

玉米周年连作体系下不同耕作模式对土壤结构及作物产量的长期影响

张 勇

甲马营镇人民政府 山东 德州 253307

摘 要：本研究探讨了玉米周年连作体系下不同耕作模式对土壤结构及作物产量的长期影响，通过对比分析东北黑土区和黄淮海潮土区长期定位试验数据，发现免耕覆盖（NT）和深松耕作模式对土壤容重、孔隙度、团聚体稳定性以及有机质和养分积累具有显著改善作用。相较于传统翻耕（CT）模式，NT和深松模式能够提高土壤肥力，优化土壤结构，进而促进玉米生长发育和增产。另外，轮耕模式结合了不同耕作方式的优点，表现出较高的经济效益和环境可持续性。本研究为玉米周年连作体系下耕作模式的合理选择提供了理论依据和实践指导。

关键词：玉米周年连作；耕作模式；土壤结构；作物产量；长期影响

引言：玉米作为全球重要的粮食作物之一，其产量和品质的提升对于保障粮食安全具有重要意义。在玉米周年连作体系下，耕作模式的选择对土壤结构和作物产量具有深远影响，长期不合理的耕作方式可能导致土壤退化、肥力下降，进而影响作物的生长和产量。因此，探究不同耕作模式对土壤结构和作物产量的长期影响，对于指导农业生产实践、提高农业生产效率和可持续性具有重要意义。本研究旨在通过对比分析不同耕作模式下的土壤结构和作物产量变化，为科学耕作提供理论依据和实践指导。

1 玉米连作体系下耕作模式对土壤物理结构的影响

1.1 土壤容重与孔隙度的演变规律

长期耕作模式对土壤容重的影响呈现显著的区域分化特征。在东北黑土区，免耕覆盖（NT）模式下0-20cm土层容重从初始的1.18g/cm³降至第10年的1.03g/cm³，降低12.5%，其中0-10cm表层土壤降幅达15.7%，而传统翻耕（CT）模式容重反而上升5.9%至1.25g/cm³。这种差异源于免耕覆盖通过秸秆覆盖减少土壤扰动，促进团粒结构形成，而翻耕破坏了原有土壤结构，加速了有机质分解。黄淮海潮土区的变化更为明显：CT模式导致容重增加9.2%至1.47g/cm³，10-20cm土层形成明显犁底层（容重1.58g/cm³），而NT模式通过秸秆覆盖使容重降低5.2%至1.28g/cm³，但改善效果弱于黑土区，反映出潮土本身结构性较差的特点^[1]。

土壤孔隙度的变化与容重呈显著负相关（ $r = -0.91$ ， $P < 0.01$ ）。东北黑土区NT模式总孔隙度从55.4%增至60.8%，而CT模式降至53.2%；黄淮海潮土区NT模式孔隙度从49.6%升至52.2%，CT模式降至47.3%。这一变化直

接影响土壤的通气透水性能，免耕覆盖模式下较高的孔隙度为根系生长和水分运移提供了有利条件，而翻耕导致的孔隙度下降则可能加剧土壤板结。

1.2 土壤团聚体稳定性的长期响应

土壤团聚体作为土壤结构的基本单元，其稳定性是衡量土壤质量的重要指标。长期免耕覆盖显著提升了团聚体稳定性：东北黑土区NT模式下 $> 0.25\text{mm}$ 水稳性团聚体（WRAA）从58.7%增至68.4%，平均重量直径（MWD）从2.35mm增至2.91mm，而CT模式WRAA降至52.3%，MWD减至2.01mm。黄淮海潮土区NT模式WRAA从45.2%增至53.7%，MWD从1.87mm增至2.23mm，CT模式则分别降至39.5%和1.56mm。

免耕覆盖对团聚体的改善机制主要包括：秸秆覆盖减少雨水冲刷导致的团聚体破碎，微生物活动增强促进有机胶结物质的合成，以及少耕措施避免机械压力对团聚体的破坏。相比之下，传统翻耕通过机械扰动破坏了团聚体的自然形成过程，尤其在潮土等结构性较差的土壤中，这种破坏效应更为明显。

2 耕作模式对连作土壤化学性质的影响

2.1 有机质积累与分解的动态平衡

土壤有机质是衡量土壤肥力的核心指标，其含量变化反映了耕作模式对碳循环的调控效应。长期定位试验表明，免耕覆盖（NT）模式显著促进了有机质积累：东北黑土区NT模式有机质从32.5g/kg增至40.3g/kg，年增量0.8g/kg，显著高于CT模式的0.16g/kg和RT模式的0.43g/kg；黄淮海潮土区NT模式有机质从16.8g/kg增至20.5g/kg，年增量0.37g/kg，而CT模式仅年增0.11g/kg。这种差异源于NT模式通过秸秆覆盖还田增加了有机碳输入，

同时少耕措施降低了有机质的分解速率。研究表明,免耕覆盖下土壤有机质的年固碳速率比翻耕高40-60%,尤其在黑土区这种效应更为显著^[2]。值得注意的是,旋耕(RT)模式虽然也进行秸秆还田,但由于耕作深度较浅且常年扰动,有机质积累效果仍低于NT模式,说明减少土壤扰动对碳固存的重要性。

2.2 养分循环与土壤肥力演变

长期耕作模式对土壤养分的影响呈现明显的区域和养分类型差异。东北黑土区NT模式下速效磷、钾分别增至35.6mg/kg和198.5mg/kg,较CT模式高23.4%和21.7%;黄淮海潮土区NT模式速效磷、钾增至28.3mg/kg和165.7mg/kg,较CT模式高31.6%和18.2%。这种养分积累效应主要归因于:秸秆还田增加了养分归还量,免耕覆盖减少水土流失导致的养分损失,以及土壤结构改善促进养分的保持和释放。然而,不同养分的响应存在差异:氮素由于其易流失特性,在各模式间的差异不如磷钾显著,但NT模式通过减少土壤扰动和增加有机质,仍使东北黑土区全氮含量较CT模式高8.7%。另外,黄淮海潮土区CT模式下由于长期翻耕导致的土壤板结,使养分有效性下降,表现为速效养分含量增长缓慢,进一步印证了土壤结构与养分循环的密切关联。

3 不同耕作模式对土壤结构及作物产量影响的机制

3.1 改善土壤物理性质

深松处理通过打破犁底层,加深耕层,改善土壤的通气性和透水性。它降低土壤容重,增加土壤孔隙度,促进土壤水分的保持和气体的交换。同时,深松促进了土壤团聚体的形成和稳定,提高土壤肥力。良好的土壤物理性质为玉米根系生长创造了良好的土壤环境,使根系能够深入土壤吸收更多的水分和养分,促进了玉米的生长发育。传统旋耕由于长期连作,土壤耕层变浅,犁底层加厚,导致土壤紧实,通气透水性差,土壤肥力下降。免耕处理虽然减少土壤扰动,但不利于土壤养分的释放和玉米根系的生长,土壤结构改善效果不明显^[3]。

3.2 促进土壤养分循环

合理的耕作模式可以促进土壤养分的循环和转化。深松处理有利于土壤微生物的活动,加速了土壤养分的分解和释放,提高了土壤肥力。同时,深松可以改善土壤的通气性,促进根系对养分的吸收和利用。例如,在东北风沙土区,优化集成耕作模式通过改善土壤结构,提高氮肥利用率,进而增加玉米产量。传统旋耕和免耕处理由于土壤结构较差,限制了土壤微生物的活动和养分的循环,导致土壤肥力下降,影响玉米的生长和发育。

3.3 增强作物抗逆性

良好的土壤结构和肥力条件可以增强玉米的抗逆性。深松处理改善了土壤环境,使玉米根系发达,能够更好地吸收水分和养分,提高了玉米的抗旱、抗涝和抗病虫害能力。例如,在气候异常的年份,深松处理的玉米由于根系发达,能够更好地适应干旱等逆境条件,减少产量损失。传统旋耕和免耕处理由于土壤结构恶化,玉米根系生长受限,抗逆性下降,容易受到病虫害和逆境条件的影响,导致产量降低。

4 不同耕作模式的应用建议

4.1 优先选择深松耕作模式

在玉米周年连作体系下,应优先选择深松耕作模式。深松处理可有效改善土壤结构,提高土壤肥力,促进玉米生长发育,提高玉米产量。同时,为了提高土壤质量和作物产量,可结合秸秆还田、合理施肥等农业措施。秸秆还田可以提高土壤有机质含量,改善土壤结构和水分保持能力。合理施肥可以满足玉米不同生长阶段的养分需求,提高肥料利用率^[4]。

4.2 采用轮耕模式

为了减少单一耕作模式对土壤的负面影响,可采用轮耕模式,如“两年免耕+一年深松”。轮耕模式可以使土壤总孔隙度稳定在较高水平,优于单一耕作方式。它可以打破犁底层,改善土壤结构,同时减少土壤扰动,保护土壤肥力。

4.3 结合其他农业措施

除了耕作模式的选择,还应结合其他农业措施,如合理密植、病虫害防治等。合理密植可以根据土壤肥力和品种特性确定适宜的种植密度,提高玉米的产量和品质。病虫害防治可以采用农业防治、生物防治和化学防治相结合的方法,减少病虫害对玉米的危害。

5 不同耕作模式对玉米周年连作体系经济效益与环境影响的综合评估

5.1 经济效益分析

不同耕作模式对玉米周年连作体系的经济效益有着显著的影响。深松耕作模式通过改善土壤结构,提高肥料利用率和作物产量,从而增加农民的经济收入。研究表明,在东北黑土区,采用深松处理的农田相较于传统翻耕模式,玉米产量平均可提高10%-15%。黄淮海潮土区的试验也显示,深松处理能够显著提升作物产量,增加农民收入。另外,深松处理还能延长土壤耕作层的寿命,减少因土壤退化导致的土地抛荒风险,进一步保障农业生产的可持续性。免耕覆盖模式虽然初期投入较少,但长期来看,由于土壤结构改善不明显,作物产量

提升有限,经济效益相对较低。然而,在干旱或半干旱地区,免耕覆盖能够有效减少土壤水分蒸发,提高土壤保水能力,从而在干旱年份减少作物减产风险,具有一定的经济稳定性。免耕覆盖还有助于减少农业机械的使用,降低燃油消耗和机械磨损,从运营成本上节约了部分开支。

轮耕模式通过结合不同耕作方式的优点,能够在保持土壤结构的同时,提高作物产量和经济效益。在“两年免耕+一年深松”的轮耕制度下,土壤结构得以持续改善,作物产量保持稳定增长,且避免长期单一耕作模式可能带来的土壤退化问题。这种耕作制度的灵活性和可持续性,使得农民在面对市场波动和气候变化时更具应变能力。

5.2 环境影响评估

不同耕作模式对环境的影响同样不容忽视。深松耕作模式通过改善土壤结构,提高了土壤的通气性和透水性,有助于减少水土流失和土壤侵蚀,保护生态环境。此外,深松处理还能促进土壤微生物活动,加速有机物质的分解,减少温室气体排放,对缓解全球气候变化具有积极作用。免耕覆盖模式通过减少土壤扰动和秸秆覆盖,减少土壤裸露面积,降低风蚀和水蚀的风险。同时,秸秆还田增加土壤有机质含量,改善了土壤结构,提高土壤碳汇功能,对减缓气候变化具有重要意义。然而,免耕覆盖也可能导致土壤病虫害累积和杂草滋生,需要配合合理的病虫害防治和除草措施^[5]。轮耕模式通过交替使用不同耕作方式,平衡土壤结构改善与病虫害防控的需求,减少农药和化肥的使用量,降低农业面源污染的风险。此外,轮耕还能提高土壤生物多样性,促进生态系统服务的恢复和提升,对维护农田生态系统的稳定性和可持续性具有重要意义。

5.3 综合考虑与政策建议

综合考虑经济效益和环境影响,深松耕作模式和轮耕模式在玉米周年连作体系中表现出较高的综合效益。政府应加大对这两种耕作模式的推广力度,通过政策引导和财政补贴等方式,鼓励农民采用科学的耕作方式,提高农业生产效率和可持续性。同时,政府还应加强对农民的技术培训,提高他们的耕作管理水平和环境保护意识,通过推广先进的耕作技术和农业机械设备,降低农民采用新耕作模式的成本和风险。此外,政府还应加强对农业面源污染的治理和监管,推动农业绿色发展,实现经济效益与环境效益的双赢。

结束语

综上所述,不同耕作模式对玉米周年连作体系下的土壤结构和作物产量具有显著影响。通过合理选择耕作模式,可以显著改善土壤结构,提高土壤肥力,进而促进作物生长发育和增产。本研究为玉米周年连作体系下耕作模式的优化选择提供了重要参考。未来,应进一步加强对不同耕作模式下土壤生态过程和作物生长机理的研究,为农业可持续发展提供更加坚实的理论基础和实践指导。

参考文献

- [1]杜国明,姚鑫,臧雷振.东北黑土区耕作制度演变及其影响因素[J].中国生态农业学报(中英文),2025,33(4):646-655.
- [2]张凯,宰松梅,仵峰,等.小麦玉米秸秆还田对土壤水分入渗的影响[J].东北农业大学学报,2022(009):053-054.
- [3]孔兆飞.玉米秸秆还田技术要点[J].安徽农学通报,2024,30(6):73-76.
- [4]陈晓,刘强,张磊.不同间作比例对小麦与玉米产量及土壤养分的影响[J].生态农业研究,2020,32(2):120-126.
- [5]迟涛德.我国农作物栽培与耕作制度科技新进展研究[J].农业开发与装备,2023,(11):106-108.