

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

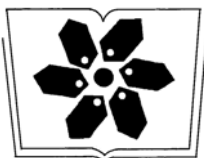
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 3 期 2014 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 刘孝富,王文杰,李京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 庞明月,张力小,王长波 (537)

个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 马璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 林琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 朱凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 潘延鑫,罗纨,贾忠华,等 (597)

种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 刘雨芳,李菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 马威,孙军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 张雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 侯鹏,申文明,王桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 黄辉,孟平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2 , CH_4 和 N_2O 通量特征 贺桂香,李凯辉,宋韦,等 (674)

景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 董林林,杨浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化 CO_2 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 吴小红,简燕,陈晓娟,等 (701)

资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02



封面图说: 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201303260515

黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 高欢欢, 徐立帅. 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响. 生态学报, 2014, 34(3): 572-580.

Huang C B, Zeng F J, Lei J Q, Gao H H, Xu L S. Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(3): 572-580.

灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响

黄彩变^{1,2,*}, 曾凡江^{1,2}, 雷加强^{1,2}, 高欢欢^{1,2}, 徐立帅^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 新疆 策勒 848300)

摘要: 采用盆栽试验, 比较了 5 个灌溉梯度下 (4.6、6.1、7.7、9.2、13.0 kg·株⁻¹·次⁻¹) 沙拐枣幼苗氮素累积分配、利用和回收特征及其生长特性差异。结果表明: 随灌溉量增加, 沙拐枣幼苗整株氮素累积量和干物质质量均显著增加, 但在最高灌溉量下沙拐枣幼苗出现严重病害。生长旺季干物质和氮素主要分配在同化枝中, 平均分别占总株的 39.5% 和 66.1%, 随灌溉量增加分配比例显著增加; 季末茎和老枝是干物质和氮素的主要累积器官, 平均分别占总株的 54.7% 和 47.8%, 分配比例也随灌溉量增加而显著增加。干旱条件下沙拐枣幼苗具有较高的根冠比, 增加灌溉量后显著下降。生长旺季沙拐枣幼苗具有较高氮素回收效率, 平均为 64.4%, 灌溉后明显增加; 季末平均为 58.1%, 灌溉后有下降趋势。在两个生长季平均氮素利用效率分别为 120.5 和 235.8 g/g, 增加灌溉量虽可提高植物氮素利用效率, 但在最高灌溉量下氮素利用效率出现降低。由此可见, 沙拐枣幼苗物质分配特征具有明显的季节性和可塑性, 灌溉量过高和过低都不利于沙拐枣幼苗生长及氮素回收和利用效率的提高, 因此中等灌溉量 (7.7—9.2 kg·株⁻¹·次⁻¹) 更有利于其生长及自身特性发挥。

关键词: 沙拐枣幼苗; 灌溉; 干物质; 氮素分配; 氮素利用效率; 氮素回收效率

Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings

HUANG Caibian^{1,2,*}, ZENG Fanjiang^{1,2}, LEI Jiaqiang^{1,2}, GAO Huanhuan^{1,2}, XU Lishuai^{1,2}

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

2 Cele National Field Science Observation and Research Station for Desert-Grassland Ecology, Xinjiang Cele 848300, China

Abstract: Water and nitrogen (N) are two primary factors controlling plant growth in desert ecosystems. Most studies have focused on water stress resulting from the low rainfall and high evaporation rates in arid areas. However, irrigation has become the main strategy for vegetation recovery in the southern rim of Tarim Basin. Many studies have shown that irrigation is most effective when nutrients are not limited, and fertilization is most effective when plants are not water-stressed. In addition, N not only affects drought tolerance through changing dry matter partitioning, but also plays an important role in ecosystem functioning and vegetation succession. Therefore, the combined effects of water and N on vegetation recovery and reconstruction in this area should be evaluated. We conducted a pot experiment to study characteristics of N allocation, use, and resorption, and growth of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings under different irrigation treatments (4.6, 6.1, 7.7, 9.2, 13.0 kg/plant per irrigation event). The results showed that the amounts of both N and dry matter per whole plant significantly increased with increasing amounts of irrigation. However, *C. caput-medusae* Schrenk seedlings were infected with powdery mildew at the high irrigation level (13.0 kg/plant). During the early growth stage, irrigation promoted dry

基金项目: 中国科学院西部博士资助项目 (XBBS201002); 国家博士后面上基金资助项目 (20100471680); 国家科技支撑计划资助项目 (2009BAC54B01); 国家自然科学基金资助项目 (31200352)

收稿日期: 2013-03-23; **修订日期:** 2013-09-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangcaibian@tom.com

matter accumulation in and N allocation to, assimilating branches. On average, these assimilating branches accounted for 39.5% of whole-plant dry matter accumulation and 66.1% of whole-plant N-allocation. During the late growth stage, stems and older branches became the main organs for dry matter and N accumulation, on average accounting for 54.7% and 47.8% of whole-plant dry matter accumulation and N accumulation, respectively. The dry matter accumulation in and N allocation to stems and older branches was positively affected by irrigation at the end of the growing season. The plants allocated more dry matter and N into assimilating branches in their early growth stage to obtain more photosynthates, and to stems and older branches at the late growth stage to accumulate more energy for plant growth the following year. The root/shoot ratio of *C. caput-medusae* Schrenk seedlings was markedly higher under dry conditions than under irrigated conditions. The mean value of N resorption efficiency (NRE) at the early and late growth stages was 64.4% and 58.1%, respectively. The NRE was positively affected by irrigation at the early growth stage, but negatively affected by irrigation at the late growth stage (at the end of the growing season). There was a clear seasonal variation in N use efficiency (NUE), with a low mean value (120.5 g/g) at the early growth stage and a high mean value (235.8 g/g) at the late growth stage. Irrigation significantly enhanced the NUE of assimilating branches, stems, and older branches, and roots at the late growth stage. Although the whole-plant NUE increased significantly under higher irrigation levels, excessive irrigation did not increase the NUE. These findings suggested that both N and biomass could be distributed to the most appropriate organ of *C. caput-medusae* Schrenk at different growth stages to adapt to the arid and barren natural environment. Since plant growth and N use could be limited by over-irrigation and water stress, medium irrigation levels (7.7—9.2 kg/plant) were appropriate for establishing *C. caput-medusae* Schrenk seedlings in this area.

Key Words: *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings, dry matter, N allocation, N-use efficiency, N resorption efficiency

塔里木盆地南缘年降雨量不足 40 mm, 而年蒸发量接近 2600 mm, 加上近年来水资源过度开发, 使得地表水域萎缩、地下水位下降, 植物生长和恢复面临的水资源威胁更为突出^[1]。除水分外, 氮素也被认为是干旱区植物生长和存活的重要制约因素^[2-3]。在研究区域土壤氮素含量极低, 平均约为 0.02 g/kg^[4]。随着农牧业的发展, 干旱地区氮沉降问题已开始引起人们广泛关注, 因此了解其所带来的生态效应对解决土壤氮素限制问题有着重要的生态学意义。然而在干旱区植被恢复和重建过程中, 人们对水分问题关注更多。因此, 研究在水分条件影响下植物的氮素营养特征对于干旱区植被恢复和生态防护体系建设具有重要的科学指导意义。

头状沙拐枣 (*Calligonum caput-medusae* Schrenk), 蓼科拐枣属灌木, 具有抗风蚀、耐沙埋、抗干旱、耐瘠薄等特点, 由于其生活力强、生长迅速、防风固沙效果突出, 在塔克拉玛干沙漠南缘被广泛用于防护林建设。目前, 关于沙拐枣在人工种植过程中对土壤水分条件的生理生态响应已有大量研究。沙拐枣在干旱生境中具有较高的水分利用效率^[5],

可维持较高水势和光合能力^[6], 属于生理抵抗型^[7]。干旱条件下, 沙拐枣幼苗可通过增加根系深度和根冠比、同化枝枯落等途径来适应干旱胁迫^[8]。沙拐枣在幼苗期株高、基茎和冠幅等形态特征和水分条件呈正相关^[9]。然而, 关于沙拐枣幼苗氮素营养特征研究却较少。在研究区域因土壤干旱, 氮素移动性较差, 对植物而言几乎无效。因此, 在人工灌溉条件下, 土壤水分可能是影响沙拐枣幼苗氮素供应的主要因素。为此, 本研究在塔克拉玛干沙漠南缘荒漠试验场, 采用水分控制试验, 研究了不同灌水条件下沙拐枣生物量和氮素累积分配特征, 并探讨了沙拐枣氮素利用和回收特征与水分条件关系, 研究结果可为绿洲外围植被恢复和重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲外围荒漠试验场 (80°43′45.9″E, 37°01′20.7″N), 海拔为 1340—1380 m, 属于暖温带极端干旱区。年平均风速 1.9 m/s, 年平均大于 8 级大风天数为 40d, 沙尘暴

频繁,年均 30d。年平均气温 11.9℃,极端最高气温 41.9℃,极端最低气温 -23.9℃,植物生长季(4—9 月)的平均气温为 21.8℃。年均降水量仅 35.1 mm,且主要集中在 4—9 月份,年均蒸发量高达 2595.3 mm,无霜期平均约为 209 d。策勒境内有 9 条季节性河流,均属于降雨、积雪融水和冰川融水综合补给性河流,年径流总量为 5.85 亿 m³,约 68.6%左右集中在夏季(6—8 月)。该区域地下水位约在 16 m,因此,策勒绿洲前缘植被的生长过程中水资源补给主要依赖于夏季洪水灌溉。绿洲外围植被稀少以骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap)群落为主,并伴生有少量的怪柳(*Tamarix ramosissima*)和花花柴(*Karelinia capsica*),盖度约为 38.9%。

1.2 研究方法

采用盆栽试验,试验材料为种子直播的当年生沙拐枣幼苗。试验用盆为白色塑料桶,高 60 cm,上口径 50 cm,下口径 40 cm。供试土壤采自绿洲外围荒漠区 0—60 cm 土层,风干后,过筛除去枯枝杂草,混匀后备用。土壤有机质含量为 2.18 g/kg,全氮、磷、钾含量平均值分别为 0.17、0.49、14.6 g/kg,速效氮、速效磷、速效钾含量相应为 17.6、1.7、145.7 mg/kg。

2011 年 4 月 20 日开始装盆,每盆装土 85 kg。由于夏季气温较高,蒸发较快,将塑料盆埋于地下,盆上缘距地面约 3 cm。播种前进行一次充分灌溉,使土壤水分含量达到供试土壤的田间持水量(18%)。每盆播种 6—8 粒,播种深度为 3 cm 左右。播种前将沙拐枣种子浸泡 2—3d 后,沙藏催芽,待部分种子吐白后播种。出苗后及时疏苗,待幼苗生长稳定后每盆留苗 1 株,5 月中旬开始灌水处理。当地防护林主要采用滴灌,灌溉周期普遍为 1 周,灌溉量通常也不确定,因此水资源的浪费比较严重。为此本试验灌水量根据田间持水量的 30%(W₁)、40%(W₂)、50%(W₃)、60%(W₄)和 85%(W₅)设 5 个灌水梯度,即干旱处理:单株灌水 4.6 kg·株⁻¹·次⁻¹(W₁)、6.1 kg·株⁻¹·次⁻¹(W₂)、中等灌溉 7.7 kg·株⁻¹·次⁻¹(W₃)、9.2 kg·株⁻¹·次⁻¹(W₄)、充分灌溉 13.0 kg·株⁻¹·次⁻¹(W₅)。每个处理 16 个重复,共 80 盆。灌水周期根据 W₁处理 0—5 cm 土层水分含量确定,采用烘干称重法,在含水量低于 2%时进行灌水。总体来看,5—6 月灌水周期为 15 d,6—8 月 8 d,9—10 月

12 d。

1.3 样品采集及测定

沙拐枣在生长过程中有老枝不断枯落、新枝不断产生的现象,这种现象也具有明显的季节性差异,因此分别在生长旺季(7 月)和季末(9 月)进行取样。分别于 2011 年 7 月和 9 月初在每个处理中筛选出长势一致的 4 株幼苗并做标记,在每株冠层上、中、下部各采集 4 个成熟同化枝,混合成一个样品。7 月和 9 月枯枝直接从筛选植株的地表收集。样品采集后装入纸袋,放入烘箱中,在 75℃烘至恒重。

生物量和氮素测定样品分别于 7 月底和 10 月初采集,剪下前期标记植株地上部分后将同化枝分开。由于同化枝在失绿衰老后,部分枯落,还有一部分将转变为茎和老枝以萌发新枝,因此将二者混合在一起。根系直接用水冲洗后,将主根和侧根分开。样品按器官分开装入纸袋,在 75℃烘至恒重后称量。所有干样粉碎后过筛,采用浓 H₂SO₄-H₂O₂消解后,用凯氏定氮法测定全氮含量。

1.4 氮素累积分配和利用的计算

植物氮素分配、利用及回收的相关参数计算如下:

(1) 氮素累积量(g) = 同化枝(或茎和老枝、或根系)含氮量(%) × 同化枝(或茎和老枝、或根系)干物质量(g)

(2) 氮素分配比例(%) = 同化枝(或茎和老枝、或根系)氮素累积量(g) × 100 / 整株氮素累积量(g)

(3) 氮素利用效率(g/g) = 同化枝(或茎和老枝、或根系)干物质量(g) / 同化枝(或茎和老枝、或根系)氮素累积量(g)^[10]

(4) 氮素回收效率(g/g) = 1 - 枯枝含氮量 / 同化枝含氮量^[11]

1.5 数据分析

数据分析采用 SPSS 16.0 软件,选择单因素方差分析(one-way ANOVA)进行不同处理间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同水分条件下沙拐枣幼苗干物质累积分配特征

2.1.1 水分条件对沙拐枣幼苗干物质累积的影响

由图 1 可以看出水分条件对沙拐枣幼苗干物质

累积有明显影响。干旱处理 W_1 和 W_2 干物质累积差异较小,但显著低于其它处理。与干旱处理相比,7 月中等灌溉处理干物质累积平均增加了 40%,10 月增加了 132.4%;充分灌溉条件下 (W_5),沙拐枣幼苗干物质分别显著增加了 118.3%(7 月)和 364.1%(10 月),但是植物幼苗已出现明显的白粉病。

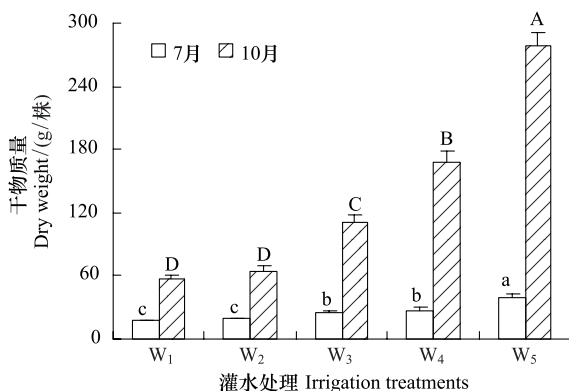


图1 不同灌溉处理下整株干物质累积差异

Fig.1 Changes in dry matter accumulation under different irrigation treatments

不同小写字母表示 7 月不同处理间差异显著 ($P < 0.05$),不同大写字母表示 10 月不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

2.1.2 水分条件对沙拐枣幼苗干物质分配的影响

在植物旺长期 (7 月),同化枝干物质分配比例较高,平均为 39.5%,其次是茎和老枝 (31.3%) (表 1)。水分条件对不同部位干物质分配比例有明显影响。干旱处理下茎和老枝干物质分配比例相对较高,平均为 31.7%,增加灌水量后,其分配比例没有明显变化,但 W_3 — W_5 处理下同化枝的分配比例分别增加了 5.3%、26.9%和 12.5%。侧根干物质分配比例也受到水分条件的明显影响,与 W_1 处理相比, W_2 — W_5 处理分别降低了 16.0%、57.3%、58.4%和 37.7%。可见,生长旺季灌溉显著增加了同化枝干物质分配比例,但明显降低了侧根分配比例。

生长季末 (10 月),沙拐枣幼苗干物质主要分配在茎和老枝,平均约占整株的 54.7%。与 7 月相比主根干物质分配比例也明显增加,平均约占整株的 25.3%。随灌水量增加茎和老枝的分配比例显著增加, W_4 处理下达到最高,主根和侧根分配比例却有不同程度降低。这表明灌溉明显促进了干物质向茎和老枝的分配,同时降低了根系的分配比例。

表 1 不同灌溉处理下沙拐枣幼苗干物质分配比例差异

Table 1 Changes in dry matter allocation proportion of *C. caput-medusae* Schrenk under different irrigation treatments

处理 Treatments	7 月 July				10 月 October			
	同化枝/% Assimilating branches	茎和老枝/% Stem and older branches	主根/% Main root	侧根/% Lateral root	同化枝/% Assimilating branches	茎和老枝/% Stem and older branches	主根/% Main root	侧根/% Lateral root
W_1	31.7c	35.2a	17.5b	15.6a	12.6bc	47.8c	30.9a	8.9ab
W_2	29.8c	28.1a	29.1a	13.1b	9.7d	48.6c	31.2a	10.9a
W_3	41.6b	32.8a	18.9b	6.7c	13.4ab	57.0b	19.9c	9.7a
W_4	50.1a	30.3a	14.6b	6.5c	10.5cd	62.4a	20.4c	6.7b
W_5	44.4ab	30.2a	16.0b	9.7bc	15.5a	57.8b	24.1b	2.7c

同列中不同小写字母表示差异达 5%显著水平

由图 2 可以看出,7 月和 10 月干旱处理下沙拐枣幼苗均有较高的根冠比,尤其是 W_2 处理在 7 月显著高于其它处理,但在 10 月与 W_1 差异不明显,平均为 0.69。7 月和 10 月 W_3 、 W_4 和 W_5 处理间差异均不明显,平均分别为 0.32 和 0.39。这进一步证明了沙拐枣幼苗在干旱条件下可通过增加根系干物质分配比例,以扩大自身的觅水空间来适应干旱的土壤环境。

2.2 不同水分条件下沙拐枣幼苗氮素累积分配特征

2.2.1 水分条件对沙拐枣幼苗氮素累积的影响

由图 3 可以看出灌溉对沙拐枣幼苗氮素累积有

明显的促进作用,在生长后期更为明显。7 月整株氮素累积大小顺序为 $W_4 > W_5 > W_3 > W_2 > W_1$,除 W_2 和 W_1 差异不明显外,其它处理间差异均达显著水平。10 月氮素累积量大小顺序为 $W_5 > W_4 > W_3 > W_2 > W_1$,其中 W_1 和 W_2 、 W_3 和 W_4 差异均不明显,但都显著低于 W_5 。

2.2.2 水分条件对沙拐枣幼苗氮素分配的影响

由表 2 可以看出,7 月植物氮素主要分配在同化枝,平均约占整株累积量的 66.1%,其次是茎和老枝,平均为 19.2%。水分条件对植物氮素分配比例也有明显影响。与 W_1 处理相比,增加灌水量后同化

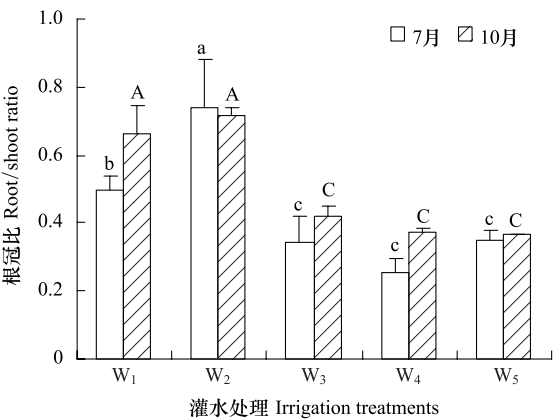


图2 不同灌溉处理下沙拐枣幼苗根冠比差异

Fig.2 Changes in root : shoot biomass ratio of *C. caput-medusae* Schrenk under different irrigation treatments

枝氮素分配比例分别增加了4.4%、17.8%、35.2%和16.5%,茎和老枝则分别降低了26.4%、29.8%、54.4%和59.5%。主根氮素分配比例随灌水量增加

没有明显的变化规律,侧根氮素却有不同程度的降低趋势。可以看出,增加灌水量对氮素向同化枝分配有明显促进作用,但却降低了茎和老枝及侧根分配比例。

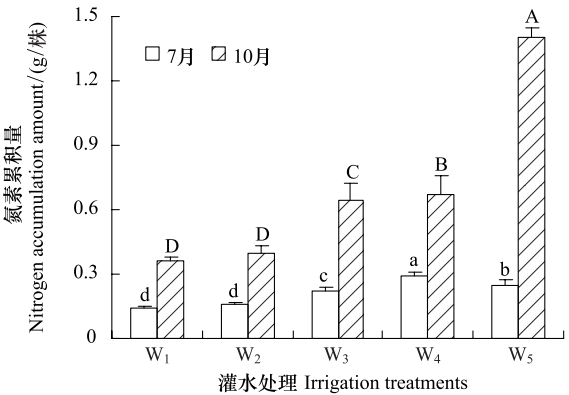


图3 不同灌溉处理下沙拐枣幼苗氮素累积差异

Fig.3 Changes in nitrogen accumulation of *C. caput-medusae* Schrenk under different irrigation treatments

表2 不同灌溉处理下沙拐枣幼苗氮素分配比例差异

Table 2 Changes in nitrogen allocation proportion of *C. caput-medusae* Schrenk under different irrigation treatments

处理 Treatments	7月 July				10月 October			
	同化枝/% Assimilating branches	茎和老枝/% Stem and older branches	主根/% Main root	侧根/% Lateral root	同化枝/% Assimilating branches	茎和老枝/% Stem and older branches	主根/% Main root	侧根/% Lateral root
W ₁	57.6c	29.2a	5.2d	8.1a	29.0b	43.5cd	16.3c	11.2b
W ₂	60.1c	21.5b	11.3b	7.1a	21.5c	39.9d	24.8a	13.8a
W ₃	67.9b	20.5b	7.0c	4.7b	23.3bc	60.3a	8.1d	8.3c
W ₄	77.9a	13.3c	4.8d	4.1b	26.6bc	46.0bc	20.3b	7.0c
W ₅	67.1b	11.8c	13.4a	7.7a	32.3a	49.2b	16.4c	2.2d

季末植物氮素分配情况发生了明显改变,茎和老枝分配比例明显提高,平均约为47.8%。主根氮素分配比例与7月相比也显著增加,平均约为17.2%。灌水对氮素分配比例影响因生长器官而异。与W₁处理相比,增加灌水量后茎和老枝氮素分配比例变化幅度分别为-8.2%、38.7%、5.8%和13.0%,同化枝为-25.9%、-19.7%、-8.2%和11.3%,主根为52.1%、-50.6%、24.8%和0.7%,侧根除W₂外则呈显著下降趋势。可以看出,灌溉可促使氮素向茎和老枝及主根转移,但却不同程度降低了同化枝和侧根分配比例。

2.3 氮素回收效率

由图4可以看出,沙拐枣幼苗具有较高的氮素回收能力,在生长旺季和水分关系更为密切。7月沙

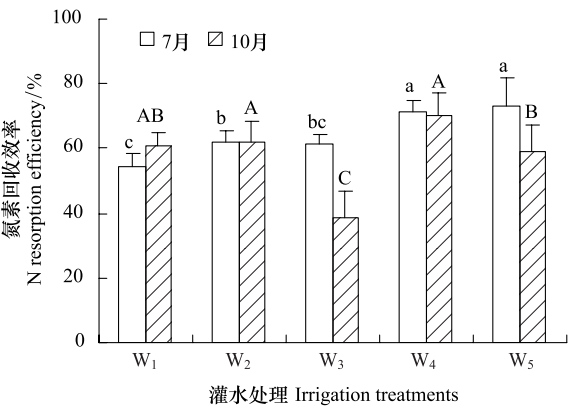


图4 不同灌水处理下沙拐枣幼苗氮素回收效率差异

Fig.4 Changes in N resorption efficiency under different irrigation treatments

拐枣幼苗氮素回收效率平均约为64.4%,随灌水量

增加而逐渐增大。 W_1 处理氮素回收效率最低,但和 W_3 差异不明显; W_5 最高,和 W_4 差异也不明显。季末(10月)氮素回收效率大小顺序为 $W_4 > W_2 > W_1 > W_5 > W_3$,平均为58.1%。除 W_3 和 W_5 外,其它处理间差异不明显。

2.4 氮素利用效率

由表3可以看出,在两个生长季均是同化枝氮素利用效率最低,根系相对较高。7月增加灌溉量后同化枝氮素利用效率变化较小,只有在 W_5 处理下才明显上升,根系氮素利用效率呈减小趋势,茎和老枝则显著增加。季末,与 W_1 处理相比, W_2 — W_5 处理同化枝氮素利用效率分别增加了7.7%、47.2%、48.7%

和39.9%,茎和老枝变化幅度分别为6.7%、-5.2%、83.5%和34.9%,根系相应为-29.3%、55.6%、23.1%和46.5%。可以看出,季末灌溉可明显提高地上部氮素利用效率,对根系氮素利用效率也有明显促进作用。

7月整株氮素利用效率平均值为120.5 g/g,在季末显著增加,平均为235.8 g/g。与 W_1 处理相比,增加灌水量后7月氮素利用效率变化幅度分别为4.5%、-3.3%、-22.0%和35.5%,季末变化幅度分别为1.6%、10.8%、109.8%和11.6%。可见,增加灌溉量虽可提高沙拐枣幼苗的氮素利用能力,但在充分灌溉条件下氮素利用效率并未继续升高。

表3 不同灌水处理下沙拐枣幼苗氮素利用效率差异

Table 3 Changes in nitrogen use efficiency of *C. caput-medusae* Schrenk under different irrigation treatments

处理 Treatments	7月 July				10月 October			
	同化枝/% Assimilating branches	茎和老枝/% Stem and older branches	主根/% Main root	侧根/% Lateral root	同化枝/% Assimilating branches	茎和老枝/% Stem and older branches	根系/% Root	整株/% Whole plant
W_1	64.4b	141.9c	294.3a	117.1b	68.0b	173.7c	213.6c	186.0b
W_2	60.1b	159.6c	281.5a	122.3b	73.2b	185.4c	150.9d	189.1b
W_3	68.8b	178.2b	251.0ab	113.2b	100.1a	164.7c	332.3a	206.1b
W_4	58.3b	185.8b	222.1bc	91.4c	101.1a	318.7a	263.0b	390.3a
W_5	105.0a	330.7a	193.5c	158.6a	95.2a	234.3b	312.9ab	207.5b

3 讨论

植物生长特征是其在外形态上对土壤水分条件变化的最直接反应。有研究表明,水分胁迫抑制植物生长和生物量累积^[12],但植物可通过调整生物量分配将逆境伤害降到最低^[13]。本研究发现随灌溉量增加沙拐枣幼苗干物质累积也显著增加,但过量灌溉会引起植物严重病害。因此,灌水量过高和过低均不利于沙拐枣幼苗生长。在所有灌水处理下沙拐枣幼苗表现出相同的干物质分配特征,即生长旺季沙拐枣将更多的干物质分配到光合器官同化枝中,以增加光合产物累积;季末,干物质开始向茎和老枝及根系大量转移,为来生长蓄积能量。不同器官干物质分配比例明显受到供水量影响,增加灌溉量可提高同化枝、茎和老枝的干物质分配比例,但却降低根系分配比例,因此干旱条件下沙拐枣幼苗具有较高根冠比。这和前人的研究结论一致,即干旱可促进生物量向根系分配,以扩大资源获取空间^[14]。本研究还进一步发现干旱条件下侧根干物

质分配比例明显高于其它处理。这可能是因为在水分供应不足时植物以拓展资源的获取空间为主,所以将更多光合产物分配到水分和养分的主要吸收部位侧根中。由此可见,在适应干旱环境的过程中,沙拐枣幼苗已形成了自身特有的生长调节方式,其生物量分配格局表现出明显的季节性和可塑性。

水分丰缺不仅制约植物生长,还影响到养分吸收、分配和转移。有研究表明增加灌溉量可提高植物氮素累积量^[15],但过量灌溉将抑制氮素吸收^[16]。本研究也有类似发现,生长旺季和季末沙拐枣幼苗均未出现缺氮,整株氮素累积量随灌溉量增加而显著增加。在所有灌水处理下沙拐枣幼苗均表现出相同的氮素分配特征,即生长旺季同化枝是氮素的主要贮存器官,季末却转变为茎和老枝。大多研究表明叶片氮素分配比例在生长初期最高,根系分配比例随植物生长而增加,在生长末期根系氮素累积达最高^[4, 17-18]。沙拐枣叶片已退化成鳞片,主要依靠同化枝进行光合作用。由于光合器官含氮量和光合速率成正相关^[19],所以在植物光合作用和能量代谢

较强的7月,同化枝氮素分配比例最高。茎和老枝是由同化枝生长成熟后转变而来,可重新萌发新枝,所以季末累积更多的氮素主要是为来年生长蓄积能量。沙拐枣幼苗氮素分配格局和灌溉量的关系也因季节而异,在生长旺季同化枝氮素分配比例随灌溉量增加而增加,茎和老枝及侧根则有降低趋势,季末不同部位的氮素分配比例和灌水量没有明显相关性。Grechi等^[20]和Wang等^[21]认为植物为了提高适应和竞争能力,会向主要的生长部位投入较多的氮,而向次要部位投入较少。这表明在生长旺季同化枝是沙拐枣的生长核心,且随灌溉量增加其核心地位也进一步增强;季末,植物生长核心则变为茎和老枝,但与灌溉量没有明显相关性。沙拐枣这种特有的氮素分配策略对其适应极端干旱贫瘠环境具有极其重要的生态学意义。

氮素利用效率是反映植物对氮素吸收和利用特征的一个重要参数,和水分有效性密切相关。有研究表明增加土壤湿度可提高植物养分利用效率^[22],干旱胁迫和过量灌溉则会降低植物氮素利用效率^[4, 16, 23]。本研究表明灌溉对沙拐枣幼苗地上部和整株氮素利用效率有明显促进作用,但是过量灌溉并不能获得较高氮素利用效率。根系氮素利用效率受水分条件影响因季节而异,在生长旺季增加灌溉量有降低根系氮素利用效率的趋势,季末却有不同程度促进作用。生长旺季在干旱处理下沙拐枣幼苗为拓展资源获取空间分配到根系的干物质比例明显较高,且远高于其氮素分配比例,所以根系氮素利用效率也相对较高。生长季末,根系干物质和氮素的分配比例均明显增加,其中干旱处理下氮素分配比例增加更明显,导致根系氮素利用效率出现降低。因此,本研究结果与前人的不一致性可能是因为沙拐枣不同于其它植物物种的物质分配策略。

养分回收是植物普遍存在的现象,是植物保存养分、增强竞争力、提高养分吸收能力和生产力的重要策略之一。有研究表明养分贫瘠生境中植物的共同特征是具有较高的养分回收效率,而不是很强的养分吸收能力^[24]。本研究发现在生长旺季沙拐枣幼苗氮素回收效率最高,平均为64.4%,季末略有降低,平均为58.1%。这与我国北部半干旱区灌木的平均氮素回收效率(58.84%)相近^[25],但要高于全球范围内灌木氮素回收效率的平均值(55.4%)^[26]。这

说明沙拐枣幼苗具有较高的氮素保持能力,并表现出明显的季节性特征。植物氮素回收效率同样也受到水分条件影响,增加土壤水分含量会降低植物氮素回收效率^[27]。对全球范围内灌木调查也发现,植物氮素回收效率与年均降雨量成负相关关系^[26]。本研究表明在生长旺季氮素回收效率随灌水量增加而明显提升,季末则有降低趋势。Yuan等^[27]也发现植物氮素回收效率在生长旺季最高,季末明显降低。植物氮素回收效率高低主要由土壤氮素有效性决定,氮素有效性越高,氮素回收效率就越低^[28]。因此,本研究与前人结果不一致性可能与水分条件对沙拐枣幼苗根际氮素有效性的影响有关,还有待进一步探讨。

综上所述,沙拐枣在长期进化过程中已形成了特有的物质分配策略,在生长旺季主要将干物质和氮素分配在同化枝中,以获取更多光合产物和生长能量;季末则向茎和老枝及根系转移,为来年生长蓄积能量。在干旱条件下,植物生长虽然受到抑制但并未出现缺氮现象,这可能与沙拐枣本身具有较高的氮素利用和回收能力有关。灌溉量增加后,季末沙拐枣幼苗干物质和氮素累积也显著增加,氮素利用效率也明显提高,但是过量灌溉植物并未获得较高的氮素利用效率,氮素回收效率也明显下降,还出现严重的植物病害。因此,沙拐枣幼苗定植过程中应推荐中等灌溉量($7.7\text{--}9.9\text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{次}^{-1}$),这不仅可以发挥沙拐枣幼苗自身生长特性,也为沙拐枣人工种植过程中水资源的有效利用提供了有益参考。

References:

- [1] Bao C, Fang C L. Impact of Water Resources Exploitation and Utilization on Eco-environment in Arid Area: Progress and Prospect. *Progress in Geography*, 2008, 27(3): 38-46.
- [2] Zeng F J, Bleby T M, Landman P A, Adams M A, Arndt S K. Water and nutrient dynamics in surface roots and soils are not modified by short-term flooding of phreatophytic plants in a hyperarid desert. *Plant and Soil*, 2006, 279: 129-139.
- [3] Hooper D U, Johnson L. Nitrogen limitation in dryland ecosystems: responses to geographical and temporal variation in precipitation. *Biogeochemistry*, 1999, 46: 247-293.
- [4] Zeng F J, Liu B, He J X, Zhang X L, Liu Z, An G X, Zeng J. Effect of irrigation on nitrogen characteristics of *Alhagi sparsifolia* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2118-2127.

- [5] Zeng F J, Li X Y, Zhang X M Foetzi A, Arndt S K. Water physiological characteristics of four perennial plant species around Cele Oasis in Xinjiang. Chinese Journal of Applied Ecology. 2009, 20(11): 2632-2638.
- [6] Su P X, Zhao A F, Zhang L X, Du M W, Chen H S. Characteristic in photosynthesis, transpiration and water use efficiency of *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum mongolicum* of desert species. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2003, 23(1): 11-17.
- [7] Li X Y, Thomas F M, Foetzi A, Zeng F J, Zhang X M, He X Y. The responses of *Calligonum caput-medusae* to changes of water conditions under natural environment. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(4): 516-521.
- [8] Liu Z, Zeng F J, An G X, Liu B, Li H F, Zhang L G, Gao H H. Influence of Irrigation Amounts on Seedling Growth and Biomass Allocation of *Calligonum caput-medusae* at the Southern Fringe of the Taklimakan Desert. Journal of Desert Research. 2012, 32(6): 1655-1661.
- [9] Song C, Zeng F J, Liu B, Zhang L G, Luo W C, Peng S L, Arndt S K. Influence of water condition on morphological characteristics and biomass of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings. Chinese Journal of Ecology. 2012, 31(9): 2225-2233.
- [10] Shaver G R, Melillo J M. Nutrient budgets of marsh plants: efficiency concepts and relation to availability. Ecology, 1984, 65(5): 1491-1510.
- [11] Lü X T, Han X G. Nutrient resorption responses to water and nitrogen amendment in semi-arid grassland of Inner Mongolia, China. Plant and Soil, 2010, 327: 481-491.
- [12] Li Y, Yunus Q M, Zhu Y. Effects of Water Stress on Photosynthetic Characteristics and Biomass Partition of *Elaeagnus moorcroftii*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica. 2006, 26(12): 2493-2499.
- [13] Xiao D M, Wang M, Ji L Z. Influence of water stress on growth and biomass allocation of dominant tree species in mixed forest of broad-leaved and Korean pine at Changbai Mountain. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 93-97.
- [14] Guo W, Li B, Zhang X, Wang R. Architectural plasticity and growth responses of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana intermedia* seedlings to simulated water stress. Journal of Arid Environments, 2007, 69: 385-399.
- [15] Yang X Y, Yu Z W, Xu Z Z. Effects of irrigation regimes on water consumption characteristics and nitrogen accumulation and allocation in wheat. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 845-853.
- [16] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L. Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes. Journal of Agronomy and Crop Science, 2005, 191: 439-449.
- [17] Fan Z Q, Wang Z Q, Wu C, Li H X. Effect of different nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedling's biomass, N partitioning and their seasonal variation. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1497-1501.
- [18] Sun Z G, Liu J S, Wang J D, Qin S J. Biomass structure and nitrogen and phosphorus contents of *Calamagrostis angustifolia* populations in different communities of Sanjiang Plain. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(2): 221-228.
- [19] Katahata S, Naramoto M, Kakubari Y, Mukai Y. Photosynthetic capacity and nitrogen partitioning in foliage of the evergreen shrub *Daphniphyllum humile* along a natural light gradient. Tree Physiology, 2007, 27(2): 199-208.
- [20] Grechi I, Vivin P, Hilbert G, Milin S, Robert T, Gaudillère J P. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. Environmental and Experimental Botany, 2007, 59(2): 139-149.
- [21] Wang G G, Bauerle W L, Mudder B T. Effects of light acclimation on the photosynthesis, growth and biomass allocation in American chestnut (*Castanea dentata*) seedlings. Forest Ecology and Management, 2006, 226(1/3): 173-180.
- [22] Kost J A, Boerner R E J. Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficiency in *Cornus florida*. Oecologia. 1985, 66: 602-606.
- [23] Plaut Z, Butow B J, Blumenthal C S, Wrigley C W. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficits and elevated temperature. Field Crops Research, 2004, 86(2/3): 185-198.
- [24] Aerts R. Nitrogen partitioning between resorption and decomposition pathways: a trade-off between nitrogen use efficiency and litter decomposability?. Oikos, 1997, 80: 603-606.
- [25] Ren L Y, Yuan Z Y, Wang H Y, Wen Z J. Nitrogen resorption of three life-forms (trees, shrubs and grasses) in the semi-arid region of North China. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica. 2005, 25(3): 497-502.
- [26] Yuan Z Y, Chen H Y H. Global-scale patterns of nutrient resorption associated with latitude, temperature and precipitation. Global Ecology and Biogeography, 2009, 18: 11-18.
- [27] Yuan Z Y, Li L H, Han X G, Huang J H, Wan S Q. Foliar nitrogen dynamics and nitrogen resorption of a sandy shrub *Salix gordejewii* in northern China. Plant and Soil, 2005, 278: 183-193.
- [28] Singh S P, Bargali K, Joshi A, Chaudhry S. Nitrogen resorption in leaves of tree and shrub seedlings in response to increasing soil fertility. Current Science, 2005, 89(2): 389-396.

参考文献:

- [1] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源开发利用对生态环境影响的研究进展与展望. 地理科学进展, 2008, 27(3): 38-46.
- [4] 曾凡江, 刘波, 贺俊霞, 张晓蕾, 刘镇, 安桂香, 曾杰. 骆驼刺幼苗氮素特征对不同灌溉量的响应. 生态学报, 2010, 30(8): 2118-2127.

- [5] 曾凡江, 李向义, 张希明, Foetzki A, Arndt S K. 新疆策勒绿洲外围四种多年生植物的水分生理特征. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2632-2638.
- [6] 苏培玺, 赵爱芬, 张立新, 杜明武, 陈怀顺. 荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征. 西北植物学报, 2003, 23(1): 11-17.
- [7] 李向义, Thomas F M, Foetzki A, 曾凡江, 张希明, 何兴元. 自然状况下头状沙拐枣对水分条件变化的响应. 植物生态学报, 2003, 27(4): 516-521.
- [8] 刘镇, 曾凡江, 安桂香, 刘波, 李海峰, 张利刚, 高欢欢. 塔克拉玛干沙漠南缘头状沙拐枣幼苗生长和生物量分配对不同灌溉量的响应. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1655-1661.
- [9] 宋聪, 曾凡江, 刘波, 张利刚, 罗维成, 彭守兰, Arndt S K. 不同水分条件对头状沙拐枣幼苗形态特征及生物量的影响. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2225-2233.
- [12] 李阳, 齐曼·尤努斯, 祝燕. 水分胁迫对大果沙枣光合特性及生物量分配的影响. 西北植物学报, 2006, 26(12): 2493-2499.
- [13] 肖冬梅, 王森, 姬兰柱. 水分胁迫对长白山阔叶红松林主要树种生长及生物量分配的影响. 生态学杂志, 2004, 23(5): 93-97.
- [15] 杨晓亚, 于振文, 许振柱. 灌水量和灌水时期对小麦耗水特性和氮素积累分配的影响. 生态学报, 2009, 29(2): 846-853.
- [17] 范志强, 王政权, 吴楚, 李红心. 不同供氮水平对水曲柳苗木生物量、氮分配及其季节变化的影响. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1497-1501.
- [18] 孙志高, 刘景双, 王金达, 秦胜金. 三江平原不同群落小叶章种群生物量及氮、磷营养结构动态. 应用生态学报, 2006, 17(2): 221-228.
- [25] 任丽昀, 袁志友, 王洪义, 温增军. 中国北部半干旱区乔木、灌木和草本 3 种不同生活型植物的氮素回收特征. 西北植物学报, 2005, 25(3): 497-502.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus*
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis*
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS)
..... MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone
..... DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils
..... WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach
..... SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan
..... SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression
..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi
..... LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area
..... LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China
..... WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China
..... LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 3 (February, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元