

我国耕地质量与监控研究综述

张蚌蚌¹ 孔祥斌^{1*} 邱文聚^{1,2} 朱道林¹ 郝晋珉¹ 张凤荣¹ 黄元仿¹ 朱德海¹

(1. 中国农业大学 资源与环境学院/国土资源部农用地质量与监控重点实验室 北京 100193;

2. 国土资源部土地整治中心,北京 100035)

摘要 通过对耕地质量与监控研究进展的系统总结和梳理,提出耕地质量与监控未来重点研究方向,为我国耕地质量提升与管理提供支撑。研究采用文献综合法和总结归纳法。结果表明:耕地质量与监控研究必须加强与耕地资源多功能需求、耕地生产能力、耕地生态效应和现代信息技术等学科的融合;围绕耕地质量因素与过程、耕地质量调查与监测、耕地多功能诊断与评价、耕地质量与产能提升及基本农田质量保护与管理等方面进行重点研究。

关键词 耕地;质量;监控

中图分类号 F 303.4

文章编号 1007-4333(2015)02-0216-07

文献标志码 A

A review on quality and monitoring of arable land in China

ZHANG Bang-bang¹, KONG Xiang-bin^{1*}, YUN Wen-ju^{1,2}, ZHU Dao-lin¹,

HAO Jin-min¹, ZHANG Feng-rong¹, HUANG Yuan-fang¹, ZHU De-hai¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences/Key Laboratory for Farmland Quality, Monitoring and Control, the National Ministry of Land and Resources, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Land Consolidation Center of National Land and Resources Ministry, Beijing 100035, China)

Abstract The purpose of this study is to put forward the key research point and research direction of quality and monitoring of arable land and then support for improvement and management of farmland quality in China, through the summary and comb about quality and monitoring of arable land. The literature synthesis and summarization and induction were employed in this paper. The results showed that research on quality and monitoring of arable land must strengthen the fusion with other subjects, such as the multi-function demand, production capacity, ecological effect of arable land, modern information technology and so on. Meanwhile, the five key research fields on quality and monitoring of arable land were as follow: 1) factors and process of arable land quality, 2) investigation and monitoring of arable land, 3) multi-function diagnosis and evaluation of arable land, 4) improvement on quality and production of arable land, 5) protection and management of high-quality farmland.

Key words arable land; quality; monitoring

我国的粮食安全正在经历气候变化不利、耕地数量短缺及生态环境恶化的压力。Lobell 等^[1]的最新研究表明,气候变暖将导致我国的玉米、小麦和大豆分别减产 8%、4% 和 3%, 只有水稻增产 2%。我国的城市化、工业化每年减少 63.07 万 hm² 的优质耕地资源, 1.2 亿 hm² 耕地红线岌岌可危;我

国人均耕地面积由 10 多年前的 0.11 hm² 减少到 0.09 hm², 仅为世界平均水平的 40%。与此同时, Lester Brown 等^[2]在 2011 年提出了“美国能养活中国人吗?”, 他的研究认为, 作为生产了我国 60%~80% 小麦和 30%~40% 玉米的黄淮海区域, 地下水下降将导致整个区域粮食产量大幅度下降, 进而影

收稿日期: 2014-05-06

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2014RW014); 中国农业大学哲学社会科学基金资助项目(2014RW014); 国家社会科学基金重点项目(14AZD031)

第一作者: 张蚌蚌, 博士研究生, E-mail: bangbzhang@163.com

通讯作者: 孔祥斌, 教授, 主要从事土地利用、保护, 与评价研究, E-mail: kxb@cau.edu.cn

响到我国 10% 以上人口的粮食安全。

2013 年,我国粮食产量达到 60 193.5 万 t,实现半个世纪以来首次连续 10 年增产^[3],但是,仍将面临日益增长的粮食需求压力。而我国耕地数量稳定,质量总体偏低,中等和低等地占总面积的 2/3 以上^[4],因此,通过提升耕地质量来增加粮食产量具有很大空间。同时,我国耕地资源质量重心与粮食生产重心不匹配程度愈加显著,由“南粮北运”转移到“北粮南运”,东北、华北和西北等资源紧张和生态脆弱地区已经成为我国粮食生产的重要支撑区域^[5];我国这种粮食生产重心转移导致黄淮海平原区 pH 降低^[6],地下水不断下降^[7];东北平原区湿地

急剧减少^[8],黑土有机质含量下降^[9]。我国在保障粮食安全,粮食持续增加的背后,付出了巨大的生态代价。

综上,我国粮食安全全面正临资源约束和生态安全的双重挑战。一方面,我国耕地资源数量趋于稳定而质量偏低;另一方面,过去通过增加耕地数量来保障粮食安全的模式,已经对区域生态安全产生严重的负面影响^[10-12]。因此,通过梳理国内外关于耕地质量与监测方面的研究进展和相关规律,提出我国耕地质量与监控未来重点研究方向,对我国掌握耕地质量动态,促进耕地生产能力与生态效应协调,最终实现持续粮食安全具有重要意义(图 1)。

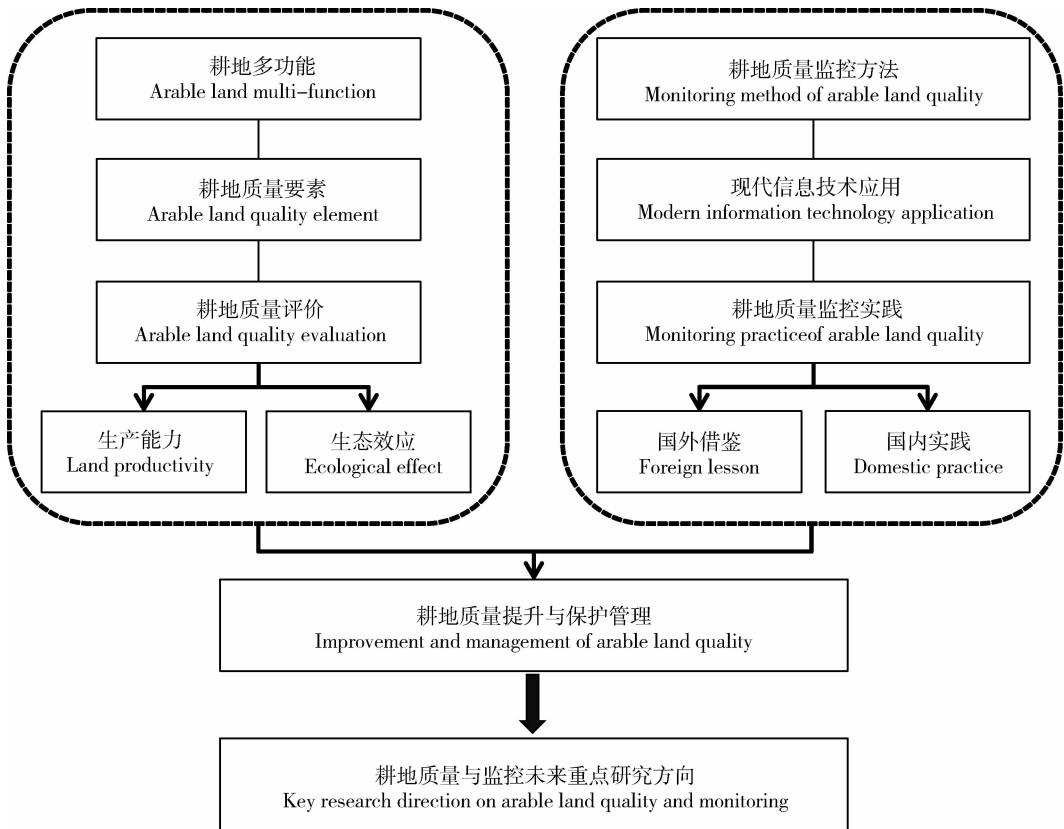


图 1 耕地质量与监控研究综述逻辑框架

Fig. 1 Logic framework of review on quality and monitoring of arable land

1 耕地质量研究进展

1.1 耕地多功能内涵

千年生态系统评估报告认为耕地对人类福利发挥着供给、调节、支持和文化等功能^[13],因此,欧洲等发达国家不仅关注耕地生产能力的提高,更关注耕地生态健康、景观视觉研究及耕地资源的环境建

设^[14-15],并通过减少耕层土壤侵蚀以及修建农田缓冲区,增加农田系统的稳定性和生物多样性^[16]。随着国内经济发展水平的提高,国内学者也日益重视耕地多功能的研究,蔡运龙^[17]归纳为耕地具有生产、生态服务和社会保障功能,赵华甫等^[18]将北京市耕地功能定位为生产服务、生态服务、景观文化服务、旅游观光休闲服务及社会服务等。

然而,耕地的各种功能都是以耕地的承载和养育功能为基本功能而实现的,不同耕地多功能之间存在着一定的先后顺序,具有主从性和竞争性,而且在各类资源投入有限的条件下,多种功能间存在一定的排他性。因此,基于耕地多功能的过程、驱动机制及其效应研究,探讨重构区域耕地多功能的技术标准和方法,是未来耕地质量提升技术的重要方向。

1.2 耕地质量要素

国内外的土壤学家,更加重视耕地质量要素变化的研究。如美国土壤学家 Lal^[19]认为实施土壤固碳是提高耕地质量和减缓全球气候变化的有效手段,他带领的团队正在美国中部大平原实施一系列通过土壤固碳提高耕地质量的技术方法。国内科学家,也重视土地利用对耕地质量的影响研究,黄耀等^[20]研究表明,我国大陆的土壤有机碳含量呈现显著的增长趋势,而郭景恒等^[6]认为我国耕地土壤呈现酸化趋势;相关成果研究表明,华北平原的土壤盐分则呈现显著下降趋势^[21],而降水增加对我国西北的耕地质量则产生了显著的提升作用^[22]。我国经济的快速发展使土地利用转型对耕地破碎化程度、耕地质量的利用条件和利用效率都产生深远的影响^[23-24]。

因此,迫切需要从影响耕地质量的立地条件出发,分析气候、地貌、土壤、水文和基础地质等要素对耕地质量的影响过程,以丰富和发展已有的耕地评价相关指标体系和评价标准。集成已有的定位和长期耕地质量要素的研究成果,突破已有的静态耕地质量评价方法,从耕地质量要素动态演化机理及其要素耦合过程来研究耕地质量,不仅是我国科学家关注的焦点,更是全球范围内科学家关注的焦点。

1.3 耕地质量评价

1.3.1 耕地生产能力评价

国土资源部率先开展了耕地分等的理论和体系研究,不仅建立了国家级耕地质量评价规程^[25-27],而且已经获得全国耕地分等成果。耕地分等技术体系综合运用了土地生产潜力评价、土地适宜性评价、土地自然质量评价、土地利用评价和经济评价的理论和方法,构建了多目标、多尺度的耕地分等技术体系。为此,设计了包括全国耕地分等指标分区、标准耕作制度、光温(气候)生产潜力、基准作物和指定作物等系列技术体系和标准,并于2003年正式颁布耕地分等、定级与估价规程^[25-27]。

全国耕地质量等级调查与评定工作,历时10年,建立了全国统一可比的1:50万耕地质量等别

数据库,并提出了平衡转换^[28]、多属性集簇^[29]和追溯法^[30]等汇总方法,从而建立起一套涵盖“地块-乡镇-区县-省-国家”多尺度耕地分等成果。

这些研究,极大丰富了耕地质量评价研究,并形成了全国统一可以比较的成果体系。但是,当前的耕地质量评价多采用选取评价指标体系,进行线性加权求和的方法^[31-32],这种评价方法忽视了耕地质量要素之间的非线性关系,也未考虑耕地质量要素的耦合及叠加效应对耕地质量的影响。因此,迫切需要开展基于耕地生产能力形成机理,从气候、地貌、土壤、水文、土地利用强度和土地效益等角度出发,系统研究耕地质量要素组成及其耦合特征,并分析耕地质量时空演变特征。

1.3.2 耕地生态效应评价

近年发表在 Science 和 Nature 等期刊的文章多次指出耕地利用生态问题的严峻性:全球农业扩张已经对生态栖息地、生物多样性及碳储量产生了巨大影响^[33-34]。

耕地占用生态空间,1980—2010年,我国大约70%的湿地资源消失,大部分转化为耕地^[8];近50年来,黑龙江省三江平原湿地大面积萎缩及湿地的生态功能特征不断下降,导致该流域的生态环境状况不断恶化^[35-36]。在耕地面积扩张挤占其他生态系统的同时,耕地本身的过度利用也导致土壤酸化及肥力下降,地下水位急速下降等问题。Kong等^[37],Li^[38]研究表明,高强度的井灌方式及施肥量(主要是氮肥)不断增加,形成区域“氮肥投入增加-单产增加-有机质含量增加-地下水下降-盐分下降-耕地质量提升”循环过程,造成地下水位下降的生态功能恶性循环。同时,由于化肥、农药和农膜的大量投入和使用,我国农田污染日益严重、面积逐年扩大^[39],2014年4月17日,全国土壤污染状况调查结果公布,显示全国土壤总点位超标率为16.1%,其中耕地土壤点位超标率为19.4%,镉污染物超标7.0%,南方地区土壤污染较重,耕地土壤环境质量十分堪忧^[40-41]。

但是,当前研究主要是针对耕地利用过程的生态效应问题识别与分析,关于耕地质量负面生态效应评价指标、体系、模型和方法的研究比较缺乏,相关的耕地生态效应标准尚未建立。因此,未来应从耕地利用角度,探索构建耕地生态负效应,如侵占湿地、地下水位下降和土壤污染等评价体系,并且形成相关标准。

2 耕地质量监控研究进展

2.1 耕地质量监控方法

国内外围绕耕地质量及其监测方法开展了大量研究,美国借助其国家资源清单计划,从统计学角度出发,完成了覆盖全美50个州的国家资源监测点^[42]。欧盟采用网格法,构建了覆盖整个欧盟成员国的土壤和土地利用类型监测样点^[43],加拿大农业部在全国建立了23个基准点构成基准监测网络^[44]。近几年,在农用地分等成果的基础上,国内学者对耕地质量监测进行了深入探索。孔祥斌等^[45]、吴克宁等^[46]和彭建等^[47]详细介绍标准样地在耕地质量等级监测方面的应用原则及方法。杨建宇等^[48]、王倩等^[49]和孙亚彬等^[50]分别基于Kriging估计误差、变异函数及潜力指数组合等方法探索县域耕地质量监测样点布控,以实现较小的监测点反映县域耕地质量分布和变化趋势。刘毅等^[51]、郭力娜^[52-53]探讨了在国家尺度上耕地质量监测县选取方法,省级尺度上监测样带的布设方法;林晨等^[54]和庄雅婷等^[55]分别探讨基于MODIS影像和Kriging插值的快速、高效耕地质量监测布设方法。但是,已有耕地质量监测方法研究,多集中在县域尺度内布点及国家尺度上选县,缺少从国家尺度上探讨耕地质量监测样点的布控。

2.2 现代信息技术在耕地质量监测方面的应用

随着高新技术的应用,土地质量监测越来越注重传统技术(野外调查、定位观测实验等)与遥感技术的结合。世界银行、联合国粮农组织、联合国环境规划署、联合国开发计划署和国际农业研究咨询专家组合作,为了改善土地质量,消除贫困,对东非纳入AEZ(Agricultural ecology zone)区域国家的土地质量进行监测^[56],采取土壤样本化验和遥感影像监测相结合的方法,设计了对土地质量具有短期和长期影响的2组监测内容。短期监测包括:土壤养分平衡、产量水平、耕地强度和土地利用的多样性以及土地覆被;长期监测包括:土壤质量、土壤退化和农业生物多样性。

目前土地质量监测主要是对土地退化状态进行监测评价^[57],但是,还缺乏对土地质量指标的定量监测。近年来,国内相关专家学者也开展了局部性的耕地质量预警研究,如刘耀林等^[58]主持了多目标的土地评价系统的研究,赵焯等^[59]开发了耕地质量预警信息系统。但这些技术还缺乏使用的通用性和

便捷性,迫切需要开发以耕地质量为基础的耕地生产能力变化预警系统平台,为预测我国耕地质量变化、制定差异化的耕地保护对策提供科学依据。

2.3 国内外耕地质量监控实践

最典型的在全国范围内布设样点开展调查评价工作的是美国国家资源清查(National resources inventory, NRI)。依据统计学的均匀分布原则,采用网格法进行设置,在全美共布设了84.4万个调查点,覆盖全美50个州的所有地类^[42];并分别在1982、1987、1992和1997年共进行了4次清查,2000年后每年清查,根据调查和监测结果编制国家资源清单。

自英国洛桑试验站建立以来,各国陆续建立了自己的农业土壤生态环境监测试验站。目前,世界上已持续观测60年以上的长期土壤生态环境定位试验站有30多个,主要集中在欧洲、前苏联、美国、日本和印度等。如美国的Sanborn试验田、德国的Weihenstephan试验站、荷兰的Geertveenhuizenhoeve站和日本的Konosu中央农业试验站等^[60]。

我国目前有4个部门参与了耕地质量监测项目,农业部1984年在全国开展基础地力长期定位监测^[61],中国科学院1988年设立土壤肥力与肥料效益长期定位监测试验站^[62]。环保部1993年进行农业环境监测^[63],国土资源部2011年进行耕地质量监测^[64]。但是,由于监测点布置标准不一,监测指标体系各异,以及在监测网点的数量和精度上存在较大差异,在监测内容上存在一定重复性,不能做到部门间的数据整合汇总与共享。我国应当整合耕地监测资源,建立全国统一的耕地质量监测布设网络体系。

3 耕地质量提升与保护管理研究进展

3.1 耕地质量提升技术

我国在20世纪的70—80年代,在黄淮海区域依据水盐运动理论,重点实施了对黄淮海区域的中低产田改造研究和实践,并取得了区域耕地质量提升的理论突破^[65-66]。提升耕地质量的途径主要有培肥地力,克服区域关键限制因子,促进耕地集中连片等效率提升,农田水利建设等工程措施。林华等^[67]建议河南省应转变耕地能值投入结构,改善耕地生态环境,提高耕地生态系统的回馈产出能力;龚杰等^[68]认为耕地质量的改善促进粮食单产提高,有助于粮食生产的发展;郟文聚等^[69]从“建设性、保育

性、替代性、再生性和管控性的提升这5个方面提升耕地质量”。

在耕地质量提升技术研究方面,各种单项技术研究水平不断发展,如农业部开展提升有机质含量的休耕技术、免耕技术、覆盖技术和提升基础立地条件的测土配方施肥技术。国土资源部也研究了盐碱地质量提升技术、废弃地复垦质量提升技术和高标准农田建设技术等。但还缺乏从低碳及高效等角度,研究田、水、路、林和村综合协调提升的耕地质量综合提升配套技术。

3.2 耕地质量保护与管理

与当前国外进行耕地质量研究更加关注生态环境不同^[16],国内的耕地质量理论研究,则更加重视耕地生产能力形成、提升和保护等方面。基于全国31个省份的标准亩研究^[70]、基本农田连片性分析^[71]、空间配置等研究^[72]、耕地质量监测^[73]研究、耕地占补平衡^[74]和按等折算^[75]等研究全面促进了我国的耕地占补平衡政策,并推动了耕地保护由数量向数量质量并重管理的转变。区域土地利用转型对耕地质量和生产能力实现影响重大,李秀彬^[76]提出了土地利用转型理论,分析了中国区域农户土地利用转型对耕地的影响,而孔祥斌等^[77-78]则提出了农户土地利用阶段理论假设,并分析农户土地目标阶段差异性变化对耕地生产能力的影响。

已有的耕地保护与管理研究,主要是以耕地数量为基础,比如耕地占补平衡^[74]、基本农田保护区划定^[79]和耕地生态社会服务价值测算^[80]。而耕地质量保护与提升的相关研究迫切需要从耕地数量转移到耕地“数量、质量和生态”三位一体的保护上来;迫切需要开展基于耕地质量安全和生态安全的耕地保护补偿机制、耕地生产能力总量平衡等相关研究。

4 耕地质量与监控未来重点研究方向

4.1 耕地质量因素与过程

通过开展耕地质量形成过程、演变规律及其驱动因素的应用基础研究,为建立耕地质量全面、高效、持续提升的长效机制,提供关键理论支撑。

重点研究方向:1)研究耕地质量关键要素的物理、化学和生物过程的相互作用和耦合机制,揭示耕地质量形成过程,实现过程定量化;2)利用地统计学、生态计量学和地理信息科学的基本原理和方法,建立耕地质量要素的数学模型和评价方法,分析耕地质量及其关键要素的时间变化趋势和空间分布规

律;3)研究耕地质量因素、指标和等级变化的多尺度转换方法和模型;4)研究耕地质量演变的驱动因素,揭示耕地质量的演变趋势。

4.2 耕地质量调查与监测

耕地质量调查与监测,需要为建立多源、多级、多指标的耕地质量调查与监测技术体系,提供基础理论、技术方法和技术产品支撑。

重点研究方向:1)研究耕地质量监测点布设技术;2)研究耕地质量因素的快速传感技术、移动终端、实时传输和实时分析技术与方法;3)研究农田基础设施变化的快速识别与智能分类方法;4)研究区域和地块尺度耕地产能评价技术;5)研发耕地质量调查与监测信息系统与设备。

4.3 耕地质量诊断与评价

耕地质量与评价研究要面向耕地多功能的特性,研究基于耕地多功能背景下质量诊断与评价方法,探讨不同类型区耕地功能变化及其对质量的影响及其相互作用机制。

重点研究方向:1)研究耕地多功能性评价指标和评价技术平台;2)基于多尺度的耕地等级变化野外监测,建立耕地多功能诊断理论与方法,实现对耕地功能变化信息的快速识别和预警;3)研究耕地质量退化、功能受阻的机制与防治理论方法;4)研究耕地障碍因子消减、质量提升与功能重建的理论和方法。

4.4 耕地质量与产能提升

以土地-人口-粮食安全-生态安全为主线,开展耕地质量与理论产能、现实生产力、人口承载力和产能安全保障等方面的基础和应用基础研究。

具体研究内容包括:1)研究耕地生产能力形成机理,探索中国耕地生产能力核算及人口承载力评价技术方法;研究耕地质量要素对耕地产能的贡献度,识别影响耕地产能的关键因子,从而有针对性地提出实现耕地产能的耕地质量提升途径;2)研究土地利用变化(转型)对耕地产能的影响机制与规律,分析区域经济社会发展与土地资源禀赋对耕地利用和耕地质量的作用与反作用机制;3)研究耕地开发与保护的生态安全机理,研究兼顾粮食安全与生态安全的耕地开发的战略性规划和政策;4)研究现有耕地保护与质量提升、耕地保护与粮食安全的区域统筹规划和政策。

4.5 基本农田质量保护与管理

围绕高标准基本农田建设,集成应用以上各方

向的理论、技术和产品,形成基本农田质量保护与管理技术模式,建立科技创新和示范基地。

重点研究方向:1)研究典型区域高标准基本农田的特征属性,建立不同类型区高标准基本农田的质量认定标准,探索提高基本农田综合生产力的理论方法和配套技术;2)研究不同规模的农田生产效率,提出基本农田集中保护的结构布局理论和技术途径;3)研究基本农田质量要素构成与协调作用机制;4)研究不同区位条件下基本农田的复合功能及实施差别化管制的政策效应;5)研究基于“数量、质量和生态”三位一体的耕地管理体制和生态补偿机制。

参 考 文 献

- [1] Lobell D B, Wolfram S, Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980 [J]. *Science*, 2011, 333 (6042):616-620
- [2] Brown L. Can the United States feed China? [EB/OL]. <http://grist.org/sustainable-food/2011-03-23-can-the-united-states-feed-china/>
- [3] 国家统计局. 国家统计局关于 2013 年粮食产量的公告[EB/OL]. http://www.gov.cn/zwqk/2013-11/29/content_2538441.htm
- [4] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 等. 中国耕地质量状况分析[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(17):3557-3564
- [5] Long H L, Liu Y S, Wu X Q, et al. Spatio-temporal dynamic patterns of farmland and rural settlements in Su-Xi-Chang region: Implications for building a new countryside in coastal China[J]. *Land Use Policy*, 2009, 26(2):322-333
- [6] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(5968):1008-1010
- [7] 张雪靓, 孔祥斌, 黄淮海平原地下水危机下的耕地资源可持续利用[J]. *中国土地科学*, 2014, 28(5):90-96
- [8] Niu Z G, Zhang H Y, Gong P. More protection for China's wetlands[J]. *Nature*, 2011, 471:305-305
- [9] 柳影, 彭畅, 张会民, 等. 长期不同施肥条件下黑土的有机质含量变化特征[J]. *中国土壤与肥料*, 2011(5):7-11
- [10] Leegood R C, Evans J R, Furbank R T. Food security requires genetic advances to increase farm yields [J]. *Nature*, 2010, 464:831
- [11] Tait J, Barker G. Global food security and the governance of modern biotechnologies[J]. *EMBO reports*, 2011, 12(8):763-768
- [12] Finger R. Food security: Close crop yield gap[J]. *Nature*, 2011, 480:39
- [13] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis[M]. Washington, DC: Island Press, 2005
- [14] European Commission. The EU rural development policy 2007-2013 [R]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006
- [15] Pasakarnis G, Maliene V. Towards sustainable rural development in central and eastern Europe: Applying land consolidation [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2):545-549
- [16] 鄯文聚, 宇振荣. 土地整治生态景观建设理论、方法和技术[J]. *中国土地科学*, 2011, 25:24-26
- [17] 蔡运龙. 中国农村转型与耕地保护机制[J]. *地理科学*, 2001, 21(1):1-6
- [18] 赵华甫, 张凤荣, 许月卿, 等. 北京城市居民需要导向下的耕地功能保护[J]. *资源科学*, 2007, 29(1):56-62
- [19] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304(5677):1623-1627
- [20] 黄耀, 孙文娟. 近 20 年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势[J]. *科学通报*, 2006, 51(7):750-763
- [21] Bai Y L, Li B G. Regional division and management of saline soil in Huang-Huai-Hai [J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2002, 23(2):45-48
- [22] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China[J]. *Nature*, 2009, 458:1009-1014
- [23] 梁思源, 吴克宁, 鄯文聚, 等. 耕地质量动态监测系统设计与应用[J]. *国土资源科技管理*, 2009, 26(2):69-73
- [24] 陈红宇, 朱道林, 鄯文聚, 等. 嘉兴市耕地细碎化和空间集聚格局分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(4):235-242
- [25] 中华人民共和国国土资源部. 耕地分等规程(TD/T 1004—2003)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003
- [26] 中华人民共和国国土资源部. 耕地定级规程(TD/T 1005—2003)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003
- [27] 中华人民共和国国土资源部. 耕地估价规程(TD/T 1006—2003)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003
- [28] 饶彩霞, 吴克宁, 许琳, 等. 耕地分等中省级成果国家级汇总中的转换问题[J]. *农业工程学报*, 2008, 24:194-197
- [29] 罗广祥, 张转, 弓晓敏, 等. 多属性集簇耕地分等省级汇总方法[J]. *农业工程学报*, 2008, 24:145-148
- [30] 王洪波, 鄯文聚, 吴次芳, 等. 耕地分等图形数据库的追溯法汇总技术[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9):59-63
- [31] 袁天凤, 张孝成, 邱道持, 等. 基于 GIS 的重庆市丘陵山地耕地质量评价与比较[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11):101-107
- [32] 侯华丽, 鄯文聚, 朱德举. 县域耕地的样地法评价[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(11):54-59
- [33] Ramankutty N, Foley J A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992 [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4):997-1027
- [34] Ramankutty N, Evan A T, Monfreda C, et al. Farming the planet: I. geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000 [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(1):1-19
- [35] 吴运军, 张树文, 侯伟, 等. 近 50 年来挠河流域居民地、耕地和沼泽地动态关系分析[J]. *资源科学*, 2006(4):78-83
- [36] 汪爱华, 张树清, 张柏. 三江平原沼泽湿地景观空间格局变化

- [J]. 生态学报, 2003, 2: 237-243
- [37] Kong X B, Lal R, Li B G, et al. Fertilizer intensification and its impacts in China's HHH plains [J]. *Advance in Agronomy*, 2014, 125: 135-169
- [38] Li J. Water shortages loom as northern China's aquifers are sucked dry [J]. *Science*, 2010, 328: 1462-1467
- [39] 张继舟, 王宏韬, 倪红伟, 等. 我国农田土壤重金属污染现状、成因与诊断方法分析 [J]. *土壤与作物*, 2012(4): 212-218
- [40] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报, 北京, 2014
- [41] Liu Y L, Wen C, Liu X J. China's food security soiled by contamination [J]. *Science*, 2013, 339(6126): 1382-1383
- [42] Nusser S M, Breidt F J, Fuller W A. Design and estimation for investigating the dynamics of natural resources [J]. *Journal of Ecological Applications*, 1998, 8(2): 234-245
- [43] Jones R J A, Spoor G, Thomasson A J. Assessing the vulnerability of subsoils in Europe to compaction: A preliminary analysis [J]. *Soil Tillage Research*, 2003, 73(1): 131-143
- [44] Huffman E, Eilers R G, Padbury G, et al. Canadian agri-environmental indicators related to land quality: Integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and so salinity [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 81(2): 113-123
- [45] 张蚌蚌, 孔祥斌, 相慧, 等. 中国西部区国家级标准样地分布特征及代表性 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30(7): 227-235
- [46] 吴克宁, 焦雪瑾, 梁思源, 等. 基于标准样地国家级汇总的耕地质量动态监测点构架研究 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(10): 74-79
- [47] 彭建, 蒋一军, 刘松, 等. 标准样地在农用地分等成果汇总中的应用设想 [J]. *中国土地科学*, 2004, 18(3): 42-45
- [48] 杨建宇, 汤赛, 郎文聚, 等. 基于 Kriging 估计误差的县域耕地等级监测布样方法 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(9): 223-230
- [49] 王倩, 尚月敏, 冯锐, 等. 基于变异函数的耕地质量等级监测点布设分析: 以四川省中江县和北京市大区为例 [J]. *中国土地科学*, 2012, 26(8): 80-86
- [50] 孙亚彬, 吴克宁, 胡晓涛, 等. 基于潜力指数组合的耕地质量等级监测布点方法 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(4): 245-254
- [51] 刘毅, 高尚, 安萍莉, 等. 西部地区耕地质量监测县选取方法的研究 [J]. *资源科学*, 2013, 35(11): 2248-2254
- [52] 郭力娜, 马仁会, 徐东瑞, 等. 农用地等别质量监测布带布设方法探讨: 以冀豫鄂三省为例 [J]. *资源科学*, 2008, 30(8): 1199-1205
- [53] 郭力娜, 张凤荣, 马仁会, 等. 基于标准样地的国家级农用地等别质量监测点设置方法探讨: 以冀豫鄂三省为例 [J]. *资源科学*, 2009, 31(11): 1957-1966
- [54] 林晨, 周生路, 吴绍华. 基于 MODIS 影像的农用地自然质量动态快速监测研究 [J]. *地域研究与开发*, 2011, 30(1): 116-121
- [55] 庄雅婷, 陈训争, 范胜龙, 等. 基于 Kriging 插值的高效耕地质量监测点布设方式研究: 以建瓯市为例 [J]. *亚热带水土保持*, 2013, 25(2): 17-22
- [56] Dumanski J, Pieri C. Land quality indicators: Research plan [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 81(2): 93-102
- [57] 杜子涛, 杨小明, 颜树强, 等. 奈曼旗土地退化遥感监测研究 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(3): 154-161
- [58] 刘耀林, 赵翔, 唐旭. 基于插件技术的多用途土地评价信息系统研究 [J]. *中国土地科学*, 2010, 24(11): 27-34
- [59] 赵焯, 袁顺全, 郎文聚, 等. 耕地资源安全的监测评价预警系统 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23(1): 77-81
- [60] Rasmussen P E, Goulding K W T, Brown J R, et al. Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change [J]. *Science*, 1998, 282(5390): 893-896
- [61] 吴乐知, 蔡祖聪. 基于长期试验资料对中国农田表土有机碳含量变化的估算 [J]. *生态环境*, 2007, 16(6): 1768-1774
- [62] 姜勇, 庄秋雨, 梁文举, 等. 空间变异在土壤性质长期定位观测及取样中的应用 [J]. *土壤通报*, 2005, 36(4): 531-535
- [63] 中国环境监测总站. 中国环境监测总站未来十年发展构想 [J]. *中国环境监测*, 2004, 20(4): 1-5
- [64] 李奕志, 李立强, 孔祥斌, 等. 美国国家资源清单及其对中国耕地质量动态监测的启示 [J]. *中国土地科学*, 2014, 28(7): 19-26
- [65] 李保国, 李韵殊, 石元春. 水盐运动研究 30 年 (1973—2003) [J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8(增刊): 5-19
- [66] 石元春. 以黄淮海平原为例谈区域自由开放和持续利用 [J]. *中国科学院院刊*, 1994(3): 239-244
- [67] 林华, 李瑞华. 基于能值理论的耕地质量评价研究 [J]. *资源产业*, 2012, 14(5): 123-129
- [68] 龚杰, 李卫利. 河北省耕地质量变化对粮食单产的影响研究 [J]. *经济论坛*, 2009, 456(17): 68-70
- [69] 郎文聚, 程峰. 耕地持续增产要靠“五个提升” [J]. *中国土地*, 2012, 4(3): 16-17
- [70] 陈桂坤, 程锋, 苏强, 等. 补充耕地数量质量按等级折算研究进展 [J]. *资源与产业*, 2009, 11(2): 5-7
- [71] 周尚意, 朱阿兴, 邱维理, 等. 基于 GIS 的耕地连片性分析及其在基本农田保护规划中的应用 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 72-77
- [72] 宇向东, 郝晋珉, 鲍文东. 基于耕地分等的基本农田空间配置的方法 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24: 185-189
- [73] 王洪波, 郎文聚, 吴次芳, 等. 基于耕地分等的耕地产能监测体系研究 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(4): 122-126
- [74] 钱凤魁, 王秋兵, 董婷婷, 等. 耕地等级折算成果在耕地占补平衡中的应用 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(8): 100-103
- [75] 于雷, 周勇, 郎文聚, 等. 基于耕地分等成果的耕地占补平衡按等折算 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 244-248
- [76] 李秀彬. 对加速城镇化时期土地利用变化核心学术问题的认识 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(5): 1-5
- [77] 孔祥斌, 刘灵伟, 秦静, 等. 基于农户行为的耕地质量评价指标体系构建的理论与方法 [J]. *地理科学进展*, 2007, 26(4): 75-85
- [78] 孔祥斌, 张凤荣. 中国农户土地利用阶段差异及其对粮食生产和生态的影响 [J]. *地理科学进展*, 2008, 27(2): 112-120
- [79] 董秀茹, 尤明英, 王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 336-339
- [80] 牛海鹏, 张安录. 耕地利用生态社会效益测算方法及其应用 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(5): 316-23