

青藏高原高寒草甸土壤 N_2O 排放通量 对温度和湿度的响应

杜岩功¹, 周 耕², 郭小伟¹, 李 婧¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 山东省威海市农业局, 山东 威海 264200)

摘要: 试验采用室内培养的方法研究了青藏高原矮嵩草草甸土壤氧化亚氮(N_2O)排放通量对土壤温度和湿度的响应过程。结果表明: 随培养温度增加, 培养初期矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率逐渐降低($P < 0.05$), 最高排放速率为 $4.75 \pm 0.24 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 最低排放速率仅为 $2.92 \pm 0.19 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$; 而经过 7 d 培养, 高寒草甸土壤 N_2O 排放速率先降低, 而且转变为弱汇, 而后升高, 30°C 时最高, 为 $0.67 \pm 0.06 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 各处理均显著低于短期培养时排放速率($P < 0.05$); 随土壤湿度增加, 短期培养矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率先降低随后升高, 在土壤湿度为 60% 时排放速率最高, 为 $(3.62 \pm 0.38) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$, 而在 75% 时排放速率最低, 为 $(3.38 \pm 0.25) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$; 随着培养时间延长, 高寒草甸土壤 N_2O 排放速率逐渐降低, 最高排放速率为 $(0.55 \pm 0.32) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$; 土壤湿度分别为 45% 和温度为 20°C 、以及 60% 和 30°C 时, 1 d 和 7 d 培养矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率最高; 而在土壤湿度为 45% 和 30°C 、以及 75% 和 30°C 时, 1 d 和 7 d 培养矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率最低, 后者呈现吸收现象, 吸收速率约为 $-1.84 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。

关键词: 土壤温度; 湿度; N_2O 排放; 交互作用; 高寒草甸

中图分类号: S 812.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5500(2016)01-0055-05

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2016.01.010

N_2O 为重要温室气体之一, 目前在大气中的浓度约为 319 ppbv, 占全球温室效应的 7.9%, 相比于工业革命前增加了 18%, 它在大气存在时间较长, 通常以百年计算且等摩尔浓度的增温潜势是 CO_2 的 298 倍, 因此, 对全球气候变化具有潜在深远影响^[1,2]。 N_2O 主要来源于陆地土壤, 约占其排放量的 65%~70%^[2], 森林、耕地和草地生态系统因其排放数量居前而受到了广泛关注^[1]。

土壤温度、湿度是影响 N_2O 释放的重要环境因素^[1,3]。增温可以提高微生物活性^[3-5], 在适宜温度范围内, 农田土壤 N_2O 排放量随温度升高而增加^[3]。当土壤湿度低于 60% 时, 土壤 N_2O 排放以硝化作用为

主, 当土壤湿度继续增加时, 反硝化作用强烈^[7]。淹水土壤尽管湿度相对比较恒定, 但还原电位却一直下降, 土壤呈强还原状态, 土壤反硝化作用强烈, N_2O 较多被还原成 N_2 释放出来, 降低土壤 N_2O 排放速率^[6]。在土壤湿度较低时(3%~22%), 30°C 褐土土壤 N_2O 释放速率明显高于 10°C 排放速率, 当土壤湿度为 40% 时, 前者排放速率反而低于后者^[8]。这可能也说明土壤温度和湿度对 N_2O 排放效应存在明显交互作用^[9]。

野外土壤 N_2O 产生和排放过程及其复杂, 且各种环境因素间可能存在耦合关系, 很难定量分析单一土壤环境因子对土壤 N_2O 排放速率的影响^[10], 通过室内培养试验可以准确分析主要环境因子对土壤 N_2O 产生和排放过程的影响。目前, 在青藏高原地区, 尚缺乏有关高寒草甸土壤 N_2O 排放速率对温度与湿度等环境因子作用响应规律研究工作。通过室内培养试验测定不同温度和湿度及其交互作用对矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放通量的影响, 对于定量评估高寒草甸对陆地生态系统 N_2O 排放的贡献具有重要意义。

收稿日期: 2015-11-16; 修回日期: 2016-01-05

基金项目: 国家自然科学基金(31200379, 31470530), 青海省自然科学基金(2012-Z-921Q)资助

作者简介: 杜岩功(1981-), 男, 山东威海人, 副研究员, 博士, 主要从事草地生态系统与全球变化研究。

E-mail: ygdu@nwpb.cas.cn

1 材料和方法

1.1 试验区自然概况

采样地位于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站,地处祁连山冷龙岭东段南麓大通河谷,地理位置 N 37°29'~37°45', E 101°12'~101°23', 海拔 3 280 m。地区属典型的高原大陆性气候,夏季受东南季风气候而冬季受西伯利亚寒流的影响,暖季短暂而凉爽,冷季寒冷漫长。年均气温 -1.7℃,最冷月(1月)平均气温 -14.8℃,最热月(7月)平均气温 9.8℃,绝对最低气温可降至 -37℃。多年年降水量 560 mm,主要集中于 5~9 月,占年降水量的 80%,植物生长季,雨热同期。土壤为草毡寒冻雏形土(高山草甸土),呈现有机质和全量养分丰富而速效养分贫乏的特点^[1]。

1.2 试验方法

2010 年 8 月,选择长势均匀的矮嵩草草甸为研究对象,利用蛇形取样法采集土壤 0~20 cm 土层样品,置于实验室自然风干,称取 50 g 风干土壤,放于 500 mL 培养瓶,考虑到培养箱温度范围,设置 3 个土壤温度梯度(20、25、30℃)和 4 个土壤湿度梯度(45%、60%、75%、90%),土壤充水孔隙含水量,试验期间通过称量培养瓶重量计算加水量控制土壤湿度,考虑交互作用(3 水平×4 水平×3 重复),进行室内培养试验,分别在培养的当天(24 h)和 7 d 之后测定其 N₂O 浓度,计算其源汇效应强度。

N₂O 排放速率

$$F = \frac{M \times \rho \times V \times T_0 \times 10^3}{1 \text{ hr} \times T \times 50 \text{ g}}$$

式中: F 是排放通量(g/(kg·h)), M 为气体浓度, ρ 为气体密度, V 为培养室体积, S 为底面积。 T_0 和 T 分别为标准状况下的空气绝对温度(K)和采样时气温。

气体测定采用气相色谱法(HP4890D)内装电子捕获器柱箱和检测器,温度分别为 70℃ 和 300℃;标气浓度为 355 nL/L,最小因子检测限为 ± 5 nL/L^[11]。

1.3 数据统计与分析

N₂O 排放速率采用平均值和标准误差表示,采用 SPSS 的 Means 计算,不同培养温度和湿度单因子对 N₂O 排放速率的影响采用 One-way ANOVA 方法分析,其交互作用采用 General linear model-univariate 计算(SPSS 16.0)。

2 结果与分析

2.1 不同温度对土壤 N₂O 排放通量的影响

土壤培养初期,矮嵩草草甸土壤 N₂O 排放速率随温度增加而逐渐降低,其中,20℃ 时土壤 N₂O 排放速率约为 4.75±0.24 g/(kg·h),显著高于 25℃ 和 30℃ 土壤 N₂O 排放速率 ($P<0.05$);培养 7 d 后,随温度升高,土壤 N₂O 排放速率先降低变为弱汇,而后逐渐升高,在土壤温度为 30℃ 时 N₂O 排放速率最高,为 (0.67±0.06) g/(kg·h),显著低于短期培养时各温度下的排放速率 ($P<0.05$),25℃ 土壤 N₂O 吸收速率 (0.95±0.26) g/(kg·h)(表 1)。

随着室内培养时间延长,矮嵩草草甸土壤 N₂O 排放速率均显著降低 ($P<0.01$),平均排放速率分别由 (3.58±0.18) 和 (1.69±0.33) g/(kg·h) 降低到 0.09±0.12 和 (-2.59±0.17) g/(kg·h)(表 1)。

表 1 不同温度下矮嵩草草甸土壤 N₂O 排放速率($n=12$)

温度/℃	矮嵩草草甸土壤 N ₂ O 排放速率	
	g/(kg·h)	
	1 d	7 d
20	4.75±0.24 ^a	0.55±0.15 ^{a**}
25	3.04±0.08 ^b	-0.95±0.26 ^{b**}
30	2.92±0.19 ^b	0.67±0.06 ^{a**}
平均值	3.58±0.18	0.09±0.12 ^{**}

注:同行*表示达到显著水平($P<0.05$),**表示达到极显著水平($P<0.01$),同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

2.2 不同湿度对土壤 N₂O 排放通量的影响

随着土壤湿度增加,短期培养的矮嵩草草甸土壤 N₂O 排放速率先降低随后升高,在土壤湿度为 75% 时排放速率最低,为 (3.38±0.25) g/(kg·h),显著低于土壤湿度为 45% 时的排放速率 ($P<0.05$);培养 7 d 后,土壤 N₂O 排放速率逐渐降低,在土壤湿度为 75% 时,高寒草甸土壤为 N₂O 汇,随着土壤湿度进一步增加为 90%,汇的强度略有增强(表 2)。

2.3 土壤温度和湿度交互作用对土壤 N₂O 排放通量的影响

20℃ 培养的矮嵩草草甸土壤 N₂O 排放速率均表现为随湿度增加逐渐降低。25℃ 短期土壤培养试验发现随土壤湿度增加,矮嵩草草甸土壤 N₂O 排放速率先略有降低后增加,在土壤湿度为 75% 时排放速率最低

(图 1a), 培养 7 d 后, 土壤均表现为 N_2O 汇, 吸收速率在 75% 时最高(图 1b)。30℃ 短期培养土壤 N_2O 排放速率随土壤湿度增加逐渐升高, 而随湿度增加, 经过 7 d 培养土壤 N_2O 排放速率先升高, 在土壤湿度为 60% 时最高, 然后逐渐降低(图 1b)。

综合分析, 土壤湿度分别为 45% 和温度为 20℃、以及 60% 和 30℃, 1 d 和 7 d 培养矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率最高, 依次为 5.93、1.52 $\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$; 而在土壤湿度为 45% 和 30℃、以及 75% 和 30℃ 时, 1 d 和 7 d 培养矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率最低排放和最大吸收速率分别约为 2.48、-1.84 $\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ (图 1)。

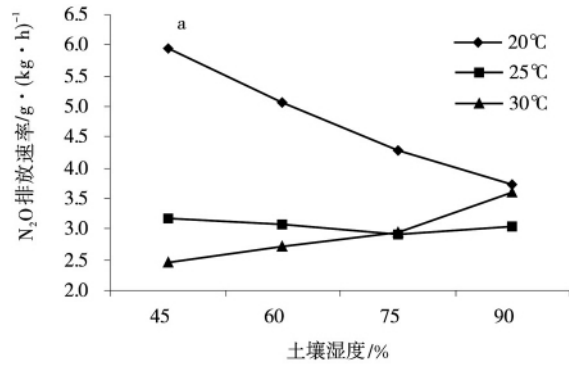


图 1 不同温度和湿度下矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率

Fig. 1 Effect of soil temperature and moisture on N_2O emission

注: 图 1a, b 分别为矮嵩草草甸培养 1 d 和 7 d 土壤 N_2O 排放速率

分别培养 1 d 和 7 d 时, 土壤温度均显著影响矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放 ($P < 0.05$), 而土壤湿度对矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率的影响未达到显著性检验水平(表 3), 相比于土壤湿度, 土壤温度对 N_2O 排放的影响效应更高一些。矮嵩草草甸培养初期, 土壤温度和湿度对 N_2O 排放速率存在显著交互作用 ($P < 0.05$)(表 3)。

表 3 温度和湿度对矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率的双因素交互影响效应

Table 3 Effect of temperature and moisture on N_2O emission				
环境因子	1 d		7 d	
	F	P	F	P
温度	61.36	0.000**	4.509	0.022*
湿度	1.830	0.167	0.797	0.507
温度×湿度	7.664	0.000**	0.484	0.813

注: * 表示达到显著水平 ($P < 0.05$), ** 表示达到极显著水平 ($P < 0.01$)

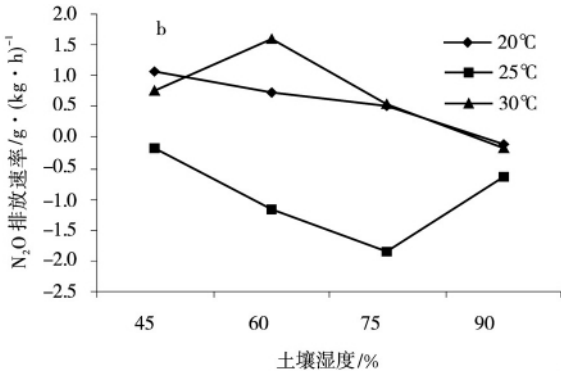
3 讨论与结论

温度控制着生态系统的许多生物和化学反应, 可

表 2 不同湿度下矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率 ($n=9$)

Table 2 Effect of soil moisture on N_2O emission

湿度/%	矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率	
	1 d	7 d
	$\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$	
45	3.84 ± 0.54^a	$0.55 \pm 0.32^{a**}$
60	3.62 ± 0.38^{ab}	$0.38 \pm 0.85^{a**}$
75	3.38 ± 0.25^b	$-0.26 \pm 0.41^{a**}$
90	3.46 ± 0.21^{ab}	$-0.30 \pm 0.29^{a**}$
平均值	3.58 ± 0.18	$0.09 \pm 0.12^{**}$



以直接改变植物的光合能力和生长速率, 并且能够影响土壤含水量和营养物质的利用, 起到调节生态系统能量、水分和养分流动作用^[12]。内蒙古草地土壤温度与 N_2O 通量具有比较复杂的多项式关系^[13]。当温度从 8℃ 逐渐升高到 28℃ 时, 土壤 N_2O 产生速率总体呈降低趋势, 其间也有回升波动, 温度对 N_2O 排放不具有线性规律^[10], 而当温度降低时也呈升、降交替趋势^[13]。加拿大西部地区 3 种土壤硝化作用最适温度为 20℃, 30℃ 硝化作用完全停止^[14], 而美国北部土壤硝化作用最适温度为 20℃ 和 25℃, 但南部土壤则为 35℃^[15], 不同温度带土壤的硝化菌对温度要求不同, 反硝化作用可以在相对较宽范围(5~70℃)进行, 但温度过高和过低都不利于反硝化^[16]。

研究发现随着培养温度逐渐增加, 高寒矮嵩草草甸土壤 N_2O 排放速率降低, 这与田间试验土壤 5 cm 地温与草甸生态系统间存在显著正相关关系结果不一致^[11]。这是因为野外试验发现的正相关作用会受土壤有机质、土壤湿度、植物生长状况、pH 和氮素供应水

平影响,并且田间试验样地土壤 5 cm 地温变化范围较大,从 $-14\sim 25^{\circ}\text{C}$,相关分析表明土壤 5 cm 温度增加可能引起土壤 N_2O 排放速率提高^[1]。此外,高寒草甸长期适应低温缺氧环境、相对较高温度培养,可能降低土壤微生物数量,改变其群落特征,降低土壤 N_2O 排放。

经过 7 d 培养土壤在不同温度培养条件下可能表现为 N_2O 汇,这可能是因为土壤含水量增加、局域出现厌氧微环境,引起土壤反硝化作用较强^[17], N_2O 较多被进一步还原为 N_2 。随着土壤湿度进一步增加, N_2O 汇强度变弱,这可能是因为土壤反硝化作用受限。 25°C 和 75%、90% 土壤湿度,经过 7 d 培养矮蒿草甸土壤为 N_2O 汇,其余 2 种温度培养土壤为 N_2O 源。这可能是因为 25°C 、土壤湿度为 75% 和 90% 培养土壤反硝化作用较强, N_2O 被还原为 N_2 ,而其他时期土壤硝化作用较强,因此,土壤 N_2O 排放速率较高。

低温 3.8°C 培养内蒙古草地土壤 N_2O 排放速率随土壤湿度增加而降低,但是较高温度 23°C 培养,土壤 N_2O 排放速率随土壤湿度增加明显提高^[10]。土壤湿度影响土壤氮素矿化和硝化作用^[18]。土壤湿度为 45%~60% 时土壤的硝化作用最强^[16],土壤湿度在 65% 时反硝化速率明显高于土壤湿度 30% 时排放速率^[19]。土壤干湿交替过程中,土壤由湿变干的过程产生 N_2O 通量高于土壤由干变湿过程 N_2O 产生量^[20],并在 WFPS 为 70% 时最高^[21],是因为干土在加水后,土壤的 C、N 矿化速率急剧增加^[22]。当土壤湿度低时, 30°C 农田土壤 N_2O 排放通量高于 10°C 排放通量,随土壤湿度增加,超过田间持水量时,前者土壤 N_2O 排放速率低于后者排放速率^[8]。土壤水分对不同生长阶段的草甸草原土壤 N_2O 产生速率的影响是复杂、多变和阶段性的^[10]。

内蒙古草地土壤室内培养试验发现土壤水分对草甸土壤 N_2O 产生速率有极显著影响^[10]。内蒙古草地温度和降水显著影响土壤净硝化作用,其中,围栏封育土壤存在温度和湿度交互作用,而放牧样地交互作用不显著^[23]。2006 年当时增温可以显著降低草地土壤湿度($P<0.01$),而在 2007 年增温并没有显著改变土壤湿度^[24],温度和湿度的交互作用随时间和年份而不同。降水量的改变对土壤微生物 CO_2 排放影响不大,是因为该地区降水量相对充足,为土壤有机质分解和土壤呼吸产生提供充足水分^[25-29]。在未来全球增温和降水增加的气候情景,可能有利于降低青藏高原高

寒草甸土壤 N_2O 排放。

参考文献:

- [1] 杜岩功,曹广民,邓永翠,等.金露梅灌丛草甸氧化亚氮排放特征及冻融交替的影响研究[J].山地学报,2009,27(6):688—697.
- [2] IPCC. Mitigation of Climate Change[M]. Fourth Assessment Report of the IPCC: Cambridge University Press, 2012.
- [3] 雒新萍,白红英,路莉,等.黄绵土 N_2O 排放的温度效应及其动力学特征[J].生态学报,2009,29(3):1226—1233.
- [4] 陈书涛,黄耀,郑循华,等.轮作制度对农田氧化亚氮排放的影响及驱动因子[J].中国农业科学,2005,38(10):2053—2060.
- [5] 邹国元,张福锁.秸秆还田对旱地土壤反硝化的影响[J].中国农业科技导报,2001,3(6):47—50.
- [6] 黄树辉,吕军,曾光辉.水稻烤田期间 N_2O 排放及其影响因素[J].环境科学学报,2004,24(6):1084—1090.
- [7] Sagar S R, Andrew K. Tate Modelling nitrous oxide emissions from dairy-grazed pastures[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2004,68(3):243—255.
- [8] 白红英,韩建刚,张一平.农田温室气体 N_2O 释放的水热效应机理初探[J].农业环境科学学报,2004,22(6):724—726.
- [9] 魏达,旭日,王迎红,等.青藏高原纳木错高寒草原温室气体通量及与环境因子关系研究[J].草地学报,2011,19(3):412—419.
- [10] 杜睿.温度和水分对草甸草原土壤氧化亚氮产生速率的调控[J].应用生态学报,2006,17(11):2170—2174.
- [11] Du Y Y, Cui X X. Nitrous oxide emissions from two alpine meadows in the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Plant and Soil,2008,311(1):245—254.
- [12] 李英年.高寒草甸牧草产量和草场载畜量模拟研究及对气候变暖的响应[J].草业学报,2000,9(2):77—82.
- [13] 王艳芬,马秀枝,纪宝明,等.内蒙古草甸草原 CH_4 和 N_2O 排放通量的时间变异[J].植物生态学报,2003,27(6):792—796.
- [14] Malhi S, McGill W. Nitrification in three Alberta soils: effect of temperature, moisture and substrate concentration[J]. Soil Biology and Biochemistry,1982,14(4):393—399.
- [15] Martikainen P J. Nitrification in forest soil of different pH as affected by urea, ammonium sulphate and potassium sulphate[J]. Soil Biology and Biochemistry,1985,17(3):363—367.
- [16] 范晓晖,朱兆良.旱地土壤中的硝化—反硝化作用[J].

- 土壤通报, 2002, 33(5): 385—391.
- [17] Du Y, Cui X, Cao G, *et al.* Simulating N_2O emission from *Kobresia humilis* Serg. alpine meadow on Tibetan Plateau with the DNDC model[J]. Polish Journal of Ecology, 2011, 59(3): 443—453.
- [18] Paul K, Polglase P, O'Connell A, *et al.* Defining the relation between soil water content and net nitrogen mineralization[J]. European Journal of Soil Science, 2003, 54(1): 39—48.
- [19] 李良谟, 潘映华, 周秀如, 等. 太湖地区主要类型土壤的硝化作用及其影响因素[J]. 土壤, 1987, 19(4): 289—293.
- [20] Goldberg S D, Gebauer G. N_2O and NO fluxes between a Norway spruce forest soil and atmosphere as affected by prolonged summer drought[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(9): 1986—1995.
- [21] 梁东丽, 李生秀, 吴庆强, 等. 玉米生长期黄土区土壤氧化亚氮产生和排放及其影响因子研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(2): 131—137.
- [22] Bengtsson G, Bengtson P, Månsson K F. Gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(1): 143—154.
- [23] Wang C, Wan S, Xing X, *et al.* Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(5): 1101—1110.
- [24] Bai W, Wan S, Niu S, *et al.* Increased temperature and precipitation interact to affect root production, mortality, and turnover in a temperate steppe: implications for ecosystem C cycling[J]. Global Change Biology, 2010, 16(4): 1306—1316.
- [25] 鲁旭阳, 范继辉, 霍常富, 等. 贡嘎山冷杉林土壤 CO_2 释放的模拟研究[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(6): 11—16.
- [26] 徐敏云, 刘自学, 胡自治. 灌溉对三种冷季型草坪草蒸散耗水的影响[J]. 草原与草坪, 2004(1): 36—40.
- [27] 程雷星, 陈克龙, 罗彩云, 等. 高寒草地不同利用方式对植被生物量和土壤氮矿化的影响[J]. 草原与草坪, 2014, 34(2): 1—5.
- [28] 李亚娟, 曹广民, 龙瑞军. 不同草地利用方式对土壤有机碳、全氮和全磷的影响[J]. 草原与草坪, 2012, 32(5): 26—29.
- [29] 李亚娟, 曹广民, 龙瑞军. 西藏安多草地退化对植物生物量和土壤养分的影响[J]. 草原与草坪, 2015, 35(4): 32—36.

Response of N_2O emission flux to soil temperature and moisture in alpine meadow on Qinghai-Tibetan Plateau

DU Yan-gong¹, ZHOU Geng², GUO Xiao-wei¹, LI Jing¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810007, China;

2. Agricultural Bureau of Weihai City, Weihai 264200, China)

Abstract: The responses of N_2O emission fluxes to soil temperature and moisture of *Kobresia humilis* meadow were studied in Haibei Station on Qinghai-Tibetan Plateau with culture method in laboratory. It was revealed that the flux decreased gradually with the increase of temperature during the initiate culture phase, and the highest rate was $(4.75 \pm 0.24) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$. The lowest emission rate was $(2.92 \pm 0.19) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$. After 7 days culture, the N_2O flux decreased and became N_2O sink, and then increased. The highest flux was $(0.67 \pm 0.06) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ at 30°C , but all plots were significant lower than initiate culture ($P < 0.05$). Along with the increase of soil moisture, the flux of initiate culture showed a high-low pattern. The lowest value was $(3.38 \pm 0.25) \text{ g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})$ at 75% and the highest was $(3.62 \pm 0.38) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ at 60%. Along with the increase of culture time, the emission rate decreased gradually, and the highest value was $(0.55 \pm 0.32) \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$. The highest emission rates for 1 day and 7 days culture were reached at 45% soil moisture and 20°C , and 60% soil moisture at 30°C separately. However, these value dropped to the lowest at 45% soil moisture and 30°C , and 75% soil moisture and 30°C . This indicated that the soil N_2O emission would decrease under climate warming and precipitation increasing conditions in the future.

Key words: soil temperature and moisture; N_2O emission; interaction; alpine meadow