

模拟增温对草地植被的影响研究进展

赛希雅拉¹, 叶学华², 布仁朝古拉³, 伊风艳², 孙海莲², 邱晓² (1.内蒙古大学, 内蒙古呼和浩特 010021; 2.中国科学院内蒙古草原研究中心, 内蒙古呼和浩特 100093; 3.内蒙古自治区农牧业科学院, 内蒙古呼和浩特 010031)

摘要 气候变化对陆地生态系统的影响关乎人类社会经济发展、资源和生存环境等重大问题, 其中由温室效应引起的气候变暖日趋明显。因此, 野外自然条件下的模拟增温试验对植被的影响是全球变化研究的热点之一。总结近些年模拟增温对草地植被的影响, 指出现有研究存在的不确定性, 同时对今后的工作进行展望。

关键词 模拟增温; 植物群落; 响应

中图分类号 S184 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)22-0023-03

Research Progress on Grassland Vegetation Response to Experimental Warming

Saixiyala¹, YE Xue-hua², Burenchaogula³ et al (1. Inner Mongolia University, Huhhot, Inner Mongolia 010021; 2. Inner Mongolia Research Center for Prataculture, Chinese Academy of Sciences, Huhhot, Inner Mongolia 100093; 3. Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, Huhhot, Inner Mongolia 010031)

Abstract Effect of climate change on terrestrial ecosystems was related to major issues such as human social and economic development, resources and living environment. Among them, the warming caused by the greenhouse effect became increasingly evident. Therefore, the impact of simulated temperature increase experiments under natural conditions on vegetation was one of the hotspots of global change research. The impact of simulated warming studies on grassland vegetation was summarized in recent years, the research uncertainty was pointed out, and the future work was prospected.

Key words Simulated warming; Plant community; Response

作为最关键的生物因素之一, 气候很大程度上决定着植物物种分布以及植被类型^[1]。植物的生长及生理生态特征受到温度变化影响与调控, 气候变暖必然会很大程度上影响生物个体生长、种群分布以及生态系统进化^[2]。截止到20世纪末, 全球地表平均温度上升1.5~2.0℃。同时, 模型预测表明, 2016—2035年全球平均地表温度将升高0.3~0.7℃, 2018—2100年将升高0.3~4.8℃^[3], 并且北半球高纬度和高海拔地区温度升幅更大。全球范围内的气候变暖正在改变着陆地生态系统的结构与功能, 因而备受世界各国政府和科学家们的普遍关注。

野外自然条件下开展的模拟增温试验是研究气候变暖与陆地生态系统关系的主要方法之一^[4]。到目前为止, 模拟增温的方法主要包括主动增温和被动增温, 根据其不同的特点应用于各种生态系统类型。国内外众多学者在增温对陆地生态系统结构与功能的影响特征及机制方面开展大量的研究, 并取得重要的研究成果。为此, 综述草地生态系统植被对模拟增温的响应, 并指出在模拟增温试验方面需要进一步深入研究的方向。

1 增温对植物群落的影响

众多学者的研究普遍认为自然环境变化会引起植物群落结构和功能的改变。陆地植物群落对气候变化的反应是潜在的, 不会在短时间内随着气候变化植物群落出现种群性和分布性变化。但是如果气候变化的选择性压力长期维持, 那么植物群落受到的影响是深远的^[5]。因气候变化而表现

出来的植物群落变化主要反映在以下几个方面: 一是植物的生物量结构, 主要指植物生物量在地上以及地下的分布。二是物种组成。三是生长特征。四是物种丰富度^[6]。

1.1 植物物候对增温的响应 植物物候作为气候变化的“指纹”, 对温度升高的灵敏度很高, 响应较快, 同时不同群落植物的物候以及物候的不同时期对气候变暖灵敏度也不完全一样^[7]。由气候变化导致的植物变化必然会影响物种间的相互关系, 从而最终影响生态系统的结构以及生物多样性。在全球气候变化的背景下, 植被物候生长季的变化已经引起众多研究学者的关注, 成为研究全球气候变化的重要关注点之一。植物物候的生长季已成为全球陆地碳循环模型和净初级生产力模型的重要参数^[8], 植物物候的开始时间和生长季长度等主要状态变量常常用来评估陆地植被所受季节以及年际气候变化的影响, 同时也用来评估植被对季节循环的作用^[9]。

Chmielewski等^[10]根据1969—1998年间的物候资料, 探究欧洲气候变化对植物生长发育的影响。数据结果表明, 在春季的2—4月, 平均气温升高1℃, 植物的生长季因此提前7d。但是, 如果年平均气温升高1℃, 则将导致植物的生长季节延长5d。最近, 国内学者把研究关注点更多地放在气候变暖对植物物候的影响方面。在高寒地区, 温度升高可以减缓低温对植物生长发育带来的限制作用, 促进植物生长^[11], 但与此同时, 土壤水分蒸发和植物蒸腾作用的提高对植物生长发育带来不利影响^[12]。因此, 在极地和高寒地区, 温度升高和土壤水分减少两者的共同作用导致得出不同的研究结论, 增温使繁殖物候提前、推迟或没有影响^[7]。有研究表明, 温度升高导致荒漠草原优势植物的现蕾期、结实期以及开花期平均分别提前了3.10、1.88和2.28d/年, 该现象主要表现在短花针茅、细叶葱和木地肤等3个物种上, 同时

基金项目 内蒙古农牧业科学院青年创新基金项目(2015QNJJM12); 内蒙古自治区应对气候变化及低碳发展专项资金项目; 中国科学院内蒙古草原研究中心先行启动项目。

作者简介 赛希雅拉(1984—), 女, 内蒙古赤峰人, 助理研究员, 硕士, 从事草地生态学研究。

收稿日期 2018-03-21; **修回日期** 2018-04-16

增温明显地延长了植物的平均生殖生长周期 0.84 d/年^[13]。增温对延长典型草原的牧草生长季尤其显著,平均差不多每 10 年 延长 3.4 d^[14]。对羊草草甸为期 4 年的研究显示,羊草的生殖物候期显著地受到增温影响,表现为抽穗、开花和结实期提前,而种子成熟期受到的影响较小^[15]。分析川西亚高山草地对增温的初期响应过程发现,相比于对照,建群种牛尾蒿、糙野青茅的萌动期、花蕾期以及花期均有显著提前,但是枯黄期则显著推迟^[16]。同时研究发现,矮嵩草草甸建群种以及主要伴生物种的生长发育受到增温的显著影响,在研究的温室内,相应的植物种群生长期平均延长 4.95 d,同时,各物候期的始期出现提前,而末期则出现推迟^[17]。可见,植物物候对增温十分敏感,可以用来反应气候变暖,不同区域的植物对气候变暖的敏感度不完全一样,气候变暖也会影响植物的物候特性变化。

1.2 生物量对增温的响应 植被生物量生产及分配主要受气候因素影响。比如气候变暖可通过干旱减少植物生长所需的水分而抑制植物生长,或者调节植物呼吸作用强度而消耗糖类有机物,从而降低生物量。也可以通过加强植物的光合作用或者对营养水分的吸收能力来合成更多的糖类有机物^[18]。杨永辉等^[19]利用英格兰北部的自然保护区 Moor House 内由海拔导致的温差 4.2 °C,模拟研究了全球气候变化对植物群落结构、物种组成以及生物量的影响,研究表明温度是生物量发生变化的关键因素。

荒漠草原增温试验研究发现,增温可以同时降低几个物种和植物群落的地上生物量^[1]。东北羊草草甸增温试验研究发现,地上生物量在降水较多的情况下,受到增温的抑制作用比较小;但是在干旱的情况下,就会受到明显的抑制作用^[15]。相比于对照地(地上和地下鲜体生物量分别为 272.63 和 1 826.77 g/m²),川西北亚高山草甸 OTC 的地上鲜体生物量(2 65.17 g/m²)以及地下 0~30 cm 范围内的根系生物量(1 603.84 g/m²)都有一定程度的降低。在地下的生物量分布中,根系在不同地下层次中差异十分明显,OTC 在 0~10 cm 土层的生物量分配最多,而在 20~30 cm 土层的生物量分配则逐渐减少^[20]。内蒙古荒漠草原的增温试验研究表明,在 0~30 cm 范围内土壤地下生物量分配研究中,增温试验地 0~10 cm 生物量分配比例为 81.23%,小于对照试验地的 86.07%;增温试验地 10~20 cm 土壤层生物量分配比例为 11.55%,大于对照试验地的 9.16%;增温试验地 20~30 cm 生物量分配比例为 7.22%,大于对照试验地的 4.77%,数据结果显示增温使地下生物量向更深层次的土壤转移^[21]。

对于高寒草甸植物如青藏高原高寒草地植物,适度的增温能够显著地增加植物的生物量,但是大幅度持续地增温能够抑制增温对高寒草甸生物量的促进效应^[22]。陈骥等^[23]的 OTC 模拟增温试验表明,增温能够显著地增加赖草、苇拂子茅以及草地早熟禾的地上生物量,同样铃蒿以及细叶苔草的地上生物量也增加。在一定范围内,升高温度能够显著地增加植物的生物量,但是增温超过一定的范围和时间段,则会对植物生物量的增加产生负相关^[24]。综上所述,在一定范

围内,提高温度能够显著地增加植物的生物量,但是增温超过一定的范围和时间段,生物量增加效应表现出对增温耐受性,这时因增温而生物活动加强,消耗相关糖类有机物,导致生物量降低。总的来看,气候变化会影响植物生态系统的生物量,其影响程度和方式也受到多种因素影响。

1.3 群落结构、物种组成等对增温的响应 气候变暖不仅对植物群落初级生产力影响较大,而且对物种组成及分布、群落结构都起着不可忽视的作用。在全球气候变暖背景下,总有一些植物群落的组成物种对温度升高的响应更为迅速和敏感,进而破坏群落种间竞争关系,引起植物群落中优势种和组成成分发生改变,甚至出现群落演替过程,最终对群落结构产生影响^[22]。

在不同地区针对不同物种进行模拟增温研究,得出的结果不尽相同。研究表明,东北松嫩草原羊草草甸增温 4 年,增温 1.7 °C 使物种数量增加,增温使禾草重要值降低,非禾草重要值升高。最终,增温使物种多样性指数升高^[15]。2012—2014 年对藏北高寒草甸的研究发现,全年增温处理降低了群落总盖度^[25]。在海拔高寒草甸模拟增温后,发现植物物种多样性有所增加^[26]。增温 1 年后,亚高山草甸植物群落优势种和组成结构发生改变。OTC 内禾草的盖度(19.21%)显著大于对照样地(8.04%),而杂类草的盖度(72.8%)显著小于对照样地(83.5%)^[20]。研究川西亚高山草地对短期增温的响应发现,模拟增温加速了植物的生长发育,对群落结构产生一定的影响。植物高度基本上表现为增加趋势,大多数物种的重要值和综合优势比有不同程度地上升^[16]。青藏高原高寒草甸模拟增温 2 个生长季后,与对照样地相比群落总盖度略有增加,其中 OTC1 内的小幅度增温使禾草和莎草的分盖度显著降低,杂草的分盖度显著增加,但 OTC2 内的大幅度增温使这种减少或增加的程度有所降低,统计检验不显著^[22]。OTC 增温模拟试验促使 OTC 内部物种呈现单一化发展趋势。除了豆科植物没有明显变化外,模拟增温试验使莎草科、禾草科以及杂草科的盖度显著提高^[23]。模拟增温 6 个生长季后,荒漠草原群落的高度整体增加,但是增温并没有显著地改变植物群落的结构和生态系统^[21]。

总的来看,长期增温对荒漠草原植被的生长不利,但是短期内,增温可以提高高寒草甸以及矮嵩草草甸植物物种丰富度,有利于禾本科植物的生长繁殖。同时,增温可以提高松嫩草原物种的多样性以及均匀度。

2 展望

我国草地面积约 4 亿 hm², 占国土面积的 41.7%。草地作为我国最重要的植被类型之一,是维持我国粮食安全和改善膳食结构的重要生物资源,同时也是维持国家生态安全的主要屏障。气候变化与草地生态系统的动态改变密不可分,对草地生态系统的健康持续发展发挥至关重要的作用。国内学者采用模型模拟、遥感监测、野外调查和控制试验等多种方法,从植物个体、植物群落、土壤系统等相关方面开展大量研究。其中,大部分研究集中在青藏高原高寒草原和温带

草原,以上地区气温升高的幅度也较为明显。但是,对中纬度、温带的高山草地也需要其他类型的草地开展模拟增温研究,从而使研究结果更具系统性和整体性,进而对中国整个草地生态系统进行综合探讨。另外,应加强对植物根系、植株构件、幼苗形态建成等进行深层响应研究。最后,关于全球气候变化对于草原植物的影响研究多为单因素或双因素影响分析,而全球气候变化是复杂的,除了气温升高以外,还存在 CO₂ 浓度升高、降水格局变化、紫外线强度变化等。因此,重点开展多因素条件变化对草地生态系统的影响研究变得极为迫切和重要。

参考文献

- [1] 王珍.增温和氮素添加对内蒙古短花针茅流漠草原植物群落、土壤及生态系统碳交换的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.
- [2] 赵建中,刘伟,周华坤,等.模拟增温效应对矮嵩草生长特征的影响[J].西北植物学报,2006,26(12):2533-2539.
- [3] 孙宝玉,韩广轩.模拟增温对土壤呼吸影响机制的研究进展与展望[J].应用生态学报,2016,27(10):3394-3402.
- [4] 黄文华,王树彦,韩冰,等.草地生态系统对模拟大气增温的响应[J].草业科学,2014,31(11):2069-2076.
- [5] ROSENZWEIG C, PARRY M L. Potential impact of climate change on world food supply[J]. Nature, 1994, 367: 133-138.
- [6] 王长庭,曹广民,王启兰,等.青藏高原高寒草甸植物群落物种组成和生物量沿环境梯度的变化[J].中国科学(C辑:生命科学),2007,37(5):585-592.
- [7] 朱军涛.实验增温对藏北高寒草甸植物繁殖物候的影响[J].植物生态学报,2016,40(10):1028-1036.
- [8] 柳晶,郑有飞,赵国强,等.郑州植物物候对气候变化的响应[J].生态学报,2007,27(4):1471-1479.
- [9] 陆佩玲,于强,贺庆棠.植物物候对气候变化的响应[J].生态学报,2006,26(3):923-929.
- [10] CHMIELEWSKI F M, RÖTZER T. Response of tree phenology to climate change across Europe[J]. Agriculture and forest meteorology, 2001, 108(2):101-112.
- [11] 阿舍小虎.模拟增温与降水改变对川西北高寒草甸植物物候及初级生产力的影响[D].成都:成都理工大学,2013.
- [12] DORJI T, TOTLAND Ø, MOE S R, et al. Plant functional traits mediate reproductive phenology and success in response to experimental warming and snow addition in Tibet[J]. Global change biology, 2013, 19(2):459-472.
- [13] 李元恒,韩国栋,王珍,等.增温和氮素添加对内蒙古荒漠草原植物生殖物候的影响[J].生态学杂志,2014,33(4):849-856.
- [14] 顾润源,周伟灿,白美兰,等.气候变化对内蒙古草原典型植物物候的

- 影响[J].生态学报,2012,32(3):767-776.
- [15] 高嵩.增温和氮素添加对松嫩草原羊草群落结构和功能的影响[D].长春:东北师范大学,2012.
- [16] 徐振锋,胡庭兴,李小艳,等.川西亚高山采伐迹地草坡群落对模拟增温的短期响应[J].生态学报,2009,29(6):2899-2905.
- [17] 罗微.增温和施氮对松嫩草甸羊草种群数量特征的影响[D].长春:东北师范大学,2010.
- [18] 马丽,徐满厚,翟大彤,等.高寒草甸植被-土壤系统对气候变暖响应的研究进展[J].生态学杂志,2017,36(6):1708-1717.
- [19] 杨永辉,托尼·哈里森,费尔·安纳逊.山地草原生物量的垂直变化及其与气候变暖和施肥的关系[J].植物生态学报,1997,21(3):234-241.
- [20] 石福孙,吴宇,罗鹏.川西北亚高山草甸植物群落结构及生物量对温度升高的响应[J].生态学报,2008,28(11):5286-5293.
- [21] 王晨晨,王珍,张新杰,等.增温对荒漠草原植物群落组成及物种多样性的影响[J].生态环境学报,2014,23(1):43-49.
- [22] 李娜,王根赓,杨燕,等.短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响[J].生态学报,2011,31(4):895-905.
- [23] 陈骥,曹军骥,魏永林,等.青海湖北岸高寒草甸草原非生长季土壤呼吸对温度和湿度的响应[J].草业学报,2014,23(6):78-86.
- [24] 徐满厚,刘敏,翟大彤,等.青藏高原高寒草甸生物量动态变化及与环境因子的关系:基于模拟增温实验[J].生态学报,2016,36(18):5759-5767.
- [25] 宗宁,柴曦,石培礼,等.藏北高寒草甸群落结构与物种组成对增温与施氮的响应[J].应用生态学报,2016,27(12):3739-3748.
- [26] 赵艳艳,周华坤,姚步青,等.长期增温对高寒草甸植物群落和土壤养分的影响[J].草地学报,2015,23(4):665-671.
- [27] 沈振西,周兴民,陈佐忠,等.高寒矮嵩草草甸植物类群对模拟降水和施氮的响应[J].植物生态学报,2002,26(3):288-294.
- [28] 吕晓敏,王玉辉,周广胜,等.温度和降水协同作用对短花针茅生物量及其分配的影响[J].生态学报,2015,35(3):752-760.
- [29] 刘涛,张永贤,许振柱,等.短期增温和增加降水对内蒙古荒漠草原土壤呼吸的影响[J].植物生态学报,2012,36(10):1043-1053.
- [30] 李晓兵,陈云浩,张云霞,等.气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J].地球科学进展,2002,17(2):254-261.
- [31] WILLIAMS A L, WILLS K E, JANES J K, et al. Warming and free-air CO₂ enrichment alter demographics in four co-occurring grassland species[J]. New phytologist, 2007, 176(2):365-374.
- [32] WAN S, NORBY R J, LEDFORD J, et al. Responses of soil respiration to elevated CO₂, air warming, and changing soil water availability in model old-field grassland[J]. Global change biology, 2007, 13(11):2411-2424.
- [33] WALKER M D, WAHREN C H, HOLLISTER R D, et al. Plant community responses to experimental warming across the tundra biome[J]. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 2006, 103(5):1342-1346.
- [34] SHAW M R, ZAVALA E S, CHIARELLO N R, et al. Grassland responses to global environmental changes suppressed by elevated CO₂[J]. Science, 2002, 298:1987-1990.

(上接第 22 页)

- [16] BAIRD N A, ETTER P D, ATWOOD T S, et al. Rapid SNP discovery and genetic mapping using sequenced RAD markers[J]. PLoS One, 2008, 10(3):3376.
- [17] 李勇,苗泽圃,蒙小云,等. RAD-seq 技术在大白猪繁殖性状基因组选择上的应用[J].农业生物技术学报,2017,25(9):1508-1515.
- [18] PARMAR N R, SOLANKI J V, PATEL A B, et al. Metagenome of Mehsani buffalo rumen microbiota: An assessment of variation in feed-dependent phylogenetic and functional classification[J]. J Mol Microbiol Biotechnol, 2014, 24(4):249-261.
- [19] SINGH K M, SHAH T M, REDDY B, et al. Taxonomic and gene-centric

- metagenomics of the fecal microbiome of low and high feed conversion ratio(FCR)broilers[J]. J Appl Genet, 2014, 55(1):145-154.
- [20] LARSBRINK J, ROGERS T E, HEMSWORTH G R, et al. A discrete genetic locus confers xyloglucan metabolism in select human gut Bacteroidetes[J]. Nature, 2014, 506(7489):498-502.
- [21] LISTER R, ECKER J R. Finding the fifth base: Genome-wide sequencing of cytosine methylation[J]. Genome Res, 2009, 19(6):959-966.
- [22] 张小丽.猪背部浅层和背部深层脂肪组织全基因组甲基化研究[D].雅安:四川农业大学,2013.
- [23] SUN H, WU J J, WICKRAMASINGHE P, et al. Genome-wide mapping of RNA Pol-II promoter usage in mouse tissues by ChIP-Seq[J]. Nucleic Acids Res, 2011, 39(1):190-201.

科技论文写作规范——讨论

着重于研究中新的发现和重要方面,以及从中得出的结论。不必重复在结果中已评述过的资料,也不要模棱两可的语言,或随意扩大范围,讨论与文中无多大关联的内容。