

外源施 N 对干旱河谷白刺花 (*Sophora davidii*) 幼苗生长, 生物量及 C、N、P 积累与分配的影响

吴福忠^{1,2}, 包维楷¹, 吴 宁^{1,*}

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 干旱气候条件下改善土壤养分能否提高植物抗旱能力, 促进植物生长一直是一个争论性的问题。为了解外源施 N 是否可提高岷江上游干旱河谷优势灌木白刺花 (*Sophora davidii*) 幼苗适应干旱贫瘠环境的能力, 研究了不同施 N (0、92 mg N·kg⁻¹ 土和 184 mg N·kg⁻¹ 土) 处理下一个生长季节内白刺花幼苗生长、生物生产量、C、N 和 P 的积累与分配特性, 以及 N 和 P 利用效率。研究表明: 轻度施 N (92 mg N·kg⁻¹ 土) 处理促进了植物生长, 增加了生物生产量, 强化了 C 的固定和 N、P 等资源的吸收和积累, 提高了其它受限资源的利用效率 (如 P), 降低了 N 利用效率; 但并不显著改变幼苗生物生产量及 C、N 和 P 等资源的分配格局, 从而维持了资源的吸收、分配与利用的相对平衡, 可能改善白刺花幼苗适应干旱贫瘠环境能力。而重度施 N (184 mg N·kg⁻¹ 土) 处理虽然也相对于对照增加了叶片数目、生物生产量和 C、N、P 的积累量, 但显著降低了幼苗根系的长度, 抑制了根系的生长, 并导致生物量及资源 (生物量、C、N、P) 较多地分配给地上部分 (主要是叶片), 不利于干旱环境下水分的吸收和利用, 因而可能会加重幼苗受胁迫伤害的程度。综合分析表明, 适当施加 N 肥可以促进白刺花幼苗的生长, 一定程度上提高幼苗抗旱能力, 改善幼苗定居, 但也应避免过度施 N。

关键词: 干旱; 白刺花; 施肥; 资源利用; 适应

文章编号: 1000-0933(2008)08-3817-08 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Growth, accumulation and partitioning of biomass, C, N and P of *Sophora davidii* seedlings in response to N supply in dry valley of upper Minjiang River

WU Fu-Zhong^{1,2}, BAO Wei-Kai¹, WU Ning^{1,*}

1 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

2 Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3817 ~ 3824.

Abstract: The dry valley of upper Minjiang River is generally noted for their low primary productivity which is due to a combination of low, unpredictable water supply and nutrient deficiency. How to improve the efficiency in using limited resources and restore vegetation is always the problem which troubled ecosystem managers. *Sophora davidii* is a native perennial shrub of arid valleys, which is often predominant on eroded slopes and plays a vital role in retaining ecological stability in this region. It has been found that *S. davidii* was better adapted to dry environment than other shrubs, prompting its use for reclamation of arid degraded lands. But the shrub exhibits weak regeneration with poor seedling emergence and early growth in the field. In order to explore whether or not N supply could enhance the adaptation ability of

基金项目: 中国科学院西部行动计划资助项目 (KZCX2-XB2-02); 国家自然科学基金资助项目 (30471378, 30771702)

收稿日期: 2007-04-27; **修订日期:** 2007-10-22

作者简介: 吴福忠 (1981 ~), 男, 四川犍为人, 博士, 主要从事植物群落生态, 恢复生态研究. E-mail: wufz@cib.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuning@cib.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by Chinese Academy of Sciences Action-Plan for West Development (No. KZCX2-XB2-02), the Programs of National Nature Science Foundation of China (No. 30471378, 30771702)

Received date: 2007-04-27; **Accepted date:** 2007-10-22

Biography: WU Fu-Zhong, Ph. D., mainly engaged in plant community ecology and restoration ecology. E-mail: wufz@cib.ac.cn

S. davidii seedlings to dry and infertile environment, we investigated the growth, accumulation and partitioning of biomass, C, N, and P, and nutrient (N and P) use efficiency of *S. davidii* seedlings under three different N supply regimes (0, 92, and 184 mg N·kg⁻¹ soil) over one growing period. N supply dramatically influenced the growth, biomass and resources (C, N, and P) accumulation and partitioning, and nutrient use efficiency of *S. davidii* seedlings. The seedlings exhibited stronger responses to low N supply (92 mg N·kg⁻¹ soil) than to high N supply treatment (184 mg N·kg⁻¹ soil) in this study. Low N supply facilitated seedlings growth by increasing leaf number, basal diameter, root length, biomass production, C, N and P accumulation and absorption, and enhancing the use efficiency of other limited resources as P. Compared to control, however, low N supply did little effect on altering biomass, C, N and P partitioning in seedlings components. On the contrary, high N supply treatment also increased leaf number, biomass and C, N and P accumulation relative to control, but significantly decreased root length, and altered more biomass and resources to above-ground, which strongly reduced the ability of absorbing water under drought condition, and thus which might deep the drought stress. The results suggested that appropriate N supply was seemed to enhance the ability that *S. davidii* seedlings adapted to the xeric and infertile environment by stimulating plant growth, increasing resources accumulation, enhancing use efficiency of other limited resources, and balancing biomass and resources partitioning. Appropriate N supply, therefore, would be recommended to improve *S. davidii* seedling establishment in this region, but excess N supply should be avoided.

Key Words: drought; *Sophora davidii*; N supply; resources use efficiency; adaptation strategies

干旱地区植物的生长常常受到水分和养分的共同限制^[1~4]。在人类活动导致全球气候变化的大背景下,水分限制可能在很多干旱与半干旱系统中变得越来越严重^[5],从而使得这些地区植被的生长与恢复也变得越来越困难。由于外源施加限制养分可以改善土壤理化特性^[6],可能刺激植物的生长,提高限制资源的利用效率,因而可能成为干旱地区恢复植被的潜在措施^[7~9]。然而迄今为止,尽管对于干旱区植物施肥的研究有了相当的积累,但各自的结论却大相径庭。一些研究发现施肥可以有效促进植物生长,提高干旱地区植物水分利用效率,减轻干旱胁迫^[10,11];一些研究坚信养分胁迫可以提高植物对其他胁迫环境的忍耐程度^[12,13],在干旱条件下施肥常常抑制植物生长,导致较高的幼苗死亡率^[14,15];而另一些研究表明在干旱条件下施肥对植物生物量积累和抗旱适应特征并无显著影响^[16]。这些并不一致的认识一方面说明了干旱条件下施肥对植物生长与植被恢复影响和效果的复杂性,而这种复杂性很可能与研究区域条件特别是干旱程度、试验对象、施肥水平以及实验时间尺度等密切相关,另一方面也充分说明在一些关键区域继续展开深入而广泛研究的重要性和必要性。

横断山区干旱河谷是青藏高原特殊气候与地理环境条件下形成的脆弱生境^[17],在自然和人为作用共同驱动下,干旱河谷环境还在日益恶化,干旱化在加剧,自然灾害频繁发生,严重制约着区域发展,已成为国家生态环境综合治理的关键区域^[18,19]。有效促进干旱河谷植被恢复和重建,遏制生态退化,已成为当前一项迫切的任务。白刺花(*Sophora davidii*)是横断山区干旱河谷分布最为广泛的乡土优势灌木之一,具有较强的耐旱特性,有可能成为干旱河谷植被恢复过程的先锋种群^[20]。然而,在调查过程中,我们并未发现其幼苗的大量存在,严酷的干旱环境和贫瘠的土壤可能严重制约了幼苗的定居。尽管白刺花对于干旱环境条件下水分胁迫的适应能力已有所研究和揭示^[20],而对于白刺花在干旱条件下对养分的适应性一直缺乏必要的研究,限制性养分的施用是否能改善白刺花适应干旱环境的能力并不清楚。因此,面对该区干旱环境土壤“缺 N 少 P”的现状^[21],人为施加与该区群落与系统特征密切相关的 N 肥^[22,23]。假设施 N 可以刺激植物生长,提高其他限制资源的利用效率,使得白刺花幼苗能够更好的适应干旱环境,成功实现幼苗定居和更新,从而为岷江上游干旱河谷植被恢复的理论与实践提供基础科学依据。本项研究的目的是:(1)了解外源施 N 条件下白刺花幼苗生长、生物量生产、C、N、P 的积累与分配特征,以探讨干旱条件下施氮的作用途径;(2)揭示外源施加 N 肥是否可能有效改善白刺花适应干旱环境的能力。

1 材料与方法

1.1 实验材料与实验设计

实验种子采集于 2005 年 9 月茂县岷江干旱河谷,通过水选与肉眼选择形态大小基本一致,表皮光滑,健康无虫害的种子晒干备用。2006 年 3 月初采集典型岷江干旱河谷表层燥褐土(理化性质见表 1)充分混匀后堆积 10d,称取 7.5kg 装入 7.5L 塑料盆。

表 1 实验盆土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristics of substrate soil

pH	容重 Bulk density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	石砾含量 Gravel content (%)	田间持水量 Field water capacity (%)	自然含水量 Water content (%)	有机 C Organic C ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	凯氏 N Kjeldahl N ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全 P Total P ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
8.06	1.36	52	24.68	7.45	55.29	2.01	0.81

2006 年 3 月 24 日播种,播种前将种子用 2.5% NaOCl 溶液浸泡 1h。每盆播种 5 粒,共 30 盆。所有塑料盆均保持良好的水分条件以保证出苗快且整齐。待幼苗生长稳定后,疏去多余幼苗保证 1 株/盆。70℃ 烘箱中烘至恒重后,测定疏去幼苗各器官(茎、叶和根)的生物量。2006 年 6 月 28 日将所有塑料盆全部集中布设在岷江上游干旱河谷核心区域-茂县飞虹乡两河口(103°43'25"E,31°50'38"N,海拔 1912 m,NE63°),实验期间月平均温度和降水量如图 1 所示。

本实验采用 3 个施 N 梯度的随机实验设计。2006 年 6 月 28 日开始实验,以 10 ml 溶液的形式对 3 个处理(对照:N0;轻度施 N:Nl;重度施 N:Nh)分别一次性施

以 0、1.5 g 和 3.0 g 尿素(46% N),相当于 0、92 $\text{mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 184 $\text{mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土,为避免 N 素快速流失,N 肥直接施于土壤表层约 5cm 下,每一处理 10 个重复。

1.2 取样与实验分析

2006 年 10 月 8 日结束实验,测定所有存活幼苗的株高、基径、叶片数目和最长根根长。采用收获法将各个处理所有存活幼苗地上部分(茎和叶)和地下部分(粗根: >1mm 和细根: <1mm)全部采集,在 70℃ 烘箱中烘至恒重,称重。由于样品量较小,将两株植物器官合并作为一个样品研磨制样,制样后过 1mm 筛以备元素分析。

各器官植物样品全 C 采用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 氧化- FeSO_4 滴定法测定^[24]。 H_2SO_4 - H_2O_2 消煮后定容以测定 N 和 P 含量。N 含量采用靛酚蓝比色法测定;P 含量采用钒钼黄比色法测定^[24]。以上所有分析均做 3 个重复。

1.3 计算与统计分析

根据疏去幼苗生物量和实验结束时幼苗生物量计算不同施 N 处理期间白刺花幼苗生物生产量;根据实验期间各器官生物生产量与 C、N 和 P 含量计算白刺花幼苗 C、N 和 P 积累与分配特征,并根据生物生产量和 N、P 积累量计算 N、P 利用效率。单因素方差检验(One-way ANOVA)比较不同施 N 处理下白刺花幼苗生长特征,生物生产量和 C、N、P 积累与分配以及 N、P 利用效率差异。所有分析统计均在 SPSS11.5 统计软件上进行。

2 结果与分析

2.1 幼苗生长

在本实验处理过程中,N0、Nl 和 Nh 处理分别有 3 株、4 株和 4 株幼苗先后死亡。外源施 N 显著($P <$

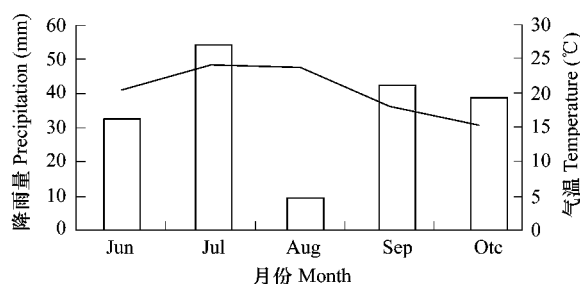


图 1 2006 年 6 月到 10 月实验期间两河口月均温(线条)与降水量(柱形)

Fig. 1 Average temperature (bars) and precipitation (line) in the study site from June to October, 2006

0.05)影响实验结束时白刺花幼苗叶片数目、基径和根长等生长特征,但对株高并无显著($P > 0.05$)影响(表2)。相对于其他两个处理,Nl增加了幼苗叶片数目、基径、株高和根长。虽然Nh相对于N0对幼苗叶片数目、基径、株高并无显著影响($P > 0.05$),但从表2中可以看出Nh显著($P < 0.05$)降低了根长,仅略为增加了叶片数目。

外源施N也显著影响了白刺花幼苗总生产量及其组分生长量(表3)。与N0相比,Nl和Nh两个处理均极显著($P = 0.000$)的促进了幼苗的总生物生产量及叶、茎和粗根的生产量,但Nl对幼苗生物生产力的促进作用更为显著。而两个施N处理中只有Nl才显著($P < 0.05$)促进了细根生长量,Nh对细根生长的影响并不显著($P > 0.05$)。并且,施N也极显著($P < 0.01$)影响了叶/细根比(LFR)和茎/(粗根+细根)比(SR),Nh处理下LFR显著高于其他两个处理,且其他两个处理下并无显著差异,但SR随着施N强度的增加而显著增加(表3)。

表2 不同施N处理下白刺花幼苗叶片数目、基径、株高和根长的差异

Table 2 Variations of leaf number, basal diameter, height, and root length of *Sophora davidii* seedlings under different N supply regimes

处理 Treatments	叶片数目 Leaf number	基径 Basal radium (mm)	株高 Height (cm)	根长 Root length (cm)
N0	7.00 ± 0.58a	1.19 ± 0.04a	6.17 ± 0.17ab	14.67 ± 0.88a
Nl	13.33 ± 1.76b	2.07 ± 0.15b	7.83 ± 0.88a	18.00 ± 1.15b
Nh	10.33 ± 0.88ab	1.05 ± 0.01a	5.83 ± 0.34b	11.67 ± 0.44c
$P > F_N$	0.026	0.000	0.087	0.007

同一列中不同字母表示处理间的显著差异 Different letters within a column indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$); means ± SE, $n = 7$ for N0, $n = 6$ for Nl and Nh

表3 不同施N处理下白刺花幼苗各组分生物生产量、叶/细根比和茎/(粗根+细根)比差异

Table 3 Variations of plant biomass production and its components, leaf/ fine root ratio (LFR), shoot/ (root + fine root) ratio (SR) of *Sophora davidii* seedlings under different N supply regimes

处理 Treatments	叶 Leaf (g)	茎 Shoot (g)	粗根 Coarse root (g)	细根 Fine root (g)	总计 Total (g)	叶/细根 LFR	茎/总根 SR
N0	0.07 ± 0.005a	0.06 ± 0.007a	0.08 ± 0.004a	0.05 ± 0.003a	0.27 ± 0.009a	1.49 ± 0.18a	0.47 ± 0.03a
Nl	0.17 ± 0.008b	0.16 ± 0.013b	0.19 ± 0.006b	0.11 ± 0.013b	0.63 ± 0.014b	1.49 ± 0.23a	0.54 ± 0.05b
Nh	0.13 ± 0.007c	0.10 ± 0.007c	0.09 ± 0.007c	0.05 ± 0.004a	0.37 ± 0.016c	2.62 ± 0.08b	0.65 ± 0.05c
$P > F_N$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008

同一列中不同字母表示处理间的显著差异 Different letters within a column indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$); means ± SE, $n = 7$ for N0, $n = 6$ for Nl and Nh

2.2 C、N和P积累与分配

表4为不同施N处理下白刺花幼苗各组分C、N和P的积累特征。从表中可以看出,外源施N显著($P < 0.05$)影响了幼苗各组分C、N和P的积累量。除叶片N和P积累量在两个施N处理下无显著($P > 0.05$)差异外(表4),Nl处理下白刺花幼苗各组分C、N和P的积累显著($P < 0.05$)高于其他两个处理。而相对于N0,Nh处理下细根C积累量,茎、根、细根P积累量并无显著影响($P > 0.05$),但显著增加($P < 0.05$)了其他参数。

同时,外源施N处理也改变了白刺花幼苗生物量,C、N和P的分配格局(图2)。从图中可以看出,Nh明显降低细根生物量比例,而增加叶片生物量百分比,表现为:叶>根>茎>细根。其他两个处理下生物量分配并无明显差异,表现为:根>叶>茎>细根。C的分配特征与生物量分配基本一致。而对N分配而言,Nh处理下叶N比例最高,而细根N比例最低,其他两个处理并无明显差异,叶N占绝对主导地位,占到总量的60%以上;且茎和根中N比例之和仅10%左右。从图中还可以看出,相对于N0,Nl增加了细根中P的比例,而降低了叶片中P的比例;但Nh处理下叶片和细根中P的比例都略有增加。

表 4 不同施 N 处理下白刺花幼苗各组分 C、N 和 P 积累量差异

Table 4 Variations of C, N and P accumulation in components (means $\pm$ SE, $n = 3$) of *Sophora davidii* seedlings under different N supply regimes

处理 Treatments	叶 Leaf (mg)	茎 Shoot (mg)	粗根 Coarse root (mg)	细根 Fine root (mg)	总计 Total (mg)	
C	N0	32.20 ± 1.26a	26.57 ± 2.89a	33.87 ± 2.03a	19.12 ± 1.03a	52.99 ± 3.02a
	N1	74.30 ± 3.79b	68.32 ± 5.88b	76.14 ± 2.48b	41.40 ± 5.57b	117.54 ± 3.14b
	Nh	53.27 ± 3.34c	41.03 ± 3.31c	41.07 ± 2.54c	17.12 ± 1.76a	58.19 ± 1.30c
	P > FN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N	N0	0.76 ± 0.11a	0.05 ± 0.00a	0.08 ± 0.01a	0.30 ± 0.02a	1.19 ± 0.09a
	N1	2.19 ± 0.18b	0.19 ± 0.01b	0.23 ± 0.02b	0.83 ± 0.07b	3.44 ± 0.13b
	Nh	1.98 ± 0.14b	0.14 ± 0.01c	0.15 ± 0.01c	0.42 ± 0.05c	2.69 ± 0.19c
	P > FN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P	N0	0.09 ± 0.02a	0.06 ± 0.01a	0.08 ± 0.01a	0.06 ± 0.01a	0.29 ± 0.03a
	N1	0.17 ± 0.01b	0.13 ± 0.02b	0.13 ± 0.03b	0.20 ± 0.04b	0.63 ± 0.02b
	Nh	0.14 ± 0.02b	0.08 ± 0.01a	0.06 ± 0.01a	0.09 ± 0.01a	0.38 ± 0.03c
	P > F _N	0.003	0.001	0.031	0.001	0.000

同一元素在同一列中的不同字母表示处理间的显著差异 Different letters within a column for same element indicate the significant differences among the treatments ($P < 0.05$)

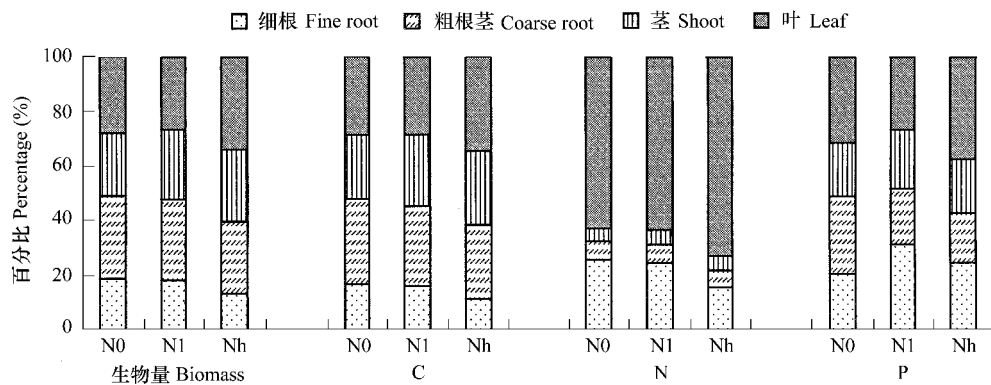


图 2 不同施 N 处理下白刺花幼苗各组分生物量、C、N 和 P 分配特征

Fig. 2 Biomass, C, N and P partitioning of *Sophora davidii* seedlings under different N supply regimes

2.3 N 和 P 利用效率

外源施 N 显著 ($P < 0.05$) 影响白刺花幼苗叶片 C/N 比、叶片 N/P 比、植物总 C/N 比、植物总 N/P 比、N 利用效率 (NUE_N) 和 P 利用效率 (NUE_P) (表 5)。叶片和植物总 C/N 比均随着施 N 强度的增加而显著 ($P < 0.05$) 降低, 但叶片和植物总 N/P 比增加, 且叶片 N/P 比值从不足 9 快速上升至约 14。 NUE_N 随着施 N 强度的增加而显著 ($P < 0.05$) 降低, 而 NUE_P 以 N1 最高, Nh 次之。

3 讨论

本项研究中, 白刺花幼苗表现出较小的植株性状, 较低的生物量和生产力, 并且在实验过程中出现了一定的死亡率。这充分证明了干旱河谷恶劣的自然条件严重限制了植物的生长与植被的更新, 同时也从另一方面说明白刺花具有较强的适应该区严酷环境的基本能力, 具备了选作干旱河谷恢复先锋种的潜力。另一方面, 外源施 N 显著影响了白刺花幼苗生长与形态特征, 且轻度施 N 处理显著增加了幼苗叶片数目、基径、株高、根长等生长特征和生物生产量。说明干旱河谷土壤严重缺失 N 元素, 这个结果与王春明等的研究结论基本一致^[21]。补充施肥是保证贫瘠地区植物养分需求和植物生产力最为常见的方法^[7], 增加土壤有效养分也会改变植物各方面的适应对策, 而生长与形态学的适应特性常常是植物适应各自环境最为基本的机制^[25]。由于

N 是酶的重要组成成分,将 N 分配给光合器官还是养分吸收器官是植物需要平衡的一个问题^[25]。Broadley 等认为植物吸收的 N 通常会首先保证叶片的生产以保持最大的 C 固定率^[26]。本项研究结果也表明合适的施 N 处理不仅会促进光合器官(叶片数目和生物量)的生长,而且也会通过植物相对的高生长对养分的高需求促进养分吸收器官(细根)的生长,从而增加植物生物生产量,C 的固定和养分(N 和 P)的积累,最终改善植物适应环境的能力。Hossain 等也得出相似的结论^[27]。然而在本项研究中,相对于不施 N 处理,虽然重度施 N 处理也增加了生物生产量,C 的固定和 N、P 的积累,但是可能由于抑制了根系的生长,改变了根系周围水分有效性^[14],使得植物对重度施 N 处理的响应不如轻度施 N 处理。

植物生物量及资源的积累与分配特征也是植物适应各自环境的另一重要机制^[28]。本项研究表明外源施 N 处理也深刻影响到白刺花幼苗生物量和 C、N、P 的分配特性。由于各器官组分的功能不同,它们对 N 的响应也各自不同。叶片和细根是植物利用 N 最为集中的器官,植物通过根系吸收的 N 常常大量转移到绿色叶片以固定相对较多的 C^[29],在本项研究中叶片和细根 N 贮量之和占到植物总 N 的 90% 左右,因而这两器官 N 贮量也受环境有效 N 库的影响较大。轻度施 N 处理由于可能使得植物吸收、利用与分配相对较为平衡,因而对生物量及 C 的分配影响不大;而重度施 N 处理可能抑制根系生长,显著降低细根生物量比例,增加叶片生物量比例^[14],不利于白刺花幼苗在干旱条件下良好生长。从施 N 对 *LFR* 和 *SR* 的影响也可以得出相似结论。*LFR* 是一个功能性分配的敏感指标,因为它可以量化植物叶片光合作用过程中消耗养分和水分的资源量^[6]。本项研究中重度施 N 处理下,白刺花幼苗 *LFR* 和 *SR* 均较大,表明该处理下幼苗光合耗用资源较多,而光合效率可能较低;同时,分配给地下部分的生物量较少,可能不利于植物在水分缺失条件下高效的吸收和利用水分^[30]。就 N 和 P 分配而言,重度施 N 处理增加了叶 N 比例,降低根系 N 比例,这可能与重度施 N 抑制根系生长有关;而相对于不施 N 处理,重度施 N 同时增加叶片和细根中 P 的比例,轻度施 N 增加细根 P 比例,降低叶 P 比例,可能是因为 N 的存在促进了 P 的吸收和利用^[31],并且轻度施 N 处理可能具有更高的 P 利用效率。

一般地,在土壤中添加一种限制养分常常会降低这种养分的利用效率,但会增加其他限制养分的利用效率^[31]。本项研究结果也充分证明了这一点,本项研究中施 N 处理显著降低了叶片和植物总 C/N 比以及 NUE_N ,并随着施 N 强度的增加而降低;但施 N 处理显著增加了叶片和植物总 N/P 比以及 NUE_P 。由于养分利用效率主要决定于植物生物生产量和养分吸收量^[32],而轻度施 N 处理增加了生物生产量和养分的吸收量,总的来看,相对于重度施 N 处理,轻度施 N 处理下白刺花幼苗具有较高的 NUE_N ,更具有高效的利用 P 的能力,可能使得白刺花更适合于贫瘠干旱的环境。

根据 Koerselman 和 Meuleman,植物器官(主要是叶)N/P 小于 14,植物生产力受 N 限制较多,N/P 大于 16 则受 P 限制较大,两者之间则受 N 和 P 共同限制^[33]。同时 James 等认为理想的资源分配将会平衡资源的供应与植物的需求,最终导致多种资源共同限制^[6]。本项研究中,不施 N 处理下,植物叶片 N/P 仅 9 左右,而施 N 处理下上升为 14 左右,基本上达到 Koerselman 和 Meuleman 认为的 N 和 P 共同限制植物生产力的水平^[33]。这个结果一方面充分佐证了该地区土壤缺失 N 元素;另一方面也与 James 等的理论基本一致^[6]。

4 结论

干旱河谷严酷的生存环境严重限制了植被的更新与恢复。本项研究中所有白刺花当年生幼苗株高均不足 10cm,处理过程中生产量不足 1.0g,并在实验过程中出现了一定的死亡率。但是,适量补充施加该区所严重缺失的 N 元素,可能一定程度上促进白刺花幼苗生长、延长根系、平衡生物量与资源分配、提高其他受限资源的利用效率,从而改善植物适应干旱贫瘠环境的能力,最终达到促进植被恢复与更新的目的。过度施 N 不仅不能改善植物适应胁迫环境的能力,反而可能通过抑制根系生长,分配大量生物量和资源到地上部分,使得耗水增加而吸水减少导致水分收支的不平衡,不利于幼苗的存活与生长。

由于本项研究实验时间较短,而苗木的养分需求具有生长发育阶段性差异,本项研究结果仅说明限制性氮的施用对当年生发芽的植株具有促进效应,要深入揭示白刺花的养分适应能力需要进一步的工作。

References:

- [1] Ettershank G, Ettershank J, Bryant M, *et al.* Effects of nitrogen fertilization on primary production in a Chihuahuan Desert ecosystem. *Journal of Arid Environment*, 1978, 1: 135 — 139.
- [2] Gutierrez J R, Whitford W G. Chihuahuan desert annuals; importance of water and nitrogen. *Ecology*, 1987, 68: 2032 — 2045.
- [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] Peek M S, Forseth I N. Microhabitat responses to resource pulses in the aridland perennial, *Cryptantha flava*. *Journal of Ecology*, 2003, 91: 457 — 466.
- [5] Maestre F T, Vallasares F, Reynolds J F. Is the change of plant — plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments. *Journal of Ecology*, 2005, 93: 748 — 757.
- [6] James J J, Tiller R L, Richards J H. Multiple resources limit plant growth and function in a saline-alkaline desert community. *Journal of Ecology*, 2005, 93: 113 — 126.
- [7] Baligar V C, Fageria N K, He Z L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32 (7-8): 921 — 950.
- [8] Singh S P, Bargali K, Joshi A, *et al.* Nitrogen resorption in leaves of tree and shrub seedlings in response to increasing soil fertility. *Current Science*, 2005, 89 (2): 389 — 396.
- [9] Dang T H, Cai G X, Guo S L, *et al.* Effects of nitrogen management on yield and water use efficiency of rainfed wheat and maize in northwest China. *Pedosphere*, 2006, 16 (4): 495 — 504.
- [10] Fife D N, Nambiar E K S. Changes in the canopy and growth of *Pinus radiata* in response to nitrogen supply. *Forest Ecology and Management*, 1997, 93: 137 — 152.
- [11] Saneoka H, Moghaieb R E A, Premachandra G S, *et al.* Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*, 2004, 52: 131 — 138.
- [12] Chapin F S III. Integrated responses of plants to stress: A centralized system of physiological responses. *BioScience*, 1991, 41: 29 — 36.
- [13] Arora A, Singh V P, Mohan J. Effect of nitrogen and water stress on photosynthesis and nitrogen content in wheat. *Biologia Plantarum*, 2001, 44 (1): 153 — 155.
- [14] Tan W, Hogan G D. Physiological and morphological responses to nitrogen limitation in jack pine seedlings: potential implications for drought tolerance. *New Forests*, 1997, 14: 19 — 31.
- [15] Der eerden L V. Nitrogen on microbial and global scales. *New Phytologist*, 1998, 139: 201 — 204.
- [16] Eghball B, Maranville J W. Root development and nitrogen in flux of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agronomy Journal*, 1993, 85: 147 — 152.
- [17] Li A, Wang A, Liang S, *et al.* Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS — A case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*, 2006, 192: 175 — 187.
- [18] Bao W K, Chen Q H. The Degraded Processes and Features of Ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18 (2): 36 — 42.
- [19] Bao W K, Wang C M. Degradation mechanism of mountain ecosystem at the dry valley in the upper reaches of the Minjiang River. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18 (1): 57 — 62.
- [20] Li F L, Bao W K, Liu J H, *et al.* Eco-anatomical characteristics of *Sophora davidii* leaves along an elevation gradient in upper Minjiang River dry valley. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (1): 5 — 10.
- [21] Wang C M, Bao W K, Chen J Z, *et al.* Profile characteristics and nutrients of dry cinnamon soils in dry valley of the upper Minjiang river. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(3): 230 — 234.
- [22] Guan W B, Ye M S, Ma K M, *et al.* The relationships between plant community species turnover rates and environmental factors in the arid valley of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (11): 2367 — 2373.
- [23] Ye M S, Guan W B, Tan H, *et al.* The Adiversity of shrubs community in the arid valley of the Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (6): 1123 — 1130.
- [24] Lu R K. Soil and Agro-chemical Analytical Methods. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 318 — 379.
- [25] Patterson T B, Guy R D, Dang Q L. Whole-plant nitrogen- and water-relations traits, and their associated trade-offs, in adjacent muskeg and upland boreal spruce species. *Oecologia*, 1997, 110: 160 — 168.
- [26] Broadley M R, Escobar-Gutiérrez A J, Burns A, *et al.* What are the effects of nitrogen deficiency on growth components of lettuce? *New*

Phytologist, 2000, 147: 519—526.

- [27] Hossain M A, Ishimine Y, Akamine H, *et al.* Effect of nitrogen fertilizer application on growth, biomass production and N-uptake of torpedograss (*Panicum repens* L.). Weed Biology and Management, 2004, 4: 86—94.
- [28] Wu F Z, Lu Y J, Yang W Q, *et al.* Effects of *Fargesia denudata* density on its nutrient element stocks, accumulation and allocation dynamics. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (7): 1663—1669.
- [29] Wu F Z, Wang K Y, Yang W Q, *et al.* Effects of *Fargesia denudata* density on seasonal changes in litter nutrient concentrations and their potential retranslocation. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29 (4): 537—542.
- [30] Li, F, Kang S. Effects of atmospheric CO₂ enrichment, applied nitrogen and soil moisture on dry matter accumulation and nitrogen uptake in spring wheat. Pedosphere, 2002, 12 (3): 207—218.
- [31] Suja G, Nair V M, Sreekumar J. Influence of organic manures, nitrogen and potassium on nutrient uptake and nutrient-use efficiency of white yam (*Dioscorea rotundata*) intercropped in coconut (*Cocos nucifera*) garden. Indian Journal of Agronomy, 2003, 48 (3): 168—171.
- [32] Yuan Z Y, Li L H, Huang J H, *et al.* Effect of nitrogen supply on the nitrogen use efficiency of an annual herb, *Helianthus annuus* L. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47 (5): 539—548.
- [33] Koerselman, W, Meuleman, A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. Journal of Applied Ecology, 1996, 33: 1441—1450.

参考文献:

- [18] 包维楷, 陈庆恒. 生态系统退化的过程及其特点. 生态学杂志, 1999, 18 (2): 36~42.
- [19] 包维楷, 王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制. 山地学报, 2000, 18 (1): 57~62.
- [20] 李芳兰, 包维楷, 刘俊华, 等. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上白刺花叶片生态解剖特征研究. 应用生态学报, 2006, 17(1): 5~10.
- [21] 王春明, 包维楷, 陈建中, 等. 岷江上游干旱河谷区褐土不同亚类剖面及养分特征. 应用与环境生物学报, 2003, 9 (3): 230~234.
- [22] 关文彬, 冶民生, 马克明, 等. 岷江干旱河谷植物群落物种周转速率与环境因子的关系. 生态学报, 2004, 24 (11): 2367~2373.
- [23] 冶民生, 关文彬, 谭辉, 等. 岷江干旱河谷灌丛 α 多样性分析. 生态学报, 2004, 24 (6): 1123~1130.
- [24] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 318~379.
- [28] 吴福忠, 鲁叶江, 杨万勤, 等. 缺苞箭竹密度对养分元素贮量、积累与分配动态的影响. 生态学报, 2005, 25 (7): 1663~1669.
- [29] 吴福忠, 王开运, 杨万勤, 等. 密度对缺苞箭竹凋落物生物元素的动态变化及其潜在转移能力的影响. 植物生态学报, 2005, 29(4): 537~542.