

低氮胁迫对五种岩石边坡生态修复植物的影响

胡佳佳¹, 周江²

(1. 贵州省环境监测中心站, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵阳市生态环境科学研究院, 贵州 贵阳 550001)

摘 要:以岩石边坡 5 种常用护坡植物紫穗槐、火棘、早熟禾、狗牙根和红三叶为试材, 研究了低氮水平和正常氮水平对植物根长、株高、生物量、叶绿素含量和植株全氮含量的影响, 以探讨护坡植物的耐贫瘠性能力和机理。结果表明: 生物量受低氮胁迫影响最大, 根长和株高受影响较小; 不同植物中, 紫穗槐和火棘的耐贫瘠性较强, 早熟禾的耐贫瘠性中等, 狗牙根和红三叶的耐贫瘠性较差。5 种植物的耐贫瘠性为火棘>紫穗槐>早熟禾>狗牙根>红三叶。同时, 低氮胁迫条件下不同植物的根长、株高、生物量、叶绿素含量、全氮含量具有显著差异, 可作为岩石边坡修复中耐贫瘠性植物的筛选指标。

关键词:岩石边坡; 修复; 植物; 耐贫瘠性; 低氮胁迫

中图分类号:X 171.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)18-0067-04

徐州是苏北地区重要的工业城市, 区域内石灰岩和白云岩储量丰富, 自 20 世纪 50 年代以来, 已有数百处采石场被开采, 目前已关闭的废弃采石场就有 100 多个。这些废弃的采石场给城市生态环境造成了一定的负面影响, 对其进行生态修复是建设生态文明城市 and 环境保护模范城市的重要内容之一。为此, 徐州市自“十一五”以来不断加大对废弃采石场的生态修复研究工作, 并于 2007 年实施了 3 座大型石质山体(九里山、龟山、两山口)的边坡植物修复工程。该工程主要采用喷播、挂网的方式进行植被恢复, 播种植物主要有紫穗槐、火棘、早熟禾、狗牙根、红三叶等, 目前已取得了一定的复绿效果, 但并没有取得实质性效果, 主要问题是每个边坡底部较平缓的坡面植被生长良好, 而中上部较陡的坡面几乎没有成活的植物。通过实地考察和调研, 发现土壤营养元素含量和植物的耐贫瘠性是其 2 个主要限制因子^[1]。现针对此问题对该地区岩石边坡 5 种常用修复植物的耐贫瘠性进行了研究, 通过测定低氮水平(1 mmol/L)和正常氮水平(5 mmol/L)下植物的根长、株高、生物量、叶绿素含量和全氮含量等指标, 对 5 种植物的耐贫瘠性及其机理进行探讨, 以期对岩石边坡修复工程的植物选择和基质配制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据实地考察选择徐州市护坡工程中运用最广泛

的 5 种护坡植物作为试验材料, 分别为紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.) 豆科紫穗槐属; 火棘(*Pyracantha fortuneana*) 蔷薇科火棘属; 早熟禾(*Poa annua* Linn) 禾本科早熟禾属; 狗牙根(*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers.) 禾本科狗牙根属; 红三叶(*Trifolium pretense* L.) 豆科三叶草属。

1.2 试验方法

采用营养液培养法。设置 2 个氮元素浓度处理水平: 正常氮水平(5 mmol/L)、低氮水平(1 mmol/L)^[2]。按照霍格兰溶液配方(表 1), 配制不同营养液^[3]。

以中国矿业大学苗圃基地土壤作为基质土壤, 将预处理后的种子在同等条件下分别播种到直径为 20 cm 的塑料盆中, 播种后进行正常管理, 于植物正常生长 2 个月后进行为期 25 d 的耐贫瘠性胁迫试验。

胁迫试验使用统一规格的塑料桶, 将 1 cm 厚的塑料泡沫板切成圆形定植板, 定植板直径比桶口内径小 1 cm 左右, 在定植板上钻直径为 1 cm 左右的孔。试验模拟自然条件, 塑料桶置于有阳光的户外, 保持良好的通风。各桶分别加入不同配方的营养液, 选择生长状况相似各植株, 去土洗净根后移栽到定植板上钻好的小孔上, 周围用棉花固定。在培养期间, 定期管理并观察植物, 每天测试营养液的 pH 值, 用 0.1 mol/L 氢氧化钠和 0.1 mol/L 盐酸调节 pH 至 5.5~6.0; 每 5 d 更换 1 次营养液, 更换营养液时用清水冲洗植株基部, 并用干净的纱布洗净植株基部的粘液; 保持良好的通风。

1.3 项目测定

分别对处理前和处理后的各植株根长、株高、生物量、叶绿素含量和植株全氮含量等指标进行测定和分

第一作者简介:胡佳佳(1986-), 女, 硕士, 助理工程师, 研究方向为环境监测。E-mail: 28272591@qq.com.

收稿日期:2013-04-10

析。植物根长和株高分别用卷尺测量;生物量的测定是将待测植株洗净、擦干后于 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 下烘干至恒重后称量,用植株干重表示。叶绿素含量采用 80% 丙酮浸提比色法测定^[4];全氮含量是将植株用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后,用半微量蒸馏法测定^[5]。各指标在胁迫试验前后分别测定 1 次,每处理均 3 次重复。

表 1 霍格兰营养液配方

Table 1 Nutrient solution formula

营养成分	不同氮浓度营养液配方/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	
	5 mmol/L 氮浓度	1 mmol/L 氮浓度
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.59000	0.11800
KNO_3	0.25500	0.05100
KCl	0.18810	0.33857
CaCl_2	0.27750	0.49950
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.49000	0.49000
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.00180	0.00180
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.00022	0.00022
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.00008	0.00008
FeCl_3	0.00500	0.00500
H_3BO_3	0.00290	0.00290
KH_2PO_4	0.14000	0.14000
$\text{H}_2\text{M}_2\text{O}_4$	0.00002	0.00002

2 结果与分析

2.1 低氮胁迫对植物根长的影响

根系是植物吸收土壤养分的部位,在逆境条件下首先受到影响,是反映植株生物性状的主要指标之一。由图 1 可知,5 种植物的根长在不同浓度氮处理水平下均有增长。但与正常氮水平相比,低氮胁迫下狗牙根和红三叶的根长增长幅度分别降低了 32.9% 和 20.8%,说明低氮环境对其根的生长抑制作用强烈;紫穗槐根长的增长幅度与正常氮水平相比差异较小,说明该试验条件下低氮环境对其影响较小;而早熟禾、火棘的增长幅度与正常氮水平相比基本持平,说明该试验中低氮环境对其影响最小。因此,低氮胁迫对植物根长的抑制程度从大到小依次为狗牙根>红三叶>紫穗槐>早熟禾>

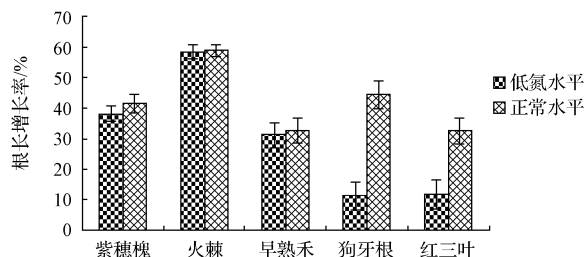


图 1 低氮胁迫对植株根长的影响

Fig. 1 Effect of low nitrogen stress treatment on plant root length

火棘。

2.2 低氮胁迫对植物株高的影响

植物株高能直观地反映植物的生长状况。从图 2 可以看出,不同氮浓度处理水平下,5 种植物的株高变化程度不一。红三叶、早熟禾和狗牙根的株高与正常氮水平相比增长量分别减少了 54.0%、41.9% 和 37.3%,说明低氮环境抑制其植株的生长;而紫穗槐和火棘的增加幅度与正常氮水平相比基本持平,说明低氮环境对其植株的生长影响较小。故低氮胁迫对植物株高的抑制程度从大到小依次为红三叶>早熟禾>狗牙根>火棘>紫穗槐。

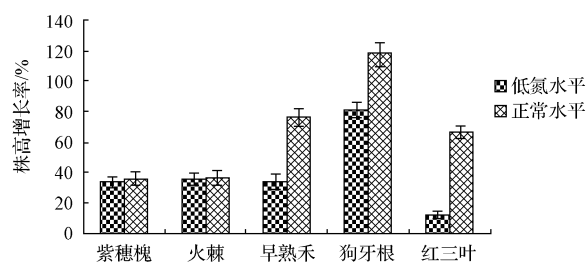


图 2 低氮胁迫对植物株高的影响

Fig. 2 Effect of low nitrogen stress treatment on plant height

2.3 低氮胁迫对植物生物量的影响

生物量是植物先天遗传因素和后天外在环境共同作用的结果,不同植物会因为遗传背景的差异而存在生物量的差异^[6]。由图 3 可以看出,低氮水平和正常氮水平处理下植物的生物量都有所增加,但前者明显低于后者。狗牙根生物量的增加幅度与正常氮水平相比降幅高达 147.4%,受低氮胁迫影响严重;早熟禾和红三叶的增加幅度分别减少了 85.4% 和 66.5%;紫穗槐的减小量为 47.4%;火棘的减小量为 12.0%,受低氮胁迫影响较小。即低氮胁迫对植物生物量的抑制程度从大到小依次为狗牙根>早熟禾>红三叶>紫穗槐>火棘。

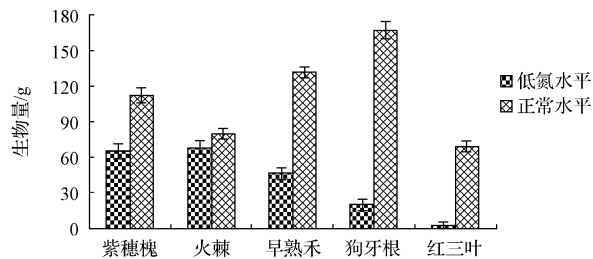


图 3 低氮胁迫对生物量的影响

Fig. 3 Effect of low nitrogen stress treatment on biomass

2.4 低氮胁迫对植物叶绿素含量的影响

叶绿素是绿色植物中主要的光合色素,其含量变化与植物的生存、生长密切相关,是评价植株光合效率和

营养胁迫的重要指标^[7]。由图4可知,在低氮水平和正常氮水平下,5种植物的叶片叶绿素含量均有不同增幅。其中火棘的叶绿素含量增加幅度最大,狗牙根和红三叶的增加幅度最小;低氮胁迫对红三叶和狗牙根的叶绿素含量影响最大,其含量增加幅度与正常氮水平相比分别减少了48.9%和42.8%,紫穗槐和早熟禾的减少量分别为20.7%和14.1%,同样受低氮环境的影响,火棘的增加幅度与正常氮水平相比仅减少了2.0%,说明低氮环境对其光合作用的影响较小。即低氮胁迫对植株叶绿素的抑制程度从大到小依次为红三叶>狗牙根>紫穗槐>早熟禾>火棘。

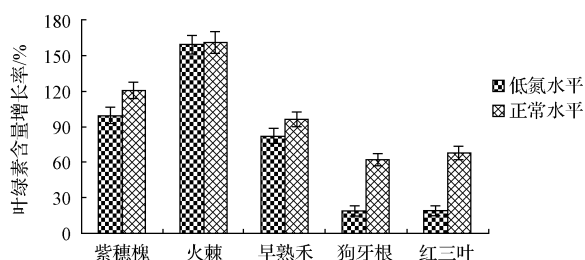


图4 低氮浓度对叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effect of low nitrogen stress treatment on chlorophyll content

2.5 低氮胁迫对植株全氮含量的影响

全氮含量在一定程度上反映了植物的固氮能力,是护坡植物筛选时重点考虑的因素之一。从图5可以看出,在低氮水平和正常氮水平下,5种植物的全氮含量都有不同程度的增加。低氮胁迫下,红三叶全氮含量的增加幅度与正常氮水平相比减少最大,为23.5%,说明其耐低氮环境的能力较差;火棘的增加幅度与正常氮水平相比减少量最小,为11.4%,说明其耐低氮环境的能力较强;早熟禾、狗牙根和紫穗槐的减少量居中,分别为18.6%、16.3%和13.1%。即低氮胁迫对植物生长的抑制程度从大到小依次为红三叶>早熟禾>狗牙根>紫穗槐>火棘。

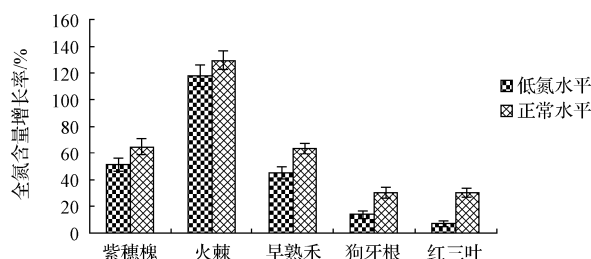


图5 低氮胁迫对植株全氮含量的影响

Fig. 5 Effect of low nitrogen stress treatment on total nitrogen content of plant

2.6 耐贫瘠性综合评价

由于低氮胁迫下植物各指标间的变化存在一定差异,需要对植物的耐贫瘠性指标进行综合评价。采用耐低氮指数对各指标进行评价,结果见表2。从表2可以看出,5种供试植物的生物量耐低氮指数都比较高,而株高和根长的耐低氮指数相对较低,叶绿素含量和全氮含量的耐低氮指数居中,各指标间具有一定差异性;而在不同植物之间,红三叶和狗牙根各指标的耐低氮指数较低,火棘和紫穗槐的较高,早熟禾居中。故5种植物的耐贫瘠性从强到弱依次为火棘>紫穗槐>早熟禾>狗牙根>红三叶。

表2 5种植物各指标的耐低氮指数

Table 2 Low nitrogen resistance coefficient of physiological and biochemical indexes of five plants

植物	生物量	根长	株高	叶绿素含量	全氮含量	均值	排序
紫穗槐	0.5774	0.9891	1.1417	0.8279	0.7967	0.8666	2
火棘	0.8507	1.0747	1.0741	0.9874	0.9121	0.9798	1
早熟禾	0.3508	1.0965	0.4491	0.8535	0.7064	0.6913	3
狗牙根	0.1189	0.2566	0.6850	0.3068	0.4545	0.3644	4
红三叶	0.0399	0.3607	0.1864	0.2800	0.2195	0.2173	5

注:耐低氮指数指低氮水平下性状表型值与正常氮水平下性状表型值的相对比值。

3 结论与讨论

氮素是构成生命的要素之一,也是植物生长必不可少的三大营养元素之一。缺氮往往使植物生长速度缓慢,发育不良。岩石边坡的坡面容易遭受风蚀和雨滴,导致护坡基质中营养元素的流失,进一步制约了护坡植物的生长。该试验结果表明,生物量受低氮胁迫影响最大,根长和株高受影响较小;不同植物中火棘和紫穗槐的耐贫瘠性较强,早熟禾的耐贫瘠性中等,狗牙根和红三叶的耐贫瘠性较差,5种植物的耐贫瘠性为火棘>紫穗槐>早熟禾>狗牙根>红三叶。

该试验中植物的株高和根长在低氮胁迫下表现性状存在一定差异。如早熟禾在低氮胁迫下株高增量减少,而根长增量却增加。其原因可能是低氮环境下植物茎叶生长受到抑制^[8],叶片变薄变小,光合作用效率低下,进而导致植株弱小。但与此同时,氮营养缺乏能够使植物根系变细、变短,亦能增加根系的生物量,促进根系和侧根的发生^[9-10]。在岩石边坡植物修复中应尽可能选择根系发达且耐贫瘠的植物以提高边坡内部土体的延性,使其滑动破坏趋缓,从而增强边坡的稳定性^[11]。

生物量的多少关系着物种能否在生态系统中发挥关键作用^[12],试验以植株干重表示供试植物的生物量,结果显示植物生物量受低氮胁迫影响最大。其原因可能由于植株干重是植物根系、枝叶等形态结构和环境的综合体现,受土壤肥力、光照、温度和水分等生境条件的

影响较大^[13]。而在不同植物中,红三叶和狗牙根受影响较大,火棘和紫穗槐受影响较小,主要原因与植物种属有关。

植株叶绿素含量和全氮含量的相关性极好。分析其原因,可归结为叶绿素是光合作用的产物^[14],而氮素是叶绿素的组成成分,植物缺氮时明显影响叶绿素的合成^[15-16],导致叶片变黄,植物光合能力显著下降^[17],植株瘦弱,发育不良^[18]。

低氮胁迫条件下不同植物的生物量、根长、株高、叶绿素含量、全氮含量等具有显著差异,可作为岩石边坡生态修复中耐贫瘠植物的筛选指标。

参考文献

- [1] 王振营,朱敏,王朋.徐州地区石质边坡生态植被恢复工程设计研究[J].山东林业科技,2010(3):92-94.
- [2] 苏日古嘎.禾本科牧草抗旱、耐寒、耐贫瘠特性比较研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2007.
- [3] 武维华.植物生理学[M].北京:科学出版社,2003:89.
- [4] 李合生,孙群,赵世杰,等.植物生理生化实验原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [5] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:263-270,284-286.
- [6] 徐黎明,柏明娥,唐建军,等.鸡眼草和美丽胡枝子对贫瘠土壤的生态适应性比较[J].浙江林业科技,2008,28(4):12-15.
- [7] 李乃伟,汪庆,束晓春,等.营养胁迫对曼地亚红豆杉生长与生理指

标及紫杉醇含量的影响[J].江苏农业科学,2010(4):193-195.

- [8] 朱维琴,吴良欢,陶勤南.氮营养对干旱逆境下水稻生长及抗氧化性能的影响[J].浙江农业学报,2006,18(2):67-71.
- [9] 许建定.土壤水分和氮磷营养对植物根系生长的影响[J].山西水土保持科技,2010(3):12-15.
- [10] 贾彦博,杨肖娥,刘建祥.植物根系对养分缺乏和毒害的适应及其与养分吸收效率的关系[J].土壤通报,2005,36(4):610-616.
- [11] 周云艳,陈建平,王晓梅.植物须根固土护坡的复合材料理论研究[J].武汉理工大学学报,2010,32(18):103-107.
- [12] 汪文云,张朝晖.老万场金矿石灰岩与红土矿体藓类植物生物量及吸水量比较研究[J].中国岩溶,2009,28(3):319-323.
- [13] 黄晓霞,韩京萨,刘全儒,等.小五台亚高山草甸植物地上生物量及其营养成分研究[J].草业科学,2008,25(11):5-12.
- [14] Liu M H,Pei Z P,Hu J J.Comparative research on drought resistance of four species of herb applied to slope revegetation [C]//Proc. IEEE Symp. 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering(Volume 4). Lushan,China:IEEE Press, Apr,2011:2996-2999.
- [15] 武美兰,姚婷,钱晓刚.耐氮胁迫玉米种质材料的筛选研究[J].贵州农业科学,2009,37(5):9-10.
- [16] 杨杰,田永超,姚霞,等.水稻上部叶片叶绿素含量的高光谱估算模型[J].生态学报,2009,29(12):6561-6571.
- [17] Field C,Mooney H. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants//On the economy of plant form and function[M]. Harvard:Cambridge University Press,1986:25.
- [18] 黄蔚,陈开宁.沉积物理化性质与沉水植物鲜重、多样性指数及种的饱和度相关性[J].湖泊科学,2010,22(4):545-551.

Effect of Low Nitrogen Treatment on Five Species of Plants Applied to Rock Slope Revegetation

HU Jia-jia¹, ZHOU Jiang²

(1. Guizhou Province Environmental Monitoring Center Station, Guiyang, Guizhou 550001; 2. Guiyang Research Academy of Eco-Environmental Sciences, Guiyang, Guizhou 550001)

Abstract: Taking 5 species of plants applied to rock slope revegetation *Amorpha fruticosa* L., *Pyracantha fortuneana*, *Poa annua* Linn, *Cynodon dactylon* Pers and *Trifolium pretense* L. as materials, the effect of low nitrogen level and normal level nitrogen treatments on plant root length, plant height, biomass, chlorophyll content and total nitrogen content were studied, and its barren resistance ability and the mechanism were investigated. The results showed that the effect of low nitrogen treatment on biomass was the biggest while on root length and plant height were the minimum. In different types of plants, barren resistance of *Amorpha fruticosa* L. and *Pyracantha fortuneana* were stronger, *Poa annua* Linn was middle, *Cynodon dactylon* Pers. and *Trifolium pretense* L. were weak. The order of barren resistance was *Pyracantha fortuneana* > *Amorpha fruticosa* L. > *Poa annua* Linn > *Cynodon dactylon* Pers. > *Trifolium pretense* L.. At the same time, these indexes of different plants were obviously different, they could be used as the indexes to filter plant that had stronger barren resistance for rock slope revegetation.

Key words: rock slope; revegetation; plants; barren resistance; low nitrogen treatment