

DOI: 10.5846/stxb201707101240

崔东, 陈亚宁, 李卫红, 朱成刚. 伊犁河谷苦豆子 C、N、P 含量变化及化学计量特征. 生态学报, 2018, 38(17): - .

Cui D., Chen Y. N., Li W. H., Zhu C. G. The study of carbon, nitrogen, phosphorus content changes and their stoichiometry of *Sophora alopecuroides* in the Yili River Region. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): - .

## 伊犁河谷苦豆子 C、N、P 含量变化及化学计量特征

崔 东<sup>1,2,3</sup>, 陈亚宁<sup>2,\*</sup>, 李卫红<sup>2</sup>, 朱成刚<sup>2</sup>

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

2 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011

3 伊犁师范学院生物与地理科学学院/资源与生态研究所, 伊宁 835000

**摘要:** 研究苦豆子不同器官中碳、氮、磷元素的化学计量特征的季节变化有助于深入了解该植物蔓延的生态学机制。系统分析了伊犁河谷苦豆子根、茎、叶的碳(C)、氮(N)、磷(P)化学计量特征及其季节动态变化。结果表明: 苦豆子 C、N、P 含量均值分别为 391.40、13.17、1.51 mg/g, C:N、N:P、C:P 均值分别为 45.61、8.52、326.38。苦豆子根、茎、叶在整个生长季内 C、N、P 均值含量变化一致, 为叶>茎>根。在生态化学计量特征的分析中规律则不同, C 含量随着生长时期的增加而增加, N 和 P 的含量则随着生长时期的增加而减少; 苦豆子根系中的 C、N、P 含量有随着深度变化而递减的趋势; 器官间的差异性说明植物在不同生长时期, 各器官对 C、N、P 的吸收利用具有特异性。植物叶片中 C、N、P 含量和 N:P 普遍较低, 苦豆子生长受 N、P 的共同限制, 更容易受到 N 元素的限制。

**关键词:** 苦豆子; 器官; 季节; 生态化学计量学; 伊犁河谷

## The study of carbon, nitrogen, phosphorus content changes and their stoichiometry of *Sophora alopecuroides* in the Yili River Region

CUI Dong<sup>1,2,3</sup>, CHEN Yaning<sup>2,\*</sup>, LI Weihong<sup>2</sup>, ZHU Chenggang<sup>2</sup>

1 College of Resources and Environment Science, Xinjiang University/Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Urumqi 830046, China

2 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

3 College of Biology and Geography, Yili Normal University/Institute of Resources and Ecology, Yining 835000, China

**Abstract:** To derive a deeper understanding of the ecological mechanism of the spread of *Sophora alopecuroides*, this study systematically analyzed C, N, and P stoichiometry and its seasonal dynamic changes in the roots, stems, and leaves of *Sophora alopecuroides* distributed in the Yili River Valley. The results showed average C, N, and P contents to be 391.40, 13.17, and 1.51 mg/g; the average ratios of C/N, N/P, and C/P were 45.61, 8.52, and 326.38, respectively. The changes of the mean C, N, and P content showed the same pattern in the roots, stems, and leaves of *Sophora alopecuroides* during the completely growing season; leaves contained most of the nutrients, followed by stems and roots. However, they exhibited different patterns in the stoichiometric analysis. The C content increased with increasing plant growth, while N and P content declined. The content of C, N, and P in the root system of *Sophora alopecuroides* had a tendency to decline with the change in depth. The differences between organs indicated that the absorption and utilization of C, N, and P were specific to the plants during different growth periods. Plant leaves tended to have low C, N, and P content and N/P ratio. The growth of *Sophora alopecuroides* was limited by N and P jointly, but will be easier to constrain by N elements.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC15B03); 国家自然科学基金项目(31360101)

收稿日期: 2017-07-10; 网络出版日期: 2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenyn@ms.xjb.ac.cn

**Key Words:** *Sophora alopecuroides*; organ; season; stoichiometry; Yili river valley

植物中碳(C)、氮(N)、磷(P)元素是其所需要的基本营养元素,也是各细胞新陈代谢、蛋白质和遗传物质组成元素。为探索碳、氮、磷等元素的生理生化过程和生物地球化学循环和能量来源起着重要作用,元素的化学计量学的方法是当前生态研究的热点<sup>[1]</sup>。宋彦涛、周道玮等<sup>[2]</sup>相关学者在松嫩草地植物叶片的化学计量学特征的研究上比较充分,近几年来国内外在关于陆地生态系统植物的生态化学计量学的发展较为迅速<sup>[3-4]</sup>。如郑艳明等<sup>[5]</sup>、李红林等<sup>[6]</sup>、张珂等<sup>[7]</sup>和陈婵等<sup>[8]</sup>对陆生植物的根茎叶 C、N、P 化学计量特征的研究,表明植物在不同生长环境下,能够生长成为适应环境的自身体能机制,从而揭示植物的生存策略。

苦豆子(*Sophora alopecuroides*L.)属草本植物<sup>[9]</sup>,主要生于沙质土壤上,具有耐盐碱、抗干旱、耐沙埋等特性,主要分布于我国新疆、宁夏和内蒙古等省区境内。该植物根系较深,地上部分小,地下部分大,形成庞大的根系网。苦豆子强大的根系以及种子蔓延速度极快,使该种群连片生长,扩展性强<sup>[10]</sup>。在一些严重地区,苦豆子因快速蔓延扩展,可形成苦豆子单优种群。目前,有关苦豆子的研究主要围绕药用价值<sup>[11-12]</sup>,种子形态特征、发芽条件<sup>[13-15]</sup>、组织培养<sup>[16-17]</sup>及种子休眠<sup>[18-19]</sup>等方面。而关于苦豆子不同器官生态化学计量的研究未见报道。伊犁河谷草原苦豆子大面积侵入和连片蔓延生长,已经成为退化草场的优势物种,导致草场质量和经济生产力下降,对新疆伊犁河谷的农田以及草原畜牧业已产生了巨大影响。本研究系统分析和研究苦豆子在不同的季节生长情况下各器官元素的变化规律,有助于了解苦豆子蔓延的生态学机制及对退化草场土壤质量的影响,从而对退化草场的生态恢复提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究样地位于新疆伊犁河谷的托乎拉苏大草原(图1),距伊宁市约40 km( $44^{\circ}01'32''\text{N}$ — $44^{\circ}08'96''\text{N}$ ,  $81^{\circ}28'40''\text{E}$ — $81^{\circ}35'11''\text{E}$ ),属于典型的山地草原地区。这里属于温带大陆性气候半干旱地区,年均气温9—11.1℃,年平均降水250—551.7 mm,年平均蒸发量1621 mm。海拔为900—1700 m。在研究地内,苦豆子多以

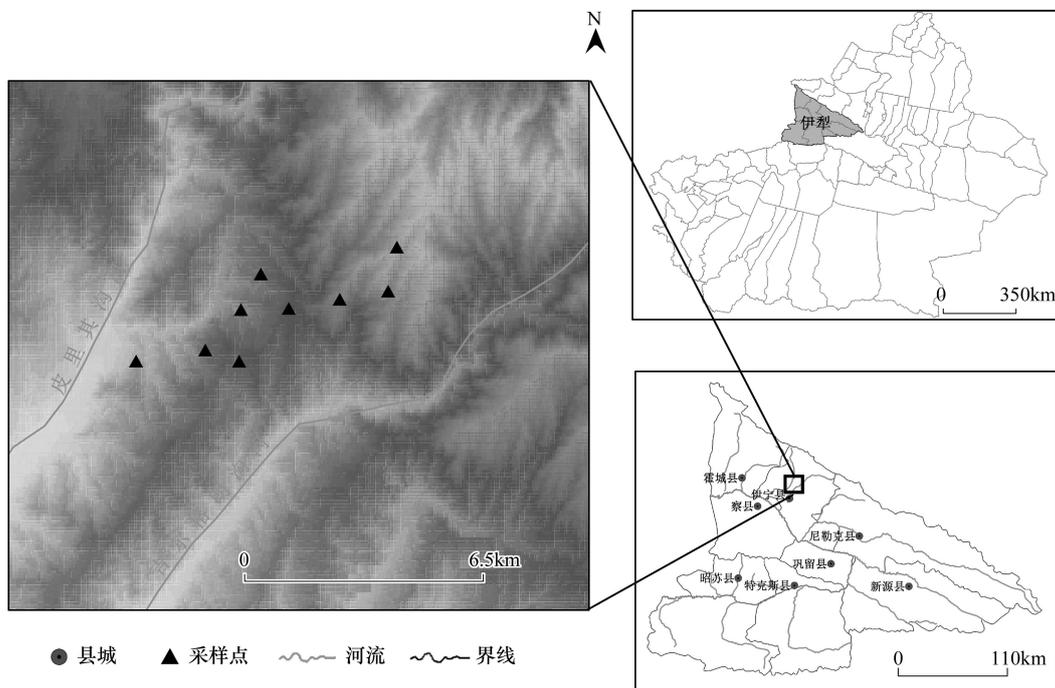


图1 地理位置图和采样点分布

Fig.1 Location of the sampling sites

单优群落的形式分布,群落内伴生植物主要有白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*)、伊犁蒿 (*Artemisia transiensispoljak*)、椭圆叶天芥菜 (*Heliotropium ellipticum*)、毛穗旱麦草 (*Eremopyrum distans*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 等。

### 1.2 样品采集及实验分析

在伊犁河谷托乎拉苏草原选择地形、地貌、土壤母质基本一致的 9 个苦豆子群落作为采样地点,于 2016 年在苦豆子不同生长期,生长初期,旺季以及生长末期即 5 月、8 月、11 月采集样品。在每个样地内随机设定 3 个 1 m×1 m 的小样方,在每个样方内剪下苦豆子植物的地上部分,然后将地面枯落物清理干净,挖掘土壤剖面,每个剖面按照每间隔 10 cm 采集一个植物根系样品(包括根茎和须根),采集深度 60 cm,共采集 162 份植物根系样品以及 27 个植物地上部分样品。样品在实验室清洗后,烘干称重,粉碎后过筛备用。全碳含量采用重铬酸钾容量法测定、全氮采用凯氏定氮法测定、全磷含量采用钼锑抗比色法测定<sup>[20]</sup>。

### 1.3 数据处理

在数据的处理过程中,前期采用 Microsoft Excel 2010 统计分析,C、N、P 采用质量含量,C:N、C:P、N:P 采用质量比,后期在 SPSS 19.0 软件中对不同季节的各不同器官中的碳、氮、磷含量和化学计量比进行单因素方差分析,并采用 LSD 法进行多重比较。

## 2 结果分析

### 2.1 苦豆子碳、氮、磷含量及其化学计量比特征

从表 1 可知,苦豆子 C、N、P 含量的极大值分别为 699.60、34.98、3.72 mg/g,极小值分别为 126.92、3.14、0.47 mg/g,因此苦豆子 C、N、P 含量的极差较大,分别为 572.67、31.84、3.26 mg/g,这与采样时间和不同器官有直接的关系。苦豆子 N:P 的最大值为 15.37 mg/g,最小值为 3.85 mg/g,平均值为 8.52 mg/g,平均值小于 14,这表明苦豆子的生长主要受到 N 元素的限制。综合分析苦豆子的变异性可知,变异系数为 0.27—0.65 之间,属于中等变异。

表 1 苦豆子 C、N、P 含量及其化学计量比的统计学参数

Table 1 Descriptive statistical parameters of C, N and P contents and C:N, N:P and C:P of *Sophora alopecuroides*

参数 Parameter	极差 Range	极小值 Minimum	极大值 Maximum	均值 Mean	标准差 Standard deviation	偏度 Skewness	峰度 Kurosis	变异系数 Coefficient Of variation
C/(mg/g)	572.68	126.92	699.60	391.40	106.41	0.18	-0.42	0.27
N/(mg/g)	31.84	3.14	34.98	13.17	8.53	0.82	-0.52	0.65
P/(mg/g)	3.26	0.47	3.72	1.51	0.72	1.16	0.85	0.48
C:N	135.48	7.15	142.63	45.61	29.27	1.08	0.85	0.64
N:P	11.52	3.85	15.37	8.52	3.81	1.22	1.76	0.45
C:P	681.37	82.93	764.29	326.38	159.73	0.77	0.15	0.49

从表 2 可知,苦豆子植物的 C 含量受生长季节极显著影响( $P<0.01$ )。N 含量受器官极显著影响( $P<0.01$ ),两因素的交互作用对氮含量的影响也达到极显著水平( $P<0.01$ )。磷含量受生长季节极显著影响( $P<0.01$ ),两因素的交互作用对磷含量的影响也达到极显著水平( $P<0.01$ )。

苦豆子 C:N 的变异主要受不同器官的影响,其次为季节,两因素的交互作用也达到了极显著水平( $P<0.01$ )。苦豆子植物 C:P 主要受到生长季节的限制,其离差平方和为 451390.02,为其中的最大值。

### 2.2 苦豆子不同器官碳、氮、磷含量及其化学计量比特征

在不同时期苦豆子 3 种器官碳、氮、磷含量具有较大的差异(图 2)。各个生长季苦豆子碳、氮、磷含量的变化规律均为叶>茎>根,但随季节变化的动态特征各不相同。苦豆子根、茎、叶中碳的含量在 5 月的差异性较小,但茎和叶的氮含量要高于根中含量;8 月各器官的含量有明显的增加( $P<0.05$ ),碳元素的含量达到最高

值;根的碳含量表现为 8 月显著高于 5 月和 11 月 ( $P<0.05$ ), 茎和叶的碳含量在不同生长时期的差异性显著 ( $P<0.05$ )。苦豆子叶片中氮含量在 5 月达到最高值, 和 8 月、11 月相比显著性较高 ( $P<0.05$ )。在 5 月植物生长发育的初级阶段叶片、根系和茎中的碳、氮值达到峰值, 随着生长时间的增加发生递减。

表 2 苦豆子 C、N、P 含量及其计量的整体来源变异来源分析

Table 2 Summary about the effect of variation from different organs, months and both interactions on C, N and P contents and their ratios of *Sophora alopecuroides*

参数 Parameter	变异来源 Source of variation	df	离差平方和 Sum of squares of deviations	均方 Mean square	F
C/(mg/g)	器官 Organ(O)	2	28496.83	14248.42	2.11
	季节 Season(S)	2	118094.17	59047.81	19.58**
	器官×季节 O×S	4	33681.79	16840.89	2.58
N/(mg/g)	器官 Organ(O)	2	1079.16	539.58	13.80**
	季节 Season(S)	2	737.11	368.55	6.91*
	器官×季节 O×S	4	1611.85	805.92	47.66**
P/(mg/g)	器官 Organ(O)	2	2.62	1.31	2.47
	季节 Season(S)	2	8.77	4.39	16.07**
	器官×季节 O×S	4	8.27	4.13	14.06**
C:N	器官 Organ(O)	2	7922.31	3961.15	10.19**
	季节 Season(S)	2	7087.02	3543.51	8.37*
	器官×季节 O×S	4	9898.66	4949.33	16.15**
N:P	器官 Organ(O)	2	222.63	111.32	18.84**
	季节 Season(S)	2	8.05	4.03	0.27
	器官×季节 O×S	4	217.38	108.69	17.74**
C:P	器官 Organ(O)	2	19560.21	9780.11	0.43*
	季节 Season(S)	2	451390.02	225695.01	44.75**
	器官×季节 O×S	4	145693.85	72846.93	4.10*

\*\*  $P<0.01$ , \*  $P<0.05$

苦豆子各器官中碳氮磷元素的化学计量比呈现出一定的变化规律(图 2)。不同生长时期苦豆子各器官 C:N 的变化趋势均为根>茎>叶, 5 月根 C:N 显著高于茎和叶 ( $P<0.05$ ), 苦豆子叶片在 8 月和 11 月 C:N 显著低于根和茎 ( $P<0.05$ )。5 月茎和叶 N:P 显著高于根 ( $P<0.05$ ), 8 月和 11 月 N:P 在根和茎间没有显著差异 ( $P>0.05$ ); 根 N:P 在 5 月和 8 月间表现出显著性差异 ( $P<0.05$ ), 茎 N:P 在 5 月显著低于 8 月和 11 月的值 ( $P<0.05$ )。5 月根 C:P 显著高于同一时期的茎和叶 ( $P<0.05$ ), 8 月和 11 月苦豆子各器官间 C:P 差异不显著 ( $P>0.05$ ); 不同生长时期的叶片 C:P 差异显著 ( $P<0.05$ ), 根和茎 C:P 从 5 月到 8 月显著增加 ( $P<0.05$ ), 之后无显著变化 ( $P>0.05$ )。

不同的生长发育阶段对植物各器官的元素含量的积累和分配都有着重要的影响, 不同元素的种类对植物各器官的吸收利用过程也不相同<sup>[21-22]</sup>。分析不同生长季苦豆子各器官 C、N、P 含量的分配可见(图 3), 苦豆子植物碳含量在 5 月各器官的分配比例较为均衡, 根茎叶分别为 32.08%、34.14%和 33.79%; 在 8 月苦豆子碳的含量在各器官的分配比例无明显的波动, 与 5 月相比, 根和茎的分配比例降低至 31.73%和 33.40%, 叶中碳含量的分配比例增加到 34.87%; 11 月中根的碳含量有明显的降低为 25.26%, 茎和叶片中碳含量的分配比例增加到 35.54%和 39.20%。根和茎中氮含量的分配比随着生长季的增加而逐步减少, 根从 5 月的 16.24%降低到生长末期的 14.96%; 茎从 5 月的 40.65%降低到 11 月的 28.25%; 叶片中氮含量的分配比例则不断增加, 从 5 月的 43.11%增加到 11 月的 56.80%。根、茎和叶中磷的含量在 5 月的分配比例分别为 21.83%、36.08%和 42.08%; 在 8 月的分配比例分别为 31.61%、32.88%和 35.51%; 在 11 月的分配比例分别为 27.44%、27.21%和 45.35%。

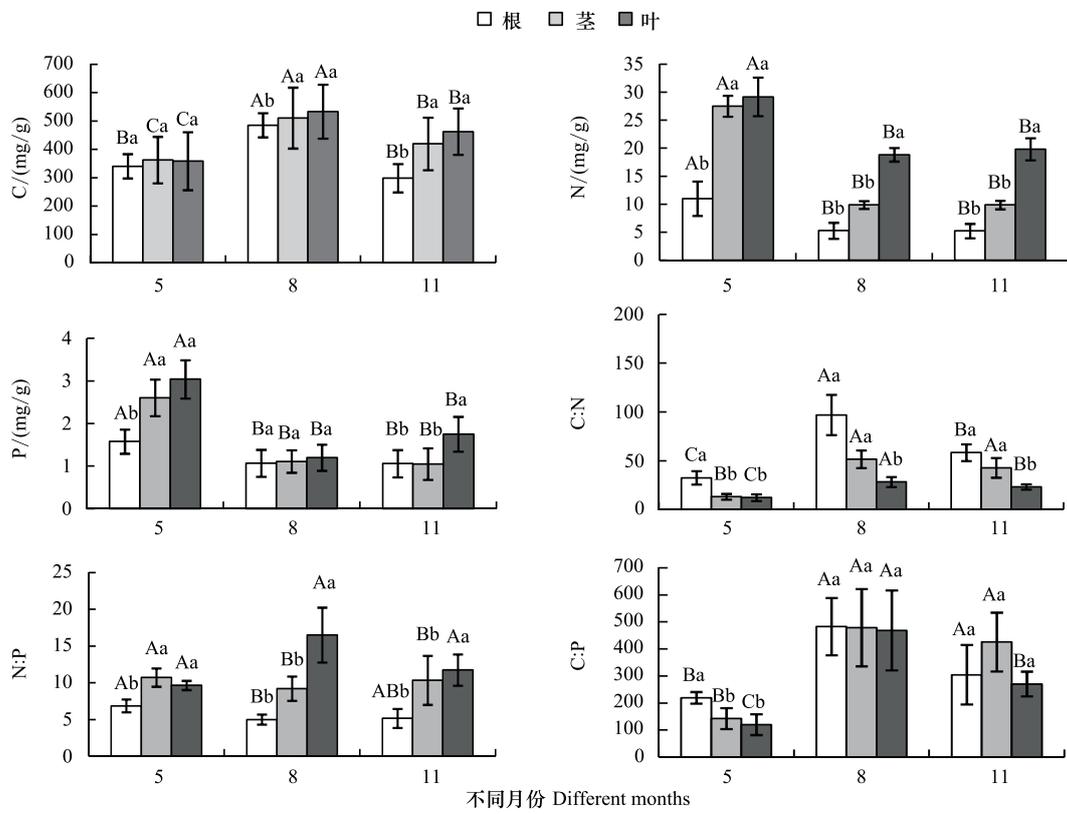


图 2 苦豆子各器官碳、氮、磷含量及其化学计量比特征

Fig.2 Seasonal dynamics of C,N and P contents and their ratios in different organs of *Sophora alopecuroides*  
不同大写字母表示同一器官不同季节间差异显著;不同小写字母表示同一季节不同器官间差异显著 ( $P < 0.05$ )

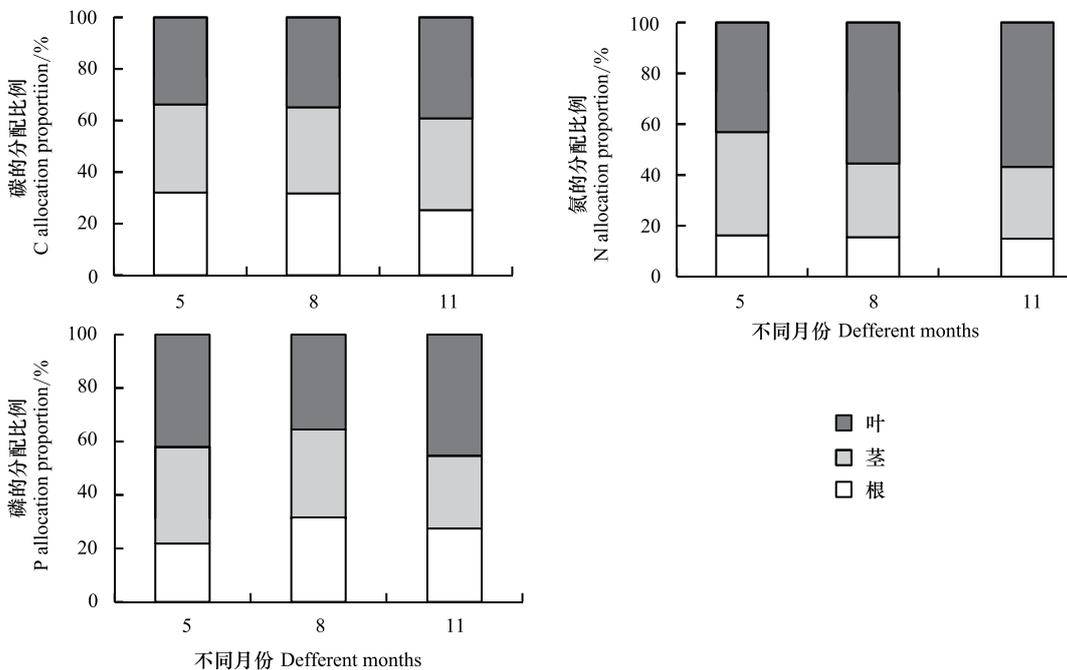


图 3 苦豆子根茎叶 C、N、P 分配特征

Fig.3 C,N and P distribution characteristics of each organ of *Sophora alopecuroides*

### 2.3 苦豆子植物根系中的碳、氮、磷随不同深度的变化规律

分析结果显示,苦豆子根系中的全碳、全氮及其全磷含量的变化范围分别为 260.80—552.08、3.14—16.34 mg/g 和 0.37—2.08 mg/g,平均值分别为 374.76、7.16 mg/g 和 1.24 mg/g。根是营养元素的吸收和转运器官,在伊犁河谷苦豆子植物的根系较为发达,在生长季初期根中的氮和磷含量较高,在生长季旺期和生长季末期有明显的降低,两个时期之间的差异较小,因为该时期生长减缓根中的氮磷元素量基本趋于一个稳定值。不同深度的根碳、氮、磷含量变化也有一定的规律性(图 4)。随着深度的变化,也显现出递减的趋势。

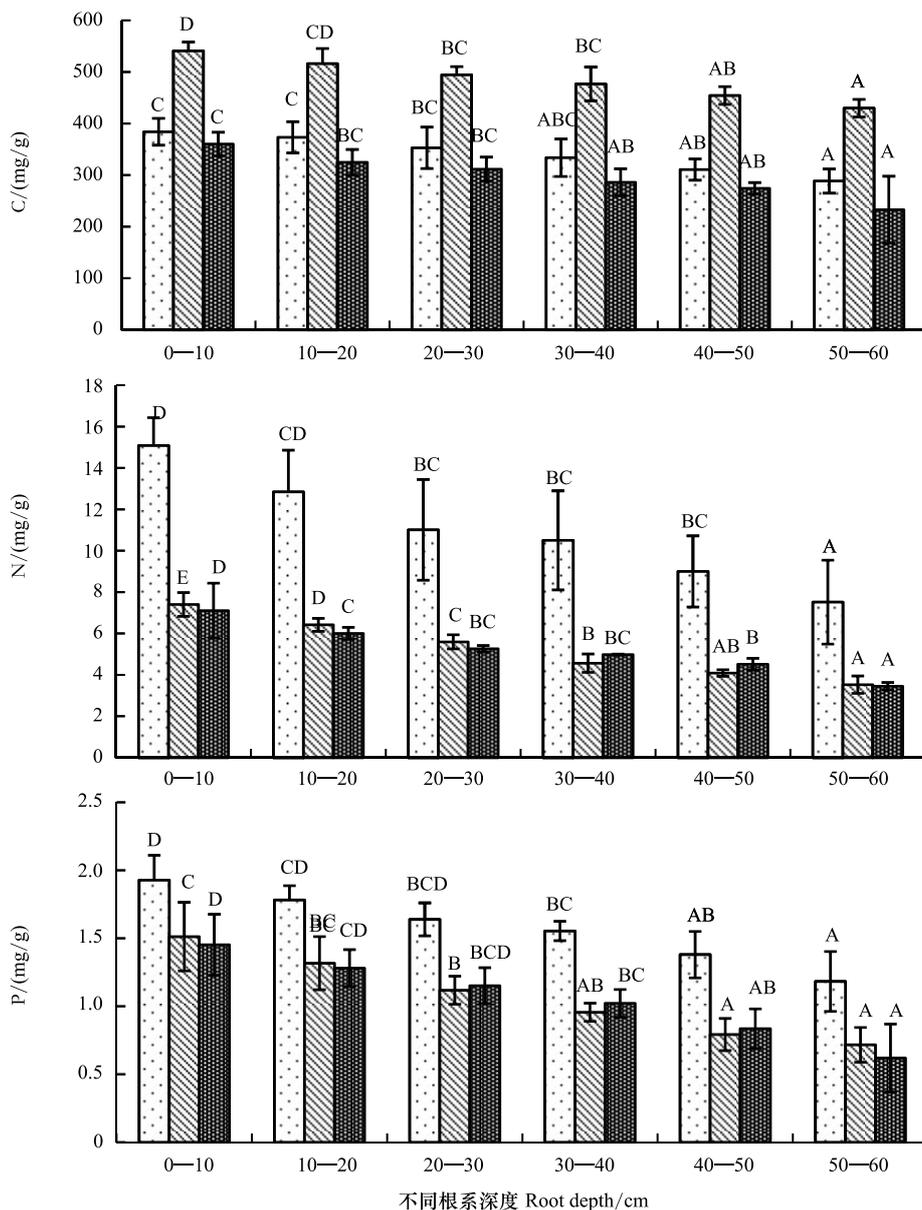


图 4 苦豆子不同深度根系碳、氮、磷含量的季节动态

Fig.4 Seasonal dynamics of carbon, nitrogen, phosphorus at different depth in root system of *Sophora alopecuroides*

不同大写字母表示同一深度不同季节间差异显著

不同深度的植物根系所能吸收的元素含量不同。观察结果显示,0—10 cm 的根系较为发达,C、N、P 含量在整个生长季达到峰值,随着深度的增加含量也呈现出递减的趋势,在深度 50—60 cm 时各含量为最低,根系非常稀疏,土壤中的含量也非常低。在整个生长季内,根系中各元素的含量在生长初期达到最大值,生长末期为最小值。在 5 月,伊犁河谷内的降水量增加,温度适宜,过渡的放牧使优良牧草减少草场退化,但这给苦豆

子植物提供了生长条件和生长空间,使其大肆蔓延,所以根系中的各元素在生长初期达到了最大值。

### 3 讨论与结论

伊犁河谷的苦豆子 C、N、P 含量相对较低。C 含量变化约为 353.95—509.81 mg/g, 低于全球 492 种陆生植物的碳含量<sup>[23]</sup>; P 含量为 1.61 mg/g, 也低于全球 P 含量水平(1.99 mg/g)。N 含量(15.17 mg/g), 与全球植物 N 含量相比也明显较低。苦豆子根、茎和叶 C:N:P 的质量比分别为 375:7:1、269:10:1、226:11:1, 均都小于全球平均水平。

碳元素是植物生长过程中必不可少的能量元素, 一般不会限制植物的生长, 氮磷元素是蛋白质和各种遗传物质的重要组成部分, 也是植物体内最容易缺少的元素。植物各器官对 C、N、P 元素的吸收和转化的途径不相同, 导致各元素含量在各器官中的分配不同<sup>[24]</sup>。生长季旺期温度升高, 伊犁河谷草原降水量增加, 形成优越的自然条件, 为苦豆子的大量生长蔓延提供了条件, 植物所创造的有机碳含量迅速增加。植物的光合作用增强, 叶可以直接获取能源, 叶片中含有大量的叶绿素是光和产物的主要器官, 在此期间叶片的新陈代谢和生产活动最为迅速, 植物体内的生物量增加, 碳的含量增多。而在植物的根系中由于细胞膨胀的速度过快, 其他器官的氮磷元素减少<sup>[25-26]</sup>。因此, 苦豆子植物茎在转化运输叶片所固定的碳时自身的含量也达到峰值。在生长季的末期植物叶片凋零腐烂回归土壤中, 此时, 根的吸收能力增强, 因此, 苦豆子植物碳、氮、磷元素增加达到整个生长季的最大值。

苦豆子碳元素在生长旺季较高, 而氮和磷的含量较低, 到生长末期碳元素降低而氮和磷元素含量升高。根、茎、叶中的 C:P 及 C:N 在生长旺季较高, 而到了生长末期 N、P 增加 C 含量降低, 这表明苦豆子采取防御性的生活史策略<sup>[27]</sup>来增强自身的适应性。苦豆子植物生长初期根中的 C:N、C:P 显著高于茎和叶, 这表明在生长初期苦豆子的根部对 N 和 P 有较高的利用率, 苦豆子主要以根系和种子繁殖为主, 在苦豆子的生长初期, 苦豆子对 N 和 P 较高的利用率可能是苦豆子入侵性强的主要原因之一。在养分贫瘠的环境中, 苦豆子靠较高的 N、P 养分利用策略, 在生长初期快速繁殖, 占据生长空间, 来适应贫瘠的土壤环境。苦豆子生态化学计量特征的季节变化与牛得草等的研究结果相似<sup>[28]</sup>。伊犁河谷草原苦豆子通过根系和种子进行繁殖蔓延, 目前, 已经成为托乎拉苏草原退化草场的优势物种, 导致草原质量和经济生产力下降。深入研究苦豆子根系碳、氮、磷元素的季节变化, 对揭示苦豆子植物在生长过程中地下器官的生长蔓延过程具有重要意义。

### 参考文献(References):

- [ 1 ] 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 王维奇, 王纯. 生态化学计量学特征及其应用研究进展. 生态学报, 2013, 33(18): 5484-5492.
- [ 2 ] 宋彦涛, 周道玮, 李强, 王平, 黄迎新. 松嫩草地 80 种草本植物叶片氮磷化学计量特征. 植物生态学报, 2012, 36(3): 222-230.
- [ 3 ] 郭颖, 李军, 张亚亚, 牛颖权, 周雯雯, 王艺涵. 我国陆地生态系统土壤·植物生态化学计量学研究进展. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 1-6.
- [ 4 ] 姚红艳, 陈琴, 肖冰雪. 植物生态化学计量学综述. 草业与畜牧, 2013(2): 48-50.
- [ 5 ] 郑艳明, 尧波, 吴琴, 胡斌华, 胡启武. 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征. 生态学报, 2013, 33(20): 6488-6496.
- [ 6 ] 李红林, 贡璐, 洪毅. 克里雅绿洲旱生芦苇根茎叶 C、N、P 化学计量特征的季节变化. 生态学报, 2016, 36(20): 6547-6555.
- [ 7 ] 张珂, 何明珠, 李新荣, 谭会娟, 高艳红, 李刚, 韩国君, 吴杨杨. 阿拉善荒漠典型植物叶片碳、氮、磷化学计量特征. 生态学报, 2014, 34(22): 6538-6547.
- [ 8 ] 陈婵, 王光军, 朱凡, 赵月, 梁小翠. 枫香人工林凋落物量及其 N、P 化学计量季节动态特征. 湖南师范大学: 自然科学学报, 2016, 39(2): 16-22.
- [ 9 ] 吕笃康, 欧阳艳, 邓燕霞, 刘彬, 赵玉. 伊犁苦豆子地上生物量及生殖分配特性研究. 新疆农业科学, 2011, 48(7): 1333-1338.
- [ 10 ] 刘影, 赵玉, 穆尼热, 李文慧. 伊犁河谷苦豆子植冠种子库特征. 生态学杂志, 2017, 36(4): 910-915.
- [ 11 ] 郝伟亮, 孟根达来, 解红霞. 苦豆子的化学成分及药理作用研究进展. 中国药房, 2016, 27(13): 1848-1850.
- [ 12 ] 赵慧巧, 景明, 卢年华, 陈正君, 张艳霞. 基于药效学与毒理学结合的湿生扁蕾与苦豆子配伍比例的优选. 中药材, 2016, 39(3): 656-658.
- [ 13 ] 刘影, 赵玉, 崔东, 冷家明, 董芳慧. 子叶损伤对苦豆子幼苗早期生长的影响. 草业学报, 2017, 26(8): 139-145.

- [14] 王进, 王桔红, 张勇, 马昭远, 颜霞. 苦豆子和披针叶黄华种子萌发和幼苗生长对干旱胁迫的响应. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 872-877.
- [15] 王进, 吕彪, 肖占文, 闫吉治, 张有富. 苦豆子和披针叶黄华种子特性及硬实破除研究. 农业工程学报, 2010, 26(S1): 406-410.
- [16] 曹有龙, 李晓莺, 罗青, 贝盏临. 苦豆子的组织培养及植株再生的研究. 广西植物, 2010, 30(1): 102-105.
- [17] 辛任升, 刘宇, 张超, 梁剑平. 复方苦豆子灌注液总生物碱含量测定方法的建立. 动物医学进展, 2014, 35(12): 89-92.
- [18] 王进, 王泽基, 陈叶, 张勇, 罗光宏. 苦豆子种子发芽特性研究. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 202-206.
- [19] 王进, 张勇, 陈叶, 罗光宏, 颜霞. 苦豆子种子形态特性及发芽条件研究. 草地学报, 2007, 15(5): 486-490.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 贺合亮, 阳小成, 李丹丹, 尹春英, 黎云祥, 周国英, 张林, 刘庆. 青藏高原东部窄叶鲜卑花碳、氮、磷化学计量特征. 植物生态学报, 2017, 41(1): 126-135.
- [22] 吴统贵, 吴明, 刘丽, 萧江华. 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, 2010, 34(1): 23-28.
- [23] Baldwin D S, Rees G N, Mitchell A M, Watson G, Williams J. The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial community structure in sediment from a freshwater wetland. *Wetlands*, 2006, 26(2): 455-464.
- [24] 柯立, 杨佳, 余鑫, 李鹏, 徐小牛. 北亚热带常绿阔叶林三优势树种叶水平碳氮磷化学计量及季节变化特征. 土壤通报, 2014, 45(5): 1170-1174.
- [25] 胥超, 林开森, 刘小飞, 熊德成, 陈仕东, 林伟盛, 林成芳. 不同林龄米楮更新林叶和枝碳氮磷含量及其化学计量特征. 亚热带资源与环境学报, 2016, 11(2): 32-38.
- [26] 刘万德, 苏建荣, 李帅锋, 郎学东, 张志钧, 黄小波. 云南普洱季风常绿阔叶林优势物种不同生长阶段叶片碳、氮、磷化学计量特征. 植物生态学报, 2015, 39(1): 52-62.
- [27] 林小涛, 梁海含, 梁华, 许忠能. 澳门路氹湿地芦苇氮磷含量的季节变化. 生态学杂志, 2007, 26(1): 5-8.
- [28] 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. 草业科学, 2011, 28(6): 915-920.