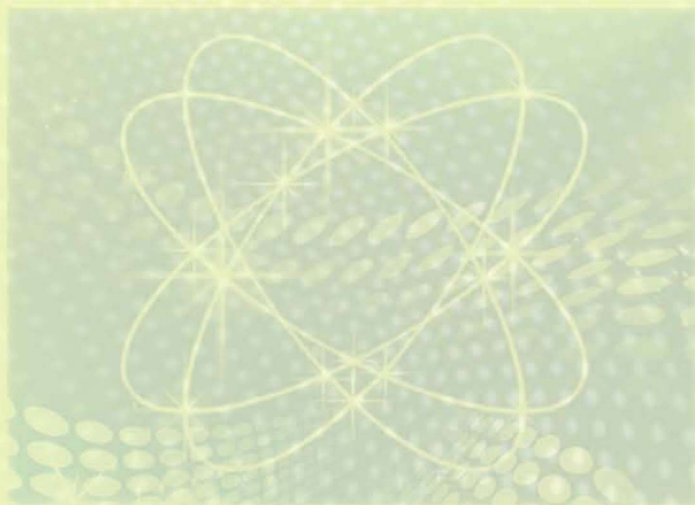


土地利用方式对地 气系统碳氮交换的影响研究

焦燕 主编



内蒙古科学技术出版社

本研究受到国家自然科学基金项目(批准号:41165010)
和国家重点基础研究发展计划 973 项目(批准号:2007CB106806)联合资助

The Work Supported by the Chinese Natural Science Foundation
(NO. 41165010) and the 973 Project of National Basic Research Program
of China(NO. 2007CB106806)

土地利用方式对地 - 气 系统碳氮交换的影响研究

焦 燕 著

内蒙古出版集团
内蒙古科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

土地利用方式对地-气系统碳氮交换的影响研究 /
焦燕著. —赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2012. 10
ISBN 978-7-5380-2216-2

I. ①土… II. ①焦… III. ①土地利用—影响—氮循环—研究—内蒙古 IV. ①X511②X321.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 252563 号

出版发行: 内蒙古出版集团
内蒙古科学技术出版社
地 址: 赤峰市红山区哈达街南一段 4 号
网 址: www.nm-kj.com
邮 编: 024000
电 话: (0476)8224848 8226867
责任编辑: 季文波
封面设计: 永 胜
印 刷: 赤峰富德印刷有限责任公司
字 数: 250 千
开 本: 787 × 1092 1/16
印 张: 11.25
版 次: 2012 年 10 月第 1 版
印 次: 2012 年 11 月第 1 次印刷
定 价: 58.00 元

摘 要

本研究于2007年7月对内蒙古东部农牧交错带太仆寺旗4种土地利用类型进行160个样点的分析表明,不同土地利用类型的土壤有机碳含量和水溶性碳含量表现出显著差异。草地土壤的有机碳含量最高,林地次之,农田最小。草地造林30年后,0~30 cm土层的土壤有机碳密度下降18%;草地开垦为农田10年,15年和20年后,0~30 cm土层的土壤有机碳密度分别下降34%,14%和18%。0~10 cm,10~20 cm和20~30 cm土壤深度下,草地土壤水溶性有机碳含量变化范围在21.1~26.5 mg/L,林地和农田分别为12.1~14.6 mg/L和8.0~14.0 mg/L。土壤速效磷含量变化为农田>草地>榆树林地。土地利用方式对土壤质地也有影响,与农田土壤和林地土壤相比较,草地土壤的黏粒含量最高,沙砾含量最低。相关分析表明土壤有机碳含量和水溶性有机碳含量分别与土壤全氮含量呈显著正相关关系($p < 0.05$);与土壤容重,土地利用类型表现出明显负相关关系($p < 0.05$)。土壤有机碳含量和水溶性碳含量显著相关($p < 0.01$)。逐步回归分析表明,土壤有机碳含量的变异性的71.2%可由土地利用类型的不同解释($p = 0.000, r^2 = 0.712$)。土壤水溶性有机碳含量可定量地由土地利用类型、土壤有机碳含量这2个参数确定的线性回归方程表示($p = 0.000, r^2 = 0.861$)。

为研究农牧交错带开垦年限对土壤碳氮储量的影响,于2007年10月选择位于内蒙古东部农牧交错带太仆寺旗的天然草地和邻近的6个不同开垦年限的农田样地(垦殖年限为5年,10年,15年,20年,35年和50年)作为研究对象。分析表明,天然草地开垦为农田后,土壤有机碳、氮储量、水溶性碳含量随开垦年限的延长而明显降低($p < 0.05$)。0~30 cm土层,草地土壤的有机碳密度为6.32 KgC·m⁻²;全氮密度为65.00 gN·m⁻²;开垦5年,10年,15年,20年,35年和50年的农田土壤有机碳密度与天然草地相比,分别下降17%,12%,19%,47%,46%和48%;土壤氮密度分别下降5%,16%,23%,38%,44%和44%。在开垦的前5年内,土壤有机碳密度下降很快,年均下降速率为3%;在10~20年间,年均下降率在1.2%~2%;20年后下降趋于平缓,年均下降速率平均为0.98%。土壤氮储量的变化趋势基本与碳储量的变化趋势一致。0~30 cm土层,不同开垦年限的土壤有机碳密度、全氮密度的变异性分别有85%和97%可由农田开垦时间得以解释($p = 0.000, r^2 = 0.8500$; $p = 0.000, r^2 = 0.9709$)。

在0~30 cm土层中,天然草地转变为农田后,开垦年限对土壤养分含量和物理性状均有显著影响。土壤的有机碳含量、全氮含量、速效钾含量均随农田开垦年限的延长而降低,草地土壤的养分含量最高。与天然草地相比,0~10 cm土层,有机碳含量下降36%,47%,43%,57%,68%,68%,速效钾含量分别下降33%,55%,39%,65%,60%,40%。开垦年限对土壤物理性状也有明显影响,草地土壤的黏粒含量最高,沙粒含量最低;开垦年限越长的农田,土壤沙粒含量越高,黏粒含量越低。农田土壤的容重显著高于草地。随农田开垦年限

的延长,土壤容重增加,而土壤 pH 显示降低趋势。本研究表明,在研究区域天然草地具有较好的土壤养分保持能力,开垦年限越长越易导致土壤养分的缺乏和土壤的酸化和沙化,影响整个农牧交错带生态系统的稳定性和持续性,这可为改善当地生态环境提供科学依据。

为研究草地围封年限对土壤特性的影响,以内蒙古太仆寺旗典型草原为研究对象,采用邻近样地原则,5 个围封样地作为研究样地。研究 13 个不同围封年限天然草地(围封 5 年,7 年,8 年,10 年,11 年,13 年,14 年,18 年,20 年,21 年,22 年,24 年,25 年)土壤的有机碳、全氮、全磷的含量及其密度,并以自由放牧样地作为对照,探讨了不同围封年限下草地土壤的生态化学计量比的特征。主要研究结果:重度退化草地采取生长季围封措施后土壤有机碳、全氮、全磷含量和及其相应密度均显著高于自由放牧地,且随围封年限的增加呈上升趋势,均在围封 14 年样地出现最大值(C、N、P 密度分别为 $78.02\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $6.20\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $1.21\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$),之后随着围封年限的继续增加又出现降低趋势。不同围封年限的草地土壤碳、氮、磷密度与围封时间呈极显著正相关关系($r=0.962^{**}$ 、 0.934^{**} 、 0.822^{**})。围封 14 年前土壤 C/N 随围封年限的增加而降低,而围封 14 年之后呈上升趋势,到围封 22 年时大于自由放牧地。围封样地土壤 N/P 和 C/P 均小于自由放牧地,且随着围封年限的增加而降低。自由放牧地中,氮和 N/P 的相关系数大于磷和 N/P 的;围封样地,氮和 N/P 的相关系数小于磷和 N/P 的,推断出自由放牧地,氮元素为限制性元素,围封样地磷元素为限制性元素。不同围封年限之间草地地上植物现存量和根系生物量及其碳含量均随围封年限增加呈逐渐增加趋势,最大值均出现在围封 14 年草地,之后有降低的趋势;其氮含量和磷含量随围封年限的增加呈降低趋势,在围封 14 年样地出现最小值,之后出现增加趋势。围封样地地上植物和地下根系 C/N、C/P 大于自由放牧地,随围封年限的变化趋势与地上植被碳含量的变化趋势一致,到围封 14 年样地出现最大值。自由放牧地地上植物和地下根系的 N/P 均小于 14,证明 N 元素是自由放牧地限制元素,而围封样地间地上植物和地下根系 N/P 均大于 16,表明 P 元素是围封样地限制性元素。

生长季围封恢复措施对土壤碳、氮、磷含量及其密度具有显著影响。土壤生态化学计量特征的分析表明围封样地的磷元素为限制性元素;自由放牧地,氮元素为限制性元素,植物生态化学计量特征的分析验证上述结论,土壤生态化学计量特征对草原的退化和恢复也具有一定的指示意义。

草地围封会对土壤养分产生影响,但有关围封对 CH_4 吸收影响的研究甚少。选取内蒙古典型草原不同围封年限(0、8、11、14、21、25 年)土壤为研究对象,采用室内培养的方法,调节含水量至 25%(W/W),并注入纯 CH_4 (使瓶内初始 CH_4 浓度分别为 2.24、340、7000 ppm)后密封,在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下恒温培养,研究不同围封年限土壤对 CH_4 吸收能力的影响。结果表明:与自由放牧草地相比,重度退化草地采取生长季围封恢复措施后,围封年限对 CH_4 吸收有显著影响($F=11.1134$, $p<0.01$),草地围封 8 年时土壤吸收 CH_4 的能力达到最大,而在 14 年时吸收能力最小。就不同初始外源 CH_4 浓度而言, CH_4 的累积吸收量随 CH_4 初始浓度的升高而升高,在低、中初始 CH_4 浓度下 CH_4 的累积吸收量与土壤有机碳含量呈负相关($R=0.9292^{**}$, $p<0.01$; $R=0.7502^*$, $p<0.05$),说明土壤有机碳和外源 CH_4 浓度是影响土壤 CH_4 吸收的重要因子。

土地利用变化影响甲烷的吸收(CH_4),然而草地转变为农田后,土壤特性和开垦年限对

大气甲烷吸收的影响研究还较少。本研究从 2008 年到 2010 年在内蒙古农牧交错带进行野外试验,、4 个邻近的草地和不同开垦年限的农田,利用暗箱法测定气体通量。研究结果表明,草地和不同开垦年限农田土壤间 CH_4 吸收量在 2008 年生长季 ($F = 273.7, p = 0.000$), 2009 年生长季 ($F = 264.8, p = 0.000$) 和 2010 年生长季 ($F = 362.4, p = 0.000$) 均存在显著差异。 CH_4 累积吸收量大小顺序为开垦 5 年的农田 > 开垦 10 年的农田 > 开垦 50 年的农田 > 草地土壤。天然草地转变为农田后促进了大气甲烷的吸收,草地土壤 CH_4 累积吸收量最低,2008 年,2009 年和 2010 年分别为 $141.4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} 7\text{months}^{-1}$, $210.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} 7\text{months}^{-1}$ 和 $236.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} 7\text{months}^{-1}$; 从 2008 年到 2010 年农田土壤的 CH_4 累积吸收量与草地土壤相比增加 20% ~ 280%。随农田开垦年限的延长, CH_4 吸收降低,不同土壤间 CH_4 吸收差异的 77.3% 可由土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量决定 ($r^2 = 0.7732, p = 0.0001$)。

通过培养实验研究了天然草地转变为农田后,开垦年限 (5, 10, 50 年) 对大气 CH_4 吸收的影响。结果表明:天然草地转变为农田后降低了土壤吸收 CH_4 的能力, CH_4 的吸收量随开垦年限的增加而逐渐降低,大小顺序为:天然草地 > 开垦 5 年的农田 > 开垦 10 年的农田 > 开垦 50 年的农田,以天然草地为对照,开垦 5 年、10 年、50 年后农田土壤 CH_4 的吸收量分别降低了 17.1% , 44.1% , 50.1%。单因子相关分析表明:土壤有机碳含量、全氮含量、土壤微生物量碳、氮是影响土壤 CH_4 吸收的主要因子。

土地利用变化影响氧化亚氮的排放 (N_2O), 然而草地转变为农田后,土壤特性和开垦年限对 N_2O 排放的影响研究还较少。本研究从 2008 年到 2010 年在内蒙古农牧交错带太仆寺旗进行野外试验,、4 个邻近的草地和不同开垦年限的农田,利用暗箱法测定气体通量。研究结果表明,草地和不同开垦年限农田土壤间 N_2O 排放在 2008 年生长季 ($F = 53.8, p = 0.000$), 2009 年生长季 ($F = 17.3, p = 0.001$) 和 2010 年生长季 ($F = 153.0, p = 0.001$) 均存在显著差异。2008 年到 2010 年,天然草地转变为农田的前 10 年,与草地土壤相比,农田土壤 N_2O 的排放降低了 10% ~ 50%; 随着开垦年限的增加从 5 年到 50 年, N_2O 排放增加,开垦 50 年的农田土壤 N_2O 排放高于草地土壤 10% ~ 30%。草地和不同开垦年限农田土壤间 N_2O 排放差异 73% 可由土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量和 MBC 含量的综合影响决定 ($r^2 = 0.7325, p = 0.003$)。

关键词:土地利用方式;地—气系统;碳氮交换; CH_4 吸收; N_2O 排放;土壤理化特性

序

近年来,气候变化,特别是温室效应增强导致的全球气候变暖成为环境学和生态学等学科共同关心的热点问题。大气中温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 浓度增加与土地利用方式和农业生产方式的变化紧密相关。土地利用/覆盖变化是学术界最为关注的环境变化问题之一,它能够影响陆地生态系统的生物多样性,水、碳和养分循环、能量平衡、引起温室气体释放增加等环境问题,土地利用方式的变化强烈影响 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的全球排放。目前通过土地利用方式和农业生产方式的变化减缓农田温室气体排放的研究正成为国际上著名科学家和研究机构关注的焦点。

在国家重点基础研究发展计划(国家 973 计划)(北方草地与农牧交错带生态系统维持与适应性管理的科学基础)项目和正在实施的国家自然科学基金项目(内蒙古农牧交错带土地利用方式对 CH_4 和 N_2O 影响)的资助下,我和我的同事、研究生以内蒙古草地与农牧交错带为研究对象,研究土地利用方式转型对地—气系统碳氮交换影响。多年来,通过连续的野外观测和实验室培养测定分析和研究,获得了大量的第一手实验数据和研究结果,为深入研究陆地生态系统碳氮循环及其对全球变化的响应和反馈机制奠定基础。

《土地利用方式对地—气系统碳氮交换的影响研究》一书系统地介绍了目前内蒙古草地与农牧交错带几种主要土地利用方式改变,例如:草地转变为农田、草地转变为林地和退化草地围封对地—气系统碳氮交换的影响。全书共分十一章,第一章简要介绍了土地利用变化对地—气系统碳氮交换影响的国内外研究进展;第二章介绍了土地利用变化对土壤有机碳含量和水溶性有机碳含量的影响;第三章介绍了土地利用变化对土壤理化特性的影响;第四章介绍了天然草地转变为农田后开垦年限对土壤碳、氮储量的影响;第五章介绍了农牧交错带开垦年限对土壤理化特性的影响;第六章介绍了不同围封年限下典型草原土壤生态学计量特征研究;第七章介绍了典型草原不同围封年限对 CH_4 吸收的影响;第八章介绍了土地利用变化对 CH_4 吸收的影响;第九章介绍了天然草地转变为农田后开垦年限下土壤特性对 CH_4 吸收的影响;第十章介绍了土地利用变化对 N_2O 排放的影响;第十一章介绍了研究的结论。

本书的研究结果深化了草地及农牧交错带土地利用方式变化对地—气系统碳氮交换的影响过程的理解,为制定我国农业温室气体减排策略提供科学依据和数据支撑,有助于降低我国农田温室气体排放总量估算的不确定性,为国际上合理确定农田温室气体排放清单提供科学依据,为合理制订草地与农牧交错带土地利用规划提供指导,并有助于回答国际上有关土地利用方式转变减缓农田温室效应方面的相关科学问题。

焦 燕

2012 年初夏

The Effect of Land Use Change on Exchange of Carbon and Nitrogen in Earth – gas System

ABSTRACT

Effects of grassland conversion to cropland and forest on soil organic carbon (SOC), dissolved organic carbon (DOC) in the farming – pastoral ecotone of Inner Mongolia were investigated by direct field sampling. SOC content and DOC content in soil decreased after grassland were shifted to forest or cropland, in the sequence of grassland soil > forest soil > cropland soil. SOC stock declined by 18% after grassland shifted from to forest. Reclamation of cropland for 10 years, 15 years and 20 years lost SOC in 0–30 cm soil layer, by 34%, 14% and 18% respectively, compared with that of grassland. DOC in 3 soil layers was within 21.1 ~ 26.5 mg/L in grassland, 12.1 ~ 14.6 mg/L in forest soil, and 8.0 ~ 14.0 mg/L in cropland soil. Correlation analysis indicated that SOC content and DOC content were positively dependent on total nitrogen content ($p < 0.05$), but negatively on bulk density or land use type ($p < 0.05$). DOC was positively correlated SOC ($p < 0.01$). Moreover, SOC content could be quantitatively described by a linear combination of land use types ($p = 0.000, r^2 = 0.712$), and DOC content by a linear combination of two soil – related variables, land use types and SOC ($p = 0.000, r^2 = 0.861$).

This study investigated the effects of grassland conversion to croplands and woodland on soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), dissolved organic carbon (DOC), available potassium (AK) and available phosphorus (AP) in a farm grazing Transition Belt of the Inner Mongolia using field experiment. Soil samples were collected from 4 land use types. The results showed that in the 0 ~ 30 cm depth, SOC, TN, AP and AK concentrations were higher in upper layers than lower layers. SOC concentrations, TN, DOC and AK concentrations are the highest for grassland. AP concentrations are significantly higher for cropland than the other land uses. The grassland soils contain more clay and less sand than the other land use types.

The study investigated the long time effect of a conversion from grasslands to croplands on soil physical – chemical properties in the farming – pastoral ecotone of Inner Mongolia using direct field samplings. We determined a land use history for the 1955 – 2002 from field survey. This land use history was used to build a chronosequence of cropland sites with a different age since the conversion from grassland. Results showed that Soil C, N storage varied with cropland age ($p < 0.01$). 50 years of reclamation induced a reduction of soil organic carbon (SOC) content, total nitrogen (TN) content, dissolved organic carbon (DOC) content and soil bulk density. For 0 ~

30cm layer, SOC density were significantly lower in the cropland ($3.28 \text{ KgC} \cdot \text{m}^{-2}$ for C50 soil) than in the grasslands ($6.32 \text{ KgC} \cdot \text{m}^{-2}$), at $p < 0.05$. After 5 years, 10 years, 15 years, 20 years, 35 years and 50 years of reclamation, SOC losses were 17%, 12%, 19%, 47%, 46% and 48% compared with the grasslands, respectively. TN density of grasslands was $65 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-2}$, Cropland soil was $35 \text{ gN} \cdot \text{m}^{-2}$ after 50 years of reclamation. Interestingly, SOC density and TN density could be quantitatively described by cropland age ($p = 0.000$, $r^2 = 0.8500$; $p = 0.000$, $r^2 = 0.9709$). It is expected that this research would provide information for suitably using land and avoiding environmental degradation.

The study investigated the long time effect of a conversation from grasslands to croplands on soil physical - chemical properties in the farming - pastoral ecotone of Inner Mongolia using direct field samplings. We determined a land use history for the 1955 - 2002 from field survey. This land use history was used to build a chronosequence of cropland sites with a different age since the conversation from grassland. Results showed that 50 years of reclamation induced a reduction of soil organic carbon (SOC) content, total nitrogen (TN) content, soil available kalium content, pH levels, clay content and soil bulk density. It was founded that there was clear dependency of soil properties (dissolved organic carbon content; soil available kalium content; pH levels; clay content and soil bulk density) on cropland age. It was expected that this research would provide information for suitably using land and avoiding environmental degradation.

The study investigated the long time effect of enclosed grasslands on soil physical - chemical properties. A research conducted on the topical steppe in Taibusi country of the Inner Mongolia. The 13 adjacent sites were chosen to represent different enclosed years of natural grass. SOC, TN, TP in the enclose grassland were significantly higher than free grazing. SOC, TN, TP, soil bulk density of 14 years enclose grassland soil has the maximum value. C/N decreases with the increase of enclosed age before the enclosure 14 years; C/N increases after enclosed 14 years. The soil N/P and C/P in enclosed grasslands is less than the free grazing grasslands, N/P and C/P is decreased with the increase of enclosure age. In free grazing grasslands, N and N/P correlation coefficient was greater than P and N/P, in enclosed plots it is less than the P and N/P, which can be judged relatively nitrogen - poor, free grazing land enclosed plots relative P deficiency.

With the enclosed lifing increased, the grass and root biomass and its C content is increased, the maximum is in the 14 enclosed, after that were decreased; The N and P content is decreasing, the enclosed 14 years occurred the minimum value, after they increasing. With the increase of the enclosed age the density of vegetation C, N and P were increased, the maximum respectively in 14, 25 and 11 year sample of the enclosed, after it reduce trend. Aboveground and underground root C/N, C/P in enclosed is greater than the free grazing and increased with the enclosed, the maximum were in enclosed 14 year sample, and then with the enclosed life increase would have a decreasing trend. Free grazing land the N/P were less than 14 indicating that free grazing land by the N limit in nitrogen - poor state, in the enclosed it greater than 16, indicating that free grazing land by the P limit in phosphorus - poor state.

The growing season enclosed recovery measures have a significant impact on soil C, N, P content and its density. SOC density, TN and TP density could be quantitatively described by enclosed age. Free grazing grasslands showed the deficiency of nitrogen, the same conclusion has also been obtained through the analysis on plant ecological stoichiometry, enclosed grasslands showed P deficiency.

Grass enclosure would have some impact for methane uptake. The study of the enclosure years and CH_4 uptake is little. A research selected the typical steppe as in the Inner Mongolia as the search object and introduced a laboratory incubation method. 50 g dried sample sieving 2 mm soil was put in 300 mL flask, adjusting the water content to 25% (W/W). The flasks were sealed after injecting pure CH_4 (CH_4 initial concentration in the bottle are respectively 2.24, 340 and 7000 ppm) and cultured at $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$. The research studied the changes of CH_4 uptake in different enclosing years (0, 8, 11, 14, 21 and 25 years). The results showed that compared with free grazing grassland, appropriate enclosing years can increase capacity of CH_4 uptake, enclosing years on CH_4 absorption has a significant influence ($F = 11.1134, p < 0.01$). The capacity of CH_4 reached the maximum at 8 years after growing season enclosure and reached the minimum at 14. Cumulative CH_4 uptake increased with soil organic carbon decreased at different initial CH_4 concentration. Cumulative CH_4 uptake and SOC content was negatively correlated at the initial CH_4 concentration of 2.24 ppm and 340 ppm ($R = 0.9292^{**}, p < 0.01$; $R = 0.7502^*, p < 0.05$). It indicated that the main influencing factors CH_4 uptake were SOC and CH_4 concentration.

Land use change affects the net emissions of the trace gas methane (CH_4). However, the effects of soil properties and cropland age on atmospheric CH_4 uptake from the conversion of grassland to cropland are uncertain. This study was conducted to compare a 3-year investigation of CH_4 uptake fluxes from grassland and cropland in the farming-pastoral ecotone of Inner Mongolia. Four adjacent sites were chosen to represent different land uses. The flux measurements were obtained using a closed-chamber method and were performed continuously during the period from April to October in 2008, 2009 and 2010. The results showed a significant difference in CH_4 uptake between cropland and grassland in 2008 ($F_{\text{CH}_4} = 273.7, p < 0.001$), 2009 ($F_{\text{CH}_4} = 264.8, p < 0.001$) and 2010 ($F_{\text{CH}_4} = 362.4, p < 0.001$). Grassland had the lowest CH_4 uptake values of $141.4 \text{ mg m}^{-2} 7\text{months}^{-1}$, $210.0 \text{ mg m}^{-2} 7\text{months}^{-1}$ and $236.0 \text{ mg m}^{-2} 7\text{months}^{-1}$ in the 2008, 2009 and 2010 sampling seasons, respectively. The cumulative CH_4 uptake of cropland soil increased by 20% ~ 280%, compared with the grasslands from 2008 to 2010. Decreased cumulative CH_4 uptake was observed with an increase in cropland age from 5 to 50 years. The seasonal cumulative CH_4 uptake could be quantitatively determined by soil $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, ($r^2 = 0.7732, p = 0.0001$).

A laboratory incubation method was used to study the effects of reclamation years (5, 10, 50 years) of grassland in Taipusi County of Inner Mongolia conversion to cropland on soil CH_4 absorption. The results showed that the absorption of CH_4 was reduced significantly after grassland was changed into cropland, and CH_4 uptake decreased with cultivation years, CH_4 uptake was

highest in grassland and lowest in 50 years of cropland. With natural grassland as control, five rec-lamination years, ten years, fifty years, soil CH_4 uptake decreased respectively by 17.1%, 44.1%, 50.1%. Correlation analysis indicated that: soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), microbial biomass carbon (B_C) and microbial biomass nitrogen (B_N) were the main influencing factors of soil CH_4 absorption.

Land use change affects the net emissions of the trace gas nitrous oxide (N_2O). However, the effects of soil properties and cropland age on atmospheric N_2O emissions from the conversion of grassland to cropland in temperate grassland ecosystems are uncertain. This study was conducted to compare a 3-year investigation of N_2O emissions fluxes from grassland and cropland in the farming-pastoral ecotone of Inner Mongolia. Four adjacent sites were chosen to represent different land uses. The flux measurements were obtained using a closed-chamber method and were performed continuously during the period from April to October in 2008, 2009 and 2010. The results showed a significant difference in N_2O emissions between cropland and grassland in 2008 ($F = 53.8, p = 0.000$), 2009 ($F = 17.3, p = 0.001$) and 2010 ($F = 153.0, p = 0.001$). Seasonal amount of N_2O emissions was $87.6 \text{ mgm}^{-2}7\text{months}^{-1}$, $91.8 \text{ mgm}^{-2}7\text{months}^{-1}$, $211 \text{ mgm}^{-2}7\text{months}^{-1}$ for the grassland in 2008, 2009, 2010 sampling seasons, respectively. The cumulative N_2O emissions increased by 10% ~ 30% from 50 years of crop planting soil, compared with the grasslands from 2008 to 2010 and N_2O emissions of 5 and 10 years of crop planting soil was decreased by 10% ~ 50%. Furthermore, increased N_2O emissions was observed with an increase in cropland age from 5 to 50 years. The seasonal cumulative N_2O emissions of grassland and cropland soil could be quantitatively determined by soil $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content and MBC content. ($r^2 = 0.7325$, $p = 0.003$).

Keywords: Land use change; Exchange of carbon and nitrogen; Earth-gas system; CH_4 uptake; N_2O emission; Soil physical-chemical properties

目 录

第一章 绪 论	1
引 言	1
第一节 土地利用变化对土壤有机碳及相关土壤特性影响的研究进展	2
第二节 土壤生态化学计量学研究	4
第三节 草地生态系统 CH_4 吸收和 N_2O 排放研究进展	10
第四节 农田 N_2O 的产生和排放研究进展	18
第五节 问题的提出	35
第二章 土地利用变化对土壤有机碳含量和水溶性有机碳含量的影响研究	36
第一节 研究的材料和方法	36
第二节 研究的结果	38
第三节 研究的讨论	42
第四节 研究的结论	43
第三章 土地利用方式对土壤理化性质的影响	45
第一节 材料和方法	45
第二节 结果和分析	46
第三节 研究的讨论	49
第四节 研究的结论	50
第四章 天然草地转变为农田后开垦年限对土壤碳、氮储量的影响	51
第一节 材料和方法	51
第二节 结果和分析	54
第三节 研究的结论	59
第五章 农牧交错带开垦年限对土壤理化特性的影响	60
第一节 材料和方法	60
第二节 结果分析和讨论	62
第三节 研究的结论	67
第六章 典型草原土壤不同围封年限上生态化学计量特征研究	68
第一节 不同围封年限草地土壤 C、N 和 P 密度的变化	68
第二节 草地不同围封年限土壤生态化学计量比	79
第三节 草地不同围封年限植物生物量、有机碳、全氮和全磷含量及其生态化学 计量比	87
第四节 本章小结	91

第七章 典型草原不同围封年限对 CH_4 吸收的影响	93
第一节 研究区域和研究方法	94
第二节 结果和分析	96
第三节 研究的讨论	101
第四节 研究的结论	102
第八章 土地利用变化对 CH_4 吸收的影响	103
第一节 材料和方法	103
第二节 结果和分析	105
第三节 研究的结论	114
第九章 天然草地开垦后不同开垦年限下土壤特性对 CH_4 吸收的影响	116
第一节 研究的材料和方法	116
第二节 研究的结果和分析	118
第三节 研究结果的讨论	120
第四节 研究的结论	120
第十章 土地利用变化对 N_2O 排放的影响	121
第一节 材料和方法	121
第二节 结果和分析	123
第三节 研究的结论	131
第十一章 研究的结论	132
参考文献	135
致 谢	166

第一章 绪 论

引 言

近年来,气候变化,特别是温室效应增强导致的全球气候变暖成为环境学和生态学等学科共同关心的热点问题。观测资料和估算结果表明,2005 年大气中 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 浓度已分别高达 379 ppmv (10^{-6} 体积比)、1774 ppbv (10^{-9} 体积比) 和 319 ppbv, 导致的辐射强迫 (RF - Radiative Forcing) 分别为 $1.66 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $0.48 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $0.16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (IPCC, 2007)。大气中温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 浓度增加与土地利用方式和农业生产方式的变化紧密相关。目前通过农业生产方式的变化减缓农田温室气体排放的研究正成为国际上著名科学家和研究机构关注的焦点 (Smith 等, 2008)。

大气中含碳温室气体 CO_2 、 CH_4 等浓度的快速增长使得以 CO_2 、 CH_4 等为核心的碳元素循环过程的研究引起全球科学家的高度关注。陆地生态系统是全球碳循环的重要组成部分。但由于其下垫面的复杂性以及人类活动的强烈干扰, 目前研究中存在很大不确定性, 对陆地生态系统碳循环规律和机制的研究将是全球碳循环研究的关键。

陆地生态系统的碳氮循环过程对大气中温室气体浓度变化起至关重要的作用, 陆地生态系统的碳氮循环过程受土地利用方式的强烈制约。土地利用/覆盖变化是学术界最为关注的环境变化问题之一, 它能够影响陆地生态系统的生物多样性、水、碳和养分循环、能量平衡、引起温室气体释放增加等环境问题, 土地利用方式的变化强烈影响 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的全球排放。

土地利用/覆盖变化引起的生态系统碳循环变化主要是通过模型模拟来估算。但是, 在大尺度上利用遥感和模型手段估算土地利用/覆盖变化对生态系统碳氮循环的影响还存在很大的不确定性。在全球碳平衡的计算中, 土地利用/覆盖变化是估测陆地生态系统碳储存和碳释放中最大的不确定因素。目前令科学家困惑的问题是已知的碳汇 (sink) 与已知的碳源 (source) 不能达到平衡, 存在一个很大的未探明的汇 (missing sink), 以 20 世纪 80 年代平均计算, 这个未探明的汇大约为 $1.3 \pm 1.1 \text{ PgC}$ ($1 \text{ Pg} = 10^9 \text{ t}$)。由于海洋碳汇较小 (约为 2.0 Pg/a), 不确定性也很小。因此, 全球碳汇的增加大部分存在于不确定性很大的陆地生态系统中。农田和草原生态系统则是人类活动最活跃的生态系统类型, 农业管理方式的变化、草地开垦和过度放牧等都使得研究该系统内的碳循环具有极大的挑战性。

我国北方草地及与其毗邻的农牧交错带约占地面积的 30%。内蒙古草原是欧亚大陆草原的重要组成部分, 属于典型的干旱半干旱草原, 内蒙古农牧交错带位于北方农牧交错带区域之内, 农牧交错带面积占该区面积的 52.1%。农牧交错带总体属于边际性土地, 其土地资源类型分布错综复杂, 农林牧交错, 土地利用的时空结构不稳定。近期北方草地与农牧交

错带土地利用格局整体上表现为农田的扩张和草地的收缩,草地开垦现象较为突出,净增加 437000 hm^2 (刘纪远等,2002)。草地开垦为农田后引发了一系列严重的环境问题,如:土壤沙化、肥力下降、草场退化等。草原开垦后人类活动的加强将会在很大程度上导致草地土壤结构 (Singh & Singh, 1996)、理化性质、土壤水分、土壤温度、土壤微生物构成 (Steenwerth et al., 2002) 等发生改变,这些因素正是影响地-气系统碳氮交换的关键因素。森林或草地向农田的转化也是除工业化外造成大气 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 含量急剧增加的最主要原因,综上所述,土地利用方式改变会对地-气系统碳氮交换产生重要影响,但目前针对土地利用变化对地-气系统碳氮交换影响方面的研究较少,还有许多重大理论问题待解决。

第一节 土地利用变化对土壤有机碳及相关土壤特性影响的研究进展

气候变化等驱动因素很多,但人类活动被认为是最重要的原因之一,可以归于两方面:一方面主要是化石燃料燃烧等能源和工业过程直接向大气中排放 CO_2 等温室气体;另一方面是通过土地利用变化影响 CO_2 等温室气体源汇的分布和大小。据估算,1850—1998 年间上述两种排放中,土地利用变化引起的 CO_2 排放量是人类活动影响总排放量的 1/3 (IPCC, 2000)。因此土地利用、土地覆被变化研究计划,成为全球变化和地球科学的前沿和热点。

目前,许多政府和研究机构广泛关注土地利用/覆盖变化产生的后果,跨国研究项目不断增加,比如,美国 NASA 土地利用/变化研究项目 (The Land use and land cover change gram of the national aeronautics and spaceadmintion); 美国政府气候变化科学项目中的土地利用覆盖子项目 (the land use programe lement in the ingency U. S. climate change science program) 以及土地利用/覆盖变化核心项目 (the international sphere biospheres land use and cover change (LU core project)); 国际应用系统分析研究所土地利用覆盖和农业研究项目 (land use change and agriculture program, international institute of applied systems asis, IIASA) 等。

土地利用变化可直接影响陆地生态系统与大气之间的温室气体交换及碳循环过程,研究土地利用和土地覆被变化以及土地管理对温室气体和陆地生态系统碳通量的影响是当前碳循环的全球变化研究的热点内容。不同类型的土地利用/覆盖变化对生态系统碳循环的作用不同,全球土地利用/覆盖变化具有很强的空间变异性,对生态系统碳循环的影响同样具有明显的空间差异,高纬度地区土地利用/覆盖变化造成大量的碳释放,而中高纬度地区土地利用/覆盖变化则表现为碳汇。不同土地利用方式的转变直接影响到土壤碳储量的变化,包括天然林地变成草地、草地变成次生林地、草地变成人工林地、天然林地变成人工林地、天然林变成农田、农田变成人工林、农田变成次生林、农田变成草地和草地变成农田对土壤碳含量的影响 (刘全友, 2005; 吴建国等, 2004)。例如,由于耕种措施的采用,农田土壤有机质的分解速率加快,因此,无论是草地还是森林转化为农田后,土壤的碳储量都会减少 (Houghton and Goodale, 2004; Guo and Gifford, 2002),而土壤碳储量减少速率受周转时间、农田管理措施以及农作物种类等因素影响。

草地生态系统是分布面积最广的陆地生态系统之一,其面积占全球的 1/2,在全球陆地碳循环中起着极为重要的作用。草地地上部分和地下部分总的碳贮量占全球陆地生态系统的 1/3。我国草地生态系统碳素总储量为 308 PgC , 占陆地生态系统碳素总储量的 15.2%,

在全球草地生态系统碳循环研究中占有重要的位置。草地生态系统碳循环具有其独特的生物地球化学循环过程和作用,碳素储量绝大部分集中于土壤中,地上生物量中仅为 10%。开垦是对草原土壤碳储量产生影响的主要方式,碳素的含量变化是这种影响的直接结果。就影响强度而言,草地开垦是影响草原土壤碳储量最为剧烈的人类活动因素。我国草地受人类活动(如农垦及放牧等)影响日益严重,草地退化和沙化面积逐渐增大,研究草地土壤碳素受人类活动的影响十分必要。草地开垦为农田对于草地生态系统碳过程也会产生较大的影响。草地开垦将会导致土壤中有有机碳的大量损失。一方面,草地开垦为农田后,收获作物时大量的地上部分被移走,农田的烧荒措施等,从很大程度上减少了植被对草地土壤的归还,导致草地土壤有机碳的大量释放;另一方面,开垦使得土壤温度和湿度条件改善,促进土壤的呼吸作用,加速有机质的分解,许多研究表明森林和草地向农田的转化都会造成大量土壤有机碳释放到大气。

Mann(1986)通过对 625 个研究样点的数据总结分析发现,由森林或草地转化为农田可以造成 0~100cm 土壤内 20% 的有机碳释放到大气。Johnson(1992)通过总结 8 篇文章的研究结果也发现,森林或草地转化为农田后约 20% (15%~25%) 的土壤有机碳释放到大气中;Davidson 和 Ackerman(1993)及 Murty 等(2002)经过分析总结的实验数据,发现森林或草地向农田的转化能导致 30% 左右的土壤有机碳释放到大气中;而 Guo 和 Gifford(2002)通过对数据分析发现有 42% 的土壤有机碳释放到大气中。Houghton 和 Goodale(2004)通过进一步总结分析更全面的实验数据,认为从草地或森林转化为农田将会有约 27% 的土壤有机碳被释放到大气中。我国学者在内蒙古草地也作了一些研究,发现草地开垦为农田后,大量的碳损失发生在最初几年,20 年后趋于稳定(杜睿等,1997;王艳芬等,2000)。Celik(2005)报道草地土壤转变为农田 12 年后 0~10 cm 土层的土壤有机质下降 48%。尽管对土地利用变化影响土壤碳方面在一些地区已经有相当多的研究,但由于所研究的森林、草地及农田类型、土地经营方式、气候和土壤类型等方面的差异,结果的差异性还较大。目前,国内关于开垦对草地土壤碳素的影响研究多集中于锡林郭勒草原区(王艳芬等,1998)、青藏高原草甸区(王根绪等,2002)、新疆天山绿洲(李月梅等,2005;罗格平等,2005)等地,而在内蒙古农牧交错带的研究还较少(Wu 等,2002),特别在这一区域关于垦殖年限对草原土壤碳素的影响研究尚属空白,影响了对农牧交错生态系统碳动态及其生物地球化学过程的了解。

国内外土地利用变化对土壤理化性质的影响研究方面,主要集中在土壤碳、氮、可溶性有机碳、磷、钾和土壤物理特性等研究。由于有机物质进入土壤后,碳平衡需要较长时间,一般研究易降解组分的碳,这些组分碳的转化时间一般 10~20 年,土壤可溶性有机碳(DOC)作为易降解组分碳在国内外的研究较多。关于土地利用变化对 DOC 的影响研究,一些研究发现森林土壤>草地土壤>农田土壤,(Delprat et al., 1997; Haynes, 2000)。氮、磷、钾作为关键因子影响生态系统初级生产力(Han et al. 1999; Mooney et al. 1987),是生物地球循环的关键生源元素,但土地利用变化对氮、磷、钾等土壤特性影响的研究还较少。

土地利用变化对土壤物理特性的影响研究也较缺乏(Pedersen et al., 1980; Skousen et al., 1998; Shukla et al., 2004a)。土地利用变化直接影响土壤容重(Shukla et al., 2004b)。Celik(2005)研究证明农田土壤比邻近的森林土壤和草地土壤有较高的土壤容重。土地利用变化后由于土地管理措施的不同对土壤质地的影响也较大。He et al. (2005) and Li et

al. (2006) 发现农田土壤的沙砾含量明显高于草地土壤。主要由于植物残渣进入草地土壤不犁地形成丰富的有机质,促进土壤细颗粒的形成,导致草地土壤黏粒含量高而沙砾含量少。

我国北方草地及与其毗邻的农牧交错带占国土面积约 30%。农牧交错带,总体属于边际性土地,其土地资源类型分布错综复杂,农林牧交错,土地利用的时空结构不稳定,由于其生态脆弱性已引起许多学者关注。本研究选择内蒙古典型农牧交错区为研究样区,探讨天然草地开垦为农田后,土壤碳库的变化规律,为其源汇效应的准确评价提供科学依据,为进一步评价农牧交错带土地利用变化对生态环境的影响,以及提出合理的土地利用配置提供科学依据。

第二节 土壤生态化学计量学研究

生态化学计量学(Ecological stoichiometry)作为 20 年来发展起来的新兴学科,主要以生态学作为研究背景,综合化学计量学和生态学基本原理的学科,它主要研究多重化学元素(主要指 C、N、P、S 和 O)平衡关系和生态系统能量平衡(Elser 等,1996),综合热力学第一定律,生物进化的自然选择原理,力求把不同生物群系、不同尺度的生物学和不同层次(全球尺度、生态系统、种群、有机体、细胞和分子)的研究理论有机统一起来(曾德慧等,2005)。

生态学上的应用化学计量学理论能够追溯到李比希 1862 年提出的最小量定律(Liebig's law of the minimum),这个理论首次阐明了生物体生长势依靠生物体的元素组成平衡是至关重要的,它拥有生态化学计量学关于元素平衡的最初思想。Redfield (1958)研究表明,当养分不受限制的时候,海洋浮游植物的元素比值是一个恒定值,也就是 $C:N:P = 106:16:1$ (Redfield ratio),这个假设的提出极大地促进了海洋生物地球化学领域研究的迅猛发展。Vitousek 等(1982)提出养分利用效率的思想,养分利用效率用于表示具有潜在的限制影响作用的养分,尤其是 N 和 P 于植被凋落及其养分再吸收这两个途径之间的分配等生理学过程同生长速率之间的关系,事实上,揭示了土壤和养分的比值关系,然而,他于文章中并没有提到生态化学计量学这个学术名词。直至 2002 年,《生态化学计量学:从分子到生物圈的元素生物学》一书的出版,标志着生态化学计量学理论得到基本完善(Harris 等,2003)。

生态化学计量学推动了两个非常重要的理论发展,即生长速率理论(Growth rate hypothesis)和动态平衡(Homeostasis)原理。Ecology 杂志于 2004 年刊登了生态化学计量学研究的特别专栏,实时报道了生态化学计量学的最新进展,例如:生长速率和 RNA 浓度的关系,生长速率和 C、N、P 含量的关系,生物化学和化学计量的关系等(Hessen 等,2004;Andersen 等,2004;Vrede 等,2004)。当前,生态化学计量学主要集中于 C、N、P 元素的计量关系。这是源于 C、N、P 作为生命的重要元素,它们成为地球上所有生命的化学组成形式。通常来讲,N 占到地球上有机体蛋白质组成的 16%,P 占到核酸组成的 9.5%,这两个比例于不同来源的生物体中处于相对稳定的状态;然而,C 占到有机体干物质的 50%左右,这个比例于生物的不同类群中随着细胞的结构组成不同发生着变化。生物于长期进化的过程中,形成了一定的内稳态机制(homeostatic mechanism),也就是生物于环境的变化(包含食物)中拥有能够保持它自身化学组成相对恒定的能力,它成为生态化学计量学发展的前提。张丽霞等(2003)