

伊犁草原白喉乌头根和叶生态化学计量特征

黄菊英^{1,2}, 崔东^{1,2*}, 刘淑琪^{1,2}, 吕立琴^{1,2}, 刘璇^{1,2}, 武玉鑫^{1,2}

(1. 伊犁师范大学资源与环境学院, 新疆 伊宁 835000; 2. 伊犁师范大学资源与生态研究所, 新疆 伊宁 835000)

摘要:【目的】以伊犁草原分布的白喉乌头(*Aconitum leucostomum*)为对象, 分析白喉乌头入侵前后的碳氮比(C:N)、氮磷比(N:P)和碳磷比(C:P)的化学计量比, 并明确白喉乌头根和叶中C、N和P元素的化学计量特征在不同月份的变化及其关联性。【方法】测定白喉乌头在不同月份和不同器官C、N和P含量及化学计量比的变化, 以及白喉乌头入侵前后土壤C:N、N:P和C:P的化学计量特征变化, 并分析之间的相关关系。【结果】土壤C:N、N:P和C:P的平均值在入侵土分别为22.947、4.067、91.211; 在未入侵土分别为23.029、4.071、92.345。可见, 未入侵土的C:N、N:P和C:P均高于入侵土($P>0.05$)。白喉乌头根的C、N、P含量的范围分别为248.08~337.26、10.20~13.56、1.35~1.86 g/kg, 而叶片碳、氮、磷含量分别为320.23~446.29、19.20~36.74、0.95~3.32 g/kg。C、N和P元素在不同月份和不同器官中的分配也存在一定的差异, 而且其含量均表现出叶>根, 体现出植物从地上至地下的养分含量呈下降的趋势。由相关性分析可知, 白喉乌头根C、N、P与叶的C、N、P呈现正相关的关系, 植物养分从体内进行传输, 白喉乌头的根和叶对C、N、P的表现出一致性, 为白喉乌头的稳定生长提供有利条件。根作为植物吸收养分和水分的重要器官, 将所吸收的养分从地下部分运输到地上部分进而实现植物的正常生长发育, 白喉乌头根的C:N和C:P与叶的C:P和N:P呈显著的正相关关系($P<0.05$), 而N和P与C:N、N:P和C:P呈负相关关系, 从而表现出根和叶在养分利用方面的协同变化, 同时也说明N和P元素在白喉乌头生长阶段发挥着重要的作用。【结论】与未入侵的土壤相比较, 入侵土壤铵态氮、有效磷和速效钾明显增加, 说明入侵植物可能会造成土壤养分的变化。

关键词: 白喉乌头; 根; 叶; 季节; 化学计量

中图分类号: S812.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)04-0027-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2023.04.004



生态化学计量学是诠释生态相互作用过程中多种元素平衡的一门学科, 结合了生物学、化学和物理学等基本原理解, 可以反映营养元素在生态系统过程中的耦合关系^[1-2]。碳(C)、氮(N)、磷(P)作为植物生长必需的基本营养元素和生长限制元素, 不仅是植物各

种生理生化过程的底物和能量来源, 也是各种蛋白质和遗传物质的重要组成元素^[3-5]。每个植物的C、N、P的组成及分配是相互联系、不可分割的一个整体, 但是植物对营养元素的分配在不同器官间并不一致^[6-7], 而且植物的生态化学计量特征在不同生境^[8]、不同季节^[9-10]、不同入侵程度^[11]间均表现出差异性。因此, 探究白喉乌头(*Aconitum leucostomum*)不同器官碳、氮、磷等元素含量及其生态化学计量比的规律有助于了解该植物与土壤间的协同权衡策略及其环境适应性。

白喉乌头为毛茛科(Ranunculaceae)乌头属(*Aconitum*)多年生草本植物^[12], 主要分布于新疆、甘肃西北

收稿日期: 2022-07-08; 修回日期: 2022-09-06

基金项目: 伊犁师范大学提升学科综合实力专项自然科学重点项目(22XKZZ01); 第三次新疆综合科学考察(2022xjkk20220405)

作者简介: 黄菊英(1997-), 女, 新疆吐鲁番人, 硕士研究生。E-mail: 837854559@qq.com

*通信作者。E-mail: cuidongw@126.com

部。由于该植物自身抗逆性和繁殖力强,且各类家畜不食,使其迅速蔓延,已成为危害新疆天然草地的主要毒害植物之一^[13-14]。白喉乌头在伊犁草原的大量繁殖且与优良牧草构成竞争关系,导致草地生产能力和品质的大幅下降,伴随着草地大面积退化,致使天然草地生态环境进一步恶化^[15]。而目前,对白喉乌头的研究主要围绕化学成分、化感作用^[16-17]、种群动态^[18-20]及药用价值等方面。关于白喉乌头根和叶生态化学计量特征的研究尚未见报道。本文以伊犁草原分布的白喉乌头为对象,研究不同月份白喉乌头根和叶C、N、P元素及其化学计量比的变化规律,分析白喉乌头根和叶之间的相关性分析,揭示白喉乌头不同季节养分的利用状况,为研究白喉乌头蔓延机制提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆伊犁哈萨克自治州巩留县库尔

德宁镇境内的西天山国家级自然保护区,地理坐标为N 43°03',E 82°51',海拔为1 839 m,属温带大陆性半湿润气候,夏季凉爽,冬季温和,多年气温为5~7℃,年均降水量700 mm。土壤(0~15 cm):有机质198.55 g/kg、全氮8.76 g/kg、全磷2.16 g/kg、全钾19.29 g/kg、硝态氮16.73 mg/kg、铵态氮14.97 mg/kg、有效磷19.25 mg/kg、速效钾240.18 mg/kg、pH 6.4,而不同月份的白喉乌头土壤理化指标如表1所示。研究区植被种类丰富,植被主要以针叶林、乔木、灌木林和高山草甸为主,其中优势物种主要包括高羊茅(*Festuca elata*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、野葱(*Allium chrysanthum*)、针茅(*Stipa capillata*)和羊茅(*F. ovina*)等,植被覆盖度高达67.7%。白喉乌头在伊犁草原的分布具有一定的地域性,其繁殖速度快,对畜牧业影响很大。白喉乌头作为伊犁地区最为严重的毒害草之一,分布面积已经达到1 192.47 km²,占总毒草害面积的63.27%^[21]。

表1 不同月份白喉乌头土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of *A. leucostomum* in different month

月	有机质 OM (g·kg ⁻¹)	全氮 TN/ (g·kg ⁻¹)	全磷 TP/ (g·kg ⁻¹)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷 AP/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 AK/ (mg·kg ⁻¹)	pH值
05	164.22	7.63	2.01	14.72	19.38	280.49	6.77
07	260.45	8.71	2.36	17.94	25.35	223.21	6.10
09	170.97	9.94	2.12	12.25	13.01	216.83	6.32

1.2 研究方法

在研究区选择长势一致的区域,于2021年5月、7月、9月分别选择3个1 m×1 m广泛分布白喉乌头和未分布白喉乌头的样地,每个样地采集3株植物,并带回实验室将一个样地中所采集的3株植物的根和叶烘干并编号混合分装;同时对每一株植物的土壤进行0~5、5~10和10~15 cm的分层,样品编号后,在阴暗通风的实验室自然风干、去杂磨细,过1 mm和0.3 mm筛后备用。全碳含量采用重铬酸钾容量外加热法测定,全氮含量采用高氯酸硫酸消化法测定,全磷含量采用高氯酸硫酸溶—钼锑抗比色法测定,全钾含量采用高氯酸硫酸溶—原子吸收法、硝态氮、铵态氮含量采用0.01 mol/L氯化钙浸提法、有效磷含量采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法,速效钾含量采用乙酸铵

浸提—原子吸收法^[22]。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2010和SPSS 25.0对白喉乌头不同月份的根和叶C、N、P含量及其化学计量比进行单因素方差分析和相关性分析,最后用Origin 2021作图。

2 结果与分析

2.1 白喉乌头入侵土壤与未入侵土壤的生态化学计量比特征

白喉乌头入侵后,土壤中C:N的最大值出现在10~15 cm的土层,而土壤中的N:P随着土壤的深度增加呈现下降的趋势,其最大值在土壤表层0~5 cm处。土壤C:P在10~15 cm处出现最大值,而最小值

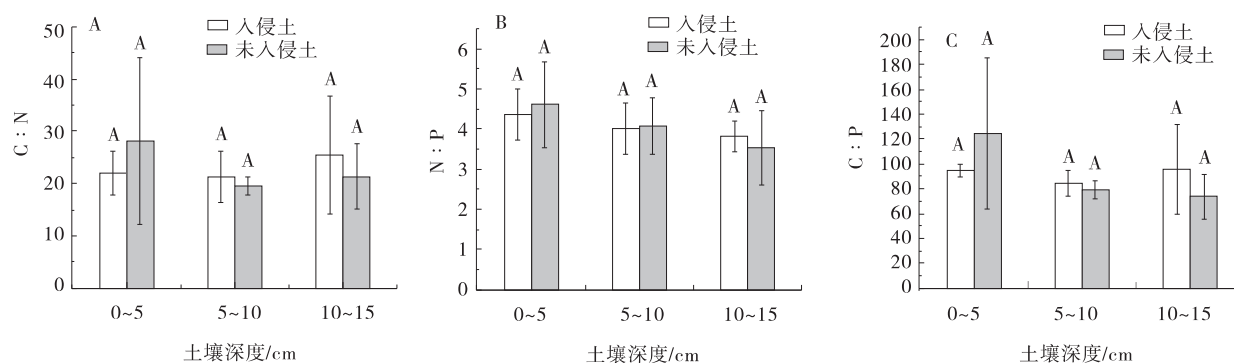


图1 工白喉乌头入侵土壤和对照土壤的C:N、N:P和C:P在不同土壤深度的分布

Fig. 1 Distribution of C:N, N:P and C:P in different soil depths of invaded soil and control soil of *A. leucostomum*

出现在5~10 cm处。在未入侵的对照土壤中,土壤N:P和C:P均随着土层的加深而下降,其最大值均出现在0~5 cm处,而土壤C:N的最大值虽然也出现在土壤表层,但是其最小值出现在5~10 cm处。入侵土壤和未入侵土壤的C:N、N:P和C:P的平均值分别为22.947、4.067、91.211(入侵土)(图1);23.029、4.071、92.345(未入侵土)。可以看出,未入侵的土壤的C:N、N:P和C:P均高于入侵土。

2.2 白喉乌头根和叶C、N、P含量及其生态化学计量比特征

白喉乌头在不同月份根与叶之间表现出明显的差异性(图2)。根的C含量在7月显著高于5月($P < 0.05$),而叶的C含量在5月表现出最大值,并且显著高于9月($P < 0.05$),随着月份的变化,叶的C含量呈逐渐递减的趋势;在不同生长阶段,根与叶的C含量均存在显著差异($P < 0.05$)。根的N含量和P含量在7月表现出最小值,且均与5月和9月相比有显著差异($P < 0.05$)。在3个不同月份根和叶的N含量均表现出明显的差异($P < 0.05$)。白喉乌头叶片中的N含量和P含量在9月均出现最大值,且均与5月和7月相比有显著差异($P < 0.05$)。在整个生长阶段,根与叶之间的C、N、P和C:N均存在显著差异($P < 0.05$),且C含量与N含量均表现为叶>根。白喉乌头7月和9月的根和叶之间的N:P均存在明显差异($P < 0.05$),而在5月根和叶之间的N:P无显著差异,在不同月份的生长阶段根的N:P没有差异,但是7月叶的N:P与5月和9月存在显著差异($P < 0.05$)。根和叶片的C:P均在7月呈现最大值,并且仅在7月根与叶之间表现出明显的差异($P < 0.05$)。

白喉乌头根和叶C、N、P含量的分配比例如图3

所示,白喉乌头叶的C含量分配比例在3个月份中相差不大,分别为59.97%、54.62%和57.5%。不同生长阶段的根的N含量随着季节的变化逐渐降低,分别为33.74%、33.82%和28.81%,而叶片中N含量的分配比例则呈现先减少后增加的趋势,从5月的66.26%增加到9月的71.19%。与5月相比,根中P含量分配比例在7月增加至58.76%,而在9月又降低到46.75%。与根不同,叶的P含量呈现先降低后增加的趋势,从5月的62.44%降低到7月的41.24%,而在9月又增加到53.25%。

2.3 白喉乌头根与叶的C、N、P含量及化学计量比的相关性

白喉乌头根和叶的C与N含量呈负相关关系,根与叶的N含量与P含量呈正相关,且在根中表现为极显著的正相关关系($P < 0.05$)。根和叶C与C:N呈正相关关系,根C与N:P、C:P呈正相关关系,而叶与N:P、C:P呈负相关关系。无论根还是叶,N和P与C:N、N:P、C:P均呈负相关关系,而且与C:N和C:P表现出极显著的相关性($P < 0.01$)。白喉乌头根与叶中的C与C、N与N、P与P、C:N与C:N、C:P与C:P、N:P与N:P均呈正相关关系。根C与叶N、P呈负相关关系,其余均呈正相关关系;根的N和叶的P、N:P和C:P表现出极显著的相关性($P < 0.01$);根的N、P与叶的N、P呈显著正相关关系($P < 0.05$),其余呈负相关关系。根的C:N和C:P与叶的N:P表现出显著的正相关关系($P < 0.05$),与C:P表现出极显著的相关性关系($P < 0.01$)(表2,表3)。

入侵土壤C与根N和P呈显著的负相关关系($P < 0.05$),与C:P呈显著的正相关关系($P < 0.05$);入侵土壤P与根N和P呈显著的负相关关系($P < 0.05$),而

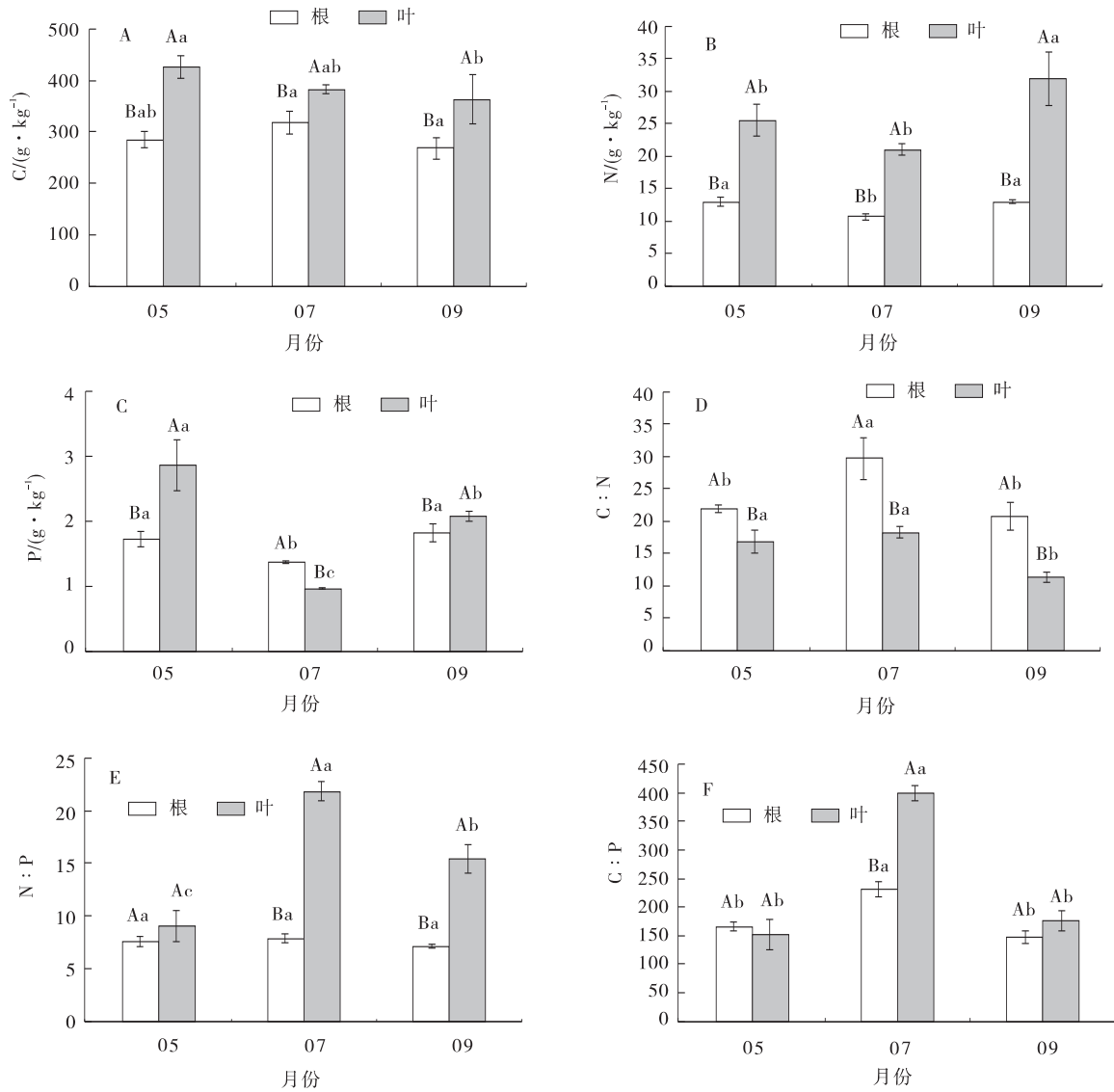


图2 白喉乌头根和叶生态化学计量及其生态化学计量比的月份变化

Fig. 2 Month variation of eco stoichiometry and eco stoichiometric ratio of roots and leaves of *A. leucostomum*

注:不同大写字母表示同一季节不同器官间差异显著($P < 0.05$);不同小写字母代表同一器官不同季节间差异显著($P < 0.05$)

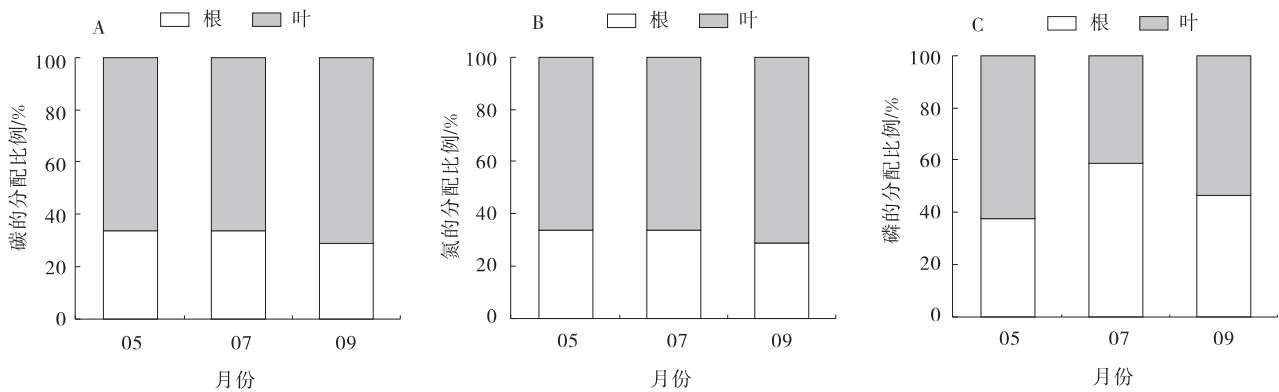


图3 白喉乌头根和叶C、N、P分配特征

Fig. 3 Carbon, nitrogen and phosphorus distribution characteristics of roots and leaves of *A. leucostomum*

与根C:N和C:P呈显著的正相关关系($P < 0.05$)。入侵土壤C与叶P呈极显著的负相关关系($P < 0.01$),与

叶N:P和C:P呈极显著的正相关关系($P < 0.01$);入侵土壤N与叶C呈显著的负相关关系($P < 0.05$);入侵土

壤 P 与叶 P 呈极显著的负相关关系 ($P < 0.01$), 与 N:P 和 C:P 呈极显著的正相关关系 ($P < 0.01$) (表 4)。

表 2 白喉乌头根和叶 C、N、P 化学计量的相关性

Table 2 Correlation of stoichiometry of C、N、P, and P in rats and leaves of *A. leucostomum*

指标		N	P	C:N	N:P	C:P
C	根	-0.720*	-0.667*	0.922**	0.261	0.880**
	叶	-0.037	0.380	0.461	-0.375	-0.131
N	根	—	0.886**	-0.928**	-0.297	-0.907**
	叶	—	0.453	-0.893**	-0.290	-0.646
P	根	—	—	-0.834**	-0.703*	-0.938**
	叶	—	—	-0.307	-0.965**	-0.929**

表 3 白喉乌头根与叶的化学计量比的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of stoichiometric ratio of roots and leaves in *A. leucostomum*

指标	根					
	C	N	P	C:N	N:P	C:P
C	0.165	0.089	0.030	0.006	0.067	0.016
N	-0.610	0.610	0.724*	-0.664	-0.549	-0.741*
P	-0.503	0.878**	0.727*	-0.750*	-0.184	-0.728*
C:N	0.693*	-0.560	-0.648	0.664	0.471	0.717*
N:P	0.485	-0.833**	-0.714*	0.711*	0.230	0.706*
C:P	0.702*	-0.939**	-0.897**	0.881**	0.434	0.911**

表 4 白喉乌头根和叶 C、N、P 含量及其化学计量比与土壤 C、N、P 含量的相关性

Table 4 Correlation of C、N and P content in root and levels of *A. leucostomum* and their stoichiometric ratios with C、N and P content of soil

指标	根					
	C	N	P	C:N	N:P	C:P
C	0.375	-0.786*	-0.835**	0.613	0.559	0.714*
N	-0.390	-0.020	0.193	-0.170	-0.415	-0.252
P	0.599	-0.814**	-0.719*	0.777*	0.255	0.768*
指标	叶					
	C	N	P	C:N	N:P	C:P
C	-0.199	-0.578	-0.822**	0.445	0.806**	0.862**
N	-0.741*	0.340	-0.386	-0.597	0.370	0.052
P	-0.266	-0.551	-0.929**	0.444	0.883**	0.923**

3 讨论

3.1 白喉乌头叶片-根-土壤 C、N、P 含量的变化特征

白喉乌头 C 含量为 248.08~446.29 g/kg, 低于全

球陆地植物的平均水平: 450~500 g/kg^[23], 可以看出 C 的储存含量比较低, N 含量为 19.189 g/kg, 明显低于我国平均水平 (20.2±8.4) g/kg 和全球平均水平 (20.6±12.2) g/kg^[24]。P 含量为 1.8 g/kg, 低于全球

P含量的平均水平(1.99 ± 1.49)g/kg)^[25],由此可以看出该地区白喉乌头C、N、P元素的含量较低。有研究表明,植物养分的含量取决于土壤养分供应含量^[26],而我国大部分地区的土壤养分含量是低于全球平均水平,因此判断白喉乌头养分偏低可能与土壤养分含量较低有一定的关系。本研究发现,白喉乌头入侵后,土壤全碳、全氮和全磷含量并没有发生显著的变化,但是铵态氮、有效磷和速效钾含量显著增加,本研究结果与马筱的研究结果一致^[27]。

根和叶在白喉乌头生长过程中发挥着不同的作用,根是吸收养分和水分的重要器官,而叶片是植物进行光合作用的重要器官,C、N、P三种元素的含量均表现出叶>根。

3.2 白喉乌头不同器官化学计量比的变化特征

本研究中白喉乌头土壤C:N的均值为18.64,处于全球土壤C:N的范围(9.9~29.8)内,高于全国土壤的平均水平^[28],处于相对稳定的状态。由此说明,伊犁草原土壤中C、N的供应与吸收是相对均衡的,而且也表现出良好的C、N循环。土壤中的C:P的范围为74.12~136.9,全国陆地水平为61^[29]。土壤中的N:P的平均值在4.4,显著低于全球平均水平13.1和全国陆地水平5.2^[30],表明白喉乌头的入侵土壤和对照土壤均受N元素的影响比较严重。

白喉乌头C、N、P含量及化学计量比在每个生长阶段都存在一定的差异,这些差异可以反映出植物在其月份中对土壤养分的吸收状况^[31],而营养元素的占比与植物本身的生长条件和季节变化有一定关系^[32-33]。不同生长阶段各器官中元素的含量和分布比例对植物的生长发育起着重要作用。叶片作为植物同化和代谢的重要器官,在植物生长过程中会分配更多氮元素在叶片中,进而加强植物进行光合作用的能力和合成更多的蛋白质^[34]。叶片的C、N、P元素的含量在3个月份中的含量显著高于根,其对N、P元素也表现出较强的吸收作用^[35]。白喉乌头在生长初期根中的C:N、C:P显著高于叶,表明根部对N和P具有较高的利用率,这可能是白喉乌头繁殖能力强的原因之一。在5-7月,随着温度的升高,光合作用不断增强,白喉乌头在生长旺盛期间N和P元素呈现下降的趋势,这与牛得草等的结论一致^[36]。

白喉乌头C:N和C:P的季节变化规律与N、P相

反,表现出白喉乌头N、P含量对C:N与C:P的主导作用,并且有研究发现当N:P<14时,植物会受到N元素的限制;当N:P>16时,植物会受到P的限制;当 $14 < N:P < 16$ 时,植物表现出受N和P两种元素的共同限制^[37]。而我国草地N:P平均水平为15.3^[38],本研究中白喉乌头N:P介于6.97~8.16,低于我国平均水平,白喉乌头的生长表现出受到N元素限制极为严重。白喉乌头根和叶N:P随着季节的变化呈现出先增高而后降低的趋势,说明白喉乌头生长受N限制的情况随着季节的变化而有所缓解。这可能与该地区土壤P含量充裕有关,故白喉乌头没有表现出P的限制。

3.3 白喉乌头根与叶的C、N、P含量及化学计量比的相关性

白喉乌头根和叶C、N、P元素之间的相关性分析表明,根N与P含量、叶N与P含量均呈正相关关系。这是由于叶在进行光合作用时需要大量的N和P元素来促进植物的生长并完成蛋白质的合成。根和叶N和P元素与C:N、C:P呈显著负相关($P < 0.05$),说明白喉乌头各器官对营养元素的吸收与养分的供应情况有一定的相关性。白喉乌头的根和叶在与同一元素的相关性分析中均表现出正相关关系,反映出根和叶吸收养分及元素变化的一致性,为白喉乌头的稳定生长提供了有利条件。白喉乌头根和叶C:N、C:P、N:P比值均呈正相关的关系,而N和P元素与它们的化学计量比呈负相关关系。这解释了白喉乌头在生长发育阶段,根和叶对养分利用的协同性^[37]。白喉乌头根和叶N、P含量之间的相关性表现出显著的正相关关系,说明白喉乌头在生长过程中可能会出现根N或P的缺失对叶N、P吸收有影响的现象。本研究中白喉乌头叶的N和P含量高于根,与王晓洁等^[38]的研究结果一致。

C、N、P是植物生长所必需的化学元素,但是在白喉乌头中这3种元素的含量比较低,而且其生长表现出受到N元素限制极为严重,不过随着季节的变化受N影响有所缓解。植物的生长发育离不开土壤养分的供应,而且植物在不同生长阶段对营养元素的需求也不尽相同。白喉乌头根和叶的N和P含量表现出显著的正相关关系,说明根和叶的N和P具有协同性。叶片是植物进行光合作用合成有机物的重要器官,在3

个月份元素含量均表现出叶高于根,主要是因为根部作为距离土壤最近的植物器官,其主要作用是运输养分和水分,并搭建起与其他器官紧密联系的桥梁。今后也可以从不同季节、不同生境和不同退化程度等角度出发深入探讨白喉乌头各器官的生态化学计量及其与土壤之间的关系,为恢复退化草原提供理论依据。

4 结论

随着白喉乌头的不断生长,C、N和P元素在不同月份和不同器官中的分配和需求也存在一定的差异。相比较于未入侵的土壤,入侵土壤铵态氮、有效磷和速效钾明显增加,说明入侵植物可能会造成土壤养分的变化。白喉乌头作为伊犁河谷退化草地的杀手,严重影响草地的质量和经济的发展。本研究在一定程度上揭示了白喉乌头对养分的利用状况及不同器官C、N和P含量在不同月份的变化,对于揭示白喉乌头的生长过程和蔓延机制具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 贺金生,韩兴国.生态化学计量学:探索从个体到生态系统的统一化理论[J].植物生态学报,2010,34(1):2-6.
- [2] 曾德慧,陈广生.生态化学计量学:复杂生命系统奥秘的探索[J].植物生态学报,2005,29(6):1007-1019.
- [3] 杨惠敏,王冬梅.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[J].草业学报,2011,20(2):244-252.
- [4] 赵亚芳,徐福利,王渭玲.华北落叶松人工林碳氮磷生态化学计量学特征研究展望[J].北方园艺,2014(17):197-203.
- [5] ELSER J J, BRACKEN M E S, CLELAND E E, *et al.* Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems[J]. Ecology Letters, 2007, 10(12): 1135-1142.
- [6] 叶子豪,吴伟峰,彭健健,等.天目铁木和多脉铁木不同器官氮磷钾生态化学计量特征[J].浙江农林大学学报,2021,38(2):426-432.
- [7] 张剑,齐璇璇,刘冬,等.干旱区湿地芦苇各器官生态化学计量对土壤因子的响应[J].生态学杂志,2021,40(3):701-711.
- [8] 杨霞,崔东,赵阳,等.伊犁河谷不同生境苦豆子根系生态化学计量特征及其与土壤理化因子的关系[J].生态学杂志,2021,40(5):1305-1312.
- [9] 封焕英,杜满义,辛学兵,等.华北石质山地侧柏人工林C、N、P生态化学计量特征的季节变化[J].生态学报,2019,39(5):1572-1582.
- [10] 崔东,陈亚宁,李卫红,等.伊犁河谷苦豆子C、N、P含量变化及化学计量特征[J].生态学报,2018,38(17):6163-6170.
- [11] 王桔红,许泽璇,陈文,等.不同入侵程度喜旱莲子草化学计量特征及其与共存种银花苋的比较[J].草业学报,2021,30(2):115-123.
- [12] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志(27卷)[M].北京:科学出版社,1979:117.
- [13] 李宏,陈卫民,陈翔,等.新疆伊犁草原毒害草种类及其发生与危害[J].草业科学,2010,27(11):171-173.
- [14] 安沙舟,李宏,李学贤,等.新疆伊犁河谷天然草地毒害草种类分布及防治对策[J].新疆农业科学,2010,47(3):540-542.
- [15] 方玉平,常静,马龙.新源县防除草原白喉乌头毒害草的措施和成效[J].农家参谋,2021(4):189-190.
- [16] 徐彩芹,安沙舟,何君.白喉乌头水浸提液对禾本科牧草种子萌发的化感作用[J].草业科学,2012,29(2):263-266.
- [17] 韩彩霞,彭瑞娟,邵凤姣.草原毒害草白喉乌头的化感作用[J].杂草科学,2015,33(1):10-13.
- [18] 王卫,张鲜花,安沙舟,等.新疆伊犁天然草地的白喉乌头种群分布格局[J].草业科学,2014,31(3):484-487.
- [19] 张鲜花,安沙舟,王显瑞,等.白喉乌头种群空间分布格局初步研究[J].草地学报,2012,20(3):428-433.
- [20] 王显瑞,安沙舟,张鲜花,等.白喉乌头种群生长动态初步研究[J].草业科学,2010,27(6):32-37.
- [21] 吕绍伦,赵阳,卢吉瑞,等.伊犁州毒害草空间分布特征及防治[J].农村经济与科技,2022,33(3):24-27.
- [22] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [23] ELSER J J, FAGAN W F, DENNO R F, *et al.* Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. Nature, 2000, 408(6812): 578-580.
- [24] HAN W X, FANG J Y, GUO D L, *et al.* Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. New Phytologist, 2005, 168(2): 377-385.
- [25] REICH P B, OLEKSYN J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. PNAS,

- 2004, 101(30):11001-11006.
- [26] 任书杰,于贵瑞,陶波,等. 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[J]. 环境科学, 2007, 28(12):2665-2673.
- [27] 马筱,王桔红,罗娅婷,等. 不同入侵程度紫茎泽兰碳氮磷生态化学计量特征研究[J]. 广西植物, 2022, 42(12):2064-2074.
- [28] 魏曦,梁文俊,赵伟文,等. 关帝山华北落叶松林土壤生态化学计量特征[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2020, 40(4):89-96.
- [29] 李梦天,秦燕燕,曹建军,等. 青藏高原草地管理方式对土壤化学计量特征的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(8):2262-2268.
- [30] 吴昊,邹梦茹,王思芊,等. 秦岭松栎林土壤生态化学计量特征及其对海拔梯度的响应[J]. 生态环境学报, 2019, 28(12):2323-2331.
- [31] 吴家森,蒋仲龙,吕爱华,等. 不同年龄杨梅各器官氮、磷、钾化学计量特征[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(3):447-453.
- [32] 青焯,孙飞达,李勇,等. 若尔盖高寒退化湿地土壤碳氮磷比及相关性分析[J]. 草业学报, 2015, 24(3):38-47.
- [33] BALDWIN D S, REES G N, MITCHELL A M, *et al.* The short-term effects of salinization on anaerobic nutrient cycling and microbial community structure in sediment from a freshwater wetland [J]. *Wetlands*, 2006, 26(2):455-464.
- [34] 张珂,何明珠,李新荣,等. 阿拉善荒漠典型植物叶片碳、氮、磷化学计量特征[J]. 生态学报, 2014, 34(22):6538-6547.
- [35] 皮发剑,舒利贤,喻理飞,等. 黔中喀斯特10种优势树种根茎叶化学计量特征及其关联性[J]. 生态环境学报, 2017, 26(4):628-634.
- [36] 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.
- [37] KOERSELMAN W, MEULEMAN A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6):1441-1450.
- [38] 王晓洁,肖迪,张凯,等. 凉水天然阔叶红松林植物叶片与细根的N:P化学计量特征[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12):3283-3288.

Ecological stoichiometry characteristics of roots and leaves of *Aconitum leucostomum* in Yili grassland

HUANG Ju-ying^{1,2}, CUI Dong^{1,2*}, LIU Shu-qi^{1,2}, LYU Li-qin^{1,2}, LIU Xuan^{1,2},
WU Yu-xin^{1,2}

(1. College of Resource & Environmental Sciences, Yili Normal University, Key Laboratory of Pollutant Chemistry and Environmental Treatment, Yining 835000, China; 2. Institute of Resource and Ecology of Yili Normal University, Yining 835000, China)

Abstract:【Objective】 Taking *Aconitum leucostomum* distributed in Yili grassland as the object, the stoichiometric ratios of C:N, N:P and C:P before and after the invasion of *A. leucostomum* were analyzed. The changes and correlations of the stoichiometric characteristics of C, N and P elements in roots and leaves of *A. leucostomum* in different months were also Investigated. 【Method】 Mainly measure the characteristic changes of C, N and P content and stoichiometric ratio in different months and organs of *A. leucostomum*, as well as changes in soil C:N, N:P and C:P stoichiometric characteristics before and after the invasion *A. leucostomum*, and analyze the correlation between them.

【Result】 The results showed that the average values of soil C:N, N:P and C:P were 22.947, 4.067 and 91.211 respectively in the invaded soil; 23.029, 4.071 and 92.345 in non-invaded soil respectively. It was found that the C:N, N:P and C:P of non-invaded soil were higher than those of invaded soil ($P>0.05$). The contents of C, N and P in roots of *A. leucostomum* ranged from 248.08~337.26 g/kg, 10.20~13.56 g/kg, and 1.35 to 1.86 g/kg, respectively, while the contents of C, N and P in leaves were 320.23~446.29 g/kg, 19.20~36.74 g/kg, and 0.95~3.32 g/kg, respectively. The distribution of C, N and P varied in different months and different organs, and the N and P in the leaf were higher than those in the root. The results suggested that the nutrient content of plants decreased from above ground to underground. According to the correlation analysis, the root C, N and P of *A. leucostomum* had a positive correlation with the leaf C, N and P. Plant nutrients were transported from the body. The root and leaf of *A. leucostomum* had the same C, N and P, which provides favorable conditions for the stable growth of *A. leucostomum*. As an important organ for plants to absorb nutrients and water, the root transports the absorbed nutrients from the underground part to the aboveground part so as to achieve the normal growth and development of plants. C:N and C:P of the root of *A. leucostomum* were significantly positively correlated with C:P and N:P of the leaf ($P<0.05$), while N and P were negatively correlated with C:N, N:P and C:P, thus showing the synergistic changes of the root and leaf in nutrient utilization. The results also suggested that N and P elements may play an important role in the growth stage of *A. leucostomum*. 【Conclusion】 Compared with the non-invaded soil, the ammonium nitrogen, available phosphorus and available potassium in the invaded soil increased significantly, indicating that the invasive plants may cause changes in soil nutrients.

Key words: *Aconitum leucostomum*; root; leaves; season; ecological stoichiometry