

碳中和策略下土壤碳汇管理与秸秆资源利用

刘晏吕 徐梓恒 旦增强白 苗文鹏 李依桐 苏唤东
西藏大学

DOI:10.12238/eep.v7i6.2146

[摘要] 在全球日益追求碳中和目标的宏大背景下,本研究站在管理学的前沿视角,集中目光于土壤碳汇管理与秸秆资源利用的综合性策略,旨在深入剖析其在不同地域的农业可持续发展与环境保护方面所做出的卓越贡献。

[关键词] 碳中和; 碳汇管理; 土壤碳; 秸秆

中图分类号: S152.4 **文献标识码:** A

Carbon Neutrality Strategy: Soil Carbon Sink Management and Straw Resource Utilization

Yanlv Liu Ziheng Xu Qiangzengbai Dan Wenpeng Miao Yitong Li Huandong Su
Tibet University

[Abstract] Against the grand backdrop of the global pursuit of carbon neutrality goals, this study, from the cutting-edge perspective of management science, focuses on the integrated strategy of soil carbon sink management and straw resource utilization, aiming to deeply analyze its outstanding contributions to sustainable agricultural development and environmental protection in different regions.

[Key words] Carbon Neutrality; Carbon Sink Management; Soil Carbon; Straw

随着碳中和策略的不断推动,各行业不断进行绿色可持续化生产的战略升级,陆、海、空的生态质量均得到有效提高。国家政府高度重视农业的绿色高质量发展,先后印发了《2030年前碳达峰行动方案》、《促进土壤污染绿色低碳风险管控和修复的指导意见》、《农田土壤固碳评价技术规范第1部分: 当季》等相关文件,旨在进一步加强建设土壤治理和保护的长效化机制,提高我国农业的资源禀赋,提高农业固碳效能。因此,本文聚焦于对秸秆资源的再生利用,采取因地制宜、因材施教的方法,探究如何将秸秆资源与土壤碳汇管理相结合。

1 文献综述

土壤碳汇管理指的是一系列旨在增加和维持土壤中碳存储量的规划、策略以及实践活动,常通过对土地利用方式、农业生产措施的优化改进、土壤质量的改良等措施促进碳在土壤中的转化和稳固。研究表明,陆地土壤是地球表面最大的碳库,全球土壤碳库达到 $2.2 \times 10^3 - 3 \times 10^3$ Pg,为植被碳库的2—3倍,是全球大气碳库的2倍。^[1]而农业中的碳源和碳汇主要集中于植物体,例如,通过呼吸作用,将大气中的二氧化碳转化为生物碳。根据国内外专家学者研究,全球每年约产生24亿吨碳的农业剩余物。如果能够充分利用这些资源,生产生物炭的最大理论潜力将达到10亿吨碳(约37亿吨CO₂当量/年)^[2]。我国作为农业大国,每年农作物秸秆产量占全球农业剩余物总额的一半,但秸秆碳封存存量仅为20%,远低于不丹和印度68%和53%^[2]的封存比例,揭示

了我国在秸秆资源利用方面仍有巨大改进空间。

张燕^[3],肖体琼、何春霞等^[4]学者先后提出农业作物秸秆的综合利用“5F”路线,包括饲料(Fodder)、纤维(Fiber)、燃料(Fuel)、肥料(Fertilizer)和原料(Feed Stock)。根据2022年农业农村部发布的《全国农作物秸秆综合利用情况报告》,我国秸秆还田量达到4亿吨,秸秆离田利用率达33.4%,饲料利用量达到1.32亿吨,饲料利用率达18%,稳定的燃料利用量超过6000万吨,而基料化和原料化利用量为1208万吨。[选自《全国农作物秸秆综合利用情况报告》]据报道,欧美国家通常将秸秆的约2/3用于直接还田,约1/5作为饲料。美国秸秆的直接还田量占总产量的68%,英国则为73%,日本的稻草超过2/3被用于直接还田,约1/5用于牛饲料或养殖场的垫圈料。^[5]

但随着全球变暖、气候变化的不断加剧,土壤碳流速度随之加快。最初数据表明,到本世纪末,全球土壤将会减少19.1至45.2百万吨的碳储量。^[6]因此,利用秸秆资源赋能土壤碳汇管理是我们的应有之义。

2 土壤碳汇管理现状

在过去的几十年里,碳汇管理取得了显著的成就,其中包括了对土壤碳储量的变化和对环境的积极影响。我国已通过制定《土地利用总体规划》、《土壤污染防治法》等法律法规和政策,明确了土壤碳汇管理和保护的重要性,推动相关工作的开展。例如,通过实施退耕还林、退耕还草、退耕还湿、荒漠化逆转等举

措,有效改善土壤退化状况,促进土壤碳的自然恢复,提高碳固定潜力。同时,全球范围内的土壤碳储量得到改善和增加(参见图1),对全球气候变化和生态环境的影响日益凸显。



图1 1990-2020年十国土地利用变化和林业温室气体排放量趋势图

多项研究数据综合显示,过去数十年来全球土壤碳储量呈现逐渐增加的趋势。这主要得益于各国意识到气候变化和生态环境危机的严峻性,纷纷采取了土地利用的改革措施。在国际合作方面,世界各国达成了联合国生态系统恢复十年计划(2021-2030)。相关的国际环境公约包括《土地退化中和》、各国根据《巴黎协定》作出的自主贡献承诺、执行《国家生物多样性战略和行动计划》的承诺,以及旨在恢复退化和砍伐森林土地的《波恩挑战》的目标。在具体实施措施方面,主要通过推广绿色可持续农业模式,如有机农业、生态农业、精细农业、农业生态园、农村合作社等方式,采用农田间作、轮作、有机肥料替代化肥等方法改善土壤耕作方式,一定程度上减少了耕作对土壤的侵蚀和破坏,促使土壤有机碳的积累,实现了土壤碳储量的增加。

全球各国开始重新意识到土壤碳对碳汇市场的重要性。之前,缺乏对土壤碳汇成本的深入研究,忽视了其低成本和发展潜力,甚至有研究提出,在综合效益考虑下,如环境、经济、规模和市场机制等方面,土壤碳封存技术的成本估算结果可能会呈现负值的增长趋势。2015年,联合国气候变化大会在巴黎提出了“千分之四”倡议,即全球2米深的土壤中的有机碳每年增加4%,就可以抵消当年全球矿物燃料的碳排放;全球1米深的土壤碳库提升4%,可以抵消当年全球二氧化碳净排放。^[7]这无疑为国际碳市场中土壤碳的开发打开了更为广阔的机会。

同时,在碳汇管理的实践中,也存在碳流失、土壤退化、农业碳排放数量巨大等相关问题。目前,农业生产导致的温室气体排放已占全球总排放量19%-29%,其中甲烷、氧化亚氮等非二氧化碳温室气体贡献了约56%^[8],成为全球第二大温室气体来源。不仅降低了农田的土壤肥力,影响农作物产量状况,还导致土壤的碳储存能力下降,削弱了碳汇管理的效果。中国目前是世界上第二大农业大国,其农业碳排放影响不可忽视。尽管近年来农业碳排放量有所控制,并呈现下降趋势,但中国国土辽阔,地形复杂,气候各异,同时有悠久的农耕传统文明,要在短时间内彻

底改变部分地区的传统农耕模式,减少庞大的农业碳排放基数,仍需要付出艰苦的努力和持续探索。

中国农业碳排放呈现出“快速增长-快速下降-增速放缓-缓慢下降-增长反弹”等五个阶段性特征(图2)。农业既具有碳排放又具有碳汇的双重特性,其中碳排放对外部环境带来负面影响,而碳汇具有减排效应,将碳汇从总排放中剔除后剩余的净碳排放具有真正的负外部性。在“碳达峰、碳中和”目标明确提出之前,中国农业发展主要遵循既有模式——东部主要以集约商业化农业基地为主,中西部则以家庭承包制度为基础,以自给自足为主。在这种情况下,随着耕地面积不断扩大,农业碳排放也在持续增加。然而,随着我国对土地资源进行优化配置,农业发展逐步向着绿色可持续方向转变,农业碳排放出现一定程度的下降,农业发展环境得到改善。值得注意的是,中国东部、中部和西部的农业发展环境各不相同,在推行农业措施时,未根据各地实际情况采取相应措施,也未根据不同时间节点进行调整,缺乏配套措施,这也是农业减排效果不佳的主要原因之一。



图2 1990-2020年中国农业土壤碳排放量趋势图

3 秸秆资源利用与土壤碳相结合

3.1 堆肥法

秸秆堆肥的基本原理是将秸秆与其他有机物混合堆放在一起,利用微生物的分解作用,促使有机物质转化为有机肥料。随着堆肥过程的进行,堆肥堆的温度逐渐上升,有机物质逐步分解,最终形成稳定的有机肥料。这种方法适用于分散利用田块、独立经营的农村地区,例如重庆合川区、四川雁江区、海南定安县等地。通过这种方式,可以最大程度地克服由地形、种植模式和地域习惯所带来的不利因素,实现资源的就地循环利用,修复农田生态系统,促进土壤碳固定,提升土壤碳储存能力。进而,促进分散型秸秆利用方式的优化,转变传统的自上而下管理模式,激发农民的自主性。

然而,在实际操作中,堆肥面临两个主要问题。首先,需要定期翻堆堆料,确保适当通风,促进堆肥的发酵过程;其次,必须控制堆肥堆的湿度和温度,以确保微生物能正常活动。这些问题长期以来一直是限制田间堆肥推广的主要因素。令人欣喜的是,据了解,已有团队开发出了“铰旋增氧-高温静态”联合堆肥技术以及田间堆肥水分温度快速监测专利技术,有针对性地解决了高效堆肥所面临的挑战。

3.2 发酵法

为了进行秸秆发酵,应选择优质的秸秆作为主要原料,放置在指定的容器设备中进行堆放,并利用微生物发酵制作有机肥料。在这一过程中,可适当混合其它有机废弃物,如厨余垃圾、畜禽粪便等,以提高堆肥的养分含量和多样性。同时,在堆放过程中添加特定的堆肥菌剂或农家肥等有机肥料,促进微生物分解作用,加速发酵速度。这种方法有助于集中处理秸秆资源,提高生产效率,推动秸秆资源向产业化、规模化方向发展。

与田间堆肥相比,秸秆发酵需要定期翻堆、控制堆肥湿度和温度,但相对于田间处理方式更为简便灵活。秸秆发酵的最大限制因素是发酵周期。通常情况下,秸秆发酵周期为1-3个月不等,具体时间受原料种类、温度、湿度等因素影响。尽管可以通过机器调节温湿度实现最佳优化,但原料种类对分解速率有较大的不可控因素。针对这一问题,各研究团队致力于研究秸秆腐解速率与腐解酶活性变化之间的耦合关系,最大限度提高水解酶和氧化酶活性,增加秸秆生物能转化强度、效率和碳固定量,研发出多功能有机肥菌株。

3.3 碳化法

秸秆碳化是将秸秆作为主要原料,也可加入其他植物废弃物如木屑、稻草等,在专门设计的碳化炉或炭化釜中进行碳化处理。碳化炉通常采用间接加热方式,通过精确控制加热温度和时间,在高温无氧环境中使原料发生碳化反应,然后取出生物炭,并进行冷却处理,以避免再次燃烧或氧化。秸秆碳化与焚烧有所不同,前者是在高温无氧或低氧条件下将秸秆等植物废弃物转化为生物炭的过程,实现了碳的稳定化;而焚烧则是将废弃物进行燃烧处理,释放热量和灰渣,排放二氧化碳等废气。此外,秸秆碳化产生的生物炭具有丰富的孔隙结构和吸附性能,可用于土壤改良等领域,也可作为碳储存或能源利用的手段,提高能源利用效率,可视为焚烧的改进措施。

与堆肥法和发酵法相比,目前碳化法面临着诸多挑战。首先在设备和工艺优化方面,需要持续改进碳化设备设计和工艺流程,以提高生物炭的产量和质量。解决有效控制碳化温度、加热时间以及确保无氧环境等技术问题是当下急需解决的挑战。其次,碳化反应条件控制技术仍有不足之处。我们需要确保在碳化过程中温度、压力、气氛等参数的稳定性和精准控制,以获得理想的生物炭产品。同时,应建立生物炭的质量标准体系,包括颗粒大小、碳含量、孔隙结构等指标,以便更好地将生物炭产品用于土壤改良等领域。再者,进行秸秆碳化需要大量能源用于加热,并可能产生废气和废水,因此如何实现碳化过程的清洁生产和节能减排亦是重要挑战。最后,针对大规模生产生物炭的技术和设备仍在不断完善和发展之中,面临提高生产效率、降低成本的一定挑战。因此,在碳化法的探索过程中,我们仍需要持续努力不懈。

3.4 液肥法

秸秆液肥的制备流程涵盖了将秸秆粉碎成为粉末状,接着把它放置进发酵堆之中,并添加适量的水分以及有机发酵剂,例

如微生物菌剂。在对温度、通气等条件加以控制的情况下展开腐熟发酵,这个过程会生成大量的有机酸、氨氮等养分。历经一定时长的发酵之后,实施压榨或者过滤的操作,提炼出富含充裕有机质、氮、磷、钾等养分的秸秆液肥。这种品质优良的有机肥料能够直接应用于改良农田土壤、进行施肥的工作,也可以与其他肥料混合使用,以提升土壤的肥力。然而,此方法在制备的过程当中需要精准地控制发酵的温度、湿度、通气等参数,技术方面的要求较高,操作颇为复杂,需要拥有一定的生产经验和技能。此外,通常需要耗费大量的能源用于进行加热、通气等操作,这增加了生产的成本。同时,在发酵的进程中产生的气味和废气排放对环境可能会造成一定的影响。

4 结语

在推动碳中和的征程中,我们正见证着农业的绿色革命。通过国家政策的引导和科技创新的助力,我们不仅提升了生态质量,更在土壤治理和农业固碳上迈出了坚实的步伐。本文的研究,将秸秆资源的再生利用与碳汇管理相结合,展现了农业可持续发展的新路径。让我们携手前进,共同迎接一个更加绿色、高效、可持续的未来。

[注释]

①选自《全国农作物秸秆综合利用情况报告》

[参考文献]

[1]Wang Y, Li Y, Ye X, Chu Y, Wang X. Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: from forest to desert. *Science of Total Environment*, 2010, 408(8): 1925-1931.

[2]希维什·基肖尔·卡兰,多米尼克·伍尔夫,埃利亚斯·塞巴斯蒂安·阿齐,塞西莉亚·桑德伯格,斯蒂芬·伍德. 作物残茬中生物炭封存潜力:全球空间明确评估.

[3]张燕. 中国秸秆资源“5F”利用方式的效益对比探析[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(23): 45-51.

[4]肖体琼,何春夏,陈永生,等. 秸秆5F生态高值化利用技术途径研究[J]. *北方园艺*, 2015(23): 210-212.

[5]王红彦,王飞,孙仁华,等. 国外农作物秸秆利用政策法规综述及其经验启示[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(16): 216-222.

[6]任S, Wang T, Guenet B, Liu D, Cao Y, Ding J, Smith P, Piao S. 受约束地球系统模型中预测的土壤碳损失随变暖. *国家公*. 2024年1月2日; 15(1): 102.

[7]科技外事处. 碳中和背景下提升土壤碳汇能力的前景与实施建议. *《环境保护》* 2021年第16期, 2021, 2189234/2021-2307.

[8]韩贵清. 基于“双碳”目标愿景下的土壤碳汇发展与黑土保护利用. *《产业转型研究》* 专刊报道, 2021.

作者简介:

刘晏吕(2005--),女,汉族,四川省资阳人,本科,学生,西藏大学经济与管理学院,研究方向:公共管理。

通讯作者:

旦增强白(1997--),男,藏族,西藏山南市人,本科,助教,西藏大学经济与管理学院,研究方向:公共管理。