

不同水分条件对毛乌素沙地油蒿幼苗生长和形态的影响

肖春旺^{1,2}, 周广胜^{1*}, 赵景柱²

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院生态环境研究中心系统生态开放实验室, 北京 100085)

摘要:选择毛乌素沙地优势半灌木油蒿为研究对象, 人为控制 4 种施水量水平来观察油蒿幼苗的生长和形态对全球降水量变化的响应。结果表明, 不同施水量显著影响了幼苗生物量及其分配、枝叶形态和细根分布。随着施水量的增加, 幼苗生物量、株高、总枝数和长度、总叶片数、总叶面积、比叶面积和细根长逐渐增大, 而生物量根冠比、硬叶特征和叶肉质化程度逐渐减小。

关键词:施水量; 毛乌素沙地; 油蒿幼苗; 生长; 形态

Effect of different water conditions on growth and morphology of *Artemisia ordosica* Krasch. seedlings in Maowusu sandland

XIAO Chun-Wang^{1,2}, ZHOU Guang-Sheng^{2*}, ZHAO Jing-Zhu¹ (1. Department of Systems Ecology, Research Center For Eco Environmental Sciences CAS, Beijing 100085; 2. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany CAS, Beijing 100093). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2136~2140.

Abstract: Response of growth and morphology of seedlings of *Artemisia ordosica* Krasch., a dominant shrub in Maowusu sandland, to the global precipitation change was studied by observing its response to four artificially controlled water supply levels. The results show that different levels of water supply significantly affected biomass and its distribution of different organs, branch morphology and leaf and fine root distribution of the seedlings. With the increase of water supply, the biomass, tree height, total branch number and length, total leaf number and area, specific leaf area and fine root length increased, and root/shoot biomass, sclerophyllous characters and leaf succulence degree decreased.

Key words: water supply; maowusu sandland; *Artemisia ordosica* Krasch; growth; morphology

文章编号: 1000-0933(2001)12-2136-05 中图分类号: Q143 文献标识码: A

由于人类活动加剧温室气体, 如 CO₂、甲烷、氮氧化物、卤代烃等大量进入大气圈, 从而加强了大气温室效应, 使得全球气温增高^[1~3]。温度的升高必然影响全球降水分布格局的变化, 从而影响全球生态系统的结构和功能, 特别对于干旱和半干旱的地区生态系统影响最为显著^[4]。过去有关粮食作物和蔬菜对水分抗逆报道较多^[5~7], 但对陆地生态系统建群种对降水变化的响应研究较少^[8~10], 因此开展这方面工作具有重要意义。

毛乌素沙地地处中国北部沙区中部, 属半干旱沙区。当前这里的荒漠化比较严重, 蒸发强烈, 且水是影响该地区生态系统的最大限制因子^[11, 12]。同时, 毛乌素沙地生态系统以灌木为主, 其中油蒿 (*Artemisia ordosica*) 是分布最广的优势半灌木^[13]。过去有关油蒿的研究较少, 且大多集中于对油蒿的生理生态的野外调查^[13]。因此, 本研究以油蒿为对象, 采用人工施水法, 开展油蒿在沙区灌木生长季节内的降水量较现在减

基金项目:国家重点基础研究专项经费(G1999043407), 中国科学院知识创新面项目(KSCX2-1-07)和国家自然科学基金委重点项目(79930800)资助。

本文得到张新时院士的指导及董鸣、郑元润博士及内蒙古伊克昭盟林业局广大同志的帮助, 谨此致谢。

收稿日期: 2000-09-28; 修订日期: 2001-08-10

作者简介: 肖春旺(1972~), 男, 湖南祁东人, 博士, 主要从事全球变化研究。

* 通信作者

少、相当、增多和大幅度增多 4 种条件下的生长模拟实验,进而探讨油蒿生长和形态对降水量变化的响应,以期揭示出未来降水变化下的油蒿的生态适应策略,为全球变化下的油蒿生产力模拟及其对该地区大气-沙地-植物之间的水分平衡研究提供参数,进而为科学地预测毛乌素沙地生态系统变化趋势和有效地防止荒漠化等问题提供理论依据。同时也为油蒿幼苗栽培提供理论参考。

1 研究方法

1.1 研究地点与物种

研究地点设在中国科学院植物研究所内蒙古伊克昭盟鄂尔多斯沙地草地生态研究定位站(新站)院内,地理位置 $39^{\circ}29.66'N$, $110^{\circ}11.47'E$,海拔 1295m。年均温 $6.0\sim 8.5^{\circ}C$,最冷月(1月)均温 $-10^{\circ}C$,最热月(7月)均温 $22^{\circ}C$ 。平均年降水量 358.3mm,且 2/3 以上的降水集中于 6~9 月。该地区是荒漠-草原、草原-森林过渡地带。土壤以淡栗钙土和沙性淡栗钙土为主。详细资料见张新时^[11]。

油蒿(*Artemisia ordosica*)为菊科蒿属半灌木,枝条在植株基部簇生,多分枝,高可达 0.6~1m,叶羽状全裂。主要分布于内蒙古、宁夏、陕西。是鄂尔多斯沙地中分布最广泛的沙生植物群落的优势种,普遍见于半固定与固定的沙丘沙地,被认为是沙地天然植物群落,是当地主要的天然放牧场,并具有一定的固定沙功能。

1.2 实验材料及其方法

1 年生油蒿幼苗来自鄂尔多斯生态站附近沙丘幼苗同生群,1999 年 5 月 1 日,分别选取生长良好、大小一致的 80 株幼苗,后将幼苗随机分成 4 组,每组各 20 株,后将每组幼苗分别植入 4 个深 67cm、宽 1.5m、长 2m 的长方体水泥沙池(下部有 1 个可控出水管)中。水泥池被修建在铁架下,铁架上可挂有防水布阻碍自然降水。每个水泥池被装上 60cm 深的沙土,沙土取自附近沙丘。

油蒿幼苗在 4 种水分处理下培养 105d,即 5 月 24 日开始,至 9 月 5 日结束。4 种水分处理为:每种施水处理的总施水次数均相同,且每次施水均在同一天下午内完成,即从 5 月 24 日 17:00~18:00 时,完成第 1 次施水,后每隔 2d 继续下一次施水,累积一共 35 次施水,但 4 种施水处理的每次施水量分别为 4.5、9.0、13.5 和 18.0mm 水,故累积施水总量分别为 157.5、315.0、472.5 和 630.0mm,它们分别相当于温带典型荒漠地带、温带典型草原地带、温带草甸草原地带和温带落叶阔叶林地带在生长季节内的降水总量。实验期间,白天天晴将防水布全打开,阴天和夜晚用防水布遮盖,以防自然降水影响;同时进行等质精细管理,并经常除草和防除病虫害。

1.3 油蒿形态和生物量的测定

在 1999 年 9 月 5 日~9 日,对每一施水处理随机选取 10 个固定幼苗作为观测株,测定观测株幼苗株高、各级枝条数、各级枝长度、大于 1cm 叶长的叶片长,记录叶片数。叶面积的测定是随机在非观测选取大小不等的 70 片叶,用美国产 CI-203 型面积仪测得叶片面积和叶长,根据回归求出 $Y(\text{叶面积}) = 0.5576 X(\text{叶长}) - 0.0173$ ($R = 0.949$, $N = 56$) 的线性方程,即可求出全部叶面积;并在每个沙池中,用土钻沿沙池对角线钻取 3 个沙柱,每沙柱自上而下按 15cm 分成 4 层,然后用水仔细将沙洗去,收集小于 2mm 根径的根系,并测定根系长度;最后,收割所有幼苗,测定根、茎、叶生物量鲜重和用烘干法测得其干重。同时计算以下指标:比叶面积(单位克鲜重的叶表面积),硬叶指数(单位叶表面积的克干重)和叶肉质化程度(单位叶表面积的含水量)。

2 结果与分析

2.1 不同施水量对生物量的影响

油蒿幼苗叶、枝、根和总生物量干重显著受到施水量的影响($P < 0.01$)(表 1)。随着施水量的增加,幼苗的以上生物量特征均得到增大。但 472.5mm 与 630.0mm 施水量的幼苗的生物量干重显著不差异,表明 472.5mm 施水量基本达到油蒿幼苗的生长需求。不同施水量对幼苗的生物量根冠比没有显著影响($P > 0.05$)(表 1),即不同施水量对油蒿幼苗的植物有机物质的根冠间的分配无显著影响。

2.2 不同施水量对枝叶的影响

不同施水量显著影响油蒿幼苗株高、总枝数和长度、总叶数和总叶面积($P < 0.01$)(表 1)。随着施水的

增加,以上特征均显著增加。

不同施水量对油蒿幼苗的叶结构具有显著影响(表1)。随着施水的增加,比叶面积逐渐增加,而硬叶指数和肉质化程度却逐渐减小。ANOVA 方差分析表明施水显著影响油蒿幼苗的硬叶指数($P < 0.01$),其中 157.5mm 的幼苗显著高于 630.0mm 和 472.5mm 施水量的幼苗硬叶指数(表2)。虽然幼苗比叶面积和肉质化程度在 4 种施水处理之间总体差异不显著($P > 0.05$),但 Duncan 多重比较检验却表明它们在 157.5mm 和 630.0mm 施水处理之间却有显著差异。

表 1 不同施水量的油蒿幼苗的生物量和形态特征

Table 1 Biomass and morphological characteristics of *A. ordosica* seedlings under different water supply

生长特征 Growth character	施水量 Water supply				ANOVA
	157.5mm	315.0mm	472.5mm	630.0mm	
叶生物量 Leaf biomass(g)	7.70±0.89 ^a	16.83±1.24 ^b	20.52±1.72 ^{ab}	21.58±1.51 ^a	*
枝生物量 Branch biomass(g)	12.59±1.12 ^c	28.73±2.12 ^b	47.52±3.43 ^a	53.94±3.19 ^a	*
根生物量 Root biomass(g)	6.68±0.76 ^c	12.93±0.52 ^b	18.45±1.52 ^c	19.90±1.12 ^c	*
总生物量 Total biomass(g)	26.96±2.12 ^c	58.49±3.44 ^b	86.48±5.66 ^a	95.42±4.86 ^a	*
根冠比 Root/Shoot biomass	0.33±0.03	0.30±0.02	0.27±0.02	0.27±0.02	Ns
株高 Tree height(cm)	50.8±1.9 ^d	66.0±2.1 ^c	78.7±1.8 ^b	86.5±2.4 ^a	*
总枝数 Total branch number	40.5±3.1 ^c	74.7±8.6 ^b	122.1±11.4 ^a	129.1±14.4 ^a	*
总枝长 Total branch length(m)	8.32±0.97 ^c	17.17±2.24 ^b	29.11±2.13 ^a	33.36±3.44 ^a	*
总叶数 Total leaf number	1170±127 ^c	2737±319 ^b	3698±282 ^a	4216.3±401 ^a	*
总叶面积 Total leaf area(m ²)	0.32±0.03 ^c	0.81±0.09 ^b	1.07±0.08 ^c	1.19±0.12 ^b	*
比叶面积 Specific leaf area(dm ² ·g ⁻¹)	1.13±0.134 ^b	1.33±0.15 ^{ab}	1.41±0.64 ^{ab}	1.58±0.16 ^a	NS
硬叶指数 Sclerophyllous index(g·dm ⁻²)	0.24±0.017 ^a	0.22±0.013 ^{ab}	0.19±0.007 ^b	0.19±0.009 ^b	*
肉质化程度 Succulence degree(g·dm ⁻¹)	0.75±0.11 ^a	0.64±0.10 ^{ab}	0.53±0.03 ^{ab}	0.49±0.05 ^b	NS

表中数据为平均值±标准误差。通过 Duncan 多重比较检验,具有相同字母的处理没达到显著性差异($P < 0.05$)

Ns、* 和 ** 分别代表 $P > 0.05$, $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$

Data of the table represent average value ± standard error. Treatments with the same letters are not significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan multiple range test. Ns and * symbols represent significant level $P > 0.05$, $P < 0.01$, respectively.

表 2 各施水量处理和各沙层深度的油蒿幼苗细根长的 Duncan 多重比较检验(cm·cm⁻¹)

Table 2 Duncan multiple range test for fine root length of *A. ordosica* seedlings between among different water supply treatments and among different sand layer depth

施水量 Water supply(mm)		沙层深度 Sand layer depth	
157.5	0.13±0.03 ^d	0~15cm	0.59±0.08 ^a
315.0	0.24±0.04 ^c	15~30cm	0.28±0.03 ^b
472.5	0.40±0.07 ^b	30~45cm	0.17±0.01 ^c
630.0	0.44±0.08 ^a	45~60cm	0.17±0.03 ^c

表中数据代表平均值±标准误差。通过 Duncan 多重比较检验,具有相同字母的处理没达到显著性差异($P < 0.05$) Data of the table represent Average value ± standard error. Treatments with the same letters are not significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan multiple range test.

2.3 不同施水量对细根分布的影响

施水量对油蒿幼苗细根长分布有明显影响(表3,图1), 157.5mm 施水量的细根长为 0.128cm·cm⁻¹, 随着施水量的增加,细根长分别显著增加为 0.237cm·cm⁻¹、0.397cm·cm⁻¹、0.442cm·cm⁻¹(表3), 分别是 157.5mm 的细根长的 1.85、3.10、3.45 倍。显然,施水量的增加能有效提高油蒿幼苗细根的生长。

不同沙层的油蒿细根长也有显著差异(表3,图2)。4 种施水量下的 0~15cm 沙层的平均细根长最大,为 0.58 cm·cm⁻¹,随着沙层深度的增加,平均细根长分别显著减小为 0.28 cm·cm⁻¹、0.17 cm·cm⁻¹、0.17 cm·cm⁻¹(表3),分别是 0~15cm 沙层的平均细根长的 0.47、0.29、0.29 倍。

然而不同施水量处理下各沙层的细根长变化有显著差异。157.5mm 和 315mm 施水量的细根长随着沙层深度的增加逐渐减小,而 472.5mm 和 630mm 施水量下的最深层(45~60mm)的细根长却比 30~45cm

沙层的细根长高(图2)。这些结果表明施水的增加能使油蒿幼苗细根向沙层深部生长,并使得细根在沙层中更合理的分配,有利于吸收更多的水资源。

3 结论与讨论

不同施水量显著影响油蒿幼苗生物量和枝叶形态。在施水量 157.5mm 到 630.0mm 区间,施水量的增加显著增加了油蒿幼苗的生物量和枝叶生长。但施水量的增加对油蒿幼苗的地上地下生物量分配影响不大,这不同于许多植物有受到资源限制时,通常调节植物地上地下生物量资源投资来适应环境变化^[11-16]。

在植物生长的研究中,大都注意于地上部分生长,而对根系研究较少,因为根系生长通常是不能直观看到的。然而根系活动对地上部水分与无机营养物质供应具有重要作用,并且是光合同化产物的一个巨大的 C 库。因此对根系的研究非常有必要。同时根系生长与土壤水分之间具有显著的相关性,通常根系在水分充足的土壤中生长,总是能满足植物蒸腾的需求;但是在土壤相当干旱时,水分供应经常落后于需要,从而影响植物生长^[17]。细根对水分吸收很重要,因为它是与土壤保持液相连续性的一种主要方式。本研究中,少量施水

下,沙基质水分不足,幼苗细根生长受到限制,并且细根几乎分布在 0~45cm 深的沙层中,造成的原因可能是干燥沙土不仅不能满足根系的对水分需要,而且也加强了沙土的机械强度,Taylor 和 Gardner^[18]已得出了类似的结果;而当施水量的增加时,显著提高幼苗细根生长,并促进细根向沙层更深部伸长,有利于细根充分获取水资源,从而更多地满足幼苗蒸腾及生长的需求。

比叶面积、硬叶指数和肉质化程度是反映植物叶片结构形态特征的重要指标。这些特征不仅反映了植物叶片的厚度,同时也能揭示植物的某些重要的生态特点,如具有光合潜力的叶片结构上的碳素投资^[19]。在本研究中,当减少施水量时,油蒿幼苗硬叶指数和肉质化程度增加,而比叶面积大大降低。显然这是油蒿幼苗对不同水分条件所采取的一种生态适应方式。这种对干旱的适应方式可能是油蒿幼苗在受到水分胁迫时,通过加强叶片的旱生结构特征,阻碍了水分的丢失,进而减少对沙地中水分的吸收,并有效利用沙土中的有限的水资源;当然肉质程度的加强也限制了对大气 CO₂ 的吸收,进而降低光合作用。许多植物学者发现类似的结果^[20-24]。当施水量增多时,能显著减少幼苗叶片肉质化程度及其旱生结构特征,有助于叶片提高对大气 CO₂ 的吸收。

本文预测了毛乌素沙地油蒿优势半灌木的生长和形态对未来降水变化的响应,发现油蒿幼苗对水分变化具有很强的适应能力。然而,植物对未来的生态适应必然还受到大气 CO₂ 浓度和温度的影响。因此,开展它们之间对油蒿的交互影响将有待进一步研究。尽管如此,随着全球变化日益加剧,未来的毛乌素沙地油蒿生态系统必将发生很大变化。因此,如何合理开发、利用和管理当前毛乌素沙地油蒿自然资源,最大限度减少因全球变化所带来的不利影响,使之保持油蒿生态系统持续性发展和防止该地区荒漠化将是毛乌素沙地持续发展的一个重要内容。

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 1990; *The IPCC Scientific Assessment* (Eds J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. T. Ephraums). Cambridge; Cambridge University Press. 1990.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 1992; *The Supplementary Report to the IPCC*

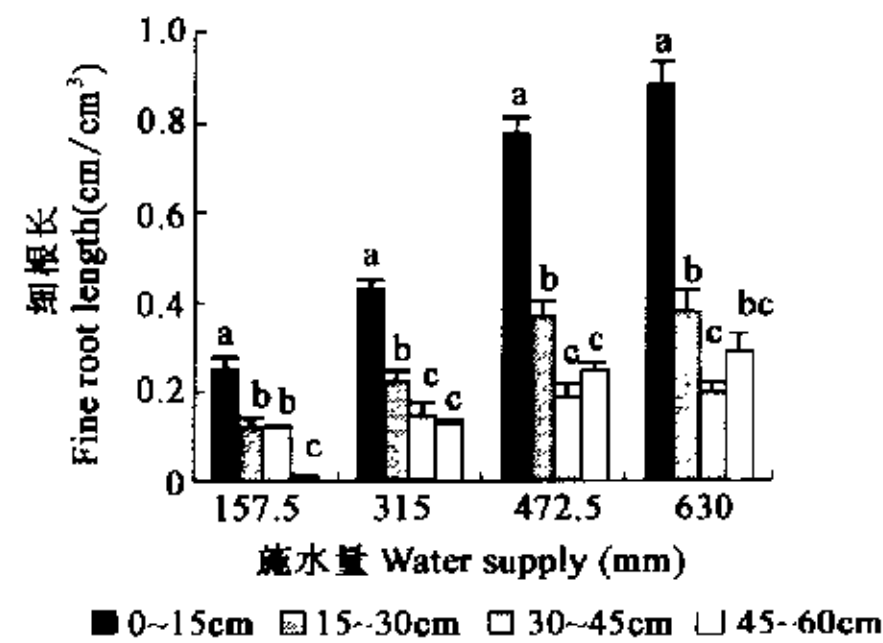


图1 不同施水量的油蒿幼苗的细根长在沙层中的分布。通过 Duncan 多重比较检验,具有不同字母的处理达到显著性检验($P < 0.05$)。误差棒代表平均值的标准误差。

Fig. 1 Distribution of Fine root length of *A. ordosica* seedlings under different water supply treatments. Treatments with the different letters are significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan multiple range test. The error bars represent errors of the means.

- Scientific Assessment* (Eds J. T. Houghton, B. A. Callender and S. K. Varney). Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 1994; *Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios* (Eds J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B. A. Callender, E. Haites, N. Harries and K. Maskell). Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [4] Robert Watson. Common themes for ecologists in global issues. *J. Appl. Ecol.*, 1999, 36: 1~10.
- [5] Babiker AM. Growth, dry matter and yield of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) and groundnut (*Arachis hypogaea*) under irrigated and droughted conditions. MSc thesis, University of Nottingham, UK, 1989.
- [6] Hsiao TC. Effect of drought and elevated CO₂ on plant water use efficiency and productivity. In: *Interaction Stresses on Plants in a Changing Climate. NATO ASI Series 1; Global Environmental Change Volume 16* (eds M. B. Jackson & C. R. Black). Berlin: Springer-verlag, 1993. 435~465.
- [7] Collinson ST, Berchie J, Azam-ah SN. Effect of soil moisture on light interception and the conversion coefficient for three landraces of bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *J. Agri. Science*, 1999, 133: 151~157.
- [8] Dahlman RC. Modelling needs for prediction responses to CO₂ enrichment: Plants, communities and ecosystems. *Ecol. Modell.*, 1985, 29: 77~106.
- [9] Dahlman RC. CO₂ and plants: Revisited. *Vegetatio*, 1993, 104/105: 339~355.
- [10] Malanson GP. Comment on modelling ecological response to climatic change. *Climatic Change*, 1993, 23: 95~109.
- [11] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式. *植物生态学报*, 1994, 18: 1~16.
- [12] Danin A. Plants of desert dune. Springer-verlag, Berlin, 1996.
- [13] 董学军, 张新时, 杨宝珍. 依据野外的蒸腾速率对几种沙地灌木水分平衡的初步依据. *植物生态学报*, 1997, 21: 208~225.
- [14] 肖春旺, 刘玉成. 不同光环境的四川大头茶幼苗的生态适应. *生态学报*, 1999, 19: 422~426.
- [15] 董 鸣, 等. 根茎禾草沙鞭的克隆基株及分株种群特征. *植物生态学报*, 1999, 23: 302~310.
- [16] 肖春旺, 董 鸣, 周广胜, 刘喜国. 鄂尔多斯高原沙柳幼苗对模拟降水量变化的响应. *生态学报*, 2001, 21: 171~176.
- [17] Lange O, Kappen L, Schulze ED. Water and Plant Life: Problems and Modern Approaches. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1976.
- [18] Taylor HM, Gardner HR. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.*, 1963, 96: 153~156.
- [19] Stoker O. Transpiration und Wasserhaushalt in verschiedenen Klimazonen I. Untersuchungen an der arktischen Baumgrenze in Schwedisch-Lappland. *Jb. Wiss. Bot.*, 1931, 75: 494~549.
- [20] Harrison AT. Temperature related effects on photosynthesis in *Heteromeles arbutifolia* M. Roem. Ph. D. Thesis. Stanford, 1971.
- [21] Morrow PA. The eco-physiology of drought adaptation of two Mediterranean climate evergreens. Ph. D. Thesis, Stanford, 1971.
- [22] Morrow PA, Mooney HA. Drought adaptations in two Californian evergreen sclerophylls. *Oecologia (Berlin)*, 1971, 15: 205~222.
- [23] Dunn EL. Seasonal patterns of carbon dioxide metabolism in evergreen sclerophylls in California and Chile. Ph. D. Thesis, Los Angeles, Univ. California, 1970.
- [24] Dunn EL. Environmental stresses and inherent limitations affecting CO₂ exchange in evergreen sclerophylls in Mediterranean climates. In: *Perspectives of Biophysical Ecology. Ecological Studies, Vol. 12* (eds. Gates DM, Schmerl RB.). New York-Heidelberg-Berlin: Springer, 1975. 159~181.