

网络出版时间:2014-10-16 14:21

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.095

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.095.html

柴达木盆地不同居群白刺叶片营养与 土壤养分的回归分析

邱 权¹,李吉跃¹,王军辉²,王 宁³,孙 奎³,董 蕾¹,潘 昕¹

(1 华南农业大学 林学院,广东 广州 510642;2 中国林业科学研究院 林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室,北京 100091;
3 青海省农林科学院 野生植物资源研究所,青海 西宁 810016)

[摘 要] **【目的】**研究柴达木盆地白刺群落叶片的养分特征,分析土壤养分对叶片营养的影响规律,为白刺退化居群的保护提供依据。**【方法】**在青海柴达木盆地选择 6 个重要的唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)分布区域,采集区域中白刺叶片和 0~15,15~30,30~45 cm 土层土壤样品,测定白刺叶片营养元素和土壤养分含量,分析不同白刺居群间的叶片养分特征,并建立叶片养分与土壤养分含量的回归模型。**【结果】**6 个区域白刺居群间叶片营养含量存在显著的空间变异性,其中叶片有机碳(C)、氮(N)、磷(P)和钾(K)含量分别为 357.43~415.63,26.12~52.65,1.60~4.23 和 8.03~17.32 g/kg;C/N、C/P 和 N/P 分别为 7.68~13.49,95.33~218.98 和 12.44~17.84。叶片有机碳(C)含量与叶片 N、P、K 含量相关性均不显著,而叶片 P、K 含量与叶片 N 含量呈极显著正相关。叶片养分含量与纬度、经度和海拔相关性不显著。回归分析结果表明,白刺叶片养分含量与表层(0~15 cm)土壤养分含量相关性达显著水平,其中叶片 N 含量与表层土壤碱解 N 含量呈显著正相关,叶片 P 含量与表层土壤全 P 含量呈显著负相关,叶片 K 含量分别与表层土壤全 K、碱解 N 和土壤有效 P 含量显著相关。15~30 cm 土层土壤全 N、全 P、碱解 N 和速效 K 含量仅对叶片 P 含量有显著影响。白刺叶片 N、P、K 含量与 30~45 cm 土层土壤养分含量无关。**【结论】**白刺居群中叶片 N 和 P 含量相对充足,K 相对不足;表层土壤(0~15 cm)养分含量对白刺叶片养分含量有显著影响。

[关键词] 叶片营养;空间变异;回归分析;白刺;柴达木盆地

[中图分类号] Q948.113

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)11-0121-08

Regression analysis on leaf and soil nutrients of different *Nitraria tangutorum* populations in Tsaidam Basin

QIU Quan¹, LI Ji-yue¹, WANG Jun-hui², WANG Ning³,
SUN Kui³, DONG Lei¹, PAN Xin¹

(1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;
3 Institute of Wild Plant Resources, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry, Xining, Qinghai 810016, China)

Abstract: **【Objective】**In this study, we investigated the leaf nutrient characteristics of different *Nitraria tangutorum* populations in Tsaidam Basin, and analyzed the effect of soil fertility on leaf nutrition, aiming to improve the protection of *N. tangutorum*. **【Method】**Ten *Nitraria tangutorum* populations in six important *N. tangutorum* distribution areas in Tsaidam Basin were selected to measure the nutrients in leaves of different *Nitraria tangutorum* populations and soil depths (0—15, 15—30, and 30—45 cm) and investigate the differences in leaf nutrients of different *N. tangutorum* populations. Then the regression

[收稿日期] 2013-08-04

[基金项目] 林业公益性行业科研专项(200904033);农业科技成果转化资金项目(2011GB24320010)

[作者简介] 邱 权(1989—),男,湖北黄梅人,在读博士,主要从事栽培生理生态研究。E-mail: qiuquan89@163.com

[通信作者] 李吉跃(1959—),男,四川金堂人,教授,博士,主要从事森林培育、栽培生理生态研究。E-mail: ljyymy@vip.sina.com

model for leaf and soil nutrients was established. 【Result】 (1) Contents of leaf nutrients of different *N. tangutorum* populations showed significant spatial variability. The ranges of leaf organic C, N, P and K contents were 357.43–415.63, 26.12–52.65, 1.60–4.23 and 8.03–17.32 g/kg, respectively, and the ratios of C/N, C/P and N/P were in the ranges of 7.68–13.49, 95.33–218.98, and 12.44–17.84, respectively. (2) The relationship between leaf organic C and leaf N, P and K was not significant, whereas leaf N content had significant correlation with leaf P and K. (3) Leaf nutrients showed no significant correlation with latitude, longitude and altitude, but they had significant correlation with contents of soil nutrients. (4) Regression analysis results show that leaf nutrients of *N. tangutorum* had significant correlation with nutrients in surface soil (0–15 cm), among which leaf N content had significant positive correlation with hydrolysis soil N, leaf P had significant negative correlation with surface soil total P and leaf K showed significant correlation with surface soil total K, hydrolysis N, and available P. In addition, total N, total P, hydrolysis N and available K contents in deep soil (15–30 cm) had significant effects on leaf P only. However, leaf N, P and K contents are not correlated with nutrient contents in deep soil (30–45 cm). 【Conclusion】 Leaf N and P contents of *Nitraria tangutorum* populations in Tsaidam Basin were relatively sufficient, whereas leaf K content was insufficient. Nutrient contents in surface soil (0–15 cm) had significant effects on leaf nutrients.

Key words: leaf nutrients; spatial variability and distribution; regression analysis; *Nitraria tangutorum*; Tsaidam Basin

碳、氮、磷、钾等矿质元素在植物体构成和生理代谢方面发挥着重要作用^[1-2], 叶片是植物的主要同化器官, 其矿质元素含量既能反映植物体的营养状况, 又能表征土壤的供肥能力^[3-4]。叶片营养与土壤养分联系密切, 一些针对南果梨 (*Pyrus ussuriensis*)^[2]、苹果 (*Malus sieversii*)^[3]、板栗 (*Castanea mollissima*)^[4]、黄竹 (*Bambusa rigida*)^[5]、槟榔 (*Areca catechu*)^[6] 等的研究证实, 植物叶片营养与土壤养分之间存在一定的相关性。一般认为, 叶片养分是植物体、土壤和环境因素共同作用的结果, 其含量存在一定的空间分布差异^[1], 大量研究表明, 温度、纬度和降雨量对植物叶片营养元素含量空间分布有显著影响^[7-10]。唐古特白刺 (*Nitraria tangutorum*) 为蒺藜科 (*Zygophyllaceae*) 白刺属 (*Nitraria*) 灌木, 是我国特有种, 分布于西藏东北部、甘肃、青海、新疆、内蒙古西部、宁夏西部、陕西北部的湖盆地区和风沙沿线, 具有强抗逆性和生态适应特性, 在稳定沙漠、保护绿洲中起着重要作用^[11-12]。青海柴达木盆地是白刺的重要自然分布区域, 由于自然退化现象严重, 加上修建公路等人为因素的破坏, 其分布区域日益减少, 及时开展其营养状况研究对于认识白刺野外生存环境以及生态保护有重要意义。当前对柴达木盆地白刺居群叶片营养空间差异性的研究较少, 而针对白刺叶片营养元素与土壤养分含量的回归分析也鲜见报道。

本研究在青海柴达木盆地选择 6 个重要的白刺分布区域, 测定不同白刺居群的叶片营养元素和土壤养分含量, 通过对比不同白刺居群间的叶片养分差异, 研究柴达木盆地白刺群落叶片养分特征, 并通过建立叶片营养与土壤养分回归模型, 分析土壤肥力对叶片营养的作用规律, 从而为白刺退化居群的保护提供基础数据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

柴达木盆地位于东经 90°16′~99°16′, 北纬 35°00′~39°20′, 地处青海省西北部, 位于阿尔金山、祁连山和昆仑山之间, 东西长约 800 km, 南北最宽处约 350 km, 面积约 20 万 km², 地势自西北向东南缓倾, 海拔在 2 600~3 000 m, 是中国地势最高的内陆盆地。盆地属高原大陆性气候, 以干旱为主要特点, 年降水量区域性差异较大, 自东南部的 200 mm 递减到西北部的 15 mm, 年均相对湿度为 30%~40%, 最小可低于 5%。盆地年均温在 5℃以下, 气温变化剧烈, 绝对年温差可达 60℃以上, 日温差也常在 30℃左右, 夏季夜间可降至 0℃以下。风力强盛, 年 8 级以上大风日可达 25~75 d, 西部甚至可出现 40 m/s 的强风, 风力蚀积强烈。盆地海拔高, 云量少, 日照时间长, 常年干旱少雨, 区内时常刮大风, 茶卡镇地区的大风天气最多时一年约有 180 d, 风能十分丰富。

1.2 白刺叶片和土壤样品的采集

于 2012-08 在青海柴达木盆地采集唐古特白刺不同群体的叶片及其居群内土壤样品。原生地采集叶样,选取乌兰柯柯镇、可鲁克湖、茶卡镇、尕海、戈壁车站和怀头他拉镇共 6 个白刺重要分布区域采样,记录采样区域纬度、经度和海拔高度等信息(表 1)。每个地区选取 2 个居群,其中茶卡镇由于白刺分布范围较小,而可鲁克湖部分区域被水淹,故在这

2 个区域仅选取 1 个居群。在每个居群中分单株随机在开阔环境中选取 15 个基本同龄的植物,分别采集 10 片叶片,多点混合后分装入 3 个封口袋中^[13],迅速带回实验室进行处理,3 次重复。叶片取样同时采集土壤样品,即在每个白刺居群里按“S”形选择 6 个取样点,分别采集土层深度为 0~15,15~30,30~45 cm 的土壤样品,然后按土层深度分别采用四分法取土样混合,3 次重复。

表 1 柴达木盆地 6 个白刺居群分布区域的地理信息
Table 1 Information of 6 distribution areas of *N. tangutorum* in Tsaidam Basin

样点 Sample plot	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude
乌兰柯柯镇 Wulan keke town	N36°59'56"	E98°10'19"	2 966
可鲁克湖 Keluke lake	N37°19'01"	E96°54'06"	2 819
茶卡镇 Chaka town	N36°47'05"	E98°58'39"	3 074
尕海 Gahai	N37°08'08"	E97°34'50"	2 865
戈壁车站 Gebi station	N37°14'44"	E97°01'59"	2 824
怀头他拉镇 Huaitou tala town	N37°19'24"	E96°51'01"	2 817

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶片养分含量 将叶片在实验室洗净后,用烘箱于 105 ℃下杀青 1 h,80 ℃下烘干至质量恒定,粉碎过筛,混匀后密闭于样品袋中待测。有机碳(C)含量采用高温外热重铬酸钾容量法测定;样品经硫酸-双氧水消煮后进行全氮(N)、全磷(P)和全钾(K)含量的测定,其中全氮含量采用蒸馏滴定法测定,全磷采用钒钼黄比色法测定,全钾采用火焰原子吸收分光光度法测定^[14]。每个居群叶片样品均做 3 次重复。

1.3.2 土壤化学性质 土壤化学性质采用土壤标准分析方法^[14]测定,其中全氮含量采用凯氏-蒸馏滴定法测定;全磷含量采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定;全钾含量采用氢氧化钠熔融-火焰原子吸收分光光度法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用盐酸-氟化铵提取-钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用乙酸铵提取-火焰原子吸收分光光度法测定。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 作图,用 SPSS 19.0 对试验数据进行方差分析和多重比较(Duncan's 法)、相关性分析、回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同白刺居群叶片养分含量的比较

方差分析结果(表 2)显示,不同白刺居群之间叶片养分含量均存在显著性差异($P<0.05$)。从表

2 可以看出,叶片有机碳、全氮、全磷和全钾含量分别为 357.43~415.63,26.12~52.65,1.60~4.23 和 8.03~17.32 g/kg,但各叶片养分含量变化在 10 个白刺居群中无明显规律。在相同区域内,2 个白刺居群叶片有机碳、全氮含量也有差异,其中乌兰柯柯镇、尕海、戈壁车站 3 个区域的 2 个白刺居群叶片有机碳含量均差异显著($P<0.05$);但相同区域 2 个白刺居群之间叶片全磷和全钾含量差异均不显著($P>0.05$)。综合分析叶片 4 个指标可以看出,6 个区域中,怀头他拉镇白刺居群叶片营养元素含量普遍高于其他区域,而可鲁克湖白刺居群叶片养分含量总体偏低,其叶片营养元素相对比较缺乏。不同白刺居群之间叶片的 C/N、C/P 和 N/P 大多存在显著性差异($P<0.05$),其变化范围分别为 7.68~13.49,95.33~218.98 和 12.44~17.84,可见不同居群白刺叶片养分组成也存在明显的空间变异性。对比不同白刺居群叶片的 C/N 和 C/P 值发现,可鲁克湖白刺居群具有较高的 C/N 和 C/P,可见该地区白刺根系从土壤中吸收的矿质养分大部分用于构建保卫构造,因此其叶片结构物质和贮藏物质较多,而怀头他拉镇白刺居群 C/N 和 C/P 均低于其他地区。N/P 方面,茶卡镇白刺居群叶片 N/P 达到了 17.84,高于其他地区,表明该地区白刺叶片 N 相对充足,其生长更容易受 P 限制;而怀头他拉镇 2 个白刺居群叶片 N/P 分别为 13.57 和 12.44,与其他地区相比,怀头他拉镇白刺叶片 P 相对充足,其生长则更容易受 N 限制。

表 2 柴达木盆地不同白刺居群的叶片养分含量

Table 2 Nutrients in leaves of *N. tangutorum* of different populations in Tsaidam Basin

样点 Sample plot	有机碳/ (g·kg ⁻¹) Organic C	全氮/ (g·kg ⁻¹) N	全磷/ (g·kg ⁻¹) P	全钾/ (g·kg ⁻¹) K	C/N	C/P	N/P
乌兰柯柯镇 1 Wulan keke town 1	357.43±7.98 d	42.37±2.95 cd	2.37±0.06 cde	17.32±1.41 a	8.45±0.40 def	150.55±1.10 e	17.83±0.83 a
乌兰柯柯镇 2 Wulan keke town 2	384.23±7.70 c	48.16±3.03 ab	3.32±0.07 abc	17.10±1.34 ab	7.99±0.66 ef	114.83±2.70 g	14.52±1.20 cd
可鲁克湖 Keluke lake town	358.36±9.84 d	26.12±2.44 f	1.60±0.02 e	8.03±0.80 e	13.49±1.52 a	218.98±7.20 a	16.33±1.38 ab
茶卡镇 Chaka town	387.69±9.11 bc	37.61±2.37 de	2.11±0.08 de	17.19±1.62 ab	10.32±0.41 c	184.03±2.44 c	17.84±0.47 a
杂海 1 Gahai 1	407.65±11.07 a	45.96±2.98 cd	3.12±0.07 bcd	15.13±1.32 bc	8.88±0.34 def	130.52±0.49 f	14.71±0.61 cd
杂海 2 Gahai 2	365.87±7.60 d	38.95±1.27 de	2.92±0.11 bcd	14.76±0.75 c	9.40±0.11 cd	125.54±1.94 f	13.36±0.05 de
戈壁车站 1 Gebi station 1	415.63±10.29 a	33.92±2.67 e	2.19±0.10 de	12.25±0.60 d	12.29±0.67 b	189.50±4.37 b	15.44±0.48 bc
戈壁车站 2 Gebi station 2	382.15±7.89 c	41.81±2.83 cd	2.43±0.03 cde	13.08±0.76 d	9.16±0.43 cde	157.54±1.59 d	17.23±0.98 a
怀头他拉镇 1 Huaitou tala town 1	401.34±7.36 ab	51.19±4.66 a	3.77±0.09 ab	16.72±0.13 abc	7.88±0.58 f	106.54±0.51 h	13.57±0.92 de
怀头他拉镇 2 Huaitou tala town 2	403.18±9.53 ab	52.65±2.67 a	4.23±0.05 a	16.84±1.36 ab	7.68±0.57 f	95.33±3.37 i	12.44±0.48 e
F	18.461 **	23.828 **	430.471 **	25.178 **	25.341 **	468.925 **	16.211 **

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Different lowercase letters in each column indicate significant difference at $P<0.05$.

2.2 白刺叶片养分含量与纬度、经度和海拔的关系

对白刺叶片养分含量与地理位置信息进行相关性分析,结果表明,叶片有机碳、N、P、K 含量以及 C/N、C/P 和 N/P 与经度、纬度和海拔高度的相关性均未达到显著水平($P>0.05$, $n=10$),可知白刺

叶片养分含量随经度、纬度和海拔高度的改变未发生显著变化。

2.3 白刺叶片 C、N、P、K 含量之间的相关性分析

白刺叶片 C、N、P、K 含量间的关系如图 1~3 所示。

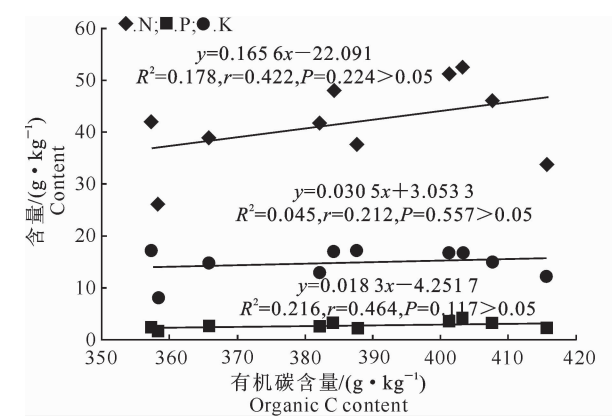


图 1 柴达木盆地白刺叶片有机 C 与 N、P、K 的含量关系
Fig.1 Relationship of organic C with N,P,and K contents in *N. tangutorum* leaves in Tsaidam Basin

由图 1~3 可知,白刺叶片 C、N、P、K 含量之间呈不同程度的相关关系。对白刺叶片 C、N、P、K 含量进行相关性分析,结果表明,仅叶片 N 含量与 P、K 含量相关性达到极显著水平($P<0.01$),且叶片 N 含量与 P、K 含量均呈正相关,其中 N 与 P 含量之间相关性($r=0.923$)高于 N 与 K($r=0.792$)。综

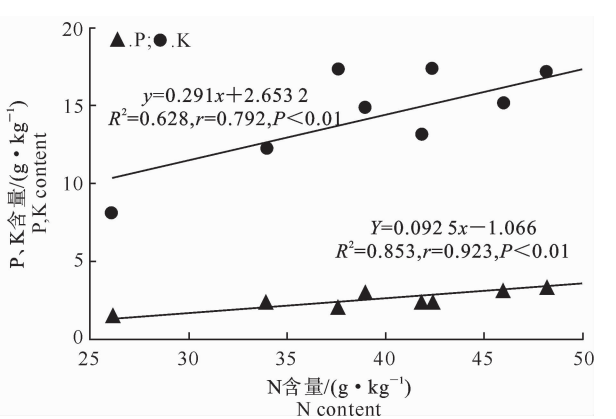


图 2 柴达木盆地白刺叶片 N 与 P、K 含量的关系
Fig.2 Relationship of N with P and K contents in *N. tangutorum* leaves in Tsaidam Basin

合来看,叶片有机 C 含量未对叶片 N、P、K 含量产生显著影响($P>0.05$),而 N、P 和 K 之间存在一定的联系,叶片 P 和 K 含量均随着叶片 N 含量的增加而增加,由此说明叶片 P 和 K 元素与 N 元素存在一定程度的相互促进关系。

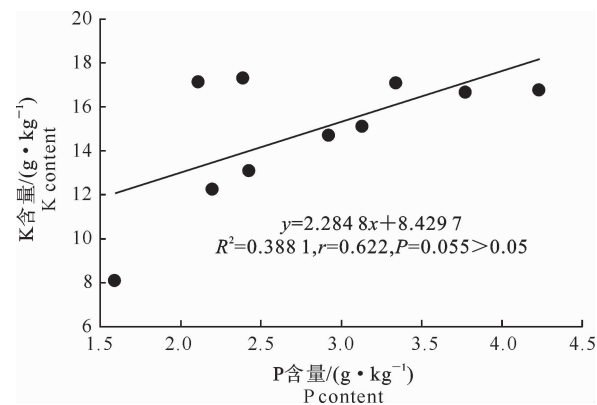


图 3 柴达木盆地白刺叶片 P 与 K 含量的关系

Fig. 3 Relationship of P and K contents in *N. tangutorum* leaves in Tsaidam Basin

2.4 柴达木盆地白刺与其他地区植物叶片养分特征 的比较

本研究中,白刺叶片养分含量高低顺序为:C>N>K>P,这与郑淑霞等^[1]对黄土高原地区植物叶片养分含量的研究结论一致。将柴达木盆地白刺叶片养分含量及组成与其他地区植物进行对比,结果(表 3)发现,柴达木盆地白刺叶片 N 和 P 含量分别达到了 4.19%和 0.28%,高于黄土高原、宁陕县、中国范围和全球尺度植物叶片的平均水平^[7-8,15],而叶

片有机碳和 K 含量分别为 38.64%和 1.48%,低于黄土高原地区和宁陕县植物,其中有机碳含量低于全球范围内植物叶片平均有机碳含量。此外,叶片养分组成方面,柴达木盆地白刺叶片 C/N和 C/P 均低于黄土高原、宁陕县、中国范围和全球尺度植物 2,而 N/P 平均值与黄土高原植物比较接近,低于中国范围内植物叶片平均水平,但比宁陕县以及全球范围内植物高。N/P 是描述群落水平上植被结构功能和养分限制的重要指标^[16-17]。Koerselman 等^[17]研究表明,当 N/P<14 时,群落水平上的植物生长主要受 N 限制;而 N/P>16时,植物生长主要受 P 限制。本研究中,柴达木盆地白刺居群叶片 N/P 平均值为 15.33,说明 P 对白刺生长的限制作用大于 N。茶卡镇白刺居群叶片 N/P 最高,达 17.84 (>16),显然该地区白刺生长主要受 P 限制。此外,大量研究表明,植物叶片 N 和 P 含量之间存在显著相关关系^[1,18-21]。本研究白刺叶片营养元素中 N 与 P 含量相关性程度最高,这与郑淑霞等^[1]的研究结论一致。综上所述可知,柴达木盆地白刺叶片 N 和 P 含量相对充足,存在一定程度的叶片缺 K 现象,其有机碳含量也总体偏低。

表 3 柴达木盆地白刺叶片与其他地区植物叶片养分特征 的比较

Table 3 Comparison of leaf nutrients between *Nitraria tangutorum* in Tsaidam Basin and other regions

项目 Item	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	C/P	N/P	数据来源 Data source
柴达木盆地白刺 <i>Nitraria tangutorum</i> in Tsaidam Basin	38.64	4.19	0.28	1.48	9.55	147.34	15.33	本研究 Our study
黄土高原植物 Loess plateau plant	43.80	2.41	0.16	1.67	21.20	312.00	15.40	[1]
宁陕县植物 Ningshan County plant	44.70	2.28	0.21	1.74	22.00	267.00	13.50	[1]
中国植物 China plant	/	2.02	0.15	/	/	/	16.30	[7]
全球尺度植物 1 Global scale 1 plant	/	2.01	0.18	/	/	/	13.80	[8]
全球尺度植物 2 Global scale 2 plant	46.40	2.06	0.20	/	22.50	232.00	12.70	[15]

注:表中数据为各研究区域植物叶片养分含量(质量分数)的平均值。

Note:Data in the table represent the average contents of nutrients (mass fraction) in leaves of plants from different regions.

2.5 白刺叶片养分含量和土壤养分含量的关系 分析

选择 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 分别代表 0~15 cm 土层土壤全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K 含量(mg/kg); x_7 、 x_8 、 x_9 、 x_{10} 、 x_{11} 、 x_{12} 分别代表 15~30 cm 土层土壤上述指标含量; x_{13} 、 x_{14} 、 x_{15} 、 x_{16} 、 x_{17} 、 x_{18} 分别代表 30~45 cm 土层土壤上述指标含量, y_1 、 y_2 、 y_3 分别代表白刺叶片 N、P、K 含量(g/kg),采用 SPSS 19.0 分析软件分别对白刺叶片养分含量和不同深度土壤养分含量关系进行回归模拟。对回归方程进行显著性检验,发现白刺叶片 N、P、K 含量与 30~45 cm 土层土壤养分含量的回归

模型均未达到显著水平,表明 30~45 cm 土层土壤养分含量未对叶片养分含量产生显著影响;与 0~15 cm 土层土壤养分含量关系回归模型均达到了显著水平($P<0.05$, $n=10$):

$$y_1=173.108+0.012x_1-0.058x_2-0.005x_3+0.064x_4-0.956x_5+0.002x_6。$$
$$y_2=10.609+0.002x_1-0.008x_2+0.001x_3+0.003x_4-0.056x_5-0.001x_6。$$
$$y_3=80.714+0.002x_1-0.011x_2-0.003x_3+0.035x_4-0.515x_5-0.002x_6。$$

仅叶片 P 含量与 15~30 cm 土层土壤养分含量的回归模型达到显著水平($P<0.05$),其回归方程

为:

$$y_2=14.566+0.004x_7-0.009x_8+0.001x_9+0.008x_{10}-0.023x_{11}-0.005x_{12}。$$

对以上 4 个方程各项回归系数进行显著性检验,剔除不显著项后,得到的回归模拟方程见表 4。由表 4 可知,白刺叶片 N 含量与 0~15 cm 土层土

壤碱解 N 含量呈显著正相关,叶片 P 含量与 0~15 cm 土层土壤全 P 含量呈显著负相关,叶片 K 含量分别与 0~15 cm 土层土壤全 K、碱解 N 和有效 P 含量显著相关。此外,叶片 P 含量与 15~30 cm 土层土壤全 N、全 P、碱解 N 和速效 K 含量显著相关($P<0.05$)。

表 4 白刺叶片养分含量与不同土层土壤养分含量关系的回归模拟方程
Table 4 Regression equations between contents of nutrients in leaf and soil

土层深度/cm Soil depth	叶片养分 Leaf nutrients	回归方程 Regression equation	R^2	P
0~15	N	$y_1=173.108+0.064x_4$	0.841	0.048
0~15	P	$y_2=10.609-0.008x_2$	0.894	0.028
0~15	K	$y_3=80.714-0.003x_3+0.035x_4-0.515x_5$	0.871	0.037
15~30	P	$y_2=14.566+0.004x_7-0.009x_8+0.008x_{10}-0.005x_{12}$	0.984	0.009

3 结论与讨论

3.1 白刺叶片营养的空间变异性

郑淑霞等^[1]对黄土高原地区植物叶片养分含量的研究表明,植物由于受到纬度、光照、温度和降雨量等因素的影响,叶片养分含量及组成会呈现出明显的空间分布格局。本研究中,不同区域白刺居群间叶片有机碳、N、P、K 含量以及 C/N、C/P 和 N/P 大多存在显著性差异($P<0.05$),这证实了白刺叶片养分含量也具有明显的空间差异性。本研究通过分析白刺叶片养分含量与地理位置信息的相关性发现,纬度、经度和海拔对白刺叶片 N、P、K 含量及 C/N、C/P 和 N/P 并未产生显著影响($P>0.05$),这与 Reich 等^[8]和 Kerkhoff 等^[10]认为 N/P 与纬度呈显著负相关($P<0.05$)以及 Han 等^[7]和 Reich 等^[8]认为叶片 N、P 含量与纬度呈显著正相关($P<0.05$)的研究结论不一致。但也有一些学者认为,叶片 N 和 P 含量与纬度变化没有明显的相关性^[1,10]。原因可能是,本研究区域相对较狭窄(N36°47′05″~N37°19′24″和 E96°51′01″~E98°58′39″),空间尺度比较小,气候变化范围不大,所以叶片养分含量随纬度、经度和海拔变化规律不明显,而 Han 等^[7]、Reich 等^[8]和 Kerkhoff 等^[10]的研究均是在全中国甚至全球范围内进行的,空间尺度大,容易形成明显的叶片养分空间分布格局。

3.2 白刺叶片养分含量与土壤养分含量的相关性

已经报道的关于叶片营养与土壤养分含量相关性的结果表明,不同的树种间以上两者的相关性存在一定的差异,并且土壤养分对不同叶片营养元素的作用规律也存在差异^[2-6,22]。郭全恩等^[3]对甘肃地区苹果叶片营养与土壤养分相关性的研究表明,

叶片 N、P、K 含量均与土壤中对对应元素含量呈正相关。李广会等^[4]对板栗叶片营养元素与种植地土壤养分进行了回归分析,结果表明,叶片 N、P、K 含量均仅受土壤速效 Fe 含量显著影响($P<0.05$)。涂淑萍等^[5]对黄竹的研究表明,土壤中的营养元素对黄竹叶片 N、P、K 含量的影响存在差异。卢丽兰等^[6]对槟榔的研究结果显示,土壤有机质、全 P、全 K、碱解 N、有效 P 和速效 K 含量与叶片 N、P、K 含量均呈显著正相关。马剑英等^[22]对荒漠植物红砂(*Reaumuria soongorica*)的研究显示,土壤全 P 和速效 P 含量与叶片 N 含量相关,土壤有机质、全 N、速效 N、全 P 和速效 P 含量均与叶片 P 含量显著正相关,而叶片 K 含量仅与土壤速效 N 含量相关。另据郭全恩等^[3]报道,不同深度土层,植物叶片养分与土壤养分含量的相关性有所不同,说明不同深度土层土壤的养分含量对植物叶片营养元素含量的影响程度不同。本研究中,叶片 N、P、K 含量与表层(0~15 cm)土壤养分含量相关性总体较好,进一步证实了上述结论。就表层土壤而言,叶片 N 含量与土壤碱解 N 呈显著正相关($P<0.05$),叶片 P 含量与土壤全 P 含量呈显著负相关($P<0.05$),叶片 K 含量与土壤全 K、碱解 N 和有效 P 含量呈显著相关($P<0.05$)。由此可见,表层土壤中全 P、全 K、碱解 N、有效 P 是影响白刺叶片养分含量的主要因子。15~30 cm 土层土壤养分含量只对叶片 P 元素含量有显著影响($P<0.05$),其中全 N、全 P、碱解 N 和速效 K 是主要影响因子,全 N 和碱解 N 是正相关因子,而全 P 和速效 K 是负相关因子。总体来看,土壤有效成分含量较高时会显著影响叶片 N、P、K 含量,因为当土壤 N 素充足时会促进白刺的生长,使植物体加快对营养元素的吸收。另一方面,土壤

全 P、有效 P、全 K、速效 K 含量与叶片 P 和 K 含量总体呈负相关,这与大部分研究认为叶片营养元素与土壤养分含量呈正相关的结论^[3,6]有所不同,具体原因有待进一步研究。

有研究表明,唐古特白刺平均根长 100 cm,主根较粗,入土浅,侧根发达,扩展范围较广;有效根系主要分布于 0~40 cm 土层,在 0~20 和 20~40 cm 土层中有效根质量分别占总有效根质量的 58.69% 和 22.96%,有效根长分别占总有效根长的 59.65% 和 23.20%,因此 0~40 cm 土层是白刺吸收和利用水分和养分的主要区域^[23-25]。从本研究结果来看,白刺居群中,0~30 cm 土壤养分含量对白刺叶片养分含量影响较为明显,尤其是 0~15 cm 土层中土壤养分含量对叶片 N、P 和 K 含量的影响均达到了显著水平,这可能与白刺根系分布有关。植物叶片养分和土壤养分都具有季节变化,并且植物对养分的吸收效率也具有季节性变化^[26-29],而本研究是在植物生长的旺盛时期(8 月)进行取样和指标测定,仅代表白刺居群此时期的叶片营养和土壤养分特征,所以本研究结论存在一定的局限性,还有待进一步完善。

【参考文献】

- [1] 郑淑霞,上官周平.黄土高原地区植物叶片养分组成的空间分布格局[J].自然科学进展,2006,16(8):965-973.
Zheng S X, Shangguan Z P. Spatial distribution pattern of leaf nutrients composition of plant in Loess Plateau [J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(8): 965-973. (in Chinese)
- [2] 于年文,李俊才,王家珍,等.辽宁省‘南果梨’园土壤和叶片养分状况调查分析[J].果树学报,2013,30(2):254-259.
Yu N W, Li J C, Wang J Z, et al. Investigation and analysis on nutrient status of soil and leaves in ‘Nanguoli’ pear (*Pyrus ussuriensis*) orchards in Liaoning province [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(2): 254-259. (in Chinese)
- [3] 郭全恩,郭天文,王益权,等.甘肃省干旱地区苹果叶片营养和土壤养分相关性研究[J].土壤通报,2009,40(1):114-117.
Guo Q E, Guo T W, Wang Y Q, et al. Correlation analysis on apple leaves nutrition and soil nutrient in arid area in Gansu province [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(1): 114-117. (in Chinese)
- [4] 李广会,郭素娟,邹 锋,等.板栗叶片营养与土壤养分的动态变化及回归分析[J].中南林业科技大学学报,2012,32(9):41-46.
Li G H, Guo S J, Zou F, et al. Dynamic changes and regression analysis of leaf and soil nutrients of *Castanea mollissima* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(9): 41-46. (in Chinese)
- [5] 涂淑萍,叶长娣,王 蕾,等.黄竹叶片营养与土壤肥力及产量的相关研究[J].江西农业大学学报,2011,33(5):918-923.
Tu S P, Ye C D, Wang L, et al. A study on correlation between leaf nutrition and soil fertility and outout of *Bambusa rigida* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2011, 33(5): 918-923. (in Chinese)
- [6] 卢丽兰,甘炳春,魏建和,等.槟榔土壤养分与叶片营养含量变化调查及相关分析研究[J].江西农业学报,2010,22(8):59-63.
Lu L L, Gan B C, Wei J H, et al. Changes of nutrient content in leaf and soil of *Areca catechu* orchard and their relationships [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(8): 59-63. (in Chinese)
- [7] Han W X, Fang J Y, Guo D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China [J]. New Phytologist, 2005, 168: 377-385.
- [8] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude [J]. PNAS, 2004, 101: 11001-11006.
- [9] Mcgroddy M E, Daufresne T, Hedin L O. Scaling of C : N : P stoichiometry in forests worldwide; Implications of terrestrial red fied-type ratios [J]. Ecology, 2004, 85(9): 2390-2401.
- [10] Kerkhoff A J, Enquist B J, Elser J J, et al. Plant allometry, stoichiometry and the temperature-dependence of primary productivity [J]. Global Ecology and Biogeography, 2005, 14: 585-598.
- [11] 王彦阁,杨晓晖,于春堂,等.白刺属植物现状、生态功能及保护策略[J].水土保持研究,2007,14(3):74-79.
Wang Y G, Yang X H, Yu C T, et al. The actuality, ecological function and protective measures of genus *Nitraria* [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(3): 74-79. (in Chinese)
- [12] 王尚德,康向阳.唐古特白刺研究现状与建议[J].植物遗传资源学报,2005,6(2):231-235.
Wang S D, Kang X Y. Current research situation and suggestion on *Nitraria tangutorum* Bobr. [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(2): 231-235. (in Chinese)
- [13] Bould C. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops: VIII. Sand culture N, P, K, Mg experiments with black currant (*Ribes nigrum* L.) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1969, 20(3): 172-181.
- [14] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
Lu R K. Analysis methods of soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000. (in Chinese)
- [15] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs [J]. Nature, 2000, 408: 578-580.
- [16] Niklas K J, Owens T, Reich P B, et al. Nitrogen/phosphorus leaf stoichiometry and the scaling of plant growth [J]. Ecology Letters, 2005, 8: 636-642.
- [17] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N : P ratio

o; A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. The Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6): 1441-1450.

[18] Güsewell S. N : P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance [J]. New Phytologist, 2004, 164: 243-266.

[19] Mcgroddy M E, Daufresne T, Hedin L O. Scaling of C : N : P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial red field-type ratios [J]. Ecology, 2004, 85(9): 2390-2401.

[20] Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum [J]. Nature, 2004, 428: 821-827.

[21] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, et al. Assessing the generality of global leaf trait relationships [J]. New Phytologist, 2005, 166: 485-496.

[22] 马剑英, 陈发虎, 夏敦胜, 等. 荒漠植物红砂 (*Reaumuria soongorica*) 叶片元素和水分含量与土壤因子的关系 [J]. 生态学报, 2008, 28(3): 983-992.

Ma J Y, Chen F H, Xia D S, et al. Relationships between soil factors and leaf element, water contents in desert plant *Reaumuria soongorica* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 983-992. (in Chinese)

[23] 王 文, 蒋文兰, 谢忠奎, 等. 黄土丘陵地区唐古特白刺根际土壤水分与根系分布研究 [J]. 草业学报, 2013, 22(1): 20-28.

Wang W, Jiang W L, Xie Z K, et al. Study on soil water in rhizosphere and root system distribution of *Nitraria tangutorum* on Loess Plateau [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(1): 20-28. (in Chinese)

[24] 徐贵青, 李 彦. 共生条件下三种荒漠灌木的根系分布特征及其对降水的响应 [J]. 生态学报, 2009, 29(1): 130-137.

Xu G Q, Li Y. Roots distribution of three desert shrubs and their response to precipitation under co-occurring conditions [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 130-137. (in Chinese)

[25] 孙 卓, 于 祥. 白刺根系的研究 [J]. 中国沙漠, 1992, 12(4): 50-54.

Sun Z, Yu X. Study on root system of *Nitraria tangutorum* [J]. Journal of Desert Research, 1992, 12(4): 50-54. (in Chinese)

[26] 闻志彬, 贾志宽, 韩清芳. 生土地种植苜蓿后土壤速效养分与 pH 值的时空变化 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(11): 111-116.

Wen Z B, Jia Z K, Han Q F. Spatio-temporal variability of soil available nutrients and pH value in raw soil after planting alfalfa [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2008, 36(11): 111-116. (in Chinese)

[27] 耿增超, 张社奇, 王国栋. 黄土高原油松人工林地土壤养分及化学性质的时空效应 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(8): 98-104.

Geng Z C, Zhang S Q, Wang G D. Time-space distributive feature of soil nutrient condition and chemical properties of *Pinus tabulaeformi* plantation forestland in Loess Plateau [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2006, 34(8): 98-104. (in Chinese)

[28] 童方平, 李 贵, 刘振华. 幼龄翅荚木不同生长季节叶片营养动态研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(8): 1-5.

Tong F P, Li G, Liu Z H. Study of nutrition dynamics of *Zenia insignis* Chun young trees leaves in different growing periods [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(8): 1-5. (in Chinese)

[29] 陈 甜, 孙向阳, 刘克林, 等. 毛白杨叶片营养元素含量季节变化及年变化研究 [J]. 西北林学院学报, 2009, 24(2): 42-45.

Chen T, Sun X Y, Liu K L, et al. Seasonal and annual variation of mineral elements concentration in leaves of *Populus tomentosa* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(2): 42-45. (in Chinese)