

增加降水对荒漠短命植物当年牧草生长及群落结构的影响

孙 羽¹, 张 涛², 田长彦², 李晓林¹, 冯 固¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院教育部土壤-植物相互作用重点开放实验室, 北京 100094;

2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过模拟降水增加试验研究了古尔班通古特荒漠常见短命植物盖度、密度及产量对水分输入量增加的响应。结果表明:尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴、角果藜、琉苞菊、条叶庭芥及囊果苔草 6 种牧草生物量总和占总生物量的 60% 以上, 是荒漠草原的优势牧草植物; 供水量增加显著促进了角果藜、尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴、条叶庭芥和琉苞菊 5 种牧草植物的个体生长; 在自然降水的基础上, 增加 40mm 和 80mm 供水使这 5 种植物生物产量比对照增加 86% ~ 230%。供水增加后, 6 种重要牧草对整个群落的生物贡献比例发生很大变化, 只有角果藜和尖喙牻牛儿苗的贡献比例规律性增加, 分别比对照增加了 58% 和 11%, 表明 2 种植物对供水增加的环境变化适应能力强; 供水量增加促进了弯果胡芦巴、尖喙牻牛儿苗和角果藜 3 种植物 N、P 和 K 养分的吸收量; 与此同时, 供水量增加也显著提高了荒漠短命植物的密度和盖度。在降水增加的背景下, 古尔班通古特沙漠南缘荒漠短命植物群落结构发生改变, 植被盖度和群落净初级生产力提高, 这对于防风固沙、稳定沙面, 增加荒漠草原载畜能力有着积极的意义。

关键词:古尔班通古特沙漠; 短命植物; 降水; 牧草; 生长

文章编号: 1000-0933 (2009) 04-1859-10 中图分类号: S944 文献标识码: A

Response of grass growth and productivity to enhanced water input in ephemeral desert grassland in Gurbantunggut desert

SUN Yu¹, ZHANG Tao², TIAN Chang-Yan², LI Xiao-Lin¹, FENG Gu¹

1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China

2 Xinjiang Institute Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1859 ~ 1868.

Abstract: Spring ephemerals form significant plant synusia in the Gurbantunggut desert during April and May and are a crucial forage resource for livestock in early spring. In recent years global climate change has caused warming, increasing rainfall and flooding from snowmelt in Gurbantunggut desert. However, little is known about how the enhanced water input may influence the growth of individual plant species and the productivity of plant communities in desert grassland. A randomized block designed field trial, which contained three watering treatments (0, 40 and 80 mm), was conducted in the Gurbantunggut desert, Xinjiang, northwestern China. The sum of the biomass of six dominant ephemeral species contributed more than 60 percent of the total above-ground biomass of the synusia. Five of the six dominant species (*Erodium oxyrrhynchum*, *Trigonella arcuata*, *Alyssum linifolium*, *Ceratocarpus arenarius* and *Hyalea pulchella*) showed a significant positive growth response with increasing water input. Compared to the control, the above-ground biomass productivity of the five plant species watered with 40 or 80 mm was increased by 86%—230%. The composition (%) of total above-ground

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30770341); 新疆自治区攻关资助项目(200533124)

收稿日期:2007-12-26; **修订日期:**2008-04-23

致谢:感谢中国科学院新疆生态与地理研究所张立运研究员在植物调查中给予的帮助, 感谢新疆农业科学院白灯莎研究员在试验实施及植物养分测定方面给予的帮助。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Fenggu@cau.edu.cn

biomass of individual species was significantly changed by enhanced water input; values for *C. arenarius* and *E. oxyrrhynchum* increased more than for the other species. This result indicated that these two species would potentially become even more dominant in the spring ephemeral synusia following the trend of enhanced precipitation. At the same time, plant density and coverage of the ephemerals were also significantly increased by enhanced water input. Such results implied that the role of ephemerals in stabilizing sand dunes may be strengthened by enhanced water input. It is concluded that enhanced precipitation could both increase the potential livestock carrying capacity of the desert grassland and promote restoration of the desert ecosystem.

Key Words: Gurbantungut desert; ephemerals; precipitation; grazing; growth

古尔班通古特沙漠是我国第二大沙漠,也是沙尘暴的重要策源地之一。在这一沙漠生态系统中生长着一类特殊的植物类型——短命植物,这类植物生育期短暂,在春末夏初迅速完成其生活周期^[1,2]。短命植物有着极为重要的群落学意义,一方面它具有稳定沙丘、降低沙尘暴的功能^[3,4];另一方面,短命植物是构成荒漠草原的主要成分^[1],在饲草青黄不接的春季能够为牲畜提供优良饲草。由于常年的过牧、垦荒和滥采乱挖、石油开发等行为,短命植物栖息地和资源遭到极大破坏,荒漠草原的生产力显著下降^[5,6]。前人的调查表明,短命植物群落的组成和生产力与降水量密切相关^[7]。降水量大的年份里处在旺盛生长阶段的短命植物种类可以占到白梭梭群落全部种类的 35%,生物量(风干重)可占到其白梭梭群落所有植物总生物量的 58%^[1],而盖度通常 20%~50%,最高时可达 80%~90%,远高于同一生境、同一时期乔灌木和长营养期草本植物的盖度^[1,4]。伴随着全球变化趋势的加剧,降水量在全球尺度上发生了明显变化^[8]。Zhang 等^[9]指出,北半球中纬度地区气候和南半球亚热带地区的降水量明显增加。我国新疆干旱荒漠地区的降水量也呈逐年增加趋势^[10],并且在未来 50~100a 间还很可能将继续增加^[11,12]。然而,对于水分输入增加如何影响短命植物生长发育、群落结构和初级生产力形成尚缺乏了解。于 2006 年在新疆古尔班通古特沙漠进行原位人工灌水实验,探讨了短命植物群落特征对水分输入增加的响应,以期理解该地区荒漠植被恢复提供理论依据。

1 试验区概况和研究方法

1.1 试验区概况

古尔班通古特沙漠处于准噶尔盆地腹地,经纬度范围分别为 44°11′~46°20′ N 和 84°31′~90°00′ E;其面积为 48800 km²,是我国第二大沙漠和第一大固定、半固定沙漠。主要沙丘形态类型为梁窝状和树枝状沙垄,长度数百米到 10 余 km,近南北走向,高度 10~50 m 不等。沙垄垄间和中下部沙面稳定不变,沙垄顶部普遍有 10~40 m 宽度不等的流动带,能在双向风作用下,左右摆动并顺脊线方向延伸^[13]。该沙漠南缘年积温 3000~3500 °C,年降水量 70~150 mm,年蒸发量 2000 mm 以上,冬季有 20 cm 厚的稳定积雪,为典型的内陆干旱气候。降水分布以春夏季好于秋冬季,水热配置条件为短命植物生长发育提供良好的条件。白梭梭群系遍及古尔班通古特沙漠,占据沙丘中上部,丘间低地和沙丘中下部有一些多年生群系,在整个沙丘上短命植物分布普遍。短命植物尖喙牻牛儿苗是下层群落的优势种,除囊果苔草外,其它的短命植物均为 1 年生植物。在 4、5、6 月份短命植物在古尔班通古特沙漠中的盖度分别为 13.9%、40.2% 和 14.1%^[4]。土壤类型为风沙土,偏碱性,有机质、氮、磷、钾及电导率很低(表 1)。

表 1 土壤基本性状

Table 1 General soil characteristics

年份 Year	pH	有机质 Organic matter (%)	速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)	电导率 Electrical conductivity (ms·cm ⁻¹)
2006	7.93	0.14	2.25	158	0.89

1.2 研究方法

试验地点在古尔班通古特沙漠南缘,试验区处于丘间平地,海拔高度为 510 m, GPS 坐标为 N44°32.407' ~ E88°16.779'。该研究区从 2004 年开始设置禁牧围栏。根据最近发表的研究报告,在未来 50 ~ 100a 间该地区的降水量将可能继续增长 50mm^[11],因此试验设计中,在设自然降水(对照)的基础上设置了 40mm 和 80mm 两个浇灌处理,每个处理重复 8 次,试验采取随机区组设计。试验从 2006 年 3 月下旬植物萌发之前选择样地,每半个月浇 1 次水,在 5 月底绝大多数植物开始死亡时收获,一共浇水 4 次。3 个处理每次浇水量分别为 0、10mm 和 20mm。每个小区的面积为 1.5 m²(小区距离白梭梭和蛇麻黄等灌木的距离都大于 10 m 以上),小区之间的间隔大于 2 m。

每次浇灌水处理时,测定每个样方的植物种类、密度和盖度^[14]。收获时,将小区中所有的植物地上部和根部收获,带回室内后立即按照植物种类将样品分别装在纸袋中,在 80 °C 的烘箱中烘干,测定生物量。用浓 HClO₄, H₂SO₄ 和 HF 对植株地上部消化后,凯氏定氮法测定 N 含量,用分光光度比色法测定 P 含量,火焰光度法测定 K 含量。

1.3 测定方法和数据统计

采用 SAS 6.12 对数据进行单因素随机区组方差分析,用 LSD 进行多重比较确定差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 试验区植物群落组成

根据张立运^[15]、毛祖美等^[2]先生的划分标准,将短命植物分为 1 年生短命植物和类短命植物。前者当年完成整个生活史,次年由种子产生新的个体;而后者当年地上部分枯亡,地下部分处于休眠状态,次年从地下芽或者种子繁殖产生新个体。

研究区总计有短命植物 15 种,均属于草本植物,分属于 10 个科(表 2)。其中 14 种为 1 年生短命植物,1 种为类短命植物。对照处理中有短命植物 11 种,40mm 和 80mm 水处理有 14 种。角果藜、尖喙牻牛儿苗、弯果葫芦巴、条叶庭芥、琉苞菊、囊果苔草及石果鹤虱、假狼紫草、小花荆芥和刺尖荆芥在 3 个水处理中均有分布;倒披针叶虫实、黄芪、齿稈草和小花角茴香则分布在 40mm 和 80mm 水处理中;东方旱麦草只分布在对照处理中。

表 2 不同供水处理中的植物种类

Table 2 The plant species among different treatments in field plots

植物种类 Plant species	科 Family	0mm	40mm	80mm
角果藜 <i>Ceratocarpus arenarius</i>	藜科 Chenopodiaceae	+	+	+
尖喙牻牛儿苗 <i>Erodium oxycorynchum</i>	牻牛儿苗科 Geraniaceae	+	+	+
弯果葫芦巴 <i>Trigonella arcuata</i>	豆科 Legume	+	+	+
条叶庭芥 <i>Alyssum linifolium</i>	十字花科 Cruciferous	+	+	+
琉苞菊 <i>Hyalea pulchella</i>	菊科 Compositae	+	+	+
* 囊果苔草 <i>Carex physodes</i>	莎草科 Cyperaceae	+	+	+
石果鹤虱 <i>Lappula spinocarpa</i>	紫草科 Boraginaceae	+	+	+
假狼紫草 <i>Nonea caspica</i>	紫草科 Boraginaceae	+	+	+
小花荆芥 <i>Nepeta micrantha</i>	唇型科 Labiatae	+	+	+
刺尖荆芥 <i>Nepeta pungens</i>	唇型科 Labiatae	+	+	+
倒披针叶虫实 <i>Corispermum lemannianum</i>	藜科 Chenopodiaceae		+	+
黄芪 <i>Astragalus</i> sp.	豆科 Legume		+	+
齿稈草 <i>Schismus arabicus</i>	禾本科 Gramineae		+	+
小花角茴香 <i>Hypecoum parviflorum</i>	罂粟科 Papaveraceae		+	+
东方旱麦草 <i>Eremopyrum orientale</i>	禾本科 Gramineae	+		

标记 * 代表多年生短命植物 indicates perennial ephemerals

2.2 供水增加对群落总生物量和常见牧草生物量的影响

野外样方试验中,测定了植物地上部的生物量,列于表 3。生物量随供水量增加而增加,对照处理样方中

地上部的生物量($52.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)显著低于 80mm 水处理的产量($222.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$),而对照处理与 40mm 水处理之间的差异却不显著。在调查样地内,尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴、角果藜、琉苞菊、条叶庭芥及囊果苔草 6 种牧草生物量总和占总生物量的 60% 以上,是群落地上部生物量的主要贡献者,成为荒漠草原的 6 种常见牧草植物。角果藜生物量占到整个样方生物量 40% 以上,是群落中的优势植物。

表 3 不同供水处理样方中总生物量及常见植物的地上部生物量

Table 3 Total aboveground dry matter production of plots and the common plant species in different treatments

植物种类 Plant species	0mm	40mm	80mm
角果藜 <i>C. arenarius</i> ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	21.10 B	62.90 AB	133.87 A
尖喙牻牛儿苗 <i>E. oxyrrhynchum</i> ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	5.38 B	13.19 AB	24.61 A
囊果苔草 <i>C. physodes</i> ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	1.09 a	0.97 a	1.07 a
弯果胡卢巴 <i>T. arcuata</i> ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	1.01 b	1.08 b	3.34 a
琉苞菊 <i>H. pulchella</i> ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	2.41 b	3.12 b	13.64 a
条叶庭芥 <i>A. linifolium</i> ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	0.81 B	1.21 B	5.99 A
地上部干物重 Total shoot dry matter ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	52.2 B	115.4 B	222.1 A
六种植物所占比例 Ratio of Sum of six species to total shoot dry matter (%)	60	76	81

表中数据后不同的小写字母表示在 0.05 水平上的差异显著,大写字母表示在 0.01 水平上的差异显著 Different small letters indicate significant difference ($p < 0.05$) between treatments and capital letters indicate significant difference ($p < 0.01$) between treatments

同时,对 6 种常见植物的生物量进行分析。结果表明:除囊果苔草各处理间的生物量差异不显著之外,其他 5 种植物的地上部生物量均表现为随水分输入量增加而增加的趋势。与对照相比,这 5 种植物在 40mm 处理的生物量虽然都增加 86% 以上,然而并未达到差异显著水平,这反映出野外试验样方之间的空间变异很大;在 80mm 水处理中,5 种植物生物量均显著高于对照处理,增加幅度大于 230%。

从 6 种常见植物对水分供应的响应来看,条叶庭芥的生长响应最大,80mm 水处理中地上部生物量相对于对照和 40mm 水处理,分别增加了 639% 和 396% (表 3);增幅最小的是囊果苔草,增加供水,其生物量未发生显著变化。优势植物角果藜在 80mm 水处理时的地上部生物量相对于对照和 40mm 水处理则分别增加了 534% 和 113% (表 3)。

2.3 供水增加对不同短命植物在群落中的生物量组成的影响

增加供水明显改变了不同物种在样方总生物量中的组成比例,不同的植物种类的表现不尽相同(图 1)。与对照相比,一些植物对群落总生物量的贡献表现为随供水量增加而增加,如角果藜和尖喙牻牛儿苗;另一些植物则表现为随供水量增加而减少,例如条叶庭芥和囊果苔草在供水增加时对群落的贡献率分别减少了 66% ~ 77% 和 66% ~ 78%;第 3 种类型是在增加 40mm 供水的情况下变化不明显,而水分增加到 80mm 时,就表现出明显的增加。弯果胡卢巴和琉苞菊就属于这种类型,它们在 40mm 水处理时比对照略有减少,而在供水增加到 80mm 时,其对群落生物量的贡献率比对照高出 57% 和 6% (图 1)。

2.4 供水增加对短命植物的植被盖度的影响

动态观测了整个生育期的植物总盖度,结果如图 2(a) 所示。植物盖度随着植物生育进程推进而逐渐增加,在 5 月中旬以后增加很快。供水处理提高了植物的总盖度,供水处理间的差异在 5 月中旬以后开始变得更加显著。

6 种植物与植物总盖度表现了共同的变化规律,即:随着植物生育进程推进,植被盖度逐渐增加,在 5 月中旬以后增加幅度更大(图 3)。不增加供水的情况下,优势植物角果藜在 5 月中旬形成了大于 35% 的盖度,成为构成草本植物总盖度的最重要植物。其它 5 种常见植物的盖度都不高,都只有 2% ~ 7%,合计也不过 22%。

不同植物的盖度对增加供水的响应有所不同(图 3)。角果藜、弯果胡卢巴、囊果苔草的盖度在不同水分处理之间均没有显著差别;尖喙牻牛儿苗的盖度在 40mm 和 80 mm 供水处理时最高可达 15%,并且都显著高

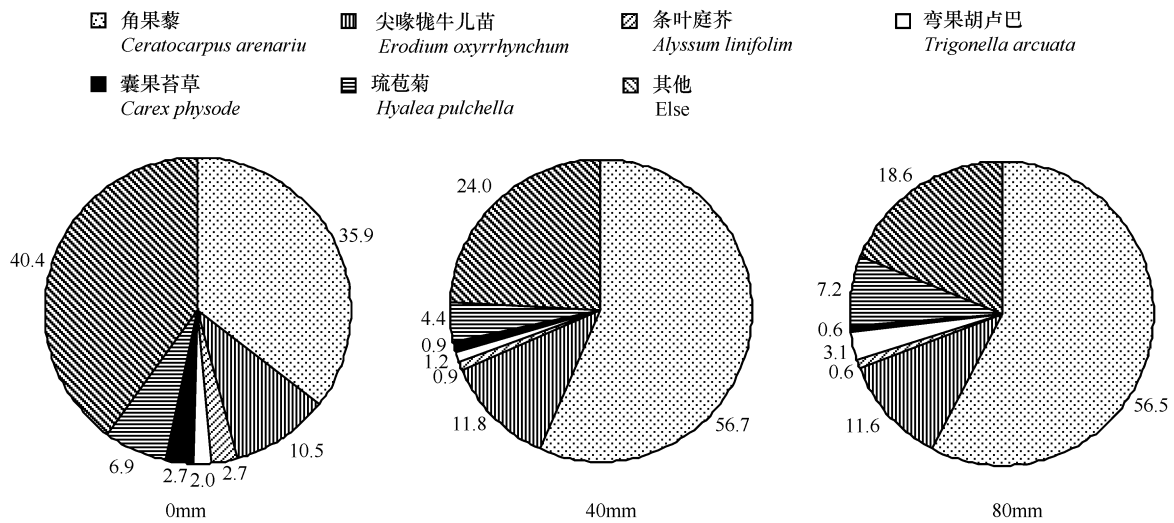


图1 增加供水对样地中常见植物种地上部生物量在群落总生物量中组成比例的影响

Fig. 1 Contribution of the six common plant species to the total above-ground biomass of plots which were added with 0, 40 and 80mm water.

I *Ceratocarpus arenarius*; II *Erodium oxyrrhynchum*; III *Alyssum linifolium*; IV *Trigonella arcuata*; V *Carex physode*; VI *Hyalea pulchella*; VII else

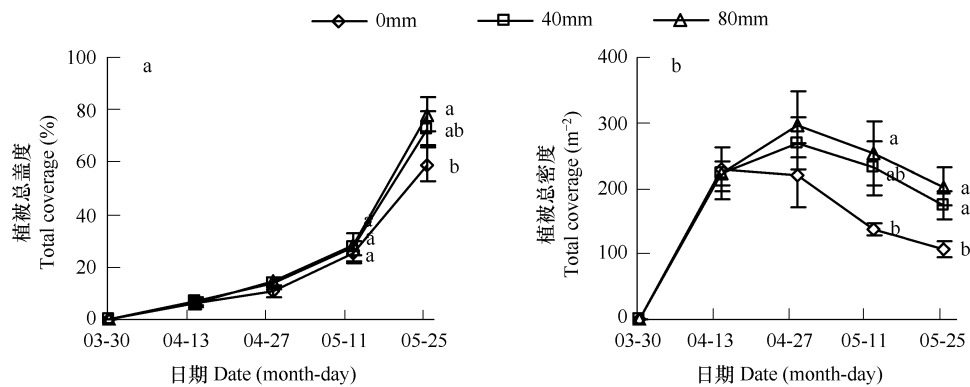


图2 增加供水0、40和80mm条件下短命植物群落总盖度(a)和总密度(b)的变化

Fig. 2 Total coverage (a) and plant density (b) in plots which were added 0, 40 and 80mm water

同一日期的数据标记不同小写字母代表处理间差异达到5%显著水平,图中的短线表示标准误差(8重复) Bars indicated standard error (8 replicates); mean values at a given data labeled with different letters represented significant difference between treatments ($p=0.05$)

于对照的,但是两供水处理之间没有显著差异;条叶庭芥由于其植株地上部叶片数量较少,在4月13日和4月27日的调查中还没有形成盖度。在5月25日(收获),供水增加80mm处理的盖度显著高于对照和供水增加40mm处理,但是其盖度绝对值并不高,最高时也只有8.4%;琉苞菊在供水增加的情况下盖度的变化与条叶庭芥相似,即供水增加80mm处理的盖度显著高于对照,盖度绝对值由2%提高到5%。

2.5 增加供水对短命植物密度的影响

在野外样方中,对植物密度在整个生育期作了动态观测,结果如图2(b)所示。在3个水分处理中,植物总密度在萌发大约4周(4月27日)达到了最大值,之后随生育进程推进而减少。供水增加显著增加了植物密度,对照处理样方植物密度显著低于2个供水增加的处理,40mm、80mm水处理与对照之间的差异在5月11日的调查中就已经开始观察到。

6种植物的密度动态变化规律不同(图4)。角果藜、尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴、囊果苔草和角果藜5种植物与植物总密度表现出一致的变化规律,即:从出苗后一直增长,在出苗4周后达到峰值;而条叶庭芥植物在供水处理中植物密度从萌发直至收获一直增加。

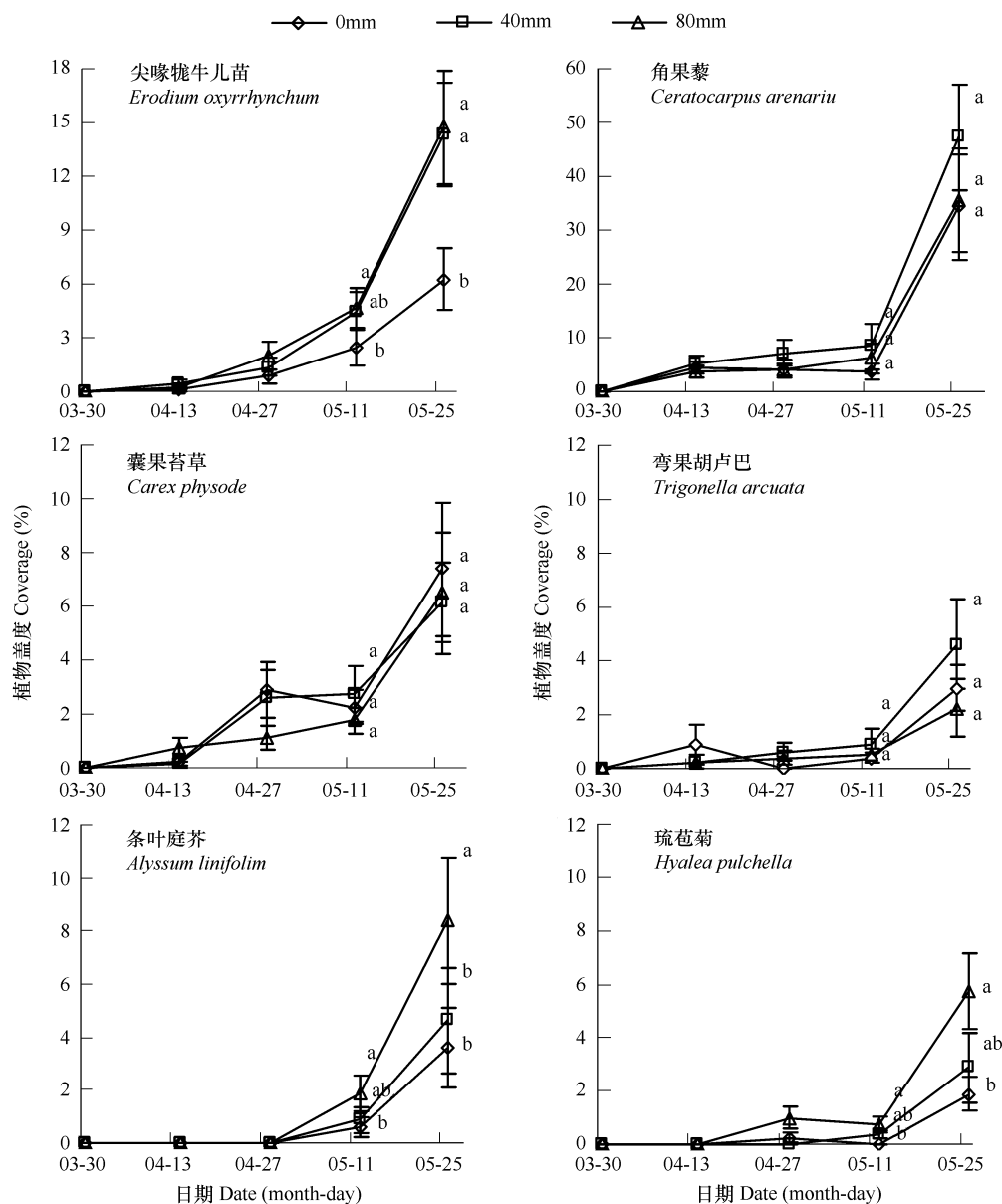


图3 增加供水0、40mm和80mm条件下短命植物群落中常见种盖度变化

Fig. 3 Coverage of the common plant species in plots which were added 0, 40 and 80mm water

同一日期的数据标记不同小写字母代表处理间差异达到5%显著水平,图中的短线表示标准误差(8重复) Bars indicated standard error (8 replicates); mean values at a given data labeled with different letters represented significant difference between treatments ($p = 0.05$)

6种常见植物的密度对不同水分处理的响应不同。试验结果(图4)表明,供水处理仅对优势植物角果藜的植物密度产生显著影响,其他5种植物均没有观察到明显的差异。

供水处理使角果藜的植物密度达到峰值时间推后14d,对照处理在4月13日达到最大值,而40mm和80mm水处理则在4月27日。在前4次的观测中发现处理之间植物密度没有差异,直至在收获时(5月25日)呈现出显著差异,40mm和80mm供水处理使植物密度增加了27~40株/ m^2 (图4)。

2.6 增加供水对短命植物养分吸收的影响

在收获时,测定分析植株中的养分吸收量,结果见表4。在6种植物中,囊果苔草的养分吸收量最低,明显低于其他5种植物。

供水量增加对植物养分吸收产生很大影响。6种常见短命植物表现出相同的变化趋势,即:随着供水量

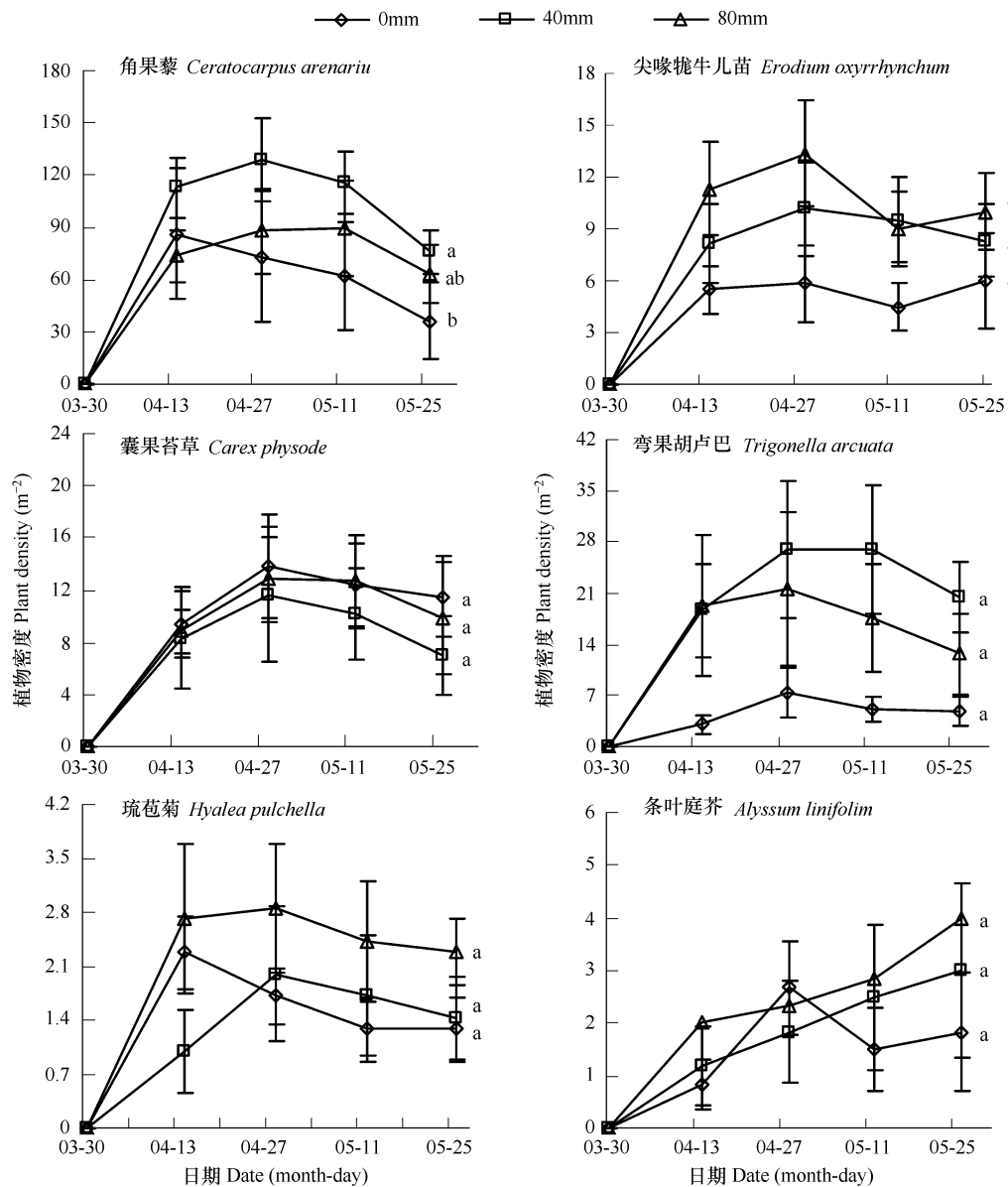


图4 增加供水0、40和80mm条件下短命植物群落中常见种密度变化

Fig 4 Density of the common plant species in plots which were added 0, 40 and 80mm water

同一日期的数据标记不同小写字母代表处理间差异达到5%显著水平,图中的短线表示标准误差(8重复) Bars indicated standard error (8 replicates); mean values at a given data labeled with different letters represented significant difference between treatments ($p = 0.05$)

增加,植物的N、P和K总养分吸收量随之增加。其中,尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴和角果藜3种植物养分吸收量的增加达到显著性水平。

与对照相比,尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴和角果藜在80mm处理中的N吸收量增加了317%~516%,P吸收量增加了307%~477%,K吸收量增加了250%~612%;40mm处理与对照之间没有差异。条叶庭芥、囊果苔草和琉苞菊3种植物任何处理之间都没有发现显著差异。

3 讨论

水分是沙漠生态系统中限制植物生长的最主要生态因素^[16]。在干旱区,降水的时间分布和数量是决定植物定植、生长、物种生存组成及结构至关重要的因素^[17,18]。荒漠植物的初级生产力在很大程度上受制于水,表现为降水的频度和强度决定着物种的共存、组成甚至结构^[18]。作为全球变化过程之一,自然降水变化对生态系统过程的影响受到了越来越广泛的关注。随着气候变暖,降水时空分布发生了变化,降水量呈增加

趋势^[9]。在我国新疆荒漠盆地的降水量近 30a 来也呈现出增加的趋势^[10]。降水增加对荒漠植物群落结构、生物多样性特征和生产力等过程必然产生影响,进而影响整个生态系统的功能。但是,目前在这方面的研究还很少。

表 4 不同处理中常见植物的 N、P 和 K 吸收量

Table 4 Total N, P and K uptake in shoot of plants in different treatments

项目 Item	处理 Treatments	尖喙牻牛儿苗 <i>E. oxyrrhynchum</i>	弯果胡卢巴 <i>T. arcuata</i>	条叶庭芥 <i>A. Linifolium</i>	角果藜 <i>C. arenarius</i>	囊果苔草 <i>C. physodes</i>	琉苞菊 <i>H. pulchella</i>
P uptake (mg·m ⁻²)	0mm	13.8B	2.9 B	2.3 a	39.8 B	0.9 a	9.4 a
	40mm	34.7AB	2.6 B	3.7 a	104.3 AB	0.8a	9.2 a
	80mm	64.9A	11.8 A	15.2 a	229.6 A	1.2 a	14.0a
N uptake (mg·m ⁻²)	0mm	0.12B	0.03 B	0.02 a	0.51B	0.02a	0.10a
	40mm	0.27AB	0.03 B	0.03 a	1.42AB	0.02 a	0.10 a
	80mm	0.50A	0.14 A	0.12. a	3.14A	0.02 a	0.14a
K uptake (g·m ⁻²)	0mm	0.11b	0.02 b	0.02 a	0.42 B	0.01a	0.05a
	40mm	0.26ab	0.02 b	0.03a	1.34AB	0.02 a	0.12a
	80mm	0.39a	0.07 a	0.09a	2.99A	0.01a	0.14a

表中数据后不同的小写字母表示在 0.05 水平上的差异显著,大写字母表示在 0.01 水平上的差异显著 Different small letters indicate significant difference ($p < 0.05$) between treatments and capital letters indicate significant difference ($p < 0.01$) between treatments

研究发现,除囊果苔草外的 5 种常见短命植物对每次强度为 10mm 和 20mm 的增加供水表现出了显著的生长响应(表 3)。这是由于这些短命植物生长主要利用表层土层的水资源,它们的根系主要分布在 10 ~ 30cm^[19],这个深度对一次 10 ~ 20 mm 的降雨是容易到达的。降水强度对荒漠中不同草本植物生长的影响差别很大,主要是因为不同植物根系形态和分布深度存在差异。Chen 等的研究表明,生长在鄂尔多斯高原的沙漠化草原的 3 种主要牧草,2 种浅根系(<30cm)长芒草(*S. bungeana*)和牛心朴子(*C. komarovii*)主要利用每次强度 10 ~ 20mm 的降水,而深根系(50cm)鄂尔多斯蒿(*A. ordosia*)的生长主要依赖强度大于 65mm 的降水^[17]。

不同种类短命植物对供水量增加的生长响应是存在差异的。从生物量来看,除囊果苔草植物外,其他的 5 种常见植物均表现为随降水量增加生物量增加。当降水量增加 40mm,5 种牧草增长幅度均大于 85%,弯果胡卢巴、琉苞菊和条叶庭芥更是高于 200%。当降水量增加 80mm,5 种牧草增长幅度大于 230%,但值得注意的是苔草生长量始终没有增加。分析这一结果可能与植物菌根特性及养分吸收能力有着很大的关系。在这 6 种常见植物中,除了十字花科的条叶庭芥之外,其他 5 种植物都是菌根植物^[20]。随着降水量增加,尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴和琉苞菊的侵染率明显增大,而角果藜处理之间没有显著变化(图 5),这就说明供水增加条件下这几种植物与丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, 简称 AM)真菌之间形成了更为良好的共生关系。囊果苔草是一种克隆植物,虽然能够被 AM 真菌侵染,但庞大的地下根系和根茎结构保证了其生长需要的养分及水分,因此其对菌根的依赖性较低,对水分的敏感性也相对较差。已有大量研究表明,AM 真菌有帮助植物改善养分吸收的能力,尤其是磷营养的吸收^[21]。因此可以推测,侵染率增大之后,尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴、角果藜和琉苞菊等菌根植物对 N、K,尤其是 P 养分的吸收能力增强,从而改善植物营养状况,为生物量的增加提供了保障。

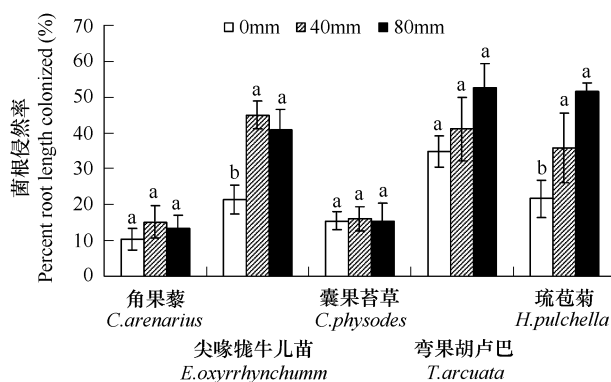


图 5 不同处理样方中常见植物的菌根侵染状况

Fig 5 Response of mycorrhizal colonization of the common plant species in different treatments

但值得注意的是,降水量增加对荒漠短命植物群落结构产生了很大影响。虽然除囊果苔草外的 5 种植物生物量在水处理中均高于对照处理,但不同物种对整个样方生物量的贡献比例由于水处理发生了很大变化。在增加供水的条件下,角果藜和尖喙牻牛儿苗这两种早春荒漠上最为优势和常见的植物在群落总生物量中的比例增大,而条叶庭芥和囊果苔草则表现相反的趋势。这说明角果藜和尖喙牻牛儿苗在降水增加的环境变化条件下,更为适宜生长,对环境资源的竞争能力更强。

土壤种子库中储存的 1 年生植物种子在遇到降水丰富的年份能迅速萌发生长,占据冗余资源空间,形成荒漠中活跃生长的 1 年生植物层片^[22,23]。Vidiella 和 Armesto^[22]研究表明规律性、间歇性和较少量的降水有利于荒漠短命植物种子萌发和生长,因为小量并有规律的间歇性降水有利于浅根系的 1 年生植物的萌发^[23]。在古尔班通古特沙漠 5 月份以后,表层土壤含水量低于 3%,这对于大多数植物的生长都是不利的。研究结果表明每隔 2 周降水处理显著增加短命植物角果藜的密度,可能就是土壤种子库中种子大量萌发并生长的结果。

在我们的试验中发现,6 种常见短命植物均在 5 月底形成最大的盖度,而降水增加使植物盖度增大(图 3)。这一结果与 Meserve^[7]试验结果相同。他连续 13a(1989 ~ 2001 年)对智利北部沙漠短命植物的覆盖率与年降水量的关系进行研究,发现短命植物的覆盖率随降水量的增加而增大,降水量最高的年份也是短命植物覆盖率最高的年份(1997 年),覆盖率可高达 89%。前人研究结果表明当 30% 的植被盖度就可大幅度减弱风蚀,当达到 35% ~ 40% 时,几乎没有风蚀^[24]。在试验的样方中优势植物角果藜在 5 月份形成了大于 35% 的盖度,成为古尔班通古特沙漠稳定沙面草本植物的主要贡献者。

4 结论

在降水量增加的背景下,古尔班通古特沙漠南缘的荒漠草原的生产力、植被密度和盖度得以显著提高;家畜适口性好的牧草尖喙牻牛儿苗、弯果胡卢巴、条叶庭芥、琉苞菊和角果藜生物量增加高达 86% ~ 230%,同时获得更高的矿质营养吸收量,这有利于荒漠草原的载畜能力的提高;与此同时,荒漠短命植物的盖度显著提高,这对于防风固沙,稳定沙面有着重要意义;降水量增加改变了荒漠短命植物群落结构,角果藜和尖喙牻牛儿苗 2 种植物在降水增加的条件下对环境有较强的适应性和对资源的竞争能力。

References:

- [1] Zhang L Y. Ephemeral plants in Xinjiang (III): significance of community and resources. *Journal of Plant*, 2002, 3: 4 — 5.
- [2] Mao Z M, Zhang D M. Conspectus of ephemeral flora in northern Xinjiang. *Arid Zone Research*, 1994, 11: 1 — 26.
- [3] Ji F, Ye W, Wei W S. Preliminary study on the formation causes of the fixed and semi-fixed dunes in Gurbantunggut desert. *Arid Land Geography*, 2000, 23 (1): 32 — 35.
- [4] Wang X Q, Jiang J, Lei J Q, *et al.* The distribution of ephemeral vegetation on the longitudinal dune surface and its stabilization significance in the Gurbantunggut Desert. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58: 598 — 605.
- [5] Zhang L Y, Cheng C D. On the General Characteristics of Plant Diversity of Gurbantunggut Sandy Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1923 — 1932.
- [6] Li S Y, Lei J Q. Study on the Vegetation Restoration of the Disturbance Belt along the Highways in the Gurbantunggut Desert. *Environmental Protection of Xinjiang*, 2002, 24(1): 1 — 7.
- [7] Meserve P L, Kelt D A, Milstead W B, *et al.* Thirteen years of shifting top-down and bottom-up control. *BioScience*, 2003, 53(7): 633 — 646.
- [8] Willett K M, Gillett N P, Jones P D, *et al.* Thorne Attribution of observed surface humidity changes to human influence. *Nature*, 2007, 449: 710 — 712.
- [9] Zhang X B, Zwiers F W, Hegerl G C, *et al.* Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, 2007, 448: 461 — 466.
- [10] Hu R J, Ma H, Fan Z L, *et al.* Response of water resources to climate change in xinjiang. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17 (1): 22 — 27.
- [11] Zhao Z C, Ding Y H, Xu Y, Zhang J. Detection and Prediction of Climate Change for the 20th and 21st Century Due to Human activity in Northwest China. *Climatic and Environmental Research*, 2003, 8(1): 26 — 34.
- [12] Takayabu I, Kato H, Nishizawa K, *et al.* Future Projections in Precipitation over Asia Simulated by Two RCMs Nested into MRI-CGCM2. 2.

- Journal of the Meteorological Society of Japan, 2007, 85 (4): 511—519.
- [13] Wang X Q, Lei J Q. Sand Deposit and Erosion Characteristics of Semi-fixed Linear Dunes in Gurbantunggut Desert. *Arid Zone Research*, 1998, 15 (1): 35—39.
- [14] Cook C W, Stubbendieck J. Range research: problems and technique. Denver, Colorado. USA: Society for Range Management, 1986.
- [15] Zhang L Y. Ephemeral plants in Xinjiang (I): eco-biological characteristics. *Journal of Plant*, 2002, 2: 2—6.
- [16] Dube O P, PICKUP G. Effects of rainfall variability and communal and semi-commercial grazing on land cover in southern African rangelands. *Climate Research*, 2001, 7 (2): 195—208.
- [17] Cheng X L, An S Q, Li B, *et al.* Summer rain pulse size and rainwater uptake by three dominant in a desertified grassland ecosystem in northwestern China. *Plant Ecology*, 2006, 184: 1—12.
- [18] Dodd M B, Lauenroth W K, Welker J M. Differential water resources use by herbaceous and woody plant life forms in a shortgrass steppe community. *Oecologia*, 1998, 117: 504—512.
- [19] Li X Y. Preliminary studying the characteristic of roots and relations between roots and environment of ephemerals in xinjiang. *Arid Zone Research*, 2000, 17 (3): 28—34.
- [20] Shi Z Y, Feng G, Christie P, *et al.* Arbuscular mycorrhizal status of spring ephemerals in the desert ecosystem of Junggar Basin, China. *Mycorrhiza*, 2006, 16(2): 81—87.
- [21] Smith S E and Read D J. Mycorrhizal symbiosis. London: Academic Press, 1997.
- [22] Vidiella P E, Armesto J J. Emergence of ephemeral plant species from the north-central Chilean desert in response to experimental irrigation. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1989, 62: 99—107.
- [23] Gutterman Y. Seed germination in desert plants. In: Cloudsley-Thompson J L ed. Biotic interactions in arid lands. New York: Springer, Berlin Heidelberg, 1993.
- [24] Wasson R J, Nanninga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surface. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1986, 11: 505—514.

参考文献:

- [1] 张立运. 新疆的短命植物(三):群落学意义和资源价值. *植物杂志*, 2002,(3):4~5.
- [2] 毛祖美,张佃民. 新疆北部早春短命植物区系纲要. *干旱区研究*, 1994,11 (3):1~26.
- [3] 季方,叶玮,魏文寿. 古尔班通古特沙漠固定与半固定沙丘形成原因初探. *干旱区地理*, 2000,23 (1):32~35.
- [4] 王雪芹,蒋进,雷加强,等. 古尔班通古特沙漠短命植物分布及其稳定沙面的意义. *地理学报*, 2003,58 (4):598~605.
- [5] 张立运,陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报*, 2002,22 (11):1923~1932.
- [6] 李生宇,雷加强. 古尔班通古特沙漠公路扰动带植被恢复研究. *新疆环境保护*, 2002,24 (1):1~7.
- [10] 胡汝骥,马虹,樊自立,等. 新疆水资源对气候变化的响应. *自然资源学报*, 2002,17 (1):22~27.
- [11] 赵宗慈,丁一汇,徐影,等. 人类活动对20世纪中国西北地区气候变化影响检测和21世纪预测. *气候与环境研究*, 2003, 8 (1):26~34.
- [13] 王雪芹,雷加强. 古尔班通古特沙漠半固定沙垄面的蚀积特征. *干旱区研究*, 1998,15 (1):35~39.
- [15] 张立运. 新疆的短命植物(一)独特的生态生物学特点. *植物杂志*, 2002,2:2~6.
- [19] 李向义. 新疆短命植物根系特征与立地条件的关系. *干旱区研究*, 2000,17 (3):28~34.