

岷江上游干旱河谷不同坡向土壤氮素分异研究

张振恒¹, 宫渊波² (1. 海南环境科技经济发展公司, 海南海口 570126; 2. 四川农业大学林业生态工程省级重点实验室, 四川雅安 625014)

摘要 [目的]研究岷江上游干旱河谷不同坡向土壤氮素分异特征。[方法]采用野外调查和室内分析相结合的方法,立足于岷江上游山地深林/干旱河谷交错带,对不同坡向土壤氮素分异特征进行研究。[结果]阳坡坡面土壤全氮、水解性氮、硝态氮、微生物量氮随海拔降低和土壤剖面的加深而逐渐减少,彼此之间有显著的正相关关系。而在阴坡坡面全氮、水解性氮、硝态氮、微生物量氮含量随海拔降低而逐渐升高,剖面上的变化趋势与阳坡相似,相关分析结果表明,这种氮素形态之间的相关性与阳坡一致。[结论]不同坡向、不同海拔对氮分布有极大的影响。

关键词 土壤氮;海拔;坡向;干旱河谷

中图分类号 S158 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)23-0098-05

Study of Soil Nitrogen Heterogeneity among Different Slopes in the Semi-arid Areas of Upper Reaches of the Minjiang River
ZHANG Zhen-heng¹, GONG Yuan-bo² (1. Hainan Environmental Science and Technology Economic Development Corporation, Haikou, Hainan 570126; 2. Provincial Key Lab of Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014)

Abstract [Objective] To study soil nitrogen heterogeneity among different slopes in the semi-arid areas of upper reaches of the Minjiang River. [Method] Using the method of combining field investigation and indoor analysis, based on the upper reaches of the Minjiang River deep mountain forest in the arid valley ecotone, soil nitrogen differentiation characteristics of different slopes were studied. [Result] Total nitrogen, hydrolyzable nitrogen, nitrate nitrogen, microbial biomass nitrogen in sunny slope soil decreased with decreasing altitude and soil depth, there was a significant positive correlation between each other, while in shady slopes, total nitrogen, hydrolyzable nitrogen, nitrate nitrogen, microbial biomass nitrogen content decreased gradually with altitude increasing. The variation trend in the profile was similar to that of the sunny slope, and the correlation analysis results showed that the correlation between different nitrogen forms was consistent with the sunny slope. [Conclusion] Different slope directions and altitudes have great influence on nitrogen distribution.

Key words Soil nitrogen; Altitude; Slope; Arid valley

土壤氮与其所处生态系统的生态过程密切相关,是自然生态系统中主要的限制性养分,氮可利用性养分在数量和形态上的变化,对植物群落的生物量形成、物种组成和群落演替产生显著影响^[1]。由于受地形、母质、植被、土壤侵蚀状况及坡度等因素异质性的影响,同一土壤类型上甚至同一林分类型下土壤氮含量在不同尺度上均有变化^[2]。钟芳等^[3]对兰州南北两山5类乔灌木林草地土壤养分和土壤微生物空间分布进行研究,结果发现,南山地区的土壤养分含量普遍高于北山地区。徐华勤等^[4]对广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响,结果发现,不同土地利用方式下土壤微生物量碳、氮差异显著。刘秉儒^[5]对贺兰山东坡典型植物群落土壤微生物量氮随海拔梯度的变化特征进行研究,结果发现,微生物量氮随海拔梯度的升高显著增加,与土壤有机碳、氮含量有一致的变化规律。王琳等^[6]研究表明,贡嘎山东坡表层土壤有机质含量(SOC)和全氮含量随海拔升高呈上升趋势。余新晓等^[7]对八达岭森林土壤养分空间变异性进行研究,结果表明,土壤全氮和碱解氮具有中等的空间相关性。关于土壤氮时空分布特征研究较多。但前人对土壤氮的研究集中于气候温暖湿润地带,对我国干旱生境下的研究相对较少。

岷江上游干旱河谷是我国生态环境十分脆弱的地区,由于降水少、蒸发量大、降水分布不均,因此植被恢复十分困难;而且该区域因地形破碎,山高坡陡,滑坡、泥石流、崩塌等自然灾害十分突出^[8]。当地脆弱的生态环境已受研究者的

高度重视。近年来,对干旱河谷土壤的研究主要从土壤养分的空间分异、发生特性、剖面特征、对植被恢复和水文的影响等方面开展研究,并取得一定成果。但对于不同坡向、不同海拔梯度下土壤养分的分布特征研究很少。岷江上游干旱河谷山地气候垂直变化显著,从山麓到山顶构成一个山地气候的土壤系列,为研究干旱河谷地区土壤氮海拔梯度变化规律提供了良好场所。笔者通过对岷江上游山地森林/干旱河谷交错带土壤氮在不同坡向、不同海拔、不同植被恢复条件下的比较,探讨影响土壤氮分布的生物和非生物因子,旨在为整个干旱河谷退化生态系统的恢复和重建提供理论依据,对于区域的社会经济发展和生态安全具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区地处四川省西部理县杂谷脑河流域,属岷江一级支流,是典型山地森林/干旱河谷交错带。地理坐标为103°12'25"~103°13'36" E, 31°31'6"~31°32'10" N。该地区属于典型的高山峡谷区,地质结构属龙门山断裂带中段,平均海拔2 700 m,具有典型的干旱河谷气候。据杂谷脑河干旱河谷9个乡镇和理县县城的气象资料表明,该地区最高极温37℃左右,最低极温-19℃左右,年平均气温12℃左右,年平均降雨量584 mm,年平均蒸发量1 399 mm。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与土壤采集。2016年8月,在野外调查的基础上,以植被变化为依据,按植被分布的典型性和代表性进行样地选择,且尽量选取植被类型单一的区域。沿海拔梯度从上到下,分别在熊耳山阳坡(以A坡面表示)布设8块样地和耳耳山阴坡(以B坡面表示)布设5块样地,在每一块样地内按“S”型布设5个采样点,采集0~10、10~20 cm土层土

样各 2 kg 左右。一部分鲜样 4 ℃ 低温保存,以供微生物两碳氮、铵态氮、硝态氮等指标分析;另一部分经自然风干,供全氮、有机质等指标分析。基本情况见表 1。

表 1 样地的立地状况和植被组成
Table 1 The site features and vegetation composition of the sampled plots

样地 Sample	海拔 Altitude m	坡度 Slope °	坡位 Slope position	坡向 Aspect	土地利用 Land use	土壤类型 Soil type	主要物种组成 Species composition
A ₁	2 790	25	上坡	北偏西 5	次生林	山地棕壤	冬瓜杨 (<i>P. purdomii</i>)、紫枝柳 (<i>Salix heterochroma</i> Seemen)、陇东海棠 (<i>M. kansuensis</i>)、野櫻桃 (<i>Cerasus serrulata</i>)、麦吊云杉 (<i>P. brachytyla</i>)、峨眉蔷薇 (<i>R. omeiensis</i>)、川滇高山栎 (<i>Q. aquifolioides</i>)
A ₂	2 690	32	上坡	北偏东 29	灌木林	褐土	峨眉蔷薇 (<i>R. omeiensis</i>)、沙棘 (<i>H. rhamnoides</i>)、金花小檗 (<i>B. wilsonae</i>)、黄花蒿 (<i>A. annua</i>)、甘西鼠尾 (<i>Salvia przewalskii</i>)
A ₃	2 560	15	中坡	北偏东 40	退耕地	褐土	阴地蒿 (<i>A. sylvatica</i>)、尖瓣芹 (<i>A. chinense</i>)、东方草莓 (<i>F. orientalis</i>)、野艾蒿 (<i>A. vlavandulaefolia</i>)、鸭茅 (<i>D. glomerata</i>)、枸杞 (<i>Lycium chinense</i>)
A ₄	2 440	28	中坡	北偏东 63	退耕地	褐土	金花小檗 (<i>B. wilsonae</i>)、黄花蒿 (<i>A. annua</i>)、绢毛蔷薇 (<i>R. sericea</i>)、小叶栒子 (<i>C. microphyllus</i>)、牛至 (<i>Origanum vulgare</i>)、披碱草 (<i>E. dahuricus</i>)
A ₅	2 310	29	中坡	北偏东 34	幼林地	褐土	金花小檗 (<i>B. wilsonae</i>)、牛至 (<i>Origanum vulgare</i>)、美蔷薇 (<i>R. bella</i>)、光果荻 (<i>Caryopteris tangutica</i>)、柔毛委陵菜 (<i>Potentilla griffithii</i>)、紫花苜蓿 (<i>Medicago sativa</i> L)
A ₆	2 210	25	中坡	北偏东 35	幼林地	褐土	峨眉蔷薇 (<i>R. omeiensis</i>)、白刺花 (<i>Sophora viciifolia</i>)、光果荻 (<i>Caryopteris tangutica</i>)、川甘亚菊 (<i>A. jania potaninii</i>)、胡枝子 (<i>L. bicolor</i>)、小叶蔷薇 (<i>R. willmottiae</i>)
A ₇	2 100	43	下坡	北偏东 45	荒地	褐土	黄花蒿 (<i>A. annua</i>)、白刺花 (<i>Sophora viciifolia</i>)、光果荻 (<i>Caryopteris tangutica</i>)、小叶蔷薇 (<i>R. willmottiae</i>)
A ₈	1 860	35	下坡	北偏东 80	荒地	新成土	黄花蒿 (<i>A. annua</i>)、野燕麦 (<i>Avena fatua</i>)、猪毛蒿 (<i>Artemisia scoparia</i>)、小蓬草 (<i>Conyza canadensis</i>)
B ₁	2 190	43	上坡	正北	退耕地	山地棕壤	水青冈 (<i>Fagus longipetiolata</i>)
B ₂	2 170	39	中坡	北偏东 50	灌木林	褐土	黄花蒿 (<i>A. annua</i>)、小蓬草 (<i>Conyza canadensis</i>)
B ₃	1 950	33	中坡	北偏东 38	幼林低	褐土	云杉 (<i>Picea asperata</i>)、柏木 (<i>Cupressus funebris</i>)
B ₄	1 830	22	下坡	北偏东 9	荒地	褐土	黄花蒿 (<i>A. annua</i>)
B ₅	1 690	35	下坡	北偏西 53	荒地	新成土	猪毛蒿 (<i>Artemisia scoparia</i>)、小蓬草 (<i>Conyza canadensis</i>)

1.2.2 土壤样品分析。土壤样品分析方法采用《土壤农化分析方法》;土壤 pH 采用酸碱度 & 氧化还原电位控制器测定;SOC 采用重铬酸钾容量法-外加热法测定,全氮采用全自动凯氏定氮法测定;水解性氮采用碱解-扩散法测定;硝态氮含量采用酚二磺酸比色法测定;铵态氮采用 2 mol/L KCl 浸提-靛酚蓝比色法测定;土壤微生物量采用氯仿熏蒸法熏蒸后用硫酸钾浸提,用 TOC-V_{cph} 型 TOC 分析仪测定微生物生物量碳 (microbial biomass C, MBC)、氮 (microbial biomass N, MBN)。土壤微生物量碳系数为 2.22,土壤微生物氮系数为 1.85。

1.3 数据分析 试验数据采用 SPSS 20.0 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,差异显著性采用 SNK-q 检验 ($P<0.05$),相关性分析采用 Pearson 相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同坡向全氮含量随海拔梯度的变化 土壤中的氮绝大多数以有机态存在的,土壤中有有机态氮与无机态氮的总和称土壤全氮。土壤氮绝大部分来自有机质,故有机质的含量与全氮含量呈正相关。土壤中的全氮含量代表土壤氮的总贮量和供氮潜力,因此,全氮含量与有机质是土壤肥力的主要指标之一。从图 1 可以看出,阳坡区域垂直带土壤全氮含

量随海拔降低而逐渐下降,灌木林 (A₂) 含量最高,灌草丛 (A₇) 含量最低,0~30 cm 土层平均含量分别为 4.51 和 1.68 g/kg。次生林 (A₁)、灌木林 (A₂)、幼林地 (A₅)、幼林地 (A₆) 含量相差不大。全氮含量在刺槐林 (A₃) 和幼林地 (A₄) 出现一个低谷,可能与其土地利用类型有关,这一区间曾是主要的放牧和农耕区,虽然已经退耕多年,但全氮含量短期未能恢复过来。阴坡区域垂直带土壤全氮含量随海拔降低而逐渐上升,荒地 (B₄) 含量最高,退耕林 (B₁) 含量最低,0~20 cm 土层平均含量分别为 2.34 和 0.88 g/kg,退耕林 (B₁) 含量较低的原因可能与刺槐林 (A₃)、幼林地 (A₄) 相似。从土壤剖面看,不同坡向的土壤全氮含量随土层下降而逐渐降低,各样地表层 (0~10 cm) 和中层 (10~20 cm) 土壤全氮含量差异显著,阳坡下层 (20~30 cm) 差异程度明显下降。

表层土壤平均有机碳在不同坡向和不同海拔的分布规律与全氮相似,相关性分析表明,土壤全氮和有机碳在阳坡和阴坡的相关系数分别是 $r=0.951$ 和 $r=0.865$ ($P<0.01$),均达极显著水平。说明土壤有机质分解过程中存在碳氮的耦合作用^[9]。

土壤全氮和有机碳随海拔的变化规律可能与当地的气候和土壤质地有关^[10],随着海拔降低,在焚风效应^[11]的影响下,

土壤含水量逐渐降低,表层土壤蒸发量增大,植被生产力下降,且土壤质地变粗,不仅每年归还到土壤中的有机物质减少,而

且有机碳矿化程度增加,在这些因素的共同作用下,导致全氮和有机碳随海拔降低和土壤剖面的下降而逐步减少。

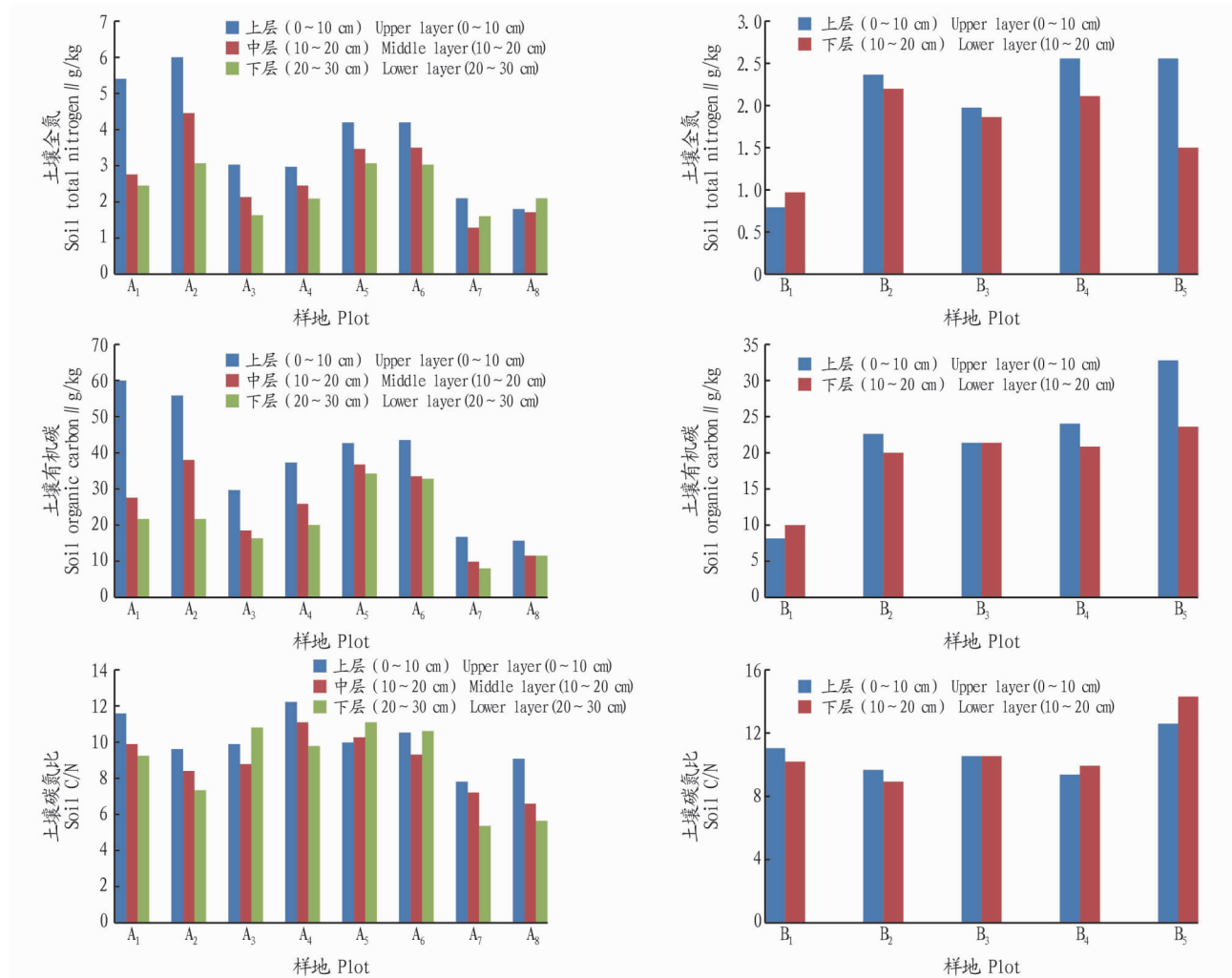


图1 不同坡向土壤有机碳、全氮及碳氮比随海拔梯度的变化

Fig.1 Changes of soil organic carbon, total nitrogen and C/N along altitudinal gradients in different slopes

2.2 不同坡向土壤硝态氮和铵态氮随海拔梯度的变化 土壤中的氮以各种复杂的化学形态存在,其中可被植物吸收利用的主要是硝态氮(NO_3^-)和铵态氮(NH_4^+)。土壤中铵态氮和硝态氮的含量主要来源于土壤微生物进行的矿化作用,因此其含量的高低受土壤有机质含量、微生物种类和土壤环境条件如土壤温度、湿度和盐碱度等的多重影响。土壤铵态氮含量与土壤本身的通透性、质地等因素有关,特别是在通气良好的条件下,硝化细菌和亚硝化细菌非常活跃,土壤中的铵态氮很容易转变为硝态氮。硝态氮可以在反硝化细菌的作用下形成 N_2 或 N_2O 释放到大气中。土壤水解氮又称土壤有效氮,包括无机的矿质态氮和部分有机物质中的有机态氮,主要有铵态氮、硝态氮、氨基酸、酰胺和易水解的蛋白质,这部分氮能反映近期内土壤氮的供应状况^[12]。

由图2可知,阳坡区域低海拔 $A_4 \sim A_8$ 样地表层0~30 cm土壤硝态氮含量为1.53~5.45 mg/kg,明显低于高海拔区域[次生林(A_1)、灌木林(A_2)和刺槐林(A_3)]均值14.09 mg/kg。阴坡区域0~20 cm土层退耕林(B_1)含量最低,为0.45 mg/kg,

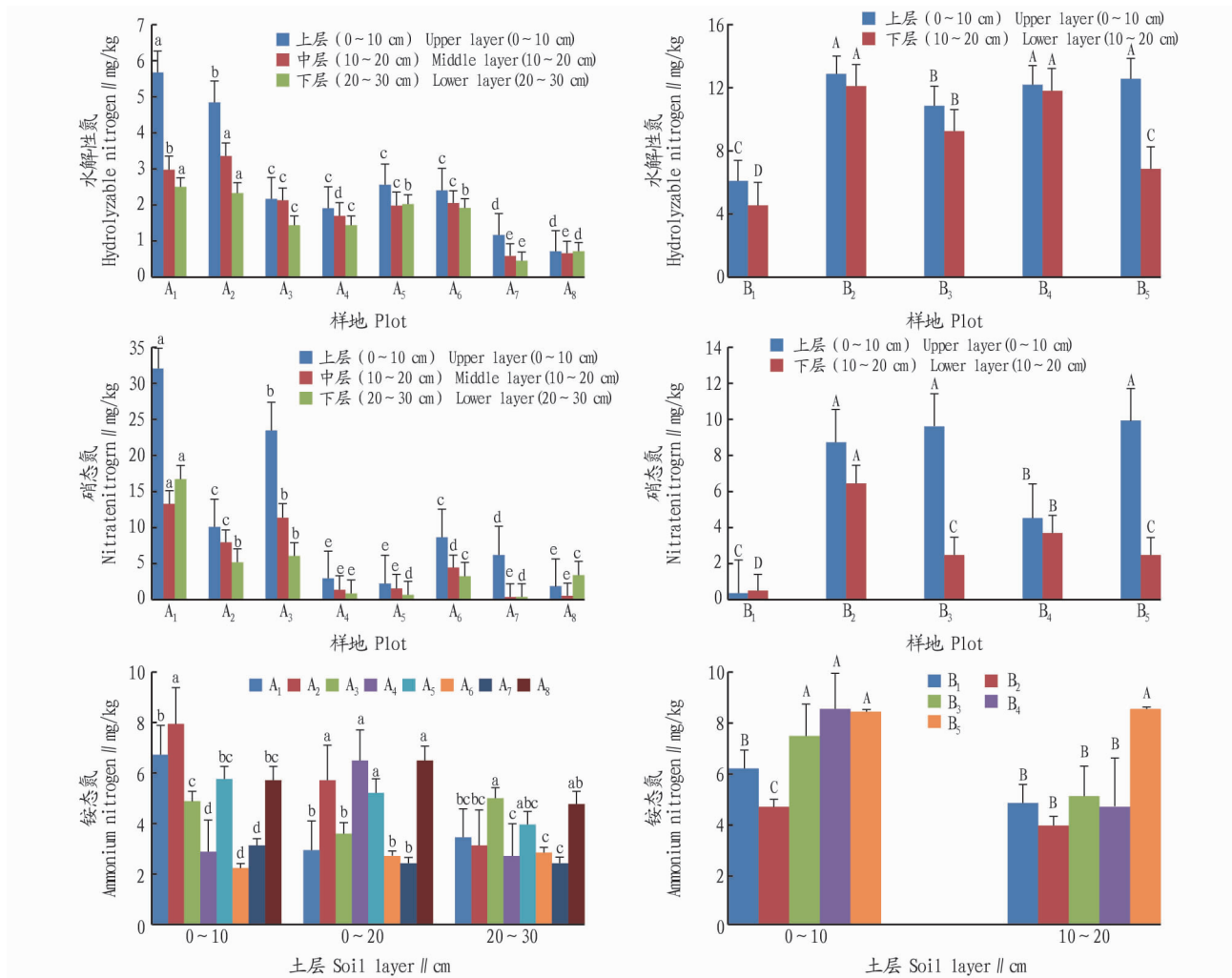
其次是荒地(B_4),最高是矮灌草(B_2),为7.63 mg/kg。这可能是因为阳坡高海拔区域和阴坡矮灌草(B_2)植被生长较好,枯落物归还量较高,林下环境有利于微生物活动,有更多底物供微生物矿化成硝态氮。试验区域硝态氮在剖面上的分布规律与水解性氮相似,含量均随土层加深而减少。阳坡0~30 cm土层铵态氮随海拔梯度的降低而减少,但在幼林地(A_5)和草丛(A_8)明显升高,具体原因有待进一步研究。阴坡区域铵态氮随海拔梯度的降低而增加,矮灌草(B_2)含量最低,荒草地(B_5)含量最高。矮灌草(B_2)含量较低可能是因为灌木林生长较好,对铵态氮的利用率较高。

在土壤剖面上,阳坡各样地间0~10和10~20 cm土层差异较大,在20~30 cm土层逐渐趋向一致。阴坡0~10 cm土层各样地差异明显,10~20 cm土层除荒草地(B_5)外,其他样地相差不大。

2.3 不同坡向土壤微生物量氮随海拔梯度的变化 土壤微生物生物量是指生活在土壤中微生物活体的总量。土壤微生物生物量虽然仅占有有机质的很小部分,但对氮、磷、硫循环和植物有效性的作用巨大。一方面土壤微生物本身所含的

养分氮、磷、硫等是植物潜在有效的,另一方面土壤微生物不仅通过自身的代谢和周转,促进养分的循环和植物有效性,成为土壤有效养分的重要来源,而且参与物质转化过程中的许多生化反应。因此,微生物生物量是土壤养分的储备库。土壤微生物对外界条件变化敏感,能够及时反映土壤管理变

化。土壤微生物量氮是指土壤中的所有活微生物体内所含有氮的总量占土壤有机氮总量的 1%~5%,是土壤氮养分转化和循环研究的重要参数,能够直观反映土壤微生物和土壤肥力状况。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)
Note: Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

图2 不同坡向土壤水解性氮、硝态氮、铵态氮随海拔梯度的变化

Fig. 2 Changes of soil hydrolysis of nitrogen, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen along altitudinal gradients in different slopes

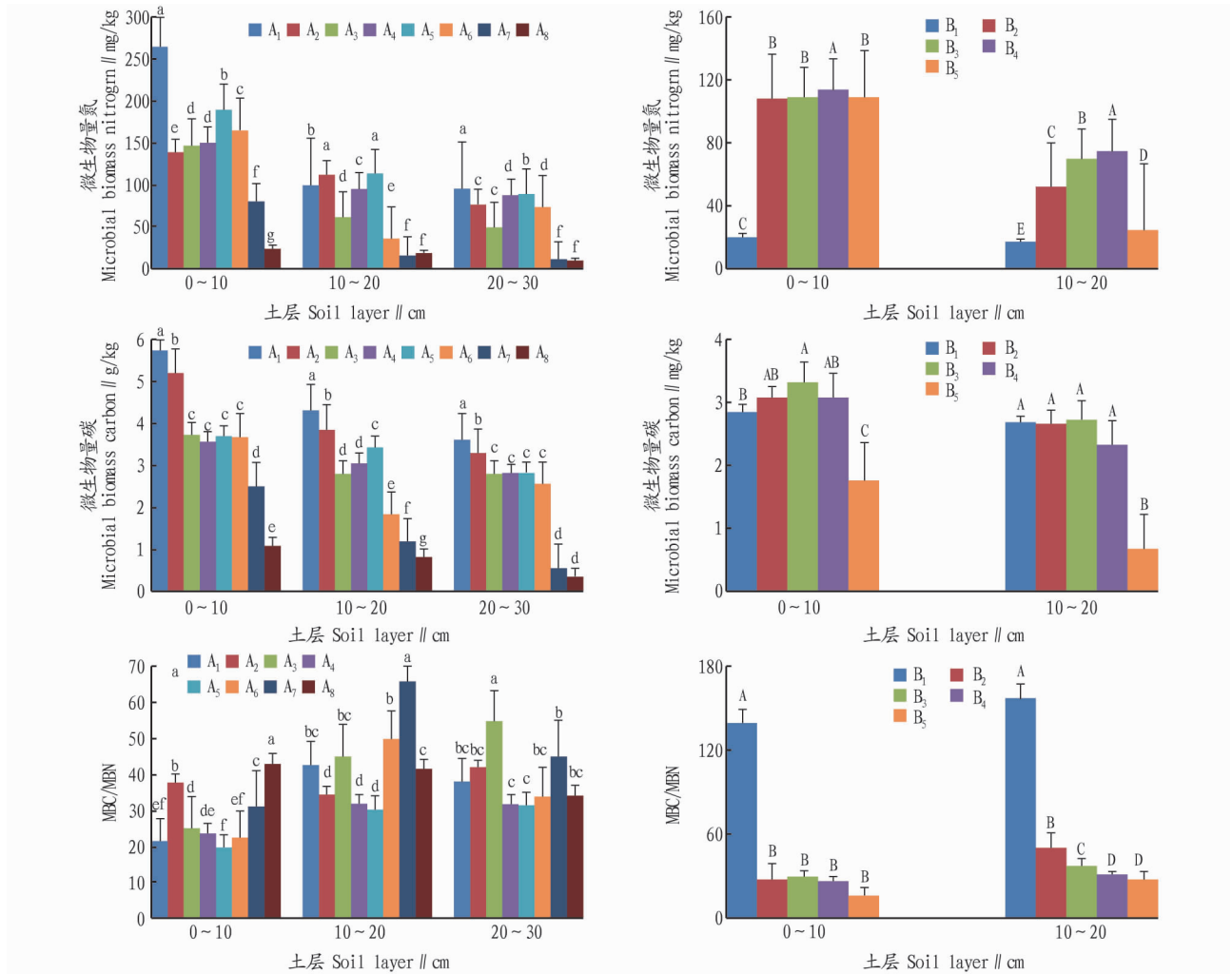
从图3可以看出,阳坡区域微生物量碳(MBC)和氮(MBN)与海拔呈极显著相关($MBC:r=0.841$, $MBN:r=0.575$, $P<0.01$),随着海拔降低而减少,在表层0~30 cm土壤中的最大值($MBC:4.56\text{ g/kg}$; $MBN:155.00\text{ mg/kg}$)和最小值($MBC:0.76\text{ g/kg}$; $MBN:18.70\text{ mg/kg}$)都在相同的样地,分别是次生林(A₁)和草丛(A₈)。这可能是因为草丛(A₈)主要是以旱生低矮灌丛为主的荒地,地被盖度小,植被改造土壤的能力较弱,土壤有机物质积累缓慢,不利于微生物的生长和繁殖。随着海拔升高,植物群落环境开始形成,土壤有机质积累增多,微生物的种类和数量均大幅度增加,因此微生物量碳和微生物量氮含量显著升高。在阴坡区域,微生物量氮的最大值和最小值分别在荒地(B₄)(95.23 mg/kg)和退耕林(B₁)(18.86 mg/kg),在0~10 cm土层,退耕林(B₁)

远小于其他样地。无论是阴坡还是阳坡,样地的微生物量碳和微生物量氮均随土层深度的增加而明显下降。

3 结论

从不同坡向看,阳坡区域垂直带土壤全氮含量随海拔降低而逐渐下降,而阴坡区域相反。从土壤剖面看,不同坡向的土壤全氮含量都随土层下降而逐渐降低,各样地同一土层间差异程度明显下降。土壤有机碳的分布规律与全氮相似,相关性分析表明,土壤全氮和有机碳在阳坡和阴坡的相关系数分别为0.951和0.865,均达极显著水平。说明土壤有机质分解过程中也存在碳氮的耦合作用。

阳坡区域土壤水解性氮分布规律与全氮相似,与全氮均达极显著正相关关系($r=0.890$, $P<0.01$);土壤硝态氮含量在低海拔样地平均含量明显低于高海拔样地;铵态氮随海拔



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level

图3 不同坡向土壤微生物量氮、微生物量碳、MBC/MBN 碳随海拔梯度的变化

Fig. 3 Changes of soil microbial biomass quantity nitrogen, microbial biomass carbon, MBC/MBN along altitudinal gradients in different slopes

梯度的降低而减少,但在幼林地(A_5)和草丛(A_8)明显升高,具体原因有待进一步研究。从土壤垂直剖面看,水解性氮和硝态氮随土层加深而减少,而铵态氮的变化趋势不明显。阴坡区域水解性氮与全氮也均达极显著正相关($r = 0.951$);硝态氮在退耕林(B_1)含量远低于其他样地;铵态氮则在矮灌草(B_2)较低,与其他样地差异显著。从剖面看,水解性氮和硝态氮随剖面变化趋势与阳坡相似,铵态氮在0~10 cm 土层各样地差异显著,10~20 cm 土层除荒草地(B_5),其他样地相差不大,铵态氮和硝态氮相关关系不显著,这与阳坡坡相一致。

阳坡区域微生物量氮随海拔降低而减少,与微生物量碳极显著相关($r = 0.875, P < 0.01$)。在阴坡区域,微生物量氮随海拔降低而增加,退耕林(B_1)远小于其他样地,与微生物量碳相关性未达显著水平($r = 0.367, a = 0.05$)。无论是阴坡还是阳坡,样地微生物量碳和微生物量氮均随土层深度的增加而明显下降。

参考文献

[1] BEDFORD L B, WALBRIDGE M R, ALDOUS A. Patterns in nutrient availability and plant diversity of temperate North American wetlands[J].

Ecology, 1999, 80(7): 2151-2169.
 [2] GILLIAM F S, YURISH B M, ADAMS M B. Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in nitrogen-saturated soils of a central Appalachian hardwood forest [J]. Canadian journal of forest research, 2001, 31(10): 1768-1785.
 [3] 钟芳,赵瑾,孙荣高,等. 兰州南北两山五类乔灌木林地土壤养分与土壤微生物空间分布研究[J]. 草业学报, 2010, 19(3): 94-101.
 [4] 徐华勤,章家恩,冯丽芳,等. 广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4112-4118.
 [5] 刘秉儒. 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[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 883-888.
 [6] 王琳,欧阳华,周才平,等. 贡嘎山东坡土壤有机质及氮素分布特征[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 1012-1019.
 [7] 余新晓,张振明,朱建刚. 八达岭森林土壤养分空间变异性研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(5): 959-964.
 [8] 易海燕,宫渊波,陈林武,等. 岷江上游山地森林/干旱河谷交错带退耕还林后土壤养分变化和微生物分布特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 130-135.
 [9] FINZI A C, SCHLESINGER W H. Soil-nitrogen cycling in a pine forest exposed to 5 years of elevated carbon dioxide[J]. Ecosystem, 2003, 6(5): 444-456.
 [10] 党亚爱,李世清,王国栋,等. 黄土高原典型土壤有机碳和微生物碳分布特征的研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 936-945.
 [11] 何其华,何永华,包维楷,等. 岷江上游干旱河谷典型阳坡海拔梯度上土壤水分动态[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 68-74.
 [12] 洪瑜,方晰,田大伦. 湘中丘陵区不同土地利用方式土壤碳氮含量的特征[J]. 中南林业学院学报, 2006, 26(6): 9-16.