

植物根系活性对菲浓度的响应

——以栎树、樟树为例

荆诚然, 姚文艺, 肖培青, 申震洲, 焦鹏, 马力

(黄河水利科学研究院 水利部黄土高原水土流失过程与控制重点实验室, 河南 郑州 450003)

摘要: [目的] 分析栎树、樟树根系分泌物在菲胁迫下的变化特征, 为筛选抗多环芳烃污染树种, 进一步开展植物修复多环芳烃污染提供科学依据。[方法] 设置 3 种菲处理浓度[L₀(CK, 0 mg/kg); L₁(100 mg/kg); L₂(1 000 mg/kg)], 通过盆栽试验的方法, 对栎树、樟树的根系分泌物中总有机碳(TOC)、全碳(TC)、全氮(TN)含量及根系活性进行测定。[结果] ①随着菲浓度的升高, 栎树与樟树根系分泌物中 TOC 与 TC 含量均呈下降趋势, TN 含量则呈先升后降的趋势; ②随着菲浓度的升高, 栎树和樟树根系的总吸收面积和活跃吸收面积总体呈下降趋势; ③3 个处理水平下, 栎树根系分泌物中 TC, TOC, TN 含量均高于樟树, 且栎树根系总吸收面积和活跃吸收面积也高于樟树。[结论] 通过菲胁迫下栎树与樟树根系分泌量和根系活性的比较, 表明栎树相较于樟树对菲具有更好的耐受性。

关键词: 根系分泌物; 根系活性; 菲浓度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)04-0172-05

中图分类号: S714, S719

文献参数: 荆诚然, 姚文艺, 肖培青, 等. 植物根系活性对菲浓度的响应[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 172-176. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 04. 027; Jing Chengran, Yao Wenyi, Xiao Peiqing, et al. Response of plant root activity on phenanthrene concentration[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 172-176.

Response of Plant Root Activity on Phenanthrene Concentration

—Taking *Koelreuteria Paniculata* and *Cinnamomum Camphora* as Examples

Jing Chengran, Yao Wenyi, Xiao Peiqing, Shen Zhenzhou, Jiao Peng, Ma Li

(Key Laboratory of Soil and Water Loss Process and Control on the Loess Plateau of Ministry of Water Resources, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: [Objective] The changes of root exudates of *Koelreuteria paniculata* and *Cinnamomum camphora* under phenanthrene(PHE) were analyzed in order to provide scientific basis for screening tree species resistant to polycyclic aromatic hydrocarbons pollution and further phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons pollution. [Methods] Three concentrations of phenanthrene[L₀(CK, 0 mg/kg), L₁(100 mg/kg), L₂(1 000 mg/kg)] were set up in this experiment. Total organic carbon(TOC), total carbon(TC), total nitrogen(TN) and root activity in root exudates of *Koelreuteria paniculata* and *Cinnamomum camphora* trees were determined by pot experiment. [Results] ① With the increase of phenanthrene concentration, the contents of TOC and TC in root exudation of *Koelreuteria paniculata* and *Cinnamomum camphora* decreased, while the contents of TN increased first and then decreased with the increase of phenanthrene concentration; ② With the increase of phenanthrene concentration, the total absorption area and active absorption area of roots of *Koelreuteria paniculata* and *Cinnamomum camphora* showed a downward trend. ③ Under the three treatments, the contents of TC, TOC and TN in root exudates of *Koelreuteria paniculata* were higher than those of *Cinnamomum*

收稿日期: 2018-12-04

修回日期: 2019-02-11

资助项目: 国家重点研发计划项目“鄂尔多斯高原砒砂岩区生态综合治理技术与示范”(2017YFC0504503); 自然资源部地质调查项目“砒砂岩风化机理与侵蚀防治技术”(DD20190504); 国家自然科学基金项目“黄丘区草被对坡面产流过程的调控机理及临界研究”(41601301)

第一作者: 荆诚然(1992—), 男(汉族), 河南省郑州市人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事环境生态学、水土保持方面的研究。E-mail: chengranjing@foxmail.com.

通讯作者: 姚文艺(1957—), 男(汉族), 河南省周口市人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事土壤侵蚀与水土保持、河流泥沙等研究。E-mail: wyyao@yrihr.com.cn.

camphora, and the total and active absorption areas of *Koelreuteria paniculata* root were also higher than those of *Cinnamomum camphora*. [Conclusion] By comparing root exudation and root activity of *Koelreuteria paniculata* and *Cinnamomum camphora* under phenanthrene stress, it showed that *Koelreuteria paniculata* had better tolerance to phenanthrene than *Cinnamomum camphora*.

Keywords: root exudates; root exudates; concentration of phenanthrene

多环芳烃(PAHs)是一种普遍存在于土壤环境中且具有高毒性的持久性有机污染物^[1],多环芳烃在土壤环境中的吸收、积累、降解、转化、挥发等行为会影响其在土壤中的形态与残留浓度,进而决定其通过食物链的传递对人类健康所造成的危害性程度。因此,修复被多环芳烃污染的土壤是目前环境和生态领域中的一个难题^[2-3]。大量文献研究证实,植物具有去除多环芳烃毒性的能力,许多植物能够在很大程度上去除土壤中的污染物^[4],植物修复是一种经济廉价、高效简便、美化景观、不会造成二次污染的绿色技术^[5]。而根系分泌物不仅在改变土壤根际区微生物种群数量、组成及其活力等方面发挥着特殊且重要的作用^[6],还能够有效去除土壤中的污染物,改善土壤质量^[7]。有研究^[8]表明,在萘、蒽、芘、菲的污染下,黑麦草根分泌物中可溶性总糖、草酸和可溶性有机酸的含量均高于空白对照样本。王姣龙^[9]以紫玉兰、桂花、栾树和樟树为试验材料,对芘胁迫下 4 种城市常见绿化树种根系分泌物的成分变化开展了相关研究,发现紫玉兰和桂花根系分泌物中物质种类与芘浓度呈负相关关系,而栾树和樟树根系分泌物中物质种类与芘浓度呈正相关关系。植物向土壤中输送碳(C)、氮(N)的能力是通过其根系分泌物中 TOC, TC 及 TN 含量来反映的^[10]。植物在受到一定有害物质胁迫时,其根系分泌物种类和含量会发生变化^[11]。总的来说,目前相关研究主要侧重于植物根系分泌物成分的变化特征,而对其根系活性及其根系分泌物中 TOC, TC, TN 含量的变化关系研究较少。本试验以栾树(*Koelreuteria paniculata*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)作为典型树种,开展植物根系活性特征及其根系分泌物中 TOC, TC, TN 含量之间变化关系的研究,探讨这两个树种根系分泌物在菲胁迫下的响应机制,为植物修复被多环芳烃污染土壤提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

在中南林业科技大学温室内开展菲胁迫下栾树与樟树根系活性特征及其调控作用的试验研究。供试材料为苗高和长势基本一致的 1 年生栾树和樟树实生苗;试验土壤采自于中南林业科技大学校园苗

圃表层 0—20 cm 的土壤,属于我国南方地区常见的红壤,自然含水率和总孔隙度分别为 21.77% 和 44.59%,土壤中 TN 含量为 0.99 g/kg,磷(P)含量为 0.38 g/kg,钾(K)含量为 6.13 g/kg,有机质含量为 17.59 g/kg, pH 值为 4.69,属于酸性土壤。将供试土壤自然风干后,用 2 mm 土壤筛粗滤待用。将多环芳烃代表物菲溶解于丙酮溶剂中,与供试土壤混合均匀后,每份土壤 1 kg,平衡 30 d。

将供试苗木根系用蒸馏水洗净后,移栽到装有供试土壤的塑料盆中,在温室中培养 30 d,每日定时定量浇水,保持土壤表层有薄水层,温室的日间温度为 24 ℃,夜间温度为 18 ℃,自然光照条件。菲浓度设置为 0 mg/kg(L_0), 100 mg/kg(L_1), 1 000 mg/kg(L_2)共 3 个处理水平^[12-13],分别标记为 L_0 , L_1 和 L_2 ,其中 L_0 为对照试样。每盆栽种 1 株供试苗木,每个处理水平设置 6 份土样,分组设置采用随机区组模式。

将不同处理水平的供试苗木用自来水冲洗干净,再用新制蒸馏水浸泡 5 min 并反复冲洗 3 次,然后以 2 株为单元将其放置在装有 0.5 mol/L $CaCl_2$ 溶液的广口瓶中,瓶的容积为 1 500 ml,用锡箔纸将已经进行高温灭菌处理的广口瓶包裹好,使根系处在黑暗状态下,收集过程中保持连续通气状态,静置 24 h。根系分泌物分别经过滤纸、滤膜过滤后置于冰箱中,温度设定为 4 ℃ 保存。将根系分泌收集后的苗木用于根系活性测定。

1.2 测定方法和数据处理

使用日本岛津 TOC-500 总有机碳分析仪测定植物根系分泌物中 TOC, TC 与 TN 的含量,用排水法测量植物根系体积,甲烯蓝吸附法测定根系总吸收面积和活跃吸收面积^[14]。采用 Excel 软件进行数据整理和图形绘制。

2 结果与分析

2.1 根系分泌物中 TOC, TC 和 TN 含量对菲浓度的响应关系

以根系分泌物中 TC, TOC, TN 含量用于衡量栾树与樟树对菲浓度的响应程度。试验表明,栾树、樟树根系分泌物中 TC, TOC 和 TN 含量均对菲浓度有着明显的响应关系,且两个树种的响应关系基本一

致。由图 1 可知, 栎树根系分泌物中, 对照试样的 TOC 含量为 160.05 mg/(株·d), L_1 和 L_2 试样则分别为 114.56 和 102.45 mg/(株·d), 相较于对照试样分别降低了 28.4%, 36.0%; 对照试样的 TC 含量为 164.60 mg/(株·d), L_1 和 L_2 试样则分别为 119.15, 107.03 mg/(株·d), L_1 和 L_2 相较于对照试样分别降低了 27.6%, 34.5%; 对照试样的 TN 含量为 7.91 mg/(株·d), L_1 和 L_2 试样则分别为 9.51 和 8.58 mg/(株·d), L_1 和 L_2 相较于对照试样分别升高了 20.2%, 8.5%。TOC, TC 含量均随菲浓度的升高呈下降趋势, TN 含量则随菲浓度的升高先微升后微降。同时, TC 与 TN 之比在 3 种菲处理水平下分别为 20.81, 12.54 和 12.48, 随菲浓度升高而下降。樟树根系分泌物中, 对照试样的 TOC 含量为 122.91 mg/(株·d), L_1 和 L_2 试样则分别为 99.76, 42.36 mg/(株·d), 相较于对照试样分别降低了 18.8%, 65.5%; 对照试样的 TC 含量为 127.75 mg/(株·d), L_1 和 L_2 试样则分别为 104.92, 47.17 mg/(株·d), L_1 和 L_2 相较于对照试样分别降低了 17.9%, 63.1%; 对照试样的 TN 含量为 5.68 mg/(株·d), L_1 和 L_2 试样则分别为 5.09, 2.16 mg/(株·d), L_1 和 L_2 相较于对照试样分别下降了 10.4%, 62.0%。总的来说, 樟树根系分泌物中 TOC, TC 与 TN 含量随菲浓度的升高均呈下降趋势, 三个试样的 TC 与 TN 之比分别为 22.49, 20.61, 21.84, 随菲浓度呈先下降后升高的趋势(图 1)。进一步分析表明, 3 个处理水平下, 栎树根系分泌物中 TOC, TC, TN 含量均高于樟树。栎树与樟树根系分泌物中 TC, TOC 含量随菲浓度升高, 均呈下降趋势。栎树的 TC:TN 始终低于樟树。

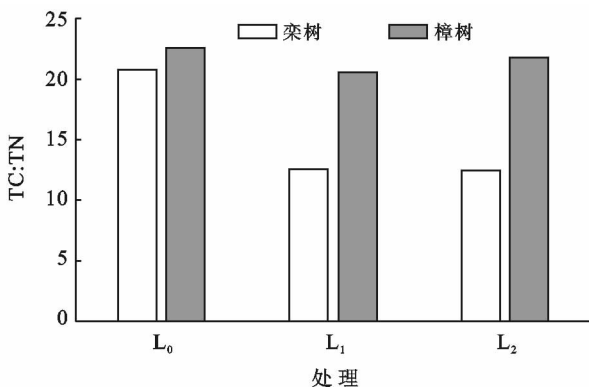


图 1 栎树与樟树不同菲浓度处理水平下的 TC:TN

2.2 根系活性比较

根系的活跃吸收面积是衡量根系活性的一个重要标准。在 3 个处理水平下, 栎树根系的总吸收面积分别为 2.83, 4.47 和 2.97 m^2 , 相应的活跃吸收面积

分别为 1.46, 2.37 和 1.54 m^2 , 总吸收面积和活跃吸收面积随菲浓度升高均呈先上升后下降趋势。樟树根系的总吸收面积在 3 个处理水平下分别为 2.97, 2.50 和 2.43 m^2 , 相应的活跃吸收面积分别为 1.56, 1.32 和 1.30 m^2 , 与栎树不同的是, 樟树的总吸收面积和活跃吸收面积随菲浓度升高均呈持续下降趋势。对照试样中栎树的根系总吸收面积和活跃吸收面积均低于樟树, 但在 L_1 和 L_2 水平下, 栎树根系总吸收面积和活跃吸收面积均高于樟树。显然, 菲的添加对樟树根系活性的影响比栎树的更大一些。

2.3 根系分泌物中 TOC, TC, TN 含量的变化关系

试验结果表明, 随菲浓度升高, 栎树根系总吸收面积和活跃吸收面积与其根系分泌物中 TN 含量变化趋势一致, 均呈先升后降趋势, 说明低浓度菲促进了栎树根系活性及根系分泌物中氮素的分泌。而 TOC, TC 的含量则呈下降趋势, 说明菲抑制了栎树根系分泌碳素。栎树根系总吸收面积、活跃吸收面积与根系分泌物中 TN 含量分别呈正相关关系, 而总吸收面积、活跃吸收面积与根系分泌物中 TOC, TC 含量分别呈负相关关系。樟树 TOC, TC, TN 含量及根系总吸收面积、活跃吸收面积随菲浓度的升高均呈下降趋势。樟树根系总吸收面积、活跃吸收面积与根系分泌物中 TOC, TC, TN 含量呈负相关关系, 说明菲抑制了樟树根系活性及根系分泌物中碳、氮的分泌。进一步分析表明, 同一植物根系分泌物中 TOC, TC 和 TN 含量的变化具有不同的响应关系。栎树根系分泌物中 TC, TN 含量之间整体呈负相关关系, 随 TC 含量升高, TN 含量相应降低, 也就是说, 栎树根系分泌物中的 TC 含量升高, 则其 TN 含量就会降低。另外, 就同一含量而言, TN 的变幅并不大(图 2)。对于樟树而言, 其根系分泌物中 TC 与 TN 含量之间具有正相关关系, 随 TC 含量升高, TN 含量也随之升高, 其间的变化规律与栎树有着较大差异(图 3)。

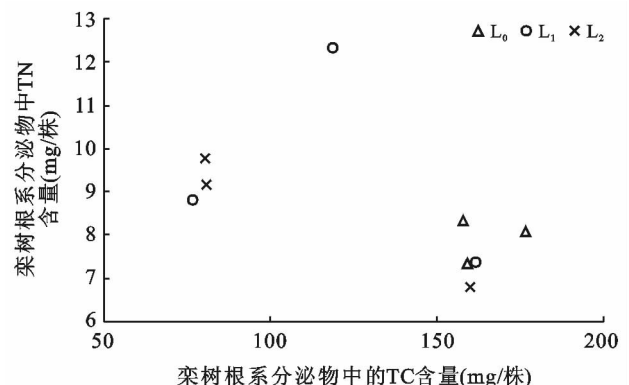


图 2 不同菲浓度处理栎树根系分泌物中 TC 含量与 TN 含量的关系

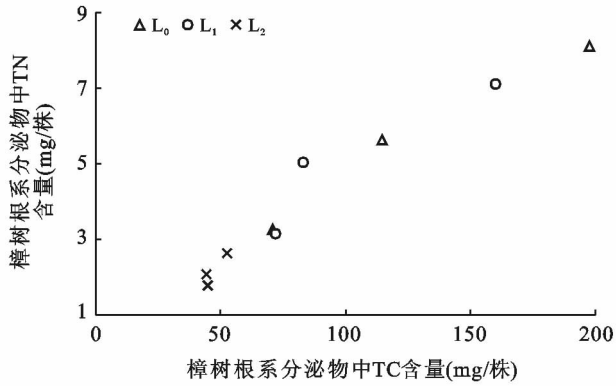


图3 樟树根系分泌物中TC含量与TN含量的关系

另外,从根系分泌物中TC含量与其活跃吸收面积的关系来看,栎树与樟树是有一定差别的。栎树根系分泌物中TC含量与其根系活跃吸收面积之间无明显的相关关系,三种处理水平中,在栎树根系分泌物中TC含量相近的情况下, L_1 处理水平下根系活跃吸收面积最大, L_2 处理水平下最小,这说明低浓度的菲对栎树根系活性有一定的促进作用,高浓度的菲会抑制栎树的根系活性(图4)。对于樟树而言,其根系分泌物中TC含量与其根系活跃吸收面积呈负相关关系,樟树根系分泌物中TC含量随其根系活跃面积的增大而降低(图5)。

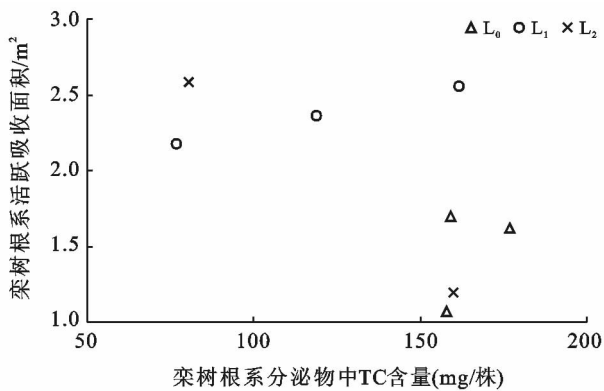


图4 栎树根系分泌物中TC含量与其根系活跃吸收面积的关系

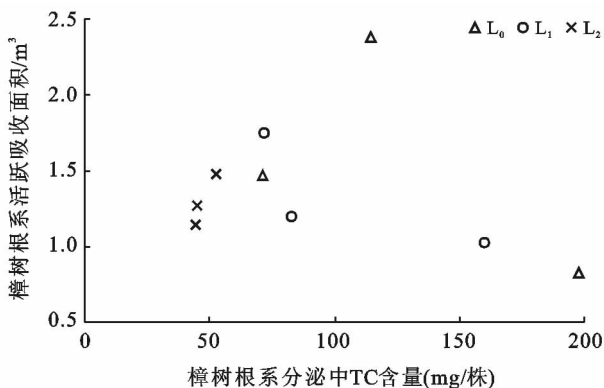


图5 樟树根系分泌物中TC含量与其根系活跃吸收面积的关系

3 结论

植物根系分泌物中TC,TOC及TN含量能反映植物根系分泌物的总量,同时能反映植物根系向土壤输入碳氮的能力。土壤环境的变化会对植物根系分泌物成分及含量产生影响^[15-16],植物在受到一定有害物质毒害时,根系分泌物组成成分的浓度会发生变化,增加根系分泌物中部分组分的产生和累积,这主要是植物对有害物质毒害的应激反应,通过增加根系分泌物调节根际微域环境,使得根际微域环境利于有害物质的分解^[17-18]。

(1) 随着菲浓度的升高,栎树与樟树根系分泌物中TOC,TC和TN含量总体均呈下降趋势,表明菲的添加对植物根系分泌量存在抑制作用。这也说明根系组织和细胞在多环芳烃胁迫下,会对T,N产生一种保护和调节机制。当然了,这也可能是根系生理功能遭到破坏产生的结果,对其发生机理需要进一步研究。

(2) 菲胁迫能够影响植物根系活性,随着菲浓度的升高,栎树、樟树根系总吸收面积和活跃吸收面积总体呈下降趋势。另外,樟树根系的总吸收面积和活跃吸收面积均低于栎树,这表明樟树对菲的添加表现出受胁迫现象,而栎树则表现出一定的耐受性。

(3) 在菲胁迫下,两个树种根系分泌物中TOC,TC与TN含量之间的变化具有一定的制约关系,但树种不同,其制约关系也存在差异。就试验组次范围而言,栎树根系分泌物中TC与TN含量之间具有正比关系,而樟树则成反比关系。3种处理水平下,栎树根系分泌物中TOC,TC与TN的含量均高于樟树,这说明在菲的胁迫下栎树根系分泌量大于樟树。通过菲胁迫下根系分泌量和根系活性的比较,表明栎树相较于樟树对菲具有更好的耐受性。

[参考文献]

- [1] 黄兴如,张彩文,张瑞杰,等.多环芳烃降解菌的筛选、鉴定及降解特性[J].微生物学通报,2016,43(5):965-973.
- [2] Yang Yunyun, Guo Pengran, Zhang Qian, et al. Seasonal variation, sources and gas/particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in Guangzhou, China [J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(12): 2492-2500.
- [3] 姚伦芳,滕应,刘方,等.多环芳烃污染土壤的微生物—紫花苜蓿联合修复效应[J].生态环境学报,2014,23(5):890-896.
- [4] 张娟,刘燕.植物修复多环芳烃污染土壤研究进展[J].环境科学与技术,2016(6):110-116.

- [5] 范淑秀,李培军,何娜,等.多环芳烃污染土壤的植物修复研究进展[J].农业环境科学学报,2007,26(6):2007-2013.
- [6] Bais H P, Weir, T L, Perry L G, et al. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms[J]. Annual Review of Plant Biology, 2006,57(1):233-266.
- [7] Pan Shengwang, Yuan Xin, Liu Can, et al. Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of five species of Festuca[J]. Environmental Science, 2016,37(6):2368-2375.
- [8] 杨艳.多环芳烃污染的根系分泌效应[D].江苏南京:南京农业大学,2009.
- [9] 王蛟龙.4种绿化树种根系分泌物对多环芳烃胁迫的响应[D].湖南长沙:中南林业科技大学,2015.
- [10] 赵宽,吴沿友.根系分泌的有机酸及其对喀斯特植物、土壤碳汇的影响[J].中国岩溶,2011,30(4):466-471.
- [11] 涂书新,吴佳.植物根系分泌物研究方法评述[J].生态环境学报,2010,19(10):2493-2500.
- [12] 许超,夏北成.苈对玉米根系分泌氨基酸的影响[J].生态环境学报,2009,18(1):172-175.
- [13] 刘静,周美利,张楠,陈国平,等.多环芳烃菲和苈对互花米草生长和生理特征的影响[J].南开大学学报:自然科学版,2015,48(01):14-20.
- [14] 井大炜,马海林,刘方春,等.盐胁迫环境下接种根际促生细菌对白蜡树根际生物学特征及其生长的影响[J].水土保持通报,2018,38(1):76-81.
- [15] 刘克彪,张元恺,李发明.黑果枸杞种子萌发对水分和钠盐胁迫的响应[J].经济林研究,2014(4):45-51.
- [16] 周乃富,袁军,高超,等.生草栽培对油茶林地土壤理化性质的影响[J].经济林研究,2014(3):76-80.
- [17] Ma Jianfeng, Zheng Shaojian, Matsumoto H. Specific secretion of citric acid induced by Al stress in *Cassia tora* L. [J]. Plant and Cell Physiology, 1997, 38(9): 1019-1025.
- [18] 林琦,陈英旭,陈怀满,等.小麦根际铅、镉的生态效应[J].生态学报,2000,20(4):634-638.

(上接第 171 页)

- [4] 杨振奇,秦富仓,李晓琴,等.砒砂岩区主要造林树种枯落物及林下土壤持水特性[J].水土保持报,2017,31(3):118-122.
- [5] 喻阳华,李光容,皮发剑,等.赤水河上游主要森林类型水源涵养功能评价[J].水土保持学报,2015,29(2):150-156.
- [6] 张伟.冀北山地森林水文特征研究[D].河北保定:河北农业大学,2011.
- [7] 梁晓娇,王树力.阿什河源头不同类型红松人工林枯落物及其土壤水文特性[J].水土保持学报,2017,31(1):140-145.
- [8] 杨振奇,秦富仓,李晓琴,等.砒砂岩区主要造林树种枯落物及林下土壤持水特性[J].水土保持学报,2017,31(3):118-122.
- [9] 谈正鑫,万福绪,张涛.盱眙人工林枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持研究,2015,22(4):184-188.
- [10] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同海拔人工油松林枯落物及其土壤水文效应水土保持研究[J].2013,20(6):54-58.
- [11] 陈波,孟成生,赵耀新,等.冀北山地不同海拔华北落叶松人工林枯落物和土壤水文效应[J].水土保持学报,2012,26(3):216-221.
- [12] 涂志华,范志平,孙学凯,等.大伙房水库流域不同植被类型枯落物层和土壤层水文效应[J].水土保持学报,2019,33(1):127-133.
- [13] 韩雪成,赵雨森,辛颖,等.大兴安岭北部火烧迹地兴安落叶松人工林土壤水文效应[J].水土保持学报,2012,26(4):183-188.