中国乡村生态环境污染现状及重构策略

王永生^{1,2}, 刘彦随^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院精准扶贫评估研究中心, 北京 100101)

摘要:城乡发展转型进程中的乡村生态环境问题日益突出,已经影响到乡村的生产发展和居民的日常生活。本文梳理了乡村生态环境污染的来源和特点,并从资源、生产和生活方面提出了乡村生态环境的重构策略。主要结论为:①资源利用不当、生产活动加强和生活方式改变造成的污染是乡村土地污损化、水体污染化和空气污浊化的主要原因;②乡村生态环境污染具有来源分散多样、排放随机不均和治理局部低效的特点;③通过资源利用的高效化、生产过程的清洁化和生活方式的集聚化进行乡村生态环境的重构,最终实现乡村地区生产发展、生活富裕和生态良好的目标。

关键词:城乡发展转型;乡村生态环境污染;资源利用;重构策略

1 引言

1978年改革开放以来,工业化与城市化的快速发展,促使农村产业结构、就业结构和农业生产方式等发生巨大变化,中国乡村发展步入转型升级的新阶段(刘彦随, 2007),乡村地区的空间格局发生了明显的重构(Long et al, 2011),社会经济被重新塑造,乡村地域的生产功能、生活功能、生态功能和文化功能也不断发生演化(龙花楼等, 2017)。生态空间是具有重要生态功能,能为生活空间和生产空间提供生态服务和生态防护的功能区域。乡村生态环境包括资源环境、生产环境和生活环境,三者相互作用、相互影响,资源是生产和生活的基础,生产和生活行为影响自然环境。近年来,伴随着城镇化发展而产生的农业生产要素高速非农化、农村社会主体过快老弱化、村庄建设用地日益空废化、农村水土环境严重污损化以及乡村贫困片区深度贫困化等乡村衰退问题却日益凸显,亟需重视并推进乡村振兴(Liu et al, 2017),而生态环境的改善是实施乡村振兴战略的重要组成部分。党的十九大报告中提出“实施乡村振兴战略”,按照“生态宜居”的要

求,推进农村生产、生活方式的生态化、绿色化,改变过往重视工业和城市污染防治,忽视农业、农村污染防治的现状,加强农村人居环境和生态环境整治,实现城乡污染治理并重。2018年中共中央办公厅、国务院办公厅印发《农村人居环境整治三年行动方案》指出,改善农村环境,建设美丽宜居乡村,是实施乡村振兴战略的重要任务,要推进农村生活垃圾和生活污水处理、开展厕所粪污治理、提升村容村貌、加强村庄规划管理、完善建设和管护机制。

中国城镇化率从1978年的17.9%上升到2016年的57.4%,城镇化的快速推进带来了社会经济的繁荣与物质文明的提升,助推乡村发展转型和空间重构的升级。城镇化是一种强烈的地表人类活动,引起乡村土地利用剧烈变化,乡村生产和生活空间发生巨大变化(龙花楼, 2013),外加资源环境的大量消耗,致使乡村生态环境质量日趋恶化(Tan et al, 2016)。农村空心化,农村宅基地“建新不拆旧”,农户兼业与人地分离,导致村庄用地闲置废弃,土地撂荒与废弃(刘彦随等, 2009; 刘彦随, 2015)。乡村生产活动及生活方式的改变影响农村水土环境,农业生产强度不断加大,化肥农药过量施用,乡镇企

收稿日期:2017-12-14;修订日期:2018-03-06。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41731286);国家自然科学基金项目(41471143) [Foundation: Key Program of the National Natural Science Foundation of China, No.41731286; National Natural Science Foundation of China, No.41471143]。

作者简介:王永生(1985-),山东潍坊人,助理研究员,主要从事土地工程与现代农业研究, E-mail: wangys@igsnrr.ac.cn。

引用格式:王永生, 刘彦随. 2018. 中国乡村生态环境污染现状及重构策略[J]. 地理科学进展, 37(5): 710-717. [Wang Y S, Liu Y S. 2018. Pollution and restructuring strategies of rural ecological environment in China[J]. Progress in Geography, 37(5): 710-717.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.05.014

业与乡村畜禽养殖业的大量兴起及污染处理不当;生活污水和生活垃圾的大量排放与随意丢弃,导致乡村区域河流水库水质不断下降,土壤污染与土地退化,大量农地绝产减收,居民身体健康受到严重损害(Tilt, 2013; 李玉恒等, 2013)。同时,乡村空间形态呈现生活空间分散化、生产空间无序化、生态空间污损化的态势(龙花楼等, 2017)。因此,需要结合当前乡村的生产和生活现状,对乡村生态环境进行重构,为乡村产业发展提供清洁的生产空间,为农村居民提供健康生态的生活空间。

研究发现,1990-2015年间,中国乡村生态环境压力逐年增大,生态环境质量总体呈现恶化趋势(梁流涛, 2009; 王晓君等, 2017),并随着产业转移和企业搬迁,不断向中西部地区扩散(刘彦随, 2015)。造成乡村生态环境问题的直接原因有农业生产过程自身带来的污染、乡村工业污染以及城市污染向乡村的转移(梁流涛, 2009; 余之祥, 2015)、政策法规的欠缺及资金投入的不足(Tilt, 2013)。此外,乡村工业分散性、经济利益优先和环保意识的欠缺是造成乡村工业污染的重要原因(Wang et al, 2008)。因此,乡村的生态环境污染主要包括农业生产和畜禽养殖造成的面源污染,工业活动和居民生活引起的点源污染。近年,围绕乡村生态环境问题开展了大量研究,如杨林章,施卫明等(2013)总结提炼了农村面源污染的源头减量、过程阻断、养分再利用和生态修复的“4R”理论,并通过工程实践加以应用证明。但多数研究集中于生产或者生活的单一角度,缺少围绕“生产—生活—生态”空间(“三生空间”),对乡村生态环境问题进行整体的剖析与优化。本文分析了乡村污染物的来源和特点,以“生产—生活—生态”为核心,提出了乡村生态环境治理与空间重构的策略。

2 乡村生态环境污染的来源

由于乡村区域经济增长方式的粗放,地方经济利益的驱动以及对生态环境价值的忽视等,乡村的发展在很大程度上是靠牺牲生态与资源环境为代价而取得的。资源环境为人类的生产生活提供自然资源,反过来人类在生产与生活中对资源的不合理利用,又会对自然环境产生破坏与污染。乡村生态环境质量的变化,主要包括在资源利用过程中水土资源在数量和质量上的变化引起的生态服务功

能的变化(梁流涛, 2009),生产活动的加强及生活方式的改变对水土环境和大气环境的影响等。因此,本文将从资源利用、生产活动和生活方式方面,探讨乡村区域土地污损化、水体污染化和空气污浊化的原因(图1)。

2.1 资源利用

在城镇化进程中,劳动力、资源及产品等要素的相互流动与聚集,导致城乡间水土等资源环境变化(Li, 2012),开发区、工业园、大学新区的大量建设,使优质耕地资源被挤占(余之祥, 2015)。其次,随着城镇就业机会和收入的增加,农业生产成本的提高和农业收入的降低,农村人口逐渐向非农化转移,导致农村空心化,宅基地闲置空废与土地撂荒等问题(刘彦随, 2015; Wang et al, 2016)。总的来说,土地资源破坏和污损,使土地质量不断下降;农村住宅的分散布局与废弃院落的破败荒芜破坏乡村景观。从水资源方面来看,中国人均水资源占有量低,但水资源浪费、水资源利用效率低下及污染问题严重,导致水资源危机和生态环境质量下降。中国农业灌溉利用系数仅有0.3~0.4,工业万元产值用水量是发达国家的10~20倍,而且重复利用率低,生活用水跑、冒、滴、漏损失率为15%~20%;农业与工业生产、居民生活引起水质污染问题严重(张利平等, 2009)。矿产资源是工农业的物质基础,由于开采力度不断加大,导致矿山开采对土地和生态环境造成了严重的破坏。地形地貌与景观破碎化,极易诱发泥石流、荒漠化等次生环境灾害;矿山废弃土地的质量低下,重金属离子污染土壤,进入食物链后对人体造成严重危害(Li, 2006)。乡村地区的秸秆资源丰富,但资源化利用率较低,大部分农作物秸秆直接焚烧,不仅造成氮、磷、钾等营养元素的资源浪费,而且焚烧产生大量气态污染物(CO、SO₂、

图1 乡村生态环境污染的主要来源
Fig.1 Main sources of rural environmental pollution

NO_x等)及颗粒物,容易引起大面积的空气污染(Cao et al, 2008)。

2.2 生产活动

农村支持城市、农业支持工业的发展方式,使得乡村成为城市与工业发展的主要资源和原产品的供给地(李玉恒等, 2013)。农业、畜牧业、水产养殖业等生产活动的加强,加重了乡村区域的生态环境压力(图1)。为提升土地产出率,农民过量使用肥料和农药等生产资料,2014年中国化肥施用总强度为333.7 kg hm⁻²(刘钦普, 2014),显著高于国家环保部门制定的生态县和生态乡镇化肥施用强度250 kg hm⁻²的常量标准。多余的肥料和农药随降水或灌溉,通过农田地表径流、农田排水和地下渗透进入附近水体,引起水体污染(Chen et al, 2014)。畜禽养殖业作为乡村经济的支柱产业,养殖规模和粪便污染物质产生量不断增加。目前,因畜禽养殖引起的单位耕地面积的氮污染平均负荷已达138.13 kg hm⁻²,通过堆积处直接下渗或农田施肥后间接流失,造成水体严重富营养化(杨飞等, 2013)。为满足水产品的需求,水产养殖密度超过了水体容量,大量的残剩饵料、肥料和生物代谢产物累积,降低了水体的自净能力,排出后导致周边水域氮磷负荷加重(吴伟等, 2014)。第一次全国污染源普查资料显示,农业生产(含禽畜养殖业、水产养殖业与种植业)排放的氮、磷和化学需氧量等主要污染物质,已远超过工业与生活源,成为污染源之首(杨林章, 冯彦房等, 2013)。此外,随着城市环保政策法规的逐渐加强,一些耗能高、污染重的企业转移到乡村地区,工业的废弃物或垃圾也排放到乡村地区,使得部分乡村区域环境质量低于一线城市中心,“地方病”及“癌症村”问题突出(Tilt, 2013; 李玉恒等, 2013)。

2.3 生活方式

随着农村发展、农业生产和农民生活水平的升级,农村的生活方式发生变化,生活垃圾、生活污水、旱厕粪水的持续增长及排放不当等问题受到广泛关注(图1)。调查结果显示,2011年中国农村生活垃圾产生量约为2亿吨,超过660个城市生活垃圾处理的总和(He, 2012)。乡村地区生活垃圾的主要来源包括餐饮垃圾、日常消费产生的包装物和残余物、淘汰的生活用品,清扫产生的垃圾以及农业生产垃圾,中国农村人均生活垃圾产生率为0.034~3.000 kg d⁻¹,总体上呈现北方高于南方、东部高于西部的特点(韩智勇等, 2017)。基于全国26省的农村

调研结果显示,75.9%的村落受到了不同程度的污染,生活污染对农村环境的影响最大(唐丽霞等, 2008)。农村生活污水主要来源于居民日常生活(厨房、生活洗涤和冲洗厕所)产生的污水。厨房刷锅、洗碗洗菜等产生的污水含有动植物脂肪、醋酸、碘、钠、氯等有机元素,使用洗衣粉、肥皂、洗发水等洗涤剂进行洗涤产生的污水中含磷等化学元素,排放后加重土壤和水环境的负担。农村旱厕以及厕所改造后缺少相应的处理设施,粪水中的细菌、寄生虫卵、氮磷等对乡村水质、土壤和空气产生污染。

3 乡村生态环境污染的特点

中国乡村生态环境污染形势严峻,污染类型多样,总的特点为面源污染与点源污染并存,生活污染和生产污染叠加,工业与城市等外源性污染不断向乡村地区转移,而且乡村环境治理的资金投入与技术水平低下,严重威胁乡村的可持续发展(Chen et al, 2014; Norse et al, 2015)。中国农村发展具有明显的地域特征差异,农村生态环境保护及资源可持续利用与经济发展水平脱节,总体来看,东部沿海地区和南部地区农村整体环境污染程度高于西部和北部地区。农业面源污染主要分布在以农作物种植为主的农村和以蔬菜瓜果生产为主的城市郊区,在空间上以华北和中部地区为核心,污染程度向外辐射递减,长江三角洲地区和东南沿海地区农业高度集约化发展,是高排放强度区(陈敏鹏等, 2006)。畜禽养殖造成的水污染和空气污染,主要分布在城郊及乡镇附近的集中养殖区域,四川、河南和山东是畜禽养殖的污染防控重点省份(王军霞等, 2017)。农村生活垃圾是所有农村人口聚集区的主要污染物,产生率呈现北方高于南方、东部高于西部的特点(韩智勇等, 2017)。工业三废污染主要产生在经济发展较快的城郊和乡镇。乡村生态环境系统具有综合性和复杂性,本文通过对乡村污染来源、排放以及治理特点的综述,为乡村生态环境重构提供理论支撑。

3.1 来源分散多样

中国农村污染来源分散多样,大致分为农村本地污染源和城乡异地污染源。本地污染源来源包括生活和生产两大类污染来源。生活污染主要为日常餐饮产生的过剩食材及厨房洗刷污水,家庭日常生活必需品的包装及残余淘汰物品,生活洗涤污

水及厕所冲洗的粪水等(韩智勇等, 2017),但因乡村地区人口聚居分散,排水管网缺失,生活污水排放分散、收集困难(顾霖等, 2016)。生产污染包括农业生产过程产生的农膜、化肥农药包装袋(瓶),作物秸秆,畜禽养殖粪便及冲刷圈舍产生的污水,农药化肥过量使用引起水体富营养化,乡村企业产生的工业污水等(李玉恒等, 2013; 杨林章, 施卫明等, 2013)。其次,生活垃圾组分随区域经济发展水平、燃料结构、以及居民生活习惯等不断变化(韩智勇等, 2017)。异地污染源主要为城乡区域的高能耗、重污染、难治理的企业所产生的,由于农村地区环境管理的薄弱,将生产部分转移到乡村地区,或是将工业废弃物和垃圾未作处理而丢弃或排放到乡村地区,加剧乡村生态恶化的趋势(李玉恒等, 2013)。从污染物的成分和属性来看,乡村生活垃圾成分多样复杂,包括厨余类、灰土类、橡塑类和纸类。从污染物的基本属性来看,农村污染物包括生物类(生物废弃物、粪便、秸秆等)、无机类(氮、磷、铜等)、有机类(氨氮、二甲苯等)和有毒类(多氯联苯、有机氯、多环芳烃等)(徐亦钢等, 2006)。

3.2 排放随机不均

乡村污染排放过程具有明显的随机性和异质性。尤其是面源污染,与降雨等气象事件密切相关,污染物在进入水体之前的迁移路线千差万别,使扩散、汇流和分流过程具备较大的空间异质性,而且土地利用状况、地形地貌、水文特征、气候、土壤类型等存在差异,使发生时间、发生源、污染物浓度等存在不确定性,导致面源污染的时空分布随机和不均(杨林章, 施卫明等, 2013)。此外,农户的生活用水习惯、施肥打药方法、畜禽养殖管理等行为都存在主观意愿上的差异。研究表明,在生产经营过程中,农户的劳动力投入行为、文化程度、经营规模、投资行为以及经营组织行为对农村生态环境中的农业面源污染及农村水质污染影响较大(Hu, 1997; 侯俊东等, 2012)。农村生活污水的排放虽具有一定的规律性,上午、中午、下午为农村生活污水的排放高峰,春夏季由于家禽饲养和各种种植活动,相对的排水量会多于秋冬季节。但不同区域的乡村由于经济发展水平、居民生活习惯、文化背景及水文等自然条件存在差异,生活污水的排放时间相对城市更加随机,排放特征差异明显(顾霖等, 2016)。

3.3 治理局部低效

中国的环保治污工作重点集中在工业生产和

城市生活,乡村区域的环境污染治理长期处于边缘化和被忽视的位置,排污主体责任不明确,治污主体缺失,监测监管能力不足,排污标准与政策法规不完善(王晓君等, 2017)。近些年来,虽然农村环保治理措施有所增加,但治理成效并不显著,治理能力赶不上破坏速度,农村生态赤字仍在不断扩大。绝大多数乡村区域缺少环保基础设施,环境治理处于空白状态。基于141个村庄的调研结果发现,95个村没有采取任何污染治理措施,46个村只采取了简单的收集和集中安置污染物的措施,仅有的部分治理措施主要以简单的收集和集中安置为主,实质性的治理措施较少(唐丽霞等, 2008)。而且,单一处理技术通常难以满足对农村污染的有效治理、污水的达标排放或循环利用的要求。以面源污染为例,当前的治理技术多针对局部环节进行设计,如农药化肥管理、植物过滤带、农业废弃物及畜禽粪便的厌氧发酵等。但这些技术零散,集成度低,效率低下,缺少源头减量、过程拦截、循环利用相结合的一体化技术(杨林章, 施卫明等, 2013)。农村生活污水的生物处理技术和生态处理技术,均是从末端治理出发,未考虑过程控制对农村生活污水的控制(顾霖等, 2016)。

4 乡村生态环境重构策略

在城镇化和工业化耦合交织的进程中,生产要素快速流动,乡村地区不可避免的出现了结构性失调问题,比如空心村、土地撂荒、生态环境污染等问题,原因在于乡村区域的生产、生活和生态空间已经不能适应当前形势下乡村地区的生产、生活和生态需求。需要通过重构,使“三生”空间达到新的平衡。结合乡村环境污染的来源,从资源利用、生产过程和生活方式方面,探讨乡村生态环境的重构策略(图2)。

4.1 资源利用高效化

资源的不合理利用,不仅造成资源浪费,还导致生态环境恶化。及时总结和推广不同类型的资源高效利用模式,有利于遏制资源的过度开发利用和加强重点区域环境治理。开展退化及空废土地的整治利用,强化污染区域的治理与修复,恢复和增强生态系统功能,有效破解人类发展面临的资源和环境问题。土地整治是推进乡村空间重构的重要途径,通过对农村农用地,散乱、空废、闲置和低

图2 乡村生态环境的重构策略

Fig.2 Restructuring strategies of rural ecological environment

效利用的村庄建设用地,工矿用地的整治利用,加上政策机制与模式的创新,有力地助推乡村生产、生活和生态空间的重构(龙花楼, 2013)。针对黄土高原退耕还林和淤地坝工程引起的缺地少粮、群众增收困难的问题(张信宝等, 2015),按照“山上退耕还林、山下治沟造地”的政策,通过“干-支-毛”分层防控、“渠-堤-坝”系统配套、“乔-灌-草”科学搭配的增强型沟道整治工程技术体系,实现了治沟保生态,造地惠民生(刘彦随等, 2017)。针对毛乌素沙地区的沙漠化和砒砂岩的水土流失等生态问题,利用沙与砒砂岩的物理互补性,通过复配成土、作物优配与规模化利用,实现了毛乌素沙地的资源化利用和现代农业发展,改善了生态脆弱区的生态环境问题,增加了农民收入(Wang et al, 2014)。针对已经产生污染的区域,可通过生态修复技术,恢复生态系统的结构和功能。尤其是针对矿山采矿场采空区、排土场、尾矿场和塌陷区的生态修复,对农业面源污染引起的湿地、水、河道、水体污染的生态工程修复措施等(Li, 2006; 杨林章, 施卫明等, 2013),恢复和提高乡村区域的水土质量和生物多样性。

4.2 生产过程清洁化

农业生产过程的清洁化对于提升农村生态环境质量具有重要作用,尤其要加强农业生产、畜禽养殖和水产养殖绿色技术和清洁模式的引入,降低生产投入、阻控污染过程、循环利用废弃物(图2),有效削减农业生产过程中的污染排放。在作物产量不减少的前提下,如何降低农业化学物质的使用,提高农业生产资料的利用效率是关键。河北曲周县依托科技小院模式,应用“土壤-作物系统综合管理”理论和技术,全县粮食单产实现了试验基地产量水平的79.6%,粮食总产增长37%,农民收入增长79%(Zhang et al, 2016),同时还可提高氮肥利用效

率,减少活性氮损失和温室气体的排放,有力地保护了生态环境(Chen et al, 2014)。随着信息化和物联网技术的发展,精准农业在平原农区和农场中不断应用,依靠信息技术、装备技术、生物技术,通过节省资源投入、减少资源损失、提高利用效率,降低农业生产对土壤和水体环境的污染,实现作物产量和农业环境质量的双赢(王永生等, 2016)。从厂区选址、饲喂过程、粪水处理等方面入手,实现畜禽养殖的清洁化。为降低乡镇企业的污染,应通过合理布局、调整产业结构和推进清洁生产,使企业的布局合理,污染源相对集中,减少污染产业,同时引进低污染生产工艺,解决乡镇企业对农村生态环境的污染。同样,对畜禽养殖业和水产养殖业的选址、饲喂过程、粪水处理等环节严格把关。除了从源头减量控制外,实施过程阻断和废弃物的循环利用也是防治环境污染的途径。杨林章, 施卫明等(2013)提出从污染物的源头减量入手,根据治理区域的污染汇聚特征进行过程阻断,再结合污水及废弃物中养分的循环利用减少污染物的产生量。该技术使稻田由原来的污染源变成污染物的消纳汇,不但可以有效防控农村面源污染的产生和发展,而且还能有效地削减农村面源污染的负荷。

4.3 生活方式集约化

乡村生活空间的分散、生活方式的差异、污染排放的随机性以及基础设施的落后,阻碍了乡村生态环境的高效整治,需通过生活空间的集聚、生活污染的集中处理和基础设施的改善得到解决。根据空间优化、组织有序和产业高效的整治理念,促使乡村生活空间集聚,由“生活”功能转向“生活、生产、生态的多功能”(刘彦随等, 2009)。农村的空心化与宅基地的废弃化既是生活空间的问题,也是生态空间问题,还可间接导致生产空间问题。山东省禹城市通过迁村并居,退宅还田工程,将农田生态系统嵌入村庄绿地系统,实现了村庄整治增地和现代农业发展;通过空心村整治、中心村建设和中心镇转移的地域模式,通过合村并居,适当加强乡村聚落的空间集聚,使得群众的居住环境和生活环境得到明显改善(Liu et al, 2014; 龙花楼等, 2017)。针对乡村生活污水和垃圾污染生态环境问题,可通过城乡一体化处理或就地集中处理模式来解决,在村落人口密度和经济水平较低的偏远农村,可采用分散式家庭处理模式(顾霖等, 2016; 韩智勇等, 2017)。在条件允许的部分村庄,逐步开展气代煤、

电代煤的冬季取暖措施,改善冬季雾霾状况。将农村环境治理与美丽乡村及异地扶贫搬迁等工程相结合,实现新农村基础设施的改善,乡村居民的集中生活,村容村貌的治理。促使乡村走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,为人民创造良好生产生活环境,为生态安全作出贡献。

5 结论

本文针对快速城镇化背景下,乡村发展转型过程中的生态环境问题,从资源利用、生产活动和生活方式等方面分析了造成乡村区域生态环境污染的主要原因,从来源、排放和治理方面分析了污染特点,根据“三生”空间理论提出了乡村生态环境重构的主要策略。土地、矿山和秸秆等资源利用不当,随着农业生产、畜禽养殖和水产养殖等生产活动的加强,以及生活垃圾、生活污水和旱厕粪水等生活方式变化,造成乡村土地污损化、水体污染化和空气污浊化。乡村污染具有来源分散多样、排放随机不均和治理局部低效的特点,需要从多方面进行重构。为此,应加强土地整治和生态修复,实现资源利用的高效化,通过降低生产投入、生产过程阻控和废物循环利用实现生产过程的清洁化,利用生活空间集聚、污染集中处理和基础设施改善实现生活方式集聚化,防治生态环境污染,最终实现乡村地区生产发展、生活富裕和生态良好的目标。

本文利用“三生”空间的密切关系,从资源环境、生产环境和生活环境角度阐述了乡村生态环境重构的策略,但乡村生态环境问题是长期累积的结果,而且与乡村地区的观念相对落后、政策和法规不健全有密不可分的关系。因此,必需建立“政府主导、各方参与、多级联动”的污染防治管理监督机制,才能有效改善乡村生态环境。通过政府制定乡村环境保护和污染治理的相关政策和法律,协调各部门共同参与,解决区域性环境污染问题;提高乡村居民的环保意识和参与性,构建“县、乡、村、组、户”多级联动的生态环境保护管理体系,解决村组分散性的环境污染问题。在快速城镇化背景下,乡村生态环境重构还应与精准扶贫、乡村振兴等战略相结合,循序渐进、因地制宜,妥善处理乡村生态环境治理问题。

参考文献(References)

- 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 2006. 中国农业和农村污染的清单分析与空间特征识别[J]. 中国环境科学, 26(6): 751-755. [Chen M P, Chen J N, Lai S Y. 2006. Inventory analysis and spatial distribution of Chinese agricultural and rural pollution[J]. China Environmental Science, 26(6): 751-755.]
- 顾霖, 吴德礼, 樊金红. 2016. 农村生活污染综合治理模式与技术路线探讨[J]. 环境工程, 34(10): 113-117. [Gu L, Wu D L, Fan J H. 2016. Discussion on integrated mode and technical route of rural domestic waste treatment[J]. Environmental Engineering, 34(10): 113-117.]
- 韩智勇, 费勇强, 刘丹, 等. 2017. 中国农村生活垃圾的产生量与物理特性分析及处理建议[J]. 农业工程学报, 33(15): 1-14. [Han Z Y, Fei Y Q, Liu D, et al. 2017. Yield and physical characteristics analysis of domestic waste in rural areas of China and its disposal proposal[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 33(15): 1-14.]
- 侯俊东, 吕军, 尹伟峰. 2012. 农户经营行为对农村生态环境影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 22(3): 26-31. [Hou J D, Lv J, Yin W F. 2012. Effects of farmer households' production and operation behaviors on rural eco-environment[J]. China Population, Resources and Environment, 22(3): 26-31.]
- 李玉恒, 刘彦随. 2013. 中国城乡发展转型中资源与环境问题解析[J]. 经济地理, 33(1): 61-65. [Li Y H, Liu Y S. 2013. Investigation of the resource & environment issues in the urban-rural transition in China[J]. Economic Geography, 33(1): 61-65.]
- 梁流涛. 2009. 农村生态环境时空特征及其演变规律研究[D]. 南京: 南京农业大学. [Liang L T. 2009. Study on the temporal and spatial evolution of rural ecological environment[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University.]
- 刘钦普. 2014. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析[J]. 中国农业科学, 47(18): 3596-3605. [Liu Q P. 2014. Distribution of fertilizer application and its environmental risk in different provinces of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 47(18): 3596-3605.]
- 刘彦随. 2007. 中国东部沿海地区乡村转型发展与新农村建设[J]. 地理学报, 62(6): 563-570. [Liu Y S. 2007. Rural transformation development and new countryside construction in eastern coastal area of China[J]. Acta Geographica Sinica, 62(6): 563-570.]
- 刘彦随. 2015. 土地综合研究与土地资源工程[J]. 资源科学, 37(1): 1-8. [Liu Y S. 2015. Integrated land research and

- land resources engineering[J]. Resources Science, 37(1): 1-8.]
- 刘彦随, 李裕瑞. 2017. 黄土丘陵沟壑区沟道土地整治工程原理与设计技术[J]. 农业工程学报, 33(10): 1-9. [Liu Y S, Li Y R. 2017. Engineering philosophy and design scheme of gully land consolidation in Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 33(10): 1-9.]
- 刘彦随, 刘玉, 翟荣欣. 2009. 中国农村空心化的地理学研究及整治实践[J]. 地理学报, 64(10): 1193-1202. [Liu Y S, Liu Y, Zhai R X. 2009. Geographical research and optimizing practice of rural hollowing in China[J]. Acta Geographica Sinica, 64(10): 1193-1202.]
- 龙花楼. 2013. 论土地整治与乡村空间重构[J]. 地理学报, 68(8): 1019-1028. [Long H L. 2013. Land consolidation and rural spatial restructuring[J]. Acta Geographica Sinica, 68(8): 1019-1028.]
- 龙花楼, 屠爽爽. 2017. 论乡村重构[J]. 地理学报, 72(4): 563-576. [Long H L, Tu S S. 2017. Rural restructuring: Theory, approach and research prospect[J]. Acta Geographica Sinica, 72(4): 563-576.]
- 余之祥. 2015. 乡村在城镇化过程中受到的冲击及其发展问题[J]. 中国环境管理, 7(3): 57-62, 85. [She Z X. 2015. The rural areas experiences conflicts under the urbanization process and its development issue[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 7(3): 57-62, 85.]
- 唐丽霞, 左停. 2008. 中国农村污染状况调查与分析: 来自全国141个村的数据[J]. 中国农村观察, (1): 31-38. [Tang L X, Zuo T. 2008. Zhongguo nongcun wuran zhuangkuang diaocha yu fenxi: Laizi quanguo 141 ge cun de shuju[J]. China Rural Survey, (1): 31-38.]
- 王军霞, 徐菲, 刘瑞民, 等. 2017. 我国畜禽养殖总量空间热点分析及主要污染物核算[J]. 农业环境科学学报, 36(7): 1316-1322. [Wang J X, Xu F, Liu R M, et al. 2017. Hot-spot analysis and estimation of the main pollutants from livestock in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 36(7): 1316-1322.]
- 王晓君, 吴敬学, 蒋和平. 2017. 中国农村生态环境质量动态评价及未来发展趋势预测[J]. 自然资源学报, 32(5): 864-876. [Wang X J, Wu J X, Jiang H P. 2017. Dynamic assessment and trend prediction of rural eco-environmental quality in China[J]. Journal of Natural Resources, 32(5): 864-876.]
- 王永生, 陈静, 陶欢, 等. 2016. 精准农业技术对生态环境的影响评价研究进展[J]. 中国农业科技导报, 18(4): 73-78. [Wang Y S, Chen J, Tao H, et al. 2016. Research progress on impact evaluation of precision agriculture technology on ecological environment[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 18(4): 73-78.]
- 吴伟, 范立民. 2014. 水产养殖环境的污染及其控制对策[J]. 中国农业科技导报, 16(2): 26-34. [Wu W, Fan L M. 2014. Pollution and control measures of aquaculture environment[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 16(2): 26-34.]
- 徐亦钢, 俞飞, 张孝飞, 等. 2006. 我国农村环境污染的主要特点与成因[J]. 农业资源与环境学报, 23(6): 37-39. [Xu Y G, Yu F, Zhang X F, et al. 2006. Characteristics and causes of China's rural environment pollution[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 23(6): 37-39.]
- 杨飞, 杨世琦, 诸云强, 等. 2013. 中国近30年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报, 29(5): 1-11. [Yang F, Yang S Q, Zhu Y Q, et al. 2013. Analysis on livestock and poultry production and nitrogen pollution load of cultivated land during last 30 years in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 29(5): 1-11.]
- 杨林章, 冯彦房, 施卫明, 等. 2013. 我国农业面源污染治理技术研究进展[J]. 中国生态农业学报, 21(1): 96-101. [Yang L Z, Feng Y F, Shi W M, et al. 2013. Review of the advances and development trends in agricultural non-point source pollution control in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 21(1): 96-101.]
- 杨林章, 施卫明, 薛利红, 等. 2013. 农村面源污染治理的"4R"理论与工程实践: 总体思路与"4R"治理技术[J]. 农业环境科学学报, 32(1): 1-8. [Yang L Z, Shi W M, Xue L H, et al. 2013. Reduce-retain-reuse-restore technology for the controlling the agricultural non-point source pollution in countryside in China: General countermeasures and technologies[J]. Journal of Agro-Environment Science, 32(1): 1-8.]
- 张利平, 夏军, 胡志芳. 2009. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 18(2): 116-120. [Zhang L P, Xia J, Hu Z F. 2009. Situation and problem analysis of water resource security in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 18(2): 116-120.]
- 张信宝, 金钊. 2015. 延安治沟造地是黄土高原淤地坝建设的继承与发展[J]. 地球环境学报, 6(4): 261-264. [Zhang X B, Jin Z. 2015. Gully land consolidation project in Yan'an is inheritance and development of wrap land dam project on the loess plateau[J]. Journal of Earth Environment, 6(4): 261-264.]
- Cao G L, Zhang X Y, Gong S L, et al. 2008. Investigation on emission factors of particulate matter and gaseous pollutants from crop residue burning[J]. Journal of Environmental Sciences, 20(1): 50-55.

- Chen X P, Cui Z L, Fan M S, et al. 2014. Producing more grain with lower environmental costs[J]. *Nature*, 514: 486-489.
- He P J. 2012. Municipal solid waste in rural areas of developing country: Do we need special treatment mode[J]. *Waste Management*, 32(7): 1289-1290.
- Hu W. 1997. Household land tenure reform in China: Its impact on farming land use and agro-environment[J]. *Land Use Policy*, 14(3): 175-186.
- Li M S. 2006. Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A review of research and practice[J]. *Science of the Total Environment*, 357(1-3): 38-53.
- Li Y H. 2012. Urban-rural interaction patterns and dynamic land use: Implications for urban-rural integration in China [J]. *Regional Environmental Change*, 12(4): 803-812.
- Liu Y S, Yang R, Long H L, et al. 2014. Implications of land-use change in rural China: A case study of Yucheng, Shandong province[J]. *Land Use Policy*, 40: 111-118.
- Liu Y S, Li Y H. 2017. Revitalize the world's countryside[J]. *Nature*, 548: 275-277.
- Long H L, Woods M. 2011. Rural restructuring under globalization in eastern coastal China: What can we learn from Wales[J]. *Journal of Rural and Community Development*, 6 (1): 70-94.
- Norse D, Ju X T. 2015. Environmental costs of China's food security[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 209: 5-14.
- Tan Y T, Xu H, Zhang X L. 2016. Sustainable urbanization in China: A comprehensive literature review[J]. *Cities*, 55: 82-93.
- Tilt B. 2013. The politics of industrial pollution in rural China [J]. *The Journal of Peasant Studies*, 40(6): 1147-1164.
- Wang C, Gao Q, Wang X, et al. 2016. Spatially differentiated trends in urbanization, agricultural land abandonment and reclamation, and woodland recovery in Northern China[J]. *Scientific Reports*, 6: 37658.
- Wang M, Webber M, Finlayson B, et al. 2008. Rural industries and water pollution in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 86(4): 648-659.
- Wang N, Xie J C, Han J C, et al. 2014. A comprehensive framework on land-water resources development in Mu Us Sandy Land[J]. *Land Use Policy*, 40: 69-73.
- Zhang W F, Cao G X, Li X L, et al. 2016. Closing yield gaps in China by empowering smallholder farmers[J]. *Nature*, 537: 671-674.

Pollution and restructuring strategies of rural ecological environment in China

WANG Yongsheng^{1,2}, LIU Yansui^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Center for Assessment and Research on Targeted Poverty Alleviation, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Rural ecological environment issues in the process of rural-urban transition in China have influenced the production and daily living of residents in rural areas. This article reviews the sources and characteristics of rural environmental pollution, and proposes the restructuring strategies of rural ecological environment from the aspects of resources, production, and living. The research shows that unreasonable resource use, intensive production activities, and changed life style resulted in rural land contamination and water and air pollution. Rural environmental pollution is characterized by diversified sources, sporadic discharges, and inefficient management. These problems call for the highly efficient use of resources, cleaning of production processes, and agglomeration of living space to realize the coordination of rural production development, enhancement of quality of living, and ecological environment improvement.

Key words: urban- rural development transformation; rural eco- environmental pollution; resource use; restructuring strategies