

# 贺兰山东坡典型植物群落土壤微生物量碳、氮 沿海拔梯度的变化特征

刘秉儒<sup>1,2</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/西部生态与生物资源开发联合研究中心, 宁夏 银川 750021;

2. 宁夏贺兰山森林生态系统定位研究站, 宁夏 银川 750021

**摘要:** 土壤微生物量是陆地生态系统碳循环的重要组成部分, 在生态系统物质循环和能量转化中占有特别重要的地位。开展土壤微生物量与海拔高度的关系的研究, 能促使人们对土壤微生物空间分布格局及其形成机制的认识, 预测全球变化对生态系统功能的影响。本文对贺兰山不同海拔梯度具有代表性的荒漠化草原(HM)、蒙古扁桃灌丛(BT)、油松林(YS)、青海云杉林(QH)和高山草甸(CD)等5种植物群落土壤微生物生物量及其微生物商进行了研究。结果表明: 表层土壤(0~20 cm)微生物生物量碳(MBC)、氮(MBN)大小次序为: CD>QH>YS>BT>HM, MBC、MBN随海拔梯度的升高显著增加, 与土壤有机碳、氮含量有着一致的变化规律, 但是微生物商(qMB)表现出沿海拔梯度先增加后减小的变化趋势, 最大值出现在蒙古扁桃灌丛土壤, MBC/MBN则没有明显的变化规律。相关分析表明, 不同海拔高度的土壤微生物量碳氮不仅与年均降水量、土壤含水量, 而且与土壤有机碳、全氮呈显著线性正相关关系( $P<0.01$ ), 但是与年均气温、土壤容重呈显著线性负相关关系( $P<0.01$ )。贺兰山土壤微生物量碳、氮随海拔高度升高而增加, 降水量、气温、土壤湿度、土壤有机碳和全氮可能是影响土壤微生物量沿海拔梯度变化的关键因子。

**关键词:** 贺兰山; 海拔梯度; 土壤微生物碳; 土壤微生物氮; 微生物商值(qMB)

**中图分类号:** Q948

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5906(2010)04-0883-06

土壤微生物是构成土壤及整个生态系统的重要组成部分, 是土壤有机质和养分转化与循环的主要动力, 在生物地化循环(BGC)以及生态系统功能中扮演着必不可少的角色, 对陆地生态系统发挥着至关重要的功能<sup>[1-2]</sup>, 土壤微生物量的多少反映了土壤同化和矿化能力的大小, 是土壤活性大小的标志<sup>[3]</sup>, 与微生物个体数量指标相比, 土壤微生物量更能反映微生物在土壤中的实际含量和作用潜力, 具有更加灵敏、准确的优点。因此, 研究土壤微生物量对了解土壤肥力、土壤环境、土壤养分对植物有效性以及土壤养分转化与循环等都具有重要意义。土壤微生物的空间分布特征决定了植物与土壤环境之间作用的大小, 它的分布特征及其与土壤环境之间的复杂关系对植物地上部分的生长有着重要的影响。而开展土壤微生物量与海拔高度的关系的研究, 能促使人们对土壤微生物空间分布格局及其形成机制的认识, 有助于人们对陆地生态系统的管理和功能调控, 以应对全球变暖等重大的全球性环境问题。

贺兰山是我国西北地区最后一道生态屏障, 也是我国三大沙漠(毛乌素沙地、乌兰布和沙漠、腾格里沙漠)与银川平原的分界线, 地跨温带草原与

荒漠两大植被区域, 成为我国重要自然地理界限之一, 是连接青藏高原、蒙古高原及华北植物区系的枢纽, 是阿拉善-鄂尔多斯区域性生物多样性的中心<sup>[4-5]</sup>。土壤微生物在这些不同类型生态系统土壤碳氮循环过程中发挥着重要作用, 目前对这些不同生态系统土壤理化特性与微生物量还没有开展过系统研究, 对不同海拔高度的典型植被土壤微生物碳、氮的分布特征以及微生物量在碳氮循环中的作用还不清楚, 本研究选择在海拔梯度上具备代表性的植被带, 探讨土壤微生物生物量沿海拔的变化规律和影响因子, 为进一步阐明不同海拔高度土壤有机碳动态及其碳循环特征提供理论基础, 为系统认识干旱地区高山生态系统土壤碳氮循环规律提供参考。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究地区概况

贺兰山位于银川平原和阿拉善高原之间(地处北纬 $38^{\circ}27'$ ~ $39^{\circ}30'$ , 东经 $105^{\circ}41'$ ~ $106^{\circ}41'$ 之间), 山脉稍偏东北—西南方向, 山体孤立, 主峰海拔3556 m。贺兰山西和北侧为阿拉善戈壁荒漠, 东侧为银川平原。

贺兰山处在典型大陆性气候区域范围内, 具有

**基金项目:** 国家重点基础研究和发展规划项目(2009CB426304); 宁夏大学自然科学基金项目(ZR2008033); 宁夏林业局项目

**作者简介:** 刘秉儒(1971年生), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为生态恢复与生物资源开发。E-mail: bingru.liu@163.com

**收稿日期:** 2010-02-22

山地气候特征。气候变化大, 年均气温-0.8 ℃, 年均降水量 420 mm, 年均蒸发量 2 000 mm, 贺兰山的降水量具有明显的垂直分异现象, 平均每上升 100 m, 降水量增加 13.2 mm。年均降水量自山麓至高山带为 200~600 mm, 6—8 月份最为集中, 占全年降水量的 60%~80%。

贺兰山植被有明显的垂直分布规律, 随海拔的升高, 东坡植被从下至上植被类型分别为草原化荒漠、山地疏林草原、山地针叶林和亚高山灌丛草甸或高山草甸; 贺兰山土壤垂直分布自下而上依次为: 山地粗骨土、山地灰钙土、山地灰褐土、山地草甸土<sup>[5]</sup>。

2.2 样地选设及取样

在宁夏贺兰山国家级自然保护区核心区, 根据不同海拔高度, 分别选取具有代表性的荒漠化草原 (简称 HM)、蒙古扁桃灌丛 (BT)、天然油松林 (YS)、青海云杉林 (YS) 和高山草甸 (CD) 5 种不同植物群落作为实验样地。在每个海拔高度的典型植被地段, 沿等高线随机设置三个区组, 在草地实验样地随机设置 1 m×1 m 的样方, 灌丛设置样方大小为 5 m×5 m, 森林样地为 10 m×10 m, 共计 15 个样地, 粗略调查植被的组成种类, 并对群落生境做调查。

试验地概况如表 1。

2.3 土壤样品的采集和处理

2009 年 9 月上旬在同一海拔选定的 3 个样地上除去土壤表层凋落物层或者苔藓层, 每个样方内用直径为 2 cm 的土壤取样器随机钻取 0~20 cm 的土样 5 个, 混合后均分为 2 份, 一份过 2 mm 筛, 挑去根系和石砾, 放在 4 ℃ 冰箱中备用, 用于微生物量碳、氮的分析。另一份自然风干, 去杂后过 100 目筛供测试基本理化性质和养分。在采土样的同时, 采样测定土壤水分含量、土壤容重。

2.4 土壤基本理化性质测定

土壤基本理化性质的测定用常规分析方法<sup>[6]</sup>, pH 值用酸度计法; 含水量 (water content, WC) 用烘干法; 容重 (bulk density, BD) 用环刀法; 土壤总有机碳 (SOC) 采用重铬酸钾外加加热法测定; 土壤全氮 (total nitrogen, TN) 用半微量凯氏定氮法。

2.5 土壤微生物量的测定

土壤微生物量的测定采用氯仿熏蒸—浸提法<sup>[7]</sup>。

在本测量方法中, 微生物量碳、氮的计算分别采用下列公式:

微生物碳=(熏蒸的有机碳 - 未熏蒸的有机碳)/0.38

表 1 实验地生境概况  
Table 1 Environmental conditions of the test sites

| 样地名称           | 土壤类型          | 经纬度                          | 海拔/<br>m | 坡向/<br>(°) | 年均温/<br>℃ | 降水量/<br>mm | 优势植物种类                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------|---------------|------------------------------|----------|------------|-----------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 荒漠化草原<br>(HM)  | 山地钙质粗<br>骨土   | 38°41'12" N,<br>105°49'19" E | 1400     | N 5        | 9.24      | 145.0      | 短花针茅 ( <i>Stipa breviflora</i> )、隐子草 ( <i>Cleistogens songorica</i> )、冷蒿 ( <i>Artemisia frigida</i> )、猪毛菜( <i>Salsola collina</i> )、狭叶锦鸡儿( <i>Caragana stenophylla</i> Pojark.)、鹰爪柴( <i>Convolvulus gortschakovii</i> Schrenk.)、偶见小叶金露梅 ( <i>Dasvasiphora parvifolia</i> Fisch.) 和红砂 ( <i>Reaumuria soongorica</i> )                                                                                                                                          |
| 蒙古扁桃灌<br>丛(BT) | 山地灰钙土、<br>粗骨土 | 38°44'21" N<br>105°56'13" E  | 1760     | NW 30      | 6.97      | 224.0      | 蒙古扁桃( <i>Prunus mongolica</i> Maxim.)、狭叶锦鸡儿( <i>Caragana stenophylla</i> Pojark.)、小叶金露梅 ( <i>Dasvasiphora parvifolia</i> Fisch.)、小叶忍冬 ( <i>Lonicera microphylla</i> )、内蒙古野丁香( <i>Leptodermis ordosica</i> H. C. Fu et E. W. Ma)、阿拉善鹅观草 ( <i>Roegneria alashanica</i> Keng)、短花针茅 ( <i>Stipa breviflora</i> )、中亚细柄茅 ( <i>Ptilagrostis pelliottii</i> (Danguy) Grub.)                                                                                            |
| 油松林(YS)        | 山地普通灰<br>褐土   | 38°45'13" N,<br>105°54'13" E | 2098     | N 30       | 4.93      | 280.4      | 乔木物种油松 ( <i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.) 为建群种, 杜松 ( <i>Juniperus rigida</i> Sieb. et Zucc.) 为伴生种、山杨 ( <i>Populus davidiana</i> Dode) 为偶见种; 灌木有小叶忍冬、栒子 ( <i>Cotoneaster zabelii</i> Schneid)、小檗 ( <i>Berberis oritrepha</i> Schneid)、虎榛子 ( <i>Ostryopsis davidiana</i> (Baill.) Decne) 等, 草本有苔草 ( <i>Carex</i> L.)、早熟禾 ( <i>Poa stereophylla</i> Keng)、小红菊 ( <i>Dendranthema chanetii</i> )、蒿类 ( <i>Artemisia</i> L.)、唐松草 ( <i>Thalictrum tenue</i> Franch.) |
| 青海云杉林<br>(QH)  | 山地淋溶灰<br>褐土   | 38°46.56' N,<br>105°54.01' E | 2608     | NW 30      | 2.26      | 340.5      | 青海云杉 ( <i>Picea crassifolia</i> Kom)、杜松、偶见油松、深山柳 ( <i>Salix phylicifolia</i> L.), 灌木有毛山楂 ( <i>Crataegus maximowiczii</i> ) 和铁线莲 ( <i>Clematis</i> L.)、绣线菊 ( <i>Spiraea elegans</i> .) 等, 草本有苔草、早熟禾、唐松草等                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 高山草甸<br>(CD)   | 高山草甸土         | 38°47'07" N,<br>105°54'06" E | 3100     | NE 10      | -1.28     | 412.4      | 贺兰山嵩草 ( <i>Kobresia helanshanica</i> )、矮嵩草( <i>Kobresia humilis</i> )、堇色早熟禾 ( <i>Poa ianthina</i> )是优势草本植物, 阿拉善风毛菊 ( <i>Saussurea alashanica</i> Maxim)、多裂委陵菜 ( <i>Potentilla multifida</i> L.)、珠芽蓼 ( <i>Polygonum viviparum</i> L.) 是伴生种                                                                                                                                                                                                                     |

微生物氮=（熏蒸的全氮－未熏蒸的全氮）/0.54。

微生物生物量商(%)用公式： $qMB=MBC/SOC$ ，式中，MBC为土壤微生物量碳，SOC为土壤有机碳。

不同海拔的气象数据根据贺兰山高山气象站（海拔2 900 m）数据测算而得。

2.6 数据分析方法

所得数据用SPSS 15.0进行显著性及相关性分析。不同海拔高度的土壤数据变量的差异运用One-Way ANOVA分析，比较用Turkey's-b方差分析，相关性分析用Pearson相关分析。图形用OriginPro7.5软件获得。

3 结果与分析

3.1 土壤理化性质沿海拔高度的变化

从表2得知，随海拔高度的增加，土壤的理化指标表现出不同的变化趋势。土壤含水量随海拔升高而增加，土壤含水量变幅在7.04%~31.81%之间，其变化次序依次为：CD（海拔3 100 m）>QH（2 608 m）>YS（2 098 m）>BT（1 760 m）>HM（1 400 m）（ $P<0.05$ ）（表2），各样地之间差异显著。土壤pH则表现出一定的波动性，在7.75~8.69之间摆动，

最大值出现在蒙古扁桃灌丛样地（pH8.69），最小值出现在高山草甸样地（pH7.75）。从总的趋势来看，pH在中海拔（约2 100 m）以上呈现出逐渐下降的变化趋势。土壤容重与海拔梯度的变化不相关，与土壤的类型密切相关，例如，山地钙质粗骨土（山地灰钙土）的土壤颗粒较粗，腐殖质含量却很低，因此，属于同一土壤类型下的草原化荒漠和蒙古扁桃灌丛土壤容重差异不明显，而山地灰褐土和高山草甸土有较高的含水量和腐殖质，腐殖质降解较慢，致使土壤容重变小，容重差异也极显著。

土壤有机碳和土壤全氮的变化次序依次是CD>QH>YS>BT>HM，均表现为沿海拔梯度呈增加的趋势，除草原化荒漠和蒙古扁桃两样地间，有机碳含量无显著性差异外，其它各样地差异显著（ $p<0.05$ ）。土壤全氮之间差异均显著（ $p<0.05$ ）。C/N比值变化为：QH>YS>CD>BT>HM，没有表现出随海拔变化的规律（表2）。

3.2 土壤微生物量碳氮和微生物商(qMB)沿海拔高度的变化

不同植物群落的土壤微生物量随海拔高度的上升而增加，即CD>QH>YS>BT>HM（图1a，b），

表2 贺兰山不同海拔梯度土壤的部分理化性质

Table 2 Chemical and physical properties of soils along an altitudinal gradient in Helan Mountain 0~20 cm

| 样地 | 含水量(WC)/%   | pH(1:5)     | 容重(BD)/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 土壤有机碳(SOC)/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 全氮(TN)/(g·kg <sup>-1</sup> ) | C/N/%        |
|----|-------------|-------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------|
| HM | 7.04±0.04a  | 8.24±0.08ab | 1.51±0.13a                   | 6.00±0.28a                       | 0.74±0.12a                   | 8.21±0.90a   |
| BT | 8.26±0.06b  | 8.69±0.05a  | 1.38±0.05a                   | 13.07±0.04a                      | 1.51±0.06b                   | 8.64±0.31a   |
| YS | 25.74±0.03c | 8.26±0.02ab | 0.61±0.03b                   | 61.85±10.59bc                    | 4.11±0.03c                   | 15.03±2.47bc |
| QH | 28.38±0.05d | 7.95±0.35bc | 0.57±0.09b                   | 75.68±5.66c                      | 4.67±0.26d                   | 16.24±1.33c  |
| CD | 31.81±0.06e | 7.75±0.19c  | 0.56±0.03b                   | 103.13±1.76d                     | 8.36±0.42e                   | 12.36±0.76b  |

表中数值为三个数的平均值（误差），同一列的小写字母表示同一海拔不同土壤主要理化性质的方差分析在P<0.05水平差异显著

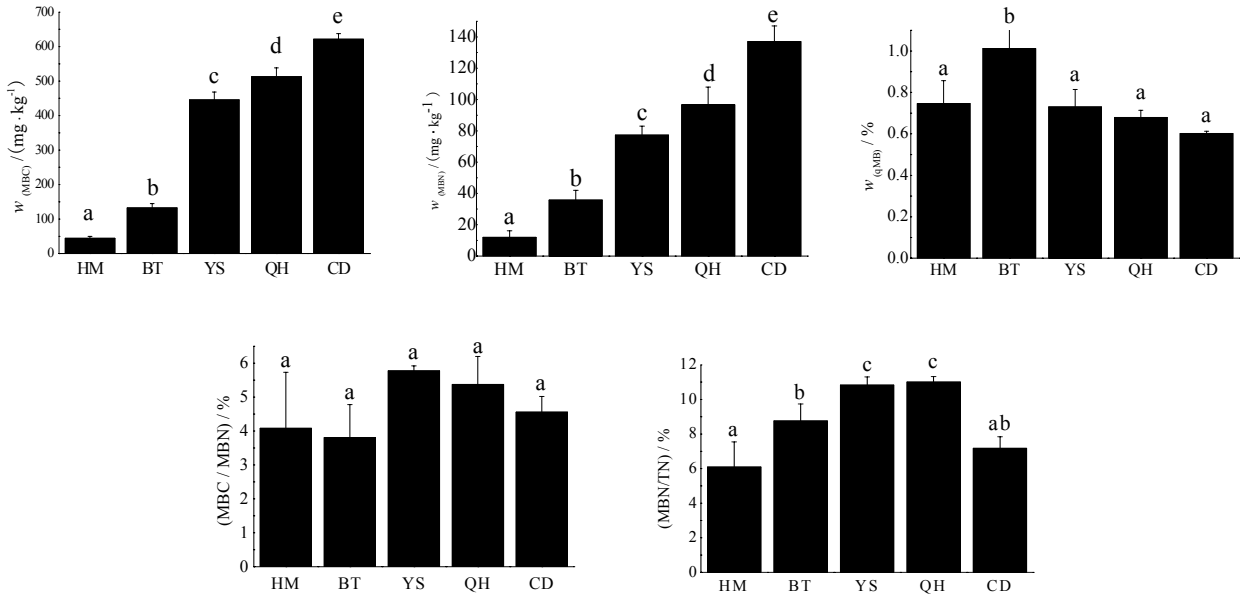


图1 不同植被土壤微生物量碳氮及其商值沿海拔梯度的变化规律

Fig.1 Changes in soil microbial biomass and metabolic quotient under typical plant communities along an altitudinal gradient

表现出与土壤有机质和土壤全氮一直的变化趋势。在 5 种不同植物群落之间,土壤微生物量差异均显著。以贺兰山东麓洪积扇草原化荒漠样地为基准,其他 4 个样地的高度依次分别增加 360 m、338 m、510 m、492 m,微生物量碳则依次分别增加 87.63 mg·kg<sup>-1</sup>、113.4 mg·kg<sup>-1</sup>、67.39 mg·kg<sup>-1</sup>、102.11 mg·kg<sup>-1</sup>。

土壤微生物商(qMB)在 0.59~1.01 之间变化,最大值出现在蒙古扁桃样地,最小值出现在高山草甸样地,其变化趋势与土壤有机碳和微生物碳含量的变化不一致,即随着海拔高度的升高先增加,而后降低,但是除了蒙古扁桃土壤和其他土壤之间差异显著外,其他样地土壤微生物商的差异均不显著。

3.3 土壤微生物生物量与环境因子及有机碳、全氮的相关性

不同海拔高度的土壤微生物量碳(MBC)、氮(MBN)与土壤含水量(WC)、年均降水量(AR)、土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)呈显著的线性正相关性( $P<0.01$ )(表 3),与年均温和土壤容重呈显著的线性负相关性( $P<0.01$ )。

4 讨论

不同植物群落的种类组成、结构不同,所形成有机质的量和营养成分存在一定的差异。草本植物不仅地上部分生长量大,为土壤微生物提供了大量凋落物,而且根系发达,密集于表层,根系分泌物和衰亡的根,是微生物丰富的能源物质<sup>[8]</sup>。林地虽然生物量大,但草本层不发达,细根生物量少,土壤微生物的碳源相对缺乏。同时,荒漠地区物种丰富度和生物量更低,自然条件严酷,土壤荒漠化严重,因此向土壤微生物提供能源丰度的顺序为草地>林地>荒漠,从而导致土壤微生物量变化的强度也是草地>林地>荒漠。

土壤微生物量含量主要受气候、土壤理化性质、植被等诸多自然因素影响,且各种因素之间可能存在互作效应。已有的研究表明,土壤有机质含量是影响土壤微生物量的一个重要因素<sup>[9-10]</sup>,土壤有机碳对土壤微生物量起关键作用,有机碳控

制着土壤中能量和营养物的循环,是微生物群落稳定的能量和营养物的来源,是土壤微生物量形成的重要因素。因此土壤微生物量和土壤总有机碳量有较好的正相关关系,有机碳越高,土壤微生物量就越大<sup>[11]</sup>,而且表土微生物碳氮与有机碳以及全氮含量之间存在显著的正相关性,这进一步说明表土的有机质是微生物发育和生长的根本<sup>[12]</sup>。赵吉等<sup>[13]</sup>研究认为土壤微生物量与所处生境的生态因子有密切联系,其中与土壤有机质含量、土壤含水量之间存在显著相关,本研究结果也支持该结论。本研究中,随着海拔增加,降水增加、气温降低、土壤蒸发量减小,有机质也随之增加,因海拔高度造成气候条件的梯度变化,使表土(0~20 cm)的微生物碳、氮随海拔增加呈现提高的趋势,与亚热带武夷山海拔梯度微生物量的变化规律一致<sup>[8,14]</sup>。

吴建国与艾丽<sup>[15]</sup>对祁连山东部 3 种典型植被(高寒草甸、山地森林、干草原)土壤有机质与微生物量碳的变化研究认为,土壤有机碳的变化顺序为:山地森林>高寒草甸>干草原,土壤全氮的变化顺序为:高寒草甸>山地森林>干草原,土壤微生物量碳的变化顺序为:山地森林>干草原>高山草甸,该结果与本研究结果不一致。

微生物商的变化可反映土壤中有机质的输入量、微生物碳的转化速率、土壤碳的流失以及土壤矿化部分的有机碳的稳定性,它以一种稳定的形式变化,比微生物碳或有机碳单独应用有效,可作为土壤质量变化的一个有用指标<sup>[16]</sup>。有研究表明,森林和草地土壤中微生物碳占土壤有机碳的百分比要高于农田的土壤<sup>[17]</sup>。Saviozzi<sup>[18]</sup>对意大利相邻的耕地、林地和天然草地土壤的质量进行比较,土壤有机碳、微生物碳含量变化为草地>林地>耕地,但微生物碳占土壤全碳的比值是耕地大于草地和林地,但草地和林地之间没有显著差异。本研究结果显示微生物商的变化与土壤微生物量和有机碳变化趋势不一致,表现出沿海拔梯度先增加后减小的变化趋势,与处于亚热带的武夷山的研究结果不

表3 土壤微生物生物量碳、氮与有机碳、全氮以及环境因子的相关性  
Table 3 Pearson's correlation coefficients among soil properties and environmental factors

| 比较的<br>因子 | 年降水量<br>(AR) | 年均温<br>(AT) | 含水量<br>(WC) | 容重<br>(BD) | 土壤有机碳<br>(SOC) | 土壤全氮<br>(TN) | 碳氮比<br>(C/N) | 微生物量碳<br>(MBC) | 微生物商<br>(qMB) | 微生物量氮<br>(MBN) |
|-----------|--------------|-------------|-------------|------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------------|
| WC        | 0.927**      | -0.912**    | 1           |            |                |              |              |                |               |                |
| BD        | -0.877**     | 0.844**     | -0.976**    | 1          |                |              |              |                |               |                |
| SOC       | 0.962**      | -0.960**    | 0.976**     | -0.934**   | 1              |              |              |                |               |                |
| TN        | 0.962**      | -0.977**    | 0.916**     | -0.844**   | 0.965**        | 1            |              |                |               |                |
| C/N       | 0.634*       | -0.580*     | 0.808**     | -0.866**   | 0.739**        | 0.543*       | 1            |                |               |                |
| MBC       | 0.960**      | -0.944**    | 0.991**     | -0.965**   | 0.988**        | 0.941**      | 0.780**      | 1              |               |                |
| qMB       | -0.543*      | 0.587*      | -0.689**    | 0.615*     | -0.709**       | -0.649**     | -0.548*      | -0.642**       | 1             |                |
| MBN       | 0.981**      | -0.980**    | 0.943**     | -0.893**   | 0.977**        | 0.967**      | 0.664**      | 0.963**        | -0.644**      | 1              |

\*\*表示相关性在0.01水平上显著, \*表示相关性在0.05水平上显著

相同。

贺兰山植被分异有一个显著特点: 中海拔(海拔在 1 900~2 100 m 之间)植物物种多样性最高<sup>[19]</sup>, 物种多样性与生产力符合山地生态学中的“中部膨胀”理论。显然土壤微生物量沿海拔梯度变化不符合这种规律, 虽然本研究揭示了贺兰山土壤微生物量碳、氮随海拔高度升高而增加, 降水量、气温、土壤湿度、土壤有机碳和全氮可能是影响土壤微生物量沿海拔梯度变化的关键因子, 地下土壤微生物群落沿海拔梯度有着怎样的变化规律与反馈机制, 需要在此基础上作进一步深入研究。

**致谢:** 感谢宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局胡天华、王继飞在野外工作中给予的大力支持, 宁夏大学杨新国博士、李勇硕士生、张凌青硕士生以及银川土壤肥料测试中心在实验数据的测定中给予的支持也一并致谢。

#### 参考文献:

- [1] GREEN J L, HOLMES A J, WESTOBY M, et al. Spatial scaling of microbial eukaryote diversity[J]. *Nature*, 2004, 432: 747-750.
- [2] NACHIMUTHU G, KING K, KRISTIANSEN P, et al. Comparison of methods for measuring soil microbial activity using cotton strips and a respirometer[J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2007, 69(2): 322-329.
- [3] DIAS-RAVINA M, ACEA M J, CARBANAS T. Microbial biomass and its contribution to nutrient concentration in forest soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25: 25-31.
- [4] 郑敬刚, 张景光. 试论贺兰山植物多样性的若干特点[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(4): 526-530.  
ZHENG Jinggang, ZHANG Jingguang. Characteristics of vegetation diversity in Helan Mountain[J]. *Arid Land Geography*, 2005, 28(4): 526-530.
- [5] 刘秉儒, 滕向宁, 李志刚, 等. 贺兰山森林生态系统长期定位研究的重大意义与研究内容[J]. *宁夏农林科技*, 2010, 1: 53-54, 28.  
LIU Bingru, QU Xiangning, LI Zhigang, et al. The great significance and research issues on Helan Mountain forest ecosystem[J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forest*, 2010, 1: 53-54, 28.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京, 中国农业出版社, 2000: 14-61.  
BAO Shidan. *The Analysis of Agriculture Soil Chemistry*[M]. Beijing, China Agriculture Press, 2000: 14-61.
- [7] 刘秉儒. 红砂植被盖度对土壤不同形态碳、氮及细菌多样性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(4): 155-162.  
LIU Bingru. Effects of different plant cover of *Reaumuria soongorica* on soil carbon and nitrogen in different variety and soil bacterial diversity[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(4): 155-162.
- [8] 何容, 汪家社, 施政, 等. 武夷山植被带土壤微生物量沿海拔梯度的变化[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 5138-5144.  
HE Rong, WANG Jiashe, SHI Zheng, et al. Variations of soil microbial biomass across four different plant communities a long an elevation gradient in Wuyi Mountains, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 5138-5144.
- [9] POWLSON D S, BOROKS P C, CHRISTENSEN B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organize matter due to straw incorporation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 159-164.
- [10] LOVELL R J S, BARDGETT R. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27: 969-975.
- [11] 徐秋芳, 姜培坤, 沈泉. 灌木林与阔叶林土壤有机碳库的比较研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 18-22.  
XU Qiufang, JIANG Peikun, SHEN Quan. Comparison of organic carbon pool of soil in bush and broad-leaved forests[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(2): 18-22.
- [12] HOFMAN J, DUŠEK L, KLÁNOVÁ J, et al. Monitoring microbial biomass and respiration in different soils from the Czech Republic- a summary of results[J]. *Environment International*, 2004, 30: 19-30.
- [13] 赵吉, 廖仰南, 张桂枝. 草原生态系统的土壤微生物生态[1]. *中国草地*, 1999, (3): 57-67.  
ZHAO Ji, LIAO Yangnan, ZHANG Guizhi. Soil microbial ecology on grassland ecosystem[J]. *Chinese Grassland*, 1999, (3): 57-67.
- [14] 周焱, 徐宪根, 王丰, 等. 武夷山不同海拔梯度土壤微生物生物量、微生物呼吸及其商值(qMB, qCO<sub>2</sub>) [J]. *生态学杂志*, 2009, 28(2): 265-269.  
ZHOU Yan, XU Xiangen, WANG Feng, et al. Soil microbial biomass, respiration, and metabolic quotient a long an altitudinal gradient in Wuyi Mountain of southeastern China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(2): 265-269.
- [15] 吴建国, 艾丽. 祁连山 3 种典型生态系统土壤微生物活性和生物量碳氮含量[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 465-476.  
WU Jianguo, AI Li. Soil microbial activity and biomass C and N content in three typical ecosystems in Qilian Mountains, China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2): 465-476.
- [16] ANDERSON T H, DOMSEH K H. Ratio of micorbial biomass carbon to total organic carbon in arable soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21: 471-479.
- [17] ADMAS T, LAUGHIN R J. The effects of agronomy on the carbon and nitrogen contained in the soil biomass[J]. *Agricultural Science*, 1981, 97: 319-327.
- [18] SAVIOZZI A, LEVI-MINZI R, CARDELLI R, et al. A comparison of soil quality in an adjacent cultivated, forest and native grassland soils[J]. *Plant and Soil*, 2001, 233: 251-259.
- [19] JIANG Yuan, KANG Muiyi, ZHU Yuan, et al. Plant biodiversity patterns on Helan Mountain, China[J]. *Acta Oecologica*, 2007, 32(2): 125-133.

## Changes in soil microbial biomass carbon and nitrogen under typical plant communities along an altitudinal gradient in east side of Helan Mountain

LIU Bingru<sup>1,2</sup>

1. Key Lab for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China of Ministry of Education//United Research Center for Exploitation of Ecology and Resources in Western China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Research Station of Helan Mountain Forest Ecosystems, Yinchuan 750021, China

**Abstract:** Soil microbial biomass is an important component in carbon cycle of the terrestrial ecosystem, and it has a special status in material cycle and energy transformation of terrestrial ecosystem. The study of relationship between soil microbial biomass and altitudinal gradient has important meanings in understanding the pattern of soil microbial biomass and its mechanism, and the influence of predicting the global change on ecosystems. In this study, five typical plant communities along an altitudinal gradient were conducted in a national nature reserve in east side of Helan Mountain, in order to measure these variables in soil microbial biomass carbon(MBC) and soil microbial biomass nitrogen(MBN) of steppe desert, coniferous forest(*Picea crassifolia* forest, *Pinus tarbulaeformis* forest), alpine meadow, the factors affecting soil microbial biomass distribution including the annual temperature, precipitation, soil bulk density, soil pH, and soil moisture content were also analyzed. The results showed that changes of MBC and MBN in surface soil (0-20 cm depth) were in the order of alpine meadow>*Picea crassifolia* forest>*Pinus tarbulaeformis* forest>Steppe desert, soil microbial biomass was increased with increasing altitude, as well as organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN). MBC and MBN had significant positive correlations with annual precipitation, soil moisture, SOC and soil TN( $P<0.01$ ), and significant negative correlations with annual temperature and soil bulk density( $P<0.01$ ). It suggests that climate factors, soil moisture, soil SOC and TN maybe the pivotal factors controlling the vertical distribution patterns of MBC and MBN along the altitude gradient.

**Key words:** Helan Mountain; altitudinal gradient; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; microbial quotient(qMB)