

## 中国和阿根廷黑土地保护与利用比较研究<sup>①</sup>

菅 乐<sup>1,2</sup>, 王雨婷<sup>1,3</sup>, 田 康<sup>1</sup>, 李贝贝<sup>1</sup>, 黄界颖<sup>3</sup>, 胡文友<sup>1,2\*</sup>, 黄 标<sup>1,2</sup>,  
TABOADA Miguel Angel<sup>4</sup>

(1 土壤与农业可持续发展全国重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 211135; 2 中国科学院大学中丹学院, 北京 101408; 3 安徽农业大学环境与资源学院, 合肥 230036; 4 阿根廷布宜诺斯艾利斯大学农学院, 布宜诺斯艾利斯 C1417DSE)

**摘要:** 切实、有效地保护和利用黑土地资源是保障全球粮食安全以及实现可持续农业发展的必然要求。本文以中国和阿根廷两国的黑土地资源为研究对象, 对比分析了两国黑土地分布、黑土地退化问题以及土地利用、农用化学品、农业机械化等农业利用情况, 系统梳理了两国黑土地保护与利用相关技术模式和管理政策, 提出了黑土地保护与可持续利用展望。中国和阿根廷在黑土地保护与利用上均采用保护性耕作, 积极开展农业科技创新, 并取得了一定的成效。中国侧重于多种保护性耕作技术中少免耕与秸秆覆盖等多种方式的集成与应用, 并出台了一系列黑土地保护法律法规; 阿根廷则以免耕耕作配合秸秆覆盖和多样化的轮作, 推进可持续实践的落地。两国各有特点, 为全球黑土地保护与可持续利用提供了多元的参考范例。未来应加强两国乃至全球黑土地保护与利用的国际交流与合作, 强化技术研发与应用体系建设、加大科技创新及政策支持, 实现不同国家和地区黑土地保护优势互补, 推动和实现全球黑土地土壤资源的保护与可持续利用。

**关键词:** 黑土地保护; 东北黑土区; 阿根廷; 保护性耕作; 国际比较

中图分类号: S155.2+7 文献标志码: A

### Comparative Study on Conservation and Utilization of Black Soil in China and Argentina

JIAN Le<sup>1,2</sup>, WANG Yuting<sup>1,3</sup>, TIAN Kang<sup>1</sup>, LI Beibei<sup>1</sup>, HUANG Jieying<sup>3</sup>, HU Wenyou<sup>1,2\*</sup>, HUANG Biao<sup>1,2</sup>,  
TABOADA Miguel Angel<sup>4</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China; 2 Sino-Danish College, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China; 3 College of Environment and Resources, Anhui Agriculture University, Hefei 230036, China; 4 Faculty of Agronomy, University of Buenos Aires, Buenos Aires C1417DSE, Argentina)

**Abstract:** Effective conservation and utilization of black soil resources is an inevitable requirement for ensuring global food security and realizing sustainable agricultural development. This paper took the black soil resources of China and Argentina as the research objects, compared and analyzed the distribution of black soil, the degradation of black soil, the agricultural utilization of land use, agrochemicals, and agricultural mechanization in the two countries, systematically sorted out the relevant technical models and management policies of black soil conservation and utilization in the two countries, and put forward the prospect of black soil conservation and sustainable utilization. Both China and Argentina have adopted conservation tillage practices in the protection and utilization of black soils, actively engaged in agricultural science and technology innovation and have achieved notable progresses. China focuses on the integration and application of a variety of conservation tillage techniques, such as less-till, no-till and straw mulching, and has introduced a series of laws and regulations on black soil conservation. While Argentina combines no-tillage with straw mulching and diversified crop rotations to promote the implementation sustainable practices. The two countries have their own characteristics, which provide multiple reference examples for global black soil conservation and sustainable utilization. In the future, it is necessary to strengthen international exchanges and cooperation in the conservation and utilization of black soil between the two countries and even the world, strengthen the construction of technology

①基金项目: 江苏省科技计划“一带一路”创新合作项目(BZ2023003)、国家重点研发计划项目(2021YFD1500202, 2024YFD1501102)和中国科学院南京土壤研究所“十四五”自主部署项目(ISSAS2418)资助。

\* 通信作者(wyhu@issas.ac.cn)

作者简介: 菅乐(2001—), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要从事区域土壤质量演变与评价研究。E-mail: jianle@issas.ac.cn

research and development and application system, increase scientific and technological innovation and policy support, realize the complementary advantages of black soil conservation in different countries and regions, and promote and realize the conservation and sustainable utilization of global black soil resources.

**Key words:** Black soil conservation; Northeast black soil region; Argentina; Conservation tillage; International comparison

黑土是一种非常肥沃的土壤资源,全球黑土地总面积约 7.25 亿  $\text{hm}^2$ , 占全球土壤面积的 5.6%, 主要集中分布在东欧平原、美国密西西比河流域、中国东北平原以及南美洲阿根廷连至乌拉圭的潘帕斯草原<sup>[1]</sup>。全球黑土地面积的 2/3 被用于农业生产, 黑土地资源是中国粮食安全的“压舱石”, 也是阿根廷被誉为“世界粮仓和肉库”的基础条件, 在中国、阿根廷乃至全球粮食安全方面发挥着重要作用。但随着农业利用强度的不断增加和不利自然因素的影响, 黑土地土壤退化问题逐渐凸显<sup>[2]</sup>, 长期以来重用轻养的农业利用方式造成黑土腐殖质表层“变薄”, 土壤有机质含量减少而肥力“变瘦”, 土壤质地改变而结构“变硬”, 导致黑土地生产性能和生态服务功能降低, 严重威胁全球粮食和生态安全。目前, 土地退化已成为全球黑土地保护与利用中的共性问题, 并成为制约全球黑土地可持续利用的重要限制因素<sup>[2]</sup>。

为了应对黑土地退化的威胁, 国际组织及诸多国家采取了一系列行动。2017 年 6 月, 国际黑土联盟(INBS)正式成立, 旨在为各黑土国家提供一个知识共享平台, 以讨论与黑土地保护和可持续管理相关的常见问题, 并推进各国之间合作交流。我国围绕黑土地保护与可持续利用开展了大量研究, 主要集中在黑土地保护性耕作、黑土地退化与阻控、黑土地健康与保育等方面<sup>[3]</sup>。2021 年, 我国发布的中央一号文件明确提出“实施国家黑土地保护工程, 推广保护性耕作模式”, 将黑土地保护上升为国家重大战略, 并实施了“黑土地保护与利用科技创新”重点专项, 围绕黑土地“变薄、变瘦、变硬”等退化问题, 开展了“黑土地耕地质量监测与评价”“黑土地土壤退化过程与阻控”“黑土地产能和质量提升”“黑土地健康与保育”等科技攻关, 推广并实施针对不同区域类型和特点的保护性耕作模式, 并持续完善黑土地管理制度。阿根廷是第一个与我国签署“一带一路”谅解备忘录的拉丁美洲国家, 于 2017 年建立了国家农业土壤观测站, 基于保护性耕作技术开展黑土地产能提升工作, 同时发展新型农业科技, 大力推广黑土地可持续利用技术。阿根廷在黑土地保护性耕作方面长期的实践经验, 能够为我国制定具有特色的保护性耕作模式提供很好的借鉴; 而我国针对黑土地保护因地制宜的技术

模式和全方位覆盖的政策支持体系, 也可以成为阿根廷黑土地保护的参考范例。因此, 找到适合黑土地可持续发展的路径和模式, 实现中阿优势互补, 对于中国、阿根廷乃至全球粮食安全和黑土地资源的保护和可持续利用具有重要意义。

本文旨在探究中国和阿根廷黑土地保护与利用情况, 对中国和阿根廷黑土地资源状况、土壤退化问题以及农业利用方式、农用化学品和机械化水平等方面进行对比分析, 并对两国黑土地保护与利用的技术模式与管理政策进行比较研究; 以中国黑土地保护与利用的“梨树模式”为例, 展现了可持续的高产增效保护性耕作生态实践; 最后, 提出黑土地保护与可持续利用的展望, 为中国和阿根廷乃至全球黑土地保护与可持续利用提供参考和借鉴。

## 1 中国和阿根廷黑土地资源及土地退化概况

由于地理位置、气候条件以及农业发展模式的不同, 中国和阿根廷在黑土地资源方面呈现出较大的差异(表 1)。中国东北黑土区主要分布在东北三省和内蒙古东四盟, 属温带季风气候, 四季分明, 夏季温暖多雨, 冬季寒冷干燥, 总面积约 1.09 亿  $\text{hm}^2$ , 约占全球黑土区总面积的 12%<sup>[4-5]</sup>。土壤类型主要有黑土、黑钙土、暗棕壤、棕壤、白浆土、草甸土 6 种<sup>[6]</sup>。中国东北黑土区耕地面积约 0.36 亿  $\text{hm}^2$ , 主要用于粮食种植、林业和畜牧业<sup>[7]</sup>。东北黑土区的农业生产模式早期以渔猎游牧为主, 后逐步发展为原始农业、传统农业。20 世纪, 东北地区开始对土地资源进行大规模的开发利用与扩张, 出现了一系列土地退化问题。到了 21 世纪, 东北黑土地区转变发展理念, 注重开发与保护并重。

阿根廷黑土区与乌拉圭、巴西黑土区共同组成全球第四大黑土区, 黑土面积约 1.05 亿  $\text{hm}^2$ , 是南半球最大黑土区。阿根廷的黑土主要分布在东部的潘帕斯草原, 总面积约 0.89 亿  $\text{hm}^2$ , 占阿根廷国土面积的 32%<sup>[5, 8]</sup>。潘帕斯草原处于亚热带季风性湿润气候与温带大陆性气候的过渡区域, 冬季气候温和, 降水较为充沛且季节分配相对均匀; 夏季气温高时, 雨水淋溶作用强, 土壤中氧化铁含量增加, 出现红化现象, 形成介于黑土与红壤之间的“红化黑土”, 肥力虽不

表1 中国和阿根廷黑土区资源及土地退化概况  
Table 1 Overview of black soil resources and soil degradation in China and Argentina

黑土区	分布地区	土壤类型	面积 (10 <sup>8</sup> hm <sup>2</sup> )	年平均温度 (°C)	年平均降水 (mm)	土地利用 方式	作物 类型	肥料施用	农药施用	土地退化
中国	黑龙江、吉林、辽宁及内蒙古东部	以黑土、黑钙土、草甸土、暗棕壤等为主 <sup>[6]</sup>	1.09	-2.5~5.6 <sup>[5]</sup>	300~600 <sup>[5]</sup>	耕地、放牧、林业等	玉米、水稻、大豆等	使用量大, 依赖(85%), 包括莠度高	以除草剂为主去津、乙草胺等	长期重用轻养导致黑土地“变薄、变瘦、变硬”等
阿根廷	主要分布在潘帕斯草原	以软土、淋溶土、新成土等为主	0.89	14~19	500~1500	耕地、放牧等	玉米、大麦、小麦、大豆等	使用量小, 主要(87%), 包括草是磷肥	以除草剂为主甘膦(65%)、2,4-D等	土地集约化利用导致土壤侵蚀、盐碱化等

及黑土, 但也十分肥沃, 潘帕斯草原是世界上主要的红化黑土分布区。按照美国土壤分类系统<sup>[9]</sup>, 阿根廷黑土区的主要土壤类型有软土、淋溶土、新成土、变性土等<sup>[8, 10]</sup>, 主要用于大豆、玉米、小麦等农作物的种植以及畜牧业。阿根廷最早的农业历史可以追溯到1528年, 种植的第一茬作物为小麦。19世纪末, 在欧洲移民和殖民政策的推动下, 阿根廷农业开始起步, 以谷类作物和牲畜为主。20世纪, 随着土地大规模开垦, 集约化程度提高, 土地退化问题随之出现, 阿根廷开始推广免耕农业<sup>[11]</sup>。

中国和阿根廷黑土区都面临着一定的土地退化问题, 如土壤侵蚀、土地肥力下降、化学污染、土壤压实、生物多样性损失、营养失衡, 盐渍化和酸化等, 但具有不同的程度、规模、频率与速度。造成黑土地退化的原因有很多, 包括气候、地形、沟壑和冻融等自然因素以及持续的单一种植、不合理的土地利用和管理方式、不可持续的农业实践及农用化学品的过度使用等人为因素<sup>[2, 12-13]</sup>。

中国东北地区长期采用高强度的农业生产活动, 不合理的开垦和耕作是黑土地退化的主要原因<sup>[6]</sup>。2023年, 东北黑土区的水土流失面积为0.21亿hm<sup>2</sup>, 占黑土地总面积的19.20%<sup>[14]</sup>。由于气候原因, 东北地区冬季存在的冻融交替现象, 也在一定程度上加重了土壤侵蚀<sup>[15]</sup>。受土壤侵蚀的影响, 黑土层厚度逐年递减, 其中40%的腐殖质层厚度已不足30cm<sup>[4]</sup>, 导致土壤“变薄”。近40年来, 中国东北的黑土有机质下降了一半左右<sup>[4]</sup>, 耕层有机质以每年0.1%的平均速度下降<sup>[4, 16]</sup>, 导致土壤“变瘦”。受机械开垦、化肥施用过量等因素影响, 黑土地表层土壤容重随开垦年限显著增加, 平均10年土壤容重增加0.06 g/cm<sup>3</sup><sup>[4]</sup>, 导致土壤“变硬”。黑土地“变薄、变瘦、变硬”等土壤退化问题威胁着东北黑土区土壤的安全和农业

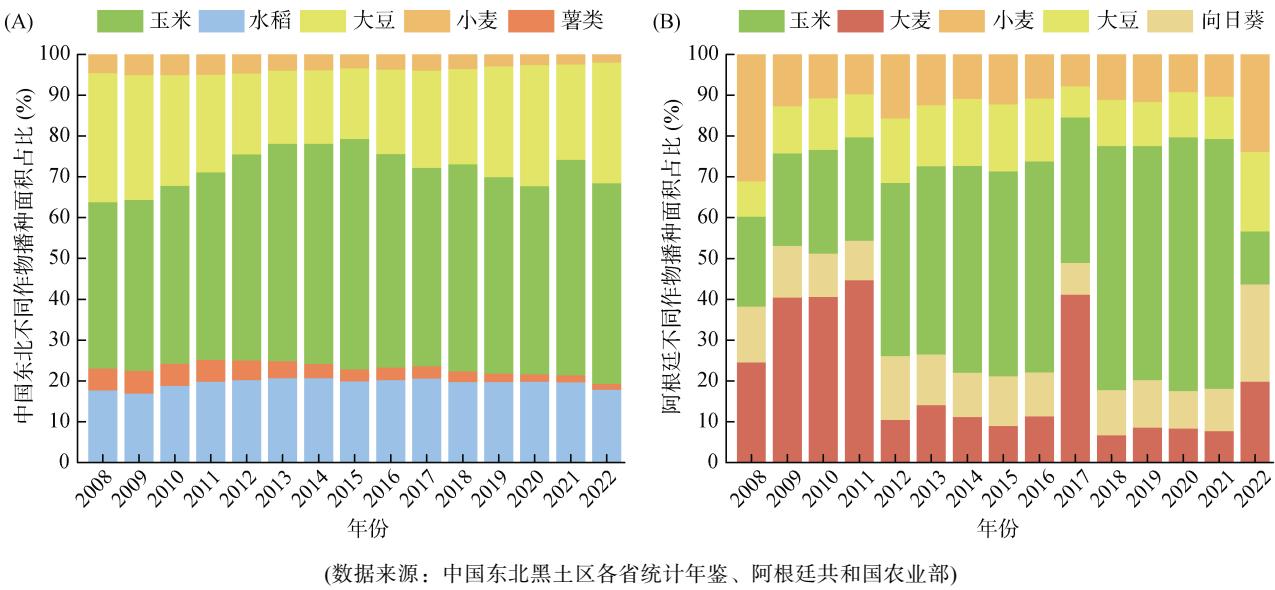
的可持续发展。

阿根廷黑土区土壤退化的主要原因是土地的集约化利用, 表现为土壤侵蚀、盐碱化、土地肥力失衡和生物多样性降低等<sup>[10]</sup>。阿根廷农业生产力的提升依靠集约化的农业实践, 由于大规模的土地开发以及农业化学品的持续投入, 高强度的农业生产导致土壤侵蚀和退化问题不断凸显。根据对阿根廷干旱地区的评估, 81%的评估区域呈现出不同程度的退化问题, 其中26%的区域出现“严重退化”<sup>[11]</sup>, 29.3%的土壤受到土壤盐碱化的影响。2017年, 潘帕斯地区受到土壤侵蚀影响的面积约0.42亿hm<sup>2</sup>, 占黑土区总面积的47%, 其中, 21%的区域为严重侵蚀<sup>[10]</sup>, 在农业种植扩大的地区, 水土流失的风险更高。此外, 作物的单一种植也导致了土壤的压实<sup>[5]</sup>, 土壤资源承受着压力, 生产可持续性高度依赖于保护性耕作的应用<sup>[17]</sup>。而免耕技术不足以逆转土壤退化, 长期的耕作造成潘帕斯地区土壤有机质下降15%~20%<sup>[10]</sup>。

## 2 中国和阿根廷农业利用概况

### 2.1 土地利用情况

中国和阿根廷都是农业大国, 土地利用均以耕地为主。东北黑土区是中国重要的商品粮基地, 耕地面积广阔, 种植结构以粮食作物为主导, 2020年, 粮食作物占总播种面积的比例为93.3%, 主要的粮食作物是玉米、大豆和水稻。2022年, 东北地区玉米、大豆和水稻3种农作物播种面积所占百分比高达96.7%(图1A)。21世纪以来, 东北黑土区粮食播种面积稳步增加, 粮食产量持续稳定提升, 粮食单产水平显著提高<sup>[6]</sup>。阿根廷畜牧业历史悠久, 潘帕斯大草原作为南美洲优质的草场, 地广人稀, 是世界上优质的畜牧业生产区。截至2022年, 阿根廷畜牧业占农牧业总产值的40%, 其中80%的牲畜集中在潘帕斯



(数据来源: 中国东北黑土区各省统计年鉴、阿根廷共和国农业部)

图 1 2008—2022 年中国黑土区(A)和阿根廷(B)主要粮食作物种植结构变化

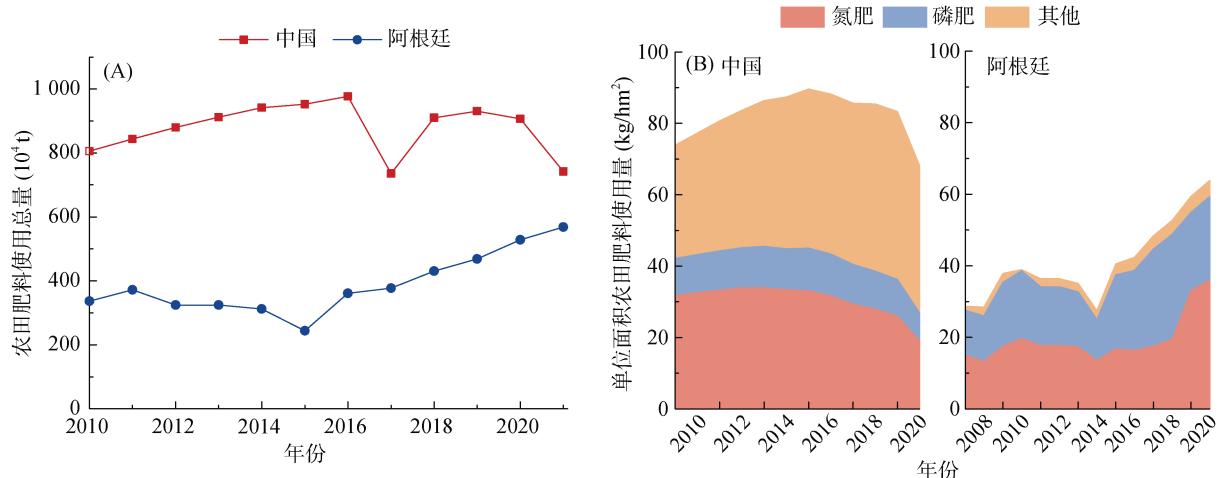
Fig.1 Structure changes of main grain crops in Northeast China (A) and Argentina (B) from 2008 to 2022

草原, 以牛、羊为主。随着近代农业发展, 许多草原被开垦为耕地, 潘帕斯地区逐渐成为农业种植的主产区, 为阿根廷贡献了 80% ~ 85% 的农业产量。20 世纪 90 年代以来, 阿根廷耕地面积不断增加, 从 1990 年到 2015 年, 潘帕斯地区的播种面积和粮食总产量显著增加, 播种面积从 0.2 亿  $\text{hm}^2$  扩大到近 0.35 亿  $\text{hm}^2$ , 年总产量几乎增加了两倍, 从 0.35 亿吨增加到近 1 亿吨<sup>[18]</sup>, 玉米(41.7%)、大麦(19.9%)、小麦(13.3%)和大豆(12.9%)是阿根廷主要的粮食作物<sup>[11, 19]</sup>(图 1B)。

## 2.2 农用化学品使用情况

### 2.2.1 化肥使用情况 由于庞大的人口数量与集

约化的土地生产, 中国对化肥和农药的依赖程度较高, 追求粮食高产, 以确保粮食安全和农产品供应充足。2015 年以来, 东北黑土区农业要素投入进入结构调整期, 化肥施用量持续下降<sup>[4]</sup>, 并更多地施用有机肥, 推动“减施增效”工作持续进行。因此, 合理施用化肥、提高化肥施用效率是黑土地保护与利用的重要研究内容之一。统计数据显示, 中国黑土区的农田肥料使用总量与单位面积使用量均高于阿根廷(图 2)。其中, 中国黑土区使用的肥料以复合肥(41.5%)和氮肥(37.8%)为主, 阿根廷以氮肥(46.7%)和磷肥(46.1%)为主。



(数据来源: 中国东北黑土区各省统计年鉴、阿根廷肥料与农用化学品工业商会 (CIAFA))

图 2 2010—2021 年中国黑土区与阿根廷农田肥料使用总量(A)以及单位面积不同种类肥料使用量(B)

Fig.2 Total fertilizer use (A), and fertilizer use per hectare by different categories (B) of farmland in Northeast China and Argentina from 2010 to 2021

20 世纪 90 年代之前, 阿根廷的化肥施用量一直很低。直到 1990 年之后, 阿根廷才开始加大化肥的

使用力度, 以改良土壤和提高单产, 但包括潘帕斯在内的黑土区土壤氮、磷和硫元素的负收支状况一直存

在<sup>[11]</sup>。2018年, 阿根廷仅有44%的区域进行施肥, 平均施用量为 $63 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 其中92%为磷肥, 6%为硫肥, 但仍有超过70%的地块存在磷素限制, 也存在氮、硫、微量元素和钾的局部和普遍限制, 导致大豆的正常生长都难以维持<sup>[20]</sup>。因此, 合理施肥以保证养分供应对于提高阿根廷大豆的产量和品质非常重要。此外, 阿根廷对于化肥存在较高的进口依赖度。2018—2022年, 阿根廷有60%~80%的化肥消耗来自进口, 其中化肥进口量的15%来自中国<sup>[21]</sup>。

### 2.2.2 农药使用情况

根据FAO统计数据<sup>[22]</sup>, 近30年间, 美国、中国、巴西、日本、阿根廷均为农

药使用大国。其中, 中国农药年使用量在2010年前位居世界第二, 从2015年国家实施农药减量政策后逐渐递减, 使用量位居世界第三。

由于中国庞大的农业生产规模, 农药使用总量一直高于阿根廷(图3A), 但单位面积农药使用量低于阿根廷(图3B), 可能是由于1994年以来, 阿根廷对改良种子和免耕技术的推动, 使得包括农药在内的农业投入品得到了推广<sup>[23]</sup>。截至2021年, 中国、阿根廷的单位面积农药用量分别为 $1.83 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 和 $5.58 \text{ kg}/\text{hm}^2$ (图3B)。中国与阿根廷在农药施用方面均以除草剂为主, 中国也施用一定比例的杀虫剂和杀菌剂(图3C)。

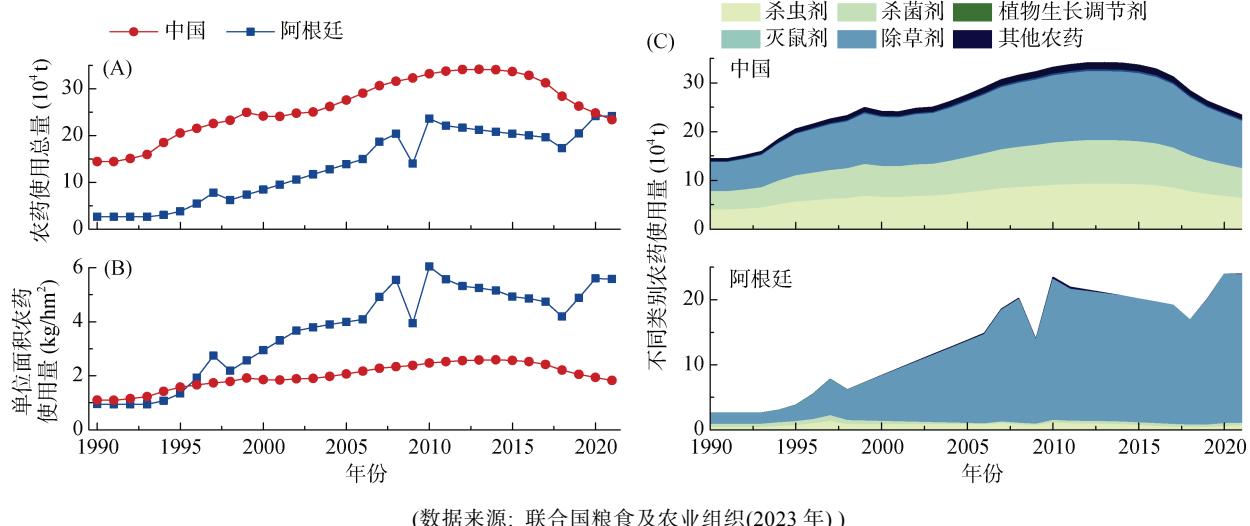


图3 1990—2021年中国与阿根廷农药使用总量(A)、单位面积农药使用量(B)及不同类别农药使用量(C)  
Fig.3 Total pesticide use (A), pesticide use per hectare (B), and pesticide use by different categories (C) in China and Argentina from 1990 to 2021

进一步对两国黑土区除草剂等农药施用情况进行分析, 中国东北黑土区主要使用的化学合成除草剂包括莠去津、乙草胺、烟嘧磺隆等<sup>[7]</sup>; 阿根廷则更多地使用草甘膦(占总数的65%)、2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)、莠去津、双氯磺草胺和烯草酮<sup>[24]</sup>。此外, 阿根廷也一直致力于加强环境友好型农药与转基因抗除草剂作物等产品的研发, 以改善杂草的防治。

### 2.3 农业机械化水平

我国东北黑土区是农业机械化起步最早、综合机械化水平最高的地区。经过多年的农业实践以及对国外经验的借鉴, 农机装备保有量持续增加、性能持续提升, 至2020年, 东北黑土区各省的农业综合机械化率均高于80%, 黑龙江省达到98%<sup>[4]</sup>。以机械化为基础, 规模化、标准化、专业化、信息化、自动化、智能化为特征的作业方式已经成为东北黑土区现代可持续农业发展的基石<sup>[25-27]</sup>。此外, 随着科技的不断发展, 精准农业体系的建立、现代化农机合作社

体系的发展也推动着东北黑土区农业技术层次的提升<sup>[26]</sup>。

阿根廷农业机械推广水平起步较早, 20世纪初以来, 阿根廷农业已实现机械化, 并有机械和设备工业的传统<sup>[23]</sup>。目前, 阿根廷农业机械化程度位居拉丁美洲国家前列, 农业主要机械保有量较高, 一些大农场从耕地到收割、运输的全过程均采用机械化生产, 拖拉机、联合收割机等农用机械贸易发展稳步增长<sup>[28]</sup>。通过农机与农艺的结合, 以潘帕斯草原地区为中心, 阿根廷黑土区农业技术的推广和农业生产机械化逐步推进, 包括农业机械的创新和精准农业的计算机控制系统等<sup>[29]</sup>。

## 3 中国和阿根廷黑土地保护与利用技术模式

传统的翻耕、裸露种植等耕作方式在一定程度上导致了黑土地的土壤侵蚀、肥力下降以及生态环境的破坏。而保护性耕作则强调尽量减少对土壤的扰动,

促使土壤团聚体的形成更加稳定,以此来保护土壤的结构和肥力,提高黑土地的可持续利用能力<sup>[30]</sup>。保护性耕作是在种植作物后,使用作物残留物对土壤表层进行 30% 及以上覆盖的土壤耕作方法<sup>[12, 31]</sup>,由美国于 20 世纪 30 年代最先提出。自 20 世纪 60 年代,苏联、加拿大、澳大利亚、阿根廷等国都开始向美国学习,为当地农业带来了巨大的发展。从 20 世纪 70 年代开始,中国也开始关注免耕、秸秆覆盖等有关技术,并逐渐投入使用。

目前,中国和阿根廷都采取了一系列黑土地保护性耕作技术,主要包括免耕少耕、植被覆盖、作物轮作以及肥料管理等,表 2 总结了中国和阿根廷黑土地

主要保护性耕作技术与成效。免耕技术极大程度上减少了中国和阿根廷的土壤有机质损失,在一定程度上减缓和扭转了土地退化进程<sup>[32-33]</sup>,提高了农业生产的可持续性。其中,免耕技术的广泛应用在阿根廷黑土区取得了显著成效,潘帕斯地区有 90% 以上的农业区域实行免耕,并在休耕期间与“作物覆盖”相结合<sup>[11]</sup>,从技术应用到田间管理等多个层面有着长期的实践经验。在实际农业活动中,多种保护性耕作技术的综合应用对于提升黑土地土壤质量与粮食生产具有重要意义。在地势起伏较大的地区,修建梯田可以降低山坡坡度和坡长,从而减缓坡面径流速度,在防止水土流失方面也起到了举足轻重的作用<sup>[8]</sup>。

表 2 中国和阿根廷黑土地保护性耕作技术与成效  
Table 2 Conservation tillage techniques and effects of black soils in China and Argentina

保护性耕作技术	技术内容	主要成效	文献
免耕少耕	避免过度翻动土壤的耕作方式	减少土壤侵蚀与水分散失、提高团粒体稳定性、增加土壤碳积累	[34-39]
秸秆覆盖	增加地表植被、减少土壤暴露的植被管理方式	防控风蚀、水蚀;增加微生物丰度,维系土壤养分循环;缓解土壤水热矛盾,改善土壤质量	[3, 39-43]
作物轮作	按照季节或年份轮换种植不同作物的农业种植方式	促进耕层土壤有机碳的积累和保水性能的提高,减少病虫害,改善土壤质量	[44-46]
肥料管理	有机肥和化肥综合施用的方式	增加土壤有机质含量、微生物群落的丰度和多样性,促进作物生长和养分积累,从而改善土壤质量和健康	[2, 47-49]
其他技术	垄作、梯田等	改善土壤的通气性、排水性,保温、保墒,有助于提高农作物产量,减少水土流失	[8, 50]

但也有研究表明,免耕在水分限制作物生长(相对干旱地区)的情况下更有利提高产量<sup>[51-52]</sup>,而不适用于低洼、排水不畅的农田<sup>[53]</sup>。因此,在实施免耕的过程中,应考虑土壤的限制和适用性,以寻求可持续农业生产。

值得注意的是,在相似的保护性耕作技术体系下,我国根据不同区域黑土地退化的主要特征形成了保护性耕作技术综合集成的解决方案,“梨树模式”可以作为典型范例。“梨树模式”是在松嫩平原南部的薄层黑土区<sup>[6]</sup>,通过采用免耕播种、秸秆覆盖等方式,达到保持土壤水分、提升土壤肥力、降低耕作成本等多效用的、环境友好的农业种植技术模式<sup>[54]</sup>。在这种模式下,种植全程利用机械化作业,通过秸秆覆盖的方法,确保土壤的长期保护和生产力,达到了平均增产 5% ~ 10%,减少农机动力 15% ~ 20%,降低能耗 25% ~ 30% 的效果。与传统耕作模式相比,“梨树模式”平均减少了 60% 的径流量、80% 的水土流失,具有提高土壤生产

力和防止水土流失的多重作用<sup>[55]</sup>。同时,在多年的研究和实践中,还有黑土地耕层扩容与高效种植的“龙江模式”,良田、良种、良法一体化的“大安模式”等黑土地保护与可持续利用的技术模式<sup>[3]</sup>,通过将基础理论研究与关键技术研发相结合进行规模化推广,推动着我国黑土地保护与可持续利用相关科技成果的落地。

在追求科技创新与合作的时代背景下和“黑土地保护与利用科技创新工程”的推动下,保护性耕作的“梨树模式”关键技术环节与推广体系在不断发展与完善。同时,“梨树模式”也致力于走进“一带一路”,与阿根廷以土壤管理和保护为重点的新的农业生产战略不谋而合<sup>[23]</sup>。科技合作是共建“一带一路”倡议的重要组成部分,因此,将保护性耕作引入“一带一路”共建国家和地区,探索出适合不同国家和地区的保护性耕作模式,助力“一带一路”共建国家和地区农业转型和农业高质量绿色发展,也是推进共建“一带一路”高质量发展的重要举措。

## 4 中国和阿根廷黑土地保护与利用政策

从传统耕作到保护性耕作的转变是中国和阿根廷黑土地保护与利用的共同经验。在这个转变过程

中,政府相关部门的政策支持、科研机构的研究推广和农民的与时俱进缺一不可。在多年探索和多方努力下,中国、阿根廷及国际组织在黑土地保护与利用方面开展了一系列行动(图4)。

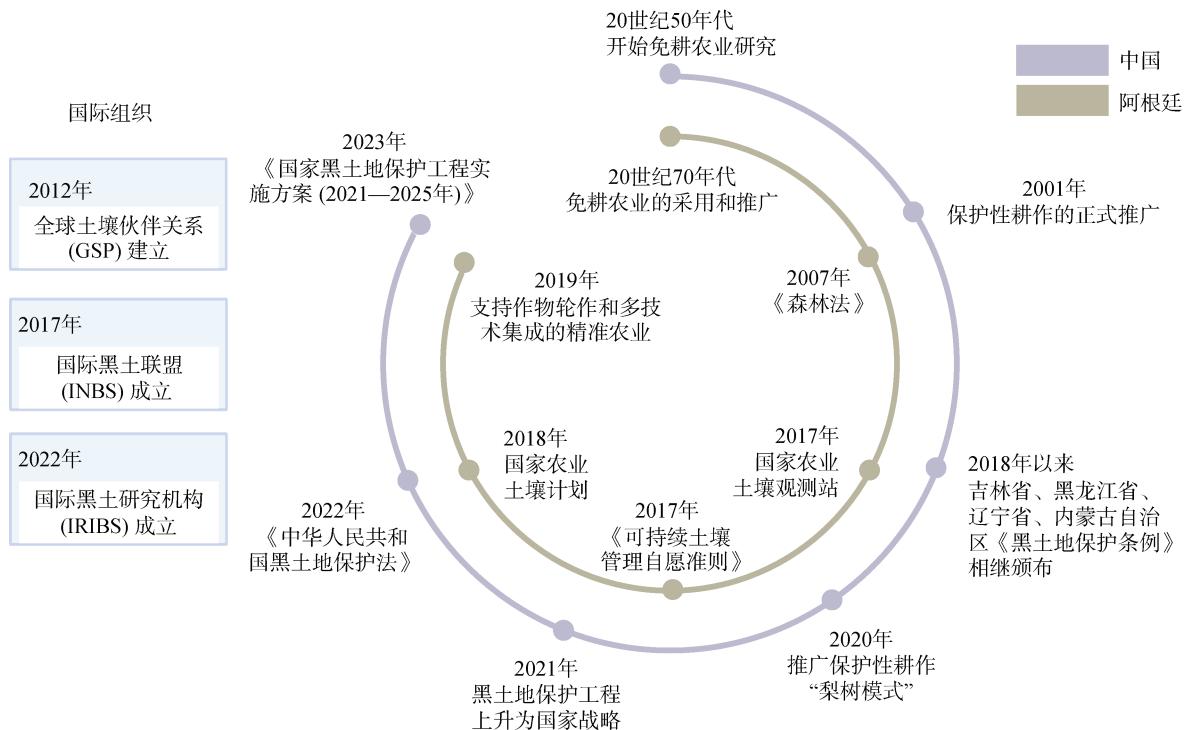


图4 中国、阿根廷及国际组织有关黑土地保护与利用的主要行动和时间节点

Fig.4 Main actions and time nodes of China, Argentina and international community in black soil conservation and utilization

### 4.1 中国黑土地保护与利用管理政策

由于黑土地的重要性及其面临的“变瘦、变薄、变硬”等退化问题,中国秉持“防控—治理—监管”相结合的黑土地保护与利用总体思路。2015年起,中国针对东北不同地区因地制宜,通过实施东北黑土地保护利用试点项目,制定区域化黑土地保护利用措施<sup>[56]</sup>,并相继出台了一系列黑土地保护政策,如《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030年)》《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)》等,建立了黑土地保护综合技术手段和运行机制,综合运用多种技术和管理方法保障黑土地保护工作的开展。在土壤污染预防方面,建立了全过程防控机制和区域综合防控制度,实行统一监测制度与调查评估制度等保障机制<sup>[57]</sup>。针对已经出现退化问题的黑土地,采取土壤改良、侵蚀沟治理等措施进行修复和治理。

虽然许多国家土壤政策都涉及土壤的管理与保护,但很少有专门针对黑土地的政策。目前,只有中国制定了黑土地保护与可持续管理的国家法律《中华人民共和国黑土地保护法》,地方法律《吉林省黑土

地保护条例》《黑龙江省黑土地保护条例》《辽宁省黑土地保护条例》《内蒙古自治区黑土地保护条例》,在国家级和省级都有明确的黑土地保护政策和监管制度<sup>[2]</sup>,形成政府主导、多方参与的保护机制,明确保护黑土地的责任和要求<sup>[58]</sup>。《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)》指出,我国力争2025年保护性耕作实施面积达到933.8万hm<sup>2</sup>,占东北地区适宜区域耕地总面积的70%左右<sup>[59]</sup>。已有研究表明,中国黑土地保护政策的实施对粮食供应安全和农业温室气体排放都产生了积极影响<sup>[58]</sup>,科研投入与产出丰富,发文量和论文影响力在国际上处于领先地位<sup>[60]</sup>。此外,良好的经济激励措施也有助于黑土地的保护和利用<sup>[61]</sup>。为了改善农田生态环境,提高农业生产力,我国东北地区已经开始制定一系列的农业补贴政策,提高农民积极性,促进黑土地保护的有效发展。

### 4.2 阿根廷黑土地保护与利用管理政策

作为世界第三大大豆生产国,保护性耕作的广泛应用是阿根廷大豆高产的重要原因。早在20世纪70

年代末, 阿根廷就开始在全国推广大豆免耕种植。2001 年, 阿根廷已有 70% 以上的大豆种植采用免耕技术。然而, 目前阿根廷农业管理的发展进程已经超越了传统的单一免耕体系, 还包括轮作-免耕相结合的土地保护措施, 病虫害和杂草综合管理体系以及国家立法、国家项目等政策支持, 确保农业系统朝着可持续性和经济可行性的方向发展<sup>[8, 23, 30]</sup>。

阿根廷关于土壤保护的法规在联邦和省级层面都存在。2007 年, 阿根廷颁布了《森林法》, 制定了十项环境可持续标准, 明确了维护生态系统平衡和农业可持续发展的重要性。2017 年发布的《可持续土壤管理自愿准则》, 也为黑土地保护提供了指导和规范。阿根廷《国家土壤保护法》有 3 个主旨: 土壤保护教育的促进、农民的参与和财政激励机制<sup>[8]</sup>。在玉米-大豆轮作体系中, 政府以减税形式给予农民补贴, 有利于提高农场主的轮作意识和农业生产积极性。同时, 阿根廷土地产权明确受到保护<sup>[23]</sup>: 阿根廷土地均为私人所有, 可自由转让和出售, 也可以以财产形式留给后代。这在一定程度上提高了农民生产的积极性与土地保护的参与度。在省级层面, 恩特雷里奥斯省、拉潘帕省等不同地区也有土壤保护的法规<sup>[8]</sup>。各级法律的限制一方面防止了生态环境和生物多样性

的进一步恶化<sup>[62]</sup>, 另一方面促进了农业生产环境的发展。2017 年, 阿根廷农业部建立了国家农业土壤监测站, 同时建立了以实地调查获得信息为基础的土壤数据网络管理系统, 收集有关土壤健康参数的信息, 以分析不同农业实践对农田土壤保护的影响, 对土壤状况进行区域诊断, 推动对农田土壤的保护、恢复和可持续管理。另外, 发达的阿根廷农牧业促成的农牧混合经营模式中承包商的出现也使得生产多样化, 部分承包商提出了以土壤管理和保护为重点的新型农业生产模式<sup>[23]</sup>, 推动着新的技术模式在农业中的应用和推广<sup>[29]</sup>, 为黑土地保护与可持续利用创造了有利条件。

综上所述, 中国和阿根廷黑土地在农业利用、黑土地保护与利用技术模式以及相关政策方面既有相似之处, 又呈现出不同的特点(表 3)。中国通过将多种保护性耕作技术有机结合, 因地制宜地提出针对不同区域特点的黑土地保护与可持续利用方案; 广袤且平坦的潘帕斯草原为阿根廷大面积推广免耕技术与多样化轮作提供了天然优势。在保护性耕作与农业可持续管理的时代背景下, 两国的不同实践方式及成效为全球黑土地保护与可持续利用提供了多元范例与可行思路。

表 3 中国和阿根廷黑土地保护与利用异同点

Table 3 Similarities and differences in conservation and utilization of black soils in China and Argentina

共同点	农业利用概况			技术模式	相关政策		
	土地利用	农药化学品					
		化肥	农药				
耕地为主要土地利用方式, 作为国家乃至全球的重要粮仓	-	农药的施用 均以除草剂 为主	向智能化、 机械化、自 动化发展	免耕、植被覆盖和作物轮作等多种保护性耕作技术的综合应用	农业补贴、 政府支持		
中国 黑土区	以玉米(48.9%)、大豆(24.3%)、水稻(19.5%)为主	以复合肥(41.5%)和氮肥(37.8%)为主, 肥料施用量持续下降	以莠去津、乙草胺等除草剂为主	-	因地制宜形成了多种保护性耕作技术集成方案		
阿根廷 黑土区	以玉米(41.7%)、大麦(19.9%)、小麦(13.3%)和大豆(12.9%)等作物为主, 畜牧业发达	以氮肥(46.7%)和磷肥(46.1%)为主, 仍存在元素负收支	以草甘膦(65%)为主	-	国家、各地出台黑土地保护法律法规 有土壤保护的法规, 配合的多年实践经验 与农业科技创新 但未发布针对黑土的法律		

## 5 中国和阿根廷黑土地保护与可持续利用展望

阿根廷在免耕技术方面开展了长期且深入的探索, 多年积累形成了相对成熟且颇具成效的实践经验, 能够为我国黑土地保护与利用提供思路与启示。

同样, 我国对黑土地保护十分重视, 在不同区域因地制宜、精准施策, 构建了全方位覆盖的政策支持体系, 从政策引导、资金投入、技术推广等各个环节为黑土地保护提供了有力的保障, 也是具有借鉴意义的范例。因此, 积极探寻能够促进黑土地保护与可持续利用的科学路径与合理模式, 推动中国与阿根廷在黑土

地保护与利用等相关领域实现优势互补，对于维护全球粮食安全以及实现黑土地资源的可持续利用具有重要的科学意义和指导价值。未来，应在加强技术研发与应用体系建设、加大科技创新及政策支持、拓展国际合作与交流共享等方面进一步加强黑土地保护与利用科技研发力度，形成黑土地保护与利用综合方案。

1) 加强技术研发与应用体系建设。深化对黑土地退化机理的研究<sup>[63]</sup>，探索黑土地肥力提升方案；构建科学的黑土地评价和监测体系，利用卫星遥感、地理信息系统等现代信息技术，结合人工智能、大数据等数据分析模型建立黑土地监测网络<sup>[2, 64]</sup>。在区域乃至全球尺度对黑土地利用状况、化学品施用情况、土壤质量变化及其时空演变等因素进行多源、多维、多尺度的实时监测和评估，及时了解和评估黑土地土壤质量及退化状态，为实现黑土地精准高效的智慧农业管理提供技术支持<sup>[3-4]</sup>。同时，进一步完善保护性耕作技术，涵盖少免耕、轮作、秸秆覆盖等多种耕作方式的优化与组合，形成专业化、规模化且因地制宜的黑土地保护与可持续利用技术集成模式。

2) 加大科技创新及政策支持。加快黑土地保护利用相关实验室和野外观测平台等科研设施建设<sup>[65]</sup>，为深入开展黑土地相关研究提供数据支撑；建立完善的科技成果转化机制，加强科研机构与农业生产企业、农户之间的技术推广与对接合作，充分发挥科技支撑作用，探索现代农业管理方式下新的技术路径和保护利用模式；同时，进一步完善黑土地保护法律法规和扶持激励政策，提升农民生产的积极性，确保各项政策措施有效落实。

3) 拓展国际交流与合作共享。进一步强化和拓展黑土地保护与利用技术研发、政策制定、模式推广等方面的经验交流与共享；针对黑土地保护与利用中的共性科学问题如土壤退化修复、土壤肥力提升等，推动国际联合科研项目的落地实施，共同探索解决方案；加强黑土地保护与利用相关标准方法、监测技术和评价体系的统一；结合我国黑土地实际情况，对国外先进技术进行适应性改造和应用，同时将我国在黑土地保护方面成熟的技术模式如“梨树模式”，推广到有需求的国家和地区。加快推进黑土地保护与利用研究的国际交流与合作，推动全球黑土区农业优势互补，为我国乃至全球“黑土地保护与可持续利用”贡献“中国智慧”和“中国方案”，推动和实现全球黑土地土壤资源的保护与持续利用。

## 参考文献：

- [1] FAO. Global status of black soils [M/OL]. (2022-12-05) [2024-01-23]. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc3124en>
- [2] Li R, Hu W Y, Jia Z J, et al. Soil degradation: A global threat to sustainable use of black soils[J]. *Pedosphere*, 2025, 35(1): 264-279.
- [3] 中国科学院.东北黑土地保护与利用报告(2022年) [EB/OL]. (2023-07-24) [2024-09-20]. [http://www.sdr.cas.cn/nykj/gzdt/202307/t20230724\\_4941695.html](http://www.sdr.cas.cn/nykj/gzdt/202307/t20230724_4941695.html).
- [4] 中国科学院.东北黑土地保护与利用报告(2021年) [EB/OL]. (2022-10-02) [2024-09-18]. [https://www.cas.cn/sygz/202210/t20221002\\_4849787.shtml](https://www.cas.cn/sygz/202210/t20221002_4849787.shtml).
- [5] Liu X B, Lee Burras C, Kravchenko Y S, et al. Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2012, 92(3): 383-402.
- [6] 中国科学院.东北黑土地白皮书(2020) [EB/OL]. (2021-07-09) [2024-09-18]. [https://www.cas.cn/yw/202107/t20210709\\_4797892.shtml](https://www.cas.cn/yw/202107/t20210709_4797892.shtml).
- [7] 李睿, 吴秋梅, 赵归梅, 等. 我国黑土地农田土壤除草剂残留特征研究及展望[J]. *环境科学*, 2023, 44(4): 2395-2408.
- [8] Rubio G, Lavado R S, Pereyra F X. The soils of Argentina[M]. Cham: Springer International Publishing, 2019.
- [9] Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy[M]. 13<sup>th</sup> ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. 2022.
- [10] Pereira P, Muñoz-rojas M, Bogunovic I, et al. Impact of agriculture on soil degradation I: Perspectives from Africa, Asia, America and Oceania: 120[M]. Cham: Springer International Publishing, 2023.
- [11] FAO and ITPS. Status of the world's soil resources (SWSR) — main report[M]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015.
- [12] 王梓宁. 国内外黑土地保护性耕作措施的分析[J]. *当代农机*, 2024(1): 63-64, 67.
- [13] Li W B, Wang D Y, Wang Q, et al. Impacts from land use pattern on spatial distribution of cultivated soil heavy metal pollution in typical rural-urban fringe of Northeast China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14(3): 336.
- [14] 中华人民共和国水利部. 中国水土保持公报(2023年) [EB/OL]. (2024-04-08) [2024-11-07]. <http://www.swcc.org.cn/gglm/2024-04-08/75682.html>.
- [15] 王怀鹏, 姜辉, 孙继英, 等. 东北黑土区冻融交替土壤特性及适时春播耕作技术综合评价[J]. *耕作与栽培*, 2023, 43(6): 60-61, 66.
- [16] 纪树岩. 黑土地保护性耕作技术应用效果及推广策略[J]. *农业工程*, 2021, 11(5): 25-28.
- [17] Durán A, Morrás H, Studdert G, et al. Distribution, properties, land use and management of Mollisols in South America[J]. *Chinese Geographical Science*, 2011, 21(5): 511-530.

- [18] Andrade J F, Satorre E H. Single and double crop systems in the Argentine Pampas: Environmental determinants of annual grain yield[J]. *Field Crops Research*, 2015, 177: 137–147.
- [19] 阿根廷共和国农业部. 农畜渔业部[EB/OL]. [2024-09-18]. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/monitor/>.
- [20] Martindale L. 'I will know it when I taste it': Trust, food materialities and social media in Chinese alternative food networks[J]. *Agriculture and Human Values*, 2021, 38(2): 365–380.
- [21] 中华人民共和国驻阿根廷共和国大使馆经济商务处. 对外投资合作国别(地区)指南 阿根廷(2023 年版)[EB/OL]. <http://ar.mofcom.gov.cn/>.
- [22] FAO. FAOSTAT-pesticides use [EB/OL]. [2024-11-29]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>.
- [23] OECD. Agricultural policies in Argentina[M]. Paris: OECD Publishing, 2019.
- [24] Primost J E, Marino D J G, Aparicio V C, et al. Glyphosate and AMPA, "pseudo-persistent" pollutants under real-world agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 229: 771–779.
- [25] 李涛. 对国内外农业机械化新技术的现状与发展的探讨[J]. *农业与技术*, 2013, 33(10): 52.
- [26] 王祺, 栗震霄, 田斌. 国内外农业机械化新技术的现状与发展[J]. *农机化研究*, 2006, 28(5): 7–9.
- [27] FAO. 中国可持续农业机械化[M/OL]. (2023-03-02) [2024-09-12]. <http://www.fao.org/documents/card/zh/cc2867zh>.
- [28] 张萌. 阿根廷农机化与农机市场发展研究[J]. *中国农机化学报*, 2020, 41(11): 218–224.
- [29] Caribe C E. Contratistas, cambios tecnológicos y organizacionales en el agro argentino[EB/OL]. (2008-02-01) [2025-09-24]. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/36772-contratistas-cambios-tecnologicos-organizacionales-agro-argentino>.
- [30] Montaño-Lopez F, Guevara M, Biswas A. Soil science research and development in Latin America and the Caribbean[M]/Soil science: Fundamentals to recent advances. Singapore: Springer Singapore, 2021: 613–621.
- [31] Stichler C, Arameit A, McFarland M. Best management practices for conservation/reduced tillage[J/OL]. (2024-07-22) [2025-03-13]. <https://hdl.handle.net/1969.1/201873>.
- [32] Viglizzo E F, Frank F C, Carreño L V, et al. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(2): 959–973.
- [33] Yang X M, Zhang X P, Deng W, et al. Black soil degradation by rainfall erosion in Jilin, China[J]. *Land Degradation & Development*, 2003, 14(4): 409–420.
- [34] Du X, Jian J S, Du C, et al. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion[J]. *International Soil and Water Conservation Research*, 2022, 10(2): 188–196.
- [35] 贾军杰. 黑土地保护性耕作技术应用及推广[J]. *新农业*, 2023(22): 78.
- [36] Domínguez G F, Diovisalvi N V, Studdert G A, et al. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas[J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, 102(1): 93–100.
- [37] Liang A Z, Yang X M, Zhang X P, et al. Short-term impacts of no tillage on aggregate-associated C in black soil of Northeast China[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(1): 93–100.
- [38] Zhang W J, Feng J Y, Bai X Y, et al. Crop yield and soil quality of soya bean-maize rotation in response to 8-year keep stubble with no tillage practices on the Northeast China[J]. *European Journal of Agronomy*, 2025, 164: 127526.
- [39] Jiang F H, Peng X H, Yao S H, et al. A six-site field study on assessing the suitability of conservation and conventional tillage in the black soil region, Northeast China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2025, 248: 106379.
- [40] 胡芳, 王芳, 韩晓增, 等. 不同土地利用方式下典型黑土区土壤微生物群落演替规律[J]. *土壤学报*, 2022, 59(5): 1238–1247.
- [41] Taboada M A, Peralta G E, Álvarez C R, et al. Threats and recovery of black soils of Argentina: A story with surprises and discoveries[J]. *Moscow University Soil Science Bulletin*, 2024, 79(5): 608–619.
- [42] 田梦, 高伟达, 任图生, 等. 条带覆盖免耕下吉林南部玉米行间土壤水分和温度的时空动态[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(7): 1297–1307.
- [43] Xing S K, Zhang G H, Zhang N, et al. How straw return approaches affect runoff and sediment in croplands of different degradation degrees in the black soil region of China[J]. *Journal of Hydrology*, 2025, 653: 132786.
- [44] Semmartin M, Cosentino D, Poggio S L, et al. Soil carbon accumulation in continuous cropping systems of the rolling Pampa (Argentina): The role of crop sequence, cover cropping and agronomic technology[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, 347: 108368.
- [45] 王籽懿, 黄修梅, 杨玉荣, 等. 不同轮作模式对东北黑土地影响的研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2024, 52(11): 27–34.
- [46] 宋戈, 张红梅. 东北典型黑土区耕地轮作休耕的空间重构[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(9): 2231–2246.
- [47] Liu X B, Han X Z, Song C Y, et al. Soil organic carbon dynamics in black soils of China under different agricultural management systems[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003, 34(7/8): 973–984.
- [48] Zhou K Q, Liu X B, Zhang X Y, et al. Corn root growth and nutrient accumulation improved by five years of repeated cattle manure addition to eroded Chinese Mollisols[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2012, 92(3): 521–527.
- [49] 张雨寒, 李楠, 刘攀, 等. 东北春玉米密植高产和机械化收获关键限制因素分析[J]. *玉米科学*, 2019, 27(6): 104–111.

- [50] 刘秀位, 王艳哲, 陈素英, 等. 不同种植方式对棉田土壤温度、棉花耗水和生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 14–19, 45.
- [51] Blanco-Canqui H, Ruis S J. No-tillage and soil physical environment[J]. *Geoderma*, 2018, 326: 164–200.
- [52] Giller K E, Andersson J A, Corbeels M, et al. Beyond conservation agriculture[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6: 870.
- [53] 乔云发, 韩晓增, 苗淑杰, 等. 黑土农田有机碳平衡与消长动态[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 96–99, 179.
- [54] 李保国, 王贵满. 东北地区的保护性耕作技术——梨树模式[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2019.
- [55] 韩晓增, 邹文秀, 杨帆. 东北黑土地保护利用取得的主要成绩、面临挑战与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1194–1202.
- [56] 徐英德, 裴久渤, 李双异, 等. 东北黑土地不同类型区主要特征及保护利用对策[J]. 土壤通报, 2023, 54(2): 495–504.
- [57] 胡文友, 陶婷婷, 田康, 等. 中国农田土壤环境质量管现状与展望[J]. 土壤学报, 2021, 58(5): 1094–1109.
- [58] Wang W X, Deng X Z, Yue H X. Black soil conservation will boost China's grain supply and reduce agricultural greenhouse gas emissions in the future[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2024, 106: 107482.
- [59] 农业农村部, 财政部. 东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)[EB/OL]. (2020-03-18)[2024-09-18]. [https://www.gov.cn/xinwen/2020-03/18/content\\_5492780.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2020-03/18/content_5492780.htm).
- [60] 郭宇森, 杨艳萍. 基于文献计量的国际黑土研究态势分析[J]. 科学观察, 2022, 17(6): 72–81.
- [61] 李小丽, 邢玉升. 黑土地保护利用补偿机制研究——以黑龙江省为例[J]. 学习与探索, 2018(2): 129–133.
- [62] Lambin E F, Gibbs H K, Ferreira L, et al. Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach[J]. *Global Environmental Change*, 2013, 23(5): 892–901.
- [63] 王志刚. 充分发挥科技创新在保护利用黑土地中的关键支撑作用[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1127–1132.
- [64] Liao X Y, Yao Q X, Wan X M, et al. Theoretical basis and technical path for the regional all-for-one customization model of black soil granary[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, 32(11): 2147–2169.
- [65] 侯建国. 科技创新支撑黑土地永续利用[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1123–1126.