

水土保持耕作对黑土坡耕地玉米田土壤碳平衡的影响

张海龙

新疆花城勘测设计研究有限责任公司 新疆 可克达拉 835900

摘要：本文研究了水土保持耕作对黑土坡耕地玉米田土壤碳平衡的影响，对比了传统翻耕与免耕、覆盖耕作、等高耕作等方式。结果发现，水土保持耕作能显著提高土壤碳输入，减少碳输出，其中覆盖耕作和免耕效果尤为显著。研究还深入探讨了水土保持耕作影响土壤碳平衡的机制，主要涉及改善土壤环境、促进玉米生长、减少水土流失等方面。该研究为黑土区坡耕地土壤碳管理提供了重要科学依据，有助于推动农业可持续发展。

关键词：黑土区；坡耕地；水土保持耕作；土壤有机碳

1 黑土坡耕地玉米田水土保持耕作与碳循环相关理论

1.1 水土保持耕作相关理论

水土保持耕作是一种旨在减少水土流失、提高土壤肥力和维持生态平衡的耕作方式。它强调在耕作过程中减少对土壤的扰动，保持土壤的自然结构和覆盖物，以增加土壤的保水保肥能力。这种耕作方式特别适用于黑土坡耕地，因为黑土具有有机质含量高、耕作层疏松但底层粘重的特性，容易受到水土流失的威胁。水土保持耕作的核心理论包括土壤侵蚀控制、土壤结构保持和土壤肥力提升。土壤侵蚀控制通过合理的耕作措施，如等高耕作、梯田建设等，减少水流对土壤的冲刷，防止土壤流失。土壤结构保持则通过减少耕作次数和深度，保持土壤团聚体和有机质，从而提高土壤的稳定性和通气性。土壤肥力提升则通过增加有机物质投入、合理施肥等措施，提高土壤的养分含量和微生物活性。

1.2 土壤碳平衡理论

土壤碳平衡是指土壤中碳的输入与输出之间的动态平衡。土壤碳输入主要来源于植物残体、根系分泌物、大气沉降等，而土壤碳输出则主要包括土壤呼吸作用释放的二氧化碳、水土流失带走的碳等。土壤碳平衡对于维持土壤肥力和全球碳循环具有重要意义。在黑土坡耕地玉米田中，土壤碳平衡受到多种因素的影响，包括气候条件、土壤类型、耕作方式、作物种植制度等。合理的水土保持耕作方式可以显著提高土壤碳输入，减少土壤碳输出，从而维持或提高土壤有机碳含量。例如，免耕和少耕等保护性耕作方式可以减少土壤扰动，保持土壤覆盖，有利于土壤有机质的积累和稳定^[1]。

1.3 玉米田生态系统碳循环特点

玉米田生态系统中的碳循环是一个复杂的过程，涉及植物光合作用、呼吸作用、根系分泌物以及土壤微生物活动等多个方面。玉米作为C4植物，具有高效的光

合作用能力和较低的呼吸作用速率，能够高效地将大气中的二氧化碳转化为有机物。在玉米生长过程中，根系分泌物和死亡根系是土壤碳输入的重要来源。这些有机物质在土壤中经过微生物的分解作用，转化为土壤有机质，进而参与土壤碳循环。同时，土壤呼吸作用也是土壤碳输出的重要途径，包括自养呼吸和异养呼吸两部分。自养呼吸主要来自玉米根系和土壤微生物对有机质的分解利用，而异养呼吸则主要来自土壤微生物对土壤有机质的分解和矿化作用；在黑土坡耕地玉米田中，水土保持耕作对碳循环的影响主要体现在两个方面：一是通过改善土壤结构和提高土壤肥力，促进玉米的生长和发育，从而增加植物残体和根系分泌物的数量和质量；二是通过减少土壤扰动和保持土壤覆盖，减少水土流失带走的碳量，维持土壤有机碳的平衡和稳定。

2 影响黑土坡耕地玉米田土壤碳平衡的因素

2.1 自然因素

一是气候条件。气候是影响土壤碳平衡的重要因素之一。温度、降水量以及光照强度等气候条件直接影响玉米的光合作用和呼吸作用，从而影响土壤碳的输入。高温和充足的光照有利于玉米的光合作用，促进有机碳的积累；而降水量则影响土壤的湿度和通气性，进而影响土壤微生物的活性和有机质的分解速率；二是土壤类型与结构。黑土以其高有机质含量和肥沃性而著称，但其特殊的土壤结构（如耕作层疏松、底层粘重）也使其容易受到水土流失的影响。土壤的类型和结构决定了其保水保肥能力和有机质的稳定性，从而影响土壤碳的输出。例如，土壤质地疏松的黑土更容易发生水土流失，带走土壤中的有机碳^[2]；三是地形地貌。地形地貌对土壤碳平衡也有显著影响。坡耕地的坡度、坡向等因素会影响水流的速度和方向，从而影响水土流失的程度。坡度较大的耕地更容易发生水土流失，导致土壤碳的输出增加。

2.2 人为因素

一是耕作方式。耕作方式对土壤碳平衡的影响尤为显著。传统的翻耕方式会破坏土壤结构，加速有机质的分解和矿化，导致土壤碳的输出增加。而保护性耕作（如免耕、少耕等）则能够减少土壤扰动，保持土壤覆盖，有利于土壤有机质的积累和稳定。二是施肥管理。施肥是农业生产中常用的提高土壤肥力的手段。合理的施肥管理可以增加土壤有机质的含量，提高土壤碳的输入。三是作物种植制度。作物种植制度对土壤碳平衡也有重要影响。轮作、间作等种植制度可以改善土壤结构，提高土壤生物多样性，有利于土壤有机质的积累和稳定。而连作则可能导致土壤养分失衡、病虫害增加等问题，进而影响土壤碳的平衡。

3 水土保持耕作对黑土坡耕地玉米田土壤碳输入的影响

3.1 对玉米生物量及碳输入的影响

水土保持耕作通过改善土壤环境，显著影响玉米生物量及碳输入。免耕措施减少土壤扰动，使土壤结构保持稳定，孔隙度适宜，利于玉米根系深扎。根系发达能更高效吸收水分和养分，促进植株生长，增加株高、茎粗和叶面积，进而提高生物量。研究显示，黑土坡耕地采用免耕后，玉米地上部分生物量较传统翻耕增加10%-15%，地下根系生物量增加8%-12%。生物量提升直接带来碳输入增加，因玉米生物量中碳含量约45%-50%，按此比例计算，免耕下玉米生物量碳输入可提高8%-15%。覆盖耕作通过秸秆覆盖地表，调节土壤温度，夏季降低地表温度，避免高温灼伤根系；冬季保持土壤温度，减少冻害。同时，覆盖物腐烂释放养分，为玉米生长提供营养，使玉米在整个生育期都能良好生长，生物量得以提高，从而增加碳输入。

3.2 对秸秆还田碳输入的影响

水土保持耕作方式为秸秆还田创造有利条件，提升碳输入效果。免耕和少耕不翻动土壤，秸秆可直接覆盖地表，减少秸秆破碎和深埋过程中的碳损失。传统翻耕时，秸秆翻入土壤深处易因缺氧分解不完全，产生甲烷等气体损失碳；而免耕下秸秆在地表逐步腐烂，碳更易被土壤吸收。在黑土坡耕地，免耕秸秆还田的碳保留率比传统翻耕高15%-20%。按每公顷还田秸秆5吨、碳含量45%计算，免耕可多输入碳337.5-450千克/公顷。等高耕作减少水土流失，避免秸秆被雨水冲刷流失。坡耕地雨水易形成径流，传统耕作下秸秆易随径流流失，而等高耕作的垄沟能拦截秸秆，提高还田量；覆盖耕作本身以秸秆覆盖为核心，秸秆还田量充足且覆盖均匀。持续

的秸秆覆盖使土壤微生物活跃，加速秸秆分解，将秸秆中的碳转化为土壤有机碳。长期采用覆盖耕作，黑土坡耕地土壤中来自秸秆的碳输入逐年累积，提升土壤碳库储量^[3]。

4 水土保持耕作对黑土坡耕地玉米田土壤碳输出的影响

4.1 对土壤呼吸作用的影响

水土保持耕作通过改变土壤温湿度和通气性，影响土壤呼吸作用，进而调节碳输出。免耕使土壤表层有机质积累，形成较疏松的腐殖质层，通气性略差，抑制好氧微生物活动，减少有机碳分解，降低土壤呼吸速率。监测显示，黑土坡耕地免耕时，土壤呼吸速率比传统翻耕低8%-12%。尤其在夏季高温期，免耕土壤温度相对较低，微生物活性受抑更明显，呼吸作用减弱，碳输出减少。覆盖耕作的秸秆覆盖层影响土壤温度和湿度。夏季覆盖降低土壤温度，使微生物活动强度下降，呼吸作用减弱；冬季覆盖保持土壤温度，微生物仍有一定活性，但整体呼吸速率比无覆盖的传统耕作低5%-8%。同时，覆盖使土壤湿度稳定，避免过干或过湿对微生物的影响，维持呼吸作用相对平稳，减少碳输出波动；等高耕作对土壤呼吸的影响较间接，主要通过减少水土流失保持土壤结构稳定，使微生物生存环境稳定，呼吸作用变化较小。

4.2 对水土流失碳输出的影响

水土保持耕作能有效减少水土流失，从而降低碳输出。传统翻耕破坏土壤结构，地表裸露，降雨时雨滴直接冲击土壤，造成土壤侵蚀，大量含碳的表土被冲走。黑土坡耕地传统翻耕年水土流失量可达30-50吨/公顷，其中土壤有机碳含量约2%-3%，碳输出量达600-1500千克/公顷。免耕和覆盖耕作通过地表秸秆覆盖，减少雨滴对土壤的冲击，降低土壤侵蚀程度。秸秆覆盖像一层保护垫，使雨水先接触秸秆，再缓慢渗入土壤，减少地表径流，降低泥沙携带量。研究表明，免耕覆盖下，黑土坡耕地水土流失量仅为传统翻耕的30%-40%，碳输出量减少至180-600千克/公顷；等高耕作通过垄沟拦截雨水，减缓地表径流速度，使泥沙在垄沟内沉积，减少流失。在坡度10°-15°的黑土坡耕地，等高耕作的水土流失量比顺坡耕作减少50%-60%，相应碳输出量降低至300-750千克/公顷；带状种植将玉米与豆科植物或牧草带状间作，牧草根系固土能力强，能减少土壤侵蚀。同时，带状结构分散径流，降低冲刷力，减少碳随水土流失的输出。与单一玉米种植的传统耕作相比，带状种植可使碳输出减少40%-50%。

5 水土保持耕作对黑土坡耕地玉米田土壤碳平衡的综合影响

5.1 不同水土保持耕作方式下土壤碳平衡计算

土壤碳平衡计算公式为：碳平衡量 = 碳输入量-碳输出量。碳输入包括玉米生物量碳和秸秆还田碳，碳输出包括土壤呼吸碳和水土流失碳。

以黑土坡耕地某地块为例，（1）传统翻耕下，玉米生物量碳输入为5000千克/公顷，秸秆还田碳输入1500千克/公顷，总碳输入6500千克/公顷；土壤呼吸碳输出3000千克/公顷，水土流失碳输出1000千克/公顷，总碳输出4000千克/公顷，碳平衡量为2500千克/公顷。（2）免耕条件下，玉米生物量碳输入5500千克/公顷，秸秆还田碳输入2000千克/公顷，总碳输入7500千克/公顷；土壤呼吸碳输出2700千克/公顷，水土流失碳输出300千克/公顷，总碳输出3000千克/公顷，碳平衡量4500千克/公顷。

（3）等高耕作时，玉米生物量碳输入5200千克/公顷，秸秆还田碳输入1800千克/公顷，总碳输入7000千克/公顷；土壤呼吸碳输出2900千克/公顷，水土流失碳输出500千克/公顷，总碳输出3400千克/公顷，碳平衡量3600千克/公顷。（4）覆盖耕作下，玉米生物量碳输入5600千克/公顷，秸秆还田碳输入2200千克/公顷，总碳输入7800千克/公顷；土壤呼吸碳输出2800千克/公顷，水土流失碳输出250千克/公顷，总碳输出3050千克/公顷，碳平衡量4750千克/公顷^[4]。

5.2 不同水土保持耕作方式对土壤碳平衡的效应比较

从碳平衡量来看，覆盖耕作效果最佳，其次是免耕，然后是等高耕作，传统翻耕最差。覆盖耕作碳平衡量比传统翻耕高90%，免耕比传统翻耕高80%，等高耕作比传统翻耕高44%。覆盖耕作的玉米生物量碳和秸秆还田碳输入均最高，因覆盖提供良好生长环境且秸秆还田量足；免耕次之，等高耕作略低于免耕；传统翻耕的土壤呼吸碳和水土流失碳输出均最高；覆盖耕作和免耕的碳输出较低，且两者相差不大；等高耕作碳输出高于覆盖和免耕，但低于传统翻耕。长期来看，持续采用覆盖耕作和免耕，黑土坡耕地土壤碳库呈持续增加趋势；等

高耕作也能使碳库缓慢增加；而传统翻耕下碳库增加缓慢，甚至在某些年份因极端天气出现碳库减少。

5.3 影响机制分析

水土保持耕作影响黑土坡耕地玉米田土壤碳平衡的核心机制是“增输入、减输出”。在增加碳输入方面，通过改善土壤水、肥、气、热条件，促进玉米生长，提高生物量，增加生物量碳输入；同时，有利于秸秆还田，提高秸秆碳的留存和转化，增加秸秆还田碳输入。水土保持耕作通过改变土壤环境抑制土壤呼吸，减少呼吸碳输出；更重要的是，通过拦截径流、固持土壤，显著减少水土流失，降低水土流失碳输出。覆盖耕作和免耕主要通过地表覆盖和减少土壤扰动，同时实现增输入和减输出；等高耕作则主要通过改变地形拦截水土，重点减少水土流失碳输出，对碳输入的提升相对较弱。水土保持耕作下，土壤微生物群落结构更合理，分解有机碳的速率趋于稳定，既保证土壤养分供应，又减少碳过度分解流失，促进碳平衡向积累方向发展。

结束语

综上所述，水土保持耕作在黑土坡耕地玉米田土壤碳平衡管理中发挥着重要作用。通过采用合理的耕作措施，可以显著提高土壤碳含量，改善土壤质量，促进农业可持续发展。未来，应进一步加强对水土保持耕作技术的研究和推广，特别是在黑土区等水土流失严重的地区，以实现土壤碳平衡的长期稳定和农业生产的持续发展。

参考文献

- [1] 张作合,张忠学,薛里,等.水土保持耕作对黑土坡耕地玉米田土壤碳平衡的影响[J].农业机械学报,2025,56(2):454-462.
- [2] 孙晓燕.海城市坡耕地水土流失治理中水土保持监测研究[J].陕西水利,2020(4):94-95.
- [3] 石先闻,葛志民,宋淑娟,等.平泉市坡耕地综合治理成效、经验及建议[J].水利发展研究,2020,20(2):45-48.
- [4] 赵娅君,吴发启,徐宁,等.不同雨强下各生育期玉米坡耕地的侵蚀产沙研究[J].水土保持通报,2020,40(6):7-8.