

骆驼刺幼苗氮素特征对不同灌溉量的响应

曾凡江^{1,3,*}, 刘波^{1,2,3}, 贺俊霞^{1,2,3}, 张晓蕾^{1,2,3}, 刘镇^{1,2,3}, 安桂香^{1,2,3}, 曾杰⁴

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 策勒 848300; 4. 贵阳市农业局, 贵阳 550081)

摘要: 氮素在植物所有必需营养元素中是限制生长的首要元素。氮素的来源和分配不但影响氮素利用效率,而且与氮素的周转和内循环有密切关系。为了解极端干旱区深根系植物的氮素特征(生物固氮、氮素分配、氮素利用效率),在塔克拉玛干沙漠南缘的策勒绿洲,依托策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站,以骆驼刺幼苗为研究对象,采用¹⁵N稳定同位素法和分层分段挖根法,对3种灌溉量(CK 、 0.1 、 $0.2\text{m}^3/\text{m}^2$)下骆驼刺幼苗的氮素特征进行了1个生长季内的动态研究。结果表明:(1)灌溉提高生物固氮,但是灌溉量过多抑制生物固氮。在生长季末,3个灌溉量下的生物固氮比例分别为30.0%、42.8%、11.3%;生物固氮质量分别为0.4、0.8、0.2g/株。(2)灌溉使得分配到骆驼刺幼苗茎、叶中的氮素比例、氮素质量增加,根中氮素质量增加,在生长季初,分配到叶的氮素质量最大,分配到根中的氮素质量最小,在生长季末,3种灌溉量下根中氮素比例高达49.2%、44.5%、55.0%;灌溉有利于增加氮素利用效率,但是,灌溉量过多会降低氮素利用效率。在生长季末,3种灌溉量(CK 、 0.1 、 $0.2\text{m}^3/\text{m}^2$)下氮素利用效率分别是:77.9、104.3、84.5。(3)试验中,通过比较不同灌溉量对骆驼刺幼苗氮素特征的影响,发现 $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$ 灌溉量为较佳灌溉量。

关键词: 骆驼刺幼苗; 生物固氮; 氮素分配; 氮素利用效率; ¹⁵N稳定同位素

Effect of irrigation on nitrogen characteristics of *Alhagi sparsifolia* seedlings

ZENG Fanjiang^{1,3,*}, LIU Bo^{1,2,3}, HE Junxia^{1,2,3}, ZHANG Xiaolei^{1,2,3}, LIU Zhen^{1,2,3}, AN Guixiang^{1,2,3}, ZENG Jie⁴

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

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3 Cele National Field Science Observation and Research Station of Desert Grassland Ecosystem, Qira 848300 Xinjiang, China

4 Agricultural Bureau of Guiyang, Guiyang 550081, China

Abstract: We investigated the effect of different irrigation levels on nitrogen characteristics of *Alhagi sparsifolia* Shap. seedlings to study the ecological adaptation strategy of the eremophytes in Qira oasis in the extremely arid southern margin of the Taklamakan desert. We used stable isotope ¹⁵N labeling and stratified root excavation methods to investigate the biological fixation of nitrogen, nitrogen allocation and nitrogen use efficiency of a month old *A. sparsifolia* seedlings under three different irrigation regimes (CK , $0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$, $0.2\text{ m}^3/\text{m}^2$) during the growing season (March—October) in 2008.

The results indicate that irrigation influenced all studied nitrogen characteristics of *A. sparsifolia* seedlings. (1) Irrigation promoted biological fixation of nitrogen compared to control, but decreased at higher irrigation rates ($0.2\text{ m}^3/\text{m}^2$). The biological fixation of nitrogen was greatest under $0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$ irrigation with 0.8g per plant or 42.8% and lowest under control (0.2 g per plant, 11.3%). Intermediate nitrogen fixation rates were observed under the greatest irrigation rates (0.4 g per plant, 30%). (2) Irrigation initially increased the nitrogen allocation in the stem, leaves, and the quantity of nitrogen in the surface layer of root system (0—60cm). In the beginning of the growing season, leaves had the largest proportion of nitrogen and roots had the smallest. At the end of the growing season, the proportion of nitrogen in root system

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目(30670386, 30870471); 中国科学院野外台站基金资助项目; 新疆科技攻关和重点科技资助项目(200633130); 新疆科技重大专项资助项目(200733144-2)

收稿日期:2009-07-03; 修订日期:2009-12-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fjzeng369@sohu.com

under the three different irrigation regimes were 49.2% (control), 44.5% ($0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$), and 55.0% ($0.2\text{ m}^3/\text{m}^2$). Over the course of the entire growing season, irrigation promoted the nitrogen use efficiency compared to control, but decreased under large amounts of irrigation. At the end of growing season we observed a nitrogen use efficiency of 77.9 for the control, 104.3 for the $0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$ irrigation and 84.5 for the $0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$ irrigation. (3) In this experiment, we compared the influence of different irrigation on the characteristic of nitrogen of *Alhagi sparsifolia* Shap. Seedlings. The result indicate that the irrigation of $0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$ is the better.

In summary, irrigation of $0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$ had the most stimulating effect on *A. sparsifolia* seedlings. The plants had the greatest biological nitrogen fixation, greatest nitrogen use efficiency and allocated most of the nitrogen to the root system.

Key Words: *Alhagi sparsifolia* Shap. seedlings; biological fixation of nitrogen; nitrogen allocation; nitrogen use efficiency; ^{15}N stable isotope

极端干旱环境下的植物的氮素的来源和分配不但影响氮素利用效率,而且与氮素的周转和内循环有密切关系。骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)是生长于荒漠、半荒漠区的多年生豆科草本植物。它不仅具有适应性强、耐干旱、耐盐碱的特点,在防风固沙、维护绿洲生态安全方面也发挥着重要作用^[1],同时骆驼刺植被又是一种重要的饲料资源,在畜牧业生产中占有一定的地位。早在1933年,就有学者对生长在俄罗斯的几种骆驼刺进行了刺和叶的形态描述^[2],之后,其他学者分别对骆驼刺的种群性质和群落生态结构^[3],养分供应状况^[4],水分关系^[5],净光合速率和水分利用效率^[6],生长速率^[7],耐盐状况^[8],再生能力^[9],生存、分布范围与地下水的关系^[10]等方面进行了详细研究,但是对于骆驼刺生物固氮、氮素分配、氮素利用效率的研究还很少,关于生物固氮、氮素分配、氮素利用效率的研究大多集中在农业生态系统和森林生态系统中^[11-12],对生长在荒漠地区的植物的研究较少。由于天然生骆驼刺的根系很深,在笔者的野外调查中发现,在地下13.5m深处仍有骆驼刺根分布,要研究天然生骆驼刺的氮素特征困难很大,因此,本研究设置了3种灌溉量,以骆驼刺幼苗为研究对象,对其氮素特征(生物固氮、氮素分配、氮素利用效率)进行了一个生长季的动态变化特征研究,不仅有助于了解极端干旱区深根系植物的氮素特征,而且有助于骆驼刺植被的恢复重建和防风治沙。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验依托策勒荒漠草原生态系统国家野外研究站($36^{\circ}51'30''\text{N}, 80^{\circ}44'28''\text{E}$),在其试验场地内进行。策勒绿洲前沿荒漠-绿洲过渡带上的建群种植物主要有:骆驼刺、多枝柽柳、花花柴。该区域属于典型的内陆暖温带荒漠气候,年平均气温 11.9°C ,1月平均气温 -11.7°C ,7月平均气温 25.2°C ;极端最高气温 41.9°C ,极端最低气温 -23.9°C ,5月份和7月份的降雨次数相对较多,但是年降雨量很少。绿洲平原区年平均降水量仅35.1mm,年均蒸发量高达2595.3mm,干燥度20.8,水分亏值较大。春夏多大风,风沙灾害频繁年均8级以上大风3—9次,年均风速 1.9 m/s ^[13]。

试验地0—350cm土层内自然条件下的平均土壤水分和养分含量:土壤质量含水率3.3%,速效N(碱解氮), 10.8 mg/kg ,速效P, 2.1 mg/kg ,速效K, 81.0 mg/kg ,全N, 20.0 mg/g ,全P, 0.5 g/kg ,全K, 2.1 g/kg ,有机质, 0.3 g/kg ,具体各层土壤养分及水分状况参见图1。各种养分的测定方法为:有机质采用重铬酸钾容量法;全氮采用高氯酸硫酸消化法;速效氮采用碱解蒸馏法;全磷采用酸溶钼锑抗比色法;速效磷采用 $0.5\text{ mol/L N}_a\text{ HCO}_3$ 浸提钼锑抗比色法;全钾采用酸溶火焰光度法;速效钾采用 NH_4OAc 浸提火焰光度法。

1.2 研究方法

1.2.1 试验材料与设计

以骆驼刺幼苗为研究的对象。在2008年3—10月,试验设置了3个灌溉量: 0.2 、 $0.1\text{ m}^3/\text{m}^2$ 和对照CK,每个灌溉量3个重复,灌溉试验共分为9个试验小区,每个试验小区为 25 m^2 ($5\text{ m} \times 5\text{ m}$)。在3月底整理试验场地,整理完毕后对9个小区统一进行一次 $0.2\text{ m}^3/\text{m}^2$ 的灌溉,在4月1日采用种植穴的方式人工播种骆驼刺,

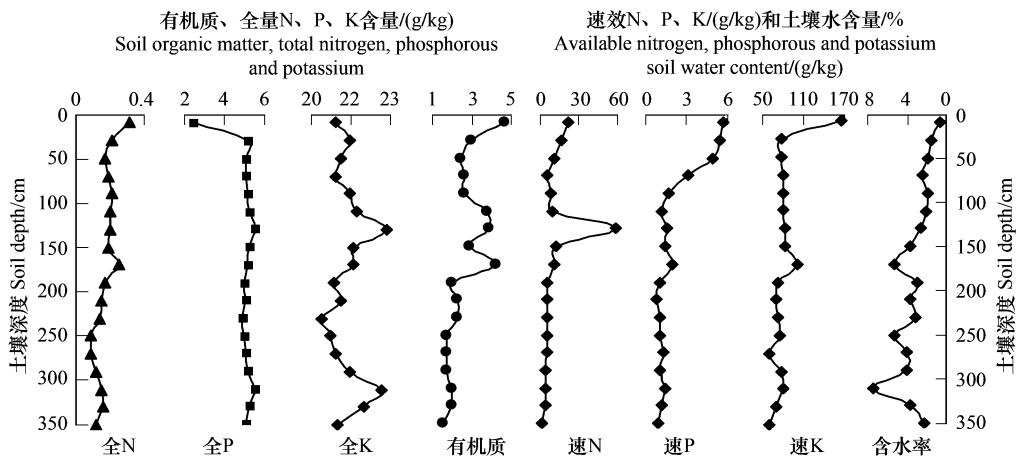


图1 样地土壤养分和水分的垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of soil nutrient and water content in sample field

播种深度为2—3cm,株、行距为0.5m×0.5m。选择了两种植物作为生物固氮的参比植物:里海旋复花(*Karelinia caspica* (Pall.) Less.)、多枝柽柳(*Tamarix ramosissima* Lebed.)^[14],株、行距为0.5m×0.5m,里海旋复花也采用种植穴的方式人工播种,播种深度为1cm左右;完成骆驼刺、里海旋复花的播种过后,对9个小区再次统一进行一次0.2m³/m²的灌溉,每个小区灌水后,立即将多枝柽柳种子撒到水面,用树枝敲打水面使种子充分下沉^[15]。在5月20日幼苗种子萌发完成后进行定苗,骆驼刺、里海旋复花,每穴保留1株;按照0.5m×0.5m的株、行距,剔除多余的多枝柽柳幼苗。

从5月1日开始,开始灌溉处理,CK在整个灌溉处理期间没有进行灌溉,其它两个处理每个月灌溉1次,每次灌溉量分别为0.1、0.2m³/m²。灌溉时间分别为:5月1日、6月1日、7月1日、8月1日、9月1日、10月1日,共进行6次灌溉处理。

要测定骆驼刺幼苗的生物固氮能力,需要对其进行沙培,沙培的目的是在氮素100%源于大气的条件下测定其同位素丰度,固氮植物无氮营养液配制参考了他人研究方法^[16]。

试验是在天然条件下进行的,2007年试验区年总降水量仅为43.3mm,2008年试验地年总降水量仅为41.9mm(数据源自距离试验地500m的策勒站的气象站),降水对骆驼刺幼苗生长的影响较小。

1.2.2 样品采集与测定

在2008年生长季内的7月20日、8月20日、9月20日、10月20日对骆驼刺幼苗和参比植物采样,共采集4次。

¹⁵N稳定同位素样品的采集(包括田间样品和沙培样品):每次采样时每一处理下样本量一般不少于30株,每株摘取20片成熟叶片,共计约600片叶子。叶子采摘后立即用蒸馏水冲洗干净,用吸水纸擦干后装入样品袋,在105℃杀青灭活10min,然后放在烘箱内在70℃下烘干48h,烘干后磨碎,全部过100目筛子,把粉末放在带塞子的10ml塑料离心管内,在中国林业科学院的同位素比率质谱实验室进行测定,机器型号(DALTA-V)。测定时,为了提高测定的准确度,对两种参比植物进行等质量混合测定^[14],两种样品作为一个混合样。不需测定根、茎中¹⁵N的值,根据田间叶片和沙培叶片叶中¹⁵N的值,就可以计算出生物固氮比例% N_{fixed}^[14,17]。

根、茎、叶样品的采集(用于测定氮素浓度,仅为田间实验样品):采集日期和采集次数与同位素样品相同。对于茎、叶的采集则是把茎、叶分离后洗净灰尘分别置于样品袋中。对于地下部分的根系,采用分层分段的挖根方法,每20cm为1层,向深度和广度扩展,一直挖到没有根系出现的深度。每个处理均有8个重复。把挖出的根系洗净,放置于样品袋中。所有根、茎、叶样品都在105℃杀青灭活10min,然后放在烘箱内在70℃下烘干48h,烘干后磨碎,全部过50目筛子,在中国科学院新疆生态与地理研究所的植物营养实验室采用

凯氏定氮仪(BUCHI-K370)进行氮素含量的测定。

1.3 相关计算

根据稳定同位素比率质谱仪和凯氏定氮仪测定的数据,进行以下指标的计算:

$$\text{生物固氮比例} \% \text{ N}_{\text{fixed}} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{ref}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{field}}) / (\delta^{15}\text{N}_{\text{ref}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{hydro}})^{[17]}$$

式中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{ref}}$ 代表参比植物(与骆驼刺幼苗生长在相同环境下的非固氮植物里海旋复花、多枝柽柳)组织的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, $\delta^{15}\text{N}_{\text{field}}$ 代表试验小区内骆驼刺幼苗叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, $\delta^{15}\text{N}_{\text{hydro}}$ 代表在无氮营养液环境中沙培生长的骆驼刺幼苗叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 值。

$$\text{生物固氮量} = \% \text{ N}_{\text{fixed}} \times \text{植物生物量} \times \text{植物全氮浓度}^{[18]}$$

$$\text{根或茎或叶中氮素质量} = (\text{根或茎或叶中的氮素浓度}) \times (\text{根或茎或叶中的生物量})$$

$$\text{总氮素质量} = \text{根中氮素质量} + \text{茎中氮素质量} + \text{叶中氮素质量}$$

$$\text{根或茎或叶中氮素比例} = (\text{根或茎或叶中氮素质量}) / (\text{根茎叶中氮素质量之和} \times 100\%)$$

$$\text{根或茎或叶中氮素利用效率} = (\text{根或茎或叶的生物量}) / (\text{根或茎或叶中氮素质量})^{[19]}$$

$$\text{总氮素利用效率} = (\text{根、茎、叶的生物量之和}) / (\text{根、茎、叶的氮素质量之和})$$

1.4 数据处理

试验数据的统计分析利用EXCEL2003、SAS8.1、和SPSS15.0软件。

2 结果与分析

2.1 骆驼刺幼苗生物固氮对不同灌溉量的响应

2.1.1 骆驼刺幼苗生物固氮比例(% N_{fixed}:生物固氮对氮素来源的贡献)对不同灌溉量的响应

如图2所示,在7月份,生物固氮比例与灌溉量正相关,表明在7月份灌溉有利于生物固氮;在8月份,0.2m³/m²灌溉下的生物固氮比例低于0.1m³/m²灌溉下的生物固氮比例;在9月份,0.2m³/m²灌溉下的生物固氮比例甚至低于CK下的生物固氮比例;在10月份,0.2m³/m²灌溉下的生物固氮比例比0.1m³/m²灌溉下的生物固氮比例低12.8%,这种水分抑制作用明显。骆驼刺幼苗生物固氮比例在不同灌溉量间差异显著($P < 0.05$),10月份的0.1m³/m²和CK之间差异高达31.5%。

2.1.2 骆驼刺幼苗生物固氮量对不同灌溉量的响应

如图3所示,骆驼刺幼苗生物固氮量动态变化与生物固氮比例的动态变化呈现的趋势基本相同。在整个生长季内,3个灌溉量下生物固氮量差异均显著($P < 0.05$)。在7月份,3个灌溉量下生物固氮量虽然都很低,但是,生物固氮量与灌溉量成正比,表明在7月份灌溉有利于生物固氮量的积累;在8月份,0.2m³/m²灌溉下的生物固氮量就显著($P < 0.05$)低于0.1m³/m²灌溉下的生物固氮量;在9月份,0.2m³/m²灌溉下的生物固氮量甚至低于CK下的生物固氮量;在10月份,这种水分抑制作用就更加明显,0.2m³/m²灌溉下的生物固氮量比0.1m³/m²灌溉下的生物固氮量低0.4g/株。

2.2 骆驼刺幼苗氮素分配对不同灌溉量的响应

2.2.1 骆驼刺幼苗根、茎、叶氮素分配比例对不同灌溉量的响应

由图4可知,在7月份,60%以上的氮素分配在叶中,分配到根中的氮素不超过9%,不同灌溉下,根、茎、叶的氮素分配比例均为:叶>茎>根;在8月份,分配到叶中的氮素比例减小,分配到根、茎中的氮素比例开始增大,但是,分配到叶中的氮素比例仍然最大,达43.2%以上,不同灌溉下,根、茎、叶的氮素分配比例均为:叶

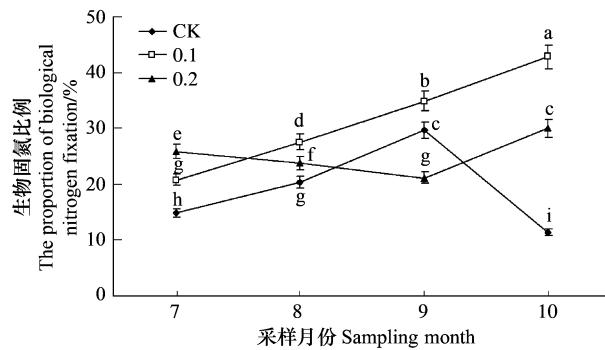


图2 骆驼刺幼苗生物固氮比例对不同灌溉量的响应

Fig. 2 Response of the proportion of biologically fixed nitrogen of *A. sparsifolia* seedlings to different irrigation

所有数字无相同字母间差异达5%显著水平

>茎>根；在9月份，分配到根中的氮素比例继续增大，分配到叶中的氮素比例继续减小， $0.2\text{m}^3/\text{m}^2$ 灌溉下根的氮素分配比例最高，达到63.2%；在10月份，分配到根中的氮素比例继续增大，最小在49.2%以上，最大达55.0%，分配到茎、叶中的氮素比例继续减小，且均小于分配到根中的氮素比例。

在计算氮素分配比例时，把根、茎、叶中的氮素之和定义为总氮素，在整个生长季中总氮素质量最大时，认为骆驼刺幼苗吸收了该生长季所需氮素的100%，其它月份的总氮素比例依次类推（某月的总氮素质量/最大氮素质量×100%）。在7—10月份，各灌溉量下总氮素分配比例基本上呈上升趋势。在7—8月份，3种灌溉量下总氮素分配比例为 $0.2\text{m}^3/\text{m}^2 > 0.1\text{m}^3/\text{m}^2 > \text{CK}$ ；在9月份，CK的总氮素分配比例达到了100%， $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$ 的总氮素分配比例达到了98.6%， $0.2\text{m}^3/\text{m}^2$ 的总氮素分配比例仅为68.3%；在10月份， $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$ 、 $0.2\text{m}^3/\text{m}^2$ 的总氮素分配比例达到了100%，而CK的总氮素分配比例由100%降至97.2%。

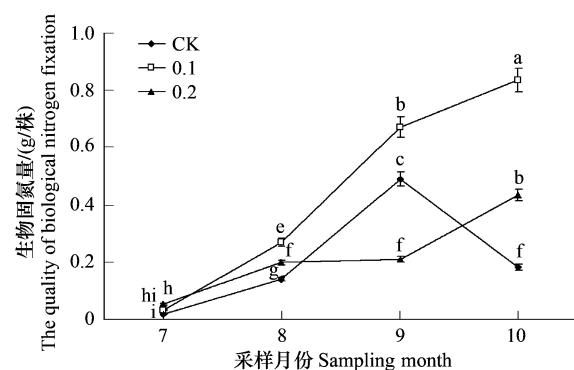


图3 骆驼刺幼苗生物固氮量对不同灌溉量的响应

Fig. 3 Response of the quality of biologically fixed nitrogen of *A. sparsifolia* seedlings to different irrigation

所有数字无相同字母间差异达5%显著水平

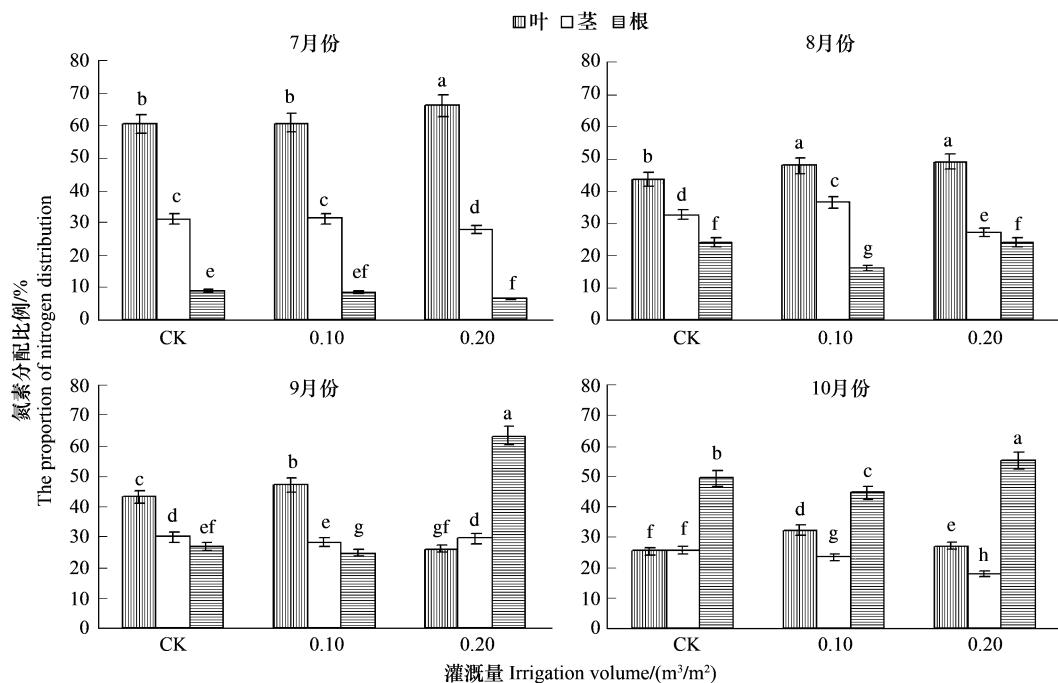


图4 骆驼刺幼苗根、茎、叶氮素分配比例对不同灌溉量的响应

Fig. 4 Response of the proportion of roots, stems, leaves nitrogen allocation of *A. sparsifolia* seedlings to different irrigation

所有数字无相同字母间差异达5%显著水平

2.2.2 骆驼刺幼苗根、茎、叶氮素分配质量对不同灌溉量的响应

由图5可知，在7、8月份，分配到叶的氮素质量最大，分配到根中的氮素质量最小，不同灌溉下，根、茎、叶的氮素质量均为：叶>茎>根；在8月份，分配到根、茎、叶中的氮素质量都增加，但是根中氮素增加量相对茎、叶最多；在9月份，分配到根、茎、叶中的氮素质量都继续增加；在10月份，分配到根中的氮素质量达到最大，最大达到0.9g/株， $0.1\text{m}^3/\text{m}^2$ 灌溉下，氮素积累量高达2.0g/株。

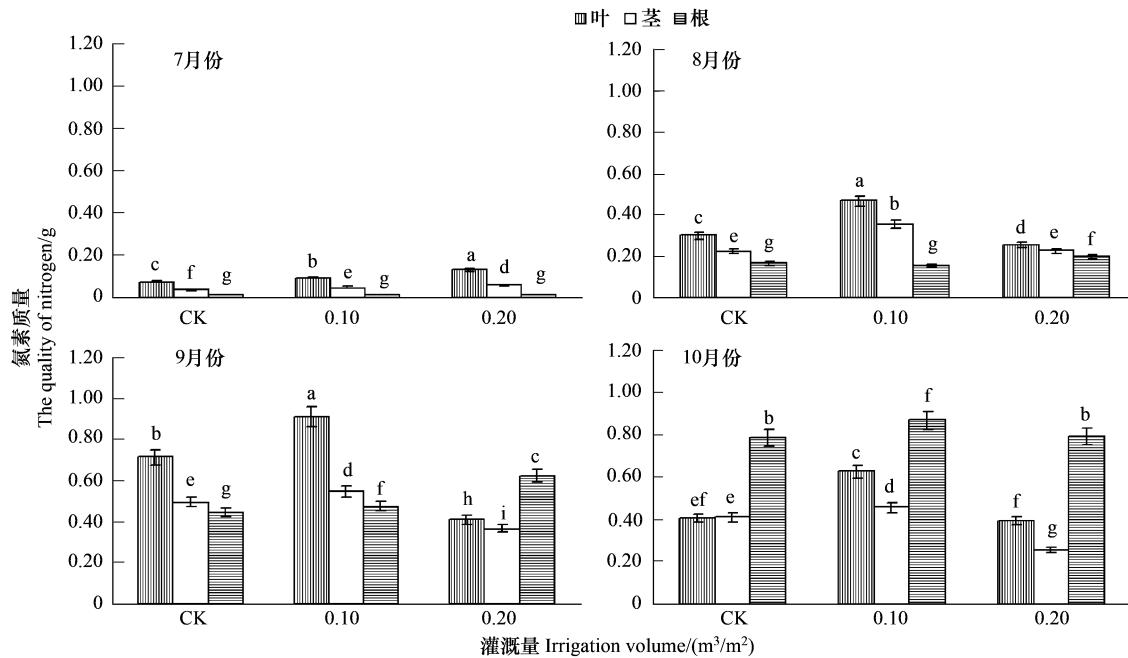


图5 骆驼刺幼苗根、茎、叶氮素分配质量对不同灌溉量的响应

Fig. 5 Response of the nitrogen quality of roots, stems, leaves of *A. sparsifolia* seedlings to different irrigation

所有数字无相同字母间差异达5%显著水平

2.3 骆驼刺幼苗氮素利用效率对不同灌溉量的响应

2.3.1 骆驼刺幼苗根、茎、叶氮素利用效率对不同灌溉量的响应

从图6可以看出,整个生长季内,各灌溉处理下,根中的氮素利用效率相对较大,且有逐渐减小的趋势,茎、叶的氮素利用效率有相对增大的趋势。在7、8月份,各灌溉处理下,根、茎、叶中的利用效率大小比较均为:根>茎>叶;在8月份,3种水分梯度下叶中氮素利用效率大小比较为:CK>0.1 m^3/m^2 >0.2 m^3/m^2 ,根、茎中的氮素利用效率没有显著差异($P > 0.05$);在9月份,茎中的氮素利用效率开始增大,叶中的氮素利用效率开始减小,0.2 m^3/m^2 下茎中氮素利用效率大于根中氮素利用效率;在10月份,叶中的氮素利用效率增大,根中的氮素利用效率没有显著差异($P > 0.05$)。

2.3.2 骆驼刺幼苗总氮素利用效率对不同灌溉的响应

由表1可知,在7—10月份,总氮素利用效率依次升高,且0.1 m^3/m^2 灌溉处理下的总氮素利用效率一直最高。在7月份,总氮素利用效率在处理间差异不显著($P > 0.05$);在8月份,总氮素利用效率的大小比较为:0.1 m^3/m^2 >0.2 m^3/m^2 >CK;在9月份,CK、0.1 m^3/m^2 灌溉处理间的总氮素利用效率差异不显著($P > 0.05$),但均高于0.2 m^3/m^2 灌溉处理下的总氮素利用效率;在10月份,总氮素利用效率的大小比较为0.1 m^3/m^2 >0.2 m^3/m^2 >CK。

表1 骆驼刺幼苗总氮素利用效率对不同灌溉的响应

Table 1 Response of the total nitrogen use efficiency of *A. sparsifolia* seedlings under different irrigation

处理 Treatment	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October
CK	3.6 ± 0.6a	21.1 ± 2.3a	50.4 ± 4.4a	77.9 ± 5.7a
0.1 m^3/m^2	4.1 ± 0.7ab	35.5 ± 3.1c	74.1 ± 5.7c	104.3 ± 7.6b
0.2 m^3/m^2	5.4 ± 0.5b	28.0 ± 2.8b	63.2 ± 4.1b	84.5 ± 5.2a

同一列数字无相同字母间差异达5%显著水平

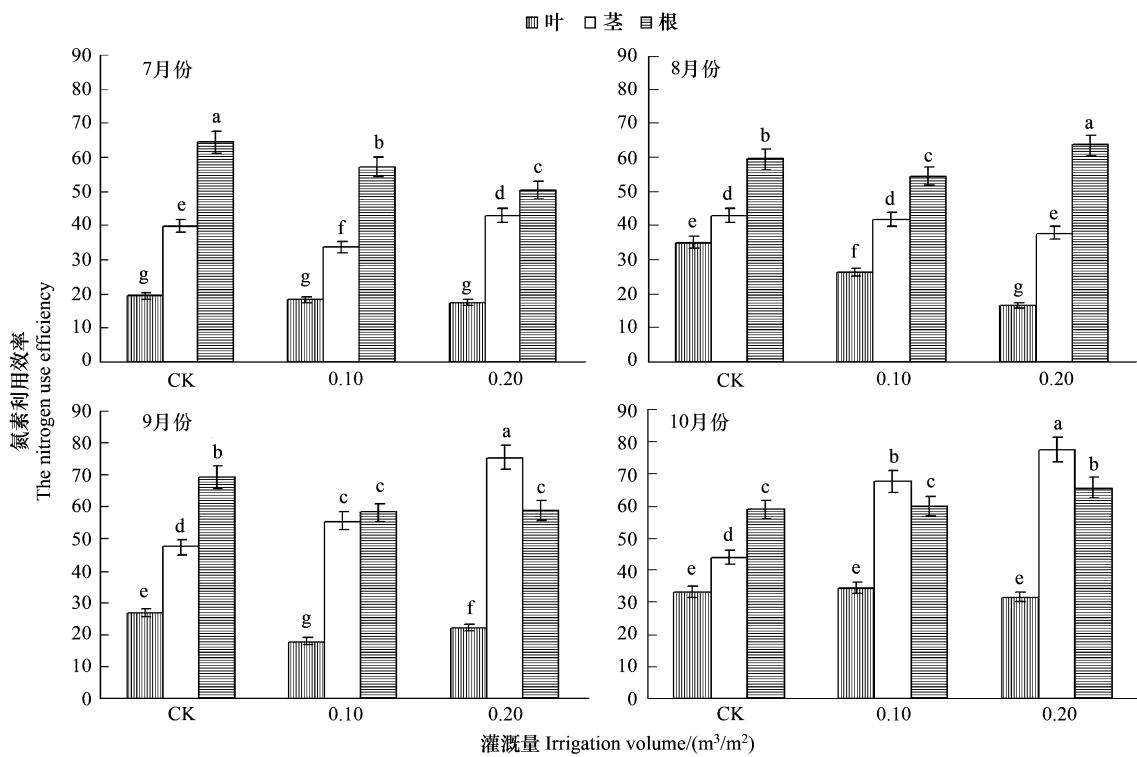


图 6 骆驼刺幼苗根、茎、叶氮素利用效率对不同灌溉的响应

Fig. 6 Response of the nitrogen use efficiency of roots, stems, leaves of *A. sparsifolia* seedlings to different irrigation

所有数字无相同字母间差异达 5% 显著水平

3 讨论

灌溉对生物固氮的抑制作用在整个生长季内是逐步增加的。在 7 月份,生物固氮占总氮的比例与灌溉量正相关;在 8 月份, $0.2 m^3/m^2$ 灌溉下的生物固氮比例就开始低于 $0.1 m^3/m^2$ 灌溉下的生物固氮比例;在 9 月份 $0.2 m^3/m^2$ 灌溉下的生物固氮比例甚至低于 CK 下的生物固氮比例;在 10 月份, $0.1 m^3/m^2$ 灌溉下骆驼刺幼苗积累的氮素 42.8% 来自生物固氮,这与农业生态系统中的小麦有很大的不同,成熟期小麦积累的氮素 73.3%—87.3% 来自土壤^[20]; $0.2 m^3/m^2$ 灌溉下的生物固氮比例比 $0.1 m^3/m^2$ 灌溉下的生物固氮比例低 12.8%,这种水分抑制作用就更加明显,这也可能是因为豆科作物根瘤的形成和固氮需要一定的温度,而过多的灌溉会降低了土壤温度,使土壤温度低于豆科作物最适宜结瘤和固氮的温度 20—22℃^[21]。这是由于水分对豆科植物的生物固氮有很大的影响,生长在土壤含水量适宜条件下的豆科植物的根瘤数要显著($P < 0.05$)多于生长在水分含量较低或过高的土壤上的^[22];随土壤干旱程度增加,根瘤的数量和质量都有显著($P < 0.05$)下降。这可能是由于在干旱土壤中,缺少正常的根毛,从而导致根瘤菌繁殖受到抑制,有研究发现,浸水抑制根瘤的结瘤和固氮^[23]。因此,从整个生长季来看,灌溉有利于生物固氮,但是,灌溉量过多会抑制生物固氮。灌溉有利于生物固氮氮素质量的积累,但是,灌溉量过多会抑制生物固氮氮素质量的积累。根据以上可知,在 $0.1 m^3/m^2$ 灌溉下的生物固氮氮素质量的积累量最大。在荒漠区进行人工植被恢复的时候可以参考这一理论,最大化发挥骆驼刺幼苗自身的固氮能力,从而节约大量宝贵的水资源,这是因为灌溉过多会改变土壤类型、土壤 pH、CO₂ 浓度等,这些因素也会影响根瘤菌固氮^[24]。

对氮素分配影响的研究主要集中在农业生态系统中。20世纪50年代初,发现禾谷类植物在生长到其生物量的 25% 时,它就吸收了全部所需氮素的 90%^[25]。目前,对农作物的氮素吸收特性进行了深入探索^[26]。骆驼刺幼苗在不同灌溉处理下氮素含量不同,同一器官的不同生育时期氮素含量不同,同一生育时期不同器官氮素含量也不相同,这与前人研究结论一致^[27]。在调查初期,60% 以上的氮素分配在叶中,分配到根、茎中

的氮素之和不超过40%。在整个生长季内,分配到茎、叶中的氮素比例逐渐减小,分配到根系中的氮素比例逐渐增大;7—9月份,分配到根、茎、叶中氮素生物量都在增加。在10月份,分配到根中的氮素质量增加,达到最大,最小达到0.79g,约为茎、叶中氮素重量之和;分配到茎、叶的氮素质量减小。然而,大量的研究表明,土壤干旱不利于植株氮素积累,增加灌溉量有利于氮素积累^[28]。本研究中的骆驼刺幼苗体内氮的变化速率和总量的整体差异显著($P < 0.05$),递增速率在生长中、后期较快,而在生长前、末期较慢。这种氮素的分配策略是为了适应极端干旱环境的一种生态对策。这种氮素转移是植物所有保持营养机制中最重要的策略之一,因而,它又对竞争、营养吸收、生产力等过程产生影响^[29],它在植物体内营养供求平衡中,它还有助于植物适应不利生境^[30]。所以,氮素转移机制对植物生长具有极其重要的意义。植物不同生长期及不同的器官中氮素的积累量不同。生长初期氮素元素的积累量最小,生长末期最大。就整个生长季而言,细根是在不断更新的^[31],根中氮素质量逐渐增加,茎、叶中的氮素质量先增加后减少,到生长季末大量向根系转移,这都是养分利用效率的重要方面,是提高养分利用效率的重要途径。

在整个生长季内,各灌溉处理下,根中的氮素利用效率相对较大,但有逐渐减小的趋势;茎、叶的氮素利用效率有相对增大的趋势;有研究认为对于生命周期很短的植物来说,植物的氮素利用效率和植物组织中的氮素浓度成反比^[32],在本实验中,骆驼刺作为一种生命周期很长的植物,其氮素利用效率也是和植物组织中的氮素浓度成反比。在生长季末,茎、叶中的氮素大量向根系中转移,使得茎、叶中氮素含量变小,根系中氮素含量增大,从而使得茎、叶中的氮素利用效率增大,根中的氮素利用效率减小。在整个生长季内,总氮素利用效率依次升高,这可能与在整个生长季内生物量的不断增加有关。在8—10月份,0.1m³/m²的总氮素利用效率一直最高。在7月份,总氮素利用效率在处理间差异不显著($P > 0.05$),但是,在8—10月份,总氮素利用效率的比较为0.1m³/m² > CK > 0.2m³/m²,这可能是因为在一定程度上,灌溉会增加氮素利用效率,但是,过多的灌溉降低氮素利用效率。这将为在骆驼刺植被恢复和生态建设中提供了参考,即合理设置灌溉量,不仅可以发挥骆驼刺幼苗自身的特性,而且可以避免浪费宝贵的水资源。

4 结论

(1)灌溉有助于生物固氮,但是灌溉量过多则抑制生物固氮。在生长季末,3个灌溉量下的生物固氮比例分别为30.0%、42.8%、11.3%;生物固氮质量分别为0.4、0.8、0.2g/株。

(2)灌溉使得分配到骆驼刺幼苗茎、叶中的氮素比例、氮素质量增加,根中氮素质量增加,在生长季初,分配到叶的氮素质量最大,分配到根中的氮素质量最小,在生长季末,3种灌溉量下根中氮素比例高达49.2%、44.5%、55.0%;灌溉有利于增加氮素利用效率,但是,灌溉量过多会降低氮素利用效率。在生长季末,3种灌溉量(CK、0.1、0.2m³/m²)下氮素利用效率分别是:77.9、104.3、84.5。

(3)在本试验中,通过比较不同灌溉量对骆驼刺幼苗氮素特征的影响,发现0.1m³/m²灌溉量为较佳灌溉量。

References:

- [1] Li R N. Study on regeneration and protection benefits of *Alhagi sparsifolia* Shap. *Herbivore*, 1994, 2:3-9.
- [2] Robbins W W, Ball W S. Camelthorn, *Alhagi camelorum* Fish. *Monthly Bull, California State Department*, 1933, 22:258-260.
- [3] Zhang Z Y, Mai M T, An N W E, Xia Y. Summer irrigation on morphological characteristics and the ecological structure of communities and savageness renovation of *Alhagi sparsifolia* Shap. *Arid Zone Research*, 1995, 12(4):34-40.
- [4] Zeng F J, Timothy M B, Peter A L, Mark A A, Stefan K A. Water and nutrient dynamics in surface roots and soils are not modified by short-term. *Plant and Soil*, 2006, 279:129-139
- [5] Li X Y, Zhang X M, Zeng F J, Andrea F, Thomas F M, Li X M, Michael R, He X Y. Water relations of *Alhagi sparsifolia* SHAP. at the southern fringe of the Taklamakan desert. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44 (10):1219-1224.
- [6] Deng X, Li X M, Zhang X M, Ye W H, Andrea F, Michael R. The studies about the photosynthetic response of the four desert plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3):598-605.
- [7] Gries D., Zeng, F J, Foetzk, Arndt S K, Bruehlheide H, Thomas F M, Zhang X M, Runge M. Growth and water relations of *Tamarix ramosissima*

- and *Populus euphratica* on Taklamakan desert dunes in relation to depth to a permanent water table. *Plant, Cell, and Environment*, 2003, 26:725-736.
- [8] Kurban H, Saneoka H, Nehira K, Adilla R, Fujita K. Effect of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic solutes in the leguminous plants *Alhagi pseudoalhagi* and *Vigna radiata*. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1998, 44(4):589-597.
- [9] An N W E, Zhang Z Y, Mai M T, Xia Y. Observation on regeneration of three main natural plant at edge of the desert. *Arid Zone Research*, 1995, 12(4):44-48.
- [10] Bruelheide H, Jandt U, Gries D, Thomas F M, Foetzki A, Buerkert A, Wang G, Zhang X M, Runge M. Vegetation changes in a river oasis on the southern rim of the Taklamakan Desert in China between 1956 and 2000. *Phytocoenologia*, 2003, 33:808-818.
- [11] Ayneabeba A, Fassh A, Mariam A H, Bekele E. Studies of rhizobium inoculation and fertilizer treatment on growth and production of faba bean in some yield depleted and yield sustained regions of Semien Shewa. *Ethiopian Journal of Science*, 2001, 24(2):197-211.
- [12] Scott B J, Robson A D. Magnesium requirements of subterranean clover either reliant on symbiotic nitrogen fixation or supplied with nitrate. *New Phytologist*, 1991, 118(1):79-85.
- [13] Zhang H N. Integrated model research and experimentation demonstration about the southern edge of Taklimakan Desert Oasis. *Arid Zone Research*, 1995, 12(4):1-9.
- [14] Stefan K A, Ansgar K, Christina A, Marianne P, Mark A. Nitrogen fixation and metabolism by groundwater-dependent perennial plants in a hyperarid desert. *Oecologia*, 2004, 141:385-394.
- [15] Liu M T. The technology of growing *Tamarix* L//Liu M T ed. *Comprehensive Research on *Tamarix* L. and Its Extending*. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1995. 85-90.
- [16] Unkovich M J, Pate J S, Sanford P, Armstrong EL. Potential precision of the $\delta^{15}\text{N}$ natural abundance method infiel estimates of nitrogen fixation by crop and pasture legumes in South-west Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1994, 45:119-132.
- [17] Shearer G, Kohl D H, Virginia R A, Bryan B A, Skeeters J L, Nilsen E T, Sharifi M R, Rundel P W. Estimates of N_2 -fixation from variation in the natural abundance of ^{15}N in Sonoran desert ecosystems. *Oecologia*, 1983, 56:365-373.
- [18] Bolger T P, Pate J S, Unkovich M J, Turner N C. Estimates of seasonal nitrogen fixation of annual subterranean clover-based pastures using the ^{15}N natural abundance technique. *Plant Soil*, 1995, 175:57-66.
- [19] Shaver G R, Meillo J M. Nutrient budgets of marsh plants: efficiency concepts and relation to availability. *Ecology*, 1984, 65:1491-1510.
- [20] Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen rate on nitrogen fertilizer use of winter wheat and content of soil nitrate-N under different fertility condition. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3):815-822.
- [21] Ma Y Z, Shi Q L, Pang J M. Research on rhizobium inoculation and the increase of compounded the effect of nitrogen fertilizer on peanut production. *Soil and Fertilizer*, 1990, (3):12-45.
- [22] Li C J, Nan Z B. Effects of soil moisture content on root rot and growth of faba bean. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2000, 30(3):215-219.
- [23] Yuan J G, Yang Z Y. Effects of N fertilizer and water condition on growth nodulation and N-fixation of *Sesbania rostrata azorhizobium caulinodans* symbiosiss. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, 27(1):172-176.
- [24] Guo Q Y, Li Z Y, Tu X W. Studing and application of fertilization Techniques for high-yield and good quality in soybean. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2003, 19(3):89-97.
- [25] Kmmins J P. Evaluation of consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting. *Forest Ecology and Management*, 1977, 1:69-183.
- [26] Dai P A, Li Y Z, Zhou K L, Liu X H, Nie J, Yi G Y, Zheng S X, Zhu D B. Study on nutritional properties and the need for fertilizer of high-quality rice. *Crop Research*, 1999, 3:14-17.
- [27] Gerloff G L. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium//Wright M J ed. *Plant Adaplation to Mineral Stress in Problem Soil*. New York: Cornell University Agriculture Experimental Station, 1976, 161-169.
- [28] Yang X Y, Yu Z W, Xu Z Z. Effects of irrigation regimes and water consumption characteristics and nitrogen accumulation and allocation in wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2):845-853.
- [29] Killingbeck K T. Nutrient in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. *Ecology*, 1996, 77: 1716-1727.
- [30] Baligar V C, Pita G V E, Gama E E G. Soil acidity effects on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. *Plant Soil*, 1997, 192 (1):9-13.
- [31] Zhang X Q, Wu K H, Dieter M. A review of methods for fine root production and turnover of trees. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5):875-883.
- [32] Vitousek P M. Nutrient cycling and use efficiency. *The American Naturalist*, 1982, 119:553-572.

参考文献:

- [1] 李瑞年. 骆驼刺属植物的再生性能与防护效益的试验研究. *草食家畜*, 1994, 2:3-9.

- [3] 张立运, 买买提, 安尼瓦尔, 夏阳. 夏季灌溉对骆驼刺形态学特征, 群落生态结构和天然更新的影响. 干旱区研究, 1995, 12(4):34-40.
- [6] 邓雄, 李小明, 张希明, 叶万辉, Andrea Foezki, Michael Runge. 四种荒漠植物的光合响应. 生态学报, 2003, 23(3):598-605.
- [9] 安尼瓦尔, 张立运, 买买提, 夏阳. 沙漠边缘三种主要天然植物再生性能的观察. 干旱区研究, 1995, 12(4):44-48.
- [13] 张鹤年. 塔克拉玛干沙漠南缘—绿洲过渡带生态环境区综合治理技术与试验示范研究. 干旱区研究, 1995, 12(4):1-9.
- [15] 刘铭庭. 桤柳种植技术//刘铭庭主编. 桤柳属植物综合研究及大面积推广应用. 兰州: 兰州大学出版社, 1995: 85-90.
- [20] 赵俊晔, 于振文. 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响. 生态学报, 2006, 26(3):815-822.
- [21] 马玉珍, 史清亮, 庞金梅. 接种根瘤菌与加施化合态氮肥对花生增产效果的研究. 土壤肥料, 1990, (3):42-45.
- [22] 李春杰, 南志标. 土壤湿度对蚕豆根病及其生长的影响. 植物病理学报, 2000, 30(3):215-219.
- [23] 袁剑刚, 杨中艺. 氮肥和水分条件对长喙田菁生长、结瘤和固氮的影响. 植物生态学报, 2003, 27(1):172-176.
- [24] 郭庆元, 李志玉, 涂学文. 大豆高产优质施肥研究与应用. 中国农学通报, 2003, 19(3): 89-97.
- [26] 戴平安, 黎用朝, 周坤炉, 刘向华, 聂军, 易国英, 郑圣先, 朱德保. 优质食用稻营养特性及需肥规律研究. 作物研究, 1999, 3:14-17.
- [28] 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):845-853.
- [31] 张小全, 吴可红, Dieter M. 树木细根生产与周转研究方法评述. 生态学报, 2000, 20(5):875-883.