

中国耕地土壤肥力提升战略研究

胡莹洁¹, 孔祥斌¹, 张玉臻²

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 中国人民大学公共管理学院, 北京 100872)

摘要: 本文系统梳理了中国耕地土壤肥力变化态势, 提出我国耕地土壤肥力提升应实现从单一施用化肥向有机无机肥相结合的战略转变, 应“用养结合”保持土壤肥力, 应实行空间差异化管控的战略思路, 总结出增施有机肥、推广秸秆还田、恢复推广绿肥种植以及提升农田耕作条件和优化农田林网布局等耕地土壤肥力提升实现途径, 提出了国家继续实施高标准农田建设工程、土壤改良修复工程、草田轮作工程、秸秆还田工程和畜禽粪便肥料化利用工程等政策建议。

关键词: 耕地; 土壤肥力; 提升战略; 可持续利用

中图分类号: F301.21 **文献标识码:** A

Strategies for Soil Fertility Improvement of Arable Land in China

Hu Yingjie¹, Kong Xiangbin¹, Zhang Yuzhen²

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. School of Public Administration and Policy, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: This paper systematically reviews the trends of soil fertility of arable land in China and puts forwards that the soil fertility improvement of arable land in China should realize the strategic change from single application of chemical fertilizer to the combined application of organic and inorganic fertilizers, combine cultivation with preservation to maintain soil fertility, and implement spatial differentiation control. Moreover, this paper summarizes the ways to improve the soil fertility of arable land in China, including increasing the application of organic fertilizer, promoting straw returning to the field, resuming and promoting green manure cultivation, improving the farming conditions, and optimizing the layout of agroforestry networks. At last, this paper proposes policy suggestions of implementing high-standard farmland construction projects, soil improvement and restoration projects, grass-crop rotation projects, straw returning projects, and livestock and poultry manure application projects.

Keywords: arable land; soil fertility; improvement strategy; sustainable use

一、中国耕地土壤肥力变化态势分析

(一) 耕地土壤肥力整体基础薄弱, 区域差异大

联合国粮食及农业组织 (FAO) 数据表明, 我

国耕地土壤肥力基础薄弱, 居世界中下游水平 (见图1)。我国耕层土壤有机质含量平均值为 18.63 g/kg, 仅为世界土壤有机质含量平均值 (32.54 g/kg) 的 57%, 仅略高于中亚、西亚、北非等地区, 远低于于

收稿日期: 2018-08-16; 修回日期: 2018-08-21

通讯作者: 孔祥斌, 中国农业大学土地科学与技术学院, 教授, 主要研究方向为耕地评价与保护; E-mail: kxb@cau.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国农业资源环境若干战略问题研究”(2016-ZD-10)

本刊网址: www.enginsci.cn

东南亚、北美、北欧等地区。依据全国第二次土壤普查汇总数据,统计整理分省耕作土壤平均有机质状况,可知我国耕地土壤肥力区域差异较大[1]。黑龙江省平均耕层土壤有机质含量最高,为37.48 g/kg,是全国平均值18.63 g/kg的2倍多,是山东省的近4倍(见图2)。

(二) 不同区域耕地土壤有机质含量有升有降, 东北区下降明显

课题组依据收集到的1980年1184个、2010年574个全国范围内耕地土壤剖面点耕层养分数据,结合第二次土壤普查时期的养分分级标准(见表1),对近30年我国东北区、黄淮海区、长江中下游区、华南区、内蒙古高原及长城沿线区、黄土高原区、西南区、西北区以及青藏高原区九大区耕层土壤有机质含量变化情况进行对比分析。

1980—2010年间,东北区黑土平均土壤有机质含量由41.7 g/kg下降至24.4 g/kg,减少了17.3 g/kg,降低了2个养分等级,黑钙土平均土壤有机质含量

减少了16.6 g/kg,降低了2个养分等级。黄淮海区的潮土和褐土,长江中下游区的水稻土和红壤耕层土壤有机质含量变化不大。西南区黄壤和水稻土耕层土壤有机质含量分别减少了5.2 g/kg和4.1 g/kg,均降低了1个养分等级。华南区赤红壤耕层土壤有机质含量减少了4.0 g/kg,降低了1个养分等级,砖红壤和水稻土耕层有机质含量基本保持稳定。黄土高原区褐土和黄绵土耕层有机质含量相对稳定,灰钙土耕层有机质含量略有增加(见表2)。

(三) 化肥过量施用, 有机肥投入不足, 土壤酸化呈加剧态势

2014年,我国化肥施用量达 5.996×10^7 t,占世界的1/3,单位耕地面积施用量高达 567 kg/hm^2 [2],居各粮食主产国之首,是世界平均水平的4倍多。而据农业部全国农业技术推广中心统计数据,有机肥在我国肥料总投入量中的比例不到10%,在大田的投入比例更低,远低于美国及欧洲等国家40%~60%的有机肥投入比例[3]。有机肥投入不足

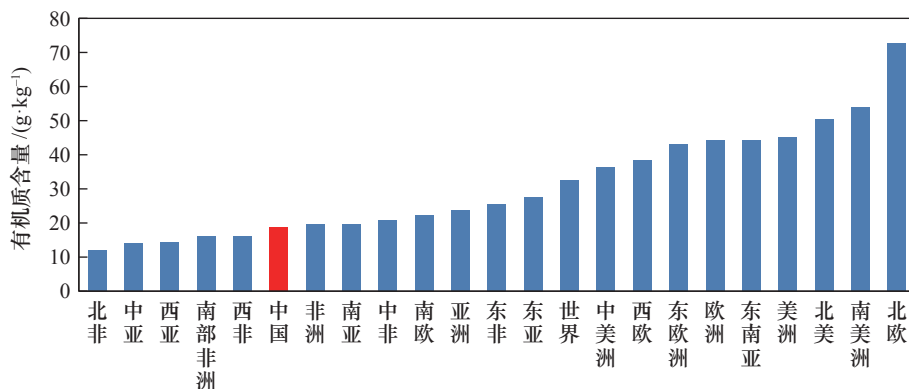


图1 中国耕地有机质与世界其他地区的比较

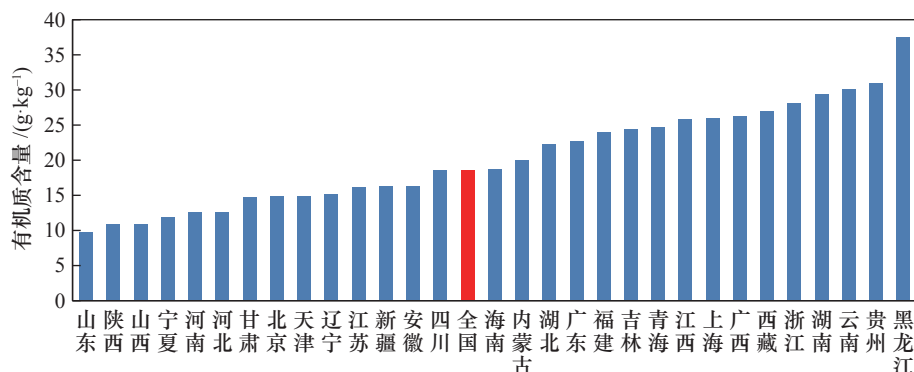


图2 中国各省(市、区)耕地有机质含量差异

与化肥高投入导致耕地土壤酸化，肥料吸收利用效率低等问题。20世纪80年代早期至今，我国境内耕作土壤pH值下降了0.13~0.80，南方地区耕地土壤酸化最为显著 [4]。

(四) 区域耕地土壤肥力具有较大的提升空间

将2010年各区域农田主要土壤类型的耕层有机质含量与定位试验中最优施肥方式下的耕层有机质含量进行对比，分析各区域耕地有机质含量提升潜力（见表3）。黄淮海区农田主要土壤类型为潮土，2010年有机质含量平均为15.68 g/kg，在氮肥配施有机肥的最优施肥条件下可达43.20 g/kg，提升空间较大，为27.52 g/kg。长江中下游水稻土有

机质含量也有较大的提升空间，约为18.32 g/kg。西南区紫色水稻土有机质含量提升空间约为17.21 g/kg。东北区黑土农田有机质含量在氮磷钾肥配施“循环有机肥”的最优施肥方式下可达56.27 g/kg，2010年有机质含量平均为41.71 g/kg，提升潜力约14.56 g/kg；棕壤农田有机质含量提升空间相对较小，约4.99 g/kg。华南区水稻土和西北区灰漠土农田有机质含量提升空间分别为12.58 g/kg和11.62 g/kg。黄土高原区褐土、黄绵土，长江中下游区和西南区红壤农田有机质提升空间相对较小。

二、我国耕地土壤肥力提升战略与实现途径

(一) 我国耕地土壤肥力提升的战略思路

1. 实现从单一施用化肥向有机无机肥相结合的战略转变

我国耕地土壤肥力提升需要实现从单一施用化肥向有机无机肥相结合的战略转变，大力发展有机肥，通过有机肥与无机肥配施以提高耕地土壤肥力。通过提高畜禽粪便肥料化利用率，提高农作物秸秆直接还田率，恢复并扩大绿肥种植面积，合理利用

表1 土壤养分分级标准

土壤养分级别	有机质含量 / (g·kg ⁻¹)
1	>40.0
2	30.0~40.0
3	20.0~30.0
4	10.0~20.0
5	6.0~10.0
6	<6.0

表2 1980—2010年全国各分区不同土壤类型耕层有机质含量变化

区域	土壤类型	平均有机质含量 / (g·kg ⁻¹)			养分标准级别		
		1980年	2010年	变化量	1980年	2010年	变化量
东北区	黑土	41.7	24.4	-17.3	1	3	-2
	黑钙土	36.5	19.9	-16.6	2	4	-2
	白浆土	29.5	16.3	-13.2	3	4	-1
	草甸土	32.5	31.6	-0.8	2	2	0
黄淮海区	潮土	13.7	15.7	1.9	4	4	0
	褐土	24.3	23.1	-1.3	3	3	0
长江中下游区	水稻土	27.8	23.4	-4.4	3	3	0
	红壤	22.1	27.3	5.2	3	3	0
西南区	黄壤	32.6	27.4	-5.2	2	3	-1
	水稻土	31.2	27.1	-4.1	2	3	-1
	紫色土	28.1	25.0	-3.1	3	3	0
华南区	赤红壤	32.4	28.4	-4.0	2	3	-1
	水稻土	27.0	27.2	0.2	3	3	0
	砖红壤	26.3	23.5	-2.8	3	3	0
黄土高原区	褐土	25.6	23.4	-2.2	3	3	0
	黄绵土	15.5	17.7	2.2	4	4	0
	灰钙土	13.7	20.3	6.6	4	3	1

表 3 各分区农田主要土壤类型的耕层有机质含量提升潜力

区域	土壤类型	2010 年有机质含量 / ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最优施肥方式下有机质含量 / ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	提升潜力 / ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最优施肥方式
东北区	黑土	41.71	56.27	14.56	氮磷钾肥配施“循环有机肥”[5]
	棕壤	25.40	30.39	4.99	氮磷钾肥配施有机肥 [6]
黄淮海区	潮土	15.68	43.20	27.52	氮肥配施有机肥 [5]
长江中下游区	水稻土	24.88	43.20	18.32	磷钾肥配施有机肥 [7]
	红壤	27.29	27.80	0.51	氮磷钾肥配施有机肥 [5]
西南区	紫色水稻土	24.99	42.20	17.21	施有机肥 [8]
	红壤	31.17	35.43	4.26	氮磷肥配施有机肥 [5]
华南区	水稻土	27.16	39.74	12.58	氮磷钾肥配施有机肥 [5]
黄土高原区	褐土	23.44	29.40	5.96	氮磷钾肥配施有机肥 [5]
	黄绵土	17.73	19.78	2.05	氮磷钾肥配施有机肥 [5]
西北区	灰漠土	23.60	35.22	11.62	氮磷钾肥配施有机肥 [5]

有机养分资源,用有机肥替代部分化肥,力争有机肥占施肥总量的 40% 以上。

2. 耕地利用应“用养结合”,保持土壤肥力,实现耕地可持续利用

我国耕地利用应“用养结合”,保持和恢复土壤肥力,实现耕地可持续利用,保障农业健康可持续发展。因地制宜地实行粮肥轮作、间作制度,保持和提高有机质含量,改善土壤有机质的品质,实现养地补肥。如在北方农牧交错带和西北干旱区推广粮-草轮作;在中部和南方地区实施粮-经、粮-饲、粮-肥轮作/间作;在地力严重下降的地下水漏斗区因地制宜地实行季节性休耕。

3. 土壤肥力提升应实行空间差异化管控

对不同区域应采用差异化的耕地土壤肥力提升管理措施。强化对不同肥力水平耕地的分级保护,重视集中连片且土壤肥力水平高的耕地的数量保护,保证高水平土壤肥力不降低。同时,加强对土壤肥力水平不高的耕地进行土壤培肥,对于因长期过度利用导致土壤肥力下降的耕地应调整利用结构,适当降低利用强度,促进土壤肥力恢复,同时应因地制宜地开展退耕还林还草还湿以保障生态安全和区域土地可持续利用。坚持区域协同的基本理念,因地制宜,多措并举,提升我国耕地土壤肥力。

(二) 全国耕地土壤有机质提升的实现途径

1. 增施有机肥,适当施用化肥,做到有机肥无机肥合理配施

做好配方施肥和平衡施肥,适量使用化肥,增

施有机肥调节土壤肥力,提升土壤有机质含量。黄淮海地区、长江中游及江淮地区、三江平原、松嫩平原和四川盆地等国家粮食主产区应是大田有机肥增施的重点区域。从具体措施上看,要进行有机肥的机械化制备技术攻关,提升科学技术水平,实现有机肥与化肥配施的生产、储存、运输及田间撒施作业的一体化,并将其产业化和实用化;要鼓励大中型有机肥生产企业和畜禽养殖场利用畜禽粪便等废弃物生产有机肥,并在生产、运输、税收等方面提供鼓励政策;健全农技服务体系,鼓励、引导普通农户在大田增施有机肥,改良培肥土壤。

2. 大力推广秸秆还田

秸秆还田对减少化肥使用,维持及提升耕地土壤肥力具有积极作用。应加快秸秆还田关键技术研发,重点对适合北方的大马力翻耕机、打捆机、粉碎机等,以及适合南方相对小块水田应用的机械进行技术攻关。加大对秸秆还田机械生产企业的政策扶持力度,因地制宜地对购买并使用机械进行秸秆还田的农户或企业给予适当补贴。

3. 恢复并扩大绿肥种植

种植绿肥既能有效提高土壤肥力,提供饲草来源,还能部分替代化肥,减轻生态环境污染,应因地制宜地恢复并扩大绿肥种植。北方地区以苜蓿和饲料油菜为主;南方冬闲田地区则以种植饲料油菜和紫云英、黑麦草等绿肥为主。一年一熟为主的地区以轮作模式为主,一年二熟或三熟的地区则可推行间套作模式。应恢复发展绿肥相关的科学研究,建立全国绿肥研究试验体系和种子基地建设。加强

基层农技服务体系建设，不断更新绿肥相关科学知识，推广应用于实际农业生产。恢复绿肥种植补贴制度，有条件的地区可实行统一供种。

4. 提升农田耕作条件和农田林网布局

完善农田耕作条件和农田林网布局能提升耕地水土条件，促进农林生态系统生物循环，提升耕地土壤肥力。设施型缺水地区应完善灌溉设施，保证农田水资源需求；资源型缺水地区应发展喷（滴）灌、膜下滴灌、水肥一体化等高效节水技术，提高水资源利用效率；洪涝灾害频发地区应完善排水系统；水土流失多发的山地丘陵区实行坡改梯，等高种植，减缓耕地土层变薄趋势；田块零碎的平原丘陵区应开展农田整治，平整田块，改善农田耕作条件。土壤风蚀沙化地区应强化防护林体系，防风固沙，防止农田土壤因风蚀而地力下降。

三、实施耕地土壤肥力提升的若干工程

（一）高标准农田建设工程

目前，我国中低产田占比依然较高，相当数量的基本农田基础设施条件较差，基本农田质量提升还有很大潜力。建议国家继续实施高标准农田建设工程。“十三五”期间全国确保建成 4×10^8 亩（1亩 $\approx 666.667\text{ m}^2$ ）、力争建成 6×10^8 亩高标准农田。各地区高标准农田建设工程应各有侧重。东北地区应重点完善农田水利配套设施，加强黑土地保护；黄淮海地区应继续改造盐碱地和中低产田，加强农田基础设施建设；长江中下游区应积极开展小流域综合治理，防治水土流失；西南区应加强生态环境保护和修复，将高标准农田建设与陡坡退耕还林还草以及荒漠化、石漠化治理等政策有效结合；华南区应加强污染耕地的土壤治理修复；西北地区应加强保护和改善土地生态环境，防治土地盐碱化，限制生态环境脆弱地区的土地开发利用。

（二）土壤改良修复工程

建议因地制宜地在我国大力开展土壤改良修复工程。在我国南方地区治理土壤酸化，依据科学配方减量施肥，推广应用功能性有机肥及矿物源土壤调理剂，改善土壤酸碱度。全国需治理土壤酸化的耕地面积约 2.99×10^8 亩。在干旱地区如新疆、内蒙古等地以及东北平原西部开展土壤沙化防治和盐碱

化治理，沙化严重的耕地实行退耕还草，大力推广先进灌溉技术，提高水资源利用效率，水资源条件允许的地区通过水利工程措施结合化学及生物改良措施改良盐碱地。宁夏银北灌区和新疆灌区需要土壤改良治理盐碱化的耕地面积分别约为 2.56×10^6 亩和 2×10^7 亩。加强污灌区、工业用地周边地区污染耕地防治与修复，建设农田生态沟渠，净化地表径流及农田灌排水，开展典型流域农业面源污染综合治理。加强有机物污染和重金属污染土地治理，修建植物隔离带或人工湿地缓冲带。到2020年，全国受污染耕地治理与修复面积达 1×10^7 亩。

（三）草田轮作工程

建议推广实施草田轮作工程，实施重点区域为东北平原、华北地区，农牧交错带、西北干旱地区及南方广大冬闲田地区。东北地区应推行粮食—饲料（青贮/牧草）为主的农作制，牧草种植比例约为10%~20%左右；华北地区可实行粮—经—饲（青贮/牧草）三三农作制；农牧交错区则农牧结合，实行粮—饲（牧草/青贮）农作制，牧草面积可占20%~40%；西北干旱区应推行粮—经（棉、果）—饲（牧草/青贮）农作制，农区牧草比例可占10%~30%，草原牧区牧草种植比例可适当提高，达50%左右；南方地区应以粮—经—饲（绿肥/饲料油菜）为主，充分利用冬闲田发展豆科绿肥与饲料油菜。到2030年，北方可实现草田轮作面积达 7×10^7 亩，其中农牧交错带和西北干旱区为 4.5×10^7 亩，东北、华北地区为 2.5×10^7 亩；南方冬闲田可实现以饲料油菜和豆科绿肥为主的草田轮作面积达 1×10^8 亩。

（四）秸秆还田工程

建议以秸秆综合利用工程为基础，大力推行秸秆还田工程。东北平原、黄淮海平原等地势平坦开阔的地区，大力推广玉米秸秆深翻还田技术、秸秆覆盖还田保护性耕作技术、免耕播种“一条龙”作业模式，切实提高耕作效率和秸秆还田率。对于机械秸秆粉碎还田推广条件不成熟的地区，或是因地势地形条件不适宜大马力机械的地区，如南方丘陵地区等地，积极研发推广秸秆快速腐熟技术和畜禽粪便发酵腐熟技术，推广秸秆堆沤还田或过腹还田，

切实提高秸秆还田质量, 秸秆还田率可在目前 30% 左右的基础上提高 10%~20%。

(五) 畜禽粪便肥料化利用工程

建议大力推广应用畜禽粪便肥料化利用工程, 实施重点区域在四川、河南、山东、内蒙古等畜禽养殖业发达、畜禽粪便污染严重的地区。应以提高畜禽粪便无害化处理、资源化利用水平为重点, 根据养殖规模推广相应粪便肥料化利用技术。依托规模化养殖场建设畜禽粪便收集再利用系统, 加强小型养殖场废弃物回收。加强畜禽粪便肥料化技术研究, 根据畜禽粪便具体种类及数量比例, 有针对性地开发不同类型肥料产品。加强加工装备研究和生产工艺升级, 在保证肥料有效性的前提下, 降低生产成本, 促进畜禽粪便肥料化利用大规模推广。

参考文献

- [1] 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 [J]. 地理科学, 2002, 22(1): 24-28.
Wang W, Li X B. Study on the marginal productivity of cultivated land with change of soil organic matter in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(1): 24-28.
- [2] 张灿强, 王莉, 华春林, 等. 中国主要粮食生产的化肥削减潜力及其碳减排效应 [J]. 资源科学, 2016, 38(4): 790-797.
Zhang C Q, Wang L, Hua C L, et al. Potentialities of fertilizer reduction for grain produce and effects on carbon emissions [J]. *Resources Science*, 2016, 38(4): 790-797.
- [3] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
Zhu Z L, Jin J Y. Fertilizer use and food security in China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(2): 259-273.
- [4] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [5] 徐明岗, 张文菊, 黄绍敏, 等. 中国土壤肥力演变(第二版) [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.
Xu M G, Zhang W J, Huang S M, et al. *Evolution of soil fertility in China (2nd edition)* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2015.
- [6] Luo P, Han X, Yan W, et al. Influence of long-term fertilization on soil microbial biomass, dehydrogenase activity, and bacterial and fungal community structure in a brown soil of Northeast China [J]. *Annals of Microbiology*, 2015, 65(1): 533-542.
- [7] 黄晶, 高菊生, 张杨珠, 等. 长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1889-1894.
Huang J, Gao J S, Zhang Y Z, et al. Change characteristics of rice yield and soil organic matter and nitrogen contents under various long-term fertilization regimes [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(7): 1889-1894.
- [8] 王绍明. 不同施肥方式下紫色水稻土壤肥力变化规律研究 [J]. 生态与农村环境, 2000, 16(3): 23-26.
Wang S M. Relationship between fertilization methods and soil fertility of purplish paddy soil [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2000, 16(3): 23-26.