

气候变暖与管理方式对草地群落影响研究综述

刘银占¹,陈安群¹,郭京伟¹,张露娜¹,韩洋洋¹,张克胜²

(1.河南大学 生命科学学院,河南 开封 475004;2.洛阳理工学院 发展规划处,河南 洛阳 471023)

摘要:草地是陆地生态系统的重要组成部分之一,具有极其重要的经济价值和生态价值.通过文献调研,发现检索到的 122 项研究平台上,90%的研究平台未考虑气候变暖幅度的季节差异性对动植物群落结构的影响,且仅有 15 篇文献涉及围封之外的管理模式.根据最新的研究进展显示:(1)气候变暖幅度的季节差异对草地动植物群落结构的影响;(2)不同草地管理模式对动植物群落结构对气候变暖响应的差异;(3)环境变化时动植物群落间的相互调控.这 3 个问题在未来草地群落研究中应重点关注.通过文献综述阐述并分析草地动植物群落对气候变化及人类活动的响应机制,为全球变化背景下草地生态系统管理提供理论支持.

关键词:草地;气候变暖;群落结构;割草;放牧

中图分类号:Q145

文献标志码:A

草地是最为重要的陆地生态系统类型之一,具有极高的应用价值和生态价值^[1].由于气候及人类活动的影响,这一生态系统类型的结构和功能正发生着剧烈变化.根据模型预测,全球地表温度在 20 世纪升高了 0.85 °C,预计到 21 世纪末还会增加 1.0 °C~3.7 °C^[2].气候变暖严重影响草地植物^[3-4]与动物群落^[5-6]的结构和组成,进而影响到生态系统功能^[7-9],并反馈影响气候变化^[10].关于气候变暖对动植物群落结构的影响已经进行了大量研究,而在不同管理模式对草地生态系统对气候变暖的响应是否一致的问题仍有待关注.除了气候变暖这一影响因素外,草地处于围封、割草、放牧等不同的管理模式,不同的草地管理方式也严重影响着草地生态系统的植物和动物群落结构^[11-12],并且已经有少数研究证实草地管理模式可以影响草地生态系统过程对气候变化的响应^[3].因此本文通过文献调研,分析动植物群落对气候变暖及草地管理模式的影响规律,并对未来的研究方向进行展望,为全球变化背景下草地生态系统管理提供理论支持.

1 气候变暖对动植物群落结构的影响

1.1 气候变暖对植物群落结构的影响

目前关于草地植物群落结构对外界环境变化响应的研究主要关注植物物种丰富度的变化,以及植物群落不同功能群组分比例的变化.尽管关于模拟增温对物种丰富度影响的整合分析表明模拟增温导致世界范围内物种丰富度降低了 8.9%^[13],气候变暖对植物群落结构的影响因研究区域环境及植被背景的不同而异.在青藏高原,早期研究发现模拟增温导致植物物种丰富度降低,但是不同研究中的影响尺度存在显著差异,从 4.9%到 36%^[3,14-15].但在青藏高原的一项为期 10 年的研究中,模拟增温没有影响物种丰富度^[16].还有研究发现,经过 18 年的模拟增温,青藏高原草地植物生物多样性反弹回了初始水平^[17].在青海省海北藏族自治州的研究则发现梯度增温可以降低生物多样性指数^[18-19].在内蒙古草地,模拟增温对植物物种丰富度的负效应及中性效应均有报道^[20].在极地地区,模拟增温增加了物种丰富度^[21].在欧洲草地,模拟增温后部分地区物种丰富度降低,但是其余地区无显著变化.在美国一二年生草地,模拟增温显著降低了植物

收稿日期:2021-04-07;修回日期:2022-05-07.

基金项目:国家自然科学基金(31670477).

作者简介:刘银占(1983—),男,山东东营人,河南大学副教授,博士,研究方向为全球变化生态学,E-mail:liuyinzhan.1@163.com.

通信作者:张克胜,E-mail:lyzhks@126.com.

物种丰富度^[22].但在美国高草草地的一项长期增温实验发现,模拟增温仅在非常湿润的年份降低物种丰富度^[23].

此外,模拟增温会改变植物群落中不同功能群的比例,但不同研究中物种或功能群组成的变化趋势不同.在青藏高原,增温提高禾类草和豆科植物盖度,降低非豆科杂类草的盖度^[14];气候变暖提高禾类草比例,减少杂类草和莎草科比例,加剧了优势种与建群种之间的竞争^[11];增温提高杂类草和禾类草的重要值,降低了莎草科植物的重要值^[10];模拟增温降低了莎草科植物与杂类草盖度,增加了灌木的相对盖度^[15].在极地苔原,模拟增温促进了矮灌丛及苔藓生存,抑制了地衣植物的生存^[24].在一二年生植物为主的北美草地,增温使得草地优势类群从 C₄ 禾草以及一二年生植物向 C₃ 植物转化^[22].但是也有研究表明,在北美高草草地增温在最湿润年份提高了 C₃ 植物的生物量,对 C₃ 与 C₄ 植物的比例无显著影响^[25].在美国明尼苏达进行的一项控制实验表明,模拟增温增加了豆科植物和 C₄ 植物比例,降低了杂类草和 C₃ 植物比例^[7].在北阿拉斯加,增温使得植物群落从莎草占优势的湿生群落转变为灌木占优势的旱生群落^[26].增温导致的物种多样性变化会调控生态系统的时间稳定性与优势度.在一项 15 年的增温实验中,增温处理下优势类群 C₄ 植物生物量的增加提高了时间稳定性^[8].在内蒙古温带草地,白天增温通过降低优势种的多度降低了时间稳定性^[20],青藏高原植物群落优势度提高了 3.5%^[4].在极地,增温降低了极地植被的杂类草多样性,进而降低了极地植被的群落稳定性^[27].

综上所述,气候变暖确实会影响植物群落多样性及各组分的比例,但是在不同的草地生态系统中存在差异.这可能与研究地点的植被特征、土壤养分、降水状况、草地管理模式等因素密切相关,这也意味着在未来气候变暖的研究中,需要考虑多种因素与气候变暖的交互作用.

1.2 气候变暖对动物群落结构的影响

关于气候变暖对动物群落的影响通常仅关注一个或少数几个类群的变化.比如增温提高了青藏高原草原毛虫^[5]、高原鼯鼠^[28]以及根田鼠^[29]的密度.室内实验表明,模拟增温降低了蚜虫的存活率以及种群增长速率^[30].在比利时进行的草地研究发现,气候变暖降低了豹纹蛱蝶的生存能力^[31].在松嫩草地,模拟增温降低了白天活动的地行性跳虫的多度,但是没有改变夜间活动的地行性跳虫,以及螨虫的多度^[6].在北阿拉斯加,模拟增温对节肢动物群落的影响因物种和狼蛛密度而异,在中高密度狼蛛情况下,模拟增温增加了线虫密度;在低密度狼蛛情况下,模拟增温降低了线虫密度,未影响其余节肢动物类群^[9].在美国高草草原,模拟增温增加了蜘蛛对蝗虫的捕食^[32].在加拿大,生长季变暖降低了蜉蝣亚纲、跳虫等表层碎屑捕食者的多度,提高了半翅目和膜翅目昆虫多度;非生长季增温情况降低跳虫与蜘蛛多度,增加膜翅目多度;气候变化未影响双翅目和鳞翅目的多度^[33].德国草地长期观测数据表明,气候变暖增加了管理状况良好草地的直翅目物种丰富度,但是降低了长期缺乏管理的草地直翅目物种丰富度^[34].在极地苔原,模拟增温或气候变暖降低跳虫^[24]、螨类^[24]、和线虫^[35]的密度.这些结果同样说明动物群落结构对气候变暖的响应,呈现明显的空间差异.此外,由于多数研究中对于动物群落的关注类群不同,且动物群落与植物群落相比,其能量来源途径更加多样化,决定了动物群落其对全球变暖的响应比植物群落更加多样化.但是目前受限于动物学研究知识的缺乏,其对气候变暖响应的机理,往往比植物群落更加模糊.关于动物群落对气候变暖的响应,需要进一步充分进行多尺度研究.

2 草地管理对动植物群落结构的影响

放牧是我国草地长期以来最为普遍的管理方式^[36-37],但是近年来随着过度放牧导致的草地退化,草地管理模式也逐渐发生变化,围封与生长季末割草也成了主要的草地管理方式之一.比如我国北方草地,在 20 世纪末逐渐实行了“围封割草,禁牧舍饲”或者季节性休牧的管理模式,近年来更是大力推行全年禁牧^[11,38].季节性轮牧则是青藏高原长期以来一直推行的放牧制度^[39].

2.1 草地管理模式对植物群落结构的影响

草地管理对草地群落物种丰富度的影响与管理强度及草地本身的背景特点密切相关.关于放牧提高^[12,21]、降低^[15]、未影响^[16]草地植物群落物种丰富度的结果均有报道.还有研究表明适度放牧保持了更高的

生物多样性,过度放牧降低生物多样性;驯鹿放牧在低生产力地区降低物种丰富度,高生产力地区提高物种丰富度^[40].关于放牧或休牧对草地群落丰富度影响的多种分析也得出了不同的结论.通过整合分析发现,低度和中度放牧会增加物种丰富度,重度放牧降低物种丰富度^[41].对澳洲草地放牧研究的整合分析发现,放牧降低了植物多度,但未降低植物物种丰富度^[42].研究发现通过整合分析发现策略性休牧并未显著提高物种丰富度^[43].关于生长季末割草对物种丰富度的影响较为一致,多数长期研究中,割草提高了物种丰富度^[8,44-47].

草地管理方式也会显著影响植物群落的组成.比如极地地区的研究表明,驯鹿放牧降低了落叶灌木与地衣的多度或比例^[21,40].放牧加剧了优势种与建群种之间的竞争^[37],放牧提高了青藏高原草地优势种高山蒿草和灌木的相对盖度,降低了高山蒿草之外莎草科禾本科植物的相对盖度^[15].放牧导致北美草地植物群落从 C₄ 群落向 C₃ 群落转变.长期刈割降低了美国高草草地 C₄ 植物的生物量,进而降低了植物群落的时间稳定性^[8].割草显著提高了内蒙古草地杂类草的盖度或比例^[44],降低了羊草优势度^[47].割草增加了阿尔卑斯山草地生物多样性,抑制了优势种的生长,促进了建群种的生长^[45].

以上研究结果表明,草地管理模式对植物群落结构的影响结果并无一致趋势.因为不同的研究中,草地群落背景、土壤与气候条件、管理强度均存在差别.这意味着单一地点的研究可能无法形成一个清晰的格局,开展全球性网络化研究,将有助于准确理解植物群落结构对草地管理模式的响应格局.

2.2 草地管理模式对动物群落结构的影响

不同草地管理模式对草地动物群落结构的影响也不一致.在一部分研究中,放牧减少了节肢动物的食物资源;或导致了植物防御物质的增加,减少了节肢动物应对气候变化与天敌的隐蔽场所;或者通过践踏作用阻碍蛹的发育,甚至取食部分昆虫,降低节肢动物数量.但是在另一些研究中,放牧使得植物再生器官营养丰富;减少了节肢动物等潜行性捕食者接近昆虫的机会;且会增加微气候与植物群落的异质性;有利于更多的动物群落生存^[48].此外,多数研究发现放牧对不同动物类群的影响不一致.放牧降低了内蒙古草地植食性、食细菌、杂捕类线虫的多度,未影响食真菌线虫的多度^[39],但是会降低大型土壤动物的多样性^[49].澳洲草地放牧研究的整合分析发现,放牧处理下动物丰富度降低了 15%^[42].放牧提高了地中海草地鸟类、蝗虫群落的物种丰富度;对哺乳类物种丰富度的影响则随火烧频度而变化,在低火烧频度下,放牧提高了哺乳类物种丰富度,在高火烧频度下,放牧则降低了哺乳类物种丰富度^[12].在地中海草地,适度放牧没有影响蜜蜂群落^[50].在巴尔喀千山,放牧与割草降低了蛾类的物种丰富度,但是未影响地行性甲虫多度与物种丰富度^[46].在欧洲,生长季末期割草提高了蝴蝶的多度与多样性^[51].这些结果表明,动物群落结构对草地管理的响应,因不同物种和草地类型而异.这同样涉及动植物群落的本底差异、动物食性及生活史、气候与土壤等多项因素的异同.要想更好的理解动物群落结构对草地管理模式的影响,需要进行更多地点、更多动物类型、涉及到更多因子的研究.

3 未来研究展望

3.1 气候变暖幅度的季节差异对草地动植物群落结构的影响

尽管关于气候变暖对动植物群落结构的影响已经进行了大量研究,但是目前关于模拟增温对动植物群落结构影响的结果主要来自于生长季增温^[20]或全年增温^[3,5,14,28]实验,大多数研究忽略了气候变暖的季节差异,即非生长季气候变暖幅度大于生长季变暖幅度这一现象对动植物群落的影响^[52].目前已经有研究证实非生长季增温对植物生长及生态系统结构具有重要的调控作用.比如冬季增温会改变石楠灌丛的植物物候和根系生长^[53],会比全年平均增温更大幅度地提前青藏高原高寒草甸植物开花物候^[54].冬季升温会破坏春化作用,推迟植物返青^[55],改变植物的繁殖过程^[56].在冬季增温处理下,氮的可利用性、地下分解速率及纤维素酶活性均显著提高^[57].非生长季大幅度增温比生长季大幅度增温对青藏高原地上生物量、土壤速效氮、植被归一化指数的提高幅度更大^[58].非生长季气候变化显著调控极地地区驯鹿的种群增长速率^[59].以上过程均极可能改变动植物群落结构.厘清非生长季气候变化对生态系统过程的影响对于正确理解生态系统功能对气候变化的响应具有重要意义,在单独非生长季增温的实验中得到的结果与仅在生长季增温或全年均

一增温实验中的结果经常是截然相反的.

但是在目前的模拟增温实验中,关于非生长季气候变暖的认识远远不够,在季节性雪被覆盖地区,仅有 20% 的实验考虑了非生长季增温^[60].通过 ISI Web of Scicence 及中国知网数据库对 1950 年以来世界范围内模拟增温对草地植物群落结构影响的研究结果进行了分析,发现国内外目前关于模拟增温对草地植物群落结构影响的文献共涉及 122 个平台,178 篇文献(表 1).其中 90% 以上的论文和实验平台未考虑气候变暖的季节差异性.非生长季与生长季增温对动植物群落结构的影响是否存在差异? 其调控机理有着怎样的差异? 两种季节的增温对动植物群落结构是否存在交互影响? 以上问题均缺乏充分研究,限制了关于气候变暖对生态系统结构影响的认识.未来关于气候变暖幅度的季节差异性对草地生态系统的影响必然受到越来越多的关注.

表 1 1950 年以来关于模拟增温对草地植物群落结构影响研究论文数量分类统计
Tab. 1 Number of the articles and experiments concerned on the effects of experimental warming on plants community structure of grassland since 1950

处理组	围封	火烧	围封+放牧	围封+割草	围封+火烧	放牧+割草
全年增温	91(63)	2(2)	13(8)	3(3)	0(0)	1(0)
生长季增温	50(30)	1(1)	2(2)	2(1)	1(1)	3(3)
非生长季增温	10(5)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
生长季+非生长季增温	3(3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

注:“+”表示同时考虑两个因素,括号外数字为论文数,括号内数字为实验平台数量.

3.2 不同草地管理模式对动植物群落结构对气候变暖响应的差异

目前多数关于气候变暖对动植物群落影响的研究是在未受干扰的围封模式下进行的,未考虑草地管理模式的影响.根据一项整合分析结果,2018 年关于气候变化及放牧对草地结构和功能影响的综述中,发现 131 篇论文中只有 12 篇研究了气候变化与放牧的交互作用^[37].实际上草地必须处于不同的管理模式之下才可以维持较高的生物多样性^[38],尽管部分研究结果表明草地管理模式与气候变暖对群落结构无交互影响^[61].部分研究表明模拟增温的效应受草地管理模式的影响,甚至发现在是否存在食草动物的情况下,模拟增温对植物群落的效应截然相反^[21,62].比如模拟增温在存在和缺少食草动物的情况下,分别提高和降低了在极地苔原物种丰富度^[21].在欧洲草地进行的多地点模拟增温实验表明,割草、火烧、害虫暴发等干扰过的草地对气候变化更为敏感.放牧减缓了模拟增温引起的青藏高原高寒草地物种丰富度下降,消除了模拟增温导致的群落均匀度的升高,消除了模拟增温对灌木盖度的刺激作用^[15].适度放牧或者轻度刈割可以增加气候变暖背景下直翅目昆虫的恢复力^[34].这些研究充分表明未来关于气候变化对草地生态系统动植物群落结构影响的研究,需要充分考虑草地管理与气候变暖的交互效应.但是目前同时考虑气候变暖与草地管理模式的研究仅在全球变化控制实验中占据了很小的比例,仅有 21 个地点的 15 篇文献涉及了围封之外的管理模式.关于不同管理模式下生长季与非生长季增温对植物群落结构的交互影响尚未见报道(表 1).目前关于气候变暖的季节差异与草地管理模式交互影响的研究更是缺乏足够的关注.

3.3 环境变化时动植物群落间的相互调控

动物群落与植物群落在草地生态系统中是一个相互依存的整体,气候变暖或草地管理模式可以通过动物群落的变化,经过下行效应,调控植物的生长繁殖与群落结构^[5,63];也可能通过植物群落的变化,经过上行效应,调控动物群落的变化^[11,28].但是目前的研究,多数将植物群落与动物群落分割开来单独研究,同时关注动植物群落的变化,并详细阐述其内部调控机制的研究极其匮乏,关于草地管理模式及气候变暖背景下,动植物群落之间相互调控格局的变化,在未来的研究中值得特别关注.

4 结 论

本论文根据草地动植物群落对气候变暖及草地管理模式响应的文献调研与计量分析,总结了目前研究中尚未充分关注的几个问题,并提出未来全球变化背景下草地动植物群落生态学研究值得特别关注的3个方向,可以为群落生态学研究提供理论支持.

参 考 文 献

[1] 石岳,马殷雷,马文红,等.中国草地的产草量和牧草品质:格局及其与环境因子之间的关系[J].科学通报,2013(3):35-48.
SHI Y,MA Y L,MA W H,et al.Large scale patterns of forage yield and quality across Chinese grasslands[J].Chinese Science Bulletin, 2013(3):35-48.

[2] STOCKER T F,QIN D,PLATTNER G K,et al.Climate Change 2013:The physical science basis.contribution of working group I to the fifth assessment report of IPCC the intergovernmental panel on climate change[M].Cambridge:Cambridge University Press,2014.

[3] KLEIN J A,HARTE J,ZHAO X Q.Experimental warming causes large and rapid species loss,dampened by simulated grazing,on the Ti-betan Plateau[J].Ecology Letters,2004,7(12):1170-1179.

[4] MA Z,LIU H,MI Z,et al.Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production[J].Nature Communi-cations,2017,8:15378.

[5] LIU Y Z,REICH P B,LI G Y,et al.Shifting phenology and abundance under experimental warming alters trophic relationships and plant reproductive capacity[J].Ecology,2011,92(6):1201-1207.

[6] CHANG L,WANG B,YAN X,et al.Warming limits daytime but not nighttime activity of epigeic microarthropods in Songnen grasslands [J].Applied Soil Ecology,2019,141:79-83.

[7] COWLES J M,WRAGG P D,WRIGHT A J,et al.Shifting grassland plant community structure drives positive interactive effects of war-ming and diversity on aboveground net primary productivity[J].Global Change Biology,2016,22(2):741-749.

[8] SHI Z,XU X,SOUZA L,et al.Dual mechanisms regulate ecosystem stability under decade-long warming and hay harvest[J].Nature Communications,2016,7:11973.

[9] KOLTZ A M,CLASSEN A T,WRIGHT J P.Warming reverses top-down effects of predators on belowground ecosystem function in Arc-tic tundra[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2018,115(32):7541-7549.

[10] PENG F,XUE X,XU M H,et al.Warming-induced shift towards forbs and grasses and its relation to the carbon sequestration in an alpine meadow[J].Environmental Research Letters,2017,12(4):e044010.

[11] LIU Y Z,MA G G,ZAN Z M,et al.Effects of nitrogen addition and mowing on rodent damage in an Inner Mongolian steppe[J].Ecology and Evolution,2018,8(8):3919-3926.

[12] BRUCKERHOFF L A,CONNELL R K,GUINNIP J P,et al.Harmony on the prairie Grassland plant and animal community responses to variation in climate across land-use gradients[J].Ecology,2020,101(5):e02986.

[13] GRUNER D S,BRACKEN M E S,BERGER S A,et al.Effects of experimental warming on biodiversity depend on ecosystem type and lo-cal species composition[J].Oikos,2017,126(1):8-17.

[14] WANG S P,DUAN J C,XU G P,et al.Effects of warming and grazing on soil N availability,species composition,and ANPP in an alpine meadow[J].Ecology,2012,93(11):2365-2376.

[15] DORJI T,HOPPING K A,WANG S,et al.Grazing and spring snow counteract the effects of warming on an alpine plant community in Tibet through effects on the dominant species[J].Agricultural and Forest Meteorology,2018,263:188-197.

[16] LI X E,ZHU X X,WANG S P,et al.Responses of biotic interactions of dominant and subordinate species to decadal warming and simula-ted rotational grazing in Tibetan alpine meadow[J].Science China Life Sciences,2018,61(7):849-859.

[17] ZHANG C H,WILLIS C G,KLEIN J A,et al.Recovery of plant species diversity during long-term experimental warming of a species-rich alpine meadow community on the Qinghai-Tibet Plateau[J].Biological Conservation,2017,213:218-224.

[18] 马丽,张骞,张中华,等.梯度增温对高寒草甸物种多样性和生物量的影响[J].草地学报,2020,28(5):1395-1402.
MA L,ZHANG Q,ZHANG Z H,et al.Effects of gradient warming on species diversity and biomass in alpine meadows[J].Acta Agrestia Sinica,2020,28(5):1395-1402.

[19] 姜风岩,位晓婷,康濒月,等.模拟增温对高寒草甸植物物种多样性与初级生产力的影响[J].草地学报,2019,27(2):298-305.

- JIANG F Y, WEI X T, KANG B Y, et al. Effects of warming on alpine meadow diversity and primary productivity[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(2): 298-305.
- [20] YANG Z L, ZHANG Q, SU F L, et al. Daytime warming lowers community temporal stability by reducing the abundance of dominant, stable species[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(1): 154-163.
- [21] KAARLEJÄRVI E, ESKELINEN A, OLOFSSON J. Herbivores rescue diversity in warming tundra by modulating trait-dependent species losses and gains[J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 419.
- [22] HOEPPNER S S, DUKES J S. Interactive responses of old-field plant growth and composition to warming and precipitation[J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(5): 1754-1768.
- [23] SHI Z, SHERRY R, XU X, et al. Evidence for long-term shift in plant community composition under decadal experimental warming[J]. *Journal of Ecology*, 2015, 103(5): 1131-1140.
- [24] BOKHORST S, PHOENIX G K, BJERKE J W, et al. Extreme winter warming events more negatively impact small rather than large soil fauna; shift in community composition explained by traits not taxa[J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(3): 1152-1162.
- [25] SHI Z, LIN Y, WILCOX K R, et al. Successional change in species composition alters climate sensitivity of grassland productivity[J]. *Global Change Biology*, 2018, 24(10): 4993-5003.
- [26] LEFFLER A J, KLEIN E S, OBERBAUER S F, et al. Coupled long-term summer warming and deeper snow alters species composition and stimulates gross primary productivity in tussock tundra[J]. *Oecologia*, 2016, 181(1): 287-297.
- [27] POST E. Erosion of community diversity and stability by herbivore removal under warming[J]. *Proceedings Biological Sciences*, 2013, 280(1757): 20122722.
- [28] LI G Y, LIU Y Z, FRELICH L E, et al. Experimental warming induces degradation of a Tibetan alpine meadow through trophic interactions[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(3): 659-667.
- [29] 孙平, 魏万红, 赵亚军, 等. 局部环境增温对根田鼠冬季种群的影响[J]. *兽类学报*, 2005, 25(3): 261-268.
- SUN P, WEI W H, ZHAO Y J, et al. Effects of locally environmental warming on root vole population in winter[J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2005, 25(3): 261-268.
- [30] ZHAO F, ZHANG W, HOFFMANN A A, et al. Night warming on hot days produces novel impacts on development, survival and reproduction in a small arthropod[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2014, 83(4): 769-778.
- [31] RADCHUK V, TURLURE C, SHTICKZELLE N. Each life stage matters; the importance of assessing the response to climate change over the complete life cycle in butterflies[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2013, 82(1): 275-285.
- [32] LAWS A N, JOERN A. Predator-prey interactions in a grassland food chain vary with temperature and food quality[J]. *Oikos*, 2013, 122(7): 977-986.
- [33] KOLTZ A M, SCHMIDT N M, HÖYE T T. Differential arthropod responses to warming are altering the structure of Arctic communities[J]. *Royal Society Open Science*, 2018, 5(4): 171503.
- [34] LÖFFLER F, PONIATOWSKI D, FARTMANN T. Orthoptera community shifts in response to land-use and climate change-Lessons from a long-term study across different grassland habitats[J]. *Biological Conservation*, 2019, 236: 315-323.
- [35] SIMMONS B L, WALL D H, ADAMS B J. Long-term experimental warming reduces soil nematode populations in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(10): 2052-2060.
- [36] TÄLLE M, DEAK B, POSCHLOD P. Grazing vs. mowing: a meta-analysis of biodiversity benefits for grassland management[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 222: 200-212.
- [37] LI W H, LI X, ZHAO Y. Ecosystem structure, functioning and stability under climate change and grazing in grasslands; current status and future prospects[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018, 33: 124-135.
- [38] LIU Y Z, MIAD R, CHEN A. Effects of nitrogen addition and mowing on reproductive phenology of three early-flowering forb species in a Tibetan alpine meadow[J]. *Ecological Engineering*, 2017, 99: 119-125.
- [39] 阳小成, 阿舍小虎, 苗原, 等. 川西北高寒草甸不同放牧模式对土壤呼吸的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(17): 5371-5378.
- YANG X C, ASHE X H, MIAO Y, et al. Response of soil respiration rate to grazing patterns in an alpine meadow, Northwestern Sichuan, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(17): 5371-5378.
- [40] SUNDQVIST M K, MOEN J, BJÖRK R G, et al. Experimental evidence of the long-term effects of reindeer on Arctic vegetation greenness and species richness at a larger landscape scale[J]. *Journal of Ecology*, 2019, 107(6): 2724-2736.
- [41] WANG C, TANG Y J. A global meta-analyses of the response of multi-taxa diversity to grazing intensity in grasslands[J]. *Environmental*

- Research Letters, 2019, 14(11): 114003.
- [42] ELDRIDGE D J, POORE A G B, RUIZ-COLMENERO M, et al. Ecosystem structure, function, and composition in rangelands are negatively affected by livestock grazing[J]. *Ecological Applications*, 2016, 26(4): 1273-1283.
- [43] MCDONALD S E, LAWRENCE R, KENDALL L, et al. Ecological, biophysical and production effects of incorporating rest into grazing regimes: a global meta-analysis[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2019, 56(12): 2723-2731.
- [44] YANG H J, JIANG L, LI L H, et al. Diversity-dependent stability under mowing and nutrient addition: evidence from a 7-year grassland experiment[J]. *Ecology Letters*, 2012, 15(6): 619-626.
- [45] BENOT M L, SACCONI P, PAUTRAT E, et al. Stronger short-term effects of mowing than extreme summer weather on a subalpine grassland[J]. *Ecosystems*, 2014, 17(3): 458-472.
- [46] BONARI G, FAJMON K, MALENOVSKY L. Management of semi-natural grasslands benefiting both plant and insect diversity: the importance of heterogeneity and tradition[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, 246: 243-252.
- [47] YANG G J, LYU X T, STEVENS C J, et al. Mowing mitigates the negative impacts of N addition on plant species diversity[J]. *Oecologia*, 2019, 189(3): 769-779.
- [48] ZHONG Z W, WANG D L, ZHU H, et al. Positive interactions between large herbivores and grasshoppers, and their consequences for grassland plant diversity[J]. *Ecology*, 2014, 95(4): 1055-1064.
- [49] 刘霞, 赵东, 程建伟, 等. 放牧和刘割对内蒙古典型草原大型土壤动物的影响[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(6): 1869-1878.
- LIU X, ZHAO D, CHENG J W, et al. Effects of grazing and mowing on macrofauna communities in a typical steppe of Inner Mongolia, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(6): 1869-1878.
- [50] SHAPIRA T, HENKIN Z, DAG A, et al. Rangeland sharing by cattle and bees: moderate grazing does not impair bee communities and resource availability[J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 30(3): e02066.
- [51] BRUPPACHER L, PELLET J, ARLETTAZ R, et al. Simple modifications of mowing regime promote butterflies in extensively managed meadows: evidence from field-scale experiments[J]. *Biological Conservation*, 2016, 196: 196-202.
- [52] XIA J, CHEN J, PIAO S, et al. Terrestrial carbon cycle affected by non-uniform climate warming[J]. *Nature Geoscience*, 2014, 7(3): 173-180.
- [53] BOKHORST S, BJERKE J W, STREET L E, et al. Impacts of multiple extreme winter warming events on sub-Arctic heathland: phenology, reproduction, growth, and CO₂ flux responses[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(9): 2817-2830.
- [54] JI S N, CLASSEN A T, ZHANG Z H, et al. Asymmetric winter warming advanced plant phenology to a greater extent than symmetric warming in an alpine meadow[J]. *Functional Ecology*, 2017, 31(11): 2147-2156.
- [55] YU H Y, LUEDELING E, XU J C. Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau[J]. *PNAS*, 2010, 107(51): 22151-22156.
- [56] LIU Y Z, MU J P, NIKLAS K J, et al. Global warming reduces plant reproductive output for temperate multi-inflorescence species on the Tibetan Plateau[J]. *New Phytologist*, 2012, 195(2): 427-436.
- [57] SCHUERINGS J, JENTSCH A, HAMMERL V, et al. Increased winter soil temperature variability enhances nitrogen cycling and soil biotic activity in temperate heathland and grassland mesocosms[J]. *Biogeosciences*, 2014, 11(23): 7051-7060.
- [58] FU G, et al. Response of plant production to growing/non-growing season asymmetric warming in an alpine meadow of the Northern Tibetan Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 650: 2666-2673.
- [59] ALBON S D, IRVINE R J, HALVORSEN O, et al. Contrasting effects of summer and winter warming on body mass explain population dynamics in a food-limited Arctic herbivore[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(4): 1374-1389.
- [60] SANDERS-DEMOTT R, TEMPLER P H. What about winter integrating the missing season into climate change experiments in seasonally snow covered ecosystems[J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2017, 8(10): 1183-1191.
- [61] 吴红宝, 高清竹, 干珠扎布, 等. 放牧和模拟增温对藏北高寒草地植物群落特征及生产力的影响[J]. *植物生态学报*, 2019, 43(10): 853-862.
- WU H B, GAO Q Z, GANJURJAV H, et al. Effects of grazing and simulated warming on plant community structure and productivity of alpine grassland in Northern Xizang, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2019, 43(10): 853-862.
- [62] POST E, PEDERSEN C. Opposing plant community responses to warming with and without herbivores[J]. *PNAS*, 2008, 105(34): 12353-12358.
- [63] WU X W, DUFFY J E, REICH P B, et al. A brown-world cascade in the dung decomposer food web of an alpine meadow: effects of preda-

tor interactions and warming[J].Ecological Monographs,2011,81(2):313-328.

Review on the effects of climate warming and management strategies on grassland community

Liu Yinzhan¹, Chen Anqun¹, Guo Jingwei¹, Zhang Luna¹, Han Yangyang¹, Zhang Kesheng²

(1. School of Life Sciences, Henan University, Kaifeng 475004, China; 2. Development and Planning Department, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023, China)

Abstract: Grassland is one of the important parts of terrestrial ecosystem, and has crucial economic and ecological value. This article synthesized the effect of climate warming and grassland management methods on the structure of the animal and plant community in grassland ecosystems. Literature review showed that: 90% of the 122 warming experiments did not concern the effects of seasonal warming differences on the community structure of plants and animals, only 15 publications were conducted in the warming experiments including no-fenced treatment. The latest research pointed out: (1)the effect of different seasonal warming magnitude on the animal and plant community structure of grassland;(2)the different responses of animal and plant community structure to climate warming under different grassland managements; (3)the regulation between animal and plant communities under changing environment should be concerned in the study of grassland community in future. This article summarized and analyzed the response mechanism of grassland animal and plant communities to climate change and human activities through literature review, in expectation of providing theoretical support for grassland ecosystem management under the global change scenario.

Keywords: grassland; climate warming; community structure; mowing; grazing

[责任编辑 刘洋 杨浦]