中国生态农业学报 2018 年 11 月 第 26 卷 第 11 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Nov. 2018, 26(11): 1710−1719

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180580

陈俊佳, 陈志彪, 陈志强, 姜超, 陈海滨, 梁美霞. 闽西南崩岗侵蚀区芒萁叶片生态化学计量特征[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(11): 1710−1719

CHEN J J, CHEN Z B, CHEN Z Q, JIANG C, CHEN H B, LIANG M X. *Dicranopteris dichotoma* leaf stoichiometry in collapsing erosion areas in Southwest Fujian[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(11): 1710−1719

闽西南崩岗侵蚀区芒萁叶片生态化学计量特征*

陈俊佳, 陈志彪**, 陈志强, 姜 超, 陈海滨, 梁美霞

(福建师范大学湿润亚热带生态地理过程教育部重点实验室/福建师范大学地理科学学院 福州 350007)

摘 要: 为了阐明极度退化的崩岗生态系统内芒萁的生长状态和养分储存特征, 对闽西南 3 处不同侵蚀强度的典型崩岗内芒萁叶片 C、N、P 含量及 C/N、C/P、N/P 特征进行研究, 对比分析不同侵蚀强度下崩壁部位和崩岗不同侵蚀部位中芒萁叶片的生态化学计量特征。结果表明: 崩岗内芒萁叶片的 C、N、P 平均含量分别为 477.10 $g\cdot kg^{-1}$、6.45 $g\cdot kg^{-1}$、0.25 $g\cdot kg^{-1}$, 芒萁叶片的 N、P 养分含量极低; 而 C/N、C/P、N/P 平均值分别为 96.82、2 097.20、27.67, 芒萁生长受 P 限制。不同侵蚀强度下的崩壁内芒萁叶片的 C、N、P 含量及 C/P、N/P 均存在显著差异($P<0.05$), C 含量、C/P 和 N/P 均随着侵蚀强度的增强而减小, N 含量在中度侵蚀的崩壁内较高, 而 P 含量则随着侵蚀强度的增强而增加, 表明芒萁对土壤侵蚀严重的崩岗生态系统具有很强的适应能力。在崩岗的不同侵蚀部位中芒萁叶片的 P 含量、C/P 和 N/P 均存在显著差异($P<0.05$), P 含量在集水坡面最高, 在崩壁最低; 而 C/P、N/P 均表现为崩壁显著大于其他各侵蚀部位。可见, 在崩岗的不同侵蚀部位, 崩壁中芒萁对 C 的同化能力强于其他侵蚀部位, 且对 P 利用效率也显著高于其他侵蚀部位。综上, 在侵蚀严重的崩岗生态系统中, 芒萁有较强的同化 C 能力和较高的对 P 利用效率, 能通过调节自身 C、N、P 元素含量很好地适应土壤侵蚀严重、养分极度贫瘠的生境。

关键词: 生态化学计量学; 芒萁叶片; 崩岗; 土壤侵蚀强度; 侵蚀部位

中图分类号: S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2018)11-1710-10

Dicranopteris dichotoma leaf stoichiometry in collapsing erosion areas in Southwest Fujian*

CHEN Junjia, CHEN Zhibiao**, CHEN Zhiqiang, JIANG Chao, CHEN Haibin, LIANG Meixia

(Key Laboratory for Humid Subtropical Eco-geographical Processes of the Ministry of Education, Fujian Normal University / School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Collapse mound is a form of widespread and severe soil erosion in granite areas in South China. As a typical pioneer plant in collapse mound areas, *Dicranopreris dichotoma* is critical for soil and water conservation in collapsing erosion areas in South China. Plant stoichiometric characteristics reflect the capacity of plants to absorb and store mineral nutrients from the soil. They also reflect the long-term stoichiometric distribution formed during plant adaptation to the environment. Therefore, analysis of the

* 福建省社会发展引导性(重点)项目(2016Y0024)、国家自然科学基金项目(41171232)、国家重点研发计划项目(2016YFC0502905)和泉州市科技计划项目(2018Z025)资助

** 通信作者: 陈志彪, 主要研究方向为水土保持与资源环境。E-mail: chenzhib408@vip.163.com
陈俊佳, 主要研究方向为侵蚀过程与生态调控。E-mail: chenjunjia666666@163.com

收稿日期: 2018-05-31 接受日期: 2018-06-22

* This study was supported by the Guiding Project for Social Development of Fujian Province (2016Y0024), the National Natural Science Foundation of China (41171232), the National Key Research and Development Project of China (2016YFC0502905) and the Science and Technology Project of Quanzhou City (2018Z025).

** Corresponding author, E-mail: chenzhib408@vip.163.com

Received May 31, 2018; accepted Jun. 22, 2018

characteristics of ecological stoichiometry of *D. dichotoma* in collapsing erosion areas can provide an important guidance for ecological restoration in collapsing erosion areas. In order to clarify the characteristics of nutrient storage of *D. dichotoma* in extremely degraded collapse mound ecosystems, the characteristics of carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) contents and C/N, C/P and N/P ratios for *D. dichotoma* leaf in three typical collapse mound areas with different erosion intensities in Southwest Fujian Province were analyzed. The ecological stoichiometry characteristics of *D. dichotoma* leaves in different erosion intensities of collapsing wall and collapse mound under the same erosion intensity in different erosion positions were also comparatively analyzed. The results showed that the average contents of C, N and P in the leaves of *D. dichotoma* in collapse mounds were 477.10 $g \cdot kg^{-1}$, 6.45 $g \cdot kg^{-1}$ and 0.25 $g \cdot kg^{-1}$, respectively. The N and P contents were generally extremely low. The average ratios of C/N, C/P and N/P were 96.82, 2 097.20 and 27.67, respectively. Thus *D. dichotoma* growth was primary limited by P content. On the other hand, there were significant differences in C, N and P contents, and C/P and N/P ratios in collapsing wall leaves under different erosion intensities ($P < 0.05$). All the C content along with C/P and N/P ratios decreased with increasing erosion intensity. While N content was higher in collapsing walls with moderate erosion, P content increased with increasing erosion intensity. This showed that *D. dichotoma* had strong ability to adapt to collapse mound ecosystems with severe soil erosion. On the other hand, there were significant differences in P content, and C/P and N/P ratios in *D. dichotom*a leaves in different erosion positions of collapse mounds under the same erosion intensity ($P < 0.05$). P content was highest in the upper catchment and lowest on collapsing walls. All the C/P and N/P ratios on collapsing walls were significantly larger than in other erosion positions. Obviously, it was evident that the ability of *D. dichotom*a to assimilate carbon in collapsing walls was stronger than in other erosion positions of collapse mounds. In addition, P utilization efficiency in collapsing walls was significantly higher than that in other erosion positions. In conclusion, *D. dichotom*a had strong ability to assimilate C and use P efficiently in severely eroded gully ecosystems and was adaptive to environments with severe soil erosion and extreme nutrient deficiency by regulating C, N and P contents in its cells.

Keywords: Ecological stoichiometry; *Dicranopreris dichotoma* leaf; Collapse mound; Soil erosion intensity; Erosion position

崩岗是中国南方花岗岩地区分布广泛、危害严重的一种土壤侵蚀类型[1]，常被称为“生态溃疡”。崩岗是流水侵蚀和重力交互作用下土层甚至风化壳遭受剥离、坍塌而形成的特殊侵蚀形式，主要由集水坡面、崩壁、崩积体、沟道和冲积扇等侵蚀部位组成[2]。芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)为里白科(Gleicheniaceae)芒萁属多年常绿蕨类植物[3]，是崩岗生态系统中分布最广泛的次生草本植物之一。芒萁自然生长能力强，具有喜酸、耐旱、耐瘠、适应性强等特点[4]，能够在南方红壤丘陵区十分贫瘠土壤中生存，适宜条件下可迅速覆盖地表，有效抑制水土流失[5]，在南方崩岗侵蚀区的水土保持中起着重要的作用。

生态化学计量学是一门把生态学和化学计量学相结合，研究生物系统能量平衡和多重化学元素平衡，并能揭示生物地球化学循环中的生态交互作用的科学[6]。植物生态化学计量学特征既反映了植物在一定环境条件下从土壤基质中吸收和存储矿质养分的能力，也反映了植物对周围环境长期适应所形成的化学计量分布特征[7]。目前，国内外已展开大量关于植物生态化学计量学的研究，但主要集中于森林[8-10]、湿地[11-13]、草原[14-16]和农田[17-18]等生态系统，而对极度退化的崩岗生态系统的研究鲜见报道，不同侵蚀强度下的崩岗内和崩岗的不同侵蚀部位中植物生态化学计量特征还需要进一步深入研究。

福建省长汀县崩岗侵蚀面积大、类型多，且侵蚀程度严重，是全国最典型的崩岗侵蚀区之一[19]。芒萁是崩岗退化生态系统中的先锋物种，在闽西崩岗侵蚀区生态恢复中起着重要的作用。C、N、P 是芒萁生长所必需的营养元素，芒萁叶片的 C、N、P 生态化学计量特征是芒萁从土壤中吸收和储存养分的能力的重要体现。为此，本研究以长汀县 3 处不同土壤侵蚀强度的典型崩岗为研究区，以崩岗内芒萁叶片的 C、N、P 生态化学计量特征为研究对象，揭示崩岗内芒萁生态化学计量特征的空间分异规律，同时分析土壤侵蚀强度对芒萁生态化学计量特征的影响，为制定科学合理的崩岗的恢复与重建决策提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于福建省西南部长汀县濯田镇西南部黄泥坑崩岗群(116º16′52″E，25º31′49″N)，属于中亚热带季风性湿润气候，夏季高温多雨，冬季温和少雨，降雨集中，年均降雨量 1 710 mm，夏长冬短，年均气温为 18.5 ℃，年均蒸发量 1 403 mm，干湿季明显，年均相对湿度 80%，年均无霜期 260 d。研究区内乔木仅存次生马尾松(*Pinus massoniana*)、木荷(*Schima superba*)，灌木有岗松(*Baeckea frutescens*)、黄瑞木(*Adinandra millettii*)、毛冬草(*Ilex pubescens*)、石斑木(*Rhaphiolepis*

indica)及轮叶蒲桃(*Syzygium grijsii*)，草本主要有芒萁、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、铁线蕨(*Adiantum capillus-veneris*)和黑莎草(*Gahnia tristis*)[20]。土壤类型主要为花岗岩在长期湿热的气候条件下发育形成的红壤，水土流失较为严重。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择

本研究依据典型性和代表性的原则，于 2014 年 7 月在黄泥坑崩岗群内选取海拔和坡度相近、母岩和成土条件相同、地表生境条件相似的 3 处不同侵蚀强度的崩岗作为研究样地。崩岗 I：土壤微度侵蚀，有较厚的枯枝落叶层；植被以芒萁为主，岗松、马尾松等乔灌丛散布其中，长势较好。崩岗 II：位于崩岗 I 东北方向约 10 m 处，土壤中度侵蚀，深红色，表层土裸露，结构疏松；芒萁、马尾松幼树和岗松稀疏分布，枝干矮小，长势较差。崩岗III：位于崩岗 II 东侧约 5 m 处，土壤强度侵蚀，表土呈赤褐色，石英颗粒分布广泛；绝大部分地表裸露，仅有零星芒萁分布。3 处崩岗的地貌特征、基本概况及各部位形态特征详见图 1、表 1。

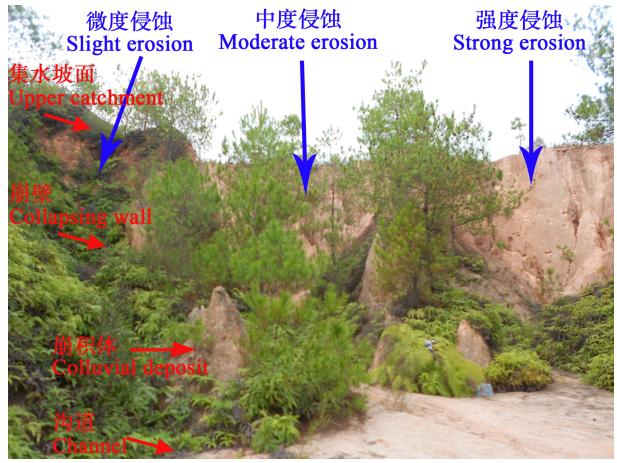

图 1 不同侵蚀强度崩岗侵蚀区的地貌特征

Fig. 1 Geomorphological characteristics of the collapse mounds with different erosion intensities

表 1 不同侵蚀强度崩岗区的基本概况

Table 1 General situations of three collapse mounds with different erosion intensities

崩岗 Collapse mound		I	II	III
侵蚀强度 Erosion intensity		微度 Slight	中度 Moderate	强度 Strong
总面积 Total area (m^2)		146	705	542
侵蚀面积 Erosion area (m^2)		96	686	520
植被覆盖度 Vegetation coverage (%)		95	20	2
侵蚀模数 Erosion modulus ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)		<500	4 500~5 000	6 000~6 500
集水坡面 Upper catchment	海拔 Altitude (m)	318	324	359
	坡度 Slope (°)	15°	3°	18°
	坡向 Aspect (°)	SE 26°	SW 19 °	SW 18°
崩壁 Collapsing wall	高度 Height (m)	6.30	11.80	9.43
	宽度 Width (m)	2.70~3.42	4.62~6.02	3.55~5.09
主沟 Main channel	长度 Length (m)	16.48	15.10	13.83
	宽度 Breadth (m)	0.71~1.54	1.83~4.45	2.20~4.50

1.2.2 样品采集与分析测定

由于 3 处不同侵蚀强度的崩岗中芒萁覆盖度差异较大，强度侵蚀崩岗的崩积体和中度侵蚀崩岗的集水坡面、崩积体、沟道处均无芒萁生长，只有微度侵蚀的崩岗中各侵蚀部位中均有芒萁生长，而在不同侵蚀强度崩岗的各侵蚀部位中只有崩壁处均有芒萁生长。根据最具代表性原则，本研究选取 3 处崩岗的崩壁进行同一侵蚀部位不同侵蚀强度下崩岗内芒萁叶片 C、N、P 生态化学计量特征研究，选取微度侵蚀的崩岗进行崩岗内不同侵蚀部位芒萁叶片 C、N、P 生态化学计量特征研究，并分别以不同侵蚀程度下的崩壁、微度侵蚀崩岗的不同侵蚀部位及 3 处不同侵蚀强度崩岗内所有芒萁生长的侵蚀部位(即强度侵蚀：集水坡面、崩壁、崩积体；中度侵蚀：崩壁；微度侵蚀：集水坡面、崩壁、崩积体、沟道)内芒萁叶片样本进行不同侵蚀程度下崩壁、崩岗不同侵蚀部位及崩岗侵蚀区内的芒萁叶片 C、N、P 含量及其比值间的回归分析。采集 5~6 丛芒萁的所有叶片作为 1 个样本，每个侵蚀部位采集 3 个样本，装入自封袋，并贴上相应的标签，带回实验室，105 ℃杀青 30 min，再置于烘箱内在 75 ℃下烘干至恒重。再放进不锈钢粉碎机中粉碎，过 100 目尼龙筛，待测。芒萁叶片的 C、N 含量采用德国 Elementar Vario EL III植物碳氮分析仪测定，P 含量先用氢氟酸-高氯酸消煮提取待测液后，再采用荷兰 Skalar san++连续流动分析仪测定。

1.3　数据处理与统计分析

应用 Microsoft Excel 2016、SPSS 22 统计分析软件进行数据处理分析，采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)及多重比较显著性检验(LSD)方法分析崩岗内不同侵蚀强度的崩壁部位和崩岗的不同侵蚀部位中芒萁叶片的化学计量特征差异。采用回归分析方法对不同侵蚀强度下崩壁、崩岗不同侵蚀部位和崩岗侵蚀区内的芒萁叶片的 C、N、P 含量以及 C/N、C/P、N/P 间的相互关系进行分析。其中相关图表经 Origin 9.0 绘图软件完成。

2　结果与分析

2.1　不同侵蚀强度下崩壁芒萁叶片 C、N、P 生态化学计量特征

2.1.1　C、N、P 含量特征

不同侵蚀强度下崩壁芒萁叶片的 C、N、P 含量变化范围分别为 470.83~492.60 g·kg^{-1}、3.68~9.41 g·kg^{-1}、0.13~0.24 g·kg^{-1}，平均值分别为：481.54 g·kg^{-1}、6.63 g·kg^{-1}、0.20 g·kg^{-1}，变异系数分别为：2%、35%、27%，变化幅度较小。不同侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C 含量差异显著(P<0.05)，以微度侵蚀最高，其次是中度侵蚀，强度侵蚀最低，C 含量随着侵蚀强度的增强而下降；不同侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 N 含量存在极显著差异(P<0.01)，中度侵蚀最高，为 9.41 g·kg^{-1}，其次是微度侵蚀，为 6.80 g·kg^{-1}，强度侵蚀最低，仅为 3.68 g·kg^{-1}；不同侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 P 含量也存在极显著差异(P<0.01)，以微度侵蚀最低，为 0.127 g·kg^{-1}，中度侵蚀和强度侵蚀的崩壁中生长的芒萁叶片 P 含量无显著差异，介于 0.24~0.25 g·kg^{-1}(图 2)。

2.1.2　C/N、C/P、N/P 特征

不同侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C/N、C/P、N/P 变化范围分别为 51.30~179.57、1 939.62~3 995.62、15.20~54.90，平均值分别为：101.13、2 642.13、36.34，变异系数分别为：91%、42%、51%。方差分析表明：不同土壤侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C/N 差异不显著(P>0.05)；而不同土壤侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C/P、N/P 均存在极显著差异(P<0.01)，C/P、N/P 均随着土壤侵蚀强度的减弱而增大，均以微度侵蚀最大，分别为 3 995.62 和 54.90，中度侵蚀和强度侵蚀崩壁的 C/P 无显著差异，分别为 1 991.16、1 939.62，而 N/P 在中度侵蚀和强度侵蚀的崩壁则存在显著差异，其大小分别为 38.92、15.20(图 3)。

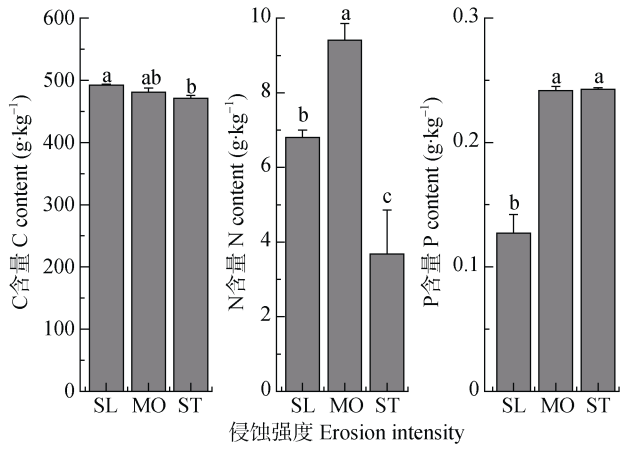

图 2　不同侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C、N、P 含量

Fig. 2　Leaf C, N and P contents of *Dicranopteris dichotoma* on collapsing wall with different erosion intensities

SL: 微度侵蚀; MO: 中度侵蚀; ST: 强度侵蚀。不同小写字母表示不同侵蚀强度间差异显著(P<0.05)。SL: slight erosion; MO: moderate erosion; ST: strong erosion. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences among different erosion intensities at 0.05 level.

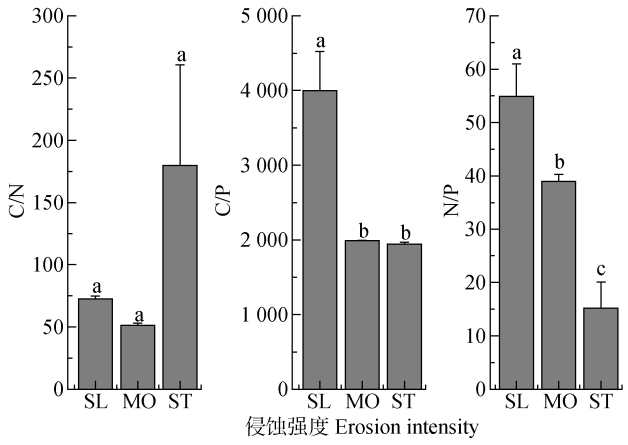

图 3　不同土壤侵蚀强度崩壁内芒萁叶片的 C/N、C/P 和 N/P 比值

Fig. 3　Leaf C/N, C/P and N/P ratios of *Dicranopteris dichotoma* in collapsing wall with different soil erosion intensities

SL: 微度侵蚀; MO: 中度侵蚀; ST: 强度侵蚀。不同小写字母表示不同侵蚀强度间差异显著(P<0.05)。SL: slight erosion; MO: moderate erosion; ST: strong erosion. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences among different erosion intensities at 0.05 level.

2.2　崩岗不同侵蚀部位芒萁叶片 C、N、P 生态化学计量特征

2.2.1　C、N、P 含量

崩岗不同侵蚀部位的芒萁叶片的 C、N、P 变化范围分别为：465.57~492.60 g·kg^{-1}、6.80~7.63 g·kg^{-1}、0.13~0.31 g·kg^{-1}，平均值分别为 478.90 g·kg^{-1}、7.02 g·kg^{-1}、0.24 g·kg^{-1}，变异系数分别为 2%、36%、7%，变化幅度均较小。方差分析表明：崩岗不同侵蚀部位的芒萁叶片的 C 含量除在崩壁与沟道的差异显著

(P<0.05)外，其他部位均没达到显著水平(P>0.05)；N 含量在集水坡面显著高于崩壁、沟道(P<0.05)，其他部位均没达到显著水平(P>0.05)；而P含量的差异则达到极显著水平(P<0.01)，从集水坡面至沟道，表现为先下降再上升的变化特征。崩岗不同侵蚀部位的芒萁叶片的 P 含量以集水坡面最高，为 0.31 g·kg^{-1}，崩壁最低，为 0.13 g·kg^{-1}，沟道和崩积体处则无显著差异，分别为 0.28 g·kg^{-1}、0.25 g·kg^{-1} (图 4)。

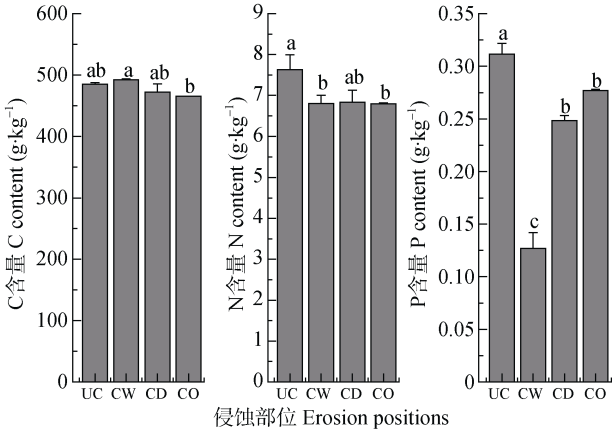

图 4 崩岗不同侵蚀部位芒萁叶片 C、N 和 P 含量

Fig. 4 Leaf C, N and P contents in *Dicranopteris dichotoma* in different erosion positions in collapse mound

UC: 集水坡面; CW: 崩壁; CD: 崩积体; CO: 沟道。不同小写字母表示不同侵蚀部位间差异显著(P<0.05)。UC: upper catchment; CW: collapsing wall; CD: colluvial deposit; CO: channel. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences among different erosion positions at 0.05 level.

2.2.2 C/N、C/P、N/P 特征

崩岗不同侵蚀部位芒萁叶片的 C/N、C/P、N/P 变化范围分别为: 63.88~72.52、1 560.88~3 995.62、24.47~54.90，平均值分别为 68.58、2 284.62、32.86，变异系数分别为 5%、44%、39%。方差分析表明：崩岗不同侵蚀部位芒萁叶片 C/N 的差异没达到显著水平(P>0.05)；而崩岗不同侵蚀部位芒萁叶的 C/P、N/P 均达到显著性差异(P<0.01)，从集水坡面至沟道，均呈现先增大后减小的变化趋势。崩岗内各侵蚀部位芒萁叶片的 C/P 以崩壁最大，为 3 995.62，崩积体、沟道、集水坡面中生长的芒萁叶片 C/P 无显著差异，介于 1 500~2 000；崩岗内各侵蚀部位芒萁叶片的 N/P 也在崩壁处最大，为 54.90，崩积体、沟道、集水坡面中生长的芒萁叶片 N/P 无显著差异，为 24~28(图 5)。

2.3 芒萁叶片 C、N、P 含量及其比值间的相关性分析

不同侵蚀强度下崩壁、崩岗不同侵蚀部位和崩岗侵蚀区内芒萁叶片的 C、N、P 含量及其比值间的

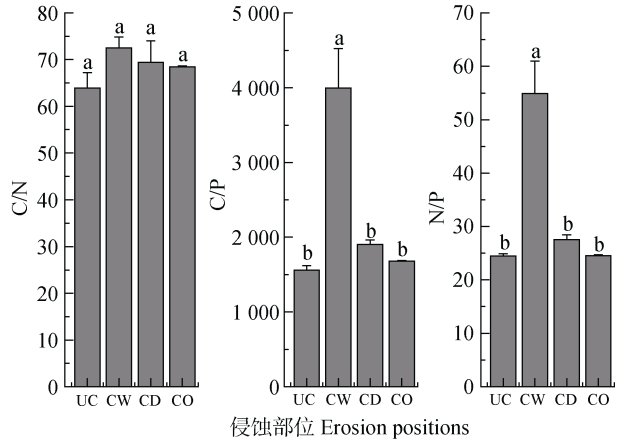

图 5 崩岗不同侵蚀部位芒萁叶片 C/N、C/P 和 N/P 比值

Fig. 5 Leaf C/N, C/P and N/P ratios in *Dicranopteris dichotoma* in different erosion positions in collapse mound

UC: 集水坡面; CW: 崩壁; CD: 崩积体; CO: 沟道。不同小写字母表示不同侵蚀部位间差异显著(P<0.05)。UC: upper catchment; CW: collapsing wall; CD: colluvial deposit; CO: channel. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences among different erosion positions at 0.05 level.

回归分析结果分别见表 2-4。分析结果表明：不同侵蚀强度下崩壁、崩岗不同侵蚀部位和崩岗侵蚀区内的芒萁叶片的 C、N、P 含量间除不同侵蚀强度下崩壁的 P 与 C 呈显著负相关外均无显著的相关性(P>0.05)，但其 C、N、P 含量却与 C/N、C/P 和 N/P 大多具有显著或极显著的相关性，且 C/N、C/P 和

表 2 不同侵蚀强度崩壁芒萁叶片的 C、N 和 P 含量与其比值间的关系

Table 2 Relationship among C, N and P contents and their ratios in leaf of *Dicranopreris dichotoma* on collapsing wall with different erosion intensities

y	x	回归方程 Regression equation	R^2 及显著性 R^2 & sig.
N	C	y=0.132x−56.813	0.327
P	C	y=−0.003x+1.866	0.476*
C/N	C	y=5.337x+2 671.237	0.468*
C/P	C	y=65.402x−28 851.448	0.480*
N/P	C	y=1.366x−621.319	0.750**
P	N	y=−0.001x+0.210	0.002
C/N	N	y=−28.757x+291.864	0.722**
C/P	N	y=21.959x+2 496.491	0.003
N/P	N	y=4.280x+7.951	0.305
C/N	P	y=375.594x+24.550	0.058
C/P	P	y=−18 461.890x+6 406.309	0.957**
N/P	P	y=−250.928x+87.503	0.633**
C/P	C/N	y=−2.859x+2 931.225	0.056
N/P	C/N	y=−0.137x+50.212	0.460*
N/P	C/P	y=0.014x+0.531	0.658**

表示 P≤0.01; *表示 P≤0.05; n=9。 means significant correlation at 0.01 level. * means significant correlation at 0.05 level. n = 9.

表 3　崩岗不同侵蚀部位芒萁叶片的 C、N 和 P 含量与其比值间的关系

Table 3　Relationship among C, N and P contents and their ratios in leaf of *Dicranopreris dichotoma* in different erosion positions of collapse mound

y	x	回归方程 Regression equation	R^2 及显著性 R^2 & sig.
N	C	y=−0.002x+7.757	0.002
P	C	y=−0.002x+1.210	0.171
C/N	C	y=−0.173x−14.506	0.221
C/P	C	y=−38.603x−16 202.526	0.275
N/P	C	y=0.460x−187.637	0.167
P	N	y=0.070x−0.247	0.246
C/N	N	y=−9.500x+135.254	0.809**
C/P	N	y=−799.163x+7 893.606	0.144
N/P	N	y=−7.257x+83.787	0.074
C/N	P	y=−45.049x+79.436	0.357*
C/P	P	y=−14 373.149x+5 748.546	0.913**
N/P	P	y=−180.464x+76.348	0.894**
C/P	C/N	y=109.315x−5 212.076	0.300
N/P	C/N	y=1.104x−42.848	0.157
N/P	C/P	y=0.013x−4.149	0.981**

表示 P≤0.01; *表示 P≤0.05; n=12。 means significant correlation at 0.01 level. * means significant correlation at 0.05 level. n = 12.

表 4　闽西南崩岗侵蚀区内芒萁叶片中 C、N 和 P 含量与其比值间的关系

Table 4　Relationship among C, N and P contents and their ratios in leaf of *Dicranopreris dichotoma* in the area of collapsing erosion in Southwestern Fujian

y	x	回归方程 Regression equation	R^2 及显著性 R^2 & sig.
N	C	y=0.048x−16.446	0.114
P	C	y=−0.001x+0.710	0.053
C/N	C	y=2.430x+1 256.190	0.229*
C/P	C	y=21.442x−8 132.946	0.160
N/P	C	y=0.437x−180.872	0.250*
P	N	y=0.009x+0.194	0.086
C/N	N	y=−31.202x+297.952	0.764**
C/P	N	y=−46.300x+2 395.747	0.015
N/P	N	y=3.560x+4.715	0.335**
C/N	P	y=−248.529x+158.987	0.042
C/P	P	y=−11 536.557x+4 983.039	0.818**
N/P	P	y=−115.123x+56.462	0.275**
C/P	C/N	y=0.003x+91.550	0.001
N/P	C/N	y=−0.097x+37.043	0.316**
N/P	C/P	y=0.012x+2.624	0.515**

表示 P≤0.01; *表示 P≤0.05; n=24。 means significant correlation at 0.01 level. * means significant correlation at 0.05 level. n = 24.

N/P 三者之间也多具有显著或极显著的相关性。一方面，不同侵蚀强度下崩壁、崩岗不同侵蚀部位和崩岗侵蚀区芒萁叶片的 N 含量与 C/N、P 含量与 C/P、N/P 间均分别存在极显著负相关(P<0.01)，其中在崩岗不同侵蚀部位中相关性较高；不同侵蚀强度下崩壁和崩岗侵蚀区芒萁叶片的 N/P 与 C/N 均存在显著的负相关关系。另一方面，不同侵蚀强度下的崩壁、崩岗不同侵蚀部位和崩岗侵蚀区的芒萁叶片 C/P 与 N/P 间均存在极显著的正相关(P<0.01)；不同侵蚀强度下崩壁的芒萁叶片 C 与 C/N、C/P、N/P 及崩岗侵蚀区芒萁叶片的 N 与 N/P、C 与 C/N 间也存在显著的正相关。

3　讨论

3.1　芒萁叶片 C、N、P 的化学计量特征

叶片既是植物进行光合作用的最重要场所，同时又是植物对环境变化反应最敏感的器官，叶片中营养元素含量特征能反映植物群落的生境条件，其 C、N、P 的化学计量比具有相对稳定的特征，能在一定程度上体现生态系统 C 积累动态及 N、P 养分限制格局[21-22]。崩岗内芒萁叶片的 C 平均含量(477.10 g·kg^{-1})略高于全球 492 种陆生植物的 C 平均含量(464 g·kg^{-1})[23]，表明崩岗内芒萁叶片的 C 储量较高。崩岗内芒萁叶片的 N、P 平均含量为 6.45 g·kg^{-1}、0.25 g·kg^{-1}，比中国东部南北样带的蕨类植物叶片的 N、P 平均含量(11.25 g·kg^{-1} 和 0.88 g·kg^{-1})[24]低，也明显低于中国 753 种陆生植物叶片的 N、P 平均含量(20.2 g·kg^{-1} 和 1.46 g·kg^{-1})[25]，表明崩岗内芒萁叶片的 N、P 含量极低。

不同侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C、N、P 含量差异均显著，其中芒萁叶片的 C 含量随土壤侵蚀强度的减弱而增高，N 含量变化规律为：中度侵蚀>微度侵蚀>强度侵蚀，而 P 含量随着侵蚀强度的增强而增加。不同土壤侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C 平均含量分别为：微度侵蚀 492.60 g·kg^{-1}、中度侵蚀 481.19 g·kg^{-1}、强度侵蚀 470.83 g·kg^{-1}，而其对应的表层土壤中 C 平均含量分别为：微度侵蚀 4.22 g·kg^{-1}、中度侵蚀 0.45 g·kg^{-1}、强度侵蚀 0.33 g·kg^{-1}，尽管芒萁叶片的 C 含量与土壤 C 含量都随着侵蚀程度增强呈递增的趋势，但可以看出虽然微度侵蚀的土壤 C 含量远高于中、强度侵蚀，而芒萁叶片中 C 含量在各侵蚀程度的崩壁间差异并不大，这说明在土壤 C 养分极低的情况下，芒萁也能通过自身的生长机制获取足够的 C，这也是芒萁能在贫瘠的土壤生长的重要原因。崩岗侵蚀区内土壤 N 含量偏低[20]，在强度侵蚀的崩壁内土壤中的 N 素淋失较中度侵蚀严重，而在微度侵蚀的崩壁内芒萁生长旺盛，对土

壤中碱解氮需求相对较高，加之植物凋落物对土壤中碱解氮影响相对较小[26]，故在崩岗-土壤-芒萁系统中微度侵蚀崩壁的单位芒萁体内从土壤中获得的 N 较中度侵蚀少。研究区是中国南方离子型稀土矿区，土壤中稀土元素含量较高。不同侵蚀强度崩岗内土壤中稀土元素含量分别为：微度侵蚀 1 062.55 $mg·g^{-1}$、中度侵蚀 452.45 $mg·g^{-1}$、强度侵蚀 353.88 $mg·g^{-1}$[27]；不同侵蚀强度崩岗内土壤中有效磷含量分别为：微度侵蚀 0.33 $mg·g^{-1}$、中度侵蚀 0.60 $mg·g^{-1}$、强度侵蚀 0.66 $mg·g^{-1}$[28]。相关研究表明[29-31]，随着土壤中稀土元素含量增加，土壤有效磷含量显著降低，当土壤中稀土元素累积到一定程度时，将引起土壤供 P 能力显著降低。土壤中稀土元素含量随着侵蚀强度的增强而下降，从而导致土壤中有效磷含量随着土壤侵蚀强度增强而增加，土壤中 P 环境的改变最终影响了芒萁叶片 P 养分含量。在崩岗的不同侵蚀部位中 C、N 含量总体上未达到显著差异(P>0.05)，而 P 含量则存在极显著差异(P<0.01)，沿集水坡面至沟道出口，呈现出先下降低再上升的变化规律，集水坡面显著高于其他侵蚀部位，崩壁则显著低于其他侵蚀部位。集水坡面坡度相对较小，而崩壁处坡度则较大、表层土壤结构较为松散，土壤中可溶性磷大量淋失，芒萁从土壤中获得的 P 养分极少，故崩壁处芒萁体内的 P 含量极低。

通常，植物对于营养元素的吸收是按一定比例进行，叶片内的营养元素间应存在显著的线性关系，即具有动态平衡关系[22]。叶片的 C 与 N、P 的负相关关系和叶片 N、P 之间的正相关关系是高等陆生植物养分计量的普遍规律之一[32]。崩岗区内芒萁叶片的 C 和 N 的相关性不显著，这与阿拉善荒漠退化生态系统典型植物叶片[33]和黔中喀斯特区天然次生林主要优势树种叶片[34]的 C 和 N 的相关关系一致；不同侵蚀强度下崩壁、崩岗不同侵蚀部位和崩岗侵蚀区的芒萁叶片的 C 和 P 的关系除在不同侵蚀部位中呈现显著负相关外相关性均不显著，这一研究结果与滇池流域植物叶片[35]和滨海盐碱地碱蓬(*Suaeda salsa*)叶片[36]的 C、N、P 化学计量特征不同，说明了生长在崩岗侵蚀区的芒萁在固定 C 的过程中对 N、P 元素的权衡策略不同于其他地区的植物类群。N、P 之间的非相关性体现了闽西南崩岗侵蚀区芒萁两种营养元素变化的非一致性[21]。总的来说，崩岗侵蚀区内芒萁叶片内的营养元素间的动态平衡关系较差，但其相关性特征与其他一些退化生态系统[33-34]相似，这可能与崩岗侵蚀区内土壤 N、P 含量不足，从而影响了芒萁体内 C、N 和 P 含量的平衡有关。

3.2 芒萁叶片的化学计量比对侵蚀程度和侵蚀部位的响应

植物叶片中的 C/N 和 C/P 反映了植物对 C 与 N、P 的相对协调能力，并预示着植物在吸收营养过程中对 C 的同化能力，在一定程度上反映了植物的养分利用效率[37]。崩岗内芒萁叶片 C/N、C/P 的平均值分别为 96.82、2 097.30，明显大于全球尺度内植物的 C/N、C/P(分别为 22.50 和 232.00)[23]，C/N 和 C/P 均较大，反映了崩岗生态系统中芒萁具有较强的 C 同化能力，能够在 C 含量较低的土壤中吸收 C 满足其自身生长需要。植物叶片 N/P 比值经常被用来判断植物养分限制状况，它是判断环境对植物生长养分供应状况的重要指标[21]。已有研究表明[38]，当 N/P 大于 16，植物生长主要受 P 限制；当 N/P 小于 14，植物生长主要受 N 限制；当 N/P 大于 14 小于 16 时，植物生长受 N 和 P 共同限制。崩岗内芒萁叶片的 N/P 为 27.67，这说明崩岗内芒萁生长受到 P 元素限制的特征较为明显。

不同侵蚀强度下崩壁内芒萁叶片的 C/P 差异显著(P<0.01)，呈现的变化规律为：微度侵蚀>中度侵蚀>强度侵蚀，微度侵蚀是强度侵蚀的 2.06 倍，这主要是由微度侵蚀中芒萁叶片的 P 含量较低导致。芒萁叶片的 N/P 大小在不同侵蚀强度下崩壁内存在显著性差异(P<0.01)，强度侵蚀崩壁内芒萁叶片的 N/P 为 15.20，在微度侵蚀的崩壁内芒萁叶片的 N/P 则达 54.90，两者相差的 2.61 倍，这表明芒萁生长在土壤侵蚀程度较微弱的崩壁比侵蚀强度强烈的崩壁受 P 限制更为明显。在崩岗不同侵蚀部位芒萁叶片的 C/P、N/P 比值差异显著(P<0.05)，沿集水坡面至沟道出口，均表现为先增大再减小的空间分异特征。崩壁显著大于其他各侵蚀部位，沟道、崩积体和集水坡面 3 个侵蚀部位间无显著差异。由此可见，在崩岗的不同侵蚀部位中，生长在崩壁处的芒萁对 P 利用效率显著高于其他侵蚀部位。

4 结论

闽西南崩岗侵蚀区芒萁叶片的 C、N、P 化学计量特征与土壤侵蚀程度有着密切的联系，随着土壤侵蚀程度的逐渐加强，芒萁叶片的 C 含量、C/P、N/P 逐渐呈现下降的规律，P 含量呈现逐渐上升趋势，而 N 含量在中等侵蚀强度下较高。可见，芒萁能通过调节自身的养分机制以适应土壤侵蚀严重、养分极度贫瘠的生境。芒萁叶片的生态化学计量特征在崩

岗不同侵蚀部位间的空间分异特征显著, 具体表现为沿集水坡面至沟道出口, 各侵蚀部位芒萁叶片 P 含量呈现出先下降再上升的变化规律, 而 C/P、N/P 则表现为先增大再减小的空间分异特征, P 含量最低的部位和 C/P、N/P 最大的部位均为崩壁, 显然, 生长崩壁处的芒萁对 C 的同化能力较强, 对 P 利用效率也较高。总之, 芒萁因其同化 C 的能力较强且对 P 利用效率较高, 故其对较为贫瘠生境具有很强的适应能力, 这说明在养分极度贫瘠的崩岗侵蚀区尤其是崩壁中通过芒萁生长对土壤侵蚀阻控的可行性。

参考文献 References

[1] 陈志彪, 朱鹤健, 刘强, 等. 根溪河小流域的崩岗特征及其治理措施[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(5): 83–88
CHEN Z B, ZHU H J, LIU Q, et al. Slump gully characteristic of small watershed of Genxi River and its control measures[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(5): 83–88

[2] 姜超, 陈志彪, 陈志强, 等. 闽西南崩岗土壤重金属含量、分布、来源及生态风险[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(3): 373–383
JIANG C, CHEN Z B, CHEN Z Q, et al. Content, distribution, source and ecological risk of heavy metals in soils of Benggang areas in Southwest Fujian[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(3): 373–383

[3] 福建省科学技术委员会《福建植物志》编写组. 福建植物志 第一卷[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1982: 33–35
《Flora Fujian》 Drafting Group of Science and Technology Committee in Fujian Province. Flora Fujian Tomus 1[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Publishing House, 1982: 33–35

[4] 邓恢, 林沁文, 滕华卿, 等. 强度水土流失区芒萁生长规律分析[J]. 福建林学院学报, 2004, 24(3): 262–264
DENG H, LIN Q W, TENG H Q, et al. Analysis on the growth regularity of *Dicranopteris dichotoma* in areas of intensive soil erosion[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2004, 24(3): 262–264

[5] 曾月娥, 陈志强. 南方红壤丘陵区微地形对芒萁生长特征及其土壤肥力的影响[J]. 广西植物, 2018, 38(6): 687–695
ZENG Y E, CHEN Z Q. Effects of microtopography on *Dicranopteris dichotoma* growth characteristics and soil fertility in an experiment plot in red soil hilly region of South China[J]. Guihaia, 2018, 38(6): 687–695

[6] 张欣影, 宁秋蕊, 李守中, 等. 亚热带红壤侵蚀区马尾松针叶生态化学计量特征[J]. 水土保持研究, 2017, 24(2): 156–161
ZHANG X Y, NING Q R, LI S Z, et al. Stoichiometric characteristics of *Pinus massoniana* plantation in the subtropical red soil erosion region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(2): 156–161

[7] 沈艳, 谢应忠, 甄研, 等. 不同恢复措施对典型草原优势植物碳、氮、磷化学计量特征的影响[J]. 农业科学研究, 2013, 34(3): 5–9
SHEN Y, XIE Y Z, ZHEN Y, et al. Study on the carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of dominant plants under different recovery measures in typical steppe[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2013, 34(3): 5–9

[8] YANG Y H, LUO Y Q. Carbon: Nitrogen stoichiometry in forest ecosystems during stand development[J]. Global Ecology and Biogeography, 2011, 20(2): 354–361

[9] 任书杰, 于贵瑞, 姜春明, 等. 中国东部南北样带森林生态系统 102 个优势种叶片碳氮磷化学计量学统计特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 581–586
REN S J, YU G R, JIANG C M, et al. Stoichiometric characteristics of leaf carbon, nitrogen, and phosphorus of 102 dominant species in forest ecosystems along the North-South Transect of East China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(3): 581–586

[10] 周国新. 会同杉木林生态系统 C∶N∶P 生态化学计量的季节动态特征[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015: 1–44
ZHOU G X. Seasonal dynamics of C∶N∶P ecological stoichiometry of Chinese fir in Huitong[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2015: 1–44

[11] 韩华. 崇明滩涂湿地不同水盐梯度下植物群落碳氮磷生态化学计量学特征[D]. 上海: 华东师范大学, 2014: 1–72
HAN H. Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of vegetation community under the gradients of soil water-salt in Chongming Wetlands[D]. Shanghai: East China Normal University, 2014: 1–72

[12] 胡伟芳, 章文龙, 张林海, 等. 中国主要湿地植被氮和磷生态化学计量学特征[J]. 植物生态学报, 2014, 38(10): 1041–1052
HU W F, ZHANG W L, ZHANG L H, et al. Stoichiometric characteristics of nitrogen and phosphorus in major wetland vegetation of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2014, 38(10): 1041–1052

[13] 赵美霞, 李德志, 潘宇, 等. 崇明东滩湿地芦苇和互花米草 N、P 利用策略的生态化学计量学分析[J]. 广西植物, 2012, 32(6): 715–722
ZHAO M X, LI D Z, PAN Y, et al. Ecological stoichiometrical analysis on the strategies of utilization of nitrogen and phosphorus in *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in Chongming Dongtan wetland[J]. Guihaia, 2012, 32(6): 715–722

[14] 张文彦, 樊江文, 钟华平, 等. 中国典型草原优势植物功能群氮磷化学计量学特征研究[J]. 草地学报, 2010, 18(4): 503–509
ZHANG W Y, FAN J W, ZHONG H P, et al. The nitrogen: Phosphorus stoichiometry of different plant functional groups for dominant species of typical steppes in China[J]. Acta Agrestia Sinica, 2010, 18(4): 503–509

[15] 刘曼霞, 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[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2012, 48(3): 70–75
LIU M X, WANG G. N and P stoichiometry of plant and soil on slope direction gradient of sub-alpine meadows[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2012, 48(3): 70–75

[16] 宋彦涛, 周道玮, 李强, 等. 松嫩草地 80 种草本植物叶片氮磷化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2012, 36(3): 222–230
SONG Y T, ZHOU D W, LI Q, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in 80 herbaceous plant species of Songnen grassland in Northeast China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(3): 222–230

[17] 林朝晖. 赣抚平原农田沟渠植物多样性及生态化学计量特征研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015: 1–48
LIN C H. Study on diversity and ecological stoichiometry characteristics of plants grown in farmland ditches of Ganfu Plain[D]. Nanchang: Nanchang University, 2015: 1–48

[18] 罗艳, 贡璐, 李杨梅. 塔里木河上游绿洲农田不同生育期玉米根茎叶生态化学计量特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 112–119
LUO Y, GONG L, LI Y M. Stoichiometry characteristics of root, stem and leaf of maize in different growth stages in the upper reaches of the Tarim River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(2): 112–119

[19] 蔡丽平, 刘明新, 侯晓龙, 等. 长汀县崩岗侵蚀区不同治理模式植物多样性的比较[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2012, 41(4): 524–528
CAI L P, LIU M X, HOU X L, et al. Comparison of plant diversity among different governance models in collapsing gully erosion area of Changting County[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2012, 41(4): 524–528

[20] 姜超. 崩岗系统土壤理化性质及化学计量特征的空间分异[D]. 福州: 福建师范大学, 2016: 1–78
JIANG C. Spatial variation of soil physical-chemical properties and stoichiometric characteristics in *Benggang* system[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2016: 1–78

[21] 李从娟, 雷加强, 徐新文, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5760–5767
LI C J, LEI J Q, XU X W, et al. The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5760–5767

[22] 常云妮, 钟全林, 程栋梁, 等. 尤溪天然米槠林植物碳氮磷的化学计量特征及其分配格局[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(3): 1–10
CHANG Y N, ZHONG Q L, CHENG D L, et al. Stoichiometric characteristics of C, N, P and their distribution pattern in plants of *Castanopsis carlesii* natural forest in Youxi[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2013, 22(3): 1–10

[23] ELSER J J, STERNER R W, GOROKHOVA E, et al. Biological stoichiometry from genes to ecosystems[J]. Ecology Letters, 2000, 3(6): 540–550

[24] 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
REN S J, YU G R, TAO B, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC[J]. Environmental Science, 2007, 28(12): 2665–2673

[25] HAN W X, FANG J Y, GUO D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. New Phytologist, 2005, 168(2): 377–385

[26] 宋蒙亚, 李忠佩, 刘明, 等. 不同林地凋落物组合对土壤速效养分和微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(9): 2454–2461
SONG M Y, LI Z P, LIU M, et al. Effects of mixture of forest litter on nutrient contents and functional diversity of microbial community in soil[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(9): 2454–2461

[27] 赵纪涛, 陈志彪, 陈志强, 等. 不同侵蚀强度下崩岗表层土壤稀土元素分布特征及影响因素[J]. 海南师范大学学报: 自然科学版, 2016, 29(1): 65–69
ZHAO J T, CHEN Z B, CHEN Z Q, et al. Distribution characteristics and influential factors of ree in the surface soil of the different erosion intensities of benggang[J]. Journal of Hainan Normal University: Natural Science, 2016, 29(1): 65–69

[28] 姜超, 陈志彪, 陈志强, 等. 崩岗侵蚀对土壤速效养分质量分数及化学计量比的影响[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(2): 31–40
JIANG C, CHEN Z B, CHEN Z Q, et al. Effects of collapse mound erosion on soil available nutrient contents and their stoichiometry ratios[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2016, 14(2): 31–40

[29] 徐星凯, 王子健, 刘琰. 土壤—植物系统中稀土元素与氮磷养分的交互作用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 750–752
XU X K, WANG Z J, LIU Y. Interaction between rare earths and nitrogen and phosphorus in soil-plant system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 750–752

[30] 丁士明, 梁涛, 张自立, 等. 稀土对土壤的生态效应研究进展[J]. 土壤, 2004, 36(2): 157–163
DING S M, LIANG T, ZHANG Z L, et al. Advances of ecological effect of rare earths on soil[J]. Soils, 2004, 36(2): 157–163

[31] 徐星凯, 王子健. 稀土对玉米根际土壤 P 形态分布及生物有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 148–151
XU X K, WANG Z J. Effect of rare earth elements on the distribution of P forms in the rhizosphere soil and P uptake by maize plant[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(1): 148–151

[32] STERNER R W, ELSER J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere[M]. Princeton: Princeton University Press, 2002

[33] 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
ZHANG K, HE M Z, LI X R, et al. Foliar carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of typical desert plants across the Alashan Desert[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(22): 6538–6547

[34] 皮发剑, 袁丛军, 喻理飞, 等. 黔中天然次生林主要优势树种叶片生态化学计量特征[J]. 生态环境学报, 2016, 25(5): 801–807
PI F J, YUAN C J, YU L F, et al. Ecological stoichiometry

characteristics of plant leaves from the main dominant species of natural secondary forest in the central of Guizhou[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(5): 801–807

[35] 阎凯, 付登高, 何峰, 等. 滇池流域富磷区不同土壤磷水平下植物叶片的养分化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2011, 35(4): 353–361
YAN K, FU D G, HE F, et al. Leaf nutrient stoichiometry of plants in the phosphorus-enriched soils of the Lake Dianchi watershed, southwestern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(4): 353–361

[36] 李征, 韩琳, 刘玉虹, 等. 滨海盐地碱蓬不同生长阶段叶片 C、N、P 化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2012, 36(10): 1054–1061
LI Z, HAN L, LIU Y H, et al. C, N and P stoichiometric characteristics in leaves of *Suaeda salsa* during different growth phase in coastal wetlands of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(10): 1054–1061

[37] 羊留冬, 杨燕, 王根绪, 等. 短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(13): 3668–3676
YANG L D, YANG Y, WANG G X, et al. Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of *Abies fabiri* (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3668–3676

[38] 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

欢迎订阅 2019 年《甘肃农业科技》

《甘肃农业科技》(54-8)为甘肃省农业科学院主办, 国内外公开发行的综合性农业科技期刊(月刊), 是全国优秀农业期刊和全国优秀科技期刊。现被中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、中文科技期刊数据库、中国期刊全文数据库(CJFD)、万方数据库、重庆维普中文科技期刊数据库等 11 个数据库收录。

全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 54-8, 全年 12 期, 每期定价 8 元(全年 96 元); 也可到我刊编辑部直接订阅。

银行汇款: 甘肃省农业科学院农业经济与信息研究所

账　　号: 27-022201040000588

开 户 行: 农行兰州市安宁区支行师专分理处

行　　号: 103821002221

汇款地址: 甘肃省兰州市安宁区农科院新村 1 号《甘肃农业科技》编辑部　邮编: 730070

编辑部电话: 0931-7614994　投稿邮箱: gsbianjibu@163.com

欢迎订阅 2019 年《中国稻米》杂志

《中国稻米》是由农业农村部主管, 中国水稻研究所主办, 全国农业技术推广服务中心等单位协办的全国性水稻科学技术期刊, 兼具学术性、技术性、知识性、信息性等特点。2014 年被国家新闻出版广电总局认定为首批学术类期刊, 为中文核心期刊和中国科技核心期刊, 还荣获全国农业期刊金犁奖技术类一等奖、浙江省优秀科技期刊一等奖等奖项。适合我国水稻产区各级技术人员及农业与粮食行政管理人员、科研教学人员和稻农阅读。本刊为双月刊, 标准大 16 开本, 单月 20 日出版。每期定价 10.00 元, 全年 60.00 元, 全国公开发行, 邮发代码: 32-31, 国内刊号: CN33-1201/S, 国际统一刊号: ISSN 1006-8082。欢迎新老读者到当地邮局订阅, 也可直接汇款到本刊编辑部订阅。E-mail: zgdm@163.com; 网址: www.zgdm.net; 地址: 浙江省杭州市富阳区新桥水稻所路 28 号; 邮政编码: 311400; 电话(传真): 0571-63370271, 63370368。