应用生态学报 2018年5月 第29卷 第5期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, May 2018, 29(5): 1535-1541 DOI: 10.13287/j.1001-9332.201805.007

武功山山地草甸不同海拔凋落物-土壤碳、氮、磷含量及其生态化学计量特征

刘 倩 王书丽 邓邦良 郑 翔 黄立君 郭晓敏 张学玲 张 令*
(江西农业大学林学院/江西省森林培育重点实验室, 南昌 330045)

摘 要 以江西省武功山海拔1500~1900 m山地草甸为研究对象,研究不同海拔凋落物-土壤碳(C)、氮(N)、磷(P)含量及生态化学计量特征,并对其相关性进行分析.结果表明:不同海拔下凋落物C、N、P含量分别为397.5~458.24、11.59~17.12、1.05~2.19 mg·g^{-1},凋落物C含量随海拔升高不断减小,凋落物N、P含量随海拔升高先下降后升高.土壤C、N、P含量分别为51.64~80.01、3.30~4.77、0.44~1.09 mg·g^{-1},土壤C、N、P含量随海拔升高先增加后降低,土壤全P含量变异较小.不同海拔凋落物C∶N、C∶P、N∶P分别为24.73~40.36、203.65~463.08、7.16~13.80,并随海拔升高先升高后下降.不同海拔土壤C∶N、C∶P、N∶P分别为14.95~16.95、56.87~162.52、3.69~10.58,土壤C∶N随海拔升高没有显著变化,土壤C∶P、N∶P随海拔升高先升高后下降,在海拔1600~1700 m处达到最大.武功山山地草甸凋落物与土壤C、N、P含量随海拔升高的变化规律不同,不同海拔凋落物C、N、P均值,以及C∶N、C∶P和N∶P大于土壤.

关键词 海拔; 凋落物; 土壤; 碳; 氮; 磷

Carbon, nitrogen and phosphorus contents and their ecological stoichiometry in litters and soils on meadow of Wugong Mountain, Jiangxi, China at different altitudes.

LIU Qian, WANG Shu-li, DENG Bang-liang, ZHENG Xiang, HUANG Li-jun, GUO Xiao-min, ZHANG Xue-ling, ZHANG Ling* (*College of Forestry, Jiangxi Agricultural University/Jiangxi Province Key Laboratory of Silviculture, Nanchang* 330045, *China*).

Abstract: Carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) contents and ecological stoichiometry and their correlations of litter and soil along 1500-1900 m on Wugong Mountain meadow were studied. The results showed that litter C, N and P contents varied in the range of 397.5-458.24, 11.59-17.12, 1.05-2.19 mg·g^{-1}, respectively. Litter C content decreased, and the contents of N and P decreased first and then increased with the increases of altitude. Soil C, N and P contents varied in the range of 51.64-80.01, 3.30-4.77, 0.44-1.09 mg·g^{-1}, respectively. Soil C, N and P contents first increased and then decreased with the increases of altitude. However, soil P varied much less along the altitude gradient. Litter C:N, C:P and N:P varied in the range of 24.73-40.36, 203.65-463.08, 7.16-13.80, respectively, and first increased but then decreased with altitude. Soil C:N, C:P and N:P were 14.95-16.95, 56.87-162.52, 3.69-10.58, respectively. Soil C:N changed little with altitude. Soil C:P and N:P first increased and then decreased with increasing altitude, with the maximum presented at 1600-1700 m. Changes in soil C, N and P contents differed between litter and soil on Wugong Mountain meadow. The mean C, N and P contents as well as C:N, C:P and N:P in litter were higher than those in soil.

Key words: altitude; litter; soil; C; N; P.

本文由国家自然科学基金项目(31360177,31560150)和江西农业大学博士后科研基金项目(9232306047)资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31360177, 31560150) and the Postdoctoral Science Foundation of Jiangxi Agricultural University (9232306047).
2017-11-19 Received, 2018-02-12 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lingzhang09@126.com

碳(C)是植物结构性元素,氮(N)是植物的基本营养元素,磷(P)是植物生长限制元素,对生态系统的结构和功能有重要作用[1].生态化学计量学是物理学、化学及生物学基本原理的集合,利用多种化学元素在生态过程中的平衡关系,为 C、N、P 在生态系统过程中耦合关系的研究提供了技术方法.植物生长所需养分主要来源于土壤,土壤对植物生长具有重要的调节作用[2].植物通过光合作用固定 C,同时将部分 C 转移到土壤,并且以凋落物分解的形式使土壤 C 得到补给.联系植被和土壤的纽带就是凋落物的分解过程,在分解过程中植物养分需求量、植物对自身养分需求、土壤养分供应量及养分的返还量可以进行自我调节,从而使凋落物-土壤养分含量发生明显的时空变化,这增强了凋落物-土壤 C、N、P 之间相关关系的复杂性[3-5].

海拔是影响土壤 C、N、P 分布的重要因素之一,其作为一种自然地理变化,温度、降水和植被类型等会通过海拔的变化而改变,进而对土壤养分供应情况及理化性质产生影响.因此,研究凋落物-土壤 C、N、P 含量及生态化学计量特征随海拔的变化是非常必要的.Nottingham 等[6]对不同海拔上热带土壤研究表明,C∶P 与 N∶P 具有较高的空间变异特征,C∶N、C∶P 及 N∶P 均随海拔的升高呈现逐渐上升的趋势.李丹维等[7]研究发现,太白山土壤 C、N 含量随海拔升高先增加后降低,P 含量的空间变异较小,这是因为在海拔较低时,土壤温度较高,土壤的风化速率加快,P 的累积得到不断增加,但由于降雨加快了淋溶过程,致使 P 不断损失;随海拔的增加 C∶N 与 C∶P 表现出相似的变化趋势,N∶P 随海拔增加先升高后下降,土壤 C∶P、N∶P在海拔 2200~2300 m 内生态化学计量特征明显高于其他海拔,这是由于凋落物和根系在分解过程中形成了丰富的微生物区系,增强了该海拔内的土壤生物活性,使土壤 C、N 含量较高.陈军强等[8]研究表明,亚高山草甸高产草地与低产草地养分元素的生态化学计量特征显示出一定的分异性,高产和低产样地植物群落的 C 含量均高于全球植物叶片平均含量,C 是基本元素,在植物体中含量较大;高产样地植物群落 N 含量显著低于低产样地植物群落,动物排放的粪便会增加土壤中速效 N 的含量,使植物从土壤中得到更多的 N;高产样地植物群落 P 含量显著高于低产样地植物群落,这可能是由于 P 的转移性,在植株体内使 P 的相对含量增加,导致 P 含量较高.可见,不同海拔凋落物-土壤生态化学计量特征尚存争议.因此,有必要探明不同海拔影响下凋落物-土壤生态化学计量学特征的变化规律.草甸作为重要的生态系统之一,在 C、N 等元素的固定和循环方面有着重要作用.草甸生态系统凋落物质量和产量会随着海拔和物种的变化而变化,进而影响土壤-植物之间 C、N、P 等元素的生态化学计量比.武功山山地草甸是南方陆地生态系统中重要的草地生态系统类型之一[9].近年来,武功山草甸因游人践踏等造成草甸植被破坏,土壤裸露且养分循环受扰动,蓄水能力降低,对于草甸的保育修复十分必要.本文以武功山山地草甸不同海拔(1500~1900 m)凋落物-土壤为研究对象,研究海拔对凋落物和土壤 C、N、P 含量及生态化学计量比的变化特征,分析不同海拔条件下凋落物-土壤的相互关系,为武功山山地草甸生态系统的经营管理和可持续发展提供科学依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

武功山位于江西省西部(27°24′—27°34′ N,114°5′—114°15′ E),地跨萍乡市芦溪县、吉安市安福县、宜春市袁州区三地,属罗霄山脉北段,南北走向绵延约 120 km,总面积约 260 km^2,是赣江水系和湘江水系的分水岭.武功山岩石主要由片麻岩及花岗岩构成,山势陡峻、山体垂直且海拔较高,土壤和植被的垂直地带性分异明显,其以低山和中山类型为主,沿海拔梯型分布着红壤、黄棕壤、黄壤和高原草甸土.

试验区位于武功山草甸区,海拔 1500~1900 m,土壤是山地草甸土,由花岗岩发育而来.在天然草地上,主要有禾本科的芒(*Miscanthus sinensis*)、野古草(*Arudinella hirta*),以及莎草科的飘拂草(*Fimbristylis wukungshanensis*)、中华薹草(*Carex chinensis*)等.

1.2 样地设置和样品采集

2016 年 9 月根据海拔间隔 100 m 及植被群落进行样地设置,采集武功山 1500~1900 m 草甸区的土样.同一海拔随机选取 4 个 30 m×30 m 样方.在样方内采集新鲜凋落物,风干,磨碎用于植物 C、N、P 含量的测定.在对应样方内采用土钻多点取土法,取 0~20 cm 土样,混合均匀后自然风干,去除细根及石粒等,研磨过 100 目筛保存,用于土壤 C、N、P 含量的测定.土样采集点用 GPS 和数字坡度仪测定每一样地的海拔、经纬度、坡向和坡度等(表 1).

表 1　不同海拔样地概况

Table 1　General information of the sampling sites at different altitudes

海拔 Altitude (m)	位置 Location	植被群落 Vegetation community	坡度 Slope (°)	方位角 Azimuth (°)
1500~1600	27°27′58″ N, 114°10′32″ E	薹草 *Carex chinensis*	18	南偏东 20
	27°27′58″ N, 114°10′32″ E	飘拂草 *Fimbristylis wukungshanensis*	18	南偏东 15
1600~1700	27°27′57″ N, 114°10′32″ E	芒 *Miscanthus sinensis*	24	南偏西 30
	27°27′37″ N, 114°10′23″ E	野古草 *Arudinella hirta*	26	东偏南 30
1700~1800	27°27′37″ N, 114°10′25″ E	芒 *Miscanthus sinensis*	22	南偏西 10
1800~1900	27°27′27″ N, 114°10′28″ E	芒 *Miscanthus sinensis*	29	西偏南 25
	27°27′17″ N, 114°10′19″ E	薹草 *Carex chinensis*	31	东偏南 30
	27°27′12″ N, 114°10′31″ E	野古草 *Arudinella hirta*	21	正北
>1900	27°27′16″ N, 114°10′22″ E	芒 *Miscanthus sinensis*	34	东偏南 15
	27°27′18″ N, 114°10′24″ E	薹草 *Carex chinensis*	22	西偏南 20
	27°27′17″ N, 114°10′25″ E	飘拂草 *Fimbristylis wukungshanensis*	11	南偏西 35

1.3　样品采集与测定

凋落物、土壤有机质 C 含量的测定采用重铬酸钾(H_2SO_4-$K_2Cr_2O_7$)外加热法;凋落物与土壤全 N 含量采用半微量凯氏消化法(semi-micro Kjeldahl)(Kjeltec™ 8400 Analyzer Unit, FOSS, Denmark)测定;凋落物和土壤全 P 含量分别采用浓 H_2SO_4-300 g·L^{-1} H_2O_2 消煮和浓 H_2SO_4-72% $HClO_4$ 消煮,钼锑抗比色法(UV-6300 型紫外可见分光光度计,MAPADA,上海)测定[10].

1.4　数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 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($\alpha=0.05$),用 Pearson 法对凋落物和土壤 C、N、P 含量及其生态化学计量比与海拔进行相关分析.利用 Origin 8.1 和 Excel 2010 软件作图.图表中数据为平均值±标准差.

2　结果与分析

2.1　不同海拔凋落物-土壤的 C、N、P 含量

由图 1 可以看出,不同海拔凋落物 C 含量为 397.5~458.24 mg·g^{-1},均值为 433.73 mg·g^{-1},随海拔升高不断减小,凋落物 C 含量在海拔>1900 m 处发生显著变化.土壤 C 含量随海拔升高呈先增加后降低的趋势,变化范围为 51.64~80.01 mg·g^{-1},均值为 63.52 mg·g^{-1},在海拔 1700~1800 m 处显著高于其他海拔 C 含量.

凋落物 N 含量随海拔升高先降低后逐渐增加,变化范围为 11.59~17.12 mg·g^{-1},均值为 14.41 mg·g^{-1},1700~1800 m 处凋落物 N 含量显著低于其他海拔.土壤 N 含量随海拔升高呈先上升后下降的趋势,变化范围为 3.3~4.77 mg·g^{-1},均值为 3.99 mg·g^{-1},在 1700~1800 m 时 N 含量达到最高,且显著高于其他海拔.

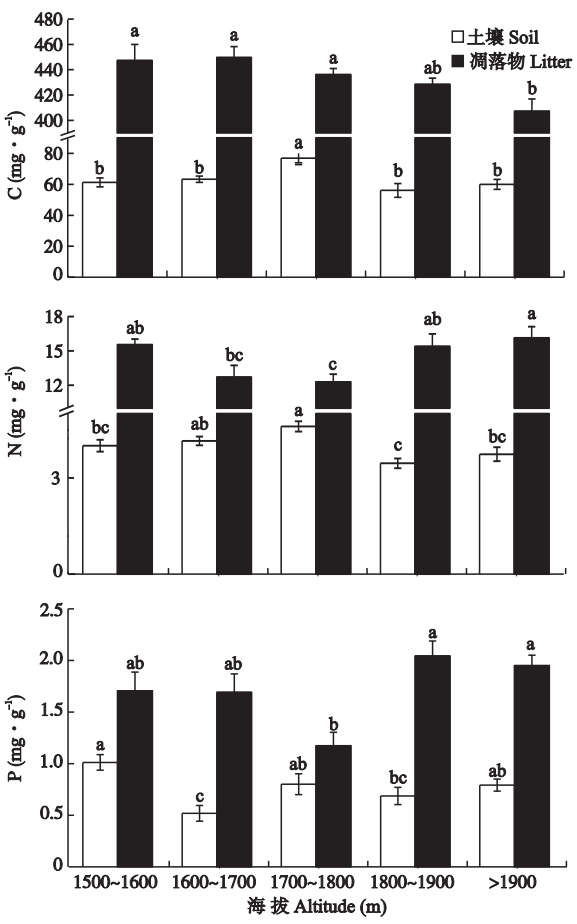


图 1　凋落物和土壤的 C、N、P 含量随海拔的变化

Fig.1　Changes of carbon, nitrogen and phosphorus contents in litter and soil with altitude.

不同小写字母表示不同海拔间差异显著($P<0.05$) Different small letters indicated significant difference among different altitudes at 0.05 level. 下同 The same below.

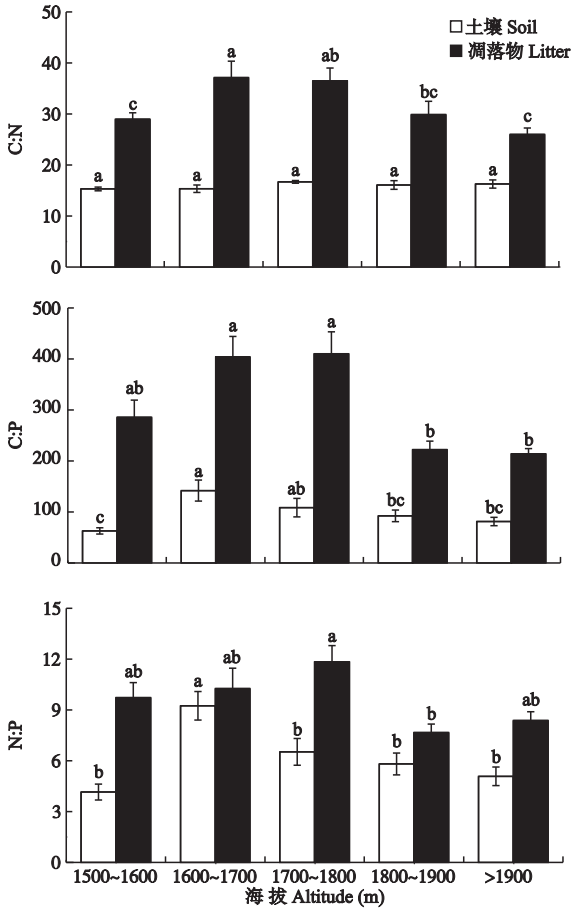


图 2 凋落物和土壤的 C∶N、C∶P、N∶P 随海拔的变化

Fig.2 Changes of C∶N, C∶P and N∶P in litter and soil with altitude.

凋落物 P 含量随海拔升高呈先下降后上升的趋势,变化范围为 1.05~2.19 mg·g^{-1},均值为 1.71 mg·g^{-1},在 1700~1800 m 处 P 含量达到最低,且显著低于其他海拔.土壤 P 含量呈先降低后缓慢上升趋势,变化范围为0.44~1.09 mg·g^{-1},均值为0.76 mg·g^{-1},1500~1600 m 处 P 含量达到最高,1600~1700 m 处 P 含量最低,且至海拔 1700~1800 m 时含量有所增加.不同海拔凋落物和土壤 C、N、P 含量均值均表现为:凋落物>土壤.

2.2 不同海拔凋落物-土壤的 C∶N、C∶P 和 N∶P

由图 2 可以看出,凋落物 C∶N 随海拔升高先增加后减小,变化范围为 24.73~40.36,均值为 31.7,在 1500~1600 m 和>1900 m 处 C∶N 低于其他海拔.土壤 C∶N 随海拔升高变化范围为 14.95~16.95,均值为 15.94.

凋落物 C∶P 随海拔升高先增加而后减小,变化范围为 203.65~463.08,均值为 307.22,在 1600~1700 m 和 1700~1800 m 处 C∶P 高于其他海拔.土壤 C∶P 变化规律同凋落物 C∶P 变化规律,变化范围为 56.87~162.52,均值为 97.4,在 1500~1600 m 处 C∶P 低于其他海拔.

凋落物 N∶P 随海拔升高先增加而后减小,变化范围为 7.16~13.8,均值为 9.58,在 1800~1900 m 处 N∶P 低于其他海拔.土壤 N∶P 变化规律同凋落物 N∶P 变化规律,变化范围为 3.69~10.58,均值为 6.16,在 1600~1700 m 处 N∶P 显著高于其他海拔.不同海拔凋落物和土壤 C∶N、C∶P、N∶P 的均值均表现为:凋落物>土壤.

2.3 不同海拔凋落物-土壤 C、N、P 含量及其计量比的关系

由表 2 可以看出,凋落物 C 含量与凋落物C∶N 和 C∶P 呈显著正相关;凋落物 N 含量与凋落物 P 含量呈显著正相关,与凋落物 C∶N、C∶P 呈显著负相关;凋落物 P 含量与凋落物 C∶N、C∶P、N∶P 和土壤C∶N呈显著负相关,与土壤N含量呈显著正

表 2 凋落物和土壤 C、N、P 含量及生态化学计量间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of C, N, P contents with ecological stoichiometry in litter and soil

		凋落物 Litter					土壤 Soil					
		N	P	C∶N	C∶P	N∶P	C	N	P	C∶N	C∶P	N∶P
凋落物	C	−0.232	−0.215	0.483**	0.404**	0.188	0.030	−0.074	−0.125	0.042	0.153	0.173
Litter	N		0.491**	−0.917**	−0.463**	−0.026	0.052	−0.026	−0.243	0.061	0.243	0.264
	P			−0.520**	−0.827**	−0.745**	−0.069	0.431**	0.014	−0.384**	−0.078	0.157
	C∶N				0.560**	0.095	−0.009	−0.055	0.158	−0.032	−0.094	−0.095
	C∶P					0.861**	0.126	−0.399**	−0.018	0.355**	0.143	−0.062
	N∶P						0.139	−0.396**	−0.070	0.375**	0.181	−0.030
土壤	C							0.784**	0.278	0.533**	0.249	0.107
Soil	N								0.198	−0.097	0.227	0.236
	P									0.180	−0.794**	−0.834**
	C∶N										0.084	−0.155
	C∶P											0.966**

* $P<0.05$; ** $P<0.01$.

相关;凋落物 C∶N 与凋落物 C∶P 呈显著正相关;凋落物 C∶P 与凋落物 N∶P 和土壤 C∶N 呈显著正相关,与土壤 N 含量呈显著负相关;凋落物 N∶P 与土壤 C∶N 呈显著正相关.土壤 C 含量与土壤 N 含量和土壤 C∶N 之间呈显著正相关,土壤 P 含量与土壤 C∶P、N∶P 呈显著负相关,土壤 C∶P 和土壤 N∶P 呈显著正相关.

3　讨　论

3.1　凋落物-土壤的 C、N、P 含量特征

植物与土壤作为整个陆地生态系统中相互作用的 2 个子系统,其对整个生态系统的稳定性起重要调节作用.植物在生长发育过程中,通过光合作用产生有机物,以凋落物分解和根系分泌的方式将养分归还于土壤中,这不仅可以使土壤养分得到相应的补给,同时也为植物自身得到养分及对养分进行调节提供了前提条件[11-12].凋落物的养分状况在一定程度上反映了土壤的养分供应状况以及植物的养分利用状况.C、N、P 是植物正常生长发育所必需的养分,其含量的多少及组成成分,将会直接影响植物的生长.武功山山地草甸生态系统的凋落物 C 含量为 433.73 mg·g^{-1},凋落物 N 含量为 14.41 mg·g^{-1},凋落物 P 含量为 1.71 mg·g^{-1},均高于马任甜等[13]对云雾山草地植被枯落物的研究结果(402.7~427.2、8.58~11.04、0.78~1.06 mg·g^{-1}),这是因为本研究采用的是新鲜凋落物,凋落物养分含量与其腐熟程度相关,且不同区域土壤元素的可利用性与环境因子的影响亦不同.本研究表明,武功山山地草甸不同海拔凋落物 C、N、P 含量均表现为凋落物>土壤.凋落物 C 含量随海拔升高不断降低,这是因为降水淋溶增强等气候条件造成的[14-15].凋落物 N 和 P 含量具有相同的变化趋势,均随海拔升高呈现先降低后增加的趋势.土壤 C 含量随海拔升高呈先增加后逐渐下降的趋势,与李相楹等[16]的研究基本一致.武功山高海拔地区土壤湿度较大,气温较低,对土壤微生物活动具有一定抑制作用,使凋落物腐殖化作用变弱,降低土壤有机质积累,表现为高海拔地区土壤有机质下降.土壤有机质水平是土壤肥力的重要基础,是多种元素的主要来源.土壤 N 含量与土壤有机质 C 含量呈现相似的变化趋势,与李丹维等[7]对太白山不同海拔土壤 C、N、P 含量及生态化学计量特征的研究基本一致.

3.2　凋落物-土壤化学计量学特征关系

C、N、P 生态化学计量比是生态系统功能与过程的重要特征.海拔的变化会对植物的光合作用与矿质代谢等过程产生显著影响.凋落物 C∶N 与 C∶P一般能够反映植物 N 和 P 的利用效率,在一定程度上也能够反映土壤中 N 和 P 的供应状况[17-18].Parton 等[19]研究发现,凋落物 C∶N<40 时,凋落物开始矿化分解净 N 释放,且凋落物分解速率和 C∶N、C∶P 呈显著负相关,C∶N、C∶P 越低,其分解速率越快.N∶P 影响凋落物的分解及养分归还速率,N∶P 值较低会使凋落物更易分解,将养分快速析出并归还至土壤,致使凋落物养分含量较低[20-21].本研究中,武功山山地草甸凋落物C∶N、C∶P和 N∶P 的均值分别为 31.7、307.22、9.58,凋落物 C∶N、C∶P、N∶P 随海拔升高呈现相似趋势,均为先增加后减小.

土壤 C、N、P 生态化学计量比是评价土壤养分质量及其状况的重要指标.由于地形、植被、气候、母质层、土壤微生物及土壤动物等成土因素和人类活动的影响,不同海拔的土壤 C、N、P 有较大的变化,进而使土壤 C∶N、C∶P 和 N∶P 存在较大的空间变异性[22].土壤 C∶N 通常能够反映土壤 N 矿化能力及土壤微生物群落结构[23-24].王维奇等[25]研究表明,土壤 C 分解速率与土壤 C∶N 存在显著的负相关关系.本研究中,武功山山地草甸土壤有机质与全 N 存在显著正相关(R^2=0.78).因此,土壤 C∶N 同时能够作为预测有机质分解速率的指标之一.土壤 C∶P 对植物的生长发育具有重要影响,其可以显示 P 有效性的高低.C∶P 在海拔 1600~1700 m 处达到最高值,该海拔的 P 含量相对于其他海拔处于较低的水平,P 的有效性低.土壤 C∶N、C∶P 和 N∶P 受区域成土作用特征和水热条件的影响,还受地形、气候、母岩、植被、土壤动物等土壤形成因子和人类活动的影响,增大了土壤的空间变异性.武功山山地草甸凋落物-土壤 C、N、P 含量及生态化学计量特征不仅受海拔的影响,还会受到其他环境因素的影响.在以后的研究中还需结合不同海拔下温度、湿度、土壤深度和植被类型的分布进行长期定点研究,制定适宜的草甸生态系统的保护及退化草甸的修复方案.

参考文献

[1] Deng B (邓　斌). The Study about Change of Vegetation and C:N:P Stoichiometry of Soil in Different Succession Stage in Alpine Grassland. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2012 (in Chinese)

[2] Yang J-J (杨佳佳), Zhang X-R (张向茹), Ma L-S

(马露莎), *et al*. Ecological stoichiometric relationships between components of *Robinia pseudoacacia* forest in Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2014, **51**(5): 133-142 (in Chinese)

[3] Svetlana L, Goran IA, Bengt AO, *et al*. Relationships between tree and soil properties in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* forests in Sweden. *Ecosystems*, 2010, **13**: 302-316

[4] Zhang T-D (张泰东), Wang C-K (王传宽), Zhang Q-Z (张全智). Vertical variation in stoichiometric relationships of soil carbon, nitrogen and phosphorus in five forest types in the Maoershan region, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2017, **28**(10): 3135-3143 (in Chinese)

[5] Zhang J-H (张佳慧), Wang X-C (王兴昌), Wang C-K (王传宽). Changes in stoichiometry of soil carbon, nitrogen and phosphorus in the early stage of temperate forest succession in Maoershan, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2016, **27**(10): 3189-3195 (in Chinese)

[6] Nottingham AT, Turner BL, Whitaker J, *et al*. Soil microbial nutrient constraints along a tropical forest elevation gradient: A belowground test of a biogeochemical paradigm. *Biogeosciences*, 2015, **12**: 6071-6083

[7] Li D-W (李丹维), Wang Z-Q (王紫泉), Tian H-X (田海霞), *et al*. Carbon, nitrogen and phosphorus contents in soils on Taibai Mountain and their ecological stoichiometry relative to elevation. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2017, **54**(1): 160-170 (in Chinese)

[8] Chen J-Q (陈军强), Zhang R (张 蕊), Hou Y-C (侯尧宸), *et al*. Relationships between species diversity and C, N and P ecological stoichiometry in plant communities of sub-alpine meadow. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2013, **37**(11): 979-987 (in Chinese)

[9] Deng B-L (邓邦良), Yuan Z-Y (袁知洋), Guo X-M (郭晓敏), *et al*. Microelement distributions and responses to human disturbance in meadow soil of Wugong Mountain. *Pratacultural Science* (草业科学), 2015, **32**(10): 1555-1560 (in Chinese)

[10] Bao S-D (鲍士旦). Soil and Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 45-52 (in Chinese)

[11] Niu Y (牛 赟), Liu X-D (刘贤德), Jing W-M (敬文茂), *et al*. Relationship between characteristics of soil and vertical distribution of vegetation on the northern slope of Qilian Mountains. *Journal of Mountain Science* (山地学报), 2013, **31**(5): 527-533 (in Chinese)

[12] Ma Y-Y (马永跃), Wang W-Q (王维奇). Carbon, nitrogen and phosphorus content and the ecological stoichiometric ratios of paddy field soil-plants in Minjiang River estuary. *Subtropical Agriculture Research* (亚热带农业研究), 2011, **7**(3): 182-187 (in Chinese)

[13] Ma R-T (马任甜), Fang Y (方 瑛), An S-S (安韶山). Ecological stoichiometry of carbon, nitrogen, phosphorus and C:N:P in shoots and litter of plants in grassland in Yunwu Mountain. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2016, **53**(5): 1170-1180 (in Chinese)

[14] Zhao W-J (赵维俊), Liu X-D (刘贤德), Jin M (金铭), *et al*. Ecological stoichiometric characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus in leaf-litter-soil system of *Picea crassifolia* forest in the Qilian Mountains. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2016, **53**(2): 477-489 (in Chinese)

[15] Reich PB, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, **101**: 11001-11006

[16] Li X-Y (李相楹), Zhang W-Y (张维勇), Liu F (刘峰), *et al*. The distribution characteristics of soil carbon, nitrogen and phosphorus at different altitudes in Fanjingshan Mountain. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2016, **23**(3): 19-24 (in Chinese)

[17] Tian H, Chen G, Zhang C, *et al*. Pattern and variation of C: N: P ratios in China's soils: A synthesis of observational data. *Biogeochemistry*, 2010, **98**: 139-151

[18] Ren Y-T (任运涛), Xu C (徐 翀), Zhang C-X (张晨曦), *et al*. Variations in leaf C, N, P and stoichiometric of *Picea crassifolia* along the environmental gradient in Helan Mountains. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2017, **31**(6): 185-191 (in Chinese)

[19] Parton W, Silver WL, Burke IC, *et al*. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. *Science*, 2007, **315**: 361-364

[20] Elser JJ, Acharya K, Kyle M, *et al*. Growth rate-stoichiometry couplings in diverse biota. *Ecology Letters*, 2003, **6**: 936-943

[21] Ma R-T (马任甜), Fang Y (方 瑛), Huang Y-M (黄懿梅). C, N and P stoichiometry characteristics of different-aged *Robinia pseudoacacia* plantations on the Loess Plateau, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2017, **28**(9): 2787-2793 (in Chinese)

[22] Pang S-J (庞圣江), Zhang P (张 培), Jia H-Y (贾宏炎), *et al*. Research on soil ecological stoichiometry under different forest types in northwest Guangxi. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报),

2015, **31**(1): 17-23 (in Chinese)

[23] Zhang L-X (张良侠), Fan J-W (樊江文), Zhang W-Y (张文彦), *et al*. Impact of the Beijing and Tianjin sand source control project on the grassland soil organic carbon storage: A case study of Xilingol League, Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(2): 374-380 (in Chinese)

[24] Zhang R (张　蕊), Cao J-J (曹静娟), Guo R-Y (郭瑞英), *et al*. Effect of converting cultivated land to forest-grassland on soil carbon, nitrogen and phosphorus in sub-alpine grassland region of north slope of Qilian Mountains. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2014, **23**(6): 938-944 (in Chinese)

[25] Wang W-Q (王维奇), Xu L-L (徐玲琳), Zeng C-S (曾从盛), *et al*. Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2011, **31**(23): 7119-7124 (in Chinese)

作者简介　刘　倩, 女, 1992 年生, 硕士研究生. 主要从事土壤-植物养分循环研究. E-mail: 1067967521@qq.com

责任编辑　孙　菊

封 面 说 明

封面图片是由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所研究员李玉强于 2017 年 5 月拍摄于内蒙古自治区赤峰市阿鲁科尔沁旗北部.阿鲁科尔沁旗是内蒙古自治区东部气候变化的敏感区,更是我国治沙生态问题的主战场,对生态战略的要求极高.由于滥垦和滥牧,目前该区退化草地面积占草地总面积的三分之一.近年来,由于大面积开垦荒地和过度放牧利用,致使一部分农田和草牧场出现了沙化、退化现象,突出表现为野生植被低矮稀疏,农作物和牧草产量下降,生态环境质量日趋恶化.为了可持续发展,必须努力控制人口,节约资源和保护环境,使经济发展与人口增长、资源利用和环境保护相适应.

刘倩, 王书丽, 邓邦良, 等. 武功山山地草甸不同海拔凋落物-土壤碳、氮、磷含量及其生态化学计量特征. 应用生态学报, 2018, **29**(5): 1535-1541

Liu Q, Wang S-L, Deng B-L, *et al*. Carbon, nitrogen and phosphorus contents and their ecological stoichiometry in litters and soils on meadow of Wugong Mountain, Jiangxi, China at different altitudes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(5): 1535-1541 (in Chinese)