

基于可持续发展需求的耕地质量评价体系构建与应用

温良友^{1,2}, 孔祥斌^{1,2*}, 张蚌蚌³, 孙晓兵^{1,2}, 辛芸娜^{1,2}, 张青璞^{1,2}

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193;
3. 西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100)

摘要: 为满足新时期耕地数量、质量、生态“三位一体”管理工作需要, 保障国家耕地资源安全, 需要对耕地质量进行评价。该文从人类对耕地资源的层次需求出发, 分析了耕地质量评价的理论框架, 构建了地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性 5 个维度的耕地质量评价指标体系, 并对大兴区耕地质量进行评价。结果表明: 在高产高效需求条件下, 优等地占耕地总面积的 88.27%, 良等地占 11.73%; 在绿色健康需求条件下, 优等地占耕地总面积的 73.61%, 良等地占 26.39%; 在可持续发展需求条件下, 优等地占耕地总面积的 3.03%, 良等地占 52.30%, 中等地占 40.39%, 低等地占 4.27%。空间分布上, 高产高效需求、绿色健康需求和可持续发展需求三者的耕地质量评价结果均呈现东部偏高, 西部偏低的趋势。通过比较不同需求条件下耕地质量评价结果, 耕地健康状况和耕地生物特性对耕地质量影响较大。该项研究为耕地质量提升提供科学依据, 为国家耕地数量、质量、生态管护提供有效支撑。

关键词: 土地利用; 耕地质量; 等级; 指标体系; 综合算法; 大兴区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.10.030

中图分类号: F323.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-10-0234-09

温良友, 孔祥斌, 张蚌蚌, 孙晓兵, 辛芸娜, 张青璞. 基于可持续发展需求的耕地质量评价体系构建与应用[J]. 农业工程学报, 2019, 35(10): 234-242. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.10.030 <http://www.tcsae.org>

Wen Liangyou, Kong Xiangbin, Zhang Bangbang, Sun Xiaobing, Xin Yunna, Zhang Qingpu. Construction and application of arable land quality evaluation system based on sustainable development demand [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(10): 234-242. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.10.030 <http://www.tcsae.org>

0 引言

耕地作为农业生产最主要的生产资料, 对国家粮食安全和农民生产生活具有基础性与保障性作用^[1-2]。《中共中央国务院关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》(中发〔2017〕4号)要求, 着力加强耕地数量、质量、生态“三位一体”保护, 着力加强耕地管控、建设、激励多措并举保护^[3]。因而, 合理利用土地和切实保护耕地是土地开发、利用与保护工作的重中之重。21世纪以来, 国家各部委对耕地质量评价和保护做了大量工作。原国土资源部颁布的《农用地质量分等规程》^[4]、《农用地质量定级规程》^[5]等一系列针对耕地质量评价的国家标准, 侧重耕地资源保护, 确保规划确定的耕地保有量, 组织实施基本农田划定, 监督占用耕地补偿制度执行情况, 以满足土地税收、土地流转、土地补偿的需要; 原环境保护部则根据各地土壤环境状况, 通过颁布《土壤环境质量标准》^[6]对耕地的环境和健康状况进行评价, 承担从源头上预防、控制环境污染和环境破坏的责任, 强调对

耕地资源开发利用的环境影响评价, 以评估经济发展过程中产生的土壤污染问题; 原农业部颁布的《耕地质量等级》^[7]、《耕地地力调查与质量评价技术规范》^[8], 侧重耕地地力评价, 提升农产品质量安全水平, 强化对耕地资源的利用与管理, 以达到国家粮食安全和食物安全的需求目标。由于时代发展使人们对耕地质量需求不一致以及各部门的责任差异, 致使各部门对耕地质量评价的侧重点有所区别, 原国土资源部关注耕地数量质量保护、原农业部侧重耕地质量保护、原环境保护部重视耕地土壤环境保护。当前国家要求加强耕地数量、质量、生态“三位一体”保护, 形成耕地的整体保护格局, 而碎片化的耕地质量管理方式无法支撑当前耕地保护管理的需要, 亟需构建基于国家需求的耕地质量评价指标体系, 以满足当前耕地质量评价保护管理工作的需要。

目前, 国内学者对耕地质量的认知不断深化, 主要从耕地土壤质量、生态质量、环境质量、管理质量以及经济质量、美学与文化质量等方面对耕地质量内涵进行界定^[9-15], 并构建评价指标体系。如孔祥斌、温良友等从耕地利用系统角度, 基于要素-过程-功能的物质能量循环与人类需求的匹配, 构建了耕地质量认识框架, 并提出了未来发展趋势^[16-17]; 辛芸娜等认为耕地质量包括耕地土壤质量、生态质量、环境质量以及管理质量 4 个维度特征, 并采用限制系数法进行评价^[18]; 奉婷等从耕地的自然质量、利用条件、空间形态与生态安全 4 个方面综合界定耕地质量并进行评价^[19]; 钱凤魁等从耕地自然质量与立地条件综合分析耕地质量情况, 为高标准基本农

收稿日期: 2018-11-05 修订日期: 2019-04-14

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41771561); 教育部人文社科基金(17YJA630040); 全国耕地健康产能试点与技术体系完善(20170502); 国家自然科学基金青年项目(41801210); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2019TC096)

作者简介: 温良友, 博士生, 研究方向为耕地资源评价。

Email: wenly@cau.edu.cn

*通信作者: 孔祥斌, 教授, 主要从事土地资源评价、利用与保护研究。

Email: kxb@cau.edu.cn

田的划定提供依据^[20]；马瑞明等为突显工程性投入对耕地质量的影响，从土地条件、工程条件和限制因素 3 个方面构建评价指标体系进行省域耕地质量评价^[21]。国外研究主要关注土壤质量^[22-23]，并从土壤质量扩展到土壤健康领域，认为土壤健康是指土壤在生态系统和土地利用范围内，维持生物生产力、维护环境质量、促进动植物和人类健康的能力^[24-25]，将土壤健康与土壤功能、生态系统服务和人类福祉相结合^[26-27]，综合评定土壤质量对人类需求的满足程度^[28-30]；Bünemann 等系统总结了国际上土壤质量的概念、内涵以及指标选取的频度^[31]，从土壤的物理特性、化学特性、生物特性 3 个方面对土壤的综合质量进行评价^[32]。从目前研究看，耕地质量评价的认识、理论与方法在不断深化，不断体现时代发展要求和公众需求特征，但当前研究主要集中于以生产能力为核心的耕地质量评价，对于耕地健康状况、耕地土壤生物活性层面的生态质量关注不足，而如何将国家和公众对耕地资源的需求与耕地质量评价相结合，如何满足国家耕地数量、质量、生态“三位一体”保护政策的要求，目前还尚未进行系统分析和总结，也尚未从需求角度构建耕地质量评价指标体系。因此，迫切需要探索基于不同需求层次的耕地质量评价体系，以满足国家对耕地资源的管理需要。

本文从需求导向出发，通过分析当前经济条件下，国家和公众对耕地资源需求变化对耕地质量的要求，以及耕地利用系统各组成要素在相互作用过程中对耕地质量的影响，在满足国家和公众对耕地资源高产高效、绿色健康和可持续利用的需求下，以北京市大兴区为例，构建基于地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性的耕地质量评价指标体系，评价高产高效、绿色健康和可持续利用需求下的耕地质量状况，从而为国家落实耕地保护政策提供理论依据和参考。

1 理论框架及指标体系构建

1.1 理论框架

耕地是经过人类开垦用以种植农作物并经常耕耘的土地，是一种特定的土地利用类型^[33]。从人类对耕地资源的需求看，人们对耕地质量认识的发展，源于人类需求的不断变化发展。耕地质量作为耕地利用的核心，其内涵从早期单一目标的耕地基础地力扩展到涵盖耕地适宜性、生产潜力、生态安全及可持续性等诸多方面^[15,34-35]，人们对耕地质量的认知经历了“自然耕地质量-自然经济耕地质量-多重属性的耕地质量”发展过程。社会经济发展的阶段不同，人们的需求也会随之不同。在社会经济发展的低级阶段，国家和公众对耕地资源的首要需求是如何高产稳产，以满足公众最基本的温饱需求。随着社会经济的不断发展，在国家和公众对耕地资源的需求驱动下，从保证粮食高产稳产，到生产过程高效便利，到生产的粮食是绿色健康，再到耕地资源可持续利用。这说明人类对耕地资源的需求随着社会经济的发展具有多样性特征。耕地质量评价的深化与发展在一定程度上正是为了满足人类对耕地资源不断变化的需求。

从耕地资源角度看，耕地系统是由自然因素和利用因素组成的自然社会综合体^[36-38]。耕地自然因素包括气候、地貌、土壤，是相对稳定、短时间内难以改变的。耕地利用是由人类活动所决定的，主要包含耕地基础设施条件、农作物、劳动投入、机械投入等多种社会经济因素，是相对易变且会随着利用水平不断提高。耕地系统各因素通过光合作用、养分循环、水分循环等过程相互组合与作用形成了耕地质量特性，如适耕性、养分有效性、水分有效性等，耕地质量特性在不同地域空间尺度上的差异导致耕地质量的差异性。

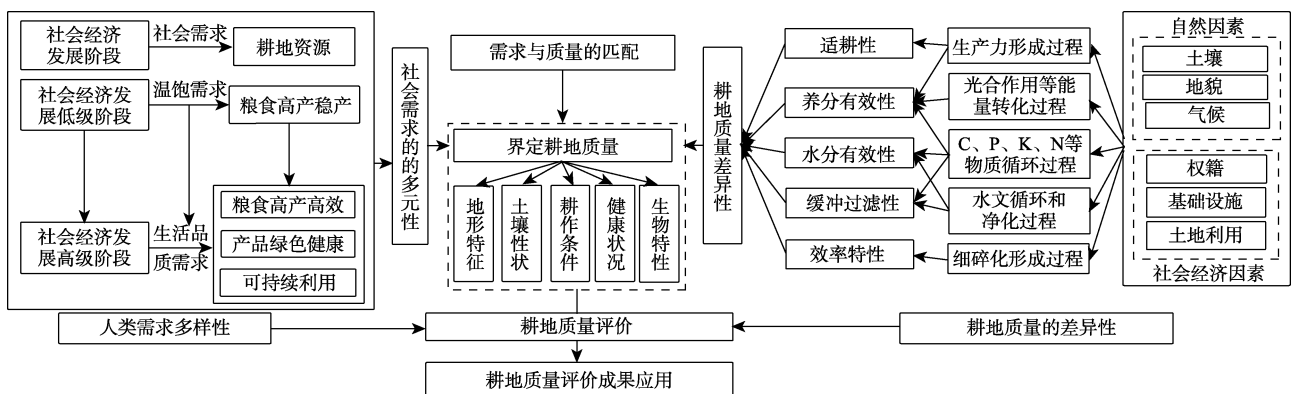


图 1 耕地质量评价理论框架
Fig.1 Theory framework of arable land quality evaluation

国家和公众对耕地资源需求的多元性与耕地质量的差异性表明，不是所有耕地资源都能完全满足人类的需求。目前国家和公众对耕地资源的需求已经从高产高效转换到高产高效、绿色健康以及可持续利用。因此，为了在耕地质量评价中综合反映耕地高产高效、耕地健康状况和可持续利用状况，本研究从耕地地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性 5 个维度进行耕地质量指标体系构建。地形特征、土壤性状和耕作条件是耕地高产高效生产的基础。地形特征反映区

域耕地整体地形状况，直接影响田块坡度；耕地土壤性状对土壤养分循环、水循环等过程具有重要影响，是作物生产的基础。地形特征具有宏观性，土壤性状具有微观性，两者结合共同反映耕地进行作物生产的基础条件。耕作条件反映耕作便利程度，体现耕作效率。耕地地形特征、土壤性状和耕作条件 3 个维度相结合是目前耕地质量评价的主要方面，反映耕地满足高产高效需求的程度。耕地健康状况体现作物是否受到重金属污染，反映作物生长环境。耕地健康状况和地形特征、土壤性状、

耕作条件 4 个维度相结合评价耕地满足绿色健康需求的程度。耕地生物特性体现耕地土壤生物活性。耕地生物特性和耕地健康状况、地形特征、土壤性状、耕作条件 5 个维度相结合评价耕地满足可持续利用需求的程度。

1.2 指标体系的构建

根据图 1 的耕地质量评价理论框架,分别从地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况、耕地生物特性 5 个维度构建耕地质量评价指标体系(表 1),参考《农用地分等规程》、《农用地定级规程》、《耕地质量等级》和《土地质量地球化学评价规程》等,以主导性、保护性、区域性、可持续性、社会认可性为原则,综合运用频度分析法和专家咨询法对评价指标进行筛选,选取能够充分反映耕地质量各维度特征的指标。其中,地形特征主要考虑当地耕地区域背景,以地形部位和田面坡度表征,地形部位反映耕地所处的中小地貌单元状况,田面坡度体现耕地的倾斜程度;土壤性状主要考虑耕地土壤的物理、化学指标,如土壤有机质、有效土层厚度等;耕作条件用田块规整度、田间道路通达度、灌溉保证率和排水条件 4 个指标表征;耕地健康状况主要考虑耕地土壤中的重金属含量和灌溉水环境质量;耕地生物特性国外主要以土壤蚯蚓数量和土壤微生物生物量进行表征^[31,39],但是在实际操作过程中,由于土壤微生物生物量存在不易保存、化验和分析费时且花费过高以及与气候、季节、湿度相关性高等问题,而土壤蚯蚓数量相对较易获得,因此,本文选取土壤蚯蚓数量用以表征耕地生物特性。由于气候条件在县域相差不大,本文暂不考虑气候条件对耕地质量的影响。

表 1 耕地质量评价指标体系
Table 1 Arable land quality evaluation index system

维度 Dimensions	指标 Indicators
地形特征 Topographic characteristics	地形部位、田面坡度
土壤性状 Soil traits	有效土层厚度、有机质含量、耕层质地、障碍层类型及距地表深度土体构型、土壤容重、砾石含量
耕作条件 Farming conditions	田块规整度、田间道路通达度、灌溉保证、排水条件
耕地健康状况 Arable land health status	灌溉水环境质量、土壤重金属
耕地生物特性 Arable land biological characteristics	土壤蚯蚓数量

1.3 评价方法

1.3.1 耕地质量指数计算

用地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况、耕地生物特性 5 个维度综合评价耕地质量,而这 5 个维度在耕地质量评价过程中,并不是简单相加,对耕地质量高低起着关键性制约作用的维度,将其作为限制系数对耕地质量进行修正。地形特征和土壤性状是耕地的自然属性,耕作条件是人为为高效利用耕地而对耕地所进行的基础设施建设,一定意义上可以理解为是对耕地自然属性的补充。耕作条件的改善一方面可以提高粮食产量,另一方面可以减少劳作时间和降低投入成本。

土壤受到污染后,污染物会沿着食物链进入人体,对人体健康构成威胁。污染物在一定浓度范围内,虽

不会使作物减产,但是降低了农产品的品质^[40],严重影响了耕地的可持续利用,如果直接利用求和的方法,其对耕地质量的影响会明显弱化。本文参照辛芸娜等^[18]耕地质量评价方法,将耕地健康状况作为一种限制性维度,与其他维度相乘。

土壤生物是土壤具有活力的体现,在土壤形成和发育过程中起着重要作用。土壤生物直接或间接的参与土壤物质转化、养分循环等生物化学反应与过程,其种类及活性直接或间接地影响土壤肥力的形成和发展。因此,土壤生物是评价土壤质量的重要指标之一^[41]。土壤生物虽然不能直接提高作物产量,但可以间接地通过改变土壤物理化学性质影响耕地质量。从耕地可持续利用出发,本文认为耕地生物特性应作为一种限制性要素,应与其他维度相乘。

高产高效需求的耕地质量评价,主要考虑地形特征、土壤性状、耕作条件 3 个维度,计算公式为

$$Q_1 = A_1 + A_2 + A_3 \quad (1)$$

式中 Q_1 表示高产高效需求的耕地质量指数; A_1 表示地形特征指数; A_2 土壤性状指数; A_3 表示耕作条件指数。

绿色健康需求的耕地质量评价,主要考虑地形特征、土壤性状、耕作条件和耕地健康状况 4 个维度,因此耕地质量指数计算公式为

$$Q_2 = H \cdot Q_1 \quad (2)$$

式中 Q_2 表示绿色健康需求的耕地质量指数; H 表示耕地健康状况系数。

可持续发展需求的耕地质量评价,主要考虑地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性 5 个维度,因此耕地质量指数计算公式为

$$Q_3 = B \cdot Q_2 \quad Q_3 = B \cdot Q_2 \quad (3)$$

式中 Q_3 表示综合需求的耕地质量指数; B 表示耕地生物特性系数。

1.3.2 地形特征指数、土壤性状指数、耕作条件指数计算

本文利用指数和法,分别计算地形特征指数、土壤性状指数、耕作条件指数。计算公式为:

$$A_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} S_{ij} \quad (i=1,2,3; j=1,2,3 \dots) \quad (4)$$

式中 A_1 表示地形特征指数; A_2 土壤性状指数; A_3 表示耕作条件指数; W_{ij} 表示第 i 个维度下第 j 个指标的权重; S_{ij} 表示第 i 个维度下第 j 个指标的分值。

1.3.2 耕地健康状况系数计算

目前土壤健康状况评价采用的方法主要是土壤单项污染指数法和内梅罗指数法。单项污染指数法主要评价土壤中某种重金属元素的污染程度。内梅罗(Nemerow)污染指数法是反映各个重金属元素对土壤的不同作用,突出高浓度重金属对环境的影响^[42]。

$$P = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i\right)^2 + [\max(P_i)]^2}{2}} \quad (5)$$

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (6)$$

式中 P 为土壤污染综合指数; P_i 为土壤中重金属 i 的单因子指数; C_i 为重金属 i 的实测含量 (mg/kg); S_i 为重金属

i 的评价标准值 (mg/kg); n 表示土壤重金属元素的数量。

耕地健康状况系数 (H) 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标准进行累加, 但当灌溉水环境和土壤重金属中任意一项分值超过警戒线 (土壤重金属综合污染指数大于 3.0, 灌溉水环境为污染), 则健康状况系数为 0。

1.3.3 耕地生物特性系数计算

耕地生物特性系数 B :

$$B = a_i / 100 \quad (7)$$

式中 a_i 表示每个地块土壤蚯蚓数量对应的分值。

2 研究区域概况、数据来源与处理

2.1 研究区域概况

北京市大兴区位于北京市南郊, 东临北京行政副中心通州区, 南临河北省固安县、霸州市等, 地处 39°26'~39°50'N, 116°12'~116°43'E, 位于北京湾小平原上。全区共辖 16 个乡镇, 土地面积为 103 633.66 hm², 其中耕地总面积为 40 814.57 hm², 占全区土地总面积的 38.38%。地势自西北向东南倾斜, 海拔 15~45 m, 坡度 0.8‰~1.0‰, 属暖温带半湿润季风气候, 年平均气温 11.5 °C, 年平均降雨量 568.9 mm。土壤类型主要为褐土, 部分乡镇有少量风沙土和固定沙丘分布。

2.2 数据来源

行政区划矢量数据来自大兴区 2014 年土地利用现状变更调查数据。有效土层厚度、土体构型、耕层质地数据来自北京市第二次土壤普查数据 (1:50 000)。障碍层类型及距地表深度、砾石含量、灌溉保证率、排水条件数据来自大兴区 2014 年耕地质量等别更新数据库。地形部位和田面坡度主要依据中国海拔 (digital elevation model, DEM) 空间分布数据 (来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>), 数据类型为栅格,

数据精度为 30 m×30 m)。有机质含量、土壤容重、土壤重金属、土壤蚯蚓数量等为 2017 年 105 个土壤实际采样点的实测数据 (图 2)。田间道路、耕作距离利用大兴区 2014 年土地利用变更数据通过 ARCGIS 计算获得。

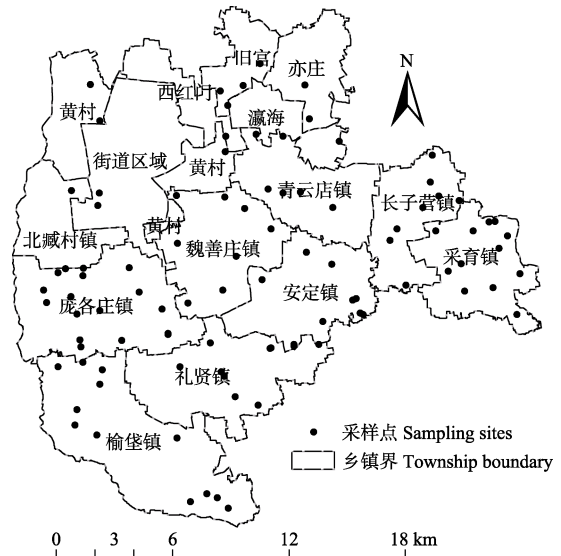


图 2 大兴区采样点空间分布图

Fig.2 Spatial distribution map of sampling points in Daxing District

2.3 评价指标分级及权重确定

指标分级及赋分规则分别依据《农用地质量分等规程》(GB/T28407-2012)、《农用地质量定级规程》、《土地质量地球化学评价规范》、《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ/T332-2006)、《耕地质量等级》、《耕地地力调查与质量评价技术规范》及相关研究成果确定。采用层次分析法确定各指标权重。指标分级、赋分规则及权重如表 2、表 3。

表 2 耕地质量 (除耕地健康状况) 评价指标、赋分及权重
Table 2 Arable land quality(except arable land health status) indicator classification, assignment and weight

维度 Dimensions	指标 Indicators	分值 Score								权重 Weight
		100	90	80	70	60	50	40	30	
地形特征 Topographic characteristics	地形部位	山前平原、冲洪积扇	微斜平地、河滩高地		坡地上部					0.07
	田面坡度	≤2°	>2°~10°		>10°~15°			>15°~25°		0.02
土壤性状 Soil traits	有效土层厚度/cm	>150	100~150		60~100		30~60		≤30	0.05
	有机质含量/(g·kg ⁻¹)	>40	>30~40	>20~30	>10~20	>6~10	≤6			0.13
	耕层质地	壤土	黏土		砂土			砾质土		0.22
	障碍层类型及距地表深度/cm	>60~90		>30~60		≤30				0.03
	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、黏/砂/砂	通体砂、通体砾		0.1
	土壤容重/(g·cm ⁻³)	>1~1.25	≤1, >1.25~1.35		>1.35~1.45		>1.45~1.55		>1.55	0.04
	砾石含量/%	≤1			>1~30		>30~50		>50~70	0.02
耕作条件 Farming conditions	田块规整度	≤1.02	>1.02~1.06		>1.06~1.10			>1.10~1.50		0.08
	耕作距离/m	≤100	>100~1000		>1000~2000			>2000		0.03
	田间道路通达度/%	>80		>60~80		>40~60		≤40		0.05
	灌溉保证率	充分满足	基本满足		一般满足			无灌溉条件		0.1
生物特性 Biological characteristics	土壤蚯蚓数量/(条·m ⁻³)	健全	基本健全, 丰水年短涝 1~2/d		一般, 丰水年短涝 2~3/d			常年涝 ≥3/d, 无排水系统		0.06
		>20	15~20		10~15		5~10	≤5	—	

表3 耕地健康状况指标分级及赋值
Table 3 Arable land health status indicator classification and assignment

维度 Dimensions	指标 Indicators	分级 Grade	分值 Score	描述 Description
耕地健康 状况 Arable land health status	灌溉水 环境质量	1级	0	清洁: 水质综合污染指数 ≤ 0.5
		2级	-0.1	尚清洁: 水质综合污染指数 $>0.5 \sim 1.0$
		3级	-0.2	污染: 水质综合污染指数 >1.0
	土壤 重金属	1级	0	综合污染指数 $P \leq 0.7$
		2级	-0.2	综合污染指数 $0.7 < P \leq 1.0$
		3级	-0.4	综合污染指数 $1.0 < P \leq 2.0$
		4级	-0.6	综合污染指数 $2.0 < P \leq 3.0$
		5级	-0.8	综合污染指数 $P > 3.0$

3 不同需求条件下耕地质量评价结果分析

3.1 基于高产高效需求的耕地质量评价结果

基于高产高效需求的耕地质量评价, 大兴区耕地质量指数主要分布在[77.92, 98.77], 依托 ArcGIS, 运用等间距法, 将耕地质量指数为5等, 耕地质量指数[80, 100]、[60, 80)、[40, 60)、[20, 40)和[0, 20)分别为优等地、良等地、中等地、低等地和差等地。大兴区耕地质量主要为优等地和良等地, 优等地占耕地总面积的 88.27%, 良等地占耕地总面积的 11.73%, 大兴区没有中等地、低等地和差等地。从空间分布来看(图3), 优等地主要分布在大兴区的东部、东北部和中部地区, 以长子营镇、采育镇、魏善庄镇、礼贤镇等乡镇为主, 其他乡镇也均有分布, 这些地区土壤条件相对较好, 土壤质地为壤土; 良等地主要分布在大兴区的西部和南部地区, 以庞各庄镇和榆垓镇为主, 主要因为这2个乡镇的土壤质地条件为砂质, 有机质含量相对较低。

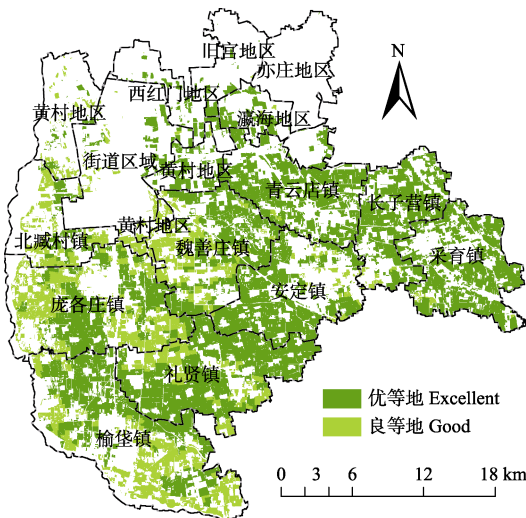


图3 基于高产高效需求的耕地质量等级空间分布
Fig.3 Spatial distribution of arable land quality grade based on high-yield and high-efficiency demand

3.2 基于绿色健康需求的耕地质量评价结果

基于绿色健康需求的耕地质量评价, 大兴区耕地质量指数主要分布在[62.34, 98.77]之间, 依托 ArcGIS, 运用等间距法, 将耕地质量指数为5等, 耕地质量指数[80, 100]、[60, 80)、[40, 60)、[20, 40)和[0, 20)分别为优等地、良等地、中等地、低等地和差等地。结果表明, 大兴区耕地质量主要为优等地和良等地, 优等地占耕地总面积的 73.61%, 良等地占耕地总面积的 26.39%, 大兴区没有中等地、低等地和差等地。从图4空间分布来看, 优等地主要分布在大兴区的东部、东北部和中部地区, 以长子营镇、采育镇、魏善庄镇、礼贤镇等乡镇为主, 其他乡镇也均有分布, 这些地区土壤条件相对较好, 土壤质地为壤土, 无污染; 良等地主要分布在大兴区的西部地区, 以庞各庄镇和榆垓镇为主, 主要因为这2个乡镇的土壤健康状况相对较差, 耕地存在轻微污染。

100]、[60, 80)、[40, 60)、[20, 40)和[0, 20)分别为优等地、良等地、中等地、低等地和差等地。结果表明, 大兴区耕地质量主要为优等地和良等地, 优等地占耕地总面积的 73.61%, 良等地占耕地总面积的 26.39%, 大兴区没有中等地、低等地和差等地。从图4空间分布来看, 优等地主要分布在大兴区的东部、东北部和中部地区, 以长子营镇、采育镇、魏善庄镇、礼贤镇等乡镇为主, 其他乡镇也均有分布, 这些地区土壤条件相对较好, 土壤质地为壤土, 无污染; 良等地主要分布在大兴区的西部地区, 以庞各庄镇和榆垓镇为主, 主要因为这2个乡镇的土壤健康状况相对较差, 耕地存在轻微污染。

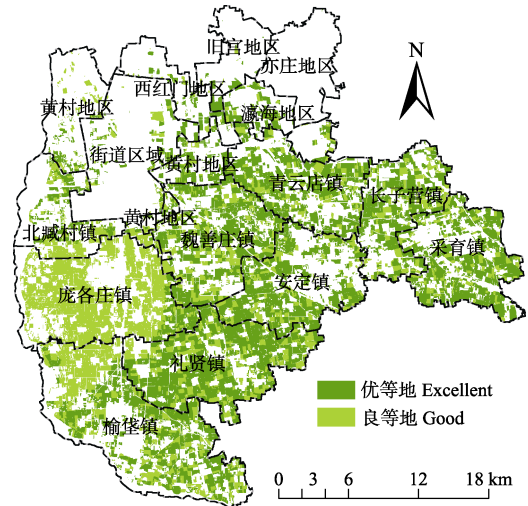


图4 基于绿色健康的耕地质量等级空间分布
Fig.4 Spatial distribution of arable land quality grade based on green health

3.3 基于可持续发展需求的耕地质量评价结果

基于耕地可持续发展需求的耕地质量评价, 大兴区耕地质量指数主要分布在[31.31, 98.76], 依托 ArcGIS, 运用等间距法, 将耕地质量指数为5等, 耕地质量指数[80, 100]、[60, 80)、[40, 60)、[20, 40)和[0, 20)分别为优等地、良等地、中等地、低等地和差等地。图5为基于可持续需求的耕地质量等级空间分布。

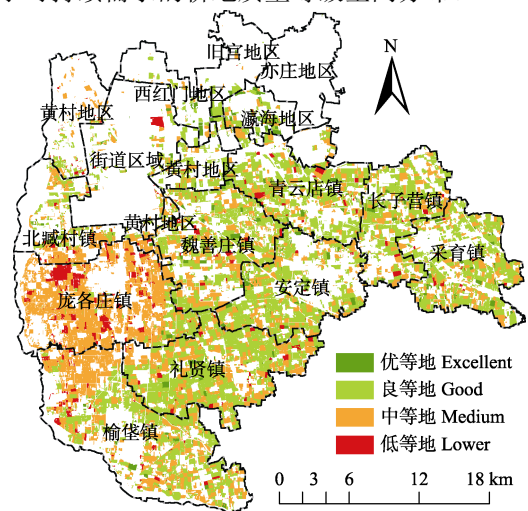


图5 基于可持续需求的耕地质量等级空间分布
Fig.5 Spatial distribution of arable land quality grade based on sustainable development demand

大兴区耕地质量主要以良等地和中等地为主，良等地占区域耕地面积的 52.30%，中等地占 40.39%，优等地和低等地所占比例较少，分别仅占耕地总面积的 3.03% 和 4.27%，大兴区没有差等地。大兴区优等地在各个乡镇均有少量分布，主要零星分布在青云店镇、魏善庄镇和礼贤镇，该区域土壤质地多为壤质，土体构型以通体壤为主，灌排及道路通达度高，且耕地生物特性状况较好，有利于农业生产，因此耕地质量等级相对较高。

耕地质量等级为良等地，主要分布在大兴区的东部、中部和南部地区，以采育镇、长子营镇、青云店镇、礼贤镇、魏善庄镇为主，这些区域虽然耕作条件和生物特性状况相对较好，土壤质地多为壤质，但是部分地区为砂质，土体构型以砂/黏/砂为主，蓄水保肥能力相对较差，因此耕地质量等级稍低。

中等地除了各乡镇均有些许分布外，主要分布庞各庄镇、榆垓镇的西北部；低等地主要分布在庞各庄镇的北部和南部。这些区域土壤质地多为砂质或黏质，剖面构型多以夹层质地和体层质地为主，蓄水保肥能力差，有机质含量较低，不利于农业生产，另外，耕地生物特性状况较差，因此，耕地质量等级相对较低。

3.4 不同需求条件下耕地质量评价结果对比分析

在不同需求条件下，对耕地质量评价结果进行分析比较（表 4）。在高产高效需求条件下，耕地质量主要以优等地和良等地为主，优等地占耕地总面积的 88.27%，良等地占耕地总面积的 11.73%。在绿色健康需求条件下，耕地质量以优等地和良等地为主，但是优等地占耕地总面积的比例比高产高效需求条件下优等地比例减少了 14.66%，良等地比例相应增加了 14.66%，这表明耕地健康状况对大兴区耕地质量具有较明显的影响。可持续发展需求条件下的耕地质量评价结果，与高产高效需求和绿色健康需求条件下的耕地质量评价结果相比，出现了较大变化，优等地仅占耕地总面积的 3.03%；良等地和中等地分别占耕地总面积的 52.30% 和 40.39%，两者面积均有较大增长；此外，还出现了低等地，占耕地总面积的 4.27%。这说明在当前化肥农药高投入和耕地生态环境不断恶化条件下，耕地生物特性对耕地质量的影响较大，已成为制约耕地质量提升的重要因素。因此从地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性 5 个维度评价耕地质量，符合人类对耕地资源可持续发展的需求，也符合国家耕地数量、质量、生态“三位一体”管理的需求。

表 4 不同需求条件下耕地质量评价结果

Table 4 Evaluation results of arable land quality under different demand

需求层次 Hierarchy of needs	%			
	优等地 Excellent	良等地 Good	中等地 Medium	低等地 Lower
高产高效 High yield, high efficiency	88.27	11.73	—	—
绿色健康 Green health	73.61	26.39	—	—
可持续发展 Sustainable development	3.03	52.30	40.39	4.27

4 讨论

耕地质量评价是一项复杂的、涉及自然因素和社会经济因素的综合评价，评价结果的客观性和实践性一直是人们关注的重点问题。本文在综合考虑耕地质量各影响因素的基础上，基于国家和公众对耕地资源的需求，构建了耕地质量评价体系，并对大兴区的耕地质量进行了评价，丰富了耕地质量评价理论，但仍存在不足：

1) 在评价体系构建中，所选指标能较好反映耕地质量各维度特征。按照指标选取的可行性原则，本文主要选择易获取的指标，而对较难获取或者在实践中花费较大的指标没有选用。由于土壤生物特性指标在采集过程中易受气候因素影响，因此本文仅采用了土壤蚯蚓数量这个指标，导致所选指标无法全面体现耕地生物特性，一定程度影响了耕地质量评价结果。

2) 本文构建的耕地质量评价指标体系涉及的指标种类较多，存在数据年份不一的现象；部分指标的分级标准不够细化。因此，在后续的评价过程中，尽量采用同一年份的最新数据，细化各指标的分级标准，使分级标准更细致、客观，增强评价结果的客观性和实用性。

3) 在不同需求层次下，国家和公众对耕地资源需求的变化会导致耕地质量评价的变化。基于高产高效需求的耕地质量评价体系主要从地形特征、土壤特性、耕作条件 3 个维度构建评价，以满足耕地管理中占补平衡的需要。新时期耕地质量评价和管理，不仅要满足占补平衡需求，同时要满足耕地绿色健康和可持续发展需求，因此，需要从地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性 5 个维度构建评价体系，以满足当前的需求，但是在评价过程中如何实现全国可比，仍需进一步深化研究。

5 结论

本文根据人类对耕地资源的需求层次变化、耕地利用系统组成因素及各因素之间的相互关系，按不同需求层次特征与耕地资源供给匹配方式，构建了地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性 5 个维度的耕地质量评价指标体系，并对北京市大兴区的耕地质量进行了评价。主要结论如下：

1) 高产高效需求条件下，大兴区主要以优等地和良等地为主，优等地占耕地总面积的 88.27%，良等地占 11.73%；从空间分布上看，优等地主要分布在大兴区的东部、东北部和中部地区，良等地主要分布在大兴区的西部和南部地区。

2) 绿色健康需求条件下，大兴区优等地占大兴区耕地总面积的比例为 73.61%，良等地占 26.39%；从空间分布上看，优等地主要分布在大兴区的东部、东北部和中部，良等地主要分布在大兴区的西部。

3) 可持续发展需求条件下，大兴区优等地占耕地总面积的 3.03%，良等地占 52.30%，中等地占 40.39%，低等地占 4.27%；从空间分布上看，优等地在各个乡镇均有少量分布，良等地，主要分布在大兴区的东部、中部和

南部, 中等地主要分布庞各庄镇、榆垓镇的西北部, 低等地主要分布在庞各庄镇的北部和南部。

对不同需求条件下耕地质量评价结果进行分析比较, 耕地健康状况和耕地生物特性已成为影响耕地质量提升的重要因素。从地形特征、土壤性状、耕作条件、耕地健康状况和耕地生物特性 5 个维度评价耕地质量, 符合人类对耕地资源可持续发展的需求, 也符合国家耕地数量、质量、生态“三位一体”管理的需求。

[参 考 文 献]

- [1] 朱德举. 中国耕地保护[M]. 北京: 中国大地出版社, 1997.
- [2] Kong Xiangbin. China must protect high-quality arable land[J]. *Nature*, 2014, 506(7486): 7.
- [3] 中华人民共和国中央人民政府. 《中共中央国务院关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》(中发〔2017〕4号)[EB/OL]. 新华社, 2017-01-23[2018-11-02]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-01/23/content_5162649.htm.
- [4] 中华人民共和国国土资源部. 农用地质量分等规程(GB/T28407-2012)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [5] 中华人民共和国国土资源部. 农用地定级规程(GB/T28405-2012)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [6] 中华人民共和国环境保护部. 土壤环境质量标准(GB 15618-2008)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] 中华人民共和国农业部. 耕地质量等级(GB/T33469-2016)[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [8] 中华人民共和国农业部. 耕地地力调查与质量评价技术规范(NY/T1634-2008)[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [9] 陈百明, 王秀芬. 耕地质量建设的生态与环境理念[J]. *中国农业资源与区划*, 2013, 34(1): 1-4.
Chen Baiming, Wang Xiufen. The ecological and environmental idea of cultivated land quality construction[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2013, 34(1): 1-4. (in Chinese with English abstract)
- [10] 方斌, 吴次芳, 吕军. 耕地质量多功能技术评价指标研究: 以平湖市为例[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 177-180.
Fang Bin, Wu Cifang, Lü Jun. Multifunctional technology evaluation indicator of cultivated land quality: A case study of Pinghu city[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 177-180. (in Chinese with English abstract)
- [11] 杜国明, 刘彦随, 于凤荣, 等. 耕地质量观的演变与再认识[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14): 243-249.
Du Guoming, Liu Yansui, Yu Fengrong, et al. Evolution of concepts of cultivated land quality and recognition[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(14): 243-249. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 等. 中国耕地质量状况分析[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(17): 3557-3564.
Chen Yinjun, Xiao Bilin, Fang Linna, et al. The quality analysis of cultivated land in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(17): 3557-3564. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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.
Shen Renfang, Chen Meijun, Kong Xiangbin, et al. Conception and evaluation of quality of arable land and strategies for its management[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(6): 1210-1217. (in Chinese with English abstract)
- [14] 孔祥斌. 粮食安全: 不能忽视耕地的作用: 对茅于軾先生的“18 亿亩红线与粮食安全无关”的回应[J]. *中国土地*, 2011(6): 57-60.
- [15] 张凤荣, 王印传, 齐伟. 耕地资源持续利用管理评价指标体系初探[J]. *地理与地理信息科学*, 2002, 18(1): 50-53.
Zhang Fengrong, Wang Yinchuan, Qi Wei. Research on the indicators for evaluating sustainable farmland use[J]. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(1): 50-53. (in Chinese with English abstract)
- [16] 孔祥斌, 张蚌蚌, 温良友, 等. 基于要素—过程—功能的耕地质量理论认识及其研究趋势[J]. *中国土地科学*, 2018, 32(9): 14-20.
Kong Xiangbin, Zhang Bangbang, Wen Liangyou, et al. Theoretical framework and research trends of cultivated land quality based on elements-process-function[J]. *China Land Science*, 2018, 32(9): 14-20. (in Chinese with English abstract)
- [17] 温良友, 孔祥斌, 辛芸娜, 等. 对耕地质量内涵的再认识[J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24(3): 156-164.
Wen Liangyou, Kong Xiangbin, Xin Yunna, et al. Evolution of cultivated land quality connotation and its recognition[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(3): 156-164. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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.
Xin Yunna, Fan Shuyin, Kong Xiangbin, et al. Evaluation of cultivated land quality based on four quality dimensions[J]. *Resources Science*, 2018, 40(4): 737-747. (in Chinese with English abstract)
- [19] 奉婷, 张凤荣, 李灿, 等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(1): 200-210.
Feng Ting, Zhang Fengrong, Li Can, et al. Spatial distribution of prime farmland based on cultivated land quality comprehensive evaluation at county scale[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(1): 200-210. (in Chinese with English abstract)

- [20] 钱凤魁, 王秋兵, 李娜. 基于耕地质量与立地条件综合评价的高标准基本农田划定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 225—232.
Qian Fengkui, Wang Qiubing, Li Na. High-standard prime farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 225—232. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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.
Ma Ruiming, Ma Renhui, Han Dongmei, et al. Construction of cultivated land quality evaluation system in provincial level based on multilevel indicators[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(16): 249—257. (in Chinese with English abstract)
- [22] Andrews S S, Karlen D L, Cambardella C A, et al. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method[J]. Soil Science Society of America Journal, 2008, 68(6): 1945—1962.
- [23] Bouma J. Land quality indicators of sustainable land management across scales[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, 88(2): 129—136.
- [24] Jones A J. Methods for assessing soil quality[J]. Scientia Horticulturae, 1996(4): 355—356.
- [25] 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.
- [26] Kumar S, Garg A K, Aulakh M S. Effect of conservation agriculture practices on physical, chemical and biological attributes of soil health under soybean-rapeseed rotation[J]. Agricultural Research, 2016, 5(2): 145—161.
- [27] Lal R. Soil health and carbon management[J]. Food & Energy Security, 2016, 5(4): 212—222.
- [28] Coyle C, Creamer R E, Schulte R P O, et al. A functional land management conceptual framework under soil drainage and land use scenarios[J]. Environmental Science & Policy, 2016, 56: 39—48.
- [29] O'Sullivan L, Creamer R E, Fealy R, et al. Functional land management for managing soil functions: A case-study of the trade-off between primary productivity and carbon storage in response to the intervention of drainage systems in Ireland[J]. Land Use Policy, 2015, 47: 42—54.
- [30] Schulte R P O, Creamer R E, Donnellan T, et al. Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture[J]. Environmental Science & Policy, 2014, 38: 45—58.
- [31] Bünemann E K, Bongiorno G, Bai Z, et al. Soil quality: A critical review[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2018, 120: 105—125.
- [32] Fine A K, Es H M V, Schindelbeck R R. Statistics, scoring functions, and regional analysis of a comprehensive soil health database[J]. Soil Science Society of America Journal, 2017, 81(3): 589—601.
- [33] Di Gregorio, Antonio, Louisa J M Jansen. Land cover classification system (LCCS): Classification concepts and user manual[R]. FAO, Rome, 1998.
- [34] Legaz B V, Souza D M D, Teixeira R F M, et al. Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: An evaluation of models[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 140(2): 502—515.
- [35] Kerri S, Belina K M. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 40(2): 359—369.
- [36] Danalatos N G. Quantified Analysis of Selected Land Use Systems in the Larissa Region, Greece[D]. Wageningen: Wageningen University, 1993.
- [37] Zonneveld, Isaak S. Land Ecology: An Introduction to Landscape Ecology as A Base for Land Evaluation, Land Management and Conservation[M]. Amsterdam: SPB Academic Publish, 1996.
- [38] 宇振荣, 邱建军, 王建武, 等. 土地利用系统分析方法与实践[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [39] 盛丰. 康奈尔土壤健康评价系统及其应用[J]. 土壤通报, 2014, 45(6): 1289—1296.
Sheng Feng. Introduction and application of cornell soil health assessment[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(6): 1289—1296. (in Chinese with English abstract)
- [40] 路婕, 李玲, 吴克宁, 等. 基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 323—329.
Lu Jie, Li Ling, Wu Kening, et al. Cultivated land comprehensive quality evaluation based on agricultural land classification and soil environmental quality evaluation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(2): 323—329. (in Chinese with English abstract)
- [41] 吕贻忠, 李保国主编. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [42] 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.
Wang Fengchun. The Research on the Evaluation and Spatial Variability of Soil Heavy Metals and Nutrients: A Case Study in Daxing District of Beijing[D]. Beijing: Capital Normal University, 2009. (in Chinese with English abstract)

Construction and application of arable land quality evaluation system based on sustainable development demand

Wen Liangyou^{1,2}, Kong Xiangbin^{1,2*}, Zhang Bangbang³, Sun Xiaobing^{1,2}, Xin Yunna^{1,2}, Zhang Qingpu^{1,2}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory of Farmland Quality and Monitoring, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China;

3. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The evaluation of arable land quality is one of the important means to protect and manage arable land. In order to meet the needs of current arable land management work and protect the safety of national arable land resources, it is necessary to establish an arable land quality index system to evaluate the arable land quality. Based on the change of human demand for arable land resources, the components of arable land use system and the relationship between various components of arable land use system, this paper systematically expounded the theoretical framework of arable land quality evaluation, and the evaluation index system of arable land quality was established by the matching of different demand hierarchy characteristics of human and supply of arable land resources. The evaluation index system of arable land quality consisted of five dimensions: geology characteristics, soil traits, farming conditions, health status of arable land and biological characteristics of arable land. According to the different characteristics of each dimension of arable land quality, suitable evaluation methods were selected. The three dimensions of geology characteristics, soil traits and farming conditions were calculated by using the weighted additive. The health status of arable land is calculated by the “1+X” cumulative model; the biological characteristics of arable land were calculated by coefficients. Then, the quality of arable land for high yield and high efficiency demand was evaluated by the method of additive, and the quality of arable land for green health and sustainable development was evaluated by the method of revised. The quality of arable land in Daxing District of Beijing was evaluated by using multi-source and multi-scale data. The results showed that the evaluation results of arable land quality in Daxing District were divided into five grades at equal intervals of 20 points. The arable land quality index [80,100] was excellent, [60, 80) was good, [40, 60) was medium, [20, 40) was lower, and [0, 20) was poor. Under the conditions of high yield and high efficiency, the excellent area accounted for 88.27% of the total arable land, the good accounted for 11.73%. Under the condition of green health demand, the excellent accounted for 73.61% of the total arable land, and the good accounted for 26.39%. Under the conditions of sustainable development demand, the excellent accounted for 3.03% of the total arable land, and the good accounted for 52.30%, medium accounted for 40.39%, and lower accounted for 4.27%. From the perspective of space, the results of arable land quality evaluation of high yield, high efficiency, green health and sustainable development demand were all high in the east and low in the west. By comparing the results of arable land quality evaluation under different demand conditions, the area of arable land in excellent is decreasing, while the area of arable land in good, medium and lower is increasing. The health status of arable land and the biological characteristics of arable land have become important factors affecting the quality improvement of arable land. Research conclusions are that the evaluation index system of arable land quality based on sustainable development demand can provide effective support for the evaluation and management of arable land, and is more in line with the national quantity, quality and ecological management needs of arable land.

Keywords: land use; arable land quality; grading; indicator system; integrated algorithm; Daxing District