中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

东北典型黑土区耕地质量时空变化研究

姚东恒，裴久渤，汪景宽

引用本文:
姚东恒, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地质量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 104–114.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190485

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

多尺度下的南方山地丘陵区耕地质量空间自相关分析——以江西省黎川县为例

Multi-scale spatial autocorrelation analysis of cultivated land quality in China's southern hillside areas: A case study of Lichuan County, Jiangxi Province

中国生态农业学报. 2018, 26(2): 263–273 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170513

多尺度下崇义县耕地质量空间分布差异特征研究

Spatial distribution of cultivated land quality at different scales in Chongyi County

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(4): 601–612 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180891

华北集约化农区耕地土壤肥力时空演变特征——以河北省曲周县为例

Spatiotemporal characteristics of cultivated soil fertility in the intensive agricultural region of North China: A case study of Quzhou County in Hebei Province

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(12): 1857–1869 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190397

基于限制程度排序的卢龙县耕地质量提升重点区域划定研究

Delineation of key areas of cultivated land quality improvement in Lulong County based on restriction degree

中国生态农业学报. 2017, 25(3): 429–440 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160747

三峡库区农村宅基地复垦耕地地力评价*--以重庆市涪陵区为例

Evaluation of farmland productivity after rural homestead reclamation in the Three Gorges Reservoir Area – A case study of Fuling District, Chongqing City

中国生态农业学报. 2015(3): 365–372 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.141122

中国生态农业学报(中英文) 2020 年 1 月 第 28 卷 第 1 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jan. 2020, 28(1): 104−114

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190485

姚东恒, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地质量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 104−114
YAO D H, PEI J B, WANG J K. Temporal-spatial changes in cultivated land quality in a black soil region of Northeast China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(1): 104−114

东北典型黑土区耕地质量时空变化研究*

姚东恒, 裴久渤**, 汪景宽

(沈阳农业大学土地与环境学院/土肥资源高效利用国家工程实验室/农业部东北耕地保育重点实验室 沈阳 110866)

摘 要: 为揭示东北典型黑土区耕地质量时空变化特征, 本研究遵循《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)国家标准, 在利用特尔菲法选取 16 个评价指标、层次分析法确定评价指标权重的基础上, 建立了东北典型黑土区耕地质量评价指标体系, 借助 ArcGIS 软件对研究区 2008 年和 2018 年耕地质量进行同一指标体系和同一分级标准的耕地质量评价, 旨在掌握研究区 10 年间的耕地质量时空变化特征, 探究耕地质量变化原因。结果表明: 东北典型黑土区耕地质量 2008 年以中低等地为主, 平均耕地质量等级为 5.14, 2018 年以中高等地为主, 平均耕地质量等级为 3.92, 10 年间东北典型黑土区耕地质量等级提升了 1.22 个等级; 其中, 1~4 等地面积均有增加, 5~10 等地面积均减少, 10 年间研究区评价单元耕地质量等级提升最多为 8 个等级, 下降最多为 7 个等级, 耕地质量等级提升的评价单元总面积是等级下降评价单元总面积的 3.5 倍。10 年间东北典型黑土区的中西部和西北部耕地质量上升较为明显, 而其南部和东北部质量下降的耕地分布较多。本研究规范了研究区耕地质量时空对比分析的依据, 合理揭示了其时空变化特征, 为该区域今后耕地质量提升工作指明了方向, 对今后进一步可持续利用和管理黑土地具有积极意义。

关键词: 国家标准; 耕地质量; 评价指标体系; 分级标准; 东北典型黑土区

中图分类号: S158.9 开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Temporal-spatial changes in cultivated land quality in a black soil region of Northeast China*

YAO Dongheng, PEI Jiubo**, WANG Jingkuan

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University / National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources / Key Laboratory of Northeast Cultivated Land Conservation of Ministry of Agriculture, Shenyang 110866, China)

Abstract: Temporal-spatial variations in cultivated land quality in a typical black soil region in Northeast China were explored with 16 evaluation indices by means of the Delphi method, with weights determined by an analytic hierarchy process based on the National Standard of Cultivated Land Quality Grade (GB/T 33469—2016). ArcGIS software was used to evaluate the quality of cultivated land in the region using the same system and the same grading standard between 2008 and 2018. The goal was to identify temporal and spatial changes in cultivated land quality in the study area during the past 10 years, and the rea-

* 国家重点研发计划课题(2017YFD0200604)、国家自然科学基金项目(41807086, 41671293)、辽宁省自然科学基金项目(20170540799)和沈阳农业大学博士启动基金(880416042, 880416020)资助

** 通信作者: 裴久渤, 主要从事土壤肥力与耕地质量方面研究。E-mail: peijiubo@syau.edu.cn
姚东恒, 主要从事耕地资源管理方面研究。E-mail: 1377648109@qq.com

收稿日期: 2019-07-02 接受日期: 2019-10-30

* This study was supported by the National Key R&D Program of China (2017YFD0200604), the National Natural Science Foundation of China (41807086, 41671293), the Natural Science Foundation of Liaoning Province (20170540799) and the Doctoral Research Start-Up Funding of Shenyang Agricultural University (880416042, 880416020).

** Corresponding author, E-mail: peijiubo@syau.edu.cn

Received Jul. 2, 2019; accepted Oct. 30, 2019

sons for changes in the cultivated land quality. The results showed that the quality of cultivated land in the study region was dominated by medium- and low-level land in 2008, with an average cultivated land quality grade of 5.14. In 2018, the quality of cultivated land was mainly in medium- and high-level land, with an average cultivated land quality grade of 3.92. Over the past 10 years, the quality increased by 1.22. The area of first- to fourth-grade cultivated land had increased, and the area of fifth- to tenth-grade land had decreased. Meanwhile, the cultivated land grade rose 8 levels at most, and fell 7 levels most. The area of cultivated land that increased its grade was 3.5 times that of the land that experienced a decrease in grade. The quality of cultivated land in the mid-west and northwest regions of the study area increased significantly, while the south and northeast saw more decrease. This study standardized the basis of a temporal-spatial comparison analysis of cultivated land quality in the study area and revealed temporal-spatial variation characteristics of the study area, providing direction for improving cultivated land quality and sustainably utilizing and managing black soil in the future.

Keywords: National standard; Cultivated land quality; Evaluation index system; Grading standard; Typical black soil region in Northeast China

土地是人类赖以生存和发展的物质基础。耕地是土地资源中极为重要的一部分，良好的耕地质量是保证粮食生产安全及农业可持续发展的关键[1]。黑土是耕地资源中最宝贵的土壤资源，是世界公认的最肥沃的土壤，具有质地疏松、肥力高、供肥能力强的特点[2]。黑土资源非常有限，而且黑土的形成极为缓慢，每形成 1 cm 厚的黑土需要大约 200~400 年的时间[3]。全球黑土区仅有 4 片，其中 1 片就坐落于中国东北[4]。

东北典型黑土区坐落于东北平原中部，是我国重要的农业生产区之一，提供了全国 33%以上的玉米产量和约 50%的大豆产量[5]，对全国粮食安全战略起到举足轻重的作用，是国家粮食安全的“稳压器”和“压舱石”[6-7]。随着我国人口快速增长，经济、技术不断发展带来的工业化和城市化过程中非农用地扩张以及长期大规模的耕地开发，再加之沟蚀[8]等自然因素和人为不合理利用，造成东北典型黑土区黑土资源严重退化[9]，黑土层变薄[10]，耕地质量每况愈下的趋势大有增加，面临如此众多的黑土问题和复杂的黑土形势，加强黑土地质量提升与保护工作是重中之重[11]。近年来国家高度重视东北黑土地保护问题，陆续实施了一系列黑土地保护政策，依据黑土地保护地方性法规，开展黑土地治理工程。

2016 年底，农业农村部颁布了《耕地质量调查监测与评价办法》(农业农村部令 2016 年第 2 号)和《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)国家标准(以下简称《国标》)，于 2017 年开展了新一轮全国耕地质量评价工作。在《国标》出台前，耕地质量评价指标多样、标准不同、分级差异大、可比性差，很难对一个区域进行同一标准和指标体系下不同时期的耕地质量评价结果对比，探讨耕地质量时空变化也缺乏科学依据。因此，在《国标》发布以后，新一轮东北典型黑土区耕地质量评价结果与上一轮评价结果相比有何变化？结果如何对比？这些问题都需要进行科学和深入地研究。基于此，本研究遵循《国标》建立评价指标体系，对东北典型黑土区两次耕地质量调查(2008 年和 2018 年)结果进行同一指标体系、同一标准耕地质量评价，并进行时空变化研究，旨在较为科学地摸清东北典型黑土区耕地质量的时空变化情况，为今后东北典型黑土区耕地管理、保护与利用提供合理依据。

1　研究区域概况与数据来源

1.1　研究区概况

东北典型黑土区介于 123°32′~128°19′E，42°23′~51°00′N，位于东北平原中部，纵贯黑吉辽 3 省(图 1)，土壤类型主要以黑土和草甸土为主，地貌类型以平原为主，目前已开垦的耕地面积约 800 万 hm^2。该区属于温带季风气候，全区平均气温 7~11 ℃，冬季寒冷漫长，春季多风少雨，夏季气温较高；冬寒夏暖，无霜期较短；年降水量在 350~1 200 mm，大部分地区集中在 450~850 mm，整体趋势自东向西逐渐递减；太阳辐射变化在 410~607 $kJ·cm^{-2}$，受云量和季节影响，太阳辐射具有季节性变化，夏季最大，春秋次之，冬季最少；气候南北差异较大，从北到南分为寒温带、中温带和暖温带，以中温带为主。

1.2　数据来源与处理

本研究数据主要来自东北区各县域耕地质量评价项目 2008 年和 2018 年的采样点数据、图件数据、相关文字资料等。其中采样点数据采集 0~20 cm 土层的土壤样品，按五点法随机采集后按四分法进行混合。立地条件、自然属性、田间基础设施情况等资料通过采样时调查获取，土壤 pH、有机质、有效磷、容重等指标参考《土壤农化分析》进行分析测

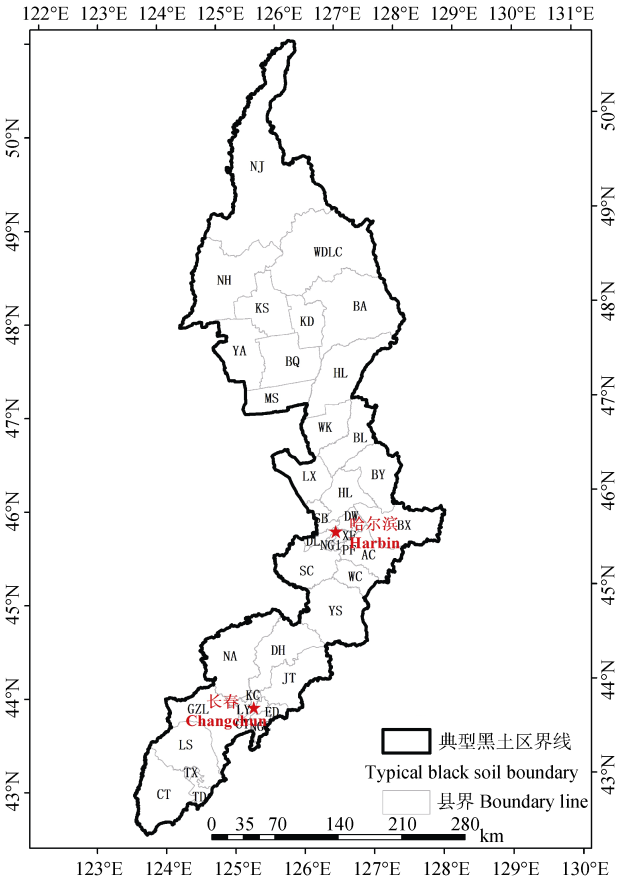

图 1 东北典型黑土区行政区划图

Fig. 1 Administrative map of the typical black soil region in Northeast China

NJ: 嫩江县; WDLC: 五大连池市; BA: 北安市; NH: 讷河市; KS: 克山县; KD: 克东县; YA: 依安县; BQ: 拜泉县; HL: 海伦市; MS: 明水县; WK: 望奎县; BL: 北林区; BY: 巴彦县; LX: 兰西县; HL: 呼兰区; SB: 松北区; DW: 道外区; BX: 宾县; XF: 香坊区; DL: 道里区; NG1: 南岗区; PF: 平房区; AC: 阿城区; SC: 双城市; WC: 五常市; YS: 榆树市; DH: 德惠市; NA: 农安县; JT: 九台市; KC: 宽城区; LY: 绿园区; GZL: 公主岭市; ED: 二道区; NG: 南关区; CY: 朝阳区; LS: 梨树县; TX: 铁西区; TD: 铁东区; CT: 昌图县。NJ: Nenjiang County; WDLC: Wudalianchi City; BA: Bei'an City; NH: Nehe City; KS: Keshan County; KD: Kedong County; YA: Yi'an County; BQ: Baiquan County; HL: Hailun City; MS: Mingshui County; WK: Wangkui County; BL: Beilin District; BY: Bayan County; LX: Lanxi County; HL: Hulan District; SB: Songbei District; DW: Daowai District; BX: Binxian County; XF: Xiangfang District; DL: Daoli District; NG1: Nangang District; PF: Pingfang District; AC: Acheng District; SC: Shuangcheng City; WC: Wuchang City; YS: Yushu City; DH: Dehui City; NA: Nong'an County; JT: Jiutai City; KC: Kuancheng District; LY: Luyuan District; GZL: Gongzhuling City; ED: Erdao District; NG: Nanguan District; CY: Chaoyang District; LS: Lishu County; TX: Tiexi District; TD: Tiedong District; CT: Changtu County.

试[12]。共计获取 2008 年 7 456 个采样点，2018 年 10 583 个采样点。图件数据包括 2017 年 1∶500 000 的土地利用现状图、土壤图、地貌类型图等。在 ArcGIS 中构建空间数据库，将所有数据统一转换为 Gauss-Kruger 投影，2000 国家大地坐标系，利用叠加分析功能，将土壤图、土地利用现状图、行政区划图叠加形成的图斑作为评价单元[13]，最终形成评价单元 11 363 个。该方法优点是考虑全面、综合性强，同一评价单元内土壤类型、土地利用类型相同，空间界限和隶属关系明确，既满足了对耕地质量做出评价，又便于耕地利用与管理[14]。此外，为了避免不同时期由于耕地图斑数量差异引起的耕地质量对比分析的误差，本研究将两个时期采样点属性统一赋值到 2017 年土地利用现状图耕地图斑上，便于反映同一个耕地图斑耕地质量的差异。

利用 ArcGIS 软件制作 2008 年和 2018 年的采样点位分布图(图 2)，利用反距离加权(IDW)插值法对 pH、有机质和耕层容重等数值型数据进行插值，形成 100 m×100 m 栅格图[15]，再通过空间分析功能模块下的区域统计功能，将插值结果赋值到评价单元[16]；对质地构型、耕层质地和障碍因素等概念型数据，采用“以点代面”(在 ArcGIS 9.3 中 Spatial Join 功能下按空间位置进行关联)方法，将点位图与评价单元图进行属性关联，为评价单元赋值[17-18]。

2 研究方法

2.1 建立评价指标体系及评价指标权重确定

依据《国标》，对 2008 年和 2018 年数据建立同一评价指标体系，即采用特尔斐法，遵循基础性指标和区域补充性指标相结合的原则，从《国标》备选的指标中选取 16 个评价指标，包括地形部位、有效土层厚度、有机质含量以及土壤养分状况下的有效磷和速效钾等 14 个基础性指标及耕层厚度、pH 2 个区域性指标[19]；利用层次分析法，根据各要素之间的关系，构建层次分析模型，结合特尔斐法计算各指标的组合权重[16,20]。各层次指标及权重如表 1 所示。

2.2 计算评价指标隶属度

《国标》中选取的指标可以分为定量和定性两类指标，根据模糊数学理论，将选取的定量指标如有效土层厚度、土壤容重、有机质等与耕地质量的关系分为戒上型函数、戒下型函数、直线型函数、峰型函数[19]，采取特尔菲法对定量指标的实测值评估出相应的隶属度，利用统计分析软件拟合隶属函数(表 2)；定性指标如地形部位、耕层质地、生物多样性等，利用特尔菲法确定每一种定性指标的隶属度(表 3)。

2.3 计算耕地质量综合指数及划分质量等级

在采取特尔菲法和层次分析法得到评价指标的权重及隶属度的基础上，依据《国标》采用累加法计算每个评价单元的耕地质量综合指数(IFI)，即每

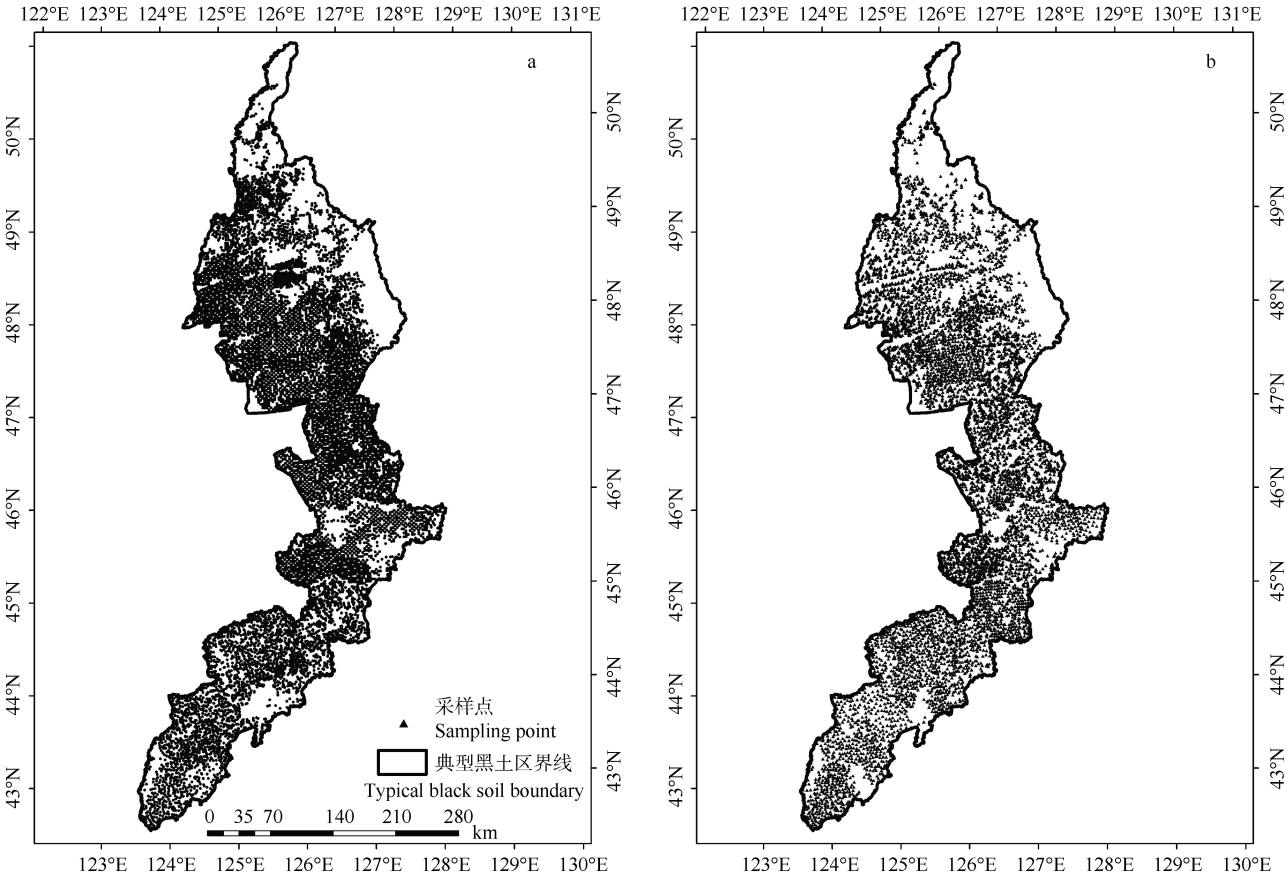

图 2　2018 年(a)和 2008 年(b)东北典型黑土区采样点分布图

Fig. 2　Sampling points distribution map of typical black soil in Northeast China in 2018 (a) and 2008 (b)

表 1　东北典型黑土区耕地质量评价指标体系及指标权重

Table 1　Indexes and weights of cultivated land quality evaluation system of the typical black soil region in Northeast China

目标层 Objective	准则层 Criterion	权重 Weight	指标层 Index	组合权重 Combination weight
耕地质量 Cultivated land quality	立地条件 Site condition	0.171 9	地形部位 Terrain position	0.106 2
			农田林网化程度 Degree of field forest network	0.065 7
	剖面性状 Profile characteristics	0.246 9	有效土层厚度 Effective soil layer thickness	0.082 3
			质地构型 Texture configuration	0.059 1
	耕层理化性状 Arable layer physical and chemical property	0.184 4	障碍因素 Obstacle factor	0.055 2
			耕层厚度 Arable layer thickness	0.050 3
			耕层质地 Arable layer texture	0.076 2
			土壤容重 Soil bulk density	0.044 1
			pH	0.064 1
	养分状况 Nutrient status	0.165 6	有机质 Organic matter	0.068 3
			有效磷 Available P	0.053 8
			速效钾 Available K	0.043 5
	健康状况 Health status	0.071 9	生物多样性 Biodiversity	0.036 5
			清洁程度 Cleaning degree	0.035 3
	土壤管理 Soil management	0.159 4	灌溉能力 Irrigation capacity	0.109 9
			排水能力 Drainage capability	0.049 5

个评价单元的综合评价得分。IFI 值越大说明该评价单元的耕地质量越好。耕地质量综合指数(IFI)计算公式:

$$\mathrm{IFI}=\sum(C_i \times F_i) \tag{1}$$

式中：IFI 为耕地质量综合指数(integrated fertility index), C_i 为第 i 个评价指标的组合权重, F_i 为第 i 个评价指标的隶属度。

表 2 东北典型黑土区耕地质量评价定量指标隶属函数

Table 2 Membership functions of quantitative indexes of cultivated land quality evaluation in the typical black soil region of Northeast China

函数类型 Function type	指标 Index	隶属函数 Function	C	Ut
戒上型 Upper limit	有效土层厚度 Effective soil layer thickness (cm)	$Y=1/[1+0.000\,213\times(U-C)^2]$	100.002 147	$U_{t1}=0$, $U_{t2}=100.002\,147$
戒上型 Upper limit	耕层厚度 Arable layer thickness (cm)	$Y=1/[1+0.002\,322\times(U-C)^2]$	30.006 247	$U_{t1}=0$, $U_{t2}=30.006\,247$
戒上型 Upper limit	有机质 Organic matter ($g\cdot kg^{-1}$)	$Y=1/[1+0.000\,446\times(U-C)^2]$	60.000 048	$U_{t1}=0$, $U_{t2}=60.000\,048$
戒上型 Upper limit	有效磷 Available P ($mg\cdot kg^{-1}$)	$Y=1/[1+0.000\,396\times(U-C)^2]$	60.009 908	$U_{t1}=0$, $U_{t2}=60.009\,908$
戒上型 Upper limit	速效钾 Available K ($mg\cdot kg^{-1}$)	$Y=1/[1+0.000\,014\times(U-C)^2]$	300.084 871	$U_{t1}=0$, $U_{t2}=300.084\,871$
峰型 Peak	pH	$Y=1/[1+0.209\,720\times(U-C)^2]$	6.776 050	$U_{t1}=0.22$, $U_{t2}=13.32$
峰型 Peak	土壤容重 Soil bulk density ($g\cdot cm^{-3}$)	$Y=1/[1+8.696\,016\times(U-C)^2]$	1.242 811	$U_{t1}=0.22$, $U_{t2}=2.26$

Y 表示指标隶属度, U 表示样品观测值, C 表示指标标准值, U_{t1}、U_{t2} 表示指标下、上限值。Y indicates membership degree of index. U indicates sample observation value. C indicates standard value of index. U_{t1} and U_{t2} indicate the lower and upper limit value of index.

表 3 东北典型黑土区耕地质量评价定性指标隶属度

Table 3 Membership degrees of qualitative indexes of cultivated land quality evaluation in the typical black soil region of Northeast China

评价指标 Evaluation index	属性 Attribute	隶属度 Membership degree	评价指标 Evaluation index	属性 Attribute	隶属度 Membership degree
地形部位 Terrain position	平原中阶 Middle plain terrace	1.00	障碍因素 Obstacle factor	无 Nothing	1.00
	宽谷盆地 Broad valley basin	0.96		障碍层次 Obstacle layer	0.71
	平原高阶 Upper plain terrace	0.89		渍潜 Waterlog	0.65
	丘陵下部 Lower part of hill	0.78		瘠薄 Barren	0.56
	丘陵中部 Middle part of hill	0.77		酸化 Acidification	0.55
	平原低阶 Lower plain terrace	0.75		盐碱 Saline-alkaline	0.40
	山间盆地 Intermontane basin	0.74	耕层质地 Arable layer texture	中壤 Medium loam	1.00
	山地坡下 Lower part of mountain slope	0.64		轻壤 Light loam	0.88
	丘陵上部 Upper part of hill	0.59		重壤 Heavy loam	0.84
	山地坡中 Middle part of mountain slope	0.54		砂壤 Sandy loam	0.71
	山地坡上 Upper part of mountain slope	0.43		黏土 Clay soil	0.60
质地构型 Texture configuration	上松下紧型 Upper loose lower tight	1.00		砂土 Sandy soil	0.48
	海绵型 Spongy	0.94	生物多样性 Biodiversity	丰富 Abundant	1.00
	夹层型 Sandwich	0.63		一般 General	0.69
	紧实型 Compact	0.59		不丰富 Deficient	0.41
	上紧下松型 Upper tight lower loose	0.53	农田林网化程度 Degree of field forest network	高 High	1.00
	薄层型 Thin layer	0.52		中 Middle	0.79
	松散型 Loose	0.38		低 Low	0.53
灌溉能力 Irrigation capacity	充分满足 Fully satisfy	1.00	排水能力 Drainage capability	充分满足 Fully satisfy	1.00
	满足 Satisfy	0.85		满足 Satisfy	0.83
	基本满足 Basically satisfy	0.61		基本满足 Basically satisfy	0.59
	不满足 Not satisfy	0.40		不满足 Not satisfy	0.30
清洁程度 Cleaning degree	清洁 Cleaning	1.00			
	尚清洁 Still cleaning	0.72			

依据《国标》使用等距法对 IFI 进行 10 个等级划分, 确定耕地质量等级(表 4), 其中, 1~3 等地为高等地, 4~6 等地为中等地, 7~10 等地为低等地。以 2008 年作为基准年进行 IFI 评级, 从而分别得到 2008 年和 2018 年研究区每个评价单元的耕地质量等级结果。研究区平均耕地质量等级采用面积加权进行计算:

$$\mathrm{AI}=\sum(I\times A)/\mathrm{SA} \tag{2}$$

式中: AI 为平均耕地质量等级, I 为耕地质量等级, A 为每个等级耕地所占面积, SA 为区域总面积。

表 4　东北典型黑土区耕地质量综合指数分级
Table 4　Classification of comprehensive index of cultivated land quality in typical black soil areas in Northeast China

耕地质量 Cultivated land quality	等级 Grade	耕地质量综合指数 Integrated fertility index
高等 High quality	1	>0.828 4
	2	0.807 0~0.828 4
	3	0.785 6~0.807 0
中等 Medium quality	4	0.764 2~0.785 6
	5	0.742 8~0.764 2
	6	0.721 4~0.742 8
低等 Low quality	7	0.700 0~0.721 4
	8	0.678 6~0.700 0
	9	0.657 2~0.678 6
	10	≤0.657 2

此外，为保证评价结果科学合理，需要对评价形成的耕地质量等级结果进行审核验证，使其符合实际，以便更好地指导农业生产与管理。本研究主要采用实地验证的方法，即以 2018 年评价得到的耕地质量等级分布图为依据，随机或系统地选取各等级耕地的验证样点，逐一对各评价区实际样点进行调查分析，实地获取不同等级耕地的自然及社会经济信息指标数据，通过相应指标的差异，综合分析评价结果的科学合理性。

3　结果与分析

3.1　东北典型黑土区耕地质量等级数量变化分析

分别对 2008 年和 2018 年东北典型黑土区耕地质量进行评价，结果如表 5 所示。2008 年东北典型黑土区中面积最大的是 5 等地，面积为 185.92 万 hm^2，占总面积的 22.39%；其次是 6 等地、4 等地和 7 等地，这 4 个等级耕地面积共占东北典型黑土区耕地总面积的 3/4。2018 年东北典型黑土区中 4 等地面积最大，为 201.79 万 hm^2；其次是 3 等地、5 等地和 2 等地，这 4 个等级耕地面积也占研究区耕地总面积的 3/4。在其余的 1/4 耕地中，2008 年的 3 等地面积最大，为 75.08 万 hm^2，占比 9.04%；8 等地次之，面积为 55.43 万 hm^2，占总面积的 6.68%；随后依次为 2 等地、1 等地和 9 等地，10 等地面积最少，为 2.96 万 hm^2，占 0.36%。2018 年的 6 等地面积最多，为 70.56 万 hm^2，占总面积的 8.5%；其次是 1 等地、7 等地、8 等地和 9 等地，10 等地占地面积最小，占比 0.04%。东北典型黑土区 2008 年高等地面积为 141.14 万 hm^2，占比 16.99%；2018 年高等地面积 341.15 万 hm^2，占比 41.09%。2008 年中等地为 500.79 万 hm^2，占比 60.32%；2018 年中等地面积 418.47 万 hm^2，占比 50.4%。2008 年低等地面积为 188.33 万 hm^2，占比 22.69%；2018 年低等地面积 70.64 万 hm^2，占比 8.51%。对研究区 2008 年和 2018 年平均耕地质量等级 AI 进行计算，最终得出 2008 年平均耕地质量等级为 5.14，2018 年为 3.92，平均耕地质量等级提升了 1.22 个等级。

表 5　2008 和 2018 年东北典型黑土区不同质量等级耕地面积及占比
Table 5　Areas and proportions of different quality grades of cultivated land in the typical black soil areas in Northeast China in 2008 and 2018

等级 Grade		2008 面积 Area (10^4hm^2)	2008 占比 Percent (%)	2018 面积 Area (10^4hm^2)	2018 占比 Percent (%)
高等地 High level	1	26.72	3.22	63.26	7.62
	2	39.34	4.73	113.94	13.72
	3	75.08	9.04	163.95	19.75
中等地 Medium level	4	147.09	17.72	201.79	24.30
	5	185.92	22.39	146.12	17.60
	6	167.78	20.21	70.56	8.50
低等地 Low level	7	116.72	14.06	50.73	6.11
	8	55.43	6.68	17.35	2.09
	9	13.22	1.59	2.22	0.27
	10	2.96	0.36	0.34	0.04
总计 Total		830.26	100.00	830.26	100.00
平均质量等级 Average grade			5.14		3.92

2008—2018 年间东北典型黑土区 1~4 等地面积均有显著增加，1 等地在 2008 年占总面积的 3.22%，到 2018 年增长到 7.62%，面积增长近 40 万 hm^2；2 等地由 39.34 万 hm^2 增加到 113.94 万 hm^2，面积增加近 10%；3 等地增加的幅度最大，面积从 75.08 万 hm^2 增加到 163.95 万 hm^2，涨幅 10.71%；4 等地增加 54.7 万 hm^2，占比增加 6.58%。相反，在这期间 5~10 等地面积均有不同程度的降低，5 等地面积减少 39.8 万 hm^2，下降近 5%；6 等地下降最多，面积减少 97.22 万 hm^2，下降达 10%以上；7~10 等地面积分别减少 7.95%、4.59%、1.32%和 0.32%。由此可以看出东北典型黑土区 2018 年较 2008 年耕地质量明显提升，主要耕地类型由中低等地转为中高等地，等级偏高的 1~4 等地 2018 年较 2008 年均有增加，而等级偏低的 5~10 等地面积均下降，高等地面积 2018 年较 2008 年增加约 200 万 hm^2，而中、低等地面积均有减少。

3.2　东北典型黑土区耕地质量等级时空变化分析

东北典型黑土区 2008 年和 2018 年耕地质量等级分布如图 3 所示。2008 年高等地在东北典型黑土

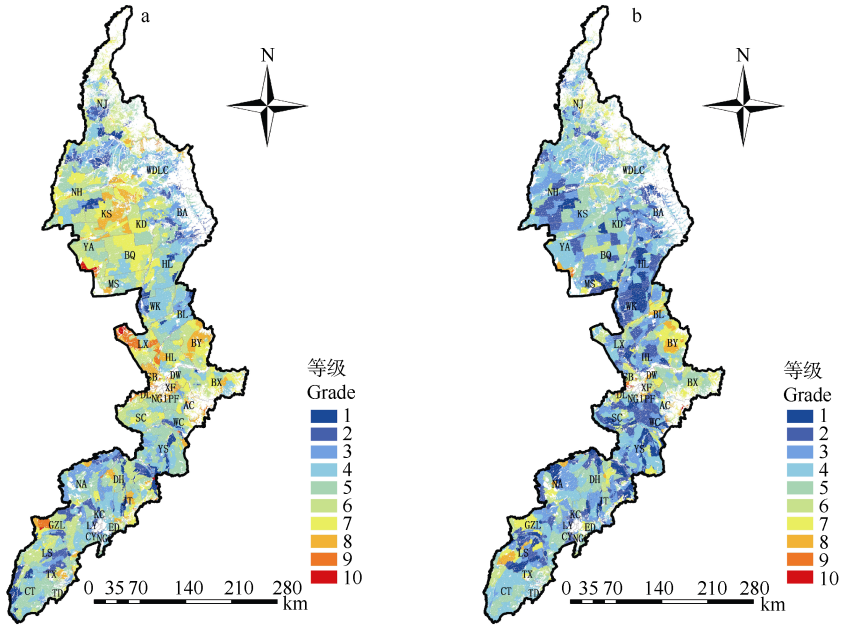

图 3 2008 年(a)和 2018 年(b)东北典型黑土区耕地质量等级空间分布图

Fig. 3 Distribution of cultivated land quality grades in the typical black soil areas in Northeast China in 2008 (a) and 2018(b)

各地区字母含义见图 1。The meaning of the region letters were shown in the Fig. 1

区的南部和东北部分布较多，南起昌图县至中部香坊区，北起嫩江县沿东北边缘地带分布至北林区，此外在望奎县以及克山县与讷河市交界地带也有分布；中等地分布较广，在各市区内均有分布；低等地在中部和西北部地区分布相对集中，在公主岭、九台市也分布较多。东北典型黑土区 2018 年高等地分布较广，主要集中在东北典型黑土区的中西部和西北部地区；中等地分布最广，主要分布在东北典型黑土区的南部和北部地区；低等地在梨树县、公主岭和巴彦县分布较多，其余地区几乎没有分布或少数分布。将 2008 年和 2018 年的耕地质量等级图对比来看，2018 年东北典型黑土区耕地质量总体上好于 2008 年，特别是在中西部和西北部地区颜色反差较大，说明质量变化较大。而东北和中东部地区 2018 年较 2008 年没有发生太大变化。

将同一评价单元 2018 年与 2008 年耕地质量等级结果进行差减，得到图 4 和表 6 所示的 10 年间研究区耕地质量等级时空变化结果(其中负值表示等级提升，正直表示等级下降)。可以看出 10 年间东北典型黑土区耕地质量等级差值波动较大，其中耕地质量等级最多提升了 8 个等级，在双城市、德惠市和兰西县有少量分布；最低下降了 7 个等级，主要发生在北林区和九台市。综合来看，10 年间研究区耕地质量提升多，下降少，研究区整体的耕地质量提升呈现出由南北两侧向中部加强的状态。10 年间提升 1 个等级的耕地(变化为−1)面积最大，达 183.11 万 hm^2，占总面积的 22.05%，零散地分布在东北典型黑土区内，且在昌图县和巴彦县分布相对集中；10 年间质量等级提升的耕地面积为 540.13 万 hm^2，占总面积的 65.06%，质量等级下降的耕地面积为 153.33 万 hm^2，占总面积的 18.47%；耕地质量等级上升的耕地面积

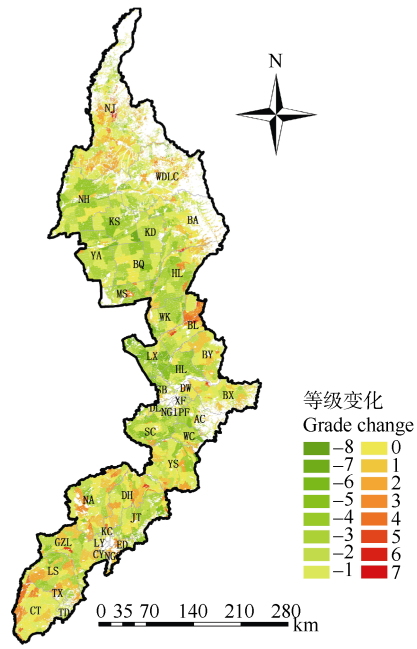

图 4 2008—2018 年间东北典型黑土区耕地质量等级变化分布图

Fig. 4 Distribution of changes of cultivated land quality grades in the typical black soil region of Northeast China from 2008 to 2018

各地区字母含义见图 1。The meaning of the region letters were shown in the Fig. 1.

是等级下降的 3.5 倍，其中等级上升的耕地在该区西北部、中西部和南部分布较多，在东北和中东部分布较少，等级下降的耕地沿着研究区东部边缘地带分布，在南部分布较为零散，然而 10 年间东北部、南部部分地区耕地质量虽呈下降的状态，但依然保持中等至高等的水平。结合等级变化图中等级变化的分布情况，大致可以将东北典型黑土区分为 3 片区。中东部为耕地质量提升核心区，由于该区域 10 年来耕地质量始终保持较低水平，今后需加大投入、重点治理，是耕地质量提升的重点对象；东北部和南部为耕地质量稳定发展区，研究区东北部和南部 10 年间耕地质量没有发生较大变化，始终保持较高的耕地质量，今后需保持，在稳定中寻求突破；中西部和西北部为耕地质量模范带动区，10 年间该区域耕地质量等级提升较高，多数从中、低等地转变为高等地，体现了该区域治理有效，管理到位，今后作为东北区黑土治理典型，需保持住耕地高质量水平，引领带动黑土区耕地质量提升工作。

表 6　2008—2018 年间东北典型黑土区耕地质量等级变化面积对比

Table 6　Comparison of area changes of cultivated land quality grades in the typical black soil region of Northeast China from 2008 to 2018

等级变化 Grade change	面积 Area (10^4hm^2)	占比 Percentage (%)	等级变化 Grade change	面积 Area (10^4hm^2)	占比 Percentage (%)
−8	0.01	0.00	0	136.79	16.48
−7	2.20	0.27	1	89.95	10.83
−6	8.48	1.02	2	37.22	4.48
−5	22.10	2.66	3	17.03	2.05
−4	66.74	8.04	4	5.93	0.71
−3	116.99	14.09	5	2.88	0.35
−2	140.51	16.92	6	0.24	0.03
−1	183.11	22.05	7	0.08	0.01

等级变化负值表示耕地质量等级提升，正值表示等级下降。The negative values of grade change means increase of cultivated land quality, while positive value means the decline of cultivated land quality grade.

3.3　东北典型黑土区耕地质量等级实地验证对比

以 2018 年东北典型黑土区耕地质量等级分布图为依据，根据各等级耕地空间分布状况，在研究区内随机选取 10 个样点，实地查看、采样化验各样点理化性状，与耕地质量等级情况进行比对。从表 7 可以看出不同等级耕地的地形部位、灌溉能力等方面差异性较明显，但与不同等级耕地特征相符。样点评价等级高的地块土壤养分含量总体较高，有效土层厚度较厚，灌溉条件良好，地形部位为平原中阶和丘陵中下部，耕层质地为中壤和重壤。而样点所处地块评价等级越低，有效土层厚度和耕层厚度越浅，土壤养分含量较低，灌溉条件差，地形部位大多是平原低阶，质地为砂壤和黏土。通过与实地调查进行对比分析，验证了评价结果与实际较好的一致性。

4　讨论与结论

《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)是我国第一部完整的与耕地质量有关的国家标准，统一了全国耕地质量评价的技术标准[21]，开辟了全国耕地质量评价标准的新时代。《国标》相对于以往的行业标准，主要在耕地质量等级的划分和耕地质量评价指标的选取、分级上进行了规范。在《国标》出台后，应用《国标》进行耕地质量评价的研究还相对匮乏，并且近些年国家对东北黑土区进行保护和治理，到如今东北典型黑土区的耕地质量现状如何，与之前相比变化怎样，这些都需要借助《国标》对耕地质量变化进行评估。同时，构建同一分级标准和指标体系实现了科学的、准确的耕地质量评价结果对比，并且可以从某一指标上具体地探究耕地质量变化的原因。

本文的研究结果与实地验证较为符合，较好地体现出近年来国家治理黑土的实效性。我国自 20 世纪 50 年代以来，不断地开发、利用东北黑土地，其时间之久、强度之高导致了黑土资源不断减少，不断退化，黑土质量不断下降[22]。自 2015 年开始，党和国家加大了投入和治理力度，农业部每年斥资 5 亿用于东北黑土地保护，开展黑土地保护试点工程，在国家大力支持下，东北黑土地保护治理成效明显，多地的耕地质量正在稳步提高。作者通过实地调研得知，国家和各省市对保护性耕作(深松、翻埋等)给予补贴，农民施用有机肥，进行农药残害污染防治等举措使得东北区耕地得到了有效的保护，相关文献也证明了近些年来由于秸秆还田技术的推广，东北区耕地土壤肥力有较稳的上升之势[23]。东北典型黑土区中西部和西北部地带 2008—2018 年间耕地质量上升明显，得益于大多数黑土地保护试点多建立于此，而且这些地区黑土地保护奖补政策落实到位，大大提高了农民保护黑土地的积极性[24-25]。以上表明，我国当前走的这条黑土地保护的道路是正确的、合理的，阶段性成效明显。然而，东北典型黑土区中东地带耕地质量没有得到较大改善，且在公主岭、北林区及其东北地带由于此前耕地质量水平较高，产量较大，间接导致 10 年间利用强度增大，投

表 7 东北典型黑土区不同等级耕地典型地块实地调查信息对照

Table 7 Field survey information of typical plots of different quality grades of cultivated land in the typical black soil region of Northeast China

地点 Location	评价等级 Grade	有效磷 Available P ($mg \cdot kg^{-1}$)	有效土层厚度 Effective soil layer thickness (cm)	耕层厚度 Arable layer thickness (cm)	地形部位 Terrain position
梨树县 Lishu County	1	60.86	100	22.00	平原中阶 Middle plain terrace
兰西县 Lanxi County	2	48.99	96	17.25	平原中阶 Middle plain terrace
望奎县 Wangkui County	3	43.64	100	18.90	丘陵下部 Lower part of hill
嫩江县 Nenjiang County	4	56.41	70	20.01	丘陵中部 Middle part of hill
拜泉县 Baiquan County	5	54.67	79	24.73	平原低阶 Lower plain terrace
榆树市 Yushu City	6	33.72	85	20.19	平原低阶 Lower plain terrace
农安县 Nong'an County	7	15.67	90	18.23	平原低阶 Lower plain terrace
巴彦县 Bayan County	8	86.71	45	15.41	丘陵上部 Upper part of hill
北林区 Beilin District	9	17.28	34	14.80	平原低阶 Lower plain terrace
松北区 Songbei District	10	30.23	27	18.89	平原低阶 Lower plain terrace

地点 Location	评价等级 Grade	pH	灌溉能力 Irrigation capacity	有机质 Organic matter ($g \cdot kg^{-1}$)	耕层质地 Arable layer texture
梨树县 Lishu County	1	7.24	满足 Satisfy	35.15	中壤 Medium loam
兰西县 Lanxi County	2	7.51	满足 Satisfy	27.40	中壤 Medium loam
望奎县 Wangkui County	3	6.97	基本满足 Basically satisfy	37.40	重壤 Heavy loam
嫩江县 Nenjiang County	4	5.76	不满足 Not satisfy	55.83	重壤 Heavy loam
拜泉县 Baiquan County	5	6.60	不满足 Not satisfy	39.85	重壤 Heavy loam
榆树市 Yushu City	6	5.42	基本满足 Basically satisfy	25.23	中壤 Medium loam
农安县 Nong'an County	7	7.80	不满足 Not satisfy	28.86	重壤 Heavy loam
巴彦县 Bayan County	8	5.64	不满足 Not satisfy	37.26	重壤 Heavy loam
北林区 Beilin District	9	5.46	基本满足 Basically satisfy	30.34	黏土 Clay soil
松北区 Songbei District	10	5.64	不满足 Not satisfy	29.65	砂壤 Sandy loam

入和治理相对减少，加之该区对黑土地保护、管理和利用的要求有所放松，10 年间耕地质量下降较多，问题较为突出。但从整体上看东北黑土地的治理已经取得成效，今后再针对个别地区进一步研究和治理，将会使东北黑土地保护成果的影响变得更加广泛。此外，本研究是基于同一个矢量图斑进行的耕地质量变化研究，对于因不同时期矢量图斑空间位置(数量多少)差异引起的质量变化也是未来需要考虑的重要因素。同时随着国土空间分区和规划研究的不断深入，如何将耕地质量与之结合，探索并创新其在耕地功能空间分区和规划方面的应用，扩展耕地质量评价成果在国土空间管理上的应用将成为未来的新方向。另外，本研究采用的是 1∶50 万比例尺的土地利用现状图作为评价单元底图，结果从区域宏观尺度具有指导意义，若今后能细化县域评价将更能体现实际应用价值。

综上，本研究基于《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)国家标准，对比分析了 2008 年和 2018 年的耕地质量评价结果，探讨了 10 年间东北典型黑土区耕地质量时空变化情况。主要结论: 1)10 年间东北典型黑土区耕地综合质量稳步提升了 1.22 个等级，从中低等地为主变为中高等地为主；2)东北典型黑土区区域间耕地质量变化存在差异性，2008 年高等地主要分布在南部和东北部，2018 年主要集中在中西部和西北部地区, 2008 年和 2018 年中等地均分布较广, 2008 年低等地在中部和西北部分布较多，2018 年低等地仅在少数地区分布; 3)10 年间东北典型黑土区耕地质量等级差值在−8~7 间变化，等级上升的面积为 540.13 万 hm^2，下降的面积为 153.33 万 hm^2，耕地质量等级上升的耕地面积是下降的 3.5 倍，中西部和西北部耕地质量显著增长; 4)遵循《国标》建立的评价指标体系，其评价结果符合实际情况，很好地反映了研究区不同时期的耕地质量状况，对东北区的评价指标体系建立提供了技术支撑和应用价值。从指标分析

上来看灌溉能力、有效土层厚度对耕地质量提升影响较大，为研究区今后耕地质量提升工作提供了参考和管理方向。

参考文献 References

[1] 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
LU M X, HE L Y, WU L S. Fertility evaluation of cultivated land in China: A review[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(4): 866–871

[2] 魏丹，杨谦，迟凤琴．东北黑土区土壤资源现状与存在问题[J]．黑龙江农业科学, 2006(6): 69–72
WEI D, YANG Q, CHI F Q. The soil resource conditions and the problems in Northeast black soil regions[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2006(6): 69–72

[3] 韩长斌．加强东北黑土地保护 推进农业绿色发展[N]．人民日报, 2018-02-05
HAN C B. Strengthening the protection of black soil in Northeast China and promoting agricultural green development[N]. People's Daily, 2018-02-05

[4] 韩晓增，李娜．中国东北黑土地研究进展与展望[J]．地理科学, 2018, 38(7): 1032–1041
HAN X Z, LI N. Research progress of black soil in Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(7): 1032–1041

[5] HAO C L, XIAO W H, ZHOU Y Y, et al. Phosphorus balance in typical rainfield of black soil region in Northeast China[J]. Geosciences Journal, 2019, 23(4): 637–648

[6] 曹野．东北地区耕地质量等级评价与现状分析[D]．沈阳: 沈阳农业大学, 2017
CAO Y. Cultivated land quality evaluation and present situation analysis in Northeast China[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017

[7] 韩晓增，邹文秀．我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议[J]．中国科学院院刊, 2018, 33(02): 206–212
HAN X Z, ZOU W X. Effects and suggestions of black soil protection and soil fertility increase in Northeast China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 206–212

[8] DONG Y F, WU Y Q, QIN W, et al. The gully erosion rates in the black soil region of northeastern China: Induced by different processes and indicated by different indexes[J]. Catena, 2019, 182: 104146

[9] 贾利．东北黑土带土地资源可持续发展问题与对策研究[J]．中国农学通报, 2005, 21(4): 352–354
JIA L. Issues and some strategies of sustainable development of black soil resources in black soil zone in Northeast China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(4): 352–354

[10] 刘丙友．典型黑土区土壤退化及可持续利用问题探讨[J]．中国水土保持, 2003(12): 28–29
LIU B Y. Discussion on soil degradation and sustainable utilization in the typical black soil region[J]. Soil and Water Conservation in China, 2003(12): 28–29

[11] LIU X B, ZHANG X Y, WANG Y X, et al. Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China[J]. Plant Soil Environment, 2010, 56(2): 87–97

[12] 鲍士旦．土壤农化分析[M]．北京: 中国农业出版社, 2000: 60–63
BAO S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 60–63

[13] 白根川，王昌全，夏建国，等．基于 GIS 技术的平昌县域耕地地力评价[J]．中国农学通报, 2012, 28(29): 212–220
BAI G C, WANG C Q, XIA J G, et al. Evaluation of farmland productivity in Pingchang County based on GIS technology[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(29): 212–220

[14] 刘京，常庆瑞，陈涛，等．黄土高原南缘土石山区耕地地力评价研究[J]．中国生态农业学报, 2010, 18(2): 229–234
LIU J, CHANG Q R, CHEN T, et al. Evaluation of farmland productivity on the earth and rocky area of the South Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 229–234

[15] 余笑眉．松阳县耕地地力评价与空间变异研究[D]．杭州: 浙江农林大学, 2010
YU X M. Land fertility evaluation and its spatial variability: A case study of Songyang County[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2010

[16] 张勤才，马友华，杨生华，等．基于 GIS 的芜湖市耕地地力评价[J]．长江流域资源与环境, 2016, 25(2): 226–233
ZHANG Q C, MA Y H, YANG S H, et al. Evaluation of cultivated land fertility in Wuhu City based on GIS[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(2): 226–233

[17] 樊燕．梁平县耕地地力评价研究[D]．重庆: 西南大学, 2008
FAN Y. Evaluation of cultivated land productivity in Liangping County[D]. Chongqing: Southwest University, 2008

[18] 汤国安，杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]．北京: 科学出版社, 2006: 372–373
TANG G A, YANG X. The Experiments Tutorial of Spatial Analysis of ArcGIS Geographic Information System[M]. Beijing: Science Press, 2006: 372–373

[19] 国家质量监督检验检疫总局．GB/T33469—2016 耕地质量等级[S]．北京: 中国标准出版社, 2016
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T33469—2016 Cultivated Land Quality Grade[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016

[20] 危向峰，段建南，胡振琪，等．层次分析法在耕地地力评价因子权重确定中的应用[J]．湖南农业科学, 2006(2): 39–42
WEI X F, DUAN J N, HU Z Q, et al. Applying analytic hierarchy process to determining farmland productivity evaluation factors' weight[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2006(2): 39–42

[21] 耕地质量建设和保护有"标杆"了——《耕地质量等级》国家标准解读[J]．中国农业信息, 2017, (8): 5–10
Standard for the quality construction and protection of cultivated land — Interpretation of the national standard of "Cultivated Land Quality Grade"[J]. China Agricultural Inform-

atics, 2017, (8): 5–10

[22] DOUSARI A, MISAK A M, SHAHID R S. Soil compaction and sealing in AL-Salmi area, western Kuwaut[J]. Land Degradation and Development, 2000, 11(05): 401–418

[23] 杨瑞珍, 陈印军. 东北地区耕地质量状况及变化态势分析[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(6): 19–24
YANG R Z, CHEN Y J. Analysis of quality of cultivated and land change trend in Northeast area[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014, 35(6): 19–24

[24] 霍俊宇, 何文杰. 黑龙江省黑土保护性耕作政策实施效果评价[J]. 南方农机, 2018, 49(12): 4–5
HUO J Y, HEN W J. Evaluation of implementation effect of black soil conservation tillage policy in Heilongjiang Province[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2018, 49(12): 4–5

[25] 韩晓增, 邹文秀, 严君, 等. 农田生态学和长期试验示范引领黑土地保护和农业可持续发展[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(3): 362–370
HAN X Z, ZOU W X, YAN J, et al. Ecology in agriculture and long-term research guide protection of black soil and agricultural sustainable development in Northeast China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(3): 362–370