

谭外球,王荣富,闫晓明,等.我国农牧生态系统碳循环研究进展[J].江苏农业科学,2014,42(2):307-309.

# 我国农牧生态系统碳循环研究进展

谭外球<sup>1</sup>,王荣富<sup>1</sup>,闫晓明<sup>2</sup>,何成芳<sup>2</sup>,朱鸿杰<sup>2</sup>,张正旺<sup>1</sup>

(1.安徽农业大学资源与环境学院,安徽合肥 230036; 2.安徽省农业科学院农产品加工研究所,安徽合肥 230031)

**摘要:**在分析当前我国农牧生态系统碳循环研究内容、基本特征的基础上,阐述农牧碳循环在全球碳循环及气候变化研究中的重要地位和作用,并指出农牧生态系统碳循环研究的基本方法、当前研究存在的问题以及研究的前景。

**关键词:**农牧生态系统;放牧土地;碳循环;碳储量

**中图分类号:** S181.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0307-03

工业革命以来,人类生产力水平大幅度上升,排入大气的含碳温室气体也在逐年增加。这使得生物圈和大气圈之间原有的碳平衡被打破,直接的后果是严重的温室效应,引发全球变暖、海平面上升等一系列重大环境问题<sup>[1-2]</sup>。要消除这一威胁人类生存的重大课题,必须深入认识造成以上问题的根源并寻求相应的解决方法<sup>[3]</sup>。碳循环是地球上最大的生物地球化学循环,其研究是了解生物圈的重要途径,对估计CO<sub>2</sub>及其他含碳温室气体含量及其与生物圈的相互作用具有不可取代的作用。随着国际社会对全球气候变化的重视,CO<sub>2</sub>作为最重要的一种温室气体,其源与汇已成为全球关注的热点<sup>[4]</sup>。

放牧土地是陆地土地资源的一个重要组成部分,对陆地碳截存以及碳循环研究起着极为重要的作用<sup>[5]</sup>。近年来,放牧土地的碳储量、放牧管理对碳循环及生态过程的效应研究

受到了土壤、环境、全球环境变化、生态学等研究领域的广泛关注<sup>[5-7]</sup>。由于放牧土地的分布具有广泛性和复杂性,相关研究尚无明确的定论,但有研究表明,只要放牧强度在一定范围内,对草地生产力和植被盖度无明显影响,就不会造成土壤碳的损失,同时由于家畜排泄物的输入使碳周转周期缩短而提高了土壤碳的截存;如果放牧强度过大而引起植被盖度和初级生产力严重下降,土壤侵蚀和矿化就会损失掉大量草场土壤有机碳,其中相当一部分贡献于大气CO<sub>2</sub>的升高<sup>[7-10]</sup>。

## 1 草牧生态系统碳循环

### 1.1 草牧生态系统碳循环

草地是全球分布最广的生态系统类型之一,在全球碳循环和气候调节中起重要作用<sup>[3,11]</sup>。草地中储存的碳总量占陆地生态系统的12.7%,其中90%存在土壤中<sup>[12]</sup>。草地生态系统的碳循环是陆地生态系统的基本机制之一,也是维持陆地生态系统的稳定和发展的重要因素<sup>[13]</sup>。

草地生态系统碳循环已有不少研究,有的研究针对草地生态系统碳评估的方法及意义<sup>[14]</sup>,有的研究围绕气候变暖对草地生态系统初级生产力、土壤呼吸、凋落物输入与分解、土壤碳库的影响等内容<sup>[15]</sup>,但更多的研究集中在草牧复合生态

收稿日期:20133-06-20

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD14B13-3)。

作者简介:谭外球(1988—),男,湖南郴州人,硕士研究生,研究方向为林牧生态系统碳循环。E-mail:sw0741tanwaiqiu@126.com。

通信作者:王荣,教授,博士生导师。E-mail:rfw54@163.com。

长健壮,使生长量增大,分蘖多,成穗多,后期灌浆充足,籽粒饱满,不孕小穗减少,产量增加。

2.3.2 增施农杂肥,提高秸秆还田数量 农杂肥中含有丰富的有机质和作物生长所必需的各种矿质营养元素如氮、磷、硫、钙等,是一种完全肥料,它不仅是作物养分的直接来源,还可活化土壤中潜在的养分,增强土壤生物学活性,促进物质转化,改善土壤物理化学性质,促进土壤团粒结构的形成,提高土壤的保水保肥能力。因此,对土质、肥力水平较差的沙土增施农杂肥,一方面可给作物比较全面的养分供应,促进作物正常生长发育,提高作物产量;另一方面可改良土壤结构,使养地和用地相结合。秸秆分解后释放的氮素被作物吸收利用,此外秸秆直接还田能归还其他大量营养元素和各种微量元素。因此,对营养匮乏的沙土提高秸秆还田数量,有利于农作物产量的提高。由此可见,增施农杂肥、提高秸秆还田数量有利于小麦产量的提高<sup>[3]</sup>。

2.3.3 肥料之间的配施效应 首先,化学肥料进行配施能使元素间叠加效应明显,有利于作物吸收利用,提高肥料的利用

率,且土壤中氮、磷充足会增强作物对钾的吸收利用;其次,化学肥料与农杂肥、秸秆进行配施,则可缓速相济,充分发挥肥效,使土壤营养充足,保证作物稳产、高产,提高肥料的经济效益。肥料的利用率提高,有利于粮食产量的提高。

## 3 结论

平衡施肥能提高土壤养分的全面供应能力,改善土壤结构,提高肥料经济效益,因而增产效果显著。要进行合理施肥,就要遵循营养元素的同等重要和不可代替规律。土壤缺钾,必须增施钾肥,才有利于农作物产量的提高。

## 参考文献:

- [1] 陈冬峰,杨劲松.江苏沿海滩涂地区大麦平衡施肥研究[J].土壤,2001,33(5):278-280.
- [2] 王中军,吴俊生.沿海滩涂石灰性沙土平衡施肥效果初探[J].沿海农业,2002,9(1/2):35.
- [3] 沈浩法,潘国庆.硅肥运筹对小麦产量及生物学性状的影响[J].沿海农业,2000,5(4):20.

系统碳循环方面。在我国北方广大的草原上,由于风蚀严重,持续放牧对植被、土壤及周围环境有极严重的恶化作用。在广大牧区,畜粪是主要的生活能源。与畜粪的自然分解相比,燃烧利用加速了碳排放,在增加温室气体的同时,也影响了放牧区草地生态系统的碳循环<sup>[16]</sup>。畜粪是放牧草地生态系统碳素从植物到土壤碳库转移的中间形式<sup>[17]</sup>,目前对畜粪与草地碳源汇的关系仍有争议:畜粪样方的土壤呼吸较高<sup>[18-19]</sup>,但所有畜粪样方都是 CO<sub>2</sub> 汇<sup>[18]</sup>。

## 1.2 草牧生态系统土壤碳循环

### 1.2.1 草牧生态系统土壤碳循环研究

土壤碳库是陆地生态系统最大的碳库,在陆地生态系统碳循环研究中有极其重要的地位。土壤碳库由有机碳库和无机碳库组成,对温室气体及全球变化有重要的控制作用。有研究表明,土壤有机碳库是大气碳库含量的 2.2 倍,是陆地生物量的 2.8 倍;土壤无机碳库与大气碳库相当<sup>[20]</sup>,但由于土壤无机碳的更新周期在千年以上,所以土壤有机碳库在全球变化研究中就显得极为重要。土壤有机碳动态是土壤碳循环研究中的关键,同时土壤有机碳库通过土壤呼吸释放 CO<sub>2</sub> 到大气中,这使得土壤有机碳库与大气碳库有直接的联系<sup>[21]</sup>。土壤有机碳库的研究不仅仅是局部环境问题,而且也是一个全球性问题,土壤有机碳的分布及其转化日益成为全球有机碳循环研究的热点<sup>[22]</sup>。

据估计全球农业土壤碳储量为 142 Pg C,农田土壤碳储量占土壤碳储量的 8%~10%<sup>[23]</sup>。不同利用方式不仅直接影响土壤有机碳的含量,而且通过影响土壤有机碳的形成,间接影响土壤有机碳的分布<sup>[22,24]</sup>。开垦荒地和翻耕农田加速了土壤有机碳的流失,目前仅土地开垦一项损失的土壤有机碳就在 30%~50% 之间<sup>[25]</sup>。但是也有研究表明,农田生态系统有较强的固碳功能<sup>[26]</sup>。这说明对当前土地如何合理利用亟需开展深入的研究。王明君等研究了内蒙古呼伦贝尔草原不同放牧强度对土壤有机碳的影响,结果表明,土壤表层(0~20 cm)有机碳含量在轻度放牧和中度放牧下差异不显著,但重度放牧情况下土壤有机碳含量显著低于前者<sup>[27]</sup>。由于过度放牧,内蒙古锡林河草原 40 年来土壤表层(0~20 cm)碳储量降低了 12.4%<sup>[28]</sup>。这种影响可能短期内无法立即体现出来<sup>[22]</sup>,短期的重牧对高山草甸的土壤碳储量是有好处的<sup>[29]</sup>,增加的土壤碳主要集中于 0~30 cm<sup>[30]</sup>。在土壤侵蚀比较严重的地区,重度放牧甚至能够保持土壤有机碳含量的稳定,而轻牧处理则因为侵蚀作用使土壤有机碳含量减少。另外,重度放牧地区 C<sub>4</sub> 植物的增加也有助于土壤有机碳含量的稳定<sup>[31]</sup>。持续放牧草地的土壤表层碳含量低于围封恢复草地,且围封时间长的草地土壤表层碳含量高。这可能是因为围封恢复,不仅能使土壤免遭风蚀,还显著增加了土壤有机质的输入,显著增强土壤的碳截存能力<sup>[9]</sup>。但是目前对围封的时间尺度还有待于深入研究。

土地覆盖变化既可改变土壤有机物的输入,也可通过对小气候和土壤条件的改变来影响土壤有机碳的分解速率,从而改变土壤有机碳储量。不合理的土地利用会导致土壤储存的碳量和植被生物量减少,使更多的碳素释放到大气中,从而导致大气 CO<sub>2</sub> 浓度的增加,这又进一步加剧了全球变暖的趋势和与之有关的气候变化。所以,精确估计土壤有机碳库和土地利用变化对陆地生态系统碳平衡的影响是当前全球陆地

表层碳循环研究的重点内容<sup>[32]</sup>。

### 1.2.2 土壤有机碳循环的研究方法

土壤有机碳模型是研究生态系统土壤碳循环的唯一可用工具。根据国内外发表的土壤有机碳动态的文章可知,土壤有机碳动态的研究方法可分为普通方法、非示踪方法、示踪方法、模型和计算机模拟等方法<sup>[23]</sup>。

碳素测试是研究土壤有机碳组成及驻留时间的重要手段,针对土壤有机碳的测定方法目前已成为较成熟的技术。按照测定原理的差异可以分为以下几类<sup>[21]</sup>。(1)物理分组法:相对密度分组法、颗粒大小分组法;(2)化学方法:氧化法、酸溶液提取法;(3)微生物学方法:土壤微生物生物量的测定(三氯甲烷熏蒸提取法)、土壤可矿化碳的测定。

## 2 林牧生态系统碳循环

林农、林牧复合生态系统具有多样性、系统性、集约性、高效性和可持续性等特点<sup>[33]</sup>。林农复合就内容而言与古代农业的发展是基本平行的,但到 20 世纪 70 年代才引起世界各国的普遍关注。经过多年的积累研究,根据生产目的的不同,将林农生态系统分为林-农复合型、林-牧复合型、林-渔复合型、林-农-渔复合型、林-副复合型。有研究表明,合理的林下放牧和养殖方式有助于林地小环境的稳定。当前针对林牧复合生态系统的研究多集中于放牧对林木的影响、放牧对林下植物的影响、放牧对土壤理化性质的影响等。例如,黄登峰对南方红黄壤丘陵地区果-草-禽林农复合生态系统研究<sup>[34]</sup>、李双喜对上海崇明地区林-草-禽林牧复合生态系统研究等<sup>[35]</sup>。

对林牧生态系统物质循环的研究也有一定基础,如孟庆岩等以我国海南省文昌市典型的胶-茶-鸡农林复合模式为研究对象,进行过胶-茶-鸡农林复合生态系统氮、钾等物质循环以及能量流动的相关研究,结果表明,复合系统的物质循环结构更加合理<sup>[36-38]</sup>,相同能量投入的产出比例也明显上升<sup>[39]</sup>。目前,国内针对林牧复合生态系统碳循环的研究较少,从已有的针对林牧复合体系的物质循环研究结论可以推测,这一系统类型的研究对全球碳循环研究无疑具有重大意义。

## 3 问题与展望

农牧生态系统碳循环的研究已经取得了一定的成果,但存在的问题依然显而易见:(1)当前关于农业生态系统碳循环的研究多集中于草牧、农田等传统的农业生态系统,对于近年新兴的林牧生态系统的研究较少涉及;(2)针对土壤碳库的研究,目前大部分侧重于土壤呼吸和碳库组分,亟需开展的土壤碳的结构类型和稳定性以及土壤生物尤其是土壤动物的响应机制的相关研究较少;(3)我国正大力发展循环农业,但当前的研究很少涉及林下养殖对林地生态系统碳储量及碳通量的影响,应当加强以林地生态系统耦合理论为核心的现代农业的研究;(4)碳循环研究具有全球性,应当加强国际合作,以全球农牧生态系统为背景的碳循环研究;(5)碳循环研究的目的是解决目前棘手的全球变暖等问题,应当加强气候变化与碳循环相结合的研究工作。

当前,农业生态系统碳循环研究已经成为生态学及环境

科学等学科的研究焦点。从《京都协定书》的制定开始,减少含碳温室气体的排在民众中已逐渐达成共识。哥本哈根大会的召开进一步指引人们对当前生产和生活方式进行反思,并且明确了温室气体排放的全球框架,低碳的概念得到了广泛的认同。“低碳生活方式”“低碳社会”“碳交易”等新概念随之产生,有关碳循环的新思维模式也逐渐深入人心。在全球范围低碳革命的指引下,人类社会将进入“低能耗、低污染、低排放”的全新时代,通过改变增长模式,应用新机制和新技术,发展低碳经济,提倡低碳生活,逐步实现社会的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] Canadell J G, Le Quéré C, Raupach M R, et al. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(47): 18866 – 18870.
- [2] Le Quéré C, Raupach M R, Canadell J G, et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide [J]. Nature Geosciences, 2009, 2(12): 831 – 836.
- [3] 冷方伟. 东亚地区碳循环研究新进展 [J]. 生物化学与生物物理进展, 2011, 38(11): 1015 – 1019.
- [4] 王邵军, 阮宏华. 全球变化背景下森林生态系统碳循环及其管理 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 113 – 116.
- [5] Reeder J D, Schuman G E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi – arid mixed – grass and short – grass rangelands [J]. Environmental Pollution, 2002, 116(3): 457 – 463.
- [6] Schuma G E, Janzen H H, Herrick J E. Soil carbon dynamics and potential Carbon sequestration by rangelands [J]. Environmental Pollution, 2002, 116(3): 391 – 396.
- [7] Abril A, Bucher E H. Overgrazing and soil Carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina [J]. Applied Soil Ecology, 2001, 16(3): 243 – 249.
- [8] Franzluebbers A J, Stuedemann J A, Schomberg H H, et al. Soil organic C and N pools under long term pasture management in the Southern Piedmont USA [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32(4): 469 – 478.
- [9] Wienhold B J, Hendrickson J R, Karn J F. Pasture management influences on soil properties in the Northern Great Plains [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 56(1): 27 – 34.
- [10] 苏永中, 赵哈林. 持续放牧和围封对科尔沁退化沙地草地碳截存的影响 [J]. 环境科学, 2003, 24(4): 23 – 28.
- [11] Hall D O, Scurlock J M O. Climate change and productivity of natural grasslands [J]. Annals of Botany, 1991, 67(S1): 49 – 55.
- [12] Raich J W, Schlesinger W H. The global dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate [J]. Tellus, 1992(44): 81 – 99.
- [13] 林慧龙, 王军, 徐震, 等. 草地农业生态系统中的碳循环研究动态 [J]. 草业科学, 2005, 22(4): 59 – 62.
- [14] 陈晓鹏, 尚占环. 中国草地生态系统碳循环研究进展 [J]. 中国草地学报, 2011, 33(4): 99 – 110.
- [15] 范月君, 侯向阳, 石红霄, 等. 气候变暖对草地生态系统碳循环的影响 [J]. 草业学报, 2012, 21(3): 294 – 302.
- [16] 徐增让, 高利伟, 王灵恩, 等. 畜粪能源利用对草地生态系统碳汇的影响 [J]. 资源科学, 2012, 34(6): 1062 – 1069.
- [17] 乌云, 刘新民. 内蒙古典型草原家畜粪分解过程中呼吸速率的变化 [J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学汉文版, 2010, 39(6): 602 – 605.
- [18] Jones S K, Rees R M, Skiba U M, et al. Greenhouse gas emissions from a managed grassland [J]. Global and Planetary Change, 2005, 47(2/3/4): 201 – 211.
- [19] Lee D K, Doolittle J J, Owens V N. Soil Carbon dioxide fluxes in established Switch grass land managed for biomass production [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39(1): 178 – 186.
- [20] Schimel D S. Terrestrial ecosystem and the carbon cycle [J]. Global Change Biology, 1995, 1(1): 77 – 91.
- [21] 杨丽霞, 潘剑君. 土壤活性有机碳库测定方法研究进展 [J]. 土壤通报, 2004, 35(4): 502 – 506.
- [22] 王艳芬, 陈佐忠. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(6): 66 – 72.
- [23] 方华军, 杨学明, 张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展 [J]. 土壤通报, 2003, 34(6): 562 – 568.
- [24] 赵鑫, 宇万太, 李建东, 等. 不同经营管理条件下土壤有机碳及其组分研究进展 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2203 – 2209.
- [25] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 13 – 15.
- [26] Huang Y, Sun W J. Changes in topsoil organic carbon of croplands in mainland China over the last two decades [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(15): 1785 – 1803.
- [27] 王明君, 韩国栋, 赵萌莉, 等. 草甸草原不同放牧强度对土壤有机碳含量的影响 [J]. 草业科学, 2007, 24(10): 6 – 10.
- [28] 李凌浩, 刘先华, 陈佐忠. 内蒙古锡林河流域羊草草原生态系统碳素循环研究 [J]. 植物学报, 1998, 40(10): 76 – 82.
- [29] 高永恒, 陈槐, 罗鹏, 等. 放牧强度对川西北高山草甸两个优势物种凋落物分解的影响 [J]. 生态科学, 2007, 26(3): 193 – 198.
- [30] Schuman G E, Manley J T, Hart R H, et al. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed – grass rangeland [J]. Ecological Applications, 1999, 9(1): 65 – 71.
- [31] Frank A B, Tanaka D L, Hofmann L, et al. Soil carbon and nitrogen of northern great plains grasslands as influenced by long – term grazing [J]. Society for Range Management, 1995, 48(5): 470 – 474.
- [32] 张林波, 曹洪法, 高吉喜, 等. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对土壤微生物的影响 [J]. 生态学杂志, 1998, 17(4): 34 – 39.
- [33] 范阿丽. 黑龙江省低山丘陵区林农复合生态系统功能研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 1999.
- [34] 黄登峰. 南方红壤丘陵区“果 – 草 – 禽”林农复合生态系统研究 [D]. 广州: 中山大学, 2004.
- [35] 李双喜. 上海崇明地区“林 – 草 – 禽”林牧复合生态系统研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [36] 孟庆岩, 王兆骞, 宋莉莉. 我国热带地区胶茶鸡农林复合系统氮循环研究 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 707 – 709.
- [37] 孟庆岩, 王兆骞, 姜曙千. 我国热带地区胶 – 茶 – 鸡农林复合系统物质循环研究 [J]. 自然资源学报, 2000, 15(1): 61 – 65.
- [38] 孟庆岩, 王兆骞, 王宏燕. 我国热带地区胶 – 茶 – 鸡农林复合系统钾循环研究 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 115 – 117.
- [39] 孟庆岩, 王兆骞, 姜曙千. 我国热带地区胶 – 茶 – 鸡农林复合系统能流分析 [J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 45 – 47.