

黄土高原典型植物根际对土壤微生物生物量 碳、氮、磷和基础呼吸的影响

李国辉¹, 陈庆芳¹, 黄懿梅¹, 安韶山^{2,3,*}, 郑粉莉^{1,2}, 陈利顶⁴

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,
陕西杨凌 712100; 3. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;
4. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:选择黄土高原 7 种典型植物的根际与非根际土壤为研究对象, 对土壤的养分含量、微生物生物量碳、氮、磷和基础呼吸的影响进行了初步研究。结果表明, 7 种不同植物根际土壤与非根际土壤的养分含量、微生物生物量和基础呼吸均存在显著差异; 除冷蒿的土壤微生物生物量磷以外, 其他各种植物的根际土壤的养分含量、微生物生物量和基础呼吸均比非根际土壤的高; 土壤有机碳、全氮与土壤微生物生物量碳、氮及基础呼吸之间均具有极显著或显著相关关系, 表明了土壤微生物生物量碳、氮可以作为判断土壤肥力状况的生物学指标, 同时也可为提高土壤肥力水平和土壤培肥效果提供依据。

关键词:典型植物; 根际土壤; 微生物生物量; 基础呼吸; 黄土高原

Soil microbial biomass C, N, P and basal respiration in rhizosphere soil of typical plants on the Loess Plateau

LI Guohui¹, CHEN Qingfang¹, HUANG Yimei¹, AN Shaoshan^{2,3,*}, ZHENG Fenli^{1,2}, CHEN Liding⁴

1 College of Resource and Environment Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 State key laboratory of soil erosion and dryland farming on Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, 712100, China

3 Institute of soil and water conservation, Chinese Academy of Science& Ministry of Water Resource, Yangling, 712100, China

4 State Key Lab of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: The rhizosphere soil and the non- rhizosphere soil of seven typical plants were collected as the research object on the Loess Plateau, Soil microbial biomass, basal respiration and soil nutrient were studied through the experiment. The experimental results indicated that: The rhizosphere soil and the non- rhizosphere soil of the seven typical plants had significantly differences in both soil microbial biomass and basal respiration; Except that the content of soil microbial biomass P was lower in the rhizosphere soil of *Artemisia frigida* compared to the non-rhizosphere soil, Both the content of soil microbial biomass and the content of basal respiration were higher in the rhizosphere soil of others plants compared to the non-rhizosphere soil; Soil organic C and total N have correlations with soil microbial biomass C, soil microbial biomass N and basal respiration; But there is significant correlation among soil microbial biomass C, soil microbial biomass N and basal respiration, soil microbial biomass P is not correlated with soil microbial biomass C, soil microbial biomass N and basal respiration; Comparing soil microbial biomass and basal respiration of the seven typical plants, the content in the soil of *A. frigida* and *Agropyron cristatum* were higher than that in the soil of others plants, the content in the soil of *Lespedeza bicolor Turcz* being the lowest.

Key Words: typical plants; rhizosphere soil; microbial biomass; basal respiration; the Loess Plateau

土壤微生物生物量一般是指土壤中体积小于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的生物总量, 但活的植物体如植物根系等不包括

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40701095, 40971171); 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”资助项目

收稿日期: 2009-05-06; 修订日期: 2009-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shan@ms. iswc. ac. cn

在内。它即是土壤有机质的活性部分,也是土壤中最活跃的因子。土壤微生物生物量是土壤有机质和土壤养分C、N、P、S等转化和循环的动力,并参与土壤中有机质的分解、腐殖质的形成、土壤养分的转化循环等各个生化过程;土壤微生物生物量又是土壤养分的储库,作为土壤肥力水平的活指标,它已日渐受到土壤工作者的关注^[1]。研究土壤微生物生物量对了解土壤肥力、土壤养分植物有效性以及土壤养分转化、循环具有重要意义^[2]。土壤呼吸是表征土壤质量和土壤肥力的重要的生物学指标,作为生物活性指标,在一定程度上反映了土壤氧化和转化能力,尤其是土壤基础呼吸部分,反应了土壤的生物学特性和土壤物质的代谢强度^[3]。土壤系统和植被是一个有机整体,二者相辅相承、互相影响。土壤系统为植被生长提供必需的营养物质,而植被生长又可改善土壤系统的结构和养分^[4]。根际是围绕于植物活根的土壤微域,由于受根系生理活动的影响,在物理、化学和生物特性上有不同于原土体的特殊土区^[5],是土壤-植物根系-微生物三者相互作用的场所,是土壤水分和矿物质进入根系参与生物循环的门户,同时也是根系自身生命活动和代谢对土壤影响最直接、最强烈的区域^[6]。因此研究不同植被类型根际土壤微生物生物量对了解土壤养分水平及其养分的转化和循环具有重要意义^[7-9]。本文选择黄土丘陵区7种典型草本和灌木,探讨其根际土壤与非根际土壤微生物生物量的变化特征以及与基础呼吸的关系,以期为揭示黄土高原生态恢复和植被建造提供理论依据。

1 研究区概况

本文试验区选在中国科学院水保所固原生态站,该站位于东经106°26'—30',北纬35°59'—36°3',海拔1534.3—1822m,年均气温6.9℃,年降水量420mm。境内小川河将全村分为东西两部分,东部为梁状丘陵,地形起伏较大,西部自东向西依次为台、坪、梁地形,较为开阔。地带性土壤黑垆土主要分布在台、坪,有深厚的有机质层,丘陵区分布的主要是黄绵土。这里气候干旱,地势高亢,干旱、冰雹、低温、霜冻、风沙五灾俱全,生态环境脆弱,农业生产条件差,抗灾能力弱。

2 材料与方法

2.1 试验设计

样地植物为上黄试验区7种典型植物,包括猪毛蒿(*A. scoparia.*) (简化为ZMH),百里香(*Thymus mongolicus.*) (BLX),冰草(*Agropyron cristatum.*) (BC),铁杆蒿(*A. sacrorum.*) (TGH),胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.) (HZZ),冷蒿(*A. frigida.*) (LH),柠条(*Caragana korshinskii* Kom.) (NT)。其生活习性见下表1;供试土壤为这7种植物的根际与非根际土壤。每种植物按“S”型路线选择4—5株植物,取其根际与非根际土壤,分别混合,按四分法取一部分土壤,重复3次。

2.2 土样采集

土壤样品于2008年8月份采集,采集方法为Riley和Barber的抖落法^[10-11]:挖取具有完整根系的土体(体积大小视根系本身的范围而定),先轻轻抖落大块不含根系的土壤,装入塑料袋内,混匀,视为非根际土壤;然后用力将根表面附着的土壤全部抖落下来,便获得根际土壤。采集的土样密封后带回室内,仔细除去新鲜土样中可见植物残体及土壤动物,过筛(孔径2mm),彻底混匀,经7d预培养,然后直接测定。

2.3 测定方法

土壤微生物生物量碳(C_{mic})采用氯仿熏蒸K₂SO₄提取-TOC仪测定法^[12-15];土壤微生物生物量氮(N_{mic})采用氯仿熏蒸K₂SO₄提取-茚三酮比色法^[16];土壤微生物生物量磷(P_{mic})采用氯仿熏蒸NaHCO₃提取-过硫酸钾消化法^[17]。

基础呼吸测定方法 采用改进的室内密闭培养法^[18]。称取20g新鲜土样,调节土壤含水量至田间持水量的60%,用透气性良好的纱布将土样包起来悬于培养瓶上方,然后吸取0.05mol/L的NaOH溶液20ml放入培养瓶中,迅速将培养瓶加盖密封,于25℃恒温培养24h,测定CO₂释放量,同时设一空白处理作为对照。

土壤有机碳采用重铬酸钾容量法-外加热法;土壤全氮采用不包含硝态氮和亚硝态氮的半微量凯氏法消化,再用凯氏定氮仪进行测定;土壤铵态氮、硝态氮采用2mol·L⁻¹KCl浸提法;铵态氮采用靛酚蓝比色法;硝态氮采用紫外分光光度法测定;矿化氮采用好气培养法培养2周,再测定土壤的铵态氮与硝态氮之和,减去培养

前的起始值,便得到了土壤的矿化氮。

表 1 7 种植物对应名称与生活习性

Table 1 Names and living habits of the seven kinds of plants

植物名称 Name of plants	生活习性 Living habits
猪毛蒿 <i>A. scoparia</i> . (ZMH)	1、2 年生或多年生草本,高可达 1m。根较发达,近木质,须根多数;茎直立,多分枝,分枝直立或稍斜升,稍有条棱;花期 7—8 月份,果期 9—10 月份;生于田边、山坡、休闲地、林缘及庭院、沙质草地
百里香 <i>Thymus mongolicus</i> . (BLX)	百里香为半灌木,茎叶有香味;常作为花境、花坛、岩石园、香料园栽植或向阳处地被植物;百里香属是唇形科下的一属,包括大约 350 种多年生的芳香草本植物,播种宜在早春 3 月份,种子发芽时间 12—20d,花期 5—9 月份,果期 9—10 月份
冰草 <i>Agropyron cristatum</i> . (BC)	多年生草本,须状根,密生,外具砂套;疏丛型,秆直立,基部的节微呈膝曲状;冰草是草原区旱生植物,具有很强的抗旱性和抗寒性,适于在干燥寒冷地区生长,有时在粘质土壤上也能生长,但不耐盐碱,也不耐涝,在酸性或沼泽、潮湿的土壤上也极少见
铁杆蒿 <i>A. sacrorum</i> . (TGH)	多年生草本;半灌木状,高 30—100cm;茎直立,基部木质化,多分枝,暗紫红色,无毛或上部被短柔毛;抗旱力较强,结实数量很大,种子繁殖力很强,根蘖也很发达,从母株不断长出新枝条;具有一定耐寒性;铁杆蒿是适中温旱生半灌木,是干草原和草甸草原的重要组成植物
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. (HZZ)	胡枝子为中生性落叶灌木,耐阴、耐寒、耐干旱、耐瘠薄;根系发达,2 年生植株主根入土深度达 170—200cm,根幅 130—200cm,幼株根瘤发达,每株有根瘤 40—200 个;适应性强,对土壤要求不严格
冷蒿 <i>A. frigida</i> . (CDH)	冷蒿是小半灌木菊科植物,高 10—50cm,根系发达,在草场正常利用的条件下,主根可伸入 100cm 的土层中,侧根和不定根多,且大量集中在 30cm 以内的土层中;广泛分布于草原带和荒漠草原带,沿山地也进入森林草原和荒漠草原,为生态幅度很广的旱生植物
柠条 <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (NT)	柠条为豆科锦鸡儿属落叶大灌木饲用植物,根系极为发达,为深根性树种,主根入土深,并且明显,侧根根系向四周水平方向延伸,纵横交错;柠条寿命长,生命力很强,萌发力也很强

2.4 数据处理

所有数据用 Microsoft Excel 2000 和 DPS 软件系统处理,多重比较采用 LSD 法,所有数据为 3 次重复的平均值。

3 结果与分析

3.1 不同植物根际与非根际土壤的养分含量

7 种植物根际与非根际土壤的有机碳及氮素含量结果如表 2 所示:各类植物的根际土壤的有机碳和氮素含量均大于非根际土壤;有机碳含量在 5.53—15.25g/kg 范围变化,全氮含量在 0.73—1.69g/kg 范围变化,铵态氮含量在 0.76—7.98mg/kg 范围变化,硝态氮含量在 26.15—6.92mg/kg 范围变化,矿化氮含量在 27.95—5.65mg/kg 范围变化。其中铁杆蒿的有机碳含量、铵态氮含量及矿化氮含量均最高,冷蒿的全氮含量最高,柠条的硝态氮含量最高,胡枝子的有机碳含量和各种形态的氮素含量均最低。

3.2 不同植物根际与非根际土壤的微生物生物量碳

由图 1 表明:不同种类植物之间的微生物生物量碳含量无论根际土壤还是非根际土壤均存在显著差异,各类植物根际土壤的微生物生物量碳含量为冷蒿(LH) > 铁杆蒿(TGH) > 冰草(BC) > 百里香(BLX) > 猪毛蒿(ZMH) > 柠条(NT) > 胡枝子(HZZ),其中冷蒿含量最高,为 737.10mg/kg,胡枝子的含量最低,为 373.04mg/kg;各类植物非根际土壤的微生物生物量碳含量为冰草(BC) > 冷蒿(LH) > 百里香(BLX) > 猪毛蒿(ZMH) > 柠条(NT) > 铁杆蒿(TGH) > 胡枝子(HZZ),其中冰草含量最高,为 610.38mg/kg,胡枝子的含量最低,为 228.08 mg/kg;各类植物的根际土微生物生物量碳含量均大于非根际土壤;其中铁杆蒿的根际土壤与非根际土壤之间的微生物生物量碳含量差异最大,相差 408.72mg/kg,而冰草的根际与非根际土壤之间的微生物生物量碳含量差异最小,相差 10.43 mg/kg,其次为柠条,相差 34.04 mg/kg。

3.3 不同植物根际与非根际土壤的微生物生物量氮

与微生物生物量碳相似,不同种类植物之间的微生物生物量氮含量无论根际土壤还是非根际土壤也存在显著差异,各类植物根际土壤的微生物生物量氮含量为冷蒿(LH) > 百里香(BLX) > 冰草(BC) > 猪毛蒿

表2 不同植物根际与非根际土壤的养分含量

Table 2 Contents of soil nutrients in the rhizosphere and non-rhizosphere soil under different plants

植物 Plants	部位 Position	有机碳/(g/kg) Organic C	全氮/(g/kg) Total N	铵态氮/(mg/kg) Ammonium N	硝态氮/(mg/kg) Nitrate N	矿化氮/(g/kg) Mineralizable N
猪毛蒿	根际	13.08	0.88	4.93	12.25	18.39
百里香		13.57	1.46	1.96	19.48	12.48
冰草		14.42	1.64	2.22	21.32	13.88
铁杆蒿		15.25	1.60	7.98	19.54	27.95
胡枝子		8.15	0.94	0.76	10.48	7.23
冷蒿		14.12	1.69	1.39	16.93	14.94
柠条		12.85	1.53	1.32	26.15	20.37
猪毛蒿	非根际	12.15	0.819	3.49	7.76	12.69
百里香		12.35	1.33	1.82	14.41	10.08
冰草		14.10	1.59	1.72	13.47	11.18
铁杆蒿		11.97	1.50	5.96	11.43	21.69
胡枝子		5.53	0.73	0.58	6.92	5.65
冷蒿		12.95	1.58	1.00	10.29	9.57
柠条		11.33	1.43	0.99	18.58	12.98

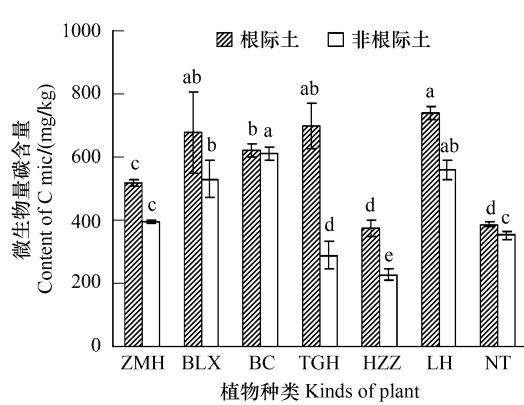


图1 不同植物根际与非根际土壤微生物量碳

Fig. 1 C_{mic} of rhizosphere and non-rhizosphere soil under different kinds of plant

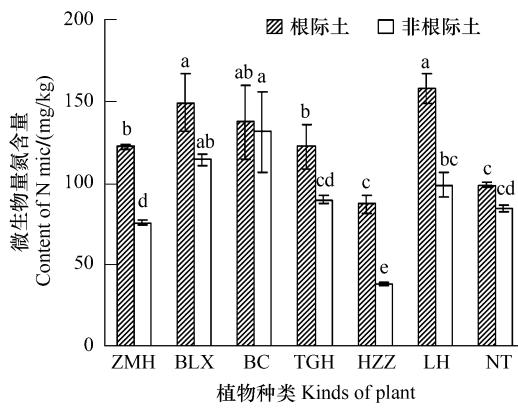


图2 不同植物根际与非根际土壤微生物量氮

Fig. 2 N_{mic} of rhizosphere and non-rhizosphere soil under different kinds of plant

(ZMH) > 铁杆蒿(TGH) > 柠条(NT) > 胡枝子(HZZ), 其中冷蒿含量最高, 为 157.61mg/kg, 胡枝子的含量最低, 为 86.98mg/kg; 各类植物非根际土壤的微生物生物量氮含量为冰草(BC) > 百里香(BLX) > 冷蒿(LH) > 铁杆蒿(TGH) > 柠条(NT) > 猪毛蒿(ZMH) > 胡枝子(HZZ), 其中冰草含量最高, 为 131.24mg/kg, 胡枝子的含量最低, 为 37.91mg/kg; 各类植物的根际土壤微生物生物量氮含量均大于非根际土壤; 其中冷蒿的根际土壤与非根际土壤之间的微生物生物量氮含量差异最大, 相差 58.69mg/kg, 而冰草的根际土壤与非根际土壤之间的微生物生物量氮含量差异最小, 相差 6.28mg/kg, 其次为柠条, 相差 14.38mg/kg。

3.4 不同植物根际与非根际土壤的微生物生物量磷

不同种类植物之间的微生物生物量磷见图3。无论根际土壤还是非根际土壤均存在显著差异, 与微生物生物量碳、氮不同的是植物之间大小发生了变化。根际土壤的微生物生物量磷含量为柠条(NT) > 胡枝子(HZZ) > 铁杆蒿(TGH) > 冰草(BC) > 冷蒿(LH) > 百里香(BLX) > 猪毛蒿(ZMH), 其中柠条含量最高, 为 26.54mg/kg, 猪毛蒿的含量最低, 为 6.35mg/kg; 非根际土壤的微生物生物量磷含量为冷蒿(LH) > 柠条(NT)

>冰草(BC) >胡枝子(HZZ) >百里香(BLX) >猪毛蒿(ZMH) >铁杆蒿(TGH), 其中冷蒿含量最高, 为23.16mg/kg, 铁杆蒿的含量最低, 为1.05mg/kg; 各类植物除冷蒿以外其他植物的根际土壤微生物生物量磷含量均大于非根际土壤; 其中铁杆蒿的根际与非根际土壤之间的微生物生物量磷含量差异最大, 相差19.62mg/kg, 而冰草的根际与非根际土壤之间的微生物生物量磷含量差异最小, 相差2.95mg/kg, 其次为柠条, 相差4.59mg/kg。而冷蒿的非根际土壤的微生物生物量磷含量却大于根际土壤约6.99mg/kg。

3.5 各种植物根际与非根际土壤的基础呼吸量

土壤呼吸是表征土壤质量和肥力的重要生物学指标, 它反映了土壤生物活性和土壤物质代谢的强度。尤其是基础土壤呼吸部分, 反应了土壤的生物学特性和土壤物质的代谢强度^[3]。由图4可见: 根际土壤还是非根际土壤的基础呼吸量在不同种类植物之间存在显著差异, 不同植物根际土壤的基础呼吸量为冰草(BC) >冷蒿(LH) >铁杆蒿(TGH) >百里香(BLX) >胡枝子(HZZ) >柠条(NT) >猪毛蒿(ZMH), 其中冰草和冷蒿含量较其他植物为高, 分别为318.05mg/kg和317.90mg/kg, 猪毛蒿的含量最低, 为155.30mg/kg; 不同植物非根际土壤的基础呼吸量为冰草(BC) >冷蒿(LH) >百里香(BLX) >铁杆蒿(TGH) >柠条(NT) >猪毛蒿(ZMH) >胡枝子(HZZ), 其中冰草含量最高, 为307.19mg/kg, 胡枝子的含量最低, 为57.69mg/kg; 各类植物的根际土壤基础呼吸量均大于非根际土壤; 其中胡枝子和铁杆蒿的根际与非根际土壤之间的基础呼吸量差异较大, 分别相差113.65mg/kg和93.08mg/kg, 而冰草的根际与非根际土壤之间的基础呼吸量差异最小, 相差10.86mg/kg, 其次为柠条, 相差43.58mg/kg。

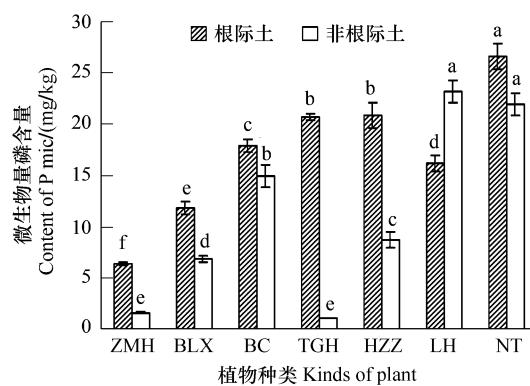


图3 不同植物根际与非根际土壤微生物量磷

Fig. 3 P_{mic} of rhizosphere and non-rhizosphere soil under different kinds of plant

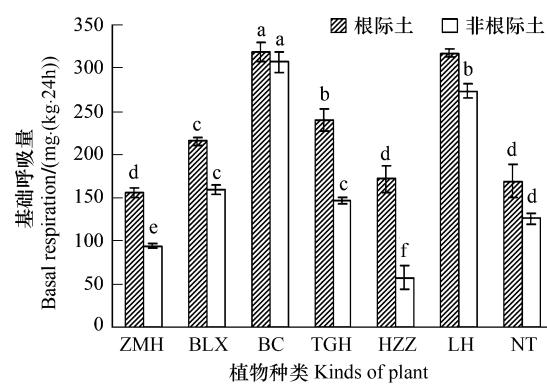


图4 不同植物根际与非根际土壤基础呼吸

Fig. 4 Soil basal respiration of rhizosphere and non-rhizosphere soil under different kinds of plant

3.6 各种植物根际与非根际土壤的微生物量、基础呼吸与土壤养分的关系分析

通过相关分析, 土壤有机碳和土壤全氮均与土壤微生物生物量碳、氮及基础呼吸之间均具有极显著或显著相关性, 7种植物的土壤微生物生物量碳、氮与基础呼吸两两之间均具有极显著相关性, 土壤微生物生物量磷与微生物生物量碳、氮及基础呼吸之间均不具有显著相关性。

4 讨论

尽管土壤微生物生物量只占土壤有机质的3%左右, 但它却是植物养料转化、有机碳代谢及污染物降解的驱动力, 在土壤肥力和生态系统中具有重要的作用。研究土壤微生物生物量对了解土壤肥力、土壤养分植物有效性以及土壤养分转化、循环以及环境变化具有重要意义^[19]。

不同植物类型根际土壤与非根际土壤的微生物生物量和基础呼吸均存在显著差异, 一般认为根系庞大的植物, 为土壤提供的有机物质较多, 其土壤中微生物生物量也较小根系植物的高, 这与郑华等^[20]的研究结果一致。杨刚^[21]等人的研究结果也表明, 土壤微生物生物量碳、氮以及土壤呼吸在不同类型植物间差异显著, 且随着植被演替阶段的变化而变化。也有相关研究表明, 土壤微生物生物量氮含量的差异主要与各植物种群

土壤理化特性、凋落物质量和数量以及植物生长特性有关,是一个综合因素作用的结果^[22]。在本研究中,除冷蒿的根际土壤微生物生物量磷含量小于非根际土壤以外,其他各种植物类型的根际土壤微生物生物量碳、氮、磷和基础呼吸均比非根际土壤的高。就目前的研究进展看,对植物根际土壤与非根际土壤的土壤性质和微生物数量的差异比较的报道相对较多,但是对植物根际土壤与非根际土壤的微生物生物量和基础呼吸的差异研究的较少。相关研究表明:与非根际土壤相比,植物根际土壤中的微生物数量要远远高于非根际,这是因为在植物生长期问,由于有机物质的投入,在根系周围的土壤中有了充足的碳源和能源物质^[6]。周国英的研究发现,油茶林根际土壤中微生物的数量较非根际土壤中微生物的数量多^[23]。吉艳芝等人的研究发现,根际土壤微生物总量大于非根际土壤,根际土壤比非根际土壤更能反映林木不同发育阶段的微生物变化规律^[24]。

表3 不同植物根际与非根际土壤微生物生物量、基础呼吸与土壤养分的相关系数

Table 3 The correlative coefficients among microbial biomass, basal respiration and soil nutrients in the rhizosphere and non-rhizosphere soil under different plants

相关系数 Correlative coefficients	有机碳 Organic C	全氮 Total N	氨态氮 Ammonium N	硝态氮 Nitrate N	矿化氮 Mineralizable N	微生物量碳 Cmic	微生物量氮 Nmic	微生物量磷 Pmic	基础呼吸 Basal respiration
有机碳 Organic C	1	0.38	-0.03	0.51	0.15	0.80 **	0.66 **	0.44	0.59 *
全氮 Total N		1	0.08	0.67 **	0.41	0.60 *	0.66 **	0.48	0.77 **
氨态氮 Ammonium N			1	0.04	0.83 **	0.17	0.15	-0.34	-0.02
硝态氮 Nitrate N				1	0.5	0.42	0.54 *	0.58 *	0.41
矿化氮 Mineralizable N					1	0.25	0.31	0.05	0.15
微生物量碳 C _{mic}						1	0.91 **	0.24	0.83 **
微生物量氮 N _{mic}							1	0.16	0.81 **
微生物量磷 P _{mic}								1	0.44
基础呼吸 Basal respiration									1

* P < 0.05, ** P < 0.01

本文研究表明,冷蒿、冰草微生物生物量和基础呼吸均表现出较高含量,胡枝子含量最低。冷蒿是广布旱生的小半灌木植物,是典型草原和荒漠草原地带放牧场上优良的牧草,具有较高的营养价值。赵吉在研究内蒙古草原区不同放牧率对冷蒿小禾草草原土壤微生物数量和生物量的影响时所得出的冷蒿微生物生物量碳含量与本文结果基本一致^[25]。周海燕等人的研究也表明冷蒿在干旱环境下具有较高的物质生产量和节约用水的能力,有较强的抗旱能力^[26]。冰草是草原区旱生植物,具有很强的抗旱性和抗寒性,适于在干燥寒冷地区生长,往往是草原植物群落的主要伴生种。本文研究结果表明冰草的微生物生物量和基础呼吸也较高。崔清涛在研究蒙古冰草生物量季节动态的过程中发现,冰草的地下生物量在8月下旬会出现一个高峰值,这与本文的采样时间一致,并且他们还认为冰草地生物量与冰草的生物学特性和生育节律关系密切^[27]。本文研究还表明冰草的根际与非根际土壤的微生物生物量和基础呼吸的含量相近,这一现象的机理还不是很清楚,有待于进一步研究。胡枝子属豆科,为多年生草本或灌木,该属植物大多根系发达,分蘖力强,覆盖度大,是良好的水土保持植物,同时可以起到改良土壤的作用^[28]。本文研究结果表明胡枝子的微生物生物量和基础呼吸均较其它植物低,原因可能是一方面与胡枝子地下器官的生物学特征有关;另一方面是与发育阶段的物质分配有关系,由于胡枝子生长发育节律的影响,从7月份开始地上积累的物质大多用于建造繁殖器官,地下生物量表现负累积^[29]。

7种植物的土壤有机碳、全氮与土壤微生物生物量碳、氮及基础呼吸之间均具有极显著或显著相关性,这与贾伟等人的研究结果基本一致。土壤微生物量碳、氮,及土壤养分间的相关显著,表明土壤微生物生物量碳、氮可以作为判断土壤肥力状况的生物学指标,同时也可为提高土壤肥力水平和土壤培肥效果提供依据^[30]。7种植物根际土壤和非根际土壤的微生物生物量碳、氮之间具有极显著相关性,这与俞益武,徐秋芳等人的研究结果基本一致。土壤微生物生物量碳与微生物生物量氮之间达到极显著相关,说明微生物生物量

碳与微生物生物量氮作为生物指标时具有协同性,另外土壤微生物生物量碳、氮与土壤有机碳总量、全氮、水解氮和有效磷之间相关性也达到极显著水平,也说明微生物生物量碳、氮作为肥力指标的可行性^[31]。本研究结果还表明,土壤微生物生物量与土壤基础呼吸之间存在极显著的相关关系,Salifou 等却认为,土壤基础呼吸主要由基质的有效性而不是适宜温度、湿度下的微生物生物量大小决定^[32]。本研究中微生物生物量磷与微生物生物量碳、氮相关性不显著,这与彭佩钦,吴金水等人的研究结果不符,他们研究表明土壤微生物生物量碳、氮、磷之间的相关关系达到了极显著水平,但同时也表明了土壤微生物生物量磷与全磷之间相关关系不显著,似乎不能反映土壤磷水平^[33]。

4 结论

本文研究结果表明,7种不同植物根际土壤与非根际土壤的微生物生物量和基础呼吸均存在显著差异;除冷蒿的根际土壤微生物生物量磷含量小于非根际土壤以外,其他各种植物类型的根际土壤微生物生物量和基础呼吸均比非根际土壤的高;土壤有机碳、全氮与土壤微生物生物量碳、氮及基础呼吸之间均具有极显著或显著相关性;微生物生物量碳与基础呼吸、微生物生物量氮两两之间均具有极显著相关性,土样微生物生物量磷与微生物生物量碳、氮及基础呼吸均不具有显著相关性;土壤微生物量碳、氮,及土壤养分间的相关关系,表明土壤微生物生物量碳、氮可以作为判断土壤肥力状况的生物学指标,同时也可为提高土壤肥力水平和土壤培肥效果提供依据。在七种植物的微生物生物量和基础呼吸比较中,冷蒿、冰草均表现出较高含量,胡枝子含量最低,可能原因是与植物本身的生物学特性和生育节律有关系。

References:

- [1] Wang Y, Shen Q R, Shi R H, Huang D M. Soil microbial biomass and its ecological effects. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1996, 19 (4): 45-51.
- [2] Chen G C. Current situation of Soil Microbial Biomass Measurement Methods and Application in the red soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(6):284-287.
- [3] Su Y H, Feng Q, Zhu G F, Si J H, Cheng Z Q. Progress in research on soil respiration. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(1):57-65.
- [4] Hu C J, Fu B J, Jin T T, Liu G H. Effects of vegetation restoration on soil microbial biomass carbon and nitrogen in hilly areas of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (1): 45-50.
- [5] Lu J L. *Science of Plant Nutrition(On List)*, Second ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2002:149-160.
- [6] Zhang X L, Yang S J, Zhang B X. A Summary of Studies on Rhizosphere Soil of Trees in China. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2002, 33 (6): 461-465.
- [7] Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations// Bollag J M, Stotzky G eds. *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1990: 357-396.
- [8] Kusum M, Tripathi R S, Arunachalam A, Pandey H N. Seasonal dynamics of microbial biomass C, N and P during regrowth of a disturbed subtropical humid forest in north-east India. *Applied Soil Ecology*, 1996, (4):31-37.
- [9] Rauch-Williams T, Drewes J E. Using soil biomass as an indicator for the biological removal of effluent-derived organic carbon during soil infiltration. *Water Research*, 2006, 40: 961-968.
- [10] Riley D, Barber S A. Bocarbonate accumulation and pH changes at the soybean root-soil interface. *Soil Science Society of America Journal*, 1969, 33: 905-908.
- [11] Riley D, Barber S A. Salt accumulation at the soybean root soil interface. *Soil Science Society of America Journal*, 1970, 34: 154-155.
- [12] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1982, 113 (14): 319-329.
- [13] Vance E D. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 703-707.
- [14] Wu J, Joergensen R G. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-an automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22: 1167-1169.
- [15] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. *Soil Microbial Biomass-Method and Application*. Beijing: Meteorology Press,2006 : 6.
- [16] Cai H, Shen R F. Determination of soil protease activity with modified ninhydrin colorimetry. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2):306-313.
- [17] Li L Q. Improvement of determination of Total Phosphorus in Water by Ammonium Molybdenum Spectrophotometric Method. *Pollution Control Technology*, 2006, 19(3):66-68.
- [18] Sun B, Che Y P, Lin X X. The sealed incubation method of measuring the degradation rate of ¹²C and ¹⁴C in soil organic matter. *Soils*, 1997 (1): 51-531.
- [19] Kandeler E, Tscherko D, Spiegel H. Long-term monitoring of a microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a chernozem under

- different tillage management. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 28 (4) : 343-351.
- [20] Zheng H, OuYang Z Y, Wang X K, Fang Z G, Zhao T Q, Miao H. Effects of forest restoration patterns on soil microbial communities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004,15 (11) :2019-2024.
- [21] Yang G, He X Y, Wang K L, Huang J S, Chen Z H, Li Y Z, Ai M R. Effects of vegetation types on soil microbial biomass carbon, nitrogen and soil respiration. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008,39(1) :189-191.
- [22] Finzi A C, Bremen N, Canham C D. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: Species effects on soil carbon and nitrogen. *Ecological Applications*,1998,8:440-446.
- [23] Zhou G Y, Chen X Y, Li Q R, Lan G H. Ecological distribution of soil microorganisms and activity of soil enzymes in oiltea camellia stands. *Economic Forest Reseache*s, 2001, 19 (1) :9-12.
- [24] Ji Y Z, Feng W Z, Chen L X, Duan W B, Zhang X G. Soil nutrition, microorganisms and enzyme activity of the rhizosphere and non-rhizosphere soils of mixed plantation of Larix. *Ecology and Environment*, 2008 , 17(1) : 339-343.
- [25] Zhao J. Effect of stocking rates on soil microbial number and biomass in steppe. *Acta Agricola Sinica*, 1999 ,7(3) :223-227.
- [26] Zhou H Y, Zhao A F. Ecophysiological Characteristics and Their Competition Mechanism of the Two Dominant Grasses in Horqin Sandy Land: A *Artemisia halodendron* and *Artemisia frigida*. *Acta Ecologica Sinica*, 2002,22(6) :894-899.
- [27] Cui Q T, Liu Q Q, Yue L M. Seasonal dynamics of microbial biomass on *Agropyron mongolicum*. *Inner Mongolia Forestry Science & Technology*, 1994,3 :51-53.
- [28] Zhao Y, Chen X Y, Pian R Q, Wang X R. Research advances of *Lespedeza michx*. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006,21 (2) : 71-75.
- [29] Zhu Z C, Jia D L. A preliminary studies on the biomass of *Lespedeza Dwurica* community. *Grassland of China*, 1994,3:25-28.
- [30] Jia W, Zhou H P, Xie W Y, Guan C L, Gao C H, Shi Y Q. Effects of long-term inorganic fertilizer combined with organic manure on microbial biomass C,N and enzyme activity in cinnamon soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*,2008,14(4) :700-705.
- [31] Yu Y W, Xu Q F. Changes in soil microbial biomass by conversion natural masson Pine into Economic Forests. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003,17(5) :103-105.
- [32] Salifou T, Lamourdia T, Jeanne R M. Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *A caciaspp.* in eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35 : 660-669.
- [33] Peng P Q, Wu J S, Huang D Y, Wang H L, Tang G Y, Huang W S, Zhu Q H. Microbial biomass C,N, P of farmland soils in different land uses and cropping systems in Dongting Lake region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,26(7) :2261-2266.

参考文献:

- [1] 王岩,沈其荣,史瑞和,黄东迈.土壤微生物量及其生态效应.南京农业大学学报,1996, 19(4) : 45-51.
- [2] 陈国潮. 土壤微生物量测定方法现状及其在红壤上的应用. *土壤通报*, 1999,30(6):284-287.
- [3] 苏永红,冯起,朱高峰,司建华,常宗强. 土壤呼吸与测定方法研究进展. *中国沙漠*, 2008, 28(1) :57-65.
- [4] 胡婵娟,傅伯杰,靳甜甜,刘国华. 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤微生物生物量碳和氮的影响. *应用生态学报*,2009 , 20(1) : 45-50.
- [5] 陆景陵. 植物营养学(上) (第二版). 北京: 中国农业大学出版社,2002:149-160.
- [6] 张学利,杨树军,张百习. 我国林木根际土壤研究进展. *沈阳农业大学学报*,2002, 33(6) : 461-465.
- [15] 吴金水,林启美,黄巧云,肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京:气象出版社, 2006:6.
- [16] 蔡红,沈仁芳. 改良茚三酮比色法测定土壤蛋白酶活性的研究. *土壤学报*,2005,42(2) :306-313.
- [17] 李莲青. 钼酸铵分光光度法测定水中总磷的改进. *污染防治技术*,2006,19(3) :66-68.
- [18] 孙波,车玉萍,林心雄. 测定土壤有机质中¹²C 及¹⁴C 分解速率的密闭培养法. *土壤*,1997 (1) : 51- 531.
- [20] 郑华,欧阳志云,王效科,方治国,赵同谦,苗鸿. 不同森林恢复类型对土壤微生物群落的影响. *应用生态学报*,2004,15 (11) :2019-2024.
- [21] 杨刚,何寻阳,王克林, 黄继山, 陈志辉, 李有志, 艾美荣. 不同植被类型对土壤微生物量碳氮及土壤呼吸的影响. *土壤通报*,2008,39 (1) :189-191.
- [23] 周国英,陈小艳,李倩茹,兰贵洪. 油茶林土壤微生物生态分布及土壤酶活性的研究. *经济林研究*, 2001 , 19 (1) : 9 -12.
- [24] 吉艳芝,冯万忠,陈立新,段文标,张笑归. 落叶松混交林根际与非根际土壤养分、微生物和酶活性特征. *生态环境*,2008 , 17(1) : 339-343.
- [25] 赵吉. 不同放牧率对冷蒿小禾草草原土壤微生物数量和生物量的影响. *草地学报*,1999 ,7(3) :223-227.
- [26] 周海燕,赵爱芬. 科尔沁草原主要牧草冷蒿和差不嘎蒿的生理生态学特性与竞争机制. *生态学报*,2002,22 (6) :894-899.
- [27] 崔清涛,刘清泉,閔丽梅. 蒙古冰草生物量季节动态的研究. *内蒙古林业科技*,1994,3:51-53.
- [28] 赵杨,陈晓阳,骈瑞琪,王秀荣. 胡枝子属研究进展. *西北林学院学报*,2006,21 (2) : 71-75.
- [29] 朱志成,贾东林. 达乌里胡枝子群落生物量初步研究. *中国草地*,1994,3:25-28.
- [30] 贾伟,周怀平,解文艳,关春林,邹春花,石彦琴. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*,2008,14 (4) :700-705.
- [31] 俞益武,徐秋芳. 天然林改为经济林后土壤微生物量的变化. *水土保持学报*,2003,17(5) :103-105.
- [33] 彭佩钦,吴金水,黄道友,汪汉林,唐国勇, 黄伟生, 朱奇宏. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响. *生态学报*,2006 , 26(7) :2261-2266.