

群落演替对呼伦贝尔草地两种优势植物 繁殖分配及生态化学计量的影响

金晓明^{1*} 于良斌^{1,2} 张颖琪^{1,3} 王秋红¹

(¹呼伦贝尔学院生命科学学院, 内蒙古呼伦贝尔 021008; ²中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010000; ³东北师范大学环境学院, 长春 130024)

摘要 为了探究草地群落演替过程中不同优势种的生理生态适应性, 本研究采用空间代替时间序列的方法, 分析呼伦贝尔草地米氏冰草群落—米氏冰草+冰草群落—冰草群落演替系列的土壤养分、两优势种的生物量及 C、N 和 P 含量。结果表明: 随着米氏冰草群落—米氏冰草+冰草群落—冰草群落的演替, 土壤全碳、全氮、速效氮及速效磷含量均显著升高; 米氏冰草和冰草叶、茎和根的 N、P 含量及 N/P 均显著升高, 而各构件的 C/N 降低; 米氏冰草叶的 C 含量及冰草叶、茎和根的 C 含量均显著升高。米氏冰草叶 C/P 及冰草根和叶 C/P 均显著升高, 而米氏冰草根和茎 C/P 及冰草茎 C/P 均显著下降。在米氏冰草+冰草共优势种群落中, 米氏冰草通过降低茎和根 C 含量, 增加叶 C 的积累, 提高其种间竞争力, 而冰草通过降低根冠比和生殖比来适应环境变化。米氏冰草在不同群落中均受 N 限制 ($N/P < 14$); 而冰草在单优势种群落中受 P 限制 ($N/P > 16$), 在共优势种群落中受 N 和 P 限制 ($14 < N/P < 16$)。在单优势种群落和共优势种群落中, 米氏冰草叶 N 化学计量内稳性指数分别为 5.92 和 2.94, 具有较高的氮内稳性, 冰草叶 P 化学计量内稳性指数分别为 4.12 和 3.37, 具有较高的磷内稳性。

关键词 群落演替; 优势种; 繁殖分配; 内稳性

Effects of community succession on plant reproductive allocation and ecological stoichiometry for two dominant species in the Hulunbuir Grassland, China. JIN Xiao-ming^{1*}, YU Liang-bin^{1,2}, ZHANG Ying-qi^{1,3}, WANG Qiu-hong¹ (¹*School of Life Science, Hulunbuir University, Hulunbuir 021008*; ²*Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010*; ³*School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024*).

Abstract: To explore the physiological and ecological adaptability of different dominant species during grassland community succession, we measured soil nutrients, plant biomass and C, N and P contents of two dominant species using the method of spatial sequences instead of chronosequences in the successive series of *Agropyron michnoi* community – *A. michnoi* + *A. cristatam* community – *A. cristatam* community in Hulunbuir Grassland. During the succession progress, the contents of soil total C, total C, available N and available P increased significantly. The N and P contents and N/P of leaves, stems and roots of *A. michnoi* and *A. cristatam* increased significantly, while the C/N showed opposite response. The leaf C content of *A. michnoi* and the C contents of leaves, stems and roots of *A. cristatam* significantly increased. The leaf C/P of *A. michnoi* and the C/P of leaves and roots of *A. cristatam* increased significantly, while the C/P of stems and roots of *A. michnoi* and the stem C/P of *A. cristatam* decreased significantly. In the community co-dominated by *A. michnoi* and *A. cristatam*, *A. michnoi* improved its interspecific competitiveness by reducing C content in stems and roots and increasing the C content in leaves, while *A. cristatam* adapted to environmental changes by reducing root to shoot ratio and reproductive ratio. *A. michnoi* was limited by N availability ($N/P < 14$) in different communities, while *A. cristatam* was limited by P availability in single dominant community ($N/P > 16$) and by both N and P in co-dominant community ($14 < N/P < 16$). The

本文由国家自然科学基金项目 (31560657) 和内蒙古自然科学基金项目 (2018MS03079) 资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31560657) and the National Natural Science Foundation of Inner Mongolia (2018MS03079).

2019-12-02 Received, 2020-01-10 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nmgjinxm@163.com

index of stoichiometric homeostasis of foliar N of *A. michnoi* in the single dominant community and the co-dominant community were 5.92 and 2.94, respectively, indicating higher N stability, while the index of stoichiometric homeostasis plant of foliar P of *A. cristatem* in the single dominant community and the co-dominant community were 4.12 and 3.37, respectively, which indicated higher P stability.

Key words: community succession; dominant species; reproductive allocation; homeostasis.

近几十年来,随着全球气候变化及人类的不合理利用,草地生态系统的结构特征发生了一系列的变化,能量流动、物质循环和信息传递的功能降低,导致不同程度的退化和沙化,发生群落逆行演替^[1-2]。草地群落演替是诸多生态过程和因子协同变化的结果,群落中优势种的更替标志着群落演替的发生^[3]。

生态化学计量学是研究生态系统能量和多种化学元素平衡的科学,是元素平衡与生态因子交互作用有机结合的一种综合方法,有助于理解生态系统的动态及其过程^[4-5]。碳(C)、氮(N)、磷(P)作为生物体最基本的3种元素,在生物体的活动中起着重要作用^[6]。在一些生态系统中,氮和磷元素对植物的生长经常起到限制作用,影响植物光合速率、生态系统生产力及功能^[7-9]。植物的氮磷水平受植物功能群、生长阶段及生境等生物和非生物因素的影响^[10]。草地群落优势种的更替过程使土壤养分也发生不同程度的变化,从而影响植物群落的生态化学计量特征^[11]。化学计量内稳性是生态化学计量学的核心内容,是生物有机体在环境养分组成发生变化的条件下仍保持自身元素组成相对稳定的能力^[4,12],反映了生物有机体对环境变化的生理和生化的适应^[12]。生态化学计量内稳性概念被提出后,研究的对象涉及细菌、真菌、藻类、浮游动物和草本植物等。Sterner等^[4]凭借大量的研究证实,提出了生态化学计量内稳性模型 $Y = CX^{1/H}$ 。其中, H 为内稳性指数, Y 为生物体的元素浓度, X 为环境的元素浓度, C 为常数。该模型可以很好地模拟植物体内元素含量及比值对环境变化的响应程度,为生态化学内稳性的研究提供了新思路。

研究植物对环境的适应是当今植物生态学领域的研究热点之一。目前草地群落演替的研究主要集中在物种组成、群落结构、多样性及土壤理化性质等方面^[13],而对草地群落演替过程中不同优势种的繁殖适应性及生态化学计量调节策略的研究还较少。本研究以欧亚大陆草原东缘呼伦贝尔草地生态系统中米氏冰草—冰草群落演替系列的冰草属两优势种为研究对象,研究群落优势种更替过程中,土壤养

分、植物构件生物量分配、生态化学计量特征及内稳性的变化,对退化草地植被的科学管理提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区呼伦贝尔市陈巴尔虎旗和鄂温克旗境内,地理坐标为 $47^{\circ}32'—50^{\circ}12' N$, $118^{\circ}22'—121^{\circ}09' E$,海拔588.4~620.0 m。该区属于温带大陆性气候,年均温 $-1.5\sim 2.2^{\circ}C$,年降水量250~330 mm,70%降水集中于夏秋季,年蒸发量1300 mm。土壤类型有沙土、沙壤土和壤土。

1.2 试验设计

基于植被演替规律,选择3个群落类型,即群落演替的3个阶段,分别为:1)米氏冰草(*Agropyron michnoi*)单优势种群落(S_A),地理位置为 $49^{\circ}45'40'' N$, $118^{\circ}27'41'' E$ 。主要伴生种有羊草(*Leymus chinensis*)、羽茅(*Achnatherum sibiricum*)、大针茅(*Stipa grandis*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、麻花头(*Serratula chinensis*)。土壤类型为沙土。2)米氏冰草+冰草(*Agropyron cristatem*)共优势种群落($M_{(A+C)}$),地理位置为 $49^{\circ}18'14'' N$, $119^{\circ}01'38'' E$ 。主要伴生种有黄蒿、猪毛菜、羊草、寸草苔、冷蒿(*Artemisia frigida*)、射干鸢尾(*Belamcanda chinensis*)、蓬子菜(*Galium verum*)、野韭(*Allium ramosum*)、落草(*Koeleria cristata*)、瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)。土壤类型为沙壤土。3)冰草单优势种群落(S_C),地理位置为 $48^{\circ}57'35'' N$, $119^{\circ}48'21'' E$ 。主要伴生种有黄蒿、冷蒿、麻花头、羊草、落草、寸草苔、羽茅、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)、沙参(*Adeinophora stricta*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)。土壤类型为壤土。其中,冰草和米氏冰草均为禾本科冰草属植物,米氏冰草具有地下横走根茎,冰草为须根系植物。

1.3 测定项目与方法

2018年7月30日至8月1日,在米氏冰草单优势种群落、米氏冰草+冰草共优势种群落及冰草单

优势种群落分别随机选取 21 个样方,每个样方面积为 25 cm×25 cm,深度为 20 cm,垂直挖出完整的土柱,将土壤与植物分离,并使植物地上部分与地下部分保持连接状态,将其中每 7 个样方的植物与植物、土壤与土壤合并,作为 1 个重复,共 3 个重复。同时将土壤充分混合,采用四分法保留其中 1 份。将植物先在 105 ℃ 下杀青 2 h,60 ℃ 下烘干 48 h,将植物粉碎后,测定植物各构件 C、N 和 P 含量。土样晾干后装在透气的布袋内待测。

植物碳、氮、磷含量采用重铬酸钾容量法、凯氏定氮法、钼锑抗比色法测定。土壤碳(C)含量的测定采用重铬酸钾容量法-稀释热法,土壤速效氮(AN)含量的测定采用碱解扩散法,土壤全氮(TN)含量的测定采用半微量开氏法,土壤速效磷(AP)含量的测定采用 0.5 mol·L⁻¹ 碳酸氢钠法。

总生物量=地上生物量(叶和茎)+地下生物量(根)

根冠比=根系生物量/地上茎叶生物量
生殖比=有性分株生物量/总分株生物量
生态化学计量内稳性指数(*H*)的计算公式为:
 $Y = CX^{1/H}$

式中: *Y* 为植物叶片的 N(或 P)浓度; *X* 为土壤环境的 N(或 P)浓度; *C* 为常数。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 23.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan 法进行方差分析和多重比较(α=0.05)。利用 SPSS 23.0 软件作图。图表中数据为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 研究区土壤养分特征

由表1可以看出,在米氏冰草群落、米氏冰草+

表 1 不同草地群落土壤养分特征
Table 1 Soil nutrient characteristics in different grassland communities

群落 Community	全碳 Total C (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	速效氮 Available N (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)
S _A	17.80±0.60c	0.18±0.01c	5.96±0.01c	11.73±0.03c
M _(A+C)	22.41±0.72b	1.93±0.01b	18.24±0.01b	13.40±0.10b
S _C	26.20±0.81a	2.43±0.01a	25.13±0.01a	26.60±0.27a

S_A: 米氏冰草单优势种群落 Single dominant species community of *Agropyron michnoi*; M_(A+C): 米氏冰草和冰草共优势种群落 Co-dominant species community of *A. michnoi* and *A. cristatem*; S_C: 冰草单优势种群落 Single dominant species community of *A. cristatem*. 同列不同字母表示差异显著(*P*<0.05) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

冰草群落、冰草群落的演替过程中,土壤全碳、全氮、速效氮、速效磷含量显著升高。这表明米氏冰草适应于土壤养分较低的沙土或沙壤土生境,而冰草则适应于养分偏高的壤土或沙壤土生境。

2.2 植物繁殖分配特征

如图 1 所示,随着米氏冰草群落—冰草群落演替进程,米氏冰草(As、Am)总生物量和生殖比无显著变化,而根冠比则显著降低。冰草(Cm、Cs)的总生物量、根冠比和生殖比均显著升高。在群落演替过程中,米氏冰草的总生物量和根冠比均显著高于冰草,冰草的生殖比均显著高于米氏冰草。

2.3 植物各构件生态化学计量

由图 2 可以看出,随着米氏冰草群落—冰草群落演替进程,米氏冰草和冰草根、茎和叶的 C、N 和 P 含量均发生了显著变化。在植物 C 含量上,除了米氏冰草茎和根的 C 含量降低以外,米氏冰草叶和冰草根、茎和叶的 C 含量均呈升高趋势。共优势种群落中,冰草的 C 含量均显著高于米氏冰草。在植物 N 含量上,米氏冰草叶和冰草根、茎和叶的 N 含量均呈升高趋势。共优势种群落中,冰草叶的 N 含

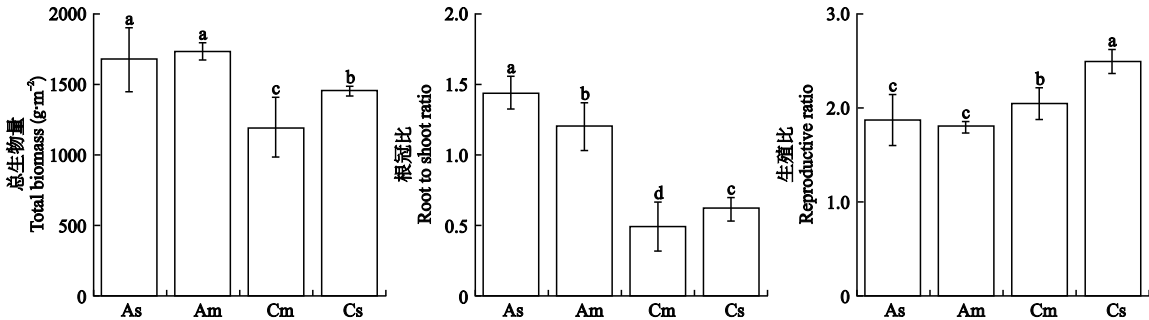


图 1 不同群落两优势种的繁殖分配
Fig.1 Reproductive allocation of two dominant species in different communities.
As: 单优势种群落的米氏冰草 *Agropyron michnoi* in single dominant community; Am: 共优势种群落的米氏冰草 *A. michnoi* in codominant community; Cm: 共优势种群落的冰草 *A. cristatem* in co-dominant community; Cs: 单优势种群落的冰草 *A. cristatem* in single dominant community. 不同小写字母表示物种间差异显著(*P*<0.05) Different lowercase letters indicated significant difference between species at 0.05 level. 下同 The same below.

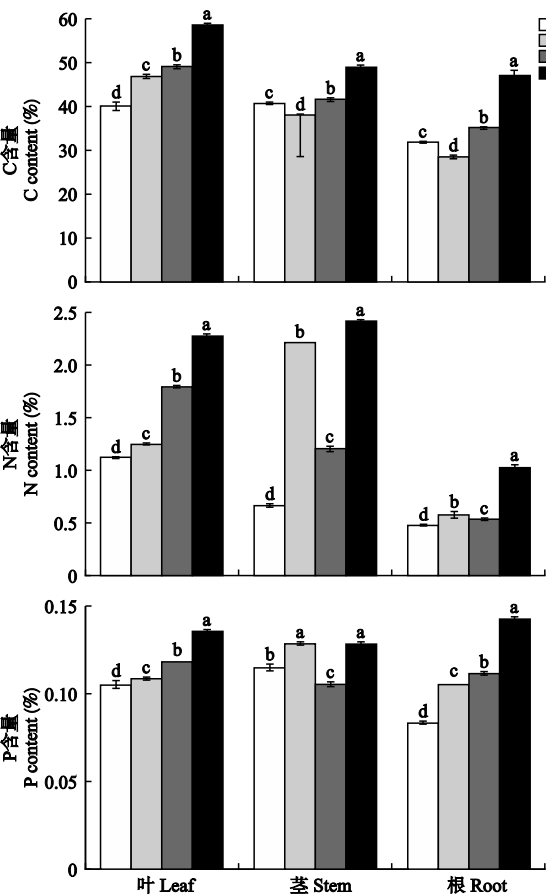


图2 不同群落优势种植物各构件的C、N、P含量
Fig.2 C, N and P contents of modules of two dominant species in different communities.

量显著高于米氏冰草,而米氏冰草茎和根的N含量显著高于冰草。在植物P含量上,米氏冰草叶和冰草根、茎和叶的P含量均呈升高趋势。共优势种群落中,米氏冰草茎的P含量显著高于冰草,而冰草叶和根的P含量显著高于米氏冰草。说明随着米氏冰草群落—冰草群落演替进程,米氏冰草和冰草能有效调节根、茎和叶的养分含量,以适应环境的变化,且在共优势种群落中,米氏冰草和冰草各构件的养分利用策略有所不同。

2.4 植物各构件的C/N、C/P和N/P比较

如图3所示,随着米氏冰草群落—冰草群落演替进程,米氏冰草和冰草根、茎和叶的C/N、N/P和C/P均发生了显著变化。植物的C/N上,除了米氏冰草叶的C/N增加以外,米氏冰草根和茎及冰草根、茎和叶的C/N均呈降低趋势。共优势种群落中,米氏冰草叶的C/N显著高于冰草,而冰草茎和根的C/N显著高于米氏冰草。植物N/P上,除了米氏冰草根的N/P无显著变化以外,米氏冰草茎和叶及冰草根、茎和叶的N/P均呈增加趋势,且单优势

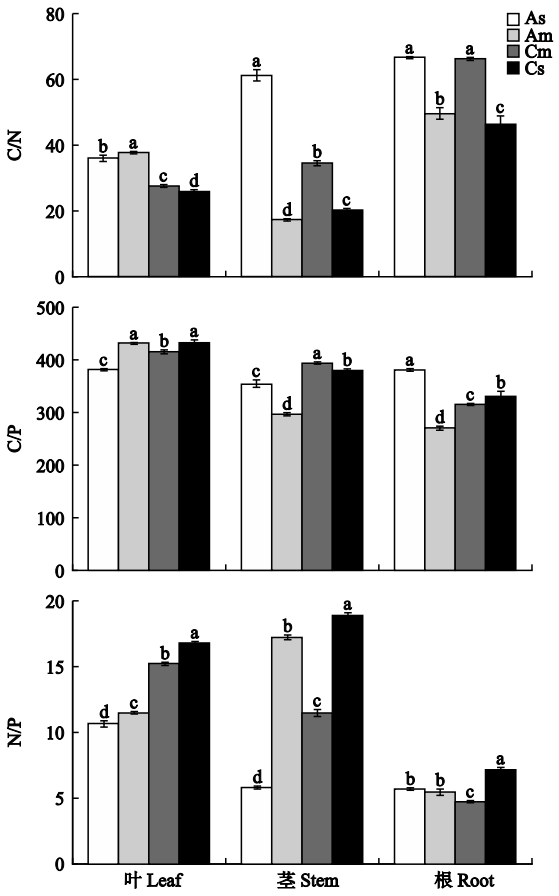


图3 不同群落优势种植物各构件的C/N、C/P和N/P
Fig.3 C/N, C/P and N/P of modules of two dominant species in different communities.

种群落的冰草各构件N/P均高于其他群落的冰草和米氏冰草。共优势种群落中,冰草叶N/P显著高于米氏冰草,而米氏冰草茎和根N/P均显著高于冰草。植物C/P上,米氏冰草和冰草叶及冰草根的C/P均呈显著增加趋势,而其他构件的C/P呈降低趋势。共优势种群落中,米氏冰草叶的C/P显著高于冰草,而冰草茎和根的C/P显著高于米氏冰草。

2.5 植物叶片N、P化学计量内稳性

如图4所示,在不同草地群落中,米氏冰草和冰草叶片N和P含量均表现出一定的化学计量内稳性特征,且不同群落之间存在显著差异。单优势种群落和共优势种群落的米氏冰草的叶N化学计量内稳性指数(H_N)分别为5.92和2.94,共优势种群落和单优势种群落的冰草 H_N 分别为1.99和1.10。这表明随着米氏冰草群落—冰草群落演替进程,两优势种植物叶 H_N 均呈降低趋势,而在共优势种群落中米氏冰草叶的 H_N 高于冰草。单优势种群落和共优势种群落米氏冰草的叶P化学计量内稳性指数(H_P)分别为0.95和1.78,共优势种群落和单优势种

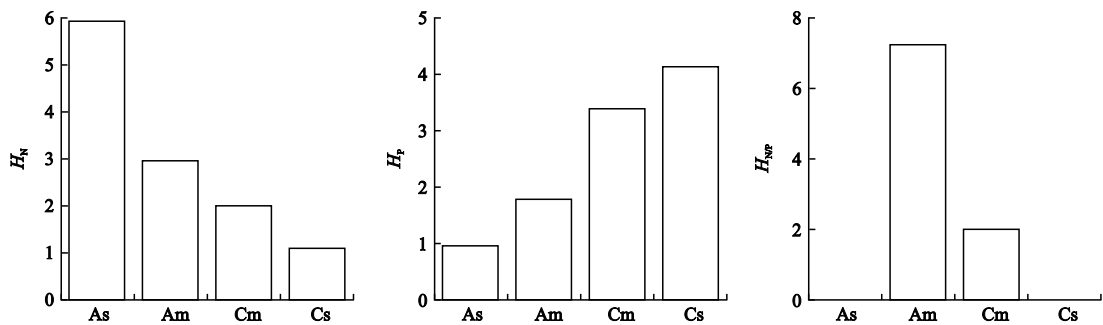


图 4 不同群落两优势种叶片 N、P 化学计量内稳性指数

Fig.4 Index of stoichiometric homeostasis of leaf N and P for two dominant species on different communities.

H_N : 叶 N 化学计量内稳性指数 Index of stoichiometric homeostasis of plant leaf N; H_P : 叶 P 化学计量内稳性指数 Index of stoichiometric homeostasis of plant leaf P; $H_{N/P}$: 叶 N/P 化学计量内稳性指数 Index of stoichiometric homeostasis of plant leaf N/P.

群落冰草的 H_P 分别为 3.37 和 4.12。这表明随着米氏冰草群落—冰草群落演替进程,米氏冰草和冰草叶 H_P 均呈升高趋势,而在共优势种群落中米氏冰草叶 H_P 低于冰草。共优势种群落的米氏冰草和冰草的叶 N/P 化学计量内稳性指数($H_{N/P}$)分别为 7.20 和 1.98,表明两优势种只在共优势种群落中表现出一定的 N/P 内稳性特征,而在各自的单优势种群落中无内稳性特征。

3 讨 论

3.1 草地群落演替过程中土壤养分变化

群落演替过程除了表现为不同演替阶段优势种的竞争及更迭过程,还伴随着土壤理化性状的变化,并将土壤养分增加的演替系列称为进展演替^[14]。本研究中,米氏冰草群落—米氏冰草+冰草群落—冰草群落更替过程为群落进展演替过程,土壤 TC、TN、AP 及 AN 均呈显著增加趋势,也是从沙地到草地的过程。这与孙卫国等^[15]对内蒙古典型草原放牧退化过程中土壤化学计量变化的结果相反。植被类型、区域分布及植被演替阶段等多种因素都会对土壤化学计量及其比值产生一定的影响^[4]。生态系统土壤 C、N 养分的循环受土壤 C/N 变化的影响,通常 C/N 值越高,其土壤中有机的矿化速度越慢^[16]。本研究中,不同群落土壤 C/N 的排序为:冰草单优势种群落>米氏冰草+冰草共优势种群落>米氏冰草单优势种群落。这表明随着米氏冰草群落—冰草群落的进展演替,土壤有机质矿化速度呈升高趋势。

3.2 草地群落演替过程中优势种繁殖分配特征

繁殖分配是指植物在繁殖过程中分配到繁殖器官的生物量占总生物量的比例^[17]。植物的繁殖分配与演替状态的关系取决于研究的层次,同时也和

研究对象有关。苏智先等^[18]对不同演替状态下 50 龄四川大头茶个体的繁殖分配的研究表明,繁殖分配随进展演替阶段而降低。MacArther 等^[19]提出“资源分配原则”,认为自然选择使每种生物中的资源分配达到最佳程度。通常,在土壤养分贫瘠条件下,植物将更多的生物量分配到根系,以促进土壤养分的吸收,而土壤养分充足条件下,植物将更多的生物量分配到地上茎叶部分,以增强光照资源的竞争力^[20]。本研究中,米氏冰草群落—米氏冰草+冰草群落—冰草群落群落过程,米氏冰草总生物量和生殖比均无显著差异,而根冠比则显著降低,冰草的总生物量、根冠比和生殖比均显著升高。在该演替系列上,米氏冰草的总生物量和根冠比均显著高于冰草,冰草的生殖比均显著高于米氏冰草。由此表明,随着群落演替进程中土壤养分条件的改善,米氏冰草通过降低根冠比增加地上生物量的分配来增加光合产物的形成,从而提高种间竞争力。而冰草一方面通过增加地下生物量来从土壤中获取更多的养分,另一方面通过增加生殖比来增强有性繁殖,为逃离不利生境或寻找新生境提供机会。在共优势种群落,米氏冰草比冰草占有更优势的地位。

3.3 草地群落演替过程中优势种 C、N 和 P 含量变化

植物化学计量含量及在各个构件间的分配既受土壤养分有效性的制约,也受植物自身生活史、生长型和生理特性的影响,是生物与环境共同作用的结果^[21]。本研究中,随着草地群落进展演替,除了米氏冰草茎和根的 C 含量降低以外,米氏冰草和冰草各构件的 C、N、P 含量均显著增加,且单优势种群落的冰草显著高于其他群落的两优势种。表明随着土壤养分的增加,两优势种地上和地下构件的 N 和 P 含量亦增加,相应的转化为 C 的能力也增加。有研究表明,植物光合作用的强弱决定着物质积累能力

的高低,在一定程度上反映了植物生长的快慢^[22]。米氏冰草降低茎和根 C 积累可能是因为随着土壤养分的增加,种间竞争压力增大;米氏冰草为了在种间竞争中保持一定竞争力,使叶具有较高的 C 积累,以增强光合能力;而冰草各构件 C 含量基本保持同步增加趋势。

Tilman 等^[23]认为,共优势种群落养分利用能力的不同对群落的演替具有很强的控制作用。共优势种群落中,米氏冰草根和茎的 N 含量显著高于冰草,而冰草叶的 N 含量显著高于米氏冰草;米氏冰草茎的 P 含量显著高于冰草,而冰草叶和根的 P 含量显著高于米氏冰草。表明米氏冰草的根具有较强的 N 获取能力,而冰草的根则具有较强的根 P 获取能力。另外,从土壤中获取 N 和 P 养分后,冰草将其输送到叶部,增强光合产物的形成,而米氏冰草将更多的养分储存在茎部。这可能与米氏冰草和冰草分别长期适应于 N 及 P 贫瘠的环境有关。因此,米氏冰草地下养分资源竞争优势较强,而冰草地上光合资源竞争优势较强。

3.4 草地群落演替过程中优势种 N、P 养分受限与内稳性的关系

Koerselman 等^[24]通过对欧洲湿地大量植物的研究提出,常规陆生高等植物 N/P 的下限和上限为 14 和 16。本研究中,单优势种群落和共优势种群落米氏冰草叶的 N/P 均 <14 ,即受 N 限制。而冰草在单优势种群落的 N/P >16 ,受 P 限制,在共优势种群落其值为 $14<N/P<16$,受 N 和 P 限制。由于米氏冰草长期适应于养分贫瘠的沙质化草地,主要受 N 限制,当土壤养分增加时,米氏冰草仍保持较强的 N 获取能力,除了供应叶片相对稳定的 N 之外,把更多的 N 贮存在茎部。而冰草长期适应于养分条件相对较好的草地,主要受 P 限制,当土壤养分降低时,仍保持较强的 P 获取能力,并将更多的 P 供给叶的同时贮存在根部。

植物的内稳性不仅随元素种类的不同而各有差异,而且还与环境因素有关^[25]。不同环境中植物内稳性的差异体现了植物的生理和生化适应性,因此,植物内稳性可以作为衡量物种竞争力的重要指标^[4,9]。N 和 P 作为草地生态系统中最重要两个限制性元素,在植物的生长、发育、群落物种组成以及生态系统的结构和功能等方面具有重要作用^[26]。Yu 等^[9,27]对内蒙古羊草草原和美国堪萨斯州东北部草原的研究发现,在植物物种水平上,生态化学计量内稳性(H)与物种优势度及其稳定性呈正相关。

Persson 等^[28]提出,H 值的高低反映植被内稳性的强弱程度,H 的界定可分为 4 种类型,即 $H>4$ 为稳态型、 $2<H<4$ 为弱稳态型、 $4/3<H<2$ 为弱敏感型,以及 $H<4/3$ 为敏感型。本研究中,单优势种群落米氏冰草的叶 N 化学计量内稳性指数(H_N)为 5.92,单优势种群落冰草的叶 P 化学计量内稳性指数(H_P)为 4.12,均为稳态型。共优势种群落的米氏冰草的 H_N 和冰草 H_P 分别为 2.94 和 3.37,均为弱稳态型。单优势种群落和共优势种群落中米氏冰草 H_P 和冰草 H_N 分别为 0.95、1.78 和 1.10、1.99,均为弱敏感型。由此表明,草地异质生境群落内,米氏冰草在受氮限制的沙地成为优势种,可能与其具有较高的氮元素内稳性有关;而冰草在受磷限制的草地成为优势种,可能与其具有较高的 P 内稳性有关。不同植物的内稳性的变化趋势受其生长策略的影响^[12,29]。由于不同植物在生长过程中对限制性养分改变的敏感程度不同,导致其生态化学内稳性变化程度也有一定的差异^[30]。本研究中,米氏冰草和冰草从各自单优势种群落到共优势种群落过程中内稳性均降低,且在叶 N 化学计量内稳性指数和叶 P 化学计量内稳性指数上存在差异。这可能与不同物种生长策略发生变化有关。

参考文献

- [1] 徐彩琳,李自珍.干旱荒漠区人工植物群落演替模式及其生态学机制研究.应用生态学报,2003,14(9): 1451-1456 [Xu C-L, Li Z-Z. Succession pattern of artificial vegetation community and its ecological mechanism in an arid desert region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1451-1456]
- [2] 邹扬庆,张锐,罗红霞,等.重庆中梁山石漠化植被恢复区植被群落演替研究.西南大学学报:自然科学版,2015,37(12): 47-52 [Zou Y-Q, Zhang R, Luo H-X, et al. A study of vegetation community succession in the rocky desertification vegetation recovery area in the Zhongliang Mountains of Chongqing. *Journal of Southwest University: Natural Science*, 2015, 37(12): 47-52]
- [3] Martínez ML, Vázquez G, Sánchez Colón S. Spatial and temporal variability during primary succession on tropical coastal sand dunes. *Journal of Vegetation Science*, 2001, 12: 361-372
- [4] Sterner RW, Elser JJ. *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2002
- [5] Elser JJ. Biological stoichiometry: A chemical bridge between ecosystem ecology and evolutionary biology. *American Naturalist*, 2006, 168: S25-S35
- [6] Elser JJ. Biological stoichiometry from genes to ecosystems: Ideas, plans, and realities. *Ecology Letters*, 2000, 3: 540-550
- [7] Le Bauer DS, Treseder KK. Nitrogen limitation of net

- primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecology*, 2008, **89**: 371–379
- [8] Reich PB, Oleksyn J, Wright IJ. Leaf phosphorus influences the photosynthesis-nitrogen relation: A cross-biome analysis of 314 species. *Oecologia*, 2009, **160**: 207–212
- [9] Yu Q, Chen QS, Elser J, *et al.* Linking stoichiometric homeostasis with ecosystem structure, functioning and stability. *Ecology Letters*, 2010, **13**: 1390–1399
- [10] Güsewell SN. Pratiots in terrestrial plants: Variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, **164**: 243–260
- [11] Huang PM, Wang SL, Zhou YM, *et al.* Physicochemical and biological interfacial interaction: Impacts on soil ecosystem and biodiversity. *Environmental Earth Sciences*, 2013, **68**: 2199–2209
- [12] Elser JJ, Fagan WF, Kerkhoff AJ, *et al.* Biological stoichiometry of plant production: Metabolism, scaling and ecological response to global change. *New Phytologist*, 2010, **186**: 593–608
- [13] 刘卓艺, 王晓光, 魏海伟, 等. 氮素补给对呼伦贝尔草甸草原退化草地牧草产量和品质的影响. 应用生态学报, 2019, **30**(9): 2992–2998 [Liu Z-Y, Wang X-G, Wei H-W, *et al.* Effects of nitrogen supplementation on forage yield and quality of a degraded grassland in Hulunbuir, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(9): 2992–2998]
- [14] Gerlinde B, De Deyn, Quirk H, *et al.* Vegetation composition promotes carbon and nitrogen storage in model grassland communities of contrasting soil fertility. *Journal of Ecology*, 2009, **97**: 864–875
- [15] 孙卫国, 王艳荣, 赵利清, 等. 在典型草原放牧退化过程中土壤环境质量的变化研究. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2006, **37**(3): 304–307 [Sun W-G, Wang Y-R, Zhao L-Q, *et al.* A study on the change of soil environment character in the process of degradation for typical steppe. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol*, 2006, **37**(3): 304–307]
- [16] Hassink J. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, **26**: 1221–1231
- [17] Douglas DA. The balance between vegetative and sexual reproductions of *Mimulus primuloides* (Scrophulariaceae) at different altitude in California. *Journal of Ecology*, 1981, **69**: 295–310
- [18] 苏智先, 钟章成. 四川大头茶种群生殖生态学研究. II. 种群生物量生殖配置格局研究. 生态学报, 1998, **18**(4): 379–385 [Su Z-X, Zhong Z-C. Studies on the reproductive ecology of *Gordonia acuminata* population. II. The patterns of reproductive allocation on the biomass in the population. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(4): 379–385]
- [19] MacArthur R, Levins R. The limiting similarity, convergence and divergence of coexisting species. *American Naturalist*, 1967, **101**: 337–385
- [20] Ingestad T, Agren GI. The influence of plant nutrition on biomass allocation. *Ecological Applications*, 1991, **1**: 168–174
- [21] Wright IJ, Reich PB, Westoby M, *et al.* The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, **428**: 821–827
- [22] Sharp RE, Poroyko V, Hejlek LG, *et al.* Root growth maintenance during water deficits: Physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany*, 2004, **55**: 2343–2351
- [23] Tilman D, May RM, Lehman CL. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 1994, **371**: 65–66
- [24] Koerselman W, Meuleman AFM. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 1996, **33**: 1411–1450
- [25] Kerkhoff AJ, Fagan WF, Elser JJ, *et al.* Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants. *American Naturalist*, 2006, **168**: 103–122
- [26] 刘旻霞, 王刚. 高山草甸坡向梯度上植物群落与土壤中的 N、P 化学计量学特征. 兰州大学学报: 自然科学版, 2012, **48**(3): 71–75 [Liu M-X, Wang G. N and P stoichiometry of plant and soil on slope direction gradient of sub-alpine meadows. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2012, **48**(3): 70–75]
- [27] Yu Q, Wilcox K, Pierre KL, *et al.* Stoichiometric homeostasis predicts plant species dominance, temporal stability, and responses to global change. *Ecology*, 2015, **96**: 2328–2335
- [28] Persson J, Fink P, Goto A, *et al.* To be or not to be what you eat: Regulation of stoichiometric homeostasis among autotrophs and heterotrophs. *Oikos*, 2010, **119**: 741–751
- [29] Sardans J, Rivas-Ubach A, Peuelas J. The C:N:P stoichiometry of organisms and ecosystems in a changing world: A review and perspectives. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 2012, **14**: 33–47
- [30] Lusk CH, Contreras O, Figueroa J. Growth, biomass allocation and plant nitrogen concentration in Chilean temperate rainforest tree seedlings: Effects of nutrient availability. *Oecologia*, 1997, **109**: 49–58

作者简介 金晓明, 女, 1969 年生, 博士, 教授。主要从事草地生态学研究。E-mail: nmginxm@163.com

责任编辑 孙 菊

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



金晓明, 于良斌, 张颖琪, 等. 群落演替对呼伦贝尔草地两种优势植物繁殖分配及生态化学计量的影响. 应用生态学报, 2020, **31**(3): 787–793

Jin X-M, Yu L-B, Zhang Y-Q, *et al.* Effects of community succession on plant reproductive allocation and ecological stoichiometry for two dominant species in the Hulunbuir Grassland, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(3): 787–793