

短期氮素添加对高寒草地实测蒸散及生物量的影响*

刘超^{1,2,3}, 盛超亚⁴, 王娟^{1,2,3}, 刘俊杰^{1,2,3†}, 丁晓宇^{1,2,3}

(1. 新疆大学 生态与环境学院, 新疆 乌鲁木齐 830017; 2. 自然资源部荒漠-绿洲生态监测与修复工程技术创新中心, 新疆 乌鲁木齐 830002; 3. 绿洲生态教育部重点实验室 新疆大学, 新疆 乌鲁木齐 830017; 4. 郑州博睿医学检验实验室有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 为了更好地理解草地群落实际蒸散和生物量对氮沉降的响应机制, 通过短期原位模拟氮沉降实验, 在巴音布鲁克高寒草地进行不同水平的氮素添加实验(CK(0 g·m⁻²), LN(5 g·m⁻²), MN(10 g·m⁻²), HN(15 g·m⁻²), SN(20 g·m⁻²)), 研究草地群落不同时间尺度实测蒸散以及地上地下生物量对短期氮素添加的响应. 结果表明: 不同氮素添加没有改变草地蒸散量日变化特征峰值的出现时间, 生长季初期、中期和末期草地蒸散量的峰值分别出现在15时和19时、17时、15时; 不同氮素添加处理下蒸散量生长季变化特征在不同生长时期存在差异, 其中生长季初期草地蒸散受到氮素添加影响较大, 生长季中期和末期受到氮素添加影响较小; 氮素添加显著增加了地上生物量, 对地下生物量影响较小.

关键词: 氮素添加; 实测蒸散; 生物量; 巴音布鲁克

DOI: 10.13568/j.cnki.651094.651316.2022.12.21.0002

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2023)04-0486-06

引文格式: 刘超, 盛超亚, 王娟, 刘俊杰, 丁晓宇. 短期氮素添加对高寒草地实测蒸散及生物量的影响[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2023, 40(4): 486-491+504.

英文引文格式: LIU Chao, SHENG Chaoya, WANG Juan, LIU Junjie, DING Xiaoyu. Effects of short-term nitrogen addition on evapotranspiration and biomass in an alpine grassland[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2023, 40(4): 486-491+504.

Effects of Short-Term Nitrogen Addition on Evapotranspiration and Biomass in an Alpine Grassland

LIU Chao^{1,2,3}, SHENG Chaoya⁴, WANG Juan^{1,2,3}, LIU Junjie^{1,2,3}, DING Xiaoyu^{1,2,3}

(1. School of Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830017, China; 2. Technology Innovation Center for Ecological Monitoring and Restoration of Desert-Oasis, MNR, Urumqi Xinjiang 830002, China; 3. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830017, China; 4. Zhengzhou Broad & Precision Medical Laboratory Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: In order to better understand the response of measured evapotranspiration and biomass to nitrogen deposition in grassland ecosystems, different levels of nitrogen additions (CK (0 g·m⁻²), LN (5 g·m⁻²), MN (10 g·m⁻²), HN (15 g·m⁻²), SN (20 g·m⁻²)) were carried out in this paper through short-term in situ simulated nitrogen deposition experiments in Bayinbuluke alpine grassland. We investigated the response of grassland ecosystems to short-term nitrogen addition through measured evapotranspiration at different time scales, aboveground biomass and underground biomass. The results showed that the daily peaks of grass evapotranspiration did not change with different nitrogen additions, and the peaks of grass evapotranspiration at the beginning, middle and end of the growing season occurred at 15:00 and 19:00, 17:00, 15:00, respectively. The seasonal variation in evapotranspiration under different nitrogen additions varied across the growing season, with grass evapotranspiration being more restricted by nitrogen at the beginning of the growing season and less restricted by nitrogen at the middle and end of the growing season. Nitrogen addition significantly increased aboveground biomass and had less effect on underground biomass.

Key words: nitrogen addition; measured evapotranspiration; biomass; Bayinbuluke

* 收稿日期: 2022-12-21

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金“不同氮素添加下巴音布鲁克草地蒸散发响应模式及预测”(2020D01C078); 新疆大学博士科研启动基金“巴音布鲁克草地蒸散发对氮沉降响应研究”(2020BS01); “天池博士”科研项目“氮素添加对草地生态系统的影响研究”(tcbs201917).

作者简介: 刘超(1999-), 男, 硕士生, 从事草地生态学的研究, E-mail: 2548952353@qq.com.

† 通讯作者: 刘俊杰(1988-), 男, 博士, 副教授, 主要从事草地生态学的研究, E-mail: liujunjie@xju.edu.cn.

0 引言

草地生态系统是陆地最重要且分布最广泛的生态系统类型之一,在生物多样性保护及维护生态系统稳定性方面扮演着重要角色^[1-3]. 频繁的人类活动和化石燃料的过度燃烧导致全球氮排放量逐年提升,对草地生态系统植物性状产生了不同程度的影响^[4-7]. 蒸散和生物量是重要的植物性状,也是生态系统可持续性、健康程度、功能结构以及多样性的关键指标^[8],氮沉降对草地蒸散和生物量的影响研究是草地生态学领域的重要科学问题.

蒸散 (Evapotranspiration, ET) 是决定草地植物生产力和竞争力的关键因素^[9],对于植被生长、径流量以及土壤含水量有重要影响^[10-11]. 张雪松等^[12]在对不同时间尺度冬小麦农田蒸散的影响因子研究中表明蒸散具有明显的日、季变化特征,其中小时尺度蒸散量变化特征与辐射、气温等气象要素的日变化趋势一致. 草地生物量 (Grassland Biomass) 是衡量草地生态系统生产力的重要指标^[13-14],是评估生态系统功能的重要依据. 植物功能群是对环境有相同响应和对主要生态系统过程有相似作用的植物组合,不同功能群的植物对气候及环境变化的响应存在较大差异^[15]. 众多研究表明,在受到氮素限制的草地生态系统中添加氮素能够促进光合作用,刺激植物生长,进而改变了生态系统的生物量和植被的蒸腾效应^[16]. Tian等^[17]在氮素添加对内蒙古草原生态系统水碳循环的影响研究中表明氮素添加能够显著提高植物生产力,而蒸散受到氮素添加的影响较小. Lenka等^[18]在氮素添加对农田生态系统的影响研究中同样表明氮素添加能够显著促进作物产量,但是短期氮素添加对蒸散具有显著影响. 草地蒸散量和生物量对氮沉降的响应研究因气候区、草地系统类型、施氮水平、施氮频次、氮肥类型和实验时间长短等不同而差别很大,目前并未得出统一结论^[19].

植物功能生态学将植物性状与生态系统过程相联系,为预测未来气候变化对生态系统的影响提供了思路. 长期以来,研究者将目光聚焦于植物功能性状的研究;近年来,同时整合地上地下主要性状受到越来越多的重视,以期对群落动态和结构对未来环境变化的响应增强解释力. 因此本文以巴音布鲁克高寒草地为对象,研究多次氮素添加条件下草地蒸散和草地群落生物量的变化关系,拟解决以下科学问题: 1) 不同氮素添加水平下高寒草地实测蒸散的差异; 2) 不同氮素添加水平下高寒草地地上地下生物量的变化趋势.

1 研究区概况

如图1所示,本研究区位于中国新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县境内巴音布鲁克草地生态系统研究站附近 (42° 88' N、83° 70' E). 该区属温带大陆性干旱气候,常年气候严寒湿润,春秋相连,雨雪较多. 年平均气温-4.6 °C,极端最高温度25.4 °C,极端最低温度-40.5 °C. 年降雨量216.8~316.8 mm,平均年降雨量约270 mm,其中60%~80%集中在生长季^[20]. 本研究以海拔2 400 m的高寒草地为研究对象,土壤类型为亚高山草甸土,该区地势平坦,草种分布均一,主要建群种为羊茅 (*Festuca ovina* L.)、冰草 (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.)、草地早熟禾 (*Poa pratensis* L.)、二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca* Linn.)、莓叶委陵菜 (*Potentilla fragarioides* L.)、斜茎黄耆 (*Astragalus adsurgens* Fisch. Bunge.) 等,盖度接近100%.

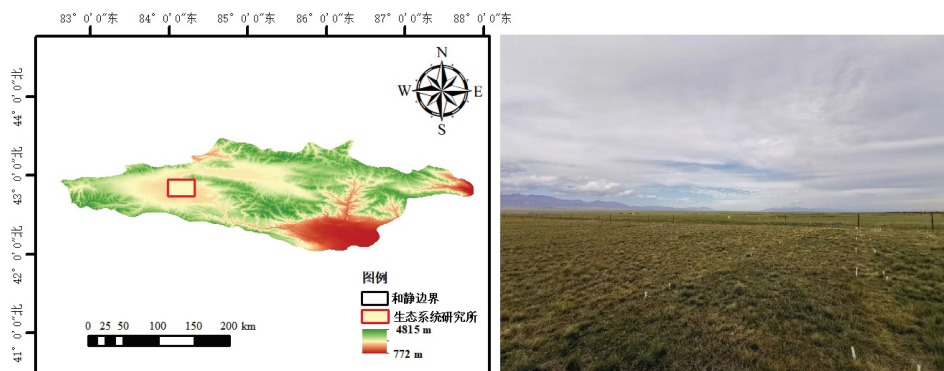


图 1 研究区概况

2 实验设计

采用随机区组实验设计,选用 NH_4NO_3 作为唯一氮素添加剂在巴音布鲁克高寒草地进行模拟氮添加实验,

共设置5个氮素添加水平(0、5、10、15、20 g·m⁻²),每个处理设置4个重复.实验样地共设20个3 m×3 m的样方(图2),样方之间设置0.5 m的缓冲带.氮素添加处理于2021年4月底开始,每个月施肥1次,将称好的氮素均分为3次(4月底、5月底、6月底)均匀地撒入对应的样方内.

2.1 蒸散量测定

实验开始前在每个样方内随机布设自制小型蒸渗仪.蒸渗仪由三部分组成,包括外桶、内桶和渗漏桶(外桶直径31 cm、高40 cm;内桶直径30 cm、高25 cm;渗漏桶直径12 cm、高10 cm),在桶的底部设计多个小孔以便多余水分下渗,上端设有提拉装置,以便观测时将内桶从外桶中提出.外桶下部装有渗漏桶用以收集渗漏水(研究区是由高寒和干旱条件下多年生草本植物构成的高寒草地生态系统,除降雨日外,蒸渗仪下渗水量为0).将原状土柱放置在内桶中,外桶埋入土壤中.埋设时保证外桶高出地面5~10 cm左右,以防地表径流进入.在生长季的不同时期,随机选取2~3个典型日(由于实验地属于山地小气候环境,降雨事件较多蒸散发无法进行逐日观测,故观测时间选取为每个月的典型日^[21-22])对草地蒸散发进行观测.利用电子台秤(精度为0.01 kg)进行草地蒸散发观测,观测时间为每天9时至21时,时间间隔为2 h,同时设置蒸发皿进行水面蒸散发观测.

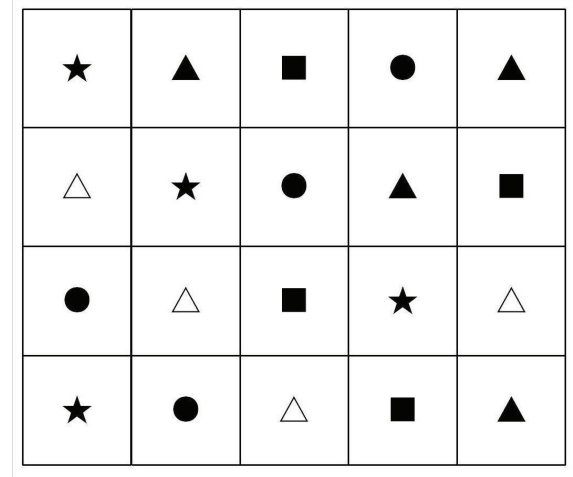


图2 实验设计示意图

注: △为0 g·m⁻²; ▲为5 g·m⁻²; ●为10 g·m⁻²; ■为15 g·m⁻²; ★为20 g·m⁻².

2.2 生物量测定

生长季末期将样方内的所有植物齐地收割,按物种分类并装入档案袋带回实验室,置于烘箱将其杀青并烘干(65℃、48 h)至恒重后称重,对所有物种的生物量累加计算单位面积内的群落生物量,按照禾本科、蔷薇科及豆科植物(样方内只有禾本科、蔷薇科及豆科植物,样方物种分布类型见表1)进行分类,对不同功能群地上生物量进行计算.在每个刚剪完地上植物的小样方内,利用根钻(直径100 mm、高20 cm)收集样方内不同土层的根系样品(0~10 cm和10~20 cm),每个小样方内随机取3钻将其混合,用自来水将植物根系冲洗干净并挑去混入的石子及腐殖质,按照不同土层厚度进行分装带回实验室,置于烘箱将其烘干(65℃、48 h)至恒重后称重.

表1 物种分布类型

| 科 | 物种 |
|-----|---|
| | 羊茅 (<i>Festuca ovina</i> L.) |
| | 草地早熟禾 (<i>Poa pratensis</i> L.) |
| 禾本科 | 冰草 (<i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertn.) |
| | 天山赖草 (<i>Leymus tianschanicus</i> Tzvelev) |
| | 溲草 (<i>Koeleria cristata</i> L. Pers.) |
| 蔷薇科 | 莓叶委陵菜 (<i>Potentilla fragarioides</i> L.) |
| | 二裂委陵菜 (<i>Potentilla bifurca</i> Linn.) |
| 豆科 | 斜茎黄耆 (<i>Astragalus adsurgens</i> Fisch. Bunge.) |
| | 小花棘豆 (<i>Oxytropis glabra</i> DC) |

3 数据处理

3.1 蒸散量计算方法

蒸散通过水量平衡方法计算(小时尺度蒸散量通过相邻2 h内蒸渗仪重量变化计算;日尺度蒸散通过相邻1 d内蒸渗仪重量变化计算),其计算公式为:

$$\Delta W = W_n - W_{n-1} = P - E - w \quad (1)$$

式中: ΔW 为蒸渗仪重量变化量; W_n 为某一时段或某一天测定的蒸渗仪的重量; W_{n-1} 为前一时段或前一天测定的蒸渗仪的重量; P 为降雨量; E 为蒸散量; w 为蒸渗仪下渗水量(所选取的典型日内渗漏桶下渗水量均为0).以上计量单位均为mm.

3.2 统计分析

使用Excel 2010对基础数据进行整理分析,采用IBM SPSS Statistics 24.0软件进行数据统计分析.使用Sigma Plot 12.5和Origin 2021软件进行图表绘制.

4 结果与分析

4.1 蒸散量变化特征

本文对2021年高寒草地生长季典型日小时尺度的蒸散量进行了日变化特征分析.如图3所示,不同生长时期水面蒸散量均显著高于草地蒸散量,生长季初期水面蒸散量在13时和19时达到峰值,而草地蒸散量则在15时和19时达到峰值;生长季中期水面蒸散量和草地蒸散量均在17时达到峰值(HN除外);生长季末期水面蒸散量和草地蒸散量均在15时达到峰值.因为水面蒸散是理想条件下的蒸散,蒸散量最大.同一天内水面蒸散和草地蒸散的蒸散量和两者之间的差值均在13时至17时达到最大,因为此时研究区气温、辐射等达到一天中的最值,表明水面蒸发能力和植被蒸腾作用均受到光照、温度等气象要素的影响,但水面蒸发能力受到气象要素影响更为显著^[21-23].

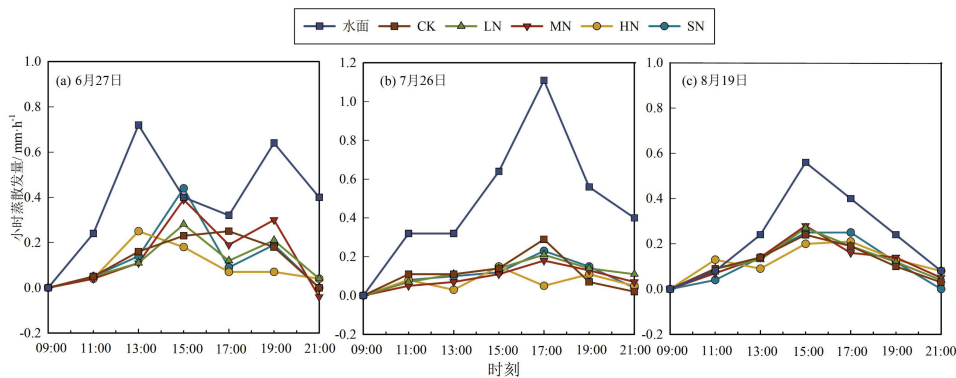


图3 不同氮素添加水平下蒸散发日变化特征

如图4所示,生长季初期氮素添加显著促进草地日蒸散量($P < 0.05$),日蒸散量随氮素添加水平提高先增加再降低,在MN处理时达到最大值,日蒸散量较CK处理提高了26.6%;生长季中期仅LN处理下草地日蒸散量显著高于其它处理,日蒸散量较CK处理提高了15.9%,其它氮素处理对草地日蒸散量的影响无明显差异($P > 0.05$);生长季末期氮素处理对草地日蒸散量的影响无明显差异.

相同氮素添加水平下草地蒸散量在不同生长时期也存在差异,CK处理草地日蒸散量在生长季内呈逐渐增加趋势,LN处理草地日蒸散量在生长季内呈先增加再降低趋势,MN、HN和SN处理草地日蒸散量在生长季内呈先降低再增加趋势.

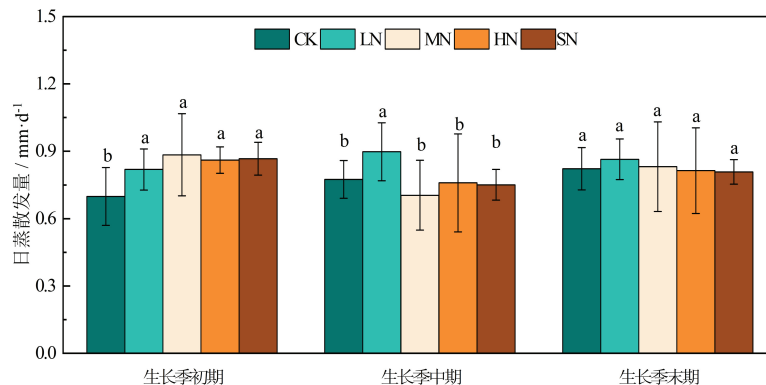


图4 不同氮素添加水平下蒸散发生长季变化特征

4.2 生物量变化特征

如图5所示,不同氮素添加水平下群落总生物量的变化无明显差异($P > 0.05$),群落总生物量在MN处理时达到最大值.氮素添加(LN处理除外)显著提高了地上生物量($P < 0.05$),SN处理群落地上生物量较CK处理

提高了51.8%。表层土壤(0~10 cm)地下生物量显著高于深层土壤(10~20 cm)地下生物量,0~10 cm和10~20 cm地下生物量在不同氮素添加水平下均无显著差异($P>0.05$)。氮素添加促进了群落地上地下部分的生长,说明该生态系统存在一定程度的氮素限制,氮素添加后土壤中可利用氮素含量提高使得植物快速生长。

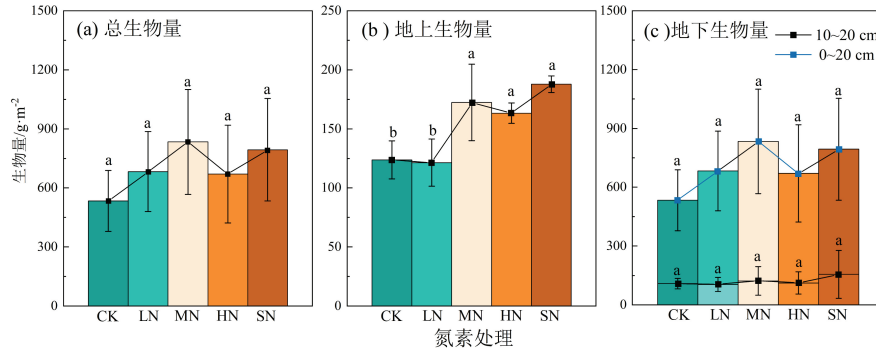


图5 氮素添加对地上地下生物量的影响

为分析地上生物量变化的差异来源,进一步按照不同功能群对地上生物量进行划分.如图6所示,禾本科和豆科植物地上生物量均随氮素添加水平增加而增加,蔷薇科地上生物量随氮素添加水平增加呈先增加后降低趋势.从群落组成上看,禾本科植物地上生物量显著高于蔷薇科和豆科,且仅禾本科植物的地上生物量受氮素添加的影响显著.

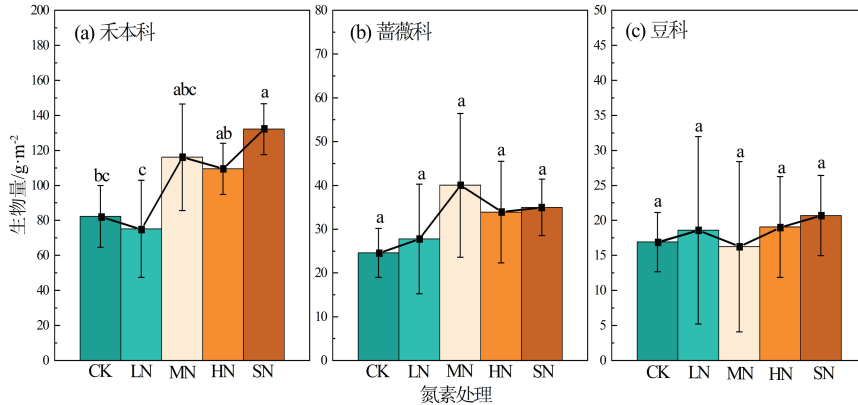


图6 氮素添加对不同功能群地上生物量的影响

5 讨论

不同氮素添加水平下草地蒸散量日变化特征在同一生长时期差异性较小,主要表现为蒸散量峰值的大小和变化趋势的一致性;相同氮素添加水平下蒸散量日变化特征在不同生长时期存在较大差异,主要表现为蒸散量峰值出现的时间前后和大小的差异性.不同氮素添加水平下草地日蒸散量仅在生长季初期有差异,在生长季中期和末期无明显差异.这是由于不同生长时期植物的需水量、土壤含水量差异以及气象要素的变化规律不同共同导致的^[24-25].生长季初期植物生长受土壤水分限制作用较小,故而氮素添加显著促进植物生长和植被蒸腾^[22].生长季中期气温达到一年中的最大值,蒸发量达到一年中的最值,但土壤水分较低,植物生长受水分限制作用显著,土壤蒸发和植被蒸腾作用均受抑制^[26].生长季末期气温开始降低,日照时数减少,土壤含水量也较低,氮素添加对草地日蒸散量的影响均无显著差异^[27].水面蒸散量和草地蒸散量的差异侧面印证了土壤含水量状况,生长季中期水面蒸散量显著高于生长季初期和末期的水面蒸散量,但是草地蒸散量的差值较小,表明生长季中期和末期土壤含水量较低,土壤蒸发能力减弱.

草地生物量分为地上生物量(Aboveground Biomass, AGB)和地下生物量(Underground Biomass, UGB),地上生物量直观地反映了植物生长状况,是评估草地生态系统功能优劣性的重要依据^[28];地下生物量是土壤有机碳库的主要来源,对于研究碳蓄积和了解植物生理功能都有重要的指示作用^[29].氮素添加对地上和地下生物量的增长均有促进作用,但地上生物量的变化更为显著,因为施肥增加了土壤中可利用氮,植物光合速率增加,

光合产物也增加^[30]。但是光合产物量的增加并不直接代表地下生物量的绝对增加,目前地上地下生物量分配机制存在两种假说:等速生长假说和最优分配理论^[30-31]。众多学者研究表明氮素添加后地上地下生物量并不是等量增加的,贺星等^[32]在内蒙古温带草原氮素添加实验中发现地上生物量显著增加,地下生物量无明显变化,这与本文研究结果相一致。相同氮素添加水平下地上生物量的变化显著高于地下生物量。因此,本文结果更加符合最优分配理论,即施肥后植物地下部分受到氮素限制得到缓解,地上部分对光的竞争力增强,植物将更多的光合产物分配到地上部分。氮素添加对地下生物量促进作用并不显著,可能是由于实验时间较短和施肥量较低共同导致的,今后仍需进行长期实验加以验证,以求得到更准确的响应规律。随氮素添加水平增加,地上生物量在 $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 时达到最值,表明该地区植物生长受氮素限制较强。

氮素添加对三个功能群植物(禾本科、蔷薇科、豆科)的地上生物量均有促进作用,但仅在禾本科植物中存在显著差异:一是由于禾本科植物的根系为须根系,施氮促进作物养分吸收提高了植物叶氮含量,进而提高了禾本科植物的光合效率;二是禾本科植物具有较高的水分利用效率,氮素添加后禾本科植物快速生长增加了对蔷薇科和豆科植物的光照限制^[33-34]。

6 结论

短期氮素添加对草地蒸散量日变化特征无显著影响,对生长季初期草地日蒸散量影响显著,对生长季中期和末期的草地日蒸散量影响较小,表明研究区草地蒸散受到土壤水分、气象要素影响显著,受到氮素限制作用较小。短期氮素添加通过显著增加地上生物量进而增加群落总生物量。随氮素添加梯度增加,地上生物量逐渐增加且没有出现下降趋势,表明研究区植物生长受氮素限制程度较高, $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 的氮素添加并未达到阈值。本文分析不同氮素添加水平下草地蒸散量和地上地下生物量的响应机制,对了解和预测未来氮沉降背景下高寒草地生态系统动态演变机制具有重要意义,为高寒草地的可持续发展提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] DU L T, GONG F, ZENG Y J, et al. Carbon use efficiency of terrestrial ecosystems in desert/grassland biome transition zone: a case in Ningxia province, northwest China[J]. Ecological Indicators, 2021, 120: 106971.
- [2] DABA M H, DEJENE S W. The role of biodiversity and ecosystem services in carbon sequestration and its implication for climate change mitigation[J]. Environmental Sciences and Natural Resources, 2018, 11(2): 1-10.
- [3] ZHENG Z R, FENG C Y, YE S X, et al. Ecological pressures on grassland ecosystems and their conservation strategies in Northern China[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 2015, 13(1): 87-91.
- [4] PLOUGH L W, SMITH N G, SCHUSTER M J, et al. Increased rainfall variability and nitrogen deposition accelerate succession along a common sere[J]. Ecosphere, 2021, 12(1): e03313.
- [5] ZHANG H X, YUAN F H, WU J B, et al. Responses of functional traits to seven-year nitrogen addition in two tree species: coordination of hydraulics, gas exchange and carbon reserves[J]. Tree Physiology, 2021, 41(2): 190-205.
- [6] ZOU Y X, LI B Y, PEÑUELAS J, et al. Response of functional traits in *Machilus pauhoi* to nitrogen addition is influenced by differences of provenances[J]. Forest Ecology and Management, 2022, 513: 120207.
- [7] JIA X T, TAO D X, KE Y G, et al. Dominant species control effects of nitrogen addition on ecosystem stability[J]. Science of the Total Environment, 2022, 838(3): 156060.
- [8] 王鹤松, 何敏, 闫薇, 等. 基于遥感总初级生产力的天山-塔里木绿洲地区生态系统脆弱性研究[J]. 生态学报, 2021, 41(24): 9729-9737.
- [9] SHAO J J, ZHOU X H, GROENIGEN K J V, et al. Warming effects on grassland productivity depend on plant diversity[J]. Global Ecology and Biogeography, 2022, 31(3): 588-598.
- [10] ZHU G F, YONG L L, ZHAO X, et al. Evaporation, infiltration and storage of soil water in different vegetation zones in the Qilian Mountains: a stable isotope perspective[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2022, 26(14): 3771-3784.
- [11] DAI H Y, WANG H M. Influence of rainfall events on soil moisture in a typical steppe of Xilingol[J]. Physics and Chemistry of the Earth: Parts A/B/C, 2021, 121: 102964.
- [12] 张雪松, 闫艺兰, 胡正华. 不同时间尺度农田蒸散影响因子的通径分析[J]. 中国农业气象, 2017, 38(4): 201-210.
- [13] XU K X, SU Y J, LIU J, et al. Estimation of degraded grassland aboveground biomass using machine learning methods from terrestrial laser scanning data[J]. Ecological Indicators, 2020, 108: 105747.