

耕地资源生产潜力研究进展及其启示

史婧然^{1,2} 孔祥斌^{1,2*} 相慧^{1,2}

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193; 2. 国土资源部 农用地质量与监控重点实验室,北京 100193)

摘要 通过对于国内外有关对于我国耕地资源生产潜力的研究进展综述,指出对我国耕地生产潜力研究的方向,明确重点研究内容,采用文献综述与综合分析方法,围绕我国耕地资源生产能力变化问题,迫切需要结合气候变化、区域土地利用和农户土地利用转型等方面,开展 1.2 亿 hm^2 耕地红线(18 亿亩)和分布在不同区域的 1.04、6 亿 hm^2 基本农田对粮食安全稳定的内在抵御机理研究。

关键词 耕地; 生产潜力; 研究进展; 启示

中图分类号 S 341.1

文章编号 1007-4333(2013)03-0198-05

文献标志码 A

Progress and enlightenment on potential productivity of China's arable land

SHI Jing-ran^{1,2}, KONG Xiang-bin^{1,2*}, XIANG Hui^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory for Farmland Quality, Monitoring and Control, National Ministry of Land and Resources, Beijing 100193, China)

Abstract This paper is reviewed the current research contents about the potential productivity of Chinese arable land. We attempted to sort out the direction and key research content in future. It was found that the urgent requirement was to understand the inner defending mechanisms between the cereal security and the 0.12 billion hectares of basic arable land and their distribution in different regions of China. It was necessary to consider the influence of the climatic changes with land use transfer in regions and farmers on the changes of the potential productivity of Chinese arable land.

Key words arable land; potential productivity; research progress; enlightenment

Lobell^[1] 在 Science 杂志上发表的最新研究结果表明,气候变暖将导致我国的玉米、小麦和大豆分别减少 8%、4% 和 3%,只有水稻增产 2%。依据国土资源提供数字表明,2010 年我国耕地面积约为 1.22 亿 hm^2 ,比 1997 年的 1.3 亿 hm^2 减少 0.08 亿 hm^2 ^[2],我国的城市化工业化每年减少 63.07 万 hm^2 的优质耕地资源,1.2 亿 hm^2 耕地红线岌岌可危。我国人均耕地面积由 10 多年前的 0.1 hm^2 减少到 0.09 hm^2 ,仅为世界平均水平的 40%。Lester Brown^[3] 在 2011 年提出了“美国能养活中国人吗?”。他的研究认为,我国城市化和工业化耗费了大量的优质耕地资源,而且作为生产了我国 60%~

80% 的小麦和 30%~40% 玉米的粮仓——黄淮海区域,地下水的下降将导致整个区域粮食产量大幅度下降,进而影响到我国 10% 以上人口的粮食安全。

然而,与国外研究和预测恰恰相反,我国粮食总产在耕地数量刚性减少^[4]、全球气候波动^[5] 和水资源短缺^[3] 等不利的情况下,不降反增。2011 年,粮食产量达到 5.7 亿 t,这不仅意味着迈上了 5.5 亿 t 的新台阶,而且是粮食总产连续第 5 年稳定在 5 亿 t 以上,实现半个世纪以来首次连续 8 年增产^[6]。

国外理论研究与粮食生产现实的强烈对比与反差表明,我国耕地资源空间分布的差异性和复杂性有抵御气候变化等不利影响的内在抵御机制。而这

收稿日期: 2012-09-17

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201011006-3)

第一作者: 史婧然,硕士研究生,E-mail:shijingran213@163.com

通讯作者: 孔祥斌,教授,博士,主要从事土地资源可持续利用和评价研究,E-mail:kxbin1@263.net,kxb@cau.edu.cn

种内在抵御机制是否与我国构筑的 1.2 亿 hm^2 耕地红线和分布在不同区域的 1.04 亿 hm^2 基本农田有关？

因此，围绕我国耕地资源生产能力变化问题，迫切需要结合气候变化、区域土地利用和农户土地利用转型等方面开展深入研究，分析我国耕地资源空间分布的差异性特征对保障我国粮食安全的重要意义。

1 气候变化研究进展及其对我国耕地资源生产潜力研究的启示

气候变化对耕地生产潜力产生了显著的影响，但是已有的气候变化研究多是从对具体作物产量的影响层面展开的。朴世龙^[7]的研究表明，自从 1960 年以来，我国的平均温度增加了 1.2 $^{\circ}\text{C}$ ，而且北方温度增加高于南方。温度每升高 1 摄氏度，水稻产量上升 4.5%~14.6%，小麦减产 6%~20%，玉米的产量也有一定的下降。因此，得出全球气候变化对于我国粮食安全的影响具有不确定性的研究结论。而孔祥斌^[8]则认为我国气候条件的空间差异性，可以起到粮食生产区域的互补性。

杨晓光^[9]选择黄淮海平原玉米和小麦作为研究对象，分析气候变化对这 2 种作物产量的影响，结果表明：气候变化对作物产量的影响没有一致性，在不同的区域对小麦和玉米分别产生增产和减产的作用，而育种技术的提高，抵消了气候变化导致的作物减产作用。田展^[10]利用 1980—2000 年黄淮海农业区 10 个站点的农业数据进行作物模拟，结果表明：在不考虑 CO_2 直接肥效的情况下，黄淮海农业区雨养小麦全面减产；在充分灌溉的情况下，灌溉小麦产量维持了现有水平，但灌溉水量增加。史印山^[11]以河北省为例进行研究，分析了 1951—2006 年河北省气候变化特征及其对冬小麦气候产量的影响。结果表明：冬小麦气候产量与气温、降水显著相关，温度过低或过高都会使小麦减产，高温使小麦减产更严重，降水量和小麦气候产量呈正相关。茆长宝^[12]利用国家气象中心提供的南京市近 60 年逐月气温、降水资料，分析南京市冬小麦产量对气候变化的响应，拟合结果表明作物产量与气温变化呈正相关，与降水、干燥水平呈负相关关系。成林^[13]研究 20 世纪 80 年代中期以后河南省冬小麦全生育期气温显著升高，增温幅度为 0.81 $^{\circ}\text{C}/10$ 年。相对于变暖前的 1961—1981, 1991—2000 和 2001—2007 年增温带来的单产增加量占实际增产量的 15.6%~20.7%；

但显著升温后的 2001—2007 年相对于 1991—2000 年增温带来的增产量仅占实际增产量的 1.0%，冬小麦单产对气温的敏感性降低。Yanzhao Yang^[14]以我国西北为例，分析了从 1960—2001 年，气候诱导下的作物水平衡的变化，研究表明：西北区域气候变暖降低了作物水赤字，但是没有显著的缓解作物水赤字，并未给出我国不同区域作物生产潜力的空间分化过程。也有学者认为，气温整体增加延长了我国不同耕作制度下的作物的生长周期，从而提高了作物生产潜力^[9]。

国内外众多的科学家只是从气候变化对具体作物的生产能力进行了研究，既有对我国小麦玉米产量下降影响报道，也有温度增加提高小麦和玉米产量的报道。但是已有研究成果还未回答以下 3 个问题：1) 我国不同生态区域内优质耕地资源生产光温(水)生产潜力变化趋势；2) 优质耕地资源技术生产潜力是否得到总体提升以及区域差异性；3) 优质耕地资源生产潜力总体提升对我国粮食生产稳定性的影响？

2 区域立地条件对耕地最大技术生产潜力提升的影响

在全球化、工业化和城市化进展中，我国的耕地生产潜力不仅受到气候变化的影响，区域水资源变化的影响，更受到区域土地利用的影响。改革开放 30 年来，我国耕地集约利用强度不断增加。依靠全球 7% 的耕地资源，消耗了我国 70% 的淡水资源，全球 40% 的化学肥料，养活了世界 22% 的人口。高投入在提高产量的同时，也对耕地质量产生了正面和负面的影响。

范明生^[15]则从土壤生产力角度，提出了农田土壤生产潜力与投入的关系。认为光温生产潜力的突破需要土壤质量和育种技术的突破，而已有的最大的农田管理下技术生产潜力，则是通过土壤提升施肥技术突破来实现，而区域的现实技术生产潜力，则是在已有的技术条件下形成的生产能力。在目前阶段，可以发挥农业技术推广作用，提高生产潜力。陈新平^[16]则提出了通过施肥管理提高作物产量，降低化肥使用量的相关技术。但是，在其生产潜力提高研究中，忽略了农田基础设施条件的提高对作物产量的支撑作用。

而国内外专家把有机质含量是否提升作为耕地生产潜力提升的重要表征。黄耀^[17]调研并分析了

我国大陆 1993 年以来关于区域农田土壤有机碳变化的文献 200 余篇。分析表明,近 20 年来占我国大陆农田面积 53%~59% 的土壤有机碳含量呈增长趋势,30%~31% 呈下降趋势,4%~6% 基本持平。其中,华东和华北地区增加明显,但东北地区呈下降趋势。Genxing Pan^[18] 收集全国省级 1949—1998 年有关粮食产量、土壤有机质含量和农田面积数据,分析农田土壤有机质增加对粮食产量的影响。研究结果表明,农田土壤有机质含量与作物产量和稳定性之间具有显著的正相关性,认为增加农田土壤有机质含量 1%~3% 可以提高粮食产量稳定率在 10% 以上。利用这个相关关系,有机质含量提高 1%,可以提高产量 430 kg/hm²,提高粮食生产稳定性 3.5%,我国土壤每年平均提高 1%,则每年增产粮食产量为 7 700 万 t。

朴世龙^[19] 发表在 Nature 上的研究也表明,我国除东北区域的耕地有机质含量下降外,整体的土壤有机质呈现上升趋势。这些研究表明,集约化土地利用对耕地质量产生了正面影响。而郭景恒^[20] 的研究则表明,从 1980—2000 年,我国农田土壤 pH 显著下降,氮肥过量施用是农田土壤酸化的主要原因。

国内外众多学科关注的是影响耕地生产能力具体的单项影响要素的分析,并分析了这些指标变化对耕地最大技术生产潜力的正面和负面的影响。但是,在区域最大耕地技术生产潜力急需进行以下研究。1) 耕地立地条件变化对优质耕地资源技术生产潜力的影响;2) 优质耕地资源生产潜力是否存在区域互补性;3) 在全国尺度上,区域耕地资源最大生产潜力是否存在整体提升性,以及这种整体提升对粮食总产稳定的影响。

3 农户土地利用对耕地生产潜力实现程度的区域互补影响

国内外学者,从农户土地利用特征出发,系统研究了农户土地利用对耕地生产能力实现程度的影响。Cheng li Tong^[21] 以我国三大种植作物小麦、玉米和水稻为例,在分析 3 种作物的集约化利用变化的同时,还分析了集约化程度变化对农户效益和 3 种作物产量的影响。李秀彬^[22-25] 提出了农地利用变化假说及其生态环境影响,并进一步分析了农地边缘化特征,以宁夏农地利用为例,分析了劳动力成本上升对农地利用变化的影响,认为区域劳动力机会

成本的变化是我国农用地资源利用过度和不足的主要驱动原因,并认为农户对劳动生产率的追求显著的影响了区域的粮食生产能力实现程度。孔祥斌^[26-35] 依据相关假设,提出了我国农户土地利用存在阶段性特征的结论,并以北京大兴区域为研究样区进行研究,发现发达区域农户土地目标阶段转化,使耕地粮食生产实现程度降低,但对土壤有机质含量提升产生了正面影响。而宋伟^[36] 等以我国发达区域江苏省常熟市为例分析了农户土地利用对耕地粮食生产潜力的影响,认为农户的兼业行为和劳动力投入降低没有影响耕地的单产水平。

已有的研究得出的研究结论表明,农户是保障我国粮食安全的主体,农户的土地利用行为变化对区域粮食生产能力实现程度产生重大影响,从而影响区域的粮食生产。但是,一个显而易见的现实是,30 年来,我国的粮食主产区呈现出由南方-黄淮海-东北转移以及从东部-中部-西部梯度转移的态势。应进行以下方面的研究:1) 区域农户耕地利用阶段差异特征以及区域间的互补性;2) 农户耕地生产潜力实现程度是否存在区域阶段性和区域间互补性;3) 农户耕地生产潜力实现程度的区域互补性对我国粮食生产稳定的效应。

4 我国优质耕地资源生产潜力变化对粮食生产总体稳定性的影响

为了切实摸清我国耕地生产能力状况,国土资源部开展了农用地分等的理论和技术体系研究,评定的基本方法是按照全国统一规定的标准耕作制度,测算作物光温(气候)生产潜力^[37],在形成覆盖全国的、连续的“土地质量背景值曲面”的基础上,分区域选取土壤、地形、土地利用等因素,通过测算土地自然质量分、土地利用系数和土地经济系数,进行土地自然质量、利用水平和经济效益水平的逐级订正^[38],按照乘法计算全国可比的分等指数,以此划分耕地质量等级^[39]。

2009 年国土资源部农用地分等汇总成果显示,我国农用地平均等别为 9.80 等,低于平均等别的 10~15 等地占全国农用地评定面积的 57% 以上,生产能力大于 15 000 kg/hm² 的耕地仅占 6.09%,农用地等别总体偏低。我国农用地等别分布具有复杂性,我国耕地分布集中性特征显著,局部性的耕地资源与水热资源匹配度低,整体上,耕地资源与生态要素存在空间互补性^[40]。在进行农用地质量评价的

同时,还建立了区县级、省级以及国家级标准样地体系,作为区域优质耕地资源标杆,其中设置国家级优质资源标准样地400多块。

Hong Yang^[41]分析了我国耕地利用变化特别是国土资源部耕地占补平衡策略实施以来的耕地数量的省级变化特征,指出了耕地总量是平衡的,但是耕地质量变化对我国的国家粮食安全产生潜在风险。封志明^[42]研究表明,1949年以来我国耕地资源数量呈现波动性变化,并预计2010年以后我国的耕地资源数量将趋于稳定。郑海霞^[43]讨论了我国耕地总量动态平衡问题,认为从数量上看,耕地资源实现了占补平衡,但是从质量上看,耕地资源未实现占补平衡,耕地总量平衡问题面临严峻挑战。封志明^[44]则利用AEZ模型,进行了我国区县尺度上的粮食生产的资源潜力进行了区域差异,并提出了我国县域粮食资源潜力的提升对策。基于人均粮食需求定额,封志明^[45]认为,在人均450 kg的消费水平上,我国未来耕地的粮食生产能力足以支持人口高峰时间的14.73亿人,但受耕地资源有限约束,人均粮食占有水平很难有进一步提高。

张晋科^[46-48]以审定作物品种作为我国12个生态区最高技术生产潜力,并测算了我国耕地的生产能力,结果表明:2004年全国耕地粮食总生产能力为9.20亿t,远高于全国近3年(2002—2004年)4.52亿t的粮食平均产量,粮食生产依然有较大的增产潜力,目前粮食安全的耕地资源保障程度较高。

在农用地质量分析中,初步提出了我国耕地资源分布的复杂性和匹配差异性,但是已有的农用地研究成果未能回答以下问题。1)我国优质耕地资源分布差异对耕地生产能力稳定性的影响;2)优质耕地资源分布差异对抵御气候变化的影响;3)区域优质耕地资源光温水生产潜力和最大技术生产潜力、生产潜力实现程度是否存在区域互补及其对粮食稳产的影响。

国内已有区域耕地生产潜力及其实现程度的相关研究成果,都不能揭示出我国不同区域耕地资源光(温)水生产潜力区域差异与互补、技术生产潜力整体提升和耕地生产潜力实现程度区域互补的过程,未能揭示出我国优质耕地资源生产潜力提升及其实现程度变化对粮食总产稳定的效应。

5 结论与启示

国内外学者越来越认识到,在保障全球生态安

全与资源安全前提下,通过提高现有耕地资源的生产潜力是保障全球粮食安全最好的手段^[49]。因此,优质耕地资源生产潜力提升的研究得到广泛的重视。我国迫切需要研究30年来,在气候变化、技术进步下和农户土地利用目标阶段转型条件下,我国不同区域优质耕地资源光温生产潜力空间差异性和互补性,最大技术生产潜力是整体提升性,以及农户耕地生产潜力实现程度存在区域互补性。

迫切需要开展我国优质耕地资源光温(水)生产潜力区域差异与互补性,技术生产潜力的总体提升性以及耕地生产潜力实现程度区域互补对我国粮食总产稳定影响的内在机理出发,在以下几个方面进行深入研究:1)不同生态区域内优质耕地资源光温(水)生产潜力的空间差异性和互补性;2)不同生态区域内优质耕地资源生产潜力总体提升性和区域之间提升幅度的差异性;3)不同生态区域内农户优质耕地资源生产潜力实现程度区域内部的阶段性和区域之间的互补性;4)不同生态区域内优质耕地资源生产潜力总体提升性以及农户耕地生产潜力实现程度区域互补对粮食总产稳定的效应。

通过以上研究,阐明我国优质耕地资源光温、光温水生产潜力在空间上具有互补性和稳定性,对抵御气候变化不利影响而具备了粮食生产的抗逆性作用;分布在各个生态区域内的优质耕地资源的区域最优利用条件下的生产能力是否得到不断提升;耕地生产能力提升和差异性是否在一定程度上弥补了区域水资源短缺和耕地资源刚性减少的减产效应;我国优质耕地资源的空间分布差异是否有效缓解了发达区域农户土地利用转型所导致的生产能力实现程度下降的不利影响。

参 考 文 献

- [1] Lobell D B, Schlenker W, Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980 [J]. *Science*, 2011, 333 (6042): 616-620
- [2] 苏小姗, 祁春节, 田建民. 水资源胁迫下基于粮食的现代农业生产技术创新趋势及策略[J]. *农业现代化研究*, 2012, 33(2): 207-210
- [3] Brown L. Can the United States feed China? [J/OL] http://www.foreignpolicy.com/articles/2011/01/10/the_great_food_crisis_of_2011?
- [4] Pan G X, Xu X W, Smith P, et al. An increase in topsoil SOC stock of China's croplands between 1985 and 2006 revealed by soil monitoring[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 136: 133-138

- [5] Liu Y, Wang E L, Yang X G, et al. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s[J]. *Global Change Biology*, 2010, 16: 2287-2299
- [6] 国家统计局网站, 统计公报 <http://www.stats.gov.cn/tjgb/>
- [7] Piso S L, Ciaïs Philippe, Huang Yao, et al. The impacts of climate change on water resource and agriculture in China[J]. *Nature*, 2010, 467: 44-51
- [8] 孔祥斌. 粮食安全: 不能忽视耕地的作用[J]. *中国土地*, 2011, 6: 57-60
- [9] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰. 气候变化背景下中国农业气候资源变化Ⅳ. 黄淮海平原半湿润暖温带-玉两熟灌溉农区农业气候资源时空变化特征[J]. *中国农业科学*, 2011, 22(4): 905-912
- [10] 田展, 刘纪远, 曹明奎. 气候变化对中国黄淮海农业区小麦生产影响模拟研究[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(4): 599-600
- [11] 史印山, 王玉珍, 池俊成, 等. 河北平原气候变化对冬小麦产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(6): 1444-1447
- [12] 郝长宝, 陈勇. 南京市近 60 年气候变化及其对冬小麦产量影响[J]. *资源科学*, 2010, 32(10): 1955-1962
- [13] 成林, 刘荣花, 马志红. 增温对河南省冬小麦产量的影响分析[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(4): 854-859
- [14] Yang Y Z, Feng Z M, Huang H Q, et al. Climate-induced changes in crop water balance during 1960—2001 in Northwest China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 127: 107-118
- [15] Fan M S, Shen J B, Yuan L X, et al. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2012, 63: 13-24
- [16] Chen X P, Cui Z L, Peter M. Vitousek, et al. Integrated soil-crop system management for food security[J/OL]. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1101419108
- [17] 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): 751-752
- [18] Pan G X, Pete Smith, Weinan Pan. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, (129): 344-348
- [19] Piao S L, Fang J Y, Ciaïs P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China[J]. *Nature*, 2009, 458: 1009-1010
- [20] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327: 1008-1010
- [21] Tong C L, Charles A S Hall, Wang H Q. Land use change in rice, wheat and maize production in China (1961—1998)[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 95: 523-536
- [22] 李秀彬. 农地利用变化假说与相关的环境效应[J]. *地球科学进展*, 2008, 23(11): 1124-1129
- [23] 刘成武, 李秀彬. 农地边际化现象的诊断—以三大粮食作物生产的平均状况为例[J]. *地理研究*, 2006, 25(5): 895-904
- [24] 刘成武, 李秀彬. 农地边际化的表现热证及其诊断标准[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(2): 106-113
- [25] 田玉军, 李秀彬, 辛良杰, 等. 农业劳动力机会成本上升对农地利用的影响—以宁夏回族自治区为例[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(3): 369-377
- [26] 孔祥斌. 区域土地利用转型对耕地质量的影响[M]. 北京: 科学出版社, 2011
- [27] 李翠珍, 孔祥斌, 梁颖, 等. 京冀平原区不同类型农户耕地利用决策影响因素分析[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 316-322
- [28] 孔祥斌, 刘灵伟, 秦静. 基于农户土地利用行为的北京大兴区耕地质量评价[J]. *地理学报*, 2008, 63(8): 856-868
- [29] 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
- [30] Zhang J K, Zhang F R, Kong X B. The grain potential of cultivated in mainland China in 2004[J]. *Land Use Policy*, 2008 (26): 68-76
- [31] 孔祥斌, 李翠珍, 王红雨, 等. 京冀平原区地块尺度农户耕地集约利用差异对比[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(2): 331-337
- [32] 孔祥斌, 李翠珍, 赵晶, 等. 乡镇尺度耕地生产能力实现程度分析与实证[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(12): 345-351
- [33] 张晋科, 张凤荣, 张琳, 等. 中国耕地的粮食生产能力与粮食产量对比研究[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(11): 2278-2285
- [34] Kong X B, Zhang F R, Qi W. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of north China [J]. *Soil Tillage Research*, 2006, (88): 85-94
- [35] Kong X B, Thanh H. Daob, Qin J. Effects of soil texture and land use interactions on organic carbon in soils in North China cities' urban fringe[J]. *Geoderma*, 2009, 154: 86-92
- [36] 宋伟, 陈百明, 陈曦炜. 东南沿海经济发达区域农户粮食生产函数研究[J]. *资源科学*, 2007, 29(6): 207-208
- [37] 高向军, 马仁会. 中国农用地等别评价研究进展[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(1): 165-168
- [38] 李天杰, 郑文聚, 等. 土地质量、生产能力与粮食安全相关研究的现状及展望[J]. *资源与产业*, 2006, 8(1): 19-23
- [39] 郑文聚, 王洪波, 王国强, 等. 基于农用地分等与农业统计的产能核算研究[J]. *中国土地科学*, 2007, 21(4): 32-37
- [40] 王洪波, 程锋, 张中帆, 等. 中国耕地等别分异特性及其对耕地保护的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, (11): 1-8
- [41] Yang H, Li X B. Cultivated land and food supply in China[J]. *Land Use Policy*, 2000, 17(2): 73-88
- [42] 封志明, 刘宝勤, 杨艳昭. 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*, 2005, 20(1): 35-43
- [43] 郑海霞, 封志明. 中国耕地总量动态平衡的数量和质量分析[J]. *资源科学*, 2003, 25(5): 33-39
- [44] 封志明, 杨艳昭, 张晶, 等. 从栅格到县域: 中国粮食生产的资源潜力区域差异分析[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 747-756
- [45] 封志明. 我国未来人口发展的粮食安全与耕地保障[J]. *人口研究*, 2007, 31(2): 15-29
- [46] 张晋科, 张凤荣, 张琳, 等. 中国耕地的粮食生产能力与粮食产量对比研究[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(11): 2278-2285
- [47] 张晋科, 张凤荣, 张迪, 等. 2004 年中国耕地的粮食生产能力研究[J]. *资源科学*, 2006, 28(3): 44-51
- [48] 张凤荣, 张晋科, 张迪, 等. 1996—2004 年中国耕地的粮食生产能力变化研究[J]. *中国土地科学*, 2006, 20(2): 8-14
- [49] Jonathan A Foley, Navin Ramankutty, Kate A. Brauman, et al. Solutions for a cultivated planet[J]. *Nature*, 2011, 478: 338