

短花针茅荒漠草原植物群落组成对模拟降水的响应

王悦骅,王忠武*,沈婷婷,韩国栋

(内蒙古农业大学草原与资源环境学院,内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:为了阐明降水变化对荒漠草原植物群落组成的影响,在短花针茅荒漠草原进行了模拟增加降水和减少降水的试验。试验有4种处理,分别是减少50%自然降水量(P1)、自然降水量(P2)、增加50%自然降水量(P3)、增加100%自然降水量(P4)。结果表明:(1)增加50%降水量对土壤含水量没有显著影响,增加100%降水量时土壤含水量明显增加,减少50%降水量使土壤含水量显著降低($P < 0.05$);(2)群落物种丰富度和多样性指数没有随着降水增加而增加,但是群落内部的组成却发生了变化,多年生杂类草和一、二年生草本的比例显著增加($P < 0.05$),而减少降水使得一、二年生草本显著减少($P < 0.05$)。试验结果有助于更好地预测植物群落组成对降水变化的响应,制定合理的草原保护措施来提高草原的生态系统稳定性,从而应对降水变化的影响。

关键词:荒漠草原;物种丰富度;模拟降水

中图分类号:S812

文献标志码:A

文章编号:1009-5500(2022)05-0114-06

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2022.05.014



草地是世界上最大的陆地生态系统之一,约占世界陆地面积的40%^[1],世界上的草原主要有5大类,分别是北美草原、南美草原、非洲草原、澳洲草原以及欧亚大陆草原。荒漠草原是欧亚大陆草原最独特的草地类型^[2-3],它是中亚所特有的强旱生性草地类型^[4],与其他草原相比稳定性较低^[5],生态系统也比较脆弱^[6],因此研究荒漠草原具有很重要的意义。

在过去的一个世纪里,中亚经历了复杂的降水变化模式,未来整个中亚地区的干旱预计会增加,夏季和秋季气温上升会很高,同时降水量会减少^[7]。由于

气候变暖导致的全球降水格局发生了改变^[8],将导致极端降水事件增加^[9]。根据气候变化模型预测,许多地区年降水量将会增加,降水状况会进一步发生变化^[10]。Zhang等^[11]研究发现,北半球中纬度地区降水量将会增加,而在低纬度地区,年均降水量已经达到了高信度^[8]。在我国,由于降水格局的变化已经导致干旱的地方越来越干旱,而湿润的地方越来越湿润^[12],2001年以后中国南北方“南涝北旱”的趋势正在加剧^[13]。

极端降水对荒漠草原植物多样性的影响最为明显,其变化也相对复杂^[14],在半干旱地区,水是影响植物生长的最重要的因素,增加降水可以缓解干旱,促进植物的光合作用和生长,减少降水将抑制植物的生长^[15],年降水量的减少也会造成物种丰富度的损失^[19]。研究表明,在干旱和半干旱地区,降水量与植物多样性之间存在正相关关系,植物多样性会随着降水量的增加而增加^[16]。极端降水可以影响植物物种多样性、植物生长,甚至导致植物死亡^[17]。从全球尺度来看,气候温暖潮湿的地区比气候寒冷或干旱的地区拥有较多的物种^[12]。目前全球降水变化幅度的增

收稿日期:2021-09-29; **修回日期:**2021-10-26

基金项目:内蒙古自治区科技成果转化项目(2020CG0013);内蒙古自治区重大科技专项(ZDZX2018020);国家自然科学基金(31560140,31760143);国家重点研发计划项目(2016YFC0500504)

作者简介:王悦骅(1992-),男,内蒙古赤峰人,博士研究生。E-mail:yuehuawang1992@163.com

*通信作者。

E-mail:zhongwuwang1979@163.com

加正在改变生态系统的功能,导致生物多样性丧失和物种组成发生变化^[18]。

Chen 等^[20]在中国东北半干旱温带草原连续 5 年的研究发现,降水量的增加使群落物种丰富度提高了 16.8%,Yang 等^[21]在内蒙古典型草原通过研究水分添加控制实验也证明了水分添加能够增加群落物种丰富度。除此之外,降水量增加还能使植物群落组成发生改变^[22],Bai 等^[23]发现随着降水量的增加植物关键功能群发生了明显的改变。基于此,我们在受水分限制的草地生态系统中开展了模拟降水量变化的试验,旨在阐明降水量变化对短花针茅荒漠草原植物群落组成的影响,这对于预测降水量变化对生态系统功能的影响是至关重要的。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验区位于内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗短花针茅荒漠草原,地理坐标 N 41°47'17", E 111°53'46",海拔高度 1 450 m,该地气候属于典型的大陆性季风气候,春季风大,夏季炎热,多年平均降水量为 220 mm,平均气温 3.5℃。2016 年降水如图 1 所示,降水主要集中在 5~10 月。该试验区的建群种是短花针茅(*Stipa breviflora*),优势种是无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)、冷蒿(*Artemisia frigida*),主要的伴生种包括阿尔泰狗娃花(*Heteroppappus altaicus*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、栉叶蒿(*Neopallasia pectinate*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、冰草(*Agropyron cristatum*)和羊草(*Leymus chinensis*)。土壤类型为淡栗钙土,具有缺磷少氮钾有余的特点。

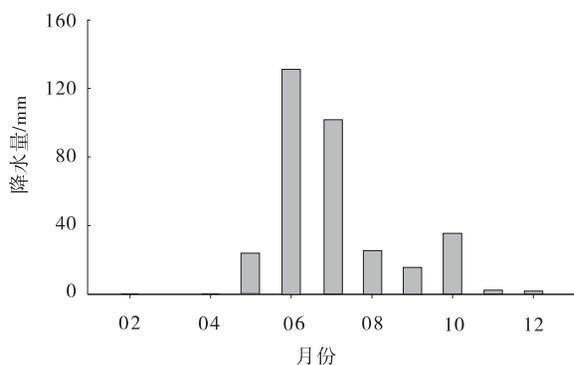


图 1 试验区降水

Fig. 1 The precipitation of test area

1.2 试验设计

模拟降水试验平台于 2016 年搭建在长期不受任何家畜、大型动物干扰的样地内,选择植被均匀的地段设置 4 个 4 m×4 m 固定样地进行降水处理,降水梯度分别为:减少自然降水量的 50%(P1)、自然降水量(P2)、增加自然降水量的 50%(P3)、增加自然降水量的 100%(P4),每个处理有 3 个重复。增加降水量依据是根据样地的气象站记录的月降水量值,在 5—10 月的月中和月末计算增加 50% 和 100% 样地内需要增加的降水量,月中、月末采用人工拉水的方式并用 6 L 喷壶喷洒到对应的样地内。减少 50% 降水处理采用自制减雨棚来实现,减少的降水通过水槽流到样地外的储水桶,用于增水。将防锈铁皮埋在不同模拟降水样地四周,铁皮埋入地下 40 cm 深,且露出地面 10 cm 高,来防止土壤表层水径向流动。在每个降水处理区随机布置 1 m×1 m 的永久性植物群落特征监测样方,用来观察并记录草地植物群落数量特征。

1.3 试验方法

在 2016 年生长季 5—10 月,对模拟降水处理的永久样方内的植物进行连续监测,观察的指标主要是物种丰富度和密度,每月在月中观察 1 次。

土壤含水量测定:采用 PR2 (DELTA-T DEVICES LTD,英国)土壤水分仪器进行测定,分别测 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土层土壤含水量。测定的时间在 2016 年每月月中、月末增水后 3~4 天,待土壤水分稳定之后进行测量。

1.4 数据分析

多样性指数采用 R 3.6.2 软件 Vegan 包计算,以年份和降水处理为固定效应,重复为随机效应,采用 SAS 9.1 进行单因素方差分析(One-way ANOVA),对土壤含水量、群落多样性指数及功能群密度比例进行多重比较并进行差异性分析,并在 0.05 水平下进行显著性检验,所有图采用 Sigmplo10.0 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 模拟降水对土壤含水量的影响

土壤含水量随着降水量的增加而增加,增加 100% 降水量处理下的土壤含水量分别显著高于减少 50% 降水量、自然降水量、增加 50% 降水量 91%、34.5%、27.9%($P < 0.05$)。自然降水量与增加 50%

降水量的土壤含水量显著高于减少50%降水量 ($P < 0.05$),但二者之间没有显著的差异。

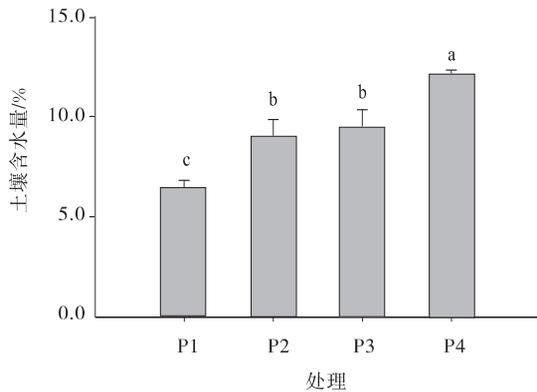


图2 模拟降水量下的土壤含水量

Fig. 2 Soil water contents under simulated precipitations

注:不同字母表示有显著差异 ($P < 0.05$),下同

2.2 模拟降水对群落物种丰富度和多样性指数的影响

增加50%降水量和增加100%降水量没有增加群落的物种丰富度,而减少50%降水量使物种丰富度降低了24.2% ($P < 0.05$) (图1)。

2.3 模拟降水对功能群密度的影响

将试验区出现的植物按照生活型划分为4个功能群,分别是多年生禾草(Perennial grasses, PG)、多年生杂类草(Perennial forbs, PF)、一、二年生草本(Annual

and biennials, AB)以及灌木和小半灌木(Shrubs and semi-shrubs, SS)等功能群。在减少50%降水量处理下,多年生禾草和多年生杂类草的比例显著高于一、二年生草本和灌木、半灌木的比例 ($P < 0.05$) (表1)。自然降水量处理下,一、二年生草本的比例最多,显著高于其他3种功能群的比例 ($P < 0.05$),灌木的比例最少。增加50%降水量多年生杂类草的比例显著高于多年生禾草和灌木、小半灌木的比例 ($P < 0.05$),与一、二年生草本的比例没有显著的差异,多年生禾草的比例显著高于灌木和小半灌木 ($P < 0.05$)。增加100%降水量处理一、二年生草本的比例最多,虽然多年生杂类草的比例仅次于一年、二年生草本,但二者的比例没有显著的差异,二者的比例显著高于多年生禾草和灌木和小半灌木的比例 ($P < 0.05$)。以上可以得知,在减少降水量处理中,多年生禾草和多年生杂类草的比例保持最高,一、二年生草本和灌木和小半灌木受到水分的胁迫导致比例最少,而随着降水量的增加,群落内多年生杂类草和一年、二年生草本的比例都相应的增加,由于物种之间的相互作用导致了群落内的多年生禾草的比例出现了下降。

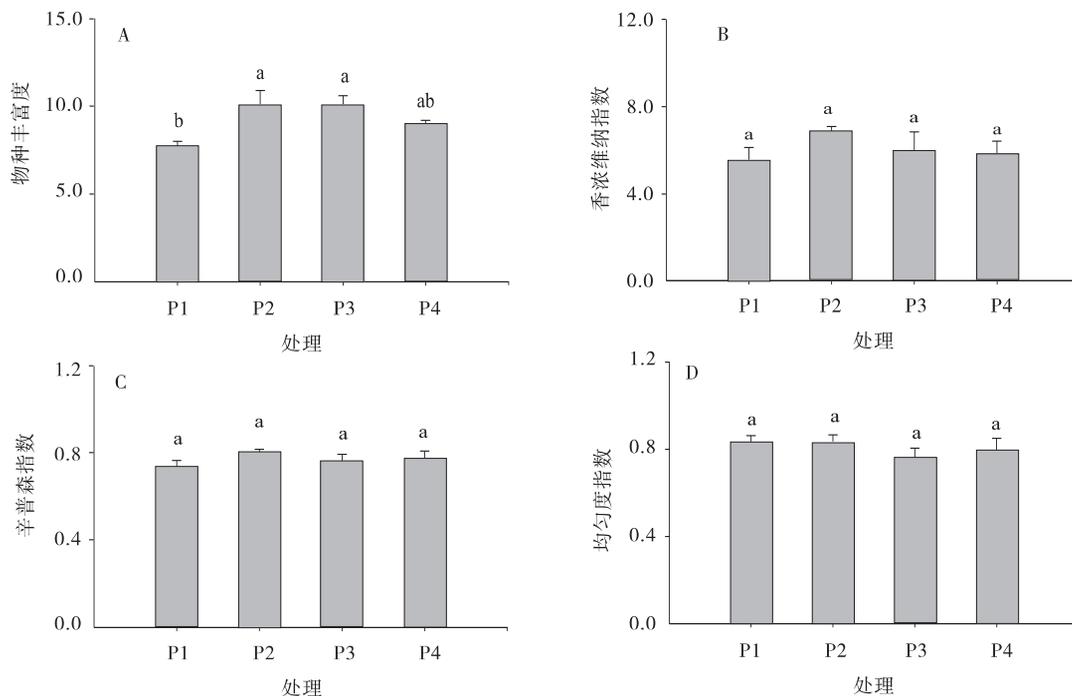


图3 模拟降水下的植物物种多样性指数

Fig. 3 Plant species diversity index under simulated precipitations

表 1 模拟降水下的植物功能群密度比例

Table 1 The ratios of plant density under simulated precipitations

功能群	P1	P2	P3	P4
PG	0.42±0.09 ^a	0.30±0.07 ^b	0.24±0.22 ^b	0.18±0.05 ^b
PF	0.42±0.06 ^a	0.19±0.04 ^b	0.43±0.04 ^a	0.31±0.07 ^{ab}
AB	0.11±0.02 ^b	0.50±0.04 ^a	0.31±0.04 ^{ab}	0.50±0.04 ^a
SS	0.05±0.02 ^b	0.01±0.01 ^c	0.02±0.02 ^c	0.01±0.01 ^c

3 讨论

在干旱和半干旱地区,土壤中的水分主要来自降水^[24],本试验区年平均降水量为 220 mm,整个试验期间减少降水量可以使土壤含水量明显的降低,增加 50% 降水量并没有使土壤含水量发生变化,原因可能是生长季降水量为 332.9 mm,增加 50% 降水量降水量增加了 166.5 mm,荒漠草原夏季炎热蒸发量较大,所以增加少量的降水并不会使土壤含水量发生明显的变化,而当增加 100% 降水量时,土壤含水量才发生明显的变化。

2 种增加降水量处理对物种丰富度以及 3 种多样性指数都没有影响,这一结果与 Su 等^[10]在黄土高原的结果以及 Jia 等^[15]在古尔班通古特沙漠 5 年模拟增加降水量的研究一致。这主要有以下几个原因:首先,增加降水量增加了土壤水分的有效性,这就给植物生存提供了条件,当不同的物种或功能群体争夺相同的有限资源时,生态系统或群落水平对气候变化的反应可能比植物物种水平的反应变化小,所以群落水平上表现出增加降水量没有增加物种丰富度,而物种水平上多年生杂类草和一、二年生草本随着降水量的增加而增加(表 1)。当草原发生干旱时,优势草种往往会死亡,降低生产力,并在草地上打开缺口,这就为其他物种尤其是一、二年生植物和多年生杂类草生存提供了机会,其频率和数量开始增加^[25],导致物种之间的竞争加剧^[15],竞争能力弱的物种在光源、水分、养分利用上被限制,最后被灭绝淘汰。有研究表明,多年生杂类草对全球变化的响应最为敏感,并且物种丰富度的变化主要是由杂类草所引起^[26],多年生杂类草对环境变化十分敏感,会因干旱而减少。其次,降水量过多会导致植物根系产生厌氧的环境,植物呼吸减弱,积累的能量就会越来越少,根给植物提供的营养物质

以及给循环提供的能量就不充分,这将影响到植物的生长发育,所以增加过多的降水量也不会使植物明显增加。最后,还可能是由于植物对于水分胁迫已经产生了生理耐受性,植物对短期内增加降水量产生的响应不敏感^[27]。

Tilman 等^[28]在 4 个不同草地的研究发现,干旱导致了当地物种丰富度平均下降了 37%,并导致了一年生物种减少,而在我们的研究中也发现了减少 50% 降水量减少了物种丰富度,这与白春利^[29]、郭亚飞等^[30]研究一致。本研究发现,一、二年生草本的比例在减水处理下明显减少(表 1),这可能是因为极端环境条件会导致稀有物种的局部灭绝,从而限制物种的丰富度^[31]。除此之外,降水量是影响干旱地区植物生长的最关键因素^[32],减少降水量使土壤水分减少了 29.6% (图 2),导致植物受到严重的水分胁迫,影响了植物的生长。减少降水量还能导致根的死亡率增加^[33],进而影响到植物根际微生物的活动和功能,植物对水分、养分的吸收、运输减缓^[33],对植物的生长产生负面影响,不利于植物的生存和繁殖。极端干旱可能会极大地改变温度,从而增加温度可变性,物种丰富度因此会发生改变^[18]。

4 结论

短期内降水量增加不会影响植物物种丰富度和多样性指数,但是改变了群落的组成,使得多年生杂类草和一、二年生草本增加。

参考文献:

- [1] FAN J L, JIN H, ZHANG C, *et al.* Grazing intensity induced alternations of soil microbial community composition in aggregates drive soil organic carbon turnover in a desert steppe [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 313: 107387.

- [2] 宋晓辉,王悦华,王占文,等. 不同载畜率和模拟降水对短花针茅荒漠草原生态系统碳交换的影响[J]. 草原与草坪, 2019,39(6):89-93.
- [3] 韩梦琪,王忠武,靳宇曦,等. 短花针茅荒漠草原物种多样性及生产力对长期不同放牧强度的响应[J]. 西北植物学报, 2017,37(11): 2273-2281.
- [4] 陈涛,柳小妮,辛晓平,等. 呼伦贝尔羊草草甸草原植物多样性与退化程度关系[J]. 甘肃农业大学学报, 2008,42(5): 135-141.
- [5] 李德新. 短花针茅荒漠草原动态规律及其生态稳定性[J]. 中国草地, 1990,4:1-5.
- [6] 韩国栋,焦树英,毕力格图,等. 短花针茅草原不同载畜率对植物多样性和草地生产力的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 182-188.
- [7] LIOUBIMTSEVA E, HENE BRY G M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations[J]. Journal of Arid Environments, 2009,73(11): 963-977.
- [8] ALLEN M R, INGRAM W J. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle[J]. Nature, 2002,419(7417):224-233.
- [9] LUO M, LIU T, FRANKL A, *et al.* Defining spatiotemporal characteristics of climate change trends from down-scaled GCMs ensembles: How climate change reacts in Xinjiang, China [J]. International Journal of Climatology, 2018,38(5): 2538-2553.
- [10] JIA Y, SUN Y, ZHANG T, *et al.* Elevated precipitation alters the community structure of spring ephemerals by changing dominant species density in Central Asia [J]. Ecology and Evolution, 2020,10(4): 2196-2212.
- [11] ZHANG X, ZWIERS F W, HEGERL G C, *et al.* Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends[J]. Nature, 2007,448(7152): 461-465.
- [12] HARRISON S, SPASOJEVIC M J, LI D. Climate and plant community diversity in space and time[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020,117(9): 4464-4470.
- [13] 马柱国,符淙斌,杨庆,等. 关于我国北方干旱化及其转折性变化[J]. 大气科学, 2018,42(4): 951-961.
- [14] 赵新风,徐海量,张鹏,等. 养分与水分添加对荒漠草地植物群落结构和物种多样性的影响[J]. 植物生态学报, 2014,38(2):167-177.
- [15] 汤英,丁生翔,徐利岗,等. 宁夏典型牧区盐池县降水及可利用降水多时间尺度变化特征分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2021,56(5):101-109.
- [16] MIRANDS J D, ARMAS C, Padilla F M, *et al.* Effects on semi-arid plant communities of the Southeast Iberian [J]. Journal of Arid Environments, 2011,75(12):1302-1309.
- [17] WANG S Z, PAN K W, TARIQ A, *et al.* Combined effects of cropping types and simulated extreme precipitation on the community composition and diversity of soil macrofauna in the eastern Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Soils and Sediments, 2018,18(11):3215-3227.
- [18] ZHANG Y H, LOREAU M, HE N P, *et al.* Climate variability decreases species richness and community stability in a temperate grassland [J]. Oecologia, 2018, 188(1): 183-192.
- [19] KENNEDY A D, BIGGS H, Zambatis N. Relationship between grass species richness and ecosystem stability in Kruger National Park [J]. African Journal of Ecology, 2003,41(2):131-40.
- [20] CHEN H X, MA L N, XIN X P, *et al.* Plant community responses to increased precipitation and belowground litter addition: Evidence from a 5-year semiarid grassland experiment [J]. Ecology and Evolution, 2018, 8(9): 4587-4597.
- [21] YANG H J, LI Y, WU M Y, *et al.* Plant community responses to nitrogen addition and increased precipitation: the importance of water availability and species traits [J]. Global Change Biology, 2011,17(9):2936-2944.
- [22] 王冰. 不同放牧强度下水氮添加对典型草原土壤微食物网和功能的影响[D]. 北京,中国科学院大学, 2020.
- [23] BAI Y F, WU J G, XING Q, *et al.* Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia plateau [J]. Ecology, 2008,89(8):2140-2153.
- [24] 张钦弟,卫伟,陈利顶,等. 黄土高原草地土壤水分和物种多样性沿降水梯度的分布格局[J]. 自然资源学报, 2018,33(8):1351-1362.
- [25] MORECROFT M D, MASTERS G J, BROWN V K, *et al.* Changing precipitation patterns alter plant community dynamics and succession in an ex-arable grassland [J]. Functional Ecology, 2004,18(5):648-55.
- [26] ZA VALETA E S, SHAW M R, CHIARIELLO N R, *et al.* Additive effects of simulated climate changes, elevated

- CO₂, and nitrogen deposition on grassland diversity [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(13): 7650–7654.
- [27] 孙岩, 何明珠, 王立. 降水控制对荒漠植物群落物种多样性和生物量的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2425–2433.
- [28] TILMAN D, EL HADDI A. Drought and biodiversity in Grasslands[J]. Oecologia, 1992, 89(2): 257–264.
- [29] 白春利, 阿拉塔, 陈海军, 等. 氮素和水分添加对短花针茅荒漠草原植物群落特征的影响[J]. 中国草地学报, 2013, 35(2): 69–75.
- [30] 郭亚飞, 张丽华, 赵锐锋, 等. 月尺度视角下荒漠草原植物群落特征对降水变化的响应[J]. 生态学杂志, 2021, 40(7): 1895–1906.
- [31] ZEPPEL M J B, WILKS J V, LEWIS J D. Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants [J]. Biogeosciences, 2014, 11 (11) : 3083–3093.
- [32] 王悦骅, 宋晓辉, 王占文, 等. 短花针茅荒漠草原植物地上地下生物量对载畜率和降水的响应[J]. 西北植物学报, 2018, 38(8): 1526–1533.
- [33] CLARK J S, CAMPBELL J H, GRIZZLE H, *et al.* Soil microbial community response to drought and precipitation variability in the Chihuahuan Desert [J]. Microbial Ecology, 2009, 57(2): 248–260.

Response of plant community composition to simulated precipitation in *Stipa breviflora* desert steppe

WANG Yue-hua, WANG Zhong-wu*, SHEN Ting-ting, HAN Guo-dong
(College of Grassland Resources and Environment Science, Inner Mongolia Agricultural University,
Hohhot 010010, China)

Abstract: In order to understand the effects of precipitation changes on plant community composition in desert steppe, an experiment was conducted to simulate increased precipitation and decreased precipitation in *Stipa breviflora* desert steppe. The experiment was divided into four treatments: 50% decrease in precipitation (P1), natural precipitation (P2), 50% increase in precipitation (P3) and 100% increase in precipitation. The results were as follows: (1) The 50% increase in precipitation had no effect on soil water content ($P > 0.05$), but the 100% increase in precipitation significantly increased soil water content ($P < 0.05$), while the 50% decrease in precipitation significantly reduced soil water content; (2) The species richness and diversity index of the plant community did not increase with the increase of precipitation, but the composition of the community changed. The proportion of perennial forbs grasses and annuals and biennials increased significantly ($P < 0.05$), and the proportion of annuals and biennials decreased significantly with the decrease of precipitation. This discovery helps us to better predict the response of plant community composition to precipitation change, formulate reasonable grassland protection measures, and improve the stability of grassland ecosystem, so as to cope with the influence of global climate change.

Key words: desert steppe; plant richness; simulated precipitation