

农牧交错带退耕还草对土壤微生物量 C N 的影响

韩永伟, 韩建国, 王 堃, 张蕴薇

(中国农业大学草地研究所, 北京 100094)

摘 要:在农牧交错带以小麦为对照,研究了退耕还草对土壤微生物量 C、N 的影响。结果表明,0 ~ 20 cm 土层微生物量 C、N 的大小顺序为:混播草地> 相应的单播草地> 小麦地。不同单播处理对土壤 0 ~ 20 cm 微生物量 C、N 影响明显。无芒雀麦 + 冰草(1:1)在增加土壤微生物量 C、N 方面效果较佳。一个生长季结束后,单播牧草比小麦能更好地提高土壤的微生物量 C、N。

关键词:草原学; 农牧交错带; 退耕还草; 微生物量 C; 微生物量 N

中图分类号:X172 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 – 2043(2004)05 – 0993 – 05

Microbial Biomass C, N in Soils in Agro – Pastoral Transitional Zone After Alteration of Cropland to Grassland

HAN Yong-wei , HAN Jian-guo , WANG Kun, ZHANG Yun-wei

(Institute of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Agro – pastoral transitional zone in China belongs to grassland eco – system in nature. However, fertility of soil in this area becomes less and less because of more and more population and reclamation. We were comparing a soil from grassland that had been transformed from cropland with a plot of wheat field in a agro – pastoral transitional zone, aiming to reveal the effects on soil microbial biomass C, N of grassland returned from cropland. The experiment was conducted at Yuershan pasture of Fengning county of Hebei province in 2000 and 2001. Siberian wildrye, wheatgrass, sainfoin and smooth brome grass were chosen according to natural conditions in the experimental area to establish single sowing grassland and mixed sowing grassland. The study results showed that: (1) The order of the contents of microbial biomass C, N in 0 ~ 20 cm soil layer was mixed sowing grassland> single sowing grassland> wheat field and different single sowing treat had different effects on the contents of microbial biomass C, N in the depth of 0 ~ 20 cm, sainfoin pasture and Smooth brome grass pasture had the highest contents of microbial biomass C, N in the 2 year’ s experiment. Different mixing cultivation and combination had greater effects on soil microbial biomass C, N. Smooth brome grass + Wheatgrass (1: 1) could improve the level of microbial biomass C, N better. (2) After a growing season, single sowing forages could increase the microbial biomass C, N in the soil more than wheat. In the 0 ~ 20 cm soil layer, the average contents of microbial biomass C of single sowing grassland was four times more than that of wheat field, and the average contents of microbial biomass N of the sowing grassland increased more than wheat field by 9. 91 mg · kg⁻¹.

Keywords: grassland science; agro – pastoral transitional zone; alteration of cropland to grassland; microbial biomass C; microbial biomass N

我国的农牧交错带,是由起源于欧亚大草原的森林草原带在大尺度(千年以上)气候变迁以及人类活动的干预下逐渐演变而成,其本质属性是草地生态系统^[1]。近半个世纪以来,随着人口压力的增加,为了满

足粮食需要和片面追求经济效益,农牧交错带的草原被盲目地大规模开垦并掠夺经营,由此导致土壤肥力不断下降^[2]。

土壤微生物是生态系统的重要组成部分,土壤微生物量的多、少及其变化是土壤肥力高、低及其变化的重要依据之一^[3]。目前,国内外对草地与耕地土壤微生物量都有所研究^[4~8],关于农牧交错带退耕还草对土壤微生物量 C、N 的影响则未见报道。本项研究

收稿日期: 2004 – 03 – 08

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606)

作者简介: 韩永伟(1973—),男,内蒙古人,博士,现在中国环境科学研究院生态所工作,主要从事区域草地生态保护、生物多样性保护和生态恢复等方面的研究工作。

旨在探索农牧交错带退耕地种植牧草对土壤生物量 C、N 的影响, 以期为该区退耕还草恢复草原植被提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验区位于河北省承德地区丰宁满族自治县西北部坝上草原的鱼儿山牧场, 地处东经 $116^{\circ}04'$, 北纬 $41^{\circ}44'$, 海拔 1 460 m。处于半干旱大陆季风气候带, 除夏季受东南暖气流的影响外, 较长时间受蒙古高压寒冷干旱气候的控制。年均降水量 430.7 mm, 主要集中在 7、8、9 三个月, 占全年降水量的 79%。年蒸发量 1 735.7 mm, 是降水量的 4 倍多。因受燕山的阻隔, 仅在坝头和坝东部分地区降水量稍大, 接近半湿润。年平均气温 1°C , 1 月和 7 月平均气温分别为 -18.6°C 和 17.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 1513.1 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 85 d, 年均风速 $4.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 年均大风日数 49 d, 年均沙尘暴日数 13 d, 年均日照时数 2 930.9 h。主要土壤类型为沙质栗钙土。试验期间气象资料见图 1、图 2。

1.2 试验设计

试验分别于 2000 年 5 月 30 日—8 月 30 日和 2001 年 5 月 30 日—8 月 30 日在丰宁县鱼儿山牧场进行。2000 年试验选择 1998 年种植的老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 草地、无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 草地和红豆

草 (*Onobrychis viciaefolia*) 草地; 2001 年试验选择 2000 年种植的老芒麦草地、无芒雀麦草地、冰草 (*Agropyron cristatum*) 草地及老芒麦 + 无芒雀麦草地、老芒麦 + 冰草草地、无芒雀麦 + 冰草草地。对照为试验当年在上述草地相同地段种植的小麦地。

1.2.1 草地建植

分别于 1998 年 8 月 10 日和 2000 年 8 月 16 日, 选用加拿大无芒雀麦品种 Carlton、冰草品种 Kirky 和老芒麦、红豆草的当地自繁品种在退耕地上条播建植单播和混播草地, 行距 25 cm, 播深 2 cm。每一草地包括 3 个小区, 面积均为 60 m^2 ($15\text{ m}\times 4\text{ m}$), 间隔 50 cm 左右, 随机排列。单播播量分别为: 老芒麦 $22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、无芒雀麦 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、红豆草 $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、冰草 $15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 混播设 9 个处理: 老芒麦 (25%) + 无芒雀麦 (75%)、老芒麦 (50%) + 无芒雀麦 (50%)、老芒麦 (75%) + 无芒雀麦 (25%); 老芒麦 (25%) + 冰草 (75%)、老芒麦 (50%) + 冰草 (50%)、老芒麦 (75%) + 冰草 (25%); 无芒雀麦 (25%) + 冰草 (75%)、无芒雀麦 (50%) + 冰草 (50%)、无芒雀麦 (75%) + 冰草 (25%), 混播中每一牧草播量按该牧草的单播播量 $\times$ 混播比例 $\times$ (1 + 20%) 计算。

1.2.2 小麦地建植

2000 年 4 月 23 日和 2001 年 4 月 20 日在上述试验草地相同地段用春小麦当地自繁品种条播建植小麦地, 播量 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 播深 4 cm, 行距 25 cm。小麦地分 3 个小区, 面积均为 60 m^2 ($15\text{ m}\times 4\text{ m}$), 随机排列。

1.2.3 试验地管理、利用

播种时小麦地施种肥尿素 $37.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 磷酸二铵 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 草地不施肥。试验地中耕除杂草一次。每年秋季草地收籽后割草利用, 小麦地收割利用。

1.3 测试项目及方法

分别于 2000 年 5—8 月和 2001 年 5—8 月每月末, 在各试验小区按蛇形取样法采集 0~20 cm 土壤样品, 每 10 cm 为一个土层, 用 1 m 长土钻取 5 个点, 各层混合均匀。所取土样, 风干并过 1 mm 筛后用四分法取 200 g 左右装入纸袋, 带回实验室用于化学成分分析。

1.3.1 微生物量 C (氯仿熏蒸提取法)

(1) 称取过筛湿土 40 g 于 50 mL 烧杯中, 然后将烧杯放入盛有氯仿 (盛氯仿的烧杯中放少量沸石) 且底部放少量用水湿润并加了 NaOH 溶液的真空干燥

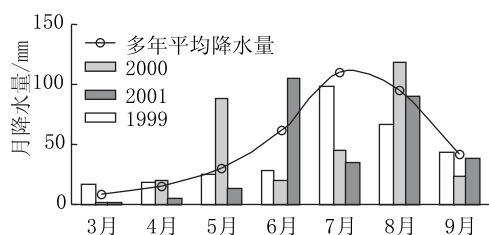


图 1 1999—2001 年试验区降水量变化与多年平均降水量

Figure 1 Monthly rainfall of March to Sept. in 1999, 2000 and 2001 and averaged values in the experimental area

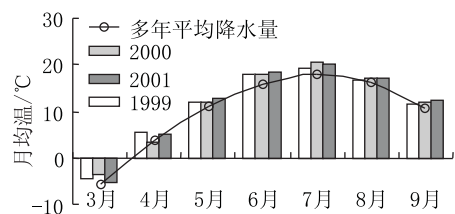


图 2 1999—2001 年试验区月均温变化与多年月均温

Figure 2 The averaged monthly temperature of March to Sept. in 1999, 2000 and 2001 and the averaged monthly temperature in the experimental area

器,在真空泵上抽真空至沸腾,维持 2 min,关闭阀门,在 25 ℃ 下保持 24 h,打开阀门移去氯仿,在真空泵上抽真空 3 次~4 次,每次 2 min~3 min,至土壤无氯仿气味后将土壤移至 250 mL 三角瓶中,加 80 mL 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 震荡 30 min(25 ℃,185 r·min⁻¹),中速滤纸过滤于塑料瓶中,15 ℃ 条件下保存备用。同时做样品无熏蒸空白和试剂空白。

(2)准确吸取土壤提取液 10.00 mL 和 0.2 mol·L⁻¹ K₂Cr₂O₇-H₂SO₄10.00 mL 于 150 mL 硬质试管中,加少量沸石,在 170 ℃~180 ℃ 磷酸浴上煮沸 10 min,冷却后全部移入 150 mL 三角瓶中,使总体积为 70 mL 左右,加邻啡罗啉指示剂 2 滴,用 0.1 mol·L⁻¹ FeSO₄ 滴至砖红色。微生物量碳(BC)=2.64ΔEC(ΔEC 为熏蒸和不熏蒸 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 提取的碳的差值)

$$EC = N(V_0 - V) \times 0.03 \times 10^6 \times F / M$$

式中: *N* 为 FeSO₄ 浓度; *V*₀ 为空白液消耗的 FeSO₄ mL 数; *V* 为土壤提取液消耗 FeSO₄ mL 数; *F* 为稀释倍数(此处为(100+土壤含水量)/10); *M* 为烘干土样重, g。

1.3.2 微生物量 N(氯仿熏蒸提取法)

- (1) 同上述微生物量 C 处理。
- (2) 熏蒸和未熏蒸土壤提取液速效 N 的测定,使

用 TRAACS2000 流动分析仪(德国产)进行。

$$\text{微生物量 N(BN)} = K \times \Delta EC$$

式中:ΔEC 为熏蒸和不熏蒸 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 提取的氮的差值; *K* 为液土比。

1.4 资料统计处理方法

采用国际通用的 Windows 版统计分析系统软件 SAS(Version 6.12)对所得数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 退耕还草对土壤微生物量 C 的影响

2.1.1 单播牧草对土壤微生物量 C 的影响

同一时期同一深度范围内,各单播草地的土壤微生物量 C 均显著高于小麦地(表 1),表明草地土壤微生物数量比小麦地大。2000 年,各单播草地 0~20 cm 土壤微生物量 C,以红豆草草地为最大;2001 年,以无芒雀麦草地最大。且多数情况下各单播草地间差异显著(*P* < 0.05),表明不同单播处理对土壤微生物量 C 影响明显。当一个生长季结束后,草地比小麦地能更好地提高土壤的微生物量 C,在 0~20 cm 土壤范围内,草地微生物量 C 的平均增加量是小麦地的 4 倍左右。

2.1.2 混播牧草对土壤微生物量 C 的影响

表 1 单播牧草对土壤微生物量 C(mg·kg⁻¹)的影响

Table 1 Effects of single sowing forages on microbial biomass C(mg·kg⁻¹)

年度	深度/cm	日期/月·日	无芒雀麦	冰草	老芒麦	小麦
2001	0~10	5.30	298.55Ba	220.02Bc	289.88Bb	86.848Bd
		8.30	487.20Aa	324.11Ac	418.19Ab	128.03Ad
	10~20	5.30	296.78Ba	216.67Bb	214.33Bb	86.109Bc
		8.30	392.21Aa	298.21Ab	296.93Ab	102.37Ac
2000	0~10	5.30	318.65Bb	*489.27Ba	301.26Bc	102.21Bd
		8.30	503.79Ab	*690.55Aa	433.64Ac	153.38Ad
	10~20	5.30	306.33Bb	*412.01Ba	226.50Bc	98.09Bd
		8.30	398.91Ab	*596.33Aa	309.77Ac	119.14Ad

注:多重比较仅限于同一深度范围内,同列中不同大写字母间和同行间不同小写字母间差异显著(*P* < 0.05),带*者为红豆草草地数据。

同一时期,各混播草地 0~20 cm 土壤微生物量 C,比其相应牧草单播草地和小麦地高(表 2、表 1)。随土壤深度增加,各混播草地土壤微生物量 C 降低。

同一混播比例,不同草种组合及同一草种组合不同混播比例的混播草地间 0~20 cm 土壤微生物量 C,差异多达显著水平(*P* < 0.05),表明混播比例及混播组合,对土壤微生物量 C 影响明显。各混播草地中,以混播比例为 1:1 时无芒雀麦+冰草草地土壤微生物量 C 最高,可见,此类型混播草地在增加土壤微生物量 C 方面表现较佳。

2.2 退耕还草对对土壤微生物量 N 的影响

2.2.1 单播牧草对土壤微生物量 N 的影响

2000 年单播草地中红豆草草地 0~20 cm 土壤微生物量 N 为最高,2001 年土壤微生物量 N 高低顺序为:无芒雀麦草地>老芒麦草地>冰草草地。各单播草地土壤微生物量 N 均比同一时期小麦地相应层次的高(表 3)。

2000 年各单播草地与小麦地间及红豆草草地与其他草地间土壤微生物量 N 都呈现显著差异(*P* < 0.05),表明牧草与小麦、红豆草与其他牧草对土壤微

表 2 混播牧草对土壤微生物量 C(mg·kg⁻¹)的影响

Table 2 Effects of mixed sowing forages on soil microbial biomass C (mg·kg⁻¹)

深度	混播比例	老芒麦 + 冰草	老芒麦 + 无芒雀麦	无芒雀麦 + 冰草
0 ~ 10 cm	1: 1	532. 88Ac	547. 66Ab	594. 53Aa
	1: 3	451. 49Bc	494. 12Bb	531. 24Ba
	3: 1	428. 03Cc	544. 22Ab	591. 25Aa
10 ~ 20 cm	1: 1	380. 26Ac	400. 71Cb	483. 73Aa
	1: 3	359. 88Bc	428. 42Bb	471. 68Ba
	3: 1	307. 83Cb	450. 78Aa	453. 29Ca

注: 测定日期为 8 月 30 日, 多重比较仅限于同一深度范围内, 同列中不同大写字母间和同行间不同小写字母间差异显著(*P* < 0. 05)。

表 3 单播牧草对土壤微生物量 N(mg·kg⁻¹)的影响

Table 3 Effects of single sowing forages on microbial biomass N (mg·kg⁻¹)

年份	深度/cm	日期/月·日	无芒雀麦	冰草	老芒麦	小麦
2001	0 ~ 10	5. 30	32. 4Ba	13. 0Bb	31. 4Ba	10. 2Ab
		8. 30	49. 5Aa	24. 7Ab	44. 5Aa	12. 1Ac
	10 ~ 20	5. 30	9. 1Ba	6. 7Ba	8. 3Ba	4. 7Aa
		8. 30	27. 3Aa	12. 2Abc	18. 6Aab	6. 5Ac
2000	0 ~ 10	5. 30	39. 72Bb	* 52. 33Ba	36. 24Ab	11. 30Ac
		8. 30	46. 28Ab	* 69. 15Aa	40. 69Ab	13. 24Ac
	10 ~ 20	5. 30	12. 55Bb	* 20. 91Ba	10. 32Bb	6. 34Ac
		8. 30	23. 72Ab	* 41. 26Aa	18. 96Ac	9. 02Ad

注: 多重比较仅限于同一深度范围内, 同列中不同大写字母间和同行间不同小写字母间差异显著(*P* < 0. 05), 带“*”者为红豆草草地数据。

生物量 N 的影响有较大差异。2001 年时, 在 0 ~ 20 cm 土层中, 冰草草地与小麦地微生物量 N 之间的差异多为不显著(*P* > 0. 05), 表明冰草对 0 ~ 20 cm 土壤微生物量 N 的影响作用与小麦相近。

生长季结束时(8 月 30 日), 各单播草地和小麦地 0 ~ 20 cm 土壤微生物量 N 均有所提高, 但单播草地提高的幅度大。2000 年时, 各单播草地和小麦地平均分别提高 11. 33 mg·kg⁻¹ 和 2. 31 mg·kg⁻¹, 2001 年时, 各单播草地平均比小麦地多提高 10. 8 mg·kg⁻¹。

2. 2. 2 混播牧草对土壤微生物量 N 的影响

同一时期各混播草地 0 ~ 20 cm 土层的微生物量 N, 均比其相应单播草地和小麦地高(表 4、表 3), 表明混播有利于土壤微生物数量的增加。

相同混播比例, 不同草种组合的混播草地 0 ~ 20

cm 土壤微生物量 N, 以无芒雀麦 + 冰草草地最高, 在此草种组合中又以混播比例为 1: 1 时最高, 表明无芒雀麦 + 冰草(1: 1)增加土壤微生物量 N 的能力最强。

3 讨论

(1) 土壤微生物量是指土壤中体积小于 5 × 10³ μm³ 的生物总量(不包括活的植物体), 是活的土壤有机质部分。土壤微生物量, 可以代表参与调控土壤中能量和养分循环及有机物质转化所对应微生物的数量, 常被用于评价土壤的生物学性状。试验得出退耕还草后, 草地土壤微生物量 C、N 都比对照小麦地高, 与 Robertson 等的试验结果类似^[5]。这可能是由于对大多数土壤来说, 异养型微生物占主导地位, 维持其生命活动需要消耗一定的能量, 能源是限制土壤微生

表 4 混播牧草对土壤微生物量 N(mg·kg⁻¹)的影响

Table 4 Effects of mixed sowing forages on soil microbial biomass N (mg·kg⁻¹)

深度	混播比例	老芒麦 + 冰草	老芒麦 + 无芒雀麦	无芒雀麦 + 冰草
0 ~ 10 cm	1: 1	64. 8Ab	69. 0Ab	104. 4Aa
	1: 3	54. 2Ba	57. 8Ba	61. 4Ba
	3: 1	47. 7Bb	58. 1Ba	64. 2Ba
10 ~ 20 cm	1: 1	33. 4Ac	53. 6Ab	82. 6Aa
	1: 3	23. 0Bb	35. 8Ba	37. 7Ba
	3: 1	21. 0Bb	39. 1Ba	40. 4Ba

注: 测定日期为 8 月 30 日, 多重比较仅限于同一深度范围内, 同列中不同大写字母间和同行间不同小写字母间差异显著(*P* < 0. 05)。

物生长和活性的主要因素之一。在退耕地上种植牧草后,牧草地上部分生物量大,可为土壤微生物提供大量的凋落物,同时其根系发达(据我们测定退耕还草 2 年后 0~20 cm 土层中牧草地下生物量平均为小麦的 4 倍左右),且养分含量也高于小麦根茬,可以通过分泌物和残体为微生物提供更为丰富的能源物质,进而较多的增加土壤微生物的群落和数量。

(2) 生长季结束时(8 月 30 日),各单播草地和小麦地 0~20 cm 土壤微生物量 C 均显著增加 ($P < 0.05$),且各单播草地的增加幅度均大于小麦地。这可能是因为 8 月 30 日时,土壤有机质增加^[9],土壤微生物获得了充足的能源供应,增殖加快,加上此时气温降低(图 2),微生物生存所需消耗能量也相应降低,从而使土壤能维持较多的微生物量^[10]。

4 结论

(1) 各类试验地 0~20 cm 土层微生物量 C、N 的大小顺序为:混播草地> 相应的单播草地> 小麦地。不同单播处理对土壤 0~20 cm 微生物量 C、N 影响明显,2000 年,红豆草草地土壤微生物量 C、N 为最高;2001 年,无芒雀麦草地为最高。混播比例及混播组合,对土壤微生物量 C、N 有较大影响,无芒雀麦+冰草(1:1)在增加土壤微生物量 C、N 方面效果较佳。

(2) 一个生长季结束后,单播牧草比小麦能更好地提高土壤的微生物量 C、N,在 0~20 cm 土壤范围内,单播草地微生物量 C 的平均增加量是小麦地的 4 倍左右,单播草地的微生物量 N 比小麦地平均提高

9.91 mg · kg⁻¹。

参考文献:

- [1] 李 博. 草原与稀树草原[A]. 吴征镒. 中国植被[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [2] 张立峰,徐长金. 北方高寒半干旱农牧交错带资源环境障碍与农牧生产力开发[J]. 资源科学,1999,21(5):62-65.
- [3] enkinson D S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soils[A]. In: J. R. wilson(ed) Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems[C] C. A. B. International, Wallingford. 1988. 368-386.
- [4] Aslam T, Choukhary M A, Saggarr S. Tillage impacts on soil microbial biomass C, N and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand[J]. *Soil and Tillage Research*, 1999, 51(1-2): 103-111.
- [5] Robertson F A, Myers R J K, Saffigna P G. Carbon and nitrogen mineralization in cultivated and grassland soils in subtropical Queensland[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1993, 31(5): 611-619.
- [6] Chan K Y, Bowman A M, Friend J J. Restoration of soil fertility of degraded vertisols using a pasture including a native grass[J]. *Tropical Grassland*, 1997, 31(2): 145-155.
- [7] Gi jisman A J, Oberson A, Friesen D K, Sanz J I. Nutrient cycling through microbial biomass under rice-pasture rotations replacing native savanna[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29(9-10): 1433-1441.
- [8] 陈玉华,周春霖. 种草改良江苏滨海盐土效果的研究[J]. 中国草地,1996,3: 26-29.
- [9] 韩永伟. 农牧交错带退耕还草对土壤理化性质的影响及其水土保持作用研究[D]. 北京:中国农业大学,2002.
- [10] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤,1997,2:61-69.