

阿拉善荒漠不同密度白沙蒿人工种群 生长、繁殖与土壤水分的关系

周志宇¹, 李锋瑞^{2*}, 陈亚明³, 吴彩霞¹, 傅 华¹, 李雪瑞¹

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;

3. 兰州大学干旱农业生态国家重点实验室, 兰州 730000)

摘要:研究了阿拉善荒漠飞播建植的不同密度人工白沙蒿 (*Artemisia sphaerocephala*) 种群的生长、繁殖与土壤水分的关系, 主要结果是: (1) 不同密度白沙蒿人工种群的生长与繁殖特征存在明显差异, 它反映在白沙蒿单株地上生物量、根量、生殖枝数和种子产量随着种群密度的增加而下降。(2) 不同密度白沙蒿种群的存活率明显不同, 当种群密度超过 3.1 株/m² 时, 个体植物生长发育不良, 并出现密度制约死亡(自疏)现象, 植株死亡率急剧上升。(3) 不同密度白沙蒿草地不同深度土壤含水量存在明显差异, 特别是 0~20 和 20~40cm 两个土层的土壤含水量随种群密度的增加显著下降, 与水资源容量相适应的白沙蒿种群密度约为 2.1 株/m², 在该密度下土壤水分含量基本上能够满足白沙蒿的生理生态需水。(4) 回归分析显示, 白沙蒿单株地上生物量与 0~20 和 20~40cm 的土壤含水量呈显著正相关, 而与 40cm 以下土层的土壤含水量无显著相关性, 表明白沙蒿种群的生长主要受 0~40cm 土层土壤含水量的影响。

关键词: 白沙蒿; 荒漠草地; 生长与繁殖; 种群密度; 灌木; 土壤水分

Growth and reproduction and their relationships with soil moisture in artificially established *Artemisia sphaerocephala* populations of different densities in the Alxa Desert

ZHOU Zhi-Yu¹, LI Feng-Rui^{2*}, CHEN Ya-Ming³, WU Cai-Xia¹, FU Hua¹, LI Xue-Rui¹ (1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000; 3. State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 895~899.

Abstract: At the southeastern edge of Tengger Desert in Inner Mongolia of northern China, grassland degradation usually occurs primarily due to improper management regimes in fragile environmental conditions. Over the last several decades, most sandy grasslands in this region have turned into shifting, semi-shifting and semi-fixed sandy lands, corresponding to severe, moderate and light degradation. To curb degradation and alleviate the impacts of degradation on environment and human life in this region, the central and local governments have implemented a variety of measures to restore vegetation on degraded grasslands since the mid 1990s. One of these measures is revegetation by planting indigenous shrubs and semi-shrubs (e. g. *Artemisia sphaerocephala*) through air seedling on severely degraded areas. As a result, artificial communities of *A. sphaerocephala* have been established in many parts of the Tengger desert. Little is known, however, about the effects of

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000048705); 国家自然科学基金重点资助项目(39730100); 国家自然科学基金西部环境研究资助项目计划(90102011); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新工程资助项目(210097)

收稿日期: 2003-09-28; **修订日期:** 2004-03-10

作者简介: 周志宇(1952~), 男, 陕西靖边人, 教授, 主要从事恢复生态学和草地营养学研究。E-mail: zyzhou@public.lz.gs.cn

* 通讯联系人 Author for correspondence. E-mail: lfengrui@vip.163.com

Foundation item: The National 973 Project (Grant No. G2000048705), the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 39730100 and 90102011) and the Innovation Project (No. 210097) from the Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute of Chinese Academy of Sciences

Received date: 2003-09-28; **Accepted date:** 2004-03-10

Biography: ZHOU Zhi-Yu, Professor, mainly engaged in rehabilitation ecology and grassland eco-chemistry. E-mail: zyzhou@public.lz.gs.cn

different densities of artificially established *A. sphaerocephala* communities on patterns of growth and reproduction of the plants in relation to soil water content.

In this paper, we examined the patterns of growth and reproduction of artificially established *A. sphaerocephala* populations with different densities as well as the relationship between standing biomass per plant and soil water content at different depths over the growing season in 2001. Several important conclusions can be drawn from this study. (1) There were striking differences in the patterns of growth and reproduction of *A. sphaerocephala* plants among populations of different densities, and above-ground biomass, root biomass, number of flowering shoots and seed yield per plant tended to decrease significantly with increasing density of *A. sphaerocephala* populations. Among the 5 density treatments, greatest values of the above performance measures were found in population with the lowest density of 1.1 plants/m² and lowest values of these measures occurred in population with the highest density of 5.3 plants/m². (2) There was a very low mortality rate of the plants in both the density treatments of 1.1 and 2.1 plants/m² compared with the other treatments. When density of the *A. sphaerocephala* populations was more than 3.1 plants/m², however, growth and reproduction of the plants were significantly limited and their mortality rate increased greatly. (3) There were also large differences in soil water contents at different depths among density treatments. This is particularly the case for soil water contents at the depths of 0~20 和 20~40cm decreasing significantly with increasing density of the population. The optimal density of *A. sphaerocephala* populations was found to be approximately 2 plants/m², because of greatest growth and reproduction of *A. sphaerocephala* plants in this density treatment. (4) Regression analyses indicated that standing biomass per plant had a strong positive relationship with soil water content in either the 0~20cm layer or the 20~40cm layer, but the relationship between standing biomass per plant and soil water content at depths below 40cm tended to be much weaker. This suggests that growth and reproduction of *A. sphaerocephala* plants were strongly related to soil water conditions within the 40cm layer.

Key words: *Artemisia sphaerocephala*; desert steppe; growth and reproduction; population density; shrubs; soil moisture

文章编号:1000-0933(2004)05-0895-05 中图分类号:Q948,S540.38 文献标识码:A

白沙蒿 (*Artemisia sphaerocephala*) 是我国西北干旱荒漠区流动和半固定沙地上常见的一种灌木植物^[1], 其枝叶为许多家畜所采食, 尤其为骆驼所喜食。同时, 白沙蒿是重要的固沙植物, 可以防风抗蚀, 对维持荒漠生态系统的稳定性具有特殊的意义。为了固定流动沙地, 1994 和 1996 年国家有关部门在内蒙古阿拉善左旗腾格里沙漠东南部进行了大面积白沙蒿飞播试验, 在许多流动沙地上建立了人工白沙蒿群落。然而, 由于飞播不均匀, 加之小尺度地形地貌的差异, 造成了人工白沙蒿群落的斑块状分布, 在不同斑块内白沙蒿种群的密度差异很大, 从而导致了不同斑块人工白沙蒿种群生长与繁殖的差异。由于不同斑块白沙蒿种群生长与繁殖的差异, 进一步导致了不同斑块白沙蒿草地土壤水分条件的差异。尽管不少人研究了植被密度、生产力与土壤水分的关系^[2~5], 但对不同密度人工白沙蒿种群生长与土壤水分关系的研究则不多见。付华等在 1996 年飞播建植的人工白沙蒿草地上对不同密度白沙蒿种群生长与土壤水分的关系作了一些初步的研究^[6]。在这些研究工作的基础上, 2001 年进一步系统研究了不同密度白沙蒿人工种群生长、繁殖与土壤水分的关系, 旨在确定干旱荒漠生境条件下最适宜的人工白沙蒿种群密度, 为人工白沙蒿草地的管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

研究地点位于内蒙古阿拉善左旗巴彦浩特西南部 30 km 处(东经 105°31', 北纬 39°07', 平均海拔 1400m)。该地区是典型干旱荒漠气候, 年均温度 8.1℃, ≥10℃年积温 3000~3400℃。年降水量 60~150mm, 70%以上集中在 7、8、9 月份, 年蒸发量 2300~2800mm。土壤为风沙土^[7]。1996 年飞播建植的人工白沙蒿群落区, 除了白沙蒿外, 主要伴生种有无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*)、沙生针茅 (*Stipa glareosa*)、沙鞭 (*Psammochloa mogolica*)、蒺藜 (*Tribulus terrestris*)、小画眉草 (*Eragrostis poaeoides*) 和蒙古虫实 (*Corispermum mongolicum*) 等。

1.2 研究方法

2001 年春季, 在 1996 年飞播建植的人工白沙蒿群落区内, 选取 5 个不同密度的白沙蒿草地斑块(平均种群密度分别为 1.1 株/m²(T1)、2.1 株/m²(T2)、3.1 株/m²(T3)、3.9 株/m²(T4) 和 5.3 株/m²(T5)) 作为试验样地。在每块样地上, 设置 5 个 4m×4m 的样方, 在每个样方中, 随机选取 3 株白沙蒿, 测定其株高、冠幅直径、生殖枝数、营养枝数、种子产量及地上生物量和根量(1m 深度)。生长季结束前, 还调查了每个样方中植株的存活情况。另外, 在 6~8 月份, 每月中旬在每个样方中采用常规土钻烘干法测定土壤含水量, 取样深度为 0~20、20~40、40~60、60~80 和 80~100cm, 重复 3 次。

1.3 数据处理

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同密度白沙蒿人工种群生长、繁殖及不同密度白沙蒿草地土壤含水量的差异;采用回归分析确定单株地上生物量与不同深度土壤含水量的关系^[8,9]。

2 结果与分析

2.1 不同密度白沙蒿人工种群的营养生长特征

方差分析表明,尽管不同密度处理在白沙蒿株高上无显著差异($F_{4,50}=2.31, P=0.071$),但冠幅直径、单株地上生物量和根量存在显著差异(冠幅直径: $F_{4,50}=33.79, P<0.0001$;单株地上生物量: $F_{4,50}=26.18, P<0.0001$;单株根量: $F_{4,14}=25.37, P<0.0001$)。从图1可见,在5个密度处理中,T1的单株地上生物量和根量最高,并显著高于其它4个处理;T2的单株地上生物量和根量亦显著高于T3、T4和T5;T3的单株地上生物量显著高于T4和T5,但根量仅显著高于T5。白沙蒿地下生物量的65%~80%分布在0~20cm土层内,13%~20%分布在20~40cm土层内,40cm以下土层中的根量很少。因此,白沙蒿属于浅根系植物,其生长主要依赖浅表层土壤水分。

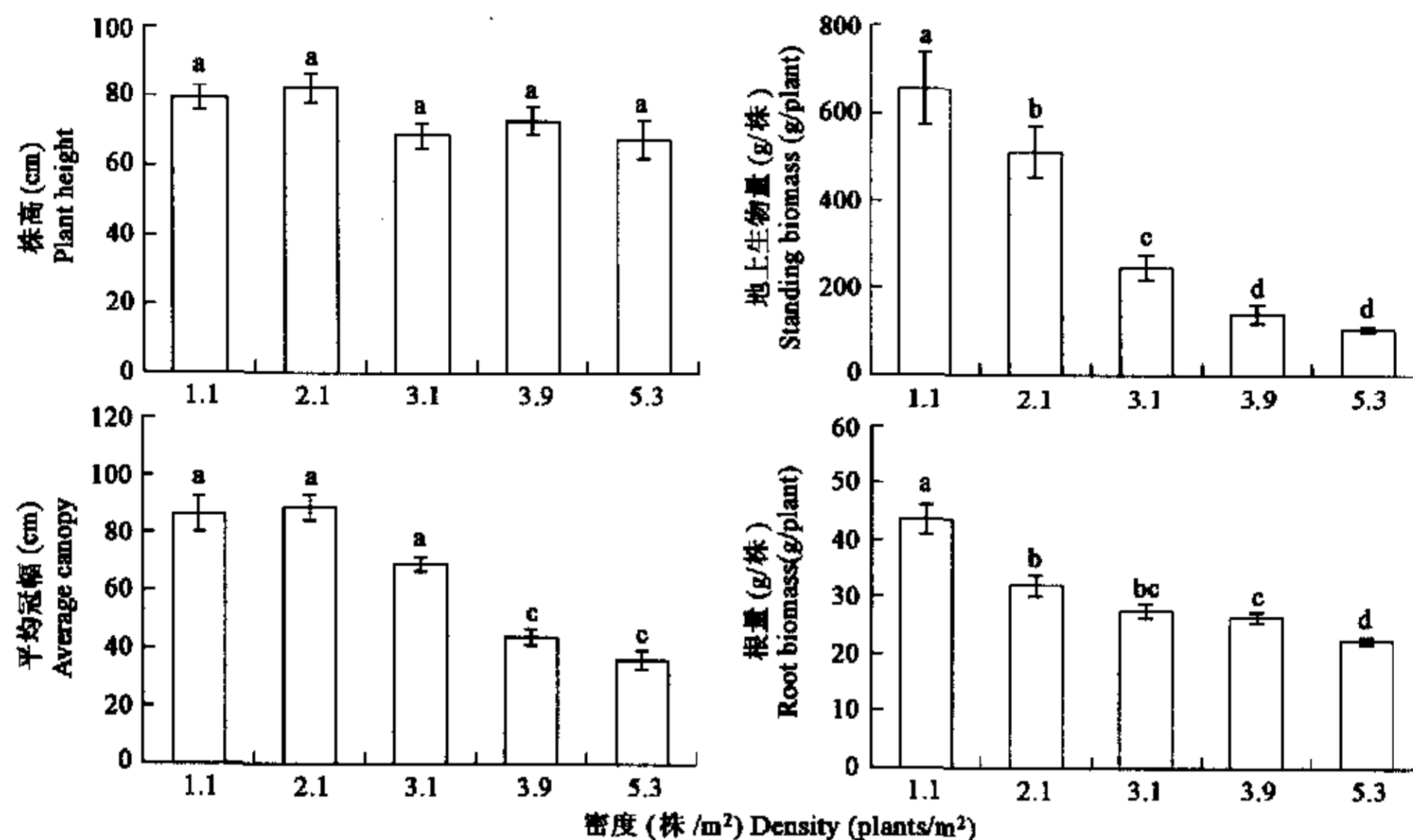


图1 不同密度白沙蒿人工种群营养生长特征

Fig.1 Growth patterns of air-sown *Artemisia sphaerocephala* populations across different densities

具不同字母者差异显著 ($P<0.05$) Means with different letters indicate significant differences at $P<0.05$

2.2 不同密度白沙蒿人工种群的繁殖生长特征

不同密度白沙蒿种群单株生殖枝数、产种量及生殖比(产种量/地上生物量)均存在显著差异(单株生殖枝数: $F_{4,50}=22.68, P<0.0001$;产种量: $F_{4,50}=31.42, P<0.0001$;生殖比: $F_{4,50}=10.34, P<0.0001$)。在5个密度处理中,T1的单株生殖枝数和产种量最高,其余依次为T2>T3>T4>T5。T1和T2的单株生殖枝数和产种量显著高于T3、T4和T5,而T1与T2相比差异不显著(图2)。与单株生殖枝数和产种量的变异模式不同,在5个密度处理中,T3的生殖比最高,其次是T2,再次是T1、T4、T5(图2)。

2.3 不同密度白沙蒿人工种群存活率的变异特征

对不同密度白沙蒿人工种群植物存活情况的调查结果显示,白沙蒿的存活率随着种群密度的增加而下降。在5个密度处理中,T1和T2的个体生长发育良好,未出现任何死亡的现象;T3的死亡率也较低,平均为7%;而T4和T5的个体植物生长发育不良,死亡率很高,分别为80%和83%。这一结果与先前的研究结果相一致^[8]。

2.4 不同密度种群白沙蒿草地土壤含水量的变异特征

对6月中旬、7月中旬和8月中旬3个不同时期测定的不同密度白沙蒿草地土壤含水量的比较分析可以看出:①5个密度处理在任何一个测定时期其土壤含水量均存在显著的差异,而且这种处理间的差异在0~20和20~40cm 2个土层表现得更为明显;②在任何一个测定时期,T1和T2的0~20和20~40cm 2个土层的土壤含水量均显著高于其它各处理,而T1与T2在20~40cm土壤含水量上显著差异,在0~20cm土壤含水量上差异不显著(图3);③对3个测定时期不同密度白沙蒿草地0~

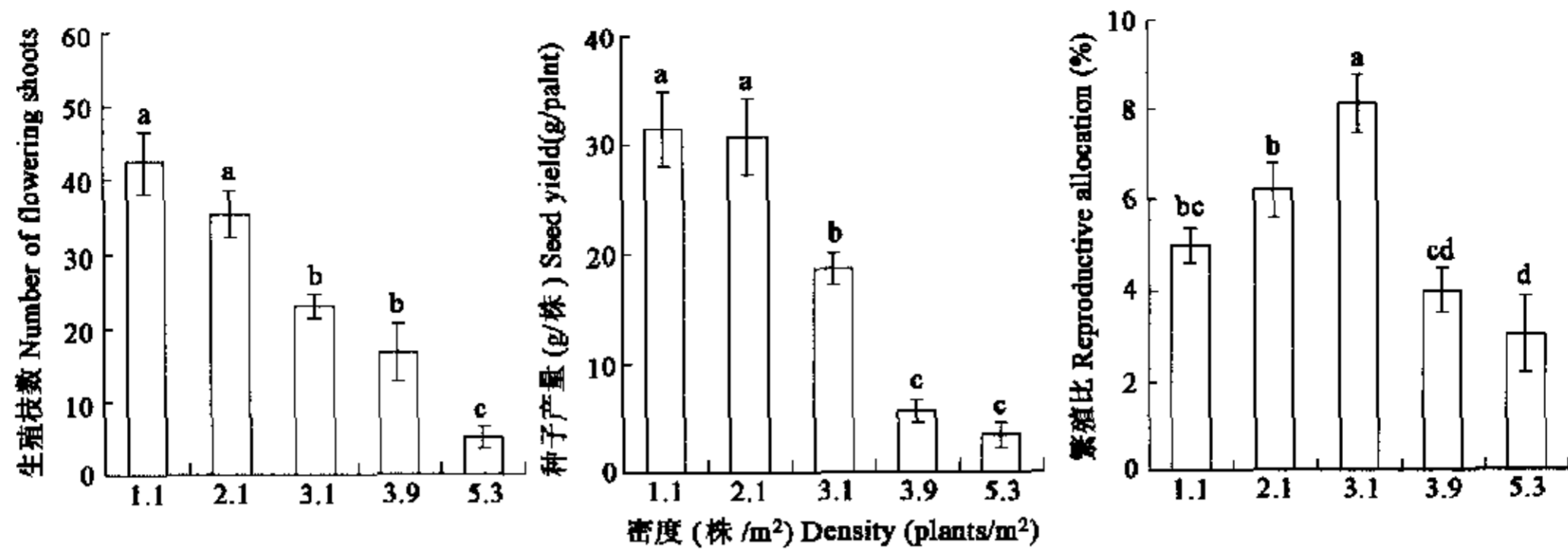


图 2 不同密度白沙蒿人工种群的繁殖生长特征

Fig. 2 Patterns of sexual reproduction in air-sown *Artemisia sphaerocephala* populations across different densities, $P < 0.05$

100cm 的平均土壤含水量进行比较分析发现,在6月中旬,T1 和 T2 的土壤含水量显著高于其它各处理,而 T1 与 T2 之间差异不显著(图 3);在7月中旬,T1 和 T2 的土壤含水量显著高于其它各处理,同时 T2 的土壤含水量亦显著高于 T1(图 3);在8月中旬,T2 的土壤含水量最高,显著高于 T3、T4 和 T5,而与 T1 相比差异不显著;T1 的土壤含水量显著高于 T4 和 T5(图 3)。由于白沙蒿种群密度不同,其对土壤水分的消耗利用情况亦不同,从而导致了不同密度白沙蒿草地土壤含水量的差异。

2.5 白沙蒿单株地上生物量与土壤含水量的关系

对白沙蒿单株地上生物量与 6、7、8 月份 3 个测定时期不同深度土壤含水量关系的回归分析表明,单株地上生物量与这 3 个时期 0~20 和 20~40cm 土层的土壤含水量呈显著的正相关,二者间的关系可分别用指数函数和线性函数来描述(图 4a~f)。综合 3 个时期的土壤含水量数据进行回归分析同样发现,单株地上生物量与 0~20 和 20~40cm 的土壤含水量呈显著正相关(图 4g, h)。另外,对单株地上生物量与 3 个测定时期 40~60、60~80 和 80~100cm 3 个土层的土壤含水量的关系进行了回归分析,结果表明,虽然单株地上生物量与这 3 个土层的土壤含水量亦存在正相关关系,但其相关性与 0~20 和 20~40cm 2 个土层相比要弱得多。以上这些结果表明,白沙蒿的生长主要受 0~40cm 土层土壤含水量的影响。

3 结论

(1)不同密度白沙蒿人工种群的生长与繁殖特征存在明显差异,它主要反映在白沙蒿单株地上生物量、根量、生殖枝数和种子产量随着种群密度的增加而下降。

(2)不同密度白沙蒿种群的存活率明显不同,当种群密度超过 3.1 株/m² 时,个体植物生长发育不良,出现密度依赖死亡(自疏)现象,植株死亡率急剧上升。

(3)不同密度种群白沙蒿草地不同深度土壤含水量存在明显差异,特别是 0~20 和 20~40cm 2 个土层土壤含水量随着种群密度的增加而下降。在阿拉善荒漠生境条件下,与水资源容量相适应的白沙蒿种群密度约为 2.1 株/m²,在该密度下土壤水分含量基本上能满足白沙蒿的生理生态需水。

(4)白沙蒿单株地上生物量与 0~20 和 20~40cm 的土壤含水量呈显著正相关而与 40cm 以下土层的土壤含水量无显著相关性,这表明白沙蒿人工种群生长主要受 0~40cm 土壤含水量的影响。以上结果为人工白沙蒿草地的管理提供了重要的科学依据。

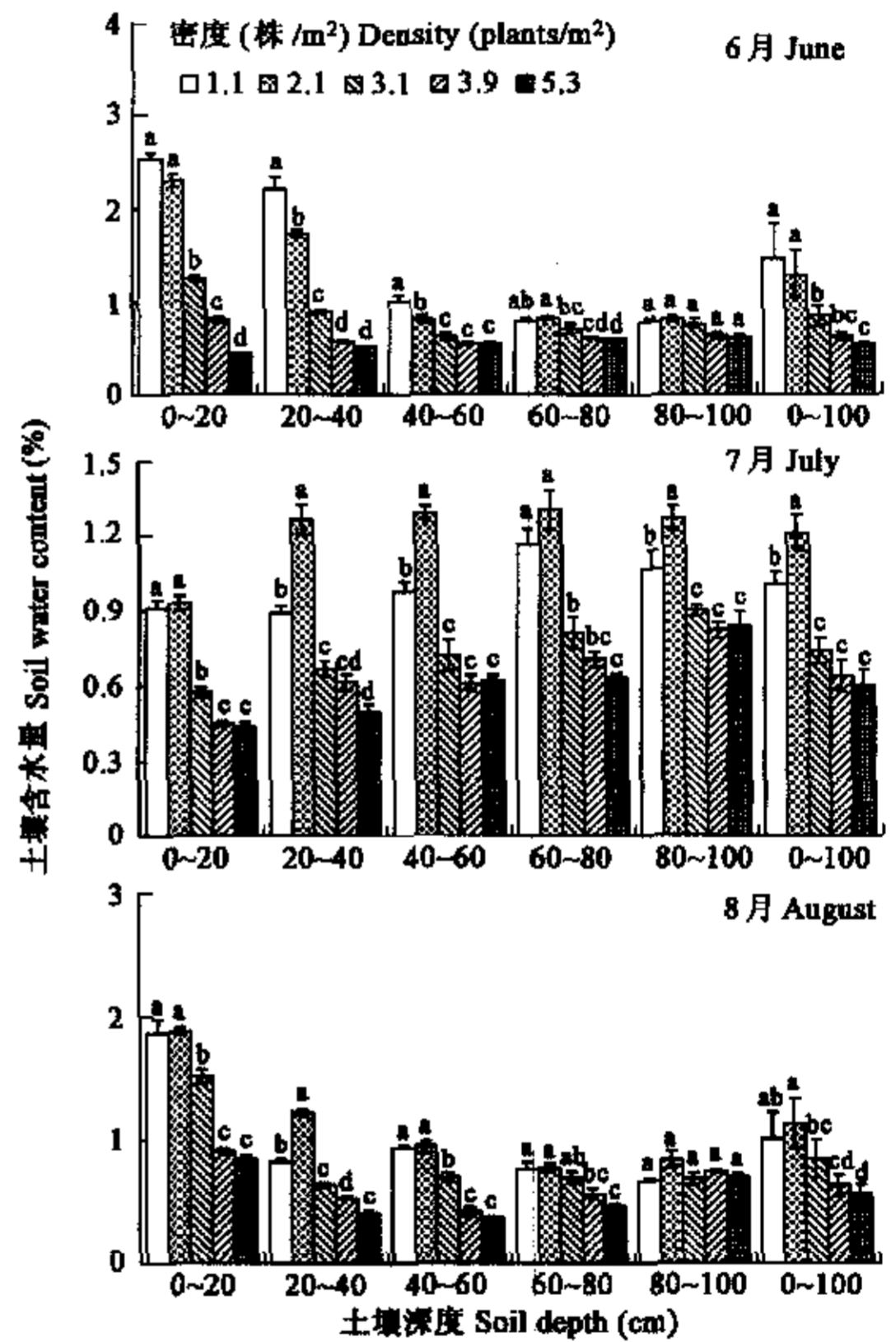


图 3 不同时期不同种群密度白沙蒿草地土壤含水量的变化特征
Fig. 3 Changes in soil water content at different soil depths of different periods in air-sown *Artemisia sphaerocephala* populations under different densities, $P < 0.05$

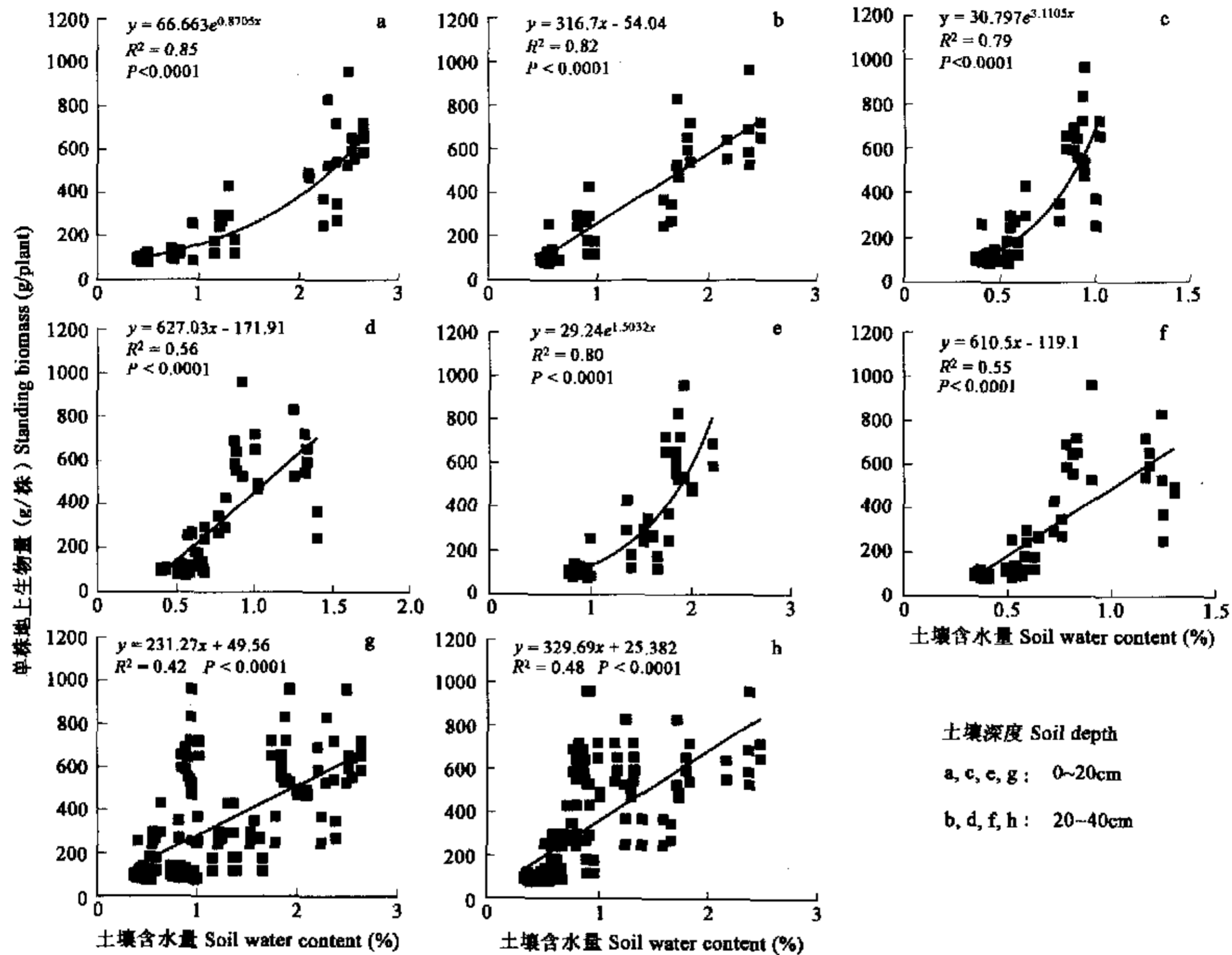


图4 白沙蒿单株地上生物量与不同深度土壤含水量的关系

Fig. 4 Relationship between standing biomass (g/plant) and soil water content at different soil depths
a, b 6月 June; c, d 7月 July; e, f 8月 August; g, h 综合3个时期 three censuses are combined

References:

- [1] Huang Z Y, Hu Z H, Zhang X S. Seed germination in *Artemisia sphaerocephala* I. The structure and function of the mucilaginous achene. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25** (1): 22~28.
- [2] Zhang N, Liang Y M. The effect of arid climate on the structure and above-ground growth of *Bothriochloa ischaemum* community. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20** (6): 964~970.
- [3] Liao R T, Song B Y, et al. Water relations and ecologic adaptability of dune plants in the Muwusu sand lands. *Journal of Arid land Resources and Environment*, 1993, **7**(2): 83~90.
- [4] Zhang L M, Shangguan Z P. Relationship between soil moisture and vegetation productivity in the Loess Plateau. *Arid Zone Research*, 2002, **19**(4): 59~63.
- [5] Gorham E. Shoot height, weight and standing crop in relation to density of monospecific plant stands. *Nature*, 1979, **279**: 148~150.
- [6] Fu H, Zhou Z Y. A study on relationship between vegetation density and soil water content of air-sown *Artemisia sphaerocephala* grassland in southeastern edge of Tengger desert, Inner Mongolia, China. *Journal of Desert Research*, 2001, **21**(3): 265~269.
- [7] Chen L H, Li F X, et al. *Aeolian Sandy Soil in China*. Beijing: Science Press, 1998. 36~58.
- [8] Li F R, Zhao A F, Zhou H Y, et al. Effects of simulated grazing on growth and persistence of *Artemisia frigida* in a semiarid sandy rangeland. *Grass and Forage Science*, 2002, **57**: 239~246.
- [9] Zhao L Y, Li F R, Wang X Z. Characteristics of soil seed bank and standing vegetation change in sandy grasslands along a desertification gradient. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23** (9): 1745~1756.

参考文献:

- [1] 黄振英, 胡正海, 张新时. 白沙蒿种子萌发特性的研究 I. 粘液瘦果的结构和功能. *植物生态学报*, 2001, **25**(1): 22~28.
- [2] 张娜, 梁一民. 干旱气候对白羊草群落土壤水分和地上部生长的初步观察. *生态学报*, 2000, **20** (6): 964~970.
- [3] 廖汝棠, 宋炳煜. 毛乌素沙地沙生植物的水分关系和生态适应性. *干旱区资源与环境*, 1993, **7**(2): 83~90.
- [4] 张雷明, 上官周平. 黄土高原土壤水分与植被生产力的关系. *干旱区研究*, 2002, **19** (4): 59~63.
- [6] 付华, 周志宇, 陈善科. 腾格里沙漠东南缘飞播区白沙蒿植被密度与土壤水分关系的研究. *中国沙漠*, 2001, **21**(3): 265~269.
- [7] 陈隆亨, 李福兴. *中国风沙土*. 北京: 科学出版社, 1998.
- [9] 赵丽娅, 李锋瑞, 王先之. 草地沙化过程地上植被与土壤种子库变化特征. *生态学报*, 2003, **23** (9): 1745~1756.