



窦婉毓, 颜双双, 孙仁华, 王海洋, 孙元丰, 吕晓晨, 闫超, 宋秋来, 马春梅, 龚振平. 基于21世纪以来我国作物产量、人口与政策分析未来秸秆还田的必然性[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(12): 291-305.

DOU Wanyu, YAN Shuangshuang, SUN Renhua, WANG Haiyang, SUN Yuanfeng, LYU Xiaochen, YAN Chao, SONG Qiulai, MA Chunmei, GONG Zhenping. The inevitability of returning straw to the field in the future based on crop yield, population, and policy in China since the 21st century[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(12): 291-305.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.12.24

基于21世纪以来我国作物产量、人口与政策分析未来秸秆还田的必然性

窦婉毓¹ 颜双双¹ 孙仁华² 王海洋³ 孙元丰² 吕晓晨¹ 闫超^{1*}
宋秋来^{4*} 马春梅¹ 龚振平¹

(1. 东北农业大学 农学院, 哈尔滨 150030;

2. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125;

3. 中储粮北方农业开发有限公司, 黑龙江 黑河 161499;

4. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 哈尔滨 150086)

摘要 为明确粮食与秸秆产量变化规律,梳理秸秆还田政策与技术演进,剖析农村人口结构影响,探究其关键作用、必然性及科学实施策略。基于我国国家统计局、农业农村部关于秸秆还田的政策文件等统计数据,利用文献分析和数据统计的研究方法,对秸秆还田在农业生产中的关键作用、秸秆还田的必然性以及秸秆还田的实践得失与科学还田策略进行了分析。结果表明:1)21世纪以来我国粮食产量呈阶段性增长,秸秆产量从2000年的58 929.54万t增至2023年的87 674.28万t;2)21世纪以来秸秆还田政策从引导性逐步转向强制性,技术从传统人工模式向机械化、智能化、多元化方向演进,政策与技术的协同使秸秆综合利用率在2021年达88.1%;3)农村人口从78 384万人降至46 478万人,农业人口老龄化严重,导致秸秆还田劳动力供给不足;4)秸秆还田在改善土壤结构、提升土壤肥力、增加有机质含量、减少农田面源污染、增强作物抗逆性及降低化肥使用成本等方面发挥关键作用;5)未来我国农产品产量和质量将进一步提升,秸秆产生量和剩余量的增加将倒逼综合利用产业发展,受秸秆综合利用成本“半径15公里”限制原则,大量剩余秸秆将较难被再利用,直接还田将是解决秸秆剩余的可行方法;6)秸秆还田实践存在技术不适宜、配套措施不足等问题,需基于区域、作物和土壤条件制定科学策略。综上,政策制定应立足我国粮食安全长期战略需求,结合粮食增产引发的秸秆剩余、农村人口结构变化导致的秸秆处理方式的改变,以及秸秆还田相关政策的引导,秸秆科学还田既是解决秸秆剩余难题的可行方案,也可为农业绿色可持续发展提供参考。

关键词 秸秆还田; 秸秆产量; 农村人口变化; 秸秆综合利用; 秸秆还田应对策略

中图分类号 S38

文章编号 1007-4333(2025)12-0291-15

文献标志码 A

Inevitability of straw-returning to the field in the future: An analysis based on crop yield, population, and policy in China since the 21st century

DOU Wanyu¹, YAN Shuangshuang¹, SUN Renhua², WANG Haiyang³, SUN Yuanfeng²,
LYU Xiaochen¹, YAN Chao^{1*}, SONG Qiulai^{4*}, MA Chunmei¹, GONG Zhenping¹

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Rural Energy and Environment Agency of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China;

3. China Grain Reserves Corporation Northern Agricultural Development Co., Ltd, Heihe 161499, China;

4. Institute of Crop Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

收稿日期: 2025-09-09

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1500800); 黑龙江省优秀青年教师基础研究支持计划项目(YQJH2023197); 黑龙江省自然科学基金项目((YQ2022C031); 东北农业大学学术骨干项目((20XG01); 黑龙江省农业科技创新跨越工程农业科技基础创新杰青项目(CX23JQ01)

第一作者: 窦婉毓(ORCID:0009-0000-9244-0326), 博士研究生, E-mail: 18100445374@163.com

通讯作者: 闫超(ORCID:0000-0002-2941-8967), 副教授, 主要从事保护性耕作与作物栽培研究, E-mail: yanchao504@126.com

宋秋来(ORCID:0009-0006-3392-6434), 副研究员, 主要从事保护性耕作与水稻高效栽培技术研究, E-mail: sql142913@163.com

Abstract This study aimed to clarify the change patterns of grain and straw yield, sort out the evolution of straw return to the field policies and technologies, analyze the impacts of rural population structure changes, and explore the critical role, inevitability, and scientific implementation strategies of straw-returning to the field. Based on statistical data including policy documents on straw return to the field from the National Bureau of Statistics and the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, this study analyzes on the pivotal function of straw return to the field in agricultural production, the inevitability of its promotion, and the practical gains and losses in straw return to the field practices and corresponding scientific strategies. Literature analysis and data statistical methods are adopted. The findings revealed that: 1) Since the beginning of 21st century, China's grain production has increased in distinct phases, and the straw production increased from 589.295 4 million tons in 2000 to 876.742 8 million tons in 2023. 2) Since the 21st century, the policies related to straw return to the field have shifted from advisory to mandatory, and technologies have evolved from traditional manual methods toward mechanization, intelligence, and diversification. The synergy between policies and technologies has raised the comprehensive utilization rate of straw to 88.1% in 2021. 3) The rural population has declined from 783.84 million to 464.78 million, leading to severe aging of the agricultural workforce and insufficient labor supply for straw return to the field. 4) Straw return to the field plays a pivotal role in improving soil structure, enhancing soil fertility, increasing organic matter content, reducing farmland non-point source pollution, boosting crop stress resistance, and lowering fertilizer usage costs. 5) Future increases in China's agricultural output and quality will further drive the rise in straw production and surplus, compelling the development of comprehensive utilization industries. Due to the "15-kilometer radius" cost limitation principle for straw utilization, large amounts of surplus straw will be difficult to reuse, making direct straw return to the field a feasible solution to address surplus straw. 6) Practical straw return to the field efforts face issues such as technological unsuitability and inadequate supporting measures, necessitating region-specific, crop- and soil-condition-based scientific strategies. In conclusion, policy formation should be grounded in the long-term strategic needs of China's food security, combines with the surplus straw resulting from increased grain production, accommodates changes in rural population structure affecting straw handling methods, and aligns with the guidance of relevant straw return to the field policies, scientific straw return to the field serves as both a viable solution to the surplus straw challenge and a reference for green and sustainable agriculture.

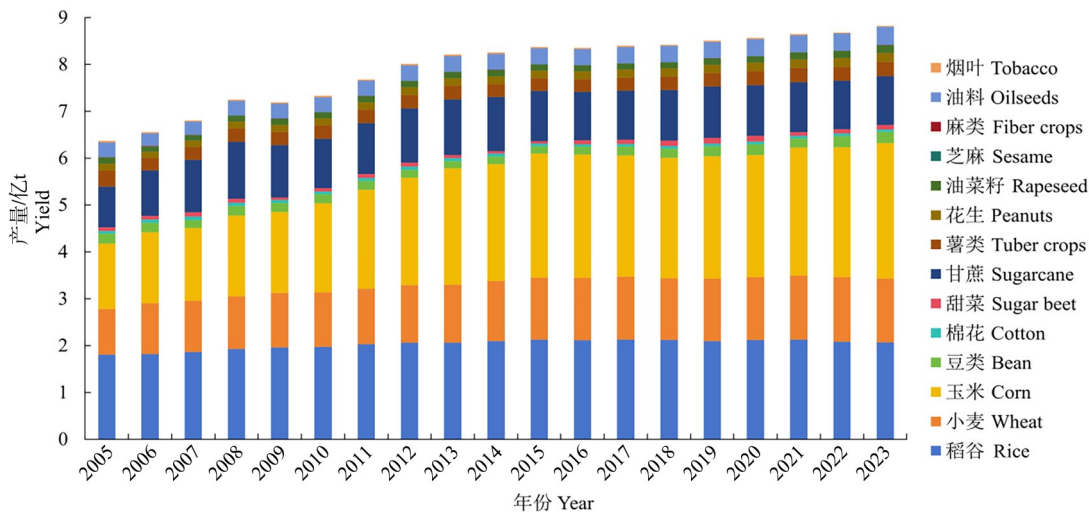
Keywords straw-returning to the field; straw yield; rural population changes; comprehensive utilization of straw; countermeasures for straw return to the field

粮食安全是国之大者,而作物生产在保障粮食供给的同时,也产生了巨量的秸秆资源。21世纪以来,随着粮食产量的稳步提升,如何科学、高效地处理与利用秸秆,已成为关乎农业可持续发展的核心问题^[1]。周腰华等^[2]提出20世纪以来我国每年有超过20%的秸秆被露天焚烧,浪费的秸秆资源达1.8亿t,存在秸秆利用率低下和秸秆资源浪费的问题。因此,秸秆还田作为实现秸秆资源化利用和提升土壤质量的关键技术途径,其推广与实践具有必然性。然而,现有研究多侧重于秸秆还田的环境效应^[3-4],而将其置于“粮食增产-秸秆增量-农村人口老龄化”这一系统中进行系统性分析的研究尚显不足。本研究拟采用历史数据分析与政策文献解读相结合的方法,不仅关注技术本身的演进,更将农村劳动力结构变化作为核心问题进行分析,并提出

将技术优化、政策调整与农村现实劳动力状况相结合的综合解决方案,旨在为实现秸秆还田在新时代背景下的精准、高效和可持续实施提供全新的理论支撑。

1 粮食与秸秆产量变化

主要农产品产量是我国农业发展进程中的核心要素,探究其产量的结构与动态变化,也是深入研究秸秆产量及综合利用的前提。根据2024年《中国统计年鉴》^[5]中的相关数据统计出我国近20年来主要农产品的产量如图1所示。粮食作物在主要农产品中占据产量主体,其中,稻谷和小麦产量基础稳固,变化幅度较小,玉米因畜牧养殖、深加工需求拓展,产量在总体上呈现增加的趋势,从2000年的10 600万t上涨至2023年的28 884万t,累计增幅达



主要农产品产量数据来源于 2024 年《中国统计年鉴》^[5]。
Main agricultural product production data is sourced from the 2024 China Statistical Yearbook^[5].

图 1 主要农产品产量

Fig. 1 Yield of major agricultural products

172.5%。草谷比是指农作物秸秆产量与籽粒(或经济产量)的比值,是估算秸秆产量的核心参数,不同作物因生物学特性差异,草谷比存在显著差异。根据主要农产品产量以及对应的农作物草谷比(表 1)计算出 2000—2023 年的秸秆产量,可知我国秸秆产量从总体上看呈阶段性增加的趋势,从 2000 年的 58 929.54 万 t 上涨至 2023 年的 87 674.28 万 t (图 2)。由表 2 所示的主要农产品秸秆产量占比情

况可知,农作物秸秆以稻谷、玉米和小麦秸秆为主,其三者总占比达整体的 70% 左右。秸秆产生量占比较大的农作物中仅玉米秸秆产量逐年增加,从 2000 年的 11 024.00 万 t 增加到 2023 年的 30 039.57 万 t;2023 年玉米秸秆占比达 34.26%,较 2000 年(18.71%)显著提升,与玉米产量 172.5% 的累计增幅趋势一致,反映出玉米种植规模扩大对秸秆结构的影响。

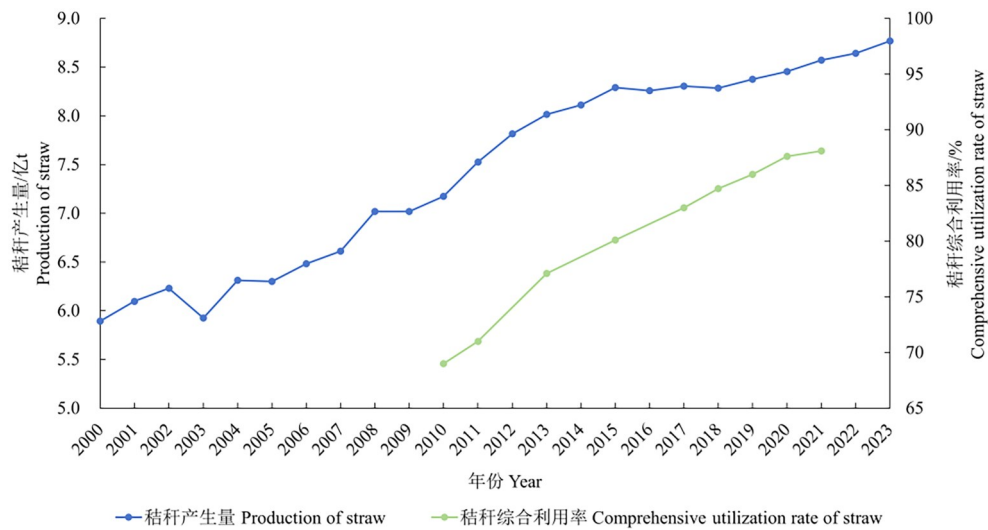
表 1 主要农作物草谷比

Table 1 Grass to grain ratio of major crops

农作物 Crop	秸秆系数(草谷比) Straw coefficient (grass to grain ratio)	农作物 Crop	秸秆系数(草谷比) Straw coefficient (grass to grain ratio)
稻谷 Rice	1.00	花生 Peanuts	1.14
小麦 Wheat	1.17	油菜 Rapeseed	2.87
玉米 Corn	1.04	芝麻 Sesame	2.01
豆类 Bean	1.60	麻类 Fiber crops	1.70
棉花 Cotton	3.00	其他油料 Other oilseed crops	2.00
甜菜 Sugar beet	0.10	其他谷物 Other grains	1.60
甘蔗 Sugarcane	0.43	烟叶 Tobacco	0.71
薯类 Tuber crops	0.57		

由图 2 可知,我国秸秆综合利用率呈持续上升趋势,从 2010 年的接近 70% 逐步攀升到 2021 年的

88.1%。2011 年,为贯彻落实《国务院办公厅关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》^[10],国家发展改



秸秆综合利用率数据来源于《中国资源综合利用年度报告》^[6]、《关于政协十三届全国委员会第一次会议第1661号(农业水利类181号)提案答复的函》^[7]、《全国农作物秸秆综合利用情况报告》^[8]、《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》^[9]。

The data on the comprehensive utilization rate of crop straws is sourced from the annual report on comprehensive utilization of resources in China^[6], the Response to Proposal No. 1661 (Agriculture and Water Resources Category No. 181) of the First Session of the 13th National Committee of the Chinese People’s Political Consultative Conference^[7], the report on the comprehensive utilization of crop straws nationwide^[8], and the guiding opinions on the comprehensive utilization of bulk solid waste During the “14th Five-Year Plan”^[9].

图2 秸秆产生量和综合利用率动态变化趋势

Fig. 2 Dynamic trend of straw production and comprehensive utilization rate of straw

表2 主要农产品秸秆产量占比

Table 2 Proportion of main agricultural product straw production %

农作物 Crop	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年	2023年
稻谷 Rice	31.89	28.67	27.49	25.62	25.06	23.57
小麦 Wheat	19.78	18.10	18.93	18.71	18.58	18.23
玉米 Corn	18.71	23.01	27.65	33.24	32.07	34.26
油菜 Rapeseed	5.54	5.95	5.12	4.80	4.77	5.34
豆类 Bean	5.46	5.48	4.17	2.92	4.33	4.35
甘蔗 Sugarcane	4.98	5.91	6.35	5.55	5.50	5.13
薯类 Tuber crops	3.57	3.14	2.26	1.88	2.01	1.96
其他谷物 Other grains	3.17	2.63	1.76	1.64	1.89	1.72
花生 Peanuts	2.79	2.60	2.41	2.20	2.43	2.50
棉花 Cotton	2.25	2.72	2.41	2.14	2.10	1.92
其他油料 Other oilseed crops	0.99	0.87	0.89	0.88	0.80	0.60
烟叶 Tobacco	0.31	0.30	0.28	0.23	0.18	0.19
芝麻 Sesame	0.28	0.30	0.13	0.11	0.11	0.10
麻类 Fiber crops	0.15	0.20	0.06	0.03	0.05	0.03
甜菜 Sugar beet	0.14	0.13	0.10	0.06	0.14	0.10

注：主要农产品秸秆产量占比=主要农产品秸秆产量/当年主要农产品秸秆总产量。
Note: The proportion of main agricultural product straw production=main agricultural product straw production/total annual main agricultural product straw production.

革委、农业部、财政部联合制定了《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》^[11],该方案确立了我国秸秆综合利用四项基本原则。2015 年政策的继续出台进一步完善了我国秸秆综合利用政策基本框架的构建,强化了秸秆综合利用的法律保障^[2],驱动了秸秆综合利用率快速增长。2016 年后我国持续强化秸秆综合利用长效机制的构建,政策的针对性和可操作性使得秸秆综合利用率不断提高并接近 90%。

根据中国农业大学国家农业科技战略研究院对六大国家粮仓主要粮油作物产量的预测数据^[12]结合

主要农作物的草谷比预测,到 2030 年,主要粮油作物秸秆产量约为 77 178 万 t,到 2035 年主要粮油作物秸秆产量约为 82 041 万 t,相比于 2023 年的 71 674 万 t,2030 和 2035 年均回升,这可能是由于未来粮食种植结构优化与单产提升的综合影响。

2 21 世纪以来秸秆还田相关政策与技术演进

21 世纪以来,我国先后出台的多项关于秸秆综合利用的直接或间接的政策文件如表 3 所示。相关政策的制定和实施经历了以下 3 个阶段:

表 3 21 世纪以来秸秆综合利用相关文件
Table 3 Relevant documents on comprehensive utilization of straw since the 21st century

文件名称 File name	发布单位 Issuing department	发布年份 Release year
《大气污染防治法》 ^[16] <i>Air Pollution Prevention and Control Law</i> ^[16]	生态环境部	2000
《全国生态环境保护纲要》 ^[17] Outline of National ecological and environmental protection ^[17]	国务院	2000
《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》 ^[18] Notice on comprehensive utilization of resources and value-added tax (VAT) policies for other products ^[18]	财政部、国家税务总局	2008
《关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》 ^[10] Opinions on accelerating the comprehensive utilization of crop straw ^[10]	国务院办公厅	2008
《关于进一步加快推进农作物秸秆综合利用和禁烧工作的通知》 ^[13] Notice on further accelerating the comprehensive utilization of crop straw and prohibiting burning work ^[13]	国家发展和改革委员会	2015
《关于印发编制秸秆综合利用规划的指导意见的通知》 ^[19] Notice on printing and distributing the guiding opinions on compiling the comprehensive utilization plan for straw ^[19]	国家发展和改革委员会、农业部	2009
《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》 ^[11] Implementation plan for comprehensive utilization of crop straw during the “12th Five-Year Plan” ^[11]	国家发展和改革委员会、农业部、财政部	2011
《全国农业可持续发展规划(2015—2030 年)》 ^[14] National agricultural sustainable development plan (2015-2030) ^[14]	农业部、国家发展和改革委员会、科技部、财政部、国土资源部环境保护部、水利部、国家林业局	2015
《关于加快发展农业循环经济的指导意见》 ^[20] Guiding opinions on accelerating the development of agricultural circular economy ^[20]	国家发展和改革委员会、农业部、国家林业局	2016
《“十四五”全国农业绿色发展规划》 ^[15] “14th Five Year Plan” for national agricultural green development ^[15]	农业农村部、国家发展和改革委员会、科技部、自然资源部、生态环境部、国家林草局	2021
《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》 ^[21] Guiding opinions of the ministry of Agriculture and Rural Affairs on vigorously developing smart agriculture ^[21]	农业农村部	2024
《关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见》 ^[22] Guiding opinions on accelerating agricultural development, comprehensively promoting green transformation, and boosting rural ecological revitalization ^[22]	农业农村部	2024

1)政策引导初期(2000—2010年)。我国农业机械化基础薄弱,2010年全国农作物耕种收综合机械化率仅52.3%,秸秆产量随粮食增产从5.89亿t增至7.01亿t,但农村15~54岁青壮年劳动力占比仍达59.23%,秸秆传统用途(燃料、饲料)仍占主导。随着城镇化起步,部分地区出现秸秆焚烧污染的现象。2008年《关于进一步加快推进农作物秸秆综合利用和禁烧工作的通知》^[13],首次提出“禁烧与利用并举”,鼓励秸秆还田,但未设专项补贴或技术标准,仅江苏等省份试点小额补贴(150~225元/hm²),引导农户自发还田。此阶段以人工粉碎还田为主,每公顷平均耗时45~60h,日均作业量不足0.33hm²;少量小型粉碎机试点应用,但粉碎粒度不均,秸秆腐熟周期长,普及率低。2010年秸秆综合利用率约69.8%,还田率仅35%,未形成规模效应。

2)政策框架构建期(2011—2015年)。随粮食总产增至6.21亿t(2015年),秸秆产量也达到7.98亿t,农村青壮年外流导致劳动力成本上升,机械化需求凸显。2012年《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》^[11]确立“因地制宜、多元利用”原则,将秸秆还田列为三大重点方向,明确2015年综合利用率超80%。2015年《全国农业可持续发展规划(2015—2030年)》^[14]将还田纳入耕地质量保护体系。同年,政策强化法律保障,还田机械购置补贴比例提至30%。规模化机械(玉米联合收获机、小麦还田机)普及,粉碎粒度缩至2~5cm,每公顷平均耗时3.75~5.00h,日均作业3.33~5.33hm²;东北推行“粉碎+深翻还田”、南方稻区试点“粉碎+水浸还田”,适配区域需求。2015年秸秆综合利用率升至83.2%。

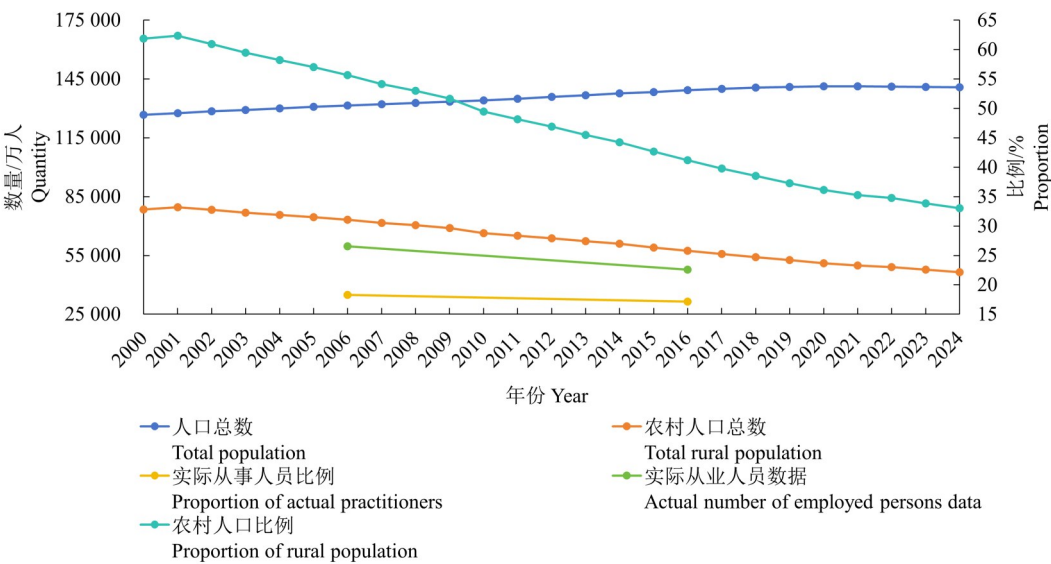
3)长效机制深化期(2016年至今)。2020年55岁及以上人口占比31.92%,家庭农场等规模化主体达400万个(2024年)，“双碳”目标推动秸秆还田向“质量+碳汇”转型。2021年《“十四五”全国农业绿色发展规划》^[15]明确2025年还田率超70%,将其纳入农业绿色评价。2023年试点还田碳汇交易,每公顷收益50~80元。技术融入智慧农业,如GPS还田机实现“作业-监管-补贴”闭环,物联网调控还田深度,卫星监测覆盖率;复合腐熟剂将腐熟周期缩至1~2个月,丘陵山区推广“无人机还田一体机”。2021年秸秆综合利用率达88.1%,实现“固碳-增产-增收”协同。

3 农村人口减少、农业人口老龄化严重

我国是农业大国、人口大国,大量的农业人口在特定的时期承担了维持国家稳定和发展的责任,而进入21世纪以来我国人口规模发生显著变化。21世纪以来我国人口总数、农村人口及从事农业人员变化趋势如图3所示。根据2024年《中国统计年鉴》^[5]和《中华人民共和国2024年国民经济和社会发展统计公报》^[23],2000—2024年我国农村人口大幅减少,从2000年的78384万人减少至2024年的46478万人,年均减少1330万人,年均降幅2.10%,相应的农业人口占比从61.84%降至33.00%,而实际从事农业生产的人口数量更少。第二次和第三次全国农业普查数据显示,实际从事农业人员数量从2006年的34874万人下降至2016年的31422万人,相应的实际从事农业人员比例从26.53%降至22.57%,根据上述数据估算,预计到2026年第四次全国农业普查时,我国实际从事农业生产人员将下降至28000万人左右,较2016年(31422万人)减少3422万人,降幅10.90%,农村劳动力短缺问题将进一步加剧。

这一方面是受农村人口总量减少的影响,另一方面,农业生产方式发生变革(如机械化、智能化应用)^[24]。根据《2022年全国农业机械化发展统计公报》^[25],全国农作物耕种收综合机械化率已达73.11%,其中机耕率、机播率和机收率分别达86.42%、61.91%和66.56%。此外,2022年我国农业生产信息化率达25.4%,农技推广服务信息化率达61.3%^[26],表明我国智慧农业正在快速发展。从事农业人员数量减少还与农业产业结构调整有关,农业农村部发布的《全国乡村产业发展规划(2020—2025年)》^[27]提出,要进一步完善产业结构,推动以二、三产业为重点的乡村产业发展,使得部分农业岗位被替代或转型,导致直接从事传统农业生产的人员减少。

随着我国经济和医疗卫生事业的发展,人口数量和年龄结构逐渐发生变化^[28],根据我国2000、2010和2020年3次人口普查数据将年龄结构划分为0~14、15~54和55岁及以上3个部分,农村人口年龄分布如表4所示。我国农业人口呈现显著的“总量缩减、结构老化”特征,仅有55岁及以上的年龄段人口数量呈现持续增加趋势,≥55岁人口数量



人口总数和农村人口数量数据来源于 2024 年《中国统计年鉴》^[5]和《中华人民共和国 2024 年国民经济和社会发展统计公报》^[23]。实际从事农业人员数据来源于第二次和第三次全国农业普查,实际从事农业人员比例=实际从事农业人员/人口总数,农村人口比例=农村人口数量/人口总数。

The total population and rural population data are sourced from the 2024 *China Statistical Yearbook*^[5] and the 2024 National Economic and Social Development Statistical Bulletin of the People's Republic of China^[23]. The actual data of agricultural personnel comes from the second and third national agricultural censuses. The proportion of actual agricultural personnel=actual agricultural personnel/total population. Rural population ratio=number of rural population/total population.

图 3 中国人口总数、农村人口及从事农业人员变化趋势

Fig. 3 Trends in the total population, rural population, and agricultural personnel in China

表 4 农村人口年龄分布

Table 4 Age distribution of rural population

农村人口年龄分布/岁 Age distribution of rural population	2000 年		2010 年		2020 年	
	数量/万人	占比/%	数量/万人	占比/%	数量/万人	占比/%
0~14	20 002	25.52	12 701	19.16	9 823	19.26
15~54	46 789	59.69	39 261	59.23	24 880	48.79
≥55	11 593	14.79	14 318	21.60	16 276	31.92

由 2000 年的 11 593 万人上升至 2020 年的 16 276 万人,相应的占比从 14.79% 上升至 31.92%,20 年间占比提升 17.13%,农村人口老龄化趋势显著。

青壮年劳动力持续向城镇转移,导致农村劳动力老龄化加剧^[29-30]。根据国家统计局发布的《2023 年农民工监测调查报告》^[31],2020—2023 年农民工规模从 28 560 万人增加至 29 753 万人,年龄≥50 岁的农民工人数占比从 26.4% 上升至 30.6%。农村留守人口减少、年龄增大,这一变化推动农业生产向机械化转型,秸秆还田技术也因劳动力短缺而加速推广。同时,留守农民对高效耕作技术的接受度提升,促进了秸秆还田的普及。

根据农村人口变化趋势预测,到 2035 年我国农村人口将下降至 30 700 万~35 100 万人,占总人口的比重将不超过 25%,其中 16~59 岁农村劳动力人口将降至 10 600 万~14 500 万人,占农村人口的比重为 34.58%~41.29%,≥60 岁农村人口将达到 15 800 万~16 900 万人,占农村人口的比重为 44.99%~55.12%^[32],进一步加剧农村人口老龄化。

农村劳动力短缺与老龄化,倒逼农业生产向机械化、高效化转型,而秸秆还田不仅能解决秸秆剩余问题,更能在防止水土流失、提升土壤质量等方面发挥关键作用,为农业可持续发展提供技术支撑。

4 秸秆还田在农业生产中的关键作用

4.1 秸秆还田防止水土流失

20世纪30年代发生了2次震惊世界的黑风暴,大地被刮走10~30 cm的表土,毁坏了300万hm²以上的良田^[33],这场灾难的核心原因是失去了作物秸秆和残茬对地面的保护,导致风蚀、水蚀相继发生。秸秆还田能有效提高土壤入渗能力,减少径流,减轻水土流失^[34]。秸秆覆盖能通过增加地表覆盖度、调节地表径流、提高土壤团聚体稳定性等方式进而增强土壤抗侵蚀能力^[35]。秸秆覆盖于地表可减少风力对土壤的直接侵蚀,还可减缓雨水对土壤的直接冲击,延缓雨水下渗,减少地表径流的形成。研究表明,30%~60%的秸秆覆盖度结合高留茬能使水土流失减少60%~90%^[32],30%的秸秆覆盖度结

合留茬能使抗风蚀率达到70%~78%^[36]。因此,秸秆还田对于风蚀和水蚀能够起到较好的防治效果。

4.2 秸秆还田增加土壤养分来源

农作物秸秆中含有的碳、氮、磷、钾等养分在促进土壤养分循环过程中发挥着重要作用^[37]。稻谷、小麦和玉米三大作物占我国粮食产量超过70%,秸秆量在主要农作物秸秆中占据主导地位^[38]。3种秸秆中碳、氮、磷、钾元素含量见表5。根据秸秆腐解与土壤养分变化等相关研究估算,水稻、小麦和玉米秸秆全量还田后能够向农田平均提供403.5~1 258.5 kg/hm²的碳、14.6~56.9 kg/hm²的氮、7.8~28.9 kg/hm²的磷和63.5~152.6 kg/hm²的钾(表6)。秸秆还田能将作物秸秆中的碳、氮、磷、钾等营养元素补给到土壤养分库中,是增加土壤养分的重要来源之一^[39]。

表5 水稻、小麦和玉米秸秆养分含量

Table 5 Nutrient content of rice, wheat and corn straw					%
作物 Crop	碳 Carbon	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium	参考文献 References
水稻 Rice	40.06~41.80	0.69~0.83	0.27~0.42	2.06~2.52	[40-42]
小麦 Wheat	39.90~42.95	0.62~0.76	0.16~0.27	1.23~1.67	[40, 42-43]
玉米 Corn	43.28~44.40	0.85~1.96	0.31~0.53	1.34~1.79	[40, 42, 44]

表6 秸秆还田当季提供的养分含量

Table 6 Nutrient content provided by returning straw to the field in the current season					kg/hm ²
作物 Crop	碳 Carbon	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium	参考文献 References
水稻 Rice	403.5~1 258.5	29.9~56.9	14.4~24.4	145.1~152.6	[42-43, 45-47]
小麦 Wheat	520.5~937.5	14.6~36.6	7.8~9.7	63.5~82.4	[42-43, 45, 48-49]
玉米 Corn	585.0~1 218.0	39.4~61.5	21.6~28.9	103.7~124.4	[42, 45, 48, 50]

4.3 秸秆还田提高土壤质量

秸秆还田并非直接将养分归还给土壤,而是一项对土壤组织结构和性质均产生影响的综合技术。采用秸秆还田技术能通过优化土壤理化性质间接有效地提高土壤质量^[51-52]。秸秆腐解后能够向土壤输送大量有机碳氮物质,产生多种有机质;秸秆还田还能为动物提供营养来源和适宜的生存环境促进其活动,进而为土壤碳氮循环提供动力,促使秸秆更快腐化^[53]。在土壤物理性质的改善方面,秸秆还田能降低土壤容重,增加孔隙率,促进土壤通气性和水分流动^[54],进而提高土壤含水率^[55];此外,秸

秆还田还能改善土壤湿度和团聚体稳定性^[56],促进水稳性微团聚体向大团聚体转化,进而改善土壤结构。在土壤化学性质方面,长期秸秆还田能够显著提高土壤速效氮、磷、钾含量^[57],并使土壤有机碳含量显著提高13.6%。Zhou等^[58]研究表明,秸秆还田可使土壤质量指数提高约17.78%。综上,秸秆还田能够为农作物的生长创造优质的土壤质量和环境,秸秆还田的技术价值(防水土流失、增土壤养分)为其推广奠定基础,而结合秸秆产量增长、农村能源结构转变等现实背景,进一步凸显其推广的客观必然性。

5 秸秆还田的必然性分析

5.1 秸秆产量进一步增加

随着测土配方施肥、病虫害精准防控、新型农机具等技术的使用,我国粮食作物与经济作物单位面积产量持续增加^[59-60]。根据《国家统计局关于 2024 年粮食产量数据的公告》^[61],2024 年全国粮食单位面积产量达到 5 925 kg/hm²,比 2023 年增加 76.5 kg/hm²,有研究^[12]指出到 2030 年粮食单产将达到 6 295.2 kg/hm²,2035 年将达到 6 585.45 kg/hm²。此外,在国家粮食安全战略的指导下,我国农作物种植面积长期保持稳定,特别是稻谷、玉米和小麦等具有较高秸秆系数的作物秸秆产量占比的相对稳定直接推动了总秸秆产量的大幅增加。此外,家庭农场、合作社等新型经营主体的出现和兴起,替代了传统小农户分散经营,通过连片种植、统一管理实现了农业生产效率的提升。如广州市某地区农民专业合作社,构建了“党支部+村集体+合作社+企业+种植户”的模式,为农户提供生产资料统一采购、标准生产、企业对接等一系列服务。农业农村部发布的《2024 年全国家庭农场、合作社、社会化服务工作情况与数据》^[62]显示,截至 2024 年 10 月底纳入全国家庭农场名录系统的家庭农场近 400 万个,依法登记的农民合作社达 214 万家。这种规模化种植间接提高了主要农作物的秸秆产量。

5.2 农村人口和秸秆消耗同步减少

我国城镇化战略的深入推进及非农产业的快速发展使得农村劳动力大规模向城镇转移^[63],这一人口流动趋势一方面使农村常住人口总数持续减少,另一方面农村生产核心劳动力青壮年人的外流直接导致农村实际从事农业生产的人口数量急剧缩减。秸秆“五料化”中的肥料化和饲料化与农村家庭养殖数量和种植业规模息息相关,然而随着农

村人口外流,家庭养殖单元大量缩减,导致农村家庭单元秸秆消耗量减少,造成了秸秆剩余现象的加剧。

5.3 农村能源消费量的转变

秸秆的剩余与农村能源消费量的转变存在紧密关联^[64],其中传统秸秆能源向电力、天然气、太阳能、燃煤等替代能源的转变,构成了秸秆剩余的驱动因素。长期以来,秸秆一直是我国农民生活的基本燃料,然而随着农民生活水平的提高、电网改造工程的全面铺开、天然气下乡政策的推进、太阳能热水器等设备在农村地区快速普及等使得农民对秸秆能源使用率下降。根据全国农业普查数据^[65-66],2006 年农村居民炊事用电户为 182 万户,2016 年这一数据达 13 503 万户;同样,2006 年农村居民炊事用煤户为 5 762 万户,这一数据 2016 年达到 5 506 万户,比 2006 年减少了 256 万户。传统的秸秆利用途径发生了转变,大量秸秆得不到收集利用,出现结构性过剩的现象。

5.4 秸秆消费量变化

除直接还田外,其他秸秆综合利用方式均存在运输成本问题,即“半径 15 公里”限制原则,此原则源于秸秆收集、运输过程中的成本核算,超出 15 km 范围后,运输能耗、人力成本显著上升,导致秸秆综合利用经济性下降,这是制约秸秆跨区域利用的关键因素。基于《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》^[11]和农业农村部《中国农业绿色发展报告 2020》^[67]数据,对 2010、2015、2020 和 2024 年秸秆利用结构进行分析,结果见表 7。2010 年,肥料化利用量达 1.07 亿 t,其余四化(饲料化、燃料化、基料化、原料化)利用总量为 3.76 亿 t,秸秆剩余总量高达 2 亿 t,这反映出早期秸秆利用途径较为单一;2015 年,肥料化利用量增加至 3.90 亿 t,秸秆剩余总量下降至 1.80 亿 t,这表明秸秆利用率在逐渐升高;

表 7 秸秆利用量
Table 7 Straw utilization 亿 t

年份 Year	肥料化利用 Fertilizer utilization	四化利用总量 Total utilization of four modernizations	剩余总量 Remaining total
2010	1.07	3.76	2.00
2015	3.90	3.30	1.80
2020	4.48	1.85	0.89
2024	3.99	2.47	0.84

2024年秸秆剩余总量达0.84亿t,这一现象表明秸秆剩余量虽然在减少,但仍然存在。

在此背景下,秸秆科学还田是必然选择。一方面,秸秆还田可直接利用剩余秸秆,通过腐解还田提高土壤有机质和土壤碳储量、改善土壤结构、增加养分供给;另一方面,秸秆还田还有助于减少空气污染。因此,基于客观数据支撑与农业可持续发展需求,推动秸秆科学还田是应对秸秆剩余问题的必然方法。

6 秸秆还田的实践效果与科学还田策略

6.1 实践效果

秸秆还田从源头遏制了露天焚烧带来的环境问题,成为农业污染治理的关键举措。我国近10年年均秸秆产生量已经超过8亿t,全国秸秆综合利用率也已接近90%^[68],有效减少了细颗粒物排放和温室气体释放。同时,秸秆富含碳、氮、磷、钾等作物必需营养元素^[69],经还田腐解后可缓慢释放养分,秸秆分解释放的养分可部分替代化肥^[43],科学还田区域化肥施用量平均减少15%~20%^[70],为后茬作物生长提供持续的肥力支撑。此外,秸秆还田还能有效改善土壤理化性质,提升土壤保水保肥能力与透水透气性^[52],但不同秸秆还田方式对土壤的影响存在明显差异,因此在实际应用中需结合不同生态区的具体条件,针对性采用适宜的秸秆还田技术。

6.2 存在的问题

当前秸秆还田技术在实际应用中仍面临一些问题,如该技术应用的区域适配性与实用度存在不足。由于我国地域差异显著,不同区域对秸秆还田的技术要求各有不同,尤其在病虫害发生较为严重、土壤含水量过高等不适宜还田的地区,若强行推行该技术反而可能带来负面效应。与此同时,秸秆还田的作业质量缺乏统一规范,执行标准参差不齐,进一步影响了该技术的大范围有效应用。

6.3 应对策略

应制定适应不同区域的秸秆还田作业技术标准,明确不同作物不同区域的秸秆处理方法、还田方法、粉碎标准和还田深度等关键指标,建立第三方检测评估机制;加强技术培训,组建专家团队开展“点对点”指导,重点培训农机操作等实用技术;对小农户给予还田作业补贴,对农机合作社提供设

备购置补贴;进一步健全全国秸秆资源监测平台,整合产量、还田率、土壤质量等数据,为区域适配技术推广提供决策支撑。

7 结 论

粮食安全依然是我国未来很长一段时间内的主题,随着粮食产量的稳步提升,秸秆产量也呈现出增长的趋势,使得大量秸秆剩余;伴随农村人口的减少和老龄化严重,传统上依赖人力处理秸秆的方法难以持续,秸秆消耗同步减少;同时21世纪以来秸秆还田相关政策不断出台,政策的引导为秸秆还田提供了制度支持,且农业现代化进程中的机械化、智能化发展为秸秆大规模还田提供有力技术支撑。综上,直接还田将是解决秸秆剩余的可行方法,也将成为推动农业向绿色、高效、可持续方向发展的助推器。

参考文献 References

- [1] 石祖梁,王飞,王久臣,李想,孙仁华,宋成军.我国农作物秸秆资源利用特征、技术模式及发展建议[J].中国农业科技导报,2019,21(5):8-16
Shi Z L, Wang F, Wang J C, Li X, Sun R H, Song C J. Utilization characteristics, technical model and development suggestion on crop straw in China [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(5): 8-16 (in Chinese)
- [2] 周腰华,王亚静.我国秸秆综合利用政策演变、特征与展望[J].辽宁农业科学,2023(1):48-55
Zhou Y H, Wang Y J. Review and prospect of China's straw comprehensive utilization policy [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2023(1): 48-55 (in Chinese)
- [3] 王文博,王晓红.秸秆资源利用及秸秆还田生态环境效益的分析[J].农村经济与科技,2020,31(2):14,26
Wang W B, Wang X H. Utilization of straw resources and analysis of eco-environmental benefits of straw returning to field [J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2020, 31(2): 14, 26 (in Chinese)
- [4] 王美琦.长期秸秆还田对土壤微生态环境的影响研究[D].石家庄:河北科技大学,2022
Wang M Q. Study on the impact of long term straw-returning on soil microecological environment [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2022 (in Chinese)
- [5] 国家统计局.中国统计年鉴2024[M].北京:中国统计出版社,2024
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Statistical Yearbook 2024* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2024 (in Chinese)
- [6] 国家发展和改革委员会.中国资源综合利用年度报告[J].中国经贸导刊,2014,(30):49-56

- National Development and Reform Commission. Annual report on comprehensive utilization of resources in China[J]. *China Economic and Trade Journal*, 2014, (30): 49-56 (in Chinese)
- [7] 农业农村部. 关于政协十三届全国委员会第一次会议第 1661 号(农业水利类 181 号)提案答复的函[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201809/t20180921_6157770.htm
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Reply to Proposal No. 1661 (Agriculture and Water Conservancy Category No. 181) of the First Session of the 13th National Committee of the Chinese People's Political Consultative Conference [EB/OL]. [2025-08-08] https://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201809/t20180921_6157770.htm (in Chinese)
- [8] 农业农村部. 《全国农作物秸秆综合利用情况报告》发布 2021 年我国农作物秸秆综合利用率达 88.1% [EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn:10443/xw/zwdt/202210/t20221010_6412962.htm
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. The national report on comprehensive utilization of crop straw has been released, and the comprehensive utilization rate of crop straw in China reached 88.1% in 2021 [EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn:10443/xw/zwdt/202210/t20221010_6412962.htm (in Chinese)
- [9] 中央人民政府. 关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/25/content_5595566.htm
- The Central People's Government. Guiding opinions on comprehensive utilization of bulk solid waste during the “14th Five Year Plan” [EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/25/content_5595566.htm (in Chinese)
- [10] 国务院办公厅. 关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.changzhou.gov.cn/gi_news/133993794341617
- The General Office of the State Council. Opinions on accelerating the comprehensive utilization of crop straw [EB/OL]. [2025-08-08] https://www.changzhou.gov.cn/gi_news/133993794341617 (in Chinese)
- [11] 国家发展和改革委员会. 关于印发“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201112/t20111219_964353.html
- National Development and Reform Commission. Notice on issuing the implementation plan for comprehensive utilization of crop straw during the “12th Five Year Plan” [EB/OL]. [2025-08-08] https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201112/t20111219_964353.html (in Chinese)
- [12] 中国农业大学国家农业科技战略研究院, 国家农业科技发展智库联盟. 建设六大更高水平国家粮仓确保可持续粮食安全[J/OL]. 农科智库要报, [2025-08-08]. <https://zly.cau.edu.cn/module/download/downfile.jsp?classid=0&filename=25b0b242bf28439d85e5b8d8953ff697.pdf>
- National Institute of Agricultural Science and Technology Strategy, China Agricultural University, & National Alliance of Agricultural Science and Technology Development Strategy Think Tanks. Building six higher-level national grain barns to ensure sustainable food security[J/OL]. *Agricultural Think Tank Briefing*, [2025-08-08]. <https://zly.cau.edu.cn/module/download/downfile.jsp?classid=0&filename=25b0b242bf28439d85e5b8d8953ff697.pdf> (in Chinese)
- d8953ff697.pdf (in Chinese)
- [13] 国家发展和改革委员会. 关于进一步加快推进农作物秸秆综合利用和禁烧工作的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/t20151125_963505.html
- National Development and Reform Commission. Notice on further accelerating the comprehensive utilization of crop straw and prohibiting burning [EB/OL]. [2025-08-08] https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/t20151125_963505.html (in Chinese)
- [14] 农业农村部, 国家发展和改革委员会, 科技部, 财政部, 国土资源部, 环境保护部, 水利部, 国家林业局. 关于印发《全国农业可持续发展规划(2015—2030 年)》的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. <https://www.charltonslaw.com/newsletters/china-news-alerts/cn/2015/457/15.pdf>
- Ministry of Agriculture, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, Ministry of Finance, Ministry of Land and Resources, Ministry of Environmental Protection, Ministry of Water Resources, State Forestry Administration. Notice on issuing the national agricultural sustainable development plan (2015-2030) [EB/OL]. [2025-08-08] <https://www.charltonslaw.com/newsletters/china-news-alerts/cn/2015/457/15.pdf> (in Chinese)
- [15] 农业农村部, 国家发展和改革委员会, 科技部, 自然资源部, 生态环境部, 国家林草局. 关于印发《“十四五”全国农业绿色发展规划》的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn/nygbg/2021/202109/202112/t20211207_6384020.htm
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, Ministry of Natural Resources, Ministry of Ecology and Environment, National Forestry and Grassland Administration. Notice on issuing the “14th Five Year Plan for national agricultural green development” [EB/OL]. [2025-08-08] https://www.moa.gov.cn/nygbg/2021/202109/202112/t20211207_6384020.htm (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国生态环境部. 中华人民共和国大气污染防治法[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/fl/201811/t20181113_673567.shtml
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Air pollution prevention and control law of the People's Republic of China [EB/OL]. [2025-08-08] https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/fl/201811/t20181113_673567.shtml (in Chinese)
- [17] 国务院. 关于印发全国生态环境保护纲要的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2001/content_61225.htm
- The State Council. Notice on issuing the national ecological environment protection outline [EB/OL]. [2025-08-08] https://www.gov.cn/gongbao/content/2001/content_61225.htm (in Chinese)
- [18] 财政部, 国家税务总局. 关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. <https://www.chinatax.gov.cn/chinatax/n810341/n810765/n812171/200812/c1190512/content.html>
- Ministry of Finance and the State Administration. Taxation notice on value added tax policies for comprehensive utilization of resources and other products [EB/OL]. [2025-08-08] <https://www.chinatax.gov.cn/chinatax/n810341/n810765/n812171/200812/c1190512/content.html>

- n810341/n810765/n812171/200812/c1190512/content.html (in Chinese)
- [19] 国家发展和改革委员会, 农业部. 关于印发编制秸秆综合利用规划的指导意见的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2009/content_1371353.htm
- National Development and Reform Commission, Ministry of Agriculture. Notice on printing and distributing the guiding opinions on compiling the comprehensive utilization plan for straw[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2009/content_1371353.htm (in Chinese)
- [20] 国家发展和改革委员会. 关于加快发展农业循环经济的指导意见[EB/OL]. [2025-08-08]. <https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=2392>
- National Development and Reform Commission. Guiding opinions on accelerating the development of agricultural circular economy[EB/OL]. [2025-08-08]. <https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=2392> (in Chinese)
- [21] 农业农村部. 农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/SCYJJXXS/202410/t20241025_6465040.htm
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Guiding opinions of the ministry of agriculture and rural affairs on vigorously developing smart agriculture[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/SCYJJXXS/202410/t20241025_6465040.htm (in Chinese)
- [22] 农业农村部. 关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn/nybg/2025/202501/202501/t20250114_6469123.htm
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Guiding opinions on accelerating agricultural development, comprehensively promoting green transformation, and boosting rural ecological revitalization[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.moa.gov.cn/nybg/2025/202501/202501/t20250114_6469123.htm (in Chinese)
- [23] 国家统计局. 中华人民共和国2024年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202502/t20250228_1958817.html
- National Bureau of Statistics. Statistical communique of the people's republic of china on national economic and social development in 2024[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202502/t20250228_1958817.html (in Chinese)
- [24] Xu G Q, Ma Y F, Qin G Q, Xu C H, Zhu Y C. Why Chinese farmers are reluctant to transfer their land in the context of non-agricultural employment: insights from agricultural mechanization [J]. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2025, 12(1): 428
- [25] 农业农村部. 2022年全国农业机械化发展统计公报[EB/OL]. [2025-08-08]. https://njhs.moa.gov.cn/nyjxhqk/202406/t20240618_6457395.htm
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Statistical communique on national agricultural mechanization development in 2022[EB/OL]. [2025-08-08]. https://njhs.moa.gov.cn/nyjxhqk/202406/t20240618_6457395.htm (in Chinese)
- [26] 仇相芹. 新发展阶段我国智慧农业发展的困境与出路[J]. 智慧农业导刊, 2025, 5(1): 6-10, 17
- Qiu X Q. Dilemmas and solutions of smart agriculture development in China at the new development stage[J]. *Journal of Smart Agriculture*, 2025, 5(1): 6-10, 17 (in Chinese)
- [27] 农业农村部. 农业农村部关于印发《全国乡村产业发展规划(2020-2025年)》的通知[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/17/content_5527720.htm
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice of the ministry of agriculture and rural affairs on printing and distributing the national rural industry development plan (2020-2025)[EB/OL]. [2025-08-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/17/content_5527720.htm (in Chinese)
- [28] 谢东虹, 段成荣. 新时代中国人口发展新形势、人口研究重要使命及人口工作优先任务[J]. 社会科学文摘, 2025, (7): 97-99
- Xie D H, Duan C R. New trends in population development in the new era of China, Key missions in population research, and priority tasks in population work[J]. *Social Sciences Digest*, 2025, (7): 97-99 (in Chinese)
- [29] 朱军. 乡村振兴背景下农村老龄化研究: 现实困境与优化路径[J]. 现代商贸工业, 2025, 46(18): 16-18
- Zhu J. Research on rural aging in the context of rural revitalization: Current challenges and optimization pathways[J]. *Modern Business Trade Industry*, 2025, 46(18): 16-18 (in Chinese)
- [30] 都阳, 崔慧敏. 农村人口老龄化: 趋势、挑战与应对策略[J]. 中国农村观察, 2025(4): 3-17
- Du Y, Cui H M. Rural population aging: Trends, challenges, and countermeasures[J]. *China Rural Survey*, 2025(4): 3-17 (in Chinese)
- [31] 国家统计局. 2023年农民工监测调查报告[EB/OL]. [2025-08-09]. https://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202404/t20240430_1948783.html
- National Bureau of Statistics. Monitoring survey report on migrant workers in 2023[EB/OL]. [2025-08-09]. https://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202404/t20240430_1948783.html (in Chinese)
- [32] 张琛, 张云华. 根据农村常住人口变化趋势谋划乡村振兴[J]. 中国发展观察, 2021(5): 26-29
- Zhang C, Zhang Y H. Planning rural revitalization based on the changing trend of rural permanent population[J]. *China Development Observation*, 2021(5): 26-29 (in Chinese)
- [33] 徐国劲, 谢永生, 骆汉. 生态问题的经济社会根源与治理对策: 以美国“黑风暴”事件为例[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 5755-5765
- Xu G J, Xie Y S, Luo H. The economic and social origins of ecological problems and control countermeasures: Taking the American “Dust Bowl” incident as an example[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(16): 5755-5765 (in Chinese)
- [34] Chen S Q, Zhang G H, Wang C S. How does straw-incorporation rate reduce runoff and erosion on sloping cropland of black soil region[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, 357: 108676
- [35] 刘燕青, 王计磊, 李子忠. 秸秆覆盖对土壤水分和侵蚀的影响研究进展[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 429-436
- Liu Y Q, Wang J L, Li Z Z. Research process on the effects of straw mulch on soil moisture and soil erosion [J]. *Research of Soil and Water*

- Conservation*, 2021, 28(6): 429-436 (in Chinese)
- [36] 刘振东, 王飞, 赵云, 严丽. 保护性措施对农田土壤风蚀影响的室内风洞模拟[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 29-35
- Liu Z D, Wang F, Zhao Y, Yan L. Impact of protective measures on soil wind erosion on cropland: A indoor wind tunnel simulation[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2012, 10(2): 29-35 (in Chinese)
- [37] 王玉龙, 曾豫, 涂炜, 杨常巍, 张锐. 不同作物秸秆还田腐解对土壤养分及微生物群落结构的影响[J/OL]. 中国农业科技导报:中英文, 2025: 1-10. [2025-08-09]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3900.S.20250805.1556.006>
- Wang Y L, Zeng Y, Tu W, Yang C W, Zhang R. Impact of straw returning and decomposition from different crops on soil nutrients and microbial community structure[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2025: 1-10. [2025-08-09]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3900.S.20250805.1556.006> (in Chinese)
- [38] 李亚宁, 吴秀芹. 中国三大粮食作物耕地生态系统碳足迹分析[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2024, 60(3): 575-584
- Li Y N, Wu X Q. Analysis of ecosystem carbon footprint for three staple crop farmlands in China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2024, 60(3): 575-584 (in Chinese)
- [39] 陈昱, 才硕, 姚文武, 芦艳, 刘琳, 张福建. 作物秸秆还田资源化利用现状及生态效应研究进展[J]. 北方园艺, 2023(2): 121-127
- Chen Y, Cai S, Yao W W, Lu Y, Liu L, Zhang F J. Research progress on resource utilization and ecological effects of crop straw-returning to the field[J]. *Northern Horticulture*, 2023(2): 121-127 (in Chinese)
- [40] 李一. 我国主要耕作区秸秆养分资源现状及其还田利用的问题、对策研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- Li Y. The current situation, problems and countermeasures of straw nutrient resources for the use of returning to fields in main cultivated areas of China [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [41] 刘朝霞, 牛文娟, 楚合营, 牛智有. 秸秆热解工艺优化与生物炭理化特性分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 196-203
- Liu Z X, Niu W J, Chu H Y, Niu Z Y. Process optimization for straws pyrolysis and analysis of biochar physiochemical properties[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(5): 196-203 (in Chinese)
- [42] 李廷亮, 王宇峰, 王嘉豪, 栗丽, 谢钧宇, 李丽娜, 黄晓磊, 谢英荷. 我国主要粮食作物秸秆还田养分资源量及其对小麦化肥减施的启示[J]. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4835-4854
- Li T L, Wang Y F, Wang J H, Li L, Xie J Y, Li L N, Huang X L, Xie Y H. Nutrient resource quantity from main grain crop straw incorporation and its enlightenment on chemical fertilizer reduction in wheat production in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53 (23): 4835-4854(in Chinese)
- [43] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 梁国庆, 周卫. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥科学报, 2018, 24(1): 1-21
- Song D L, Hou S P, Wang X B, Liang G Q, Zhou W. Nutrient resource quantity of crop straw and its potential of substituting[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24 (1): 1-21 (in Chinese)
- [44] 刘晓永, 李书田. 中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2017, 33(21): 1-19
- Liu X Y, Li S T. Temporal and spatial distribution characteristics of crop straw nutrient resources and returning to farmland in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(21): 1-19 (in Chinese)
- [45] 柴如山, 安之冬, 马超, 王擎运, 章力干, 郅红建. 我国主要粮食作物秸秆钾养分资源量及还田替代钾肥潜力[J]. 植物营养与肥科学报, 2020, 26(2): 201-211
- Chai R S, An Z D, Ma C, Wang Q Y, Zhang L G, Gao H J. Potassium resource quantity of main grain crop straw and potential for straw incorporation to substitute potassium fertilizer in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(2): 201-211 (in Chinese)
- [46] 柴如山, 黄晶, 罗来超, 田达, 张亮亮, 叶新新, 章力干, 郅红建. 我国水稻秸秆磷分布及其还田对土壤磷输入的贡献[J]. 中国生态农业学报:中英文, 2021, 29(6): 1095-1104
- Chai R S, Huang J, Luo L C, Tian D, Zhang L L, Ye X X, Zhang L G, Gao H J. Distribution of rice straw phosphorus resources in China and its utilization potential under straw-returning[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, 29(6): 1095-1104 (in Chinese)
- [47] Yan C, Yan S S, Jia T Y, Dong S K, Ma C M, Gong Z P. Decomposition characteristics of rice straw returned to the soil in Northeast China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2019, 114(3): 211-224
- [48] 刘淑军, 李冬初, 黄晶, 曲潇林, 马常宝, 王慧颖, 于子坤, 张璐, 韩天富, 柳开楼, 申哲, 张会民. 近 30 年来我国小麦和玉米秸秆资源时空变化特征及还田减肥潜力[J]. 中国农业科学, 2023, 56(16): 3140-3155
- Liu S J, Li D C, Huang J, Qu X L, Ma C B, Wang H Y, Yu Z K, Zhang L, Han T F, Liu K L, Shen Z, Zhang H M. Spatial-temporal variation characteristics of wheat and maize stalk resources and chemical fertilizer reduction potential of returning to farmland in recent 30 years in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(16): 3140-3155 (in Chinese)
- [49] 代文才, 高明, 兰木玲, 黄容, 王金柱, 王子芳, 韩晓飞. 不同作物秸秆在旱地和水田中的腐解特性及养分释放规律[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 188-199
- Dai W C, Gao M, Lan M L, Huang R, Wang J Z, Wang Z F, Han X F. Nutrient release patterns and decomposition characteristics of different crop straws in drylands and paddy fields[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(2): 188-199 (in Chinese)
- [50] 龚振平, 邓乃榛, 宋秋来, 李中韬. 基于长期定位试验的松嫩平原还田玉米秸秆腐解特征研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(8): 139-145
- Gong Z P, Deng N Z, Song Q L, Li Z T. Decomposing characteristics of maize straw returning in Songnen Plain in long-time located experiment [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34 (8): 139-145 (in Chinese)
- [51] 卢小娜, 夏玉琼. 秸秆还田技术在农业生产中的应用与推广策略[J]. 种子科技, 2025, 43(13): 219-221
- Lu X N, Xia Y Q. Application and promotion strategies of straw-returning technology in agricultural production [J]. *Seed Science & Technology*, 2025, 43(13): 219-221 (in Chinese)

- [52] 贾瑞峰, 丛日环, 徐志宇, 孙元丰, 李晓阳, 戴志刚, 李小坤, 任涛, 鲁剑巍. 秸秆还田技术改善土壤理化性质提高作物产量的Meta分析[J]. 农业工程学报, 2025, 41(4): 80-89
- Jia R F, Cong R H, Xu Z Y, Sun Y F, Li X Y, Dai Z G, Li X K, Ren T, Lu J W. Meta analysis of straw returning technology to improve soil physicochemical properties and increase the yield of main cereal and oil crop [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2025, 41(4): 80-89 (in Chinese)
- [53] 陈盛, 黄达, 张力, 郭相平, 张秭瑄, 操信春. 秸秆还田对土壤理化性质及水肥状况影响的研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(6): 1-11
- Chen S, Huang D, Zhang L, Guo X P, Zhang S X, Cao X C. The effects of straw incorporation on physicochemical properties of soil: A review[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2022, 41(6): 1-11 (in Chinese)
- [54] He K X, Ma B L, Wei X F, Guo S, Feng C C, Liu C Y, Ma Y Q, Li P F. Straw return impacts on crop yield and yield variability: A meta-analysis[J]. *Soil and Tillage Research*, 2025, 254: 106712
- [55] Wang Y H, Ji Y B, Ma J, Elena M, Assiya A, Ding R X, Jia Z K, Siddique K H M, Liu E K, He J S, Zhang W J, Zhang P. Evaluate the impacts of different straw returning rates on soil quality and field environmental sustainability of film mulching or non-mulching farmland in semiarid region [J]. *Environmental Research*, 2025, 285: 122483
- [56] Ninkuu V, Liu Z X, Qin A Z, Xie Y J, Song X, Sun X W. Impact of straw returning on soil ecology and crop yield: A review[J]. *Heliyon*, 2025, 11(2): e41651
- [57] Zhang N, Bai L Y, Wei X X, Li T, Tang Y F, Zeng X B, Lei Z F, Wen J, Su S M. Promoted decomposition in straw return to double-cropped rice fields controls soil acidity, increases soil fertility and improves rice yield[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2025, 509: 161309
- [58] Zhou J J, Pan W K, Tang S, Ma Q X, Mi W H, Wu L H, Liu X. Optimizing nitrogen fertilization rate to achieve high yield and high soil quality in paddy ecosystems with straw incorporation [J]. *Journal of Environmental Management*, 2025, 375: 124158
- [59] 金雪, 孙学涛, 谢花林. 农户生态耕种采纳决策及行为效应研究: 基于测土配方施肥技术应用的实证[J]. 农业现代化研究, 2025, 46(4): 707-717
- Jin X, Sun X T, Xie H L. Research on the decisions and behavioral effects of farmers' adoption of ecological farming: Empirical analysis based on the application of soil testing and formula fertilization technology[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2025, 46(4): 707-717 (in Chinese)
- [60] 何宇鹏, 宦梅丽. 服务外包: 中国农业现代化如何突破土地规模制约[J]. 农村经济, 2024(6): 11-22
- He Y P, Huan M L. Service outsourcing: How China's agricultural modernization breaks through the constraints of land scale [J]. *Rural Economy*, 2024(6): 11-22 (in Chinese)
- [61] 国家统计局. 国家统计局关于2024年粮食产量数据的公告[EB/OL]. [2025-08-09]. [https://www. stats. gov. cn/zwfwck/sjfb/202412/t20241213_1957744. html](https://www.stats.gov.cn/zwfwck/sjfb/202412/t20241213_1957744.html)
- National Bureau of Statistics. Announcement of the national bureau of statistics on grain output data in 2024[EB/OL]. [2025-08-09]. [https://www. stats. gov. cn/zwfwck/sjfb/202412/t20241213_1957744. html](https://www. stats. gov. cn/zwfwck/sjfb/202412/t20241213_1957744.html) (in Chinese)
- [62] 2024年全国家庭农场、合作社、社会化服务工作情况与数据[J]. 农化市场十日讯, 2025(2): 1-1
- Work situation and data of national family farms, cooperatives and socialized services in 2024[J]. *Agrochemical market news*, 2025(2): 1-1 (in Chinese)
- [63] 蔡昉. 认识中国区域人口增减分化: 理论、经验和政策[J]. 中国人口科学, 2025(4): 3-17
- Cai F. Regional divergence of China's population development: Theories, experiences, and policies[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2025(4): 3-17 (in Chinese)
- [64] 曹淑艳, 徐勤飞, 张东玮, 黄岚, 龙菲, 张卫. 煤炭在中国农村生活能源中的利用与退出路径[J]. 煤炭学报, 2023, 48(7): 2668-2681
- Cao S Y, Xu Q F, Zhang D W, Huang L, Long F, Zhang W. Future of coal in rural household energy mix in China[J]. *Journal of China Coal Society*, 2023, 48(7): 2668-2681 (in Chinese)
- [65] 国家统计局. 第二次全国农业普查主要数据公报(第四号)[EB/OL]. [2025-08-09]. [https://www. stats. gov. cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902098. html](https://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902098.html)
- National Bureau of Statistics. Bulletin on major data of the Second National Agricultural Census (No. 4) [EB/OL]. [2025-08-09]. [https://www. stats. gov. cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902098. html](https://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902098.html)
- [66] 国家统计局. 第三次全国农业普查主要数据公报(第四号)[EB/OL]. [2025-08-09]. [https://www. stats. gov. cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902104. html](https://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902104.html)
- National Bureau of Statistics. Bulletin on Major Data of the Third National Agricultural Census (No. 4) [EB/OL]. [2025-08-09]. [https://www. stats. gov. cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902104. html](https://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902104.html)
- [67] 杨鹏. 中国农业绿色发展报告2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020
- Yang P. *China Agricultural Green Development Report 2020*[M]. Beijing: China agriculture press, 2020 (in Chinese)
- [68] 韩冬梅, 胡钰. “十五五”时期中国农业绿色发展愿景及行动方向[J/OL]. 农林经济管理学报, 2025: 1-11. [2025-08-09]. [https://link. cnki. net/urlid/36. 1328. F. 20251011. 0958. 002](https://link.cnki.net/urlid/36.1328.F.20251011.0958.002)
- Han D M, Hu Y. Vision and directions for China's agricultural green development during the 15th Five-Year Plan period[J/OL]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2025: 1-11. [2025-08-09]. [https://link. cnki. net/urlid/36. 1328. F. 20251011. 0958. 002](https://link.cnki.net/urlid/36.1328.F.20251011.0958.002) (in Chinese)
- [69] 熊志豪, 刘君权, 叶琳, 朱丹丹, 侯素素, 方娅婷, 丛日环, 任涛, 李小坤, 鲁剑巍. 粮油轮作系统秸秆直接还田与焚烧还田的作物产量和养分表观平衡特征[J]. 中国农业科学, 2025, 58(16): 3293-3303
- Xiong Z H, Liu J Q, Ye L, Zhu D D, Hou S S, Fang Y T, Cong R H, Ren T, Li X K, Lu J W. Characterization of crop yield and nutrient apparent balance between direct and burning straw return in rice-rapeseed rotation system [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2025, 58(16): 3293-3303 (in Chinese)
- [70] 农业农村部. 探索秸秆禁烧疏结合新路径⑥: 秸秆还田好处多, 一块算下“经济账”[EB/OL]. [2025-08-09]. [https://kjs. moa. gov. cn/hbny/202304/](https://kjs.moa.gov.cn/hbny/202304/)

t20230414_6425330.htm

the field, let's calculate the "economic account" [EB/OL]. [2025-08-09].

Ministry of agriculture and rural affairs. Exploring a new path of combining

https://kjs.moa.gov.cn/hbny/202304/t20230414_6425330.htm (in Chinese)

prohibition and dredging for straw ⑥: many benefits of straw-returning to

责任编辑: 申青苗



第一作者简介: 窦婉毓, 东北农业大学农学院博士研究生。主要围绕“作物-环境”系统协同的核心学术思想展开学习和试验。近 5 年发表学术论文 2 篇。曾获校级一等奖学金。



通讯作者简介: 闫超, 农学博士, 副教授, 现任东北农业大学农学系副主任。兼任中国农学会耕作制度分会理事(2023—2027 年)、中国土壤学会土壤工程工作委员会委员(2025 年至今)、*Climate Smart Agriculture* 青年编委。长期从事作物栽培与耕作学研究, 聚焦保护性耕作与作物栽培, 致力于将保护性耕作与作物栽培相融合, 旨在通过二者协同实现黑土区的绿色低碳与作物产能协同提升。主导 2 项、参与 3 项地方标准制定; 近 5 年发表 3 篇论文。获黑龙江省科学技术进步奖二等奖(2020 年)、“首届全国乡村振兴青年先锋”称号。



通讯作者简介: 宋秋来, 农学博士, 副研究员, 现任黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所耕作生态研究室副主任、黑龙江省高层次人才。兼任中国农学会耕作制度分会理事、黑龙江省耕作学会理事。主要从事保护性耕作与水稻高效栽培技术研究工作。发表学术论文 20 余篇; 主持制定省地方标准 2 项。先后获全国博士后创新创业大赛铜奖, 黑龙江省科学技术进步奖二等奖、三等奖等奖励 5 项。