

# 藏北高寒草原紫花针茅根系碳氮磷 生态化学计量学特征

洪江涛<sup>1,2</sup>, 吴建波<sup>1</sup>, 王小丹<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 植物碳(C)、氮(N)和磷(P)元素平衡是当前生物地球化学循环和全球变化生态研究的热点和焦点。以往关于植物营养元素的研究多集中于植物叶片水平, 而对植物根系元素的研究较少。为此, 沿藏北高寒草原安多-那曲-班戈-申扎-尼玛-改则-革吉-噶尔样带, 在 34 个样点采集优势物种紫花针茅(*Stipa purpurea*)根系样品, 分析其 C、N 和 P 元素含量及其相互比值与环境因子的关系。研究结果显示: 紫花针茅根系 C、N 和 P 含量变化范围分别为 357.17 ~ 458.99 mg/g, 6.49 ~ 16.42 mg/g, 和 0.22 ~ 0.77 mg/g; 紫花针茅根系 N 含量与全球植物根系平均值基本一致, 但是其根系 P 含量低于全球平均值; 紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学特征受纬度、经度、生长季降水量、土壤磷含量的影响较为显著, 而海拔、生长季均温和土壤氮含量对其影响则不显著。紫花针茅通过对高寒环境因子的长期适应, 其根系 C:N:P 生态化学计量学特征已经形成了一定的空间分布格局。研究结果有助于揭示极端环境下植物对营养物质的分配和利用策略, 为应对未来气候变化对高寒生态系统的影响提供参考。

**关键词:** 紫花针茅; 根系; 地理因子; 气候因子; 土壤营养

**中图分类号:** Q142

**文献标志码:** A

植物 C、N 和 P 元素是植物体内必备的大量元素。目前, C:N:P 生态化学计量学特征已经被广泛应用于凋落物分解、物种组成及其多样性、限制性元素判断等生态学领域的研究<sup>[1-3]</sup>。近 10 年来, 国内外关于 C:N:P 生态化学计量学的研究已经涵盖了极地苔原<sup>[4]</sup>、热带雨林<sup>[5]</sup>、高山草原<sup>[6]</sup>、温带草原<sup>[7]</sup>和亚热带森林<sup>[8]</sup>等多个陆地生态系统。而对青藏高原高山生态系统植物 C:N:P 计量学的研究起步相对较晚, 且研究区域主要集中于较为湿润的高寒草甸生态系统。

大量研究表明, 植物 C、N 和 P 元素含量及其比

值与生物因子(例如植物的生长阶段和植物功能型等)和非生物因子(例如气候因子和土壤因子等)均有密切的联系<sup>[9-12]</sup>。Reich 和 Oleksyn<sup>[13]</sup>研究了全球 1 280 种植物叶片的 N:P 化学计量特征发现: 随着纬度的升高(温度的下降), 植物叶片 N 和 P 含量随之升高, 而 N:P 逐渐下降; Han 等<sup>[14]</sup>通过分析中国 753 种植物叶片营养元素含量的空间格局, 得到了与 Reich 和 Oleksyn 一致的结论。目前植物生态化学计量学特征的研究主要是对植物叶片的 C、N 和 P 元素含量极其比值的研究, 而对植物根系生态化学计量学特征的研究较少, 而植物根系营养物质

**收稿日期**(Received date): 2013 - 12 - 30; **修回日期**(Accepted): 2014 - 04 - 23。

**基金项目**(Foundation item): 中国科学院战略性先导科技专项(XDB03030505)和中科院成都山地所“一三五”项目(sds - 135 - 1203 - 02)资助。

[Supported by "Strategic Priority Research Program" of Chinese Academy of Sciences (XDB03030505) and the 135 Strategic Program of Institute of Mountain Hazards and Environment(sds - 135 - 1203 - 02).]

**作者简介**(Biography): 洪江涛(1986 - ), 男, 安徽宁国人, 在读博士生, 主要从事草地生态化学计量方面的研究。[Hong Jiangtao (1986 - ), male, Anhui Ningguo person, Ph D student, mainly engaged in research on grassland ecological stoichiometry.] E-mail: hongjiangtao10@163.com, Tel: 13488946552

**\* 通信作者**(Corresponding author): 王小丹(1973 - ), 男, 四川西充人, 博士生导师, 研究员, 主要从事高山环境与高寒生态研究。[Wang Xiaodan (1973 - ), male, Sichuan Xichong person, Ph D supervisor, Professor, mainly engaged in research on alpine environment and ecology.]

的分解、淋溶和释放是营养物质迁移的重要环节,据报道全球细根 N 库为  $4.8 \times 10^8$  Mg, 约占陆地植物生态系统的 1/7<sup>[15-16]</sup>。并且在干旱区域,植物对地下生物量的分配要显著高于地上部分,因此展开对植物根系化学元素的研究对揭示干旱区植物适应特征,以及评估根系元素参与生物地球化学循环总量等方面具有重要的意义。

本文的研究对象是高寒草原特有优势物种紫花针茅(*S. purpurea*),它具有很强的耐寒和耐旱的特性,广泛分布于海拔 >4 500 m 的羌塘高原。在野外采样和室内分析的基础上,分析紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学特征及其与环境因子的关系,阐明环境因子变化对紫花针茅根系 C、N 和 P 元素的影响,以期研究极端环境下植物根系营养元素分配规律提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区域位于西藏自治区北部的羌塘高原,覆

盖那曲和阿里两个地区(30.95°N ~ 32.31°N, 80.12°E ~ 91.47°E)(图 1)。该区域属以紫花针茅为主要优势种的典型高寒草原,平均海拔超过 4 500 m。气候寒冷干燥,生长季均温介于 1.23 ~ 7.90℃,生长季均降水量介于 111 ~ 272 mm。研究区域内地广人稀,植被大多未受人类活动的干扰,主要伴生种有矮火绒草(*Leontopodium nanum*),冰川棘豆(*Oxytropis glacialis*)和二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)等。

### 1.2 样品采集

样品采集于 2012 年 8 月,从那曲地区往西依次向安多县、那曲县、班戈县、申扎县、尼玛县、改则县、革吉县、噶尔县,大致按经度梯度每 30 ~ 40 km 进行样品的采集(样带长度约为 1 300 km),在 34 个样点上进行样品的采集并用 GPS 进行定位。在每个样点随机布置三个 10 m × 10 m 的样方,在每个样方内随机挑选 10 ~ 20 株紫花针茅,并用铁锹将包含着紫花针茅的土柱(长度:30 cm;宽度:30 cm;深度:15 cm)取出,然后小心去除根系表面的土壤、砾石等杂质。根据颜色、韧性等方法去除死根,保留活根。最后将每个样方采集的样品装入信封带回实验室做

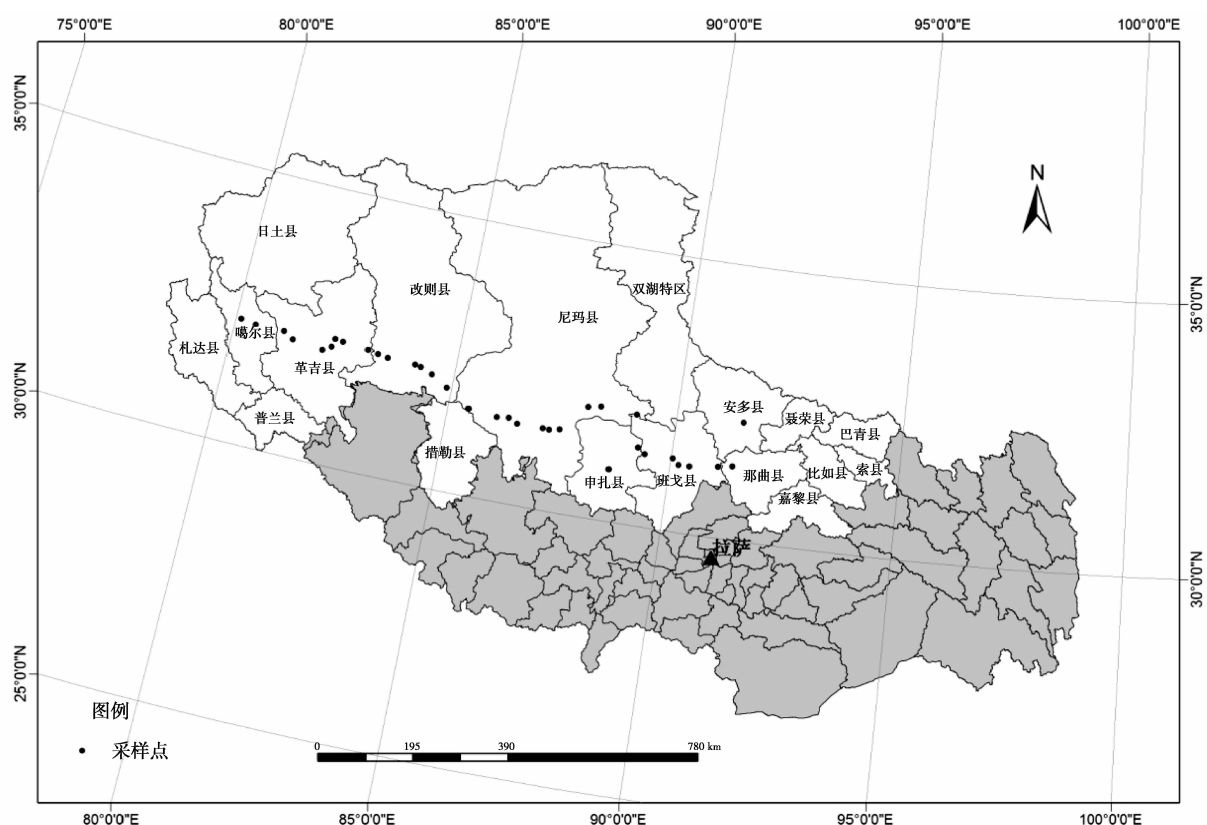


图 1 藏北高寒草原 34 个采样点分布图

Fig. 1 A map of 34 sampling sites of alpine steppe on the northern Tibetan Plateau

进一步处理。

1.3 室内分析

在实验室内植物根系用清水清洗干净后,将其置于烘箱内(70℃)烘干至恒重。然后将植物根系研磨过筛(1 mm)后放入干燥器中保存,以备 C、N 和 P 元素分析。采用  $\text{KCr}_2\text{O}_7-\text{H}_2\text{SO}_4$  氧化法测定全 C 含量。全 N 测定利用凯式定氮法,全 P 测定利用钼锑抗比色分光光度法。

1.4 数据分析

植物 C、N、P、C:N、C:P、N:P 和 C:N:P 均进行对数转化以满足正态分布。符合正态分布的环境因子,其与 C:N:P 计量学特征相关分析用 Pearson 相关性检验。不符合正态分布的用 Spearman 相关性检验。利用简单线性回归分析植物 C、N 和 P 生态化学计量特征与环境因子的关系。气候数据来源于 World climate web site (www.worldclimate.com)<sup>[13]</sup>。数据统计均由 SPSS 13.0 统计软件完成,图表绘制均在 SigmaPlot 11.0 软件中进行。

2 结果与分析

2.1 紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学特征

紫花针茅根系平均 C 含量为 418.53 mg/g,变异系数为 0.07;平均 N 含量为 10.88 mg/g,变异系数为 0.22;平均 P 含量为 0.43 mg/g,变异系数为 0.30。C:N、C:P、N:P 和 C:N:P 均值分别为 40.35、1 075.59、26.99 和 106.94 (表 1)。紫花针茅根系的 C 含量与 N、P 含量之间没有显著相关关系( $P>0.05$ ),而根系的 N 与 P 含量存在显著正相关关系( $P<0.05$ ) (图 2)。

2.2 紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学特征与环境因子关系

紫花针茅根系 N 和 P 含量与纬度存在显著的正相关关系( $\text{N}: R^2=0.21, P=0.0041$ ;  $\text{P}: R^2=0.10, P=0.0378$ ), C:N 和 C:N:P 与纬度存在显著的负相关关系( $\text{C:N}: R^2=0.16, P=0.0100$ ;  $\text{C:N:P}: R^2=0.18, P=0.0070$ ),而 C、C:P 和 N:P 与纬度不存在显著的相关关系( $P>0.05$ )。紫花针茅根系 N 和 P 含量与经度存在显著的负相关关系( $\text{N}: R^2=0.28, P=0.0007$ ;  $\text{P}: R^2=0.40, P<0.0001$ ), C:N、C:P 和 C:N:P 与经度呈显著正相关关系( $\text{C:N}: R^2=0.32, P=0.0003$ ;  $\text{C:P}: R^2=0.45, P<0.0001$ ;  $\text{C:N:P}: R^2=0.50, P<0.0001$ ),而 C 和 N:P 与经度不存在显著

表 1 藏北高寒紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学特征

Table 1 Root C:N:P stoichiometry of *S. purpurea* on northern Tibet Plateau

指标	样本数	均值	范围	标准误差	变异系数
C/(mg/g)	34	418.53	357.17~458.99	4.71	0.07
N/(mg/g)	34	10.88	6.49~16.42	0.41	0.22
P/(mg/g)	34	0.43	0.22~0.77	0.02	0.30
C:N	34	40.35	24.82~62.59	1.61	0.23
C:P	34	1 075.59	580.72~1 946.01	62.81	0.34
N:P	34	26.99	14.20~47.76	1.32	0.29
C:N:P	34	106.94	44.83~225.29	8.56	0.47

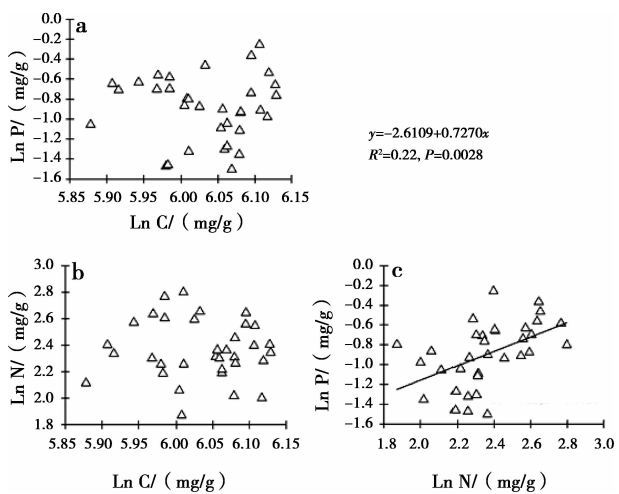


图 2 藏北高寒草原紫花针茅根系 C、N 和 P 含量相互关系

Fig. 2 The relationship among root C, N and P concentrations of *S. purpurea* on the northern Tibetan Plateau

相关关系( $P>0.05$ )。根系 C:N:P 生态化学计量学特征与海拔不存在显著的相关关系( $P>0.05$ ) (图 3)。

紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学特征与生长季均温均不存在显著的相关关系( $P>0.05$ )。紫花针茅根系 N 和 P 含量与生长季降水量呈显著负相关关系( $\text{N}: R^2=0.12, P=0.0235$ ;  $\text{P}: R^2=0.28, P=0.0008$ ), C:N、C:P 和 C:N:P 与生长季降水量呈显著正相关关系( $\text{C:N}: R^2=0.15, P=0.0129$ ;  $\text{C:P}: R^2=0.31, P=0.0003$ ;  $\text{C:N:P}: R^2=0.31, P=0.0004$ ),而 C 和 N:P 与生长季降水量没有显著相关关系( $P>0.05$ ) (图 4)。

紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学特征与土壤氮含量不存在显著的相关关系( $P>0.05$ )。紫花针茅根系 N 和 P 含量与土壤磷含量均存在显著正相关关系( $\text{N}: R^2=0.20, P=0.0046$ ;  $\text{P}: R^2=0.33, P=0.0002$ ),而 C:N、C:P 和 C:N:P 与土壤磷含量

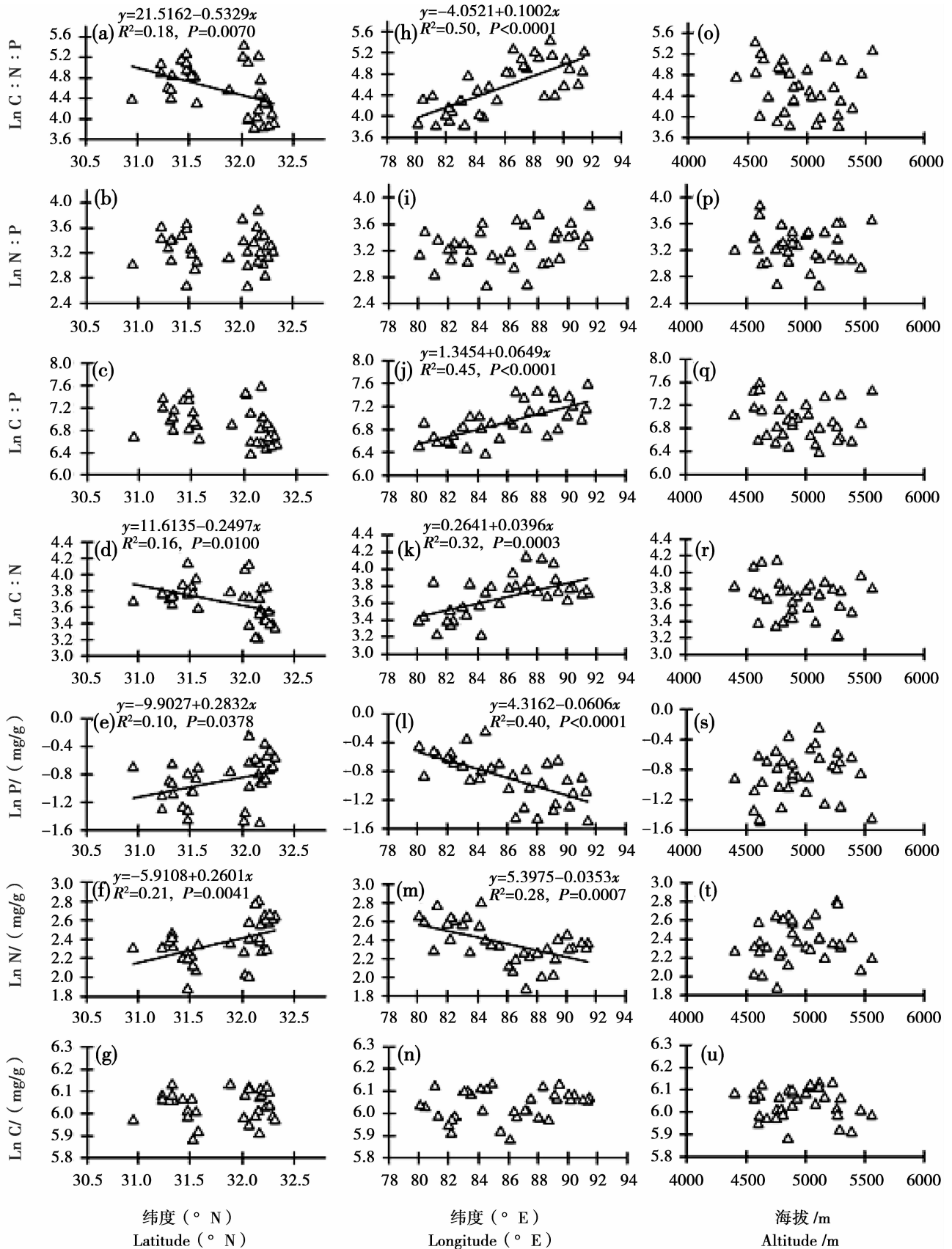


图3 藏北高寒草原紫花针茅根系 C:N:P 计量学特征与纬度、经度和海拔的关系

Fig. 3 The relationship between root C:N:P stoichiometry of *S. purpurea* and Latitude, longitude and altitude on the northern Tibetan Plateau

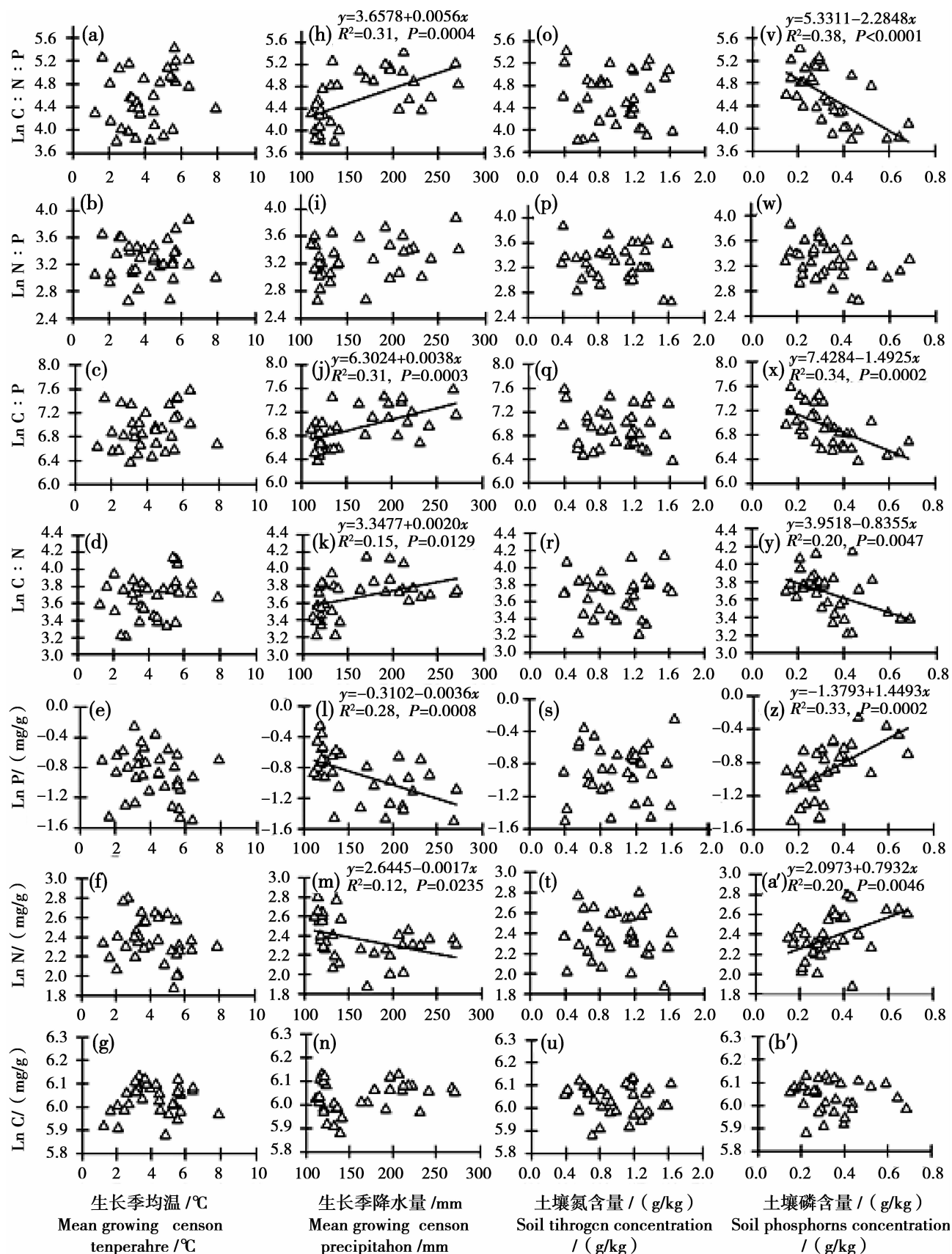


图4 藏北高寒草原紫花针茅根系 C:N:P 计量学特征与气候因子和土壤养分的关系

Fig. 4 The relationship between root C:N:P stoichiometry of *S. purpurea* and climate factors and soil nutrient concentrations on the northern Tibetan Plateau

均存在显著负相关关系 ( $C:N:R^2 = 0.20, P = 0.0047$ ;  $C:P:R^2 = 0.34, P = 0.0002$ ;  $C:N:P:R^2 = 0.38, P < 0.0001$ ) (图4)。

### 3 讨论

通常植物器官营养元素含量可以反映其生长环境的土壤营养水平。我们发现紫花针茅根系 N 含量 (10.88 mg/g) 与全球植物根系 N 含量 (11.1 mg/g) 基本一致, 而紫花针茅根系的 P 含量 (0.43 mg/g) 却小于全球植物根系的 P 含量 (0.77 mg/g)。Han 等<sup>[14]</sup> 对中国 753 种陆生植物的叶片 P 研究发现, 中国植物叶片 P 含量 (1.46 mg/g) 也显著低于全球均值 (1.77 mg/g), 推测其可能原因是由于中国土壤平均 P 含量较低。但是本研究中植物根系 P 含量较低还有可能是由于高寒贫瘠土壤环境下紫花针茅需要维持较低的元素含量以达到其高效的元素利用效率和优势地位<sup>[17-18]</sup>。这也是紫花针茅在长期进化过程中对环境的一种适应。紫花针茅根系平均 C:N:P 是 1076:27:1, 与 Jackson 等<sup>[15]</sup> 报道的全球细根 C:N:P 值 (1158:24:1) 以及 McGroddy 等<sup>[19]</sup> 报道的全球叶片 C:N:P 值 (1212:28:1) 也很接近。由此可见, 尽管物种的生境以及植物器官间 C、N 和 P 含量存在较大的差异, 但是存在基本一致的 C:N:P 值, 被称之为“Redfield ratios”<sup>[19]</sup>。

藏北高寒草原紫花针茅根系的 C 含量具有最小的变异系数, P 含量具有最大的变异系数, 而 N 含量的变异系数略低于 P 含量, 表明紫花针茅根系的 C 含量具有最强的稳定性, N 含量次之, P 含量相对不稳定。植物体内 C 一般不直接参与植物生产活动, 而在植物体内主要是起骨架的作用, 因此变异很小 (变异系数仅为 7%)。通常植物组织内 P 元素变异性较 N 元素大。主要原因是有机体内 N 比 P 元素具有更强的内稳态系数, 造成植物 N 素在应对外界环境变化时变异性更小<sup>[20]</sup>。根系 C 与 N 含量, C 与 P 含量之间均不存在显著的相关关系。而 N 和 P 元素存在正相关关系, 这与全球尺度研究结果一致<sup>[21]</sup>。证明在高寒草原极端环境下紫花针茅 N 和 P 元素还保持着较强的内在联系性。此结果也与多数植物叶片、茎和生殖器官尺度的研究结果基本一致<sup>[10, 22-23]</sup>, 物种间共同的植物系统发育的信号可能对维持这种组织间 N 和 P 平衡性发挥着重要作用<sup>[22]</sup>。

本研究发现紫花针茅根系 C:N:P 生态化学计量学指标与纬度、经度、生长季降水量和土壤磷含量均存在不同程度的相关性, 而与海拔、生长季均温和土壤氮含量的相关性则不显著。Yuan 等<sup>[21]</sup> 对 51 个国家 211 个地点的根系 C:N:P 计量学特征研究发现, C 含量与纬度、年均温和年均降水量均不存在显著相关性, 而 N 和 P 含量随环境因子变异性较大, 我们的研究也证实了这一点结论。但是值得注意的是 Yuan 等<sup>[21]</sup> 数据主要来源于温带和热带森林生态系统, 只有极少数据 (仅 11 条数据) 来源于高寒生态系统。因此, 本研究为研究高寒生态系统根系元素分配规律提供了宝贵的数据。

环境因子的变化可以直接影响植物生长速率, 也可以通过改变土壤营养元素等途径间接影响植物的营养元素含量。藏北高寒草原降水分布由东南向西北逐渐减少, 纬度和经度作为重要的地理因子直接决定着高寒草原降水量的分布, 即降水量与经度呈正比, 而与纬度呈反比。可能有如下两点原因: 高的降水量一方面会导致更高的生物量积累, 进而对植物体内 N 和 P 元素起着“稀释作用”<sup>[24]</sup>; 另一方面降水的增多会导致更多的磷元素从土壤中淋溶和损失<sup>[13]</sup>。紫花针茅作为高寒草原分布最广的优势种, 主要受水分限制, 故其 C:N:P 计量学特征会受降水的影响较大。丁小慧等<sup>[25]</sup> 在内蒙温带草原降水梯度为 230.12 ~ 360.18 mm 的大针茅群落水平的研究发现, 群落叶片 N 和 P 也随降水的增加而减少。由于我国草地的针茅属植物大多生长在干旱的地区, 因此, 其叶片 N:P 计量学特征受降水影响较为显著<sup>[10]</sup>。虽然以往研究都是基于植物叶片尺度的, 但是我们证实这一结论在针茅属植物 - 紫花针茅根系上也呈现出类似的规律。由于 P 素主要来源于母岩的风化, 且其在土壤中扩散速率很低, 而植物获取 N 途径较广且较为稳定 (例如土壤无机氮、生物固氮等)<sup>[12]</sup>。因此造成土壤氮含量对植物根系 C:N:P 计量特征影响甚微, 而土壤磷含量对植物根系 C:N:P 生态化学计量特征影响较为显著。此外, 有研究表明, 在区域和全球尺度上, 植物根系和叶片 N 和 P 的含量与温度存在负相关关系<sup>[13-14, 21]</sup>, 但在本研究中并未得到一致的结论, 这可能是由于藏北高寒草原温度梯度差较小, 因此这一规律并不明显。

本研究是基于单次采样的结果而进行的分析, 采样时间正值紫花针茅生长的旺季 (8 月)。通常认

为植物的 C 同化和营养吸收的途径不同,而且植物体内 C 含量较高,C 一般不会成为植物生长的限制因子,因此植物体内 C 在不同的季节变异较小<sup>[26]</sup>。但是 N 和 P 含量季节变化较为显著,例如在生长旺季,由于植物代谢旺盛,其营养物质吸收能力和光合作用均会增强,生物量也加速积累,受“稀释效应”的影响,N 和 P 元素会表现为下降趋势<sup>[27]</sup>。总体而言,目前关于植物 C:N:P 生态化学计量学季节动态变化的研究主要集中于叶片尺度,而对植物根系的研究甚少,这也会将成为今后研究的重点和热点。

紫花针茅根系 C:N:P 计量学特征与环境因子(经度、纬度和降水等)已经形成一定的空间格局。未来藏北高寒草原降水将呈现出极大的不确定性,进而对土壤-植物 C、N 和 P 生物地球化学循环过程产生直接或间接的影响。本研究为探究高寒草原植物对极端环境的适应性以及对全球气候变化的响应提供参考。

## 参考文献(References)

- [1] Bengtsson J, Janion C, Chown S L, et al. Variation in decomposition rates in the fynbos biome, South Africa: the role of plant species and plant stoichiometry[J]. *Oecologia*, 2011, **165**(1): 225–235
- [2] Elser J J, Dobberfuhl D R, MacKay N A, et al. Organism size, life history, and N:P stoichiometry[J]. *Bio Science*, 1996, **46**(9): 674–684
- [3] Homann P S. Convergence and divergence of nutrient stoichiometry during forest litter decomposition[J]. *Plant and Soil*, 2012, **358**(1–2): 251–263
- [4] Buckeridge K M, Zufelt E, Chu H, et al. Soil nitrogen cycling rates in low arctic shrub tundra are enhanced by litter feedbacks[J]. *Plant and Soil*, 2010, **330**(1–2): 407–421
- [5] Townsend A R, Cleveland C C, Asner G P, et al. Controls over foliar N:P ratios in tropical rain forests[J]. *Ecology*, 2007, **88**(1): 107–118
- [6] Jiang C, Yu G, Li Y, et al. Nutrient resorption of coexistence species in alpine meadow of the Qinghai–Tibetan Plateau explains plant adaptation to nutrient-poor environment[J]. *Ecological Engineering*, 2012, **44**: 1–9
- [7] Dijkstra F A, Pendall E, Morgan J A, et al. Climate change alters stoichiometry of phosphorus and nitrogen in a semiarid grassland[J]. *New Phytologist*, 2012, **196**(3): 807–815
- [8] Sardans J, Rodà F, Peñuelas J. Effects of a nutrient pulse supply on nutrient status of the Mediterranean trees *Quercus ilex subsp. ballota* and *Pinus halepensis* on different soils and under different competitive pressure[J]. *Trees*, 2006, **20**(5): 619–632
- [9] Sardans J, Rivas-Ubach A, Peñuelas J. The C:N:P stoichiometry of organisms and ecosystems in a changing world: A review and perspectives[J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2012, **14**(1): 33–47
- [10] He J-S, Wang L, Flynn D F, et al. Leaf nitrogen: phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes[J]. *Oecologia*, 2008, **155**(2): 301–310
- [11] He J-S, Fang J, Wang Z, et al. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China[J]. *Oecologia*, 2006, **149**(1): 115–122
- [12] Chen Y, Han W, Tang L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus concentrations of woody plants differ in responses to climate, soil and plant growth form[J]. *Ecography*, 2011, **34**: 001–007
- [13] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, **101**(30): 11001–11006
- [14] Han W, Fang J, Guo D, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. *New Phytologist*, 2005, **168**(2): 377–385
- [15] Jackson R B, Mooney H, Schulze E-D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1997, **94**(14): 7362–7366
- [16] Yuan Z, Chen H Y. Fine root biomass, production, turnover rates, and nutrient contents in boreal forest ecosystems in relation to species, climate, fertility, and stand age: literature review and meta-analyses[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2010, **29**(4): 204–221
- [17] Tilman D. Resource Competition and Community Structure. (MPB–17) [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1982.
- [18] Güsewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance[J]. *New Phytologist*, 2004, **164**(2): 243–266
- [19] McGroddy M E, Daufresne T, Hedin L O. Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: implications of terrestrial Redfield-type ratios[J]. *Ecology*, 2004, **85**(9): 2390–2401
- [20] Yu Q, Elser J J, He N, et al. Stoichiometric homeostasis of vascular plants in the Inner Mongolia grassland[J]. *Oecologia*, 2011, **166**(1): 1–10
- [21] Yuan Z, Chen H Y, Reich P B. Global-scale latitudinal patterns of plant fine-root nitrogen and phosphorus[J]. *Nature Communications*, 2011, **2**: 344
- [22] Kerkhoff A J, Fagan W F, Elser J J, et al. Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants[J]. *The American Naturalist*, 2006, **168**(4): E103–E122.
- [23] Wu T-G, Yu M-K, Geoff Wang G, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across forty-two woody species in Southeast China[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2012, **44**: 255–263
- [24] Körner C. The nutritional status of plants from high altitudes[J]. *Oecologia*, 1989, **81**(3): 379–391
- [25] Ding Xiaohui, Luo Shuzheng, Liu Jinwei, et al. Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**(11): 3467–3476 [丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等. 呼伦贝尔草地植物

- 群落与土壤化学计量学征沿经度梯度变化[J]. 生态学报, 2012, (11): 3467–3476]
- [26] Niu Decao, Dong Xiaoyu, Fu Hua. Seasonal dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Stipa bungeana* [J]. Pratacul-tural Science 2011, 28(6): 915–920 [牛得草, 董晓玉, 傅华. 长芒草不同季节碳氮磷生态化学计量特征 [J]. 草业科学, 2011, 28(6): 915–920]
- [27] Sardans J, Peñuelas J. Drought changes nutrient sources, content and stoichiometry in the bryophyte *Hypnum cupressiforme* Hedw. growing in a Mediterranean forest [J]. Journal of Bryology, 2008, 30(1): 59–65

## Root C: N: P Stoichiometry of *Stipa purpurea* in Alpine Steppe on the Northern Tibet

HONG Jiangtao<sup>1,2</sup>, WU Jianbo<sup>1</sup>, WANG Xiaodan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610014, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Plant carbon, nitrogen, and phosphorus balance has been a hotspot and focus of biogeochemical cycle and global change ecology research. However, previous studies mainly focused on the nutrient of leaves, relatively few study were conducted on the root. In present study, we investigated root C: N: P of *S. purpurea* and its relationships with environmental factors at 34 sites along a 1 300 km transect (Anduo – Naqu – Bange – Shenzha – Nima – Gaize – Geji – Gaer) across the alpine grassland of Northern Tibet. The result showed that root C, N and P concentrations ranged from 357.17 to 458.99 mg/g, 6.49 to 16.42 mg/g, 0.22 to 0.77 mg/g, respectively. The root N concentration of *S. purpurea* had a similar value with the N concentration of global roots, whereas the P concentration was much lower than those of global root. Latitude, longitude and precipitation significantly influenced root C: N: P, while altitude and temperature had no effects on root C: N: P stoichiometry. Our research suggested that the strong relationship between root C: N: P stoichiometry and geographic, climate factors and soil nutrient concentrations reveal that, to some extent, stoichiometry characteristics of *S. purpurea* are adaptive to local environmental factors. Exploring the influences of environmental factors on root C: N: P stoichiometry is helpful for us to reveal plant nutrients allocation and utilization strategies in extreme environments, offering insights into quantifying the responses of alpine ecosystem to future climate changes.

**Key words:** *Stipa purpurea*; root; geographic factors; climate factors; soil nutrient concentrations