

土地利用变化对土地生产力的影响研究进展

潘佩佩^{1,2,3}, 杨桂山^{1,3}, 苏伟忠^{1,3}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

摘要:土地利用变化对土地生产力的影响是土地利用/覆被变化(LUCC)效应研究的重要内容之一。本文基于对土地利用变化和土地生产力概念的辨析,着重从土地利用变化对土地生产潜力、粮食生产能力和土壤质量3个方面的影响,总结梳理了当前的主要研究内容和方法,探讨了研究的影响尺度特征。最后指出今后的研究应加强土地利用结构、方式和强度变化对小尺度范围内耕地生产力的影响,强化不同尺度的综合以及空间分析和动态评估方法的应用。

关键词:土地利用变化;土地生产力;粮食生产;土壤质量

1 引言

继1995年“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球环境变化人文计划”(IHDP)联合提出“土地利用/覆被变化”(LUCC)研究计划后,土地利用变化成为全球环境变化研究的前沿和热点^[1]。2005年两者再次联合发起“全球土地计划”(GLP),目的是评估不同尺度和背景下,生态系统服务供应如何受人类-环境耦合系统变化的影响,以此推动了土地利用变化的生态环境效应研究^[2]。土地利用变化可引起许多自然现象和生态过程变化^[3-4]。因此,其效应研究及作用机制逐渐成为土地利用变化研究的核心内容之一^[5]。由于土壤是土地利用与覆被变化研究的核心要素,而土地生产力又是土壤质量的重要表征,因此,土地利用变化对土地生产力的影响是土地利用与覆被变化及其效应研究的重要内容^[6]。作为土地最本质的属性,土地生产力是土地在一定条件下可能达到的生产水平,既反映土壤质量的好坏,又表明土地的生产能力^[7]。土地生产力研究关系到一个区域的社会经济发展方向,是区域土地利用和生态环境建设的重要基础条件,它的变化是全球变化的重要指标,也一直是国际上备受关注的农

业问题和人类发展问题的核心^[8-9]。目前,关于土地生产力如何受土地利用活动影响的研究大量出现。因此,客观评估土地利用变化过程对土地生产力的综合影响,是促进土地资源科学管理,保障国家粮食安全,寻求土地科学利用对策的重要基础。本文通过对相关文献的梳理和分析,总结了土地利用变化对土地生产力影响研究的主要内容与方法,探讨了研究的尺度特征,最后指出当前研究存在的问题并展望了未来研究方向。

2 土地生产力相关概念及影响因素

2.1 土地利用及土地利用变化

土地利用是人类活动作用于自然环境的主要途径之一,是土地利用者-人和利用对象-土地之间相互作用关系的表现,是土地覆被和全球环境变化的最直接和主要的驱动因子^[10]。土地利用变化是指由于土地特性自身变化及人类个体或群体作用方式变化引起的土地利用方式、覆被和使用程度的变化。用途转移和集约度变化构成土地利用变化的两种基本类型^[11]。其中,用途转移主要是指土地利用类型(数量)的变化,集约度变化则包含了土地

收稿日期:2011-11; 修订日期:2011-12。

基金项目:国家973计划项目(2012CB417000);国家自然科学基金项目(41030745,41171429,41101565)。

作者简介:潘佩佩(1986-),河南开封人,博士研究生,主要从事土地利用与环境生态效应及流域综合管理研究。

E-mail: panpei626@163.com

通讯作者:杨桂山(1965-),男,博士,研究员。E-mail: gsyang@niglas.ac.cn

利用方式和程度的变化,本文也主要是根据土地利用上述综合变化对土地生产力的影响展开的。土地利用变化不仅可以改变土地覆被状况,还会引起许多自然现象和生态过程(如能量交换、水分循环、土壤侵蚀与堆积、土壤养分等)变化,对土壤质量、气候、水文等诸多自然要素产生重大影响。因此,“土地利用-环境效应-体制响应”的影响机制构成了土地利用变化研究的理论框架。

2.2 土地生产力及其影响因素

近代对于土地生产力的研究,虽然不同学者意见不一,但基本的认识是始于1840年,以Libieg提出最小因子定律为先导。然而对土地生产力的正式研究源于20世纪初土地评价。为服务于征收土地税的需要,土地生产力的概念首先起源于20世纪20年代的德国,并于1934年形成了德国土地生产力评价方案。有些学者认为土地生产力是农业生产的一种,是在一定的气候、土壤、土地利用方式与强度、农业技术水平与投入强度下农业生产(包括各种粮食作物)可能达到的最佳生产能力,即自然生产力^[2]。土地也是人类进行居住和其他社会经济活动的场所,它在人为影响或控制之下提高了产出能力,这也应成为土地生产力的范畴,因此,有些学者则强调了土地生产力中的人为影响,认为土地生产力是反映土地本身的自然生产潜力和人类劳动经营的综合指标^[3]。综合来说,土地生产力包括由光、热、水、气、营养元素的数量及其组合的土地自然过程的作用和由于人们对土地的限制条件的改造和克服,渗入劳动、技术等要素并构成积累的土地社会过程作用,是土地自然生产力和生产力的有机综合^[7]。土地生产潜力,一般也称土地生产力,则是指在现有耕作技术水平及与之相适应的各项措施下土地的最大生产力^[8]。其中耕地生产潜力或粮食生产能力是土地生产力研究的重要组成部分,一般是指单位耕地面积或播种面积的产出能力,用单位面积耕地生产粮食的能量或数量来表示。它与作物生产能力、粮食安全、生态环境和人类健康密切相关,是土地利用变化最基本的表征和核心研究内容^[4]。早在1938年国际地理学会就把农业生产潜力作为重要议题,此后FAO推广农业生态区划法(Agricultural Ecological Zones, AEZ)作为土地生产潜力的计算方法;任美镔^[5]则首先关注到中国的土地生产力,汤佩松^[6]、竺可桢^[17]分别从植物的光能利用效率和气候要素的影响角度讨论了

作物生产潜力和光合生产潜力的变化,此后土地生产潜力研究愈加广泛。

在上述研究的基础上,国内外有关学者从不同学科、不同角度,对土地生产力的影响因素进行了大量深入细致的研究^[7,18-19],指出土地生产力是一个多元函数,其影响因素由土壤、农业生物及其生长决定因素、生长限制因素和生长减缓因素等多种因素综合而成,从因子的属性角度可分为自然因素与社会经济技术因素,其中自然因素是影响土地生产力的主导因素,社会经济技术条件则影响土地生产力的现实生产能力^[20]。

由此可见,土地利用不但可以改变土壤质量和生态环境等影响土地生产力的自然条件,还通过人的社会经济行为影响土地的现实生产能力。因此,当前从土地利用变化的影响效应出发,对不同土地利用和气候条件下土地生产力如何变化的研究大量出现,主要集中在土地利用变化对土地生产潜力、粮食生产能力和土壤质量的影响3个方面。

3 研究内容与方法

3.1 土地利用变化对土地生产潜力的影响

3.1.1 国外相关研究

从研究内容和研究方法看,国外土地利用变化和土地生产潜力关系的研究,较多涉及土地利用变化(尤其是城市用地扩展)通过影响生态系统功能与资源可利用性,进而影响全球或者区域农业生产潜力和净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)等方面;在研究方法上,已经建立了比较完善的模型体系,一般是基于具有较高时间和空间分辨率的遥感数据及其驱动的NPP模型,在时空尺度上定量分析两者的相关关系,同时选择与空间尺度相一致的方法为资源管理者监测土地利用变化对土地生产力影响提供理想的工具。

另外,所采用的研究方法和结果也因研究尺度不同而有所差异。Cao等利用由卫星遥感观测数据驱动的全球生产效率模型(GLO-PEM)对1980-2000年地球净初级生产力进行估算,得出气候和土地利用变化促使全球NPP不断增加,伴随气候变化呈现季节和年际有规律的变化^[21];Goetz等则在对上述模型改进的基础上,形成适用于全球和局部区域的初级生产力计算模型(GLO-PEM2),其模拟的1987-1994年全球不同土地利用下的初级生产力随

土地覆被变化具有较明显的空间分布差异^[22]。除了上述全球尺度的研究,还有些学者从区域角度出发进行了研究。Ewert等通过设置未来经济和环境发展的不同情景,分析欧洲农业土地利用和生产力的关系^[23];Weinhold利用土地利用转换模型和GLS方程估算巴西亚马孙河地区森林砍伐所导致的农田生产潜力下降^[24];Hicke利用来源于美国农业部1972-2001年的耕地面积和粮食生产的农业统计信息研究耕地面积变化和NPP的关系,指出30年间美国耕地面积、NPP和粮食产量呈现显著的空间分布差异^[25]。Imhoff^[26-27]等进行了城市化对生产力的影响研究,指出美国城市化削弱了植被的光和作用能力,导致其生产能力降低和NPP减少,单城市化占用农用地减少的NPP就能维持大约6%美国人的能量需求;Milesi等利用基于遥感观测的土地利用和夜间灯光数据对1992-2000年美国东北部城市化快速发展带来的土地利用格局变化使区域年平均NPP减少了 $183\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (以C计),平均每年损失达 $3.04\text{Tg}^{[9]}$ 。Yu等^[28]和Bakker等^[29]指出尤其是当城市化发生在土地生产力较高的地区时,这种影响更加显著。此外,Gross等在不同的土地利用情景下,根据植被多样性的变化研究生态系统生产力的变化,相关结果表明,在较小区域甚至生物多样性较低的样带,生物多样性的提高可以缓冲土地利用变化对生态系统生产力的影响^[30]。

综上,国外相关研究一般侧重于根据已有模型和方法,从不同尺度出发探讨土地利用变化对全球或者区域农业生产潜力和NPP的影响。但研究的尺度相对较大,模型也较多,选择的一般是比较粗糙的土地利用变化或者仅仅是建设用地扩展等简单指标,缺乏在典型研究区针对土地利用结构、强度及利用方式变化如何影响土地生产力的研究。

3.1.2 国内相关研究

国内大范围研究主要始于20世纪80年代,研究内容和方法在不同时期各有侧重。早期研究主要分析农业土地利用,尤其是耕地利用和土地生产力的关系,认为农业土地利用过程中通过树立土地生产力的系统观,合理配置农业生产结构并采用与中国国情相适应具有可持续的技术体系,能够维持和提高土地生产力^[31]。随着方法的改进,一些研究则借助新古典经济学的生产函数法,通过构建中国耕地生产函数模型,对中国耕地利用导致的有机质含量变化的边际产出弹性和边际生产力进行了定

量模拟^[32]。近期研究则主要围绕土地利用变化和气候变化对土地生产潜力影响等方面。在研究方法上,早期研究大多是定性描述相关关系或者基于统计数据和观测数据,利用国外发展较成熟的模型,从土地资源的数量变化的角度研究其对区域生产潜力的影响,后续研究中逐步注重质量变化的影响,但是在时间序列内气候变化影响的去除方法并不一致。

围绕上述内容和方法,国内出现了一些较为典型的研究工作。邓祥征等通过设置不同的气候情景,应用ESLP模型预测了中国2010与2020年土地生产力的变化^[12];战金艳等^[33]、刘军会等^[34]综合气候变化影响并基于动态图斑对北方农牧交错带土地利用变化进行分析,定性得出土地利用变化导致该地草地质量下降及第二性生产力转化率低下;刘纪远等在假设的平均气候条件下,估算出20世纪90年代LUCC过程直接导致了我国农田光温生产潜力总量和区域分布的变化,其中耕地扩张和农田损失是导致全国农田光温生产潜力总量净变化的主要原因^[35];王原等首先通过假定土地利用不变,定量分析气候变化对NPP的影响,进而分析指出土地利用变化对上海市农田生态系统NPP总量变化起到决定性的作用^[36]。后续的研究则加强了在时空尺度上定量分析气候和土地利用变化对土地生产力影响,以下研究较具代表性。如赵媛媛等在利用桑斯维特纪念模型研究1990-2000年中国北方草地与农牧交错带干旱化与土地利用变化对耕地自然生产潜力的影响时,首先计算干旱化对未变化耕地生产潜力的影响,在此基础上区分每个用地单元气候变化和土地利用变化的影响比例^[37]。Gao等进一步深入分析了1979-1998年中国北方气候和土地利用变化对区域净初级生产力影响的时空特征,并定量的区分出在土地利用变化区域土地利用影响占了约97%^[38]。之后,根据对农牧过渡区的研究指出,土地利用变化导致NPP和植被碳变化占整个变化量约65%^[39]。

此外,针对耕地变化对土地生产力的影响也进行了研究,结论不尽一致,如邓祥征等利用农业生态区划模型计算了中国耕地变化导致其生物生产力的变化,指出1986-2000年耕地面积增加了2%,而平均生物生产力仅下降了2.2%,耕地面积的增加几乎可以抵消耕地转移导致的生物生产力变化,耕地变化对粮食安全没有造成显著影响^[40];而程传周

等^[41]和 Yan 等^[42]从耕地资源的数量变化与质量和生产力特征等方面,认为中国耕地增加区与减少区土地利用程度和生产力的空间分布不同,新增耕地生产力较低,对农业生产的贡献不明显,降低了中国未来农业生产潜力和可持续能力,粮食缺口逐年加大;姜群鸥等^[43]、Ye 等^[44]通过对未来土地利用和生产力时空变化的预测,分别分析了中国未来用地情景下耕地用途转移和土地质量降低对土地生产力总量的影响,认为中国未来的粮食问题比较严峻。值得一提的是,还有些学者对土地利用结构及空间变化和类型组合方式的改变如何导致土地生产力发生变化,以及存在何种数量关系开展了研究,并在某种程度上识别了人类活动的影响^[45]。

综上可知,上述研究大部分限于农牧过渡区等典型地带某一时期的、静态的统计分析,但由于中国区域自然条件复杂,经济发展水平差异巨大,土地利用具有高度的时间和空间异质性,因此,多时相的动态分析以及对不同层次区域尺度和时间尺度的集成研究还不够,国外模型的直接运用也会产生较大的误差,适宜不同研究区特点的动态评估模型还未建立,研究方法上还没有实现突破。

3.2 土地利用变化对粮食生产能力的影

1994 年美国世界观察研究所“谁来养活中国”一文引发了学术界对粮食问题的探讨,粮食安全问题是关系人类生存与发展的重要问题,也是中国面临的最严峻问题之一。土地利用变化所产生的直接影响就是粮食安全问题^[46]。因此,土地利用变化对粮食生产能力的影

响成为当前有关土地利用问题研究的重点。国内外在土地利用变化对粮食生产能力影响评价方面已经做了较多探索,相关研究侧重于耕地资源数量和质量变化对粮食生产的影响,其中耕地资源动态监测和耕地质量评价等方面的研究为其提供了理论和技术基础^[47]。研究方法上,国外一般分析耕地质量及其生态环境变化与粮食生产的关系,国内则较多通过建模或者利用遥感数据和统计数据(如耕地面积、粮食播种面积、粮食总产和单产等)与土地利用类型、程度和集约水平之间的关系进行分析。还有些学者从空间角度分析耕地数量和质量变化对粮食生产的影响^[48-49]。

同样,国内外根据研究区典型特征的差异也采取了不同视角和方法评估土地利用变化对粮食生产的影响。欧美地区由于人均耕地较多,研究更多侧重耕地质量变化对粮食生产的影响^[50-51]。而国内

由于人均耕地少,耕地资源分布不均等原因,研究多注重耕地数量变化对粮食生产的影响,指出耕地资源的数量变化是影响粮食生产与粮食安全最基本的约束因子^[52-54]。史娟等通过对 1996-2004 年中国耕地粮食总生产能力变化的研究表明,8 年间中国通过土地整理、农田基础设施建设提高了部分耕地的单产能力,但由于耕地总面积的减少,尤其是东部优质耕地的减少,造成全国粮食生产能力下降 1.6 亿多 t^[55];陈佑启^[56]、邵晓梅^[57]、张秋菊等^[58]、张定祥等^[59]从土地利用数量、程度、集约水平和城镇扩展等方面的变化与粮食播种面积、粮食产量、粮食波动系数的关系出发,探讨了全国或者区域土地利用变化对粮食生产的影响。根据遥感进行农情监测和作物估产的优势,有些研究指出可以利用遥感获取的土地利用和作物产量信息,分析耕地面积变化对作物种植的影响,从而为区域粮食安全及土地政策的制定提供依据^[60]。

随着研究不断深化及对耕地总量动态平衡应当是在保证耕地质量基础上的数量稳定的认识,有关耕地数量和质量对粮食生产能力综合影响的研究逐渐加强^[61]。傅泽强等提出耕地数量与质量变化是粮食安全的重要制约因素,耕地面积年变化率和粮食总产年增长率随时间逐渐减弱,而耕地质量的优劣对粮食生产有显著影响^[62];马文杰等则利用 C-D 生产函数测度耕地变化对粮食生产能力的影

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} M_{ij} / Y_{aj} M_{aj})}{n} \quad (1)$$

式中: I_i 为各省市区耕地生产力指数; Y_{ij} 为第 j 年 i 省(市、区)粮食单位面积产量; M_{ij} 为第 j 年 i 省(市、区)复种指数; Y_{aj} 为第 j 年的全国平均粮食单产; M_{aj} 为第 j 年全国平均复种指数; n 为研究年份数。并提出标准耕地面积的概念,其值为各省市区耕地面积的变化量与该省市区的耕地生产力指数的乘积,以此来反映全国平均耕地质量水平下的耕地面积变化对粮食生产的影响

此外,还有些研究从生态安全的角度探讨了我国耕地流失和粮食安全问题。李青丰指出耕地利用强度逐年加大造成耕地环境质量严重下降,耕地可持续能力降低,形成一种隐性的耕地损失,这对中国重要粮食产区的研究更具意义^[69]。如东北地区是中国唯一能调出大量商品粮的地区,刘兴土等通过对东北黑土区的研究指出,土地利用变化造成的水土流失对粮食生产的影响很大,主要表现在剥蚀表土、恶化土壤结构、降低土壤肥力和侵蚀沟侵蚀耕地,其估算的坡耕地水土流失导致粮食减产和侵蚀沟导致的粮食损失总量达 108 亿 kg^[70]。在上述研究的基础上,较多学者同时指出应把生态退耕看作是对土地资源的一种保护措施和对耕地资源储备形式,因为退耕的一般都是受坡度、水分、养分等条件严重制约的生态环境脆弱区,单产增加有限,不适合长期耕种^[69];衣华鹏等^[71]也通过对陕西黄土高原水土流失区的研究指出虽然退耕还林还草可能会带来粮食产量的暂时下降,但节省下来的生产要素的转移可以带来未退耕耕地粮食产量的增加,同时技术进步、中低产田改造等农业基础设施的建设和生态环境的改善,势必也对粮食生产产生促进和推动作用。

同时,作为耕地利用的微观能动主体,农户的用地行为变化对粮食生产有重要影响。从农户角度和层面研究耕地利用行为变化对粮食生产能力隐性损失的影响,对耕地保护政策的制定具有重要作用,相关研究也陆续出现。如李翠珍等^[72]通过对北京市的研究指出 1980-2005 年农户的土地利用目标呈现阶段性变化,从追求粮食产量最大化到粮食产量和利润最优化的双重目标,再到更多地关注耕地效益,追求利润最大化,农户粮食作物的选择意愿先增高后降低,这对耕地实际粮食生产能力影响很大。

由上可知,土地利用变化与粮食生产能力具有

强相关性,耕地数量和质量的变化对粮食生产有明显的制约作用,同时,生态环境及农户主观用地行为变化也会对粮食生产能力产生重要影响,但是也要认识到上述影响并非完全同步,实际分析中还要考虑到气候、技术、政策等不确定因素的影响^[66]。如 Verburg 等在实际研究中对农业生产面积、复种指数、生产投入、生产效率和科技水平等的变化对粮食生产的影响进行了综合分析,注重各类因素的空间分布差异,并能根据这些因素的变化预测未来土地利用变化影响的热点区域,为相关政策制定做出参考^[73]。同时由于遥感可以获取长时间和大范围内可靠的土地利用变化和粮食生产信息,因此还要加强利用当前比较成熟的遥感估产方法分析区域土地利用对粮食生产格局影响的研究。

3.3 土地利用变化对土壤质量的影响

土壤质量是在生态系统边界内保持作物生产力、维持环境质量、促进动植物健康的能力,土壤质量变化是土地利用变化引起的主要环境效应之一。由世界银行(WB)、联合国粮农组织(FAO)、联合国开发署(UNDP)和联合国环境署(UNEP)等国际组织共同发起的土地质量指标体系(Land Quality Indicators)研究,目的就是开发一套评价土地退化的特性与程度及其对生产力影响方面的标准化指标,其中,土壤质量变化对生产力的影响是该领域研究的核心内容之一,也是土地持续利用与管理的基础^[32]。

当前,土地利用方式对土壤质量及其生态环境功能的影响成为地球表层系统界面过程及其环境效应研究的热点。土地利用方式体现着土壤管理与决策的因素,并影响土壤质量的变化^[74-75]。主要表现为:土地利用变化通过改变地表植被,影响植物凋落物和土壤微生物的活动并改变土壤管理措施,引起养分在土壤系统的再分配,如 N、P、C 在土壤中的分布^[76-77]。不同土地利用方式和管理措施影响着土壤变化的方向和程度,合理的土地利用可以改善土壤结构,增强土壤对外界环境变化的抵抗力;而不合理的土地利用则会增加土壤侵蚀,导致水土流失、沙漠化、土壤养分含量降低,尤其是土地利用强度增加导致不可更新的人工化学物质的投入,破坏了土壤表层的质量^[78]。长期高强度的利用耕地还会造成土壤肥力的严重下降、土壤理化性质的改变和土壤结构的劣变。其结果是土地生产力的下降,生产投入的需求增加^[69]。因此,研究土地

利用变化对土壤质量的影响对了解区域生态和粮食安全及全球环境变化尤为重要^[5,79]。目前主要针对典型地区和经济快速发展区土地利用变化对土壤质量的影响进行了研究。在研究方法上,国际上多采用多变量指标克立格法(MVIK, Multiple Variable Indicator Kriging)和土壤质量动力学方法^[80]。

由于土壤质量存在时空分异特征,需要比较2个或多个时相变化才能更好地了解土壤质量变化的本质和机理^[81]。国内主要采取对不同土地利用类型和不同时间的土壤监测、取样与模拟,并从时空转换角度分析土地利用变化对土壤质量指数(SQI)的影响,其计算公式为:

$$SQI = \sum_i^n W_i I_i \quad (i = 1 \sim 6), \quad \sum W_i = 100 \quad (2)$$

式中: W_i 为各评价指标的权重; I_i 为评价指标等级分值(参照《农用地分等定级规程》); SQI 的最大值为400,是理想土壤质量指数值。量测指标一般为土壤质地、土壤养分、土壤侵蚀、土壤水分和土壤pH等。在土壤退化机理及预测研究方面,主要是建模及模拟^[78]。

较多学者对典型农区土地利用变化导致土壤侵蚀和土地退化的现象进行了研究,指出不合理的土地利用导致土壤丧失生态功能、生产潜力降低等土地退化现象^[4,29,82-84]。Ye等通过分析不同的粮食生产情景,认为如果土地继续以当前的速度退化,则到2030年中国将损失9%的粮食生产能力,如果以当前2倍的速度退化,到2050年粮食生产力损失达到30%^[44]。国内的相关研究主要从生态安全的角度探讨了中国土地利用对土壤质量的影响。由于土地利用变化产生的土壤侵蚀是整个生态脆弱地区目前面临的最为严重的生态环境问题,因此当前针对生态环境脆弱地区的研究较多。傅伯杰等^[85]、Wang等^[86]、李忠武等^[87]、温仲明等^[88]、魏孝荣等^[89]、何建林等^[90]、蒋勇军等^[91]从流域角度出发研究土地利用变化对流域土壤侵蚀、土壤养分和土地生产力的影响,认为土地利用间的相互转化是导致环境敏感区土壤质量发生变化的直接原因;陈浮等^[92]对新疆干旱区的研究显示,土地利用变化对土壤养分、土壤盐分、土壤侵蚀、土壤水分和土地生产力有明显的影响,不合理的土地利用进一步加剧了土地退化进程。

同时,生态环境脆弱地区土地利用结构的变化对土壤质量有明显的影响,从而显著影响土地生产

力,较多学者对此开展了相关研究。如李忠武等在GIS支持下,利用基于侵蚀条件下的土地生产力模型,研究了黄土丘陵沟壑区土地利用结构及气候等因素变化导致的土壤质量和土地生产力的差异性变化^[93];倪晋仁等提出了用区域土地利用结构特征指标进行水土流失快速评估的方法,实现了对土地利用变化对土壤质量影响的间接描述^[94]。还有许多研究已经报道了土地利用变化,特别是森林退化对土壤质量的影响^[95]。森林砍伐以及随后的农业实践会导致土壤性质改变,增加土壤容重^[77],显著降低土壤有机质含量,其中机械化耕作使得土壤有机质减少的更快^[96]。Islam等通过研究孟加拉热带雨林生态系统,发现土地利用变化导致土壤稳定性降低,土壤表层粘土和微生物含量减少,呼吸作用增强,土地利用退化指数显著提高^[97]。

随着社会经济的不断发展,对城市化进程较快地区土壤质量变化的研究也逐渐展开。快速城市化带来的城市环境污染导致了土壤污染和酸化,对未来土地生产潜力产生很大的威胁^[98]。Imhoff利用DMSP/OLS的夜间灯光数据与土壤分布图叠加,研究美国建设用地扩张对土地资源的影响,发现大量土壤质量较高的农用地被占用^[77];高中贵等^[81]、张健等^[99]、Pan等^[100]、韩书成等^[101]分别对昆山市、苏锡常地区和宜兴以及长三角地区的研究揭示:土地利用变化对土壤养分、土壤重金属污染有明显的影响,不同土地利用方式下,土壤质量各指标的变化程度有明显的差异性;孔祥斌等^[102]和秦明周等^[103]对城乡交错带进行了相应研究,后者还运用修改的内梅罗公式评价不同土地利用方式下的土壤总体质量情况。此外,考虑到不同土地利用结构及其所形成的土地资源格局是决定区域土壤质量的重要因素,涂小松等则运用系统动力学方法模拟经济发展优先模式和生态保护优先模式下土地配置的变化,更加全面的分析了土地利用系统的变化对土壤质量的影响^[45]。

上述研究从不同方面反应了土地利用变化对土壤质量的影响,极大的丰富了研究成果。但一般要求研究区有较好的土地利用与土壤数据基础,加上研究方法的限制,实际上做的也只是土地利用/覆盖类型与土壤质量之间的关系分析,且多是针对当前土地利用现状得到的一个静态结果。因此在一定程度限制了不同时期和大尺度上的时空比研究。

4 影响尺度研究

土地利用特征和变化过程及其影响的土地生产力相关要素和作用方式与研究尺度密切相关。不同尺度上气候和生态系统复杂多样,土地利用影响的强度、方式和作用效果也不同。如城市扩展,大尺度范围内能为周围农村地区提供更大的潜力和市场及技术和资金支持,提高农业土地利用的广度和深度,从而提高区域土地生产力;但对于城市边缘区,则会给农民带来城市化期望,往往采取“粗放”的土地利用方式,不重视对土地的投入,导致土地生产能力下降^[56]。可见,适宜尺度的选择十分关键,它必须能充分反映土地变化特征和生产力增减趋势^[104]。不同的时空尺度也决定研究的角度和方法。如对气候影响去除,小尺度内对土地生产力影响较小,可以取平均气候,而大尺度上气候时空变化差异较大,则要根据实际区分气候影响。

由于土地利用变化和气候变动对陆地生态系统生产力的影响是当前全球变化研究的中心问题之一^[39],因此,在广域空间尺度上(区域甚至全球)推算土地利用变化导致的陆地生态系统NPP变化非常重要^[9]。如Cao等^[21]、Goetz等^[22]分别利用遥感数据驱动的全球生产效率模型(GLO-PEM)和改进的初级生产力计算模型(PEM)研究了全球NPP的变化。还有些学者从国家尺度进行了土地利用变化对NPP和光温生产潜力影响的研究^[23,25,35]。这类大范围的研究有利于从宏观的角度认识土地利用变化对土地生产潜力影响的时空分布格局和规律,为实现科学的政策制定提供理论依据。

随着土地利用/覆被变化研究越来越深入,中小尺度的研究更有利于针对具体的问题进行探讨,以便于有效预测未来的变化方向,为土地利用决策提供可靠的依据。因此,有关土地利用变化对土地生产潜力研究的视野正不断由全球尺度转向较小尺度和典型区域,包括一些生态环境相对脆弱的典型区。如上文提到的巴西亚马孙河地区、孟加拉热带雨林地区及中国的北方农牧交错带、黄土丘陵沟壑区及地理单元相对独立的小流域、北方干旱区、自然保护区等。随着经济发展、工业化、城市化进程加快和人类活动加剧,土地利用变化快速,生态环境和粮食生产所面临的压力进一步加大,如何协调经济发展快速区土地利用和粮食安全的矛盾是迫切需要解决的问题,不少学者对这些地区进行了

分析和探讨,如美国东南部、中国的长三角地区、安徽沿江地区、深圳、上海、北京等地区以及一些城市交错带。

由上可知,在开展全球、国家或者大区域尺度研究的同时,也不能忽视对中小尺度和典型地区的研究^[104],尤其是基于县级尺度的研究,包括一些典型流域、重要的粮食产区、经济快速发展地区等,往往对这些地区的研究,提供了后续研究的思路,并更能全面反应存在的问题。

5 相关研究存在问题及展望

纵观国内外已有研究可以看出,土地利用变化对土地生产力的影响已成为当前研究的热点问题,现有研究已取得较大进展,得出了许多结论和认识。但由于受研究资料和方法等因素的限制,许多问题仍有待解决和研究。

5.1 存在问题

(1) 土地利用方式和强度变化的影响研究还需完善。当前研究较多从诸如建设侵占耕地、农业结构调整等耕地数量绝对变化对土地生产力的影响出发,较少分析土地利用方式和强度变化造成的影响,包括农业科技投入和品种培育等积极影响,及土地迅速变化导致耕地斑块破碎,长期集约化造成的土壤肥力下降,尤其是投入强度变化如大量施肥造成土壤养分流失、土壤质量与结构破坏、土壤污染等消极影响。同时某些刚性政策如耕地“占补平衡”实施中单方面注重耕地数量忽视质量平衡,及农户主观用地行为变化等造成的土地生产力隐性损失等研究较少^[105]。当前对中国经济发展较快、土地集约利用程度高、土地变化迅速地区的研究还不足,这些地区往往具有较好的粮食生产条件,是中国重要的粮食产区。目前已有学者指出经济越发达的区域,耕地隐性生产能力损失越大。

(2) 不同时空尺度下的综合研究较少。土地利用变化对土地生产力的影响可能来源于生态用地开垦或者过量的农业投入,短时间尺度内表现为粮食生产能力提高,但是由于土地利用变化的滞后性,长期则会导致土地退化和农业污染,最终导致土地生产力降低,因此,不同时间尺度的综合分析非常必要。此外,当前研究较多是从区域尺度或者全球尺度研究出发,但是从中小尺度(如县级尺度)出发,依据区(县)经济发展水平的差异,分析土地利用差异

对土地生产力影响的研究较少。此外,气候变化和土地利用变化对土地生产力的影响往往紧密联系在一起,不同时空尺度下影响的“贡献”是不同的。因此,要根据研究区的特点和研究目标,注重时空尺度综合研究,选取适合的时间和空间尺度及研究方法对土地利用变化带来土地生产力变化进行综合估算和评价,并重视多种方法的耦合。

(3) 研究方法单一,统计分析较多,遥感及动态评估模型的应用较少。当前关于土地利用变化对土地生产潜力影响的分析较多采用的是统计分析,虽然能够揭示并度量不同尺度两者相互作用关系,但是通过统计方法确定与土地利用空间分布密切相关的某些因素,并不一定就是土地生产潜力空间分布变化的直接原因,相关关系并不一定是因果关系^[6]。而且因研究指标、影响因子、评价要素的选择等方面的差异性,不同研究者在同一地区对比土地利用变化对生产力的影响时,研究结果会有差异,出现上文得出的耕地变化对中国粮食生产影响的不同结论,往往是因为只注重对结果的统计分析,缺乏对过程与机理的研究。同时相关研究还缺少利用当前比较成熟的遥感估产成果分析一定时期内粮食变动的土地利用变化影响,没有发挥遥感进行长时间序列粮食产量提取和远期土地利用变化对粮食产量影响预测的优势。遥感数据应用的限制也导致动态模型应用较少,普通的模型为了提高定量描述的准确性,往往会缩小模型的因子数量而限制了模型的解释能力。

5.2 研究展望

当前中国土地利用变化对土地生产力影响研究成果丰富。但是,也应该认识到,目前的研究只是一个良好的开端。随着该研究不断由自然转向了自然与社会经济相结合,整个研究过程除加强跨学科集成研究,综合考虑政策制度、生产方式、生态环境意识等多方面因素外,还应着重开展以下几方面的工作。

(1) 加强对中国经济快速发展的重要粮食主产区土地利用方式调整、土地利用结构变化及耕地利用强度变化等对县域层次耕地生产力的影响机制研究。粮食主产区一般具有较好的粮食生产条件,如长江中下游地区,同时又是城镇化、工业建设和经济发展速度较快的地区,这些地区粮食产量变化的研究对中国粮食安全意义重大。大多数文献探讨了经济地带或跨省农业区耕地数量变化对区域

粮食生产的影响,较少涉及到空间分辨率到县的研究成果。因此要加强当前经济快速背景下县级尺度土地利用方式和强度变化对土壤养分与质量变化过程和机制的研究;并利用当前全国耕地质量等级评定的成果,试图提出基准生产力的概念,在分析土地利用上述因素对各等级耕地变化影响的基础上,通过与基准生产力的比对,衡量区域土地生产力的变化程度和趋势。此外,也要关注这些地区土地使用者的个体经济特征(如耕地资源数量和质量、家庭生产性资产、家庭的非农收入等)及社会群体土地管理行为和土地利用政策(如耕地占补平衡)变化引起的土地利用方式变化对区域粮食生产的影响。

(2) 注重不同时空尺度的综合研究。土地利用变化具有高度的时间和空间异质性,不同时空尺度上土地利用变化对土地生产力的影响以及气候因素的作用存在较大差异。因此,要根据研究目标、应用模型及方法的特点和限制进行适宜的尺度选择。如NPP模型和遥感估产一般是针对大尺度的应用,AEZ模型可以对不同的典型农业生态区进行分析,小尺度上一般是分析土壤质量变化。在当前土地利用变化快速的背景下,要加强对中小尺度的典型研究,从土地利用变化对土地生产力影响的过程和机理出发,进一步搞清不同尺度上各种问题之间的关系。在进行大尺度研究时,需要根据内部不同的土地利用特点和生产力特征进行分区,即空间上需要将多个小尺度研究联结为一个可代表区域空间异质性的网络,建立地方尺度和区域尺度的土地利用动态联系,在特定尺度上选取适宜的评估指标和方法,将研究结果通过尺度转换延伸到其他尺度,为大尺度的综合研究提供丰富的区域信息。较长尺度研究还要考虑相邻时间段内土地利用变化对生产力产生的影响及其累积效果,解析不同地区间、各尺度之下土地利用变化与土地生产力相互作用关系。同时,由于区域(流域)尺度上的研究是从点到全球尺度研究的桥梁,而且这个尺度上容易获得高质量的模型输入数据,减少数据质量误差引起的不确定性。因此,为了适应“从全球到区域,从自然到人文”的研究趋势,要重点加强该尺度上的研究。

(3) 强化空间分析和定量方法的应用,加强对不同土地利用情景下土地生产力变化的动态评估。在全球土地利用/覆盖变化剧烈的背景下,要

不断引入现代技术和数学方法,加强空间格局分析和动态评估模拟。在具体研究中,要根据研究需要选择相应的土地利用变化预测和生产力估算模型,充分利用情景模拟和多元统计方法,整合各种驱动力因子建立未来土地利用变化的情景。同时借助遥感反演和地面试验观测与样品分析数据的转换和衔接,获取土壤理化性质和植被生理生态等关键参数,估算不同土地利用情景下土地生产力的变化。在此基础上,运用基于GIS的土壤质量数据库及空间分析方法,充分考虑非量化或定性的因子,如社会经济因子的作用,构建具有较强解释能力和可操作性的动态评估模型。模拟土地生产力对土地利用变化响应的时空格局与演变规律,分析其影响机理和过程。从而预测土地利用变化对土地生产力影响的未来趋势,提出维持和增强区域土地生产力的土地利用优化方案与管理策略,开展有利于土地生产力发挥和区域粮食安全的土地利用模式。特别是基于空间特征的模拟和评估,可以使决策者了解土地生产力对土地利用变化响应的分区差异,识别各分区特点和风险类型,进行未来的用地选择。上文指出,较小尺度上高质量的模型输入数据容易获取,数据误差引起的不确定性较小,因此,可以基于典型小区开发相应的评估模型,再通过尺度转换展开对不同区域的动态评估。

随着经济的发展,特别是城镇化、工业化的兴起,人口数量的增加和人类活动范围的扩大,土地生产力日益下降与粮食需求量迅速扩张已经成为一对不可避免的矛盾。因此,研究当前土地利用类型、强度和方式变化对土地生产力和粮食生产的影响,切实保护和提高土地生产能力,已经成为必然的战略选择,这对建立可持续的土地利用模式和保证国家粮食安全具有重要的意义。

参考文献

- [1] Turner B L II, Skole D L, Sanderson S, et al. Land-Use and Land-Cover Change: Science/Research Plan. IHDP Report 7/IGBP Report 35, Stockholm and Geneva, 1995.
- [2] IGBP & IHDP. GLP Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No.53/IHDP Report No.19. IGBP Secretariat, Stockholm, 2005. http://www.glp.colostate.edu/report_53.pdf
- [3] Qian L X, Cui H S, Chang J. Impacts of land use and cover change on land surface temperature in the Zhujiang Delta. *Pedosphere*, 2006, 16(6): 681-689.
- [4] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual review of ecology and systematics*, 1989 (20): 171-197.
- [5] 后立胜, 蔡运龙. 土地利用/覆被变化研究的实质分析与进展评述. *地理科学进展*, 2004, 23(6): 96-104.
- [6] 吴秀芹, 蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展. *地理科学进展*, 2003, 22(6): 576-584.
- [7] 张洁瑕, 陈佑启, 万利, 等. 我国土地生产力研究进展与展望. *中国农业大学学报*, 2009, 14(3): 135-144.
- [8] 李相玺, 尹忠东, 何长高. 土地生产潜力研究综述. *水土保持学报*, 2001, 15(5): 33-36.
- [9] Milesi C, Elvidge C D, Nemani R R, et al. Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 401-410.
- [10] 戴尔阜, 吴绍洪. 土地持续利用研究进展. *地理科学进展*, 2004, 23(1): 79-88.
- [11] 李秀彬. 土地利用变化的解释. *地理科学进展*, 2002, 21(3): 195-203.
- [12] 邓祥征, 姜群鸥, 战金艳. 中国土地生产力变化的情景分析. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1835-1843.
- [13] 李晓娟, 倪晋仁, 李振山, 等. 土地利用结构与土地生产力的关系研究. *自然资源学报*, 2005, 20(3): 340-346.
- [14] 谭少华, 倪绍祥. 20世纪以来土地利用研究综述. *地域研究与开发*, 2006, 25(5): 84-89.
- [15] 任美镔. 四川省农作物生产力的地理分布. *地理学报*, 1950, 16(1): 1-22.
- [16] 汤佩松. 从植物的光能利用效率看提高单位面积产量. *人民日报*, 1964.
- [17] 竺可桢. 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系. *地理学报*, 1964, 30(1): 1-13.
- [18] 党安荣, 阎守邕, 吴宏歧, 等. 基于GIS的中国土地生产潜力研究. *生态学报*, 2000, 20(6): 910-915.
- [19] 谢经荣. 国外土地生产力评价方法及其进展. *自然资源*, 1992(6): 69-74.
- [20] 刘艳秋. 吉林省土地生产力研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010: 2-3.
- [21] Cao M K, Prince S D, Small J, et al. Remotely sensed interannual variations and trends in terrestrial net primary productivity 1981-2000. *Ecosystems*, 2004, 7(3): 233-242.
- [22] Goetz S J, Prince S D, Goward S N, et al. Satellite remote sensing of primary production: An improved production efficiency modeling approach. *Ecological Modelling*, 1999, 122(3): 239-255.
- [23] Ewert F, Rounsevell M, Reginster I, et al. Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 107(2-3): 101-116.
- [24] Weinhold D. Estimating the loss of agricultural productivity in the Amazon. *Ecological Economics*, 1999, 31(1): 63-76.

- [25] Hicke J A, Lobell D B, Asner G P. Cropland area and net primary production computed from 30 years of USDA agricultural harvest data. *Earth Interactions*, 2004, 8(10): 1-20.
- [26] Imhoff M L, Tucker C J, Lawrence W T, et al. The use of multisource satellite and geospatial data to study the effect of urbanization on primary productivity in the United States. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 2000, 38(6): 2549-2556.
- [27] Imhoff M L, Lawrence W T, Elvidge C D, et al. Using nighttime DMSP/OLS images of city lights to estimate the impact of urban land use on soil resources in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59(1): 105-117.
- [28] Deyong Y, Hongbo S, Peijun S, et al. How does the conversion of land cover to urban use affect net primary productivity? A case study in Shenzhen city, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(11): 2054-2060.
- [29] Bakker M M, Govers G, van Doorn A, et al. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Geomorphology*, 2008, 98(3-4): 213-226.
- [30] Gross N, Bloor J M G, Louault F, et al. Effects of land-use change on productivity depend on small-scale plant species diversity. *Basic and Applied Ecology*, 2009, 10(8): 687-696.
- [31] 黄进勇, 高旺盛. 土地生产力的内涵, 系统观与可持续技术. *农业现代化研究*, 1998, 19(3): 158-161.
- [32] 王卫, 李秀彬. 中国耕地有机质含量变化对土地生产力影响的定量研究. *地理科学*, 2002, 22(1): 24-28.
- [33] 战金艳, 邓祥征, 岳天祥, 等. 内蒙古农牧交错带土地利用变化及其环境效应. *资源科学*, 2004, 26(5): 80-88.
- [34] 刘军会, 高吉喜. 气候和土地利用变化对北方农牧交错带植被 NPP 变化的影响. *资源科学*, 2009, 31(3): 493-500.
- [35] 刘纪远, 徐新良, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代 LUCC 过程对中国农田光温生产潜力的影响: 基于气候观测与遥感土地利用动态观测数据. *中国科学: D 辑*, 2005, 35(6): 483-492.
- [36] 王原, 黄玫, 王祥荣. 气候和土地利用变化对上海市农田生态系统净初级生产力的影响. *环境科学学报*, 2010, 30(3): 641-648.
- [37] 赵媛媛, 何春阳, 李晓兵, 等. 干旱化与土地利用变化对中国北方草地与农牧交错带耕地自然生产潜力的综合影响评价. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 123-135.
- [38] Gao Z Q, Liu J Y, Cao M K, et al. Impacts of land use and climate change on regional net primary productivity. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(3): 349-358.
- [39] Gao Z Q, Liu J Y, Cao M K, et al. Impacts of land-use and climate changes on ecosystem productivity and carbon cycle in the cropping-grazing transitional zone in China. *Science in China: Series D*, 2005, (9): 1479-1491.
- [40] 邓祥征, 黄季焜, Scott R. 中国耕地变化及其对生物生产力的影响: 兼谈中国的粮食安全. *中国软科学*, 2005(5): 65-70.
- [41] 程传周, 杨小唤, 李月娇, 等. 2005-2008 年中国耕地变化对区域生产潜力的影响. *地球信息科学学报*, 2010, 12(5): 620-627.
- [42] Yan H M, Lliu J Y, Huang H Q, et al. Assessing the consequence of land use change on agricultural productivity in China. *Global and Planetary Change*, 2009, 67(1-2): 13-19.
- [43] 姜群鸥, 邓祥征, 林英志, 等. 中国耕地用途转移对耕地生产潜力影响的预测与分析. *应用生态学报*, 2010, 21(12): 3113-3119.
- [44] Ye L, Van Ranst E. Production scenarios and the effect of soil degradation on long-term food security in China. *Global Environmental Change*, 2009, 19(4): 464-481.
- [45] 涂小松, 濮励杰, 严祥, 等. 土地资源优化配置与土壤质量调控的系统动力学分析. *环境科学研究*, 2009, 22(2): 221-226.
- [46] 刘彦随, 吴传钧. 中国水土资源态势与可持续食物安全. *自然资源学报*, 2002, 17(3): 270-275.
- [47] Turner I, Meyer W B, Skole D L. Global land use/land cover change: towards an integrated study. *Ambio*, 1994, 23(1): 91-95.
- [48] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 我国耕地面积重心及耕地生态背景质量的动态变化. *自然资源学报*, 1998, 13(1): 92-96.
- [49] 殷培红, 方修琦, 马玉玲, 等. 21 世纪初中国粮食短缺地区的空间格局和区域差异. *地理科学*, 2007, 27(4): 463-472.
- [50] Semwal R, Nautiyal S, Sen K, et al. Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: A case study from central Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 102(1): 81-92.
- [51] Hengsdijk H, Van Ittersum M. Formalizing agro-ecological engineering for future-oriented land use studies. *European Journal of Agronomy*, 2003, 19(4): 549-562.
- [52] 姚鑫, 杨桂山, 万荣荣. 昆山市耕地变化和粮食安全研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(4): 148-152.
- [53] 李宗尧, 杨桂山. 安徽沿江地区耕地数量变化特征及其对粮食安全的影响. *资源科学*, 2006, 28(6): 91-96.
- [54] 周小萍, 卢艳霞, 陈百明. 中国近期粮食生产与耕地资源变化的相关分析. *北京师范大学学报: 社会科学版*, 2005(5): 122-127.
- [55] 史娟, 张凤荣, 赵婷婷. 1998 年 ~ 2006 年中国耕地资源的时空变化特征. *资源科学*, 2008, 30(8): 1191-1198.
- [56] 陈佑启. 我国耕地利用变化及其对粮食生产的影响. *农业工程学报*, 2000, 16(6): 29-32.
- [57] 邵晓梅. 区域土地利用变化及其对粮食生产影响分析: 以山东省为例. *地理科学进展*, 2003, 22(1): 30-37.

- [58] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶,等.黄土丘陵沟壑区县域耕地生产力与粮食自给能力变化差异:以安塞县为例.资源科学,2004,26(4):126-131.
- [59] 张定祥,潘贤章,李宪文,等.近17年城镇用地扩展对粮食生产影响的定量评估研究:以江苏省常熟市为例.地理科学,2004,24(1):31-36.
- [60] 吴炳方,蒙继华,李强子.国外农情遥感监测系统现状与启示.地球科学进展,2010,25(10):1003-1012.
- [61] 石淑芹,陈佑启,姚艳敏,等.东北地区耕地变化对粮食生产能力的影晌评价.地理学报,2008,63(6):574-586.
- [62] 傅泽强,蔡运龙,杨友孝,等.中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析.自然资源学报,2001,16(4):313-319.
- [63] 马文杰,冯中朝.粮食综合生产能力与耕地流失的关系研究.农业现代化研究,2005,26(5):353-357.
- [64] 谭水魁,彭补拙.粮食安全的耕地保障检讨及近期耕地调控思路.经济地理,2003,23(3):371-374,378.
- [65] 李茂,张洪业.中国耕地和粮食生产力变化的省际差异研究.资源科学,2003,25(3):49-56.
- [66] 曾科军,陈逸,高中贵,等.长江三角洲土地利用变化与粮食安全分析.地理与地理信息科学,2006,22(6):58-61.
- [67] 门明新,陈亚恒,刘玉,等.基于RS与GIS唐山市城镇扩展对耕地产能影响的定量评估.农业工程学报,2009,25(9):282-288.
- [68] 谭永忠,吴次芳,王庆日,等.“耕地总量动态平衡”政策驱动下中国的耕地变化及其生态环境效应.自然资源学报,2005,20(5):727-734.
- [69] 李青丰.生态安全对防止耕地隐性流失和保证粮食安全的意义.干旱区资源与环境,2006,20(3):11-15.
- [70] 刘兴土,阎百兴.东北黑土区水土流失与粮食安全.中国水土保持,2009(1):17-19.
- [71] 衣华鹏,刘贤赵,张鹏宴.生态退耕对粮食生产的影响探讨:以陕西黄土高原水土流失区为例.水土保持研究,2006,12(5):197-199.
- [72] 李翠珍,孔祥斌,秦静,等.大都市区农户耕地利用及对粮食生产能力的影晌.农业工程学报,2008,24(1):101-107.
- [73] Verburg P H, Chen Y, Veldkamp T. Spatial explorations of land use change and grain production in China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2000, 82(1-3): 333-354.
- [74] Fu B J, Gulinck H, Masum M. Loess erosion in relation to land-use changes in the Ganspoel catchment, central Belgium. Land Degradation & Development, 1994, 5(4): 261-270.
- [75] Liu D Q, Wan F, Guo R, et al. GIS-based modeling of potential yield distributions for different oat varieties in China. Mathematical and Computer Modelling, 2010, 54 (3-4): 869-876.
- [76] Peter J, William T, David L, et al. Nutrient dynamics in a agricultural watershed observations on the role ariparian forest.Ecology, 1985, 65(5): 1466-1475.
- [77] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响:以河北省遵化市为例.地理学报,2001,56(4):447-455.
- [78] 王效举,龚子同.红壤丘陵小区域不同利用方式下土壤变化的评价和预测.土壤学报,1998,35(1):135-139.
- [79] Frondoni R, Mollo B, Capotorti G. A landscape analysis of land cover change in the Municipality of Rome (Italy): Spatio-temporal characteristics and ecological implications of land cover transitions from 1954 to 2001. Landscape and Urban Planning, 2011, 100(1-2): 117-128.
- [80] 赵其国,孙波,张桃林.土壤质量与持续环境 I:土壤质量的定义及评价方法.土壤,1997(3):113-120.
- [81] 高中贵,彭补拙,喻建华,等.经济发达区土地利用变化对土壤性质的影响:以江苏省昆山市为例.自然资源学报,2005,20(1):44-51.
- [82] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. Catena, 2000, 39(1): 69-78.
- [83] Pelacani S, Mrker M, Rodolfi G. Simulation of soil erosion and deposition in a changing land use: A modelling approach to implement the support practice factor. Geomorphology, 2008, 99(1-4): 329-340.
- [84] 孔祥斌,张凤荣,齐伟,等.集约化农区土地利用变化对土壤养分的影响:以河北省曲阳县为例.地理学报,2003,58(3):333-342.
- [85] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响:以延安市羊圈沟流域为例.地理学报,1999,54(3):51-56.
- [86] Wang J, Fu B J, Qiu Y, et al. Analysis on soil nutrient characteristics for sustainable land use in Danangou catchment of the Loess Plateau, China. Catena, 2003, 54 (1-2): 17-29.
- [87] 李忠武,蔡强国,曾光明.黄土丘陵沟壑区土地利用类型与土地生产力关系模拟研究:以王家沟小流域为例.地理科学,2007,27(1):53-57.
- [88] 温仲明,焦峰,赫晓慧,等.纸坊沟流域黄土丘陵区土地生产力变化与生态环境改善.农业工程学报,2006,22 (8): 91-95.
- [89] 魏孝荣,邵明安.黄土高原沟壑区小流域不同地形下土壤性质分布特征.自然资源学报,2007,22(6):946-953.
- [90] 何建林,何丙辉,陈晓燕,等.小流域土地利用变化对土壤养分的影响.水土保持研究,2009,16(6):220-223,228.
- [91] 蒋勇军,袁道先,章程,等.典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响:以云南小江流域为例.地理学报,2005,56(5):751-760.
- [92] 陈浮,濮励杰,彭补拙,等.新疆库尔勒市土地利用变化对土壤性状的影响研究.生态学报,2001,21(8):1290-1295.

- [93] 李忠武, 蔡强国, 曾光明. 黄土高原土地生产力区域特征分析. 资源科学, 2004, 26(增刊): 91-97.
- [94] 倪晋仁, 李英奎. 基于土地利用结构变化的水土流失动态评估. 地理学报, 2001, 56(5): 610-620.
- [95] Mandal D, Singh R, Dhyan S, et al. Landscape and land use effects on soil resources in a Himalayan watershed. *Catena*, 2010, 81(3): 203-208.
- [96] Riezebos H T, Loerts A. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay. *Soil and Tillage Research*, 1998, 49(3): 271-275.
- [97] Islam K, Weil R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, 79(1): 9-16.
- [98] Chen J. Rapid urbanization in China: A real challenge to soil protection and food security. *Catena*, 2007, 69(1): 1-15.
- [99] 张健, 陈凤, 濮洪杰, 等. 经济快速增长区土地利用变化对土壤质量影响研究. 环境科学研究, 2007, 20(5): 99-104.
- [100] Pan X Z, Zhao Q G. Measurement of urbanization process and the paddy soil loss in Yixing city, China between 1949 and 2000. *Catena*, 2007, 69(1): 65-73.
- [101] 韩书成, 濮洪杰, 陈凤, 等. 长江三角洲典型地区土壤性质对土地利用变化的响应: 以江苏省锡山市为例. 土壤学报, 2007, 44(4): 612-619.
- [102] 孔祥斌, 张凤荣, 王茹, 等. 城乡交错带土地利用变化对土壤养分的影响: 以北京市大兴区为例. 地理研究, 2005, 24(2): 213-221.
- [103] 秦明周, 赵杰. 城乡结合部土壤质量变化特点与可持续性利用对策: 以开封市为例. 地理学报, 2000, 55(5): 545-554.
- [104] 杨梅, 张广录, 侯永平. Advances and Prospects of the Driving Force of Regional Land Use Change Researches. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(1): 95-100.
- [105] 孔祥斌, 李翠珍, 梁颖, 等. 基于农户用地行为的耕地生产力及隐性损失研究. 地理科学进展, 2010, 29(7): 869-877.

Progress on Effects of Land Use Change on Land Productivity

PAN Peipei^{1,2,3}, YANG Guishan^{1,3}, SU Weizhong^{1,3}

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: Land use/cover change (LUCC) is one of the hot issues of global changes. The impact of land use change on land productivity is an important part of effects of LUCC. Based on the concepts of land use change and land productivity, this paper summarizes the main research contents and methods mainly from the aspect of their impacts on the potential land productivity, food production capacity and soil quality. It also discusses the scales of impact in this study. Then, it further points out main problems in current studies. Finally, the paper suggests that future research should focus on the impact of land use changes in the structure, pattern and intensity on cultivated land productivity, especially in the range of small scale, and emphasize the application of spatial analysis, dynamic evaluation model and synthesis of scales. This article also puts forward that this research has become an inevitable strategic choice and it is of great significance to establish sustainable land use patterns and to ensure national food security.

Key words: land use change; land productivity; food production; soil quality

本文引用格式:

潘佩佩, 杨桂山, 苏伟忠. 土地利用变化对土地生产力的影响研究进展. 地理科学进展, 2012, 31(5): 539-550.