

# 前 言

黑土地是大自然赋予人类的宝贵资源。中国东北黑土地总面积 109 万平方千米,位列全球第三,其中典型黑土地耕地面积 1853.33 万公顷。东北黑土地是我国最重要的商品粮基地。目前,该区粮食产量和粮食调出量分别占全国总量的四分之一和三分之一。东北黑土地已成为我国粮食生产的“稳定器”和“压舱石”,为国家粮食安全提供了重要保障。

长期以来,我国政府高度重视东北黑土地保护与利用问题,特别是改革开放以来,国家通过科技创新、先进技术示范与推广及系列保护性政策的实施,东北黑土地保护和利用工作取得了显著的成效。但因长期过度开发利用、气候变化等多种因素的影响,黑土地退化问题尚未得到彻底根治。2020 年 12 月 28 日,习近平总书记在中央农村工作会议上指出,“要把黑土地保护作为一件大事来抓,把黑土地用好养好”。2021 年中央一号文件提出“实施国家黑土地保护工程,推广保护性耕作模式”。黑土地保护自此上升为国家战略。

科技创新是用好养好黑土地的根本途径。中国科学院作为国家战略科技力量,长期以来十分重视东北黑土地保护与利用问题,部署了专门的研究单元和 17 个野外台站,定点开展东北黑土地变化及可持续利用的基础理论和技术研究。本次白皮书是基于中国科学院既有的研究成果形成的关于保护利用东北黑土地的科学认识。今后,我们还将通过白皮书方式及时发布中国科学院在保护利用东北黑土地方面的研究进展,为“用好养好”黑土地提供科技支撑。



# 目 录

<b>一、黑土地是大自然赋予人类的宝贵资源</b> .....	(1)
(一) 黑土地的全球分布 .....	(1)
(二) 东北黑土地的土壤类型 .....	(2)
<b>二、东北黑土地开发利用的历史进程</b> .....	(6)
(一) 20 世纪前: 小规模局部开发时期 .....	(6)
(二) 20 世纪: 大规模垦殖时期 .....	(7)
(三) 21 世纪以来: 进入农业现代化新时代 .....	(8)
<b>三、现阶段东北黑土地的变化</b> .....	(13)
(一) 耕地增速趋缓, 森林面积增加 .....	(13)
(二) 坡地开垦导致土壤侵蚀加剧 .....	(15)
(三) 土壤有机质与养分元素衰减 .....	(16)
(四) 土壤结构改变与蓄水能力下降 .....	(18)
(五) 生态服务功能较 1990 年前有所下降 .....	(19)
<b>四、对黑土地变化的科学认知</b> .....	(22)
(一) 不合理垦殖和耕作是导致黑土地退化的主因 .....	(22)
(二) 气候变化加剧黑土地退化 .....	(23)
(三) 应用保护性耕作技术可有效遏制黑土地退化 .....	(24)
(四) 阻控黑土地退化有赖于科技创新 .....	(27)
<b>五、依托科技创新, “用好养好” 黑土地</b> .....	(29)
(一) 推进黑土地科技创新的基础 .....	(29)

(二) 未来研究的重点方向·····	(36)
结束语·····	(39)
致谢·····	(40)
主要参考文献·····	(41)
附录 中国科学院东北黑土区野外台站基本情况介绍·····	(42)



## 一、黑土地是大自然赋予人类的宝贵资源

黑土地是指以黑色或暗黑色腐殖质表土层为标志的土地，是一种性状好、肥力高、适宜农耕的优质土地。其土壤成土母质主要为黄土状黏土、洪积物、冲积物、冰碛物及风积物等松散沉积物。黑土层的发育经历了第四纪全新世以来长达万年以上的漫长过程，是十分宝贵的资源。

### （一）黑土地的全球分布

大面积分布有黑土地的区域被称为黑土区。全球范围内，黑土区总面积占全球陆地面积不足7%，且主要集中在四大黑土区：中高纬度的北美洲中南部地区、俄罗斯-乌克兰大平原区、中国东北地区及南美洲潘帕斯草原区。四大黑土区中，北美洲中南部黑土区面积最大，南美洲潘帕斯草原区面积最小，我国东北黑土区排在第三。

北美洲中南部黑土区位于西经 $90^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 和北纬 $24^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间，面积290万平方千米，北端起于加拿大草原诸省，纵贯美国大平原，并向南延伸到墨西哥东部的半干旱草原，呈南北带状分布，主要分布在密西西比河流域。

俄罗斯-乌克兰大平原黑土区位于东经 $24^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 和北纬 $44^{\circ}\sim 51^{\circ}$ 之间，面积190万平方千米，主要发育在高地平原、低地平原和近海平原上，从北到南分为淋溶黑钙土、灰化黑钙土、典型黑钙土、普通黑钙土和南方黑钙土五个亚类。

南美洲黑土区位于西经 $57^{\circ}\sim 66^{\circ}$ 和南纬 $32^{\circ}\sim 38^{\circ}$ 之间，面积76万平方千米，处于阿根廷至乌拉圭的潘帕斯草原上，东起大西洋西岸，西至安第斯山麓，北达大查科平原，南接巴塔哥尼亚高原。该区东部为湿软土，西部为半干润软土。

中国东北黑土区位于我国东北地区，东侧隔黑龙江和乌苏里江与俄罗斯相望，东南邻图们江和鸭绿江与朝鲜为邻，西与蒙古国交界，西南至七老图山-浑善达克沙地-内蒙古高原一线，南抵辽河。总面积为109万平方千米，约占全球黑土区总面积的12%，主要分布在呼伦贝尔

草原、大小兴安岭地区、三江平原、松嫩平原、松辽平原部分地区和长白山地区，涉及黑龙江省和吉林省全部、辽宁省东北部及内蒙古自治区“东四盟”，共 246 个县（市、旗）（全国水土保持规划编制工作领导小组办公室，2016）。

## （二）东北黑土地的土壤类型

东北黑土地主要有黑土、黑钙土、暗棕壤、棕壤、白浆土、草甸土等 6 种土壤类型。其中，暗棕壤的分布面积最大，其次为草甸土，再次为黑钙土、黑土、白浆土，棕壤分布面积最小。

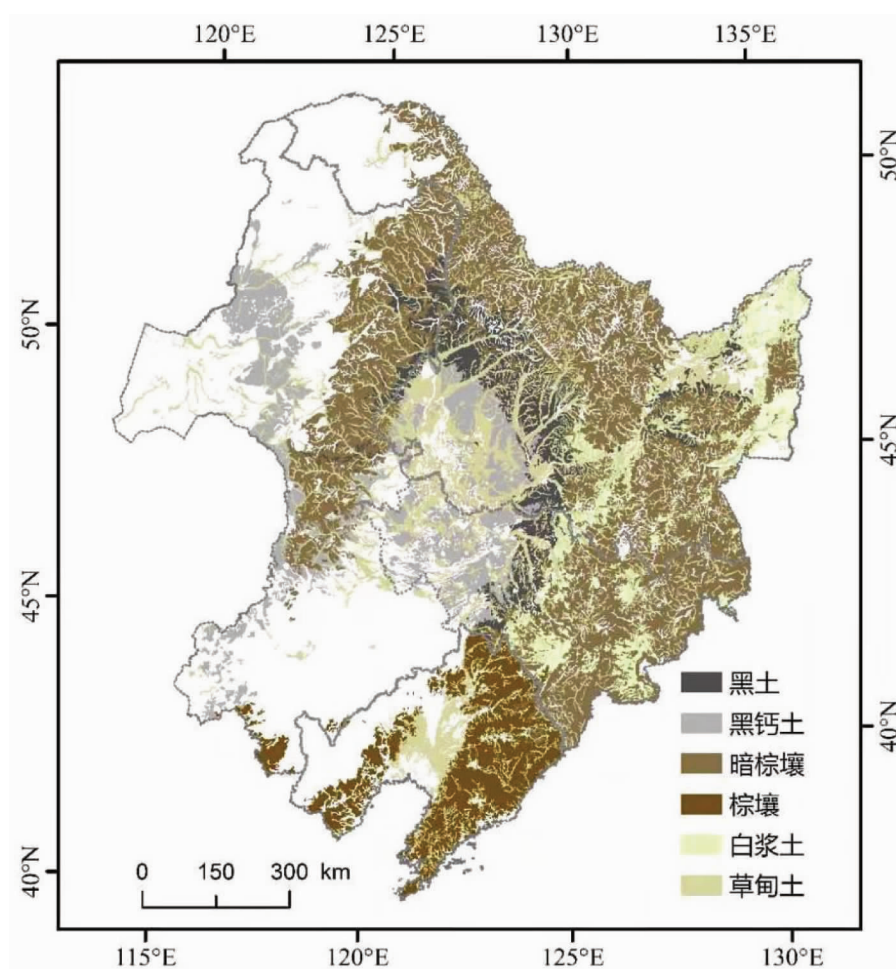


图1 东北黑土地六类典型土壤分布图

数据来源：基于中国 1: 100 万中国土壤数据集绘制。

黑土的成土母质主要为第三纪、第四纪更新世和全新世的沉积物，以更新世黏土或亚黏土母质分布最广。黑土的形成过程主要包括腐殖质积累过程和轻度滞水还原淋溶过程。黑土淋溶作用存在于1米或2~3米土体内，轻度滞水还原淋溶过程表现为矿物质溶胶状态移动。黑土主要分布在黑龙江省、吉林省及内蒙古自治区，总面积7.02万平方千米。黑土分布区属温带湿润、半湿润季风气候，年平均气温 $0\sim 6.7^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2000\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ，无霜期110~140天，年降水量500~600毫米。自然植被为草原化草甸或草甸化草原。

黑钙土的成土母质有冲积物、洪积物、湖积物、黄土和少量石灰性岩石的坡积物、残积物等。其成土过程含有明显的腐殖质累积和钙化过程。黑钙土分布区降水少、蒸发量大，土体中碳酸盐被淋失的速度慢，从表层开始即有碳酸盐反应；同时部分被淋失的钙镁碳酸盐积聚于腐殖质层以下，形成明显的结核状或假菌丝体状碳酸钙聚积层。黑钙土主要分布在内蒙古自治区、吉林省西部及黑龙江省西部，总面积9.58万平方千米。黑钙土分布区属温带半干润季风气候，年平均气温 $-2\sim 5^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $1500\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ，无霜期80~120天，年降水量300~500毫米。自然植被为草甸草原。

暗棕壤的成土母质为各种岩石的残积物、坡积物、洪积物及黄土。其成土过程主要包括弱酸性淋溶过程和温带湿润森林下腐殖质积累过程。暗棕壤分布区针阔混交林凋落物落于地表并覆盖在土壤上，由于降水和融冻水的影响，有机残体分解缓慢，在土壤表层积累形成腐殖质。暗棕壤主要分布于黑龙江省、吉林省及内蒙古自治区东部，总面积31.95万平方千米。暗棕壤分布区属温带湿润季风气候，年平均气温 $-2\sim 5^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 $1900\sim 3300^{\circ}\text{C}$ ，无霜期80~155天，年降水量600~1100毫米。自然植被是以红松为主的针阔混交林或阔叶林、乔灌混交林。

棕壤的成土母质多为非石灰性的残坡积物和土状堆积物。其成土过程主要包含淋溶作用、黏化作用和生物积累作用等过程。棕壤成土过程中易溶性盐类被淋溶形成次生硅铝酸盐黏粒，随土壤渗漏水下移并在心土层淀积形成黏化层。地表土壤凋落物和表层土壤根系在生物的转化



下，土壤表层积累大量的腐殖质并形成腐殖质层。棕壤集中分布在辽东半岛，并延伸至吉林省境内西南边缘的低山丘陵，总面积 4.99 万平方千米。棕壤分布区属暖温带湿润、半湿润季风气候，年平均气温 5 ~ 15℃， $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 2700 ~ 4500℃，无霜期 120 ~ 220 天，年降水量为 500 ~ 1200 毫米。自然植被主要为针阔混交林、针叶林、阔叶林。

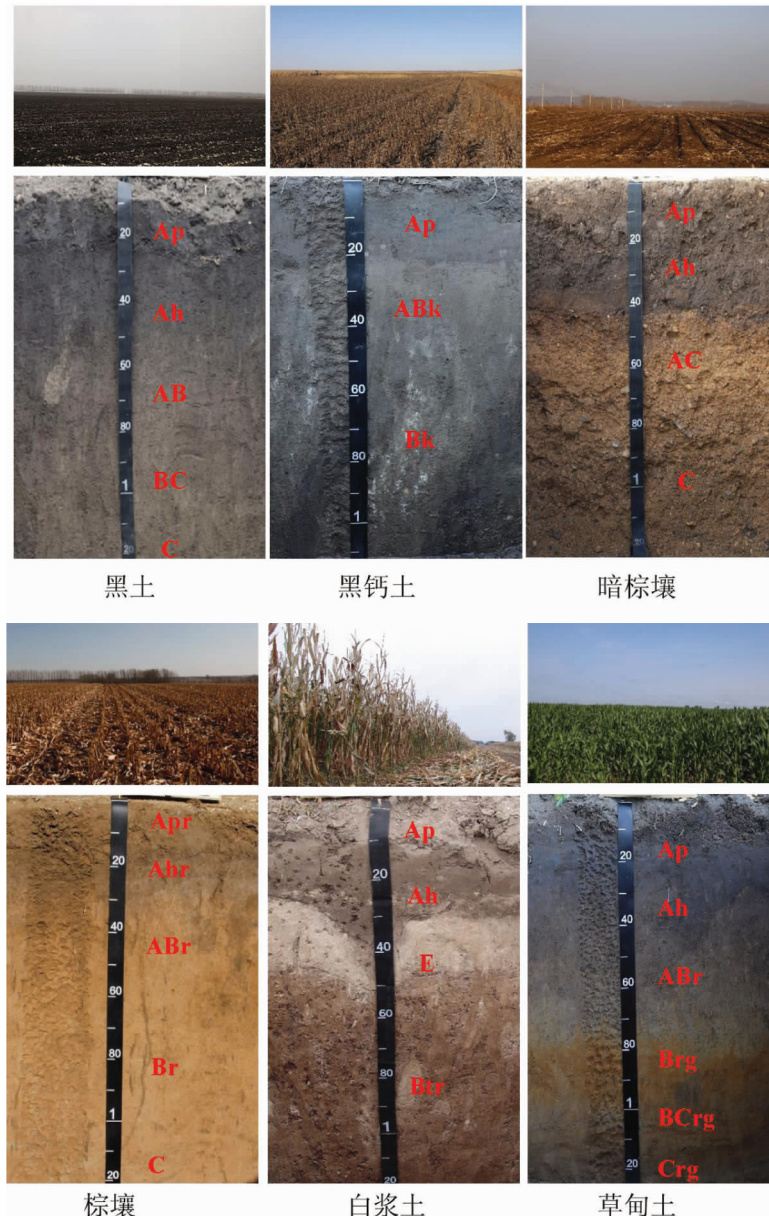


图 2 东北黑土地六种主要土壤类型景观和剖面

图片来源：中国科学院东北地理与农业生态研究所隋跃宇研究员。

白浆土的成土母质主要是第四纪河湖相沉积物，质地黏重。白浆土成土过程为土壤中黏粒随下渗水产生机械悬浮性位移，在土体中下部随水分减少附着在土壤结构体表面；受土壤质地和季节性冻层影响，铁锰淋洗发生化学变化并在土层中非均匀分布，使原土壤亚表层脱色成为灰白色土层（白浆层）。白浆土主要分布在黑龙江省和吉林省东部山麓岗平地和河谷台地上，总面积 5.27 万平方千米。白浆土分布区属温带湿润、半湿润季风气候，年平均气温  $-1.6 \sim 3.5^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $1900 \sim 2800^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 87 ~ 154 天，年降水量 500 ~ 900 毫米。自然植被为针阔混交林、次生杂木林、草甸及沼泽化草甸。

草甸土的成土母质主要为近代河湖相沉积物。草甸土成土母质的沉积是草甸土形成的一个重要过程。草甸土是在地形低平、地下水位较高、土壤水分较多、草甸植被生长繁茂的条件下发育形成。草甸土在东北黑土区均有分布，总面积 17.56 万平方千米。草甸土分布区属温带湿润、半湿润、半干旱气候，年平均气温  $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ ，年降水量 200 ~ 800 毫米。自然植被为湿生型草甸植物、草甸草原植物、沼生植物。

## 二、东北黑土地开发利用的历史进程

过去 2000 余年，东北黑土地的开发利用经历了波动扩张过程，20 世纪进入开发利用的快速扩张期。21 世纪以来进入开发与保护并重阶段。

### （一）20 世纪前：小规模局部开发时期

20 世纪前，东北黑土地经历了渔猎游牧、原始农业、传统农业和近代垦荒长期而缓慢的开发利用历程。

公元前 16 世纪至公元前 3 世纪（商、周时期），东北黑土地各民族大部分由渔猎游牧为主逐步转向原始农业。

公元前 3 世纪至公元 7 世纪，东北黑土地原始农业逐步向传统农业发展，黑龙江地区的一些先进部落已开始使用铁器工具，农业生产活动主要集中在嫩江流域和大兴安岭、小兴安岭结合地带。

公元 7 世纪开始，黑龙江地区畜耕逐渐兴起，标志着传统农业发展到了新的历史阶段。

唐代，农业开发活动主要集中在松花江以南平原和牡丹江流域。

辽金时期，农业开发扩展到黑龙江、松花江、嫩江、牡丹江、绥芬河、乌苏里江沿岸冲积地带和松嫩平原、三江平原，开垦的耕地面积上升到 127 万 ~160 万公顷。

金末至元末时期，黑龙江地区耕地或荒废或变为牧场，农业整体呈现倒退状态。

明代，东北地区实施“驻军屯田”政策，农业开发和生产有所恢复。

清代，东北地区实施全面封禁政策，禁止移民，限制开发，封禁政策持续了 200 年。在此期间，齐齐哈尔、哈尔滨、黑河等地“驻兵卫戍”屯田，资料显示，1796 ~1820 年黑龙江省垦荒总面积约 38 万公顷。1861 - 1900 年，东北边疆地区采取“弛禁放垦”政策，允许移民进入边境地区垦荒，东北黑土地进入近代垦荒萌芽期。垦荒范围也拓展到哈尔

滨、齐齐哈尔、绥化、牡丹江、黑河等地区。

这一阶段，因 19 世纪中叶以前东北地区生产力水平极低，加上清代实施长期封禁政策，人类生产活动对东北黑土地影响非常有限，东北黑土地在进入 20 世纪前仍然基本保持较为原始的状态。

## （二）20 世纪：大规模垦殖时期

20 世纪初，东北黑土地进入大规模移民和大范围土地开垦阶段。

1911 年，黑龙江省人口大幅增加到 300 万人，开垦的耕地达到 280 万公顷，小麦、玉米每公顷产量分别为 1125 千克、1500 千克。1915 年，黑龙江省、吉林省耕地面积分别达到 248 万公顷和 573 万公顷。

1924 - 1930 年，东北地区粮食产量由 1457 万吨增至 1886 万吨。至 1930 年，黑龙江省人口上升到 629 万人，垦熟的耕地达到 584 万公顷，粮食总产量达到 759.5 万吨。

1931 - 1945 年东北地区沦陷期，日本对黑土地进行了掠夺式开发，1943 年黑龙江省耕地面积达到 617 万公顷。

新中国成立后，中央人民政府对保护和利用黑土地做出系列部署，在科技助推下，农业现代化得到快速发展。

1949 - 1960 年，以大型国营农场为主体，大规模开发“北大荒”，黑土地农业步入快速发展期。1959 年，东北地区开始推进农业机械化，随后东北地区农机装备总量持续增加，东北地区也成为中国农业现代化和农业机械化的先行区。

1961 - 1977 年，以生产建设兵团为主体，黑龙江省建成全国最大的国营农场群，为国家粮食安全提供了重要保障。

1978 - 2000 年，东北地区实行“国有农场 + 家庭农场”管理体制和经营方式，家庭联产承包制的实施，极大地激发了广大农民的生产积极性，东北地区农业发展迈入新阶段。这一阶段，我国陆续启动了包括三北防护林、退耕还林还草等一系列具有重大影响的生态环境建设工程，东北地区进一步释放了粮食生产潜力并改善了土地生态。

1990 - 2000 年，在东北黑土地农业现代化过程中，黑土地生态系统退化明显。遥感监测结果显示，10 年间耕地面积增加 206 万公顷，森林面积



减少 41 万公顷，草地面积减少 57 万公顷，湿地面积下降 112 万公顷。

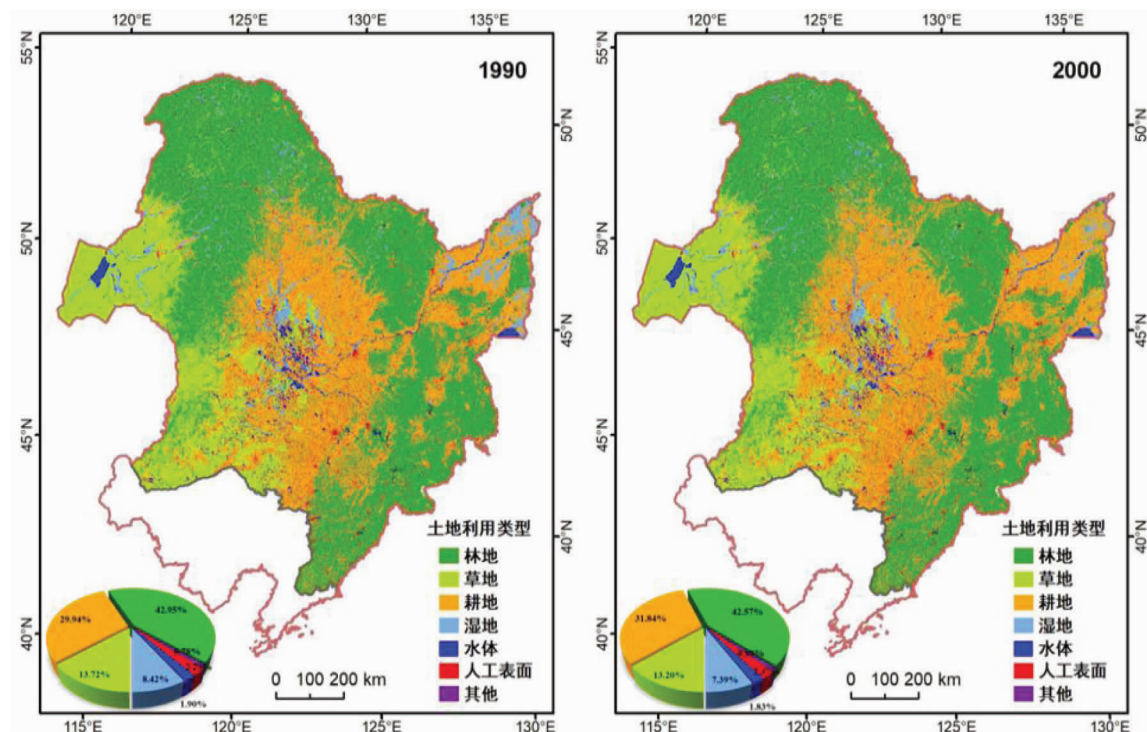


图3 1990 - 2000 年东北黑土地不同土地利用类型空间分布图

数据来源：基于卫星遥感数据解译。

### (三) 21 世纪以来：进入农业现代化新时代

2000 年后，东北地区农业得到快速发展，国有农垦企业成为全国农业现代化的排头兵，粮食生产能力迅速提高。党的十八大以来，东北黑土区的粮食安全保障能力稳步提升，农业现代化程度不断提高，科技创新成为农业现代化发展的重要支撑，国家有关部门实施了系列黑土地保护规划和行动计划项目，但“用好养好”黑土地仍面临压力。

一是粮食播种面积稳步增加。2005 年粮食作物播种面积为 1910.21 万公顷，2019 年增至 2848.87 万公顷。水稻、玉米、大豆等主要粮食作物的播种面积均呈扩大趋势，由 2005 年的 295.70 万公顷、800.38 万公顷、509.18 万公顷分别增加至 2019 年的 531.42 万公顷、1551.25 万公顷、584.41 万公顷，分别是 2005 年的 1.8 倍、1.9 倍和 1.1 倍。受“镰



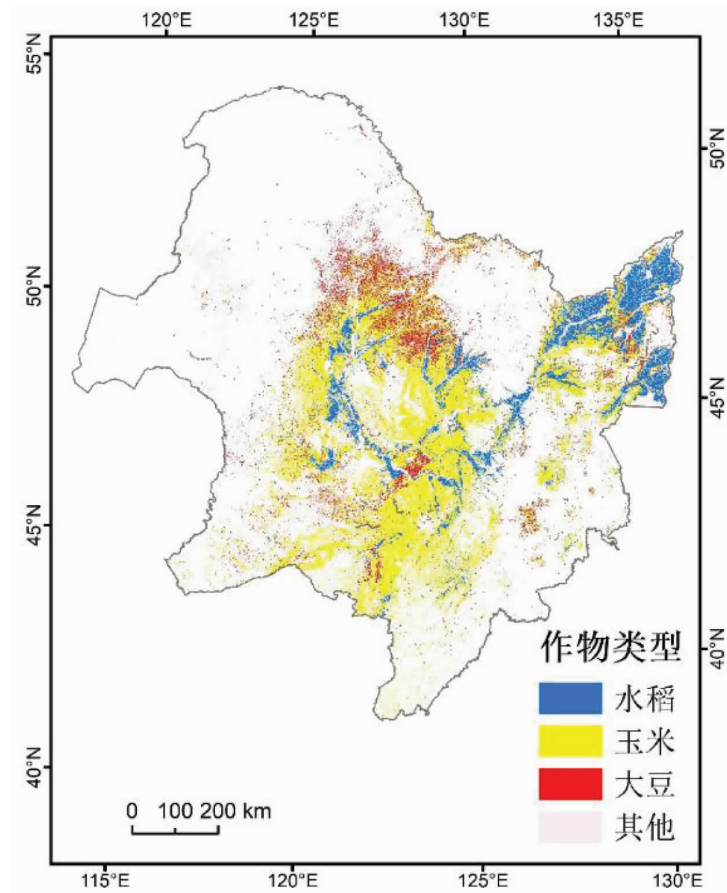


图4 2020年东北黑土地主要粮食作物遥感监测图

数据来源：基于卫星遥感数据解译。

刀弯”地区玉米调减政策和玉米临储制度改革影响，2015年后玉米播种面积略有下降，减少156.62万公顷。受益于大豆种植支持政策，2019年大豆种植面积比2015年增加了243.20万公顷。

二是粮食产量快速增长。粮食产量由2005年的8654.52万吨增至2019年的16542.85万吨，占全国粮食总产量的比重由2005年的17.88%增加至2019年的24.92%，为保障国家粮食安全做出了重要贡献。2019年水稻、玉米、大豆产量分别达到3887.65万吨、10904.31万吨和1090.82万吨，占全国的比重分别为18.55%、41.81%和60.30%。水稻、玉米、大豆产量2019年比2005年分别增长了1.9倍、2.3倍、1.2倍。

三是粮食单产水平显著提高。2005-2019年平均每公顷粮食产量增加1276千克，增幅达28%。按2019年粮食播种面积计，相当于增产

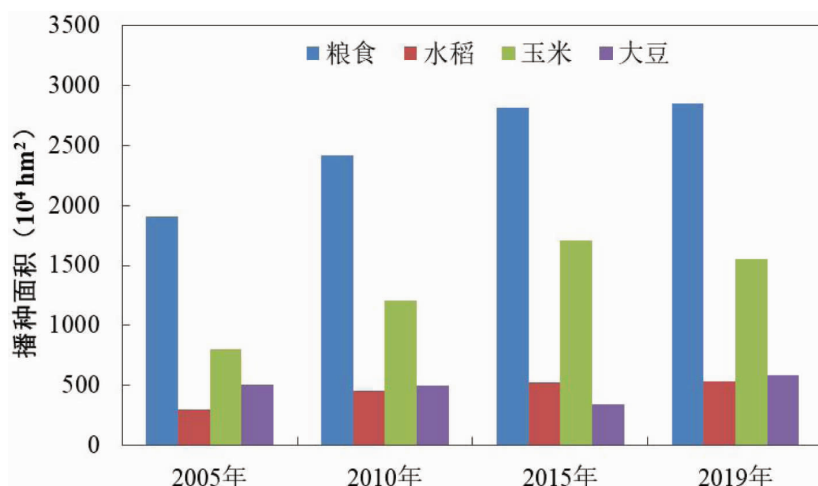


图5 2005-2019年东北黑土地粮食作物播种面积变化

数据来源：包含黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古东四盟，参考文献 [5-7]。

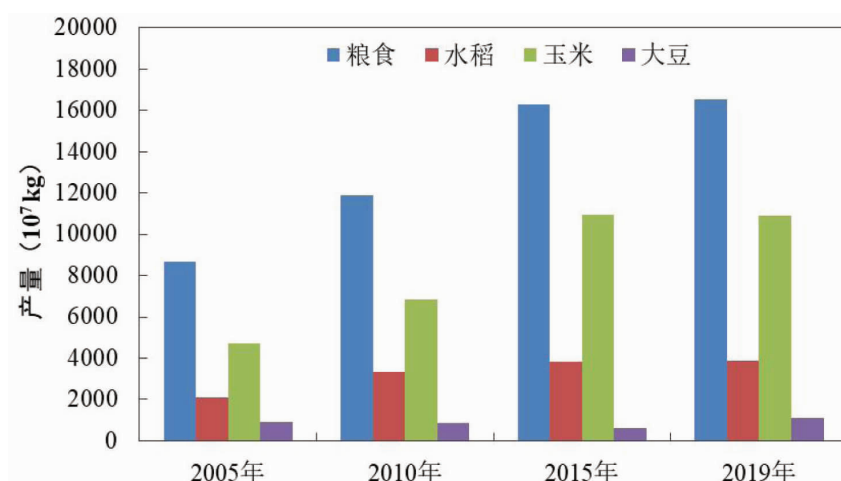


图6 2005-2019年东北黑土地粮食作物产量变化

数据来源：包含黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古东四盟，参考文献 [5-7]。

3635 万吨粮食。2019 年主要粮食作物水稻、玉米、大豆的每公顷产量分别为 7316 千克、7029 千克、1867 千克，比 2005 年分别增长了 4.35%、18.71%、2.16%。中国科学院大安碱地生态试验站作为吉林省水稻品种区域试验承试点，2017 年开始承担吉林省水稻品种试验任务。监测数据显示，2017-2020 年大安站试验田水稻每公顷平均产量为 8483 千克，最高单产年份（2018 年）为 8562 千克。中国科学院海伦农业生态实验站的监测数据显示，2000-2019 年玉米每公顷平均产量为 8037 千克，

2001 - 2020 年大豆每公顷平均产量为 2498 千克，平均单产总体上呈逐年上升趋势。

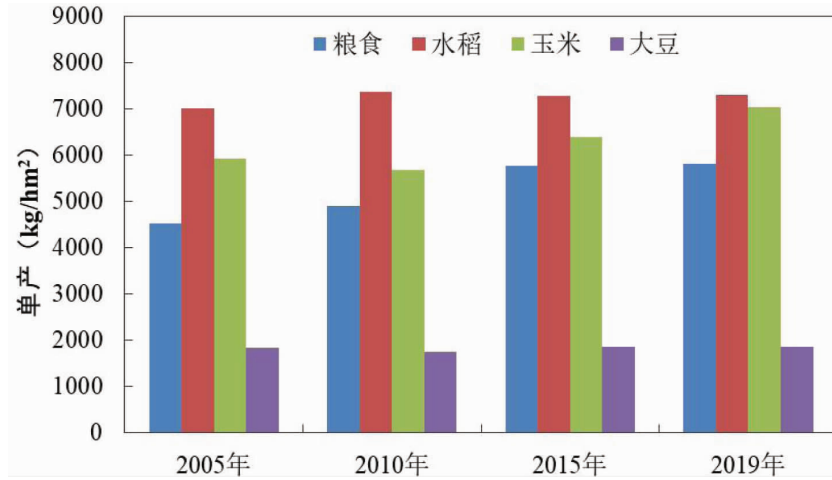


图7 2005 - 2019 年东北黑土地与全国粮食单位面积产量比较

数据来源：包含黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古东四盟，参考文献 [5-7]。

四是农业机械化水平稳步提升。东北地区已成为我国综合机械化水平最高的区域，涌现出以北大荒集团为代表的一批国内重要的农垦集团和农业龙头企业，塑造了“宽窄行种植，秸秆全覆盖”的梨树模式等先进典型。2019 年东北三省农业机械总动力约占全国的 12.03%，黑龙江省、吉林省、辽宁省综合机械化率分别达到 97%、81%、85%，其中黑龙江省高出全国平均水平（69%）近 30 个百分点，位居全国首位，主粮生产已基本实现全程机械化。大型拖拉机数量、配套农机具、农业机械化服务组织分别占全国总量的 24.69%、15.70%、20.07%，位居全国前列，其中黑龙江省位居全国首位。2018 年以来，50 马力以上的大中马力拖拉机销售量占比已超过 50%。智能化、无人驾驶农机销量快速增长。智慧农业发展迅速，建成千亩级现代农业数字化农田，实现定时、定位、定量、定配方的精准农业生产管理。中国科学院梨树实验基地研制了国内性能领先的免耕播种机，连续多年居于东北播种机销售榜首，年播种面积 1 亿亩。2020 年中国科学院微电子研究所研发的基于北斗、人工智能、物联网等技术的农机无人驾驶系统已在黑龙江省累计示范无人标准化作业 0.28 万公顷。该系统集成了 20 余项自主知识产权，节约

人力成本 67% 以上，减少机械作业损苗率 5%，提升工作效能 25% 以上，提升土地利用率 0.5% ~ 1%。

表 1 黑龙江省与全国北斗导航农机自动驾驶系统销量（台）

年份	2019 年	2020 年 1 ~ 6 月
全国	5900	6900
黑龙江省	1644	2670

数据来源：根据黑龙江省发布的农机购置补贴数据整理。

表 2 2019 年东北地区农业机械化基本情况

2019 年	黑龙江省	吉林省	辽宁省	全国
农机总动力（万千瓦）	6359.1	3653.7	2353.9	102758.3
大中型拖拉机（万台）	57.82	34.10	17.68	443.86
配套农具（万部）	42.73	9.26	16.53	436.47
农业机械化作业服务组织（个）	25948	8884	3614	191526

数据来源：参考文献 [5] [7]。



图 8 北斗农机无人驾驶系统应用于黑龙江省大田作物耕种管收全过程

图片来源：中国科学院微电子研究所。

### 三、现阶段东北黑土地的变化

受人类长期干预及全球增暖的影响，全球黑土地的土地利用、土壤侵蚀、有机质和养分元素、土壤结构和蓄水能力等均发生了变化。东北黑土地出现了与世界其他黑土地相似的变化特征，同时也存在部分差异性的变化特点。

#### （一）耕地增速趋缓，森林面积增加

遥感监测结果表明，2010 - 2020 年耕地面积仍呈增长趋势，但比 1990 - 2010 年增幅收窄。2000 - 2020 年东北黑土地农田内部结构发生了显著变化，水田比例由 2000 年的 10.3% 增加到 2020 年的 13.4%，旱田比例由 2000 年的 89.7% 降低到 2020 年的 86.6%。

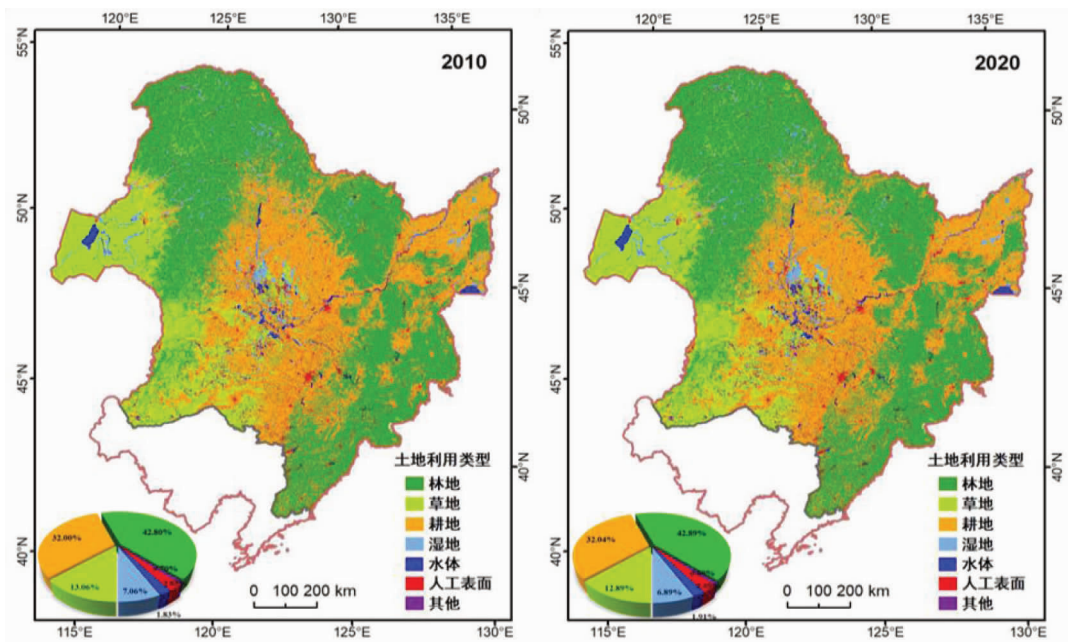


图9 2010 - 2020 年东北黑土地不同土地利用类型空间分布图

数据来源：基于卫星遥感数据解译。

同期森林面积持续增加。2000 - 2010 年东北黑土地森林面积从 4619 万公顷增加到 4643 万公顷，扭转了 1990 - 2000 年森林面积减少的趋势。



2010 - 2020 年森林面积持续增加 10 万公顷，但仍然没有恢复到 1990 年时森林的面积。

湿地面积持续减少，但下降速度减缓。2000 - 2010 年湿地面积从 801 万公顷减少到 766 万公顷。2010 - 2020 年湿地面积持续减少，但减少速率仅为 2000 - 2010 年的 50%，湿地减少主要分布在黑龙江省三江平原和松嫩平原地区。

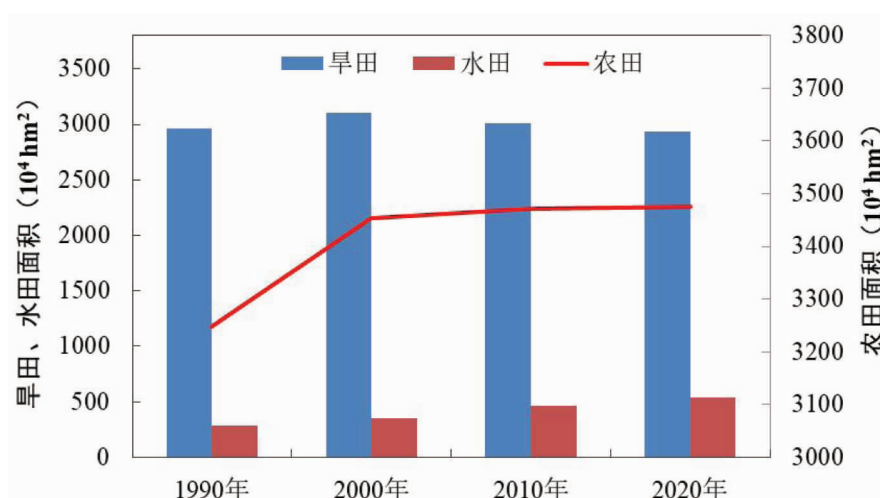


图 10 1990 - 2020 年东北黑土地农田内部结构变化图

数据来源：基于卫星遥感数据解译。

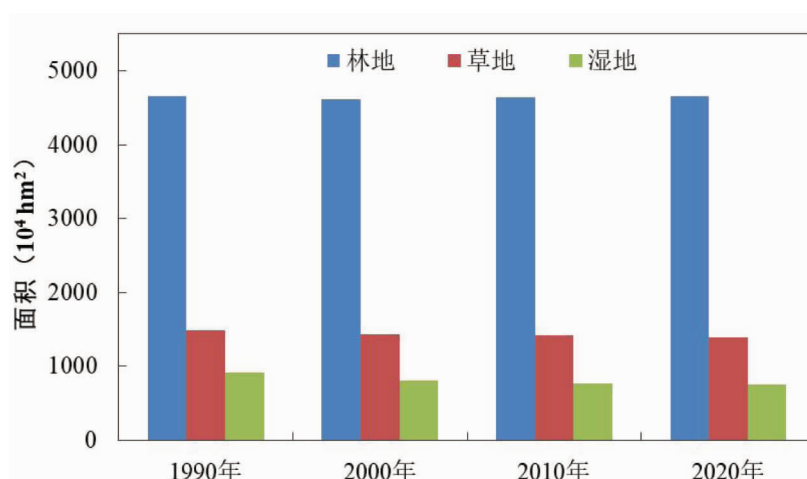


图 11 1990 - 2020 年东北黑土地森林、草地、湿地等土地类型面积变化图

数据来源：基于卫星遥感数据解译。

草地面积下降速度加快。2000 - 2010 年草地面积从 1432 万公顷减少到 1417 万公顷，2010 - 2020 年草地面积持续减少 19 万公顷。草地面积减少分布在内蒙古自治区东部呼伦贝尔和黑龙江省西部松嫩平原区域。

## (二) 坡地开垦导致土壤侵蚀加剧

据中国水土保持公报 2019 年数据，东北黑土地水土流失面积为 21.87 万平方千米，占黑土地总面积的 20.11%。水土流失主要来源于 3° ~ 15° 坡耕地，占黑土地水土流失总面积的 46.39%；其中 60% 以上的旱作农田发生了水土流失问题，黑土层正以年均 0.1 ~ 0.5 厘米的速度剥蚀流失。东北黑土地的土壤侵蚀具体包含以下特点：

(1) 水蚀主要发生在坡耕地。其中坡面上中部以侵蚀为主，而坡面下部和坡脚则以沉积为主。侵蚀强度与坡度、坡长和植被类型密切相关。

(2) 风蚀对农田土壤退化有重要影响。受风蚀影响的面积约占黑土地面积的 11.1%，年均风蚀厚度 0.5 ~ 1.0 毫米，占总侵蚀量的 20% ~ 30%。

(3) 农田土壤侵蚀对土壤肥力造成严重破坏。平均坡度 3° 的坡耕地，因土壤侵蚀造成每年每平方公里流失氮磷 180 ~ 240 千克、钾 360 ~ 480 千克，相当于流失农家肥约 7500 ~ 15000 千克。水利部水土流失动态监测结果显示，部分地区黑土层厚度已由 20 世纪 50 年代的 60 ~ 80 厘米下降到当前的 20 ~ 40 厘米。玉米产量随黑土厚度减小呈明显下降趋势，每侵蚀 1 厘米黑土层，玉米减产 123.7 千克/公顷，20 厘米黑土厚度是维持玉米产量的最小黑土层厚度。

(4) 侵蚀沟发展已造成耕地破碎化。东北黑土地分布长度百米以上的侵蚀沟 29.17 万条，主要分布在漫川漫岗和低山丘陵地区，其中 88.7% 的侵蚀沟处于发展状态。东北黑土地侵蚀沟已累计损毁耕地 33.3 万公顷，侵蚀沟年均造成粮食损失 280 多万吨。

### （三）土壤有机质与养分元素衰减

监测数据显示，东北黑土地仍存在黑土变“瘦”现象。近60年，黑土耕作层土壤有机质含量下降了1/3，部分地区下降了50%。1980-2011年，东北黑土地是我国旱地土壤有机碳唯一表现为下降趋势的地区。已有研究表明，黑土地开垦最初20年有机质含量下降约30%，40年后下降50%左右，70~80年后下降65%左右，进入一个相对稳定期。此后黑土有机质下降缓慢，平均有机碳含量年下降速度低于2‰，每10年下降0.6~1.4克/千克。据估算，与1981年的第二次土壤普查结果（34.6克/千克）相比，2011年典型黑土区海伦市农田黑土平均有机碳含量下降4.0克/千克，近30年黑土表层有机碳含量下降12%，其中厚层黑土土壤有机碳下降最快（22%）。

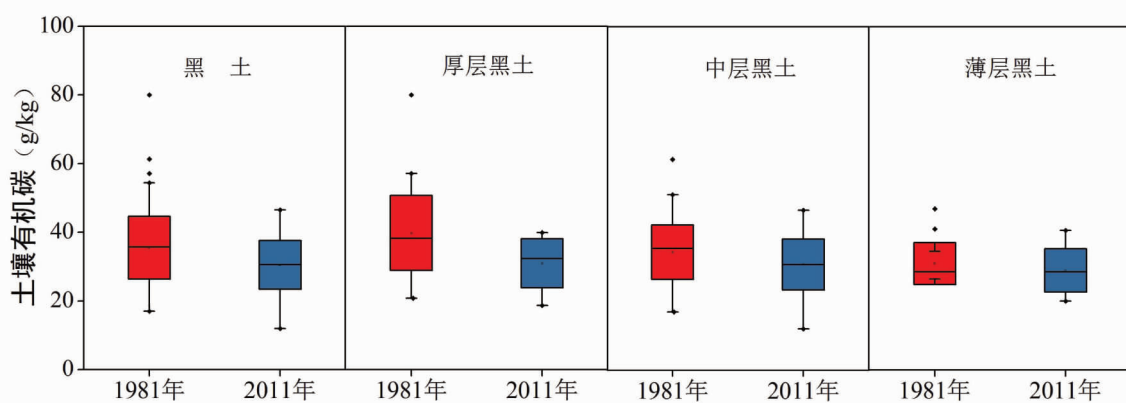


图12 近30年（1981-2011年）海伦市农田土壤有机碳变化

数据来源：中国科学院东北地理与农业生态研究所。

长期耕作导致土壤微生物活性大幅降低，不利于土壤中有效养分的转化。研究表明，开垦20年内表层黑土土壤有机碳的稳定性（惰性有机碳与活性有机碳的比值  $K_{os}$ ）呈上升趋势，之后相对稳定；亚表层  $K_{os}$  值也呈增加趋势；并且随开垦年限的延长，较为活跃的游离态和结合态土壤有机碳含量比例不断减少。黑土开垦后微生物残留物对土壤有机碳的贡献下降，在开垦5年、15年和25年后，真菌和细菌残留物对土壤有机碳的贡献分别为71%、59%和55%以及17%、16%和15%。



中国科学院沈阳生态实验站监测数据显示，2004 - 2015 年土壤微生物量碳含量下降了 2.4 倍。

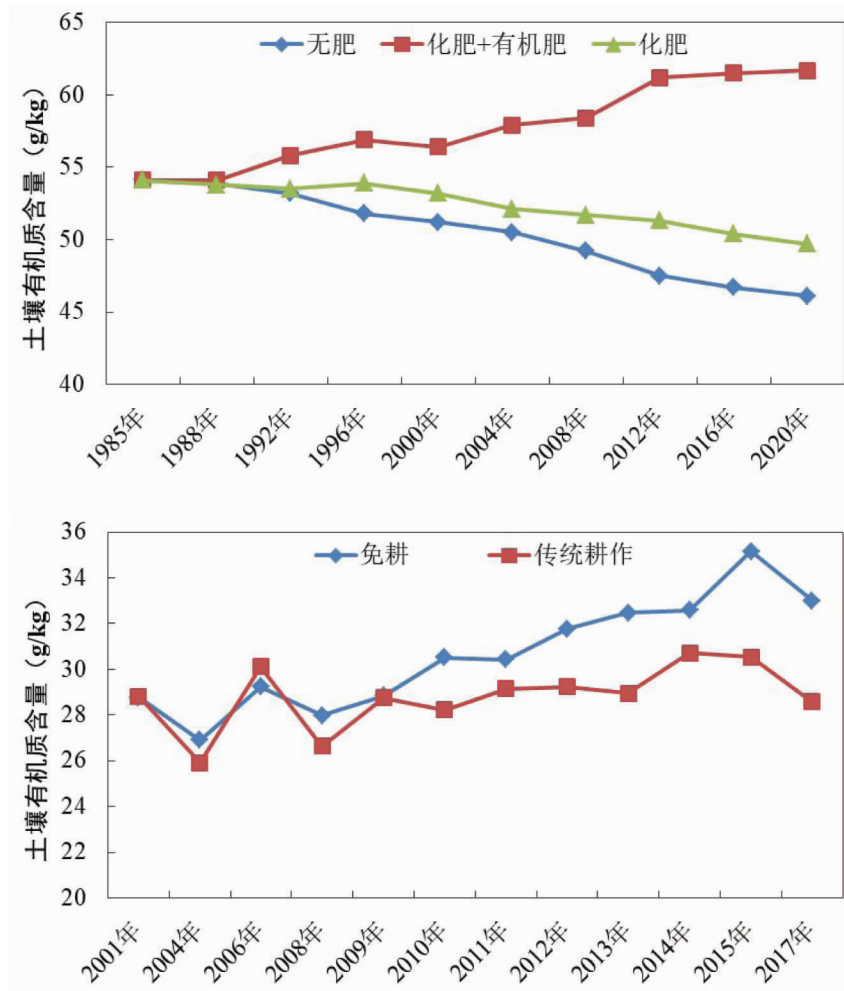


图 13 不同管理措施下东北黑土地农田土壤有机质动态变化

数据来源：中国科学院海伦农业生态实验站、德惠保护性耕作试验基地。

中国科学院海伦农业生态实验站监测数据显示，在玉米 - 大豆 - 小麦轮作系统中，长期（35 年）施用化肥条件下土壤有机质下降 14.6%，而化肥和有机肥配施显著增加土壤有机质含量（14.0%）。中国科学院东北地理与农业生态研究所保护性耕作试验监测数据显示，玉米秸秆覆盖免耕条件下，前 8 年土壤有机质含量与传统耕作相比无显著差异；从第 9 年开始，免耕土壤有机质含量较传统耕作有明显提升（16%）。

在松嫩平原中层黑土区大豆-玉米轮作系统中，在不施肥条件下，经过15年的传统耕作土壤有机碳轻微降低；施用化肥条件下土壤有机碳小幅增加；而在秸秆全量还田配施化肥条件下土壤有机碳增加15.2%，年均递增幅度为9.5‰。

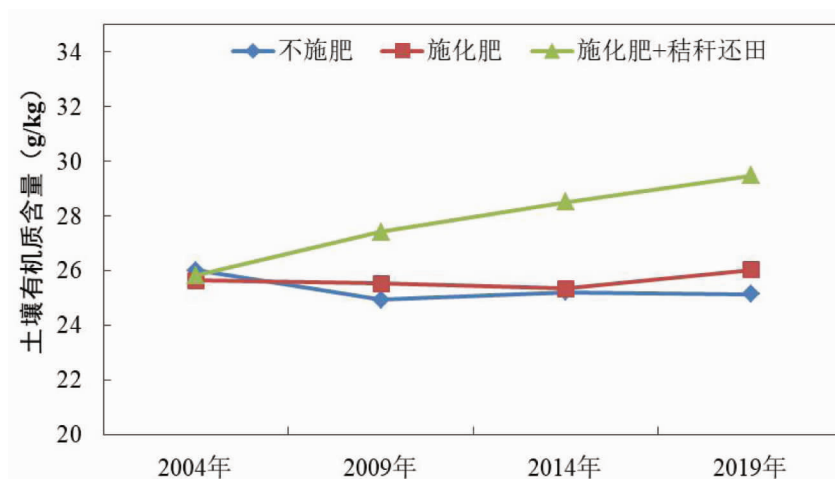


图 14 2004 - 2019 年不同施肥方式下黑土有机碳含量的变化

数据来源：中国科学院海伦农业生态实验站。

#### (四) 土壤结构改变与蓄水能力下降

黑土是较容易形成紧实层的土壤类型。不合理的耕作方式显著加剧土壤压实，使得土壤耕作层逐渐变薄。研究表明，当贯穿阻力接近2兆帕，穿透土壤的作物根系急剧减少，而机械单次压实就能导致20~25厘米土层的土壤贯穿阻力达到4.02兆帕。

土壤容重增加和蓄水能力下降。与自然黑土相比，开垦20年、40年、80年的耕地土壤0~30厘米土层土壤容重分别增加7.59%、34.18%和59.49%，总孔隙度分别下降1.91%、13.25%和22.68%，田间持水量分别下降10.74%、27.38%和53.90%。与自然恢复20年以上的黑土相比，在0~20厘米土层，吉林德惠和梨树农田黑土容重分别增加7.83%和6.96%，土壤硬度增加3.04%和21.61%，黑龙江海伦黑土容重增加4.13%。与第二次土壤普查时的数据相比，退化黑土中黏粒含量下降5.04%，部分黑土质地由轻壤土变成中壤土，黑土表层细颗粒向

粗颗粒转变，进一步降低土壤的蓄水和供肥能力。

施用有机肥能有效改善土壤质量。中国科学院大安碱地生态试验站监测了不同改良处理条件下0~20厘米苏打盐渍土机械组成，经过多年改良与种稻后，苏打盐渍土土壤机械组成中黏粒含量显著降低，有机肥改良处理条件下土壤黏粒含量为8.50%，比改良前的苏打盐渍土黏粒含量降低77.39%，而砂粒含量则增加125.75%，土壤质地疏松，土体透水透气性好，利于作物生长。

### （五）生态服务功能较1990年前有所下降

1990-2020年，东北黑土地产水量、生态系统碳储量、土壤保持、防风固沙等生态系统服务功能以及243个县区生态环境状况指数退化趋势得到总体遏制，但仍未恢复到1990年之前的水平。

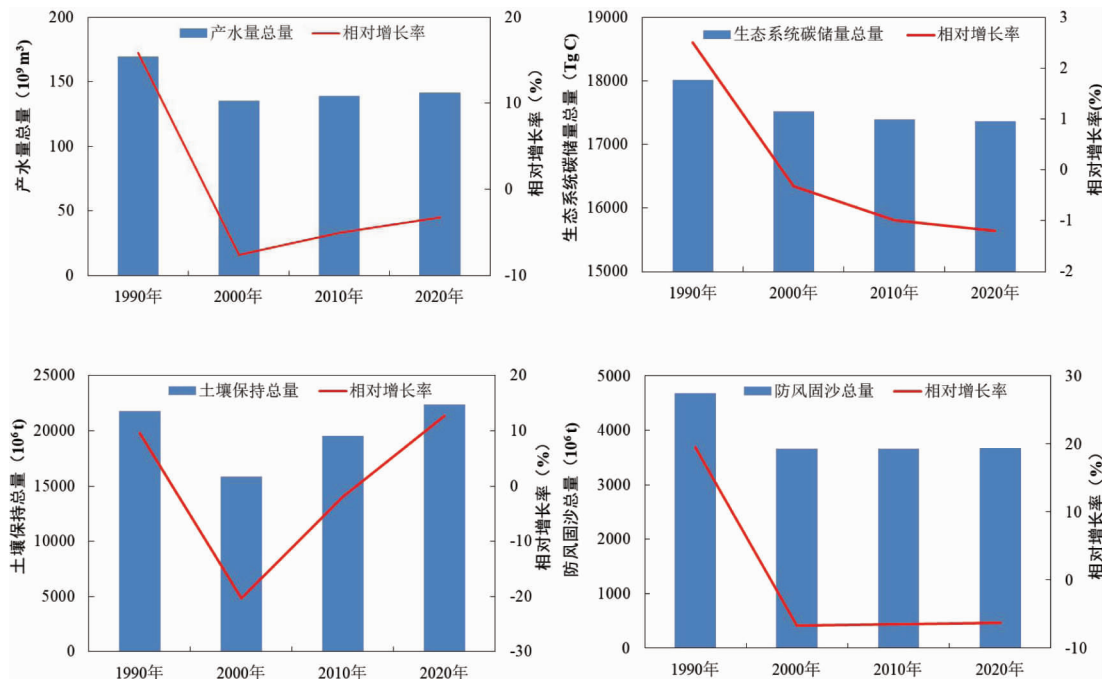


图15 1990-2020年东北黑土地生态系统服务变化趋势

数据来源：基于卫星遥感数据解译。

土地产水量呈现先减少后增加的特征。1990-2000年产水量减少34.2亿立方米，2000-2010年增加3.7亿立方米，2010-2020年产水量达到141.3亿立方米，但仍低于1990年的水平。

生态系统碳储量呈逐渐减少趋势。1990 - 2000 年、2000 - 2010 年和 2010 - 2020 年间分别减少 4.937 亿吨、1.186 亿吨、0.374 亿吨。虽然生态系统碳储量仍在持续减少，但下降幅度明显降低。

土壤保持总量呈现先减少后增加趋势。1990 - 2000 年减少 5.946 亿吨，2000 - 2020 年增加 6.557 亿吨，基本恢复到了 1990 年的水平。

防风固沙总量呈现先减少后增加的特征。1990 - 2000 年防风固沙量下降 1.026 亿吨，2000 - 2020 年增加 0.016 亿吨，仍低于 1990 年的水平。

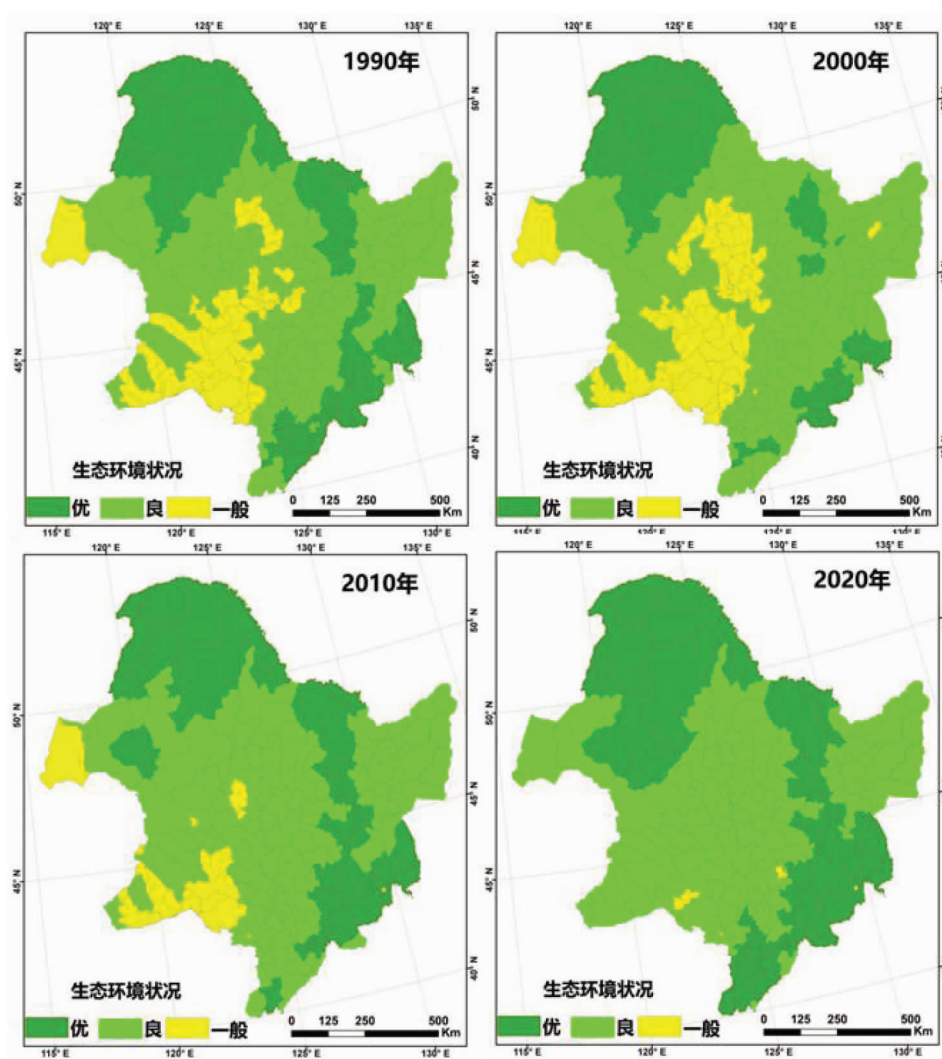


图 16 1990 - 2020 年东北黑土地各县市生态环境状况变化

数据来源：基于卫星遥感数据解译和统计数据。

生态环境状况指数趋于好转，但仍未恢复到 1990 年之前的状态。依据最新发布的国家环保标准《生态环境状况评价技术规范（HJ 192 - 2015）》，对东北黑土地 243 个县市生态环境状况进行评价，结果表明：（1）1990 - 2000 年生态环境状况呈总体退化态势。其中 216 个县市的生态环境退化状况加剧，43 个县市生态环境状况指数显著变差。（2）2000 - 2010 年生态环境退化趋势初步得到遏制。其中 219 个县市生态环境质量趋向改善，2010 年仍有 24 个县市生态环境质量下降。（3）2010 - 2020 年生态环境退化形势得到总体遏制。229 个县市生态环境退化状况趋向变好。与 2010 年相比，2020 年仍有 9 个县市生态环境状况变差或无明显变化。

## 四、对黑土地变化的科学认知

随着黑土地退化问题凸显和科学研究的深化，黑土地问题已引起国内外的广泛关注。近 10 年，国际刊物发表相关论文 2142 篇，国内刊物发表相关论文 1822 篇。黑土地问题研究正成为土壤学、水土保持与荒漠化防治、作物栽培与耕作学、生态学、微生物学、地理学、农业工程、经济管理 etc 学科的热点，并获得了更深入的认识。

### （一）不合理垦殖和耕作是导致黑土地退化的主因

中国科学院海伦水土保持监测研究站多年的监测结果显示，土地利用方式不同，土壤流失量明显不同。其中，裸露的土壤流失量最大，其次是传统耕作方式，最少的是草地、免耕覆盖和横坡垄作（等高种植）方式，每年土壤流失厚度不足 1 毫米。不同管理方式显著影响土壤有机碳含量，2004 - 2017 年间开展的化肥 + 秸秆还田处理、施化肥、无肥处理等不同施肥措施比较研究表明，与试验起始土壤有机碳含量相比，化肥 + 秸秆还田处理的土壤有机碳含量增加了 14.2%；无肥处理的土壤有机碳含量则降低了 3.5%。

表 3 2007 - 2014 年中国科学院海伦水土保持监测站 5 度坡水土流失监测结果

土地利用方式	总侵蚀量 (吨/公顷)	平均每年侵蚀量 (吨/公顷)	土壤厚度 (毫米)
免耕	7.14	0.51	0.05
传统	339.12	24.22	2.42
草地	0.70	0.05	0.00
裸地	3362.15	240.15	24.02
横坡垄作	12.59	0.90	0.09

数据来源：中国科学院海伦水土保持监测研究站。



此外，大型机械耕作可导致黑土表层土壤压实。研究表明，部分大型机械耕作区，耕层和亚耕层整体上孔隙减少，土壤水分有效性降低，机械阻力增大。

相关研究还显示，酸沉降和农田土壤中大量施用氮肥导致土壤酸化加剧，抑制植物生长，活化土壤中的重金属离子。大量使用除草剂、杀虫剂等导致土壤中农药残留增多，直接影响生态系统健康。土壤生物区系因土壤有机碳衰减、土壤侵蚀、土壤酸化和盐渍化、土壤污染等会发生剧烈扰动，生物区系的变化直接影响土壤养分周转以及有毒有害物质的生物有效性。

## （二）气候变化加剧黑土地退化

近 50 年来，东北黑土地平均每 10 年增温  $0.34^{\circ}\text{C}$ ，降水量年际变化呈增加趋势。中国科学院海伦农业生态实验站监测数据显示，1959 - 2018 年，海伦站监测区年平均气温约增加  $1.4^{\circ}\text{C}$ ，最大冻土深度逐渐减小（2004 - 2018 年），近 15 年减少约 70 厘米。中国科学院沈阳生态实验站监测数据显示，2006 - 2020 年，沈阳站监测区气温与地温（地下 10 厘米）均呈上升趋势，且地温增长幅度更大。回归模型显示，15 年间气温增加  $0.97^{\circ}\text{C}$ ，而地温增加了  $2.46^{\circ}\text{C}$ 。中国科学院大安碱地生态试验站监测数据显示，2005 - 2020 年，大安站监测区年平均气温呈现上升趋势，年平均气温最高的 2019 年比最低的 2005 年高  $3.0^{\circ}\text{C}$ 。

气候变暖导致微生物活性增强，土壤有机质的微生物分解将加快，从而造成地力下降。

气候变暖还加剧黑土地的水 - 土资源失调。气候变暖背景下干旱灾害发生频次增加，土地干旱面积也在增加；同时，部分年份降水激增，黑土由于质地黏重排水状况差，极易形成内涝。气候变化还可能使冻土南界不断北移，导致湿地土壤变化，使大量储存在泥炭沼泽中的碳不断释放，影响大气中二氧化碳和甲烷的含量，进一步加剧气候变暖。随着未来全球气候逐渐变暖，黑土地的玉米、大豆气候生产潜力可能会因温度升高而增加；但由于降水量的波动变化，温度升高带来的作物生产潜力增高可能被抵消甚至降低。

### （三）应用保护性耕作技术可有效遏制黑土地退化

针对黑土地退化的各种问题，国内外学者提出了一系列的土壤质量提升技术，其中保护性耕作是促进黑土地土壤可持续利用的主要技术，也是发达国家可持续农业的主导技术之一。保护性耕作是一种“为减少土壤侵蚀，任何能保证在播种后地表作物秸秆残茬覆盖率不低于30%的耕作和种植管理措施”。目前，该技术已在美国、加拿大等70多个国家广泛应用，应用区面积达1.7亿公顷，占世界耕地总面积的11%。实践证明，保护性耕作可有效遏制黑土地退化，但也存在土壤压实、秸秆全量还田难、杂草侵扰、病虫害等问题。近年来，国际上提出了一种解决该方法的方法，即“策略性耕作”（Strategic tillage），该方法是在保护性耕作的土壤中再次进行耕作，以解决杂草侵扰等问题。

东北地区是我国保护性耕作的先行区，黑土地推广应用了一批新型耕作模式，如秸秆覆盖还田免耕技术、宽窄行秸秆全覆盖还田/宽窄行留茬交替休闲种植技术、秸秆覆盖条带耕作/秸秆旋耕全量还田技术等，其中秸秆覆盖还田条带耕作技术已成为“梨树模式”的主体模式之一。不同秸秆覆盖量及覆盖模式对土壤有机质截获和积累过程、养分循环过程以及水热调控过程有显著的影响。中国科学院在东北黑土区“玉米秸秆覆盖免耕长期定位实验基地”开展10余年的秸秆覆盖免耕研究结果显示：

一是玉米秸秆覆盖免耕显著促进了土壤有机质的积累。2007-2018年，秸秆全量覆盖后耕层土壤有机质年均增加幅度为0.5%~0.7%。

二是秸秆覆盖免耕增加土壤养分积累与供应能力。秸秆全量归还每年向土壤输入的氮、磷、钾数量相当于当地化肥施用量的25%、30%和200%。并且秸秆中的养分具有较高的稳定性，不易损失。在全量秸秆覆盖条件下，耕层土壤全氮含量年均增幅为1.1%。

秸秆覆盖归还可提高土壤养分活性。全量秸秆覆盖显著提高了土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量。



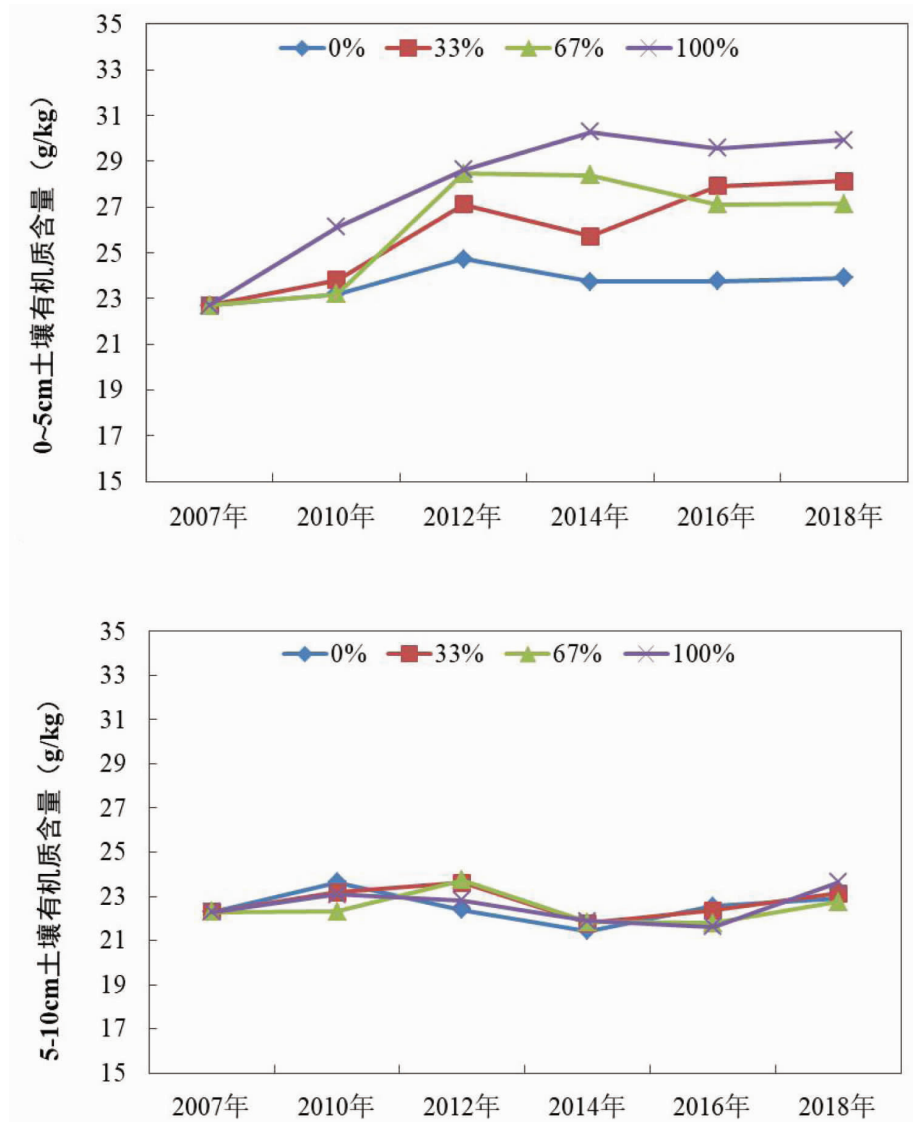


图 17 玉米秸秆覆盖免耕处理下土壤有机质积累动态

注：33%和67%分别表示秸秆年产量的1/3和2/3覆盖还田；100%表示秸秆全量归还。

数据来源：中国科学院沈阳应用生态研究所。

三是秸秆覆盖免耕改善土壤结构，提高抗旱保墒能力。秸秆覆盖免耕5年后，显著促进了土壤大颗粒大团聚体的形成，增加了团聚体的稳定性，并且犁底层消失，改善了土壤下层结构和孔隙分布，显著促进作物生长和根系的穿透、水分下渗和保持以及养分运移和供应。

四是保护性耕作技术实现增产增效、节本节肥。2017年中国科学院

沈阳生态实验站监测结果表明，秸秆覆盖免耕与常规垄作相比，能够实现培肥地力和提高经济效益的双向收益。如保护性耕作比常规垄作增产约 1000 千克/公顷，每公顷节省成本 1650 元。

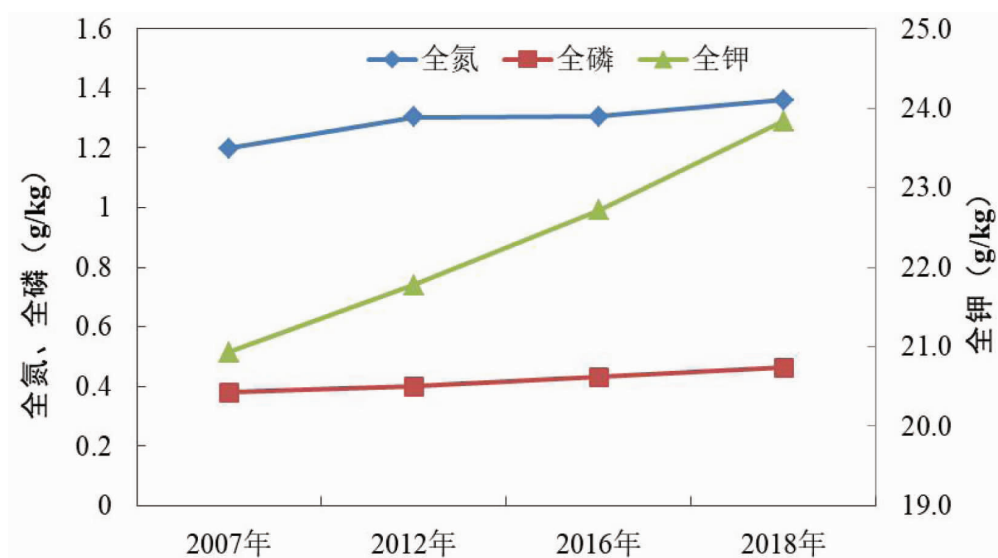


图 18 全量秸秆覆盖处理下土壤氮、磷、钾含量变化

数据来源：中国科学院沈阳应用生态研究所。

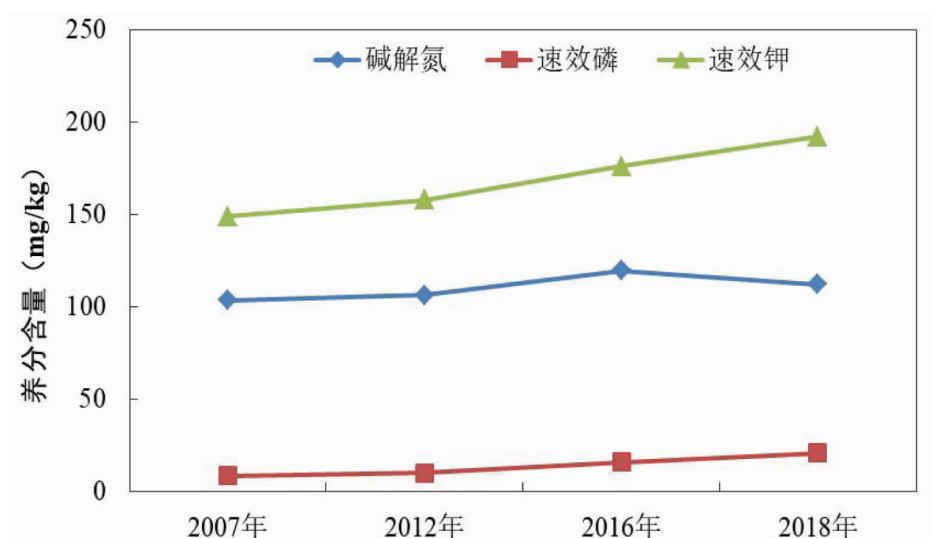


图 19 全量秸秆覆盖处理下土壤碱解氮、有效磷及速效钾的动态变化

数据来源：中国科学院沈阳应用生态研究所。

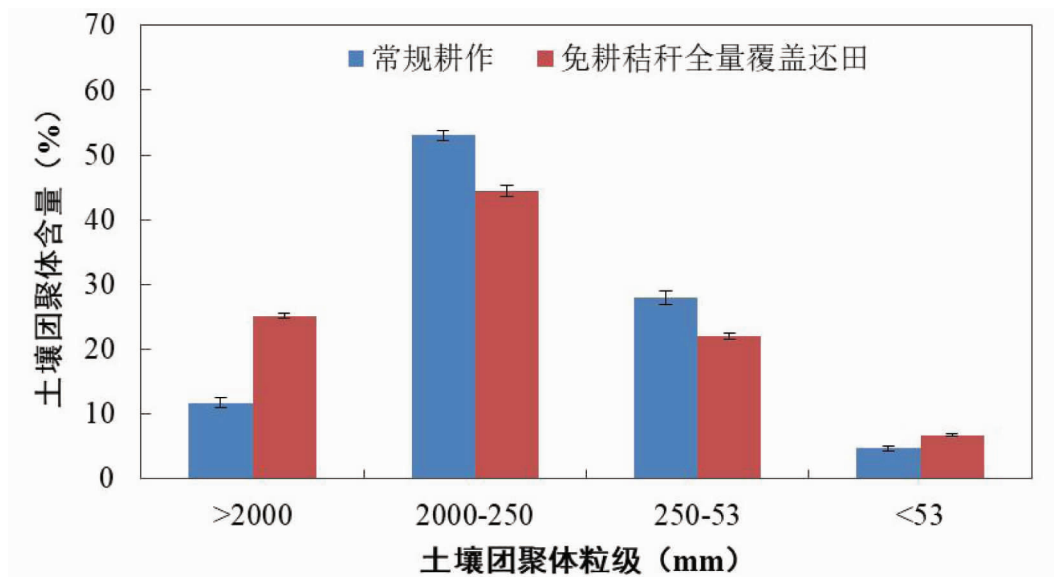


图 20 秸秆覆盖免耕对土壤结构的影响

数据来源：中国科学院沈阳应用生态研究所。

表 4 保护性耕作与常规垄作节本增效分析 (元/公顷)

耕作方式	联合整地	播种及田间管理	病虫草害	机收到家	合计 (元)
保护性耕作	100	400	440	900	1840
常规垄作	1100	1050	440	900	3490

数据来源：中国科学院沈阳应用生态研究所。

#### (四) 阻控黑土地退化有赖于科技创新

一是推进秸秆还田有赖于生物科技进步。黑土地位于高寒地区，秸秆还田降解难度大、时间长，秸秆处置已经成为黑土地可持续利用的障碍。目前简便快速秸秆生物处理还田技术尚未成熟，高效秸秆液化技术和高效的耐高、低温原位复配的促生防微生物菌群研发不足。

二是提高黑土地土壤肥力有赖于肥料方面的技术创新。目前，在欧美发达国家，微生物肥料的使用已占肥料总量的 20% 以上，但受多种环境因素的影响，我国施用比例仅为 2% 左右。改善土壤肥力状况仍依赖于化肥，我国年化肥用量超过全世界化肥总消耗量的 33%；但氮肥利用效率只有 30% 左右，不到西方发达国家的 50%，亟待通过精准的施肥方

式和开发高效有机肥产品，提高作物养分利用率。

三是提高黑土地农业生产智能化水平有赖于科技创新。目前，美国的卫星定位技术、英国的带有电子监测系统（EMS）的拖拉机、日本的小型智能化农机装备等已在农业生产方面得到运用，较好地提高了农业生产效率。我国农机装备整体水平与全球农机强国相比，还存在较大差距。从2018年开始，全球范围内已出现了以智能化、新能源等为特征的第三代农机体系构建的雏形。我国亟需组织和推进新体系的建立，把农机转变为以信息技术为核心的高科技产品，实现我国农机现代装备产业跨越发展。

四是建立现代黑土地监测体系有赖于科技创新。推进黑土地利用和保护，需要建立现代黑土地监测体系。目前，传统的资源环境信息分析技术和产品服务能力，已难以满足大数据时代高精度黑土资源环境信息综合应用需求。我国初步建立了基于高分系列卫星为主体的对地观测网络，但已有的卫星遥感系统设计大多针对地表覆盖信息（尤其是植被信息）提取，受传感器谱段设计、空间分辨率和卫星重访周期制约，在土壤质地监测、土壤侵蚀信息提取等方面存在较大挑战，难以满足对黑土资源高效利用和保护的应用需求。亟需融合5G技术，开展黑土资源环境感知系统研发，构建包含“卫星遥感、无人机、地面物联网”的天-空-地一体化多尺度立体观测网络，突破多角度、高精度、准实时的黑土资源环境信息主动获取关键技术，提升黑土资源环境大数据的深入分析与综合服务能力。

## 五、依托科技创新，“用好养好”黑土地

科技创新是推动经济社会发展的第一动力，也是“用好养好”黑土地的根本途径。目前，我国黑土地科技创新已具备一定的基础，未来需要在重点方向上寻求突破。

### （一）推进黑土地科技创新的基础

#### 1. 建立了一批黑土地保护模式和示范区

一是建立了黑土地保护“梨树模式”。在松嫩平原南部薄层黑土区，中国科学院东北地理与农业生态研究所、沈阳应用生态研究所联合中国农业大学，提出了黑土地保护性耕作“梨树模式”，因地制宜地为开展黑土地保护与利用提供了系统解决方案。2020年7月22日，习近平总书记视察吉林省时指出：“要认真总结和推广‘梨树模式’，要采取有效措施切实把黑土地这个‘耕地中的大熊猫’保护好、利用好，使之永远造福人民”。2000年以后保护性耕作技术开始在东北地区试验、示范和推广，已经遍及黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古自治区，覆盖了黑土、黑钙土、风沙土、盐碱土等土壤类型。

二是建立了黑土地保护“龙江模式”。中国科学院东北地理与农业生态研究所提出了适合黑龙江省的黑土地保护利用“龙江模式”，包括松嫩平原中东部和三江平原大部分地区的“黑土层保育模式”、松嫩平原中部的“黑土层培育模式”、松嫩平原西部的“松免结合的保护性耕作模式”、环大小兴安岭和张广才岭的“坡耕地控蚀增肥模式”，得到了黑龙江省政府充分肯定。中国科学院等科研机构创建了北部退化黑土玉米-大豆轮作秸秆深翻埋还田肥沃耕层构建技术模式，建立了黑土地肥沃耕层的指标体系。农业农村部建立了该技术的行业标准《东北黑土区旱地肥沃耕层构建技术规程》（NY/T 3694-2020）。

三是建立了黑土地水土保持技术模式。中国科学院等科研机构根据坡度实施丘陵复式地埂水土保持技术，应用秸秆填埋、耕地复垦技术治

理侵蚀沟，形成了漫川漫岗侵蚀黑土水土保持技术体系。该技术模式作为国家“黑土地保护试点工程”、“东北黑土区水土流失综合治理重大工程”、“黑土区侵蚀沟治理专项工程”的重要推广技术，在黑龙江省海伦市、拜泉县、巴彦县，吉林省梨树县、榆树市、公主岭市，辽宁省昌图县以及内蒙古东四盟得到了广泛推广。2003年 国家启动了“东北黑土区水土流失综合防治试点工程”，东北黑土区进入大规模开展水土保持工程建设阶。2009年水利部颁布了东北黑土区首个水利行业标准《东北黑土区水土流失综合防治技术标准》（SL 446-2009）。

### 专栏 1：东北黑土地保护性耕作技术体系

保护性耕作技术体系是东北黑土地恢复和培肥地力的重要技术措施之一。

技术环节：秸秆覆盖还田情况下少免耕播种施肥、秸秆残茬管理、病虫害防控、深松与表土作业等。

主要技术模式：秸秆覆盖还田免耕、宽窄行秸秆全覆盖还田免耕/宽窄行留茬交替休闲种植、秸秆覆盖条带耕作/秸秆旋耕全量还田等。

技术效果：有效利用作物秸秆，解决焚烧秸秆造成环境污染问题，具有固土效益（风蚀水蚀“双减”）、蓄水保墒效益（每年土壤多蓄纳降水 60~80 毫米）、保肥效益（提升黑土有机质 17% 和养分供给能力）、固碳减排效益（土壤 CO<sub>2</sub> 排放量下降 10%）和增加土壤生物多样性（物种丰富度提高 10%~20%）。与传统耕作相比，可减少 50%~60% 的田间作业次数，从而显著降低生产成本，使广大农户获得更高的经济效益。

### 专栏 2：东北黑土地肥沃耕层构建技术

肥沃耕层构建技术是东北黑土地保护利用的关键技术之一。

技术环节：采用深翻和深混等机械作业方式，将 0~35 厘米土层旋转 60~120°，同时将秸秆和有机肥深混于 0~35 厘米土层中进行肥沃耕层构建。



### 专栏 2：东北黑土地肥沃耕层构建技术

主要技术模式：肥沃耕层构建技术模式。

技术效果：解决了玉米秸秆全量还田的技术瓶颈。耕层厚度增加至 30 厘米以上，土壤有机质、速效磷和速效钾含量分别提高了 9.1%、9.3% 和 13.7% 以上，土壤培肥效果显著。土壤容重下降了 15.0%，孔隙度增加了 7~10 个百分点，团聚体增加了 27.2%，土壤结构优化明显。玉米和大豆分别增产 10.5% 和 11.3% 以上，作物增产效果突出。

### 专栏 3：东北黑土地水土保持技术模式

水土流失治理技术模式是东北黑土地坡耕地侵蚀防治有效的措施之一。

技术环节：坡耕地水土保持措施主要有等高改垄（ $<3^\circ$ ）、地埂植物带（ $3^\circ \sim 5^\circ$ ）、梯田（ $>5^\circ$ ）坡面水土保持工程措施，秸秆覆盖条耕、大垄、垄沟苗期深松、垄向区田等。侵蚀沟防治措施主要有沟头跌水、沟底谷坊和沟坡护岸等工程措施和生态植被恢复。

主要技术模式：工程措施为主植物措施为辅、植物措施为主工程措施为辅、植物措施和复垦四种模式。

技术效果：坡耕地实施水土保持措施后土壤侵蚀可降低 80% 以上，耕层土壤有机质含量以年均 5.4‰ 速率增加，等高改垄、地埂植物带、梯田粮食分别增产 10%、15% 和 20%。治理后的侵蚀沟稳定，完全被林草所覆盖，填埋复垦后的侵蚀沟消失，地块完整，生态环境显著改观。

四是黑土区苏打盐碱地高效治理关键技术模式。中国科学院等科研机构系统地提出了“以耕层改土治碱为基础、以灌排洗盐为支撑”的重度苏打盐碱地快速改良新思路和新方法，有效解决了新垦重度盐碱地有水也难以种稻的重大技术难题；创建了苏打盐碱地定位分区改良关键技术模式，推动苏打盐碱地改良利用进入精准阶段；研发出抗逆品种配套栽培关键技术，集成创建了以目标产量为导向的苏打盐碱地分类治理模式。该技术模式累计推广 8647 万亩，实现了盐碱地大规模增产增收和环

境友好双赢治理目标，为实现吉林省百亿斤粮食增产目标提供了重要科技支撑。

五是建立了一批技术应用示范区。中国科学院依托东北黑土区已有的野外观测台站，在松嫩平原、三江平原建立了松嫩平原中南部保护性耕作示范区、松嫩平原北部肥沃耕层示范区、松嫩平原侵蚀防治示范区、高光效栽培示范区、松嫩平原西部风沙盐碱修复示范区等五个示范区，系统开展了千亩级、万亩级示范，对不同类型黑土地保护与可持续利用起到了重要的技术辐射作用。根据中国科学院海伦农业生态实验站监测研究，肥沃耕层技术示范区的玉米、大豆每公顷平均产量分别为9336 千克和3800 千克，比常规耕作方式每公顷增产了10.5%和11.3%，促进耕层厚度恢复至30 厘米以上。肥沃耕层构建技术已列入黑龙江省农业农村厅农业技术推广项目。相关技术作为农业农村部 and 地方农业部门主推技术，支撑了国家黑土地保护利用试点、黑龙江亿亩高产标准农田建设等一系列黑土地保护利用重大工程。

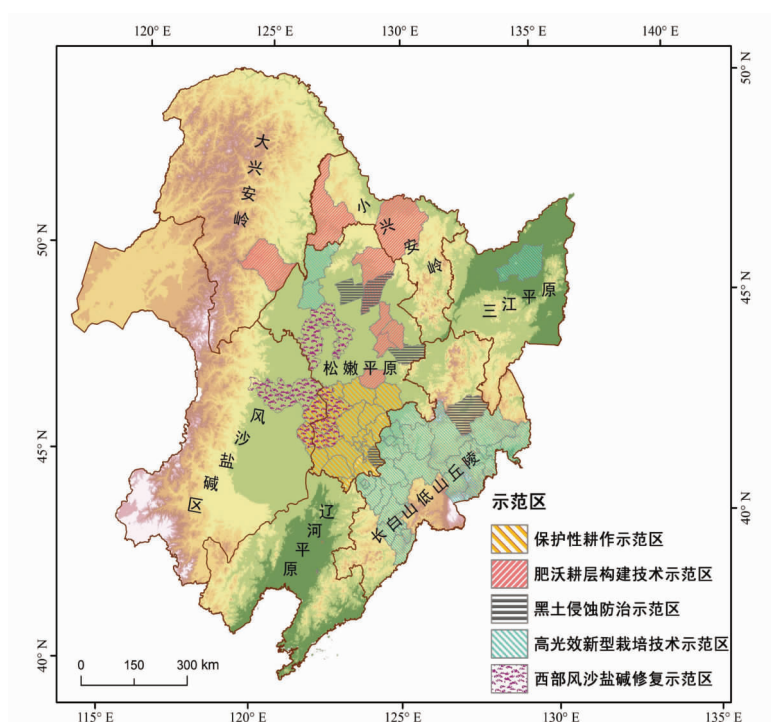


图 21 中国科学院 5 个黑土地保护修复技术示范区分布

图片来源：中国科学院东北地理与农业生态研究所。



## 2. 黑土地保护利用试点项目顺利推进

从2015年开始，原农业部启动了第一批黑土地保护利用试点项目，在东北四省区17个产粮大县（市、区）开展黑土地保护利用试点。2017年原农业部、国家发展改革委、财政部、国土资源部、环境保护部、水利部联合印发了《东北黑土地保护规划纲要（2017-2030年）》，明确了黑土地保护的总体要求、重点任务、技术模式等。2018年为进一步推进黑土地保护利用工作，农业农村部实施了第二批黑土地保护利用试点项目，涵盖东北四省区31个县（市、区）；黑龙江省人民政府印发了《黑龙江省黑土耕地保护三年行动计划（2018-2020年）》。2020年农业农村部、财政部联合印发《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025年）》，部署在适宜区域全面推广应用保护性耕作，促进东北黑土地保护和农业可持续发展。截至2020年底，黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古自治区实施保护性耕作面积分别达到80万公顷、123.5万公顷、53.3万公顷和50.6万公顷，形成了吉林省四平市梨树县国家百万亩绿色食品原料（玉米）标准化生产基地核心示范区等一批先进典型，将黑土地保护利用的工作推向了新的高度。

## 3. 野外观测研究网络初具规模

截至2020年底，中国科学院构建了由海伦站、沈阳站、三江站、大安站、辽河源基地等17个野外长期定位观测台站（基地）组成的东北黑土地监测研究网络。

国家有关部门和高等院校陆续在黑龙江省、吉林省、辽宁省建立了农业环境与耕地保育科学观测实验站、作物栽培科学观测实验站、黑土生态环境重点野外科学观测试验站、作物种质资源观测实验站、国家级农作物品种区域试验站等不同类型的观测台站。

中国科学院17个野外台站（基地）与上述观测台站形成了覆盖东北黑土区的农业生态系统野外长期定位观测网络群，针对黑土地农业发展和生态环境变化过程中的科学问题与生产实际问题，系统地开展了东北黑土地农田生态系统的水分、土壤、大气、生物、生态系统等要素长

期连续定位观测和遥感监测研究，积累了大量第一手监测数据。

中国科学院海伦农业生态实验站从1978年至今，持续开展了5类79项水分监测指标、8类62项土壤监测指标、13类59项大气监测指标、12类119项生物监测指标的定位观测研究。

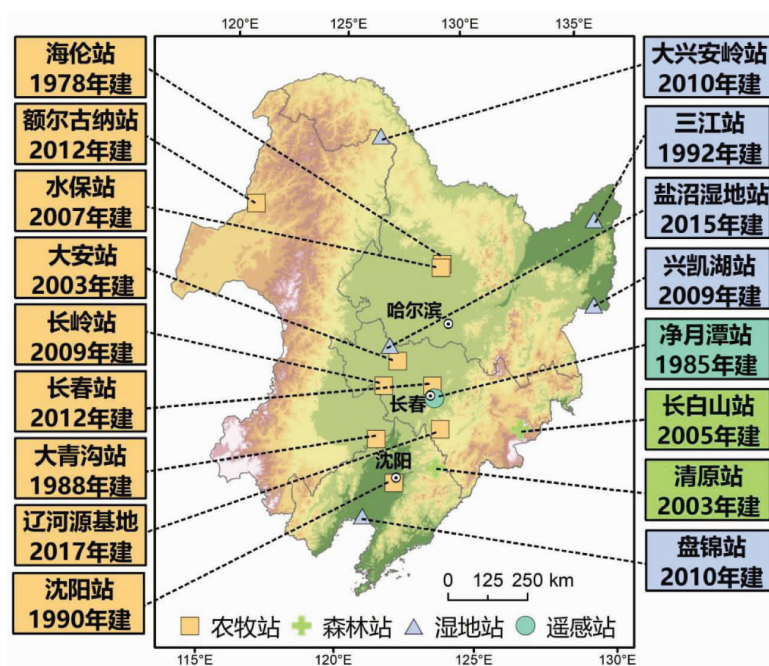


图22 中国科学院东北黑土地17个野外台站（基地）分布

图片来源：根据中国科学院野外台站分布编绘。

中国科学院沈阳生态实验站从1998年监测指标规范化以来，持续开展了13类29项气象监测指标、12类60项水分监测指标、13类52项土壤监测指标、13类101项生物监测指标数据监测，出版了中国生态系统定位观测与研究数据集—农田生态系统卷—辽宁沈阳站（1992—2008）、中国生态系统研究网络（CERN）数据全集—农业生态系统卷—辽宁沈阳站（2005—2015）。

中国科学院清原森林生态系统观测研究站基于雷达、高光谱、多光谱等多源遥感数据，建立了1980年、1990年、2000年、2010年、2019年五期东北黑土区片状林地、农田防护林、草地数量和质量监测数据库。长期定位观测台站网络和遥感监测研究为东北黑土地资源高效利用和肥力保持与提升、农业优化模式建立提供了重要的科技支撑。



图 23 中国科学院海伦站全景和气象观测场

图片来源：中国科学院海伦农业生态实验站。



图 24 中国科学院沈阳站全景和不同肥力制度长期定位试验

图片来源：中国科学院沈阳生态实验站。



图 25 中国科学院三江站水田辅助观测场和涡度相关观测系统

图片来源：中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站。





图 26 中国科学院大安站盐碱地植物长期监测样地和盐碱地水稻育种试验场

图片来源：中国科学院大安碱地生态试验站。

## (二) 未来研究的重点方向

### 1. 构建黑土地科技创新基础科技平台，提升科技支撑能力

构建科技创新基础科技平台是“用好养好”黑土地的坚实基础。重点任务包括：面向用好、养好黑土资源，建设黑土粮仓的科技攻关目标，利用天-空-地一体化监测手段，系统、全面调查我国黑土资源情况；建设高光谱/红外一体多源异构无人机遥感系统、探地雷达系统、一体化黑土地数据交互与感知系统；利用多平台、多手段提供持续、稳定的黑土地土壤、水、植被覆盖及生长信息，提供多维度的完整中国黑土地基础数据；构建多分量、多系统耦合的全域一体化用好养好黑土地智能管控与决策支持系统，形成黑土地全要素信息一张图；完善覆盖东北黑土地土壤类型的国家野外观测研究网络，提升黑土地长期定位观测研究能力。

### 2. 建立黑土地保护与利用科技创新体系，增强区域自主创新能力

面向东北黑土地保护与利用关键科学技术需求，全面建立科技创新体系。重点围绕六个方面增强东北黑土区的自主创新能力：一是黑土地退化的关键过程、机理与阻控关键技术研究；二是黑土地土壤健康和保

育技术研发；三是黑土地产能和质量提升的现代生物学技术研发；四是黑土地智能化农机关键技术研发和装备研制；五是黑土资源环境天空地一体监测与感知体系研发；六是提出用好养好黑土地的政策与长效保障机制。

### 3. 打造黑土地保护科技攻关样板，推进黑土地高质量发展

黑土地保护科技攻关是一项跨部门、跨区域、多学科的系统工程，需进一步创新院地、院部合作工作机制，探索建立与地方、有关部门的多方协同攻关机制。建立融合科研攻关、技术研发、示范推广和人才培养为一体的研发团队，加强种质资源保护和利用、种子库建设，加强高标准农田、农田水利设施、现代智能农机装备建设。科学分类，因地制宜，综合施策，系统开展厚层黑土保育与产能高效关键技术、盐碱地生态治理与高效利用关键技术、退化黑土保育与粮食产能提升关键技术、规模农业水土资源高效利用关键技术、黑土地智能化农机关键技术集成与产业化应用、黑土粮仓全域定制技术模式、退化黑土地力恢复与循环农业关键技术等研发与示范，为夯实国家粮食安全“压舱石”提供科技支撑。

### 4. 完善黑土地保护与利用技术标准体系，引导保护利用发展方向

技术标准是保障黑土地保护与利用高质量发展落地实施的有力工具。黑土地保护与利用根据黑土地自然地理本底、主要作物、栽培技术等多元化特点，以“用好养好”黑土地和增加绿色优质产品供给为目标，进一步加强黑土地资源环境调查、保护与利用关键技术模式、高效模式、农田基础设施建设、配套技术设计和工程、农业技术成果转化、产业化等领域的技术标准和规范制定，科学推动黑土地保护与利用的标准化、规模化、智能化、装备化、工程化，建立院省际协同常态化工作机制，为黑土地的可持续利用提供保障。

### 5. 加强国际合作交流，积极参与全球黑土地保护与利用治理

国际合作是推进全球黑土地保护与利用的重要途径。重点领域包括设立国家科技专项，推动形成国际科学计划，通过联合国粮食及农业组



织和“一带一路”国际科学组织联盟（ANSO），形成全球黑土地保护与利用的长效合作研究机制。协同构建全球黑土地关键带天-空-地一体化调查监测系统、黑土地资源环境感知系统与数据平台，联合开展黑土地退化的关键过程与阻控原理研究、黑土地土壤健康和保育关键技术体系研制、不同区域黑土地适宜性智能化农机关键技术和装备研制/生产模式设计、黑土地产能和质量提升的现代生物学技术体系研制、保障粮食安全和黑土地可持续利用的长效机制与管控预警系统研究、全球典型黑土地修复与保护治理示范等工作。

## 结束语

“把黑土地用好养好”是新时期党中央做出的重大战略部署，是新时期学习贯彻习近平生态文明思想和构建人类命运共同体理念的伟大实践，对于实现东北全面振兴全方位振兴和中华民族可持续发展具有重大战略意义。

中国科学院建院以来，始终将农业研究列为工作重点领域，紧紧围绕我国农业发展的战略性、前瞻性问题，动员全院力量开展攻关研究，为我国农业发展做出了突出贡献。从20世纪中期开始，中国科学院组织开展了中国综合农业区划工作。20世纪70-80年代，中国科学院组织院内外众多科研单位创建了黄淮海平原中低产地区农业综合治理模式。21世纪，中国科学院在小麦、水稻育种方面分别获得了国家最高科技奖和国家自然科学一等奖。

新时期，中国科学院将进一步强化“国家队”的使命意识和责任担当，心系“国家事”，肩扛“国家责”，服务黑土地保护与利用国家重大需求，坚持“全院一盘棋”，统一规划，统筹布局，聚焦原始创新和关键核心技术攻关，为国家“用好养好”黑土地提供科技支撑。

## 致谢

中国科学院东北地理与农业生态研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国科学院遗传与发育生物学研究所、中国科学院微电子研究所、中国科学院计算技术研究所、中国科学院文献情报中心等单位为本报告提供了相关数据支持，报告引用了多位学者的研究成果，在此一并表示感谢！

## 主要参考文献

1. 《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个“五年规划”和2035年远景目标的建议》，2020年11月
2. 《中共中央、国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》，2021年1月
3. 农业部，国家发展改革委，财政部，国土资源部，环境保护部，水利部. 关于印发《东北黑土地保护规划纲要（2017—2030年）》的通知，2017年6月
4. 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）》，2020年2月
5. 国家统计局. 《中国统计年鉴2006》，《中国统计年鉴2011》，《中国统计年鉴2016》，《中国统计年鉴2020》，中国统计出版社
6. 国家统计局内蒙古调查总队. 《内蒙古经济社会调查年鉴2011》，中国统计出版社，2012年
7. 国家统计局内蒙古调查总队. 《内蒙古调查年鉴2016》，《内蒙古调查年鉴2020》，中国统计出版社
8. 中国机械工业年鉴编辑委员会. 《中国农业机械工业年鉴2019》，机械工业出版社出版，2020年
9. 水利部，中国科学院，中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全（东北黑土区卷）. 科学出版社，2010
10. 辽宁省地方志编撰委员会. 辽宁省志. 农业志. 辽宁民族出版社，2003年，第一版
11. 辽宁省地方志编撰委员会. 辽宁省志. 粮食志. 辽宁大学出版社，2000年，第一版
12. 吉林省地方志编撰委员会. 吉林省志. 农业志. 吉林人民出版社，1993年，第一版
13. 黑龙江地方志编撰委员会. 黑龙江省志. 农业志. 黑龙江人民出版社，1993年，第一版

## 附录 中国科学院东北黑土区野外台站基本情况介绍

### 1. 黑龙江海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站

该站建于1978年，位于东北典型黑土区腹地的黑龙江省海伦市，占地21公顷。1988年海伦站成为首批进入中国生态系统研究网络的站，2005年被正式批准进入国家生态系统观测研究网络，定名为“黑龙江海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站”，2019年进入农业农村部国家农业科学观测实验站。海伦站持续开展了松嫩平原北部中厚层黑土农田生态系统水分、土壤、大气、生物等环境要素的长期定位监测，主要开展黑土地保护与利用、黑土退化治理、作物轮作连作、作物高产新品种选育、农田生态系统物质循环与生物过程及其调控等理论研究、技术研发以及示范推广工作，是我国从事典型黑土农田生态系统长期监测、研究、示范与服务的国家级野外台站。

### 2. 吉林长白山森林生态系统国家野外科学观测研究站

该站建于1979年，位于吉林省安图县二道白河镇，占地20公顷。1989年长白山站被批准为中国科学院开放站，1992年被批准为中国科学院生态系统研究网络重点站，1993年加入“国际长期生态学研究网络”，2000年被批准为国家重点开放实验站试点站，2005年被批准为国家野外台站，定名为“吉林长白山森林生态系统国家野外科学观测研究站”。长白山站持续开展温带森林生物多样性与生产力维持和森林生态系统物质循环过程等长期定位监测，主要开展森林生态系统生物多样性与生态系统生产力关系的环境分异规律、碳氮水循环的生物地球化学过程机制、水文过程和流域水资源调控机理、生态系统动力学以及森林生态系统管理等研究。

### 3. 长春净月潭遥感实验站

该站建于1985年，位于吉林省长春市，实验站占地3公顷。1989



年批准为中国科学院院级开放野外台站。长春遥感站持续开展了东北地区典型地物类型的长期定位监测与移动观测，主要开展东北地区土壤、植被、水体、积雪参数光谱与介电特性研究，并系统开展典型地物生物、物理、化学参数遥感反演算法研究，支撑农业遥感、水资源、区域生态环境与可持续发展策略。

#### 4. 黑龙江三江沼泽湿地生态系统国家野外科学观测研究站

该站建于1986年，位于黑龙江省三江平原腹地的同江市，占地160公顷。1992年加入成为中国生态系统研究网络、中国通量观测网的基本站，2005年成为国家生态与环境野外观测研究站。三江站持续开展了沼泽湿地生态系统及湿地农田生态系统与环境要素的长期定位监测，主要开展三江平原沼泽湿地生态系统结构与功能、过程与格局的变化及其对黑土农田水资源的调控规律，退化湿地恢复、保育技术与管理试验示范研究。

#### 5. 辽宁沈阳农田生态系统国家野外科学观测研究站

该站建于1987年，位于辽宁省沈阳市苏家屯区十里河镇，占地14.4公顷。1992年被中国科学院批准为中国生态研究网络重点站，1997年被批准为中国科学院野外开放实验站，2005年被批准为国家站。沈阳站持续开展了不同肥力制度、土壤肥力演替、肥料利用率及其对环境的影响、农田生态系统养分水分循环等长期定位监测，主要开展农田生态系统物质循环过程与调控、土壤肥力演变规律和肥料高效利用、农田生态系统生态过程对全球变化的响应与适应、农田生态系统污染防控与修复技术、土壤环境质量评价与农产品安全等科学研究工作。

#### 6. 大青沟沙地生态实验站

该站建于1988年，位于内蒙古自治区通辽市科尔沁左翼后旗甘旗卡镇，占地26.7公顷。大青沟站地处农牧交错地带和森林向草原的过渡带，以防护林生态系统、典型沙地生态系统为主要研究对象，兼顾草地系统，持续开展了生态系统保护、恢复与利用方面的长期定位监测，主

要开展了樟子松人工林生态系统稳定性和生态系统健康、沙地土壤养分/水分与草地生态系统生产力的关系、区域内孑遗天然林（大青沟）和乡土树种生理生态、草地生态系统恢复、农田防护林林网体系结构配置与生态系统构建模式等研究。

### **7. 辽宁清原森林生态系统国家野外科学观测研究站**

该站建于2002年，位于辽宁省抚顺市清原满族自治县，占地1350公顷。2012年成为中国科学院“院级站”，2014年加入中国生态系统观测研究网络，2020年成为“国家站”，定名为“辽宁清原森林生态系统国家野外科学观测研究站”。清原站持续开展了温带（东北东部山区）典型次生林生态系统的长期定位监测，主要开展温带森林生态系统结构、功能与调控、干扰对温带森林生态系统生态过程的影响以及温带森林生态系统森林质量精准提升与资源高效利用等科学研究。

### **8. 吉林大安农田生态系统野外科学观测研究站**

该站建于2003年，位于吉林省大安市，占地100公顷。2019年大安站进入农业农村部国家农业科学观测实验站，2020年进入国家野外科学观测研究站，定名为“吉林大安农田生态系统野外科学观测研究站”。大安站持续开展了苏打盐碱地土壤、植被和地下水、气候等长期定位监测，主要开展东北黑土区盐碱地生态恢复与改良、盐碱地农业高效利用等研究，是国内从事苏打盐碱化黑土农田生态系统长期监测、研究、示范与服务的国家级野外台站。

### **9. 海伦黑土水土保持监测研究站**

该站建于2007年，位于黑龙江省海伦市光荣村，研究站占地6.5公顷。2010年建设成为水利部松辽委和黑龙江省水土保持重点监测站、国家外专局黑土侵蚀研究与治理引智示范基地，2012年建设成为水利部黑土地水土保持综合治理标准化示范基地，2013年正式成立海伦黑土水土保持监测研究站。海伦水保站持续开展了黑土区水土流失的长期定位监测，主要开展黑土侵蚀特征与机理、水土保持技术研发和示范等研究。

## 10. 长岭草地农牧生态研究站

该站建于2009年，位于东北农牧交错带东端的吉林省长岭县，占地300公顷。2020年与东北师范大学共建进入国家级野外台站系列。以土壤利用改良为核心基础，长岭站开展气象、土壤等要素的长期监测，开展了不同改良、不同利用模式下土壤年际变化动态、退化草地的植被和土壤肥力恢复过程、豆草混播改良草地植被和土壤作用、草地多途径利用下土壤质量评估等方面监测；主要开展节粮型草地畜牧业的基础理论和技术创新、草地资源利用、饲草营养和能量的转移转化、优质高效的牲畜生产等领域的研究。

## 11. 兴凯湖湿地生态研究站

该站建于2009年，位于黑龙江省密山市兴凯湖国家级自然保护区，试验站占地1.78公顷。2014年成为中国科学院野外台站，2020年进入国家野外科学观测研究站。兴凯湖站持续开展了水文、土壤、大气、生物各要素的长期定位监测，主要开展穆棱河—兴凯湖平原湿地形成演化及其动力学机制、界湖流域湿地水资源与水环境变化规律及其影响因素、湿地生物多样性变化及稳定性维持机理、湿地修复和资源可持续利用技术与模式等方面的研究。

## 12. 大兴安岭森林湿地生态试验站

该站建于2009年，位于黑龙江省大兴安岭松岭区南瓮河自然保护区，占地2公顷。大兴安岭站持续开展了沼泽湿地植被、地表径流、气象、辐射要素及水量平衡过程的长期定位监测，主要开展全球变化对湿地生态系统结构、关键生态过程的影响及水源涵养、生物多样性保护、碳蓄积等生态服务功能变化，冻土—湿地—森林间协同变化及物质与能量交换等研究。

## 13. 盘锦双台河口滨海湿地研究站

该站建于2010年，位于辽宁省盘锦市国家级双台河口自然保护区，

占地 2.5 公顷。盘锦站持续开展了滨海湿地生态系统长期定位监测，主要开展湿地植物种群的适应与进化、湿地生态系统的结构功能与管理、湿地生物多样性及其演变机制、湿地景观生态学与区域生态安全、湿地水循环与碳循环及其耦合作用、湿地生态系统对气候变化与土地利用的脆弱性与粮食安全、辽河流域水污染及其生态与环境效应、湿地陆面过程模型参数化与卫星遥感信息解译、海-陆-气相互作用及其过程模拟等研究。

#### 14. 长春综合农业试验站

该站建于 2012 年，位于中国科学院东北地理所长春所区，占地 7.5 公顷。长春农业站持续开展了黑土保护性耕作、黑土碳提升土壤质量以及土壤动物对黑土农田凋落物分解的调控机制等方面的长期定位监测，主要开展高营养稻米品系的筛选鉴定、优质高产多抗玉米新品种选育、大豆高产优质种质的创新、玉米高光效新型栽培模式、玉米—大豆高效轮作模式以及土壤微生物改良中药品质等研究。

#### 15. 额尔古纳森林草原过渡带生态系统研究站

该站建于 2012 年，位于内蒙古自治区呼伦贝尔市额尔古纳市黑山头镇，占地 303.4 公顷。额尔古纳站持续开展了东北森林草原过渡带生态系统长期定位监测，主要开展森林草原过渡带生态系统演变过程及其驱动机制、草甸草原结构与功能对全球变化因子的响应、森林草原过渡带生态系统适应性管理和利用范式、森林草原交错区生态屏障功能评估与提升以及森林草原交错区农牧业布局、发展模式及试验示范等研究。

#### 16. 松嫩平原西部盐碱湿地生态研究站

该站建于 2015 年，位于吉林省大安市牛心套保国家湿地公园，占地 500 公顷。盐碱湿地站持续开展了盐碱湿地水文、土壤、大气和生物等要素定位监测，主要开展湿地对黑土地的保育作用、湿地与黑土区产业协同发展机制、湿地精准生态补水与农业用水保障的流域水资源综合调控、退化湿地恢复与合理利用技术模式、湿地消纳农田退水工程技术方

案以及湿地保育、利用综合效益监测评价技术体系等研究。

### 17. 中科院辽河源水源地生态农业研究与示范基地

该基地建于 2017 年，位于辽河源水源地，占地 67 公顷。辽河源基地持续开展了田块内部土壤、作物长势、灾害、产量的时空动态定量监测，建立了基于互联网 + 空间信息技术 + 大数据的农业信息精准服务平台，主要开展绿色数字农业、智慧农业、坡耕地退耕还林与林下资源开发利用模式、矮秆密植作物为主体的粮豆轮作模式、玉米田间覆盖作物减肥控药种植模式和农田面源污染生态沟渠阻控模式等方面的研究。



## 《东北黑土地白皮书》编写组

人员名单（按姓氏笔画排名）：

于立忠	马 强	邓祥征	王介勇	王安志
王 亮	毛德华	田春杰	孙志刚	关义新
李 宇	李秀军	李志慧	李禄军	朱会义
朱教君	吕晓涛	刘文新	刘晓冰	陈 欣
宋开山	宋显伟	张玉成	张旭东	张兴义
邹文秀	武海涛	武志杰	杨久春	杨林生
侯瑞星	阎百兴	梁爱珍	隋跃宇	梁正伟
韩 威	韩晓增	彭新华	廖晓勇	