

· 研究报告 ·

古尔班通古特沙漠某些短命植物叶片N、P化学计量特征的季节变化

刘建国^{1,2}, 刘卫国^{1,2*}, 朱媛媛³, 霍举颂^{1,2}, 玛丽娅·奴尔兰^{1,2}

¹新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; ²绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046

³甘肃民族师范学院, 合作 747000

摘要 短命植物是荒漠生态系统的重要组成部分。为了解短命植物叶片N、P化学计量特征随生长季变化的特点, 选择古尔班通古特沙漠6种优势短命植物(3种一年生短命植物, 3种多年生类短命植物)为研究对象, 对比了2种生活型短命植物叶片N、P化学计量特征随生长季变化特点。结果表明, 3种一年生短命植物尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxyrrhynchum*)、小花荆芥(*Nepeta micrantha*)以及条叶庭芥(*Alyssum linifolium*) N含量平均值(\pm 标准差)分别为(11.23 \pm 7.16)、(14.11 \pm 6.38)和(10.85 \pm 6.14) mg·g⁻¹; P含量平均值分别为(2.82 \pm 0.73)、(3.12 \pm 1.24)和(3.43 \pm 0.55) mg·g⁻¹; 3种多年生类短命植物独尾草(*Eremurus chinensis*)、雅葱(*Scorzonera pusilla*)和簇花芹(*Soranthus meyeri*) N含量的平均值分别为(19.97 \pm 5.94)(15.08 \pm 4.01)和(17.94 \pm 9.03) mg·g⁻¹; P含量平均值分别为(3.55 \pm 0.83)、(2.73 \pm 1.11)和(5.03 \pm 0.65) mg·g⁻¹。由此可见, 短命植物在生长过程中叶片N-P化学计量特征存在一定差异。各物种N、P含量在生长初期都大于其它生长季节, 在生长旺季随叶片生物量增加, N、P含量呈下降趋势; 而在生长末季N、P含量又有所回升。相关性分析表明, 不同生活型短命植物元素间的关系存在差异, 但同一生活型短命植物元素间的关系并无显著差异, 体现了种内一致性。

关键词 短命植物, 化学计量特征, 季节变化, 生活型

刘建国, 刘卫国, 朱媛媛, 霍举颂, 玛丽娅·奴尔兰 (2017). 古尔班通古特沙漠某些短命植物叶片N、P化学计量特征的季节变化. 植物学报 52, 756–763.

生态化学计量学是研究生态系统能量和化学元素平衡的科学, 强调有机体主要组成元素(如N、P)间的耦合关系(杨惠敏和王冬梅, 2011)。植物化学元素的吸收与分配伴随其整个生长过程(张元明和聂华丽, 2011)。动态平衡理论认为, 有机体能够控制自身的许多特性, 包括营养平衡和pH值稳定等, 使其内部环境不随外部环境的变化而剧烈变化, 促使生物个体元素含量维持在一个相对稳定的范围内(Zhang et al., 2003)。但随着生长模式的改变, 高等植物可能会不断调整体内营养物质的分配(吴统贵等, 2010; 王凯博和上官周平, 2011), 造成植物叶片N、P含量在各生长阶段具有较大的变异性(Sterner and Elser, 2002; Han et al., 2005)。植物在不同的生长发育阶段体内元素是否具有稳定性, 以及植物N和P元素含量与生长季节之间的关系如何? 这些问题已成为生态化学计量学的研究重点(王绍强和于贵瑞, 2008)。

荒漠生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分, 在维持生物多样性和生态系统稳定性方面具有重要意义(Whitford, 2002)。在荒漠植物区系中, 草本植物的生物量虽占很小比例, 但是贡献了绝大部分的物种丰富度和多样性, 同时在荒漠生态系统净初级生产力、碳循环、氮动态、能量流动及养分循环等方面都发挥着极其重要的作用(Gilliam, 2007; 陶冶和张元明, 2011)。

短命植物是一类为逃避干旱, 利用冬春雨雪在短时期内(3月底或4月初到5月底)完成其生活史的一类特殊植物类型, 在中国仅分布于新疆北部的准噶尔盆地(约205种), 是中国荒漠植物区系中重要而独特的组成部分(毛祖美和张佃民, 1994; 张立运和陈昌笃, 2002; 刘建国等, 2016)。仅留种子越冬的是一年生短命植物; 在地下留下根茎, 次年再萌发生长的是多年生类短命植物(张立运和陈昌笃, 2002)。一年生短命

收稿日期: 2016-12-15; 接受日期: 2017-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(No.31260112)

* 通讯作者。E-mail: wgliuxj@126.com

植物与多年生类短命植物都是在一年内完成其生活史(肖遥等, 2014), 且都在荒漠区系中发挥重要的生态功能。同一生活型的植物在结构和功能上具有很大的相似性, 体现了对外界环境变化适应的趋同性(张文彦等, 2010)。而不同生活型植物在结构和功能上存在较大差异, 这种差异是植物适应环境的结果。因此, 同种生活型或者不同生活型植物叶片 N-P 化学计量特征在不同生长季节中可能存在动态变化规律, 但目前关于这方面的报道不多(李征等, 2012)。此外, 现有关于植物叶片 C、N、P 化学计量特征的研究结果大多是基于不同年份和月份的集合, 其叶片的采集时间也大多相差几个月(如样品采集时间为 5–8 月)(Reich and Oleksyn, 2004; 李玉霖等, 2010), 且各物种的生活型和物候期也不一致(牛得草等, 2013)。那么, 作为 2 种不同生活型的植物, 其叶片 N-P 化学计量特征随季节生长具有哪些差异? 同时又有哪些共性? 野外采样时间又如何确定? 这些问题有待进一步探讨。

基于以上研究空白, 本实验选择 3 种典型的一年生短命植物(尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxyrrhynchum*)、小花荆芥(*Nepeta micrantha*)和条叶庭芥(*Alyssum linifolium*))和 3 种多年生类短命植物(独尾草(*Eremurus chinensis*)、雅葱(*Scorzonera pusilla*)和簇花芹(*Soranthus meyeri*))为研究对象, 对比 6 种植物叶片 N-P 化学计量特征在不同生长季节的变化特征, 以期阐明同种生活型的短命植物叶片 N-P 化学计量特征随季节生长的相似性以及不同生活型短命植物叶片 N-P 化学计量特征随季节生长的差异。对上述问题的探索将会扩充荒漠生态系统中短命植物叶片化学计量特征的数据资料, 加深对荒漠草本植物生存策略和功能特性的理解, 同时也为大尺度、大范围生态化学计量特征研究过程中的取样提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区位于准噶尔盆地的古尔班通古特沙漠, 面积约 $4.88 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国最大的固定、半固定沙漠。该区属于温带大陆性干旱气候, 夏季炎热, 冬季漫长寒冷, 全年平均气温为 6.6°C , 大于 10°C 年积温为 $3\ 000\text{--}5\ 000^\circ\text{C}$ 。该区年降水量为 $100\text{--}150 \text{ mm}$, 沙漠腹地年降水量仅有 70 mm , 且以冬季降雪为主, 夏秋季以凝

结水为主要水源, 年均蒸发量为 $2\ 606 \text{ mm}$ 。该区沙漠土壤被固定在丘间平地以及沙丘中下部。植被覆盖度在 5 月可达 40% 以上(Chen et al., 2007)。短命植物作为荒漠生态系统的重要组成部分广泛分布于该沙漠, 主要植物种有尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxyrrhynchum* M. Bieb.)、小花荆芥(*Nepeta micrantha* Bunge)、条叶庭芥(*Alyssum linifolium* Steph.)、独尾草(*Eremurus chinensis* Fedtsch.)、雅葱(*Scorzonera pusilla* Pall)和簇花芹(*Soranthus meyeri* Ledeb)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

短命植物的生长季主要集中在 4–6 月。我们在 2014 年 4–6 月的每月中旬进行连续取样。选择生境较均质的尖喙牻牛儿苗、小花荆芥、条叶庭芥、独尾草、雅葱和簇花芹的单一优势群落设置样地, 分别设置 1 个典型样地($20 \text{ m} \times 50 \text{ m}$), 每个样地间隔不超过 500 m , 每个样地分成 10 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的样方, 每个物种在 10 个样方中同时取样。每月中旬随机选择 1 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的小样方, 收割每个小样方内优势草本植物的地上部分。将从 10 个样方中采集的样品充分混合, 把叶片和茎分离后称量鲜重, 最后将样品装入保鲜袋中, 对其进行标记后装入带有冰排的低温储存箱中, 迅速带回实验室。样品处理时, 先用自来水洗净灰尘和杂质, 再用无离子水冲洗至少 3 次, 置于 80°C 烘箱烘至恒重后取出, 按物种称重。将每份烘干的样品置于球磨机中研磨成粉状, 然后测定 N 和 P 元素含量。利用凯氏定氮法测定全 N 含量(GB 5009.5-2010), 钼锑抗比色法测定全 P 含量(鲍士旦, 2000)。

1.2.2 数据分析

对 6 种短命植物叶片的 N、P 含量进行正态检验, 不符合正态分布的数据通过对数转换使之服从正态分布。利用 SPSS 19.0 软件对各物种间、各月份间叶片 N、P 含量数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)。

2 结果与讨论

2.1 6 种短命植物叶片 N、P 化学计量特征的动态变化

6 种短命植物叶片 N、P 含量在生长季内呈现一定程度的变化。其中, 3 种一年生短命植物(尖喙牻牛儿苗、

小花荆芥和条叶庭芥)叶片N含量范围分别为6.3–19.45、6.8–18.57和5.6–17.6 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值 \pm 标准差分别为(11.23 \pm 7.16)、(14.11 \pm 6.38)和(10.85 \pm 6.14) $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$; 叶片P含量范围分别为2.05–3.5、2–4.45和2.9–4 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值 \pm 标准差分别为(2.82 \pm 0.73)、(3.12 \pm 1.24)和(3.43 \pm 0.55) $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。3种多年生类短命植物(独尾草、雅葱和簇花芹)叶片N含量变化范围分别为14.3–26.15、10.75–18.65和11.7–28.3 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值 \pm 标准差分别为(19.97 \pm 5.94)、(15.08 \pm 4.01)和(17.94 \pm 9.03) $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$; 叶片P含量变化范围分别为2.95–4.5、1.45–3.4和4.4–5.7 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值 \pm 标准差分别为(3.55 \pm 0.83)、(2.73 \pm 1.11)以及(5.03 \pm 0.65) $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

总体来看, 6种短命植物叶片平均N含量均低于全国平均水平(20.5 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) (Han et al., 2011), 平均P含量都高于全国平均水平(1.4 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) (Han et al., 2011), 表明短命植物生长受N元素的限制。

2.2 6种短命植物叶片N、P含量与N:P的季节变化

揭示短命植物叶片化学计量特征随生长季节变化规律有助于深入了解荒漠短命植物的生存策略。本研究表明, 3种一年生短命植物叶片N、P含量表现为在生长初期(4月)均达到最大值, 在生长旺盛季节(5月)都降到最低, 而在生长末季(6月) N、P含量又有所回升。3种多年生类短命植物P含量均表现为在生长初期大于其它生长期, 且在5月P含量最低, 但在6月却显著增加, 变化趋势呈V型。3种多年生类短命植物间N含量变化趋势极为相似, 均为在5月达到最高, 在6月降到最低, 呈倒V型变化趋势。综上, 同一生活型植物叶片N、P含量具有相似的变化规律, 体现了种内一致性。

随着植物的生长发育, 植物叶片N:P化学计量特征会呈现不同的变化趋势。3种一年生短命植物尖喙牻牛儿苗、小花荆芥和条叶庭芥在生长季内N:P变化范围分别为2.2–5.6、3.4–5.8和1.9–4.4, 平均值 \pm 标准差分别为(3.87 \pm 1.69)、(4.47 \pm 1.25)和(3.03 \pm 1.26)。3种多年生类短命植物(独尾草、雅葱和簇花芹) N:P变化范围分别为4.3–8.9、3.2–12.9和3.3–6.4, 平均值 \pm 标准差分别为(5.89 \pm 2.58)、(6.91 \pm 5.20)和(4.73 \pm 2.34)。由以上结果可知, 6种短命植物叶片N:P随季节变化较小, 同种生活型植物间N:P均小于14,

而不同生活型之间N:P也均小于14, 表明短命植物生长严重受到N元素限制。

同种生活型植物随生长季N:P变化趋势大致相同。3种一年生短命植物在4月N:P均较高, 而在5月显著下降, 其中小花荆芥和条叶庭芥的N:P降到最低点, 在6月又有所回升。3种多年生类短命植物N:P在5月都达到最大值, 且都显著大于其它月份。

2.3 6种短命植物叶片N、P含量与N:P之间的关系

3种一年生短命植物叶片N、P含量间均存在显著的正相关(图1A), 除条叶庭芥外, 其余2种植物叶片N含量与N:P均无显著相关性(图1B)。而P含量与N:P均无相关性(图1C)。3种多年生类短命植物叶片N、P含量间及P含量与N:P间均存在显著负相关(图1D, F), 而N含量与N:P间存在显著正相关(图1E)。综上可知, 不同生活型短命植物对元素的利用不同, 且元素之间的关系也存在差异, 但同一生活型各元素之间的关系并无显著差异, 在同一生活型内几乎保持一致。3种多年生类短命植物N含量与N:P间呈显著正相关, 同时也说明N元素在荒漠短命植物的生长过程中具有重要意义。

2.4 讨论

2.4.1 叶片N、P含量随季节动态变化特征

N、P是维持细胞结构与功能最为重要的生命元素 (Sternner and Elser, 2002)。植物叶片N、P含量与自身结构特点和生长季节有很大关系(Baldwin et al., 2006), 同时植物叶片N、P含量也受到多种尺度, 如纬度、温度、降水、岩石分化、大气N沉降、群落演替及微生物作用等的影响(Sternner and Elser, 2002)。而生长季节也是诸多环境因子综合作用的表现。本研究表明, 6种短命植物叶片N、P含量随生长季节改变而不断变化(表1)。其中, 3种一年生短命植物叶片N、P含量在生长初期的4月均达到最高, 而在5月显著下降, 6月又有所回升。其原因主要是, 在生长初期, 植物叶片发育不成熟, 生物量较小, 细胞具有较高的分裂能力, 需要大量的核酸和蛋白质参与细胞分裂, 因此对N、P元素的吸收较多, 细胞内N、P浓度也较高(Sun and Chen, 2001)。在生长旺盛季节, 植物为了获得更高的净光合速率, 叶片生物量会迅速增大, 从而导致营养元素被大量稀释(Townsend et al.,

表1 生长季内6种短命植物叶片N、P含量及N:P动态变化

Table 1 Contents of N, P and dynamics of N:P of six ephemeral plants in the growing season

Month	Element	<i>Erodium oxyrrhynchum</i>	<i>Nepeta micrantha</i>	<i>Alyssum linifolium</i>	<i>Eremurus chinensis</i>	<i>Scorzonera pusilla</i>	<i>Soranthus meyeri</i>
April	N (mg·g ⁻¹)	19.45±0.43 Aa	18.57±1.4 Aa	17.60±1.7 Aa	19.47±0.7 Ba	15.85±1.1 Ab	13.83±0.42 Bc
	P (mg·g ⁻¹)	3.50±0.1 Aa	4.45±0.2 Ca	4.00±0.23 Ba	4.50±0.32 Aa	3.40±0.4 Ab	5.70±0.36 Ac
	N:P	5.56±0.3 Aa	4.17±0.6 Ab	4.40±0.5 Ab	4.33±0.2 Ab	4.66±0.42 Ab	2.43±0.12 Ac
May	N (mg·g ⁻¹)	7.95±0.64 Ba	6.80±1 Cb	5.60±1 Cb	26.15±1.1 Ac	18.65±2.25 Bd	28.30±1 Ac
	P (mg·g ⁻¹)	2.05±0.4 Ba	2.00±0.1 Ba	2.90±0.1 Aa	2.95±0.7 Ba	1.45±0.4 Bb	4.40±0.1 Ac
	N:P	3.88±0.15 Ba	3.40±0.5 Aa	1.93±0.3 Bb	8.86±0.2 Bc	12.86±0.5 Bd	6.43±0.23 Bc
June	N (mg·g ⁻¹)	6.30±0.1 Ca	16.95±0.8 Bb	9.35±0.6 Bc	14.30±0.78 Cd	10.75±0.3 Ce	11.70±1 Be
	P (mg·g ⁻¹)	2.90±0.5 Aa	2.90±0.2 Aa	3.40±0.3 Aa	3.20±0.14 Aa	3.35±0.1 Aa	5.00±0.1 Ab
	N:P	2.17±0.2 Ca	5.84±0.4 Bb	2.75±0.2 Ca	4.47±0.52 Ab	3.21±0.12 Aa	2.34±0.3 Aa

同列相同参数不同大写字母表示月份间差异显著; 同行相同参数不同小写字母表示种间差异显著。

Different capital letters with same parameters in the same column indicate significant differences between months; Different lowercase letters with same parameters in the same row indicate significant differences between interspecies.

2007), 使N、P含量下降。在生长末期, 叶片生物量基本稳定而不再生长, 此时N、P含量又有所回升, 可能是此时植物根系的快速生长, 需要较多的N、P参与根系的分裂和生长(Liu et al., 2001; Li et al., 2007)。3种一年生短命植物叶片N、P含量与牛得草等(2013)在旱生草本植物及吴统贵等(2010)在湿生草本植物研究中得出叶片N、P含量随植物生物量积累而降低的结论基本一致。

不同生活型短命植物间N、P含量变化程度不同。3种多年生类短命植物叶片N、P含量在生长季内变化规律为N含量在生长初期(4月)均较高, 而在5月达到最高值, 随后在6月降到最低值。P含量与N含量变化规律不同, 3种多年生类短命植物P含量均表现为在生长初期大于其它生长期, 且在5月降到最低, 但在6月P含量却显著增加, 变化趋势呈V型。N、P含量在生长初期都较高, 这可解释为生长初期植物会吸收较多的N、P元素参与细胞分裂。在5月N含量达到最高值, 推测可能是不同生活型植物对于干旱胁迫的响应存在差异, 干旱胁迫会导致植物体内可溶性蛋白含量明显升高(周晓兵等, 2011), 可溶性蛋白含量的增加使植物细胞内溶质浓度增加, 提高了细胞渗透压, 促进植物对水分的吸收, 进而有效缓解干旱胁迫(Zhou et al., 2011), 而N素是可溶性蛋白的重要构成物质。整体来看, 3种多年生类短命植物叶片N、P含量变化无明显规律, 且呈现各自的变化特点。这表明3种多年生类短命植物在生长季内N、P含量并无一致的规律。

这是否与本研究所选物种较少以及观测的生长时间较短有关, 还有待进一步研究。

2.4.2 叶片N:P随季节动态变化及与N、P含量的相关性

N、P是陆地生态系统植物生长的主要限制性元素, 植物叶片中N:P化学计量特征是判断植物受N、P限制的重要指标(邬畏等, 2010)。Koerselman和Meuleman (1996)研究表明, 植物叶片中N:P低于14时受N限制, 而高于16时受P限制, 介于14–16之间则受到N、P的双重限制。因此, 了解植物叶片元素间的相互关系, 有助于预测生态系统对环境变化的响应, 以及元素在植物生产力中的限制作用(Kerkhoff and Enquist, 2006)。本研究显示, 在4月3种一年生短命植物(尖喙牻牛儿苗、小花荆芥和条叶庭芥) N、P初始含量都较高, 且此时植物细胞正值大量分裂, 需要较多N、P元素的参与, 因此N:P较高。而在5月短命植物处于生长旺盛季节, 其生物量大量积累, 稀释了N、P, 导致其浓度急剧降低(Yan et al., 2007; Townsend et al., 2007)。Gorokhova和Kyle (2002)研究表明, 植物在高速生长时期需要更多的rRNA投入以合成所需的蛋白质, 而rRNA是植物体内的重要P库, 故在5月P的积累要远高于N, 进而导致N:P显著下降。在6月, 短命植物处于生长末期, 此时植物叶片停止生长, 因此对P的需求会大大减少, 这就导致N:P有所回升。与3种一年生短命植物不同的是, 3种多年生类短命植物

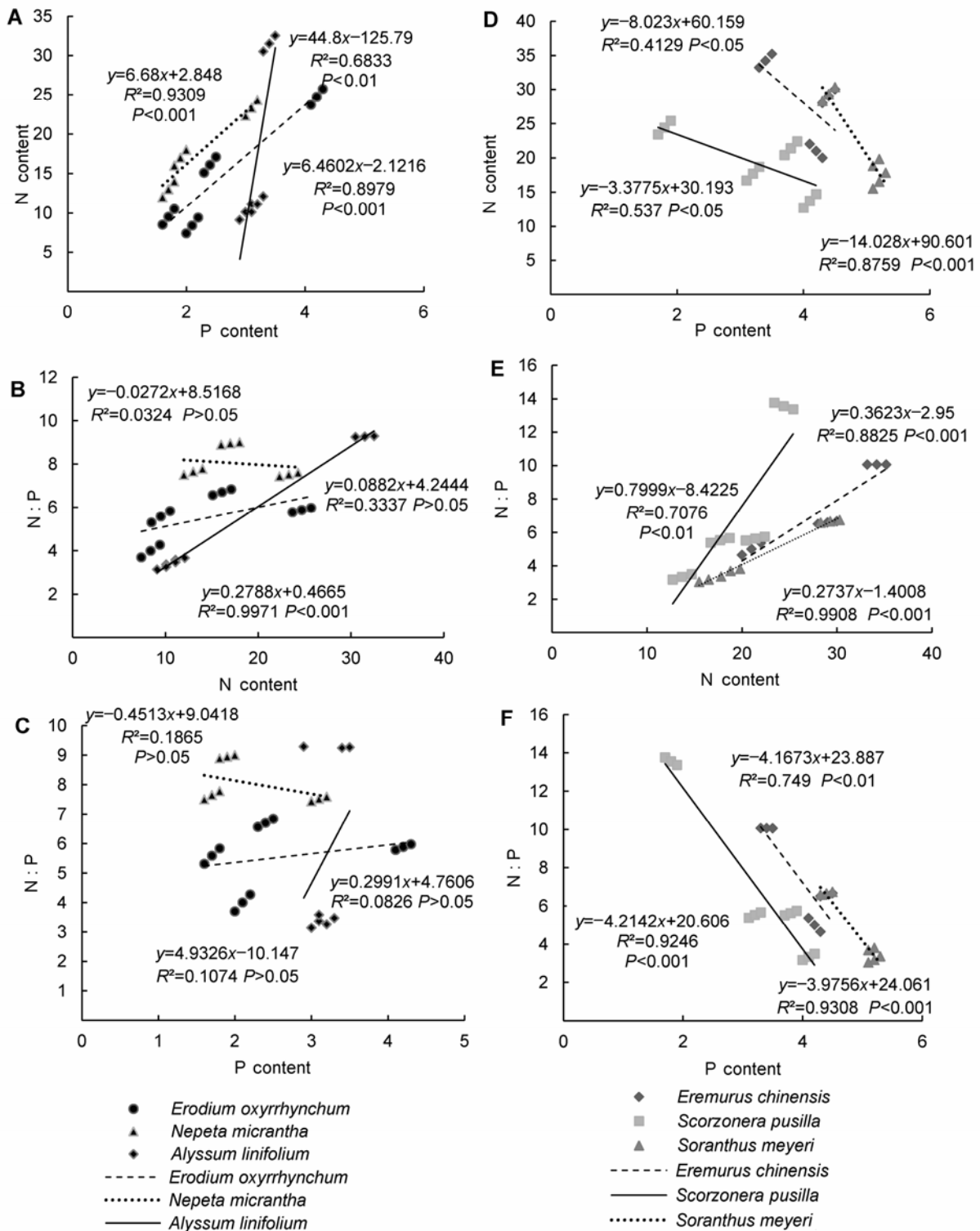


图1 6种短命植物叶片N、P含量(A, D)及N:P与N (B, E)和P (C, F)含量的关系

Figure 1 Relationship of contents between N and P (A, D), and relationship between N:P and contents of either N (B, E) or P (C, F) in six species of ephemerals

叶片N:P在5月均达到最大值且都显著大于其它月份。推测可能是由于不同生活型物种对N、P元素的吸收存在差异。Sterner和Elser (2002)指出,水分是影响荒漠植物叶片化学计量特征的重要非生物因素。因此也可能是不同生活型物种对干旱胁迫具有不同响应而引起的。干旱胁迫导致可溶性蛋白含量增高进而使N浓度增大,从而使N:P显著升高。

6种短命植物叶片的平均N含量均低于全国平均水平($20.5 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) (Han et al., 2011), 平均P含量都高于全国平均水平($1.4 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) (Han et al., 2011)。其中, 6种短命植物叶片P含量明显大于Han等(2005)和任书杰等(2007)的研究结果。相关研究表明, 中国土壤P含量变异幅度较大, 从干旱半干旱地区到湿润地区呈逐渐减小的趋势(汪涛等, 2008)。由此可见, 干旱半干旱地区土壤具有相对较高的P含量, 这可能是本研究中植物叶片P含量明显高于全国平均水平的主要原因。6种短命植物叶片N:P都小于14, 且在3个生长季内也都小于14。这表明古尔班通古特沙漠南缘短命植物生长严重受N限制, 这与N素被认为是古尔班通古特沙漠植物生长主要限制元素的结论相符合(Zhou et al., 2011; 刘建国等, 2016)。关于古尔班通古特沙漠南缘植物生长主要受N限制的原因可能有两方面。一方面, 植物的营养元素含量在一定程度上反映了植物生长的生境条件(Huang and Wang, 2003)。该研究区土壤养分总N含量变化范围为 $0.18\text{--}0.22 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (陶冶和张元明, 2015), 与其它生态系统相比, 该区土壤显得更加贫瘠, 因此, 可能致使该区植物对N素的利用和吸收减少, 进而导致植物体内N素含量明显减少。另一方面, 植物生长所需的N素90%以上都来自微生物对植物凋落物分解过程所释放的N (Craine et al., 2008; Craine and Jackson, 2010), 干旱的环境条件和相对较低的微生物分解速度会使养分的可利用性较其它地区显著偏低, 这进一步影响植物对N素的吸收(Fernandez et al., 2006; Dijkstra et al., 2012)。

总体来看, 6种短命植物叶片N:P化学计量特征随生长季节变化较小。动态平衡理论认为, 有机体能够控制自身的许多特性, 包括营养平衡及pH值稳定等, 使得内部环境不会随外部环境的变化而剧烈变化, 促使生物个体元素含量维持在一个相对稳定的范围内(Zhang et al., 2003)。短命植物在极端生境条件下,

体内化学计量特征会表现出一定的内稳性, 这可能是短命植物长期适应环境的结果, 也可能与其自身具有较强的维持动态平衡能力有关。由此推测, 不同生活型短命植物叶片之间N、P化学计量特征的差异更多的是由物种本身的遗传特性决定。

3种一年生短命植物叶片N、P化学计量特征呈显著线性相关, 反映了同一生活型短命植物叶片N、P含量变化的一致性, 也体现了种内的相对一致性。这与肖遥等(2014)对4种荒漠草本植物的研究结果相似。3种多年生类短命植物叶片N含量与N:P存在显著正相关, 可以推断, 在短命植物的整个生长季内N含量的变化对N:P的动态变化起主导作用, 同时也进一步阐明了N在荒漠短命植物的生长过程中发挥着极其重要的作用。这与王绍强和于贵瑞(2008)认为N在植物生长中的重要意义相吻合。此外, 6种短命植物叶片N-P关系具有季节差异, 其原因可能是温度、水分和光照等外界环境因子具有季节差异导致短命植物叶片N、P含量不同。而不同生活型间N-P关系表现不同, 主要原因可能是不同生活型短命植物对N、P的吸收与转移存在季节差异。李玉霖等(2010)对北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片N、P化学计量特征的研究表明, 不同生活型植物间具有不同的养分利用策略, 其叶片N、P含量及N:P具有显著差异。本研究结果与其相符, 6种短命植物表现出不同生活型间N、P含量具有不同的相关关系, 从而使不同生活型间差异明显, 这是否与本研究所选的物种较少有关, 还需今后选取更多的物种来进一步验证。

参考文献

- 鲍士旦 (2000). 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社. pp. 66-70.
- 李玉霖, 毛伟, 赵学勇, 张铜会 (2010). 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷化学计量特征研究. 环境科学 31, 1716-1725.
- 李征, 韩琳, 刘玉虹, 安树青, 冷欣 (2012). 滨海盐地碱蓬不同生长阶段叶片C、N、P化学计量特征. 植物生态学报 36, 1054-1061.
- 刘建国, 林喆, 刘卫国, 霍举颂 (2016). 短命植物叶片生源要素的化学计量特征及异速关系. 西北植物学报 36, 2291-2299.
- 毛祖美, 张佃民 (1994). 新疆北部早春短命植物区系纲要. 干旱区研究 11(3), 1-26.

- 牛得草, 李茜, 江世高, 常佩静, 傅华 (2013). 阿拉善荒漠区6种主要灌木植物叶片C:N:P化学计量比的季节变化. 植物生态学报 **37**, 317–325.
- 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 王绍强 (2007). 中国东部南北样带654种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究. 环境科学 **28**, 2665–2673.
- 陶冶, 张元明 (2011). 3种荒漠植物群落物种组成与丰富度的季节变化及地上生物量特征. 草业学报 **20**(6), 1–11.
- 陶冶, 张元明 (2015). 古尔班通古特沙漠4种草本植物叶片与土壤的化学计量特征. 应用生态学报 **26**, 659–665.
- 王凯博, 上官周平 (2011). 黄土丘陵区燕沟流域典型植物叶片C、N、P化学计量特征季节变化. 生态学报 **31**, 4985–4991.
- 王绍强, 于贵瑞 (2008). 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征. 生态学报 **28**, 3937–3947.
- 汪涛, 杨元合, 马文红 (2008). 中国土壤磷库的大小、分布及其影响因素. 北京大学学报(自然科学版) **44**, 945–952.
- 邬畏, 何兴东, 周启星 (2010). 生态系统氮磷比化学计量特征研究进展. 中国沙漠 **30**, 296–302.
- 吴统贵, 吴明, 刘丽, 萧江华 (2010). 杭州湾滨海湿地3种草本植物叶片N、P化学计量学的季节变化. 植物生态学报 **34**, 23–28.
- 肖遥, 陶冶, 张元明 (2014). 古尔班通古特沙漠4种荒漠草本植物不同生长期的生物量分配与叶片化学计量特征. 植物生态学报 **38**, 929–940.
- 杨惠敏, 王冬梅 (2011). 草-环境系统植物碳氮磷生态化学计量学及其对环境因子的响应研究进展. 草业学报 **20**, 244–252.
- 张立运, 陈昌笃 (2002). 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. 生态学报 **22**, 1923–1932.
- 张文彦, 樊江文, 钟华平, 胡中民, 宋璐璐, 王宁 (2010). 中国典型草原优势植物功能群氮磷化学计量学特征研究. 草业学报 **18**, 503–509.
- 张元明, 聂华丽 (2011). 生物土壤结皮对准噶尔盆地5种荒漠植物幼苗生长与元素吸收的影响. 植物生态学报 **35**, 380–388.
- 周晓兵, 张元明, 王莎莎, 张丙昌, 张静 (2011). 3种荒漠植物幼苗生长和光合生理对氮增加的响应. 中国沙漠 **31**, 82–89.
- Baldwin DS, Rees GN, Mitchell AM, Watson G, Williams J (2006). The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial community structure in sediment from a freshwater wetland. *Wetlands* **26**, 455–464.
- Chen YN, Wang Q, Li WH, Ruan X (2007). Microbiotic crusts and their interrelations with environmental factors in the Gurbantonggut Desert, western China. *Environ Geol* **52**, 691–700.
- Craine JM, Jackson RD (2010). Plant nitrogen and phosphorus limitation in 98 North American grassland soils. *Plant Soil* **334**, 73–84.
- Craine JM, Morrow C, Stock WD (2008). Nutrient concentration ratios and co-limitation in south African grasslands. *New Phytol* **179**, 829–836.
- Dijkstra FA, Pendall E, Morgan JA, Blumenthal DM, Carrillo Y, LeCain DR, Follett RF, Williams DG (2012). Climate change alters stoichiometry of phosphorus and nitrogen in a semiarid grassland. *New Phytol* **196**, 807–815.
- Fernandez DP, Neff JC, Belnap J, Reynolds RL (2006). Soil respiration in the cold desert environment of the Colorado Plateau (USA): abiotic regulators and thresholds. *Biogeochemistry* **78**, 247–265.
- Gilliam FS (2007). The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *BioScience* **57**, 845–858.
- Gorokhova E, Kyle M (2002). Analysis of nucleic acids in *Daphnia*: development of methods and ontogenetic variations in RNA-DNA content. *J Plankton Res* **24**, 511–522.
- Han WX, Fang JY, Guo DL, Zhang Y (2005). Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytol* **168**, 377–385.
- Han WX, Fang JY, Reich PB, Lan Woodward F, Wang ZH (2011). Biogeography and variability of eleven mineral elements in plant leaves across gradients of climate, soil and plant functional type in China. *Ecol Lett* **14**, 788–796.
- Huang JJ, Wang XH (2003). Leaf nutrient and structural characteristics of 32 evergreen broad leaved species. *J East China Normal Univ (Nat Sci)* (1), 92–97.
- Kerkhoff AJ, Enquist BJ (2006). Ecosystem allometry: the scaling of nutrient stocks and primary productivity across plant communities. *Ecol Lett* **9**, 419–427.
- Koerselman W, Meuleman AFM (1996). The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *J Appl Ecol* **33**, 1441–1450.
- Li X, Zhang LJ, Liu WS, Yang JM, Ma ZY (2007). On nutrient accumulation and distribution in plum tree as well as nutrient dynamic changes in plum leaves. *Soils* **39**, 982–986.
- Liu GQ, Zhao SD, Wang H, Tu XN, Gong LQ (2001). Sea-

- sonal variation of growth and nutrient contents for photosynthetic organ of the sharptooth oak stands. *Acta Ecol Sin* **21**, 883–889.
- Reich PB, Oleksyn J** (2004). Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proc Natl Acad Sci USA* **101**, 11001–11006.
- Sterner RW, Elser JJ** (2002). Ecological Stoichiometry: the Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton: Princeton University Press. pp. 225–226.
- Sun SC, Chen LZ** (2001). Leaf nutrient dynamics and resorption efficiency of *Quercus liaotungensis* in the Dongling Mountain region. *Acta Phytocol Sin* **25**, 76–82.
- Townsend AR, Cleveland CC, Asner GP, Bustamante MMC** (2007). Controls over foliar N:P ratios in tropical forests. *Ecology* **88**, 107–118.
- Whitford WG** (2002). Ecology of Desert Systems. London: Academic Press. pp. 112.
- Yan Q, Lu JJ, He WS** (2007). Succession character of salt marsh vegetation in Chongming Dongtan wetland. *Chin J Appl Ecol* **18**, 1097–1101.
- Zhang LX, Bai YF, Han XG** (2003). Application of N:P stoichiometry to ecology studies. *Acta Bot Sin* **45**, 1009–1018.
- Zhou XB, Zhang YM, Ji XH, Downing A, Serpe M** (2011). Combined effects of nitrogen deposition and water stress on growth and physiological responses of two annual desert plants in northwestern China. *Environ Exp Bot* **74**, 1–8.

Seasonal Variation of N and P Stoichiometric Characteristics in Leaves of Certain Ephemeral Plants in the Gurbantunggut Desert, China

Jianguo Liu^{1,2}, Weiguo Liu^{1,2*}, Yuanyuan Zhu³, Jusong Huo^{1,2}, Maria-Nurlan^{1,2}

¹College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; ²Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China; ³Gansu Normal University for Nationalities, Hezuo 747000, China

Abstract Ephemeral plants are an important part of desert ecosystems. To understand the stoichiometric characteristics of leaf N and P in growth season variation, we compared plant leaf N and P with seasonal variation among 6 main species of ephemeral plants in the Gurbantunggut Desert in China, including 3 species of annual ephemeral plants and 3 of perennial ephemeral plants: *Erodium oxyrrhynchum*, *Nepeta micrantha*, *Alyssum linifolium*, *Eremurus chinensis*, *Scorzonera pusilla*, and *Soranthus meyeri*. The mean N content for the 3 annual ephemeral species was (11.23±7.16), (14.11±6.38) and (10.85±6.14) mg·g⁻¹ and mean P content was (2.82±0.73), (3.12±1.24) and (3.43±0.55) mg·g⁻¹. The mean N content for the 3 perennial ephemeral species was (19.97±5.94), (15.08±4.01) and (17.94±9.03) mg·g⁻¹ and mean P content was (3.55±0.83), (2.73±1.11) and (5.03±0.65) mg·g⁻¹. The stoichiometric characteristics of leaf N-P differed during the growth of ephemeral plants. The content of N and P in each species was higher in the early growth stage than during other growing seasons. The content of N and P decreased with increasing leaf biomass in the growing season but increased in the late growth season. The relation among the elements at different life stages differed, with no significant difference in the relation between the elements of the same life stage, so it embodies the consistency of inter species.

Key words ephemeral plants, stoichiometric characteristics, seasonal variation, life type

Liu JG, Liu WG, Zhu YY, Huo JS, Nurlan M (2017). Seasonal variation of N and P stoichiometric characteristics in leaves of certain ephemeral plants in the Gurbantunggut Desert, China. *Chin Bull Bot* **52**, 756–763.

* Author for correspondence. E-mail: wgliuxj@126.com