

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.03.005

川西高原退化草地的中国沙棘生长及土壤养分研究

李玲¹, 樊华¹, 李森¹, 邓东周², 涂卫国^{1*}, Lepeshkina Lillia³

(1. 四川省自然资源科学研究院, 四川 成都 610015; 2. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081;

3. 俄罗斯联邦沃罗涅日国立大学, 俄罗斯 沃罗涅日 394018)

摘要:以川西高原退化草地人工种植1~3年的中国沙棘为研究对象,分析了其生长、土壤养分及叶片养分回收情况。结果显示:随着种植年限的增加,沙棘幼苗株高、冠幅、叶长及叶宽逐渐升高,侧枝数目和根长先升后降。与同区域康定柳相比,种植3年的中国沙棘根际土壤中全磷、有效磷和有机质含量较高,水解性氮含量相对较低。中国沙棘叶氮、磷含量(Ng、Pg)分别为 $23.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $1.84 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,低于北方典型沙生植物叶片养分水平($27.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),叶磷回收效率(PRE)高达69.35%,受土壤有效磷供应不足的影响;康定柳叶磷回收效率为负值,叶氮回收效率(NRE)达59.88%,受土壤有效氮的限制更多,中国沙棘根系固氮作用能够补偿退化草地上土壤氮供应不足的限制。

关键词:川西高原;退化草地;中国沙棘;土壤养分;叶片养分回收

中图分类号:S793.6;S714.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5508(2019)03-0027-04

A Study of the Growth and Soil Nutrients of *Hippophae rhamnoides* on Degraded Grassland in Western Sichuan Plateau

LI Ling¹ FAN Hua¹ LI Sen¹ DENG Dong-zhou² TU Wei-guo^{1*} Lepeshkina Lillia³

(1. Sichuan Provincial Institute of Natural Resource Sciences, Chengdu 610015, China;

2. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China;

3. Voronezh State University of the Russian Federation, Voronezh 394018 Russian)

Abstract: In this paper studies were made of the growth, soil nutrient and leaf nutrient resorption of *Hippophae rhamnoides*, which was cultivated on degraded grassland for 1~3 years in Western Sichuan plateau. The results showed that, with the increase of planting years, the plant height, crown width, leaf length and leaf width of seedlings increased, the number of lateral branches and root length first increased and then decreased. Compared with *Salix parapslesia* in the same area, the contents of total phosphorus, available phosphorus and organic matter were higher in the rhizosphere soil of *H. rhamnoides*, and the contents of hydrolytic nitrogen were lower. The nitrogen and phosphorus contents (Ng and Pg) in the leaves of *H. rhamnoides* were $23.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $1.84 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ respectively, which were lower than typical northern psammophyte ($27.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $3.68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). The leaf phosphorus recovery efficiency (PRE) was as high as 69.35% in *H. rhamnoides*, which was restricted by the insufficient supply of phosphorus in the soil. The leaf nitrogen recovery efficiency (NRE) was 59.88% in *Salix parapslesia*, which was more re-

收稿日期:2019-03-06

基金项目: 国家科技支撑项目(2015BAC05B01); 2017年四川省基本科研业务费项目(2017-AB0028); 四川省应用基础研究项目(2017JY0211)

作者简介: 李玲(1982-), 女, 贵州铜仁人, 副研究员, 博士研究生, 主要从事树木生理学, 植物逆境生理生态学研究, e-mail: liling0616@foxmail.com。

* 通讯作者: 涂卫国(1978-), 男, 博士研究生, 主要从事植物生态学研究, e-mail: weijtu@163.com。

stricted by the advisability of nitrogen of the soil. The nitrogen fixation in the roots of *H. rhamnoides* could compensate for the insufficient supply of soil nitrogen in the degraded grassland.

Key words: Western Sichuan plateau, Degraded grassland, *Hippophae rhamnoides*, Soil nutrients, Leaf nutrient resorption

川西高原处于长江、黄河上游及其主要支流的源头,生态战略地位十分重要。近年来,受全球气候、自然因素和人为活动等诸多原因影响,该区域的生态环境质量逐渐下降,草地退化、沙化情况严重,已威胁到区域生态环境安全^[1]。中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)为胡颓子科沙棘属落叶灌木,有抗寒旱、耐风沙、对土壤适应性强等特点,是我国广泛应用的治沙植物。在川西高原不同土壤、水分条件、海拔高度等条件下,中国沙棘分布广泛,由于其强大的萌发力和固氮能力,呈现出具有肥岛效应的沙棘灌丛林,对于维持植物群落稳定性具有重要意义^[2]。近年来,在川西高原红原县、若尔盖县等退化草地区域,利用康定柳、中国沙棘等构建的灌-草复合治沙新模式得到广泛的应用^[3]。

本研究选择川西高原退化草地典型区域-红原县瓦切乡,调查了退化草地上不同种植年限中国沙棘生长指标,并比较了中国沙棘和康定柳根际土壤养分情况,分析了叶和小枝养分含量及叶片养分回收特性,以揭示高寒退化草地上沙棘生长及土壤肥力特性,为区域生态保护和退化草地治理提供理论与实践支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原东南缘的四川省阿坝州红原县,属大陆性高原寒温带季风气候。研究地点位于红原县瓦切乡,位于红原县西北方,距县城 42 km,101°51′~103°23′ N,31°51′~33°19′ E,海拔 3 460 m。气象条件以红原县城为例,多年平均降水量 749.1 mm,80%集中在 5—8 月,年均日照时数 2158.7 h,年平均气温 1.4℃,气候偏冷,春秋短促,冬长无夏。区域土壤表层主要为高寒草甸土,但受到气候变化、人为和放牧的干扰,生态环境破坏较为严重,部分退化为风沙土^[4]。自 20 世纪 80 年代起,研究地点持续开展了多年生态保护植被恢复工作,主要以康定柳搭配各种草本植物构建了草方格^[5]。近几年来开始种植中国沙棘,主要在每年 5 月初种植两年生幼苗,采取深坑埋肥措施以提高成活率,种

植时挖掘 80 cm 深坑,每坑深埋 0.75 kg 腐熟的牛羊粪肥。

1.2 样地设置与样品采集

于 2018 年 8 月在研究区内选择 2017 年、2016 年和 2015 年种下中国沙棘幼苗的地块,即种植了 1 年、两年和 3 年时间。每个年限下随机选择 3 块 50 m × 50 m 的样地,测定样地内幼苗的株高、冠幅等生长指标,并挖出幼苗测定地下生长指标。同时沿主根采集各个年限的 0~20 cm 根际土壤,以及样地旁株高 1~1.2 m 康定柳 0~20 cm 根际土壤,保存在放有冰袋的泡沫箱中,低温环境下迅速带回实验室,测定土壤氮、磷含量等养分指标。

于 2018 年 8 月和 11 月,选择样地内种植 3 年的中国沙棘及种植 5 年以上、株高 1 m~1.2 m 康定柳,采集生长旺盛期和枯叶期的叶和小枝样品。将样品于 105℃ 杀青 1 h,70℃ 烘干至恒重,磨粉过 100 目筛,测定叶和小枝氮、磷含量。土壤和植物样品取混合样进行重复,即中国沙棘每个年限下 11 株幼苗根际土壤混合为一个样品,康定柳 9 株根际土壤样品收集混合为一个样品,植物样品也同样采用混合样,每个样品取 3 个重复样。

1.3 样品测定及计算方法

土壤全氮含量采用凯氏蒸馏法测定,水解性氮采用碱解-扩散法测定,土壤全磷含量采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定,土壤有效磷采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗分光光度法(Olsen 法)测定,土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定。利用土壤氮、磷含量计算土壤氮磷比。

植物氮含量采用凯氏蒸馏法测定,磷含量采用硫酸-双氧水消煮-钼钼黄比色法测定。利用不同季节叶片氮、磷含量计算氮、磷回收效率(NRE、PRE),具体计算公式为:

$$NRE = (N_g - N_s) / N_g \times 100\%$$

$$PRE = (P_g - P_s) / P_g \times 100\%$$

氮回收效率(NRE)为生长季盛期绿叶、生长季末当年生枯叶间氮含量减少的相对比例,磷回收效率(PRE)为生长季盛期绿叶、生长季末当年生枯叶间磷含量减少的相对比例, N_g 、 N_s 为绿叶、枯叶氮含量, P_g 、 P_s 为绿叶、枯叶磷含量^[6]。叶片氮回收水平

(NRP)为枯叶中的氮含量(N_s)、叶片磷回收水平(PRP)为枯叶中的磷含量(P_s)^[7]。

1.4 统计分析

使用 SPSS16.0 for Windows 软件对种植 1、2、3 年的中国沙棘幼苗生长指标进行统计分析(见表 1);对根际土壤养分指标(见表 2)、叶与小枝养分指标(见表 3)进行一元方差分析(ANOVA),平均数间的多重比较采用 Tukey 检验($P < 0.05$),并用不同字母表示同一性状在 $P < 0.05$ 水平上的显著差异,利用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限中国沙棘生长情况

不同种植年限中国沙棘生长指标统计见表 1。从表 1 中各生长指标来看,随着种植年限的增加,沙棘幼苗株高、冠幅、叶长及叶宽平均值逐渐升高,变异系数逐渐降低。而侧枝数在种植两年最大,3 年大幅降低,与 1、2 年相比分别下降了 47.15% 和 58.69%。根长在两年也最大,在 3 年略有降低,但仍比 1 年高 30.64%。根瘤数目和大小在 2、3 年差异不大,但均大于 1 年,根瘤数目分别是 1 年的 1.70 和 1.61 倍;与其他指标相比,根瘤数目和大小的变异性相对较大。

2.2 不同沙棘生长年限林下土壤养分情况

不同种植年限中国沙棘土壤养分情况见表 2。从表 2 可以看出,种植 1 年土壤中全氮、水解性氮和有机质含量均最高,可能与种植幼苗时,为了提高成活率加入的有机肥有关。与种植 1 年相比,两年土壤中全氮、水解性氮和有机质含量分别下降了

表 1 不同种植年限沙棘幼苗生长指标统计

生长指标	种植年限	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数
株高(cm)	1 年	11	35.04	17.61	10.60	60.60	50.26%
	2 年	11	54.50	17.60	32.50	85.00	32.29%
	3 年	11	63.90	14.26	30.20	81.90	22.32%
冠幅(cm)	1 年	11	0.46	0.17	0.30	0.80	37.61%
	2 年	11	0.93	0.17	0.70	1.11	18.28%
	3 年	11	1.25	0.09	0.95	1.26	7.20%
侧枝数	1 年	11	23.80	7.18	15.00	38.00	30.17%
	2 年	11	30.50	4.85	18.00	37.00	15.90%
	3 年	11	12.60	3.77	10.00	18.00	29.92%
叶长(cm)	1 年	11	2.45	0.80	1.10	3.80	32.65%
	2 年	11	2.85	0.57	1.80	3.60	20.00%
	3 年	11	3.16	0.50	2.50	4.10	15.82%
叶宽(cm)	1 年	11	0.45	0.10	0.30	0.65	22.22%
	2 年	11	0.58	0.08	0.45	0.70	13.79%
	3 年	11	0.68	0.17	0.40	1.00	25.00%
根长(cm)	1 年	11	34.40	3.55	27.60	37.50	10.32%
	2 年	11	54.80	8.95	44.30	73.90	16.33%
	3 年	11	49.60	6.45	39.50	56.00	13.00%
根瘤数目	1 年	11	5.60	3.74	2.00	13.00	66.79%
	2 年	11	9.50	9.50	1.00	24.00	100.00%
	3 年	11	9.00	2.55	5.00	12.00	28.33%
根瘤大小(cm)	1 年	11	0.75	0.52	0.10	1.60	69.33%
	2 年	11	1.63	0.73	0.50	2.60	44.79%
	3 年	11	1.63	0.82	0.50	3.70	50.31%

55.73%、50.91% 和 78.94%;3 年中水解性氮持续下降,而全氮和有机质含量有所回升。土壤全磷 1、2、3 年差异不大,与 1 年相比,2、3 年土壤中有效磷含量分别提高了 21.29% 和 55.09%。与康定柳相比,中国沙棘土壤中全磷、有效磷和有机质含量相对较高,种植 3 年分别是康定柳的 1.25、2.05 和 2.13 倍;土壤全氮含量在 3 年中国沙棘与康定柳中无显著性差异,而水解性氮含量康定柳土壤是前者的 1.40 倍。

表 2 土壤养分情况表

养分指标	全氮 ($g \cdot kg^{-1}$)	全磷 ($g \cdot kg^{-1}$)	有机质 ($g \cdot kg^{-1}$)	水解性氮 ($g \cdot kg^{-1}$)	有效磷 ($g \cdot kg^{-1}$)	氮磷比
沙棘 1 年	7.01 ± 0.09c	0.40 ± 0.01b	7.44 ± 0.06d	86.12 ± 3.28d	2.53 ± 0.09a	17.53 ± 0.33d
沙棘 2 年	3.10 ± 0.03a	0.39 ± 0.01b	1.57 ± 0.09b	42.27 ± 0.97b	3.21 ± 0.09b	7.88 ± 0.31a
沙棘 3 年	3.97 ± 0.06b	0.40 ± 0.01b	2.00 ± 0.09c	35.36 ± 2.42a	5.63 ± 0.14c	9.93 ± 0.07b
康定柳	3.99 ± 0.07b	0.32 ± 0.00a	0.94 ± 0.07a	49.66 ± 1.81c	2.74 ± 0.10a	12.48 ± 0.23c

2.3 叶与小枝养分情况

生长旺盛期(8 月)和枯叶期(11 月)中国沙棘和康定柳叶和小枝养分情况见表 3。从表 3 可以看出,从不同季节来看,中国沙棘叶氮、磷含量 8 月较高,小枝氮、磷含量 11 月较高;康定柳氮含量与中国沙棘相似,叶 8 月较高、小枝 11 月较高,而磷含量相反,叶 11 月较高、小枝 8 月较高。从不同树种来看,

表 3 不同季节中国沙棘叶和小枝养分含量

树种	样品	N ($mg \cdot g^{-1}$)	P ($mg \cdot g^{-1}$)	N:P
中国沙棘	8 月叶	23.24 ± 0.46e	1.84 ± 0.04b	12.66 ± 0.18d
	8 月枝	21.16 ± 0.60d	2.02 ± 0.04bc	10.48 ± 0.14cd
	11 月叶	16.87 ± 0.07c	0.57 ± 0.07a	30.08 ± 3.80e
康定柳	11 月枝	25.62 ± 0.63f	2.16 ± 0.07cd	11.87 ± 0.67d
	8 月叶	22.55 ± 0.34de	2.74 ± 0.09e	8.23 ± 0.17bc
	8 月枝	14.74 ± 0.41b	2.33 ± 0.06d	6.34 ± 0.34b
	11 月叶	9.06 ± 0.23a	2.95 ± 0.13e	3.08 ± 0.21a
	11 月枝	15.69 ± 0.27bc	2.23 ± 0.07cd	7.04 ± 0.33b

不同季节康定柳叶磷含量较高,而中国沙棘小枝氮含量较高,不同季节中国沙棘叶和小枝氮磷比均显著高于康定柳。

2.4 叶片养分回收

中国沙棘(SJ)和康定柳(KDL)叶片氮、磷回收情况见图1。从图1可以看出,叶氮回收水平(NRP)中国沙棘显著高于康定柳,是后者的1.86

倍;而叶磷回收水平(PRP)康定柳显著高于中国沙棘,是后者的5.12倍。从养分回收效率来看,叶氮回收效率(NRE)康定柳高达59.88%,显著高于中国沙棘,是后者的2.23倍;叶磷回收效率(PRE)中国沙棘高达69.35%,而康定柳叶磷回收效率为负值。

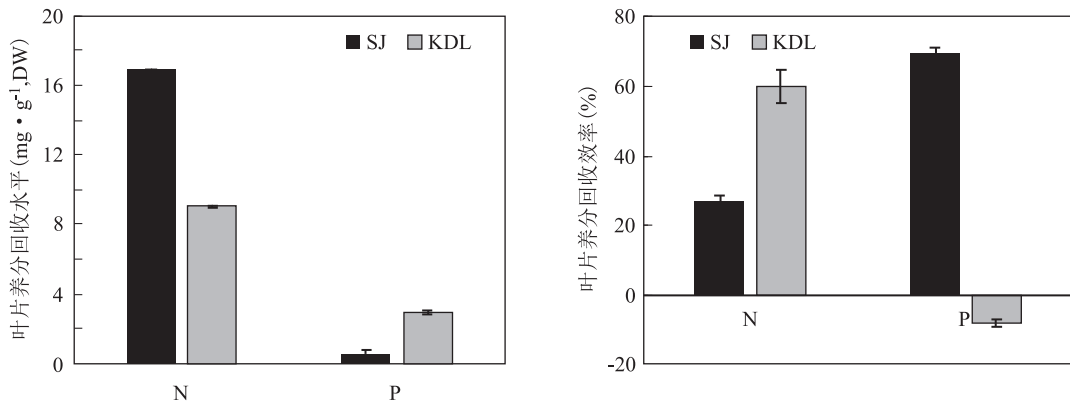


图1 中国沙棘和康定柳叶片养分回收

3 讨论

株高、冠幅、根长是显示植物生长特性的基本指标。本研究中,种植3年的中国沙棘幼苗与种植1年的相比,株高、冠幅、根长、叶长和叶宽分别提高了45.16%、63.20%、30.65%、22.47%和33.82%,表现出随着栽培年限增加,幼苗株形趋于稳定、生长量提高现象。种植3年幼苗侧枝数目与1年、两年相比大幅下降,这可能与下层弱枝养分供应不足、侧枝自疏凋亡或弱枝越冬死亡有关。与1年幼苗相比,种植3年沙棘根瘤大小和数目提高了37.78%和53.99%,根系固氮能力得到大幅提高。

从土壤肥力来看,种植中国沙棘第2年的全氮、水解性氮和土壤有机质比第1年下降了50%~70%以上,表明第1年在沙地上深坑预埋的有机肥已消耗或淋溶耗竭;随着种植年限的增加,土壤水解性氮含量持续降低,表明土壤氮养分呈持续性消耗,供氮能力下降,可能与高原低温环境下矿化率较低有关。与第2年相比,第3年土壤全氮、有效磷和有机质含量有所回升,显示出随着中国沙棘种植时间延长,土壤养分消耗得到一定改善,但其对土壤养分的贡献率需要更长时间的观测。

叶片中养分含量状况能够较好地反映土壤养分供给的能力^[8]。本研究中,生长旺盛期中国沙棘叶氮、磷含量(N_g 、 P_g)分别为 $23.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $1.84 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,康定柳 N_g 、 P_g 分别为 $22.55 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $2.74 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,均低于北方典型沙生植物叶片养分水平($27.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)^[9]。叶片氮磷比(N:P)可以判断环境对植物生长的养分供应状况,暗示植物的生长受到氮还是磷元素的限制,通常情况下叶片 $N:P < 10$ 往往受到氮限制,而 $N:P > 20$ 往往受到磷的限制^[10]。本研究中,中国沙棘8月叶片N:P高于10,而康定柳低于10,表明后者可能受到了氮养分的限制。

植物叶片养分回收指养分从衰老叶片中转移并被运输到植物其他组织的过程,是植物养分保持和环境适应的重要机制,特别是在贫瘠的生境中^[11~12]。赵广帅等^[13]对羌塘高原紫花针茅的研究显示,NRE为71.25%,高于中国温带草原和全球的平均水平(46.9%~58.5%),且与土壤无机氮呈显著正相关。本研究中,与中国沙棘相比,康定柳虽然土壤水解性氮含量较高、有效磷含量较低,然而从叶片养分回收来看,叶氮回收效率(NRE)达59.88%,而叶磷回收效率为负值,表明实际上其受到土壤有

(下转第36页)

- [15] 向慧敏,温达志,张玲玲,等. 鼎湖山森林土壤活性碳及惰性碳沿海拔梯度的变化[J]. 生态学报,2015,35(18):6089~6099.
- [16] 肖开煌,苏智先,张素兰,等. 不同海拔珙桐群落乔木物种多样性与土壤因子关系研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),2007(04):408~413.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 杨敬天,胡进耀,张涛,等. 北川片口珙桐种群土壤理化性质的初步研究[J]. 四川林业科技,2013,34(3):40~44+65.
- [19] 张继平,张林波,王凤玉,等. 井冈山国家级自然保护区森林土壤养分含量的空间变化[J]. 土壤,2014,46(2):262~268.
- [20] 张广帅,邓浩俊,杜锺,等. 泥石流频发区山地不同海拔土壤化学计量特征——以云南省小江流域为例[J]. 生态学报,2016,36(3):675~687.
- [21] 赵维俊,刘贤德,金铭,等. 祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J]. 土壤学报,2016,53(2):477~489.
- [22] 张巧明,王得祥,龚明贵,等. 秦岭火地塘林区不同海拔森林土壤理化性质[J]. 水土保持学报,2011,25(5):69~73.
- [23] 黄鲜茹,韦思,李承东,等. 雅长兰科植物自然保护区典型森林类型土壤理化性质研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2018,38(4):59~63.
- [24] Cleveland C C, Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: Is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? [J]. Biogeochemistry,2007,85(3):235~252.
- [25] Zhang G, Zhang P, Peng S, et al. The coupling of leaf, litter, and soil nutrients in warm temperate forests in northwestern China [J]. Scientific Reports,2017,7(1):11754.
- [26] 张海东,汝海丽,焦峰,等. 黄土丘陵区退耕时间序列梯度上草本植被群落与土壤C、N、P、K化学计量学特征[J]. 环境科学,2016,37(03):1128~1138.

(上接第30页)

效氮的限制更大;而中国沙棘虽然土壤有效磷含量较高、水解性氮含量较低,但其叶磷回收效率(PRE)达69.35%,表明其受到土壤有效磷的影响更多,其根系固氮作用能够缓解土壤氮供应不足的限制。

综上,川西高原退化草地区域人工种植的中国沙棘随着栽培年限增加,幼苗株形趋于稳定、生长量显著提高。生长旺盛季节中国沙棘和康定柳叶片氮、磷含量均低于北方典型沙生植物叶片养分水平,前者受到土壤有效磷的影响更多,而后者受到土壤氮限制作用更大。川西高原退化草地上以康定柳构建草方格,搭配种植中国沙棘,利用其根系生物固氮作用,不仅能够有效缓解土壤氮供应不足、减少土壤养分竞争,还能更快提高植物覆盖率,具有推广价值。

参考文献:

- [1] 邓东周,王朱涛,蒙嘉文,等. 川西北地区土地沙化成因探讨及对策建议[J]. 四川林业科技,2010,31(3):83~88.
- [2] 程根伟,罗辑. 贡嘎山高山森林自然演替特征与模拟[J]. 生态学报,2002,22(7):1049~1056.
- [3] 欧平贵,任君芳,罗鹏,等. 若尔盖县沙化治理试验研究初报[J]. 四川林业科技,2013,34(3):11~20.
- [4] 郭亨孝,孟宏伟,陈昌久,等. 关于川西北沙化问题的调研报告[J]. 四川林业科技,2010,31(2):1~3.
- [5] 蒙嘉文,左林,蔡应君,等. 若尔盖县土地沙化现状分析及治理对策研究[J]. 四川林业科技,2013,34(4):42~46.
- [6] Aerts R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns? [J]. Journal of Ecology,1996,84(4):597~608.
- [7] Killingbeck K T. Nutrients in Senesced Leaves: Keys to the Search for Potential Resorption and Resorption Proficiency [J]. Ecology,1996,77(6):1716~1727.
- [8] Adamas M B, Campbell R G, Allen H L, et al. Root and foliar nutrient concentrations in loblolly pine: Effects of season, site and fertilization [J]. Forest Science,1987,33:984~996.
- [9] 王博. 中国北方典型沙生植物叶片养分回收与功能特征的研究[D]. 兰州大学硕士学位论文,2007.
- [10] Gusewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. New Phytologist,2004,164:243~266.
- [11] Aerts R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns [J]. Journal of Ecology,1996,84:597~608.
- [12] 陈伏生,胡小飞,葛刚. 城市地被植物麦冬叶片氮磷化学计量比和养分再吸收效率[J]. 草业学报,2007,16(4):47~54.
- [13] 赵广帅,熊定鹏,石培礼,等. 羌塘高原降水梯度带紫花针茅叶片氮回收特征及影响因素[J]. 生态学报,36(11):3419~3428.