

DOI:10.11937/bfy.201622047

# 草地生态系统土壤碳储量的影响因子

张义凡<sup>1,2,3</sup>, 陈林<sup>1,2,3</sup>, 杨新国<sup>1,2,3</sup>, 刘学东<sup>1,2,3</sup>, 李学斌<sup>4</sup>

(1. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;

2. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021;

3. 宁夏大学 西部生态与生物资源开发联合研究中心, 宁夏 银川 750021; 4. 宁夏大学 科学技术处, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**草地是我国重要的土地利用类型之一,草地生态系统有机碳库是全球碳循环的重要组成部分,其积累和分解的变化直接影响全球的碳平衡,研究草地土壤有机碳库的影响因素,对于准确评估我国草地生态系统的固碳潜力具有重要的科学意义。该研究在对现有资料整理的基础上,着重综述了自然因子、人类活动以及气候变化等因素对草地土壤碳储量影响的国内外研究进展,指出了目前草地土壤有机碳研究存在的问题,探讨草地固碳对外界因子的响应机制和适应对策,提出了草地土壤碳储量影响因素研究的发展趋势,并对今后草地土壤有机碳研究进行了展望。

**关键词:**草地生态系统;碳储量;影响因素**中图分类号:**S 155.4<sup>+</sup>7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)22-0188-06

土壤是陆地生态系统中最大的有机碳库,它不仅碳储量大,为植被生长提供碳源、维持土壤良好的结构性

状,而且有着较快的 CO<sub>2</sub> 地气交换,对于温室气体 CO<sub>2</sub> 的调节起着潜在碳源/汇作用,土壤中碳储量的微小变化都可通过大气排放温室气体而影响全球气候变化,成为全球碳循环研究的焦点<sup>[1]</sup>。王东波等<sup>[1]</sup>研究指出,全球 0~100 cm 土壤中有有机与无机碳库储量约为 2 400 Pg,是大气碳库的 3~4 倍,是植物体中碳的 5 倍。其中,草地是其重要的组成部分,AJTAY 等<sup>[2]</sup>统计,全球草地约占陆地生态系统碳储量的 15.2%,达到 761 Gt,其中草地土壤比率高达 89.4%;WHITTAKER 等<sup>[3]</sup>认为,草地约占陆地生态系统碳储量的 12.7%,约达 266.3 Pg。土

**第一作者简介:**张义凡(1991-),女,硕士研究生,研究方向为恢复生态学。E-mail:18209674643@163.com.

**责任作者:**李学斌(1972-),男,博士,副研究员,硕士生导师,现主要从事草地生态学与土壤碳循环等研究工作。E-mail:lixuebin@nxu.edu.cn.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31460123,41101301,31260581);教育部科学技术研究资助项目(413060)。

**收稿日期:**2016-08-12

## 参考文献

- [1] 郝艳宾.核桃种质资源与良种选育研究[D].北京:北京林业大学,2008.
- [2] 乔永胜,樊新萍,武彦霞.山西核桃产业发展的战略思考[J].山西农业科学,2015,43(3):337-340,348.
- [3] 孙晓丽.核桃园生态循环模式的调查与分析[D].保定:河北农业大学,2014.

- [4] 刘青.河北省核桃产业技术创新战略联盟创建研究[D].保定:河北农业大学,2014.

- [5] 云南核桃种植面积居全国首位综合开发前景广阔[EB/OL].<http://www.yn.xinhuanet.com/newscenter/2015-05/11/c134229101.htm>. [2015-05-11].

## Present Situation and Progress of Standardization of Walnut Industry in China

LI Shufang, XI Xueliang, YANG Jianhua, LIANG Linbo, CHEN Qin, WANG Gaosheng  
(Yangbi Walnut Research Institute, Yunnan Academy of Forestry, Yangbi, Yunnan 672500)

**Abstract:** There were currently six national and 12 industry standards related to walnut industry that have been developed in China. Although some local governments and enterprises have started to study the construction of walnut industry standard system, But it has not yet established a national standard system. Status of the rapid development of walnut industry, standard lag in industrial development, the urgent need to standardize the walnut cultivation, production, processing and deep processing of walnut industry chain of the standard system, through scientific and reasonable standard system, promote specific standard formulation in order and controllable state.

**Keywords:** walnut industry; standardisation; standard system

壤有机碳的储量大小是积累与分解损失平衡的结果,然而草地碳库储量的大小受气候、植被、土壤理化特性以及人类活动等诸多因素的影响较大,对于整个碳循环过程而言,微小的气候变化所带来的改变都将对未来产生巨大的影响,尤其是这些因子间的相互作用对土壤有机碳的动态变化至关重要。与森林、农田和湿地等相比,我国草地土壤碳循环的研究起步较晚,研究方法和技术手段相对落后,而且关于碳循环及其影响因素的研究范围较窄并且趋于单一化,缺乏整体性和系统性,尤其是在环境因子、全球气候变化以及人类干扰背景下,土壤有机碳的转化、储存及收支平衡的研究相对匮乏。鉴于此,现分别从自然环境、全球气候变化和人类活动 3 个方面试图总结草地土壤碳储量的影响因子,旨在进一步认识和理解草地在陆地生态系统碳收支中的作用以及土壤有机碳的变化过程中的因子,以期为正确评估土壤有机碳的变化方向和速率、合理管理利用草地以及制定正确的土地开发政策提供有益参考。

## 1 自然因素

### 1.1 温度与水分

温度和水分对土壤有机碳的输入与输出、微生物的分解与转化、植被类型、植被生产力等都会产生影响。有研究指出,土壤碳密度一般与降水量呈正相关,在降雨量相同条件下,其与温度呈负相关,温度与降雨的协同作用是陆地土壤碳密度分布的地理地带性的主要影响因素<sup>[4-5]</sup>,温度升高虽然在短时间内能刺激土壤呼吸产生大量的 CO<sub>2</sub>,但这种作用是有限度的<sup>[6-7]</sup>。TRUMBORE 等<sup>[8]</sup>研究表明全球范围内温度每升高 0.5 °C 会使处于稳定态的土壤碳储量降低约 6%,BATJES<sup>[9]</sup>的研究显示温度每升高 1 °C,全球陆地土壤将分解释放以  $1.1 \times 10^{10} \sim 3.4 \times 10^{10}$  t 碳计的 CO<sub>2</sub> 到大气中。BOND-LAMBERTY 等<sup>[10]</sup>通过对全球尺度的土壤呼吸进行研究,也发现长时间序列上全球温度上升与土壤呼吸速率的加强有很好的耦合关系,土壤呼吸速率的增强,是导致土壤有机碳分解加速、碳储量减少的直接原因。此外,YOUNG 等<sup>[11]</sup>、王绍强<sup>[12]</sup>的研究指出不同植被类型土壤有机碳在土壤表层的分布有显著的差异性,主要由于不同类型的草地生物量(包括植物活体、地上立枯体和凋

落物及尚未分解的死根)的差异性,因为草地生态系统中植物枯落物和地下根系的分泌物是土壤有机碳的主要来源,植被盖度对生长基质构造一定的微环境,对表层土壤的富集有较好的保护作用,植被类型不同致使光合产物的分配模式差异很大,从而对土壤有机碳小尺度和垂直分布有很大的影响。

### 1.2 土壤质地

土壤理化性质在局部范围内影响着土壤有机碳含量,其中土壤质地与有机碳蓄积的关系研究较多,多数研究认为土壤有机碳含量与土壤粉粒、黏粒的含量呈正相关。一般由于土壤团聚体中粉粒、黏粒对土壤水分的有效性以及粘粒与土壤有机碳形成复合体可以实现对有机碳的保护,提高了有机质的生物稳定性,减缓了有机质的分解与转化。但也有研究表明土壤质地对土壤碳蓄量的影响具有较大的空间异质性。例如:在中温带地区土壤质地与碳含量有着明显的相关关系<sup>[13]</sup>。而 SIMS 等<sup>[14]</sup>通过对美国蒙大拿州土壤土体数据库中 130 个土壤 A 层数据分析,土壤粘粒含量和土壤碳储量之间没有明显的关系。其它理化特性如土壤 pH、温度、水分和深度等,也会影响土壤有机碳含量的分布。土壤微生物的活性要求一定的酸度范围,pH 过高(>8.5)或过低(<5.5)对大部分微生物都不大适宜,会抑制其活动,研究表明在酸性土壤中,微生物种类的多样性受到限制以真菌为主,有机质分解速率减少<sup>[15]</sup>,从而对有机碳起到一定的保护作用。土壤的物理结构则通过调节土壤中空气和水的运动影响微生物的活动,土壤微生物是有机质的转化者,CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的产生与排放及土壤微生物对土壤有机质的转化密切相关,孙建等<sup>[16]</sup>通过定位试验研究,发现微生物量与碳、速效养分均显著相关,微生物可转化和固定腐殖质中的有效成分,其群落同时是土壤生态系统功能正常发挥的驱动者,其活性和多样性对于草地生态系统可持续性的发展是不可或缺的<sup>[17]</sup>。就土壤养分来说,不仅其可利用的养分状况影响植被的生长,而且微生物同化 1 份 N 需 24 份 C,土壤中矿质态 N 的有效性直接控制土壤有机碳的分解速率<sup>[18]</sup>。各因子的具体影响机制见表 1。

表 1

自然因子对土壤碳储量的影响

Table 1

Effect of natural factors on soil carbon

影响因素 Effect factor	影响机制及结果 Effect mechanism and consequence
温度和水分 Temperature and precipitation	直接作用是影响植物生长,影响碳素向草地生态系统的输入量;间接作用是通过影响土壤含水量来影响土壤透气性,pH 和土壤微生物活性,进而调控呼吸作用强度以及系统碳素的输出量
土壤质地 Soil texture and soil type	土壤中的沙粒、粉粒、黏粒的比例影响土/水状况、养分循环及微生物活性,进而影响有机质的稳定性和分解速率
土壤 pH Soil pH	通过影响土壤微生物的活性影响土壤碳素的输出
土壤微生物 Soil microorganism	其呼吸作用直接影响土壤有机质的分解速率和系统碳素的输出

## 2 全球气候变化

近年来,由于人类活动造成的气候变化,进而对草地生态系统碳储量的影响引起人们的广泛关注。大气变暖和 CO<sub>2</sub> 浓度升高及二者协同作用对草地土壤碳库产生重要影响,相应的土壤有机质对于 CO<sub>2</sub> 浓度增加和温度升高有相应的协同机制。了解气候变化对草地土壤有机碳库的影响对于准确理解气候变化背景下草地土壤有机碳的演变机制具有重要的指导意义。

### 2.1 大气变暖

气候变暖是全球大气变化的主要标志之一,对土壤碳储量也造成一定的影响。大量研究表明,大气变暖加快了土壤有机碳分解速率,进而加快了土壤碳的释放<sup>[19-21]</sup>。在气候变暖背景下,土壤碳释放将更多,土壤碳库储量有一定程度的损失,进而将进一步加剧全球变暖的趋势<sup>[22]</sup>。气候变暖将通过影响植被类型与生长状况,有机碳的输入输出速率来改变土壤有机碳储量<sup>[23]</sup>。普遍认为,气候变暖将加速土壤有机碳分解速率,增加土壤有机碳的损失<sup>[24-26]</sup>。室内试验表明,土壤升温对土壤微生物生物量及其活性有一定的促进作用<sup>[27]</sup>。周涛等<sup>[28]</sup>研究发现,当温度≤10℃时,土壤有机碳储量与温度呈显著负相关,其相关系数可达到-0.411。预计全球平均气温每升高2℃,由微生物分解土壤碳的释放量会增加10 Pg。在气温升高的初期(几年内)土壤呼吸作用会迅速上升,但土壤有机碳的分解对气候变暖具有适应性,因此随着气候持续变暖,土壤呼吸对温度的敏感性

下降,土壤呼吸速率会保持平衡甚至低落<sup>[29-30]</sup>。近些年的研究发现,气候变暖可以在短时间内刺激土壤呼吸并产生大量的 CO<sub>2</sub>,但这种作用是有限的<sup>[31-32]</sup>,因为土壤活性碳库的量是有限的。

### 2.2 CO<sub>2</sub> 浓度

大气 CO<sub>2</sub> 浓度通过影响植物的光合作用,进而影响净初级生产力<sup>[33-34]</sup>。CO<sub>2</sub> 浓度升高对植物光合作用效率和干物质积累都有一定的促进作用<sup>[35]</sup>。有研究表明,大气 CO<sub>2</sub> 浓度的上升将会提高地表植被的净初级生产力 NPP,进而导致陆地生态系统土壤碳截存的增加<sup>[36-37]</sup>。大气 CO<sub>2</sub> 浓度的升高还将通过影响凋落物的化学组分和种类组成而影响凋落物的分解速率;微生物对腐殖质的分解过程也受到土壤 C/N 比的限制<sup>[38]</sup>,影响土壤微生物对凋落物的分解速率,从而导致生态系统中碳通量的变化。CO<sub>2</sub> 浓度的升高,增加根系 CO<sub>2</sub> 通量和微生物的碳供应,刺激微生物种群的增长,导致土壤有机碳的分解加速<sup>[39]</sup>;但也有研究认为,土壤空气中较高的 CO<sub>2</sub> 浓度会对土壤微生物的呼吸和植物根系的呼吸产生抑制作用<sup>[40]</sup>,从而减少了土壤中碳素向大气中的释放;土壤碳库对大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应非常复杂,受多种因素(如:草地类型、管理方式、土壤水分有效性以及土壤养分状态等)的综合影响,大部分的研究得出影响过程如表2所示,总结因此土壤碳储量在影响诸多因素协同作用下的变化机理,今后仍需要进一步深入研究。

表2 全球变暖对碳储量的影响

Table 2 Effect of global warming on carbon storage

影响因素 Effect factor	影响机理及结果 Effect mechanism and consequence
大气温度 Atmosphere temperature	直接作用是通过影响植物的生长调控系统碳素的输入量,但总体驱动没有降水明显,温度与降水的季节配置是植物生长最主要的影响因素;全球变暖背景下,草地生态系统碳素输入量和输出量都有增加的趋势,系统碳素储量的变化取决于二者之间的制衡作用
CO <sub>2</sub> 浓度 CO <sub>2</sub> concentration	富集 CO <sub>2</sub> 促进植物光合作用和光合产物向地下分配、提高根冠比、增加碳素的输入量;影响凋落物的 C/N 比,提高微生物数量和活性,增加碳素输出

## 3 人类活动

土地利用方式的变化直接或间接地通过改变土壤有机质的分解速率影响 SOC 的含量和分布。在诸多人类活动中,将自然植被转变为耕地是影响土壤碳库和碳循环的最重要因子。陆地碳循环在人类活动与自然生态系统相互作用、相互制约的过程中,人类活动远远超过了自然变化影响的速率和程度<sup>[41]</sup>,主要包括开垦与耕作、放牧、围栏封育、火烧、退牧还草、退耕还林等形式。

### 3.1 开垦与耕作

草地的开垦与耕作通常会导致土壤中有有机碳的大量释放。土壤耕垦引起 SOC 损失的机制:一是耕作的物理效应,即耕作破坏了土壤的团聚体结构,使土壤中的有机物质充分暴露在空气中,失去保护作用造成矿化分解加强;二是开垦与耕作使土壤孔性、湿度、温度条件得到改善,微生物活性增强促进了呼吸作用,加速了有机质的矿化,植物残体混合在土壤中也比表层更易于分解<sup>[42]</sup>,次生林转变为人工林后,土壤有机碳稳定性显著

降低<sup>[43]</sup>;HOUGHTON<sup>[44]</sup>估计 1850—1980 年由于开垦导致的全球草原生态系统碳素净损失量约为 10 Pg。在我国内蒙古地区,草甸草原植被下的黑钙土不同层次有机碳含量因农垦分别损失 34%~38%<sup>[45]</sup>。因此,今后森林经营过程中应减少人为活动的影响,避免加剧土壤有机碳的损失和稳定性的降低。

### 3.2 放牧

放牧是影响草地碳循环的重要因素之一。草地植被经光合作用固定大气中的 CO<sub>2</sub> 形成有机质,经食草动物草食,将其同化为自身的物质积累,形成草地生态系统的‘流动’碳库。OJIMA 等<sup>[46]</sup>指出过度放牧不仅使草地植物固定碳素的能力降低,减少了草地植被对土壤碳库的碳输入,而且促进了土壤的呼吸作用,加速了土壤碳素的分解释放。据估测,在内蒙古地区过度放牧使土壤表层(0~20 cm)碳的净损失高达 12.4%<sup>[47]</sup>。杨新国等<sup>[48]</sup>研究指出围栏封育内易氧化有机碳含量、颗粒有机碳的分配比显著高于围栏外。但也有研究认为在短期内轻度放牧对土壤有机碳含量没有显著影响,比如:澳大利亚东北干旱草原经过 8 年放牧经营,土壤有机碳含量没有显著变化。也有研究表明适度放牧增加了草地土壤有机质含量。

### 3.3 火烧

火烧作为农业经营措施的一种,在温、热带地区已得到大量研究<sup>[49-51]</sup>。早期研究主要集中在火烧对 N、P 等生长限制元素的损失及其对生态系统生产力、水文状况等的影响<sup>[52-53]</sup>;随着人们对全球温室效应的关注,火烧对碳储量影响研究在近十几年得到重视<sup>[50-51,54]</sup>。全球每年因生物燃烧向大气排放的 CO<sub>2</sub> 占到人为排放总量的 1/3<sup>[55]</sup>;正确评估火烧在碳循环中的作用,将有力的推进全球碳循环研究的进程。就草地生物燃烧对土壤碳含量的影响,主要取决于火烧性质、火烧频率和强度、观测时间以及草地类型。WANG 等<sup>[56]</sup>总结了 200 多个火烧后土壤有机碳的变化得出高强度野火可使土壤有机碳减少 25.3%。JOHNSON 等<sup>[57]</sup>通过 Mete 分析认为火烧只是改变有机碳在土壤剖面的分布,对土壤碳含量变化的影响并不显著。可见,火烧对土壤有机碳的影响是一个复杂的过程,既包括短期的直接燃烧损失,也通过改变碳的成分、输入、输出过程而对土壤碳库产生长期的间接影响<sup>[58]</sup>。从长时间尺度上来看,在分析某一地区某一时期是碳汇还是碳源时,必须考虑火烧引起的土壤碳收支变化。

综上所述,人类活动对碳循环以及源汇功能的影响很大,合理地利用土地、改善土地覆被以及科学管理土

地,对陆地生态系统碳循环以及碳源汇功能具有积极的意义。

## 4 存在的问题及研究展望

虽然国内外众多学者在草地土壤有机碳影响因子研究方面取得了很大的成果,得到了一些重要的结论,但是由于草地土壤有机碳库构成的复杂性及影响因素的多样性,目前对草地土壤有机碳各种形态、动态过程及其调控机理等研究仍十分薄弱。鉴于草地土壤碳库在全球碳循环中扮演者重要的角色,因此以后应加强以下 5 个方面的研究。

1)虽然我国学者对土壤有机碳储量及其影响因子已经进行了大量的研究,目前研究依然停留在定性描述,仅考虑各个因子的片面影响作用,对于综合定量评估气候变化对草地土壤碳库变化的研究较少,尚不能定量地描述全球气候变化对中国草地的土壤碳动态的程度和速度的影响,从而制约了对土壤有机碳循环过程的准确评估。

2)在碳循环过程中,对碳源库的理解不足,对于 CO<sub>2</sub> 是源还是汇,目前尚没有定论,其直接决定着将来气候变化预测的准确度,而正确地认识与理解土壤有机碳蓄积过程及其影响因子协同作用则是准确评价土壤有机碳变化的方向和速率的科学问题。

3)不同植被类型将形成特定的区域小气候,对区域的温度和水分产生影响,进而影响土壤有机碳的分布,根据草地地理环境因素、草地的植被类型及其生产力大小,结合草原土壤碳素转化的特点,因地制宜地分析草地碳储量的影响因素以增加草地碳截获,减缓全球气候变化,成为科学家们的研究焦点。

4)草地土壤碳循环研究应从单个影响因子的简单评估转化为 3S 等技术在土壤生态系统碳平衡研究中的应用,模拟大尺度的碳循环过程,以实现草地土壤碳循环的时间和空间分布格局的快速诊断与评估。

5)综合工程措施,选择一个合理的人类干扰措施,促进草地土壤碳储量达到最优过程,优选出一种集生态效益、经济效益、社会效益于一体的合理的草地经营模式,应是今后的主要研究方向。

### 参考文献

- [1] 王东波,陈丽.放牧对草地生态系统土壤理化性质的影响[J].科技与经济,2006(10):105-106.
- [2] AJTAY G L. Terrestrial primary production and phytomass[M]//The global carbon cycle. Chich Ester;John Wiley & Sons,1979:129-182.
- [3] WHITTAKER R H, LIKENS G E. Biosphere and man[A]. LIETH H. Primary productivity of the biosphere[C]. New York: Springer-verlag, 1975:305-308.

- [4] POST W M, EMANUEL W R, ZINKE P J, et al. Soil carbon pools and world life ones[J]. *Nature*, 1982, 298: 156-159.
- [5] TRUMBORE S E, CHADWICK O A, AMUNDSON R. Rapid exchanges between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature[J]. *Science*, 1996, 272: 393-396.
- [6] KASPER T C, BLAND W L. Soil respiration and root respiration[J]. *Soil Science*, 1992, 154: 290-299.
- [7] MCMICHAEL B L, BRUKER J J. Soil respiration and root growth[J]. *HortScience*, 1998, 33: 947-955.
- [8] TRUMBORE S E, CHADWICK O A, AMUNDSON R. Rapid exchanges between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature[J]. *Science*, 1996, 272: 393-396.
- [9] BATJES N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world[J]. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47: 151-163.
- [10] BOND-LAMBERTY B, THOMSON A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record[J]. *Nature*, 2010, 464: 579-582.
- [11] YOUNG I M, BLANCHART E, CHENU C, et al. The interaction of soil biota and soil structure under global change[J]. *Global Change Biology*, 1998(4): 703-712.
- [12] 王绍强, 刘纪远. 土壤蓄积量变化的影响因素研究现状[J]. *地球科学进展*, 2002(4): 528-534.
- [13] MCDANIEL P A, MUNN L C. Effect of temperature on the relationship between organic carbon and texture in Mollisols and Aridisols[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1985, 49: 1486-1489.
- [14] SIMS Z R, NIELSEN G A. Organic carbon in Montana soils as related to clay content and climate[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50: 1269-1271.
- [15] AYANABA A, JENKINSON D S. Decomposition of carbon-14 labeled ryegrass and maize under tropical conditions[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54: 112-115.
- [16] 孙建, 刘苗, 李立军, 等. 不同耕作方式对内蒙古旱作农田土壤水热状况的影响[J]. *生态学报*, 2010(6): 1539-1547.
- [17] 杨红飞, 穆少杰. 气候变化对草地生态系统土壤有机碳储量的影响[J]. *草业科学*, 2012(3): 392-399.
- [18] 周莉, 李保国, 周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. *地球科学进展*, 2005(1): 99-105.
- [19] COX P M, BETTS R A, JONES C D, et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model[J]. *Nature*, 2000, 408: 184-187.
- [20] DAVIDSON E A, TRUMBORE S E, AMUNDSON R. Soil warming and organic carbon content[J]. *Nature*, 2000, 404: 789-790.
- [21] LENTON T M, HUNTING FORD C. Global terrestrial carbon storage and uncertainties in its temperature sensitivity examined with a simple model[J]. *Global Change Biology*, 2003(9): 1333-1335.
- [22] WANG Q K, ZHONG M C, WANG S L. A meta-analysis on the response of microbial biomass, dissolved organic matter, respiration, and N mineralization in mineral soil to fire in forest ecosystems[J]. *Forest Ecology and Management*, 2012, 271: 91-97.
- [23] 杨红飞, 穆少杰, 李建龙. 气候变化对草地生态系统土壤有机碳储量的影响[J]. *草业科学*, 2012(3): 11-29.
- [24] RUSTAD L E, FERNANDEZ I J. Experimental soil warming effects on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> flux from a low elevation sprucefir forest soil in Maine, USA[J]. *Global Change Biology*, 1998(4): 597-605.
- [25] BRIONES M J I, POSKITT J, OSTLE N. Influence of waring and enchytraeid activities on soil CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 1851-1859.
- [26] KANG S, DOH S, LEE D, et al. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea[J]. *Global Change Biology*, 2003(9): 1427-1437.
- [27] FANG C M, SMITH P, MONCRIEFF J B, et al. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature[J]. *Nature*, 2005, 433: 57-59.
- [28] 周涛, 史培军, 王绍强. 气候变化及人类活动对中国土壤有机碳储量的影响[J]. *地理学报*, 2003(5): 727-733.
- [29] LUO Y Q, WAN S Q, HUI D F, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie[J]. *Nature*, 2001, 413: 622-625.
- [30] LISKI J, ILVESNIEMI H, MAKELA A, et al. CO<sub>2</sub> emissions from soil in responses to climatic warming are overestimated; The decomposition of old soil organic matter is tolerant of temperature[J]. *AMBIO*, 1999, 28(2): 171-174.
- [31] MELILLO J M, STEUDLER P A, ABER J D, et al. soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system[J]. *Science*, 2002, 298: 2173-2176.
- [32] LUO Y Q, WAN S Q, HUI D F, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie[J]. *Nature*, 2001, 413: 622-625.
- [33] DHAKHWA G B, CAMPBELL C L, COOTER E J, et al. Maize growth: Assessing the effects of global warming and CO<sub>2</sub> fertilization with crop models[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1998, 87(4): 251-270.
- [34] WIGLEY T M L, SCHIMMEL D S. The carbon cycle[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000(9-10): 77-92.
- [35] 张林波, 曹洪波, 高吉喜, 等. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对土壤微生物的影响[J]. *生物学杂志*, 1998(4): 33-38.
- [36] 陈春梅, 谢祖彬, 朱建国. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对土壤碳库的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2008(1): 217-222.
- [37] 邹春雷, 吴凤芝, 郑洋. 高 CO<sub>2</sub> 浓度对植物的影响研究进展[J]. *东北农业大学学报*, 2008(3): 134-139.
- [38] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [39] TORBERT H A, PRIOR S A, ROGERS H H, et al. Review of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> effects on agro-ecosystems; residue decomposition processes and soil C storage[J]. *Plant and Soil*, 2000, 224: 59-73.
- [40] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其全球变暖的响应[J]. *生态学报*, 2002(9): 1134-1143.
- [41] LIU J Y, WANG S Q, CHEN J M, et al. Storages of soil organic carbon and nitrogen and land use changes in China, 1990-2000[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59: 483-496.
- [42] LAL R, FOLLETT R F, KIMBLE J, et al. Management U. S. cropland to sequester carbon in soil[J]. *Journal of Soil and Water Cons.*, 1999, 54(1): 374-381.
- [43] 章华奇. 不同土地利用方式对土壤有机碳库及其稳定性的影响[J]. *林业勘察设计*, 2003(12): 325-330.
- [44] HOUGHTON R A. Changes in terrestrial carbon over the last 135 years[C]//HEIMAN M. NATO ASI Series I: The Global Carbon Cycle. Vol

15. Berlin Heidelberg, 1993:139-157.
- [45] 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(6):545-551.
- [46] OJIMA D S, DIRKS B O M, GLEOVN E P. Assessment of C budget for grasslands and dry lands of the world[J]. Water Air and Soil Pollution, 1993, 70:95-109.
- [47] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000:223-227.
- [48] 杨新国, 宋乃平, 李学斌, 等. 短期围栏封育对荒漠草原沙化灰钙土有机碳组分及物理稳定性的影响[J]. 应用生态学报, 2012(12):3325-3330.
- [49] SORENSEN C D, FINKRAL A J, KOLB T E, et al. Short- and long-term effects of thinning and prescribed fire on carbon stocks in ponderosa pinestands in northern Arizona[J]. Forest Ecology and Management, 2011, 261(3):460-472.
- [50] CONARD S G, SUKHININ A I, STOCKS B J, et al. Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia[J]. Climatic Change, 2002, 55(2):197-211.
- [51] JOHNSON D W, SUSFALK R B, CALDWELL T G, et al. Fire effects on carbon and nitrogen budgets in forests[J]. Water, Air and Soil Pollution; Focus, 2004, 4(2/3):263-275.
- [52] CASTALDI S, ARAGOSA D. Factors influencing nitrification and denitrification variability in a natural and fire-disturbed Mediterranean shrubland[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 36(6):418-425.
- [53] OROS D R, MAZUREK M A, BAHAM J E, et al. Organic tracers from wild fire residues in soils and rain/river wash-out[J]. Water, Air and Soil Pollution, 2002, 137(1/4):203-233.
- [54] GALDOS M V, CERRI C C, CERRI C E P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil[J]. Geoderma, 2009, 153(3/4):347-352.
- [55] DIXON R K, SOLOMON A M, BROWN S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science, 1994, 263(5144):185-190.
- [56] WANG Q K, ZHONG M C, WANG S L. A meta-analysis on the response of microbial biomass, dissolved organic matter, respiration, and Nmineralization in mineral soil to fire in forest ecosystems[J]. Forest Ecology and Management, 2012, 271:91-97.
- [57] JOHNSON D W, CURTIS P S. Effects of forest management on soil C and N storage; meta analysis[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 140(2/3):227-238.
- [58] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 等. 火烧对森林土壤有机碳的影响研究进展[J]. 生态学报, 2015(9):35-36.

## Influence Factor of Carbon Storage in Grassland Ecosystem

ZHANG Yifan<sup>1,2,3</sup>, CHEN Lin<sup>1,2,3</sup>, YANG Xinguo<sup>1,2,3</sup>, LIU Xuedong<sup>1,2,3</sup>, LI Xuebin<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-Western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration of North-Western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Union Research Center for Ecological and Exploitation of Biological Resources in Western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 4. Department of Science and Technology, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** Grassland is one of the important land use types in China. Grassland ecosystem organic carbon pool is an important component of the global carbon cycle, which directly affects the accumulation of decomposition to global carbon balance. Influence factors for grassland soil organic carbon pool has important scientific significance for the assessment of carbon sequestration potential of grassland ecosystems. In this study, this paper focused on the natural factors, human activities, climate change and other factors affected the domestic and international research of grassland soil carbon reserves in progress, pointed grassland soil organic carbon study existing problems and discussion on grassland carbon fixation mechanisms and adaptation strategies in response to external factors. Besides, this paper made a grassland soil carbon storage factors research trends and prospects for the future study of grassland soil organic carbon.

**Keywords:** organic carbon; carbon; influence factor