



郝小雨,马星竹,匡恩俊,等.“双碳”背景下我国长期肥料定位试验研究进展[J].黑龙江农业科学,2023(12):131-135.

“双碳”背景下我国长期肥料定位试验的研究进展

郝小雨,马星竹,匡恩俊,周宝库,刘 颖,张明怡,郑 雨,赵 月

(黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部黑土地保护与利用重点实验室/黑龙江省土壤微生物生态联合实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:农业具备碳源和碳汇的双重功能,是实现碳达峰、碳中和“双碳”目标的重要途径。长期肥料定位试验具有代表性、连续性、稳定性、数据丰富等特点,不仅有助于探索土壤质量演变规律,而且对于应对气候变化、实现“双碳”目标具有重要作用。通过文献分析,论述了我国长期肥料定位试验的发展、重要作用以及与实现“双碳”目标的本质关系,发现长期肥料定位试验存在重视程度和支持力度不足、试验设置落后、数据资料利用率低等问题。并在建立长期肥料定位试验研究网络、加强跨学科间的交叉、深入分析土壤固碳效应的内在机制、强化政策和经费支持等方面提出了相应建议。

关键词:农业;碳达峰;碳中和;长期肥料定位试验;固碳减排

全球气候变化是人类面临的严峻挑战之一。2021年IPCC第一工作组第六次评估报告指出,全球地表平均温度较1850—1900年上升了1.09℃,全球海平面上升10~25cm,未来20年全球升温预计将达1.5℃^[1]。为了应对气候变化,碳达峰和碳中和的“双碳”目标已经成为世界发展的共同目标^[2]。在此背景下,2020年9月我国在联合国大会上向全世界庄重承诺“2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和”^[3]。农业生态系统具备碳源和碳汇的双重功能:一方面农业生产过程中土壤和农作物会直接排放温室气体,与此同时投入的消耗品如化肥、农药、农膜、燃料等以及农田管理措施如耕作、灌溉等也会产生大量的温室气体排放^[4-5];另一方面,通过合理的农田管理措施将大气中的CO₂固持在土壤碳库中,提高土壤的有机和无机碳储量,即利用土壤实现固碳^[6-7]。因此,从农业领域助力碳达峰、碳中和,是实现我国农业生态文明建设的重要举措,更是全面应对气候变化的重要途径^[8]。

农田土壤有机碳库是大气碳库的3.3倍,生物碳库的4.5倍,其轻微变化足以引起大气碳库的显著变化^[9]。土壤有机碳的固定和周转是复杂而又漫长的过程,受到降雨、温度、土壤类型、农田

耕作、施肥、灌溉、土地利用方式、种植制度等众多因素影响,其中施肥是农田生产中重要的管理措施,直接影响农田土壤有机碳的变化。长期以来,人们一直致力于探索维持和提高土壤肥力的方法。在时间和空间尺度上揭示土壤肥力的变化规律和驱动机制,是培育地力和促进农业可持续发展的重要基础,而农田长期定位试验是土壤肥力研究的基础平台和重要手段^[10]。本研究综述了我国长期肥料定位试验的发展、重要作用以及与实现“双碳”目标的本质关系,分析长期肥料定位试验存在的问题并进行了研究展望,为农业助力我国“碳达峰与碳中和”提供理论支撑。

1 长期试验的重要意义

世界上持续时间最长的定位试验是J. B. Lawes和J. H. Gilbert于1843年在英国洛桑(Rothamsted)建立的Broadbalk小麦长期肥料定位试验,至今已经持续了180年。Broadbalk长期定位试验清楚地显示了肥料、育种、轮作和植保对作物产量的重要贡献。此外,洛桑试验站还建立了其他方向的长期定位试验,如Park Grass牧草试验、Hoosfield大麦试验等,持续百年的试验有7个。洛桑试验站保存了超过30万份长期试验的土壤、植株、肥料样品,这些样品是极为丰富和宝贵的材料,是研究土壤肥力演变、养分循环、环境变化的基础和必要条件。通过洛桑试验站,发现和建立了一系列理论成果^[11-14]:(1)长期试验驳斥了李比希(Liebig)“植物的氮素来自于空气”的错误观点,验证了植物的氮素来自于土壤,

收稿日期:2023-08-04

基金项目:智慧施肥项目(05);科技基础资源调查专项(2021FY100404-1);省级黑土地保护利用——典型地区耕地监测评价项目(2022-22-2);国家大豆产业技术体系(CARS-04)。

第一作者:郝小雨(1981—),男,博士,副研究员,从事农田养分循环研究。E-mail:xiaoyuhao1981@sina.com。

该理论推动了欧洲农业肥料应用试验研究,对于现代肥料产业具有重要的推动作用。(2)20世纪60年代引入小麦矮秆品种,促使小麦产量大幅提升,即众所周知的“绿色革命”;(3)建立试验设计、方差分析等一系列现代统计方法;(4)建立了世界上第一个土壤碳循环模型(Roth-C),该模型被广泛应用于预测不同耕作系统土壤碳的变化以及全球气候变化中土壤碳的作用;(5)通过监测氮素循环过程及通量,为建立氮循环模型提供了关键的数据,且发现大气氮沉降会影响土壤硝酸盐淋失;(6)发现土壤 Olsen-P 浓度达到 $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,渗漏水的磷浓度迅速增加,土壤淋失的磷进入水体容易引发富营养化;(7)发现大气硫沉降对土壤-植物硫循环产生了深刻的影响,硫具有污染环境和作为植物营养元素的两重性;(8)通过 Park Grass 试验发现,植物物种的多样性受施肥影响,随着施肥和土壤酸化而下降;(9)通过大量样品监测土壤污染物多环芳烃和二噁英类污染物、土壤重金属及放射性核素;(10)利用 Broadbalk 长期定位试验促进了小麦纹枯病流行病学研究。

长期定位试验在不同时期采集和保存的各类样品,蕴含了时间尺度内的农田生态系统的丰富信息,可用来研究长期人为干扰条件下农业生产系统变化特征以及环境因素响应机制,如生态系统退化、全球气候变化、土壤质量演变、生物进化、酸雨和污染、农业可持续发展等,因此,长期试验是研究农田长期生态过程及其环境效应和调控措施的重要手段^[15]。土壤肥料长期定位试验具有地域的代表性、时间的连续性、观测的稳定性、数据的丰富性等特点,能够系统地揭示土壤肥力和农作物生产力的演变特征,可为制订合理的养分管理措施提供现实依据^[16-17]。

2 我国土壤肥料长期试验发展概况

与国外相比,中国系统的土壤肥料长期定位试验起步较晚。我国最早的土壤肥料长期定位试验是张乃凤先生于1935—1940年组织的全国化肥效益试验,主要目的是进行氮、磷、钾肥效试验^[18]。新中国成立后,从20世纪50年代开始先后组织了3次化肥协作网试验,开展土壤肥力演变、作物产量品质效应及农田养分循环变化等方面的研究。20世纪70年代末,原中国农业科学院土壤肥料研究所组建了全国化肥网,依据化肥

肥效、用量和比例的试验目标,在22个省(市、自治区)布置了一批长期肥料定位试验,有些由于各种原因已经中断,有些延续至今。20世纪80年代后期,原中国农业科学院土壤肥料研究所组织建立了“国家土壤肥力与肥料效益长期监测基地网”,包括黑土、灰漠土、壤土、均壤质潮土、轻壤质潮土、紫色土、红壤、水稻土和赤红壤的9个主要类型土壤,基本覆盖和代表了我国主要农区的土壤类型和农作制度。20世纪80年代以来,中国科学院在全国农区布置了“土壤养分循环和平衡的长期定位试验”。另外,部分涉农高等院校和地方科研院所也陆续建立了一批长期肥料定位试验。据估算,目前我国还在运行的长期肥料试验有70个左右,代表性较强的有40个左右^[18]。

为监测不施肥(空白区)和常规施肥(农民习惯施肥)的作物产量和土壤肥力变化特征,农业农村部耕地质量监测保护中心1988年起陆续在我国有代表性的农田建立了950个长期定位肥力监测点,包括:东北地区的黑龙江、吉林和辽宁158个、华北地区的北京、天津、河北、河南、山东、山西和陕西284个、西南地区重庆、四川、贵州、云南和西藏118个、长江中游湖北、湖南和江西155个、长江下游安徽、江苏、上海和浙江137个、华南地区福建、广东、广西和海南98个,涵盖了旱地、水田等主要种植方式^[19]。

3 长期试验与“双碳”目标的协同效应

土壤有机碳作为土壤有机质的重要组成部分,其定量提升深刻影响全球气候变化、土壤肥力和粮食安全,土壤有机碳的动态变化主要取决于外源碳输入量及本身有机碳的分解量^[20-21]。系统输入和输出量的相对大小决定了土壤有机质含量的动态变化,土壤有机质输入量大于输出量时表现为积累,即为土壤固碳效应^[22]。然而,有研究指出土壤有机碳含量存在饱和现象,达到一定水平后就很难再提升,即随着外源碳持续输入,前期土壤有机碳呈现快速提升,后期提升速度下降并逐渐达到平衡^[23]。据测算,典型土壤有机质提升方法如秸秆还田和有机肥还田的固碳效应分别可持续20~30年和40~50年^[24]。哈尔滨黑土肥力长期定位试验有机肥、作物根茬、根系及分泌物等有机物料持续投入34年后,黑土有机碳尚未达到饱和,仍具有一定的固碳潜力^[25]。Zhang等^[26]

计算了我国 6 个长期定位试验土壤的固碳效率,发现年均碳投入与固碳量呈极显著的线性正相关,土壤固碳效率大小顺序为灌漠土(31.0%)>灰漠土(26.7%)>中层黑土(15.8%)>褐潮土(7.7%)>黄潮土(7.4%)>潮土(6.8%)。然而也有研究发现,土壤有机碳已经接近或达到了饱和状态,即随着大量外源有机物的投入,土壤有机碳增量趋缓,土壤有机碳对外源碳投入的响应已经变弱,大部分外源碳不会被土壤固定下来^[27]。综上,鉴于土壤固碳作用长期而又缓慢且存在不确定性,利用长期定位试验的优势持续观测土壤有机碳的动态变化,是明确农田土壤固碳效应的有效手段。

影响土壤有机碳周转的因素很多,例如气候因素、土壤性质、人为管理措施等,基于长期试验的时间连续性、数据的多样性和丰富性,采用模型模拟分析土壤质量的演变趋势受到青睐,土壤有机碳演变趋势预测模型如 Century、RothC、DNDC 等应用较为广泛^[28]。姜桂英^[29]利用 RothC26.3 模型模拟和预测了我国典型土壤的固碳潜力,指出北方旱地、南方水旱轮作农田和双季稻田固碳潜力分别为 $-4.9 \sim 57.0$ 、 $-7.6 \sim 35.6$ 和 $-1.6 \sim 13.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。王树会等^[30]利用 SPACSYS 模型模拟 2010—2050 年华北平原旱地土壤固碳及 N_2O 排放,发现长期化肥配施有机肥较单施化肥处理可提升华北平原旱地土壤年均固碳速率(增幅 79%和 82%)、降低土壤 N_2O 年均排放量(降幅 21%和 28%)和年均净全球增温潜势(降幅 26%和 34%)。李悦等^[31]基于我国东北地区 4 个长期定位试验站点(黑龙江省哈尔滨站点、吉林省公主岭站点、吉林省德惠站点、辽宁省沈阳站点),利用 DAYCENT 模型对 4 种不同管理情景(施用化肥、增施有机肥、秸秆还田、免耕)下的土壤有机碳变化情况进行模拟,指出东北地区可通过合理的有机肥化肥配施、推广免耕和秸秆还田技术来固定土壤碳,达到提高土壤有机碳库和促进农业可持续发展的目标。

土壤自养微生物参与的同化过程是土壤固定大气 CO_2 的主要途径^[32]。据估算,农田土壤微生物的年碳同化速率介于 $100 \sim 450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,对全球碳循环的贡献率可达到 $0.9\% \sim 4.1\%$ ^[33]。目前已知有 7 条自养微生物固碳途径^[34-35]:卡尔

文循环(CBB)、还原型三羧酸循环(rTCA cycle)、厌氧乙酰辅酶 A 途径(WL pathway)、3-羟基丙酸双循环(3 HP bicycle)、3-羟基丙酸/4-羟基丁酸循环(3-HP-4HB cycle)、二羧酸/4-羟基丁酸循环(Di-4HB cycle)和反向甘氨酸裂解途径。农田土壤自养微生物的固碳能力与气候条件(降雨、温度)、土壤理化性质(土壤类型、肥力水平、通透性)以及田间管理等多种因素密切相关,各因素之间可能存在交互作用^[35]。在时间尺度上,土壤微生物群落对不同施肥处理的响应会产生差异,即年际间的变化对微生物的影响不可忽略,很多驱动系统响应的过程也可能随时间减弱或增强,因此研究长期定位施肥下的土壤微生物对农田生态系统的响应及其内外驱动因素具有重要意义^[36]。

4 长期试验存在的问题及未来发展

我国的长期肥料定位试验为土壤培肥及农业可持续发展工作提供了强有力的理论和科技支撑。相关的试验设计,在当时具有较强的代表性、前瞻性和创新性,但是随着时代的进步,也逐步出现了一些科学问题:(1)缺乏足够的重视和支持。由于土壤肥料长期定位试验属于基础性和公益性研究,加之宣传力度不够,上级部门和广大群众对这项工作的重要性、必要性缺乏了解和认识,部分定位试验运转不畅,缺乏专业的管理和维护人员,观测技术人员不稳定、力量薄弱,且缺乏稳定的经费支持,影响监测工作高质量开展及定位试验的可持续发展。(2)试验设置落后于时代发展。如农机农艺相结合的问题、轮作制度变化的问题、作物品种变化等问题,与农业生产实际产生了脱节,因此需要进一步调整和完善相关的长期定位试验。(3)数据资料利用率较低。我国不同地区的长期定位试验,经过几十年发展已经积累了大量的试验数据,但是部分资料深度分析和开发利用程度不足,大量成果没有得到充分转化与应用,产出的成果相对较少,对农业生产的指导作用还未完全体现,还需进一步加强研究。

4.1 建立长期肥料定位试验研究网络

单一的长期试验无法满足国家对粮食生产和环境功能的需求,下一步,依据不同研究目标联网全国或区域的农业长期肥料定位试验,顶层设计、强化协调、增加投入、资源共享;制订统一的数据采集指标体系、采集规范,构建统一的数据管理工

作流程和管理制度;利用现代互联网技术开发联网共享平台和存储数据库,实现海量数据的实时和自动收集、分类、管理、分析和共享,持续提升实验基地建设、仪器设备使用效率以及数据资源整合与开放使用的水平。

4.2 加强跨学科间的交叉

土壤肥料长期定位试验,不只局限于土壤方面的研究,与作物品种、植保、耕作栽培、农业机械等农业管理措施密切相关,而且土壤与大气、水环境的交互作用也十分密切。此外,利用不同功能的数学模型,基于不同时期的气象监测数据和土壤肥力特征参数等建立数据库,预测未来气候模式下时间尺度土壤肥力相应指标的动态变化,为“双碳”目标的实现提供现实支撑。

4.3 深入分析土壤固碳效应的内在机制

基于新兴和原位监测技术,明确土壤团聚体中矿物-有机质-生物的相互耦合作用,探讨不同环境因子对土壤团聚体影响的差异性及其机制。结合先进的测试方法(如同位素示踪技术、光谱分析技术、同步辐射技术、热化学分析技术、基因芯片技术),深入分析土壤有机质形成、稳定过程及影响机制,明确土壤有机碳的长期保存机制、来源和环境调控作用,利用碳循环模型预测土壤有机碳对气候变化的响应,为土壤有机质提升和碳循环提供理论依据。

4.4 强化政策和经费支持

坚持土壤肥料长期定位试验的公益性、基础性、长期性,发挥政府作用,加大财政投入力度。加强长期定位试验基地场所、长期观测试验样区等重点场所的监测仪器和设备建设,推进观测设施设备更新维护,着力加强基地安全监控、物联网建设。建立农业长期试验经费和管理人员的稳定资助机制,设置长期试验科技人员的人才激励政策。

参考文献:

[1] IPCC. Climate Change 2021: the physical science basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

[2] 李华,李秀英,王磊,等. “双碳”目标下肥料行业发展对策: 基于 2011—2020 年碳减排与存在问题的分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(2): 206-213.

[3] 翟盘茂. 碳达峰、碳中和 100 问[M]. 北京: 人民日报出版社, 2021.

[4] WEST T O, MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 91(1/2/3): 217-232.

[5] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(8): 80-86.

[6] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 农田土壤固碳措施的温室气体泄漏和净减排潜力[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4993-5006.

[7] INGRAM J S I, FERNANDES E C M. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 87(1): 111-117.

[8] 张梦璇, 王迎春, 李建政, 等. 关于我国农业碳达峰, 助力碳中和若干问题的思考[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(3): 1-7.

[9] LAL R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science, 2004, 304(5677): 1623-1627.

[10] 徐明岗, 张文菊, 黄绍敏, 等. 中国土壤肥力演变[M]. 2 版. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.

[11] MACDONALD A, POULTON P R, CLARK I, et al. Rothamsted long-term experiments: guide to the classical and other long-term experiments, datasets and sample archive[J]. Environmental Science, 2018: 155358698.

[12] KNIGHTS J S, ZHAO F J, McGRATH S P, et al. Long-term effects of land use and fertiliser treatments on sulphur transformations in soils from the Broadbalk experiment [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(12/13): 1797-1804.

[13] 赵方杰. 洛桑试验站的长期定位试验: 简介及体会[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 147-153.

[14] STORKEY J, MACDONALD A J, BELL J R, et al. The unique contribution of rothamsted to ecological research at large temporal scales[M]. Advances in Ecological Research, 2016, 55: 3-42.

[15] 孙波, 朱兆良, 牛栋. 农田长期生态过程的长期试验研究进展与展望[J]. 土壤, 2007(6): 849-854.

[15] GALANTINI J, ROSELL R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87(1): 72-79.

[16] 唐继伟, 徐久凯, 温延臣, 等. 长期单施有机肥和化肥对土壤养分和小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11): 1827-1834.

[17] 陈葆, 李杰玉, 赵尚文, 等. 为了大地的丰收: 天水市农科所土壤肥料长期定位试验调查报告[J]. 发展, 2022(7): 51-55.

[18] 徐明岗, 姜翼来, 段英华, 等. 中国农田土壤肥力长期试验网络[M]. 北京: 中国大地出版社, 2015.

[19] 韩天富, 柳开楼, 黄晶, 等. 近 30 年中国主要农田土壤 pH 时空演变及其驱动因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(12): 2137-2149.

- [20] KUNDU S, BHATTACHARYYA R, PRAKASH V, et al. Carbon sequestration and relationship between carbon addition and storage under rainfed soybean-wheat rotation in a sandy loam soil of the Indian Himalayas[J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 92(112): 87-95.
- [21] 蔡岸冬, 徐明岗, 张文菊, 等. 土壤有机碳储量与外源碳输入量关系的建立与验证[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(5): 934-941.
- [22] 黄晶, 张杨珠, 高菊生, 等. 长期施肥下红壤性水稻土有机碳储量变化特征[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(11): 3373-3380.
- [23] STEWART C E, PAUSTIAN K, CONANT R T, et al. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation[J]. *Biogeochemistry*, 2007, 86(1): 19-31.
- [24] RUI W Y, ZHANG W J. Effect size and duration of recommended management practices on carbon sequestration in paddy field in Yangtze Delta Plain of China: a meta-analysis[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 135(3): 199-205.
- [25] 郝小雨, 马星竹, 周宝库, 等. 长期不同施肥措施下黑土有机碳的固存效应[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(5): 316-321.
- [26] ZHANG W J, WANG X J, XU M G, et al. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilizations in arable land of Northern China[J]. *Biogeosciences*, 2010, 7(2): 409-425.
- [27] STEWART C E, PAUSTIAN K, CONANT R T, et al. Soil carbon saturation: implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(2): 357-366.
- [28] 张淑香, 张文菊, 沈仁芳, 等. 我国典型农田长期施肥土壤肥力变化与研究展望[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(6): 1389-1393.
- [29] 姜桂英. 中国农田长期不同施肥的固碳潜力及预测[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [30] 王树会, 陶雯, 梁硕, 等. 长期施用有机肥情景下华北平原旱地土壤固碳及 N_2O 排放的空间格局[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(6): 1159-1171.
- [31] 李悦, 郭李萍, 谢立勇, 等. 不同农作管理措施对东北地区农田土壤有机碳未来变化的模拟研究[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(3): 501-513.
- [32] 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 等. 农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析[J]. *环境科学*, 2014, 35(3): 1144-1150.
- [33] 刘琼, 魏晓梦, 吴小红, 等. 稻田土壤固碳功能微生物群落结构和数量特征[J]. *环境科学*, 2017, 38(2): 760-768.
- [34] 周启星, 李晓晶, 欧阳少虎. 关于“碳中和生物”环境科学的新概念与研究展望[J]. *农业环境科学学报*, 2022, 41(1): 1-9.
- [35] 周连玉, 巨家升, 马学兰, 等. 农田土壤自养微生物固碳潜力及影响因素的研究进展[J]. *山东农业科学*, 2023, 55(6): 157-165.
- [36] 王慧颖, 徐明岗, 马想, 等. 长期施肥下我国农田土壤微生物及氨氧化菌研究进展[J]. *中国土壤与肥料*, 2018(2): 1-12.

Research Progress on Long-Term Fertilizer Positioning Experiments in China Under the Background of "Carbon Peak and Carbon Neutrality"

HAO Xiaoyu, MA Xingzhu, KUANG Enjun, ZHOU Baoku, LIU Ying, ZHANG Mingyi, ZHENG Yu, ZHAO Yue

(Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization / Laboratory of Black Soil Protection and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Heilongjiang Joint Laboratory of Soil Microbial Ecology, Harbin 150086, China)

Abstract: Agriculture has the dual functions of carbon source and carbon sink, which is an important way to achieve the goal of carbon peak and carbon neutrality. The long-term fertilizer positioning experiments have the characteristics of representativeness, continuity, stability and rich data. It not only helps to explore the evolution law of soil quality, but also plays an important role in coping with climate change and achieving the goal of carbon peak and carbon neutrality. Through literature analysis, the development and important role of long-term fertilizer experiments in China and its essential relationship with the realization of "double carbon" goal were discussed. It was found that there were some problems in long-term fertilizer experiments, such as insufficient attention and support, backward test setting and low utilization rate of data. Suggestions were put forward in the aspects of establishing long-term fertilizer experiments research network, strengthening interdisciplinary intersection, in-depth analysis of the internal mechanism of soil carbon sequestration effect, and strengthening policy and financial support.

Keywords: agriculture; carbon peak; carbon neutrality; long-term fertilizer experiments; carbon sequestration and emission reduction