

瀋陽農業大學

碩士學位論文

东北典型黑土区耕地质量时空变化研究

研 究 生： 姚 东 恒

指 导 教 师： 汪景宽 教授

专 业 名 称： 土地资源管理

研 究 方 向： 耕地资源管理

所 在 学 院： 土地与环境学院

2020 年 5 月 28 日

Dissertation for Master

Temporal-spatial change of cultivated land quality in the typical black soil region of northeast China

Candidate: Yao Dongheng

Supervisor: Prof. Wang Jingkuan

Speciality: Land Resources Management

Research Field: Cultivated land resource management

College: College of Land and Environment

Shenyang Agricultural University

May, 2020

目 录

摘 要	i
Abstract.....	iii
第一章 绪论	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的与意义	3
1.3 国内外研究进展	3
1.3.1 耕地质量评价研究进展.....	3
1.3.2 耕地质量变化研究进展.....	6
1.3.3 耕地质量分区研究进展.....	7
1.4 研究内容与方法	8
1.4.1 研究内容.....	8
1.4.2 研究方法.....	9
1.5 技术路线.....	11
第二章 研究区概况及耕地质量综合评价	12
2.1 研究区概况.....	12
2.2 耕地质量评价方法	13
2.2.1 数据来源与处理	13
2.2.2 建立评价指标体系	15
2.2.3 评价指标权重确定	16
2.2.4 计算评价指标隶属度	20
2.2.5 耕地质量综合指数（IFI）计算及等级划分	23
2.3 耕地质量障碍类型分区方法.....	24
第三章 东北典型黑土区耕地质量时空变化分析	27
3.1 东北典型黑土区耕地质量总体情况	27
3.1.1 2008 年耕作质量总体情况.....	27
3.1.2 2018 年耕作质量总体情况.....	28
3.2 10 年间东北典型黑土区耕地质量等级总体变化情况	30
3.2.1 10 年间耕地质量等级面积变化分析	30
3.2.2 10 年间耕地质量等级空间变化分析	31

目 录

3.3 东北典型黑土区耕地质量区域分布	33
3.3.1 2008 年各省典型黑土区耕地质量总体情况	33
3.3.2 2018 年各省典型黑土区耕地质量总体情况	34
3.3.3 10 年间各省典型黑土区耕地质量时空变化分析	34
第四章 耕地质量障碍类型区时空变化分析	38
4.1 主要障碍指标诊断	38
4.2 障碍因素分区及变化	42
4.3 耕地质量提升对策	44
第五章 结论	46
参考文献	48
致 谢	53
攻读学位论文期间发表论文	55

Contents

Abstract in Chinese	i
Abstract.....	iii
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research backgrounds	1
1.2 Research purpose and significance.....	3
1.3 Literature review	3
1.3.1 Review on the evaluation of cultivated land quality	3
1.3.2 Review on the cultivated land quality change.....	6
1.3.3 Review on the subarea of cultivated land quality.....	7
1.4 Research content and methods	8
1.4.1 Research content	8
1.4.2 Research methods	9
1.5 Technical route	11
Chapter 2 Overview of the study area and comprehensive evaluation of cultivated land quality	12
2.1 Overview of the study area	12
2.2 Cultivated land quality evaluation method	13
2.2.1 Data source and process	13
2.2.2 Establish an index system	15
2.2.3 Determination of index weights	16
2.2.4 Calculate membership of index	20
2.2.5 Calculate IFI and grading.....	23
2.3 Cultivated land quality barrier type zoning method	24
Chapter 3 Analysis on the temporal-spatial changes of cultivated land quality in typical black soil region of northeast China.....	27
3.1 General situation of cultivated land quality	27
3.1.1 General situation of cultivated land quality in 2008.....	27
3.1.2 General situation of cultivated land quality in 2018.....	28
3.2 Analysis on the general change of the cultivated land quality grade during 10 years	30

Contents

3.2.1 Analysis of the area change of cultivated land quality grade during 10 years.....	30
3.2.2 Analysis of the spatial change of cultivated land quality grade during 10 years.....	31
3.3 Regional distribution of cultivated land quality	33
3.3.1 General situation of cultivated land quality in typical black soil regions by province in 2008.....	33
3.3.2 General situation of cultivated land quality in typical black soil regions by province in 2018.....	34
3.3.3 Analysis on the temporal-spatial variation of cultivated land quality during 10 years.....	34
Chapter 4 Analysis on the temporal-spatial changes of cultivated land quality barrier types	38
4.1 Diagnosis of major obstacle indicators.....	38
4.2 Obstacle Factor Division and change	42
4.3 Improvement measures of cultivated land quality	44
Chapter 5 Conclusions and prospects	46
References.....	48
Acknowledgements	53
Published articles	55

摘 要

良好的耕地质量是保证粮食生产安全及社会稳定的关键。在耕地资源中,黑土是最宝贵的土壤资源,也是世界公认的最肥沃的土壤,它质地疏松、肥力高,且供肥能力强。但由于自然因素和人为因素的长期破坏,我国黑土耕地质量逐步退化,黑土生产力水平逐渐下降。自党的十八大以来,国家高度重视东北黑土地保护,加大投入和治理力度,相继出台了一系列耕地保护政策。直至如今,经过为期几年的治理,东北黑土地现状如何,与以往相比有何变化,治理效果怎样,影响该区耕地质量的指标对其限制性程度变化如何,今后该从哪些方面进行管理和提升,都需要借助东北区新一轮耕地质量评价工作来进行科学且深入的研究。

本文以东北典型黑土区耕地为研究对象,遵循《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)国家标准,利用特尔菲法选取 16 个评价指标,利用层次分析法和模糊数学法确定评价指标权重及隶属度,以此为基础建立了东北典型黑土区耕地质量评价指标体系,结合 ArcGIS、耕地资源管理信息系统软件对 2008 年和 2018 年东北典型黑土区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,摸清研究区耕地质量时空变化情况。并在此基础上引入障碍度函数,计算指标障碍度,明确各指标对耕地质量限制性大小,根据指标障碍程度划定耕地质量障碍类型区,针对障碍类型区的时空变化情况,从而在指标层面提出具体的有针对性的耕地质量提升对策。主要研究结果如下:

(1)2008 年东北典型黑土区耕地质量以中低等地为主,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;1—4 等地面积增加,5—10 等地面积下降,其中 3 等地面积增加最多,6 等地下降最多;10 年间研究区内质量提升 1 个等级的地块占比最大,多数地块的耕地质量等级变化在-4—2 等(提升 4 个等级至下降 2 个等级)之间波动,等级提升的地块总面积是等级下降的 3.5 倍。

(2)2008 年东北典型黑土区高等地主要分布在南部和东北部,低等地则主要分布在中部和西北部;2018 年高等地主要集中在中西部和西北部地区,而低等地仅分布于少数地区,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,而其南部和东北部耕地质量下降较多,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 年间黑龙江省、吉林省典型黑土区耕地质量均有提升,辽宁省典型黑土区耕地质量下降。

(3)2008 年东北典型黑土区耕地质量的主要障碍因素为灌溉能力、有效土层厚度、排水能力、有机质含量和农田林网化率,2018 年的主要障碍因素为灌溉能力、有机质含量、排水能力和农田林网化率;10 年间灌溉能力对研究区耕地质量的限制性始终是最严重的;10 年间灌溉能力、有效土层厚度、排水能力、速效钾对耕地质量提升作用明显;

摘 要

根据 10 年间耕地质量障碍类型区的变化情况，最终确定灌溉能力障碍区为长期重点改良区，今后需提高农业灌溉用水效率，农田林网化障碍区是短期重点防护区，今后需加强农田林网建设，着力改善农田生态环境。

关键词：东北典型黑土区，国家标准，同一指标体系，时空变化，障碍指标分区

Abstract

Good cultivated land quality is the key to ensure food production security and social stability. Black soil is the most precious soil resource of cultivated land resources. It is recognized as the most fertile soil in the world with the characteristics of loose texture, high fertility and strong fertility supplying capacity. However, due to the long-term destruction of natural and human factors, the quality of black soil in China has gradually deteriorated, resulting in the productivity of black soil gradually declined. Since the 18th National Congress of the Communist Party of China, the protection of black land attached great importance by government, increasing investment and governance, and issuing a series of policies for the protection of cultivated land. Nowadays, after several years of management, what is the status of the black land in Northeast China? how has it changed compared to the past? how is the effect of governance? and how to manage and protect it in the future? These are necessary to research deeply during the new evaluation of cultivated land quality in Northeast China.

In this study, the evaluation of cultivated land quality in the typical black soil area of 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 evaluation system and grading standard between 2008 and 2018, in order to investigate the temporal-spatial changes of cultivated land quality in the study area. Furthermore, this study introduced the function of obstacle degree to diagnose the indices of cultivated land quality to get the main obstacle factors. According to the primary and secondary order of obstacle degree, the obstacle types of cultivated land quality were divided, and then the measures for improving cultivated land quality were pointed out. The main results were showed as follows:

(1) 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 integrated cultivated land 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. The plot with one grade of quality

improvement accounted for the largest proportion in the study area in the 10 years. The quality grade of most plots fluctuated between -4 and 2 (increased by four grades to decreased by two grades). The total area of cultivated land increasing grade was 3.5 times than those decreasing.

(2) In 2008, the typical black soil areas in northeast China were mainly distributed in the south and northeast, while the low-grade lands were mainly distributed in the central and northwestern regions. In the 10 years, the quality of cultivated land in the central, western and northwestern parts of the typical black soil region of Northeast China had increased significantly, while it in the southern and northeastern regions had decreased. The grade variation showed the strengthened variation from south and north to central. In the past 10 years, the quality of typical black soil cultivated land in Heilongjiang and Jilin provinces had improved, while it in Liaoning Province had declined.

(3) The main obstacles to arable land quality in 2008 in typical black soil areas of Northeast China were irrigation capacity, effective soil layer thickness, drainage capacity, organic matter content, and farmland forest network rate. In 2018, the main obstacles were irrigation capacity, organic matter, drainage capacity, and farmland forest network. In the 10 years, irrigation capacity, effective soil layer thickness, drainage capacity, and available potassium have obvious effects on improving the quality of cultivated land and irrigation capacity was always the most restrictive of cultivated land quality in the study area. Based on the changes in the types of cultivated land quality obstacle zone over the past 10 years, the irrigation capacity obstacle zone was identified as long-term key improvement zone. In the future, the efficiency of agricultural irrigation water needs to be improved. The obstacle zone of farmland forest network was identified as short-term key protection zone. In the future, it is necessary to strengthen the construction of farmland forest nets and focus on improving the ecological environment of farmland.

Keywords: typical black soil areas in northeast China, national standards, the same indicator system, temporal-spatial changes, obstacle indicator partition

第一章 绪论

1.1 研究背景

土地是人类赖以生存和发展的物质基础（刘彦随，1999），土地也是一个自然经济综合体（张俊杰，2017），具有自然和社会经济双重属性，其特殊性质决定了土地作为重要的资源是其他资源不可替代的。进入新时代以来，我国经济已从高速增长转向中高速增长，在这其中土地资源扮演着重要角色，其作用也是日益凸显（刘彦随，2013）。

耕地作为土地资源中最为重要的一部分，生产着几乎所有可供人类生活的必需品，调节着全球的气候（陈迪，2019；Godfray et al, 2010），从古至今始终影响着一个国家、民族和社会的发展，关系着全人类的生死存亡（Foley et al, 2011）。我国人均耕地面积为 1.4 亩，尚不足世界人均耕地水平的一半，近二十年来我国经济水平大幅提升，以飞快的速度向前发展，但代价也是巨大的，高速的城镇化、工业化等经济建设的进度，牺牲了大量的基本农田和优质耕地，致使国家的耕地数量大幅度下降，加之对现有耕地利用不足和对耕地生态环境的保护不够重视，导致耕地质量下滑得非常严重，人地矛盾愈发明显。对于我国这样一个农业大国来说，人地矛盾增加势必会带来一系列的问题，例如造成粮食供需关系紧张，阻碍我国农业的发展等，这些问题严重地威胁着我国社会经济稳定。近些年来国家也采用很多办法来改善人地关系，先后采取了耕地占补平衡、划定永久基本农田以及城乡耕地增加挂钩等措施，一定程度上保障了耕地数量的稳定，暂时维持在国家要求的 18 亿亩的耕地标准。然而国内外众多学者一致表明，决定一个国家耕地水平的高低绝不仅仅是耕地数量，隐形的耕地质量所造成的影响也绝不容忽视（沈仁芳等，2012），也就是说数量与质量二者缺一不可。稳定的耕地数量（封志明等，2005），良好的耕地质量才是保证粮食生产安全及农业可持续发展的关键（鲁明星等，2006）。所以保护和提升耕地质量逐渐上升为国家耕地管理工作的重点，耕地质量提升问题也成为了近些年国内外学者研究的热点。尤其在国內，结合耕地质量评价结果进行耕地质量提升受到学者们的广泛研究。相关管理者针对各区域内耕地质量空间分布和区域间耕地质量等级差异，提出耕地质量提升措施，因地制宜开展各项治理工作，对省、市、县域内测土配方施肥和提高耕地综合生产力都具有一定的科学指导意义，对我国农业的发展也起到了促进的作用。

黑土是世界上一致公认的耕地资源中最宝贵的土壤资源，是大自然赐予人类最珍贵的宝藏。全球的黑土资源只有 900 万 km^2 ，其面积非常有限，主要集中分布在四块平原区，分别是美国密西西比河平原、乌克兰平原、阿根廷潘帕斯平原以及中国东北平原（龚子同，2003；韩晓增与李娜，2018）。我国黑土发育形成环境特别，受温带湿润气候影响，在灌丛草甸植被覆盖下，由长时间强烈的腐殖化过程与潜育化过程积累形成（汪景

宽, 2002)。我国东北黑土区主要分布在黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古东四盟四区域内, 是我国玉米、粳稻和大豆的重要生产、供应地, 东北区粮食年产量约占全国的五分之一, 商品粮年产量占全国三分之一, 粮食商品量、调出量始终保持全国首位(韩长斌, 2018)。东北黑土区保障了全国粮食安全, 其在我国粮食生产中的地位毋庸置疑。而东北黑土区耕地的高质量与高产量主要是依靠分布在东北黑土区中部的典型黑土, 学者们也把这部分区域称之为典型黑土区。该区域耕地质量和土壤肥力非常高, 是东北黑土区粮食生产的主力军, 提供了全国近三分之一的玉米产量和近一半的大豆产量(Hao et al, 2019), 是国家粮食安全的“稳压器”, 也是“压舱石”, 是我国最重要的大粮仓。但自上世纪 50 年代开始, 人们就大量开垦黑土地, 伴随着改革开放, 我国社会经济高速发展, 人口快速增加, 大规模的耕地开发, 超负荷的土地利用, 再加之国家对黑土地的保护管理较为松懈, 农民自主保护意识不够, 导致近些年来该区域内黑土地出现了许多问题。由于长时间过度开垦, 砍伐树林, 受地形条件和季节气候变化影响导致黑土区水土流失严重。春季干旱风大, 形成了严重沟蚀和风蚀(Dong Y F, 2019; 刘宪春, 2005), 最终使得黑土层大量流失, 黑土资源不断退化(刘丙友, 2003; 贾利, 2005)。近 60 年来黑土层下降了约 40 cm, 而形成 1 cm 的黑土层则需要几百年的时间(韩长斌, 2018)。此外, 由于人口不断增加, 粮食需求不断增大, 为了快速提高生产能力, 加大产量, 农药和化肥的投入量也逐渐增大, 也使得黑土区的生态环境遭受一定程度的化学污染, 黑土形势十分严峻, 严重影响了东北黑土区农业可持续发展。自党的十八大以来, 党和国家高度重视黑土地保护问题, 习近平总书记多次去往东北黑土地考察, 明确要求保护、利用好黑土地, 强调要种好我们自己的粮食, 端起我们自己的饭碗。

国家自 2015 年起每年投入 5 亿资金用于黑土地保护(韩长斌, 2018), 由此也拉开了保护东北黑土地的大幕。各地方政府也加大治理力度, 构建地方性黑土地保护法律法规, 出台一系列政策举措(姜新, 2018), 制定黑土地保护奖励补贴政策, 2017 年印发了《东北黑土地保护规划纲要(2017-2030 年)》, 2018 年国家又加大黑土地投入, 由每年五亿升至为八亿, 东北黑土地保护工作全面展开。为了更好地提升东北黑土地耕地质量, 保护黑土地资源的可持续利用, 落实新时代“藏粮于地”、“藏粮于技”战略, 国家于 2017 年开展了东北黑土区耕地质量调查评价工作, 目的是全面掌握东北黑土地耕地质量状况, 为做好提升东北黑土区耕地质量工作打下坚实基础。为了科学、准确地进行新一轮耕地质量评价工作, 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/T33469-2016)国家标准(以下简称《国标》)。此次颁布的《国标》是我国第一部完整的与耕地质量有关的标准, 相较于以往的行业行规, 主要在三个方面进行了规范。首先将全国统一划分成了 9 个大区, 包括长江中下游区、黄土高原区、东北区等, 其次规范了评价指标的选取, 各区域评价指标

统一由 13 个基础性指标和 3 个区域性指标共计 19 个指标组成,此外还规范了分级标准,规定使用等距法将耕地质量等级划分成 10 等。《国标》的发布是我国几代耕地管理者共同努力和探索的结果,对加强我国耕地质量提升和保护工作具有里程碑式的意义,可以说《国标》的发布开辟了全国耕地质量评价工作的新时代。

1.2 研究目的与意义

在《国标》出台前,各行政区域耕地质量评价指标选取多样、标准划定不一、分等定级差异大,很难进行同一标准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缺乏科学依据。在《国标》发布以后,通过规范指标选取和等级划分等评价方法,很好地解决了这些问题。基于此,本研究以东北典型黑土区为研究区域,以耕地质量为研究对象,遵循《国标》,对东北典型黑土区两次(2008 年和 2018 年)耕地质量调查结果进行同一分级标准、同一指标体系耕地质量评价及时空变化对比分析,利用障碍度函数分别对两个时期的耕地质量评价指标进行障碍因素诊断和分区研究,从耕地质量变化和耕地质量障碍类型区变化两个层面对东北典型黑土区耕地质量进行综合研究,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,探究指标对耕地质量限制程度的变化,从而提出有效的适用于本区域的管理办法。

本研究的意义在于:1)为耕地质量评价指标体系构建提供了思路和依据;2)有力推进耕地保护工作的进行,对耕地保护政策、决策的制定提供了理论基础;3)对今后可持续利用、管理黑土地具有积极意义。

1.3 国内外研究进展

1.3.1 耕地质量评价研究进展

国内外关于耕地质量评价的研究经过多年不断地发展,对耕地质量评价的认知也在不断加深,现如今评价体系趋于成熟,评价方法不断创新,国内和国外都形成了自己的一套系统。国外最早的评价模式起源于欧洲的征收地税,20 世纪 30 年代欧洲形成了土地评价方法,土地分级标准(程峰等,2014)。在此之前土地评价主要是从单一的土地特性入手对土地进行评价。美国农业部于 1961 年颁布了第一个较为全面的评价方案—土地资源潜力评价系统,该系统关注耕地自身生产能力,将耕地分类成 3 个潜力级(Klingebiel A)。这一评价系统的出现使得耕地评价从原始的定性评价,转变为定量评价(付国珍等,2015)。随着科学技术的不断发展和土地评价经验的逐年累积,人们对于土地评价的认知逐步提升,1976 年联合国粮食与农业组织(FAO)颁布了“土地评价纲要”,根据土地用途适宜与否,将土地分类成 4 个级别,评价结果体现了限制性因素对土地适宜程度的影响(Daniel, 1993)。土地评价纲要这一评价系统的颁布实现了从单一角度到多角度土地评价的转变。20 世纪 80 年代加拿大提出了污染土地评价—修复方

案，颁布了《国家污染场地修复计划》(Acton D et al, 1995)，将土地健康指标纳入评价项目中，土地生态问题开始进入人们的视野；同一时期美国农业部土壤保持局制定了耕地评价与立地条件 (LESA) 评价系统，该系统从二者对耕地质量影响大小划分主次关系，从宏观和微观两个角度对耕地进行划分 (温良友, 2019)；80 年代末 3S 技术愈发成熟，围绕 ArcGIS 建立评价系统，使得耕地质量评价趋于数据多源化、信息精准化方向发展，空间数据处理和耕地质量区域分布成为焦点；进入 90 年代，伴随着世界人口增长，耕地利用强度增大，耕地资源需求不足，耕地的可持续利用成为普遍探讨的话题，FAO 于 1993 年颁布了《土地可持续利用评价纲要》，即土地可持续评价模型，可持续性也纳入到质量评判标准当中；1995 年 FAO 和世界银行 (WBG) 等组织联合发布了《土地质量指标体系》，即压力—状态—响应 (PSR) 模型，土地评价体系走向成熟，构建评价模型进行土地评价也受到众多学者的青睐，土地评价也进入到标准化的进程中；进入二十一世纪后，由于土地污染问题严重，生态文明开始受到各国的重视，2007 年欧盟提出土壤环境健康评价项目，土壤环境指标成为了耕地质量调查与评价重要影响因素。至此，国外耕地质量评价从单纯地注重经济、产能的适宜性评价过渡到生态、经济、可持续综合性评价。Acton 等 (1996) 则认为国外耕地质量评价是从耕地自然属性入手的单一性评价，发展到自然、经济、社会相结合的综合评价。近年来随着 GIS、景观生态学的兴起，耕地质量评价也开辟了全新的方向。

我国是世界上最早进行耕地质量评价的国家。回溯至远古时期，国家便为了征税，将土地分成三六九等，划分土地类型，以便于在不同地类间进行比较，而我国开始系统、规范、有计划性地进行耕地质量评价工作，是在新中国成立初期阶段。鲁明星 (2006) 认为我国耕地质量评价正式始于 1950 年的全国土壤肥料大会和 1951 年财政部组织的查田定产项目，而张雁 (2009) 认为我国耕地质量评价工作是在 50 年代荒地资源大考察中系统地开展起来；1958 至 1960 年国内开展了第一次土壤普查工作，由于科学技术落后和实践经历较少，评价方法和技术应用还不成熟，耕地质量评价表现出区域性、单一性的特点，但是也有其积极的一面，即为我国耕地质量评价技术标准的确立打下了坚实的基础；70 年代随着《土地评价纲要》技术的引入，以及第一次土壤普查的经验，逐渐形成了适用于本国的评价方法和体系，并于 1979 年开展了第二次全国土壤普查，在评价中充分考虑区域内耕地自然性状和生产能力这两个因素，应用 3S 技术调查、处理数据。此次普查较第一次普查相比，范围更广，土壤类型更丰富，技术应用更全面；进入 80 年代，3S 技术被大量应用在耕地质量评价中，数学统计模型与 3S 技术相结合的方法初见成效，备受关注，为今后我国自主评价系统的构建提供了有力的技术支撑；80 年代初全国大量、系统的耕地评价、规划、调查工作不断开展，中国科学院对全国土地生产力进行了评价，并绘制了中国 1:100 万土地资源图，人们对于土地资源分布情况有了一

定地了解；与此同时国家农业部、原国家农牧渔业部、国家土地管理局相继在各自领域内根据不同的工作性质有针对性地开展评价工作，并且取得了大量的评价成果，包括《全国土壤监测论文集》、《1:100 万中国土地利用图集》、《中国土地利用》和《土地资源研究文集》等文献资料，建立了全国范围土壤监测试点，多部门联合开展土地承载力评价工作，建立农用地分等定级标准，初步构建了土地分类系统等评价工作；80 年代末期，3S 技术因其精准、动态、多元性得以在评价工作飞速发展，通过 3S 技术与专业评价方法、数学模型相结合组建耕地质量评价系统已然成为我国评价的重要手段，自此期间各个部门广泛运用该方法建立评价系统和评价标准，逐步形成两个不同性质的评价系统，一是以农业部门为主的耕地质量分级评价系统；二是以土地管理部门为主的农用地分等定级评价系统。此后，全国土地评价工作主要围绕这两个部门所制定的规程和标准展开。在 90 年代，各部门已经进行了多次大规模评价工作，经验颇为丰富，开始拟定评价标准和技术规程。农业部于 1996 年颁布了行业标准《全国耕作类型区、耕地地力等级划分》，于 1997 年依据标准建立评价指标体系，将耕地类型划分为 7 个区，耕地质量分成 10 等，对耕地粮食生产力进行评价，1998 年国土资源部计划开展全国范围内耕地质量调查与评价项目，这次项目的实施旨在摸清“家底”，彻底清查全国耕地质量；进入 21 世纪，农业部和国土资源部拉开了全国耕地质量调查的大幕，农业部于 2003 年对 ArcGIS 进行开发，建立了全国耕地资源管理信息系统，专门用于构建评价指标体系，并开展全国耕地质量调查与评价工作，印发《全国耕地地力调查与质量评价试点工作方案》。同年国土资源部颁布《农用地分等规程》、《农用地分级规程》和《农用地估价规程》三部国家标准，用于开展全国 31 个省、市的耕地质量等级调查与评价工作，该项工作于 2008 年底正式完成，意义重大，首先建立了分等、定级和估价三个标准，其次建立了全国 1:50 万耕地质量等级数据库，编制了相关技术报告、图件数据等评价成果，并公布了国家耕地质量等级为 9.8 等，使国人第一次清楚地了解到我国耕地质量水平，为今后耕地质量评价工作打下坚实基础，也标志着我国今后耕地质量评价工作进入了完全成熟的阶段。农业部也于 2008 年发布《耕地地力调查与质量评价技术规程》，规范了评价指标、评价方法、等级划分的方法，并借助第二次土地调查的契机，开展全国耕地质量评价，汇总耕地质量结果和数据，并于 2016 年相继出台《耕地质量调查监测与评价办法》和《耕地质量等级》两部新的国家标准，2017 年国家开展第三次（新一轮）土地调查，并在此次土地调查基础上，开展了新一轮耕地质量评价项目。新颁布的《国标》统一了全国耕地质量评价技术标准，对于我国耕地质量评价工作来说意义重大。

纵观国内耕地评价发展，可以看出我国耕地质量评价工作经过 70 年的不断发展，从无到有，从空白到成果颇丰，是在各部门和几代耕地管理者、学者们不断的探索中，一点点发展起来的。我国的耕地质量评价工作是科学严谨的，每个时期都有相关标准的

发布，并严格按照标准和规程进行评价。现如今基于 ArcGIS 技术结合专业数学模型进行耕地质量评价的方法受到众多学者青睐，ArcGIS 的二次开发也将会成为一种研究趋势。伴随着生态文明建设的推进，景观生态学理论的应用趋势大大增加，形成的耕地景观质量评价，国内耕地质量评价朝着多角度多功能的综合、动态、标准化的方向发展。温良友等（2019）在对国内外耕地质量评价研究进行归纳总结，认为国内和国外的耕地质量评价发展都是随着耕地质量内涵不断地被认知，发展的过程是从适宜性评价到生产力评价，到土壤健康评价，再到可持续评价，最后发展到综合性评价。

1.3.2 耕地质量变化研究进展

国外对于耕地质量变化研究主要是针对土地利用/土地覆盖变化（LUCC）进行研究。研究内容主要包括 LUCC 数据信息的获取（基于 3S 技术进行空间管理与分析）、土地利用动态变化驱动机制（主要采用主成分分析等数理统计法，日后将朝土地利用/覆盖与社会、经济、人文的关系方向发展）、LUCC 模型构建（通过模型构建对 LUCC 进行评价，预测 LUCC 发展规律，根据推断制定合理的土地规划政策）、LUCC 生态环境效应、3S 技术在 LUCC 中的应用、对 LUCC 时空特征及影响因素探究等。其内容丰富且研究领域广泛。

在我国，耕地质量变化研究大致分为三个阶段——早期调查、土地利用动态监测和耕地利用动态变化。早期调查阶段主要由先后三次的土壤与土地调查组成，通过土地利用现状调查获取耕地数量、质量和空间分布等信息（吴大方，2010）；土地利用动态监测阶段 3S 技术发挥了很大作用，各地方建立其耕地质量监测点，利用遥感监测、获取耕地空间数据。利用 ArcGIS 处理分析数据，进行耕地质量评价，形成较好的耕地评价管理系统，成为了今后耕地质量变化研究的一种趋势（曹隽隽，2013）；耕地利用动态变化阶段，随着世界上土地利用覆盖变化（LUCC）的研究热潮，我国借鉴相关技术手段和经验，开展耕地质量、数量变化及变化趋势的综合性研究，并探讨影响耕地质量变化的因素。国内的耕地质量变化研究也按照此模式一直发展下来，并在此基础上针对耕地数量、质量和空间变化的研究都有不同程度的发展。耕地数量变化研究成果显著，向着区域性、多元性、综合性、精准性方向发展。耕地质量变化研究相比之下显得成果不足，多数研究集中于从单一指标上分析耕地质量变化的影响机理，并且在目前研究中耕地质量指标的选取和衡量指标影响程度仍是难点，耕地质量变化研究较为单一，缺乏综合性，国内主要通过研究耕地质量变化，具体从某一因素上分析影响质量变化的原因，由此提出科学的耕地保护办法。若日后能够从多项指标、多个学科理论入手，研究耕地质量变化与耕地保护问题，势必会有一定的突破。随着 3S 技术的发展，耕地空间变化被给予广泛的关注和研究，空间变化也属目前学术界的研究热点，根据 ArcGIS 进行耕地质量空间分析，全面掌握耕地质量等级的分布状况，实现了同一区域不同时间，同一

时间不同区域的对比,通过研究时间和空间双重领域的耕地质量变化,耕地空间变化研究更加全面,变化信息更加精准。耕地空间变化的研究前景较好,此类研究成果颇多,如石淑芹等(2008)借助 GIS 技术对东北区耕地质量进行综合评价,利用耕地自然指标和利用类型指标与粮食产量关系,探讨耕地数量、质量变化对粮食生产力的影响;梁卓娜(2017)运用 ArcGIS 和数学模型相结合,揭示了内蒙古奈曼旗 4 年的农用地质量等级空间分布规律,结合变化情况探究了影响因素的作用机理;何尹杰等(2017)利用 ArcGIS 手段,对珠海市 1982 年、2019 年空间数据进行插值分析,分析了 30 多年来珠海市耕地质量时空变化规律;马慧婷(2017)利用 ArcGIS 结合评价方法,对 1982 和 2012 年的三江平原区耕地土壤调查数据进行同一评价指标体系的耕地质量评价,在同一标准尺度下分析耕地质量变化规律及其影响因素的变化情况。

1.3.3 耕地质量分区研究进展

耕地质量分区的研究随着耕地质量评价的发展而逐渐成为研究热点,国内外学者从不同角度、不同的分区目的进行相应研究,均取得了一定成果(孙妍芳,2018)。国外耕地质量分区研究偏向于耕地可持续利用分区的研究,Ochola W O(2004)通过开发空间决策支持系统(SDSS)对肯尼亚耕地进行可持续性评价,形成区域耕地质量及土壤属性分布图,用于农业实践,以实现耕地的可持续管理;Tammi 等(2017)通过对土地生态服务功能进行评价,开展区域规划研究;近些年国外也出现了通过土地分区,进行土壤危害预测的事例。Karppinen(2020)通过监测和调查加拿大土壤病原体的分布情况,评估与其分布有关因素的相对重要性,对可能出现土壤病原体的土地进行分区,用于实践中指导作物管理。

由于耕地质量分区比较依靠耕地质量等级成果,近些年国内的分区研究才逐渐随着耕地质量评价工作的发展而兴起,并且在不同时间段由于不同的耕地管理政策,使得我国耕地质量的分区种类较多,内容相对丰富,主要有以下几类分区:城乡增减挂钩分区(王洋,2011)、土地整治分区(门鑫,2017)、土地开发适应性分区(张荣群等,2018)、高标准基本农田建设分区(吴郁玲等,2018)、耕地质量提升潜力分区(邵雅静等,2019)、优先旱改水分区(孙姝艺等,2019)等,根据不同的土地功能、土地用途和土地利用来进行分区研究,主要目的是为了细化耕地管理办法,提出有条理的改善措施和管理工作的重点任务,来提高土地保护、规划工作效率。近年来随着耕地质量评价系统的完善,分区研究多以耕地质量评价为基础,借助 ArcGIS 和数学分析模型进行耕地质量主导因素或限制性因素或障碍因素的研究,针对指标限制性来划分耕地质量提升区。邵雅静(2019)、黄梦佳(2019)通过改进“自然等一提等潜力”模型,测算宝鸡市、长春市耕地质量指标主导限制性,划分耕地质量提升潜力分布区,并根据不同提升潜力区提出耕地质量提升措施;孙妍芳等(2017)对辽宁棕壤耕地质量进行评级后,利用障碍度模

型划分耕地质量障碍因素类型区,探讨土壤类型与障碍类型区的作用关系;吴倩(2019)运用 ArcGIS、定性与定量分析法进行黑龙江省耕地质量分等定级,并对耕地质量指标进行限制性分级汇总,根据指标限制性级别从省级和二级区两个尺度将黑龙江省耕地质量划分为合理利用、优先整治及重点整治区;秦伟霞等(2015)先依据土地利用功能在宏观层面上划分土地功能区,再针对功能区的生态因子进行障碍度诊断,在微观层面上划分生态质量障碍区,这种耕地质量分区很好地利用了土地具有的功能(宏观)、性状(微观)的特性,从多角度进行耕地质量分区,令划分的区域更加细致,减少了土地管理的工作量,使保护和提升目标更加明确。

综上所述,随着 3S 技术高速发展,全球耕地质量评价从单一走向综合,从定性向定量转化,各国都形成了适用于本国的耕地质量评价系统。我国近年来对耕地质量评价已经达到了全方位综合性的研究,无论从指标体系构建、质量等别划分还是数学模型引用等方面,我国耕地质量评价工作都向好发展,随着《国标》的发布,我国耕地质量评价工作更是迈进了一个崭新的阶段。然而在《国标》出台前,耕地质量评价工作也存在许多问题。各行业标准的多样化,导致各评价结果参差不齐,且评价结果不具有说服力,耕地质量结果无法进行科学有效地对比。《国标》的发布为耕地质量对比研究提供了理论和方法,间接地推动了耕地质量变化和耕地质量分区的研究。基于此,本研究以《国标》、耕地质量变化和耕地质量分区三个角度为切入点,严格遵循《国标》,构建同一评价指标体系和分级标准,进行耕地质量评价,探究耕地质量时空变化情况,通过引入障碍度模型,划分耕地质量障碍类型区,探讨耕地质量障碍类型区变化情况。

1.4 研究内容与方法

1.4.1 研究内容

本文遵循《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)国家标准,在利用特尔菲法从中选取 16 个评价指标、利用层次分析法和模糊数学法确定评价指标权重以及隶属度的基础上,建立同一耕地质量评价指标体系,借助 ArcGIS 软件、县域耕地管理信息系统软件对研究区 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,从数量、质量和空间上研究和分析 10 年间东北典型黑土区耕地变化情况,引入障碍度模型,并结合 ArcGIS 软件计算耕地质量评价指标障碍度,确定指标对耕地质量的限制性大小,按照区域中的重度障碍因素组合类型划分 2008 年和 2018 年耕地质量障碍类型区,在此基础上进一步研究 10 年间耕地质量障碍类型区的时空变化,结合不同区域重度障碍因素,提出耕地质量提升策略。以下为本文的主要内容:

(1) 构建同一东北典型黑土区评价指标体系、质量等级划分标准和障碍度分级标准;

(2) 针对 2008 年和 2018 年东北典型黑土区耕地质量评价情况,分析 10 年间耕地

质量时空变化情况;

(3) 划分东北典型黑土区耕地质量障碍类型区, 提出耕地质量提升策略;

1.4.2 研究方法

本文依照《国标》中规定的评价方法, 采用特尔斐法、层次分析法、模糊评价法确定评价指标权重及其隶属度, 利用 ArcGIS 软件进行评价单元划分及耕地质量空间分析, 采用障碍度模型划分耕地质量障碍类型分区并研究其变化情况。

(1) 特尔斐法: 也叫专家评分法。主要利用专家们的专业知识和丰富的经验, 针对独立的问题给出判断和分值, 经过多轮反复的打分, 对专家们给出的分值进行归纳、反馈、总结, 结果趋于一致, 得到的分值逐步集中(闫一凡, 2014)。具体做法为, 首先确定耕地质量指标问题提纲, 选择研究区各地方专家组成专家小组, 通过专家反复打分, 得到唯一的分值, 并确定研究区评价指标体系。

(2) 层次分析法: 层次分析法把问题按照内部相互联系分成一个系统来进行研究。将问题与各因子组成序列关系, 或将问题与因子, 因子与因子之间构建成一个层次结构模型, 使其具有多个层次, 或具有隶属关系(兰传宾, 2013)。以底层相对于上层的重要性为因子赋权值, 并进行排序计算, 构造出判断矩阵, 通过检验判断矩阵, 检查层次结构与构造者思维一致性。具体步骤是首先根据问题划分层次, 用图框说明各因素层次关系, 建立层次模型, 根据层次重要性引入数值, 写成判断矩阵, 接着给出各因素权值, 使用数学计算方法, 进行一致性检验, 接着由最高到最低层次进行总排序, 并逐层进行层次总排序的一致性检验。

(3) 模糊评价法: 其原理就是将无法用数据表示的模糊的概念性问题, 通过应用隶属度和隶属函数的概念, 对不同的模糊性问题都建立起隶属函数关系, 隶属函数子集取自 0-1 之间的任何数值, 关系在 0 “不符合” 到 1 “完全符合” 之间变化(吴乐芹, 2014)。具体做法为, 将评价指标与耕地质量的隶属函数关系分为戒上型、戒下型、峰型、直线型和概念型这几种隶属函数模型。对于前四种针对数值型指标, 根据专家给出的隶属度, 拟合隶属函数, 最终得到隶属度值, 而最后一种针对概念型指标, 让专家直接给出指标隶属度。

(4) 障碍度函数模型: 是一种全面探究影响问题发展因素的数学模型。在进行耕地质量评价后, 对影响耕地质量的各指标进行障碍度诊断, 深入挖掘影响耕地质量的障碍因素。具体做法是引入因子贡献率、指标偏离度和障碍度 3 个因子, 并进行计算, 得到每个指标障碍度值, 对障碍度值进行大小排序, 即每个指标对耕地质量的影响程度大小, 并根据不同区域受指标影响程度差异, 来划分耕地质量障碍类型区, 研究障碍类型区变化情况, 并提出耕地质量提升对策。

(5) 地理信息系统软件空间分析法: 运用 ArcGIS 软件强大的空间分析功能和数据

处理功能，实现耕地质量属性编辑、空间数据管理，提高耕地质量评价数据精度，实现空间信息多元化管理。即运用 ArcGIS 空间数据处理功能，将各专题图叠加生成评价单元，运用插值功能将采样点数据赋值到评价单元，建立东北典型黑土区耕地质量指标空间数据库。运用耕地质量管理信息系统，构建指标体系，划分质量等级，进行耕地质量评价，将结果影射到分布图上，从数量和空间角度研究耕地质量分布特征和动态变化。

1.5 技术路线

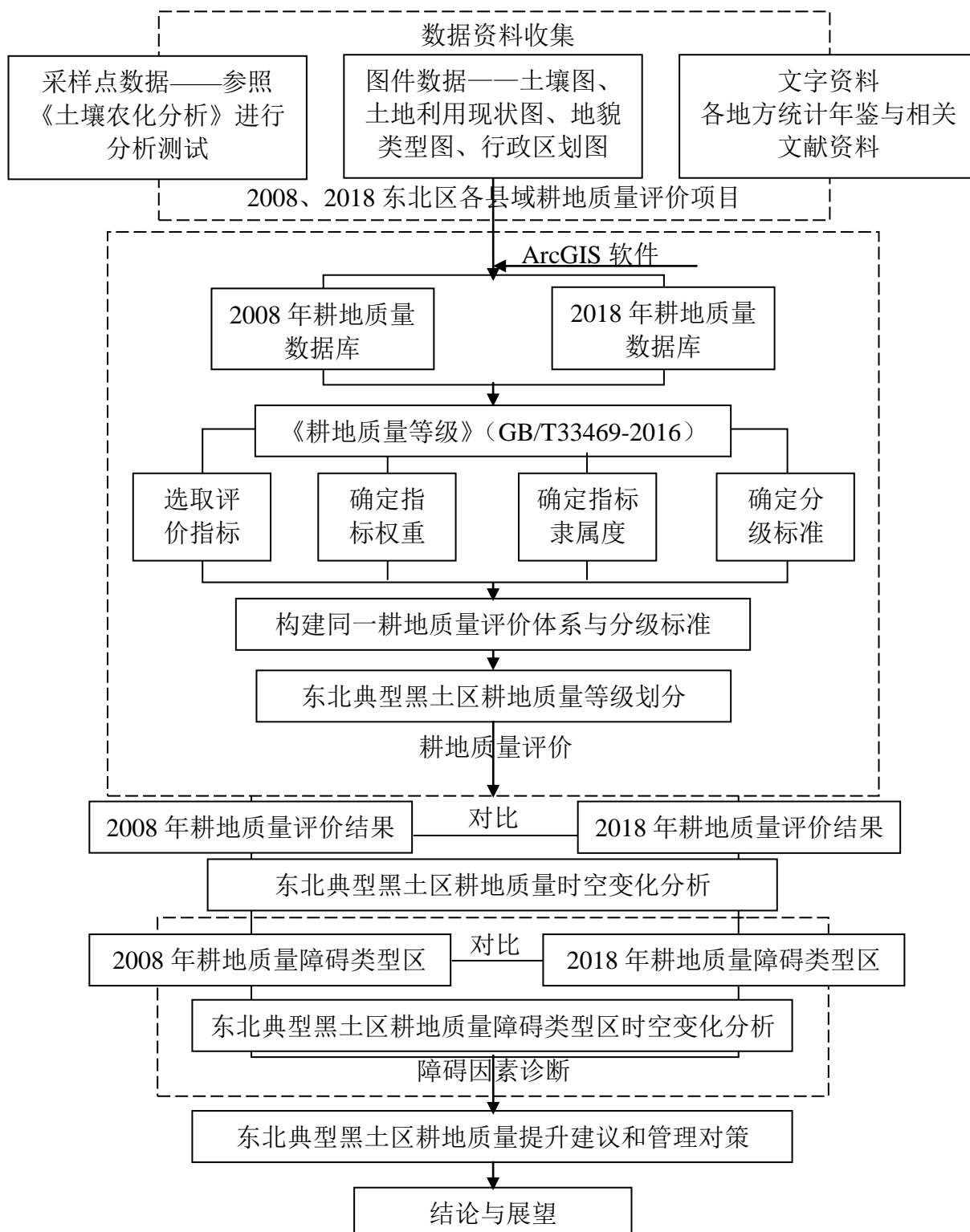


图 1-1 技术路线图

Fig 1-1 Chart of technical route

第二章 研究区概况及耕地质量综合评价

2.1 研究区概况

东北典型黑土区主要分布在东北平原中部，是特指我国的土壤分类系统中“黑土”的主要分布区域（阎百兴，2008）。介于 123°32′~128°19′E，42°23′~51°00′N，纵跨黑、吉、辽三省，北起黑龙江省嫩江县，南至辽宁省昌图县，西到辽宁省昌图县，东达吉林省宾县，共计 39 个市、区、县。区域内分布的土壤类型全部是由“黑土”、“黑钙土”和“草甸黑土”组成，地貌类型以平原和低丘为主。东北典型黑土区目前已开垦的耕地面积约 800 万 hm²。

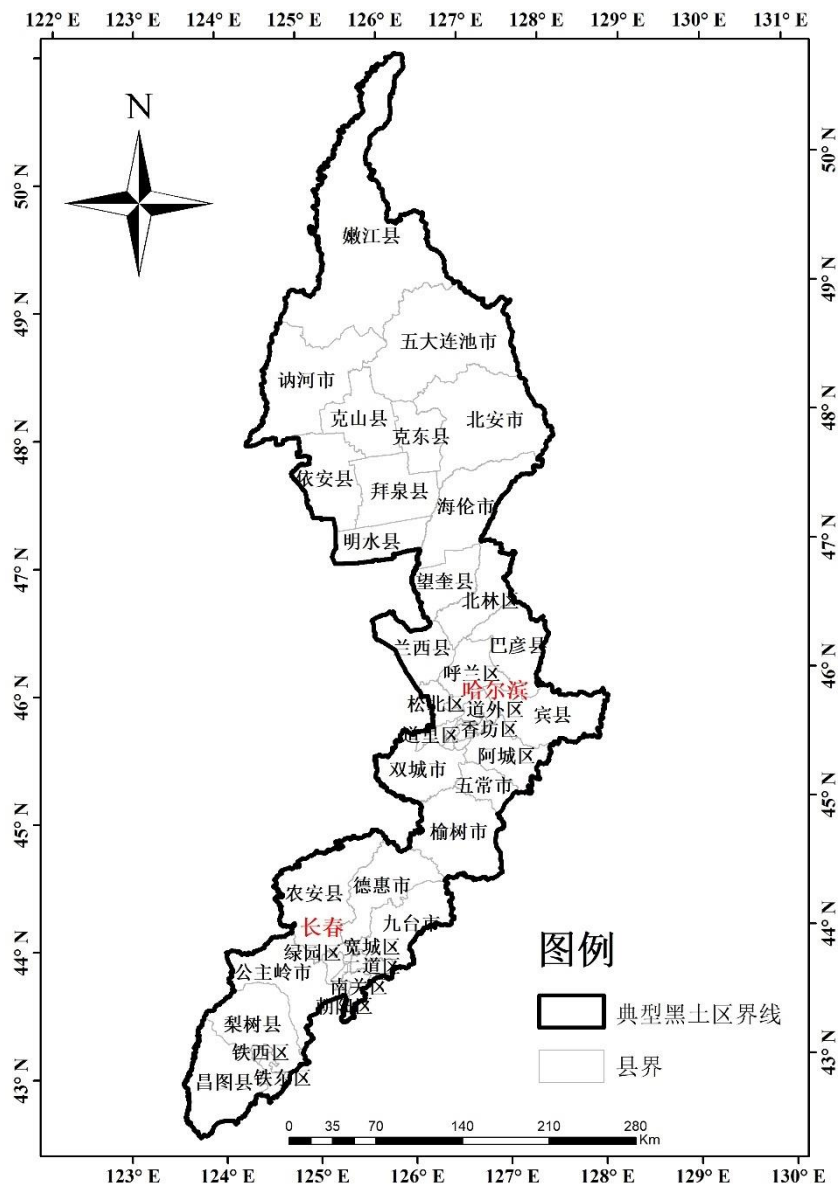


图 2-1 东北典型黑土区行政区划图

Fig. 2-1 Administrative map of the typical black soil region in Northeast China

该区地处亚洲大陆东部,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,秋季多雨多风;地区内受气候影响,昼夜温差较大,无霜期较短,大致在110~140 d;年降水量在350~1200 mm间浮动,大部分地区集中在450~850 mm,降水适宜,雨热同期;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。

东北典型黑土区由于有机质含量高,土壤肥沃,使得粮食产量丰厚(刘丙友,2003)。其不仅是我国重要的商品粮基地,更是经济作物主产区和畜牧业基地,提供了全国33%以上的玉米产量和50%以上的大豆产量,并且每年向国家交售约50亿kg的商品粮,是中国粮食安全的稳压器,是国家名副其实的大粮仓。东北典型黑土区还是我国能源、木材、煤炭等生产开发基地,曾享受共和国长子的美誉。

2.2 耕地质量评价方法

2.2.1 数据来源与处理

(1) 采样点数据:来源于2008和2018年东北各县区耕地质量调查与评价采样点调查结果,内容包括地名、经纬度、土类、成土母质、地形部位、有效土层厚度、耕层厚度、耕层质地、土壤容重、质地构型、生物多样性、农田林网化、土壤pH、障碍因素、清洁程度、灌溉能力、排水能力、有机质、有效磷、速效钾等。2008年共计获取采样点数据7456个,2018年10583个。利用ArcGIS软件制作2008年和2018年的采样点位分布图(图2-2所示)。

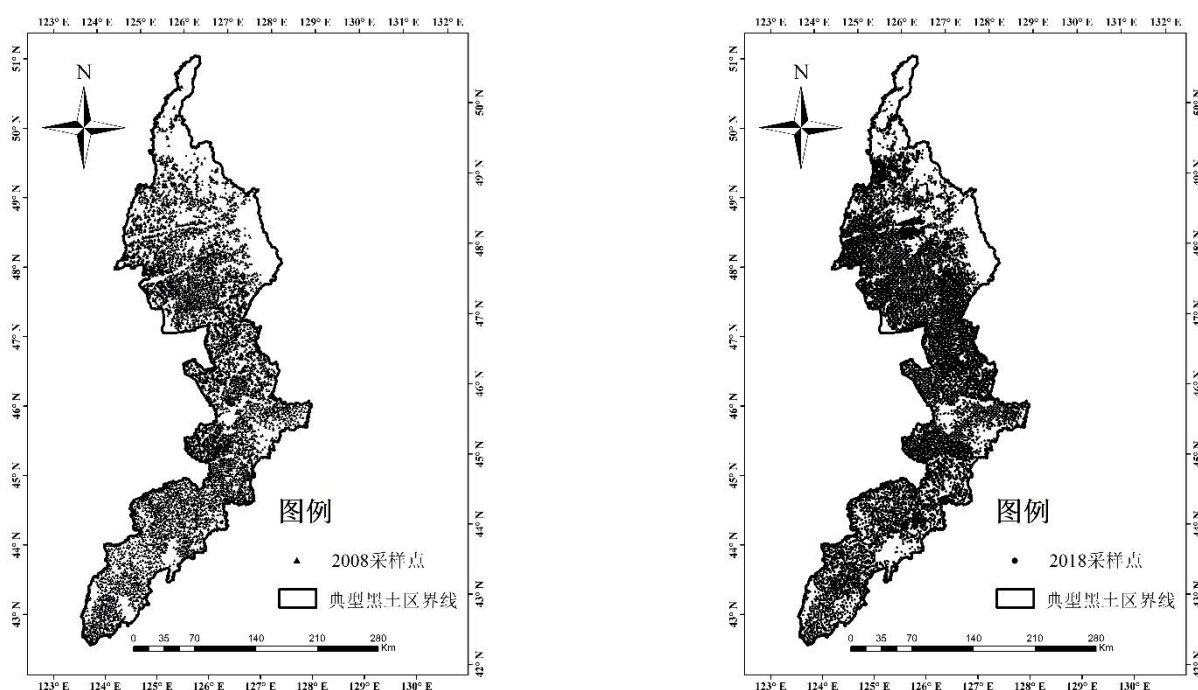


图 2-2 东北典型黑土区采样点分布图

Fig. 2-2 Sampling distribution map of typical black soil in Northeast China

(2)图件数据:主要包括 2017 年东北三省 1:50 万比例尺土地利用现状图、土壤图、地貌类型图、行政区划图等。

1) 评价单元图制作: 首先将收集到的数据进行统一管理, 将所有数据在 ArcGIS 中转换为 Gauss-Kruger 投影, 2000 国家大地坐标系, 构建图层空间数据库。其次利用 ArcGIS 中 Analysis Tools 下的 Overlay 菜单下的 Intersect 功能(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, 并在数据库中对评价单元中目标字段进行检验或创建, 以便关联采样点属性数据。最终形成评价单元 11363 个, 如图 2-3 所示。

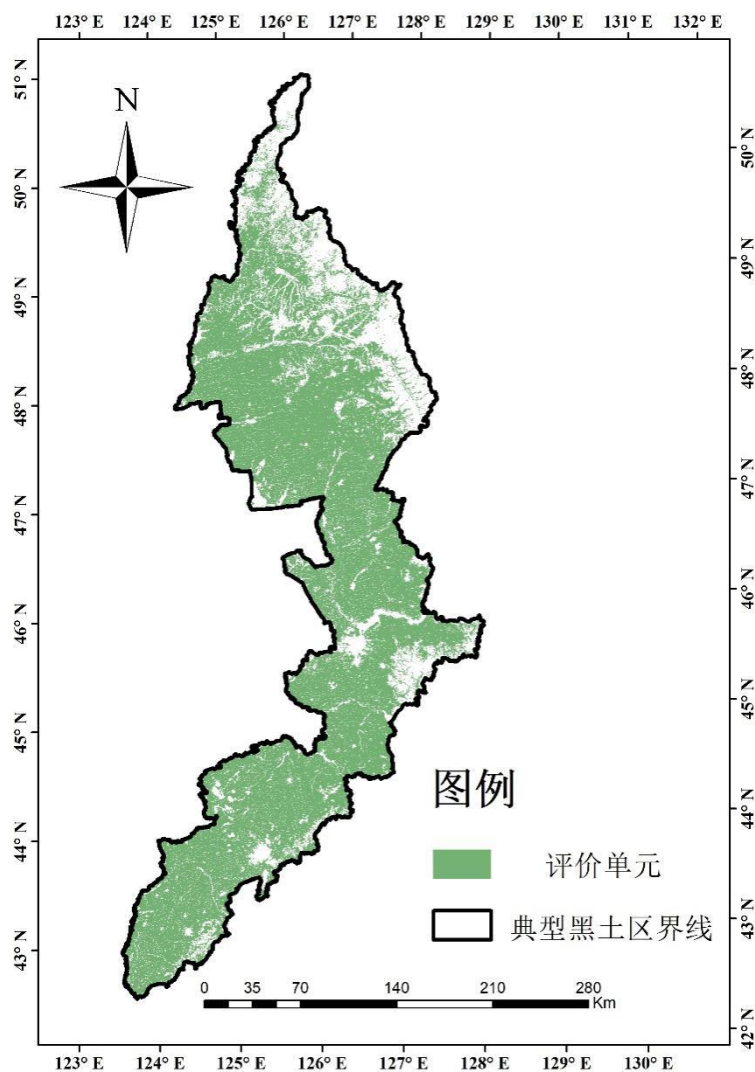


图 2-3 东北典型黑土区评价单元图

Fig. 2-3 Evaluation unit map of typical black soil area in Northeast China

2) 评价单元赋值: 利用 Geostatistical Analyst Tools 下的 Interpolation 菜单中的 IDW (反距离加权) 插值法对土壤 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,再通过 Spatial Analyst Tools 功能模块下的 Zonal Statistics(区域统计)功能,统计出插值栅格图与评价单元图相重叠的区域的平均值,并根据两图中的相同字段将插值结果赋值到评价单元上;对地形部位、农田林网化和灌溉能力等概念型数据,采用“以点代面”(在 ArcGIS 中 Spatial Join 功能下按空间位置进行关联)的方法,将采样点分布图与评价单元图进行属性关联,为评价单元赋值。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,以便反映同一个耕地图斑耕地质量的差异。

(3) 相关文字资料:《耕地质量等级》(GB/T33469—2016)、《耕地质量调查监测与评价办法》(农业农村部令 2016 年第 2 号)、北京科学出版社出版《ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程》(汤国安,杨昕,2006)、《黑龙江省统计年鉴》、《吉林省统计年鉴》、《辽宁省统计年鉴》等。

2.2.2 建立评价指标体系

评价指标体系的构建是获得准确的耕地质量评价结果的必要前提。本研究遵循《国标》,采用特尔菲法,遵循空间差异性、主要性、稳定性、基础性指标和区域补充性指标相结合的选取原则,基于立地条件、剖面性状、耕层理化性状、养分状况、健康状况和土壤管理 6 个方面,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、耕层质地、土壤容重、质地构型、生物多样性、清洁程度、障碍因素、灌溉能力、排水能力、农田林网化以及土壤养分状况下的土壤有效磷、速效钾等 14 个基础性指标和耕层厚度、酸碱度 2 个区域性指标,对 2008 年和 2018 年东北典型黑土区构建同一耕地质量评价指标体系。利用层次分析法,根据耕地质量与各指标之间的关系,构造目标层、准则层和指标层关系结构,最终建立评价指标体系的层次结构(表 2-1 所示)。

表 2-1 东北典型黑土区耕地质量评价指标体系及指标权重

Table 2-1 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	指标层 Index
东北典型黑土区耕地质量	立地条件	地形部位
		农田林网化
		有效土层厚度
	剖面性状	质地构型
		障碍因素
		耕层厚度
	耕层理化性状	耕层质地
		土壤容重

	pH
	有机质
养分状况	有效磷
	速效钾
健康状况	生物多样性
	清洁程度
土壤管理	灌溉能力
	排水能力

2.2.3 评价指标权重确定

权重，即每个评价指标对耕地质量的影响程度，本文遵循《国标》，采用特尔斐法与层次分析法相结合的方法，确定评价指标的权重值。上文中利用层次分析法建立好层次分析模型，用图表的形式清晰地说明了东北典型黑土区评价指标的层次递阶结构和从属关系。利用特尔斐法，让每位专家对建立好的层次分析模型中各层次指标和下一层次对上一层次指标影响程度进行判断，根据经验给出定量的分值，将结果进行统计评估，构造判断矩阵，并通过判断最大特征值，进行一致性检验，得到的最大特征值对应的特征向量即为评价指标权重值。

(1) 构造判断矩阵

判断矩阵表示针对上一层次某因子，本层次和其相应指标之间相对重要性的比较。各判断矩阵因素值就是专家对各指标好坏程度的认知，一般采用 1~9 及其倒数的形式表示。判断矩阵的因素值的表示含义如表 2-2 所示。专家依据表中数值的含义，结合经验对相互比较的因素给出具有实际意义的比值，构成各层次判断矩阵。

表 2-2 判断矩阵分值及其含义

Table 2-2 Judgement matrix value and its implication

数值 Value	含义 Implication
1	两个因素具有同样重要性
3	一个因素比另一个略微重要
5	一个因素比另一个因素格外重要
7	一个因素比另一个因素非常重要
9	一个因素比另一个因素极端重要
2、4、6、8	上述判断程度的中间程度
倒数	一个因素 i 与另一个因素 j 比较值为 b_{ij} ，则因素 j 与 i 比较值为 $1/b_{ij}$

(2) 层次单排序及其一致性检验

构造判断矩阵后，采用和积法计算判断矩阵的最大特征根 λ_{max} 及其对应的特征向量 W，通过计算一致性 CI，并用公式 $CR=CI/RI$ 对判断矩阵进行一致性检验，就可以计算出各因素的权值。计算方法如下（以矩阵 B 为例）：

按照公式（1）将比较矩阵每一列正规化

$$\hat{b}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

按照公式（2）每一列经正规化后的比较矩阵按行相加

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \hat{b}_{ij} \quad \dots\dots\dots (2)$$

按照公式（3）对向量

$$\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots \bar{W}_n] \quad \dots\dots\dots (3)$$

按照公式（4）正规化

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i}, i = 1, 2, 3 \dots, n \quad \dots\dots\dots (4)$$

所得到的 $W=[W_1, W_2, W_3, \dots W_n]^T$ 即为所求的特征向量，也就是各个因素的权重值。

按照公式（5）计算比较矩阵最大特征根 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nW_i}, i=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中 $(BW)_i$ 表示向量 BW 的第 i 个指标。

一致性检验：首先计算一致性 CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中 n 为比较矩阵的阶，也是指标个数。

根据表 2-3 查找随机一致性指标 RI ，按照公式（7）计算一致性比率 CR ，

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \dots\dots\dots (7)$$

表 2-3 随机一致性指标 RI 值

Table 2-3 RI values of random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

当 $CR < 0.1$ 就认为比较矩阵的不一致程度在容许范围内；否则需要重新调整，直到矩阵满足要求为止。如此反复打分，反复修改调整，最终形成东北典型黑土区各层次及其指标的判断矩阵，并通过一致性检验，各层次权值均调整至合理，得到的最终结果如表 2-4、2-5、2-6、2-7、2-8、2-9、2-10 和 2-11 所示：

表 2-4 东北典型黑土区耕地目标层次结构模型判断矩阵

Table 2-4 Judgment matrix of hierarchical structure of target layers in the typical black soil region of Northeast China

第二章 研究区概况及耕地质量综合评价

耕地质量	健康状况	土壤管理	养分状况	立地条件	耕层理化性状	剖面性状
cultivated land quality	Health status	Soil management	Nutrient status	Site condition	Arable layer physical and chemical property	Profile characteristics
健康状况	1.0000	0.4510	0.4340	0.4182	0.3898	0.2911
土壤管理	2.2174	1.0000	0.9623	0.9273	0.8644	0.6456
养分状况	2.3043	1.0392	1.0000	0.9636	0.8983	0.6709
立地条件	2.3913	1.0784	1.0377	1.0000	0.9322	0.6962
耕层理化性状	2.5652	1.1569	1.1132	1.0727	1.0000	0.7468
剖面性状	3.4378	1.5490	1.4906	1.4364	1.3390	1.0000

表 2-5 东北典型黑土区耕地质量准则层（剖面性状）层次结构模型判断矩阵

Table 2-5 Judgement matrix of hierarchical structure model of cultivated land quality criterion layer
(profile characteristics) in the typical black soil region of Northeast China

剖面性状	耕层厚度	障碍因素	质地构型	有效土层厚度
Profile characteristics	Arable layer thickness	Obstacle factor	Texture configuration	Effective soil layer thickness
耕层厚度	1	0.9123	0.8525	0.6118
障碍因素	1.0962	1	0.9344	0.6706
质地构型	1.1731	1.0702	1	0.7176
有效土层厚度	1.6346	1.4912	1.3934	1

表 2-6 东北典型黑土区耕地质量准则层（耕层理化性状）层次结构模型判断矩阵

Table 2-6 Judgement matrix of hierarchical structure model of cultivated land quality criterion layer
(Arable layer physical and chemical property) in the typical black soil region of Northeast China

耕层理化性状	土壤容重	酸碱度	耕层质地
Arable layer physical and chemical property	Soil bulk density	pH	Arable layer texture
土壤容重	1	0.6875	0.5789
酸碱度	1.4545	1	0.8421
耕层质地	1.7273	1.1875	1

表 2-7 辽宁棕壤耕地准则层（立地条件）层次结构模型判断矩阵

Table 2-7 Judgement matrix of hierarchical structure model of cultivated land quality criterion layer (Site
condition) in the typical black soil region of Northeast China

立地条件	农田林网化	地形部位
Site conditions	Field forest network	Terrain position
农田林网化	1	0.6190
地形部位	1.6154	1

表 2-8 东北典型黑土区耕地质量准则层（养分状况）层次结构模型判断矩阵

Table 2-8 Judgement matrix of hierarchical structure model of cultivated land quality criterion layer
(Nutrient status) in the typical black soil region of Northeast China

养分状况	速效钾	有效磷	有机质
------	-----	-----	-----

Nutrient status	Available potassium	Available phosphorous	Organic matter
速效钾	1.0000	0.8095	0.6375
有效磷	1.2353	1.0000	0.7875
有机质	1.5686	1.2698	1.0000

表 2-9 东北典型黑土区耕地质量准则层（土壤管理）层次结构模型判断矩阵

Table 2-9 Judgement matrix of hierarchical structure model of cultivated land quality criterion layer (Soil management) in the typical black soil region of Northeast China

土壤管理	排水能力	灌溉能力
Soil management	Drainage capacity	Irrigation capacity
灌溉能力	1	0.45
排水	2.2222	1

表 2-10 东北典型黑土区耕地质量准则层（健康状况）层次结构模型判断矩阵

Table 2-10 Judgement matrix of hierarchical structure model of cultivated land quality criterion layer (Health status) in the typical black soil region of Northeast China

健康状况	清洁程度	生物多样性
Health status	Cleaning degree	Biodiversity
清洁程度	1	0.9667
生物多样性	1.0345	1

（3）层次总排序及其一致性检验。

计算同一层次所有因素对于最高层（总目标）相对重要性的排序权值，称为层次总排序。层次总排序是从目标上层到下层逐层进行的。若上一层次 A 包含 n 指标 A_1, A_2, \dots, A_n ，并经过构造判断矩阵和一致性检验，得到 A 层的层次总排序权值为 a_1, a_2, \dots, a_n ，那么 A 层包含的下一层 B 层的 m 个指标 B_1, B_2, \dots, B_m ，它们对于指标 A_j 的层次单排序权值分别为 $b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jm}$ ，则 B 层次总排序权值为 $\sum_{j=1}^n a_j b_{j1}, \sum_{j=1}^n a_j b_{j2}, \dots, \sum_{j=1}^n a_j b_{jm}$ 。得到的层次总排序同样需要进行层次总排序一致性检验，和单排序一样从高层次到低层次进行的。如果 B 层指标对于 A_j 单排序的一致性指标为 CI_j ，相应的平均随机一致性比率为 CR_j ，则 B 层层次总排序一致性比率按照公式（8）计算。

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^n a_j CI_j}{\sum_{j=1}^n a_j RI_j} \dots\dots\dots (8)$$

类似的，当 $CR < 0.1$ ，层次总排序结果一致性通过，否则需要反复调整改正分值，直到通过为止，从而确定东北典型黑土区耕地质量各评价指标最终的组合权重，结果见表 2-11。

表 2-11 东北典型黑土区评价指标组合权重表

Table 2-11 Evaluation index combined weight of the typical black soil region in Northeast China

层次 A Layer A	健康 状况 Health status	土壤 管理 Soil management	养分 状况 Nutrient status	立地条件 Site condition	耕层理 化性状 Arable layer physical and chemical property	剖面 性状 Profile characteristics	组合 权重 Combined weight
	0.0719	0.1594	0.1656	0.1719	0.1844	0.2469	$\sum C_i A_i$
清洁程度	0.4915						0.0353
生物多样性	0.5085						0.0365
排水能力		0.3103					0.0495
灌溉能力		0.6897					0.1099
速效钾			0.2629				0.0435
有效磷			0.3247				0.0538
有机质			0.4124				0.0683
农田林网化				0.3824			0.0657
地形部位				0.6176			0.1062
土壤容重					0.2391		0.0441
酸碱度					0.3478		0.0641
耕层质地					0.4130		0.0762
耕层厚度						0.2039	0.0503
障碍因素						0.2235	0.0552
质地构型						0.2392	0.0591
有效土层厚度						0.3333	0.0823

2.2.4 计算评价指标隶属度

本文遵循《国标》，采用模糊数学法和特尔菲法确定评价指标隶属度。根据模糊数学理论，将上文中从《国标》中选取的 16 个指标与耕地质量的关系分为戒上型函数、峰型函数和概念型函数 3 种类型的隶属函数。

(1) 戒上型函数模型：适合这种函数模型的评价指标，其数值越大，反映出的耕地质量水平就越高，但达到某一临界点之后，其对耕地质量的贡献效果也趋于恒定。已选取的指标中有效土层厚度、耕层厚度、有机质、有效磷、速效钾均适用于此隶属函数模型。

$$y_i = \begin{cases} 0, & u_i \leq u_t \\ 1/[1 + a_i(u_i - c_i)^2], & u_t < u_i < c_i \quad (i = 1, 2 \dots m) \\ 1, & u_i \leq c_i \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

公式 (9) 中 y_i 为第 i 个指标的隶属度； u_i 为样品实测值； c_i 为标准指标值； a_i 为系数； u_t 为下限值

(2) 峰型函数模型：适合这种函数模型的评价指标，其数值离某一特定数值距离越近，相应的耕地质量水平就越高。已选取的指标中 pH、土壤容重适用于此隶属函数

模型。

$$y_i = \begin{cases} 0, & u_i > u_{t1} \text{ 或 } u_i < u_{t2} \\ 1/[1 + a_i(u_i - c_i)^2] & u_{t1} < u_i < u_{t2} \\ 1, & u_i = u_{t1} \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

公式(10)中 u_{t1} 、 u_{t2} 分别置上、下限值。

概念型函数模型：这类指标的性状是定性的，不是用具体数值来表示的，而是用其本身所特有的一种或多种属性表示出来的，与耕地质量是一种非线性关系。已选取的指标中地形部位、质地构型、障碍因素、耕层质地、生物多样性和农田林网化适用于此模型。

隶属函数的计算是耕地质量评价的关键一步。对于数值型指标，依据《国标》给出的东北区耕地质量等级划分标准，让专家们对已测得的实验数据提出相应的隶属度，并根据上文给出的隶属函数模型，进行隶属函数曲线的拟合，再将各评价指标的实测值带入拟合好的隶属函数曲线进行计算，即可得到各评价指标的隶属度值，如表 2-12、2-13 所示。

表 2-12 东北典型黑土区耕地质量评价数值型指标评估值及隶属度

Table2-12 Assessment and membership of numeric index of cultivated land quality evaluation in the typical black soil region of Northeast China

指标 Index	项目 Item	结果 Result									
有效土层厚度	指标值	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
	分值	10.00	9.81	9.60	9.00	8.06	7.00	5.80	4.50	3.70	3.00
	隶属度	1.00	0.98	0.96	0.90	0.81	0.70	0.58	0.45	0.37	0.30
耕层厚度	指标值	30	25	20	15	10					
	分值	9.94	9.19	8.25	6.63	5.13					
	隶属度	0.99	0.92	0.83	0.66	0.51					
土壤容重	指标值	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6			
	分值	6.72	8.38	9.63	9.63	8.19	6.25	4.75			
	隶属度	0.67	0.84	0.96	0.96	0.82	0.63	0.48			
pH	指标值	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	
	分值	6.00	7.63	9.13	10.00	9.75	8.63	7.44	6.25	4.75	
	隶属度	0.60	0.76	0.91	1.00	0.98	0.86	0.74	0.63	0.48	
有机质	指标值	60	50	40	35	30	25	20	15	10	6
	分值	10.00	9.80	9.30	8.60	7.88	6.80	5.88	4.69	3.88	3.50
	隶属度	1.00	0.98	0.93	0.86	0.79	0.68	0.59	0.47	0.39	0.35
有效磷	指标值	60	40	30	25	20	15	10	5		
	分值	60	40	30	25	20	15	10	5		
	隶属度	1.00	0.95	0.82	0.73	0.64	0.51	0.43	0.37		

	指标值	300	250	200	150	100	50	30
速效钾	分值	10.00	9.66	9.30	7.88	6.81	5.31	4.60
	隶属度	1.00	0.97	0.93	0.79	0.68	0.53	0.46

表 2-13 东北典型黑土区耕地质量评价数值型指标隶属函数

Table2-13 Membership functions of numeric index of cultivated land quality evaluation in the typical black soil region of Northeast China

函数类型	指标	隶属函数	C	Ut
Function type	Index	Function		
戒上型	有效土层厚度(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	耕层厚度 (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	有机质 (g·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	有效磷 (mg·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	速效钾 (mg·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	pH	$Y=1/[1+0.209\ 720\times(U-C)^2]$	6.776 050	$U_{t1}=0.22, U_{t2}=13.32$
峰型	土壤容重 (g·kg ⁻³)	$Y=1/[1+8.696\ 016\times(U-C)^2]$	1.242 811	$U_{t1}=0.22, U_{t2}=2.26$

表 2-14 东北典型黑土区耕地质量评价概念型指标隶属度

Table 2-14 Membership degrees of conceptual index of cultivated land quality evaluation in the typical black soil region of Northeast China

评价指标	属性	隶属度	评价指标	属性	隶属度
Evaluation index	Attribute	Membership degree	Evaluation index	Attribute	Membership degree
地形部位	平原中阶	1.00	障碍因素	无	1.00
	宽谷盆地	0.96		障碍层次	0.71
	平原高阶	0.89		渍潜	0.65
	丘陵下部	0.78		瘠薄	0.56
	丘陵中部	0.77		酸化	0.55
	平原低阶	0.75		盐碱	0.40
	山间盆地	0.74		耕层质地	1.00
	山地坡下	0.64		轻壤	0.88
	丘陵上部	0.59		重壤	0.84
	山地坡中	0.54		砂壤	0.71
	山地坡上	0.43		黏土	0.60
	质地构型			砂土	0.48
质地构型	上松下紧型	1.00	生物多样性	丰富	1.00
	海绵型	0.94		一般	0.69
	夹层型	0.63		不丰富	0.41
	紧实型	0.59		农田林网化	1.00
	上紧下松型	0.53		高	0.79
	薄层型	0.52		中	0.53
	松散型	0.38		低	0.53
	灌溉能力			排水能力	
灌溉能力	充分满足	1.00	排水能力	充分满足	1.00
	满足	0.85		满足	0.83
	基本满足	0.61		基本满足	0.59
	不满足	0.40		不满足	0.30
清洁程度	清洁	1.00			

2.2.5 耕地质量综合指数 (IFI) 计算及等级划分

在运用特尔菲法、层次分析法、模糊评价法和 ArcGIS 空间分析法得到东北典型黑土区评价指标、指标权重、隶属度及评价单元 (已赋值) 图等基础上, 遵循《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), 即每个评价单元的综合得分。IFI 值越大说明该评价单元的耕地质量水平越高。耕地质量综合指数 (IFI) 计算方法如下:

$$IFI = \sum (C_i \times F_i) \quad \dots\dots\dots (11)$$

公式 (11) 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。

遵循《国标》, 在确定最高和最低指数拐点基础上, 采用等距离法将耕地质量划分为 10 个质量等级, 1 等地耕地质量最高, 10 等地耕地质量最低。确定耕地质量等级, 如表 2-15 所示。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 年作为基准年进行耕地质量综合指数评级, 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。

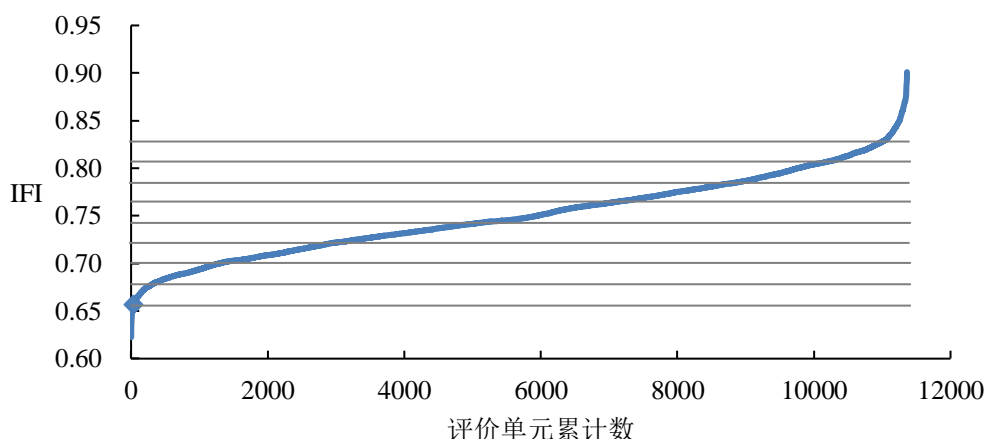


图 2-4 东北典型黑土区 2008 年耕地质量综合指数划分

Table 2-4 Division for comprehensive index of cultivated land quality in typical black soil areas in Northeast China in 2008

表 2-15 东北典型黑土区耕地质量综合指数分级

Table 2-15 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
高等地	1	≥ 0.8284
	2	0.8070~0.8284

中等地	3	0.785 6~0.807 0
	4	0.764 2~0.785 6
	5	0.742 8~0.764 2
	6	0.721 4~0.742 8
	7	0.700 0~0.721 4
低等地	8	0.678 6~0.700 0
	9	0.657 2~0.678 6
	10	<0.657 2

各评价单元耕地质量等级变化,采用差减法计算:

$$\Delta Gi = G_{2018i} - G_{2008i} \quad \dots\dots\dots (12)$$

公式(12)中 ΔGi 为*i*地块2008年至2018年耕地质量等级变化情况,负值(“-”)表示耕地质量等级提升,正值表示耕地质量等级下降。

在得到各评价单元耕地质量等级的基础上,采用面积加权法,计算东北典型黑土区平均耕地质量等级。

$$AG = \frac{\sum(G \times A)}{SA} \quad \dots\dots\dots (13)$$

公式(13)中 AG 为研究区域平均耕地质量等级, G 为评价单元耕地质量等级, A 为每个评价单元所占面积, SA 为研究区域总面积。

2.3 耕地质量障碍类型分区方法

在得到各评价单元耕地质量等级的上,引入障碍度模型,计算评价单元中每个耕地质量评价指标障碍度。障碍度函数计算方法如下:

$$B_{ij} = 1 - A_{ij} \quad \dots\dots\dots (14)$$

公式(14)中 B_{ij} 是准则层*i*中的指标*j*的指标偏离度, A_{ij} 是准则层*i*中的指标*j*的隶属度

$$M_{ij} = \frac{B_{ij}V_{ij}}{\sum_{j=1}^n B_{ij}V_{ij}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (15)$$

公式(15)中 M_{ij} 是准则层*i*中的指标*j*的障碍度, V_{ij} 是准则层*i*中的指标*j*的权重。

根据公式(14)、(15)分别计算出东北典型黑土区2008年和2018年各评价单元各指标障碍度,依据等距法将评价单元的指标障碍度划分成4个级别:无障碍(0)、轻度障碍(0~10%)、中度障碍(10%~20%)和重度障碍(>20%)(张立江等,2017),障碍度越大说明指标对耕地质量限制性越大。在此基础上,挑选出评价单元中的重度障碍指标,评价单元中如果出现两个或多个重度障碍指标,则按照障碍度大小对重度障碍指标进行排序组合,划分为主要指标一次要指标障碍类型区,如果评价单元只出现1个重度障碍指标,即为主要指标障碍类型区(孙妍芳,2017),不存在重度障碍指标的为无

障碍类型区。

第三章 东北典型黑土区耕地质量时空变化分析

遵循《国标》，利用上文所述的评价方法，建立同一评价指标体系、同一分级标准，对东北典型黑土区 2008 年和 2018 年耕地质量进行评价，分析东北典型黑土区 10 年间耕地质量时空变化情况。

3.1 东北典型黑土区耕地质量总体情况

3.1.1 2008 年耕作质量总体情况

2008 年耕地质量等级结果如表 3-1 所示，耕地质量等级分布图如图 3-1 所示。从评价结果可以看出，东北典型黑土区耕地总面积 830.26 万 hm^2 。2008 年东北典型黑土区各类型耕地中面积最大的是 5 等地，为 185.92 万 hm^2 ，占比 22.39%，在研究区中部和南部分布较多；面积最小的是 10 等地，为 2.96 万 hm^2 ，占比 0.36%，在研究区的中西部有少量分布。2008 年各等级耕地按照面积大小排序为：5 等地>6 等地>4 等地>7 等地>3 等地>8 等地>2 等地>1 等地>9 等地>10 等地。其中 5、6、4、7 等地面积较大，这四种类型耕地面积共达 617.51 万 hm^2 ，占比为 74.38%，约占研究区总面积的 3/4。

在此基础上，根据上文划分的高、中、低等地的标准，计算得到 2008 年研究区高等（1—3）地面积为 141.14 万 hm^2 ，占比为 16.99%，主要分布在研究区的南部和东北部；中等（4—6）地为 500.79 万 hm^2 ，占比为 60.32%，在研究区内分布广泛；低等（7—10）地面积为 188.33 万 hm^2 ，占比为 22.69%，主要分布在研究区的中部和西北部。并按照公式（13），对 2008 年东北典型黑土区平均耕地质量等级进行计算，得到的最终结果为 5.14。

表 3-1 2008 年东北典型黑土区不同质量等级耕地面积及占比

Table 3-1 Areas and proportions of different quality grades of cultivated land in the typical black soil areas in Northeast China in 2008

等级	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等	总计
Grade	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10	Total
面积(万 hm^2)	26.72	39.34	75.08	147.09	185.92	167.78	116.72	55.43	13.22	2.96	830.26
占比(%)	3.22	4.73	9.04	17.72	22.39	20.21	14.06	6.68	1.59	0.36	100

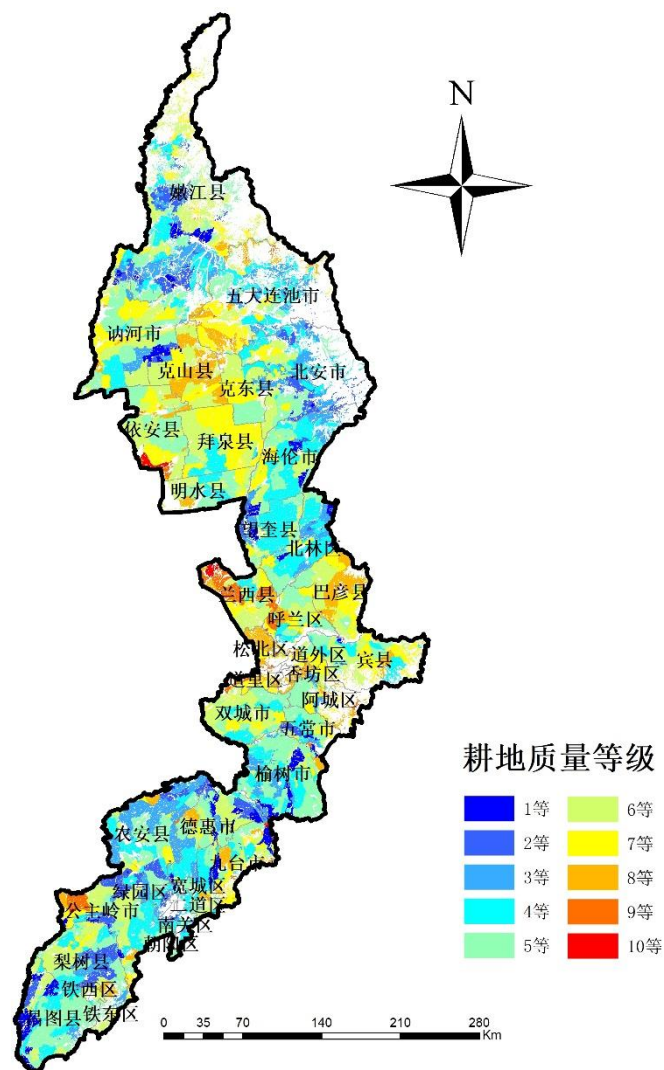


图 3-1 2008 年东北典型黑土区耕地质量等级空间分布图

Fig.3-1 Distribution of cultivated land quality grades in the typical black soil areas in Northeast China in 2008

3.1.2 2018 年耕作质量总体情况

2018 年东北典型黑土区耕地质量等级及其空间分布结果如表 3-2、图 3-2 所示。2018 年研究区各类型耕地中，面积最大的是 4 等地，为 201.79 万 hm^2 ，占比 24.3%，在研究区的北部和南部分布较多；面积最小的是 10 等地，为 0.34 万 hm^2 ，占比 0.04%，主要分布在研究区的中部。2018 年各等级耕地按照面积大小排序为：4 等地>3 等地>5 等地>2 等地>6 等地>1 等地>7 等地>8 等地>9 等地>10 等地。无独有偶，2018 年 4、3、5、2 这四种等级的耕地面积共达 617.51 万 hm^2 ，占比为 74.38%，也占了研究区总面积的 3/4。

计算研究区 2018 年高、中、低等地面积，得到的结果为：高等（1—3）地面积 341.15 万 hm^2 ，占比 41.09%，主要分布在研究区的中西部 and 西北部地区；中等（4—6）地面积

418.47 万 hm²，占比 50.4%，主要分布在研究区的南部和北部地区；低等地面积 70.64 万 hm²，占比 8.51%，在研究区中部分布较多。并按照公式（13）计算得出东北典型黑土区 2018 年平均耕地质量等级为 3.92。

表 3-2 2018 年东北典型黑土区不同质量等级耕地面积及占比

Table3-2 Areas and proportions of different quality grades of cultivated land in the typical black soil areas in Northeast China in 2018

等级	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等	总计
Grade	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10	Total
面积(万 hm ²)	63.26	113.94	163.95	201.79	146.12	70.56	50.73	17.35	2.22	0.34	830.26
占比(%)	7.62	13.72	19.75	24.3	17.6	8.5	6.11	2.09	0.27	0.04	100

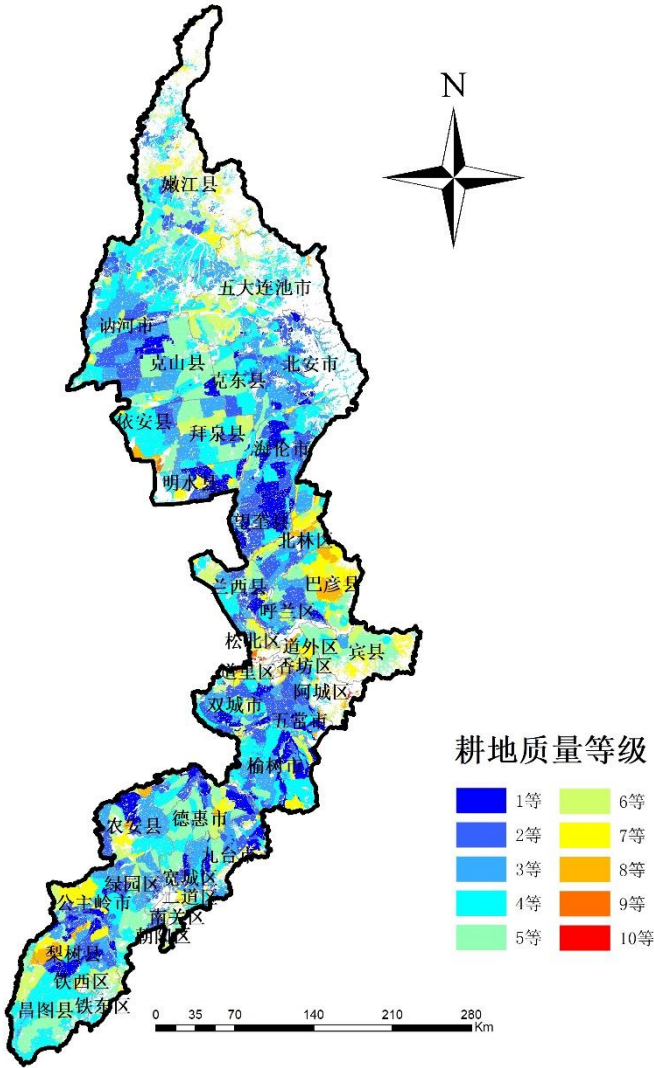


图 3-2 2018 年东北典型黑土区耕地质量等级空间分布图

Fig.3-2 Distribution of cultivated land quality grades in the typical black soil areas in Northeast China in 2018

3.2 10 年间东北典型黑土区耕地质量等级总体变化情况

3.2.1 10 年间耕地质量等级面积变化分析

根据上文得到的 2018 年和 2008 年耕地质量总体情况，可以看出东北典型黑土区 2018 年和 2008 年的耕地质量差异性是为明显的。由上文可知东北典型黑土区 2018 年耕地类型主要以高等地和中等地为主，而 2008 年则以中等地和低等地为主，2018 年较 2008 年相比平均耕地质量等级提升了 1.22 个等级，10 年间研究区整体耕地质量水平有所提升。为了更直观地探究 10 年间研究区每个等级的耕地面积变化情况，将 2018 年的耕地质量数据与 2008 年的数据进行对比（2018 年—2008 年），计算结果如图 3-3、表 3-3 所示。从图中可以看出，研究区 1—4 等地面积 2018 年较 2008 年均有显著增加，其中 3 等地增长的幅度最大，面积增加了 88.87 万 hm^2 ，上涨 10.7%；1 等地涨幅最小，面积增加了 36.53 万 hm^2 ，上涨 4.4%。相反的是，5—10 等地面积均有不同程度的降低，其中 6 等地下降幅度最大，面积减小了 97.22 万 hm^2 ，下降 11.71%；10 等地下降幅度最小，面积减少了 2.61 万 hm^2 ，下降 0.31%。2018 年较 2008 年高等地面积增加了 200.01 万 hm^2 ，中等地面积减少了 82.32 万 hm^2 ，低等地面积减少了 117.69 万 hm^2 。10 年间等级偏高的耕地面积增加，而等级偏低等的耕地面积下降，高等地面积增加，中等地、低等地面积减少，主要耕地类型由中低等地转为中高等地，由此可以看出东北典型黑土区 10 年间耕地质量稳步提升，耕地质量有向好发展的趋势。

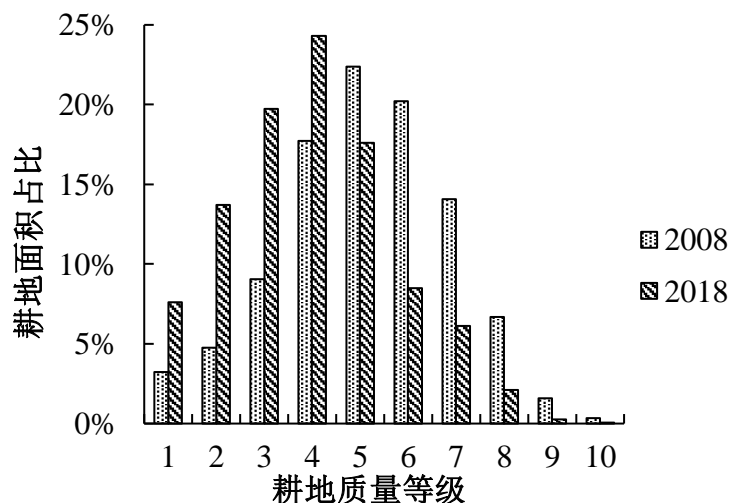


图 3-3 10 年间东北典型黑土区耕地质量等级对比图

Fig.3-3 Comparison of cultivated land quality grades in the typical black soil areas in Northeast China in 10 years

表 3-3 10 年间东北典型黑土区耕地等级面积变化表

Table3-3 Comparison of cultivated land quality grades in in the typical black soil areas in Northeast China
in 10 years

“-”: 减少

	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等
等级	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10
Grade	高等地			中等地			低等地			
	High quality			Medium quality			Low quality			
变化量(万 hm ²)	36.53	74.61	88.87	54.70	-39.80	-97.22	-65.98	-38.09	-11.01	-2.61
变化百分比(%)	4.40%	8.99%	10.70%	6.59%	-4.79%	-11.71%	-7.95%	-4.59%	-1.33%	-0.31%

3.2.2 10 年间耕地质量等级空间变化分析

将 2018 年和 2008 年的耕地质量等级图对比来看（图例中显示冷色调为高水平），2018 年质量等级分布图整体颜色要深于 2008 年，表明 2018 年的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，说明该区域 10 年间耕地质量变化较大。而东北部和中东部地区 2018 年与 2008 年颜色接近，说明该区域 10 年间耕地质量变化较小。为了更加清晰明了地探究每个评价单元的等级变化情况以及研究区内各耕地等级变化的分布情况，本文将同一评价单元 2018 年与 2008 年耕地质量等级结果进行差减（2018—2008），得到 10 年间研究区各评价单元耕地质量等级变化结果（其中负值表示等级提升，正值表示等级下降），如表 3-4、图 3-4 所示。可以看出 10 年间研究区评价单元耕地质量等级变化波动较大，但评价单元等级变化主要集中在-4—2 之间，质量提升 1 个等级的地块面积最大，为 183.11 万 hm²，占研究区总面积的 22.05%，零散分布于各市区内，且在研究区的北部分布相对较多；140.51 万 hm² 耕地提升 2 个等级，占比 16.92%，除在研究区的南北两侧分布较少，其余市区均有分布；136.79 万 hm² 耕地等级没有变化，主要分布在南部和东北部；116.99 万 hm² 耕地提升 3 个等级，主要分布在研究区的西北部；89.95 万 hm² 耕地下降 1 个等级，主要分布在研究区的南部；66.74 万 hm² 耕地提升 4 个等级，主要分布在西北部和中西部；此外，仍有 37.22 万 hm² 耕地下降 2 个等级，主要分布在南部，这 7 种类型耕地面积占研究区总面积的 90% 多。综合来看，10 年间研究区耕地质量等级提升得多，下降得少，质量等级提升的耕地总面积为 540.13 万 hm²，占研究区总面积的 65.06%，主要分布在西北部和中西部；质量等级下降的耕地总面积为 153.33 万 hm²，占研究区总面积的 18.47%，主要沿着研究区东部边狭长的边缘地带分布。10 年间研究区内质量等级上升的耕地总面积约是等级下降总面积的 3.5 倍。从等级变化图中可以看出，10 年间研究区的西北、中西部耕地质量是提升的，而东北部、中东部和南部地区的耕地质量是下降的，但在质量下降的区域中，东北部和南部部分地区等级降低之后，耕地质量依然保持中等至高等水平，也反应了 10 年间研

究区耕地质量提升的程度大，下降的程度小，总体耕地质量向好发展，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变化趋势。

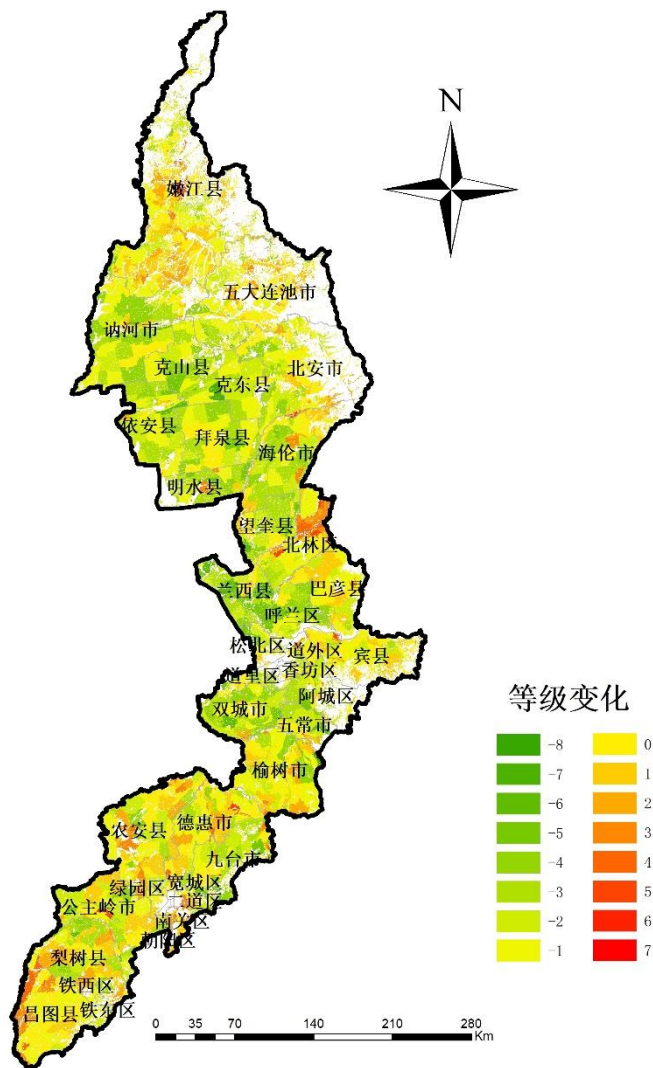


图 3-4 10 年间东北典型黑土区耕地质量等级变化分布图

Fig.3-4 Distribution of changes of cultivated land quality grades in the typical black soil region of northeast China in 10 years

注：负值（“-”）表示等级提升，正值表示等级下降。

表 3-4 10 年间东北典型黑土区耕地质量等级变化面积对比

Table3-4 Comparison of area changes of cultivated land quality grades in the typical black soil region of northeast China in 10 years

等级变化	面积(10 ⁸ hm ²)	占比(%)	等级变化	面积(10 ⁸ hm ²)	占比(%)
Grade change	Area	percentage	Grade change	Area	percentage
-8	0.01	0.00	0	136.79	16.48
-7	2.20	0.27	1	89.95	10.84

-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

注：负值（“-”）表示等级提升，正值表示等级下降。

3.3 东北典型黑土区耕地质量区域分布

将东北典型黑土区耕地质量等级面积按照省份进行统计，得到结果如表 3-5 所示。由表可知，在东北典型黑土区中黑龙江省典型黑土区面积最多，为 562.74 万 hm^2 ，占比 67.78%；吉林省典型黑土区面积为 230.67 万 hm^2 ，占比 27.78%；辽宁省在典型黑土区面积最小，仅为 36.85 万 hm^2 ，占比为 4.44%。

3.3.1 2008 年各省典型黑土区耕地质量总体情况

黑龙江省典型黑土区面积大，所以相较于其他两省，其各等级耕地面积较多。2008 年黑龙江省各等级耕地的面积的大小顺序为：6 等地（125.74 万 hm^2 ）>5 等地（107.72 万 hm^2 ）>7 等地（103.78 万 hm^2 ）>4 等地（95.89 万 hm^2 ）>8 等地（45.37 万 hm^2 ）>3 等地（42.22 万 hm^2 ）>2 等地（19.05 万 hm^2 ）>1 等地（10.49 万 hm^2 ）>9 等地（10.09 万 hm^2 ）>10 等地（2.39 万 hm^2 ）。2008 年黑龙江省典型黑土区平均耕地质量等级为 5.43。

吉林省各等级的耕地按照面积大小排序为：5 等地（62.46 万 hm^2 ）>4 等地（42.68 万 hm^2 ）>6 等地（37.43 万 hm^2 ）>3 等地（32.05 万 hm^2 ）>2 等地（18.48 万 hm^2 ）>7 等地（12.93 万 hm^2 ）>1 等地（10.88 万 hm^2 ）>8 等地（10.06 万 hm^2 ）>9 等地（3.14 万 hm^2 ）>10 等地（0.96 万 hm^2 ）。2008 年吉林省典型黑土区耕地平均质量等级为 4.58。

辽宁省各等级耕地按照面积大小进行排序为：5 等地（15.74 万 hm^2 ）>4 等地（8.52 万 hm^2 ）>1 等地（5.35 万 hm^2 ）>6 等地（4.61 万 hm^2 ）>2 等地（1.81 万 hm^2 ）>3 等地（0.81 万 hm^2 ）>7 等地（0.01 万 hm^2 ），辽宁省典型黑土区内没有 8、9、10 等地。2008 年辽宁省典型黑土区耕地平均质量等级为 4.12。

表 3-5 东北典型黑土区不同省份耕地质量等级分布

Table3-5 Spatial distribution of cultivated land quality grades in different provinces in the typical black soil region of northeast China (2008)

		面积：10 ⁸ hm ² ，占比：%										
省份	统计	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等	总计
Province	Statistics	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10	Total
黑龙江	面积	10.49	19.05	42.22	95.89	107.72	125.74	103.78	45.37	10.09	2.39	562.74
	占比	39.26	48.91	56.23	65.19	57.94	74.95	88.92	81.84	76.26	80.88	67.78
吉林	面积	10.88	18.48	32.05	42.68	62.46	37.43	12.93	10.06	3.14	0.56	230.67

第三章 东北典型黑土区耕地质量时空变化分析

	占比	41.31	46.54	42.69	29.02	33.59	22.31	11.08	18.16	23.74	19.12	27.78
辽宁	面积	5.35	1.81	0.81	8.52	15.74	4.61	0.01	0	0	0	36.85
	占比	20.29	4.55	1.08	5.79	8.46	2.75	0.01	0	0	0	4.44
总计	面积	26.72	39.34	75.08	147.09	185.92	167.78	116.72	55.43	13.22	2.96	830.26
	占比	3.22	4.73	9.04	17.72	22.39	20.21	14.06	6.68	1.59	0.36	100

3.3.2 2018 年各省典型黑土区耕地质量总体情况

2018 年黑龙江省各等级耕地的面积的大小顺序为：4 等地（133.3 万 hm^2 ）>3 等地（113.49 万 hm^2 ）>5 等地（97.61 万 hm^2 ）>2 等地（84.99 万 hm^2 ）>6 等地（49.24 万 hm^2 ）>1 等地（36.35 万 hm^2 ）>7 等地（33.74 万 hm^2 ）>8 等地（11.61 万 hm^2 ）>9 等地（2.07 万 hm^2 ）>10 等地（0.34 万 hm^2 ）。2018 年黑龙江省典型黑土区平均耕地质量等级为 3.94。

吉林省各等级的耕地按照面积大小排序为：3 等地（49.75 万 hm^2 ）>4 等地（47.61 万 hm^2 ）>5 等地（37.77 万 hm^2 ）>2 等地（28.95 万 hm^2 ）>1 等地（26.91 万 hm^2 ）>6 等地（17.45 万 hm^2 ）>7 等地（16.78 万 hm^2 ）>8 等地（5.35 万 hm^2 ）>9 等地（0.1 万 hm^2 ），吉林省典型黑土区内没有十等地。2018 年吉林省典型黑土区耕地平均质量等级为 3.81。

辽宁省各等级耕地按照面积大小进行排序为：4 等地（20.88 万 hm^2 ）>5 等地（10.74 万 hm^2 ）>6 等地（3.87 万 hm^2 ）>3 等地（0.71 万 hm^2 ）>8 等地（0.39 万 hm^2 ）>7 等地（0.21 万 hm^2 ）>9 等地（0.05 万 hm^2 ），辽宁省典型黑土区内没有 1、2、10 等地。2018 年辽宁省典型黑土区耕地平均质量等级为 4.55。

表 3-6 年东北典型黑土区不同省份耕地质量等级分布（2018）

Table3-6 Spatial distribution of cultivated land quality grades in different provinces in the typical black soil region of northeast China (2018)

		面积：10 ⁸ hm^2 ，占比：%										
省份	统计	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等	总计
Province	Statistics	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10	Total
黑龙江	面积	36.35	84.99	113.49	133.3	97.61	49.24	33.74	11.61	2.07	0.34	562.74
	占比	57.46	74.59	69.22	66.06	66.8	69.78	66.51	66.93	93.31	100	67.78
吉林	面积	26.91	28.95	49.75	47.61	37.77	17.45	16.78	5.35	0.1	0	230.67
	占比	76.5	25.41	30.34	23.59	25.85	24.73	33.08	30.84	5.1	0	27.78
辽宁	面积	0	0	0.71	20.88	10.74	3.87	0.21	0.39	0.05	0	36.85
	占比	0	0	0.43	10.35	7.35	5.49	0.41	2.24	1.59	0	4.44
总计	面积	63.26	113.94	163.95	201.79	146.12	70.56	50.73	17.35	2.22	0.34	830.26
	占比	7.62	13.72	19.75	24.3	17.6	8.5	6.11	2.09	0.27	0.04	100

3.3.3 10 年间各省典型黑土区耕地质量时空变化分析

(1)10年间黑龙江省典型黑土区耕地质量变化：黑龙江省平均耕地质量等级由 2008

年的 5.43 提升到 2018 年的 3.94，质量等级提升了约 1.5 等。10 年间黑龙江省 1—4 等地均有提升，其中提升最多的是 3 等地，面积增加了 71.27 万 hm^2 ，而 5—10 等地面积均有不同程度的下降，下降最多的是 6 等地，面积减少了 76.5 万 hm^2 。黑龙江省典型黑土区 10 年间耕地质量整体水提升较多，高等地增多，低等地减少，耕地质量大有向好发展趋势。

表 3-7 10 年间黑龙江省耕地质量等级面积变化表

Table3-7 Change of quality grade area of cultivated land in Heilongjiang Province in 10 years

“-”：减少

统计 Statistics	等级	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等
	Grade	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10
		高等地			中等地			低等地			
		High quality			Medium quality			Low quality			
变化量(万 hm^2)		25.86	65.94	71.27	37.41	-10.11	-76.5	-70.04	-33.76	-8.02	-2.05

从空间上来看，10 年间黑龙江省典型黑土区耕地质量变化较大。西部地区耕地质量等级提升最多，耕地质量普遍由中等地、低等地提升为高等地。而东部地区基本没有变化，东北部地区耕地质量始终较高，而东南部地区 10 年间耕地质量始终较低，今后需加强治理。

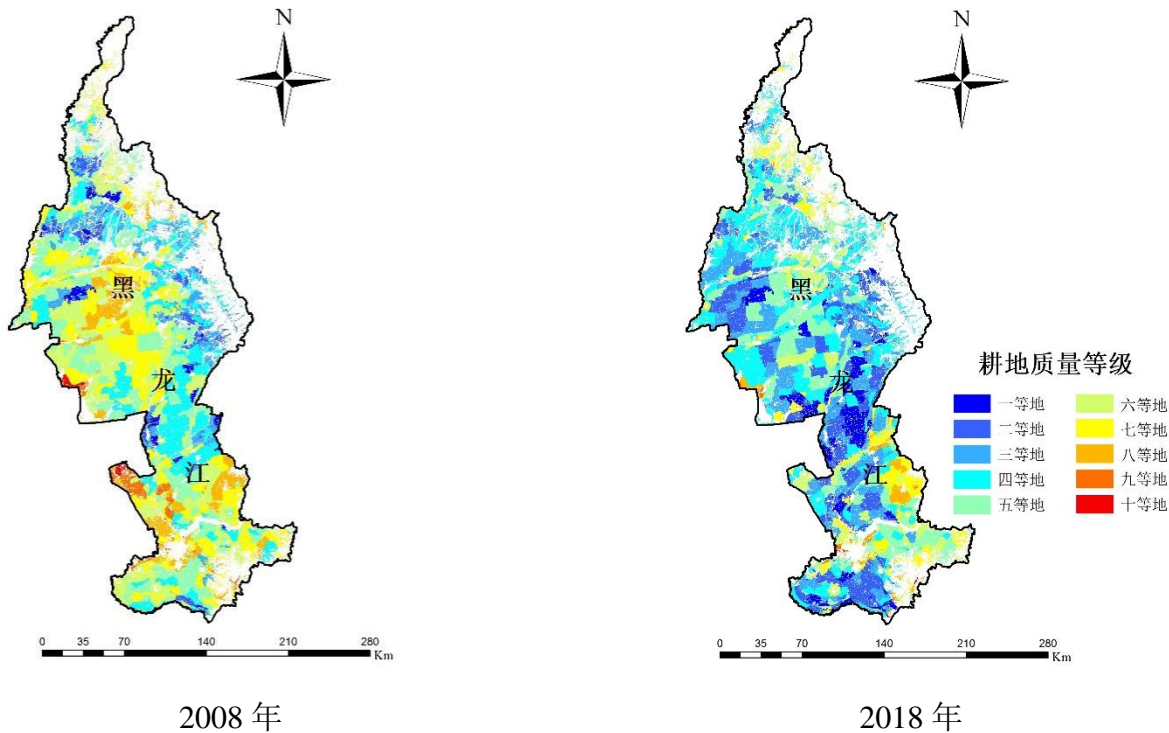


图 3-5 黑龙江省耕地质量等级分布图

Fig.3-5 Distribution of changes of cultivated land quality grades in Heilongjiang province

(2) 10 年间吉林省典型黑土区耕地质量变化：吉林省平均耕地质量等级由 2008

年的 4.58 提升到 2018 年的 3.81，质量等级提升了 0.77。10 年间吉林省 1—4 等地以及 7 等地的面积提升，其中提升最多的是 3 等地，面积增加了 17.7 万 hm^2 。而其余等级的耕地均有不同程度的下降，下降最多的是 5 等地，面积减少了 24.69 万 hm^2 。

表 3-8 10 年间吉林省耕地质量等级面积变化表

Table3-8 Change of quality grade area of cultivated land in Jilin Province in 10 years

“-”：减少

等级	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等
Grade	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10
统计	高等地			中等地			低等地			
Statistics	High quality			Medium quality			Low quality			
变化量(万 hm^2)	16.03	10.47	17.7	4.93	-24.69	-19.98	3.85	-4.71	-3.04	-0.56

从空间上来看，吉林省耕地质量水平始终较高，10 年间吉林省典型黑土区耕地质量有所提升。东南部和东北部耕地质量等级提升较大，增加的高等地和减少的 5、6 等地大多集中于此。而西南部地区耕地质量有所下降，增加的 7 等地分布于此。10 年间吉林省典型黑土区耕地质量保持较高水平，呈现稳步提升的趋势。

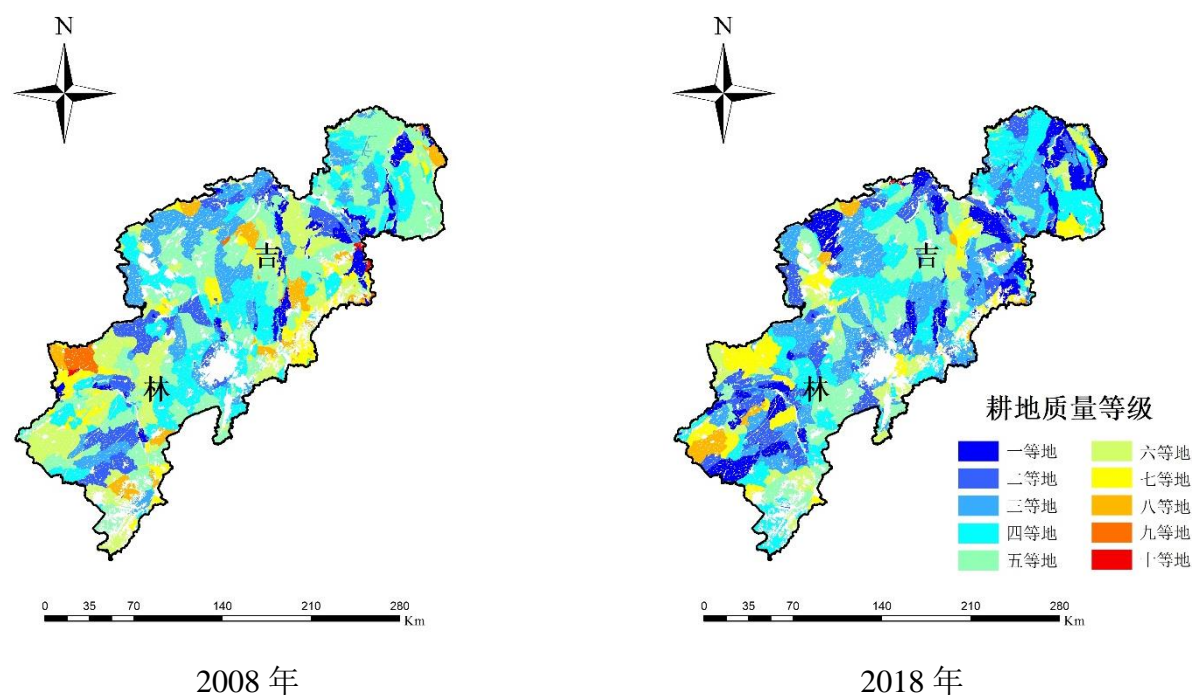


图 3-6 吉林省耕地质量等级分布图

Fig.3-6 Distribution of changes of cultivated land quality grades in Jilin province

(3) 10 年间辽宁省典型黑土区耕地质量变化：由于辽宁省典型黑土区面积较少，所以变化量相对于其他两省较小。辽宁省平均耕地质量等级由 2008 年的 4.12 降低至 2018 年的 4.55，质量等级下降了 0.43。10 年间辽宁省典型黑土区高等地面积减少，而中等地、低等地的面积均有所增长。其中 1 等地下降最多，面积减少了 5.35 万 hm^2 ，4

等地面积增长最多，面积增加了 12.36 万 hm²，且省内不存在 10 等地。

表 3-9 10 年间辽宁省耕地质量等级面积变化表

Table3-9 Change of quality grade area of cultivated land in Liaoning Province in 10 years

“-”：减少

等级	1 等	2 等	3 等	4 等	5 等	6 等	7 等	8 等	9 等	10 等
Grade	Grade1	Grade2	Grade3	Grade4	Grade5	Grade6	Grade7	Grade8	Grade9	Grade10
统计 Statistics	高等地			中等地			低等地			
	High quality			Medium quality			Low quality			
	变化量(万 hm ²)	-5.35	-1.81	-0.1	12.36	-5	-0.74	0.2	0.39	0.05

从空间上来看，10 年间辽宁省西部地区耕地质量下降得较为严重，减少的高等地主要集中在这一区域，高等地大多变为中等地，中等地转变为低等地。该区耕地质量的提升今后需得到重点关注。中部和东部地区耕地质量有所提升，增加的 4 等地多分布于此。10 年间辽宁省典型黑土区耕地质量呈下降趋势，但总体来说仍保持在中等水平。

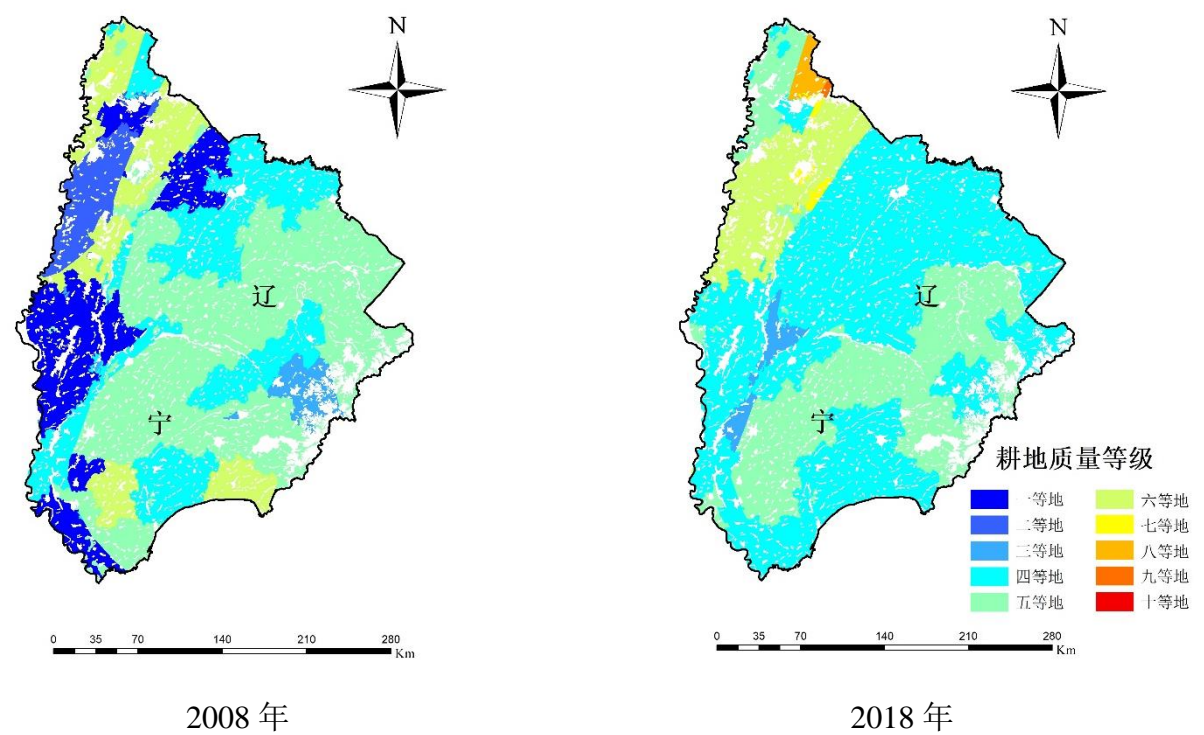


图 3-7 辽宁省耕地质量等级分布图

Fig.3-7 Distribution of changes of cultivated land quality grades in Liaoning province

第四章 耕地质量障碍类型区时空变化情况

本章根据指标障碍度计算结果,对研究区 2008 年和 2018 年指标障碍程度进行分析,结合 ArcGIS 和障碍类型分区方法,划分 2008 年和 2018 年耕地质量障碍类型区,分析耕地质量障碍类型区时空变化情况,并针对障碍类型区变化情况,提出研究区今后耕地质量改良办法。

4.1 主要障碍指标诊断

为了找出东北典型黑土区 2008 年和 2018 年耕地质量主要障碍因素,计算评价单元指标障碍度,按照障碍度 ≥ 5 的标准进行排序筛选(倪超, 2014),结果如表 4-1 所示。2008 年东北典型黑土区耕地质量的主要障碍因素是:灌溉能力、有效土层厚度、排水能力、有机质、农田林网化。2018 年东北典型黑土区耕地质量的主要障碍因素是:灌溉能力、有机质、排水能力、农田林网化。

表 4-1 东北典型黑土区耕地质量障碍度结果(2008)

Table 4-1 Obstacle degree of cultivated land quality in the typical black soil region of northeast China(2008)

年份 Year	排水能力 Drainage capability	灌溉能力 Irrigation capacity	速效钾 Available K	有效磷 Available P	有机质 Organic matter	农田林网化 Field forest network	pH	有效土层厚度 Effective soil layer thickness
2008	9.12%	24.01%	2.29%	0.72%	6.53%	5.96%	2.76%	10.09%
2018	6.84%	26.61%	2.37%	2.97%	6.94%	6.75%	3.89%	3.82%

按照单项指标障碍程度所占面积进行统计,得到表 4-2、4-3 及图 4-1 所示的结果。东北典型黑土区 2008 年含有重度障碍指标的耕地面积由大到小为:灌溉能力>有效土层厚度>有机质>农田林网化>排水能力(2008 年 pH、有效磷、速效钾不存在重度障碍);含有中度障碍指标的耕地面积由大到小为:有效土层厚度>排水能力>有机质>农田林网化>灌溉能力>pH>有效磷>速效钾;含有轻度障碍指标的耕地面积由大到小为:pH>速效钾>有机质>农田林网化>排水能力>有效磷>有效土层厚度>灌溉能力;无障碍指标的耕地面积由大到小为:有效磷>农田林网化>速效钾>有效土层厚度>排水能力>有机质>灌溉能力>pH。2018 年含有重度障碍指标的耕地面积由大到小为:灌溉能力>农田林网化>有机质>排水能力>pH;含有中度障碍指标的耕地面积由大到小为:排水能力>有机质>农田林网化>有效土层厚度>有效磷>灌溉能力>pH>速效钾;含有轻度障碍指标的耕地面积由大到小为:pH>速效钾>有机质>农田林网化>有效磷>有效土层厚度>排水能力>灌溉能力;无障碍的耕地面积由大到小为:有效磷>排水能力>有效土层厚度>农田林网化>速效钾>有机质>灌溉能力>pH。在此基础上,具体分析 10 年间各指标障碍度变化情况:

(1) 灌溉能力障碍度变化分析:灌溉能力是研究区的主要限制性指标。10 年间灌

溉能力的重度障碍面积下降了 3.02 万 hm^2 ，中度障碍面积下降了 15.91 万 hm^2 ，主要发生在研究区的中部和北部地区，导致该些地区耕地质量有较大的提升；轻度障碍面积增加了 33.18 万 hm^2 ，主要发生在研究区的西南部和中北部地区，导致该些地区耕地质量有较大的提升；无障碍面积增加了 14.26 万 hm^2 ，主要发生在研究区的南部，导致该些地区耕地质量下降较多，所以可以看出灌溉能力对研究区耕地质量提升作用较为明显。

(2) 有效土层厚度障碍度变化分析：10 年间有效土层厚度重度、中度障碍面积共下降了 406.46 万 hm^2 ，无障碍和轻度障碍面积均有增加，表明 10 年间有效土层厚度对耕地质量的限制性降低了，有效土层厚度变厚了，主要发生在研究区中北部和中南部，导致该些地区耕地质量有较大的提升，所以可以看出有效土层厚度对研究区耕地质量提升作用较为明显。

(3) 农田林网化障碍度变化分析：10 年间农田林网化重度、中度障碍面积变化最大。重度障碍面积增长了 5.74 万 hm^2 ，中度障碍面积提升了 13.15 万 hm^2 ，而无障碍和轻度障碍均有下降，表明农田林网化率对耕地质量限制性有所增加。主要发生在吉林省榆树市，该地区耕地质量变化较小，可以看出农田林网化率对耕地质量提升作用较小。

(4) 排水能力障碍度变化分析：10 年间排水能力重度障碍基本无变化，中度和轻度障碍面积均有所减少，面积分别减少 76.73 万 hm^2 、83.29 万 hm^2 ，而 10 年间研究区无障碍面积增加最多的就是排水能力，增加了约 160 万 hm^2 ，说明排水能力对耕地质量限制性下降较多。主要发生在中部和北部地区，导致该些地区耕地质量有较大的提升，表明了排水能力对耕地质量有较大的提升作用。

(5) 其他障碍度指标变化分析：研究区有效磷无重度障碍，说明对耕地质量限制性较小。10 年间有效磷无障碍面积下降约 265 万 hm^2 ，而中度和轻度障碍面积均提升，表明 10 年间有效磷对耕地质量限制性增加，主要发生在中东部和东北部地区，该些地区耕地质量变化较小，表明了有效磷对耕地质量提升作用较小。10 年间研究区速效钾无障碍面积增加，轻度障碍面积下降，主要发生在研究区西北部地区，导致该些地区耕地质量提升较大，表明速效钾对耕地质量提升作用较为明显；此外有机质和 pH 障碍程度均无较大变化，对研究区耕地质量限制性均处于较低状态，对耕地质量的提升作用不明显。

表 4-2 东北典型黑土区障碍指标面积（2008）

Table.4-2 Area of obstacle index in the typical black soil region of northeast China(2008)

障碍因素	无障碍	比例	轻度障碍	比例	中度障碍	比例	重度障碍	比例
obstacle factor	No obstacle	percentage	Mild obstacle	percentage	Moderate obstacle	percentage	Severe obstacle	percentage
灌溉能力	45.95	5.53%	0	0	54.91	6.61%	729.40	87.85%

第四章 耕地质量障碍类型区时空变化情况

有效土层厚度	56.74	6.83%	236.24	28.45%	533.04	64.20%	4.25	0.51%
有机质	52.08	6.27%	593.78	71.52%	180.44	21.73%	3.97	0.48%
农田林网化	123.38	26.85%	577.50	69.56	126.93	15.29%	2.45	0.3%
排水能力	54.96	5.76%	469.10	56.50	304.57	36.88%	1.62	0.24%
pH	10.67	1.29%	816.43	98.33%	3.16	0.38	0	0
有效磷	534.64	64.39%	295.14	35.55%	0.48	0.06%	0	0
速效钾	78.50	9.45%	751.68	90.54	0.08	0.01	0	0

表 4-3 东北典型黑土区障碍指标面积（2018）

Table.4-3 Area of obstacle index in the typical black soil region of northeast China(2018)

障碍因素	无障碍	比例	轻度障碍	比例	中度障碍	比例	重度障碍	比例
obstacle factor	No obstacle	percentage	Mild obstacle	percentage	Moderate obstacle	percentage	Severe obstacle	percentage
灌溉能力	31.69	3.82%	33.18	4%	39	4.7%	726.38	87.49%
有效土层厚度	195.98	23.60%	503.45	60.64%	130.83	15.76%	0	0
有机质	47.42	5.71%	571.87	68.88%	210.40	25.34%	0.56	0.07%
农田林网化	119.18	14.35%	562.81	67.79%	140.08	16.87%	8.19	0.99%
排水能力	214.99	25.89%	385.81	46.47%	227.84	27.44%	1.61	0.19%
pH	9.29	1.12%	802.31	96.63%	18.53	2.23%	0.12	0.02
有效磷	270.08	32.53%	518.71	62.48%	41.47	4.99%	0	0
速效钾	110.75	13.34%	719.51	86.66%	0	0	0	0

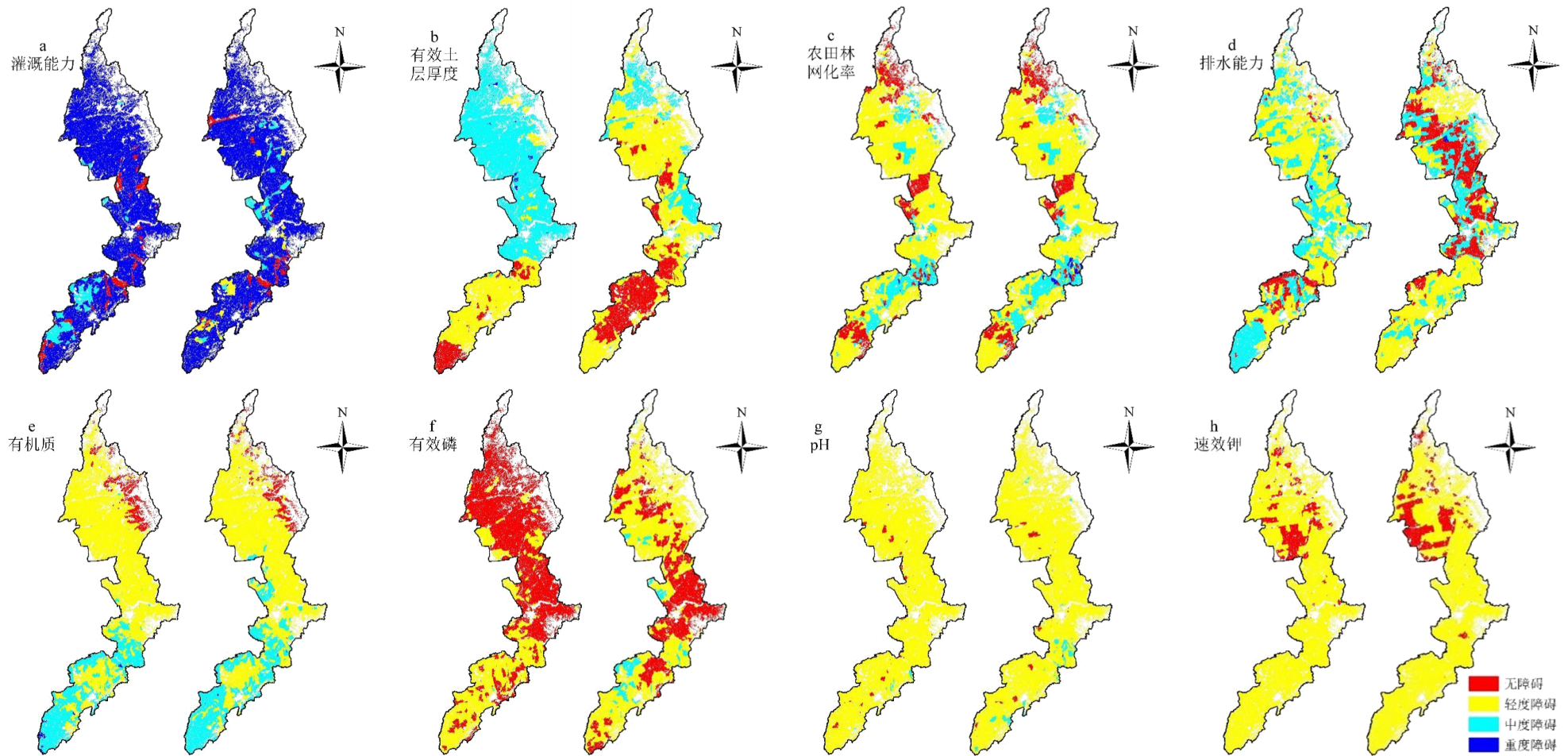


图 4-1 东北典型黑土区障碍因素空间分布特征

Fig.4-1 Spatial distribution characteristics of obstacle factors in the typical black soil region of northeast China

4.2 障碍因素分区及变化

在上文对于单项指标障碍度的变化进行分析后,根据障碍度大小对每个评价单元指标进行筛查,选出对评价单元中的重度障碍指标,统计重度障碍指标个数和指标类型,得到的结果如表 4-5 所示,障碍指标个数空间分布情况如图 4-2 所示,从而确定各评价单元受何种指标限制,对含有重度障碍指标的区域进行障碍指标类型区的划分,研究区 2008 年和 2018 年障碍数量区和障碍类型区如图 4-2、4-3 所示,并针对不同的障碍类型区和障碍类型区的变化情况,提出相应的耕地质量提升对策。

2008 年含有 2 个重度障碍指标区的耕地面积为 2.75 万 hm^2 ,主要分布在黑龙江省,分为灌溉能力-有效土层厚度障碍类型区和排水能力-有效土层厚度区,面积分别为 1.38 万 hm^2 和 1.37 万 hm^2 ,灌溉能力-有效土层厚度障碍类型区主要分布在黑龙江以北,在嫩江县分布较多,排水能力-有效土层厚度障碍区主要分布在黑龙江省望奎县和海伦市。2018 年含有两个重度障碍指标的耕地面积为 0.28 万 hm^2 ,主要分布于黑龙江省北部和吉林省东北部,包括有机质-pH 障碍区,面积为 0.12 万 hm^2 ,分布于吉林省榆树市;灌溉能力-有效土层厚度障碍区面积为 0.06 万 hm^2 ,主要分布在黑龙江省嫩江县;农田林网化-有机质障碍区和排水能力-有机质障碍区面积都为 0.05,分布在吉林省榆树市和九台市。10 年间研究区含有 2 个重度障碍指标的耕地类型虽然增多,但面积减少了 2.47 万 hm^2 ,说明耕地质量限制性指标减少了,耕地质量水平提升,但是重度障碍指标类型增多,各别指标所显示出的问题也要引起注意。

2008 年含有 1 个重度障碍指标的耕地面积为 736.19 万 hm^2 ,占比 88.67%,共有 5 个障碍类型区,而在这其中灌溉能力障碍区的占地面积是最大的,为 728.02 万 hm^2 ,是全区最主要的障碍指标,其次是有机质障碍区、农田林网化障碍区、有效土层厚度障碍区和排水能力障碍区。2018 年含有一个重度障碍指标的耕地面积略有增加,面积为 736.37 万 hm^2 ,共分为 5 个区,而灌溉能力障碍区依旧占比最大,其次是农田林网化障碍区、排水能力障碍区、有机质障碍区和有效土层厚度障碍区。10 年间含有一个重度障碍指标的耕地面积增加了 0.18 万 hm^2 ,几乎没有变化。其中农田林网化排水能力提升,有机质和有效土层厚度降低。

10 年间研究区内的无障碍区面积增加 2.28 万 hm^2 ,从空间上来看,10 年间东北典型黑土区南部无障碍面积下降,而中部和北部地区无障碍面积增多。

表 4-4 东北典型黑土区耕地障碍指标组合类型

Table 4-4 Combined types of cultivated land obstacle index in the typical black soil region of northeast China

年份	重度障碍 指标个数	面积 (万 hm^2)	障碍类型区	面积 (万 hm^2)
Year	Number	Area	Obstacle type region	Area
2008	2	2.75	灌溉能力-有效土层厚度障碍区	1.38

2018	1	736.19	排水能力-有效土层厚度障碍区	1.37
			灌溉能力障碍区	728.02
			农田林网化障碍区	2.45
			排水能力障碍区	0.24
	0	91.32	有机质障碍区	3.97
			有效土层厚度障碍区	1.51
			—	91.32
			灌溉能力-有效土层厚度障碍区	0.06
	2	0.28	农田林网化-有机质障碍区	0.05
			排水能力-有机质障碍区	0.05
			有机质-pH 障碍区	0.12
			灌溉能力障碍区	726.32
	1	736.37	农田林网化障碍区	8.14
			排水能力障碍区	1.56
			有机质障碍区	0.33
			有效土层厚度障碍区	0.02
	0	93.60	—	93.60

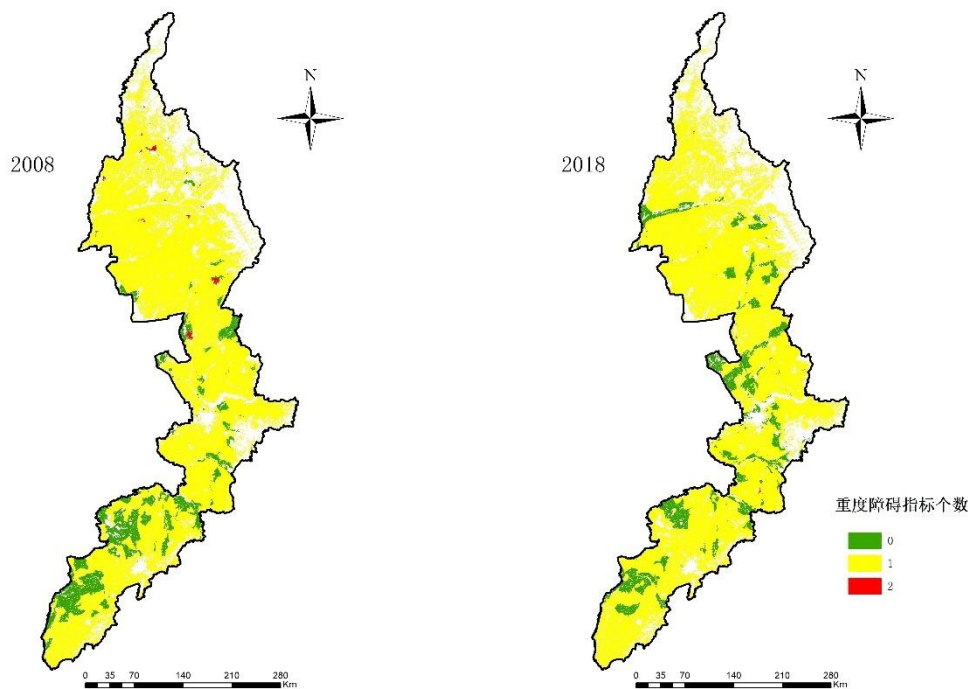


图 4-2 东北典型黑土区障碍数量分布图

Fig.4-2 Distribution of obstacle factors numbers of farmland quality in in the typical black soil region of northeast China

根据 2008 年和 2018 年东北典型黑土区耕地质量障碍因素诊断结果，划分障碍指标区，明确了各区域指标的障碍程度，从微观的指标层面对耕地质量进行分区，摸清障碍类型区变化情况，对近些年来耕地质量提升方法和措施进行时效性分析，并且通过分析障碍区及其变化，采取更加合理的手段和措施提升东北典型黑土区耕地质量。从分区结果可以看出研究区 2008 年障碍指标区共分为 8 个区，主要以灌溉能力障碍区为主，其

余障碍区面积均不足 4 万 hm^2 ；2018 年障碍区共计 9 个，灌溉能力障碍区占的比重亦为最大，其余障碍区占比较小。虽然 10 年间障碍类型区种类增多，但研究区障碍类型区的面积有所下降。10 年间除农田林网化障碍区面积增长较大外，其余障碍类型区面积均有下降。由于灌溉能力严重限制研究区耕地质量，且 10 年间并无明显改善，所以将灌溉能力障碍区划分为长期重点改良区，应对此区域治理工作进行长期规划，重视灌溉设施问题，将治理工作的重心放在灌溉能力改良上。由于农田林网化障碍区近 10 年增长明显，限制性增加，而此现象只存在于少数区域，所以将农田林网化障碍区划分为短期重点防护区，目的是重视此类问题，抑制限制性增长。其较于灌溉能力，问题严重性相对较小，需在短期内解决好此类问题。

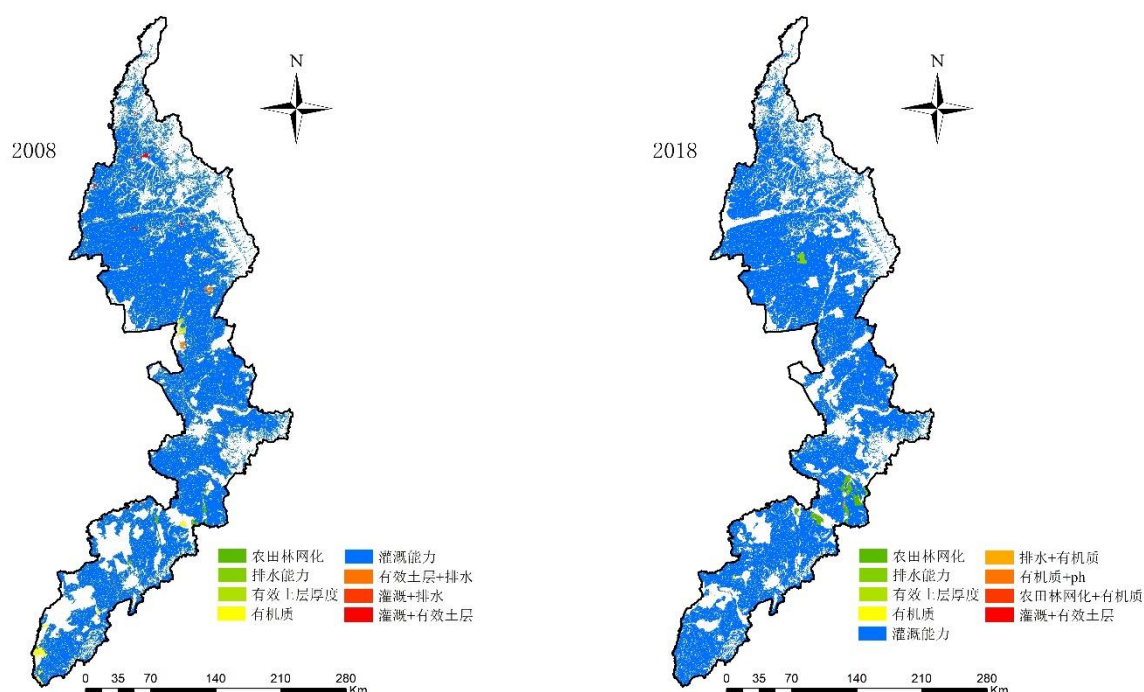


图 4-3 东北典型黑土区耕地质量障碍类型区分布

Fig.4-3 Distribution of obstacle type region in the typical black soil region of northeast China

4.3 耕地质量提升对策

(1) 灌溉能力障碍区耕地质量提升

由于自然气候原因，以及黑土区的特殊地理条件和环境，该区域春季多风少雨，地表干旱，造成灌溉水不足，夏季降雨集中，土壤水剧增，地势不平，水土流失较为严重；此外农民的种植习惯导致灌溉水资源浪费严重，长期灌溉方式运用不合理，再加之农业技术发展相对缓慢，水利工程建设滞后，导致区域内灌溉用水普遍不足。

今后应在灌溉能力障碍区重点建造农田水利设施，大力发展节水灌溉技术，合理利用土壤水资源，改善灌溉作业方式，如采用滴灌、喷灌等；加大农田水利工程建设力度，

提高财政投入，增加技术支撑，不断深化农田水利工程；各地区要结合自身情况，因地制宜制定本地区的灌溉制度，推广落实农户农业用水制度，在村镇中大力推广农业精细化节水灌排方式，完善农业用水体系，调动农民积极性，改变传统农业灌溉模式，争取在最大程度上提高灌溉用水效率。

（2）农田林网化障碍区耕地质量提升

此前国家实施三北防护林建设工程，东北黑土区是主要的建造防护区域，经过多年来的努力，东北黑土区已经形成了一定的林、带、网的防护体系，大型防护林工程也已基本完成。但近年来由于管护措施下滑，农民伐木现象较为严重，以及农林建设标准下降，树种较为单一，优势树种减少等问题，再加之农林用地矛盾增大，最终导致东北典型黑土区农林覆盖面积与之前相比有所下滑，农田林网化率下降。

日后该区应全面加强农田林网建设，着重提高农田生态环境，要做好农田林网改造规划，处理好林地和耕地矛盾，完善面林、带、片、网的标准与林、路、渠配套的农田防护林体系标准，充分考虑农户利益，建立合理管控机制，通过更新林带，提高采伐、培育等农田林网经济效益，加大投入，选择优势树种，扩大农田林网防护面积，积极完善农田林网系统，科学建造农田防护林，营造最高级别的防护效果，增强农田防护能力，构建出良好的生态环境。并且要结合区域林网资源优点，扩大经济优势，增加农业林业产业结构，促使农业生产的稳定增长。

第五章 结论

本研究基于《耕地质量等级》(GB/T33469—2016)国家标准,建立同一评价指标体系、分级标准,引入障碍度模型,计算指标障碍度,对东北典型黑土区 2008 年和 2018 年耕地质量分别进行了评价,根据指标对耕地质量障碍程度划分障碍类型区,探讨了 10 年间东北典型黑土区耕地质量和障碍类型区的时空变化情况,提出了合理的耕地质量提升措施。结论如下:

(1) 东北典型黑土区 2018 年整体耕地质量优于 2008 年,10 年间研究区平均耕地质量等级提升了 1.22 个等级;1—4 等地面积增加,5—10 等面积下降,其中 3 等地面积增加最多,为 88.87 万 hm^2 ,6 等地下降最多,下降 97.22 万 hm^2 ;高等地面积增加了 200.01 万 hm^2 ,中等地面积减少 82.32 万 hm^2 ,低等地面积下降 117.69 万 hm^2 ;主要耕地类型由中低等地变为中高等地;10 年间研究区评价单元耕地质量等级变化波动较大,评价单元等级变化主要集中在-4—2 之间,其中质量变化为-1(提升 1 个等级)的地块面积最大,等级提升的面积为 540.13 万 hm^2 ,下降的面积为 153.33 万 hm^2 ,质量等级提升的耕地面积是下降的 3.5 倍。10 年间研究区耕地质量稳步提升,耕地质量有向好发展的趋势。

(2) 研究区 2008 年高等地主要分布在南部和东北部,2018 年主要分布在中西部和西北部;2008 年中等地分布较广,2018 年中等地主要分布在南部和北部地区;2008 年低等地在中部和西北部分布较多,2018 年低等地在中部较为集中。10 年间中西部和西北部耕地质量增长较为明显,而东北部、中东部和南部地区的耕地质量下降较多,东北部和南部部分地区耕地质量等级虽然呈现下降状态,但耕地质量始终保持在中等至高等水平;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。

(3) 10 年间黑龙江省典型黑土区耕地质量变化较大,提升了约 1.5 个等级,西部地区耕地质量提升较多;吉林省典型黑土区耕地质量始终呈较高水平,耕地质量提升了 0.77 个等级,东南部和东北部耕地质量等级提升较大;辽宁省典型黑土区面积较少,耕地质量下降了 0.43 个等级,西部地区耕地质量下降得较为严重。

(4) 东北典型黑土区 2008 耕地质量主要障碍因素是灌溉能力、有效土层厚度、排水能力、有机质、农田林网化,2018 年主要障碍因素是灌溉能力、有机质、排水能力、农田林网化;10 年间研究区灌溉能力对耕地质量限制性始终是最严重的;10 年间灌溉能力、有效土层厚度、排水能力、速效钾对耕地质量提升作用明显。

(5) 10 年间研究区内含有 2 个重度障碍指标的耕地面积减少,含有 1 个重度障碍指标的耕地面积没有变化,无障碍区面积增加,10 年间研究区各耕地质量指标性状和属

性有所提升。根据 10 年间耕地质量障碍类型区的变化情况，最终确定灌溉能力障碍区为长期重点改良区，今后需提高农业灌溉用水效率，农田林网化障碍区是短期重点防护区，今后需加强农田林网建设，着力改善农田生态环境。

参考文献

- 1.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
- 2.白树彬.2016.辽宁省耕地地力评价及地力提升研究[D].沈阳:沈阳农业大学.
- 3.鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:60-63
- 4.曹隽隽.2013.江汉平原耕地质量与粮食生产能力时空耦合研究[D].湖北:华中师范大学.
- 5.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
- 6.陈百明.1991.“中国土地资源生产能力及人口承载力”项目研究方法概论”[J].自然资源学报,06(03):197-205.
- 7.陈朝,吕昌河.2010.基于综合指数的湖北省耕地质量变化分析[J].自然资源学报.25(12):2018-2029.
- 8.陈迪.2019.耕地数量与质量时空变化遥感监测研究[D].北京:中国农业科学院.
- 9.陈印军,肖碧林,方琳娜等.2011.中国耕地质量状况分析[J].中国农业科学,44(17):3557-3564.
- 10.程锋,王洪波,郅文聚.2014.中国耕地质量等级调查与评定[J].中国土地科学,28(02):75-82.
- 11.崔海芮.2018.提高精细化节水灌溉管理水平的意义和措施[J].江西农业,(14):58.
- 12.樊燕.2008.梁平县耕地地力评价研究[D].重庆:西南大学.
- 13.封志明,刘宝勤,杨艳昭.2005.中国耕地资源数量变化的趋势分析与数据重建:1949~2003[J].自然资源学报,20(01):35-43.
- 14.付国珍,摆万奇.2015.耕地质量评价研究进展及发展趋势[J].资源科学,37(02):226-236.
- 15.龚子同.2003.黑土生金——从俄罗斯治理黑土的经验教训看我国黑土的利用[J].科学新闻,(04):36.
- 16.关文荣.2000.农用地的分等定级与估价[J].中国土地,(04):22-24.
- 17.国家土地管理局,联合国粮食及农业组织.1995.中国土地的人口承载潜力[R].
- 18.国家质量监督检验检疫总局.2016.GB/T33469—2016 耕地质量等级[S].北京:中国标准出版社.
- 19.国土资源部.2009.中国耕地质量等级调查与评定[M].北京:中国大地出版社.
- 20.韩晓增,李娜.2018.中国东北黑土地研究进展与展望[J].地理科学,38(07):1032-1041.
- 21.韩晓增,邹文秀,严君等.2019.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,34(03):362-370.
- 22.韩晓增,邹文秀.2018.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,33(02):206-212
- 23.韩长斌.2018.加强东北黑土地保护 推进农业绿色发展[N].人民日报,02-05(007).

- 24.何尹杰, 吴大放, 刘艳艳等. 2017. 珠海市 1982——2009 年耕地质量时空演变分析[J]. 广东农业科学, 44(02): 86-94.
- 25.胡存智, 廖永林. 1989. 农用土地分等定级理论及方法的初步研究[J]. 中国土地科学, 03(03): 1-8.
- 26.黄福奎. 1998. 论遥感技术在土地利用动态监测中的应用[J]. 中国土地科学, 12(03): 21-24.
- 27.黄梦佳, 李淑杰, 杜婉婷等. 2019. 基于限制因素分析的耕地质量提升分区——以长春市九台区为例[J]. 农业资源与环境学报, 36(03): 272-278.
- 28.贾利. 2005. 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, 21(04): 352-354.
- 29.姜新. 2018. 保护好农民的“命根子”——我国首部黑土地保护地方性法规出台[J]. 吉林人大, (04): 5-7.
- 30.孔垂思, 潘艳华, 郭玉蓉等. 2006. 土地资源评价的研究进展[J]. 中国农学通报, 22 (01): 323-325.
- 31.兰传宾. 2013. 耕地地力评价方法研究[D]. 郑州: 郑州大学.
- 32.梁卓娜. 2017. 基于 GIS 的奈曼旗农用地质量时空变化研究[D]. 内蒙古: 内蒙古师范大学.
- 33.刘丙友. 2003. 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, (12): 28-29.
- 34.刘京, 常庆瑞, 陈涛等. 2010. 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, 18(2): 229 - 234.
- 35.刘宪春, 温美丽, 刘洪鹤. 2005. 东北黑土区水土流失及防治对策研究[J]. 水土保持研究, 12(02): 74-76.
- 36.刘彦随. 1999. 区域土地利用优化配置.[M].北京: 学苑出版社.
- 37.刘彦随. 2013. 中国土地资源研究进展与发展趋势[J]. 中国农业生态学报, 21(01): 123-133.
- 38.鲁明星, 贺立源, 吴礼树. 2006. 我国耕地地力评价研究进展[J]. 生态环境, 15(04): 866-871.
- 39.陆军. 2017. 农田林网化建设对农业生态环境的重要意义[J]. 农民致富之友, 09(18): 86.
- 40.马慧婷. 2017. 三江平原区耕地质量评价及时空演变规律研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学.
- 41.门鑫. 2017. 土地整治项目效益评价研究[D]. 兰州: 兰州交通大学.
- 42.闵宗殿. 1989. 中国农史系年要录[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 43.倪绍祥. 1999. 土地类型与土地评价概论[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 44.农业农村部. 2017. 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, (08): 5-10.
- 45.沈仁芳, 陈美军, 孔祥斌, 等. 2012. 耕地质量的概念和评价与管理对策[J]. 土壤学报, 49(06): 1210-1217.
- 46.石声汉. 1957. 从齐民要术看中国古代的农业科学知识[M]. 北京: 科学出版社.
- 47.石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏等. 2008. 东北地区耕地变化对粮食生产能力的影响评价[J]. 地理学报, 63(06): 574-586.

- 48.孙洁. 2017. 耕地质量等级国家标准首次发布[J]. 中国农村科技, (12):12.
- 49.孙姝艺, 刘洛, 胡月明. 2019. 基于空间数据挖掘的广东省“旱改水”优先区选择[J]. 江苏农业科学, 47(04): 224-230.
- 50.孙妍芳, 裴久渤, 张立江等. 2017. 辽宁棕壤耕地质量评价及障碍因素类型分区研究[J]. 中国农业资源与区划, 38(11): 130-137.
- 51.孙妍芳. 2018. 棕壤耕地质量评价及障碍因素类型分区研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学.
- 52.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
- 53.唐华俊, 吴文斌, 杨鹏等. 2009. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报, 64(04): 456-468.
- 54.汪景宽, 王铁宇, 张旭东, 等. 2002. 黑土土壤质量演变初探 I——不同开垦年限黑土主要质量指标演变规律[J]. 沈阳农业大学学报, 33(01): 43-47.
- 55.王国强, 郇文聚. 2011. 土地质量评价研究的简要回顾与展望[J]. 中国土地科学, 25(07): 92-96
- 56.王洋. 2011. 城乡建设用地增减挂钩适宜区评价[D]. 河北: 河北农业大学.
- 57.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
- 58.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
- 59.吴大放, 刘艳艳, 董玉祥等. 2010. 我国耕地数量、质量与空间变化研究综述[J]. 热带地理, 30(02): 108-113.
- 60.吴乐芹, 刘婷, 邓南荣. 2014. 基于 GIS 的耕地地力评价——以始兴县为例[J]. 安徽农业科学, 42(06): 1826 - 1829.
- 61.吴郁玲, 杜越天, 侯娇等. 2018. 基于产能稳定的高标准基本农田建设区选址实证研究[J]. 长安大学学报(社会科学版), 20(04): 81-88.
- 62.阎百兴, 杨育红, 刘兴土等. 2008. 东北黑土区土壤侵蚀现状与演变趋势[J]. 中国水土保持, (12): 26-30.
- 63.闫一凡. 2014. 耕地地力评价方法及模型分析[J]. 农业工程学报, 30(05): 204-210.
- 64.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
- 65.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
- 66.袁艳阳. 2018. 试论新时期如何提升农田水利灌溉水平[J]. 绿色环保建材, (06): 68-71.
- 67.张俊杰. 2017. 土地资源开发对生态环境和社会经济的影响[J]. 中国土地, 12(05): 36-37.
- 68.张立江. 2017. 基于耕地地力评价的东北典型黑土区地力提升研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学.

- 69.张勤才, 马友华, 杨生华等. 2016. 基于 GIS 的芜湖市耕地地力评价[J]. 长江流域资源与环境, 25(02): 226-233
- 70.张荣群, 王大海, 艾东等. 2018. 基于生态位和"反规划"思想的城市土地开发适宜性评价[J]. 农业工程学报, (3): 258-264.
- 71.张世文, 唐南奇. 2006. 土地利用/覆被变化(LUCC)研究现状与展望[J]. 亚热带农业研究, (03): 221-225.
- 72.张雁, 谭伟. 2009. 国内外土地评价研究综述[J]. 中国行政管理, (09): 115-118.
- 73.赵登辉, 郭川. 1997. 对耕地定级与估价几个问题的思考[J]. 中国土地, (12): 18-25.
- 74.赵其国. 1992. 我国土壤调查制图及土壤分类工作的回顾与展望[J]. 土壤, (06): 281-284.
- 75.中国 1:100 万土地资源图编图委员会, 中国科学院, 国家计划委. 1991. 《中国 1:100 万土地资源图》土地资源数据集[M]. 北京: 中国人民大学出版社.
- 76.中华人民共和国国土资源部. 2012. GB/T28407-2012 农用地质量分等规程[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 77.中华人民共和国农业部. 1996. NY/T 309 - 1996 全国耕作类型区、耕地地力等级划分[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 78.中华人民共和国农业部. 2008. NY/T1634-2008 耕地地力调查与质量评价技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 79.中华人民共和国农业部. 2016. 农业部 2016-2 号令耕地质量调查监测与评价办法[S]. 北京.
- 80.钟永红, 彭世琪, 崔勇. 2003. 全国土壤监测论文集[C]. 北京: 中国农业出版社.
- 81.朱德举. 1997. 中国耕地保护[M].北京: 中国大地出版社.
- 82.朱小娜. 2012. 耕地质量评价与潜力分区研究[D]. 武汉: 华中农业大学.
- 83.Acton D, Gregorich L J. 1995. The health of our soils: Toward sustainable agriculture in Canada[M]. Canada: Centre for land and biological resources research.
- 84.Daniel, Ernstrom. 1993. Enhanced soils information system from advances in computer technology[J], (02): 327-341.
- 85.Dong Y F, Wu Y Q, Qin W, et al. 2019. The gully erosion rates in the black soil region of northeastern China: Induced by different processes and indicated by different indexes[J]. Catena, 182: 104146.
- 86.Dousari A, Misak A M, Shahid R S. 2000. Soil compaction and sealing in AL-Salmi area, western Kuwait[J]. Land Degradation and Development, 11(05): 401-418.
- 87.Dumanski J, Stewart R B. 1993. Crop production potentials for land evaluation in Canada research branch[J]. Agriculture Canada, 07(06): 445-453.

-
- 88.Erin M Karppinen, Josephine Payment, Syama Chatterton. 2020. Distribution and abundance of *Aphanomyces euteiches* in agricultural soils: effect of land use type, soil properties, and crop management practices[J]. *Applied Soil Ecology*.
- 89.FAO. 1976. A Framework for Land Evalation[M]. Rome: Soils Bulletin.
- 90.FAO. 1993. An international framework for evaluating sustainable land management[R]. Rome: World Soil Resources Report.
- 91.Foley J A, Ramankutty N, Brauman K A, et al. 2011. Solutions for a cultivated planet[J]. *Nature*, 478: 337-342.
- 92.Godfray H, Beddington J, Crute I, et al. 2010. Food security: The challenge of feeding 9 billion people[J]. *Science*, 327: 812-818.
- 93.HaoC L, Xiao W H, Zhou Y Y, et al. 2019. Phosphorus balance in typical rainfield of black soil region in Northeast China[J]. *Geo-sciences Journal*, 23(4): 637–648.
- 94.Ilpo Tammia, , Kaisa Mustajärvi, Jussi Rasinmäki. 2017. Integrating spatial valuation of ecosystem services into regional planning and development[J]. *Ecosystem Services*, (26): 329-344.
- 95.Klingebiel A A, Montgomery P H. 1961. Land-capability Classification[M]. State of New Jersey:Soil Conservation Service.
- 96.Wright L E, Zitzmann W, Young K et al. 1983. LESA-Agricultural Land Evaluation and Site Assessment[J]. *Journal of Research*, 05(02): 143-153
- 97.Ochola W O, Kerkides P. 2004. An integrated indicator-based spatial decision support system for land quality assessment in kenya[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*. 45(1-3): 3-26.

致 谢

厚谊常存魂梦里，深恩永志我心中

感谢恩师汪景宽教授对我的栽培。三年来您就像对待自己的孩子一样培养我、教育我，您给我做了科研规划，带我参加学术会议，让我参与科研项目，送我去企业和公司实习，支持我参加校内活动、比赛，您从科研、实践、技能等方面对我进行综合性培养，使我的个人素质和能力有了巨大的提升，对我今后的人生走向具有重要的意义，日后我定将刻苦努力，不辜负您对我的栽培。祝您身体健康，事事顺心！

感谢裴久渤副教授三年来在专业上给予我的巨大帮助。在您的耐心指导和精心修改下，我成功地在核心期刊上发表了一篇文章，并顺利完成了大论文的撰写。在三年的团队生活中，我与您的相处时间最长，您教会我的专业知识、专业技能也最多，在跟随您参加会议、野外调查和汇报交流的过程中，您也时常跟我分享您的学术经验，还向我分享您的为人处世之道，与其说您像老师，不如说更像是一位兄长，您就是我学习和做人的榜样。祝您科研顺利，步步高升！

感谢土管专业的所有教师，谢谢你们七年来传授给我专业知识，你们的每一堂课，每一页 PPT，每一次提问都是对我专业能力的提升，每一门专业课程的铺垫都是我最终能完成硕士学位论文的基础。祝各位老师工作顺利，桃李天下！

同窗共载一生情，促膝双肩两无猜

感谢三位室友白金衡、杨祎博、张俊。“四年同窗，三年同寝”，在农大的七年里我们四人相处的时间是最长的，彼此间的友谊是最深的，我们就像亲兄弟一样，互相关心，互相照顾，分享生活中的点点滴滴，得意时我们相互夸赞、庆贺；低谷中我们相互安慰、勉励。在农大的七年中，我们的思想、性格、身体、容貌等等都发生了一定的变化，而唯一不变的就是我们之间的感情。祝你们在未来的日子里一切顺利，前程似锦！

感谢土壤肥力与保育团队的师兄、师姐、师弟、师妹以及同届的“队友”们，三年里我们在办公室中度过了愉快、融洽的学习时光，不同专业的我们聚集在这里，彼此间交流学习心得，分享专业技能，解决疑难问题。每周我们在一起召开团队例会，每年我们要到实验田中春种、秋收、布置实验，我们像是一个大家庭，团结友爱，互帮互助。感谢同届土地资源管理专业的“战友们”，我们一起上课，学习专业知识，一起开题，一起汇报，一起考试等等，我们三年里一起进步、一起成长，感谢与你们相知相遇，祝你们不忘初心，砥砺前行！

万爱千恩百苦，疼我孰知父母

父母之爱是世界上最伟大，最无私的爱。感恩生我、养我、育我的爸爸妈妈，感谢

你们这 25 年来的牺牲、奉献和任劳任怨，我这些年之所以能够迈着扎实的步伐大步向前，正是因为有你们在背后替我遮风挡雨。千言万语也无法表达父母恩情，最后用一首《念亲恩》来时刻提醒自己，父母恩难报，勿忘父母恩。

长夜空虚使我怀旧事，明月朗相对念母亲
父母亲爱心，柔善像碧月
怀念怎不悲莫禁，长夜空虚枕冷夜半泣
遥路远碧海示我心，父母亲爱心
柔善像碧月，常在心里问何日报
亲恩应该报，应该惜取孝道
惟独我离别，无法慰亲旁
轻弹曲韵梦中送，长夜空虚枕冷夜半泣
遥路远碧海示我心，父母亲爱心
柔善像碧月，常在心里问何日报

姚东恒

二零二零年三月二十二日

攻读学位论文期间发表论文

姚东恒, 裴久渤, 汪景宽. 2020. 东北典型黑土区耕地质量时空变化研究. 中国生态农业学报 (中英文), 28 (01) : 104-114.

论文图表统计

计：学位论文 54 页

表 格 28 个

插 图 15 个