

温度和氮素输入对青藏高原三种高寒草地土壤碳矿化的影响

白洁冰^{1,2}, 徐兴良^{1*}, 宋明华¹, 何永涛¹, 蒋婧^{1,2}, 石培礼¹

1. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要: 选取了海北高寒草甸、那曲高寒草原和当雄高寒湿地 3 种典型高寒草地生态系统类型为研究对象, 采集了表层 0~10 cm 土壤, 在实验室内进行可控温度下的碳矿化培养实验。结果表明, 青藏高原土壤碳矿化在不同高寒草地类型间存在显著差异 ($P \leq 0.05$)。在较低的温度下, 高寒湿地土壤的碳矿化速率显著低于高寒草甸土壤, 而温度在 15 °C 左右时, 高寒湿地土的碳矿化速率略高于高寒草甸土壤, 当温度处于较高的水平时 (> 20 °C), 高寒湿地土壤碳矿化速率远高于高寒草甸土壤, 高寒湿地土壤碳矿化的 Q_{10} 显著大于高寒草甸。无论是低温还是较高的温度, 高寒草原土壤碳矿化速率最低, 数值范围也最窄。高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化均受温度的显著影响 ($P \leq 0.05$), 其速率均跟温度呈现一级指数函数方程关系, 而高寒草原土壤碳矿化速率与温度间未呈现明显的函数关系, 但不同温度间的土壤碳矿化速率存在显著差异。氮素输入对高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化的影响不明显, 但显著促进了高寒草原土壤碳矿化作用。

关键词: 碳矿化作用; 氮素输入; 温度; 高寒草地; 青藏高原

中图分类号: S153

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 05-0855-05

温度对土壤碳矿化产生的影响是理解陆地生态系统碳循环过程中的一个关键^[1]。研究表明, 温度升高会加快土壤碳矿化过程, 促使土壤向大气释放更多的 CO₂ 气体^[2]。而大气 CO₂ 浓度的增加进一步会加剧温室效应, 导致土壤碳矿化过程与气候变暖之间呈现正反馈关系^[3-5]。此外, 化石燃料的燃烧和化学肥料的过度使用, 使氮沉降在地球上各类生态系统中呈显著增加趋势^[6-7]。研究发现, 外源性的氮输入对土壤碳矿化的影响较为复杂, 呈现出抑制^[8-9]、促进^[10-11]或者无影响^[12]的效应。近年来, 高寒和极地生态系统的土壤因其贮有大量的有机碳而受到了较多的关注^[13-14]。

青藏高原作为典型的高寒陆地生态系统, 具有高海拔、高辐射和低气压等特征。研究发现在过去 40 年间, 青藏高原地区平均每 10 年温度上升 0.16 °C, 高于中国其他地区及中国平均水平^[15], 青藏高原正经受气候变暖、氮沉降增加等全球变化的影响。由于该区独特且多样的环境特点, 在这里孕育了湿地、草甸、草甸草原、干草原、荒漠草原等不同草地类型。青藏高原土壤碳矿化对氮输入与温度的响应很可能会因草地类型的不同而表现出不同的差异, 但目前这方面的研究还较少。本研究对青藏高原三种典型高寒草地类型土壤在不同的温度和氮添加条件下进行土壤室内培养实验, 旨在探讨

青藏高原土壤碳矿化作用对温度和氮添加的响应特征, 及土壤碳矿化作用是否存在草地生态系统类型间的差异。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

本研究选择了青藏高原 3 种典型的高寒草地生态系统(图 1)。高寒草甸类型, 位于青藏高原东北部的中国科学院海北高寒草甸生态系统实验站 (37°36' N, 101°19' E; 海拔 3 215 m)。该地属于典型的高寒草甸气候, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥多风。年均气温 -1.7 °C, 年均降雨量 600 mm。土壤为草毡寒冻锥形土。优势物种为矮嵩草 (*Kobresia*

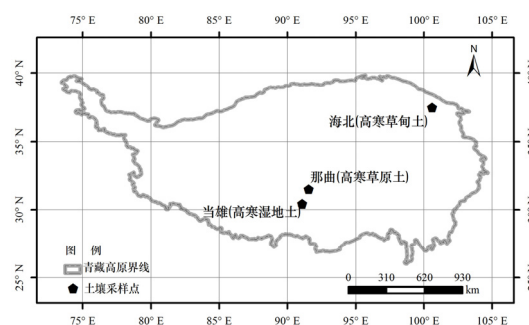


图 1 3 种高寒草地的研究地点

Fig.1 Three experimental sites of alpine grasslands on the Tibetan Plateau

基金项目: 中国科学院青年人才项目(KZCX2-YW-QN302); 国家自然科学基金面上项目(41071209 和 30870424)

作者简介: 白洁冰(1985 年生), 男, 硕士, 主要从事青藏高原高寒草地土壤碳氮矿化研究。E-mail: stonebai@126.com

***通信作者:** 徐兴良。E-mail: xuxingli@hotmail.com

收稿日期: 2011-03-29

humilis)、异针茅(*Stipa aliena*)、致细柄茅(*Ptilagrostis concinna*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、麻花苳(*Gentiana straminea*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)和高山唐松草(*Thalictrum alpinum*)等。高寒草原类型,位于青藏高原中部那曲生态站南3 km(31°29' N, 91°33' E; 海拔4470 m)。该区属于半干旱季风气候。年均气温为-1.9 °C,年均降雨量420 mm。该地区的土壤属于高寒草原土,土层较浅,土壤典型具有细颗粒结构,及碎裂岩和核状结构。优势物种为小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、高原早熟禾(*Poa alpigena*)等。高寒湿地类型,位于青藏高原西南部当雄县城北1 km左右(30°25' N, 91°05' E; 海拔4333 m)。属于高原季风气候,具有强辐射、低温及大的日变化等性状。年均温1.3 °C,平均年降雨量476.8 mm。土壤为沼泽草甸土,物种组成主要以藏北嵩草(*Kobresia littledalei*)和芒尖苔草(*Carex doniana*)为主。这3种高寒草地类型的土壤性质详见表1。

表1 3种高寒草地的土壤理化性质

Table 1 The physical and chemical characters of the top 10 cm soil in the three alpine grasslands

样地类型	高寒草原	高寒草甸	高寒湿地
样地	那曲	海北	当雄
pH	7.8±0.2	8.0±0.1	6.0±0.1
w(土壤有机碳)/%	1.90±0.01	9.71±0.02	23.7±0.5
w(土壤全氮)/%	0.08±0.01	0.85±0.03	0.96±0.05
碳氮比	23.3±0.1	11.4±0.3	24.8±0.7
w(土壤水分)/%	3.0	24.0	70.8

1.2 样品采集与前处理

在所选的3个典型草地生态系统(高寒草甸、高寒草原、和高寒湿地)中,选择盖度相对均一的15 m×15 m样地,随机选取5个取样点,分别收集10 cm表层土壤,混合在一起作为该样地的一个重复土样,同样方式再采集3个重复样品,这样每块样地土壤样品的重复数为4,每个重复的样品量在500 g左右(过2 mm土壤筛后)。湿地样品因为含水量较高,所以单独处理。取一部分土样测定w(土壤水分)、pH值、有机碳和全氮等理化指标,剩余的土样保存在4 °C冰箱中以备之后的培养实验。

1.3 土壤碳矿化的室内培养与CO₂测定

分别称取过筛后的土样30 g,置于250 mL的培养瓶中,分别设置对照(不加氮)、低氮和高氮处理。因为土壤无机氮含量通常占全氮的1%~2%,为了使添加的氮素不对土壤微生物形成太大的干扰,本研究设置的低氮和高氮处理按照各自土壤全氮的1%和5%进行添加。按照各土壤所需的量配置硝酸铵溶液,高氮处理组添加5 mL,低氮处理组添加1 mL

后再添加4 mL去离子水,对照只添加5 mL的去离子水。添加时,用移液枪将溶液或去离子水均匀添加在土壤表面,使其慢慢渗入土壤。为了使实验尽可能接近实际情况,本研究温度的设置参考了各研究点生长季的平均温度,具体是高寒草甸土壤类型设置3个温度处理(5、15和25 °C),而高寒湿地(2、8、14和22 °C)和高寒草原(5、10、15和25 °C)设置4个温度处理,置于恒温培养箱中进行培养。采用碱液吸收法测定土壤排放的CO₂,每周更换1次碱液,通过称重调整土壤湿度使其维持恒定的w(土壤水分)。所有3种高寒草地类型土壤碳矿化均进行28 d的培养,每个处理有4个重复,同时设置无土壤培养瓶作为对照。每次收集的NaOH碱液用0.1 mol·L⁻¹ HCl进行滴定,计算土壤释放的CO₂量。

碳矿化速率以下式计算:

$$C_{\min} = \frac{(V_0 - V) \times C_{\text{HCL}}}{2} \times 44 \times \frac{12}{44} \times \frac{1}{m(1-w)} \times \frac{1}{t}$$

该式中, C_{\min} 为培养期间土壤碳矿化速率(C, dry soil)/(mg·g⁻¹·d⁻¹), V_0 为空白标定时消耗的标准盐酸的体积(mL), V 为样品滴定时消耗的标准盐酸的体积(mL), C_{HCL} 为标准盐酸浓度(mol·L⁻¹), m 为每个玻璃瓶中培养土壤的鲜质量(g), w 为土壤水分质量分数(%), t 为培养时间(d)。

采用SPSS 16.0 统计分析软件进行了双因素方差分析(two-way ANOVA),分析了氮输入和温度及其交互作用对碳矿化作用的影响,同时分析了草地类型和氮输入对 Q_{10} 的影响;采用Microsoft Excel 2003 进行数据处理和线性分析绘图。

2 结果与分析

2.1 3种高寒草地上的土壤碳矿化速率

高寒草甸土壤碳矿化速率值介于0.06~0.09 mg·g⁻¹·d⁻¹(C, dry soil),高寒湿地土壤碳矿化速率处在0.03~0.16 mg·g⁻¹·d⁻¹(C, dry soil)范围内,范围较宽,而高寒草原土壤碳矿化速率最低,且范围窄,介于0.01~0.02 mg·g⁻¹·d⁻¹(C, dry soil)(图2),不同高寒草地类型之间土壤碳矿化速率存在显著差异($P \leq 0.05$)。高寒草甸土与高寒湿地土在各处理水平内和水平间的均值相近,但在较低温度下高寒湿地土壤的碳矿化速率显著低于高寒草甸土壤,而当温度升至15 °C左右时,高寒湿地土壤碳矿化速率略高于高寒草甸土壤;在更高温度下(22或25 °C),高寒湿地土壤碳矿化速率远高于高寒草甸土壤。

2.2 温度对土壤碳矿化的影响

温度显著影响高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化作用($P \leq 0.05$,表2),高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化速率都随着温度的升高而攀升,呈现一级指数函数方程关系(图2)。相比之下,高寒草原土壤碳

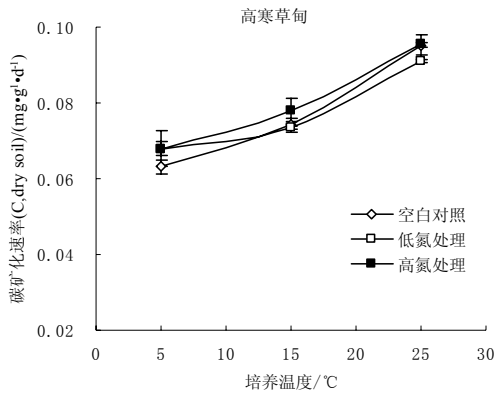


图2 高寒草甸不同温度及氮处理下的土壤碳矿化速率

Fig. 2 Carbon mineralization of alpine meadow soils under different nitrogen treatments and temperature conditions.

The value at each point is mean (± 1 SE) of four replicates

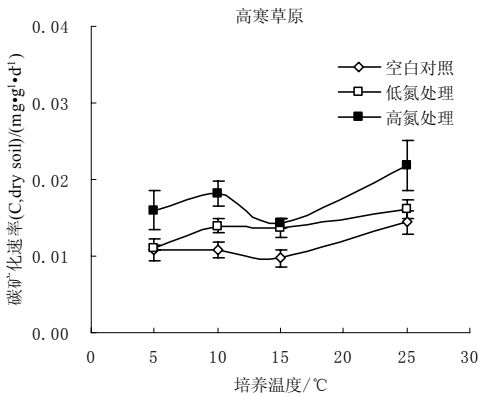


图3 高寒草原不同温度及氮处理下的土壤碳矿化速率

Fig. 3 Carbon mineralization of alpine steppe soils under different nitrogen treatments and temperature conditions.

The value at each point is mean (± 1 SE) of four replicates

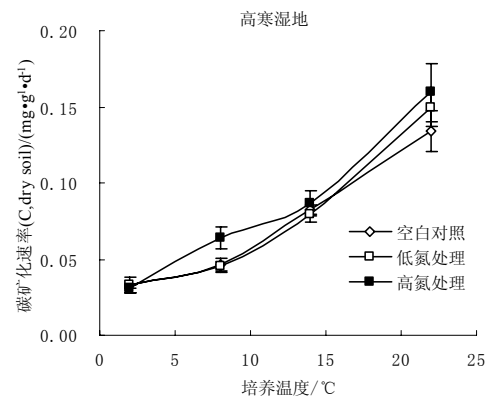


图4 高寒湿地不同温度及氮处理下的土壤碳矿化速率

Fig. 4 Carbon mineralization of alpine wetland soils under different nitrogen treatments and temperature conditions.

The value at each point is mean (± 1 SE) of four replicates

矿化速率与温度间未呈现清晰的函数关系，但不同温度间土壤碳矿化速率也存在显著差异($P \leq 0.05$, 表2)。高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化速率与温度间均呈现清晰的函数关系，而且高寒湿地土壤的碳矿化 Q_{10} 值显著大于高寒草甸土壤和高寒草原土

表2 3种高寒草地类型中不同氮处理及温度双因素方差分析

Table 2 Two-way analysis of variance to test effects of nitrogen treatments and temperature on carbon mineralization in three alpine soils

样地类型	因素	DF	F	P
高寒草甸	温度	2	81.15	0.001**
	氮处理	2	2.76	0.08
	温度×氮处理	4	1.36	0.28
高寒草原	温度	3	6.18	0.002**
	氮处理	2	14.96	0.001**
	温度×氮处理	6	0.68	0.67
高寒湿地	温度	3	101.20	0.001**
	氮处理	2	1.79	0.18
	温度×氮处理	6	0.68	0.67

**差异显著 ($P \leq 0.05$) Asterisks indicates significant difference at $P \leq 0.05$ level

壤(表3), 这意味着高寒湿地相较于高寒草甸的土壤碳矿化速率对温度的响应更敏感。

表3 高寒湿地和高寒草甸土壤碳矿化速率在不同氮处理下与温度的指数函数方程参数

Table 3 Parameter values calculated from temperature-depended exponential functions using carbon mineralization data under different nitrogen treatments of alpine wetland and alpine meadow soils

样地类型	氮处理	Exponential ($C_{min} = C_0 + a \times \exp(b \times T)$)			
		a	b	R ²	Q ₁₀ values
高寒湿地	空白对照	0.028 8	0.070 3	0.992	2.02 ^A
	低氮处理	0.025 3	0.080 9	0.997	2.25 ^A
	高氮处理	0.031 4	0.073 9	0.991	2.09 ^A
高寒草甸	空白对照	0.055 5	0.021 3	0.986	1.24 ^B
	低氮处理	0.061 1	0.015 2	0.939	1.16 ^B
	高氮处理	0.061 4	0.017 4	0.991	1.19 ^B

Q₁₀ 栏不同字母表明差异显著 ($P \leq 0.05$) Different letters in Q₁₀ column indicates significant difference at $P \leq 0.05$ level

2.3 氮素输入对土壤碳矿化的影响

在整个培养期间高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化速率在低氮处理(土壤全氮的1‰)和高氮处理(土壤全氮的5‰)与对照(未添加氮元素)没有显著性差异(图2), 方差分析表结果也显示氮素输入对高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化的影响不显著($P \leq 0.05$)。相比之下, 氮素输入显著促进了高寒草原类型土壤碳矿化速率($P \leq 0.05$, 表2)。

3 讨论

3.1 3种高寒草地上的土壤碳矿化速率

土壤有机碳矿化是一个受温度、土壤含水量、有机质含量以及氮可利用性等诸多因子影响的生物化学过程^[16]。在生态系统中这些因子如何综合起来影响土壤的碳矿化作用, 一直受到广泛关注。吴建国等^[17]以正交试验培养土壤对比分析了青藏高原北沿祁连山4种典型生态系统(山地森林、高寒草甸、荒漠草原、干旱草原)土壤有机碳矿化及其与温

湿度的关系,发现生态系统类型对土壤有机碳矿化速率存在显著影响。本研究也发现青藏高原高寒草地土壤碳矿化因草地类型的不同而呈现不同速率,3种高寒草地类型(高寒草甸、高寒草原、高寒湿地)土壤碳矿化速率差异显著($P \leq 0.05$)。这种显著性差异体现在两个方面:一是草地类型间的差异,高寒湿地和高寒草甸土壤碳矿化速率在各温度下均显著高于高寒草原土壤,二是温度影响的差异,高寒湿地土壤与高寒草甸碳矿化速率在15℃左右时不存在显著差异,但当温度超过20℃后,高寒湿地土壤矿化速率显著大于高寒草甸土壤。出现这种差异的原因可能是不同草地类型土壤中微生物可利用底物的“库”大小存在。

3.2 温度对土壤碳矿化的影响

很多研究认为全球变暖可能会对高寒和极地生态系统造成较大的影响^[18-19],本研究发现高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化速率随着温度的升高而攀升,呈现一级指数函数方程关系,而高寒草原土壤碳矿化速率虽然在不同温度间也存在显著差异(表2),但与温度并未呈现出清晰的函数关系,这意味着温度对青藏高原高寒湿地和高寒草甸土壤碳矿化速率的影响较大^[20],其内在的原因还需要进一步研究。因地理区域或生态系统类型的不同, Q_{10} 的数值一般在1~10之间^[21]。 Q_{10} 的波动与土壤温度、土壤湿度有很大的关系。本研究中,3种草地类型土壤矿化的 Q_{10} 均处在以上的范围之内,但高寒湿地土壤碳矿化 Q_{10} 值显著大于高寒草甸土壤(表3),这意味着高寒湿地土壤碳矿化对温度的敏感性较强,随着气候变暖,青藏高原高寒湿地将是一个潜在的 CO_2 源。此外,无论是在高寒草甸还是在高寒湿地,氮素输入并没有显著改变土壤有机质分解对温度的敏感性(Q_{10}),这意味着土壤有机质对温度的敏感性很可能受其含有的土壤微生物可利用底物质量的控制。

3.3 氮素输入对土壤碳矿化的影响

有研究发现在半干旱的灌木林中长期氮沉降并没有影响土壤碳矿化^[22]。本研究发现氮素输入对土壤碳矿化的影响存在生态系统类型间的差异:低剂量的氮素输入没有对高寒湿地和高寒草甸土壤碳矿化产生影响,但是显著增加了高寒草原土壤的碳矿化。有研究把氮素输入未产生影响归结于土壤有机质分解受胞外酶浓度以及动力学影响^[23],认为氮素输入既不会减少胞外酶产生的碳消耗,也不会增加土壤有机质分解过程中的碳回收,所以尽管氮元素是限制微生物生长的一个重要营养元素,但并不限制有机质分解过程中的酶动力学机制。南极洲干谷地土壤的酶活性研究支持了这一推论,即不管

是只有氮添加还是碳氮同时添加,土壤酶活性并未受到减弱或其他影响^[24],但该推论无法解释氮输入对碳矿化的促进。窦晶鑫等^[25]对东北三江平原草甸湿地土壤施以4种不同的低C/N处理,发现在9~22的C/N比值下,土壤有机碳矿化速率随着C/N比的增加而增加。本研究中高寒草原土壤23.3的C/N比值下,氮输入促进了碳矿化速率,与窦晶鑫等的研究结果不一样,分析其原因,可能是受到高寒草原低的 w (土壤水分)为3%的影响。考虑到高寒草地生态系统氮是植物生长重要的限制因子,土壤微生物的生长也必然受到氮的限制,而低剂量的氮素输入没有促进高寒草甸和湿地土壤碳矿化,其更可能的原因是这些氮素输入只促进了土壤微生物内部的代谢过程,而在高寒草原中,可利用底物相对较少,土壤微生物受氮限制的作用更大,氮素输入虽低,却促进了微生物的生长,产生了较大的激发效应,从而增加土壤有机质的分解^[26]。

4 结论

温度和可利用氮素的输入对青藏高原高寒草地土壤碳矿化的影响依赖于生态系统类型。温度对高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化影响显著,呈一级指数函数方程关系,而高寒草原土壤碳矿化速率与温度间未呈现明显的函数关系,但不同温度间的土壤碳矿化速率存在显著差异。氮素输入对高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化的影响不明显,但显著促进了高寒草原土壤碳矿化,而且氮输入未改变高寒草地土壤碳矿化对温度的敏感性。

参考文献:

- [1] MELILLO J M, STEUDLER P A, ABER J D, et al. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system [J]. *Science*, 2004, 298(5601): 2173-2176.
- [2] REY A, PETSİKOS C, JARVIS P G, et al. Effect of temperature and moisture on rates of carbon mineralization in a Mediterranean oak forest soil under controlled and field conditions [J]. *European Journal of Soil Science*, 2005, 56(5): 589-599.
- [3] OECHEL W C, VOURLITIS G L, HASTINGS S J, et al. Acclimation of ecosystem CO_2 exchange in the Alaskan Arctic in response to decadal climate warming [J]. *Nature*, 2000, 406(6799): 978-981.
- [4] LASHOF D A. The dynamic greenhouse: feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change [J]. *Climate Change*, 1989, 14(3): 213-242.
- [5] KIRSCHBAUM M U F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 21-51.
- [6] MASTON P A, LOHSE K A, HALL S J. The globalization of nitrogen deposition: consequences for terrestrial ecosystems [J]. *Journal of the Human Environment*, 2002, 31(2): 113-119.
- [7] GALLOWAY J N, ABER J D, ERISMAN W, et al. The nitrogen cascade [J]. *BioScience*, 2003, 53(4): 341-356.
- [8] AERTS R, TOET S. Nutritional controls on carbon dioxide and methane emission from Carex-dominated peat soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, 29(11/12): 1683-1690.

- [9] OUYANG X, ZHOU G, HUANG Z, et al. Effect of N and P addition on soil organic C potential mineralization in forest soils in South China [J]. *Journal of environmental*, 2008, 20(9): 1082-1089.
- [10] MANSSON K F, FALKENGREN-GRERUP U. The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralisation and litter C : N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 179(1/3): 455-467.
- [11] KUPERMAN R G. Relationships between soil properties and community structure of soil macroinvertebrates in oak-hickory forests along an acidic deposition gradient [J]. *Applied Soil Ecology*, 1996, 4(2): 125-137.
- [12] SJOBERG R M, PERSSON T. Turnover of carbon and nitrogen in coniferous forest soils of different N-status and under different (NH₄)-N-15-N application rate[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102(Z1): 385-393.
- [13] RINNAN R, MICHELSEN A, BATH E, JONASSON S. Fifteen years of climate change manipulations alter soil microbial communities in a subarctic heath ecosystem[J]. *Global Change Biology*, 2007, 13(1): 28-39.
- [14] 李东, 黄耀, 吴琴, 等. 青藏高原高寒草甸生态系统土壤有机碳动态模拟研究[J]. *草业学报*, 2010, 19(2): 160-168.
LI Dong, HUANG Yao, WU Qin, et al. Modeling dynamics of soil organic carbon in an alpine meadow ecosystem on Qinghai-Tibetan Plateau using the Century model[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(2): 160-168.
- [15] 汤懋苍, 程国栋, 林振耀. 青藏高原近代气候变化及对环境的影响[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998: 121-139.
TANG Yicang, CHENG Guodong, LIN Zhenyao. *The Modern Climate Change and Its Effects on The Environment*[M]. Guangzhou: Guandong Science And Technical Publish House, 1998: 121-139.
- [16] LEIRÓS M C, TRASAR CEPEDA C, SEOANE S, et al. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, 31(3): 327-335.
- [17] 吴建国, 艾丽, 裴伟, 等. 祁连山中部四种典型生态系统土壤有机碳矿化及其影响因素[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1703-1711.
WU Jianguo, AI Li, CHANG Wei, et al. Soil organic carbon mineralization and its affecting factors under four typical vegetations in mid Qilian Mountains [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1703-1711.
- [18] LASHOF D A, AHUJA D R. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming [J]. *Nature*, 1990, 344(6266): 529-531.
- [19] SERREZE M C, WALSH J E, CHAPIN F S, et al. Observational evidence of recent change in the northern high- latitude environment [J]. *Climatic Change*, 2000, 46(1/2): 159-207.
- [20] 艾丽, 吴建国, 朱高, 等. 祁连山中部高山草甸土壤有机碳矿化及其影响因素研究[J]. *草业学报*, 2007, 16(5): 22-33.
AI Li, WU Jianguo, ZHU Gao, et al. The mineralization of alpine meadow soil organic carbon and factors influencint it in the Qilian Mountain[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(5): 22-33.
- [21] DAVIDSON E A, BELK R D, BOONE. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest [J]. *Global Change Biology*, 1998, 4(2): 217-227.
- [22] VOURLITIS G L, ZORBA G. Nitrogen and carbon mineralization of semi-arid shrubland soil exposed to long-term atmospheric nitrogen deposition [J]. *Biology Fertile Soils*, 2007, 43(5): 611-615.
- [23] SCHIMEL J P, WEINTRAUB M N. The implications of exoenzyme activity on microbial carbon and nitrogen limitation in soil: a theoretical model [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35(4): 549-563.
- [24] HOPKINS D W, SPARROWC A D, SHILLAM L L, et al. Enzymatic activities and microbial communities in an Antarctic dry valley soil: Responses to C and N supplementation [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(9): 2130-2136.
- [25] 窦晶鑫, 刘景双, 王洋, 等. 三江平原草甸湿地土壤有机碳矿化对C/N的响应[J]. *地理科学*, 2009, 29(5): 773-778.
DOU Jingxin, LIU Jingshuang, WANG Yang, et al. Effects of Amendment C/N Ratio on Soil Organic Carbon Mineralization of Meadow Marshes in Sanjiang Plain[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(5): 773-778.
- [26] BLAGODATSKAYA E V, KUZYAKOV Y. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 45(2): 115-131.

Effects of temperature and added nitrogen on carbon mineralization in alpine soils on the Tibetan Plateau

BAI Jiebing^{1,2}, XU Xingliang^{1*}, SONG Minghua¹, HE Yongtao¹, JIANG Jing^{1,2}, SHI Peili¹

1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: An incubation experiment was conducted to investigate effects of temperature and added nitrogen on carbon mineralization in three alpine soils under controlled conditions in the laboratory. These soils were collected from the top 10 cm depth in three grassland types: an alpine meadow at Haibei, an alpine steppe at Naqu and an alpine wetland at Dangxiong on the Tibetan Plateau. It was shown that grassland types significantly affected carbon mineralization in these alpine soils. At low temperature, mineralization rates in the alpine wetland soil were lower than in the alpine meadow soil. With increasing temperature, the rates were similar in the two soils at around 15 °C. When temperature exceeded 20 °C, mineralization rates were significantly greater in the alpine wetland soil than in the alpine meadow soil. Q₁₀ for carbon mineralization was significantly greater in the alpine wetland soil than in the alpine meadow soil. Compared with the two soils, mineralization rates in the alpine steppe soil were low showing a different pattern with increasing temperature. Relationship between carbon mineralization and temperature was well described by the first-order exponential equation in both the alpine wetland soil and the alpine meadow soil, but was not for the alpine steppe soil. Nitrogen input had no significant effect on carbon mineralization in both the alpine wetland soil and the alpine meadow soil, but significantly increased carbon mineralization in the alpine steppe soil. A small amount of nitrogen input didn't alter temperature sensitivity of carbon mineralization in the three alpine soils.

Key words: carbon mineralization; extraneous nitrogen input; temperature; alpine grassland; the Tibetan Plateau