

# 中国农业资源环境透视——问题与建议

成升魁<sup>1</sup>, 鲁春霞<sup>1,2</sup>, 郭金花<sup>1</sup>, 刘立涛<sup>1</sup>, 徐增让<sup>1</sup>, 黄绍琳<sup>1</sup>

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

**摘要** 农业资源环境是保障食物供给的物质基础。改革开放以来,随着土地承包制和市场经济的发展,中国农业生产快速增长,农产品生产规模和产品多样化达到前所未有的水平。然而高投入、高消耗、高污染的农业生产使中国付出了巨大的资源环境代价。本文从区域尺度分析了4种颇为突出的区域农业资源环境问题:1)东北地区旱田改水田规模的持续扩大加剧了区域水资源压力并产生了负面生态影响;2)华北平原农业生产中水资源和化肥等大量投入导致地下水位下降和水环境污染等资源环境问题;3)在工业化和城镇化快速发展进程中,南方土壤酸化和重金属污染问题突出并对食品安全产生影响;4)西北干旱半干旱地区生态屏障维护与粮食生产之间的关系协调问题。最后提出了农业资源环境可持续利用的建议,即加强区域农业资源优化配置和高效利用、系统推进农业环境污染治理与生态修复、强化全球农业资源利用战略。

**关键词** 农业资源;生态环境;区域分异

农业资源与生态环境是保障食品安全、推进生态文明和美丽中国建设的物质基础。改革开放40年来,中国正从一个传统农业国逐步迈向现代化国家的行列,农业生产规模和生产技术亦达到空前水平。谷物、肉类、蔬菜等多种农产品产量世界排名第一,农产品的多样性前所未有。然而,长期高投入、高消耗和高污染的农业发展模式不仅导致中国农产品缺乏市场竞争力,而且付出了巨大的资源环境代价。

党的十九大指出,中国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。同时,十九大把乡村振兴战略作为国家战略提到党和政府工作的重要议事日程上。解决发展不平衡不充分的问题需要大力提升发展质量和效益。

农业综合生产能力稳步提升,农业供给体系质量改善是解决这一矛盾的重要基础,也是乡村振兴战略目标的核心组成部分。农业资源环境是提高农产品供给的关键。因此,改善和提高农业资源环境质量,加强农业资源环境研究,审视这一领域存在的问题,不仅是推进生态文明建设的需要,也是推动中国农业供给侧结构性改革、转变农业发展方式和乡村振兴战略的需要。

## 1 水土资源约束增强,生态环境问题突出

水土资源是农业发展的基本要素。随着城镇化规模持续扩展以及粮食生产重心北移西进,中国水土资源的刚性边际约束日益增大:一是人均耕地面积和耕

收稿日期:2018-03-20;修回日期:2018-04-10

基金项目:中国科学院重点部署项目(ZDBS-SSW-DQC)

作者简介:成升魁,研究员,研究方向为农业资源利用与区域发展,电子信箱:chengsk@igsnrr.ac.cn;鲁春霞(通信作者),副研究员,研究方向为资源生态学,电子信箱:lucx@igsnrr.ac.cn

引用格式:成升魁,鲁春霞,郭金花,等. 中国农业资源环境透视——问题与建议[J]. 科技导报, 2018, 36(11): 13-21; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.11.002

地质量双双下降。城镇化推进挤占优质耕地资源,中低等质量耕地占比大,耕地实际生产力水平下降<sup>[1]</sup>;二是人均水资源量少,年缺水量>530亿m<sup>3</sup>。长江以北占全国国土面积的64%,水资源量仅占19%<sup>[2]</sup>。水土资源不匹配,“北粮南运”格局难以长期维持<sup>[1]</sup>,使中国粮食安全存在较大潜在风险。

中国农业快速发展过程中的高投入和高消耗,不仅推高农产品生产成本,还导致普遍性的环境污染。2016年全国化肥和农药使用量分别为5984万t(折纯)和50万t(折百)<sup>[3]</sup>,虽然是自1974年以来首次出现负增长,但单位面积使用量仍然是美国和欧盟的2倍多。目前中国已成为世界上第一大化肥、农药和农膜的生产和消费国。根据环保部、国土资源部2014年发布的《全国土壤污染状况调查报告》显示,全国土壤环境状况总体不容乐观,部分地区土壤污染较重。土壤总超标率为16.1%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为11.2%、2.3%、1.5%和1.1%,而且南方土壤污染重于北方,长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出,西南、中南地区土壤重金属超标范围较大。农业面源污染正在成为水体污染、湖泊富营养化的主要原因,已严重影响到中国的水环境质量<sup>[4]</sup>。

正如农业部等8部委联合发布的《全国农业可持续发展规划(2015—2030)》中指出:“农业资源过度开发、农业投入品过量使用、地下水超采以及农业内外源污染相互叠加等带来的一系列问题日益凸显,农业可持续发展面临重大挑战。”

## 2 农业资源环境问题的区域分异显著

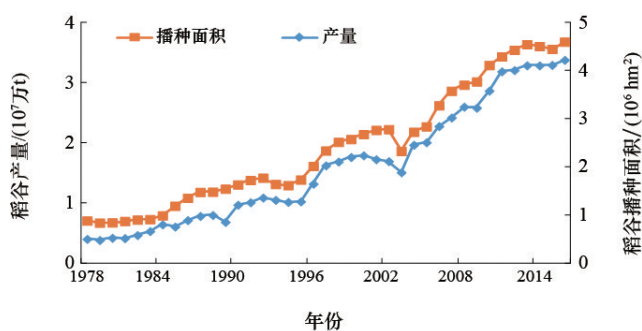
中国地域广阔,水分、光照等自然条件和资源禀赋的区域分异显著,形成了农业生产的地域性差异,表现为农作物品种、种植制度、种植结构及农业技术措施均存在显著的区域性差异,由此导致农业资源环境问题也具有显著的区域分异。例如,东北黑土地耕层变薄,有机质下降,水资源利用过度;华北平原亩产吨粮,掠夺式经营极其普遍,地下水超量开采等;南方水稻生产区土壤酸化、重金属污染严重;西北农区水土流失严重,地力下降等。

### 2.1 东北平原“旱改水”普遍,警惕重蹈华北平原覆辙

东北平原是中国重要的粮食生产基地,农业资源

环境状态是否良好,直接关系到中国的粮食安全。

改革开放近40年来,东北地区粮食生产结构在市场经济驱动下不断调整,由原来的玉米和大豆为主转变为以玉米和水稻为主。1980年,东北三省的水稻播种面积和产量分别从85万hm<sup>2</sup>和420万t,增加为2015年515万hm<sup>2</sup>和3300万t,年均增长速率分别为5.7%和4.4%(图1)。2016年东北地区水稻总产量3381万t,约占全国总产量的21%,已成为全国重要的水稻种植基地<sup>[3,5]</sup>。近年来,由于稻谷的比较收益较高,随着2016年国家取消在东北玉米主产区的托市收购,玉米市场价格下跌,农户种植水稻的积极性持续高涨,旱地改水田(以下简称“旱改水”)的规模仍在不断扩大。2017年,中国科学院地理科学与资源研究所“新时期国民营养与粮食安全”项目研究团队在东北的调查表明,在黑龙江的齐齐哈尔、嫩江、黑河、佳木斯、建三江和吉林省舒兰、洮南等地,凡是积温达标、地势平坦、有条件改为水田的耕地基本上都已经或者正在进行改造,剩下的旱地或者不具备水田的基本要求,或者改造成本过高。“旱改水”虽然有利于对中低产田和低洼易涝地的改造,但水田规模的持续扩大,对于水资源紧张且湿地生态系统相对脆弱的东北地区而言存在巨大的生态环境风险。



数据来源:据《1979—2016年中国统计年鉴》和《2016年东北三省国民经济与社会发展公报》整理

图1 东北三省稻谷种植情况的历史变化

Fig. 1 Historical changes of rice planting in the northeast provinces

已有研究表明,1990—2013年东北挠力河流域水分亏缺态势与流域旱改水的实施有密切的关系,且重度缺水的耕地面积大幅增加<sup>[5]</sup>。在东北旱改水进程中,井灌稻田的现象普遍,地下水资源的安全面临严峻挑战。以吉林省洮南市为例,2017年全市水稻种植面积

由 2015 年的 1.6 万  $\text{hm}^2$  增加到 3.13 万  $\text{hm}^2$ , 由于没有渠灌条件, 新增水田需要再抽取近 1 亿  $\text{m}^3$  的地下水。在华北平原, 农业地下水消耗是近 40 年来地下水位下降并形成地下漏斗的主要原因<sup>[6]</sup>, 地下水位持续下降为华北平原社会经济发展与生态环境建设带来巨大风险。同样, 东北三江平原 98% 以上的井灌稻田也已导致地下水位的显著下降<sup>[7-9]</sup>。因此, 需要警惕东北平原重蹈华北平原地下水资源过度开发利用之覆辙。

地下水位的下降会剥夺湿地水量补给, 加剧周围湿地积水的渗漏, 从而导致湿地功能逐渐退化、面积萎缩及湿地生态系统的破坏。在 20 世纪 90 年代末, 黑龙江曾出现过大规模旱改水而农田严重受旱现象, 因此改种的水田被迫又进行“水改旱”<sup>[10]</sup>。只顾追求经济利益, 忽视农业资源利用底线的生产活动终将损害农业生产的可持续发展。鉴于此, 2017 年中央一号文件《农业部关于推进农业供给侧结构性改革的实施意见》中, 也明确指出要控制东北地区井灌稻面积。东北地区“旱改水”规模的持续扩大, 尤其是以井灌为主的稻田面积扩大, 无疑加大了东北地区的水资源压力, 由此引发的生态环境问题更需引起足够的重视。

## 2.2 华北平原的“四高”农业难以为继

华北平原是中国重要的粮食和蔬菜生产基地, 其小麦和玉米的播种面积和产量分别占全国总量的 50% 和 30% 以上<sup>[11]</sup>。随着农业集约化生产水平提高, 高投入、高消耗、高排放和高污染的特征十分明显。

诸多研究结果表明, 当前华北平原小麦-玉米轮作体系中过量施肥问题, 特别是氮肥的过量施用已相当严重<sup>[12-18]</sup>。华北平原小麦和玉米中高产区氮肥用量远超过全国氮肥平均用量, 据调查, 山东、河北小麦-玉米轮作体系氮肥平均用量高达  $500\sim 600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 过量施肥现象十分突出, 远超过作物氮素需求, 磷肥施用量也超过了当前作物产量水平的磷肥需求量<sup>[19]</sup>。蔬菜作物具有生长期短、复种茬口多、需肥量高等特点, 在实际生产中, 蔬菜高产出、高收益刺激农民高投入, 特别是盲目高量的化肥投入十分明显<sup>[20]</sup>。因此, 位于华北平原的河南省、河北省和山东省年化肥施用量显著高于全国平均水平(图 2)。

化肥过量投入带来的环境问题不可忽视。定量研究表明, 华北地区生产 1 t 主要粮食作物施用化肥的综合环境影响表现为水体富营养化潜在风险最大(83.5%~97.0%), 其次是环境酸化潜在风险(2.0%~7.1%); 另

外, 土地占用风险(0.3%~6.8%)和导致全球变暖风险(0.6%~2.5%)也不可忽视<sup>[11]</sup>。

华北平原是中国的农业主产区之一, 同时也是中国乃至世界上水资源短缺最为严峻的地区之一<sup>[21-22]</sup>。水资源紧缺和地下水超采日趋严峻, 与灌溉农田耗水密切相关<sup>[23-24]</sup>。华北平原是中国主要的井灌区, 拥有井灌面积 1066.67 亿  $\text{m}^2$ , 占全国的 58.6%; 全区灌溉机井 345.2 万眼, 占全国的 68%<sup>[25]</sup>。机井对地下水资源掠夺性的开采导致地下水位不断下降。全区浅层和深层地下水水位下降趋势明显, 其中浅层地下水水位平均下降 6.19 m, 深层地下水水位平均下降 24.51 m(图 3)<sup>[26]</sup>。20 世纪 70 年代以来, 华北平原地下水降落漏斗不断扩大和加深, 形成了山前平原串珠状地下水降落漏斗和 5 万  $\text{km}^2$  的深层地下水复合漏斗<sup>[27]</sup>, 成为世界上最大的地下降落水漏斗区。即使目前南水北调工程已为京津冀地区调水, 但缺水问题依然存在。

华北平原高投入、高消耗、高产出和高污染的农业种植模式不但浪费了大量资源, 而且造成了生态环境的损害与污染。因此迫切需要改变当前农业发展模式, 大力推广生态农业技术, 提高农业资源利用效率, 建立适合华北地区水资源生态基础的高效农业生产体系。

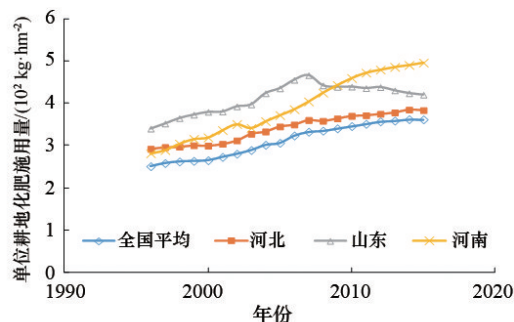


图 2 全国及华北各省单位面积化肥用量变化

Fig. 2 Changes in the amount of fertilizer used in the whole country and the provinces in north China

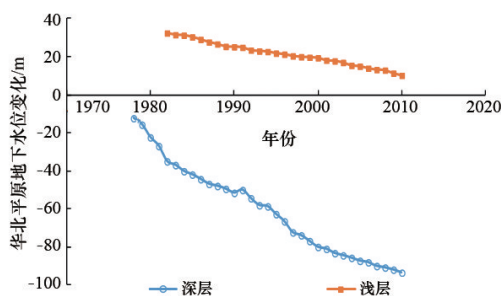


图 3 过去 40 年华北平原地下水位变化

Fig. 3 Groundwater level changes in the north China plain in the past 40 years

### 2.3 南方土壤酸化及土壤污染威胁粮食安全

南方地区是中国水稻主产区,主要包括长江中下游、西南及华南地区的16个省区。尽管随着产业结构调整,南方水稻播种面积呈下降趋势,但南方的稻谷播种面积仍占全国稻谷播种面积的80%以上,南方仍然是种植水稻的重要区域<sup>[28]</sup>。然而,长期以来,不合理的生产活动,导致中国南方土壤酸化和土壤污染现象突出,已经影响水稻的高产、优质、高效及安全生产。

土壤酸化是土壤退化的一种表现方式,土壤酸化后会对植物生长产生直接或间接损害。有研究发现,近20年来,中国主要农田土壤显著酸化,90%的农田土壤都发生了不同程度的酸化现象<sup>[29]</sup>。中国酸性土壤主要分布在长江以南的广大热带和亚热带地区和云贵川等地,面积约为2亿 $\text{hm}^2$ ,主要集中在湖南、江西、附件、浙江、广东、广西、海南等地,大部分土壤的 $\text{pH}$ 值 $<5.5$ ,其中很大一部分 $<5.0$ ,而且面积还在扩大,土壤酸度还在升高<sup>[30]</sup>。土壤酸化能够引起土壤中有毒重金属的活化,不仅影响植物生长,而且能通过食物链危害人体健康。土壤酸化会造成作物生长变慢、茎叶发黄、品质降低、产量下降,据统计,土壤酸化可导致农作物减产20%,甚至更高<sup>[31]</sup>。中国农田的土壤酸化已严重制约中国特别是南方酸性红壤地区农业的可持续发展,因此南方地区土壤酸化现象不容忽视。

随着工业化和城市化的发展,土壤重金属污染也已成为影响中国农业发展与食品安全的一项重大挑战。2013年,广州市食品药品监督管理局查出多批次米及米制品镉超标,而这些大米主要来自湖南,导致只要产地在湖南就无人购买的现象,此次湖南镉大米事件敲响了土壤污染警钟。造成稻谷镉超标的直接原因是土壤重金属污染。中国土壤镉含量的分布随着工业和采矿业的发展会发生区域性变化。调查表明,20世纪90年代之前,中国土壤镉含量呈现西部地区 $>$ 中部地区 $>$ 东部地区,北方地区 $>$ 南方地区<sup>[32-33]</sup>。近年研究表明,中国镉污染已呈现南方地区 $>$ 北方地区的趋势,特别是湖南、广西、贵州等地因镉矿相对丰富,大部分土壤呈现重度镉污染<sup>[34-35]</sup>。

对中国土壤重金属富集状况的研究表明,包括云南、四川在内的西南部地区各种土壤重金属含量普遍较高,其他土壤重金属含量较高的地区为广东省北部与湖南交界和环渤海地区,同时湖北、安徽等地土壤重金属含量偏高<sup>[36]</sup>。农业部农产品污染防治重点实验室

对全国30万 $\text{hm}^2$ 基本农田保护区调查显示,重金属超标率12.1%,粮食重金属超标率10%以上<sup>[37]</sup>。中国南方湖南、广东、广西、福建、浙江等地均存在大米镉超标现象,超标率约在5%~15%,而中国中部及北部地区稻米镉超标现象极少<sup>[35]</sup>。可见,南方地区耕地土壤重金属污染问题非常突出,造成了严重的生态环境影响,威胁到食品安全,土壤重金属污染治理迫在眉睫。

中国南方地处热带、亚热带,土、水、热资源丰富,农业生产和经济发展潜力巨大,针对中国南方地区面临土壤退化和污染问题,必须加大土壤治理及修复力度,倡导农业清洁生产种植理念,调整优化耕作制度,培育土壤肥力,提升南方土壤资源的生产潜力,从而促进整个地区农业的可持续发展。

### 2.4 西北干旱半干旱区农业生产活动加剧生态环境脆弱性

西北地区包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆5个省区,属于干旱半干旱区,土地面积占全国国土总面积的32.3%,而耕地面积为14.48万 $\text{km}^2$ ,占全国总耕地面积的11.57%<sup>[38]</sup>。由于耕地资源相对丰富,西北是中国重要的粮食生产基地之一。1980年西北五省粮食总产1854万t,占全国总产的比重接近6%;到2016年粮食总产达到4355万t,占全国比重7%。可见,西北地区在国家粮食安全中的地位并不十分突出。

由于地处内陆,西北地区干旱少雨,水资源在时空分布上极不均匀,这一方面给经济发展带来困难,另一方面使生态系统处于极为脆弱的状态。大部分地方植被覆盖率较低,植被保持水土、涵养水源和改善生态环境的能力较弱,导致土地荒漠化形势严峻,旱涝、沙尘暴等灾害频发,水土流失严重。根据第5次全国荒漠化和沙漠化监测结果,2014年中国荒漠化和沙漠化土地面积分别为26115.93万 $\text{hm}^2$ 和17211.75万 $\text{hm}^2$ 。荒漠化和沙漠化土地集中分布在西部的新疆、内蒙古、西藏、青海和甘肃5个省区,分别占全国荒漠化和沙化土地面积的95.64%和93.95%<sup>[39]</sup>。西北地区土壤次生盐渍化问题也十分严重。宁夏和新疆的盐渍化耕地曾经分别占其耕地的10.7%和28.7%<sup>[40]</sup>。土地荒漠化、沙化和盐渍化等问题很大程度上是西北地区农业生产活动干扰和影响的结果,后者加剧了原本脆弱的生态环境,使其质量不断恶化。

西部地区是中国大江大河的源头区,一旦生态环境问题加剧,必然影响河流中下游地区乃至中东部地

区的生存环境和社会经济发展。因此,西部是中国生态安全战略格局的重点分布地区。“两屏三带”中最重要的组成部分青藏高原生态屏障、黄土高原—川滇生态屏障和北方防沙带就分布在这一区域。因此西北地区承担着重要的生态屏障功能,对保障中国经济社会可持续发展和美丽中国建设具有重要的作用。

20世纪90年代以来,随着“三北”防护林工程、退耕还林还草工程及生态环境建设工程的实施,西北局部地区生态环境有了显著改善<sup>[41]</sup>,但西部地区生态环境退化的整体形势并未完全扭转。根据环保部发布的《2016年中国环境状况公报》,2016年全国生态环境质量“差”和“较差”区域占32.9%,主要集中在内蒙古西部、甘肃西北部、青藏高原北部和新疆大部地区。因此,加强西部地区尤其是西北地区生态环境建设,维护生态屏障是实现“一带一路”倡议和建设美丽中国的坚实基础。

在水资源短缺的刚性约束下,如何协调生态用水与农业生产发展用水的需求,是西北地区可持续发展长期面临的巨大挑战。在中国粮食总量连年增长,供给平衡且库存充分的新形势下,以生态建设与环境保护为前提的绿色农业发展是符合西北地区生态功能定位和资源禀赋的必然选择,在粮食安全和生态安全之间寻求平衡点是维护并保障西部生态屏障的关键。

### 3 中国农业资源环境问题的区域关联

#### 3.1 “北粮南运”加剧了区域资源配置不平衡的矛盾

中国水资源南多北少,南方水热资源匹配优于北方,农田复种潜力高、单位面积产出高。历史时期,南方地区生产的粮食远远多于北方,形成了“南粮北运”的格局。但是自从改革开放以来,随着工业化发展和产业结构调整,南方地区农业生产规模不断调整,粮食生产减少,“南粮北运”的格局发生重大改变,南方区由原来的粮食净调出转为净调入<sup>[42]</sup>。而北方区与此相反,中国的粮食生产和流通出现了“北粮南运”的大逆转,直至2008年,北方粮食生产已超过南方,全国粮食流通总量约2亿t,而“北粮南运”就占据1/2左右<sup>[43]</sup>。

中国水资源禀赋南多北少。长江流域及其以南地区所拥有的水资源量占全国水资源总量的82%,人口占全国的54%,耕地面积却仅占全国耕地面积的36%。

“北粮南运”新格局与水资源分布的严重错位,加剧了北方的水资源压力。如前文所述,华北平原、三江平原等粮食主产地由于地表水资源不足,不得不超采地下水来维系农业生产,使得地下水位显著下降,进而引发地下水漏斗、地裂缝等一系列生态问题,农业可持续发展受到威胁。

“北粮南运”粮食生产模式对中国的生态环境构成威胁,增加了资源环境成本,加剧了区域间资源配置的冲突与矛盾。东北等北方地区大规模和高强度的粮食种植使当地生态环境严重受损,黑土地土壤肥力下降、土壤有机质含量降低;华北地区地下水位下降,水环境恶化。西北地区部分区域退林退草土地复垦,增加粮食种植面积,使原本好转的生态环境又趋恶化。

鉴于此,压缩“北粮南运”规模,基于水资源承载力,实施南方地区粮食生产恢复与扩大的区域再平衡战略,有助于破解中国农业发展中的资源环境矛盾与冲突。

#### 3.2 南水北调解决北方地区农业生产用水的支撑能力有限

为缓解北方地区的水资源压力,中国从2002年开始实施南水北调工程,规划南水北调工程的东、中、西线完工后,到2050年调水总规模为448亿 $\text{m}^3$ ,建成后直接用于农业灌溉的水量约占40%(180亿 $\text{m}^3$ )<sup>[44]</sup>。有研究表明,南水北调工程实施以来,通过地下水开采调整,重点控制区内的浅层地下水中心漏斗水位有不同程度回升,石家庄漏斗年均水位上升速率2.1  $\text{m/a}$ ;深层地下水漏斗影响范围也有显著缩小,德州水位回升年均上升,速率为(0.8~1.5)  $\text{m/a}$ <sup>[45]</sup>。从目前南水北调工程运行情况来看,每年中国南方地区向北方地区调入水量约为170亿 $\text{m}^3$ ,其中农业生产用水达50亿 $\text{m}^3$ <sup>[46]</sup>。实际上,根据不完全统计,2011年“北粮南运”中隐含的水资源输出量高达752亿 $\text{m}^3$ ,高于“南水北调”东线、中线、西线满负荷的运行量总和(480亿 $\text{m}^3$ )。与此同时,南水北调工程投资大,周期长,受水区终端水价普遍高于4元/ $\text{m}^3$ ,农业生产无法承担如此高的水资源成本。显然,南水北调工程来水支撑中国北方地区农业生产的水资源需求能力非常有限。因此,北方地区农业发展长期面临的水资源匮乏问题,需要依靠提高水资源利用效率的技术进步和改变农业种植结构的生态化管理解决。

## 4 中国农业资源利用与环境保护的建议

中国农业发展过程中出现的区域性资源环境问题是粗放的农业生产模式、农产品刚性需求压力及区域经济发展差异等要素共同作用下形成的,这些问题的存在对中国农业生产的可持续性 & 食物安全产生了巨大风险。中国粮食迫切需要针对新形势和新需求,通过供给侧结构性改革、转变农业发展方式加以破解。

### 4.1 抓住农业发展战略调整窗口期缓解农业资源环境压力

目前,中国粮食生产呈现生产量、库存量和进口量“三量齐增”的局面,这是中国粮食供需失衡的集中表现,也是过去几十年农业发展尤其是粮食生产积累的多层次结构性矛盾的体现,需要通过“调结构、减库存、去杠杆、补短板”等供给侧改革加以解决。充分利用近年来粮食生产和食物供给的积累优势,主动进行策略性的农产品生产规模、生产结构和生产品种的调整与缩减,以营养健康为导向,以食物整体安全为目标,促进农产品生产向市场需求量大且绿色健康的方向发展。在种植条件差、尤其水资源短缺的区域实行退耕和休耕等保护性措施,以有效缓解农业资源环境压力,推进中国农田生态环境的逐步修复与改善。

### 4.2 因地制宜规划与制定管理策略,促进农业生产区域布局更趋合理

目前,中国粮食生产重心的北进西迁加剧了中国农业生产与水资源错位分布的局面,导致包括华北、东北和西北地区在内的广大北方地区地下水资源过度开采,水资源短缺问题愈加突出,最终将使“北粮南运”局面难以持久,危及粮食安全。因此,需要因地制宜制定农业生产和资源环境保护政策。在北方缺水地区设立地下水开采保护红线,禁止无限制的地下水开采活动。同时在西北地区,加大生态环境建设补贴力度,鼓励在不宜耕种的地方进行生态林草建设。通过不同的管理措施和补贴政策,缓解并逐步解决北方地区因地下水资源过度开采引发的生态环境问题。在水资源丰富的南方地区,制定补贴政策,提高农业从事种植业的积极性,鼓励开展与水热条件相匹配的农业种植活动,从而形成与中国资源禀赋相协调的农业生产格局。

### 4.3 系统推进环境污染治理,促进农业生态环境改善

针对中国水环境和土壤环境污染加剧,农业生态

系统服务功能退化明显等突出问题,系统设计环境污染治理顶层方案,全面有序推进山水林田湖草综合整治。加强水环境污染源头治理。引导农民施用有机肥、种植绿肥、沼渣沼液还田等方式减少化肥使用,积极推广高效低风险农药,采用种养结合的模式处理利用畜禽粪污,减低面源污染。在南方土壤污染严重区加强重金属污染源头防治,系统开展污染土壤治理。根据不同污染类型和污染程度,选育推广低积累品种、改种非食用作物或强化休耕等管理措施。在北方生态严重退化区和地下水漏斗区开展环境修复型、生态保护型和恢复平衡型土地休耕技术措施,促进农业生态环境的修复与健康。

### 4.4 继续实施农业资源利用的全球战略

经济全球化进程不可逆转,并将推动开放性世界粮食市场的形成与完善;“一带一路”倡议使中国地缘影响力持续增强,为中国统筹利用国内外2个市场、2种资源提供了广阔的空间和保障。过去长期高强度的农业资源环境透支利用,使得中国农业生产负重前行。抓住全球化的战略机遇,就能充分利用国际市场和全球农业资源,促进国际国内资源的合理流通和有效配置,保障中国农产品的有效供给。同时,可为减少中国水资源和耕地资源等稀缺性资源消耗、农业生态环境的休养生息提供时间和空间。

## 5 结论

长期高投入、高消耗、高排放和高污染的农业生产方式已经使中国付出了农业资源环境的沉重代价。水土资源刚性约束日趋增大,生态环境问题不断凸显,区域性农业资源环境问题尤其突出:东北地区水田面积持续扩大造成地下水位下降,原有湿地生态系统遭到破坏,必须警惕东北重蹈华北平原地下水超采的覆辙;华北平原为保障发展农业长期过度投入化肥农药,地下水过度开采情况尤为严重,使得区域水资源短缺状况不断恶化,亟待采取有效措施改变这一状况;南方地区土壤酸化和重金属污染现象较为普遍,并且已经对食物安全带来隐患;西北地区的农业生产活动加剧了原本脆弱的生态环境,要维护西部地区的生态屏障功能必须坚持继续退耕还林还草,减少不必要的农业生产活动。总体来看,目前中国北粮南运的粮食生产格

局加剧了水土资源的区域不平衡,而南水北调工程无法从根本上缓解北方地区水资源短缺的局面,将使北粮南运的生产格局难以长期维持,危及国家粮食安全。

针对上述问题,需要采取以下主要措施:充分利用近年来粮食生产和食物供给的积累优势,主动进行策略性的农产品生产规模缩减,在缓解农业资源环境压力的同时,为农田生态环境的修复与改善提供时间和空间。根据南北方和东西部的资源环境禀赋及其优劣势制定农业发展与生态环境保护管理规划,促进农业生产布局更有利于区域水土资源优化配置;积极推进农业环境污染治理和生态环境综合整治,充分利用国际农业资源,实现中国农业资源环境的可持续利用。

### 参考文献(References)

- [1] 李文华, 成升魁, 梅旭荣, 等. 中国农业资源与环境可持续发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2016, 18(1): 56-64.  
Li Wenhua, Cheng Shengkui, Mei Xurong, et al. Study on strategies for the sustainable development of China's agricultural resources and environment[J]. Engineering Sciences, 2016, 18(1): 56-64.
- [2] 夏军, 石卫. 变化环境下中国水安全问题研究与展望[J]. 水利学报, 2016, 47(3): 292-302.  
Xia Jun, Shi Wei. Perspective on water security issue of changing environment in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(3): 292-302.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.  
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistical Press, 2016.
- [4] 杨林章, 冯彦房, 施卫明, 等. 我国农业面源污染治理技术研究进展[J]. 中国农业生态学报, 2013, 21(1): 96-101.  
Yang Linzhang, Feng Yanfang, Shi Weiming, et al. Review of the advances and development trends in agricultural non-point source pollution control in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 96-101.
- [5] 周浩, 雷国平, 张博, 等. 1990—2013年挠力河流域耕地变化下水土资源平衡效应分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 272-280.  
Zhou Hao, Lei Guoping, Zhang Bo, et al. Farmland change induced land and water resource balance in Naoli River Basin from 1990 to 2013[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(1): 272-280.
- [6] 沈彦俊. “华北平原地下水与农业可持续性”专辑-发刊词[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 873-874.  
Shen Yanjun. "Groundwater and agricultural sustainability in the North China Plain" Album: Issue word[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(8): 873-874.
- [7] 任家民. 三江平原农业开发利用地下水中存在的问题与保护措施[J]. 民营科技, 2016(5): 208.  
Ren Jiamin. Problems in the development and utilization of groundwater in agriculture in the Sanjiang Plain safeguard[J]. Private Technology, 2016(5): 208.
- [8] 姜秋香, 付强, 王子龙, 等. 三江平原水土资源空间匹配格局[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 270-277.  
Jiang Qiuxiang, Fu Qiang, Wang Zilong, et al. Spatial matching patterns of land and water resources in Sanjiang Plain[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(2): 270-277.
- [9] 章光新. 东北粮食主产区水安全与湿地生态安全保障的对策[J]. 中国水利, 2012(15): 9-11.  
Zhang Guangxin. Measures for securing water safety of main grain production base and wetland ecological safety in North-east China[J]. China Water Resources, 2012(15): 9-11.
- [10] 高广志, 孙英威. 昔日为增收纷纷“旱改水” 今朝水失衡无奈重改旱[EB/OL]. (2003-06-23) [2018-01-02]. [http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/201702/t20170212\\_827916.html](http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/201702/t20170212_827916.html).  
Gao Guangzhi, Sun Yingwei. In the past, in order to increase income, the "drought-to-water" water balance has become more reckless[EB/OL]. (2003-06-23) [2018-01-02]. [http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/201702/t20170212\\_827916.html](http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/201702/t20170212_827916.html).
- [11] 周冉. 华北地区主要作物施肥的资源环境影响评价[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.  
Zhou Ran. Life cycle environmental impacts of fertilization in wheat, maize and vegetables production in North China Plain[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012.
- [12] 费宇红, 张兆吉, 张凤娥, 等. 气候变化和人类活动对华北平原水资源影响分析[J]. 地球学报, 2007, 28(6): 567-571.  
Fei Yuhong, Zhang Zhaoji, Zhang Feng'e, et al. An analysis of the influence of human activity and climate change on water resources of the North China Plain[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28(6): 567-571.
- [13] 张光辉, 费宇红, 张行南, 等. 滹沱河流域平原区地下水流场异常变化与原因[J]. 水利学报, 2008, 39(6): 747-752.  
Zhang Guanghui, Fei Yuhong, Zhang Xingnan, et al. Abnormal variation of groundwater flow field in plain area of Hutuo River basin and analysis on its cause[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(6): 747-752.
- [14] 张光辉, 费宇红, 严明疆, 等. 灌溉农田节水增产对地下水开采量影响研究[J]. 水科学进展, 2009, 19(3): 350-355.  
Zhang Guanghui, Fei Yuhong, Yan Mingjiang, et al. Impact of irrigating farmland increase production with water save on groundwater exploitation[J]. Advances in Water Science, 2009, 19(3): 350-355.
- [15] 张兆吉, 费宇红, 陈宗宇, 等. 华北平原地下水可持续利用调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 48-49.  
Zhang Zhaoji, Fei Yuhong, Chen Zongyu, et al. Survey and evaluation of groundwater sustainable utilization in North China Plain[M]. Beijing: Geological Press, 2009: 48-49.
- [16] 张宗祜, 施德鸿, 沈照理, 等. 人类活动影响下华北平原地下水环境演化与发展[J]. 地球学报, 1997, 18(4): 291-294.

- Zhang Zonghu, Shi Dehong, Shen Zhaoli, et al. Evolution and development of groundwater environment in North China Plain under human activities[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1997, 18(4): 291-294.
- [17] 张福锁, 江荣风, 杨相东, 等. 缓/控释肥料发展中的问题及对策[J]. *中国农资*, 2005(10): 51-52.
- Zhang Fusuo, Jiang Rongfeng, Yang Xiangdong, et al. Problems in development of slow/controlled release fertilizers and countermeasures[J]. *Chinese Agricultural Resources*, 2005 (10): 51-52.
- [18] 潘家荣, 巨晓棠. 高肥力土壤冬小麦/夏玉米轮作体系中化肥氮去向研究[J]. *核农学报*, 2001, 15(4): 207-212.
- Pan Jiarong, Ju Xiaotang. Fate of fertilizer N in winter wheat/summer maize rotation system on high-fertility soil[J]. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2001, 15(4): 207-212.
- [19] 陈新平, 张福锁. 小麦-玉米轮作体系养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- Chen Xinping, Zhang Fusuo. Theory and practice of integrated management of nutrient resources in wheat-maize rotation system[M]. Beijing: Agricultural University of China Press, 2006.
- [20] 杨治平, 陈明昌, 张强, 等. 不同施氮措施对保护地黄瓜养分利用效率及土壤氮素淋失影响[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 57-60.
- Yang Zhiping, Chen Mingchang, Zhang Qiang, et al. Effects of different fertilizer measurement on nutrient utilization in cucumber and nitrate leaching loss from soil in greenhouse[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2): 57-60.
- [21] Gleeson T, Wada Y, Bierkens M F P, et al. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint[J]. *Nature*, 2012, 488(7410): 197-200.
- [22] Chen J Y, Tang C Y, Shen Y J, et al. Use of water balance calculation and tritium to examine the dropdown of groundwater table in the piedmont of the North China Plain[J]. *Environmental Geology*, 2003, 44(5): 564-571.
- [23] 张光辉, 刘中培, 费宇红, 等. 华北平原区域水资源特征与作物布局结构适应性研究[J]. *地球学报*, 2010, 31(2): 17-22.
- Zhang Guanghui, Liu Zhongpei, Fei Yuhong, et al. The Relationship between the distribution of irrigated crops and the supply capability of regional water resources in North China Plain[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(2): 17-22.
- [24] 杨丽芝, 曲万龙, 刘春华. 华北平原地下水资源功能衰退与恢复途径研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(7): 8-17.
- Yang Lizhi, Qu Wanlong, Liu Chunhua. Research on the groundwater resource-function decline and sustainable exploitation[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(7): 8-17.
- [25] 刘海若. 井灌区典型区域地下水位时空分布及对灌溉用水响应分析[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2017.
- Liu Hairuo. Spatiotemporal variability of groundwater level and response of irrigation water in typical area of well irrigation[D]. Beijing: China Institute of Water Resources & Hydro-power Research, 2017.
- [26] 许月卿. 土地利用对地下水位下降的影响——以河北平原为例[J]. *地理研究*, 2005, 24(2): 222-228.
- Xu Yueqing. Impact analysis of land use on groundwater level drawdown: A case study of the Hebei Plain[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(2): 222-228.
- [27] Pan Y, Yu Z R, Holst J, et al. Integrated assessment of cropping patterns under different policy scenarios in Quzhou County, North China Plain[J]. *Land Use Policy*, 2014, 40: 131-139.
- [28] 徐春春, 孙丽娟, 周锡跃, 等. 我国南方水稻生产变化和特点及稳定发展的政策建议[J]. *农业现代化研究*, 2013, 34(2): 129-132.
- Xu Chunchun, Sun Lijuan, Zhou Xiyue, et al. Characteristics of rice production in south china and policy proposals for its steady development[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2013, 34(2): 129-132.
- [29] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [30] 余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. *土壤学报*, 2006, 43(4): 571-576.
- Yu Haiying, Li Yanxuan, Zhou Jianmin. Salt in typical greenhouse soil profiles and its potential environmental effects[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(4): 571-576.
- [31] 张喜林, 周宝库, 孙磊, 等. 长期施用化肥和有机肥料对黑土酸度的影响研究[J]. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1221-1223.
- Zhang Xilin, Zhou Baoku, Sun Lei, et al. Black soil acidity as affected by applying fertilizer and manure[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(5): 1221-1223.
- [32] 魏复盛, 陈静生, 吴燕玉, 等. 中国土壤环境背景值研究[J]. *环境科学*, 1991, 12(4): 12-19.
- Wei Fusheng, Chen Jingsheng, Wu Yanyu, et al. Study on the background contents on 61 elements of soils in China[J]. *Environmental Science*, 1991, 12(4): 12-19.
- [33] 王云, 魏复盛. 土壤环境元素化学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- Wang Yun, Wei Fusheng. Soil environmental element chemistry[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1996.
- [34] 袁珊珊, 肖细元, 郭朝晖. 中国镉矿的区域分布及土壤镉污染风险分析[J]. *环境污染与防治*, 2012, 34(6): 51-56.
- Yuan Shanshan, Xiao Xiuyan, Guo Zhaohui. Regional distribution of cadmium minerals and risk assessment for potential cadmium pollution of soil in China[J]. *Environmental Pollution and Prevention*, 2012, 34(6): 51-56.
- [35] 魏益民, 魏帅, 郭波莉, 等. 含镉稻米的分布及治理技术概述[J]. *食品科学技术学报*, 2013, 31(2): 1-6.
- Wei Yimin, Wei Shuai, Guo Boli, et al. Cadmium contamination in rice and cadmium control technology[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 31(2): 1-6.
- [36] 张小敏, 张秀英, 钟太洋, 等. 中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J]. *环境科学*, 2014, 35(2): 692-704.

- Zhang Xiaomin, Zhang Xiuying, Zhong Taiyang, et al. Spatial distribution and accumulation of heavy metal in arable land soil of China[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(2): 692-704.
- [37] 周启星, 宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- Zhou Qixing, Song Yufang. Principles and methods of remediation of contaminated soil[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [38] 王凤娇, 杨延征, 上官周平. 西北五省(区)耕地质量等别差异性比较[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(2): 230-236.
- Wang Fengjiao, Yang Yanzheng, Shangguan Zhouping, et al. Comparisons on variations in qualities of arable lands in northwestern China[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(2): 230-236.
- [39] 屠志方, 李梦先, 孙涛. 第五次全国荒漠化和沙化监测结果及分析[J]. *林业资源管理*, 2016(1): 1-6.
- Tu Zhifang, Li Mengxian, Sun Tao. Status and trend analysis of desertification and sandification[J]. *Forest Resources Management*, 2016(1): 1-6.
- [40] 李福兴. 我国西部地区耕地退化现状及其防治对策[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 1-5.
- Li Fuxing. Degenerative reality and controlling countermeasure of cultivated land in west region of China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 1-5.
- [41] 张翀, 任志远. 黄土高原地区植被覆盖变化的时空差异及未来趋势[J]. *资源科学*, 2011, 33(11): 2143-2149.
- Zhang Chong, Ren Zhiyuan. Temporal and spatial differences and its trends in vegetation cover change over the Loess Plateau[J]. *Resource Science*, 2011, 33(11): 2143-2149.
- [42] 鲁奇, 吕鸣伦. 五十年代以来我国粮食生产地域格局变化趋势及原因初探[J]. *地理科学进展*, 1997, 16(1): 31-36.
- Lu Qi, Lv Minglun. Trends and basic causes of the regional pattern changes in China's grain production since 1950's[J]. *Progress in Geography*, 1997, 16(1): 31-36.
- [43] 王玉斌, 陈慧萍, 谭向勇. 我国南北方粮食产量波动与调运格局变化特征分析[J]. *农村经营管理*, 2006(5): 27-29.
- Wang Yubin, Chen Huiping, Tan Xiangyong. Analysis on the change of grain production and the change of transport pattern in North and South of China[J]. *Management and Administration on Rural Cooperative*, 2006(5): 27-29.
- [44] 李建云, 王汉杰. 南水北调大面积农业灌溉的区域气候效应研究[J]. *水科学进展*, 2009, 20(3): 343-350.
- Li Jianyun, Wang Hanjie. Regional climate effects of large-scale agricultural irrigation related to South-to-North Water Transfer Project in China[J]. *Advances in Water Science*, 2009, 20(3): 343-350.
- [45] 崔亚莉, 王亚斌, 邵景力, 等. 南水北调实施后华北平原地下水调控研究[J]. *资源科学*, 2009, 31(3): 382-387.
- Cui Yali, Wang Yabin, Shao Jingli, et al. Research on groundwater regulation and recovery in North China Plain after the implementation of South-to-North water transfer[J]. *Resources Science*, 2009, 31(3): 382-387.
- [46] 吴普特, 赵西宁, 操信春, 等. 中国“农业北水南调虚拟工程”现状及思考[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 1-6.
- Wu Pute, Zhao Xining, Cao Xinchun, et al. Status and thoughts of Chinese "agricultural north-to-south water diversion virtual engineering"[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(6): 1-6.

## Problems and suggestions for agricultural resource and environment of China

CHENG Shengkui<sup>1</sup>, LU Chunxia<sup>1,2</sup>, GUO Jinhua<sup>1</sup>, LIU Litao<sup>1</sup>, XU Zengrang<sup>1</sup>, HUANG Shaolin<sup>1</sup>

1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract** The agricultural resource and environment is the material basis to guarantee food supply. Since the reform and opening up, China's agricultural production has increased rapidly with the development of land contract system and market economy. Agricultural production scale and product diversification have reached unprecedented levels. However, the rapid development of agricultural production has paid a great resource and environmental cost. This paper mainly analyzes the agricultural resource and environment problems at a regional scale. Firstly, due to the area increase of the dry land turning into paddy field in the northeast China, the water irrigation has caused the water table to decrease continuously as well as the negative ecological impact. Secondly, because of large amount of input such as water resources and fertilizer in the agricultural production of the north China plain the groundwater level declines and water environment pollution occurs. Thirdly, in the context of the rapid development of industrialization and urbanization, the soil acidification and heavy metal pollution in the south China are prominent in recent years, which has impacted food safety. Fourthly, the relationship between ecological barrier maintenance and grain production in arid and semi-arid regions of northwest China is discussed. Finally, some suggestions are put forward to strengthen the sustainable utilization of agricultural resources and environment.

**Keywords** agricultural resources; ecological environment; regional differentiation ●



(责任编辑 王志敏)