



赣北山区草地植物群落及其影响因子

赵培栋 张良健 张晓亮 李鸣 张陈洁 王忠

Species diversity and drivers of grassland communities in the mountainous areas of northern Jiangxi Province

ZHAO Peidong, ZHANG Liangjian, ZHANG Xiaoliang, LI Ming, ZHANG Chenjie, WANG Zhong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0028>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

放牧强度对高寒草甸物种多样性和生产力关系的影响

Effects of grazing intensity on the relationship between plant species diversity and primary productivity in an alpine meadow

草业科学. 2024, 41(3): 539 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0996>

封育对不同草地类型植物群落多样性及生态位特征的影响

Effects of enclosure on vegetation diversity and niche characteristics of different grassland types in Xinjiang

草业科学. 2023, 40(5): 1168 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0606>

青海湖流域草地资源评价

Evaluation of grassland resources in the Qinghai Lake basin

草业科学. 2023, 40(9): 2462 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0772>

施肥和围封对青藏高原高寒草甸生产力稳定性的影响

Effects of fertilization and enclosure on the temporal stability of above-ground net primary productivity in an alpine meadow of the Tibetan Plateau

草业科学. 2024, 41(3): 611 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0994>

天山北坡经济带稳定草地净初级生产力时空变化特征及其驱动力

Temporal and spatial variation characteristics and driving forces of stable grassland net primary productivity in the northern slope of Tianshan Mountains economic zone

草业科学. 2023, 40(5): 1154 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0662>

松嫩草甸草原植物群落物种组成和多样性对刈割和长期放牧的响应

Responses of plant communities, species composition, and diversity to mowing and long-term grazing in the Songnen meadow steppe

草业科学. 2024, 41(2): 271 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0771>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0028

赵培栋, 张良键, 张晓亮, 李鸣, 张陈洁, 王忠. 赣北山区草地植物群落及其影响因子. 草业科学, 2024, 41(8): 1845-1856.
ZHAO P D, ZHANG L J, ZHANG X L, LI M, ZHANG C J, WANG Z. Species diversity and drivers of grassland communities in the mountainous areas of northern Jiangxi Province. Pratacultural Science, 2024, 41(8): 1845-1856.

赣北山区草地植物群落及其影响因子

赵培栋¹, 张良键¹, 张晓亮², 李 鸣², 张陈洁², 王 忠^{1,3}

(1. 武汉大学生命科学学院, 湖北 武汉 430072; 2. 南昌工程学院水利与生态工程学院, 江西 南昌 330099;
3. 西藏大学生态环境学院, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 为研究江西省草地资源状况并探讨其影响因素, 在赣北山区鄱阳湖流域设置了 61 个 2 m × 2 m 的草地群落样地, 包含废弃农田、山坡草地和杂草地 3 种样地类型。分析不同类型样地之间物种组成差异, 并在物种和群落水平上分别探究了植物生态化学计量特征及其环境影响因素。结果表明: 1) 赣北山区鄱阳湖流域内草地植物 41 科 93 属 111 种。草地植物群落组成相对简单, 不同生境条件下群落物种组成差异明显。2) 3 种样地的土壤总碳、总氮和总磷含量差异不显著 ($P > 0.05$), 但山坡草地土壤总碳和土壤总氮含量较低, 而废弃农田土壤总磷含量较高。3) 植物物种和群落两个水平上, 3 种样地的植物 N、P 元素含量差异不显著 ($P > 0.05$), 但山坡草地植物碳含量在个体和群落水平都显著高于杂草地, 而废弃农田植物碳含量则在个体水平显著高于杂草地。4) 在物种和群落水平上, 土壤总氮和总磷含量均是植物生态化学计量特征的主要影响因素。综上, 本研究对江西北部草地资源状况的调查, 为该区域草地资源保护及恢复提供了数据支持和理论依据。

关键词: 草地资源; 江西; 鄱阳湖; 生物多样性; 生产力; 生态化学计量学; 群落加权

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)08-1845-12

Species diversity and drivers of grassland communities in the mountainous areas of northern Jiangxi Province

ZHAO Peidong¹, ZHANG Liangjian¹, ZHANG Xiaoliang², LI Ming², ZHANG Chenjie², WANG Zhong^{1,3}

(1. College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China;

2. The school of Hydraulic and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, Jiangxi, China;

3. School of Ecology and Environment, Tibet University, Lhasa 850000, Tibet, China)

Abstract: To investigate the resources of grasslands in Jiangxi Province and identify the associated driving factors, we established sixty-one 2 m × 2 m grassland community plots in the Poyang Lake basin within mountainous areas of northern Jiangxi Province. The 61 plots were divided into three groups, namely, abandoned farmland, hillside grassland, and weed communities, and we compared the differences in species composition and examined differences in ecological stoichiometric characteristics at the species and community levels among the different community types. The results revealed that 111 species classified in 93 genera and 41 families were recorded in the study region. Although the grassland communities in this region are simple, they are characterized by clear differences in species composition compared with the other assessed community types. We detected no significant differences among the three community types with respect to the concentrations of soil total C, N, and P, hillside grassland was established to have the lowest C and N concentrations, whereas the

收稿日期: 2024-01-16 接受日期: 2024-03-01

基金项目: 中国科学院 A 类战略性先导科技专项 (XDA26010102)

第一作者: 赵培栋 (1998-), 男, 山东济南人, 在读博士生, 主要从事植物生态学研究。E-mail: zhaopd@whu.edu.cn

通信作者: 王忠 (1980-), 男, 山东惠民人, 教授, 博士, 主要从事植物生态学研究。E-mail: wangzhong@whu.edu.cn

abandoned farmland had highest P concentration. At both the species and communities levels, we detected no significant differences in plant N, or P concentrations among the three types of communities, but plant C concentration of hillside grassland is significantly high than weed land at both species and communities levels, while the plant C concentration of abandoned farmland is significantly higher than weed lands' only at species level. At both species and community levels, soil total N and P were identified as the main factors determining plant elemental conditions. The findings of this study, conducted during the summer with the aim of characterizing the grassland resources of northern Jiangxi Province, provide valuable insights and a theoretical foundation for the conservation and restoration of grassland resources in this region.

Keywords: grassland resource; Jiangxi Province; Poyang Lake; species diversity; productivity; ecological stoichiometry; community weighting

Corresponding author: WANG Zhong E-mail: wangzhong@whu.edu.cn

草地是以草本植物为主的生态系统类型的总称^[1-2], 作为世界上分布面积最大、分布范围最广的植被类型之一^[3-4], 其维持了全球陆生系统 30% 的净初级生产力, 对全球碳循环和气候调节都起着至关重要的作用^[5-6]。根据第一次全国草地资源普查数据, 我国草地面积占国土面积的 41.7%^[7], 是我国面积最大的陆地生态系统, 也是我国最广阔的生态屏障。作为一种可再生资源, 草地在水土保持、粮食安全、畜牧业发展和生态文明建设等方面发挥着重要作用^[8]。然而, 近些年来, 由于气候变化和人为因素的影响, 草地退化趋势加剧^[9]。我国对于草地的研究, 多集中于温带草原和高寒草地区域, 如氮磷添加对内蒙古草地群落生物量及多样性影响^[10-11]、青藏高原不同类型高寒草地物种多样性与生物量关系^[12]、高寒灌丛对气候变暖的生态响应及适应性^[13]以及高寒草甸不同植物功能群对群落生产力和多样性影响的研究^[14-16], 而对南方森林植被区域内非地带性草地的研究较少。

江西是我国南方草地资源最丰富的省份之一, 全省草地面积约 $4.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占南方草地面积的 14%^[17]。江西省内水系发达, 因地势特点, 大部分河流汇入鄱阳湖后流入长江, 形成了占全省 90% 流域面积的鄱阳湖水系。江西省受亚热带季风气候影响, 降水集中, 光热充足, 地带性植被为亚热带常绿阔叶林。目前对于江西植物资源的研究, 多集中于森林资源和鄱阳湖消落带湿地植物等地带性植被^[18-20], 对于其他斑块状非地带性草地植被的调查研究比较匮乏, 因此对赣北山区鄱阳湖流域草地植物群落组成进行调查并探究其影响因素, 以期弥补这方面的空白, 并为江西畜牧业的发展提供指导。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

本研究选择赣北山区鄱阳湖流域为研究区, 地理坐标 $26.54^\circ \sim 29.71^\circ \text{ N}$, $114.51^\circ \sim 118.36^\circ \text{ E}$, 海拔 $10 \sim 396 \text{ m}$ (图 1)。该地区是我国南方亚热带常绿阔叶林区的重要组成部分。草地是该地区畜牧业发展的重要资源。江西省北部属于亚热带季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨, 全省多年平均气温为 $16.2 \sim 19.7^\circ \text{ C}$, 1 月最冷, 7 月最热, 一般年份 7 月的平均气温要比 1 月高出 20° C 以上。年降水量 $1341 \sim 1939 \text{ mm}$, 降水主要集中在 4 月—6 月, 占全年降水量的 42%~53%^[21]。

1.2 群落样方调查及样品采集

样地调查于 2021 年 7 月—10 月完成。选取长势较好、群落结构和生境相对均匀的样地, 在样地内设置 1 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的样方; 记录样方内所有物种的名称、高度、盖度等信息; 分物种采集样方内所有植物的地上部分并现场称取鲜重。每个样方内随机选取 3 个位置, 使用直径 5 cm 的土钻采集表层 (0—20 cm) 土壤, 混合风干后用于土壤养分含量分析。

本研究共在赣北山区鄱阳湖流域调查 61 个样地。根据样地生境类型及受人为干扰情况, 将 61 个样地分为山坡草地 (24 个)、废弃农田 (25 个) 和杂草地 (12 个) 3 种类型, 其中山坡草地为自然山坡, 受人为干扰较小, 生境中群落以五节芒 (*Miscanthus floridulus*) 或白茅 (*Imperata cylindrica*) 为优势种, 杂草地为水边或路边受人为干扰较大的草地群落, 生境中群落以双穗雀稗 (*Paspalum distichum*) 或两歧飘拂草 (*Fimbristylis dichotoma*) 等湿生植物为优势种,

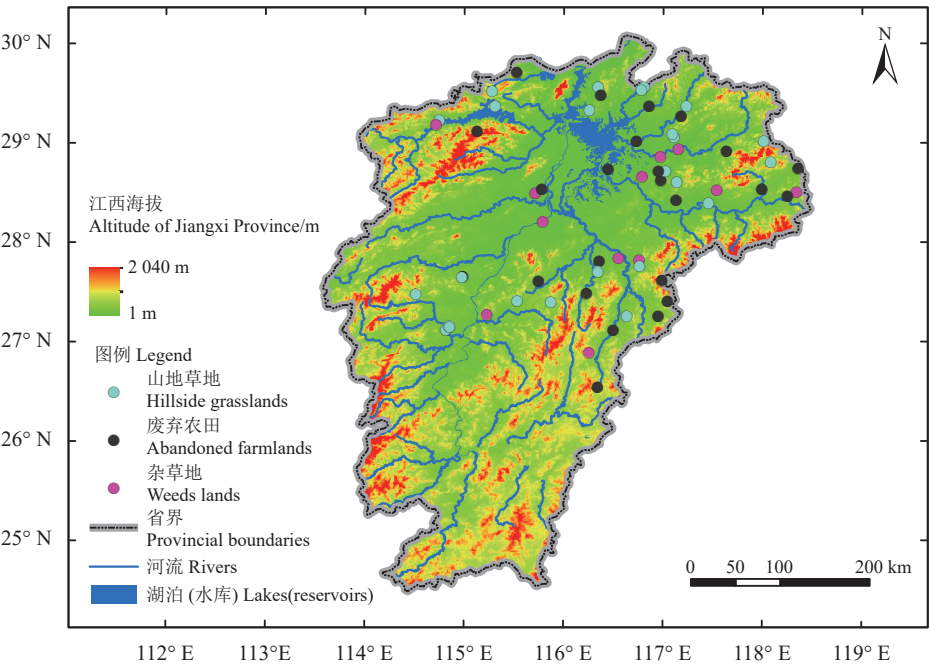


图 1 江西地理位置及采样位点分布
Figure 1 The distribution of sampling sites across Jiangxi Province

废弃农田是由撂荒地次生演替而来的样地，受人为干扰最严重，生境中群落以白茅、双穗雀稗和喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 为优势种且存在较为严重的菊科 (*Asteraceae*) 外来种入侵情况。

1.3 样品处理与元素测定分析

植物样品烘干 (65 °C, 72 h) 至恒重后称取干重，计算群落样方生物量。烘干至恒重的植物样品粉碎研磨后过 0.25 mm 孔径筛网，用于分析植物元素含量。土壤样品风干后用研钵碾碎，过 0.15 mm 孔径筛网。植物总碳、总氮，土壤总碳、总氮含量用元素分析仪 (UNICUBE, Elementar, Germany) 测定，植物和土壤总磷含量在将样品进行微波消解后，用电感耦合等离子体质谱仪 (ICPMS-2030, Shimadzu, Japan) 进行测定。

植物元素含量每物种分别测定，之后按物种在群落中的生物量占比进行加权，计算群落水平植物元素含量^[22]。

$$C = \frac{\sum_{i=1}^S (C_i \times B_i)}{\sum_{i=1}^S B_i}.$$

式中： S 为群落样方中包含的物种数， C_i 为第 i 个物种的 C 含量， B_i 为第 i 个物种的生物量。用相同的

方法计算群落的 N 、 P 含量，以及 $C:N$ 、 $C:P$ 和 $N:P$ 。

1.4 物种多样性

采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Simpson 物种多样性指数 (D) 和 Pielou 均匀度指数 (J) 衡量不同生境类型中植物群落物种多样性特征^[23]。公式如下：

Simpson 物种多样性指数：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2.$$

Shannon-Wiener 多样性指数：

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i.$$

Pielou 均匀度指数：

$$J = \frac{H}{\ln S}.$$

式中： S 为样方中所有物种总数； $P_i = N_i/N$ ，第 i 个物种的相对多度； N_i 为样方中第 i 个物种的个体数； N 为样方中记录的物种总个数。

1.5 数据分析

使用冗余分析 (redundancy analysis, RDA) 探究在不同尺度上环境因子对植物生态化学计量特征的影响，通过蒙特卡洛置换检验 (monto carlo test,

permutations = 999) 得到各环境变量 (气候变量和土壤营养) 对植物生态化学计量特征的相对重要性^[24]。本研究中的环境因子指标从世界气候数据官网 (www.worldclim.com) 公开的数据集中下载, 数据集收录了 1970—2000 年时间跨度 30 年的气候数据。所有数据分析均使用 R 软件完成 (R Core team, 2021)。

2 结果与分析

2.1 不同类型样地植物群落特征

调查得到试验区内草地植物 41 科 93 属 111 种。从群落组成来看, 江西北部草地植物群落组成简单, 不同生境条件下群落组成差异明显。废弃农田样地优势种主要为禾本科 (Poaceae)、莎草科 (Cyperaceae) 和菊科植物, 且样地内通常包含 2~3 种优势种, 主要优势物种为白茅、双穗雀稗和喜旱莲子草, 存在较为严重的菊科外来种入侵现象。山坡草地样地优势种主要为禾本科植物, 且多为单优群落, 主要优势种为白茅 (*I. cylindrica*)、五节芒 (*M. floridulus*) 等多年生禾草。杂草地优势种主要为莎草科植物, 部分样地的优势种为湿生禾本科植物, 主要优势种为两歧飘拂草和双穗雀稗。

比较 3 种样地的 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数和物种丰富度, 发现山坡草地各 α 多样性指数均最低, 但与其他草地类型间无显著差异 ($P > 0.05$); 杂草地样地的物种丰富度最低 (表 1)。

2.2 不同类型样地土壤养分含量特征

整体来看, 江西北部草地群落土壤总 C、总 N 和总 P 含量及其比值在不同样地之间存在较大差异 (表 2)。具体来说, 61 个样地土壤总 C 含量平均值为 $12.01\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($1.21\sim30.34\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); 土壤总 N 平均值为 $1.22\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0.02\sim3.05\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); 土壤总 P 含

量平均值为 $0.25\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0.08\sim0.51\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); 土壤 C : N 的平均值为 12.17 ($1.42\sim86.67$); 土壤 C : P 的平均值为 50.57 ($3.08\sim241.62$); 土壤 N : P 的平均值为 5.22 ($0.11\sim16.36$)。对比不同生境类型来看, 杂草地土壤拥有最高的 C、N 含量, 而山坡草地土壤 C、N 含量均是 3 类样地中最低的, 废弃农田的 P 含量是 3 类样地中最高的, 3 种样地 C、N、P 含量及其比值差异不显著 (表 2)。

2.3 不同类型样地植物元素含量特征及其之间的关系

2.3.1 元素含量特征

江西北部全部 122 个植物样品中, C 含量的平均值为 $431.76\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($266.75\sim493.35\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); N 含量的平均值为 $14.09\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($4.18\sim37.81\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); P 含量的平均值为 $2.75\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0.46\sim10.02\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); 植物 C : N 的平均值为 40.52 ($10.29\sim116.12$); 植物 C : P 的平均值为 269.93 ($40.88\sim1\,038.14$); 植物 N : P 的平均值为 7.23 ($0.71\sim44.58$)。物种水平植物 N 和 P 含量在 3 种样地间无显著差异, 山坡草地植物 C 含量、碳磷比和氮磷比显著高于杂草地 ($P < 0.05$), 废弃农田植物 C 含量、碳氮比和碳磷比显著高于杂草地 ($P < 0.05$), 而山坡草地植物氮磷比显著高于废弃农田 ($P < 0.05$) (表 2)。

群落水平, 江西北部植物群落 C、N、P 含量及其比值在不同植物群落之间存在较大差异, 其中山坡草地植物群落 C 含量高于杂草地和废弃农田植物群落, 而 N、P 元素含量低于杂草地和废弃农田植物群落。全部 61 个植物群落中, C 含量的平均值为 $437.88\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($322.13\sim486.75\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); N 含量的平均值为 $11.18\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($4.34\sim23.02\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); P 含量的平均值为 $2.35\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0.49\sim7.00\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$); 群落 C : N 的平均值为 46.77 ($16.25\sim111.71$); 群落 C : P 的平均值

表 1 不同类型样地的 α 多样性指数
Table 1 α Diversity indices of the different plots

样地 Plot	物种数 Number	Shannon-Wiener	Simpson	Pielou	物种丰富度 Species richness index
废弃农田 Abandoned farmland	65	$0.54 \pm 0.38\text{a}$	$0.32 \pm 0.23\text{a}$	$0.49 \pm 0.34\text{a}$	$6.13 \pm 2.15\text{a}$
山坡草地 Hillside grassland	72	$0.32 \pm 0.30\text{a}$	$0.19 \pm 0.20\text{a}$	$0.33 \pm 0.31\text{a}$	$6.28 \pm 2.62\text{a}$
杂草地 Weed land	41	$0.46 \pm 0.41\text{a}$	$0.27 \pm 0.25\text{a}$	$0.38 \pm 0.32\text{a}$	$5.17 \pm 2.33\text{a}$

不同小写字母表示样地间差异显著 ($P < 0.05$); 下表同。
Different lowercase letters indicate significant differences between different plots at the 0.05 level. This is applicable for the following table as well.

表 2 不同类型样地土壤、植物、群落 C、N、P 含量及其比值
Table 2 C, N, P concentrations and C : N, C : P, and N : P ratios in soil, plants, and communities in different types of communities

类项 Item	类型 Category	数量 Number	总碳 Total carbon/ (mg·g ⁻¹)	总氮 Total nitrogen/ (mg·g ⁻¹)	总磷 Total phosphorus/ (mg·g ⁻¹)	碳氮比 C : N	碳磷比 C : P	氮磷比 N : P
植物 Plant	全部 Overall	122	431.76 ± 47.51	14.09 ± 7.49	2.75 ± 1.97	40.52 ± 23.21	269.93 ± 224.52	7.23 ± 6.17
	废弃农田 Abandoned farmland	48	429.50 ± 39.76a	13.42 ± 7.82a	3.18 ± 2.33a	44.49 ± 27.57a	261.95 ± 234.67a	5.76 ± 3.48b
	山坡草地 Hillside grassland	53	444.73 ± 48.38a	14.10 ± 7.41a	2.22 ± 1.75a	40.79 ± 21.13ab	325.90 ± 244.24a	9.32 ± 8.35a
	杂草地 Weed land	21	409.23 ± 52.45b	15.41 ± 7.13a	3.00 ± 1.29a	32.00 ± 14.85b	164.21 ± 83.47b	5.83 ± 3.33b
	禾草 Grass	74	440.75 ± 38.70a	10.71 ± 5.27b	2.36 ± 1.88b	50.73 ± 23.53a	319.34 ± 241.78a	6.39 ± 3.77b
	杂草 Forbs	48	417.89 ± 55.36a	19.30 ± 7.34a	3.35 ± 1.93a	24.77 ± 9.76b	191.21 ± 164.29b	8.53 ± 8.45a
群落 Community	全部 Overall	61	437.88 ± 41.25	11.18 ± 4.48	2.35 ± 1.43	46.77 ± 21.94	280.50 ± 206.87	5.94 ± 2.95
	废弃农田 Abandoned farmland	24	436.45 ± 36.95ab	11.00 ± 4.72a	2.34 ± 1.65a	49.04 ± 25.63a	301.72 ± 212.15a	5.92 ± 2.64ab
	山坡草地 Hillside grassland	25	451.27 ± 39.36a	10.72 ± 4.56a	2.14 ± 1.48a	49.53 ± 20.41a	319.27 ± 230.24a	6.63 ± 3.58a
	杂草地 Weed land	12	412.83 ± 44.13b	12.50 ± 3.89a	2.80 ± 0.66a	36.47 ± 14.16a	157.32 ± 52.04b	4.53 ± 1.20b
土壤 Soil	全部 Overall	61	12.01 ± 7.26	1.22 ± 0.62	0.25 ± 0.11	12.17 ± 13.37	50.57 ± 34.75	5.22 ± 2.89
	废弃农田 Abandoned farmland	24	12.44 ± 8.42a	1.31 ± 0.72a	0.28 ± 0.12a	14.96 ± 20.6a	43.02 ± 23.88a	4.99 ± 2.97a
	山坡草地 Hillside grassland	25	11.17 ± 6.43a	1.07 ± 0.49a	0.23 ± 0.09a	10.79 ± 6.02a	55.66 ± 44.46a	5.16 ± 2.90a
	杂草地 Weed land	12	12.91 ± 6.13a	1.35 ± 0.59a	0.25 ± 0.10a	9.44 ± 1.23a	55.05 ± 26.28a	5.83 ± 2.58a

为 280.5 (54.70~976.11); 群落 N : P 的平均值为 5.94 (0.95~15.80)。群落水平植物 C、N、P 含量及其比值在废弃农田和山坡草地之间无显著差异 ($P > 0.05$), 而群落水平山坡草地植物 C 含量、碳磷比和氮磷比显著高于杂草地 ($P < 0.05$) (表 2)。

2.3.2 植物 C、N、P 含量及其比值之间的关系

相关性分析表明 (图 2), 植物 N 含量与 P 含量显著正相关 ($P < 0.001$), 而与植物 C 含量显著负相关 ($P < 0.05$), 但在不同类型样地之间元素的相关性有差异。经过物种生物量加权之后的群落水平植物元素含量之间的相关性与物种水平的规律类似 (图 3), 植物 N 含量与 P 含量显著正相关 ($P < 0.001$), 而与植物 C 含量显著负相关 ($P < 0.001$), 但在不同类型样地间元素相关性有差异。

2.4 环境变量对草地植物生态化学计量特征的影响

RDA 结果表明, 江西北部在物种和群落水平,

土壤 N、P 含量都是植物生态化学计量特征最主要的影响因子 (图 4)。物种水平上, 除土壤 N、P 含量外, 土壤 C 含量、GST (生长季均温) 和 GSP (生长季降水) 也是植物化学计量特征的主要影响因子 (图 4b)。物种水平整个模型解释了总变化的 22.11%, 第 1 轴解释了 17.91%, 第 2 轴解释了 2.525% (图 4a)。群落水平整个模型解释了总变化的 22.14%, 第 1 轴解释了 18.06%, 第 2 条轴解释了 1.949% (图 4c)。

2.5 群落 α 多样性的影响因素

因为禾本科植物往往作为群落中的优势物种出现, 因此进一步分析了群落 α 多样性指数与禾本科植物生物量占比之间的关系, 发现 Pielou 指数、Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数均与群落中禾本科植物生物量占比呈显著负相关关系 ($P < 0.01$, 图 5a, b, c), 而群落物种丰富度指与禾本科植物生物量占比无显著相关关系 ($P > 0.05$)。

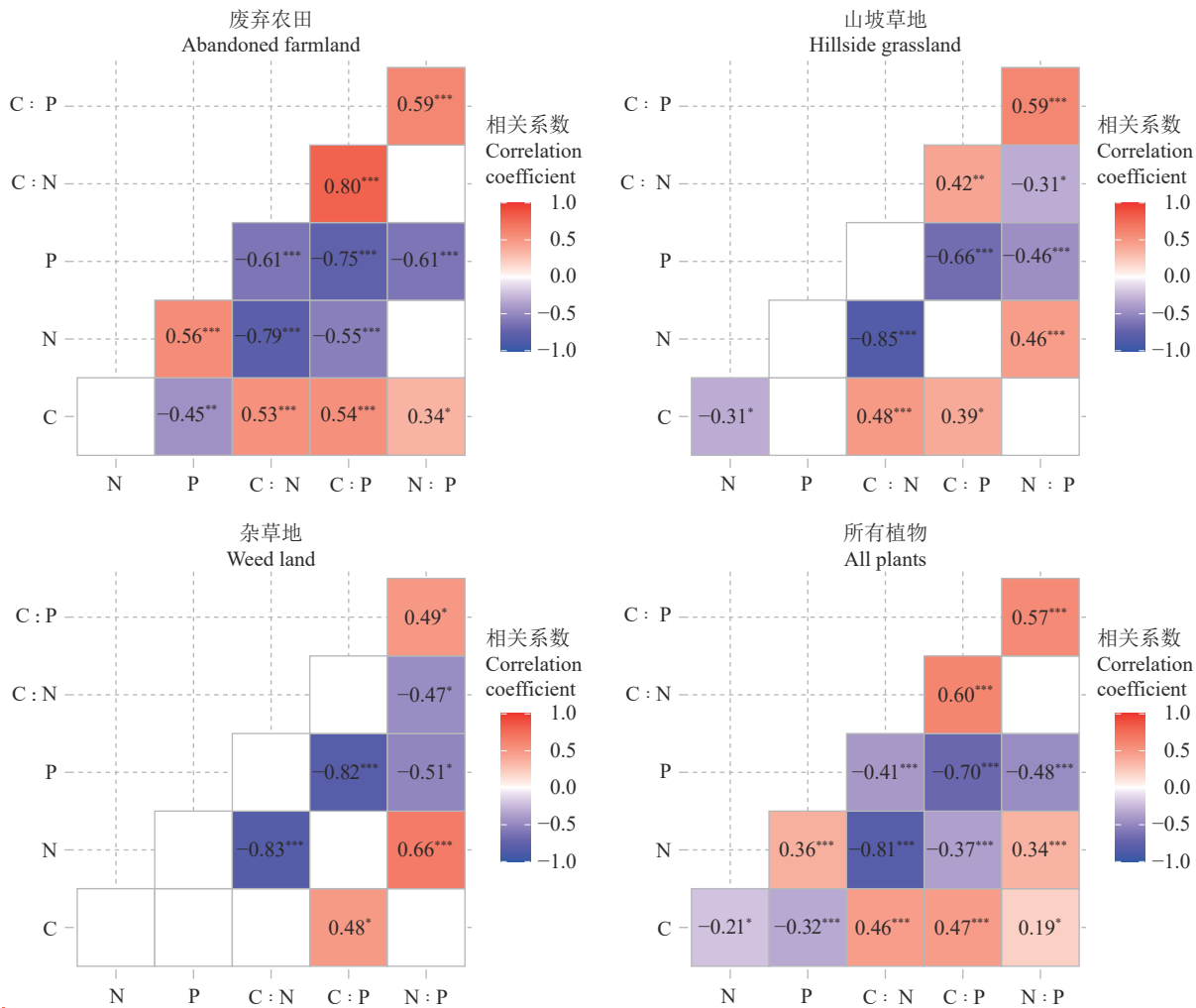


图 2 不同类型样地植物个体水平 C、N、P 含量及其比值之间的相关性

Figure 2 Correlations between plant C, N, and P concentrations and their ratios of individual plants in different plots

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$. 下图同。
*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$. This is applicable for the following figures as well.

3 讨论

3.1 不同类型草地群落组成的影响因素

本研究发现,虽然3种类型样地的物种丰富度和α多样性指数没有显著性差异,但废弃农田类型样地中菊科等外来种较多。受人为干扰较大的样地,生态系统更脆弱,更容易受到外来种入侵的影响^[25-26]。野外调查结果显示,山坡草地受人为影响较小,群落较为稳定且通常为单优群落,优势种多为五节芒、鼠尾粟 (*Sporobolus fertilis*) 和南荻 (*Miscanthus lutarioriparius*) 等多年生禾草,这与江西地处亚热带,雨热条件丰富有关。而杂草地样地中优势种多为湿生禾本科或莎草科植物,可能与江西的季风气候有关,受季风气候影响,丰水期和枯水

期水位差较大^[27],该类样地中植物可能会遭受季节性淹水胁迫,因此该类样地中优势种多为双穗雀稗和两歧飘拂草等湿生植物。废弃农田草地群落中通常包含2~3种优势种,可能是因为处于优势种地位的禾本科植物,受放牧等人类活动影响,优势度降低,使得样地中其他如唇形科石芥苣 (*Mosla scabra*) 和菊科外来种飞机草 (*Eupatorium odoratum*) 等植物优势度升高。

3.2 不同类型草地群落植物和表层土壤的化学计量特征

植物正常生长发育至少需要16种以上的元素,而C、N、P是植物生长发育必需的大量元素^[28],受到的关注最多。土壤C:N:P反映了土壤内部元素

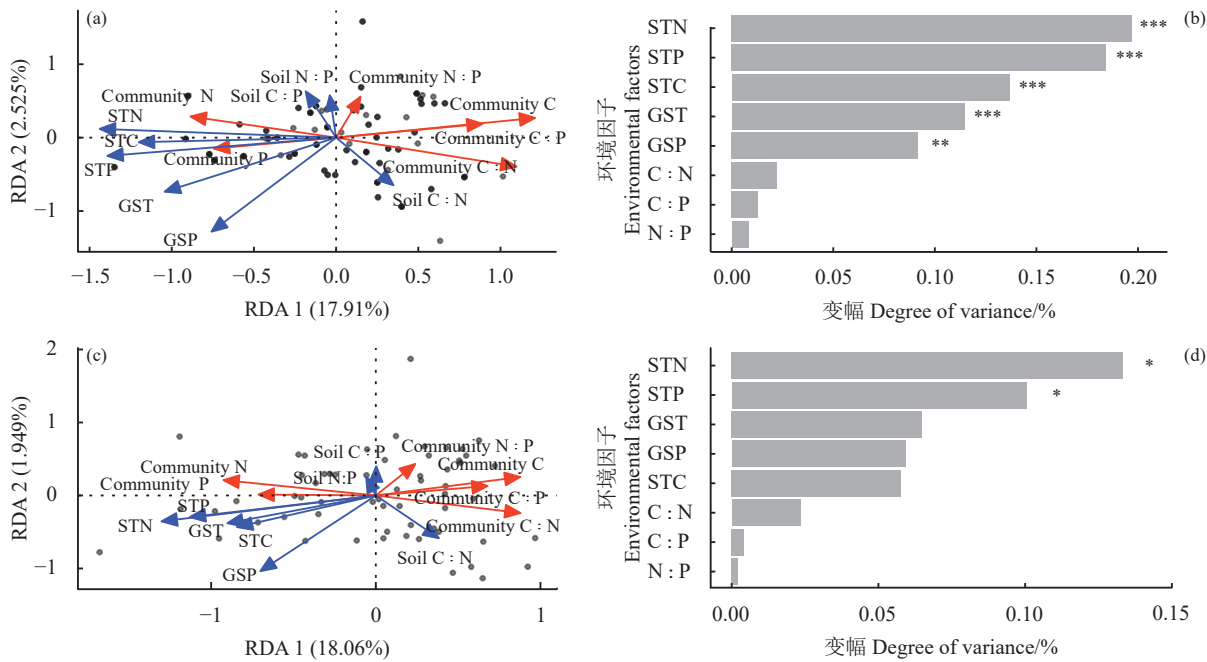


图 4 环境变量对赣北山区鄱阳湖流域草地植物物种水平 (a, b) 和群落水平 (c, d) 上 C、N、P 元素含量及其比值的影响

Figure 4 Redundancy analysis (RDA) of the effects of environmental factors on plant C, N, and P concentrations and C : N, N : P, and C : P ratios at species and community levels

物种水平 RDA 分析 (a) 及蒙特卡洛置换检验 (Monte Carlo test, permutations=999) 分析各环境变量对植物生态化学计量特征的相对重要性 (r^2)(b); 群落水平 RDA 分析 (c) 及蒙特卡洛置换检验 (monte carlo test, permutations=999) 分析各环境变量对植物生态化学计量特征的相对重要性 (r^2)(d)。STC 为土壤全碳; STN 为土壤全氮; STP 为土壤全磷; GSP 为生长季降水; GST 为生长季均温。

Redundancy analysis (a) and Monte Carlo tests with 999 permutations were performed to obtain the importance sequence (r^2) of variables in RDA (b) at species level. Redundancy analysis (c) and Monte Carlo tests with 999 permutations were performed to obtain the importance sequence (r^2) of variables in RDA (d) at community level. STC, soil total carbon; STN, soil total nitrogen; GSP, growing season precipitation; GST, growing season mean temperature.

于 2000 年测定的全球陆生植物 N : P (12.7)^[41] 和 2004 年测定的全球陆生植物 N : P (13.8)^[36]。生物量加权后群落水平草地植物 C 含量 (437.88 mg·g⁻¹) 高于物种水平, 而 N、P 含量略低于物种水平, 说明群落中生物量占比较大的优势物种拥有较高的 C 含量和较低的 N、P 含量。

土壤养分含量特征来看, 江西北部草地群落表层土壤总 C、总 N 和总 P 含量分别为 12.01、1.22 和 0.25 mg·g⁻¹, 低于第二次土壤普查测定的我国 10—50 cm 深度土壤总 C、总 N 和总 P 含量 (分别为 14.1、1.3 和 0.7 mg·g⁻¹)^[40]。比较 3 种样地表层土壤的 C : N 发现, 杂草地土壤的最低, 废弃农田样地最高, 说明 3 种样地中杂草地土壤的有机物分解速率最高, 而土壤中 C、N 主要来自于有机质的腐烂分解, 本研究中杂草地土壤中 C、N 含量在 3 种样地中最高, 说明该类样地拥有最高的分解速率。此外, 土壤养分含量还与植被类型有关, 山坡草地群落植物中优势种多为较难分解的禾本科植物, 因此该类

样地土壤中 C、N 含量在 3 种样地中最低。土壤 C : P 能够反映土壤 P 的矿化速率, 总体来看本研究测得土壤 C : P 得算数平均值为 50.57, 远远低于全国表层土壤 C : P 平均值 (136)^[42], 说明赣北山区鄱阳湖流域土壤拥有较快的 P 矿化速率。3 种类型样地中, 废弃农田样土壤有最低的 C : P 和最高的 P 含量, 而山坡草地样地 C : P 最高, P 含量最低。土壤 P 含量除与土壤有机质腐烂分解有关外, 还受人类活动的影响, 废弃农田样地受人类活动影响较大, 放牧和农业活动都会在一定程度上增加土壤中 P 含量。土壤 N : P 常用作判断植物生长限制元素的阈值^[30]。在整体水平上, 江西北部表层土壤 N : P 平均值为 5.22, 且 3 种样地表层土壤的 N : P 均小于 6, 低于 2010 年测得的全国平均水平 (9.30)^[42], 表明江西北部草地群落土壤中可能存在一定的 N 限制。江西地区雨热集中, 造成了该地区土壤养分的淋溶。而植物 N、P 元素主要来自于植物对土壤养分的吸收, 因此江西北部地区生长季植物 N、P 含量低于前

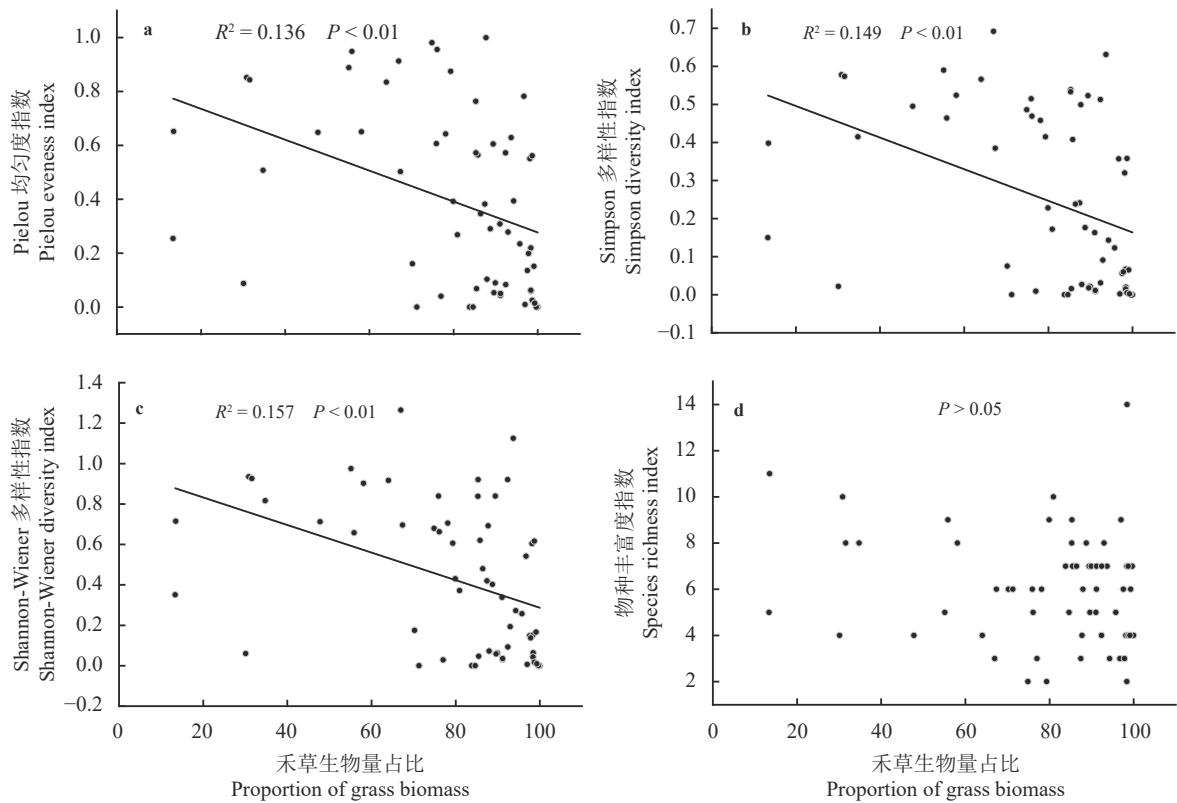


图 5 群落 α 多样性指数与群落中禾草植物生物量占比的相关性

Figure 5 Correlations between community α diversity and the proportion of grass biomass of communities

人研究结果。气候变暖背景下极端天气频发,植物生长更容易受到养分元素限制,通过测定气候变化背景下草地植物化学计量特征变化,将有助于更好地预测草地群落生态功能的变化趋势。

3.3 植物生态化学计量特征影响因素

RDA 结果表明,在物种水平上,土壤 C、N、P 含量是植物生态化学计量特征的主要影响因子,而生长季均温、生长季降水也对植物生态化学计量特征产生了一定影响(图 4b)。植物除 C 以外的其他元素都是通过根系从土壤中获取,因此土壤养分含量是植物生态化学计量特征最直接的影响因子。温度对植物生态化学计量特征的影响主要表现在对植物生理活动的影响,已有研究表明,处于低纬度地区植物叶片 N、P 含量比高纬度地区植物更低,而 N:P 更高^[43]。降水一方面会造成土壤 P 的淋溶,降低土壤中 P 的含量^[44],另外降水还会影响凋落物的分解速率,从而影响土壤养分含量特征。因此温度和降水也会对植物生态化学计量特征产生一定影响,与本研究结果相符。在群落水平上,土壤 N、P 含量是群落生态化学计量特征的主要影响因子,与物种水

平一致。群落水平上,草原植物生态化学计量特征受生长季温度和降水影响较小^[33, 39],可能是因为群落水平上的元素组成还受物种组成和优势种生理状况影响^[45],与本研究结果一致(图 4d)。本研究虽设置位点较多,但研究区域较小,若能对整个亚热带森林植被区域的草地板斑块进行研究,将会得到更为全面的数据和结论。后续研究应加入微生物群落组成以及土壤酶活等指标的测定,去分析碳氮磷 3 种元素在土壤中的循环过程,从而进一步探究植物生态化学计量特征的影响因子及其影响机制。

4 结论

本研究对江西省北部山区鄱阳湖流域草地群落 61 个样地进行调查,共记录草地植物 41 科 93 属 111 种。3 种类型样地植物组成差异明显,山坡草地以禾本科多年生禾草为优势种,而杂草地优势种则为莎草科或湿生禾本科植物,废弃农田则存在较为严重的菊科外来种入侵现象。群落 α 多样性指数与禾本科生物量占比显著负相关。3 种类型样地之间土壤总碳、总氮和总磷含量差异不显著,但山坡草

地植物碳含量在个体和群落水平都显著高于杂草地,而废弃农田植物碳含量则在个体水平显著高于杂草地。在物种和群落水平,土壤总 N 和总 P 含量都是植物生态化学计量特征最主要的影响因子,植

物生长受到一定的养分限制。通过上述研究,希望能够丰富江西北部草地植物化学计量学研究数据,为江西草地资源保护与修复提供一定的理论依据和数据支持。

参考文献 References:

- [1] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980: 505-628.
WU Z Y. Chinese Vegetation. Beijing: Science Press, 1980: 505-628.
- [2] 姜恕. 草地生态研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1988.
JIANG S. Research Methods for Grassland Ecology. Beijing: China Agriculture Press, 1988.
- [3] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 耿晓庆, 高树琴, 方精云. 中国草地资源的现状分析. 科学通报, 2016, 61(2): 139-154.
SHEN H H, ZHU Y K, ZHAO X, GENG X Q, GAO S Q, FANG J Y. Analysis of current grassland resources in China. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(2): 139-154.
- [4] 刚成诚, 王钊齐, 杨悦, 陈奕兆, 张艳珍, 李建龙, 程积民. 近百年全球草地生态系统净初级生产力时空动态对气候变化的响应. 草业学报, 2016, 25(11): 1-14.
GANG C C, WANG Z Q, YANG Y, CHEN Y Z, ZHANG Y Z, LI J L, CHENG J M. The NPP spatiotemporal variation of global grassland ecosystems in response to climate change over the past 100 years. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(11): 1-14.
- [5] SCURLOCK J M O, HALL D O. The global carbon sink: A grassland perspective. *Global Change Biology*, 1998, 4(2): 229-233.
- [6] SCURLOCK J M O, JOHNSON K, OLSON R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology*, 2002, 8(8): 736-753.
- [7] 韩国栋. 中国草地资源. 草原与草业, 2021, 33(4): 2.
HAN G D. Grassland resources in China. *Grassland and Prataculture*, 2021, 33(4): 2.
- [8] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
XIE G D, ZHANG Y L, LU C X, ZHENG D, CHENG S K. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 47-53.
- [9] 刘兴元, 龙瑞军, 尚占环. 草地生态系统服务功能及其价值评估方法研究. 草业学报, 2011, 20(1): 167-174.
LIU X Y, LONG R J, SHANG Z H. Evaluation method of ecological services function and their value for grassland ecosystems. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(1): 167-174.
- [10] 杨倩, 王妮, 曾辉. 氮添加对内蒙古退化草地植物群落多样性和生物量的影响. 植物生态学报, 2018, 42(4): 430-441.
YANG Q, WANG W, ZENG H. Effects of nitrogen addition on the plant diversity and biomass of degraded grasslands of Nei Mongol, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2018, 42(4): 430-441.
- [11] 何利元, 胡中民, 郭群, 李胜功, 白文明, 李凌浩. 氮磷添加对内蒙古温带草地地上生物量的影响. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2291-2297.
HE L Y, HU Z M, GUO Q, LI S G, BAI W M, LI L H. Influence of nitrogen and phosphorus addition on the aboveground biomass in Inner Mongolia temperate steppe, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(8): 2291-2297.
- [12] 张锦涛, 赵峰侠, 陈俊合, 李洋, 孙建. 青藏高原不同类型高寒草地物种多样性与生物量的关系及影响要素. 草业科学, 2023, 40(3): 616-626.
ZHANG J T, ZHAO F X, CHEN J H, LI Y, SUN J. Correlations of species diversity and biomass with environmental factors in alpine grasslands across the Qingzang Plateau. *Pratacultural Science*, 2023, 40(3): 616-626.
- [13] 杨柳, 崔光帅, 夏晨曦, 阿拉姆, 孙建, 王金牛, 罗栋梁, 张林. 高寒灌丛对气候变暖的生态响应及适应性研究进展. 草业科学, 2023, 40(2): 378-393.
YANG L, CUI G S, XIA C X, Alamu, SUN J, WANG J N, LUO D L, ZHANG L. The ecological responses and adaptability of alpine shrubs to global warming. *Pratacultural Science*, 2023, 40(2): 378-393.
- [14] 王长庭, 龙瑞军, 丁路明. 高寒草甸不同草地类型功能群多样性及组成对植物群落生产力的影响. 生物多样性, 2004, 12(4):

403-409.

WANG C T, LONG R J, DING L M. The effects of differences in functional group diversity and composition on plant community productivity in four types of alpine meadow communities. *Biodiversity Science*, 2004, 12(4): 403-409.

- [15] 姜林, 胡骥, 杨振安, 詹伟, 赵川, 朱单, 何奕忻, 陈槐, 彭长辉. 植物功能群去除对高寒草甸群落结构、多样性及生产力的影响. *生态学报*, 2021, 41(4): 1402-1411.

JIANG L, HU J, YANG Z A, ZHAN W, ZHAO C, ZHU D, HE Y X, CHEN H, PENG C H. Effects of plant functional group removal on community structure, diversity and production in Alpine meadow. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(4): 1402-1411.

- [16] 陈宁, 张扬建, 朱军涛, 李军祥, 刘瑶杰, 俎佳星, 丛楠, 黄珂, 王荔. 高寒草甸退化过程中群落生产力和物种多样性的非线性响应机制研究. *植物生态学报*, 2018, 42(1): 50-65.

CHEN N, ZHANG Y J, ZHU J T, LI J X, LIU Y J, ZU J X, CONG N, HUANG K, WANG L. Nonlinear responses of productivity and diversity of alpine meadow communities to degradation. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2018, 42(1): 50-65.

- [17] 甘兴华. 江西草地资源的监测与保护. *中国畜牧业通讯*, 2009, 18(14): 34-36.

GAN X H. Monitoring and protection of grassland resources in Jiangxi Province. *China Animal Husbandry Bulletin*, 2009, 18(14): 34-36.

- [18] 纪昌品, 王华. 鄱阳湖湿地植物群落分布特征及其对土壤环境因子的响应. *生态环境学报*, 2018, 27(8): 1424-1431.

JI C P, WANG H. Response of vegetation distribution to soil environmental factors in wetlands of Poyang Lake. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(8): 1424-1431.

- [19] 林杰好, 曾思金, 李文斌, 陈蕾伊, 唐光大. 江西东南部东江源区森林维管植物区系. *亚热带植物科学*, 2022, 51(4): 299-305.

LIN J Y, ZENG S J, LI W B, CHEN L Y, TANG G D. Flora of vascular plants in the source region of Dongjiang River, Southeast Jiangxi, China. *Subtropical Plant Science*, 2022, 51(4): 299-305.

- [20] 薛晨阳, 李相虎, 谭志强, 李珍. 鄱阳湖典型洲滩湿地植物群落稳定性及其与物种多样性的关系. *生态科学*, 2022, 41(2): 1-10.

XUE C Y, LI X H, TAN Z Q, LI Z. Plant community stability and its relationship with species diversity of typical wetland in Poyang Lake, China. *Ecological Science*, 2022, 41(2): 1-10.

- [21] 赵树森, 刘自清. 江西降水. *江西科学*, 1985, 3(1): 25-33.

ZHAO S S, LIU Z Q. Jiangxi precipitation. *Jiangxi Science*, 1985, 3(1): 25-33.

- [22] TANG Z Y, XU W T, ZHOU G Y, BAI Y F, LI J X, TANG X L, CHEN D M, LIU Q, MA W H, XIONG G M, HE H L, HE N P, GUO Y P, GUO Q, ZHU J L, HAN W X, HU H F, FANG J Y, XIE Z Q. Patterns of plant carbon, nitrogen, and phosphorus concentration in relation to productivity in China's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(16): 4033-4038.

- [23] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数. *生态学报*, 1994, 15(3): 268-277.

MA K P, HUANG J H, YU S L, CHEN L Z. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. Species richness, evenness and species diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 15(3): 268-277.

- [24] MANLY B F J. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology: Texts in Statistical Science. New York: Chapman and Hall/CRC, 2018.

- [25] HOBBS R J, HUENNEKE L F. Disturbance, diversity, and invasion: Implications for conservation. *Conservation Biology*, 1992, 6(3): 324-337.

- [26] SMITH M D, KNAPP A K. Exotic plant species in a C₄-dominated grassland: Invasibility, disturbance and community structure. *Oecologia*, 1999, 120(4): 605-612.

- [27] 刘聚涛, 温春云, 韩柳, 戴国飞, 王法磊, 胡芳, 楼倩. 2012—2017 年鄱阳湖水位变化与氮磷响应特征研究. *环境污染与防治*, 2020, 42(10): 1274-1279.

LIU J T, WEN C Y, HAN L, DAI G F, WANG F L, HU F, LOU Q. Study on the response characteristics of nitrogen and phosphorus to water level change of Poyang Lake during 2012—2017. *Environmental Pollution and Control*, 2020, 42(10): 1274-1279.

- [28] ÅGREN G I, WEIH M. Plant stoichiometry at different scales: Element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*, 2012, 194(4): 944-952.

- [29] SWIFT M J, HEAL O W, ANDERSON J M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. California: University of California Press, 1979.
- [30] GÜSEWELL S, VERHOEVEN J T A. Litter N : P ratios indicate whether N or P limits the decomposability of graminoid leaf litter. *Plant and Soil*, 2006, 287(1): 131-143.
- [31] RAYMENT G E, HIGGINSON F R. Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods. Melbourne: Inkata Press, 1992.
- [32] ÅGREN G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2008, 39(1): 153-170.
- [33] HE J S, FANG J Y, WANG Z H, GUO D L, FLYNN F B, GENG Z. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China. *Oecologia*, 2006, 149(1): 115-122.
- [34] 张文彦, 樊江文, 钟华平, 胡中民, 宋璐璐, 王宁. 中国典型草原优势植物功能群氮磷化学计量学特征研究. *草地学报*, 2010, 18(4): 503-509.
- ZHANG W Y, FAN J W, ZHONG H P, HU Z M, SONG L L, WANG N. The nitrogen : phosphorus stoichiometry of different plant functional groups for dominant species of typical steppes in China. *Acta Agrestia Sinica*, 2010, 18(4): 503-509.
- [35] ELSER J J, FAGAN W F, KERKHOFF A J, SWENSON N G, ENQUIST B J. Biological stoichiometry of plant production: Metabolism, scaling and ecological response to global change. *New Phytologist*, 2010, 186(3): 593-608.
- [36] REICH P B, OLEKSYN J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [37] HAN W X, FANG J Y, GUO D L, ZHANG Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 2005, 168(2): 377-385.
- [38] GÜSEWELL S. N : P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, 164(2): 243-266.
- [39] HE J S, WANG L, FLYNN F B, WANG X P, MA W L, FANG J Y. Leaf nitrogen: Phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes. *Oecologia*, 2008, 155(2): 301-310.
- [40] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 王绍强. 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*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- REN S J, YU G R, TAO B, WANG S Q. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC. *Environmental Science*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- [41] ELSER J J, FAGAN W F, DENNO R F, DOBBERFUHL D R, FOLARIN A, HUBERTY A, INTERLANDI S, KILHAM S S, MCCAULEY E, SCHULZ K L, SIEMANN E H, STERNER R W. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. *Nature*, 2000, 408: 578-580.
- [42] TIAN H Q, CHEN G S, ZHANG C, MELILLO J M, HALL C A S. Pattern and variation of C : N : P ratios in China's soils: A synthesis of observational data. *Biogeochemistry*, 2010, 98(1): 139-151.
- [43] MCGRODDY M E, DAUFRESNE T, HEDIN L O. Scaling of C : N : P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial redfield-type ratios. *Ecology*, 2004, 85(9): 2390-2401.
- [44] VITOUSEK P M, PORDER S, HOULTON B Z, CHADWICK O A. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions. *Ecological Applications*, 2010, 20(1): 5-15.
- [45] STERNER R W, ELSER J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton N. J: Princeton University Press, 2002.

(责任编辑 张瑾)