



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

东北黑土地保护与利用报告

(2021年)

中国科学院地理科学与资源研究所
中国科学院东北地理与农业生态研究所
中国科学院战略性先导科技专项(A类)
“黑土地保护与利用科技创新工程”项目组

2022年9月

目 录

| | |
|-----------------------|-----------|
| 概要 | 1 |
| 一 黑土地地表赋存环境现状 | 6 |
| (一) 区域地形地貌 | 6 |
| (二) 自然生态条件 | 8 |
| (三) 农业水资源状况 | 12 |
| (四) 区域环境质量 | 13 |
| 二 气候变化与水热条件 | 15 |
| (一) 气温持续上升，增暖趋势明显 | 15 |
| (二) 降水小幅增加，时空不均衡性加大 | 18 |
| (三) 太阳总辐射强度下降，时空差异性明显 | 20 |
| (四) 气候变化影响黑土地开发利用 | 22 |
| 三 作物种植与粮食生产 | 25 |
| (一) 作物种植结构 | 25 |
| (二) 农业生产要素投入 | 27 |
| (三) 粮食产出与供给能力 | 30 |
| 四 农田设施与科技能力建设 | 33 |
| (一) 农田基础设施 | 33 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| (二) 科技支撑条件 | 35 |
| (三) 保护性耕作技术 | 36 |
| 五 黑土地土壤性质及退化状况 | 39 |
| (一) 土壤有机质含量 | 39 |
| (二) 土壤养分状况 | 40 |
| (三) 土壤容重与土层厚度 | 44 |
| (四) 土壤侵蚀状况及趋势特征 | 46 |
| 六 “黑土粮仓” 科技会战进展 | 50 |
| (一) 黑土地保护科技创新重要进展 | 50 |
| (二) 黑土地保护技术重大应用示范 | 52 |
| 主要参考资料 | 63 |
| 《东北黑土地保护与利用报告》编写组 | 65 |

概 要

“把黑土地用好养好”是国家粮食安全与生态安全的重要保障，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。为贯彻落实习近平总书记“用好养好黑土地”的指示精神，2021年3月中国科学院启动“黑土粮仓”科技会战。科技会战面向国家粮食安全战略目标，针对东北黑土地保护与利用需要破解的关键科学技术难题，开展核心技术攻关和示范，致力于形成用好养好黑土地的系统解决方案。

为了让公众更加科学系统地认知黑土地，了解黑土地保护关键技术与创新模式，中国科学院总结“黑土粮仓”科技会战的主要成果，编制东北黑土地保护与利用年度报告，介绍东北黑土地基本情况，总结黑土地保护与利用重要科技进展与成效。

2021年度报告重点介绍东北黑土地的自然生态本底状况，分析黑土地开发利用水平及支撑能力变化，介绍黑土地土壤理化性质及退化特征，报告中国科学院“黑土粮仓”科技会战主要进展。主要内容如下：

◎ 黑土地自然生态本底特征

东北黑土区呈现中部平原、三面环山的盆地状地形，区内山地、平原、丘陵和台地分布面积相当，94.84%耕地分布在平原及坡度7°以下的区域。其中：9.81%的耕地分布在坡度低于0.25°的平原地区，21.16%的耕地分布在0.25~0.5°坡度带，22.13%的耕地分布在0.5~1°

坡度带,17.46%的耕地分布在1~2°坡度带,9.45%的耕地分布在2~3°坡度带。坡度大于0.5°耕地存在土壤水力侵蚀风险。

东北黑土区生态条件优越。遥感监测数据显示,2020年底东北黑土区森林面积4526.41万公顷(67896.15万亩),湿地面积769.39万公顷(11540.85万亩),草地面积1879.49万公顷(28192.35万亩)。它们既是黑土地成土与演化的物质基础,又是黑土地可持续利用本底条件。但是,森林和草地面积仍呈减少趋势,其保育黑土地的功能有所降低。

长期气象观测数据显示,东北黑土区气候变暖趋势明显,过去60年平均气温增速0.31℃/10年,≥10℃积温已由20世纪60年代的2830℃增加到现在的3250℃。降水量小幅度增加,但降水时空分配的不均衡态势加剧,干旱与洪涝灾害风险增加。气温的升高使得农作物潜在生长季延长和适宜种植区边界北移,近60年作物潜在生长季平均延长速率为1.7天/10年,玉米种植适宜区北界向北移动了156千米。

◎ 黑土地开发利用与保护情况

自20世纪初大规模移民和大范围土地垦殖以来,东北黑土区农业开发利用强度持续上升,突出表现为农作物播种面积扩大和农业生产资料投入强度加大。

东北黑土区农作物播种面积持续扩张,并形成了“粮食主导”的农业种植格局。到2020年,东北地区粮食播种面积2865.5万公顷(42982.5万亩),粮食作物占农作物播种面积的93.3%,水稻、玉米和大豆播种面积占粮食作物播种面积98.9%。

东北黑土区农业要素投入进入结构调整期。2015年以来,化肥施用量持续下降,农药施用量已下降到国际警戒线以下。农业机械化水平持续提升,2020年黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古自治区的农业综合机械化率分别达到98%、91%、80%、85%。土地流转与规模化

经营水平不断提高，2020年黑龙江省农村家庭承包土地流转率已经达到56.6%，吉林省为40.2%，辽宁省为31.7%。

粮食产出与供给能力逐步增强。近20年来，东北地区粮食产量快速增长，对全国粮食增产稳产的贡献不断增强。2000-2021年，东北地区粮食产量增长了近2倍，粮食产量占全国粮食总产量的比例由12.74%上升到25.36%，粮食增加量占全国粮食产量增量的50.71%，全国一半的粮食增产来自东北地区。同时，粮食对外供给能力不断提高，按照人均400公斤粮食需求量计算，2020年区域粮食可剩余量达到1.29亿吨（2580亿斤），输出的商品粮占全国商品粮总量的1/3。

农田基础设施建设和科技投入力度不断加大，东北地区高标准农田建设有力推进，农田有效灌溉面积稳步扩大，农田基础设施逐步完善，农业科技创新能力显著增强。但是东北地区有效灌溉面积占比低于全国平均水平，已建成高标准农田占耕地面积比例约三分之一，部分高标准农田项目因投入水平偏低，存在设施不配套、老化或损毁问题，农田基础设施建设仍需加强。

◎ “黑土粮仓”科技会战进展

中国科学院启动“黑土粮仓”科技会战，联合黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古三省一区开展科技攻关与关键技术示范推广，共同打造了7个万亩级示范区，核心示范区面积11万亩，形成主推技术22项，2021年度累计示范推广面积7700万亩。初步构建了“梨树模式2.0”、“龙江模式”等黑土地保护利用模式样板。“梨树模式”在吉林省推广应用2800万亩；“龙江模式”、“三江模式”已纳入国家黑土地保护工程实施方案，在黑龙江省分别推广应用1620万亩和1910万亩，立体监测农业科技服务黑土耕地7500万亩。

厚层黑土保育与产能高效提升海伦示范区（海伦示范区），2021年主推有机物料深混还田肥沃耕层构建技术。通过技术示范，实现了土

壤耕作层厚度增加 12 厘米、耕层土壤有机质保持稳定、作物产量提高 10.20% 的效果。2021 年该技术在黑龙江省累计推广应用 1620 万亩。

薄层退化黑土保育与粮食产能提升长春示范区（长春示范区），2021 年主推“梨树模式”保护性耕作技术体系，包括秸秆覆盖宽窄行免耕技术、秸秆覆盖垄作少免耕技术、秸秆覆盖宽窄行条耕技术、秸秆覆盖少免耕滴灌技术。通过技术应用示范，土壤抗旱保水能力增强，耕层厚度和土壤有机质保持稳定，梨树县高家村多年秸秆全量覆盖还田地块创造了连续 4 年超吨粮的记录。2021 年该技术模式在吉林省推广面积达到 2800 万亩。

智能化农机关键技术集成与产业化应用大河湾示范区（大河湾示范区），2021 年将信息技术、智能装备技术与传统种植技术融合，初步构建了“种植前地块级精准体检—种植中全程数字化信息采集—专家系统实时处方分析—机械化智能化精准执行”的现代农业新范式，在大河湾农场示范应用。2021 年改造农场传统柴油动力农机 1000 余台，改造后的农机整体作业效率提升 5% 以上，全年完成作业面积 140 余万亩。同时，开展了无人智能农机条耕和免耕播种保护性耕作示范，示范区内亩均人工减少 60% 以上。

盐碱地生态治理与高效利用大安示范区（大安示范区），2021 年综合集成土壤改良剂、覆沙压碱、有机物料还田等关键技术，消减土壤盐碱障碍因素。通过技术应用示范，轻度盐碱地水田水稻产量达到 625.6 公斤 / 亩，重度盐碱地旱田玉米产量可达到 338 ~ 428 公斤 / 亩，土壤 pH 值平均下降 0.5 个单位。该技术模式在吉林省西部推广应用 300 余万亩。

水稻土和白浆土质量与产能提升三江示范区（三江示范区），2021 年主推高效节水灌溉、白浆土心土培肥、白浆土改良剂、微生物菌剂、变量施肥、坡耕地等高线种植等 10 余项关键技术。通过技术应用示范，实现了水田灌溉节约用水 10%，白浆土耕层扩容至 40 厘米，微生物菌剂提高秸秆腐解率 15%，变量施肥减肥增产 5% ~ 15%、坡耕地等高

种植减少水土流失 50%。该技术累计推广 200 多万亩。

退化黑土地地力恢复与产能提升沈阳示范区（沈阳示范区），2021 年主推玉米秸秆覆盖保护性耕作技术。通过技术应用示范，昌图核心试验区土壤耕层有机质提升 5.9%，蓄水量增加 10%，肥料减施 16%，作业成本降低 8%，玉米平均增产 50 公斤/亩，秸秆覆盖遏制了 40% 土壤风蚀量。该技术在辽宁省已经推广应用 305 万亩。

黑土粮仓全域定制齐齐哈尔示范区（齐齐哈尔示范区），2021 年集成示范了次表土层保护性快速增碳、绿色农业种植管理、两免一深松、种养循环、秸秆还田、减肥减药及粮饲间作等技术。其中，“次表土层保护性快速增碳技术”可快速提升冷凉区风沙薄层黑土次表土层有机质 0.3 克/千克，产量提升 30 ~ 50 公斤/亩，土壤含水量提升 20%。该技术 2021 年推广应用面积 390 万亩。示范区按照“地理学+大数据+现代农业”新范式，创新提出“分区施策、依村定策、一地一策”黑土粮仓全域定制模式，为实现土地高效保护、农产品优质生产和区域经济社会持续发展提供系统解决方案。

一

黑土地地表赋存环境现状

黑土地是地球珍贵的土壤资源，是指拥有黑色或暗黑色腐殖质表层的土壤，是一种性状好、肥力高、适宜农耕的优质土地。拥有丰富黑土地资源的区域被称为黑土区，其范围包括东北地区的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”（赤峰市、通辽市、呼伦贝尔市、兴安盟），共 246 个县（市、旗），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，总面积达 109 万平方千米，约占全球黑土区总面积的 12%（全国水土保持规划编制工作领导小组，2016）。根据 2017 年原农业部、国家发展改革委、财政部、原国土资源部、原环境保护部、水利部印发的《东北黑土地保护规划纲要（2017—2030 年）》，东北典型黑土区耕地面积约 2.78 亿亩；到 2030 年，集中连片、整体推进，实施黑土地保护面积 2.5 亿亩。东北黑土区土壤类型主要有黑土、黑钙土、白浆土、草甸土、暗棕壤、棕壤、水稻土等类型。

（一）区域地形地貌

东北黑土区地形呈现三面环山、中间平地的大致盆地轮廓，整体地势相对低平，起伏不大，适宜规模化耕种的土地面积广大。西部大兴安岭山脉与北部小兴安岭、东部长白山脉构成了典型的周边山地、中间平地的格局，区内海拔高差约 2700 米。中部由松嫩平原、三江平原与辽河平原共同构成了我国面积最大的东北平原，平均海拔

50 ~ 200 米，是优质黑土地的集中分布区。平原周边为山麓洪积冲积平原和台地，平均海拔 200 米以上。北部小兴安岭多为低山丘陵，平均海拔 400 ~ 600 米；西部的大兴安岭平均海拔 600 ~ 1000 米，东南部的长白山山地丘陵区平均海拔 500 米左右。区内山地、平原、丘陵和台地主要地貌类型的面积大致相当，分别占比为 25.5%、29.1%、23.5%、21.8%（图 1-1）。

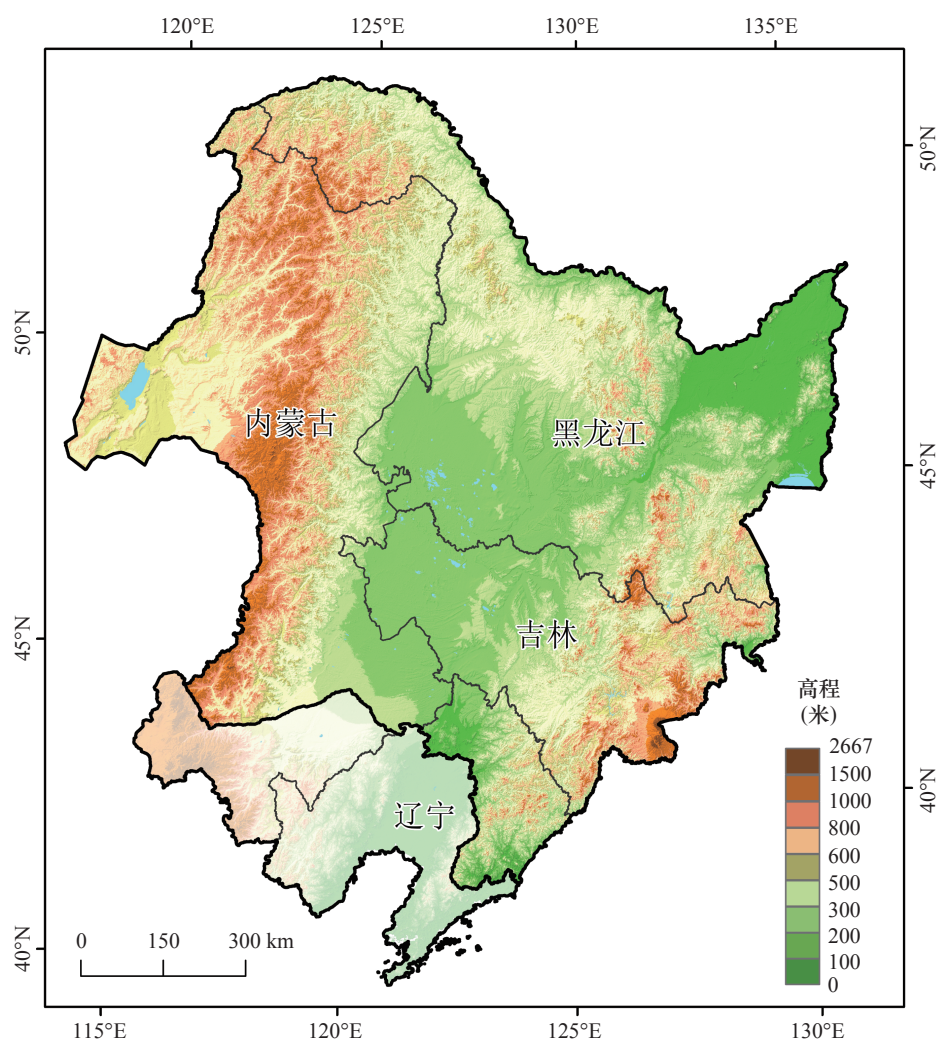


图 1-1 东北黑土区地形地貌图

根据坡耕地水土保持坡度分级方案，将东北黑土区地形坡度划分为 9 个等级（图 1-2）。低于 7° 的平原和斜坡的面积占黑土区土地总面积 74.38%。其中，0.25 ~ 0.5°、0.5 ~ 1° 和 1 ~ 2° 坡度带面积最大，分别占土地面积的 13.01%、13.16% 和 12.58%；其次为 2 ~ 3°、5 ~ 7°

坡度带，面积占比分别为 8.29%、8.70%；低于 0.25° 、 $3 \sim 4^\circ$ 和 $4 \sim 5^\circ$ 坡度带的面积占比相对较小，分别为 7.03%、6.34% 和 5.26%。

东北黑土区耕地主要分布在坡度 7° 以下的区域。9.81% 的耕地分布在低于 0.25° 的平原地区，21.16% 的耕地分布在 $0.25 \sim 0.5^\circ$ 坡度带，22.13% 的耕地分布在 $0.5 \sim 1^\circ$ 坡度带，17.46% 的耕地分布在 $1 \sim 2^\circ$ 坡度带，9.45% 的耕地分布在 $2 \sim 3^\circ$ 坡度带， $3 \sim 4^\circ$ 、 $4 \sim 5^\circ$ 和 $5 \sim 7^\circ$ 坡度带的耕地面积分别占黑土区总耕地面积的 6%、3.99% 和 4.84%。仅有 5.16% 的耕地分布在大于 7° 的坡度带（图 1-2）。东北黑土区雨热同季、降水集中，加上黑土表层松软，坡度大于 0.5° 耕地就存在土壤水力侵蚀风险，坡度越大侵蚀风险越高。

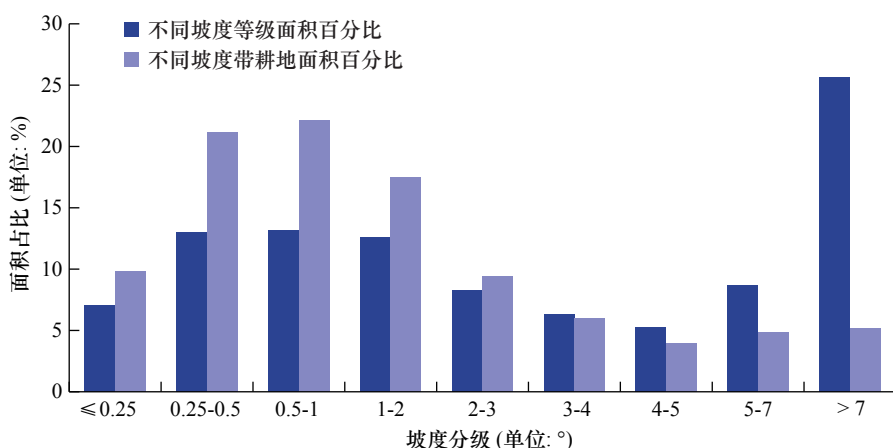


图 1-2 东北黑土区不同坡度等级面积及耕地分布情况

（二）自然生态条件

东北黑土区自然生态本底条件优越，拥有面积较大、功能完整的森林生态系统、草地生态系统和湿地生态系统。它们既是黑土地成土与演化的物质基础，也是黑土地可持续利用的生态本底条件。

1. 森林生态系统及其特征

森林生态系统是孕育黑土地的源泉，也是保护黑土地的天然屏障。东北黑土区是我国最大的天然林区，森林面积广大，主要分布在大兴

安岭、小兴安岭和长白山（图 1-3）。大兴安岭以落叶松为主，小兴安岭与长白山林区主要为针阔叶混交林。

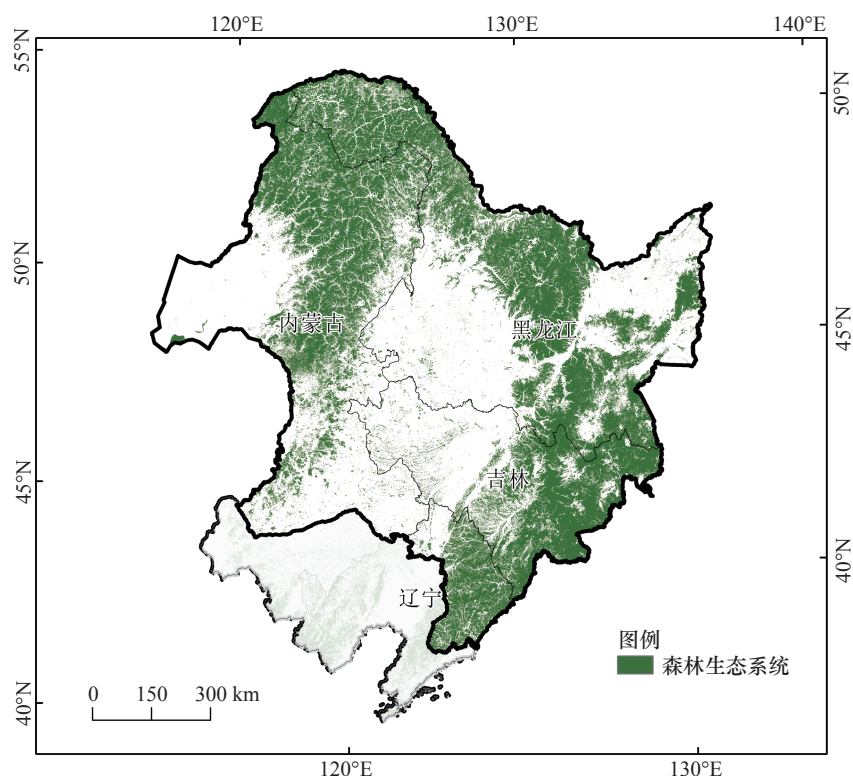


图 1-3 东北黑土区森林生态系统空间分布

20 世纪 90 年代末以来，东北黑土区实施天然林保护、退耕还林、防护林建设等一系列生态工程，人工林面积呈增长趋势，但森林总面积仍呈减少趋势。中国科学院遥感监测数据显示，东北黑土区 2020 年林地面积 4526.41 万公顷（67896.15 万亩），占全国林地总面积 20.02%，比 1990 年减少了 286.36 万公顷（4295.40 万亩）。全国第八次森林清查数据显示，东北地区的森林以次生林为主，占比约 70%，且多数处于次生演替的初、中级阶段，其中幼龄林占 21.9%，中龄林占 34.8%。原始森林面积占比已不足 7%。

2. 湿地生态系统及其特征

东北黑土区湿地涵盖湖泊湿地、河流湿地、沼泽湿地、滩涂湿地

及人工湿地等多种类型，广泛分布于大兴安岭、小兴安岭、长白山、三江平原、松嫩平原等地区（图 1-4）。湿地与农田交错分布，具有防旱排涝、净化环境、控制水土流失等重要生态功能，是黑土耕地的生态安全屏障。

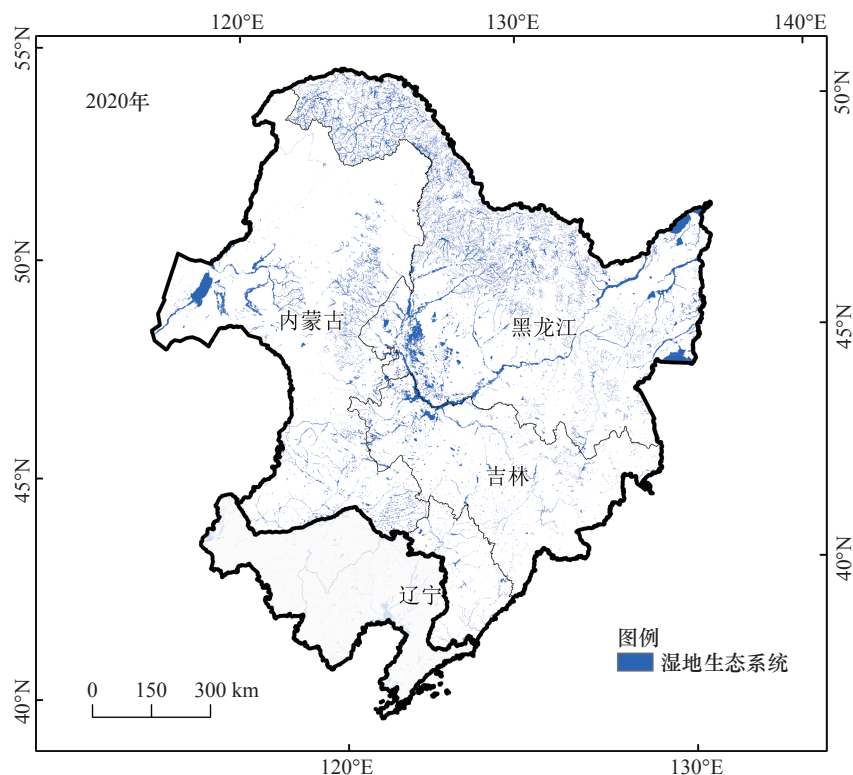


图 1-4 东北黑土区湿地生态系统空间分布

遥感监测数据显示，1990 年至 2010 年东北黑土区湿地面积呈持续减少趋势，20 年共减少了 76.96 万公顷（1154.40 万亩）。自 21 世纪初，东北黑土区持续推进退耕还湿、退养还湿等生态工程，湿地生态系统逐渐恢复，湿地面积呈现增加趋势，生物多样性显著增加，退化趋势明显逆转。2020 年东北黑土区湿地面积达到 769.39 万公顷（11540.85 万亩），比 2010 年增加了 118.22 万公顷（1773.30 万亩）。

目前，东北地区现有国家级湿地自然保护区 20 余处，其中扎龙湿地、向海湿地等 18 处被列入国际湿地公约保护区名录，约占全国的三分之一。

3. 草地生态系统及其特征

东北黑土区草地主要包括科尔沁草地、呼伦贝尔草地和松嫩草地三部分，共同构成我国北方重要的防风固沙带，防止耕地土壤侵蚀与退化（图 1-5）。东北黑土区自然降水条件相对较好，草地生态系统植被生物多样性丰富、生产潜力较大。

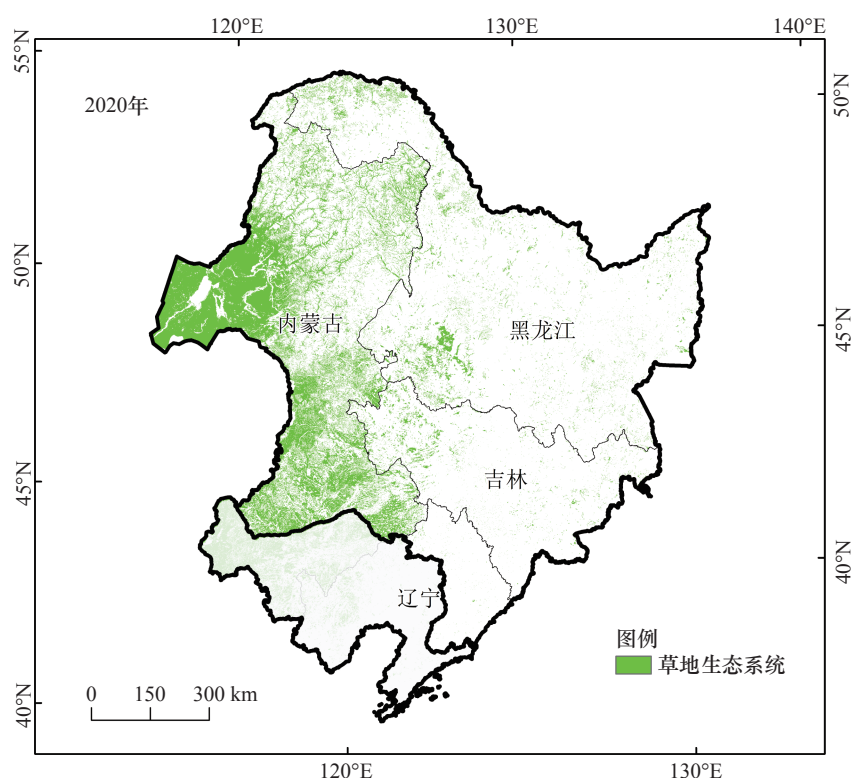


图 1-5 东北黑土区草地生态系统空间分布

遥感调查结果显示，2020 年东北黑土区草地总面积 1879.49 万公顷（28192.35 万亩），比 1990 年减少了 267.93 万公顷（4018.95 万亩），草地占土地面积的比重由 19.80% 下降至 17.35%。草地面积减少的区域主要分布在内蒙古东南部、吉林西部和黑龙江西南部。同时，东北黑土区草地退化问题较为突出。调查数据表明，呼伦贝尔草地约 42% 出现不同程度的退化。草地生态系统退化将导致土壤侵蚀风险加剧。

（三）农业水资源状况

1. 水资源总量小幅增加

根据东北地区各地水资源公报数据，近 20 年来该区域水资源总量、地表水资源量和地下水资源量年平均值分别为 1910.91 亿立方米、1608.64 亿立方米和 623.95 亿立方米，水资源总量小幅增加（图 1-6）。地表水资源量与水资源总量变化基本一致，地下水资源量稳定在 500 亿立方米左右。2000-2020 年，黑龙江省水资源总量年均增加 31.35 亿立方米，吉林、辽宁和内蒙古东四盟增速分别仅为 7.97 亿立方米/年、1.13 亿立方米/年和 6.39 亿立方米/年。

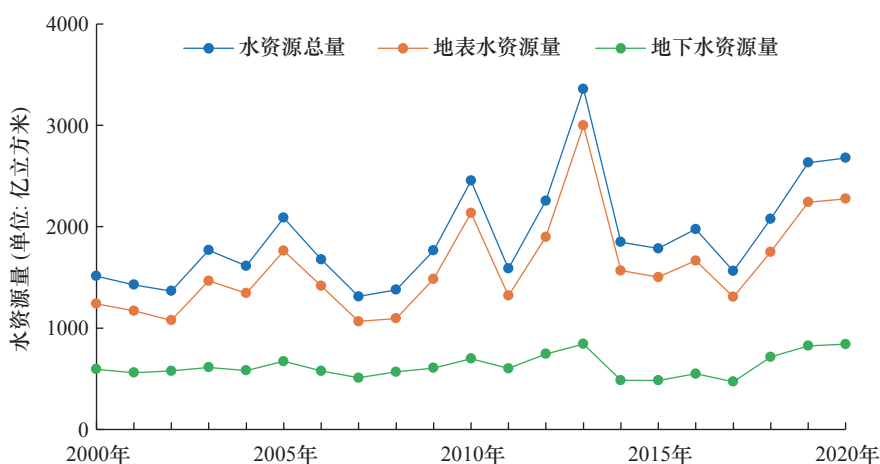


图 1-6 2000-2020 年东北地区水资源量变化

2. 农业水资源需求量大幅增长

东北黑土区水资源量相对稀缺。黑龙江、吉林和辽宁三省地均水资源量和地均灌溉量分别只有 7572.04 立方米/公顷和 1405.44 立方米/公顷，仅为全国平均水平的 30.63% 和 26.32%。近 20 年东北地区用水总量呈大幅增加趋势，其中农业灌溉用水量增幅最大。2020 年东北地区用水总量和农业灌溉用水量分别为 648.03 亿立方米和 471.61 亿立方米，

较之 2000 年分别增加 15.28 亿立方米和 78.06 亿立方米，增幅分别为 2.41% 和 19.83%。农田灌溉用水量在用水总量中的占比也由 62.20% 增至 72.78%。2020 年，黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古东四盟的农田灌溉用水量分别为 271.48 亿立方米、76.89 亿立方米、71.49 亿立方米和 51.75 亿立方米，农田灌溉用水量在用水总量中占比分别为 86.4%、65.30%、52.32% 和 65.08%。

3. 部分地区出现地下水位下降问题

随着耕地垦殖面积扩大和灌溉用水的增加，部分地区出现了地下水位下降问题。松嫩平原、三江平原、辽河平原等部分地区地下水位出现不同程度下降。以三江平原为例，上世纪六七十年代以来，水稻种植面积大幅增加，过量开采地下水用于灌溉水稻，导致地下水位下降。建三江二道河农场站点监测数据表明，该区域 1990-2020 年地下水位由 37.9 米下降至 46.3 米。

（四）区域环境质量

东北黑土区环境质量总体处于良好状态，近年来区内土壤、水、大气环境质量进一步改善，为黑土地保护与农业绿色发展奠定了坚实基础。

1. 土壤环境质量状况

东北黑土区土壤环境质量整体状况良好，尤其是三江平原、松嫩平原土壤质量状况良好。2020 年，东北各省区开展了耕地周边涉镉等重金属重点行业企业排查整治行动，治理耕地周边工矿污染源，切断镉等重金属进入农田途径。与 2013 年相比，重点行业的重点重金属排放量下降了 10%。

东北黑土区已按照《土壤污染防治行动计划》，完成农用地土壤环

境质量类别划分，并根据划分结果对污染农用地进行分类分级风险管控。2020年黑龙江省农用地优先保护类占比达99.87%，东北三省受污染耕地安全利用率达到92%以上。

在农业化学物质的减施方面，通过实施农作物病虫害绿色防控补贴政策，推广物理防治、生物防治为主的绿色防控技术模式，大幅度减少化肥和农药使用量，降低了农田面源污染。

2. 水环境质量状况

近年来，东北黑土区水环境质量明显改善，水库和集中式生活饮用水水源地水质整体保持良好，河流水质持续改善向好，国控断面（国家地表水考核断面）水质同比显著提升。“十三五”期间，东北三省水环境质量不断提升，水质状况由“十二五”末期的轻度污染转为良好，国控断面达到或好于Ⅲ类水质断面比例呈上升趋势；劣Ⅴ类水质断面比例呈下降趋势。2020年监测数据显示，吉林省监测断面Ⅰ～Ⅲ类水质占比达到79.5%，辽宁省Ⅰ～Ⅲ类水质占比达到74.4%，黑龙江省Ⅰ～Ⅲ类水质占比达到70.1%。

3. 大气环境质量状况

2020年环境公报数据显示，东北黑土区大气环境良好，城市空气质量持续向好。与2015年相比，可吸入颗粒物（PM₁₀）、二氧化硫、二氧化氮浓度、酸雨发生率等大气环境指标均有所改善。东北地区优良天数比例为90%左右，高于全国平均水平，重度及以上污染天数为1.1%～1.3%。可吸入颗粒物年均浓度为46～64微克/立方米，二氧化硫平均浓度为11～16微克/立方米，酸雨频率为0～0.8%。其中，内蒙古呼伦贝尔地区、黑龙江省空气质量总体优于其他区域，辽宁老工业基地片区大气污染相对严重，但近年来也明显改善。

二

气候变化与水热条件

长时间序列的观测数据显示，1960年以来东北黑土区气候变暖趋势明显，降水量增加但时空不均衡性增强。水热条件的持续改善导致农作物生长季延长和种植适宜区北扩，但同时洪涝干旱等自然灾害发生的频率和影响程度逐渐增加，对黑土地开发利用与农业生产带来显著影响。

（一）气温持续上升，增暖趋势明显

1. 年平均气温增长显著，高于全国平均增温速度

气温观测资料显示，过去60年东北黑土区年平均气温增速约为 $0.31^{\circ}\text{C}/10$ 年，高于全国同期年平均气温上升速率。2010年至2019年10年平均增温趋势更加明显，气温较20世纪60年代平均气温增加了 1.23°C （图2-1）。全区约60%的地区气温显著增加且增速超过区域平均，增速超过 $0.4^{\circ}\text{C}/10$ 年的地区占13.33%，主要分布蒙东地区北部及黑龙江省北部（图2-2）。

2. 年均积温增幅较大，局部增加速率超过 $10^{\circ}\text{C}/\text{年}$

研究表明，随着气候变暖，东北黑土区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温已由20世纪60年代的 2830°C 增加到21世纪10年代的 3250°C ，年均增加速率约为

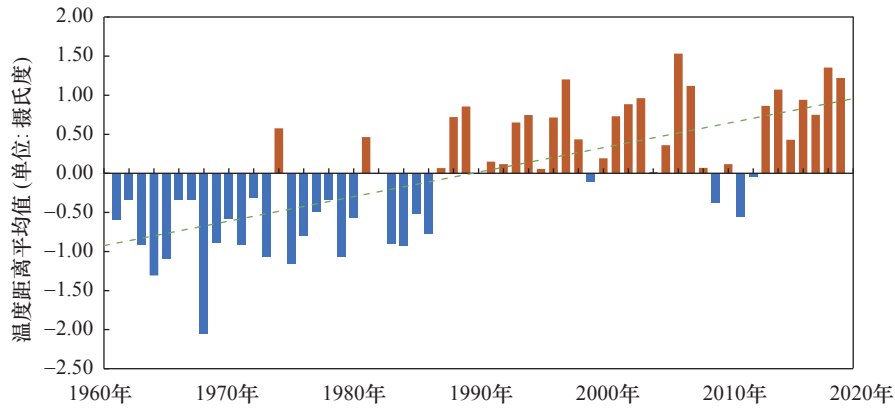


图 2-1 1961~2019 年东北黑土区年平均气温变化

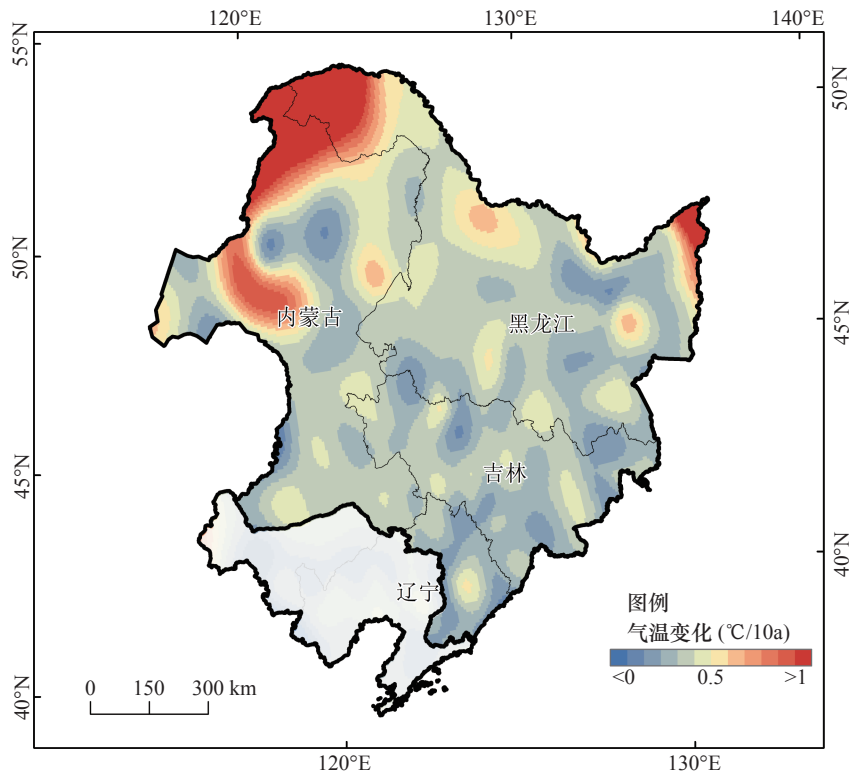


图 2-2 1961~2019 年东北黑土区年平均气温变化空间差异

6.62℃（图 2-3）。内蒙古东四盟大部分地区、黑龙江北部、吉林西部增加幅度较大，部分地区积温增加速率超过 10℃ / 年（图 2-4）。

3. 积雪期缩短趋势显著，最大冻土深度减小

气象监测数据显示，1961 年以来，东北黑土区积雪初日以 1.4 天

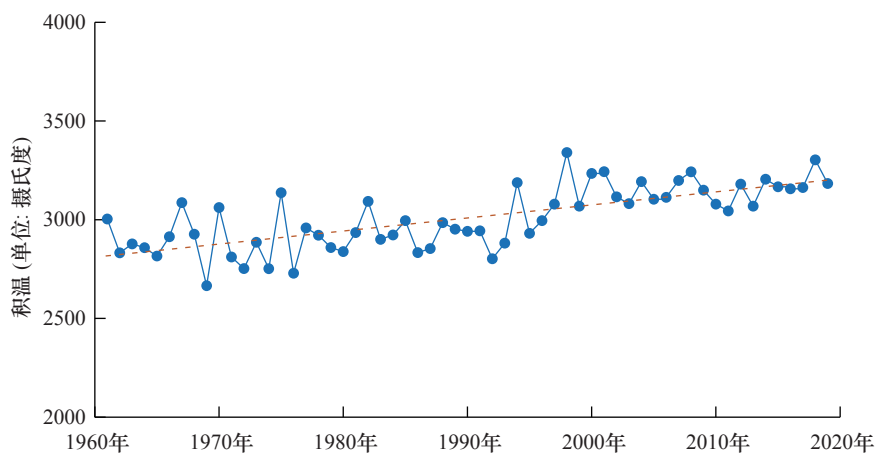


图 2-3 1961-2019 年东北黑土区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化

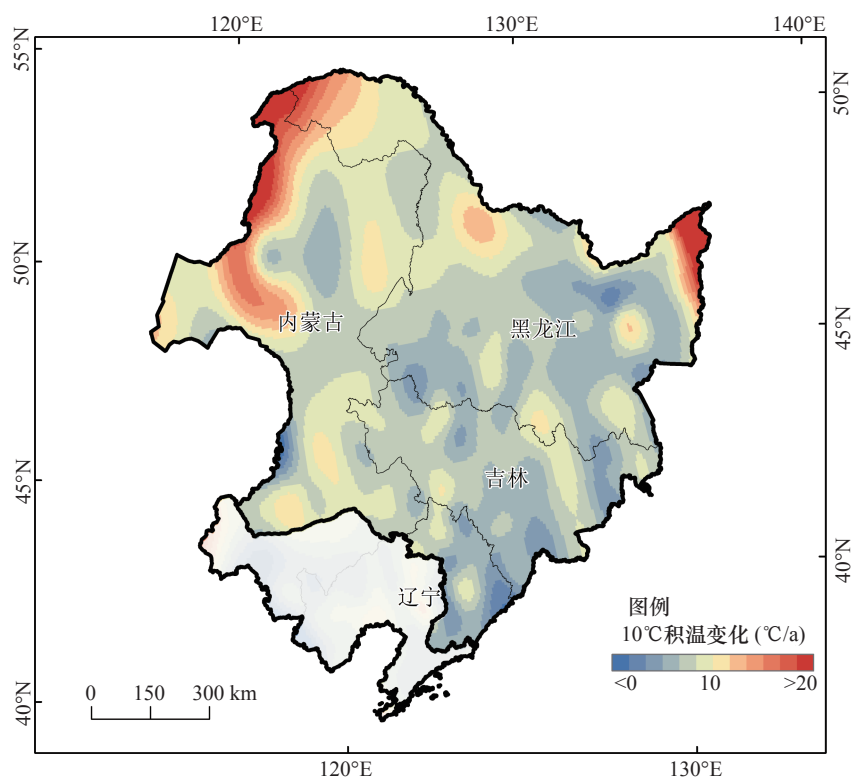


图 2-4 1961-2019 年东北黑土区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化空间差异

/10 年的速率显著推迟，积雪终日以 2.3 天 /10 年的速率显著提前，积雪期以 3.7 天 /10 年的速率显著缩短，最大积雪深度以 0.9 厘米 /10 年的速率增加，最大冻土深度以 5.5 厘米 /10 年的速率减小。

（二）降水小幅增加，时空不均衡性加大

1. 年降水量呈上升趋势，降水强度增大

观测数据显示，1961-2020年东北黑土区多年平均降水量为549.7毫米，变异系数为12.67%，变化幅度大，波动中略有增长态势（图2-5）。东北黑土区降水日数减少，但降水强度有所增加。第二次东北区域气候变化评估表明，1961-2017年，东北黑土区年降水日数减少速率为1.7天/10年，降水强度增加速率为0.11毫米/天/10年。降水时间分配不均态势加剧，导致洪涝、干旱自然灾害和水土流失风险增强。

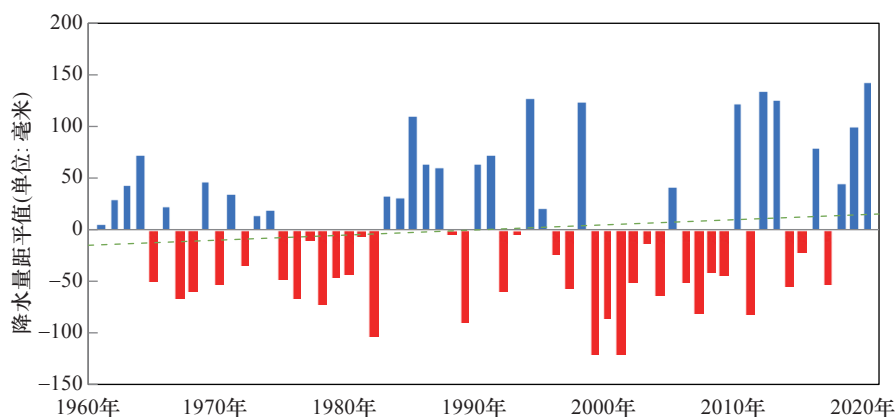


图 2-5 1961-2020 年东北黑土区年平均降水量变化

2. 东北部降水量增加，西南部降水量减少

东北黑土区多年平均降水量大致呈由东向西逐渐减少的空间分异特征（图2-6）。吉林东部、辽宁东部以及黑龙江中部多年平均降水量超过600毫米，其中吉林东南部和辽宁东部的多年平均降水量均超过700毫米。多年平均降水量小于500毫米的区域主要位于内蒙古东四盟，其中呼伦贝尔市大部分地区年平均降水量低于400毫米，赤峰市和通辽市大部分地区年平均降水量低至300毫米以下。

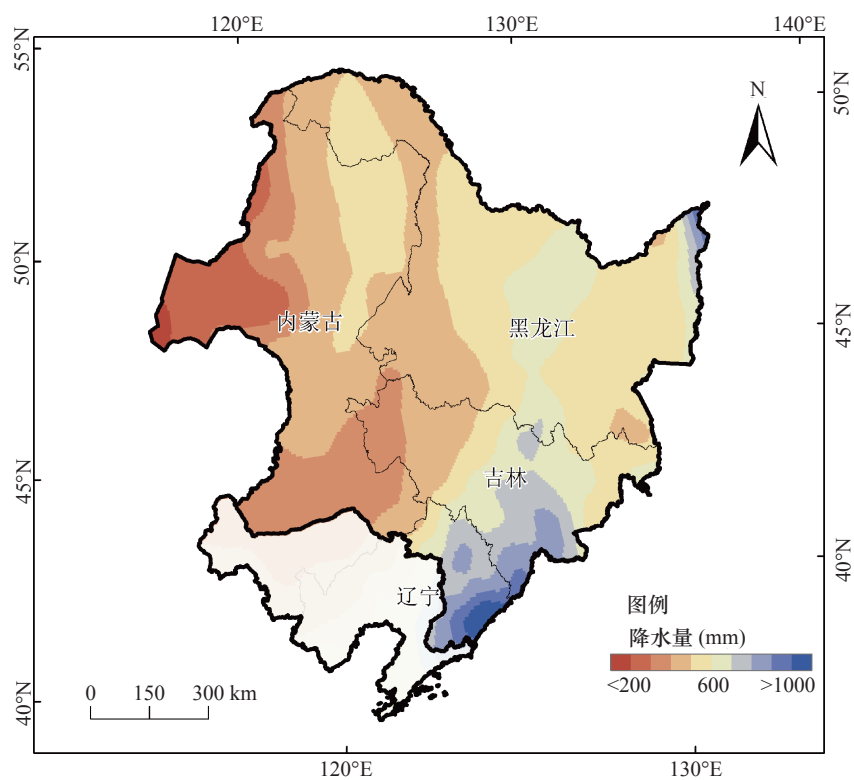


图 2-6 1981-2020 年东北黑土区平均年降水量空间分布

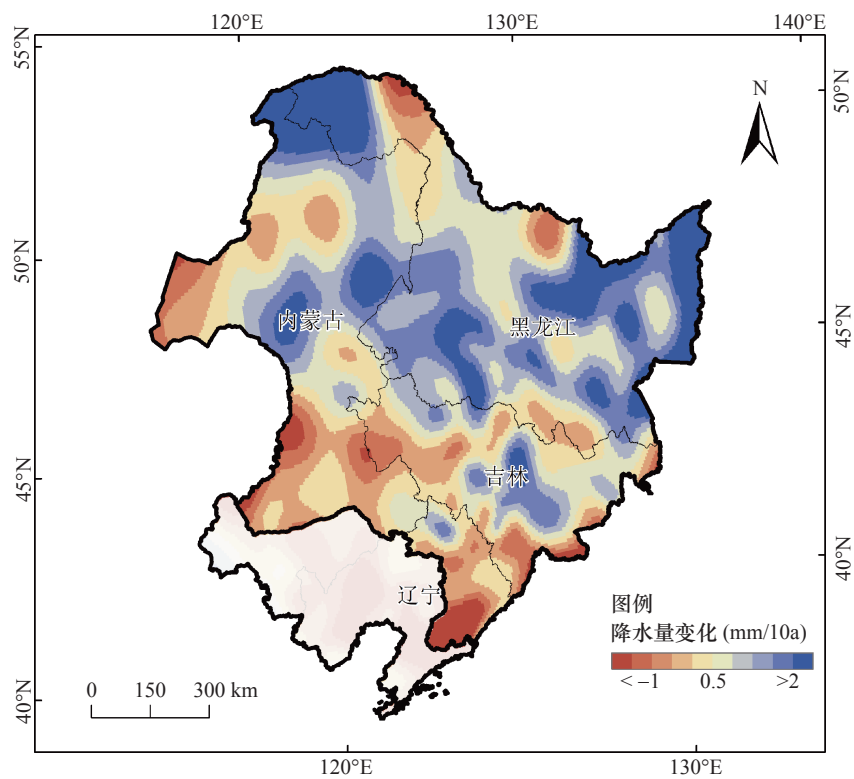


图 2-7 1961-2020 年东北黑土区年降水量变化空间差异

1961-2020年，年平均降水量最多的辽宁东北部和吉林东南部降水减少最快，局地速率超过10毫米/10年，其次是吉林中西部、蒙东地区南部和西北部、黑龙江北部，年降水量每十年减少约5毫米；吉林省中东部、黑龙江省大部分地区和蒙东地区北部降水增加，年降水量最大增速超过20毫米/10年（图2-7）。

专栏 中国科学院海伦农业实验站降水监测情况

中国科学院海伦农业生态实验站的水分监测结果显示，海伦站长期监测多年平均降水量为560毫米（1980-2020年）。

自2011年以来，海伦站年均降水量达到647毫米（2011-2020年），年均降水量增加，极端降水次数增多。

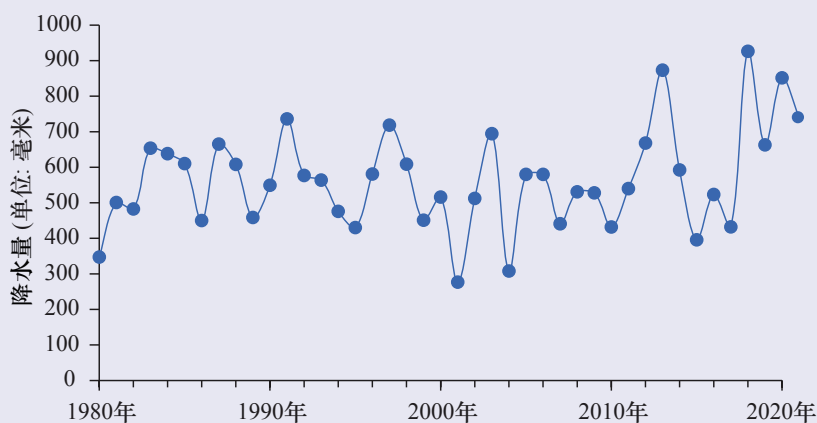


图 2-8 海伦农业生态实验站 1980-2020 年平均降水量

（三）太阳总辐射强度下降，时空差异性明显

长期气象监测资料显示，过去60年东北黑土区年日照时数以35.2小时/10年的速率下降，大部分地区减少速率为40.0~79.9小时/10年。其中，2000年至2020年太阳总辐射强度平均每10年减少0.14兆焦耳/平方米（图2-9）。

东北黑土区陆地表面太阳总辐射变化存在空间差异特征（图2-10）。

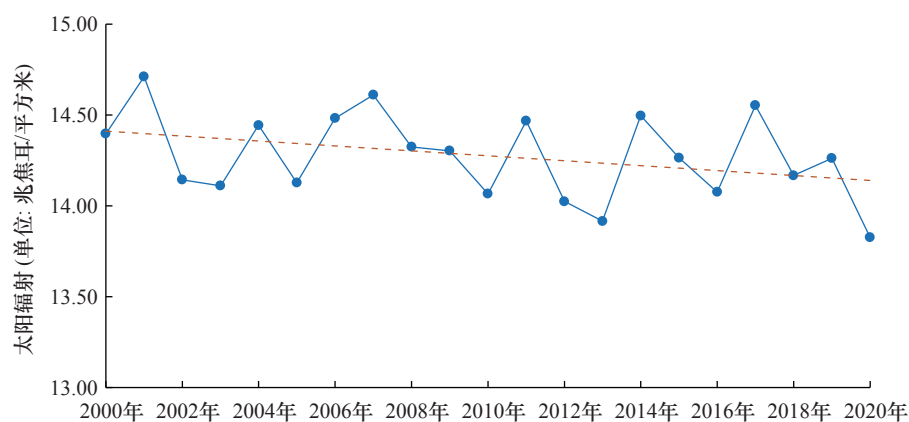


图 2-9 2000-2020 年东北黑土区太阳总辐射强度变化

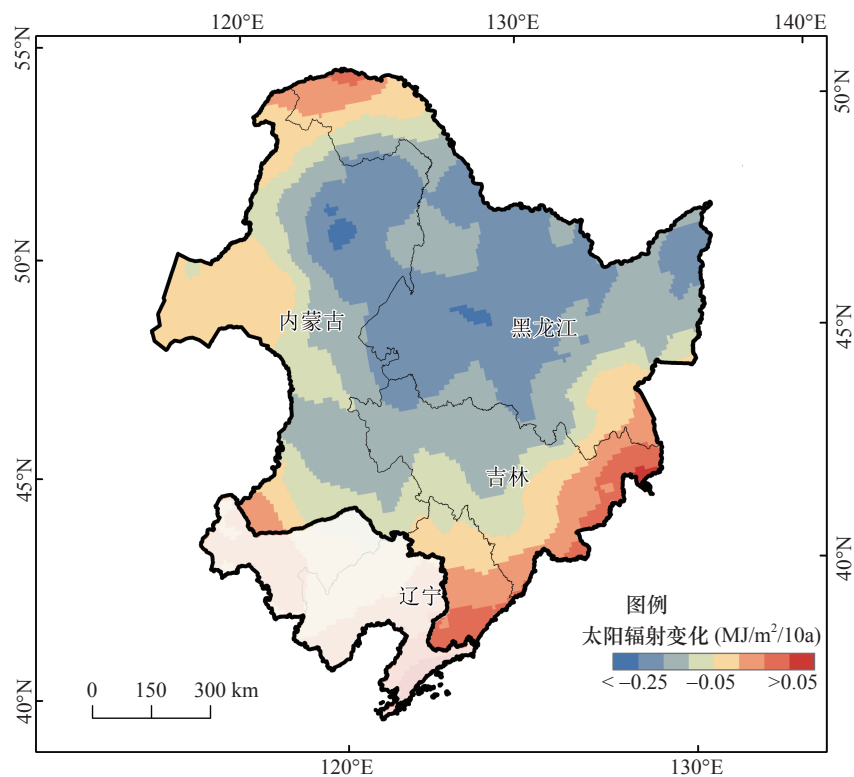


图 2-10 2000-2020 年东北黑土区日照强度变化空间差异

黑龙江省北部和西部、内蒙古东北部、吉林大部分地区太阳总辐射呈减少趋势，辽宁省大部分地区 and 黑龙江省南部地区呈现增加的趋势。光能资源的变化在不同季节也表现出了时间差异性，如吉林省境内冬季太阳总辐射显著下降，夏季则显著增加。

（四）气候变化影响黑土地开发利用

1. 农作物适宜生长期延长

观测数据显示，当前东北黑土区作物潜在生长季达 230 天左右。近 60 年来，作物潜在生长季逐渐延长，平均延长速率为 1.7 天 /10 年（图 2-11）。其中黑龙江、内蒙古东部地区以及吉林西部和东部等地作物潜在生长季延长明显，部分地区高达 3.6 天 /10 年，而南部地区呈现波动态势（图 2-12）。伴随生长季延长，生长季内的温度也逐渐上升。资料显示，近 50 年来东北黑土区春玉米生长季内温度平均增加约 0.93℃。

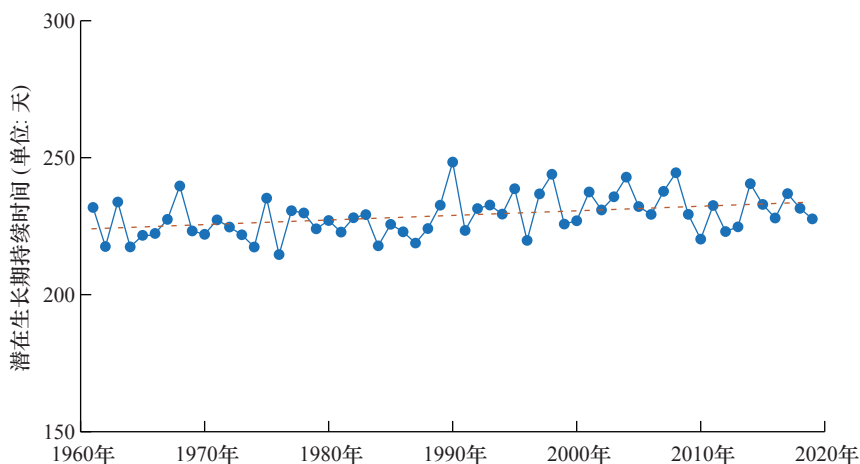


图 2-11 1961 ~ 2019 年东北黑土区作物潜在生长期长度变化

2. 作物适宜种植区向北扩展

1961 年至 2000 年，东北黑土区 0℃ 等温线向北移动 270 千米，2001 年至 2019 年 0℃ 等温线继续向北移动 190.5 千米。≥10℃ 积温带也在相应持续北移，玉米种植适宜区（2100℃）向北扩张了约 156 千米。玉米早熟品种种植适宜区由松嫩平原北部、三江平原北部、牡丹江北部等区域向北拓展至大兴安岭南部；中熟品种种植适宜区由松嫩平原南部、三江平原大部分地区 and 牡丹江南部向北扩大至松嫩平原北部、三江平原和

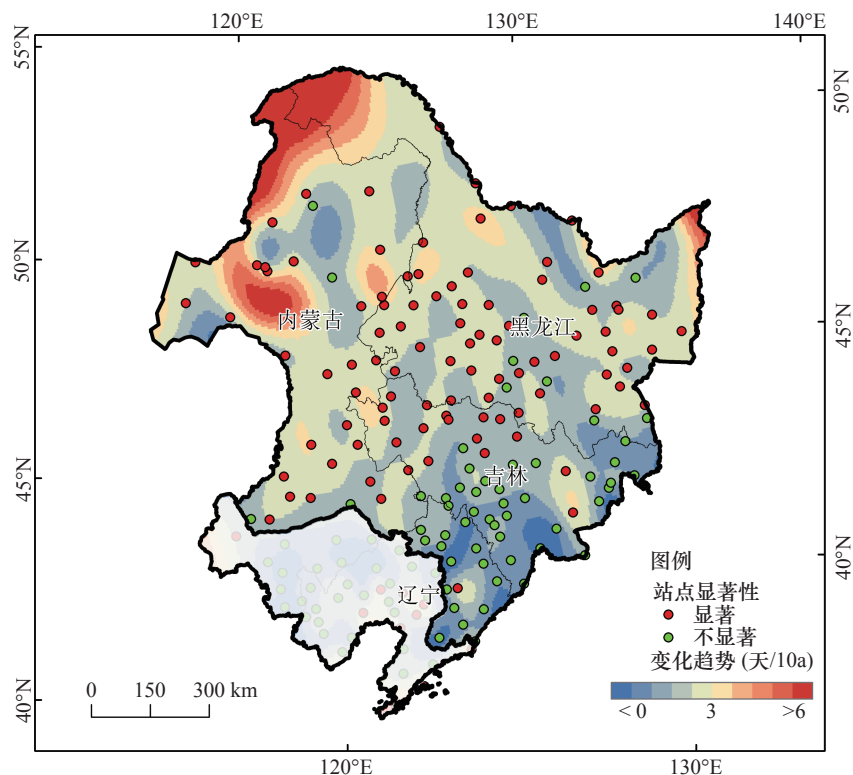


图 2-12 1961-2019 年东北黑土区作物潜在生长期长度变化空间差异

牡丹江流域；晚熟品种种植适宜区由松嫩平原南部局地北移至松嫩平原南部、三江平原中部和牡丹江南部。大豆中熟品种种植北界北移至大兴安岭—黑河沿线。

3. 农业自然灾害风险增大

受全球气候变化影响，东北黑土区极端天气气候事件的发生频率不断增加，干旱洪涝自然灾害风险增强。统计数据显示，1982-2020 年东北地区发生干旱事件 47 次、洪涝事件 14 次，超过了其它粮食主产区的黄淮海平原和长江中下游平原（表 2-1）。2020 年，黑龙江、吉林、辽宁省作物受灾总面积约 572 万公顷（8580 万亩），其中干旱受灾面积 133.7 万公顷（2005.5 万亩），洪涝受灾面积达 66.8 万公顷（1002 万亩），台风受灾面积 344.5 万公顷（5167.5 万亩），风雹受灾面积 26.5 万公顷（397.5 万亩）。

东北黑土区干旱灾害以春旱为主，干旱持续时长在空间上呈现自

西南向东北递减的趋势，西部地区干旱持续时间长且强度高，东部地区持续时间短且强度低。

随着东北黑土区气候变暖，低温干旱、高温干旱等复合型极端天气事件和自然灾害风险增加，给黑土地保护与粮食增产稳产带来严峻挑战。

表 2-1 1982-2020 年我国主要粮食产区干旱和洪涝事件频次

| 区域 | 干旱 | 洪涝 |
|---------|-----|----|
| 东北地区 | 47 | 14 |
| 黄淮海平原 | 25 | 6 |
| 长江中下游平原 | 7 | 10 |
| 全国 | 175 | 44 |

三

作物种植与粮食生产

自 20 世纪初大规模移民和大范围土地开垦以来，东北黑土区农业开发利用强度持续上升，突出表现为农作物播种面积扩大和农业生产资料投入大幅增加。经过近几十年的发展，东北黑土区形成了具有自身地域特征的农作物种植结构，并保持着较高的粮食产出水平，为国家粮食安全作出了巨大贡献。同时，高强度的农业开发利用也成为黑土地退化的重要因素之一。

（一）作物种植结构

统计资料显示，东北地区农作物总播种面积中粮食作物的占比保持持续上升趋势，种植结构呈现明显的粮食主导特征（图 3-1）。至

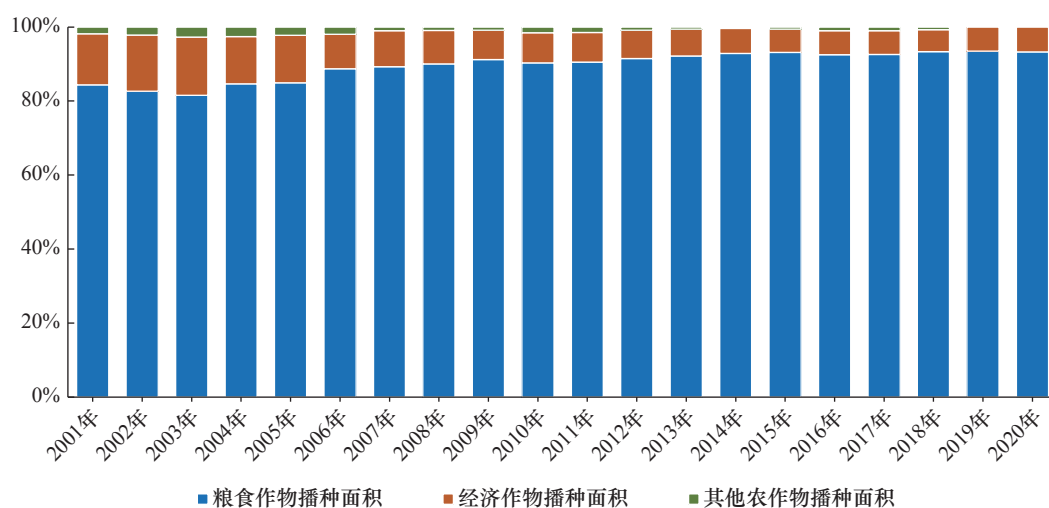


图 3-1 2001-2020 年东北地区农业种植结构变化

2020年，粮食作物占总播种面积的比例上升至93.3%，经济作物下降至7.2%。粮食作物中，尤以水稻、玉米和大豆为主（图3-2），至2020年，东北地区水稻、玉米和大豆三种农作物的播种面积占粮食作物播种面积的百分比高达98.9%。

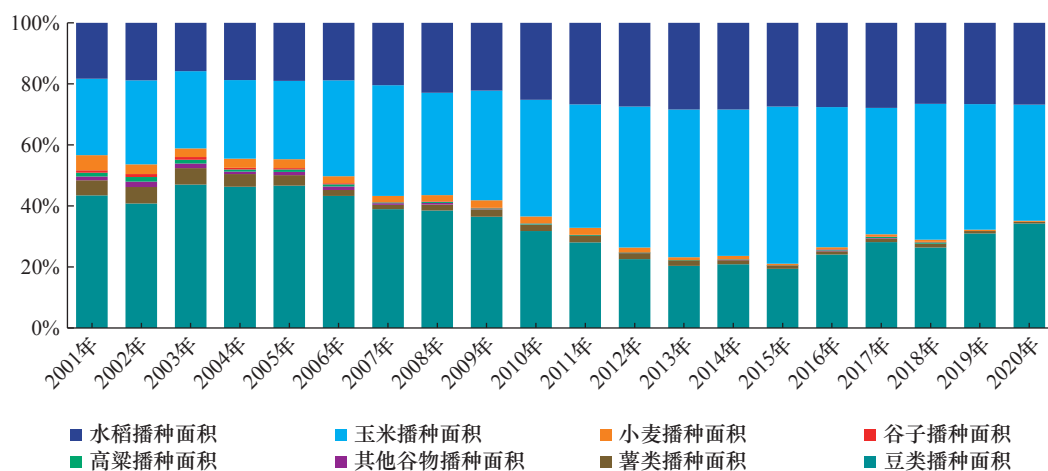


图 3-2 2001-2020 年东北地区粮食作物种植结构变化

研究表明，由于农业种植结构单一，玉米、水稻主要作物长期连作，导致土壤板结退化问题严重，不利于黑土地可持续利用。

遥感解译数据显示，2000-2021年，东北黑土区农作物种植布局变化具有三个特征：一是作物种植范围持续北扩西展，尤其是玉米种植范围明显向高纬度、高坡度区域扩展，种植面积持续增加；二是具备灌溉条件地区旱地大面积改为水田，水稻种植面积向沿江、沿河和三江平原湿地区扩展；三是大豆种植逐渐缩减，向黑龙江中西部松嫩平原集中（图3-3）。

2021年遥感解译数据显示，当前东北黑土区水稻生产主要集中在辽河、松花江、嫩江等沿江地区和三江平原水资源丰富区域；玉米生产广泛分布在东北黑土区的平原、台地、丘陵坡地；大豆生产主要分布在黑龙江省中部、北部、西部地区，即齐齐哈尔、黑河、哈尔滨、佳木斯、绥化等地区，并形成大豆生产的优势区；小麦等其他粮食作物面积较少，主要分布在吉林西部与内蒙古东部旱作农业区（图3-3）。

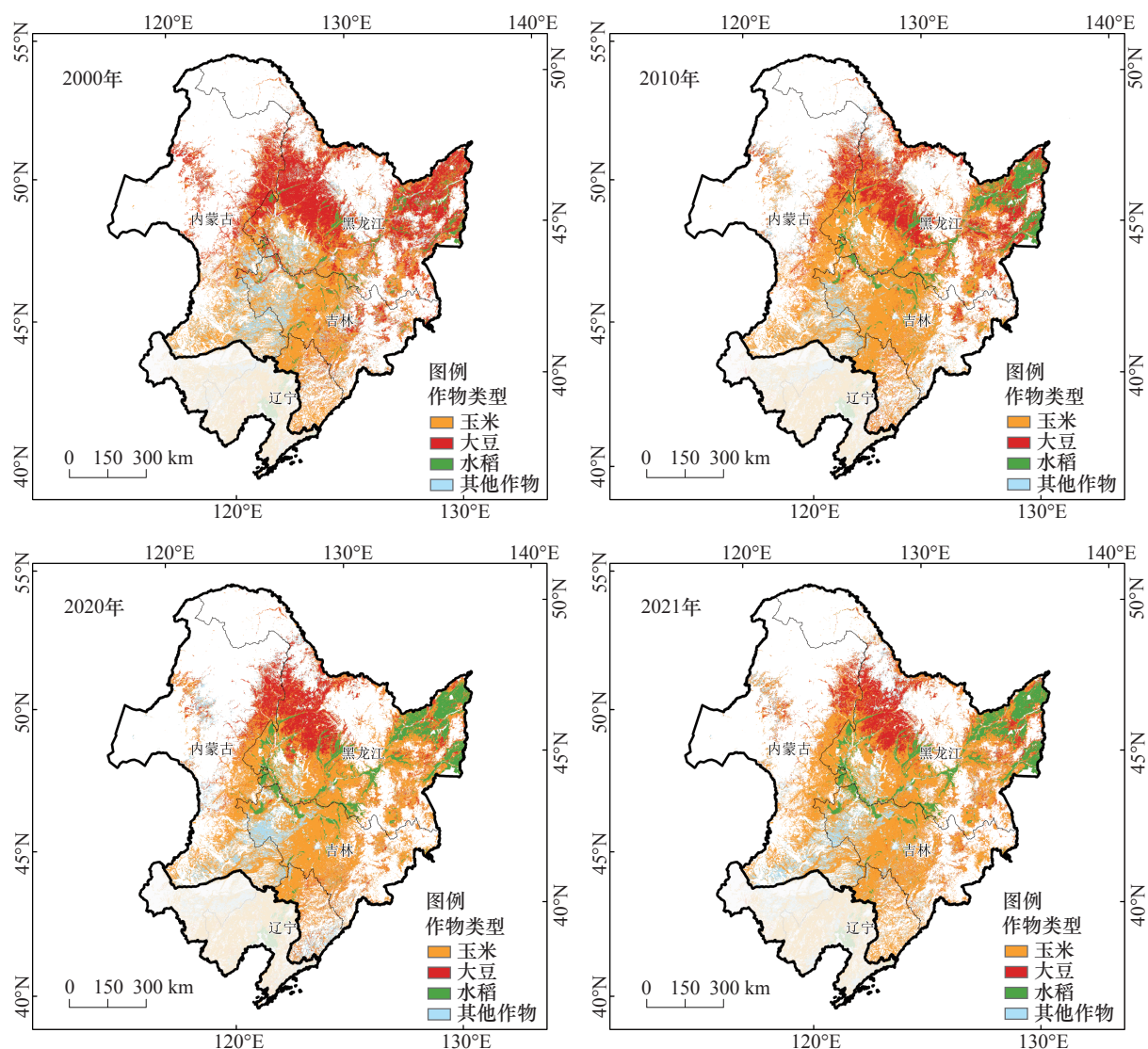


图 3-3 不同时期东北黑土区主要粮食作物种植格局

（二）农业生产要素投入

1. 亩均化肥施用量高于世界平均水平

统计资料显示，1980年东北地区化肥施用量131.77万吨，2015年后，化肥使用量开始减少，但2020年仍高达724.24万吨（图3-4）。其中，黑龙江省平均每亩化肥施用量为10.02公斤，吉林省每亩24.42公斤，辽宁省每亩21.39公斤，内蒙古东四盟每亩15.40公斤。辽宁省、吉林

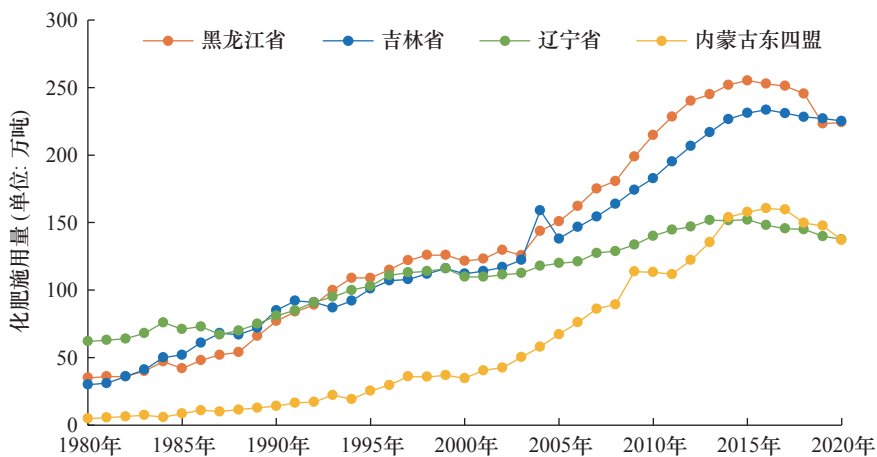


图 3-4 1980-2020 年东北地区化肥施用量变化

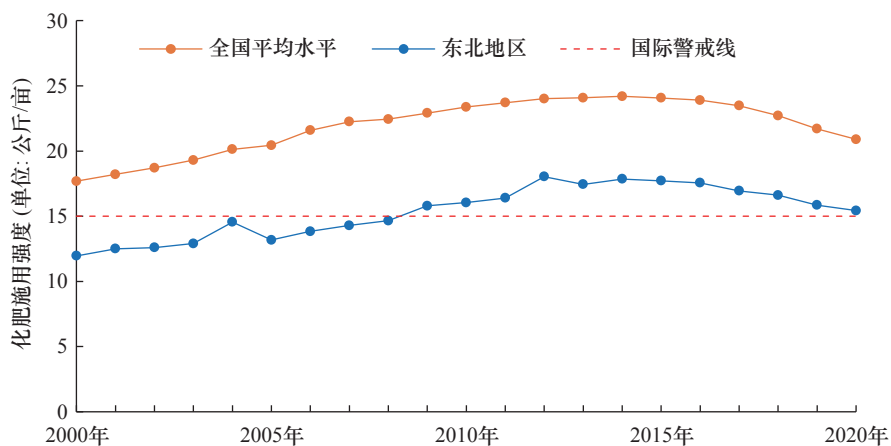


图 3-5 1980-2020 年东北地区化肥施用强度变化

省化肥亩均施用量高于全国平均水平（图 3-5），高于 15 公斤 / 亩国际警戒线。黑龙江省化肥施用量低于国际警戒线，但是仍高于世界平均水平（8 公斤 / 亩）。

2. 亩均农药施用量低于国际平均水平

统计数据显示，东北地区农药施用量呈先增加后减少的趋势。2014 年农药施用量达到 23.22 万吨，2015 年国家实施化肥农药“双减”政策后施用量开始减少，到 2020 年减至 17.01 万吨，每亩平均施用量降低至 0.36 公斤（图 3-6）。东北地区气温较低，病虫害相对较少，农药施用以除草剂为主，施用量低于全国平均水平。2016 年后亩均施用

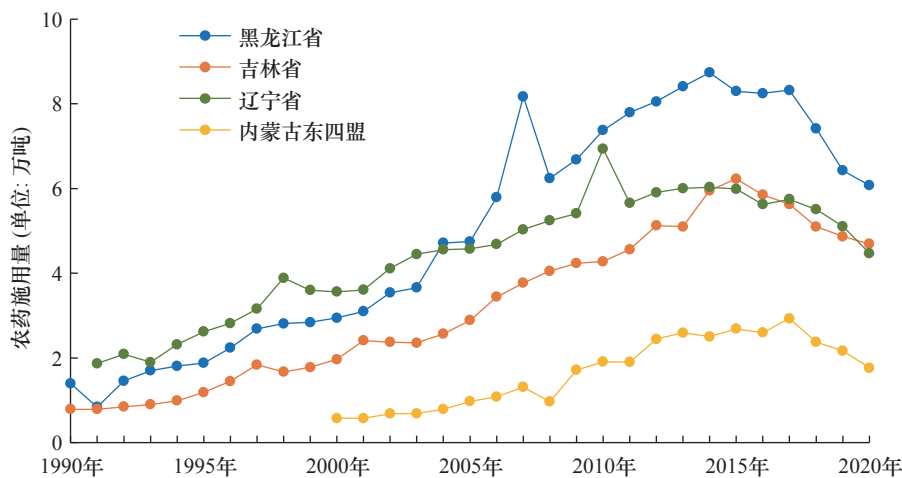


图 3-6 1980-2020 年东北地区农药施用量变化

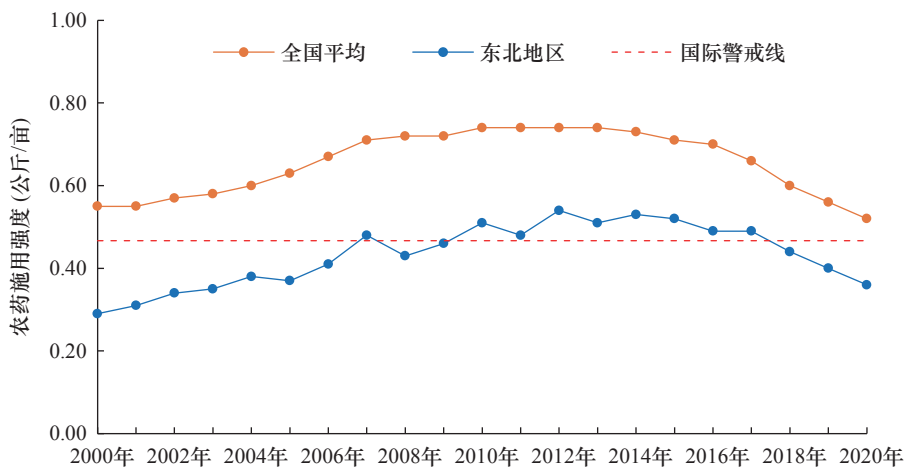


图 3-7 2000-2020 年东北地区农药施用效率变化

量已经低于国际警戒线 0.47 公斤 / 亩水平 (图 3-7)。

3. 农业机械化水平持续提高

东北黑土区是我国农业机械化起步最早、综合机械化水平最高的地区。统计数据显示, 2020 年黑龙江省、吉林省、辽宁省以及内蒙古自治区的农业综合机械化率分别为 98%、91%、80% 和 85%, 机耕率、机播率、机收率均在 90%、86%、65% 以上, 高于全国平均水平, 平原地区主粮生产基本全面实现机械化作业。当前, 各地正在积极推行免耕、少耕机械规模化应用, 并向智能化方向发展。

4. 土地规模化经营水平高

第三次全国农业普查数据显示，黑龙江省户均土地经营规模约74.2亩，吉林省户均34亩，辽宁省户均13.5亩，明显高于全国平均水平（表3-1）。东北地区耕地资源相对集中，而且地势平坦，有利于规模化经营。同时由于东北地区农村人口快速减少，农村土地流转率较高，土地规模化经营发展速度快。

表 3-1 黑龙江、吉林和辽宁农村土地规模经营情况

| 省区 | 农业经营户（万户） | 100亩以上规模农业经营户（万户） | 耕地面积（万公顷） | 户均土地经营面积（亩） |
|------|-----------|-------------------|-----------|-------------|
| 黑龙江省 | 320.5 | 55.3 | 1585.0 | 74.2 |
| 吉林省 | 308.6 | 14.7 | 699.3 | 34.0 |
| 辽宁省 | 552.7 | 12.7 | 497.5 | 13.5 |

统计数据显示，2020年底，黑龙江省农村家庭承包土地流转面积达到429.27万公顷（6439.05万亩），占家庭承包经营耕地面积的56.6%，吉林省达到181.34万公顷（2720.10万亩），占家庭承包经营耕地面积的40.2%，辽宁省达到113.53万公顷（1702.95万亩），占家庭承包经营耕地面积的31.7%。东北地区土地规模经营既提高了耕地集约利用程度，又提升了农业综合生产效率，确保了粮食稳产高产。

此外，东北黑土区是我国垦区集中分布区，也是全国土地规模化经营水平最高的区域。黑龙江、辽宁、吉林和内蒙古垦区耕地面积共计399.05万公顷（5985.75万亩），黑龙江省垦区职工人均土地经营规模170.10亩，吉林省垦区人均42.83亩，内蒙古垦区人均11.70亩。黑龙江垦区已经成为全国土地规模经营水平最高、现代化程度最高、综合生产能力最强的国家重要商品粮基地。

（三）粮食产出与供给能力

统计数据显示，2000-2021年，东北地区粮食总产从0.59亿吨（1180

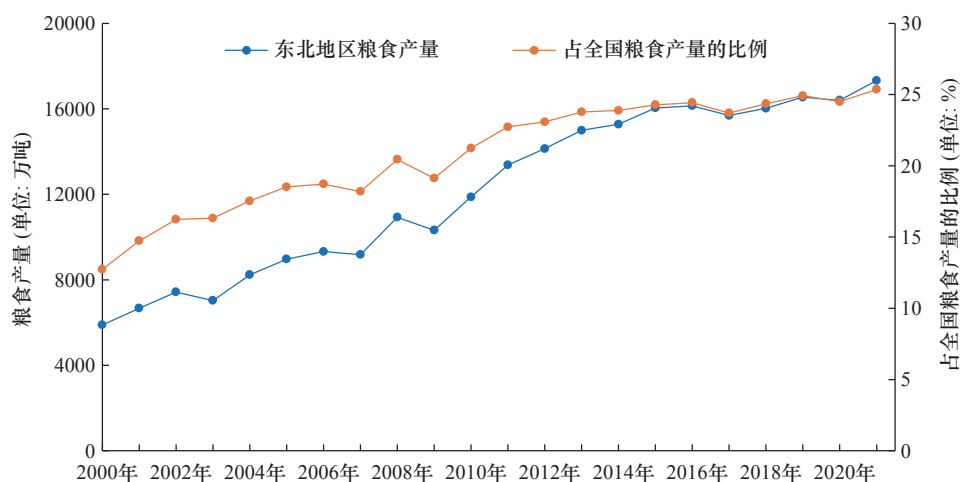


图 3-8 2000-2021 年东北地区粮食产量及占全国比例变化

亿斤) 上升到 1.73 亿吨 (3460 亿斤), 增长了近 2 倍, 粮食产量占全国粮食总产量的比重由 12.74% 上升到 25.36% (图 3-8)。2013 年以来, 东北地区粮食产量始终保持在全国总产量的 1/4 左右。

进一步分析表明, 过去 20 年, 东北粮食产量增加量占全国粮食产量增量的 50.71%, 全国粮食增产的一半来自东北地区。其中, 东北地区水稻增产对全国水稻增产的贡献为 92.44%, 玉米增产对全国玉米增产的贡献为 37.19%。

东北地区不同省区的粮食产出贡献不同 (图 3-9)。过去 20 年, 黑龙江省水稻产量年均增长 106 万吨 (21.2 亿斤), 主导了整个黑土区的水稻增产; 东北各省玉米产量均呈显著增加趋势, 其中黑龙江省增产速率最高, 年均增长为 185 万吨 (37 亿斤)。黑龙江省大豆产量高于其他地区, 2015 年以来黑龙江与内蒙古东四盟大豆产量显著增长。内蒙古东四盟小麦产量波动中增加, 维持在 100 万吨 (20 亿斤) 左右, 其他三省产量均呈明显下降态势。

按照国际公认的人均粮食 400 公斤 / 年安全保障水平计算, 扣除区内粮食的消费需求量, 计算每年东北地区粮食可剩余量。结果显示, 东北地区粮食可剩余量由 2000 年的 0.11 亿吨 (220 亿斤) 上升到 2020 年的 1.29 亿吨 (2580 亿斤), 年均增速为 534.86 万吨 (106.97 亿斤), 对外供给能力不断提高, 保障国家粮食安全压舱石的作用明显增强 (图 3-10)。

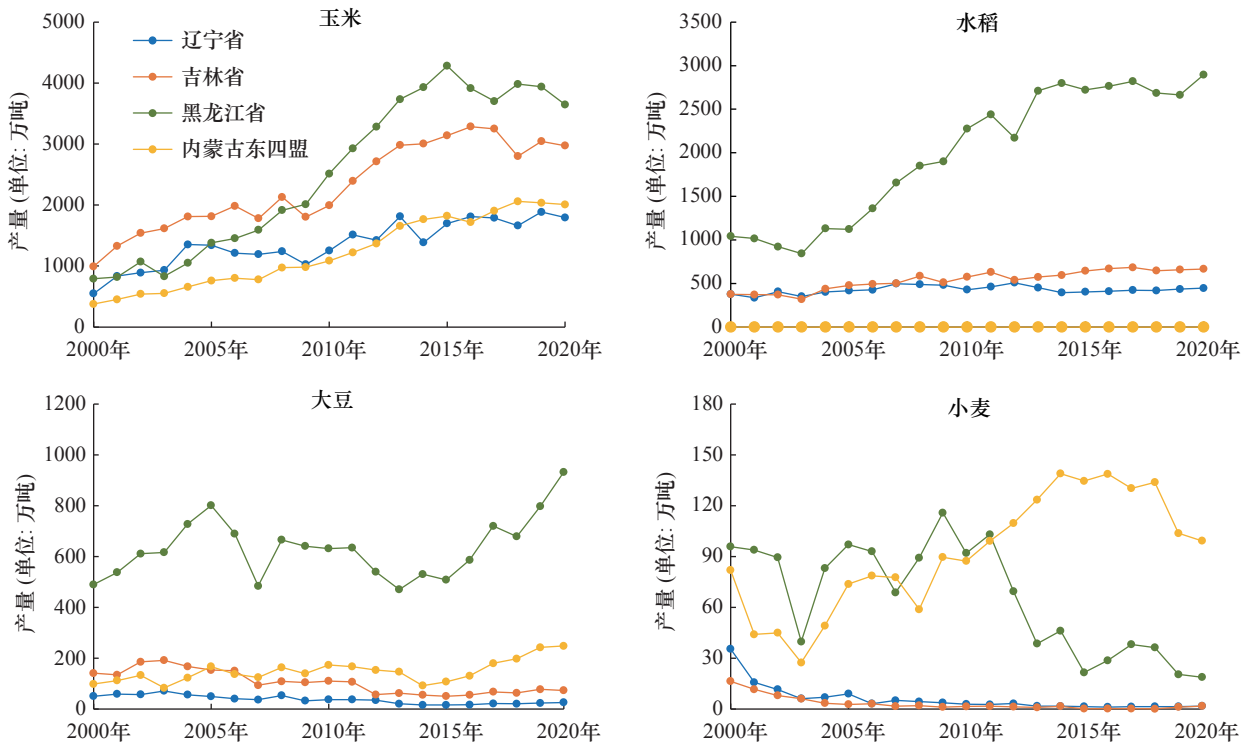


图 3-9 2000-2020 年东北地区主要粮食作物产量变化

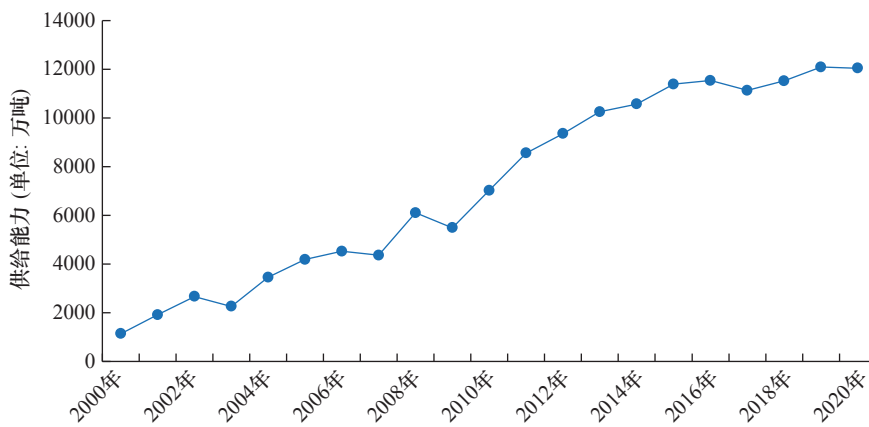


图 3-10 2000-2021 年东北地区粮食可剩余量变化

四 农田设施与科技能力建设

农田设施与科技投入是农业生产的重要条件，也是加强黑土地保护的根本措施。随着农业投入力度的加大，东北黑土区农田基础设施建设逐步完善，农业科技支撑能力显著增强，保护性耕作技术推广面积持续扩大，国家黑土地保护工程实施取得了初步实效。

（一）农田基础设施

1. 农田灌溉设施

东北黑土区农业水土资源空间分配不均衡，既有风调雨顺的旱涝保收田，也有靠天吃饭的旱地“望天田”。兴修农田水利设施是提高粮食产量和农业效益的关键措施。资料显示，2020年，黑龙江省有效灌溉农田面积617.16万公顷（9257.40万亩），占耕地面积36%，是1980年有效灌溉面积的10倍多；吉林省有效灌溉农田面积193.41万公顷（2901.15万亩），占耕地面积26%，是1980年的2.65倍；辽宁省有效灌溉农田面积161.93万公顷（2428.95万亩），占耕地面积31.44%，比1980年增加1.15倍（图4-1）。但总体来看，当前东北地区有效灌溉农田面积占比远低于全国平均54.07%水平，农田水利设施仍需要完善提升。

针对水资源紧缺与农业用水量不断增加的突出矛盾，东北地区大力发展节水灌溉，持续推进节水增粮行动。资料显示，2019年，黑龙江省节水灌溉面积220.04万公顷（3300.60万亩），节水灌溉率

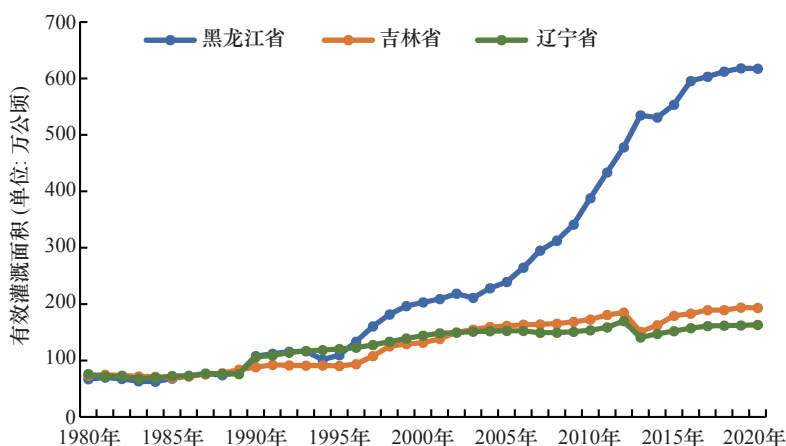


图 4-1 1980-2020 年黑龙江、吉林和辽宁农田有效灌溉面积变化

35.62%；吉林省节水灌溉面积 82.11 万公顷（1231.65 万亩），节水灌溉率 42.36%；辽宁省节水灌溉面积 96.78 万公顷（1451.70 万亩），节水灌溉率 59.77%。但是，东北三省节水灌溉率仍低于全国平均 60% 的水平。

2. 农田防护林

农田防护林是农田基础设施的重要组成部分，也是东北地区保护黑土地最直接、最有效的措施。资料显示，东北地区 1980 年农田防护林面积为 61.10 万公顷（916.50 万亩），到 1990 增加到 85.20 万公顷（1278 万亩），2000 年面积达到 96.50 万公顷（1447.50 万亩），2017 年减少至 94.9 万公顷（1423.5 万亩）；2010-2017 年减少 1.57 万公顷（23.5 万亩）（图 4-2）。1990-2017 年东北农田防护林质量整体下降，其中 2010-

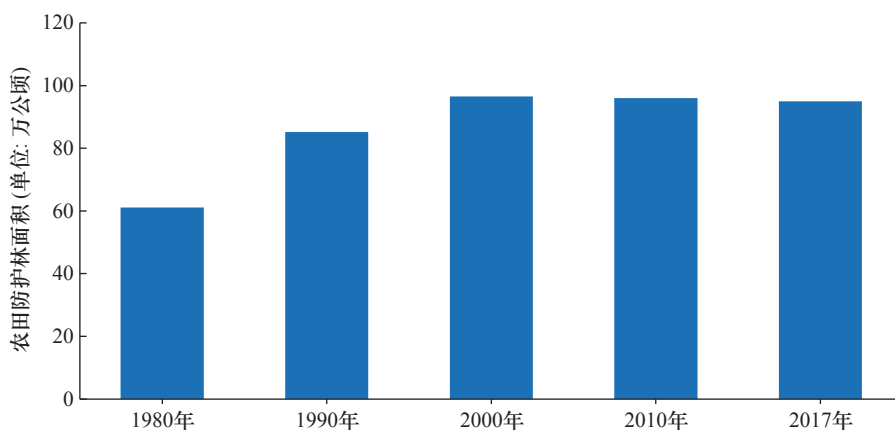


图 4-2 1980-2017 年东北地区农田防护林面积变化

2017年下降迅速，低质量防护林从2010年的29.04万公顷（435.6万亩）增加到2017年46.96万公顷（704.4万亩）（表4-1）。伴随防护林面积和质量下降，农田防护效应由2010年的18.3%下降到2017年的15.3%。

表 4-1 1990-2017 年东北地区农田防护林质量变化（单位：万公顷）

| 防护林等级 | 1990年 | | 2000年 | | 2010年 | | 2017年 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 面积 | 比例 | 面积 | 比例 | 面积 | 比例 | 面积 | 比例 |
| 低 | 16.25 | 19.1% | 26.25 | 27.2% | 29.04 | 29.9% | 46.96 | 49.7% |
| 中 | 31.16 | 36.6% | 34.11 | 35.3% | 39.45 | 40.67% | 27.82 | 29.5% |
| 高 | 37.81 | 44.4% | 36.16 | 37.5% | 28.50 | 29.4% | 19.64 | 20.8% |

3. 高标准农田建设

东北黑土区高标准农田建设坚持规模化推进，已建成一批集中连片、旱涝保收、高产稳产、生态友好的高标准农田。资料显示，到2020年底，东北地区已经建成高标准农田1113.33万公顷（1.67亿亩），占全国已建成高标准农田面积的21%。建成后的高标准农田，亩均粮食产能增加10%~20%，为粮食稳产增产提供了重要支撑。但已建成的高标准农田面积仅占东北地区耕地面积约三分之一，且部分项目因投入水平偏低，设施不配套、老化或损毁严重，难以充分发挥高标准农田应有的作用。

（二）科技支撑条件

据统计，中国科学院在东北黑土区目前已建成17个野外长期定位观测台站。这些观测台站主要从事土壤、生态、气象、生物等要素长期连续定位观测和遥感监测研究，其中海伦站、额尔古纳站、水保站、大安站、长岭站、长春站、大青沟站、辽河源基地与沈阳站9个农牧台站是黑土地保护与利用监测的核心力量。监测内容包括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项生物监测指标等，可为“用好养好黑土地”提供科技支撑。

此外，高等院校在东北黑土区建设了14个相关的野外长期定位观测台站，主要开展黑土保护与修复、生态系统观测、地质环境观测、地球物理观测等方面长期定位观测与试验。中国农科院在东北黑土区有3个相关的野外长期定位观测台站，主要进行农业土壤肥力效益监测、草原生态系统监测与野生生物资源监测，这些野外台站都是黑土地保护与利用重要支撑平台。

农业农村部在东北黑土区建立了257个国家级耕地质量长期定位监测点，重点监测土壤理化性状（即土壤肥力）、农田投入和产出情况、土壤健康状况等，可为黑土地质量预测预警提供依据。

2022年初，国务院启动开展第三次全国土壤普查，将全面查明查清包括东北黑土区在内的全国土壤类型及分布规律、土壤资源现状及变化趋势，真实准确掌握土壤质量、性状和利用状况等基础数据，提升土壤资源保护和利用水平，为守住耕地红线、优化农业生产布局、确保国家粮食安全奠定坚实基础。目前，水利部正计划开展东北黑土区水土流失实施动态监测，生态环境部正在建设土壤环境质量监测网，科技部在“黑土地保护与利用科技创新”重点研发计划中启动了“黑土地耕地质量多尺度天空地立体监测技术与预警系统”项目，中国科学院已启动A类战略性先导科技专项“黑土地保护与利用科技创新工程”，计划建设黑土资源环境天—空—地—体监测与感知系统。2021年底农业农村部组建了“农业农村部黑土地保护与利用重点实验室”，成立了现代农业产业技术体系耕地资源利用与保护共性技术创新团队，组织国家和地方科技力量开展黑土地动态监测、退化机理、综合保护技术集成与示范。这些重大项目和工作部署将大幅提高黑土监测水平与科技支撑能力。

（三）保护性耕作技术

东北黑土区是我国较早开展保护性耕作的区域之一。保护性耕作是一种以农作物秸秆覆盖还田、免（少）耕播种为主要内容的现代耕作技术体系，能够有效减少土壤风蚀水蚀、增加土壤肥力和保墒抗旱能力、提高农业生态和经济效益。资料显示，21世纪初中国科学院最早在典型区域开展秸秆覆盖还田、少耕免耕等保护性耕作技术试验与示范。2015年，农业农村部启动了第一批《东北黑土地保护利用试点项目》，涉及东北黑土区17个黑土耕地大县（市、区），试点总面积170万亩。2018年为进一步推进东北黑土地保护利用工作，农业农村部实施了第二批《东北黑土地保护利用试点项目》，涉及东北黑土区32个县（市、区、场），试点总面积880万亩。保护性耕作试点示范项目遍及黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古四省区，覆盖黑土、黑钙土、风沙土、盐碱土等土壤类型。2020年，国家启动实施东北黑土地保护性耕作行动计划（2020—2025年），推动保护性耕作技术在东北地区适宜区域加快推广应用。2020年东北四省区保护性耕作实施面积为4606万亩，2021年实施面积为7200万亩，2022年计划实施8000万亩，2025年计划实施1.4亿亩。在行动计划推动下，东北四省区以点带面、梯次铺开实施保护性耕作的态势已经形成，行动计划项目实施县、整体推进县分别达到227个、47个，有20个县实施面积超过100万亩，保护性耕作带来的农业经济、生态综合效应正逐步显现。经过多年的创新探索与试验示范，适用于东北黑土区的保护性耕作技术与模式已经趋于成熟，以免耕和少耕秸秆覆盖还田的“梨树模式”得到了较好的推广应用。

伴随保护性耕作技术的示范推广，东北地区秸秆综合利用率显著提升，2020年达到86.1%，较2016年提高了19.5个百分点。东北地区秸秆综合利用量合计1.5亿吨，其中肥料化、饲料化和燃料化利用率分别约为47.2%、21.8%和14.9%。

专栏 中国科学院秸秆还田长期定位试验

中国科学院海伦试验站过去 15 年长期秸秆还田耕作试验结果显示，施用无肥（NF）、化肥（NPK）和化肥+秸秆还田（NPKS）处理的累积碳输入量分别为 11.95 吨/公顷、17.43 吨/公顷、53.27 吨/公顷，其中分别有 79.2%、84.2% 和 81.2% 来自玉米植株。在化肥+秸秆还田处理中，累积碳输入比无肥和化肥处理分别增加 3.4 倍和 2.1 倍。

与无肥处理相比，采用化肥+秸秆还田耕作 15 年后，土壤有机碳（SOC）含量增加了 17.3%，而在最初 10 年中，无肥和化肥处理的 SOC 无明显变化。秸秆还田 5 年后，SOC 含量显著高于化肥处理。到第 15 年，三种试验处理之间的 SOC 差异显著，表现为化肥+秸秆还田 > 化肥 > 无肥。与初始土壤相比，化肥+秸秆还田处理耕作 15 年后，SOC 含量增加了 14.2%。

表 4-2 2004-2019 年不同处理下的植物碳源（单位：吨/公顷）

| 处理 | 秸秆碳 | | 根系碳 | | 根茬碳 | | 根际沉淀碳 | | 总碳量 | | 累计碳输入 |
|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 大豆 | 玉米 | 大豆 | 玉米 | 大豆 | 玉米 | 大豆 | 玉米 | 大豆 | 玉米 | |
| NF | 0 | 0 | 1.05 | 3.77 | 0.38 | 1.93 | 1.05 | 3.77 | 2.48 | 9.47 | 11.95 |
| NPK | 0 | 0 | 1.17 | 5.84 | 0.42 | 2.99 | 1.17 | 5.84 | 2.76 | 14.67 | 17.43 |
| NPKS | 7.04 | 28.23 | 1.27 | 5.97 | 0.46 | 3.06 | 1.27 | 5.97 | 10.04 | 43.23 | 53.27 |

注：NF 代表无肥，NPK 代表施用化肥，NPKS 代表化肥与秸秆还田相结合

施肥 15 年后，各处理土壤活性有机碳组分含量差异显著，表现为化肥+秸秆还田 > 化肥 > 无肥处理。与初始土壤相比，化肥+秸秆还田处理的水溶性有机碳 WSOC、轻组碳 LFC、易氧化有机碳 ROC 和颗粒有机碳 POC 含量分别增加了 23.9%、53.6%、19.0% 和 15.3%。而在无肥处理中，它们的含量分别降低了 10.1%、23.3%、10.2% 和 12.7%。化肥处理下活性有机碳组分与初始土壤相比没有显著变化。试验证明，秸秆还田可显著提高土壤活性碳组分的含量及其在 SOC 中的比例。

五 黑土地土壤性质及退化状况

受气候变化、农业开发利用强度上升、农田基础设施建设滞后等多种因素影响，东北黑土地呈现退化趋势，部分地区黑土地出现不同程度的变瘦、变硬、变薄等退化问题。

（一）土壤有机质含量

中国科学院土壤信息网格数据显示^{*}，东北黑土区耕地土壤耕作层有机质含量平均为 38.97 克 / 千克，最大值为 152.82 克 / 千克。三江平原、松嫩平原土壤有机质含量最高，辽河平原南部较低（图 5-1）。总体而言，黑龙江省土壤有机质含量最高，其次为吉林省、内蒙古东四盟，辽宁省耕地土壤表层有机质含量最低（表 5-1）。

表 5-1 东北黑土区耕地土壤耕作层有机质含量分区统计（单位：g/kg）

| 省（区） | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 中位数 | 标准差 |
|--------|------|--------|-------|-------|-------|
| 黑龙江 | 7.41 | 153.82 | 49.67 | 43.24 | 20.94 |
| 吉林 | 3.05 | 113.23 | 28.63 | 25.26 | 13.23 |
| 辽宁 | 7.72 | 69.43 | 21.93 | 15.84 | 8.32 |
| 内蒙古东四盟 | 1.95 | 135.97 | 27.65 | 19.33 | 18.88 |

^{*} 中国科学院南京土壤研究所基于我国土系调查与《中国土系志》编制项目获得的 2010-2018 年 5000 多个土壤剖面数据，制作的全国土壤信息网格数据。以下简称“中国科学院土壤信息网格数据”。

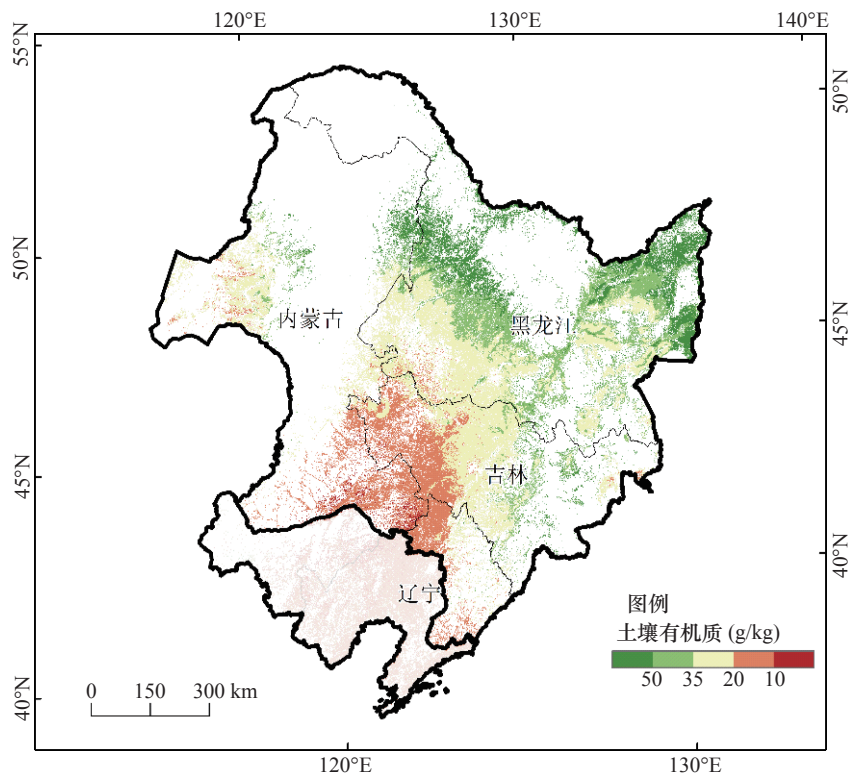


图 5-1 东北黑土区耕地土壤耕作层有机质含量空间分布

长期监测数据显示，黑土开垦 40 年有机质下降 1/2 左右，开垦 70 ~ 80 年有机质下降 2/3。进入稳定利用期后，东北黑土地土壤有机质下降缓慢，每 10 年有机质含量下降 0.6 ~ 1.4 克 / 千克。在黑土地开垦后的 50 ~ 100 年内，黑龙江省中部和吉林中部的黑土有机质平均每年下降速度为 1.0 克 / 千克。

（二）土壤养分状况

1. 土壤氮含量及其变化

中国科学院土壤信息网格数据显示，东北黑土区耕地土壤耕作层全氮含量平均值为 1.93 克 / 千克，最大值为 6.86 克 / 千克，呈现从东北到西南递减的分布特征。内蒙古东南部、辽宁大部分地区全氮含量偏低，吉林中部、黑龙江北部全氮含量较高（图 5-2、表 5-2）。

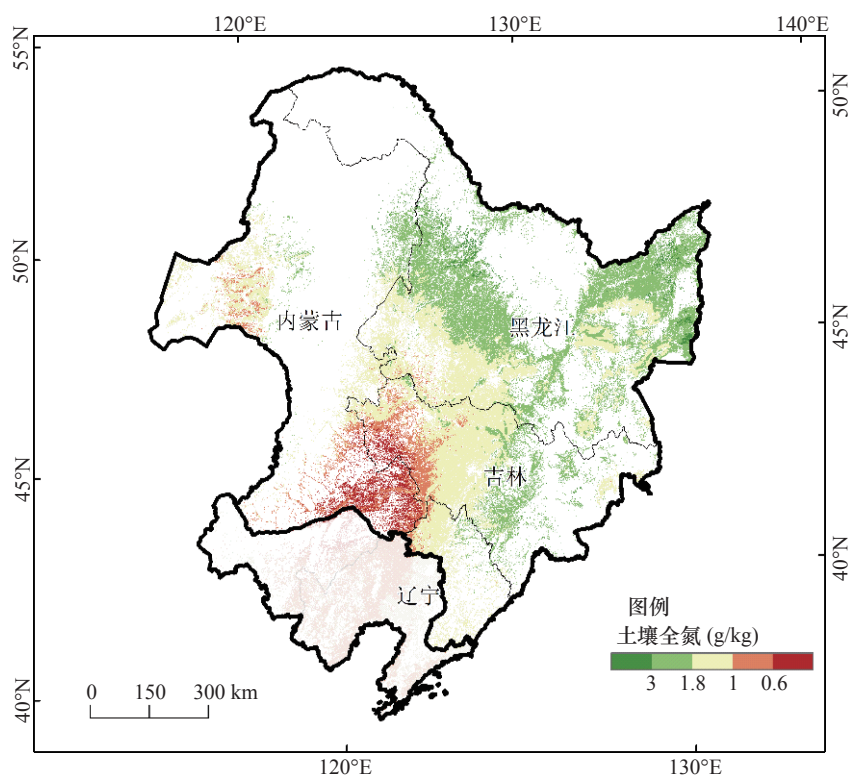


图 5-2 东北黑土区耕地土壤耕作层全氮含量空间分布

表 5-2 东北黑土区耕地土壤耕作层全氮含量分区统计结果 (单位: g/kg)

| 省(区) | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 中位数 | 标准差 |
|--------|------|------|------|------|------|
| 黑龙江 | 0.51 | 6.86 | 2.35 | 2.23 | 0.68 |
| 吉林 | 0.24 | 5.45 | 1.62 | 1.44 | 0.70 |
| 辽宁 | 0.44 | 3.55 | 1.46 | 1.38 | 0.34 |
| 内蒙古东四盟 | 0.17 | 4.65 | 1.29 | 1.19 | 0.75 |

长期监测数据表明,随开垦年限的增加,东北黑土区土壤耕作层全氮含量呈减少趋势。与未开荒的黑土土壤全氮含量 6.00 克/千克相比,开垦 20 年和 40 年后,耕层土壤全氮含量分别降至 4.02 克/千克和 2.33 克/千克。

2. 土壤磷含量及其变化

中国科学院土壤信息网格数据显示,东北黑土区耕地土壤耕作层

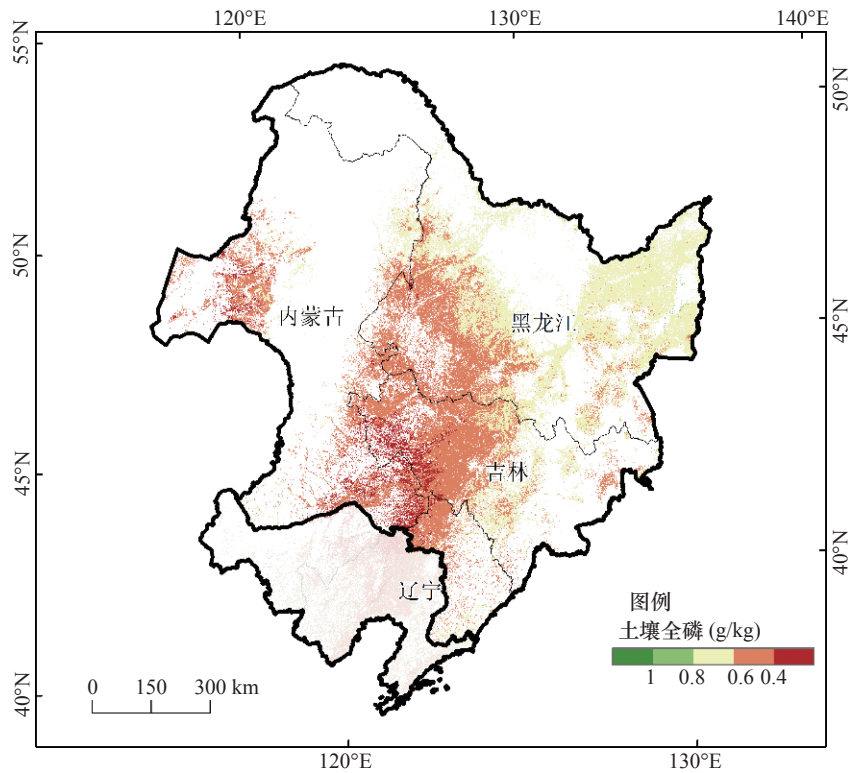


图 5-3 东北黑土区耕地土壤耕作层全磷含量空间分布

全磷含量平均值为 0.60 克 / 千克, 最大值为 1.66 克 / 千克。内蒙古、辽宁、吉林交界处的台地和坡耕地全磷含量偏低, 松嫩平原、三江平原全磷含量较高, 空间上从东北到西南呈现递减的分布特征 (图 5-3、表 5-3)。

表 5-3 东北黑土区耕地土壤耕作层全磷含量分区统计结果 (单位: 克 / 千克)

| 省 (区) | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 中位数 | 标准差 |
|--------|------|------|------|------|------|
| 黑龙江 | 0.25 | 1.10 | 0.67 | 0.67 | 0.10 |
| 吉林 | 0.25 | 1.66 | 0.55 | 0.56 | 0.11 |
| 辽宁 | 0.21 | 1.12 | 0.54 | 0.53 | 0.10 |
| 内蒙古东四盟 | 0.25 | 0.92 | 0.51 | 0.50 | 0.12 |

东北黑土区 17 个国家级耕地质量监测点数据显示, 区域土壤有效磷含量整体水平为 7.00 ~ 75.20 毫克 / 千克, 监测初期 (1988-1997 年) 为 19.54 毫克 / 千克, 监测中期 (1998 ~ 2003 年) 略有升高, 到监测后期 (2004 ~ 2013 年) 显著增加到 37.19 毫克 / 千克。

3. 土壤钾含量及其变化

中国科学院土壤信息网格数据显示，东北黑土区耕地土壤耕作层全钾含量平均值为 20.43 克 / 千克，最大值为 30.58 克 / 千克。内蒙古东四盟北部、黑龙江东北部土地表层的全钾含量偏低，吉林西部、黑龙江南部地区全钾含量较高（图 5-4、表 5-4）。

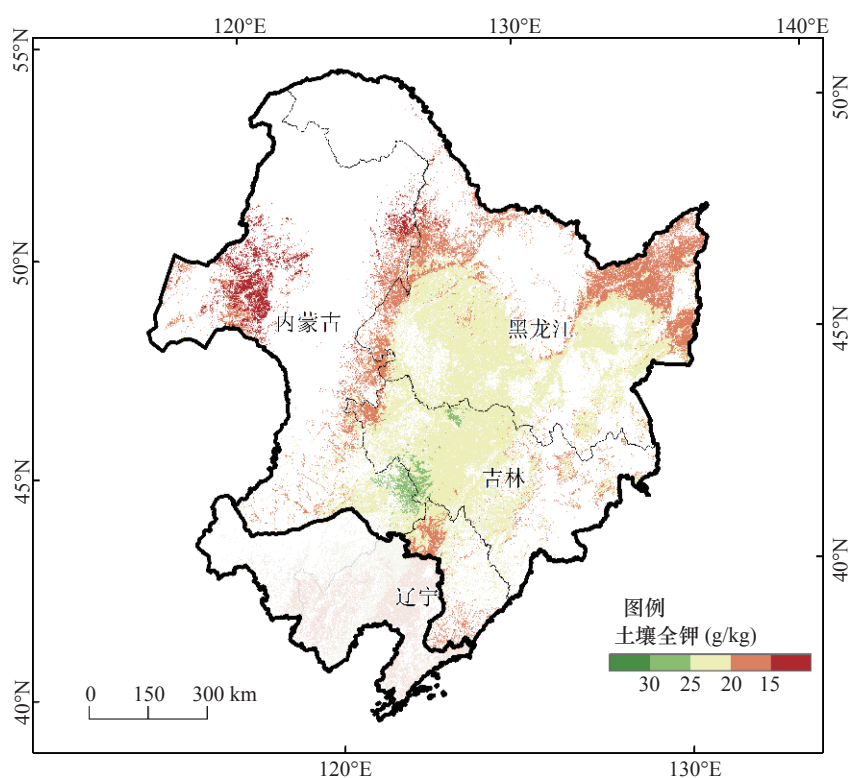


图 5-4 东北黑土区耕地土壤耕作层全钾含量空间分布

表 5-4 东北黑土区耕地土壤耕作层全钾含量分区统计结果（单位：克 / 千克）

| 省（区） | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 中位数 | 标准差 |
|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| 黑龙江 | 11.46 | 26.06 | 20.27 | 20.69 | 1.94 |
| 吉林 | 15.10 | 29.89 | 22.10 | 21.93 | 1.84 |
| 辽宁 | 13.82 | 27.43 | 20.57 | 20.62 | 1.88 |
| 内蒙古东四盟 | 10.53 | 30.58 | 18.37 | 18.29 | 3.96 |

东北黑土区 17 个国家级耕地质量监测点数据显示，土壤速效钾含量在 97.80 ~ 465.00 毫克 / 千克之间。1988-1997 年呈下降趋势，1998 ~ 2003 年与 2004 ~ 2013 年两个时期均呈上升趋势。监测中期（166.67 毫克 / 千克）和监测后期（216.62 毫克 / 千克）的土壤速效钾含量比监测初期（149.03 毫克 / 千克）分别提高了 11.8% 和 45.4%。但是，在黑土土壤侵蚀较严重的区域，土壤速效钾含量显著减少。

（三）土壤容重与土层厚度

1. 土壤容重随开垦时间增加而增加

中国科学院土壤信息网格数据显示，东北黑土区耕地土壤容重平均值为 1.23 克 / 立方厘米，最大值为 1.52 克 / 立方厘米，空间上呈现从东北到西南递增的分布特征。内蒙古、辽宁、吉林的交界处土壤容重较高，黑龙江东北部土壤容重较低（图 5-5）。按行政区统计，内蒙古东四盟耕

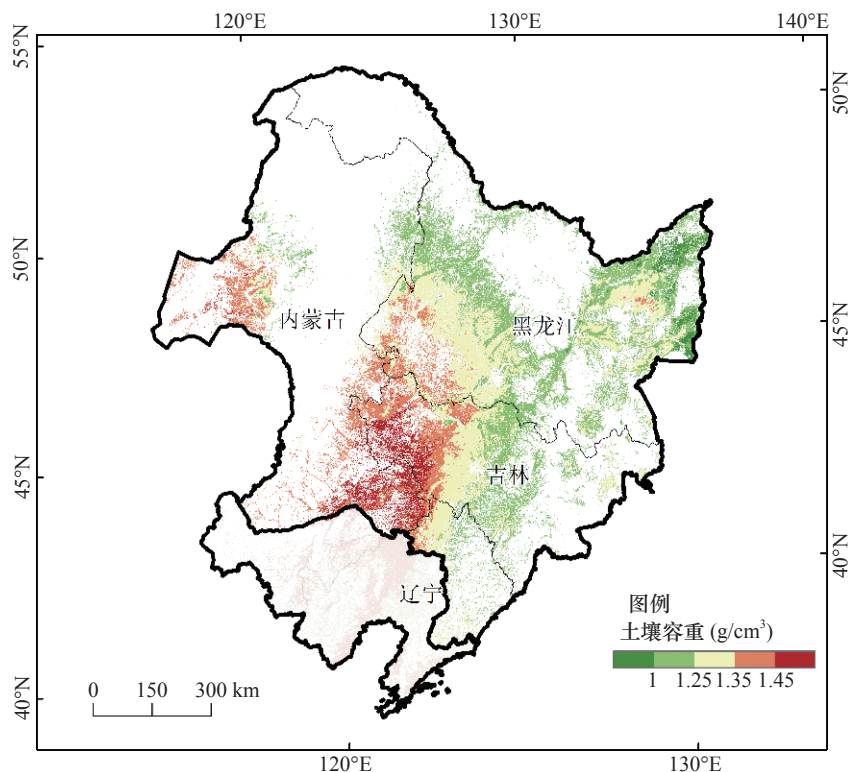


图 5-5 东北黑土区耕地土壤容重空间分布

地土壤容重值最大，其次为辽宁省和吉林省，黑龙江省土壤容重值最小（表 5-5）。

表 5-5 东北黑土区耕地土壤容重分区统计结果（单位：克/立方厘米）

| 省（区） | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 中位数 | 标准差 |
|--------|------|------|------|------|------|
| 黑龙江 | 0.82 | 1.46 | 1.21 | 1.24 | 0.11 |
| 吉林 | 0.98 | 1.52 | 1.31 | 1.30 | 0.10 |
| 辽宁 | 1.00 | 1.51 | 1.32 | 1.32 | 0.06 |
| 内蒙古东四盟 | 0.93 | 1.53 | 1.37 | 1.40 | 0.11 |

典型黑土区土壤容重变化范围在 1.11 ~ 1.39 克/立方厘米，平均值为 1.27 克/立方厘米，母质的平均容重约为 1.40 克/立方厘米，且土壤容重随着土层厚度的增加而增加。原始黑土经开垦后，受机械作业、化肥施用过量等因素影响，表层土壤容重显著增加。与自然状态下黑土相比，开垦 20 年、40 年、80 年耕地土壤 0 ~ 30 厘米表层土壤容重可分别增加 7.59%、34.18% 和 59.49%，平均每 10 年土壤容重增加 0.06 克/立方厘米。

2. 土层厚度随开垦时间增加而变薄

中国科学院土壤信息网格数据显示，东北黑土区耕地土层厚度集中在 110 ~ 170 厘米，最厚土层可达到 200 厘米以上。松嫩平原、辽河平均土层厚，三江平原、呼伦贝尔高原地区土层较厚，山地丘陵区向平原过渡的坡耕地土层较薄（表 5-6）。

表 5-6 东北黑土区耕地土壤土层厚度分区统计结果（单位：厘米）

| 省（区） | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 中位数 | 标准差 |
|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 黑龙江 | 14.00 | 196.00 | 132.64 | 132.00 | 27.48 |
| 吉林 | 2.00 | 203.00 | 143.83 | 150.00 | 30.64 |
| 辽宁 | 55.00 | 183.00 | 118.52 | 119.00 | 25.49 |
| 内蒙古东四盟 | 0.00 | 207.00 | 129.46 | 133.00 | 24.03 |

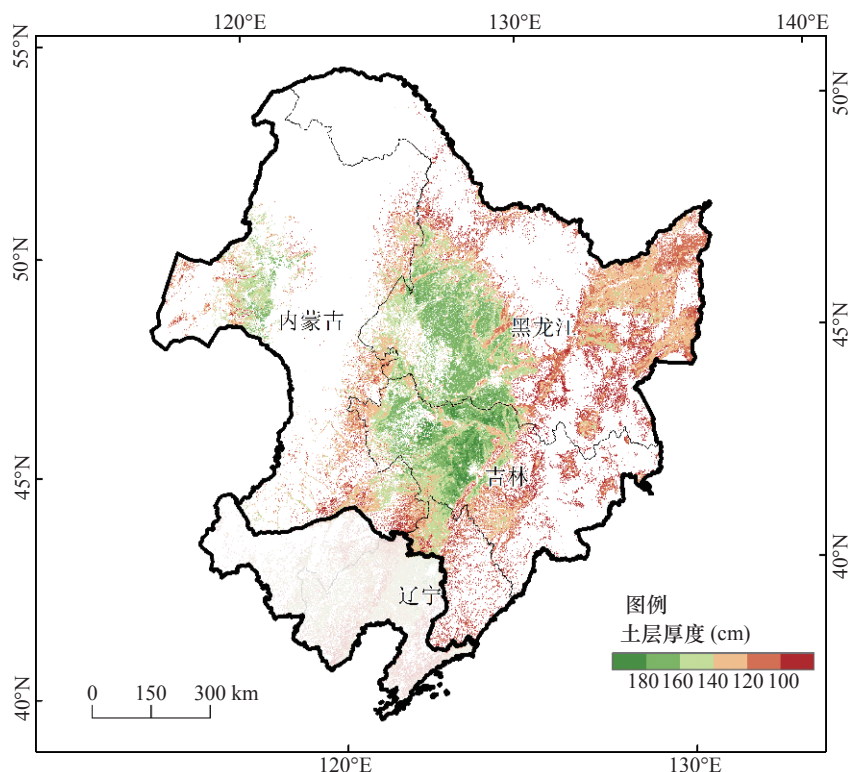


图 5-6 东北黑土区耕地土壤土层厚度空间分布

第二次土壤普查数据显示，受土壤侵蚀的影响，黑土耕地土层厚度逐年变薄。随着开垦年限的增加，黑土层逐渐浅薄，有 40% 的黑土面积腐殖质层厚度不足 30 厘米。黑龙江和吉林两省薄层黑土（黑土层厚度 < 30 厘米）占 39.8%，中层黑土（黑土层厚度 30 ~ 60 厘米）占 40.8%，厚层黑土（黑土层厚度 > 60 厘米）占 19.4%。受不合理开垦利用方式和水土流失等因素影响，随着开垦年限的增加，黑土层厚度逐渐变薄。

（四）土壤侵蚀状况及趋势特征

1. 水力侵蚀情况

东北黑土区土壤坡面水力侵蚀强度表现为中部低、东西部高的空间格局（图 5-7）。其中，大兴安岭、长白山及辽宁省西部地区侵蚀状况较为严重，松嫩平原、三江平原及呼伦贝尔地区的侵蚀程度轻微。

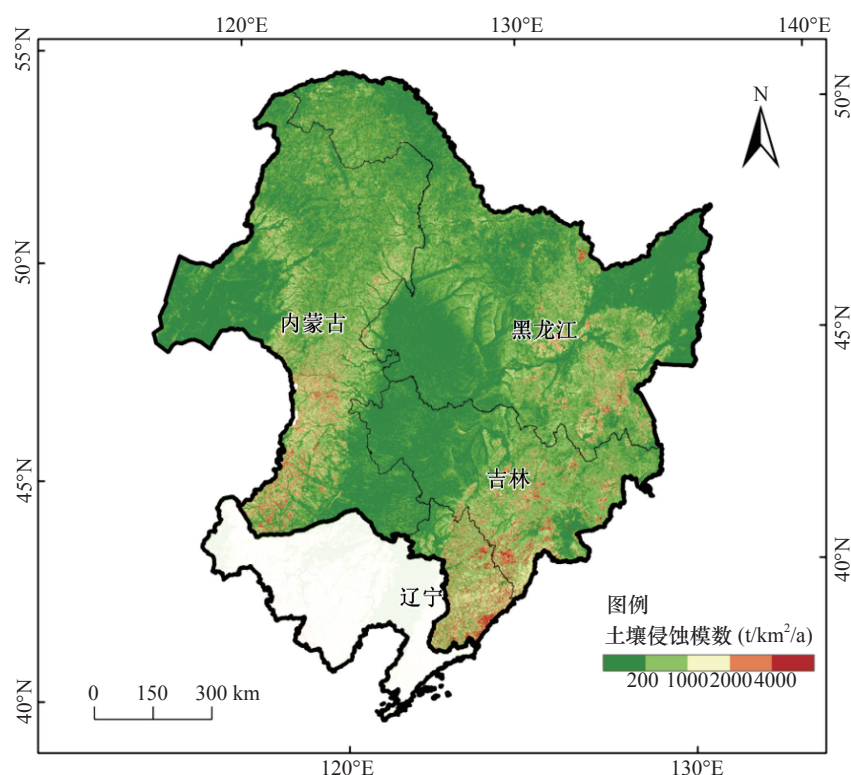


图 5-7 东北黑土区 60 年来土壤水力侵蚀模数平均值空间分布

按省区统计，辽宁、吉林、东四盟和黑龙江省土壤侵蚀量分别占整个东北黑土区总侵蚀量的 21%、17%、26% 和 35%。

全国水土流失动态监测表明，2018 年水土流失面积 22.16 万平方千米，占区域土地面积的 20.3%，其中，2018 年内蒙古东四盟、黑龙江省、吉林省、辽宁省水土流失面积分别为 9.29 万平方千米、7.55 万平方千米、4.26 万平方千米、1.06 万平方千米，以轻度侵蚀为主，面积占比达到 73.8%，且 70% 发生在耕地上。

2. 侵蚀沟数量和规模增加

东北黑土区是除黄土高原外沟道侵蚀最为严重的区域。水利部第一次水利普查—东北黑土区侵蚀沟专项调查（2013 年）发现，共有侵蚀沟 29.6 万条，主要发育形成于耕地，89% 为发展沟，沟道侵蚀呈加剧发展态势。据中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土退化与修复团队 2021 年实测调查结果，东北黑土区侵蚀沟约 60 万条。在漫川漫岗黑土

区和低山丘陵黑土区侵蚀沟实测调查结果显示，漫川漫岗黑土区侵蚀沟平均长度 480 米，平均宽度 5.6 米，平均深度 2.5 米，沟壑密度为 1.39 千米 / 平方千米，50~100 米长侵蚀沟数量占 15.6%，近 3 年新成侵蚀沟数量增加了 6.6%，年均每 100 平方千米的新成侵蚀沟 6.5 条，年均沟头前进 4.3 米；低山丘陵黑土区侵蚀沟平均长度 220 米，平均宽度 2.8 米，平均深度 2.0 米，沟壑密度 4.97 千米 / 平方千米，其中 50~100 米侵蚀沟数量占 26.5%，近 3 年新成侵蚀沟数量增加了 4.4%，年均每 100 平方千米的新成侵蚀沟 33.2 条。实测结果显示，漫川漫岗黑土区沟道侵蚀土壤流失量占区域总土壤流失的 65%。实测结果表明，东北黑土区 80% 以上的侵蚀沟分布于耕地中，85% 侵蚀沟为中小型侵蚀沟，但具有向大型侵蚀沟发展的趋势。这表明东北黑土区沟道侵蚀危害呈加剧发展态势。

3. 土壤风蚀呈下降趋势

研究表明，东北黑土区土壤风蚀主要发生在西部呼伦贝尔丘陵平原区、松辽平原风沙区和东部三江平原区，总面积约 26 万平方千

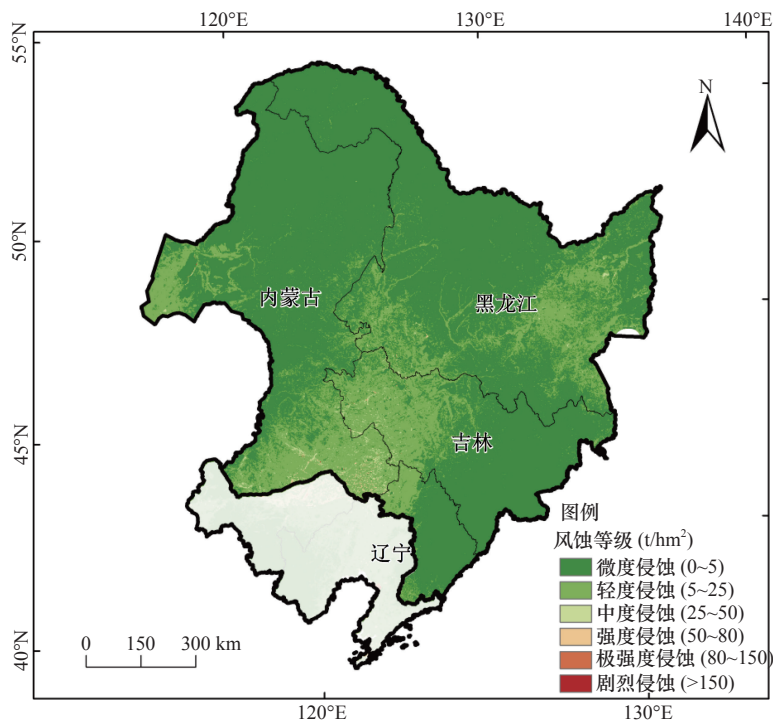


图 5-8 东北黑土区土壤风蚀等级空间分布

米，占东北黑土区总面积的 25%，其中轻度、中度、强度、极强度和剧烈风蚀区占比分别为 96.12%、3.24%、0.58%、0.05% 和 0.01%（图 5-8）。

田间监测结果显示，2016 和 2017 年 4~6 月份吉林省梨树县传统垄作无覆盖耕作方式下，黑土平均输沙通量为 20 千克 / 公顷 / 天，风力侵蚀导致年潜在最大土壤有机质损失量达 36 千克 / 公顷（2.40 公斤 / 亩），年潜在最大土壤全氮损失量达 1 千克 / 公顷（0.07 公斤 / 亩）。2021 年 4~6 月份黑龙江省齐齐哈尔梅里斯区传统秸秆清除浅旋垄作方式下，平均输沙通量为 56 千克 / 公顷 / 天，风力侵蚀导致年潜在最大土壤有机质损失量达 75.6 千克 / 公顷（5.04 公斤 / 亩）。

研究结果显示，1990-2020 年东北黑土区土壤风蚀强度总体呈下降趋势，平均下降速率为 250 千克 / 公顷 / 年，其中，风蚀下降区域面积占黑土区总面积的 43%，风蚀增加区域面积仅占黑土区总面积的 0.27%（图 5-9）。

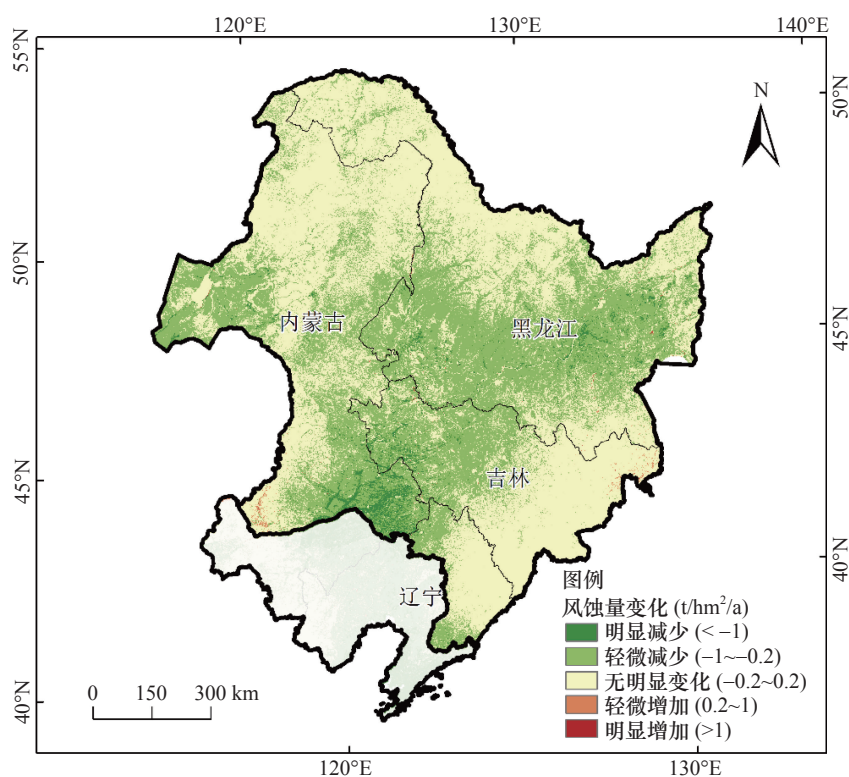


图 5-9 1990-2020 年东北黑土区土壤风蚀量变化

六

“黑土粮仓”科技会战进展

2021年,中科院启动“黑土粮仓”科技会战,联合黑吉辽蒙三省一区,同步推进专项实施、平台建设和人才引进。“黑土地保护与利用科技创新工程”A类战略性先导科技专项,通过科技攻关与示范区建设相结合的方式,针对黑土地“变薄、变瘦、变硬”问题开展“监测评估、机理揭示、技术研发、模式构建”研究,系统调查黑土地土壤资源现状,建立土壤资源清单;揭示黑土退化与阻控机理,突破黑土地健康保育与产能提升技术;研发智能农业关键技术和装备,构建天空地一体化、多维度全要素黑土地数据信息监测系统,建立智能化管控系统与决策支持平台;建立黑土地保护性利用长效机制,形成适用不同黑土地类型及地方需求的现代农业发展模式,在吉林、黑龙江、辽宁和内蒙古建设7个万亩核心示范区,开展技术模式区域综合示范。

(一) 黑土地保护科技创新重要进展

1. 建立了黑土地智能管控系统

完成了天基黑土资源环境监测需求分析、天基探测载荷核心技术突破,对标现有卫星系统,开展了大幅宽高分辨率高光谱探测载荷技术研究和高精度定标技术研究;空基方面,进行了无人机无人值守方舱研发,长续航高精度无人机组网控制系统研发,全谱段机载高光谱载荷研发;近地表监测系统方面,围绕伽马能谱探测仪和主动探地雷

达两类新系统展开核心部组件研制。

在数据采集与应用方面，结合现有天空地系统进行了黑土区本底调查，完成核心示范地块 1500 多个土壤样本采集与分析。结合哨兵-2、Landsat-8、MODIS 等卫星数据，初步完成了黑土全域有机质、总氮 1:5 万制图，2000-2020 年黑土区作物种植结构变化空间分布制图，以及部分区域的土壤分类制图。通过人工智能算法提升多要素反演精度，在黑土区核心示范区地块以及辐射区，土壤有机质反演模型可信度达到 83%，均方根误差 5.2 克/千克。此外，进行了遥感监测数据交互系统建设，基于 Opena PI、云主机、并行计算等技术，实现农情卫星遥感产品生产周期从 7 天减少为 12 小时。

2. 突破了黑土地保护关键技术

针对黑土地土壤“变薄、变瘦、变硬”等问题，揭示了退化机理特征，突破了黑土地退化防治的关键技术。

针对黑土地“变薄”问题，总结了典型黑土区侵蚀沟现状特征及其危害性，初步阐明了侵蚀沟沟头沟岸侵蚀特征，明确了厚层黑土区不同坡型坡面侵蚀过程机制。

针对黑土地“变瘦”问题，探明了肥沃耕层肥力形成机理，阐明了保护性耕作增碳固氮的生物机制，揭示了秸秆原位腐解的限制性因素，研发了基于微生物酶制剂的秸秆腐解促进剂，推动了秸秆由田间自然缓慢腐解向人为调控快速腐解的转变，发现厚壁组织和维管束的降解是秸秆原位还田的限制因素，为降解菌和降解酶的筛选和人工设计提供了依据。

针对黑土地“变硬”问题，研究了免耕改善土壤结构和消减犁底层紧实的机制。分析结果显示，长期垄作导致耕层之下（20 厘米左右）形成了犁底层，土壤容重变化范围在 1.51 ~ 1.58 克/立方厘米；长期免耕处理则表现出相对较低的土壤容重，变化范围在 1.41 ~ 1.44 克/立方厘米。

3. 将高新技术用于黑土地保护与利用实践

优质水稻分子育种技术试验获得成功。在国内率先创建了高能重离子束辐照粳稻“少而精”诱变育种技术，开辟了一条新的高效的水稻育种新途径。应用高能重离子束辐照诱变技术相继培育出水稻新品种“东稻 122”“东稻 211”“东稻 275”“东稻 812”“东稻 862”，并通过了吉林省农作物品种审定委员会审定。2021 年 10 月在苏打盐碱典型稻区一大安市叉干镇，“东稻 122”实收测产平均产量为 632 公斤/亩，比当地主推品种增产 10.6%。

突破了大豆分子设计育种技术应用瓶颈。分子设计选育的大豆品种陆续问世，并成功选育出耐盐碱大豆品种。近年来，利用分子设计育种平台培育高产、高油酸、高油和抗盐碱品种共计 14 个，2021 年审定的“东生 118”在轻中度盐碱地种植 300 亩，亩产 240.85 公斤，较当地主栽品种增产 36.4%，被列为“国家大豆科技自强行动”吉林省主推耐盐碱品种。目前，该品种已在示范区周边推广 5 万亩。“东生 37 号”大豆品种，配套小垄密植栽培、叶面肥配施、肥沃耕层构建等技术，在第三积温带 396 亩示范地块实收产量达到了 253.13 公斤/亩，创造相同水热条件下大豆产量新高。

完成智能农机与装备样机试制与试验调试。2021 年，组织研发团队完成 200 马力新能源无人驾驶拖拉机首台样机试制和下线调试。样机根据第三代智能农机技术体系定义进行设计，整车电控系统具备电控转向、电控刹车、电控换挡、电控四驱以及监控车辆运行状态并采集记录信息等功能，预留多机协同通信接口，无人驾驶系统定位导航精度 ≤ 2.5 厘米。同时，还研制了包括拖拉机、免耕播种机、联合整地机等 6 款符合黑土地保护需求的清洁能源智能化无人驾驶农机成套装备。

（二）黑土地保护技术重大应用示范

中国科学院黑土粮仓科技会战，针对不同类型区黑土地退化问题，

兼顾地形地貌、水热条件、种植制度等，在东北黑土区建设了7个示范区，将“用好养好”黑土地关键技术示范区集成并示范，向周边地区辐射推广。示范区空间分布如图6-1。

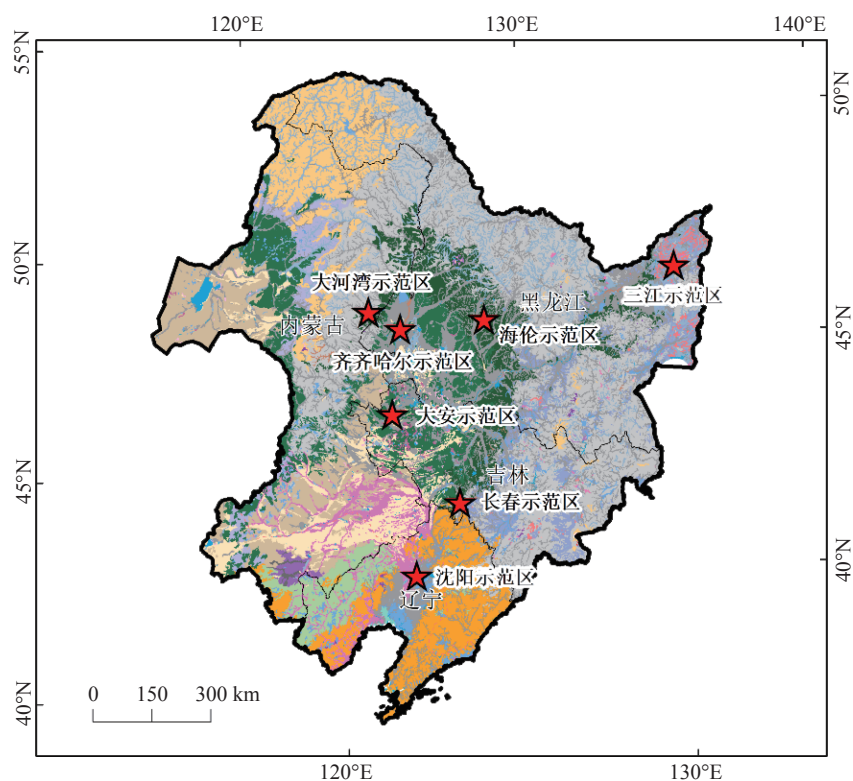


图 6-1 中国科学院黑土粮仓科技会战 7 个示范区分布图

1. 厚层黑土保育与产能高效提升海伦示范区

海伦示范区位于松嫩平原腹地的海伦市，核心示范区建设面积 1.2 万亩，辐射松嫩平原中北部 32 个县（市、区）。示范区针对松嫩平原中北部中厚层黑土区气候冷凉和水土流失等限制粮食产能增效的突出问题，研究集成厚层黑土保育与粮食产能协同增效的系统解决方案并示范推广。示范区内土地集中连片，适于大机械作业和规模化生产，作物以玉米、水稻和大豆为主，是全国重要优质商品粮生产基地。

2021 年示范区主推有机物料深混还田肥沃耕层构建技术，能够打

破犁底层、增加耕作层厚度，实现有机物料全耕层补给，有效提高黑土层中养分和水分库容（图 6-2）。本年度该技术模式在哈尔滨市、绥化市和黑河市等地推广应用 1620 万亩，实现了土壤耕作层厚度增加 12 厘米，耕层土壤有机质保持稳定，作物产量提高了 10.2% 的效果。“龙江模式”被写入《国家黑土地保护工程实施方案（2021—2025 年）》。坡耕地区域黑土地保护以变地表径流为地下导排，消除或削弱水的冲刷确保不再形成新的侵蚀沟为核心开展侵蚀沟修复技术集成，在绥化市修复侵蚀沟 35 条（图 6-3）。秸秆填埋侵蚀沟复垦技术入选了 2021 年度水利部成熟成果推广清单。



图 6-2 黑土地保护利用“龙江模式”关键作业环节



图 6-3 黑土地秸秆填埋侵蚀沟修复技术

2. 薄层退化黑土保育与粮食产能提升长春示范区

长春示范区核心区位于吉林省梨树县、农安县、公主岭市和东辽县，示范建设面积 2.3 万亩，辐射吉林省玉米种植区。示范区针对土壤耕层变薄、有机质含量下降等退化问题，组装集成保护性耕作、秸秆还田、生态修复、种养循环等关键技术，在吉林省玉米产区示范推广，打造以薄层退化黑土区地力提升、粮食稳产高产、农业可持续发展三大技术体系为核心的农业创新发展模式。示范区辐射推广范围包括吉林省玉米产区。

2021 年示范区主推保护性耕作“梨树模式”四大主体技术体系，即秸秆覆盖宽窄行免耕技术、秸秆覆盖垄作少免耕技术、秸秆覆盖宽窄行条耕技术、秸秆覆盖少免耕滴灌技术（图 6-4）。通过技术应用示



图 6-4 秸秆覆盖宽窄行条耕与少免耕滴灌技术

范，示范区土壤抗旱保水性增强，典型地块耕层厚度和土壤有机质保持稳定，梨树县高家村多年秸秆全量覆盖还田地块创造了连续4年超吨粮的记录，在双辽、东丰、舒兰等县（市）示范玉米增产达6~10%。相关技术适宜于干旱半干旱、风蚀严重、土壤有机质含量低、黑土层薄的区域。作为东北四省区适宜区域主推的耕作方式，2021年吉林省实施保护性耕作超过2800万亩，发挥了很好的示范带动作用，梨树县、双辽县成为保护性耕作的典型示范县。

3. 智能化农机关键技术集成与产业化应用大河湾示范区

大河湾示范区位于内蒙古自治区呼伦贝尔市扎兰屯市大河湾农场，核心示范区建设面积3万亩，辐射大兴安岭东南麓地区。示范区针对大兴安岭东南麓地区黑土土层薄、低温冷凉，春旱秋涝，风蚀水蚀严重等退化问题，集成智能农机、无人化作业及保护性耕作等技术，探索构建“数字化决策+智能化精准执行+针对性保护性耕作”为核心的黑土地保护“大河湾模式”，创制黑土地智能农机精准作业应用系统，将大河湾打造成黑土地保护与产业融合发展的现代化农业示范标杆与典范。

2021年示范区将信息技术、智能装备技术与传统种植业充分融合，初步构建了“种植前地块级精准体检—种植中全程数字化信息采集—专家系统实时处方分析—机械化智能化精准执行”的现代农业新范式。开发出了土壤养分、墒情、长势等一系列的算法和模型库，反演出大河湾16.8万亩耕地、251个地块3大类15个小类的的数据，并根据相关标准进行了地块评分与等级划分；基于人工智能等技术建立了作物识别、长势分析、病虫害分析等算法模型库，并建立了专家决策系统，可实现地块级农事的实时数据收集与农事建议指导；改造农场传统柴油动力农机1000余台，实现农机位置跟踪、计亩统计、油耗监测、深耕深松监测等功能（图6-5），改造后的农机整体作业效率提升5%以上，全年完成作业面积140余万亩；基于自主研发的清洁能源全程无人驾驶智能农机“鸿鹄”T30和“鸿鹄”T150，结合条耕机、免耕播种机



图 6-5 传统柴油动力农机智能化改造与管理大数据平台

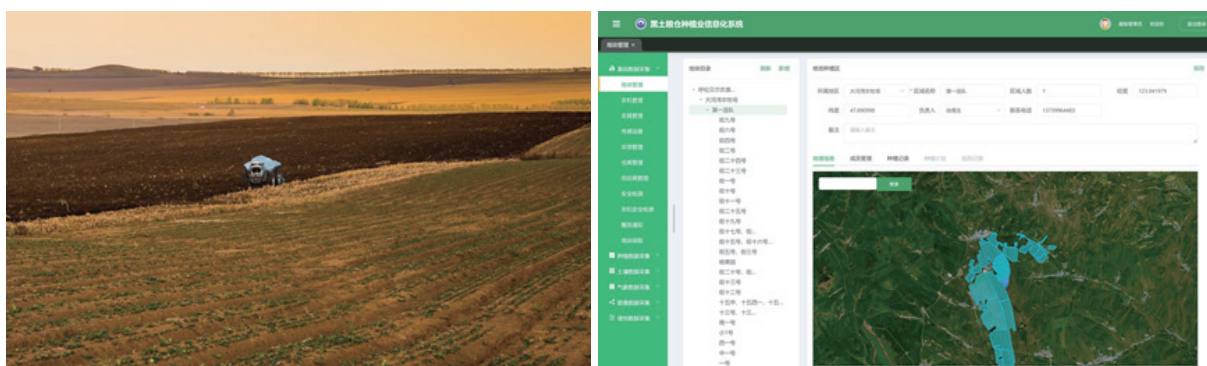


图 6-6 清洁能源无人作业智能农机“鸿鹄 T150”作业实景

等保护性耕作农机具进行了无人作业示范，无人化示范区域内亩均人工减少 60% 以上（图 6-6）。“大河湾模式”对大河湾农场现有的生产、管理、决策体系做出了全面的提升，大大提高了农场工作效率。

4. 盐碱地生态治理与高效利用大安示范区

大安示范区坐落在吉林省西部的白城和松原地区，核心示范区建设面积 2.4 万亩，辐射吉林西部和内蒙古东部的苏打盐碱地集中分布区。该区域是黑土区重要的商品粮基地和畜产品生产基地和黑土带的重要生态屏障区，同时也是黑土区增产潜力最大区域。示范区重点针对盐碱地高效利用问题，打造盐碱地以稻治碱改土增粮模式、盐碱旱田改良及其高效利用模式、盐碱草地生产力提升与生态屏障构建模式、盐碱湿地资源利用与生态功能提升模式。



图 6-7 喷淋洗盐 + “小麦 - 燕麦草” 一年两季创新种植模式

2021 年示范区集成酸性磷石膏施用、覆沙压碱、有机物料还田等关键技术，消减降低土壤盐碱障碍，培肥地力，取得明显成效。以稻治碱改土增粮模式应用示范，重度盐碱地水稻产量达 417.0 公斤 / 亩，而对照仅为 65.4 公斤 / 亩；轻度盐碱地水田水稻实现 625.6 公斤 / 亩的高产。耐盐碱粳稻新品种“东稻 122”入选 2021 年吉林省农业主导品种，“东稻 862”获得全国优良食味粳稻品评一等奖。同时，盐碱地以稻治碱改土增粮关键技术等 4 项技术被列入吉林省农业主推技术。此外，重度盐碱地旱田玉米产量达到 338 ~ 428 公斤 / 亩，土壤 pH 值平均下降 0.5 个单位。喷淋洗盐 + “小麦 - 燕麦草”一年两季创新种植模式，两季作物累计经济效益较传统玉米和杂粮杂豆提高 35 ~ 40%，该模式 2021 年已在吉林西部风沙盐碱地辐射示范近万亩（图 6-7）。以上相关技术模式已在吉林省西部推广 300 余万亩。

5. 水稻土和白浆土质量与产能提升三江示范区

三江示范区位于三江平原腹地，核心示范区建设面积 2 万亩，辐射整个三江平原。示范区针对三江平原地下水位季节性下降、土壤障碍严重、低温冷凉、种肥药水投入粗放等问题，通过建立天一空一地多要素立体监测与智能感知技术体系，集成示范水土资源高效利用、白浆土障

碍消减、寒地粳稻抗逆丰产增效、黑土地保护与智慧农业融合发展等关键技术，为三江平原土壤质量与产能提升提供系统解决方案。

2021 年示范推广了水田高效节水灌溉、白浆土心土培肥机械与改良剂、基质板育秧、秸秆快速腐解、变量施肥、坡耕地等高种植等 10 余项关键技术（图 6-8）。白浆土机械改土技术以物理手段打破障碍白浆层，破除作物生长物理障碍因子。过去五年，在 853 农场、宝清县、抚远市、同江市和 854 农场等地旱田推广面积累计约 10 万亩，实现增产 10%。变量施肥技术体系包括田块尺度时空大数据获取、基于人工智能算法的精准管理分区与处方图生成、变量施肥农机与智能管控平台 APP 等全链条技术流程。过去三年，在佳木斯市、双鸭山市、北大荒农垦集团东部四个分公司的 10 个农场及合作社，累计推广 200 万亩，实现减肥增产 5 ~ 15%。



图 6-8 白浆土心土培肥与绿色增产增效技术

6. 退化黑土地地力恢复与产能提升沈阳示范区

沈阳示范区位于辽河平原，分别在辽宁省昌图县、阜蒙县和沈阳沈北新区建立示范基地，核心示范区面积 2.5 万亩，辐射辽宁全境。示范区针对黑土地南部土壤瘠薄、用养失调和水肥矛盾突出等问题，发展绿色生态循环农业技术体系，通过示范推广旱地土壤保育和产能提升模式、风蚀阻控与节水高效农业模式和稻作农业标准化种植与提质增效模式，打造辽宁现代农业样板。

2021 年示范区主推的玉米秸秆覆盖保护性耕作技术，通过集成覆盖免耕、配方施肥、病虫害防治等关键技术，实现秸秆资源有效利用与土壤生产和生态功能提升（图 6-9）。2021 年该技术在铁岭、阜新和朝阳等地累计推广 305 万亩。通过应用该技术，昌图核心示范区蓄水量增加 10%，肥料减施 16%，作业成本降低 8%，玉米平均增产 50 公斤 /



图 6-9 玉米秸秆覆盖保护性耕作技术现场图

亩。阜蒙核心示范区秸秆覆盖遏制了 40% 土壤风蚀量。沈北核心示范区开展的水稻机插秧同步侧深施肥技术，将肥料呈带状施于水稻根侧 3~5 厘米土壤中，实现了精准定量、靶向施用，达到减肥增效目标，被列为辽宁省 2021 年主推技术。该技术在沈北核心示范区应用后，土壤速效养分提升 10%，作物增产 5%，肥料减施 10%。

7. 黑土粮仓全域定制齐齐哈尔示范区

齐齐哈尔示范区位于黑龙江省松嫩平原腹地，核心示范区建设面积 10 万亩，辐射整个齐齐哈尔市。示范区针对黑土退化类型多样、障碍性因子多、农业效益不高等问题，组装集成农艺农技、装置装备以及智慧决策等关键核心技术，建立黑土地健康调控、保育增效、多源增碳、乡村振兴四大技术体系，依托“星—空—地—网”立体监测系统，构建大数据与人工智能驱动的全域定制平台，创制“分区施策、依村定策、一地一策”黑土粮仓全域定制决策系统，形成用好养好管好黑土地的中国科学院全域定制模式，为我国黑土地保护与利用提供可复制可推广系统解决方案。

2021 年示范区集成示范以次表土层保护性增碳、绿色农业种植管理、两免一深松、种养循环、秸秆还田、减肥减药及粮饲间作等技术 10 余项。“次表土层保护性快速增碳技术”利用自主研发的保护性有机肥深施机，在免耕措施下将有机肥（含水量 $\leq 50\%$ ）定向施入薄层黑土底层与沙（黄）土接触界面处，建立“海绵层”，促进黑土层向深层快速增厚，有效提高薄层黑土保水性，可快速提升冷凉区风沙薄层黑土次表土层土壤有机质 0.3 克/千克，产量提升 30~50 公斤/亩，土壤含水量提升 20%（图 6-10）。“两免一深松”保护性耕作技术集成秋季深松、春季秸秆二次粉碎、秸秆覆盖免耕播种、苗期分层浅松技术，第一年秋季玉米收获后不进行土壤耕作，玉米秸秆地表覆盖还田，翌年春季采取免耕播种；第二年秋季玉米收获后进行秸秆粉碎覆盖还田，翌年春季采取免耕播种；第三年秋季玉米收获后实施深松作业，玉米

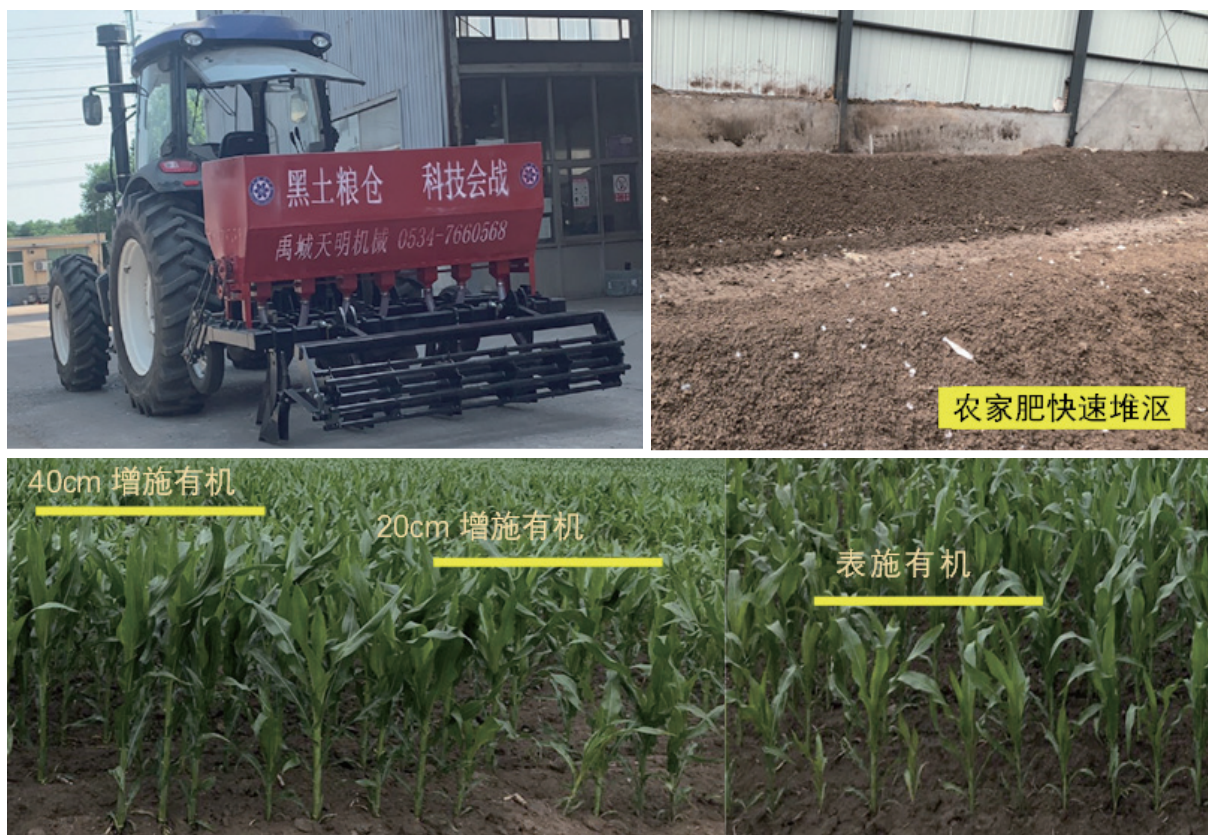


图 6-10 次表土层保护性快速增碳技术示意图

秸秆覆盖还田，翌年春季采取免耕播种；第四年开始新一轮的轮耕周期，三年一轮，不改变耕层结构，利用隔两年深松技术，打破犁底层，降低土壤容重，改善团粒结构，土壤含水量增加 2%~4%，容重降低 0.1 ~ 0.15 克 / 立方厘米，当季秸秆腐解率 75% 以上。上述技术 2021 年累计应用推广 390 万亩。

主要参考资料

1. 国家统计局.《中国统计年鉴 2021》,《中国农村统计年鉴 2021》, 中国统计出版社
2. 原农业部、国家发展改革委、财政部、原国土资源部、原环境保护部、水利部.《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030 年)》
3. 农业农村部、国家发展改革委、财政部、水利部、科技部、中科院、国家林草局.《国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025 年)》
4. 农业农村部.《全国高标准农田建设规划(2021—2030 年)》
5. 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)》
6. 中国气象局.国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(1961—2020)
7. 中国科学院资源环境科学数据中心. 1:10 万土地利用/土地覆盖数据(2020), 30 米 SRTM DEM 数据
8. 中国科学院、国家林业和草原局.《三北防护林体系建设 40 年综合评价报告》, 2018 年 12 月
9. 中国科学院战略性先导科技专项(A 类)“黑土地保护与利用科技创新工程”(XDA28000000) 2021 年度汇总数据, 2022 年 2 月
10. 农业农村部政策改革司.《中国农村政策与改革统计年报(2020)》, 中国农业出版社, 2021 年 8 月
11. 原环境保护部、原国土资源部.《土壤污染状况调查公报》, 2014 年 4 月
12. 黑龙江省统计局.《黑龙江统计年鉴 2021》, 中国统计出版社
13. 吉林省统计局.《吉林统计年鉴 2021》, 中国统计出版社
14. 辽宁省统计局.《辽宁统计年鉴 2021》, 中国统计出版社

15. 内蒙古自治区统计局.《内蒙古统计年鉴 2021》，中国统计出版社
16. 黑龙江省生态环境厅.2020 年黑龙江省生态环境状况公报，2021 年 6 月
17. 吉林省生态环境厅.2020 年吉林省生态环境状况公报，2021 年 6 月
18. 辽宁省生态环境厅.2020 年辽宁省生态环境状况公报，2021 年 6 月
19. 内蒙古自治区生态环境厅.2020 年内蒙古自治区生态环境状况公报，2021 年 6 月
20. 黑龙江省水利厅.黑龙江省水资源公报（2000-2020 年）
21. 吉林省水利厅.吉林省水资源公报（2000-2020 年）
22. 辽宁省水利厅.辽宁省水资源公报（2000-2020 年）
23. 内蒙古自治区水利厅.内蒙古自治区水资源公报（2000-2020 年）
24. 国家林业局.中国森林资源报告—第八次全国森林资源清查.北京：中国林业出版社，2019
25. 国务院第三次全国农业普查领导小组办公室、国家统计局.《中国第三次全国农业普查综合资料》.北京：中国统计出版社，2019
26. 东北区域气象中心.东北区域气候变化评估报告：2020 决策者摘要，2021 年 10 月.

致 谢

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、中国科学院计算技术研究所、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院微生物研究所、中国科学院微电子研究所、中国科学院文献情报中心、国家地球系统科学数据中心、中国科学院资源环境科学数据中心等单位为本报告提供了相关数据与资料支持，报告引用了多位学者的研究成果，在此一并表示感谢！

《东北黑土地保护与利用报告》编写组

总 顾 问 葛全胜
学术总指导 张佳宝 姜 明
编写组组长 廖晓勇

主要参编人员（按姓氏笔画排名）

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 万小铭 | 王介勇 | 方海燕 | 付晶莹 | 朱会义 |
| 刘子辰 | 刘正佳 | 刘焕军 | 李 宇 | 李富佳 |
| 李泽红 | 李禄军 | 李 静 | 杨久春 | 杨雅萍 |
| 邹文秀 | 张亦涛 | 张兴义 | 张丽莉 | 陈海华 |
| 侯瑞星 | 姚启星 | 贾小旭 | 徐新良 | 高江波 |
| 郭明明 | 黄迎新 | 梁爱珍 | 董金玮 | 廖晓勇 |