
FASE 亮文解读 | 中国农大张卫峰教授团队—华北平原冬小麦—夏玉米可持续生产实现产量潜力的路径研究

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36795.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

FASE 亮文解读 | 中国农大张卫峰教授团队—华北平原冬小麦—夏玉米可持续生产实现产量潜力的路径研究。论文标题：Pathways for sustainable production to approach the potential yield of winter wheat and summer maize on the North China Plain

期刊：Frontiers of Agricultural Science Engineering

作者：Peng NING, Xiaojie FENG, Zhanhong HAO, Songlin YE, Dongyu CAI, Kaiye ZHANG, Xinsheng NIU, Weifeng ZHANG

发表时间：15 Sept 2025

DOI：10.15302/J-FASE-2025618

微信链接：[点击此处阅读微信文章](#)

绿色增产增效技术

Green Technology for High Yield and Nutrient Use Efficiency

专辑文章介绍

· 第十篇 ·

论文ID

Pathways for sustainable production to approach the potential yield of winter wheat and summer maize on the North China Plain

华北平原冬小麦—夏玉米可持续生产实现产量潜力的路径研究

文章类型：Review

发表年份：2025年

第一作者：宁鹏

通讯作者：宁鹏，张卫峰

Email: ningp@cau.edu.cn, wfzhang@cau.edu.cn

作者单位：中国农业大学资源与环境学院，国家农业绿色发展研究院，养分资源高效利用全国重点实验室

Cite this article：

Peng NING, Xiaojie FENG, Zhanhong HAO, Songlin YE, Dongyu CAI, Kaiye ZHANG, Xinsheng NIU, Weifeng ZHANG. Pathways for sustainable production to approach the potential yield of winter wheat and summer maize on the North China Plain. *Front. Agr. Sci. Eng.*, 2025, 12(3): 545-558 DOI:10.15302/J-FASE-2025618

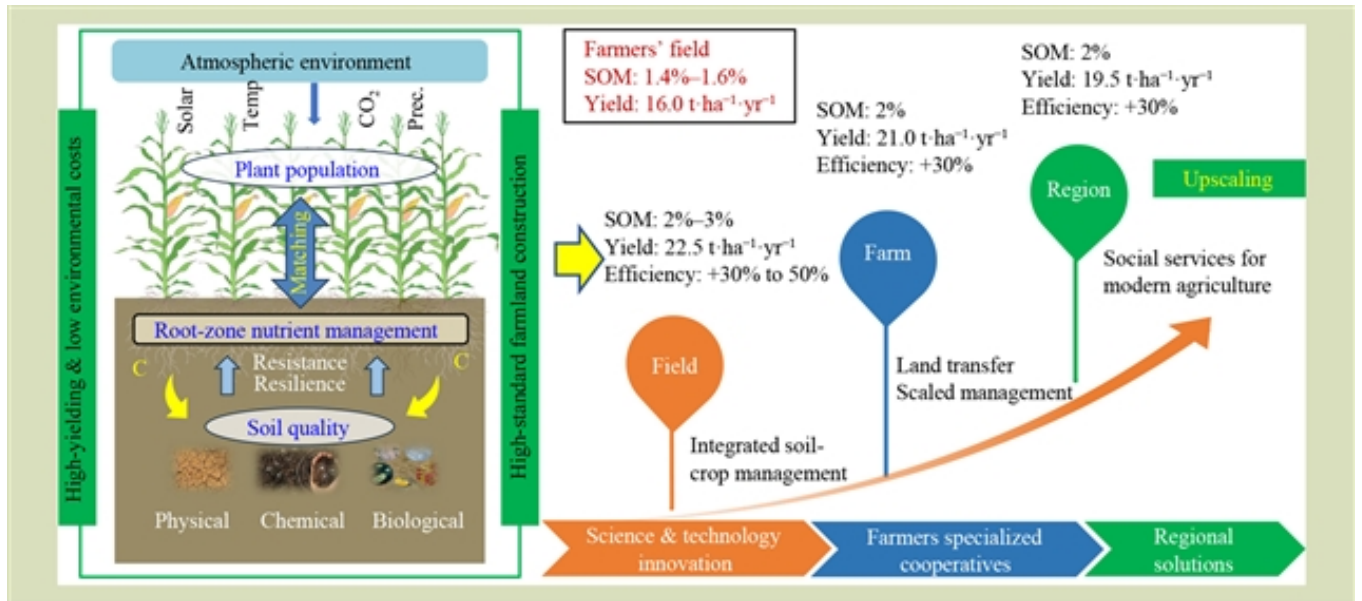
· 文章摘要 ·

在气候变化背景下，以更少投入实现更高产量，尤其是对小农户而言，是一项重大挑战。区域尺度的研究表明，土壤-作物综合管理可同步提高作物产量与养分利用效率。然而，目前仍缺乏能同时提升土壤质量、作物产量以及水肥资源效率的多目标集成技术，而这正是可持续作物生产的核心诉求。本文提出了华北平原冬小麦-夏玉米一年两熟系统实现 $22.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 年产能的可持续生产路径，系统梳理了极端气候事件、土壤质量、资源利用效率及社会经济因素等关键制约。文章强调，通过优选高产品种、精准水肥调控、改良土壤与土地管理，可在增产的同时减少资源投入，并兼具减排固碳效益。强化可持续作物生产需深入解析植物-土壤-气候-管理互作机制，推动跨学科创新及多主体协同，为农业可持续发展提供支撑。

· 文章亮点 ·

1. 可持续作物生产是实现农业可持续发展的变革过程与战略路径。
2. 提出了华北平原冬小麦-夏玉米轮作系统可持续生产的技术路径与实现方案。
3. 可持续作物生产亟需深化对植物-土壤-气候-管理互作机制的理解。
4. 强化可持续作物生产离不开跨学科研究创新与多主体协同参与。

· Graphical abstract ·



(可持续生产新范式：以华北平原冬小麦-夏玉米轮作为例)

· 研究内容 ·

引言

在全球变化和资源环境双重压力下，中国农业亟需由高投入—低效率向少投入—高效率转型。过去40年，化肥用量增长4倍，粮食仅增1.2倍，氮肥利用率持续下降；2030年谷物需求将再增26%，而华北平原小麦、玉米产量仅达遗传潜力的53%—66%。本区年产最高纪录达28.1 t·ha⁻¹，农户平均仅12.8 t·ha⁻¹，差距巨大。本文瞄准22.5 t·ha⁻¹的可持续产量目标，系统解析气候极端、土壤退化、水肥浪费与老龄化等制约，提出以优良品种—精准水肥—健康土壤—智能农机—多主体协同为核心的绿色增产路径，为国家粮食安全与农业绿色转型提供科学方案。

华北平原粮食生产现状与潜力

在耕地资源约束下，提高单产成为保障粮食需求的关键。华北平原冬小麦-夏玉米轮作系统具有显著高产潜力，部分区域已实现22.5 t·ha⁻¹的年产量目标，相当于该地区最高纪录 (28.1 t·ha⁻¹) 的80%。然而大部分地区仍存在显著产量差距。实现该轮作系统的大规模生产潜力对保障国家粮食供给具有战略意义。该地区农业生产同时面临地下水超采、土壤质量退化、化肥过量施用及气候变化等多重挑战，亟需通过土壤-作物系统综合管理推动农业向可持续方向转型。

华北平原可持续作物生产的限制因素

1. 极端气候事件

华北平原频繁遭遇倒春寒、干旱和洪涝等极端气候，严重制约作物高产稳产。开花期低温与灌浆期高温是导致小麦减产的主因。气候变暖使冬小麦生育期缩短，夏玉米生育期则以0.21 d·yr⁻¹速率延长。农户为保小麦而早播，导致玉米灌浆不足，全年光热资源利用效率降低。

2. 光热资源周年利用

光热水资源分配不均与作物生长周期不匹配，抑制了周年产量提升。研究确定小麦与玉米季的积温最佳分配比为0.7 (43% : 57%)。推迟玉米收获可增产8%，而提高种植密度能有效提升夏季光热利用效率。

3. 土壤条件

长期集约化耕作导致土壤碳库严重耗竭。华北平原土壤有机碳均值仅14.5 t · ha⁻¹C，不足美国均值 (43.7 t · ha⁻¹ C) 的三分之一。当SOC超过43.2 g · kg⁻¹ (玉米) 或12.7 g · kg⁻¹ (小麦) 时增产效应递减。土壤压实层平均厚达12.4 cm，亟需通过深松和有机肥改良。

4. 养分与水资源利用

农民习惯施肥量远超作物需求，通过土壤-作物系统综合管理可实现增产18% – 35%的同时减氮8.5% – 15.6%。华北水资源仅占全国3.7%，小麦季缺水达450 mm，但节水技术使灌溉水利用系数从0.573 (2000年) 提升至0.647 (2020年)。

5. 农机农艺信息融合

农机-农艺-信息三元融合是提升资源效率的关键。冬小麦"四密一疏"条播 (图1) 结合精准播种与滴灌技术，使小麦增产9% – 17%、玉米增产12% – 14%。但免耕播种质量差、水肥施用时机不当等问题仍待解决。

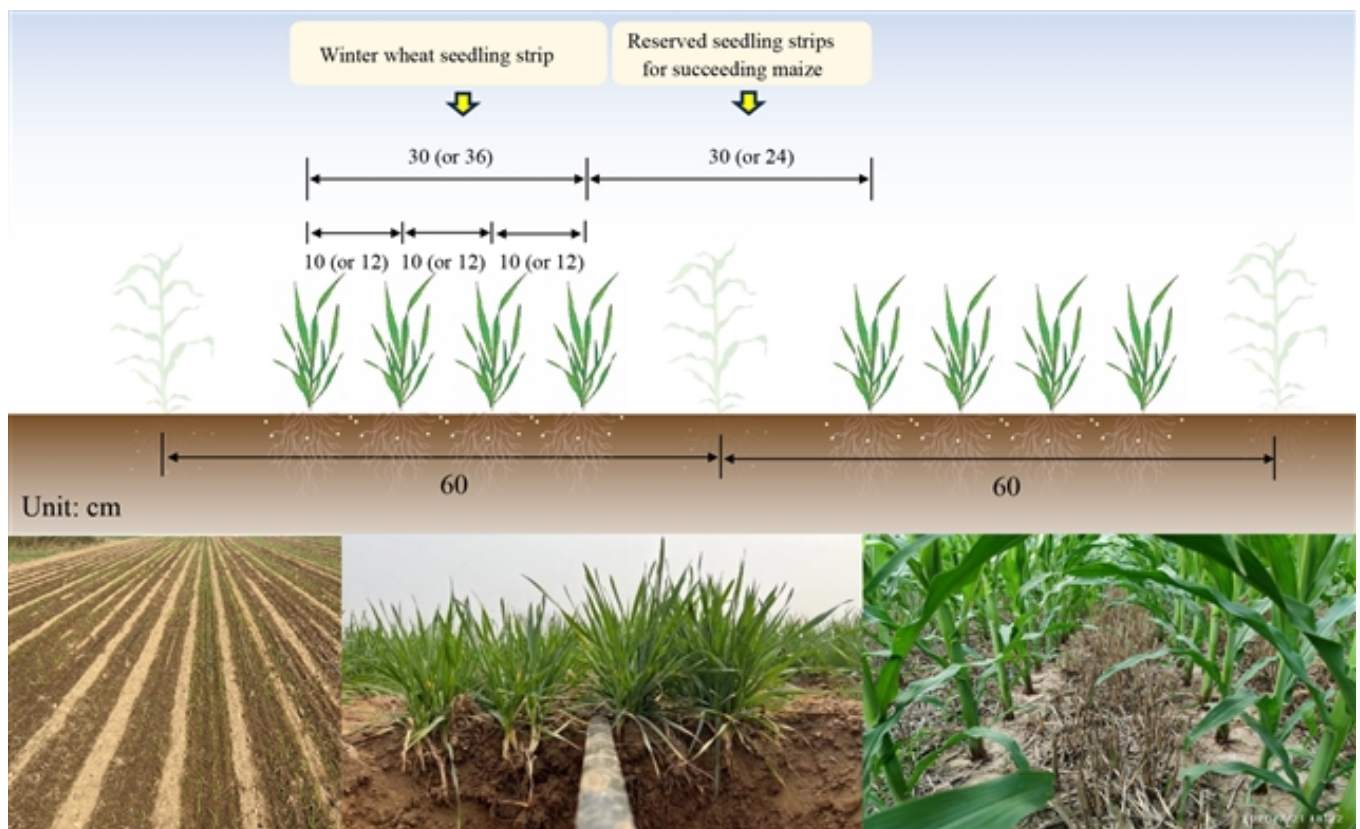


图1 华北平原冬小麦 – 夏玉米轮作四密一稀带状种植模式示意图。

6. 社会经济制约

小农经营面临劳动力老龄化与技术采纳困难。调查显示社会化服务需求与劳动力年龄呈倒U型关系。土地规模与劳动力年龄负相关，老龄化加剧土地流转阻力，制约规模经营效益。技术培训缺失与产业链增值不足共同限制了可持续发展。

华北平原可持续生产框架与解决方案

1. 消除土壤障碍，培育韧性土壤

通过35 cm深松打破土壤压实层，结合有机肥施用与秸秆还田提升土壤有机质。长期施用有机肥可提高土壤碳固存率，改善土壤结构和水肥保持能力。

2. 数据驱动的高产种植系统设计

利用历史产量数据、土壤条件和气候模式等大数据，开发定制化管理策略。集成遥感技术实现作物生长实时监测，通过数据分析评估气候变化影响，构建适应性种植系统 (图: Graphical abstract)。

3. 精准水肥管理

基于土壤测试实施精准施肥，采用滴灌和喷灌等高效节水技术。结合决策支持系统模拟不同管理情景，优化水肥施用策略，实现产量提升与资源高效利用。

4. 农机-农艺深度融合

集成GPS导航机械、无人机和传感器实时监测田间状况，通过人工智能分析提供种植、灌溉和施肥决策支持。

华北平原可持续作物规模化生产路径

1. 跨学科与跨部门研究创新

重点加强植物-土壤-气候-管理系统的交叉研究 (图: Graphical abstract)，通过连接地下根际与地上作物生产的界面研究，开发资源高效型生产系统。推动多学科融合创新，为农业绿色发展提供科技支撑。

2. 建立转型伙伴关系实现农业绿色发展

政府-企业-科研-村集体-农户共建科技小院 (STB) (图2)，形成政产学研用一站式服务平台，通过自下而上的方式连接多方利益相关者。该模式使作物产量提升7.2% – 11.4%，氮素偏生产力提高27.0% – 28.1%，有效推动技术落地应用。

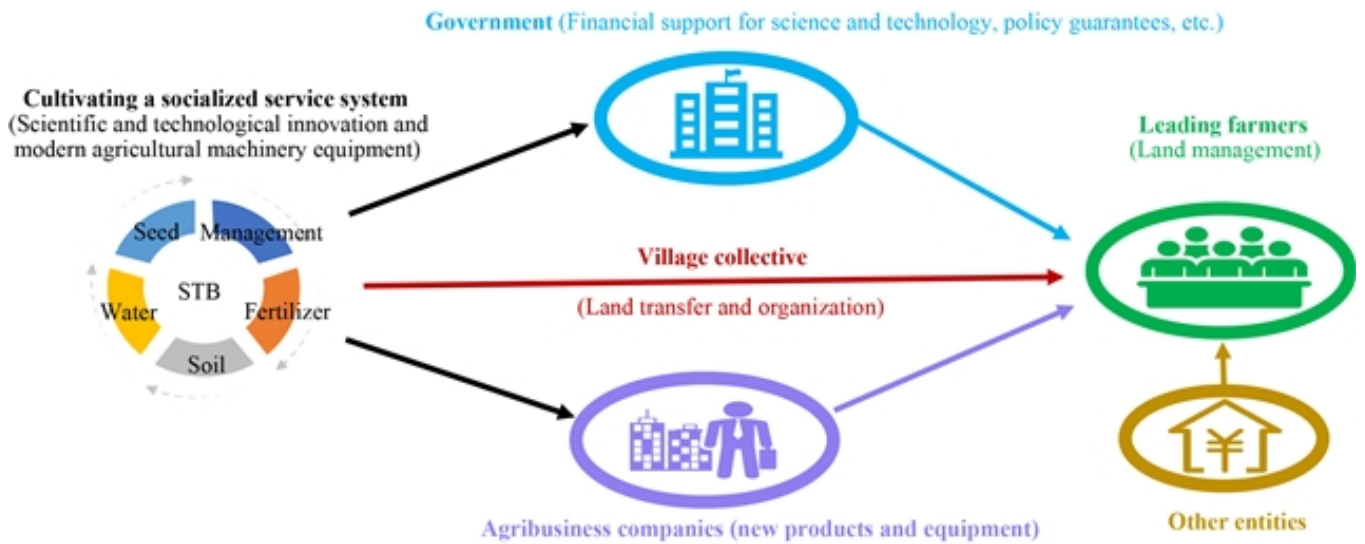


图2 科技小院 (STB) 推动农业社会化服务、支撑可持续作物生产的作用机制示意图。

3. 赋能小农户，加强可持续生产

基于288个站点-年度的田间试验证实，通过平等对话将农民反馈纳入技术设计，显著提升技术采纳率。科技小院驻村指导模式使小麦产量和氮素偏生产力分别提高7.2%和28.1%，玉米分别提高11.4%和27.0%。

4. 培育新型经营主体与社会化服务

推动小农户向家庭农场、合作社转型，发展专业化农业社会化服务。通过技术培训和服务体系创新，提升适度规模经营效益，实现降本增效与粮食安全的统一。

· 展望 ·

为实现华北平原冬小麦-夏玉米轮作系统22.5 t · ha⁻¹的可持续产量目标，需在四个关键领域协同推进：

- (1) 耕地质量提升：通过土壤改良系统性提升耕地理化生物性状，重点增加土壤有机质含量和整体肥力，构建健康可持续的土壤生态系统；
- (2) 品种创新突破：加快选育高产优质、资源高效、抗逆性强的新品种，重点培育耐旱抗盐、养分高效利用、适宜机械化作业的突破性品种；
- (3) 技术系统集成：推动优良品种与精准播种、智能水肥、绿色防控等技术的深度融合，加强农机农艺配套，提升农业生产标准化和智能化水平；
- (4) 政策服务支撑：完善农业技术推广和社会化服务体系，通过政策引导与专业培训促进绿色高产技术的广泛应用，实现科技创新与产业需求的有效对接。

《前沿》系列英文学术期刊

由教育部主管、高等教育出版社主办的《前沿》（Frontiers）系列英文学术期刊，于2006年正式创刊，以网络版和印刷版向全球发行。系列期刊包括基础科学、生命科学、工程技术和人文社会科学四个主题，是我国覆盖学科最广泛的英文学术期刊群，其中12种被SCI收录，其他也被A&HCI、Ei、MEDLINE或相应学科国际权威检索系统收录，具有一定的国际学术影响力。系列期刊采用在线优先出版方式，保证文章以最快速度发表。

中国学术前沿期刊网

<http://journal.hep.com.cn>



高等教育出版社

Frontiers Journals

- Covering the fields of natural sciences, engineering, life sciences and social sciences & humanities
- Indexed by SCI, A&HCI, Ei, MEDLINE, Scopus, etc.
- Worldwide available
- Online first publishing
- Co-published by Springer, etc.

Content available online
<http://journal.hep.com.cn>

来源：Frontiers of Agricultural Science & Engineering

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发