

全文选,潘延楠,李朝婵,等.野生杜鹃林土壤微生物生物量碳氮磷化学计量特征[J].江苏农业科学,2021,49(13):198-202.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.038

野生杜鹃林土壤微生物生物量碳氮磷化学计量特征

全文选¹,潘延楠¹,李朝婵¹,林健²,曾岳婷²,王定跃³,周艳⁴

(1. 贵州师范大学/贵州省山地环境保护重点实验室,贵州贵阳 550001; 2. 深圳市中国科学院仙湖植物园,广东深圳 440303;
3. 深圳市梧桐山风景区管理处,广东深圳 440303; 4. 贵州省国有扎佐林场,贵州贵阳 550299)

摘要:探究不同种类杜鹃林土壤微生物生物量碳、氮、磷的特征及相互之间的联系,为野生杜鹃林土壤养分含量和判断土壤养分限制作用提供依据。以贵州百里杜鹃林区3种优势种马缨杜鹃、迷人杜鹃和露珠杜鹃为研究对象,运用生态化学计量学的理论和方法,对其根际土壤微生物生物量碳(SMBC)、土壤微生物生物量氮(SMBN)、土壤微生物生物量磷(SMBP)及其化学计量特征进行评价。结果表明,不同种类杜鹃林下土壤养分、SMBC、SMBN、SMBP含量不同。迷人杜鹃林的SMBC、SMBN显著高于马缨杜鹃林和露珠杜鹃林,SMBP含量为露珠杜鹃林>迷人杜鹃林>马缨杜鹃林。不同种类杜鹃林下土壤SMBC/SMBP和SMBN/SMBP差异显著,但土壤SMBC/SMBN无显著差异。表明不同种类杜鹃林下土壤SMBC/SMBN具有内稳性;不同种类杜鹃林SMBC/SMBP适合作为根际生态系统限制性营养的指标。

关键词:天然林;土壤微生物量;化学计量特征

中图分类号:S153 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)13-0198-04

土壤是陆地生态系统中植物生长的主要基质,植物从中获取氮、磷等一些必需元素,二者之间关系密切、互相影响^[1-2]。土壤微生物量参与调控土壤养分循环等过程,是具有生物活性的养分积累和储存库^[3],同时也是指示土壤生态系统健康的重要指标^[4-6]。生态化学计量学通过研究生态过程中能量和多重化学元素(碳、氮、磷)的平衡,运用生态化学计量学理论研究土壤微生物可以提升我们对土壤微生物生态过程和机理的认识^[7-8]。

国内对森林土壤碳、氮、磷化学计量特征和微生物生物量的研究主要集中在季节变化^[9]、林型差异^[10]、不同林龄阶段^[11]、海拔差异^[12]、间伐措施^[13]以及氮磷添加^[14]等方面,对同一地貌下不同树种的土壤碳、氮、磷和微生物生物量特征的研究较少。

百里杜鹃林区地处我国贵州省西北部的乌蒙山区,绵延百里的杜鹃花群落是我国西南地区特色

的森林旅游资源。百里杜鹃林区次生的马缨杜鹃林、迷人杜鹃林和露珠杜鹃林已成为林区主要森林类型。目前,研究人员围绕百里杜鹃林区的种群、群落、土壤开展大量科研工作,取得了较多成果^[15]。但关于不同种类杜鹃土壤碳、氮、磷化学计量特征及土壤微生物量特征的研究关注较少。本研究选择百里杜鹃的马缨杜鹃林、迷人杜鹃林和露珠杜鹃林,测定其根际土壤理化性质和土壤微生物碳、土壤微生物氮、土壤微生物磷,探讨不同杜鹃林环境因子、微生物生物量及其计量比的差异,对不同树种的土壤微生物量碳、土壤微生物生物量氮、土壤微生物生物量磷化学计量特征进行比较研究,为进一步了解森林树种差异对土壤肥力的影响提供参考依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究区概况

研究地百里杜鹃林区位于贵州省毕节市大方县和黔西县的交界处(27°10′07″~27°20′00″N, 105°45′20″~106°04′57″E),样地海拔高度为1 060~2 121 m,年均温为11.2~13.0℃,小气候温凉湿润,年平均积温4 273.0℃,年降水量在1 100 mm左右,主要集中在4—10月,水热同季。百里杜鹃林区位于亚热带常绿落叶阔叶林带,林区内有着40多个野生杜鹃种类,其中马缨杜鹃(*Rhododendron*

收稿日期:2021-05-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31960312);贵州特色林业产业研究重点实验室项目(编号:黔教合KY字[2021]002);贵州省林业厅项目(编号:黔林科合[2018]11);深圳市科技项目(编号:SZ6019260135K1)。

作者简介:全文选(1984—),男,河南鲁山人,博士,副研究员,主要从事森林生态研究。E-mail:wenxuanq@gznu.edu.cn。

通信作者:林健,高级经济师,主要从事植物园管理与园林美学研究。

E-mail:1450236257@qq.com。

delavayi Franch.)、迷人杜鹃(*Rhododendron agastum* Balf. f. et W. W. Smith)、露珠杜鹃(*Rhododendron irroratum* Franch.)是百里杜鹃林区群落主要的建群种和优势种^[16]。

1.2 样品采集与分析

调查采样时间为 2018 年 11 月,采样地在百里杜鹃林区内的普底景区,研究区地理坐标范围为 105°51'08"~105°51'47"E,27°13'39"~27°14'33"N,土壤样品采自表层土壤 0~10 cm,在每种杜鹃群落林下取 3 个样方的土样,样方大小为 5 m×5 m,冷藏处理。选择的 3 种优势杜鹃群落均为自然群落,远离居民区和公路,人为干扰小。每个土样品挑出石块和植物根茎,其中一部分鲜土在 4℃下保存,用于测定土壤微生物生物量碳、土壤微生物生物量氮、土壤微生物生物量磷含量,另一部分土壤自然风干后磨细、过孔径 0.15 mm 土壤筛,用于测定土壤全量养分。

指标测定方法:土壤 pH 值采用电极电位法^[17]测定;土壤含水量(soil water content,简称 SWC)采用烘干法^[18]测定;土壤有机碳(soil organic carbon,简称 SOC)采用浓硫酸-重铬酸钾氧化法^[17]测量;总氮(total nitrogen,简称 TN)采用微量凯氏定氮法^[19]测量;速效氮(available nitrogen,简称 HN)和总磷(total phosphorus,简称 TP)采用 NaOH 熔融和 Mo-Sb 比色法^[20]测量;速效磷(available phosphorus,简称 AP)采用碱解扩散法及 0.5 mol/L-NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法^[21]测量;速效钾(available potassium,简称 AK)采用乙酸铵浸提-火焰光度计法^[22]测量;总钾(total potassium,简称 TK)采用在 105℃下干燥 52~126 g 潮湿土壤样品 24 h,将土壤样品用 HNO₃-HF-HClO₄ 的混合物酸消煮,然后用 5 300 V 电感耦合等离子体发射光谱法^[23]测定;土壤微生物生物量碳(SMBC)采用氯仿熏蒸提取重铬酸钾氧化法^[24]测量;土壤微生物生物量氮(SMBN)采用氯仿熏蒸提取凯氏定氮法^[25]测量;土壤微生物生物量磷(SMBP)采用碳酸钠浸提-钼锑抗比色法^[26]测量。

1.3 数据处理

运用 SPSS 21.0 和 Origin 2018 软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)多重比较判断差异性显著水平($\alpha=0.05$)作图。采用 Pearson 进行相关性分析,采用 Canoco5.0 分析不同杜鹃林的各种多样性指数与环境因子之

间的相关性。

2 结果与分析

2.1 不同杜鹃林土壤营养指标的差异性

不同杜鹃林的土壤养分含量见表 1。土壤有机碳(SOC)含量变化范围在 93.21~130.88 g/kg 之间,总氮(TN)含量变化范围在 1.19~3.46 g/kg 之间,总磷(TP)含量变化范围在 0.41~0.62 g/kg 之间,总钾(TK)含量变化范围在 2.42~3.47 g/kg 之间。土壤有机碳含量、总氮含量、总磷含量、总钾含量的变化相似,露珠杜鹃林显著高于迷人杜鹃林和马缨杜鹃林($P<0.05$),但迷人杜鹃林和马缨杜鹃林之间无显著差异。总磷含量和总钾含量均为露珠杜鹃林最高,马缨杜鹃林次之,迷人杜鹃纯林最低。土壤含水量、pH 值、速效氮含量、速效钾含量在 3 种杜鹃林之间无显著差异。

表 1 3 种野生杜鹃林土壤营养指标

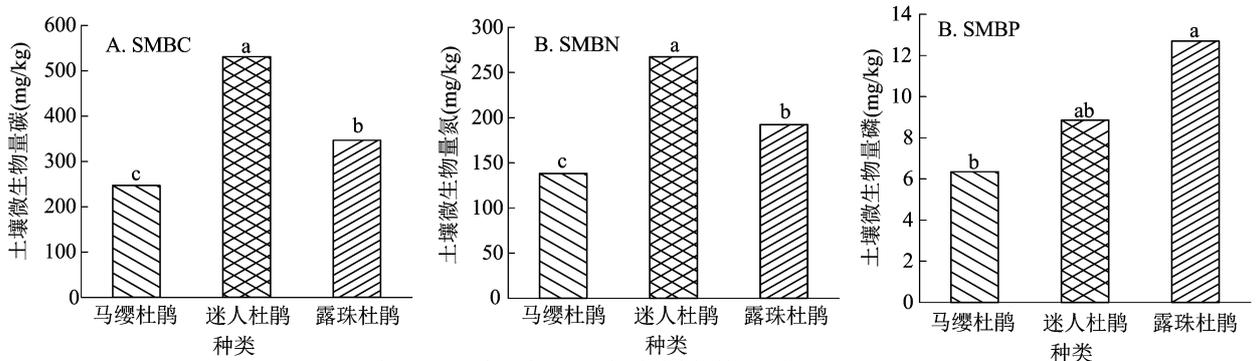
指标	马缨杜鹃林	迷人杜鹃林	露珠杜鹃林
SWC (%)	38.91 ± 5.78a	40.80 ± 6.51a	41.06 ± 1.00a
pH 值	4.43 ± 0.77a	4.45 ± 0.56a	3.99 ± 0.18a
SOC (g/kg)	93.21 ± 12.17b	96.95 ± 12.28b	130.88 ± 17.34a
TN (g/kg)	1.19 ± 0.20b	1.37 ± 0.26b	3.46 ± 0.56a
HN (g/kg)	0.04 ± 0.02a	0.04 ± 0.01a	0.05 ± 0.02a
TP (g/kg)	0.48 ± 0.08b	0.41 ± 0.08b	0.62 ± 0.09a
AP (mg/kg)	0.74 ± 0.13b	0.46 ± 0.07c	1.69 ± 0.18a
TK (g/kg)	2.76 ± 0.47b	2.42 ± 0.38b	3.47 ± 0.47a
AK (mg/kg)	43.41 ± 4.85a	46.73 ± 4.23a	42.07 ± 2.70a

注:同行数据后不同小写字母表示不同杜鹃指标间差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同杜鹃林土壤微生物生物量碳氮磷生态学计量特征差异性

土壤微生物生物量碳(SMBC)、土壤微生物生物量氮(SMBN)的含量变化规律相似,均表现为迷人杜鹃林>露珠杜鹃林>马缨杜鹃林,其中迷人杜鹃林显著高于马缨杜鹃林和露珠杜鹃林($P<0.05$),且露珠杜鹃林和马缨杜鹃林之间差异显著(图 1-A、图 1-B)。根际土壤微生物量磷(SMBP)表现为露珠杜鹃林>迷人杜鹃林>马缨杜鹃林,其中露珠杜鹃林显著高于马缨杜鹃林(图 1-C)。

迷人杜鹃林土壤 SMBC/SMBN、SMBC/SMBP、SMBN/SMBP 最高,但不同种类杜鹃林土壤之间的 SMBC/SMBN 无显著性差异,而 SMBC/SMBP、SMBN/SMBP 存在一定的差异(图 2)。表明土壤 SMBC/SMBN 不受植被类型的影响,土壤 SMBC/



图中不同小写字母表示不同杜鹃种类间差异显著($P < 0.05$)。图2同

图1 不同杜鹃林土壤微生物生物量碳氮磷

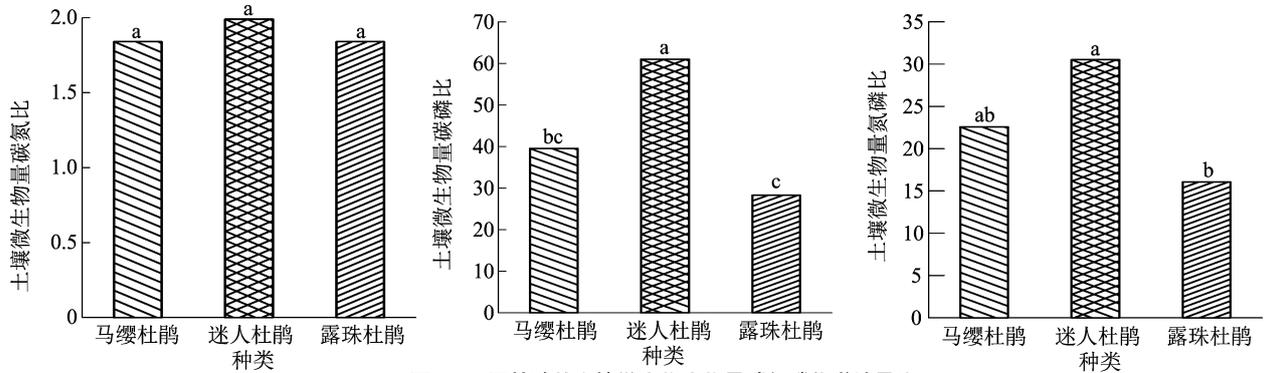


图2 不同杜鹃林土壤微生物生物量碳氮磷化学计量比

SMBN 具有相对一致的稳定性。土壤微生物碳磷比和氮磷比,迷人杜鹃林最大,其次是马缨杜鹃林,露珠杜鹃林最低,说明 SMBC/SMBP 和 SMBN/SMBP 受植被类型的影响较大。迷人杜鹃林的 SMBC/SMBP 和 SMBN/SMBP 最大,迷人杜鹃林的生长发育受到磷营养的限制。

2.3 土壤微生物生物量碳氮磷生态化学计量特征影响因子分析

土壤微生物生物量碳氮磷的影响因子采用冗余分析(图3),结果排序图中第1、2排序轴累计解释了98.56%,表明能够反映大部分变量信息。在第1轴上不同杜鹃林土壤营养元素与微生物量的相关系数为0.999,在第2轴上不同杜鹃林土壤营养元素与微生物量的相关系数为0.926,其中土壤 TN 与 SMBC、SMBN、SMBP、SMBN/SMBP、SMBC/SMBP、SMBC/SMBN 呈显著负相关($F = 10.4, P = 0.014$), TK 与 SMBC 呈负相关关系,土壤 AK 与 SMBC、SMBN、SMBC/SMBP 和 SMBN/SMBP 呈正相关关系,TP、AP、TK 与 SMBN、SMBC、SMBP 之间呈负相关关系,pH 值与 SMBP、SMBC、SMBN、SMBC/SMBN 呈正相关关系。

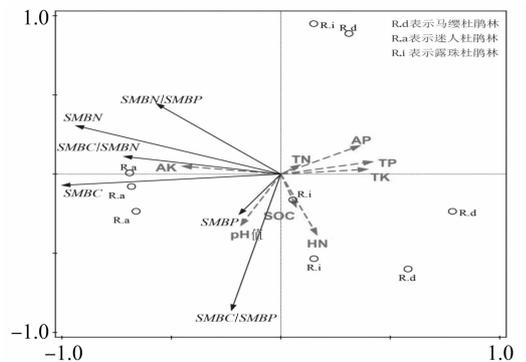


图3 不同杜鹃林土壤微生物生物量碳氮磷化学计量特征与化学指标的关系

3 讨论

3.1 森林土壤营养元素的来源与影响因子

相关研究发现,不同林分之间通过生产方式、凋落物的产量、基质质量的差异,影响归还入土壤中的养分含量,从而影响森林土壤的养分库,进一步通过改变土壤理化性质而影响微生物群落结构及功能^[27],同时土壤化学计量特性也会影响土壤碳、氮和磷循环微生物丰度^[3]。本研究结果表明,不同种类的杜鹃林土壤中的 pH 值、HN、AK 无显著

差异,露珠杜鹃林与马缨杜鹃林和迷人杜鹃林土壤中的SOC、TN、TP、TK差异达到显著水平。土壤有机碳含量增加有利于土壤质量的改善,土壤氮来源主要为凋落物的分解,其分布受到多因素的影响^[28-29]。研究区3种杜鹃林带下成土母岩相同,且生长在地球同一纬度,气候条件相似,马缨杜鹃林和迷人杜鹃林土壤磷含量差异不显著,但由于露珠杜鹃林枯枝落叶丰富、凋落物产量大、磷含量高,使得露珠杜鹃林下土壤磷含量、氮含量较其他2种杜鹃林高。土壤中磷含量的变化也会影响其他土壤营养元素的生物地球化学循环^[30]。在本研究中土壤中碳、氮、磷含量对环境变化响应是一致的,说明同一植被带土壤C、N、P比较稳定,变异性小^[31]。不同种类杜鹃林对其林下土壤养分含量具有一定的影响,林下土壤的SMBC/SMBN具有内稳性。

3.2 森林土壤土壤微生物量C、N、P的影响因子

土壤水分含量影响着土壤微生物量,表现为植被类型对土壤微生物生物量C、土壤微生物生物量N、土壤微生物生物量P含量的显著影响^[32],水分含量对林下土壤微生物量具有一定的影响。本研究中,3种杜鹃林的土壤pH值与土壤微生物碳氮磷均呈正相关,pH值偏低可能是导致杜鹃林土壤微生物量含量低的原因之一。植被类型的差异会导致土壤SMBC/SMBN、SMBC/SMBP的改变^[33],本研究发现不同杜鹃林土壤SMBC/SMBP和SMBN/SMBP存在较大差异,说明SMBC/SMBP受植被类型的影响较大,SMBC/SMBP适合作为不同种类杜鹃林根际生态系统限制性营养的指标。

参考文献:

[1] 马杰,李兰海,刘翔,等. 伊犁河上游典型草地生态系统氮磷含量及化学计量特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017,41(3):7-14.

[2] Elser J J, Fagan W F, Kerkhoff A J, et al. Biological stoichiometry of plant production: metabolism, scaling and ecological response to global change[J]. *The New Phytologist*, 2010, 186(3):593-608.

[3] Luo G, Xue C, Jiang Q, et al. Soil carbon, nitrogen, and phosphorus cycling microbial populations and their resistance to global change depend on soil C:N:P stoichiometry[J]. *mSystems*, 2020, 5(3):e00120-e00162.

[4] Mukhopadhyay S, Joy V C. Influence of leaf litter types on microbial functions and nutrient status of soil: Ecological suitability of forest trees for afforestation in tropical laterite wastelands[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42(12):2306-2315.

[5] 卢晓强,杨万霞,晏月明,等. 喀斯特地区不同植被恢复类型对土壤化学及微生物生物量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科

学版), 2015, 39(5):73-80.

[6] 宋蕾,林尤伟,金光泽. 模拟氮沉降对典型阔叶红松林土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(5):7-12.

[7] Hu C, Li F, Xie Y H, et al. Soil carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry of three dominant plant communities distributed along a small-scale elevation gradient in the East Dongting Lake[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2018, 103:28-34.

[8] 周正虎,王传宽. 帽儿山地区不同土地利用方式下土壤-微生物-矿化碳氮化学计量特征[J]. 生态学报, 2017, 37(7):2428-2436.

[9] 李品,木勒德·吐尔汗拜,田地,等. 全球森林土壤微生物生物量碳氮磷化学计量的季节动态[J]. 植物生态学报, 2019, 43(6):532-542.

[10] 贺若阳,杨万勤,杨开军,等. 川西亚高山3种森林土壤碳氮磷及微生物生物量特征[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(4):606-611.

[11] 肖欣,王雄涛,欧阳勋志. 马尾松人工林土壤有机碳特征及其与凋落物质量的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 58(6):105-111.

[12] 李洪杰,刘军伟,杨林,等. 海拔梯度模拟气候变暖对高山森林土壤微生物生物量碳氮磷的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(4):599-605.

[13] 郭传阳,林开敏,郑鸣鸣,等. 间伐对杉木人工林土壤微生物生物量碳氮的短期影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(5):125-131.

[14] 戴允泽,王会荣,李爱琴,等. 亚热带常绿阔叶林土壤微生物量动态变化及其对氮磷添加的响应[J]. 生态环境学报, 2018, 27(8):1395-1404.

[15] Li C C, Quan W X, Qian C Y, et al. Distribution of chemical compounds in different soil layers of rhododendron forest[J]. *Allelopathy Journal*, 2019, 48(2):191-202.

[16] Qian C Y, Quan W X, Li C C, et al. Analysis of volatile terpenoid compounds in *Rhododendron* species by multidimensional gas chromatography with quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. *Microchemical Journal*, 2019, 149:104064.

[17] 谢娟,张心昱,王秋凤,等. 燃烧法与化学氧化法测定不同pH土壤有机碳之比较[J]. 土壤通报, 2013, 44(2):333-337.

[18] 鲍士旦,江荣风,杨超光,等. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:30-34.

[19] 吴晓荣,叶祥盛,赵竹青. 流动注射法与凯氏定氮法测定土壤全氮的比较[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(5):560-563.

[20] Blume H P, Stahr K, Leinweber P. *Bodenkundliches praktikum* [M]. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2011.

[21] 战厚强,颜双双,王家睿,等. 水稻秸秆还田对土壤磷酸酶活性及速效磷含量的影响[J]. 作物杂志, 2015(2):78-83.

[22] 孙兰香. 乙酸铵浸提—火焰光度计法测定土壤速效钾[J]. 现代农业科技, 2008(17):199-199.

[23] 刘泽斌,刘守廷,蒋天成,等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定土壤中全硫、全磷和全钾[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5):147-151.

王兴权,程金莲,刘宏,等. 有机肥腐殖酸对 Pb²⁺ 的吸附性能[J]. 江苏农业科学,2021,49(13):202-206.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.039

有机肥腐殖酸对 Pb²⁺ 的吸附性能

王兴权,程金莲,刘宏,赵枝刚,王微芝,胡发霞

(青海盐化工产品质量监督检验中心,青海格尔木 816000)

摘要:提取以羊粪为原料发酵腐熟的有机肥腐殖酸,研究投加量、溶液 pH 值对其吸附 Pb²⁺ 的影响,同时运用准一级、准二级和 Elovich 吸附动力学模型对数据进行拟合,通过 Langmuir 和 Freundlich 方程对等温吸附过程进行拟合。结果表明:有机肥腐殖酸对 Pb²⁺ 的饱和吸附时间为 30 min,最佳的投加量为 0.3 g,pH 值为 6,吸附率达 93.39%,理论最大吸附量为 36.232 mg/g。准二级动力学吸附方程能够更好地描述有机肥腐殖酸对 Pb²⁺ 的吸附过程,Langmuir 模型能更加准确地反映吸附过程;同时,随着温度的升高有机肥腐殖酸对 Pb²⁺ 的吸附量也随之增加,说明吸附过程以物理吸附为主。

关键词:羊粪;有机肥;腐殖酸;铅离子;吸附动力学;等温吸附;模型

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)13-0202-05

由于长期滥用农药、化肥,排放含重金属垃圾等,土壤重金属污染已成为全球化环境问题^[1]。农田土壤重金属污染不仅影响农作物的生长,导致其产量、质量降低,而且一旦进入人体将危害人体健康^[2],土壤重金属污染已成为亟待解决的环境问题。利用有机废弃物修复农田土壤重金属污染的研究越来越多^[3],以各种废弃物、畜禽粪便为原料

生产的有机肥料的研究和应用逐渐兴起,随着有机肥料相关研究的发展,有机肥腐殖酸也受到广泛关注。腐殖酸是一种含有多种功能团,如羧基、羰基、酚羟基等的有机化合物,其反应活性较高,能够结合环境中的金属离子,同时也影响着其在环境中的转化、迁移等^[4-5]。腐殖酸来源广泛,有机肥腐殖酸因原料不同,其组成和性质均有所不同^[6],所以不同腐殖酸与金属离子生成的络合物的生物有效性也存在着较大差异^[7-9]。青海省羊粪资源丰富,有机肥发酵多以羊粪为原料,研究其腐殖酸对金属离子的吸附特性和机制具有重要意义。

因此,本研究针对以羊粪为原料发酵腐熟的有

收稿日期:2020-10-23

基金项目:科技创新能力计划(编号:2018-601)。

作者简介:王兴权(1988—),男,青海乐都人,博士,高级工程师,主要从事肥料检验检测方法研究和新型肥料研制。E-mail: wxq408520@163.com。

[24] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707.

[25] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1985, 17(6): 837-842.

[26] 刘羽霞,许嘉巍,靳英华,等. 基于地形因子的长白山高山苔原土壤理化性质空间差异[J]. 生态学杂志, 2017, 36(3): 640-648.

[27] Zhou L L, Shalom A -, Wu P F, et al. Litterfall production and nutrient return in different-aged Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations in South China [J]. Journal of Forestry Research, 2015, 26(1): 79-89.

[28] 曾全超,李鑫,董扬红,等. 黄土高原延河流域不同植被类型下土壤生态化学计量学特征[J]. 自然资源学报, 2016, 31

(11): 1881-1891.

[29] 林达, Chuong D N, 洪森先, 等. 间伐对杨树人工林土壤微生物量和氮含量的影响[J]. 森林与环境学报, 2016, 36(4): 416-422.

[30] Bronson K F, Zobeck T M, Chua T T, et al. Carbon and nitrogen pools of southern high plains cropland and grassland soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(5): 1695-1704.

[31] 贾国梅,何立,程虎,等. 三峡库区不同植被土壤微生物量碳氮磷生态化学计量特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 23-27.

[32] Devi N B, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-East India [J]. Applied Soil Ecology, 2006, 31(3): 220-227.

[33] Heuck C, Weig A, Spohn M. Soil microbial biomass C: N: P stoichiometry and microbial use of organic phosphorus [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 85: 119-129.