用地质量分等体系中的评价指标较难反映因外界人为因素导致的耕地质量突变。此次耕地质量和耕地产能评价涉及的评价指标明显增多,且更加精细。与农用地质量分等体系相比,增加的指标对土地整治工

程的敏感性较强,这与土地整治工程侧重通过建设田间道路、灌溉排水等来提高耕地耕作条件的目标是一致的,故表现为耕地质量等别和耕地产能等别的显著提升。换言之,在评估土地整治项目对耕地的提质效应时,采用耕地质量和耕地产能评价体系,具有相对明显的优势。

3 讨论与结论

3.1 讨论 此次耕地质量评价过程中,选用土壤蚯蚓数量来反映耕地生物特性,进而对耕地质量得分进行修正的做法,对耕地质量的整体水平有较大的影响。主要原因在于,蚯蚓的生存和分布受土壤水分、有机质、pH、养分状况、土地利用方式和污染状况等多方面因素的影响,加之受自身生物学特征的限制,其难以在水田中生存。新兴县 85% 以上的耕地为水田,而调查水田中的蚯蚓数量需在落干期进行。因

表 7 项目实施前后耕地质量等别面积变化统计

Table 7 Statistics on the area change of cultivated land quality before and after project implementation hm^2

| 村名 Village | 项目实施前 Before project implementation | | 项目实施后 After project implementation | |
|---------------|--|----------|---------------------------------------|----------|
| | 中等 Medium | 低等 Low | 中等 Medium | 低等 Low |
| 坝塘 Batang | 7.32 | 254.51 | 7.32 | 254.51 |
| 布辰 Buchen | 74.68 | 88.28 | 74.68 | 88.28 |
| 高村 Gaocun | 2.83 | 210.70 | 2.83 | 210.70 |
| 芦村 Lucun | 55.80 | 156.20 | 55.80 | 156.20 |
| 皮村 Picun | 11.40 | 64.48 | 13.57 | 62.32 |
| 页村 Yecun | 0.00 | 125.07 | 0.85 | 124.22 |
| 云盏 Yunzhan | 0.00 | 139.44 | 0.00 | 139.44 |
| 合计 Total | 152.03 | 1 038.69 | 155.04 | 1 035.68 |

表 8 项目实施前后耕地产能等别变化统计

Table 8 Statistics on the area change of cultivated land productivity grade before and after project implementation

| 村名 Village name | 项目实施前 Before project implementation | | | | 项目实施后 After project implementation | | | |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | 8等// hm^2 | 9等// hm^2 | 10等// hm^2 | 平均等别 Average//等 | 8等// hm^2 | 9等// hm^2 | 10等// hm^2 | 平均等别 Average//等 |
| 坝塘 Batang | 0 | 192.14 | 69.69 | 9.27 | 174.99 | 86.84 | 0 | 8.33 |
| 布辰 Buchen | 9.69 | 111.15 | 42.11 | 9.20 | 53.52 | 109.43 | 0 | 8.67 |
| 高村 Gaocun | 0 | 167.36 | 46.18 | 9.22 | 61.77 | 151.77 | 0 | 8.71 |
| 芦村 Lucun | 0 | 185.73 | 26.27 | 9.12 | 131.24 | 80.76 | 0 | 8.38 |
| 皮村 Picun | 0 | 17.39 | 58.50 | 9.77 | 17.05 | 57.98 | 0.86 | 8.79 |
| 页村 Yecun | 0.85 | 60.24 | 63.98 | 9.50 | 59.62 | 65.45 | 0 | 8.52 |
| 云盏 Yunzhan | 12.24 | 95.79 | 31.41 | 9.14 | 85.55 | 53.90 | 0 | 8.39 |
| 合计 Total | 22.78 | 829.81 | 338.14 | 9.26 | 583.73 | 606.13 | 0.86 | 8.51 |

此,受水田条件限制和人为因素的影响,调查获取的土壤蚯蚓数量难以准确反映土壤的生物特性,进而影响耕地质量评价结果。因此,建议进一步完善生物特性指标,构建能够有效表征耕地质量、健康和生态安全的综合性指标体系,以有效反映耕地质量状况。此外,指标选取应充分考虑南北耕地的环境差异,尤其是南方的水田生态系统。建议考虑选取受地类限制较小,指标状态相对稳定,受气候、土壤、人为耕作扰动影响较小,易获取、可量化的生物特性指标代替土壤蚯蚓数量,如土壤呼吸。

另外,评价指标中的部分定性指标,如农艺管理水平,在指标分级描述中较为模糊,仅分为较高、一般、较低 3 个等级,缺乏明确的分级标准描述。而且,此类定性指标的原始数据通常由植保站、土肥站、农推站等部门的访谈数据统计而来,受主观因素影响较大。因此,在后续工作中考虑适当增加对此类指标的针对性研究,一方面研究此类指标对耕地质量和耕地产能的表征贡献率,减少重复度较高的指标;另一方面建议结合实际情况进一步细化定性指标的分级标准,或者选用其他定量指标进行替代。

3.2 结论 该研究基于对耕地质量和耕地产能的进一步深化认识,从耕地的物理、化学、生物、环境和工程 5 个维度,构建了县域耕地质量和耕地产能评价体系。以广东省新兴县为例进行实地验证评价,评价结果与基于农用地质量分等体系的

评价结果进行比较分析,并在研究区内选取高标准农田建设项目进行整治项目提等的响应分析。主要研究结论如下:

(1) 基于该研究构建的评价体系得出的研究区耕地的质量和产能等别,与研究区 2016 年度耕地国家自然等和国家利用等的对比分析表明:新兴县耕地质量指数(不计入生物特性)和 2016 年度耕地国家自然等指数,耕地产能指数与 2016 年度耕地国家利用等指数均呈极显著相关。耕地质量等别和 2016 年度耕地国家自然等、耕地产能等别和 2016 年度耕地国家利用等之间都有着良好的衔接性。由此得出,该研究构建的耕地质量和耕地产能评价指标体系,基本能够较为客观、有效地表征研究区耕地的质量和产能状况。

(2) 分别采用该研究构建的耕地质量和耕地产能评价体系与农用地质量分等体系对研究区内已竣工的高标准农田建设项目建设前后的耕地质量和耕地产能进行评价和对比,结果表明:在评估土地整治项目对耕地的提质效应时,相比于农用地质量分等体系,采用该研究构建的耕地质量和耕地产能评价体系,具有相对明显的优势,能够更明显地表征项目实施后耕地质量和耕地产能等别的提升状况。换言之,应用耕地质量和耕地产能评价指标体系更能提高对各类工程措施的响应度,体现土地整治工程对耕地等别的提升效果,显化国土综合整治工程措施的功绩。

模式。因此,造成夏尔希里地区表层养分空间变异受多种因素影响,主要因素有土壤质地、地貌特征、地形以及施肥管理和种植结构。

夏尔希里山地森林区的养分与环境因子的相关性特征与王华等^[26]对喀斯特常绿落叶阔叶混交林土壤磷钾受环境因子影响的结果较一致。但引起该现象产生的原因可能不同,喀斯特地区温度高、降雨量大,淋溶作用强烈,可能淋溶作用是主要因素,而夏尔希里山地森林区该季节降雨较少、温度较低,出现此结果可能是因为植物的表聚作用以及凋落物的影响。夏尔希里山地森林区 OM、AP、AK 养分含量明显低于赵维俊等^[22]对祁连山青海云杉区研究的养分含量,产生这种现象的主要原因可能与淋溶作用的强度有关,虽然两地的降水量大致相同,但对于夏尔希里山地森林区而言,该地区降水频率高,但降水强度小。加之林冠截留和地被植物渗吸作用,地表径流发育较弱,导致淋溶作用弱,各养分含量相对较低。

限于人力和物力条件要求,该研究只对夏尔希里地区表层土壤的空间异质性以及影响山地森林区表层土壤养分的环境因子和与同类山地森林区表层土壤养分对比进行了分析,未对夏尔希里地区表层土壤养分做出系统评价。如何很好地阐释在夏尔希里地区不同的地貌类型下采取何种方式对表层土壤养分的保护及合理利用,有待进一步研究。

4 结论

(1) 夏尔希里地区表层土壤养分 OM、AP、AK 含量变化幅度不同,变异程度均为中等变异。

(2) OM、AK 的空间变异函数值的最佳拟合模型为球状模型,AP 的最佳拟合模型为指数模型,三者的决定系数均很高;OM、AP 表现为强烈的空间自相关,AK 为中等空间自相关。

(3) 表层土壤 OM 含量在空间上表现为现山地森林区>绿洲区>荒漠区;AP、AK 含量在空间上均表现为绿洲区>山地森林区>荒漠区。

(4) 山地森林区表层土壤养分分布主要受海拔、坡度、坡面曲率等因子影响。

参考文献

- [1] 王精明. 基于 GIS 的地统计学方法在土壤科学中的应用[J]. 中国农学通报, 2007, 23(5): 404-408.
- [2] 高艳霞, 徐东瑞. 石家庄市边缘带土壤养分空间分布特征研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1063-1068.

(上接第 74 页)

参考文献

- [1] 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.
- [2] 王洪波, 程锋, 张中帆, 等. 中国耕地等别分异特性及其对耕地保护的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 1-8.
- [3] 马瑞明, 马仁会, 韩冬梅, 等. 基于多层次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.
- [4] 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.

- [3] 宋轩, 李立东, 寇长林, 等. 黄水河小流域土壤养分分布及其与地形的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3163-3168.
- [4] 邵方丽, 余新晓, 杨志坚, 等. 北京山区典型森林土壤的养分空间变异与环境因子的关系[J]. 应用基础与工程科学学报, 2012, 20(4): 581-591.
- [5] FISHER R F, BINKLET D. Ecology and management of forest soils[M]. 3rd Edition. New York: John Wiley and Sons, 2000: 282-284.
- [6] 张伟, 刘淑娟, 叶莹莹, 等. 典型喀斯特林地土壤养分空间变异的影响因素[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 93-101.
- [7] 岳跃民, 王克林, 张伟, 等. 基于典范对应分析的喀斯特峰丛洼地土壤-环境关系研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1400-1405.
- [8] 李艳, 史舟, 徐建明, 等. 地统计学在土壤科学中的应用及展望[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 178-182.
- [9] ELBASIOUNY H, ABOWALY M, ABU-ALKHEIR A, et al. Spatial variation of soil carbon and nitrogen pools by using ordinary Kriging method in an area of north Nile Delta, Egypt[J]. Catena, 2014, 113: 70-78.
- [10] GLENDELL M, GRANGER S J, BOL R, et al. Quantifying the spatial variability of soil physical and chemical properties in relation to mitigation of diffuse water pollution[J]. Geoderma, 2014, 214/215: 25-41.
- [11] ROGER A, LIBOHOVA Z, ROSSIER N, et al. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton Switzerland[J]. Geoderma, 2014, 217/218: 26-36.
- [12] YE H C, SHEN C Y, HUANG Y F, et al. Spatial variability of available soil microelements in an ecological functional zone of Beijing[J]. Environmental monitoring and assessment, 2015, 187: 1-2.
- [13] DAI F Q, ZHOU Q G, LÜ Z Q, et al. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau[J]. Ecological indicators, 2014, 45: 184-194.
- [14] 王勇辉, 钟巧, 焦黎. 夏尔希里地区土壤重金属特征及空间变异分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(5): 1043-1050.
- [15] 王勇辉, 王瑞霞, 焦黎. 夏尔希里地区土壤盐分特征分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(5): 138-145.
- [16] 王勇辉, 焦黎. 中国夏尔希里土壤环境背景值特征及评价[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 754-761.
- [17] 罗晓琴, 陈蜀江, 阿布都艾力·喀尤木, 等. 新疆夏尔希里地表水资源调查[J]. 科技创新导报, 2012(2): 130-131.
- [18] 海鹰, 姚建保, 兵布加甫, 等. 新疆夏尔希里自然保护区植物区系研究[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 98-103.
- [19] 陈蜀江, 海鹰, 金海龙, 等. 新疆夏尔西里自然保护区综合科学考察[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2006: 1-25.
- [20] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征: 变异函数与 Kriging 插值分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 555-564.
- [21] 刘淑娟, 张伟, 王克林, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地土壤物理性质的时空分异及成因[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2249-2256.
- [22] 赵维俊, 刘贤德, 徐丽恒, 等. 祁连山青海云杉林动态监测样地土壤 pH 和养分的空间异质性[J]. 干旱区地理, 2015, 38(6): 1179-1189.
- [23] 王岩, 陈永金, 刘加珍. 黄河三角洲湿地土壤养分空间分布特征[J]. 人民黄河, 2013, 35(2): 72-74.
- [24] 张超, 刘国彬, 薛蕙, 等. 黄土丘陵区撂荒农耕地土壤有效态微量元素演变特征[J]. 中国农业科学, 2013, 46(18): 3809-3817.
- [25] 罗新宁, 朱友娟, 张宏勇, 等. 塔里木绿洲种植制度对棉田土壤养分性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 114-118.
- [26] 王华, 陈莉, 宋敏, 等. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林土壤磷钾养分空间异质性[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8285-8293.

- [5] 宇振荣, 郎文聚. “山水林田湖”共治共管“三位一体”同护同建[J]. 中国土地, 2017(7): 8-11.
- [6] 程锋, 王洪波, 郎文聚. 中国耕地质量等级调查与评定[J]. 中国土地科学, 2014, 28(2): 75-82.
- [7] 郎文聚, 程锋. 农用地分等定级的四个应用[J]. 中国土地, 2005(1): 44.
- [8] 鲁明星, 贺立源, 吴礼树. 我国耕地地力评价研究进展[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 866-871.
- [9] 王瑞燕, 赵庚星, 李涛, 等. GIS 支持下的耕地地力等级评价[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 307-310.
- [10] 马建辉, 吴克宁, 赵华甫, 等. 我国耕地质量监测指标体系的构建[J]. 广东农业科学, 2012(21): 74-78.