维普资讯 http://www.cqvip.com

三江平原不同土地利用方式下土壤氮库的变化特征

孙志高[1,2]，刘景双[1]，李新华[1]
(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所，吉林 长春 130012；
2. 中国科学院 烟台海岸带可持续发展研究所，山东 烟台 264003)

摘 要：通过分析三江平原不同土地利用方式下土壤氮含量及储量的变化，揭示土壤氮库的演变特征。结果表明，湿地土壤的全氮含量及储量明显高于农田、火烧地和弃耕地土壤。开垦导致土壤全氮含量及储量下降，且随耕种年限增加符合一阶指数衰减模型（$p<0.01$）；连续火烧5a导致土壤全氮含量及储量显著降低，而弃耕7a导致其值有所增加，但增加量较小，说明土壤氮库耗竭易、恢复难；土壤全氮与有机质之间呈显著正相关（$p<0.01$），说明湿地开垦后土壤有机质含量降低是引起土壤氮肥力下降的主要因素，提高土壤有机质含量将有利于维持和提高农田土壤氮肥力；通过向连年火烧湿地输入适量人为氮（如农业排水）可减缓土壤氮的持续损失，进而可防止湿地植被退化及农业排水大量直接排入河流而引起的许多不利影响。图5，表1，参15。

关键词：氮库；全氮；土地利用；三江平原
中图分类号：S158 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-0068（2008）03-0270-05

Changes of Nitrogen Storage in Soil under Different Land Uses in the Sanjiang Plain

SUN Zhi-gao[1,2], LIU Jing-shuang[1], LI Xin-hua[1]
(1. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130012, *China*;
2. *Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai* 264003, *China*)

Abstract: The changes of nitrogen (N) content and its storage in soils under different land uses in the Sanjiang Plain were analyzed to explore the characteristic of the evolution of N storage. The results showed that the total nitrogen (TN) content and its storage in wetland soil were higher than those in fire wetland and desertion cropland soils. The reclamation depleted soil N content, and the TN content and its storage in soils showed a decreasing trend as the increase of cultivation years, which accorded with first-order exponential decay model ($P<0.01$). The sequential fire for 5 years induced the TN content and its storage in soils to be decreased significantly, while the desertion under "Grain for Green" Project for 7 years induced the values increased, but the increase was very limited, which indicated that the soil N pool, once depleted, was hard to restore. The TN content in soil was found to be positively related to organic matter ($P<0.01$), suggesting that the decrease of organic matter due to reclamation might be the main cause of the decrease in N fertility of the soils. So that, increasing soil organic matter is propitious to the maintenance and increase of soil N fertility. The moderate anthropogenic N (such as agricultural drainage) was advised to be imported into the fire wetland, which could restrain the sustaining loss of N in soil and prevent the degradation of wetland vegetations. In addition, the adverse effects caused by agriculture drainage that imported into rivers directly also could be avoided.

Key words: nitrogen storage; total nitrogen; land use; Sanjiang Plain

三江平原是我国重要的湿地分布区，其在维护区域生态环境和保护生物多样性等方面均具有非常重要的地位。1949年以来，随着人口的增长和国家对粮食的需求，该区先后经历了4次开荒高潮，其结果导致了湿地面积的急剧减少和耕地面积的迅速增加[1]。全区湿地面积由1949年的534万hm^2减少到2000年的90.69万hm^2，耕地面积则由1949年79.6万hm^2增加到1996年的366.8万hm^2[1,2]。尽管这些开垦的湿地对解决中国粮食问题做出了十分重要的贡献，但由于水资源不足、经营管理不善等原因，开垦后的耕地退化也非常严重[1,3]。

20世纪90年代以来，该区湿地垦殖势头基本得到控制，特别是近几年实施了一系列退耕还湿和退耕还林工程，并计划使退耕还湿面积在未来5a

收稿日期：2007-08-27；修回日期：2008-04-24.
基金项目：中国科学院知识创新工程重要方向项目（KZCX2-YW-309；KZCX3-SW-332）；中国科学院"优秀博士论文、院长奖获得者"科研启动专项资金.
第一作者简介：孙志高（1979-），男，山东烟台人，博士，助理研究员，主要从事湿地环境生态与生物地球化学研究.

维普资讯 http://www.cqvip.com

内达到 20 万 hm^2。同时，随着该区牧业的进一步发展，为了提高牲畜对牧草的适口性[4]，每年湿地中的烧荒现象也非常普遍。已垦湿地退耕和湿地烧荒将对土壤理化过程产生极大影响。因此，关于弃耕地能否恢复及恢复速度有多快、连年烧荒对土壤理化过程的影响有多大等问题均需要开展深入研究。近年来，关于农业耕作对该区土壤理化性质的影响已有不少研究[5-10]，但这些研究仅限于耕地这种利用方式，关于弃耕、烧荒等利用方式的相关研究相对较少，而对湿地、农田、弃耕地和火烧地的相关对比研究则更少。选择小叶章湿地、不同开垦年限的农田、弃耕地和火烧地作为研究对象，对比研究了不同土地利用方式下土壤氮库的演变特征，该结果对于了解该区的土壤质量状况以及加强土地的合理利用与保护有非常重要的理论与现实意义，并可为退化生态系统的恢复与重建提供科学依据。

1　研究地区与研究方法

1.1　研究区域概况

研究的样点设在中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站（简称三江站），该站位于三江平原腹地、黑龙江省建三江农垦管局洪河农场场部附近，面积约 100hm^2，海拔高度 55.4m ~ 57.0m，地势由南向北倾斜，坡降 1:5 000 左右，是别拉洪河与浓江河的河间地带。三江站是中国生态系统研究网络（CERN）的基本台站之一，也是我国唯一从事沼泽湿地生态及农业合理利用研究的国家级野外台站。试验站所在地属温带大陆性季风气候，冬季严寒漫长，夏季温暖湿润，年平均气温 1.9℃，≥10℃的年有效积温为 2 300℃左右，年降水量为 600mm 左右，年内降水分配不均，60%以上集中在 6 ~ 9 月。试验场的地貌类型为三江平原沼泽发育最为普遍的碟形洼地，主要植被有小叶章（*Calamagrostis angustifolia*）、毛果苔草（*Carex lasiocarpa*）、漂筏苔草（*Carex pseudocuraica*）和乌拉苔草（*Carex meyeriana*）等。土壤类型主要为草甸沼泽土、腐殖质沼泽土、泥炭沼泽土、潜育白浆土和草甸白浆土。试验站目前设有自然湿地综合观测试验场、已垦湿地农田综合试验场等，具有较好的研究条件。

1.2　研究方法

1.2.1　样品采集与测定。2005 年 5 月，在三江站试验场及其附近分别选取土壤类型相同的 4 种土地利用类型：未开垦湿地（*UK*），开垦 3a、5a、8a、16a 和 21a 的农田（K_n，n 为开垦年限），弃耕地（*QG*）和火烧地（*HS*）进行 GPS 定点采样，不同采样点概况如表 1。在上述样地内分层采集土壤样品，采集深度为 20cm，每 10cm 一层（土壤样品为样地 8 ~ 10 个取样点混合而成）。样品采集时，同步测定不同土层的密度。将采集的土壤样品及时带回实验室自然风干，磨碎并过 100 目筛后凯氏法测定全氮含量，采用重铬酸钾容量法测定有机质含量[11]。

表 1　采样点概况

土地利用类型	地理坐标	具体位置	植被类型	土地利用特征
UK	47°35′28.4″N；133°38′41.9″E	三江站试验场	小叶章	小叶章湿地
K_3	47°35′25.7″N；133°35′27.8″E	三江站试验场以北	大豆	大豆田
K_5	47°35′25.3″N；133°35′23.1″E	1km ~ 2km 的农田		
K_8	47°35′26.3″N；133°35′21.7″E			
K_{16}	47°35′18.8″N；133°30′08.8″E			
K_{21}	47°34′42.0″N；133°34′50.7″E			
QG	47°35′21.0″N；133°30′07.9″E	三江站西北约 1km 处弃耕地	小叶章及杂草	耕作 10a 后弃耕 7a
HS	47°35′44.7″N；133°39′21.5″E	三江站试验场以东 2km 处火烧地	小叶章	小叶章湿地，近 5a 每年春季火烧

1.2.2　土壤氮密度及储量计算。土壤剖面第 i 层土壤的氮平均密度（ρ_{ni}）为相应层次土壤密度（dv_i）与氮含量（N_i）的乘积，即 $\rho_{ni} = d_{v_i} \times N_i \times 10$

土壤剖面第 i 层土壤的氮储量（T_{ni}）为相应层次氮密度与土壤厚度 h_i 的乘积，即

$$T_{ni} = \rho_{ni} \times h_i/100$$

单位面积一定深度范围内（j 到 n 层）土壤氮总储量（T_n）为 j 到 n 层氮储量之和，即

$$T_n = \sum_{i=j}^{n} T_{si} = \sum_{i=j}^{n} d_{vi} \times N_i \times h_i/10$$

式中：T_n、T_{ni} 的单位为 kg/m^2；ρ_{ni} 的单位为 kg/m^3；dv_i 的单位为 g/cm^3；N_i 的单位为%；h_i 的

维普资讯 http://www.cqvip.com

单位为 cm。

1.2.3 数据处理与统计。运用 Origin7.5 软件对数据进行作图、计算和数学模拟，运用 SPSS10.0 软件对数据进行相关分析。

2 结果与讨论

2.1 湿地开垦后土壤氮含量的变化

图 1 为不同土地利用方式下土壤中全氮含量的变化。湿地未开垦前，其 0 ~ 10cm 和 10cm ~ 20cm 土层的全氮含量均较高，其值分别高达 13 884mg/kg 和 10 714 mg/kg。开垦 3a（K_3）后，两层土壤的全氮含量均呈骤减变化，其值相对于未开垦前分别下降 78.56% 和 73.89%。开垦 5a ~ 8a（K_5 ~ K_8）后，两层土壤的全氮含量亦呈递减变化，但递减幅

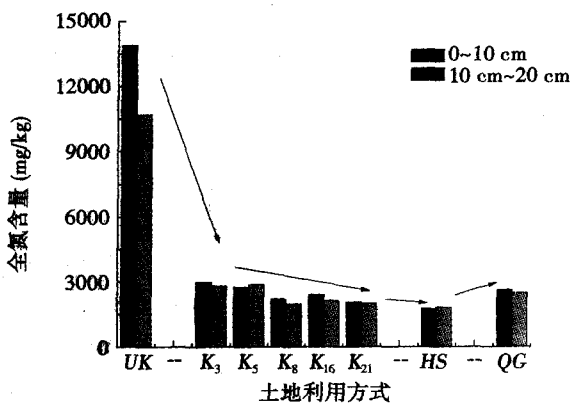

图 1 不同土壤全氮含量对比

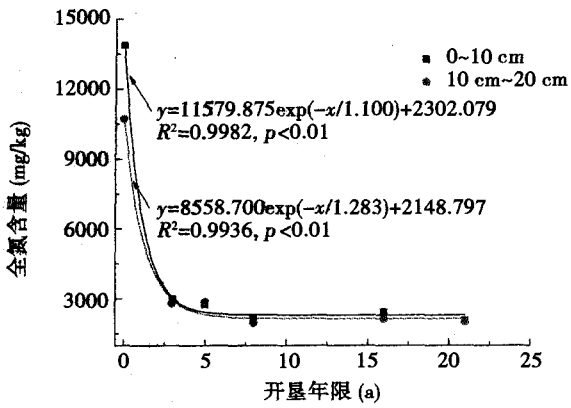

图 2 湿地开垦后土壤全氮含量变化

度开始降低，其值相对于开垦 3a（K_3）时分别仅下降 5.59% 和 7.70%。开垦 8a ~ 21a（K_8 ~ K_{21}）后，两层土壤的全氮含量开始趋于平缓，其值相对于开垦 8a（K_8）时变化不大。模拟结果表明，湿地开垦后，0 ~ 10cm 和 10cm ~ 20cm 土层的全氮含量均随开垦年限的增加呈一阶指数衰减曲线变化（图 2），两条曲线的拟合精度较高（R^2 分别为 0.998 2 和 0.993 6），基本上可反映出两土层全氮含量的上述变化规律。说明湿地开垦后，土壤经过稳定而长期的耕作，土壤质量下降，且其氮含量将趋于一个相对稳定值。

总的来说，土壤全氮含量随耕作年限增加而下降的原因主要有两方面：①湿地开垦后特别是开垦初期施肥量较低，且每年作物收割后，仅有根茬归还土壤，导致土壤有机质的输入量明显降低；②湿地经过挖渠排水和深翻等过程被开垦为耕地后，土壤的热量条件、水分平衡、养分循环、物理结构以及氧化—还原环境等均发生了明显变化[5,6,12]，土壤由原来的厌氧环境转变为好氧环境。在好氧环境下，土壤有机质分解加快，有机氮矿化作用增强，而这些过程又增强了植物对氮素的利用率以及无机氮流失到土壤系统之外的可能性，进而使得土壤表层的全氮含量下降很快。研究发现，湿地未开垦前，其 0 ~ 10cm 和 10 cm ~ 20cm 土层的有机质含量分别高达 264.2g/kg 和 228.2g/kg，开垦 3a 至 21a，0 ~ 10cm 土层的有机质含量分别降至 59.0g/kg、54.7g/kg、44.2g/kg、44.8g/kg 和 40.6g/kg，而 10cm ~ 20cm 土层依次降至 57.5g/kg、52.4g/kg、39.3g/kg、45.2g/kg 和 40.4g/kg。相关分析表明，不同开垦年限土壤有机质含量与全氮含量呈显著正相关（图 3），二者在 0 ~ 10cm 和 10cm ~ 20cm 土层中的相关系数分别为 0.999 9 和0.999 3（$p < 0.01$，$n = 6$）。可见，开垦首先影响土壤的有机质含量，进而严重破坏了土壤原有的氮平衡，导致全氮含量的明显下降。因此，对于不同耕作年限的土壤应根据土壤氮含量的实际状况施入适量氮肥以补充土壤中损失的氮，进而满足作物生长的需要。

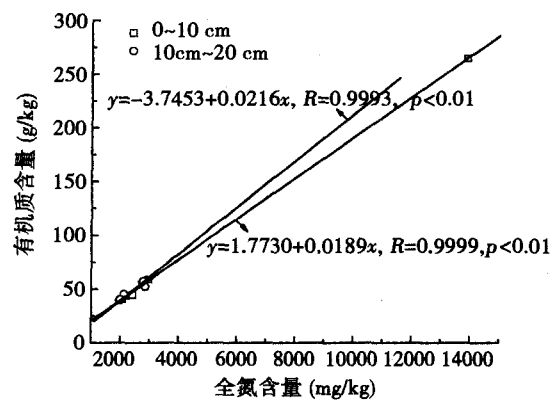

图 3 有机质与全氮的相关性

2.2 火烧和弃耕后土壤氮含量的变化

从图 1 中还可看出，湿地火烧（*HS*）和耕地

维普资讯 http://www.cqvip.com

弃耕（*QG*）后，0～10cm和10cm～20cm土层的全氮含量均呈现出相反的变化规律，表现为火烧导致全氮含量的显著降低，而弃耕则导致全氮含量的升高。就火烧地（连续火烧5a）而言，两土层的全氮含量相对于未火烧湿地土壤分别下降87.30%和83.05%。商丽娜等[13]的研究表明，火烧对湿地土壤有机质及全氮含量有着极为深刻的影响。火烧当年，草根层土壤的有机质及全氮含量分别下降了35.89%和40%左右，而有效氮的下降幅度最大，降低了50%。火烧过程最突出的作用是移除地表的枯枝落叶，并对下层土壤产生增温效应，进而使表层土壤中有机物质的氧化分解过程通过燃烧缩短到一个非常小的时间间隔。Henry等[14]的研究表明，有机质中的腐殖酸在温度低于100℃时就会损失掉，而当温度变化在180℃～245℃之间时，85%的有机质将会遭到破坏。由于湿地土壤中的氮大部分呈有机态，所以在火烧过程中，蓄含在有机质中的氮容易挥发而损失[14]。研究样地的湿地植被主要为草本，且地表土壤的含水量较低，由此导致其火烧强度较高，有机质破坏严重，其0～10cm和10cm～20cm土层的有机质含量仅为37.0g/kg和38.9g/kg。同时，由于该样地近5a一直存在人为火烧活动，说明土壤有机质及全氮含量的自然恢复作用较弱，由此导致其全氮持续损失明显。由于氮为三江平原地区湿地植物生长的重要限制性养分[15]，所以对于连年火烧的湿地而言，土壤氮含量的持续损失将对植物的生长产生许多不利影响，并可成为引起湿地退化的一个重要原因。因此，通过向连年火烧湿地输入适量的人为氮（如农业排水）可减缓土壤氮的持续损失，进而可有效防止湿地植被的退化。同时，部分农业退水排入连年火烧湿地还避免了其大量直接排入该区河流而引起的许多不利影响。与之相比，耕作10a的耕地弃耕后，其0～10cm和10cm～20cm土层的有机质及全氮均开始逐渐恢复。弃耕7a后，其有机质含量分别为56.4g/kg和52.7g/kg，说明弃耕增加了土壤有机质的输入，使有机质重新积累。此时土壤的全氮含量分别为2 630mg/kg和2 485mg/kg，接近于K_5水平（2 743mg/kg和2 856mg/kg），两土层分别恢复到未开垦湿地（*UK*）全氮含量水平的18.94%和23.19%。由此可见，湿地开垦后，氮库耗竭易而快，恢复则慢而难。

2.3　不同土地利用方式下土壤氮储量的变化

由图4可知，不同土地利用方式下土壤氮储量的变化与全氮含量的变化基本一致。湿地未开垦前其0～10cm和10cm～20cm土层的氮储量均较高，其值分别为0.444kg/m^{2}和0.407kg/m^2。开垦3a（K_3）后，两层土壤的氮储量也均呈骤减变化，其值相对于未开垦前分别下降42.38%和40.91%。开垦5a～8a（K_5～K_8）后，两层土壤的氮储量亦呈递减变化，但递减幅度降低，其值相对于开垦3a（K_3）时仅下降8.59%和11.14%。开垦8a～21a（K_8～K_{21}）后，两层土壤的氮储量均相对于开垦8a（K_8）时趋于平缓。说明湿地开垦后，土壤经过稳定而长期的耕作，其氮储量也将趋于一个相对稳定值。模拟结果表明，湿地开垦后，0～10cm和10cm～20cm土层的氮储量也随开垦年限的增加呈一阶指数衰减曲线变化（图5），该曲线的拟合精度较高（R^2分别为0.998 7和0.969 8），也可基本反映出两土层氮储量的上述变化规律。从图4中还可看出，湿地火烧（*HS*）和耕地弃耕（*QG*）后，0～10cm和10cm～20cm土层的氮储量也均呈现出相反的变化规律。就火烧地而言，火烧导致了土壤氮储量的显著降低，连续火烧5a后，两土层的氮储量相对于未火烧湿地土壤分别下降了

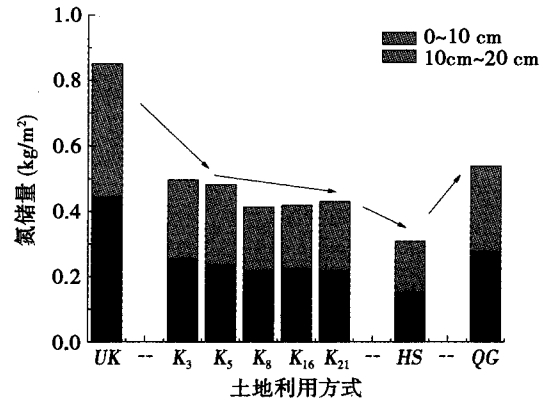

图4　不同土壤氮储量对比

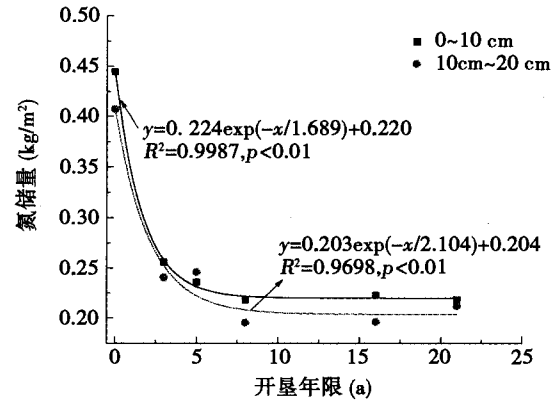

图5　湿地开垦后土壤氮储量变化

维普资讯 http://www.cqvip.com

65.86%和61.63%。与之相比，弃耕导致了氮储量的升高。弃耕7a后，两土层的氮储量已恢复到高于K_3水平（均高出0.02kg/m^2），且其值分别为未开垦湿地（*UK*）氮储量水平的62.15%和64.09%。

3 结 论

湿地开垦初期，0～10cm和10cm～20cm土层的全氮含量及储量均呈骤减变化，分别下降78.56%、73.89%和42.38%、40.91%，之后递减幅度降低，在8a～21a后趋于平缓；两土层的全氮含量和储量随开垦年限增加均符合一阶指数衰减模型（$p<0.01$），说明土壤经稳定而长期耕作，土壤质量下降，且其全氮含量和储量将趋于相对稳定。

土壤全氮与有机质之间呈显著正相关关系（$p<0.01$），说明湿地开垦后土壤有机质含量降低是引起土壤氮肥力下降的主要因素，提高土壤有机质含量将有利于维持和提高农田土壤氮肥力。

火烧地和弃耕地的全氮含量和储量呈相反规律变化，火烧导致其值的显著降低，而弃耕导致其值的升高；连续火烧5a后，0～10cm和10cm～20cm土层的全氮含量和储量分别下降87.30%、83.05%和65.86%、61.63%。弃耕7a后，两土层的全氮含量和储量开始恢复至开垦3a～5a的耕地水平，说明土壤氮库耗竭易、恢复难。

通过向连年火烧湿地输入适量人为氮（如农业排水）可减缓土壤氮的持续损失，进而可防止湿地植被退化及农业排水大量直接排入河流而引起的许多不利影响。

参考文献：

[1] 刘兴土，马学慧．三江平原自然环境变化与生态保育[M]．北京：科学出版社，2002.

[2] 汪爱华，张树清，何艳芬．RS和GIS支持下的三江平原沼泽湿地动态变化研究［J］．地理科学，2002，22（5）：637－640.

[3] 刘兴土，何 岩，邓 伟，等．东北区域农业综合发展研究［M］．北京：科学出版社，2002.

[4] 王 岭，王德利．放牧家畜食性选择机制研究进展［J］．应用生态学报，2007，18（1）：205－211.

[5] 张金波，宋长春．三江平原不同土地利用方式对土壤理化性质的影响［J］、土壤通报，2004，35（3）：371－373.

[6] 袁兆华，吕宪国，周 嘉．三江平原旱田耕作对湿地土壤理化性质的累积影响初探［J］．湿地科学，2006，4（2）：133－137.

[7] 栾兆擎，宋长春，邓 伟．三江平原挠力河流域湿地不同开垦年限肥力的变化［J］．吉林农业大学学报，2003，25（5）：544－547.

[8] 李新华，刘景双，孙志高．三江平原不同土地利用方式下土壤硫含量变化特征［J］．生态与农村环境学报，2006，22（4）：80－82.

[9] 郝庆菊，王起超，王其存，等．三江平原典型湿地及其开垦后土壤中总硫变化的初步研究［J］．应用生态学报，2003，14（12）：2191－2194.

[10] 曾希柏，黄雪夏，刘子刚，等．种植年限对三江平原农田土壤剖面性质及碳、氮含量的影响［J］．中国农业科学，2006，39（6）：1186－1195.

[11] 鲁如坤．土壤农业化学分析方法［M］．北京：中国农业科技出版社，1999.

[12] 宋长春，王毅勇，阎百兴，等．沼泽湿地垦殖后土壤水热条件变化与碳、氮动态［J］．环境科学，2004，25（3）：150－154.

[13] 商丽娜，吴正方，杨 青，等．火烧对三江平原湿地土壤养分状况的影响［J］．湿地科学，2004，2（1）：55－60.

[14] Henry A, Wright, Arthur B W. Fire Ecology［M］. New York: A Wiley——Interscienee Pubication John Wiley & Sons. 1982.

[15] 孙志高，刘景双，王金达．三江平原典型湿地系统大气湿沉降中氮素动态及其生态效应［J］．水科学进展，2007，18（2）：182－192.

（上接第265页）

时应充分考虑调出粮食所需的耕地面积。但是从国家尺度上，研究结果对于制定相关政策仍具有一定参考性。

参考文献：

[1] 陈锡文，杜 鹰，唐仁建，等．论新阶段农业和农村经济的战略性结构调整［J］．管理世界，2000，（1）：146－150.

[2] 王道龙，屈宝香，张 华，等．中国粮食总量平衡与区域布局调整研究［M］．北京：气象出版社，2004.

[3] 国土资源部地籍管理司．全国土地利用变更调查报告[M]．北京：中国大地出版社，1998－2005.

[4] 刘友兆．农业结构调整与耕地保护的协调研究［J］．南京农业大学学报（社会科学版），2001，1（3）：29－34.

[5] 雷玉桃，王雅鹏．论我国粮食安全与农业生产结构调整的协调问题［J］．粮食经济，2001，（6）：8－10.

[6] 国家统计局．中国农村统计年鉴［M］．北京：中国统计出版社，1998－2005.

[7] 朱向东，国务院第五次全国人口普查办公室．世纪之交的中国人口（全国卷）[M]．北京：中国统计出版社，2006.

[8] 肖国安．中国粮食安全研究［M］．北京：中国经济出版社，2005.

[9] 梁振华．我国主要食物结构和营养成分计算表［J］．农业经济问题，1989，（10）：53－56.

[10] 陈百明．中国农业资源综合生产能力与人口承载能力[M]．北京，气象出版社，2001.

[11] 封志明，史登峰．近20年来中国食物消费变化与膳食营养状况评价［J］．资源科学，2006，28（1）：2－8.

[12] 骆世明．农业生态学［M］．北京：中国农业出版社，2001.