

西藏色季拉山西坡不同海拔梯度表层土壤 碳氮变化特性的研究*

马和平¹, 郭其强¹, 刘合满², 钱登锋²

(1. 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏 林芝 860000)

摘要: 为探讨海拔梯度变化对表层土壤(0~20 cm) 全量养分的影响, 以西藏色季拉山西坡的高山灌丛(AS)、杜鹃林(RF)、急尖长苞冷杉林(AGSF1-6) 和林芝云杉林(PLLF) 为试验对象, 研究了林地土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、微生物生物量碳(MBC)、微生物生物量氮(MBN)、易氧化态碳(ROC) 和颗粒有机碳(POC) 的变化特征。结果表明: 在色季拉山西坡, 高海拔植被类型具有较高的土壤活性有机碳含量和分配比例。表层土壤 SOC 随着海拔的升高而增大。SOC 最大的是 AS, 为 $77.167 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, PLLF 最低为 $22.351 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。表层土壤 TN 随着海拔的升高而增大。TN 最大的是 AS, 为 $2.430 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, PLLF 最低为 $0.830 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。表层土壤 C/N 最大者为 AGSF4, 达到了 43.57, 最小者是 PLLF 为 26.93。海拔和林分对土壤 MBC 和 MBN 含量具有显著的影响。随着海拔高度的降低, POC 占 TOC 含量的比率从 44.81% 降至 19.32%, ROC 占 TOC 含量的比率从 41.72% 降至 7.07%。不同林地 POC 和 ROC 含量与 SOC 含量具有正相关关系。土壤活性有机碳与土壤总有机碳显著相关, 土壤易氧化有机碳与颗粒有机碳的相关性也比较显著($p < 0.05$)。

关键词: 土壤有机碳; 总氮; 微生物量碳; 颗粒有机碳; 易氧化态碳; 西藏
中图分类号: S714 文献标识码: A

Changes of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen at Different Altitudes in West Slope of Sejila Mountain of Tibet

MA He-ping, GUO Qi-qiang, LIU He-man, QIAN Deng-feng

(1. Research Institute of Plateau Ecology, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Nyingchi 860000, Tibet, China;
2. Faculty of Forest Resources and Environmental Science, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Nyingchi 860000, Tibet, China)

Abstract: In order to explore the effects of total nutrient on surface soil (0~20cm), the alpine shrub, *Rhododendron* forest, *Abies georgei* var. *smithii* forest and *Picea likiangensis* var. *linzhiensis* forest were selected as experimental sites, the soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), readily oxidizable organic carbon (ROC), and particulate organic carbon (POC) were studied at different altitudes. The results showed that compared with lower-elevation vegetation types, the higher ones were found significantly higher in their SOC content and proportion. The SOC and TN contents were increasing along the elevation gradient in Sejila Mountain. The surface SOC of alpine shrub was the largest (77.167) and *P. likiangensis* var. *linzhiensis* forest the smallest (22.351). The TN of alpine shrub was the largest (2.430) and *P. likiangensis* var. *linzhiensis* forest the smallest (0.830). The surface C/N ratio of *A. georgei* var. *smithii* forest was the largest (43.57) and *P. likiangensis* var. *linzhiensis* forest the smallest (26.93). The elevation and wood stand had a significant impact on MBC and MBN. With lower altitude, the ratio of the POC in TOC decreased from 44.81% to 19.32%, the ratio of ROC in TOC decreased from 41.72% to 7.07%. The POC and ROC of different

收稿日期: 2012-02-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41061033)(41161052); 国家林业局林芝森林生态系统定位研究项目资助。

作者简介: 马和平(1977—), 男, 甘肃陇西人, 硕士, 主要从事西藏高原生态和碳循环研究。E-mail: maheping2006@21cn.com.

* 本研究的野外工作是依托西藏林芝高山森林生态系统定位站完成的。感谢西藏高原生态研究所全体同仁对于该基金项目的帮助。

wood lands were significantly related to SOC. And the active SOC was significantly related to total SOC. The relationship between soil microbial biomass and readily oxidizable organic carbon was significant ($p < 0.05$).

Key words: soil organic carbon; soil total nitrogen; soil microbial biomass; particulate organic carbon; readily oxidizable organic carbon; Tibet

碳是地球上最为重要的生命元素,是生命体的主要组成部分,约占生命体中生物质量的46%~48%^[1],它维系着地球上生命系统的新陈代谢过程,在生命系统中占有极为重要的地位。碳也是地球上最为重要的环境要素,在地球演化和生命起源中,扮演着十分重要的角色。地球系统碳循环是指碳在地球系统中的迁移运动^[2]。自工业革命以来,大气中CO₂和CH₄等温室气体浓度的迅速增加,显然是人类活动和化石燃料燃烧改变了地球生态系统自然的碳循环过程与收支平衡的结果,它导致了全球气候变暖,引发了一系列严重的全球环境问题,给人类自身的生存和可持续发展带来了巨大的威胁^[3~5]。因此,探索地球生态系统碳循环的过程与控制机制,评估陆地生态系统固定CO₂等温室气体的能力,评价陆地生态系统碳源、碳汇的区域分布和寻找未知碳汇(missing sink),预测未来的气候变化趋势,已成为国际社会关注的热点科学问题^[6~11]。深入研究土壤有机碳(Soil organic carbon, SOC)、全氮(Total nitrogen, TN)以及土壤微生物的基本特征,对于认识不同海拔以及不同植被类型上土壤质量和储碳潜力有着重要意义。

青藏高原因海拔高、气候寒冷,称为世界第三极,被认为是气候变化的敏感区和脆弱区^[12]。高原四周存在对比强烈的气候和植被地带^[13]。位于西藏东南部林芝县境内的色季拉山是念青唐古拉山余脉与喜马拉雅山东部向北发展的山系结合部,广泛分布着原始森林,为开展亚高山寒温带生态系统碳循环提供了研究平台。本文选定西藏色季拉山不同海拔梯度的不同植被类型(高山灌丛、杜鹃林、冷杉林和林芝云杉)生态系统作为研究对象,通过对这些样地SOC、TN含量及其土壤微生物特征(微生物量碳:SMBC;微生物量氮:SMBN)揭示亚高山寒温带地区不同海拔梯度不同植被类型土壤质量的差异,同时,也为系统认识亚高山寒温带不同生态系统森林土壤碳汇提供一定的参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

色季拉山位于29°10′~30°15′N, 93°12′~95°

35′E,是念青唐古拉山余脉与喜马拉雅山东部向北发展的山系结合部,处于半湿润区与湿润区的过渡地带,海拔2 200~5 300 m,面积约2 300 km²。本研究位于色季拉山西坡,约在29°38′N, 94°43′E,海拔3 600~4 400 m地带,平均坡度35°左右。由于雅鲁藏布江的水气通道作用,该区域受印度洋暖湿季风的影响,为亚高山寒温带半湿润区,年均温-0.73℃,最暖月(7月)平均气温为9.8℃,最冷月(1月)平均气温为-13.8℃;年降水量1 134 mm;蒸发量554 mm;年平均相对湿度78%。在色季拉亚高山地带,急尖长苞冷杉在乔木层中占绝对优势,是构成群落外貌的主要建群种。该区域现有植被属于原始森林,在3 300~3 600 m海拔范围内以林芝云杉原始森林为主,郁闭度0.7~0.8,川滇高山栎多为伴生树种,林下灌木以杜鹃、忍冬为主。在3 700~4 300 m海拔范围内,广布着急尖长苞冷杉原始森林,林下多为杜鹃属灌木,郁闭度随海拔高度增加而减小,林线处郁闭度只有0.2;在林线(4 340 m)处,为高寒灌丛,郁闭度较大,可达0.8。

1.2 样地设置

本研究在色季拉山西坡,从海拔3 600~4 360 m选择高山灌丛(简称AS,分布在林线以上,灌丛高度不足1 m)、杜鹃林(简称RF,分布在林线以下,灌丛高度在2~3.5 m)、急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *smithii* (Viguie et Gaussen) Cheng et L. K. Fu.)林(简称AGSF)和林芝云杉(*Picea likiangensis* var. *linzhiensis* Cheng et L. K. Fu.)林(简称PLL)4种典型森林生态系统为研究对象,在每种生态系统类型中设置了3个20 m×30 m的固定样地进行土壤有机碳研究。对样地内≥1.5 m的乔木树种进行每木检尺,实测其胸径、树高、冠幅、郁闭度等指标;下木、活地被物的调查按对角线法设置2 m×2 m样方,调查每个样方中高度<1.5 m的乔木树种幼树、幼苗数量及高度、地径,并用轮枝法查数幼树年龄;统计灌木、草本(包括蕨类植物)和层间植物的种类、株数(或丛数)、高度、盖度。表1列出这些固定样地的立地状况和植被组成。

1.3 土壤样品的采集与处理

2011年7月,在每块标准地有代表性的部位,

分别挖取3个土壤剖面。观察剖面特征后,用100 cm³环刀测定土壤密度,在表层0~20 cm深度采集土壤混合样品约200 g,分别装入自封袋中并做好标记。土样采集后,由于样品个数多,按每个样品进行单一测定,需要的时间较长,并且较多的样品不能在同一个培养箱中容纳,为了克服因处理时间差异和培养箱的不同而造成的较大误差,根据混合土样采集测定中关于混合土样采样单元不少于5个及样点差异与统计分析的要求,采取多点混合土样样品处理法。高寒灌丛样地内土样按土层每4个点混合为1份,山地森林中土样按土层每5个点混合为1份,拣除石块等杂物后,每份土样又均匀分成两部分,一部分放入低温箱中(温度控制在4℃)及时运回实验室,放到冷冻冰箱(温度控制在-4℃)用于测定土壤微生物和活性;另一部分装在土样袋中,运回实验室自然风干用于测定土壤有机碳和全氮。

1.4 室内分析指标及分析方法

土壤SOC的测定采用重铬酸钾氧化法,TN的

测定采用凯氏定氮法,土壤微生物生物量的测定采用氯仿熏蒸浸提法。具体步骤是称取20 g鲜土于50 mL的烧杯中,将其放置于真空干燥器中,并放入装有去乙醇的氯仿(约2/3烧杯),烧杯内放入少量沸石,用真空泵抽真空使氯仿沸腾5 min。关闭真空干燥器阀门,在室温避光下熏蒸24 h。熏蒸结束后,打开真空干燥器的阀门,取出盛有氯仿的烧杯,然后用真空泵抽空3~4次,使渗透到土样中的氯仿全部被排除。熏蒸结束后将土样转移到250 mL的三角瓶中,加入80 mL 0.5 mol·L⁻¹K₂SO₄震荡1 h。用中速定量滤纸过滤。滤液用Multi C/N 3100分析。未熏蒸的样品提取和分析方法与上同。熏蒸和未熏蒸的有机碳的差值除以系数0.45得到微生物量有机碳^[14-15]。

1.5 数据分析

利用Excel和SPSS11.5 For windows统计软件,对土壤总有机碳、全氮、微生物量碳、微生物量氮的测定结果进行统计分析。

表1 样地立地状况和植被组成

采样点	坡度	纬度 (N)	经度 (E)	海拔 /m	植被组成	
					乔木层	下木层
高山灌丛(AS)	32°	29°37'54"	94°42'9.9"	4 367	1、2	19、20、51、52
杜鹃林(RF)	29°	29°38'16"	94°42'13"	4 298	1、3	19、20
急尖长苞冷杉林(AGSF1)	44°	29°38'13"	94°42'22"	4 200	3、5、6、10、4、7、8、10	21、22、20
急尖长苞冷杉林(AGSF2)	31°	29°41'38"	94°42'52"	4 083	3、5、6、7、8、37	23、22、24、20、41
急尖长苞冷杉林(AGSF3)	25°	29°38'28"	94°42'30"	3 980	3、4、5、6、9、7、8、10、11	25、21、26、27、28、24、29、23、20
急尖长苞冷杉林(AGSF4)	34°	29°38'38"	94°42'37"	3 850	3、6、4、38、12、13、5、11、9、8、10	28、42、43、22、44、45、20、46、21、47
急尖长苞冷杉林(AGSF5)	40°	29°38'39"	94°42'47"	3 792	3、6、39、37、38、12、13、9、7、4	25、28、42、43、44、47、45、20、46、21、48、49、50、26
急尖长苞冷杉林(AGSF6)	35°	29°38'44"	94°43'12"	3 713	3、5、6、19、38、12、13、4、40、10	44、45、20、46、21、50、32、30
林芝云杉林(PLLF)	27°	29°38'54"	94°43'50"	3 613	15、6、12、13、14、16、17、18、11	21、31、27、26、32、33、34、30、22、35、25、29、36

1. 薄毛海绵杜鹃 *Rhododendron aganniphum* Balf. f. et Ward. 2. 红点杜鹃 *R. rubro-punctatum* T. L. Ming 3. 急尖长苞冷杉 *Abies georgei* var. *smithii* (Viguie et Gaussen) Cheng et L. K. Fu. 4. 西南花楸 *Sorbus rehderiana* Koehne 5. 硬毛杜鹃 *Rhododendron hirtipes* Tagg 6. 杯萼忍冬 *Lonicera inconspicua* Batal. 7. 冰川茶藨子 *Ribes glaciale* Wall 8. 锈毛西南花楸 *Sorbus rehderiana* Koehne var. *cupreonitens* Hand.-Mazz. 9. 陇塞忍冬 *Lonicera tangutica* Maxim 10. 西南铁线莲 *Clematis pseudopogonandra* Finet 11. 长芽绣线菊 *Spiraea longigemmis* Maxim. 12. 柳叶忍冬 *Lonicera leuceolata* Wall. 13. 峨眉蔷薇 *Rosa omelensis* Rolfe 14. 越桔忍冬 *Lonicera myrtillos* Hook. f. et Thoms. 15. 林芝云杉 *Picea likiangensis* var. *linzhiensis* Cheng et L. K. Fu. 16. 川滇高山栎 *Quercus aquifolioides* Rehd. et Wils. 17. 小舌紫菀 *Aster albescens* (DC.) Hand.-Mazz. 18. 绒楚卫矛 *Euonymus cliviculus* var. *rongchuanensis* (Marquand et Airy Shaw) Blakelock 19. 岩白菜 *Bergenia purpurascens* Engl 20. 直立悬钩子 *Rubus stans* Focke 21. 宽叶苔草 *Carex siderosticta* Hance 22. 五裂蟹甲草 *Cacalin pentaloba* Hand.-Mazz 23. 鹅肠菜 *Endarachne binghamiae* J. Ag. 24. 小蓼 *Polygonum minus* Huds. 25. 香根芹 *Osmorhiza aristata* (Thunb.) Makino et Yabe 26. 光萼茎萼菜 *Viola diffusoides* C. J. Wang 27. 翅柄蓼 *Polygonum sinomontanum* Sam 28. 长柱鹿药 *Smilacina oleracea* (Baker.) Hook. F. et Thoms 29. 卷叶黄精 *Polygonatum cirrhifolium* (Wall.) Royle 30. 贡山肋毛蕨 *Ctenitis fengiana* Ching 31. 凉山悬钩子 *Rubus fockeanus* Kurz 32. 腋花扭柄花 *Streptopus simplex* D. Don 33. 水栒子 *Cotoneaster multiflorus* Bunge 34. 总梗委陵菜 *Potentilla peduncularis* D. Don 35. 无翅兔耳风 *Ainsliaea foliosa* DC. 36. 葶叶獐芽菜 *Saertra phragmiti* phyla T. N. He. et S. W. Liu 37. 长尾槭 *Acer caudatum* Wall. 38. 黄杯杜鹃 *Rhododendron wardii* W. W. Smith 39. 刚毛忍冬 *Lonicera hispida* (Steph.) Pall. ex Roem. et Schult 40. 糙皮桦 *Betula utilis* D. Don 41. 马尾巴草 *Setaria viridis* (L.) Beauv 42. 酢酱草 *Oxalis corniculata* Linn. 43. 西藏对叶兰 *Listera pinetorum* Lindl. 44. 大叶山芥碎米荠 *Cardamine griffithii* Hook. f. et Thoms var. *grandifolia* T. Y. Cheo et R. C. Fang 45. 沼兰 *Malaxis monophyllos* (L.) Sw. 46. 西藏五福花 *Adoxa xizangensis* G. Yao. sp. Nov. 47. 六叶簕 *Galium asperuloides* Edgew. subsp. *hoffmeisteri* (Klotzsch) Hara 48. 假百合 *Notholirion bulbiferum* (Lingelsh.) Stearn 49. 细茎蓼 *Polygonum filicaule* Wall. ex Meisn. 50. 荨麻叶凤仙花 *Impatiens urticifolia* Wall. 51. 扫帚岩须 *Cassiope fastigiata* D. Don 52. 长鞭红景天 *Rhodiola fastigiata* (Hook. f. et Thoms) S. H. Fu

2 结果与分析

2.1 不同海拔梯度表层土壤(0~20 cm)有机碳、总氮含量

土壤有机碳(SOC)是土壤植物生态系统的重要组成部分,对土壤物理、化学和生物特征的变换起着关键作用。土壤有机碳库由连续的不同分解阶段的有机物组成,包括已经完全分解的腐殖质、半分解有机残体和微生物及其排泄物^[16]。潘根兴分别采用《中国土种志》和《中国土壤普查数据》的资料,估算出我国表层土壤有机碳含量约为20Pg(采用深度为20 cm),占全球的4.4%^[17]。Poller等在1993年根据CENTURY模型计算全球表层土壤有机碳为455Pg^[18-19]。在森林生态系统中,土壤有机质在养分的储存和保持中起着尤为重要的作用^[20]。作为微生物能源物质的有机碳含量及其矿化也决定了土壤氮及其它养分的有效性^[21],而有机碳含量又取决于植被动态和凋落物的输入及其分解。

从图1中可以看出,表层土壤SOC随着海拔的升高而增大。其中,SOC最大的是AS,达到了77.167 g·kg⁻¹,其次是RF,为72.999 g·kg⁻¹,PLLF最低为22.351 g·kg⁻¹。AS与RF、AGSF1与AGSF2、AGSF3、AGSF4与AGSF5差异不显著,而其间差异显著;AGSF6与PLLF差异显著($p < 0.05$)。

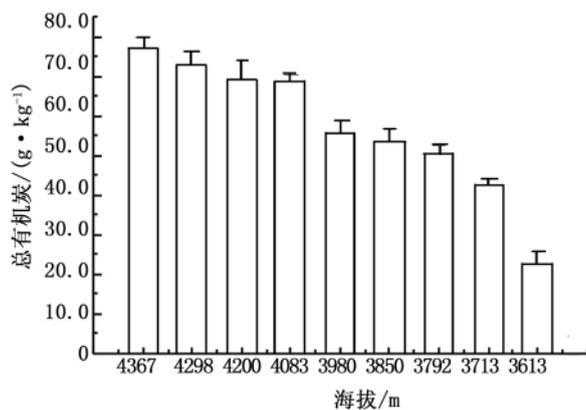


图1 不同海拔高度土壤总有机碳含量

从图2可以看出,表层土壤TN随着海拔的升高而增大。其中,TN最大的是AS,达到了2.430 g·kg⁻¹,其次是RF,为1.800 g·kg⁻¹,PLLF最低为0.830 g·kg⁻¹。AS与RF、RF与AGSF1、AGSF3与AGSF4、AGSF5、AGSF6与PLLF均差异显著, ($p < 0.05$)。土壤TN含量因海拔梯度和植被类型不同而不同,但TN含量差异与SOC含量差异基本一致。

就其原因,一方面是从不同植被所对应的气候

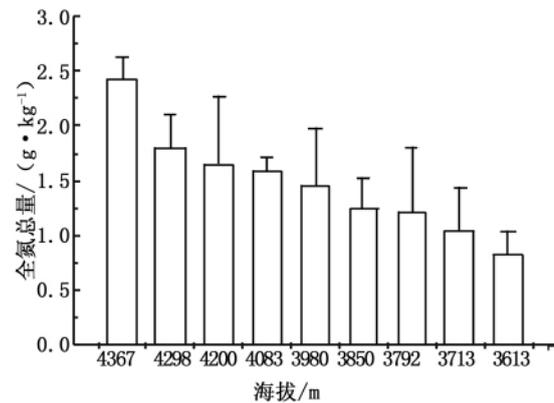


图2 不同海拔高度土壤全氮含量

条件看,随着海拔的升高,年平均土壤温度逐渐降低,而年平均土壤湿度却逐渐增大,年平均林地凋落物量逐渐减少。残枝落叶分解后输入土壤的有机碳都聚集在土壤表层,土壤有机碳的表聚性较明显,说明植被类型的差异对该变化影响较大。另一方面,土壤有机碳含量除受气候、植被覆盖状况、沉积环境等因子的影响外,还与土壤理化性质有密切关系^[22-23]。在本研究中,表层土壤SOC含量与pH值呈显著负相关,即随着海拔高度的降低土壤有机碳含量逐渐降低,而pH值逐渐增高,土壤溶液由酸性渐变为碱性。而土壤pH值可以影响微生物的生长和活动,在酸性土壤中,微生物种类受到限制,以真菌为主,从而减缓了有机质的分解,同时,植物物质的分解会减缓;在碱性条件下,有机物质的溶解、分散和化学水解作用会增大,可以提高微生物对有机物质的利用率。即随海拔高度的降低,土壤有机碳的K_{os}值也随之降低,土壤有机碳的活性增加。这也符合从较温暖地区到寒冷地带土壤中碳氮含量呈现增加并且随有效水分增加而增加的趋势。原因可能是森林土壤有机质输入量高,分解速率快,高海拔有机质输入多,而分解慢。本研究中PLLF处在较低海拔,温度相对较高,但降水量低而土壤可能较干旱,使土壤微生物活动受到限制;而AS土壤湿度虽然较大,但地处较高海拔而温度较低也不利于微生物的活动;BR和AGSF森林中温湿度都较为适宜,所以有利于有机质积累。以上说明土壤有机碳氮含量是植被和气候要素共同影响的结果。

表层土壤C/N最大者为AGSF4,达到了43.57,其次是AGSF2为43.38,最小者是PLLF为26.93。由于不同植被类型下枯落物的数量和组分不同,不同海拔梯度上的枯落物的分解速率不同,因此植被

类型和不同海拔会造成进入土壤有机碳和总氮有所差异。

2.2 不同海拔梯度表层土壤(0~20 cm)土壤微生物量碳、氮含量的变化

土壤微生物量碳的高低是衡量土壤生物肥力的重要指标,地上植被类型被认为是影响土壤微生物活动的重要因子^[24]。土壤有机碳氮是土壤微生物生长代谢的底物,而微生物的数量会因植被类型和土壤养分不同而有所差异,进而影响不同植被类型中土壤微生物量碳氮的含量。本研究表明,土壤微生物量碳含量与土壤总有机碳含量关系密切,呈显著的正相关。这与前人的研究结果相一致^[25]。

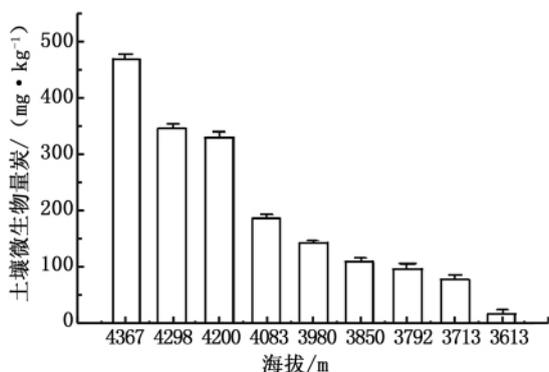


图3 不同海拔高度土壤微生物量碳

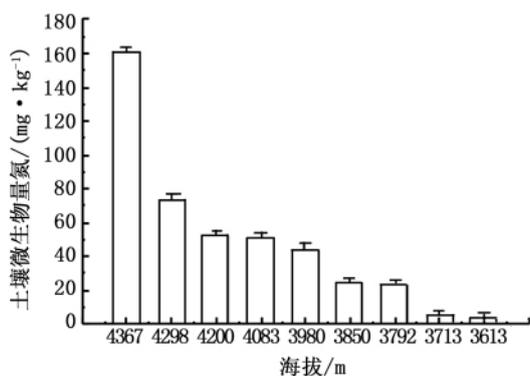


图4 不同海拔高度土壤微生物量氮

本研究结果表明(图3,图4),随着海拔梯度的降低,AS、RF、AGSF1、AGSF2、AGSF3、AGSF4、AGSF5、AGSF6、PLLF土壤MBC含量呈递减的趋势。总体分析,MBC含量最大者为AS,达到了470.279 mg·kg⁻¹,其次是RF,为346.524 mg·kg⁻¹,含量最小者为PLLF,为18.042 mg·kg⁻¹。与此相一致,MBN

含量最大者也为AS,达到了160.586 mg·kg⁻¹,其次是RF,为73.380 mg·kg⁻¹,含量最小者为PLLF,为2.826 mg·kg⁻¹。MBC/MBN最大者为AGSF6,其比值为16.33,其次是AGSF1,其比值为6.42,最小者为AS,比值为2.97。

另外,就MBC含量而言,AS与RF、AGSF1与AGSF2、AGSF6与PLLF之间均差异显著($p < 0.05$)。就MBN含量而言,AS与RF、AGSF5与AGSF6之间均差异显著($p < 0.05$)。AGSF6的MBC/MBN显著高于其他样地,其他样地间MBC/MBN差异显著。

2.3 不同海拔梯度表层土壤(0~20 cm)土壤活性有机碳含量的变化

活性有机碳是指土壤有机质的活性部分,是土壤中有有效性较高、易被土壤微生物分解矿化、对植物养分供应有最直接作用的那部分有机碳。土壤活性有机碳并非是一种单纯的化合物,它是土壤有机碳中具有相似特性和对土壤养分、植物生长乃至环境、大气和人类产生较高有效性的那部分有机碳,在不同程度上反映土壤有机碳的有效性,指示土壤有机碳或土壤质量。

从表2可以看出,随着海拔高度的降低,其比率也随着减小,颗粒有机碳(POC)占总有机碳(TOC)含量的比率从44.81%降至19.32%,易氧化有机碳(ROC)占TOC含量的比率从41.72%降至7.07%。就POC而言,在AS中其POC占TOC的比率最大,为44.81%,其次是RF,为41.72%,AGSF6中POC占TOC的比率最小,为19.32%。同样,随着海拔高度的降低,ROC占TOC含量的比率从41.72%降至7.07%。就ROC而言,在RF中其ROC占TOC的比率最大,为41.72%,其次是AGSF1,为37.02%,AGSF6中ROC占TOC的比率最小,为7.07%。本研究结果表明(表2),不同海拔梯度和不同植被类型土壤颗粒有机碳含量和土壤易氧化碳含量与土壤总有机碳含量均达到显著相关水平,且土壤颗粒有机碳含量和土壤易氧化碳含量之间也达到了极显著相关水平。这表明土壤总有机碳含量的变化制约着土壤活性有机碳含量的变化。不同植被类型土壤颗粒有机碳含量和土壤易氧化碳含量变化的趋势与土壤总有机碳含量变化的趋势基本一致。

表 2 不同海拔梯度表层土壤(0~20 cm) 活性有机碳含量

植被类型	总有机碳(TOC) / (g · kg ⁻¹)	颗粒有机碳(POC) / (g · kg ⁻¹)	易氧化有机碳(ROC) / (mg · g ⁻¹)
高寒灌丛(AS)	77.167 ± 0.12a	34.633 ± 0.28a	23.391 ± 0.13a
杜鹃林(RF)	72.999 ± 0.25a	30.458 ± 0.35a	14.669 ± 0.37b
急尖长苞冷杉林(AGSF1)	69.626 ± 0.18b	25.645 ± 0.47b	7.984 ± 0.65c
急尖长苞冷杉林(AGSF2)	68.981 ± 0.24b	22.266 ± 0.17b	6.949 ± 0.86c
急尖长苞冷杉林(AGSF3)	55.939 ± 0.19c	20.095 ± 0.37b	5.438 ± 0.10d
急尖长苞冷杉林(AGSF4)	53.606 ± 0.27c	19.193 ± 0.18b	5.188 ± 0.27d
急尖长苞冷杉林(AGSF5)	50.596 ± 0.33c	10.146 ± 0.22c	4.808 ± 0.33d
急尖长苞冷杉林(AGSF6)	42.525 ± 0.41d	8.218 ± 0.37c	3.008 ± 0.13e
林芝云杉林(PLLF)	22.351 ± 0.38e	7.006 ± 0.47c	2.999 ± 0.31e

表内不同植被类型相同土层相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著($p < 0.05$)

3 小结与讨论

3.1 不同海拔梯度表层土壤有机碳与总氮含量的关系

不同森林生态系统有机碳来源(地表凋落物及其根的分泌物和细根周转产生的碎屑)的数量与质量差异是影响 SOC 在土壤中分布的关键因子。不同植被组成可以形成特定的土壤表层气候,影响凋落物的分解速率,进而在某种程度上控制着 SOC 的分解速度。这些均是造成森林生态系统之间及同一生态系统内各土壤层次之间 SOC 差异的可能原因^[26]。作为微生物能源物质的有机碳含量及其矿化也决定了土壤氮及其它养分的有效性,而有机碳含量又取决于植被动态和凋落物的输入及其分解。在色季拉山西坡,表层土壤 SOC 和 TN 随着海拔的升高而增大。

3.2 不同海拔梯度表层土壤(0~20 cm) 土壤微生物量碳、氮含量的变化

本研究表明,土壤微生物量碳含量与土壤总有机碳含量关系密切,呈显著的正相关。土壤 MBC 和 MBN 含量受海拔和林分的显著影响。高海拔区域土壤 MBC 和 MBN 含量比低海拔区域高。

3.3 不同海拔梯度表层土壤(0~20 cm) 土壤活性有机碳含量的变化

土壤活性碳来源于土壤总有机碳,但容易受生物体分解和利用的影响。土壤易氧化态碳含量及其与土壤总有机碳的比值是反映土壤稳定性的指标,且土壤全碳中易氧化态碳所占比例越高,说明土壤碳的活性越大,稳定性越差。本研究表明,土壤微生物量碳含量与土壤总有机碳含量关系密切,呈显著的正相关。这与前人的研究结果相一致。另外,在不同植被类型的生态系统中,土壤易氧化碳含量均

呈现出随着海拔高度的降低而递减的趋势。POC 和 ROC 含量顺序基本与 SOC 含量相似。可见,海拔和不同植被类型对土壤活性有机碳的含量具有显著的影响。

参考文献:

- [1] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, *et al.* Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs[J]. *Nature*, 2000, 35(4): 21-33
- [2] Moor III B, Braswell Jr B H. Planetary metabolism: understanding the carbon cycle[J]. *MBIO*, 1994, 13(1): 4-12
- [3] IPCC, Climate change 1995: The science of climate change[M]// Houghton J T, Jenkins C J, Ephraums J J. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996
- [4] IPCC, Climate change 2001: The scientific basis[M]// Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, *et al.* Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U K and New York, N Y, USA: Cambridge University Press, 2001
- [5] 于贵瑞, 牛 栋, 王秋凤, 等. 《联合国气候变化框架公约》谈判中的焦点问题[J]. *资源科学*, 2002, 17(5): 705-713
- [6] Ciais P, Tans P P, Trolier M, *et al.* A large northern-hemisphere terrestrial CO₂ sink indicated by the ¹³C/¹²C Ratio of atmospheric CO₂[J]. *Science*, 1995, 269: 1098-1102
- [7] Dixon R K, Brown S H, Houghton R A, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. *Science*, 1994, 263: 185-190
- [8] Fang S, Gloor M, Mahlman J. North American carbon sink[J]. *Science*, 1999, 283: 1815
- [9] Fang S, Gloor M, Mahlman J, *et al.* A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and CO₂ data and models[J]. *Science*, 1998, 282: 442-446
- [10] Houghton R A. Terrestrial sources and sinks of carbon inferred from terrestrial data[J]. *Tellus*, 1996, 48B: 440-432
- [11] Tans P P, Fung I Y, Takahashi T. Observation on the global atmospheric CO₂ budget[J]. *Nature*, 1990, 247: 1431-1438
- [12] 汤 苍, 程国栋. 青藏高原近代气候变化及其对环境的影响[M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1998: 13-17

- [13] 孙鸿烈, 郑 度. 青藏高原形成、演化与发展[M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1998: 22 - 28
- [14] Brookes P C, Landman A, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. *Soil Bio Biochem*, 1985, 17: 837 - 842
- [15] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Bio Biochem*, 1987, 19: 703 - 707
- [16] Caron J, Espindola C R, Angers D A. Soil structural stability during rapid wetting: Influence of land use on some aggregate properties[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 901 - 908
- [17] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 等. 中国土壤有机碳量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(4): 609 - 618
- [18] 方华军, 杨学明, 张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展[J]. *土壤通报* 2003, 34(6): 562 - 568
- [19] Parton W J, Schinel D S, Cole C V, *et al.* Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grassland[J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1987, 51: 1173 - 1179
- [20] Wezel A, Rajot J L, Herbrig C. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro - ecosystems in semiarid Niger[J]. *J Arid Environ*, 2000, 44: 383 - 398
- [21] Gallardo A, Schlesinger W H. Carbon and nitrogen limitation of soil microbial biomass in desert ecosystems[J]. *Biogeochemistry*, 1992, 18: 1 - 17
- [22] Post W M, Izaurralde R C, Mann L K, *et al.* Monitoring and verify changes of organic carbon in soils[J]. *Climatic Changes*, 2001, 51: 73 - 99
- [23] Larson W F, Pierce F J, Doedy R H. The threat of soil erosion to long - term crop production[J]. *Science*, 1983, 219: 458 - 465
- [24] Cambardella C, Elliott E. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivate sequence[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(3): 777 - 783
- [25] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[J]. *生态学报* 2005, 25(11): 2875 - 2882
- [26] Lavado R S, Sierra J O, Hashimoto P N. Impact of grazing on soil nutrients in a Pampean grassland[J]. *Journal of Range Management*, 1996, 49(5): 452 - 457