农业资源与环境学报 中文核心期刊 中国科技核心期刊
JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

规模化经营推动中国农业绿色发展

谷保静， 段佳堃， 任琛琛， 汪思彤， 王琛

引用本文:
谷保静, 段佳, 任琛琛, 等. 规模化经营推动中国农业绿色发展[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 709–715.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0377

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析
宣梦, 许振成, 吴根义, 欧玮祺, 李婧, 何文博
农业资源与环境学报. 2018, 35(2): 126–132 https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0257

乡村转型视角下山地丘陵区农地规模经营影响因素与分区
廖仕梅, 刘卫平, 谢德体, 倪九派
农业资源与环境学报. 2018, 35(2): 181–188 https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0241

生态环境视角下有机农业发展助推环境保护与绿色发展(1994—*2019*)
张弛, 席运官, 孔源, 田伟, 肖兴基, 赵克强
农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 703–710 https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0307

农业高质量发展的空间分异与影响因素——以广东省为例
黄修杰
农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 699–708 https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0454

气候变化对西北半干旱区旱作农业的影响及解决途径
王红丽, 张绪成, 魏胜文
农业资源与环境学报. 2015(6): 517–524 https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0093

关注微信公众号，获得更多资讯信息

谷保静, 段佳堃, 任琛琛, 等. 规模化经营推动中国农业绿色发展[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 709-715.
GU B J, DUAN J K, REN C C, et al. Large-scale farming promotes agricultural green development in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(5): 709-715.

开放科学 OSID

规模化经营推动中国农业绿色发展

谷保静[1,2,3], 段佳堃[1,2], 任琛琛[2,4], 汪思彤[1,2], 王琛[1,2]

(1.浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 2.浙江大学政策仿真实验室, 杭州 310058; 3.浙江省农业资源与环境重点实验室, 杭州 310058; 4.浙江大学公共管理学院, 杭州 310058)

摘 要:我国农业生产面临着养活14亿人口的巨大压力,化肥的过量施用造成了农业面源污染,如何在保障粮食安全的前提下有效控制农业面源污染是我国农业发展面临的重大挑战。本文回顾了1949年以来我国农业生产关系和产量的变化,分析了小农经营面临的化肥过施、农业劳动力老龄化、空心村等问题,指出农业规模化经营是解决这些问题继而实现未来农业绿色发展的有效路径。可在城市化进程中有效推动农地规模化经营,并基于此调整养殖业布局,在空间上重构种养关系,从而实现我国农业整体绿色发展。对于不适宜规模化发展的地区则要探索产业链延长的形式,以三产融合激发高附加值农业的活力。未来需要政府和市场同时发挥效用,引导农民进城,为农业规模化提供基础,并培育新型经营主体,促进农业现代化的有序推进。

关键词:农业规模化;粮食安全;面源污染;老龄化;城市化;种养结合;饮食结构

中图分类号:F321.1;X22 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-6819(2021)05-0709-07 **doi**: 10.13254/j.jare.2021.0377

Large-scale farming promotes agricultural green development in China

GU Baojing[1,2,3], DUAN Jiakun[1,2], REN Chenchen[2,4], WANG Sitong[1,2], WANG Chen[1,2]

(1. College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Policy Simulation Laboratory, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 4. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: China′s agriculture needs to feed 1.4 billion people and excessive fertilizer use has caused agricultural non-point source pollution. It is urgent to control agricultural non-point source pollution while ensuring food security. In this paper, we reviewed the development of agricultural productivity and productive relations in China since 1949. Smallholders face problems of the overuse of fertilizer, labor aging and hollow villages in China. Appropriate large-scale farming could alleviate these problems and lead to green development. Urbanization could promote large-scale farming in China and rebuilding the linkage between livestock and cropland is also needed. Where there is not suitable for large-scale farming, extension of industrial chain could revitalize agriculture via the integration of different industries. In the future, government and market should work together to guide rural-to-urban immigration to promote large-scale farming, encourage alternative farming models and finally promote agricultural modernization.

Keywords: large-scale farming; food security; non-point source pollution; aging; urbanization; cropland-based livestock production; dietary structure

收稿日期:2021-06-16 **录用日期**:2021-08-23

作者简介:谷保静,博士,从事氮循环及其调控、农业污染治理与绿色发展研究。E-mail:bjgu@zju.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金优秀青年基金项目(41822701);国家自然科学基金面上项目(41773068);国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(42061124001)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(41822701, 41773068, 42061124001)

农业是关系到国计民生的根本性问题，在确保粮食安全的前提下，如何实现绿色发展至关重要。第七次全国人口普查数据显示，我国人口增速有所减缓，但仍在上升[1]，且饮食结构中肉类占比不断提高，给农业生产带来巨大压力[2]。目前，我国农业生产存在过度依赖化肥农药投入、机械化和专业化程度低、劳动力短缺和老龄化等问题，农业面源污染较严重。解决这些问题才能有效推动我国农业的可持续发展，为民众提供高质量的食物和清洁的环境。

规模化经营将会是一条潜在的有效路径。以土地规模化为基础，在集中连片的耕地上合理配置农业生产各项要素，从而实现规模扩大带来的经济效益增加和面源污染减缓。我国农业以小农经营为主，超过 80% 的农户经营耕地面积小于 0.56 hm^2[3]。根据国际规律，一个国家的平均农地规模会随着经济发展和城市化而增加（如欧美等国家），而我国的农地规模增速远远落后于经济和城市化增速[4]。即使是耕地资源相较我国更为稀缺的日本，通过政策调控也在 2011 年实现了平均 2.92 hm^2 的农地经营规模[5]，这些都意味着我国农业经营规模还有较大的提升空间。推动农业规模化不仅可以提高机械利用效率，同时可以减少对化肥和农业劳动力的需求，实现资源节约和环境保护等目标，推动农业绿色发展[6]。

“十四五”是全面实施乡村振兴战略的时期，对粮食生产和乡村建设提出了更高的要求，同时也对我国农业发展绿色转型具有助推和促进作用。本文通过对新中国成立以来我国农业生产关系的回顾，分析了通过农业规模化推动农业可持续发展的可能性，同时探讨规模化可以采取的形式和政策以及落地实施的有效路径。

1　我国农业发展及其与规模化的关系

1.1　农业生产关系的历史变化

新中国成立以来，除了“三年困难时期”粮食减产较为明显之外，我国单位面积粮食产量整体呈现波动上升趋势（图 1）[7]。在生产关系方面，由于土地是影响农业发展的基础因素，本文从土地制度的变迁出发，分析其对产量的潜在影响[8]。新中国成立初期通过土地改革将土地分配到农户手中，在一定程度上提高了农民生产的积极性[9]。人民公社化运动初期，产量也有缓慢增长。“三年困难时期”结束后，我国正式确立了“三级所有，队为基础”的集体合作制，迎来了一次较大幅度的产量增长期[9]。此后的十几年间，社会虽然经历了较大变革，但对粮食产量的整体影响并不大，甚至出现了几次较大幅度的增长（图 1）。但人口增长的压力不断加剧，公有公营逐渐暴露出“搭便车”等问题，使粮食产量增长趋于缓和[10]。

1978 年开始的家庭联产承包责任制带来了第三次较大规模的产量增长，这一制度极大地鼓舞了农民生产积极性[9]。1996 年我国人均粮食产量达到了营养安全线[11]，此后的增长趋于减缓，出现的较大增长波动基本都属于恢复性增长。而近年来，我国的粮食产量又进入了一个瓶颈期，人们对粮食的需求不仅是数量的增长，在质量和种类方面也有了更高要求，同时还要兼顾环境保护等需求[12]。在品种改良、先进机械等科技手段逐渐具备的条件下，需要打破现今的局面进一步改变生产关系，以适应生产力的快速发展。

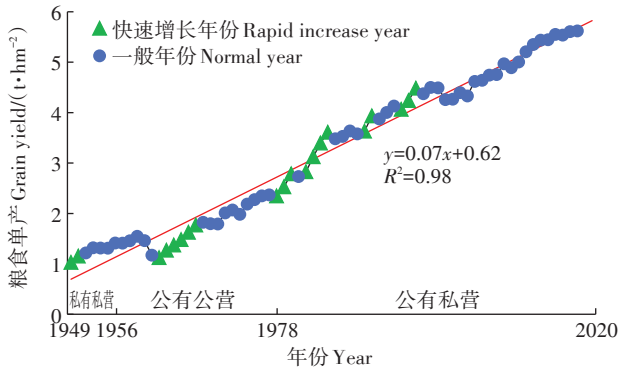

图 1　我国单位面积粮食产量的变化

Figure 1　Changes of grain yield per unit area in China since 1949

1.2　农业小规模经营的问题

土地细碎化导致的农业小规模经营是我国农业的突出特征。人多地少是我国耕地破碎的根源，家庭联产承包责任制下的“公平分配”进一步加剧了细碎化，而户籍制度对人口流动的限制则导致了问题的固化[13]。不可否认的是，小规模经营在改革开放初期对农业发展具有巨大推动作用，而且较小的耕地面积可以分散种植风险且有利于保护生物多样性[14]。但随着我国农业生产力的增长，小规模经营逐渐成为限制农业发展的因素，直接影响农业机械和科学管理知识的推广[15]。农业机械和科学管理往往适用于大规模种植，先进的施肥机械，如分层施肥机、液态有机肥注射机等，在小地块上难以推广且单位成本较大[16]。20 世纪 60 年代至今我国粮食产量大幅度提高，很大程度上依赖于化肥的大量投入[17]（我国化肥使用情况见图 2，数据来源于国家统计局，并参考已有研究方法[18]

对数据进行了适当调整）。中国耕地面积仅占全球耕地面积的9%，但施用了全球超过30%的化肥，过量的化肥并不能被作物充分吸收利用，超过一半流失到空气和水体中，带来$PM_{2.5}$污染、土壤酸化、水体污染等环境问题[19-21]。

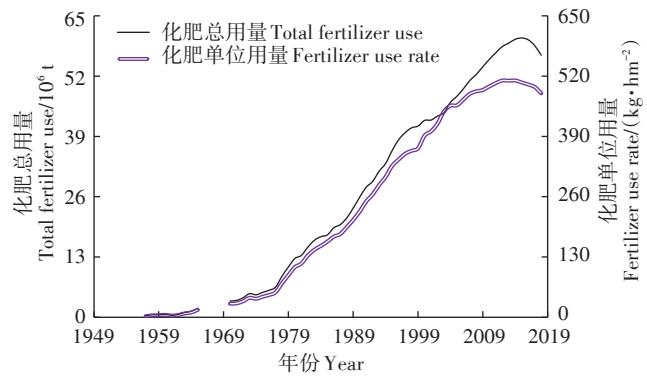

图2 我国化肥使用情况

Figure 2 Fertilizer use in China since 1949

家庭联产承包制实施初期，从事农业生产的人口数量较多，可以满足劳动力的需求，也符合小块田的耕作要求[22]。随着社会快速发展，城市化不断推进，青壮年劳动力向城市流动并从事非农化工作，农业经营成为兼业行为，农业劳动力的老龄化日益严重，造成农业管理设施和技术落后，极大地降低了农业生产效率，导致化肥流失，加剧面源污染[23]。小块地或者偏远地区耕地撂荒弃耕的现象广泛存在，导致耕地资源浪费，利用效率降低[24]。大量农村宅基地荒废，带来空心村问题[25]。由此可见，农业农村问题十分复杂，影响着农村社会经济的全面发展。

伴随着农业逐步成为兼业生产方式，一家一户的牲畜养殖开始消失，传统的小农种养结合模式被打破，目前同时经营种植业和养殖业的农户仅占全国农户的10%左右[26]。养殖量达到万头甚至百万头以上的大规模养殖场的出现使得种植业和养殖业之间的距离不断加大，这使得有机肥还田的成本急剧增加，大量的畜禽粪便无处消纳，最终降低了有机肥的循环利用率，不仅加剧了有机肥流失到环境中的风险，还加大了种植业对化肥的依赖，给耕地质量和环境保护带来不利影响[27]。

1.3 农业规模化的可行性

小规模经营带来的问题主要归结于人力和其他资源的不合理配置，通过对生产关系进行一定调整，合理协调耕地、人口、化肥、机械等要素可以有效缓解这些问题。耕地作为农业生产的基础，决定着其他要素的分布。已有研究显示，耕地规模是影响机械使用和化肥、劳动力投入的一项重要因素。耕地规模（指农户经营地块面积）对化肥投入、作物产出和劳动生产率的影响如图3所示，其中化肥投入、作物产出、劳动生产率均为对应的经济价值，为了更好地体现相关性，对所有变量均取自然对数[13]。随着耕地规模的增加，单位耕地的化肥投入量下降，劳动生产率上升，而作物产出基本不受影响。同时，拥有和租用的机械量会随着农地规模增大而上升，农民培训增加推动农业技术的更新，为规模化落地实施提供了科技支撑[6]。

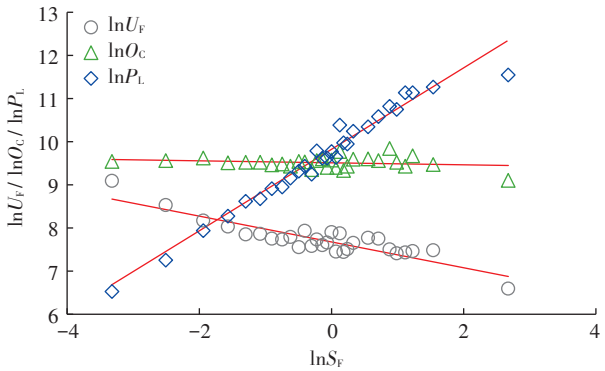

图3 我国耕地规模（S_F，hm^2）与化肥投入量（U_F，元·hm^{-2}）、作物产出（O_C，元·hm^{-2}）、劳动生产率（P_L，元·$人^{-1}$）的关系

Figure 3 Relationships between farm size(S_F,hm^2) and fertilizer use (U_F, yuan·hm^{-2}),crop output(O_C,yuan·hm^{-2}) and labor productivity(P_L,yuan·$capita^{-1}$) in China

农业规模化在我国已有一定的实践基础。1982年温州等地出现自发的土地流转，虽然在一定程度上提高了生产效率，但是推广范围有限[28]。在意识到农地细碎化的不利影响后，我国政府开始采取一系列措施积极推动农业适度规模化。1987年一些沿海发达省（市）被批准进行农业规模化试点，2003年《农村土地承包法》明确耕地可以依法流转，2014年国家提出要引导经营权有序流转、推动适度规模经营，2016年土地所有权、承包权、经营权“三权分置”的制度鼓励农民扩大经营规模[10]。2009年开始的土地确权工作至2018年底已基本完成，其间，有3 500万hm^2家庭承包耕地参与流转，占全部承包地的近35%[29]。

但目前农地的流转实际上并不等于规模化，因为很多流转只是在亲戚或熟人之间进行，未能促进土地的连片[30]。在农业经营方式维持传统小农经营的情况下，家庭拥有土地块数的增加，反而会导致劳动力

需求量增加，经营情况可能变得更糟[31]。因此，在土地流转过程中，要注意以村为单位对农地统一整治规划和经营，借助国家大力推进的高标准农田建设项目来实现耕地集中连片。家庭农场和农业企业的培养也为这些规模化农场提供了新型经营主体，为我国农业规模化经营的稳步推进提供了基础[32]。

2 农业发展模式探索

2.1 城市化推动耕地适度规模化

城市化可以推动耕地适度规模化。欧美国家目前主要通过城市的人口增长来推进城市化，而中国的城市化目前主要是农村人口向城市的流动。因此，农业人口的退出可以直接提高农村人均耕地面积（图3，数据来源于国家统计局，并参考已有研究方法[18]进行了适当调整），通过土地和户籍制度改革以及土地整治可以扩大农地规模[33]。依照现有变化趋势，农村人口将越来越少，空心村会越来越多，随着阻碍农民进城的因素消失[34]，宅基地复垦的阻力也会减少，这不仅可以增加我国耕种总面积，也有助于实现耕地的集中连片。

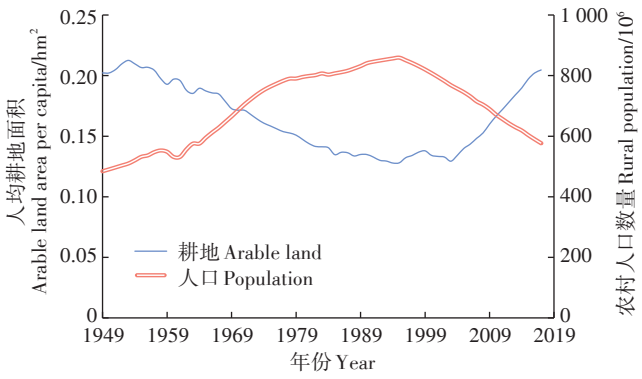

图4 我国农村人口数量和人均耕地面积的变化

Figure 4 Rural population and arable land area per capita in China since 1949

然而，农地规模并不是越大越好，美国很多农场规模超过 67 hm^2，这并不适合我国的国情[35]。适度规模还需要进一步探索，有研究已经提供了一些思路。对全国总体数据的分析显示农地规模与粮食产量之间无显著相关性，但特定的地区和作物种类可能会出现关联性，因而需要结合具体情况对最佳产量规模进行量化分析[36]。此外，从收入变化的角度出发，农地规模的大小也受制于城乡收入差距。城市的高收入会吸引农民进城，农民在非农部门的收入随之增加，而继续从事种植业的农民可以通过流转得到更多耕地，扩大耕种规模，提高农业收入。当农地规模恰好增加到城乡收入均等化时为均衡状态，过大或者过小都会引起人口流动从而推动农地规模达到最优[37]。但这只是一个理想的模型，实际上耕地规模不仅随着收入的变化而改变，还受到其他政策和社会因素的影响（如乡土情结等），是综合机会成本和交易成本的一种均衡。最佳农地规模的确定是一个复杂的社会经济问题，需要结合实践不断深化和完善对其的理解。在规模化的推进中要始终坚持“适度”这一理念，不宜过度进行土地整理。

2.2 种养结合

规模化经营的结果不仅是田块变大，更重要的是改变农民经营方式[38]。例如，在规模化种植中使用更优的肥料管理措施，从而有效缓解化肥的过度使用问题[39]。同时，在规模化变革的带动下，农业生产需要的劳动力数量减少，专业化程度增强，兼业行为急剧减少，更多的年轻人从事现代化农场经营，农业劳动力老龄化问题可以得到极大的缓解。与此同时，也会带来养殖业发展的变化，由于农业兼业模式的减少，农民在农闲时间开展养殖业成为一种更优的选择，这会自然地根据规模化农场的分布来重塑养殖业。历史进程中，种植业发展晚于养殖业，早期的农业是种植业和养殖业结合的形式，家庭饲养牲畜产生的废弃物直接还田作为有机肥。有机肥在改良土壤、提高微生物活性和改善土壤生态环境等方面都优于工业化肥，但现在养殖场与农田分隔且相距较远，运输成本和施用成本较高，这些都导致粪肥难以还田利用。最终大量的粪肥堆弃在养殖场附近，带来严重的环境污染。除了上述自然的耦合以外，还可以通过政策引导重塑跨农场的种养结合[40]。在农田周围合理开发养殖用地、规划养殖总量指标，激励养殖场建设，以地块可消纳的有机肥量来确定养殖业的布设，使养殖废弃物可以有效返回农田，从而改变种养分离的现状。

2.3 产业链延长

耕地规模受自然条件的限制，根据已有文献对耕地规模的划分和我国耕地的空间分布数据，在只考虑空间连片的情况下，全国有 86% 的地区可以实现 16 hm^2（240 亩）以上的规模化种植。这些地区大部分分布在华北平原、东北平原和西北地区，而南部和西南山区并不适合大范围推广规模化。未来的规模化应在适宜的地区继续推进，对于不适合的地区可以通过延长产业链的方式来实现产业上的规模化。目前很

多地区已有一定的实践，可以借助特色农产品加工和发展农村电商等形式实现产销一体化，增加农民收入。同时，可以借助山区天然的绿水青山优势发展生态旅游业，通过农场参观、采摘、农家乐等休闲娱乐形式来扩大农业的产业边界，这些亲近自然的生态体验活动对于生活水平高且长期生活在城市中的人们有很大的吸引力。总之，对于不适宜推进农业规模化的地区，可立足于当地特色，将生产、加工、服务产业相结合，促进农业的绿色发展，进而助力推动乡村振兴、实现共同富裕。

3　结论与建议

3.1　结论

近年来，我国粮食生产进入了缓慢增长期，亟需采取一定的改革措施推动农业的进一步发展。如何改变生产关系以适应目前生产力水平是问题的关键。本文从土地这一要素出发，指出了耕地规模影响农业生产的诸多方面，如新技术采用、化肥使用、劳动力需求等；同时归纳了小农经营模式下存在的化肥过量施用、农业劳动力老龄化、空心村等问题（图5）。未来应适度扩大耕地规模，将养殖业纳入种植规模予以考虑，并在不适宜规模化的地区推行产业链延长的发展模式（图5），最终形成基于粮食生产和环境友好的适度规模化的农业发展模式。

3.2　建议

“十四五”期间继续推进农业适度规模化，不仅要考虑到农民福利问题，还要考虑与未来农业发展的结合。具体可以从以下方面实现：

（1）引导农民进城。一方面，城市生活成本高于农村，住房物业费、水电费、交通费甚至饮食消费都是阻碍农民进城的重要因素；而另一方面，城市的医疗和教育资源对农民有很大的吸引力，尤其是对年轻一代以及想要改变贫困状况的农民。对于迁出的农民，可通过计算其可能新增的生活成本，定期给予相应的补贴，保障其基本生存需求。同时，农民退出农业经营和宅基地后，剩余土地可以用来推进农业规模化经营和城乡建设用地的“增减挂钩”，从而为农民进城提供补贴资金的来源。此外，引导新移民从事二三产业工作，并考虑对低收入农民工实行负税率，给予在城市定居的农民一定的补贴。这一过程中，不能单纯地依靠政策支持，也可以利用一定的经济手段。比如，促进农地流转时，在已有政策的基础上，激发市场的作用，通过市场功能调节流转价格，确保农户获得更多收益，此时政府需要做的主要是监管和维持公平竞争。当城市生活得到保障之后，农民迁移的积极性就会大大提高，也更有利于各项资源的优化配置。

（2）培育新型经营主体。一边是耕地不足，一边是劳动力短缺带来的耕地撂荒，这两种现象共存，根本是“人”的问题。大量年轻劳动力进城选择非农就业，农村劳动力的老龄化问题凸显。“十三五”期间，农业从业人员平均年龄超过50岁，而规模化建设亟需具备农业基础知识的年轻主力。鼓励更多的农业科技企业入驻，从而吸引年轻的农业专业人员回乡，让农业经营职业化，这将大大提升农业专业化和现代化程度。可通过专业合作社、技术协会、产业园区等推广先进的农业生产技术，逐步从农业生产理念上改变

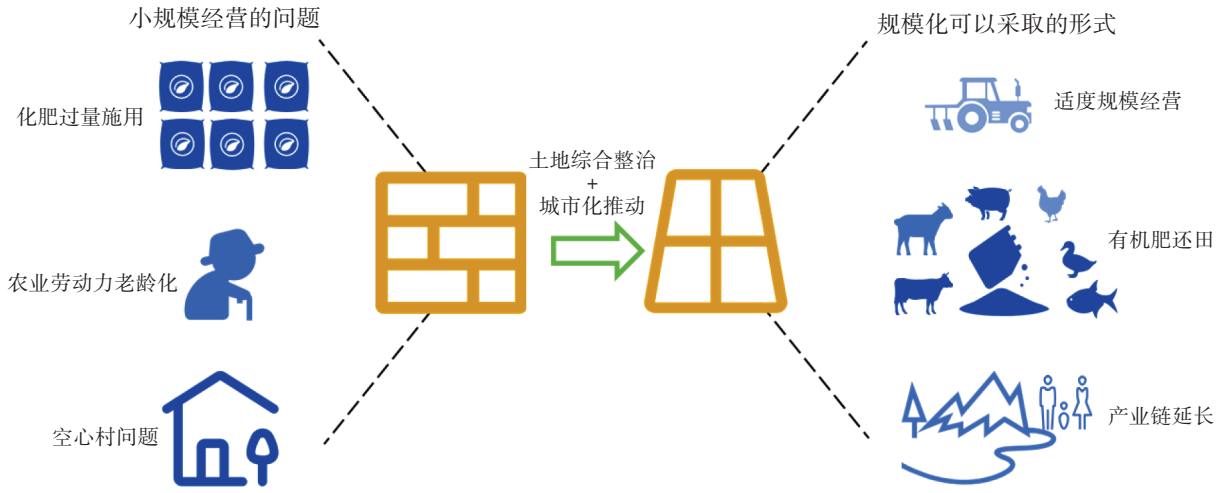

图5　我国小农经营的问题和规模化经营展望

Figure 5　Problems faced by smallholders and models of large-scale farming in China

长久以来的小农思维。通过规模化生产培育出专业的农业从业人员后，农业生产将会是农民的主要收入来源，为保障其收入稳定性，还要考虑经营风险，如极端天气、病虫害等的影响，可参考欧美国家政策，推出相关农业保险。应鼓励农民开展绿色规模化经营活动，对农民的绿色耕种行为进行补贴，如采用新型肥料、机械化耕作等。考虑到农业收入较低、回报周期较长，发展初期需要政府的资金支持，当规模化的农业企业获得收益时，参与农业经营就会成为市场行为，以此实现规模化转型的良性循环。

（3）农业现代化转型。当今我国城市化的快速推进为农业的规模化和现代化提供了机遇。目前土地的经营权可以流转，农业转移人口的落户政策也逐渐放开，使以城市化带动农业规模化发展和绿色发展成为可能。在这一进程中需要协调好城乡关系，使资源要素自由流动并得到充分利用，在确保农业用地需求的前提下，保障城市发展的土地和其他资源需求。在“十四五”期间应推动科技先行，实现农业规模化和现代化转型，真正实现以城市化带动乡村振兴。同时，从消费端进行一定的引导，优化居民饮食结构，避免食物浪费，使粮食需求量下降。随着思想观念的转变，人们对身体健康的关注成为饮食结构调整的有利因素。未来的农业发展不是土地、化肥、劳动力等生产要素的单项大量投入，而是各要素优化配置的可持续发展，农业绿色可持续生产也会为我国积极应对气候变化、实现碳中和目标做出贡献。

参考文献：

[1] 国家统计局. 第七次全国人口普查主要数据情况[EB/OL]. (2021-05-11)[2021-06-16]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202105/t20210510_1817176.html. National Bureau of Statistics. Data of the seventh national population census[EB/OL]. (2021-05-11)[2021-06-16]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202105/t20210510_1817176.html.

[2] GU B J, ZHANG X L, BAI X M, et al. Four steps to food security for swelling cities[J]. *Nature*, 2019, 566(7742): 31-33.

[3] LESIV M, LASO BAYAS J C, SEE L, et al. Estimating the global distribution of field size using crowdsourcing[J]. *Global Change Biology*, 2018, 25(1): 174-186.

[4] 王博, 徐志宇, 王楷, 等. 1961—2015年各国化肥消费量与人均GDP相关性分析[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(6): 718-727. WANG B, XU Z Y, WANG K, et al. Correlation of GDP per capita and chemical fertilizer consumption of different countries from 1961 to 2015[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(6): 718-727.

[5] 张士云, 江激宇, 栾敬东, 等. 美国和日本农业规模化经营进程分析及启示[J]. 农业经济问题, 2014, 35(1): 101-109. ZHANG S Y, JIANG J Y, LUAN J D, et al. The analysis and inspiration of scale operation in agricultural process of United States and Japan[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014, 35(1): 101-109.

[6] REN C, LIU S, VAN GRINSVEN H, et al. The impact of farm size on agricultural sustainability[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220: 357-367.

[7] 国家统计局. 主要农作物单位面积产量[EB/OL]. (2020-12-30)[2021-06-16]. https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01. National Bureau of Statistics. Grain yield per cropland area[EB/OL]. (2020-12-30)[2021-06-16]. https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01.

[8] 乔榛, 焦方义, 李楠. 中国农村经济制度变迁与农业增长——对1978—2004年中国农业增长的实证分析[J]. 经济研究, 2006(7): 73-82. QIAO Z, JIAO F Y, LI N. Change of rural institution and agricultural economic growth: An empirical analysis on agricultural economic growth in China (1978—2004)[J]. *Economic Research Journal*, 2006(7): 73-82.

[9] 顾钰民. 农业现代化与深化农村土地制度改革[J]. 经济纵横, 2014(3): 48-53. GU Y M. Agricultural modernization and deepening rural land system reform[J]. *Economic Review Journal*, 2014(3): 48-53.

[10] 高国力, 王继源. 新中国70年来我国农业用地制度改革：回顾与展望[J]. 经济问题, 2019(11): 1-8. GAO G L, WANG J Y. Retrospect and prospect on agricultural land: Reform in the past 70 years since the founding of P. R. China[J]. *On Economic Problems*, 2019, (11): 1-8.

[11] 成升魁, 汪寿阳, 刘旭, 等. 新时期我国国民营养与粮食安全[J]. 科学通报, 2018, 63(18): 1764-1774. CHENG S K, WANG S Y, LIU X, et al. Food nutrition and food security of China in a new development phase[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(18): 1764-1774.

[12] CHEN X, CUI Z, FAN M, et al. Producing more grain with lower environmental costs[J]. *Nature*, 2014, 514(7523): 486-489.

[13] WU Y Y, XI X C, TANG X, et al. Policy distortions, farm size, and the overuse of agricultural chemicals in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(27): 7010-7015.

[14] 李功奎, 钟甫宁. 农地细碎化、劳动力利用与农民收入——基于江苏省经济欠发达地区的实证研究[J]. 中国农村经济, 2006(4): 42-48. LI G K, ZHONG F N. Farmland fragmentation, labor force utilization and farmer income: An empirical study of the economically underdeveloped areas in Jiangsu Province[J]. *Chinese Rural Economy*, 2006(4): 42-48.

[15] WANG X, YAMAUCHI F, HUANG J, et al. What constrains mechanization in Chinese agriculture? Role of farm size and fragmentation[J]. *China Economic Review*, 2020, 62: 101221.

[16] FOSTER A D, ROSENZWEIG M R. Are there too many farms in the world? Labor-market transaction costs, machine capacities and optimal farm size[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2017.

[17] JIAO X Q, YANG L, WU X B, et al. Grain production versus resource and environmental costs: Towards increasing sustainability of nutrient use in China[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2016, 67(17):

4935-4949.

[18] 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(1):35-43. FENG Z M, LIU B Q, YANG Y Z. A study of the changing trend of Chinese cultivated land amount and data reconstructing: 1949—2003[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005(1):35-43.

[19] GU B J, SUTTON M A, CHANG S X, et al. Agricultural ammonia emissions contribute to China's urban air pollution[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2014, 12(5):265-266.

[20] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(5968):1008-1010.

[21] YU C, HUANG X, CHEN H, et al. Managing nitrogen to restore water quality in China[J]. *Nature*, 2019, 567(7749):516-520.

[22] 许庆, 田士超, 邵挺, 等. 土地细碎化与农民收入:来自中国的实证研究[J]. 农业技术经济, 2007(6):67-72. XU Q, TIAN S C, SHAO T, et al. Land fragmentation and farmers' income: An empirical study in China[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2007(6):67-72.

[23] RIGG J, PHONGSIRI M, PROMPHAKPING B, et al. Who will tend the farm? Interrogating the ageing Asian farmer[J]. *The Journal of Peasant Studies*, 2020, 47(2):306-325.

[24] 魏玉凯, 安萍莉, 金玉铃, 等. 北方农牧交错带人口老龄化及其撂荒效应——乌兰察布市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(7):64-70. WEI Y K, AN L P, JIN Y L, et al. Population aging and its farmland effect on abandonment in the northern farming - pastoral ecotone: A case study of Ulanqab[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(7):64-70.

[25] 向晶, 钟甫宁. 农村人口转移、工业化和城镇化[J]. 农业经济问题, 2018(12):51-56. XIANG J, ZHONG F N. Rural population transfer, industrialization and urbanization[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2018, (12):51-56.

[26] JIN S, ZHANG B, WU B, et al. Decoupling livestock and crop production at the household level in China[J]. *Nature Sustainability*, 2021, 4(1):48-55.

[27] 喻朝庆. 水-氮耦合机制下的中国粮食与环境安全[J]. 中国科学:地球科学, 2019, 49(12):2018-2036. YU C Q. The coupled effects of water and nitrogen on China's food and environmental securities [J]. *Scientia Sinica(Terrae)*, 2019, 49(12):2018-2036.

[28] 郧宛琪, 朱道林, 梁梦茵. 解决土地碎片化的制度框架设计[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(4):111-115. YUN W Q, ZHU D L, LIANG M Y. Design of institutional framework on solving land fragmentation[J]. *Areal Research and Development*, 2015, 34(4):111-115.

[29] 国家统计局. 新中国成立70周年经济社会发展成就系列报告之十三[EB/OL]. (2019-08-07)[2021-06-16]. http://www.stats.gov.cn/ztjc/zthd/sjtjr/d10j/70cj/201909/t20190906_1696322.html. National Bureau of Statistics. Series of reports on economic and social development achievements in the 70th anniversary of the founding of New China: Part 13[EB/OL]. (2019-08-07)[2021-06-16]. http://www.stats.gov.cn/ztjc/zthd/sjtjr/d10j/70cj/201909/t20190906_1696322.html.

[30] 文高辉, 杨钢桥. 耕地细碎化对农户耕地生产率的影响机理与实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(5):138-148. WEN G H, YANG G Q. Impact mechanism and empirical study of cultivated land fragmentation on farmers' cultivated land productivity[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(5):138-148.

[31] 王兴稳, 钟甫宁. 土地细碎化与农用地流转市场[J]. 中国农村观察, 2008(4):29-34. WANG X W, ZHONG F N. Land fragmentation and the land transfer market[J]. *China Rural Survey*, 2008(4):29-34.

[32] 夏益国, 宫春生. 粮食安全视阈下农业适度规模经营与新型职业农民——耦合机制、国际经验与启示[J]. 农业经济问题, 2015, 36(5):56-64. XIA Y G, GONG C S. Operation of appropriate scale in agriculture and new-style professional farmer under the angle of food safety: Coupling mechanism, international experience & revelation[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2015, 36(5):56-64.

[33] WANG S, BAI X, ZHANG X, et al. Urbanization can benefit agricultural production with large-scale farming in China[J]. *Nature Food*, 2021, 2(3):183-191.

[34] 马晓河, 胡拥军. 一亿农业转移人口市民化的难题研究[J]. 农业经济问题, 2018(4):4-14. MA X H, HU Y J. Research on the problem of citizenization of 100 million agricultural migrants[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2018(4):4-14.

[35] LI Y, TANG C, HUANG Z G, et al. Increase in farm size significantly accelerated stream channel erosion and associated nutrient losses from an intensive agricultural watershed[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, 295:106900.

[36] LU H, XIE H, HE Y, et al. Assessing the impacts of land fragmentation and plot size on yields and costs: A translog production model and cost function approach[J]. *Agricultural Systems*, 2018, 161:81-88.

[37] 周作昂, 赵绍阳, 何庆红. 劳动力老龄化对农业土地流转和规模经营的影响[J]. 财经科学, 2020(2):120-132. ZHOU Z A, ZHAO S Y, HE Q H. The impact of aging labor force on agricultural land transfer and scale management[J]. *Finance & Economics*, 2020(2):120-132.

[38] GU B J, VAN GRINSVEN H J M, LAM S K, et al. A Credit system to solve agricultural nitrogen pollution[J]. *The Innovation*, 2021, 2(1):100079.

[39] JIA X P, HUANG J K, XIANG C, et al. Reducing excessive nitrogen use in Chinese wheat production through knowledge training: What are the implications for the public extension system?[J]. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2015, 39(2):189-208.

[40] ZHANG C, LIU S, WU S, et al. Rebuilding the linkage between livestock and cropland to mitigate agricultural pollution in China[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 144:65-73.