

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第4期 Vol.34 No.4 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 4 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 富营养化湖泊溶解性有机碳生物可利用性研究进展 叶琳琳,孔繁翔,史小丽,等 (779)
- 黄河下游平原农业景观中非农生境植物多样性 卢训令,梁国付,汤 茜,等 (789)

个体与基础生态

- 锰胁迫对杠板归细胞超微结构的影响 王 钧,邬 卉,薛生国,等 (798)
- 不同渗氧能力水稻品种对砷的耐性和积累 吴 川,莫竞瑜,薛生国,等 (807)
- 弱光下水分胁迫对不同产地披针叶茴香幼苗生理特性的影响 曹永慧,周本智,陈双林 (814)
- 不同分枝数对桑树幼苗生长发育的影响 邹慧慧,胥 晓,刘 刚,等 (823)
- 斑膜合垫盲蝽若虫在国槐上的空间分布型及抽样技术 朱惠英,沈 平,吴建华,等 (832)
- 连作苹果园土壤真菌的 T-RFLP 分析 尹承苗,王功帅,李园园,等 (837)
- 棉隆对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶幼苗生长的影响 刘恩太,李园园,胡艳丽,等 (847)
- 两株具有芪降解功能的植物内生细菌的分离筛选及其特性 孙 凯,刘 娟,李 欣,等 (853)

种群、群落和生态系统

- 温度对柑橘始叶螨实验种群生长发育繁殖的影响 李迎洁,王梓英,张国豪,等 (862)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对青藏高原高寒草甸群落植物生态位的影响 贾婷婷,毛 亮,郭正刚 (869)
- 三工河流域琵琶柴群落特征与土壤因子的相关分析 赵学春,来利明,朱林海,等 (878)
- 岷江干旱河谷造林对土壤微生物群落结构的影响 王卫霞,罗 达,史作民,等 (890)
- 滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响 林 黎,崔 军,陈学萍,等 (899)
- 福寿螺对稻田水生植物群落结构的影响 赵本良,章家恩,戴晓燕,等 (907)
- 4 种木本植物在潜流人工湿地环境下的适应性与去污效果 陈永华,吴晓芙,郝 君,等 (916)
- 基于静态箱式法和生物量评估海北金露梅灌丛草甸碳收支 李红琴,李英年,张法伟,等 (925)
- 初始 pH 值对碱性和酸性水稻土微生物铁还原过程的影响 吴 超,曲 东,刘 浩 (933)

景观、区域和全球生态

- 库姆塔格柽柳沙包年层稳定碳同位素与气候环境变化 张锦春,姚 拓,刘长仲,等 (943)

资源与产业生态

- 大棚甜瓜蒸腾规律及其影响因子 张大龙,常毅博,李建明,等 (953)
- 盐胁迫下荒漠共生植物红砂与珍珠的根茎叶中离子吸收与分配特征 赵 昕,杨小菊,石 勇,等 (963)
- 普通鹿蹄草品质与根际和非根际土壤的关系 耿增超,孟令军,刘建军 (973)

作物种植前后土壤有机质及养分因子的空间变异分析 方 斌,吴金凤 (983)

城乡与社会生态

城市河流健康评价指标体系构建及其应用 邓晓军,许有鹏,翟禄新,等 (993)

西藏生态足迹与承载力动态分析..... 安宝晟,程国栋 (1002)

研究简报

三峡库区岸坡消落带草地、弃耕地和耕地土壤微生物及酶活性特征 马 朋,李昌晓,雷 明,等 (1010)

盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响..... 王树凤,胡韵雪,孙海菁,等 (1021)

恒温 and 变温驯化对大蟾蜍蝌蚪热耐受性的影响 王立志 (1030)

学术信息与动态

国际生物土壤结皮研究发展态势文献计量分析..... 贺郝钰,侯春梅,迟秀丽,等 (1035)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 264 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-02



封面图说: 大蟾蜍蝌蚪群——大蟾蜍别名癞蛤蟆,体长达 10cm 以上,身体肥胖,四肢短,步态及齐足跳的姿势具特征性。其背部皮肤厚而干燥,通常有疣,呈黑绿色,常有褐色花斑,趾间具蹼。毒腺在背部的疣内,受惊后毒腺分泌或射出毒液。大蟾蜍早春在水中繁殖,可迁移至 1.5km 外或更远的适合繁殖的池塘,产卵量很大,产卵数天后蝌蚪即可孵出,1—3 个月后发育为蟾。大蟾蜍常作为实验动物或药用动物,其耳后腺和皮肤腺的白色分泌物可制成“蟾酥”,可治疗多种疾病。研究表明,大蟾蜍蝌蚪最高逃避温度和最高致死温度比最适温度产生的影响要大。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201210081387

耿增超, 孟令军, 刘建军. 普通鹿蹄草品质与根际和非根际土壤的关系. 生态学报, 2014, 34(4): 973-982.

Geng Z CMeng L J, Liu J J. The relationship between selected rhizosphere and non-rhizosphere soil properties and the quality of *Pyrola decorata*. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(4): 973-982.

普通鹿蹄草品质与根际和非根际土壤的关系

耿增超^{1,3}, 孟令军^{1,*}, 刘建军^{2,3}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100;

3. 宁夏贺兰山森林生态系统定位研究站, 银川 750000)

摘要:以野外调查和室内分析相结合, 采用相关分析、主成分分析、回归分析、通径分析等多种分析方法, 对秦岭太白山区不同生境下野生普通鹿蹄草有效成分(总黄酮、单宁、金丝桃苷、槲皮素和抗氧化活性(DPPHIC₅₀))与其根际和非根际土壤性质的关系做了研究。结论如下:(1)根际土壤速效钾、pH 和脲酶与单个有效成分含量之间呈现出显著或极显著作用, 而非根际土壤速效钾与 5 种有效成分均达到显著或极显著正相关。(2)根际土壤速效钾、pH、转化酶和脲酶是影响普通鹿蹄草有效成分含量的主导因子, 而非根际土壤有效氮、速效钾、pH 和转化酶是综合影响其含量的主导因子。(3)根际土壤速效钾是影响普通鹿蹄草有效成分含量的主要决策因素, 而 pH、转化酶和脲酶是其主要限制因素; 非根际土壤有效氮和速效钾是影响普通鹿蹄草有效成分含量的主要决策因素, 而 pH 和转化酶是其主要限制因素。由此得出, 普通鹿蹄草有效成分含量受根际和非根际多种土壤因子的综合影响, 且土壤速效钾含量、pH、转化酶是影响其含量的共同因子。

关键词:普通鹿蹄草; 品质; 根际; 有效成分; 土壤因子

The relationship between selected rhizosphere and non-rhizosphere soil properties and the quality of *Pyrola decorata*

GENG Zengchao^{1,3}, MENG Lingjun^{1,*}, LIU Jianjun^{2,3}

1 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

3 Ningxia Helan Mountain Forest Ecosystem Orientational Research Station, Yinchuan, Ningxia 750000, China

Abstract: *Pyrola decorata* is a native plant species on Mt. Taibai in the Qinling Mountains. Because of its medicinal value, a large amount of wild *P. decorata* has been excavated in recent years. As a result, the *P. decorata* population on Mt. Taibai has gradually decreased. In order to protect *P. decorata*, it is important to study the relationship between *P. decorata* quality and selected chemical properties of rhizosphere and non-rhizosphere soil. Plant and soil samples were collected from different habitats on Mt. Taibai and taken to a laboratory for analysis. The plant samples were analyzed to determine the total flavonoid, tannin, hyperin, and quercetin content of *P. decorata*. The antioxidant activity (DPPHIC₅₀) of the samples was also determined. Correlation analysis, principal component analysis, regression analysis, and path analysis were conducted to determine the relationship between medicinally active compounds in wild *P. decorata* and selected properties of rhizosphere and non-rhizosphere soil. The results indicated that in rhizosphere soil, available potassium concentration, pH, and urease were positively correlated with individual compounds in *P. decorata*. In contrast, for non-rhizosphere soil, available potassium was significantly correlated with five active compounds. In rhizosphere soil, available potassium, pH,

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项资助项目(200904004)

收稿日期: 2012-10-08; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mlg486@126.com

invertase, and urease were the main factors influencing the active compound content of *P. decorata*, whereas in non-rhizosphere soil available nitrogen, available potassium, pH, and invertase were the main factors. In rhizosphere soil, available potassium was the most important factor influencing the active compound content, whereas soil pH, catalase, and acid phosphatase were the main limiting factors. In non-rhizosphere soil, available nitrogen and available potassium were the most important factors influencing the active compound content, whereas soil pH and invertase were the main limiting factors. In conclusion, the content of active compounds in of *P. decorata* is affected by multiple soil factors, especially soil available potassium, soil pH, and invertase.

Key Words: *Pyrola decorata*; quality; rhizosphere; effective component; soil factor

普通鹿蹄草 (*Pyrola decorata*) 是多年生常绿草本植物, 为鹿蹄草科鹿蹄草属, 在我国分布广泛, 在秦岭山区主要有鹿蹄草、普通鹿蹄草、皱叶鹿蹄草和紫背鹿蹄草共 4 种鹿蹄草植物, 它们主要生长在海拔 1300—2800 m 范围内阔叶林和针阔混交林下^[1-2]。由于鹿蹄草具有广谱抗菌、抗炎、抗肿瘤以及止咳平喘等作用, 已经成为一种重要的药用资源^[3-4]。近年来, 由于野生鹿蹄草具有重要的药用价值而被大量采挖, 其数量正逐渐减少, 因此, 开展其野生资源的研究对于合理保护野生鹿蹄草具有重要意义。目前, 国内外有关鹿蹄草属植物的研究越来越受重视, 主要集中在对其分布状况^[5-6]、化学成分^[7-8]及医学功能^[9-10]等方面, 但对其化学成分与根际环境之间关系的研究鲜有报道。土壤因子对中草药的品质有重要影响, 近年来国内许多学者对怀菊^[11]、泽泻^[12]、枸杞^[13]、华细辛^[14]等中草药的有效成分与土壤因子的关系进行了大量研究, 而有关中草药有效成分与根际土壤因子的关系研究尚未见报道。根际作为植物与土壤环境最紧密的接触面, 是植物、土壤、微生物共同影响的特殊生态领域, 对外界环境极为敏感^[15]。有研究指出, 植物通过光合作用合成的含碳化合物大约有 30%—60% 直接分配到根系, 而其中 40%—70% 又被释放到根际中^[16], 因此, 植物根际的研究, 可以更深入反映植物生境的变化规律, 因而越来越受到学者的重视^[17-19]。鉴于此, 本研究分析了不同样地普通鹿蹄草有效成分间的差异, 通过研究其品质与根际和非根际土壤养分和酶活性之间的关系, 明确影响普通鹿蹄草品质的主要土壤因子及其作用特征和规律, 以期对野生鹿蹄草资源的保护和利用以及人工引种和规范标准化栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省眉县太白山国家级自然保护区蒿坪管理站境内 (34°01'—34°05' N, 107°41'—107°43' E), 海拔 1 300—2 800 m, 位于秦岭山脉中段。该区域年平均气温 12.9 °C, 7 月份均温 27.1 °C, 年积温 ≥ 10°C 为 3803.8°C, 年平均降雨量 609.5 mm, 年平均日照时间 2 015 h, 无霜期 160 d, 相对湿度 69.4%。该区域属于典型的暖温带半湿润气候, 并且有明显的气候垂直带, 年平均气温在海拔 1000—2000 m 为 11.4 °C^[20]。

1.2 研究方法

根据实地调查中普通鹿蹄草的分布规律, 选择 6 块林地下普通鹿蹄草植物和根际土壤作为研究对象 (表 1)。实验样品均采集于 2010 年 8 月。林地大小设为 30 m×30 m, 并在每块林地内设置 3 个 10 m×10 m 的样方作为重复, 每个采样点随机取样, 重复 3 次, 然后将土壤和植物分别混匀, 用四分法取一小部分作为一个样品。根际和非根际土壤用抖落法^[21]采集, 具体方法是先挖取具有完整根系的土体, 将鹿蹄草根系剪断, 轻轻抖落不含根系的土壤, 视为非根际土壤, 然后将根表面附着的土壤全部抖落下来, 仍然粘在根上的, 用软毛刷将土壤轻刷收集至土壤样品袋中, 混匀后获得根际土壤。采集后的土壤和植物样品用无菌袋承装, 密封、低温条件 (4°C) 保存。植物样品在 45°C 下烘干磨细后, 过 0.60 mm 筛后备用。对根际土壤, 处于半干状态时, 将土壤轻轻压碎, 用尼龙筛挑出其中的细根等杂物。土壤样品经室内风干后研磨过筛, 其中 1 mm 筛孔土样用于测定土壤速效养分和酶活性, 0.25 mm 筛孔土样用于测定土壤全量养分。

表 1 样地基本情况
Table 1 Basic conditions of the sample plots

编号 Number	地理位置 Geographical position	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope gradient	坡向/(°) Slope aspect	土壤类型 Soil type	林分类型 Stand type	根际深度 Rhizosphere depth/cm	主要植被种类 Main plant species
I	N 34°04.710' E 107°41.936'	1320	27	323	淋溶褐土 Eluvial cinnamon soil	锐齿栎×三桠乌 药林 Tooth oak × <i>L. obtusiloba</i> forest	16	苔草 (<i>Carex</i> Linn.), 珍珠梅 (<i>Sorbaria sorbifolia</i> A. Br.), 美丽胡枝子 (<i>Lespedeza Formosa</i> Koehne), 秦岭木姜子 (<i>Litsea tsinlingensis</i> Yang et P. H. Huang)
II	N 34°05.157' E 107°41.829'	1369	38	340	淋溶褐土 Eluvial cinnamon soil	锐齿栎×山杨林 Tooth oak×aspen	6	卫矛 (<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Sieb.), 一年蓬 (<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.), 龙牙草 (<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb.), 葎草 (<i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr.)
III	N 34°04.789' E 107°41.716'	1390	30	121	淋溶褐土 Eluvial cinnamon soil	锐齿栎×漆树林 Tooth oak×lacquer trees forest	13	珍珠梅 (<i>Sorbaria sorbifolia</i> A. Br.), 苔草 (<i>Carex</i> Linn.), 节节草 (<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf), 华北绣线菊 (<i>Spiraea fritschiana</i> Schneid.)
IV	N 34°04.254' E 107°41.609'	1678	25	280	棕壤 Brown soil	锐齿栎纯林 Natural sharp tooth oak forest	12	青荚叶 (<i>Helwingia japonica</i> (Thunb.) Dietr.), 珍珠梅 (<i>Sorbaria sorbifolia</i> A. Br.), 榆 (<i>Ulmus pumila</i> Linn.), 苔草 (<i>Carex</i> Linn.)
V	N 34°03.133' E 107°42.097'	2268	26	315	棕壤 Brown soil	华山松×锐齿栎 林 Armand pine× tooth oak forest	11	刺梅花 (<i>Euphorbia miliavar. splendens</i> Ursch.), 狗尾巴草 (<i>Setaira viridis</i> (L.) Beauv), 莎草 (<i>Cyperus rotundus</i> Linn.), 黄柏 刺 (<i>Berberis virgetorum</i> Schneid.)
VI	N 34°01.712' E 107°43.217'	2795	29	313	暗棕壤 Dark brown soil	红桦×华山松林 Red birch×armand pine forest	10	紫苞风毛菊 (<i>Saussurea purpurascens</i> Y.L. Chen.), 黄花葱 (<i>Allium condensatum</i> Turcz), 莎草 (<i>Cyperus rotundus</i> Linn.), 山石 榴 (<i>Catunaregam spinosa</i> (Thunb.) Tirveng)

1.2.1 土壤测定方法

土壤化学分析采用常规方法进行。其中,pH 采用电位法(水:土=2.5:1),有机质采用 $K_2Cr_2O_7$ 氧化-外加热法,全氮含量采用半微量凯氏法,全磷含量采用 $HClO_4-H_2SO_4$ 消煮-钼锑抗比色法,全钾含量采用 NaOH 熔融-火焰光度法,有效氮含量采用 1 mol/L KCl 浸提-连续流动分析仪法,有效磷含量采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提-钼锑抗比色法,速效钾含量采用 1 mol/L NH_4OAc 浸提-火焰光度法。土壤转化酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 24 h 后每 g 土壤中的葡萄糖(mg)表示;土壤脲酶活性用苯酚钠比色法测定,以 24 h 后每 g 土生成的氨(mg)来表示;土壤过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定,以单位质量土消耗的高锰酸钾(mL)表示;土壤酸性磷酸酶活性用磷酸苯二钠法测定,以 12 h 每 g 土产生的酚(mg)表示^[22]。

1.2.2 植物测定方法

(1) 提取液的制备

称取普通鹿蹄草干粉 20.00 g 置于烧瓶中,加 200 mL 乙醚脱脂提取 2 h,过滤,弃去滤液。按料液比为 1:20 加入体积分数为 70%乙醇 400 mL,在 80℃热水浴中回流提取 3 h,过滤,重复操作 2 次,合并 2 次提取液,减压浓缩,用 70%乙醇定容至 50 mL。用于总黄酮含量的测定,剩余提取液浓缩、烘干至恒重。

(2) 总黄酮含量测定

采用 $NaNO_3-Al(NO_3)_3$ 显色法,在 510 nm 波长下测定其吸光度。线性回归方程为:

$$y = 13.067x + 0.0367, \quad r = 0.9998$$

(3) 单宁含量、金丝桃苷含量、槲皮素含量的测定

采用 HPLC 测定 3 种成分,仪器为美国安捷伦公司生产的 1200 高效液相色谱仪,色谱条件为:ZORBAX SB-C 18 色谱柱;流动相为甲醇-0.5%磷酸溶液(50:50);流速 1 mL/min;进样量为 20 μ L;检测波长为 370nm;柱温 25℃。样品液的制备:准确称取鹿蹄草提取物 100.00mg,甲醇溶解定容至 10mL 容量瓶中,即得单宁、金丝桃苷、槲皮素待测液。配成不同系列浓度后,按上述色谱条件测定,以峰面积

(Y)为纵坐标,质量浓度(X , mg/mL)为横坐标,进行线性回归,得3种成分的回归方程:

单宁 $Y = 1834.64X + 0.87, r = 0.9999$,
线性范围为10—200 $\mu\text{g/mL}$;
金丝桃苷 $Y = 20748.37X - 7.83, r = 0.9997$,
线性范围为25—500 $\mu\text{g/mL}$;
槲皮素 $Y = 57170.12X - 119.26, r = 0.9998$,
线性范围为5—100 $\mu\text{g/mL}$ 。

(4) 抗氧化活性能力(DPPHIC₅₀)的测定

抗氧化活性能力(DPPHIC₅₀)采用体外 DPPH·自由基清除法测定。称取普通鹿蹄草提取物0.10 g,再用50%乙醇溶解定容至50mL,稀释成不同浓度的待测液,取上述待测液2 mL,加2 mL 0.1 mmol/mL DPPH 溶液,混匀,避光反应30 min,测定在517 nm下的吸光度。

清除率(SA)的公式为:

$$SA(\%) = [1 - (A_i - A_j) / A_o] \times 100$$

式中, A_i 为样品溶液的吸光值; A_j 为空白样吸光值; A_o 为对照组吸光值。

1.3 数据处理

数据分析和处理使用软件SPSS 18.0。用单因素

方差分析法(One-way ANOVA)分析数据的差异显著性,显著性设为 $\alpha = 0.01$ 。用相关分析(Correlation Analysis)、主成分分析(Principal Components Analysis)、逐步回归分析(Stepwise Regression Analysis)和通径分析(Path Analysis)多种分析方法比较普通鹿蹄草根际土壤因子对有效成分含量的影响。

2 结果与分析

2.1 普通鹿蹄草有效成分含量分析

由表2可以看出,不同样地间普通鹿蹄草有效成分含量及抗氧化活性值均存在差异。其中,在不同样地间,总黄酮含量(介于1.67—2.28 mg/g之间)表现为差异较小,而其他有效成分含量则均存在较大差异。Ⅲ号样地的单宁、金丝桃苷和槲皮素含量(分别为31.84 mg/g、1.79 mg/g、130.77 $\mu\text{g/g}$)明显高于其它样地,而总黄酮含量和DPPHIC₅₀值(分别为1.67 mg/g、9.02 $\mu\text{g/mL}$)都低于其他样地,这可能是由于前3种与后两种成分之间有拮抗作用,从而引起不同的变化趋势。普通鹿蹄草根际与非根际土壤因子的实测值分别见表3和表4。

表 2 普通鹿蹄草有效成分含量及抗氧化活性值($n=3$)

Table 2 Effective components content and antioxidant activity of *Pyrola decorata*

编号 Number	总黄酮 Total flavonoids /(mg/g)	单宁 Tannin /(mg/g)	金丝桃苷 Hyperin /(mg/g)	槲皮素 Quercetin /($\mu\text{g/g}$)	DPPHIC ₅₀ /($\mu\text{g/mL}$)
I	2.14ab	14.26c	0.86bc	79.76b	44.56b
II	1.75c	9.77d	0.46d	70.26c	38.23c
III	1.67c	31.84a	1.79a	130.77a	9.02e
IV	2.28a	10.60d	0.57d	65.83cd	32.69d
V	2.09b	9.77d	0.82c	63.69d	42.85b
VI	2.28a	16.48b	0.96b	75.97b	50.33a

同列不同小写字母表示差异显著($\alpha=0.01$)

表 3 普通鹿蹄草根际土壤养分与酶活性($n=3$)

Table 3 Soil nutrients and enzyme activities in the rhizosphere of *Pyrola decorata*

编号 Number	有机质 Organic matter /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)	有效氮 Available N /(mg/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)	pH	转化酶 Invertase /(mg/g)	过氧化氢酶 Catalase /(mg/g)	脲酶 Urease /(mg/g)	酸性磷酸酶 Acid Phosphatase /(mg/g)
I	37.90d	1.66d	0.10d	12.31cd	38.76bc	7.39d	263.06b	4.92b	10.5b	0.501d	0.328cd	1.175b
II	67.84c	2.70c	0.67bc	14.91c	42.09b	12.57cd	311.82ab	5.94a	21.72a	1.256b	0.091d	1.526a
III	71.07c	3.10bc	0.45cd	14.39c	44.71b	20.83b	368.05a	4.72b	20.27a	0.906c	0.391c	1.629a
IV	88.96b	3.85b	0.26cd	18.64b	27.73c	17.47bc	225.26c	5.75a	21.862a	1.503a	0.768b	1.61a
V	75.20bc	3.45bc	1.06ab	17.22bc	28.12c	7.58d	272.05b	5.81a	20.97a	1.325ab	0.792b	1.547a
VI	110.61a	6.76a	1.16a	20.35a	73.62a	61.47a	201.35c	5.86a	21.35a	1.395ab	1.236a	1.531a

表 4 普通鹿蹄草非根际土壤养分与酶活性($n=3$)

Table 4 Soil nutrients and enzyme activities in the non-rhizosphere of *Pyrola decorata*

编号 Number	有机质 Organic matter /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)	有效氮 Available N /(mg/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)	pH	转化酶 Invertase /(mg/g)	过氧化氢酶 Catalase /(mg/g)	脲酶 Urease /(mg/g)
I	34.94d	1.55c	0.04d	13.19c	27.58a	7.37bc	195.26ab	5.57a	11.86b	0.581b	0.217c
II	49.09c	1.81c	0.61b	14.26bc	26.24a	11.261b	253.68a	6.09a	19.62a	1.316a	0.129c
III	58.81b	2.38b	0.35c	15.23bc	22.78a	13.22b	298.1a	5.47a	12.49b	1.05a	0.336b
IV	62.94b	2.28b	0.13d	19.22a	16.89b	11.95b	181.7ab	4.76a	15.721ab	0.722ab	0.498b
V	60.26b	2.51b	0.85a	17.58ab	18.29b	7.34bc	218.36a	5.97a	18.77a	1.201a	0.658ab
VI	92.44a	5.92a	0.87a	19.66a	14.19bc	57.53a	172.8b	6.01a	20.37a	0.944a	0.88a

2.2 普通鹿蹄草有效成分含量与根际和非根际土壤因子的分析

2.2.1 普通鹿蹄草有效成分含量与土壤因子的相关性分析

从表 5 可以看出,相关性分析表现为总黄酮含量与根际土壤速效钾含量呈极显著负相关,而与根际土壤脲酶含量呈极显著正相关。单宁、金丝桃、槲皮素含量与根际土壤 pH 均呈极显著负相关,而 DPPHIC₅₀与之呈显著正相关,此外,槲皮素含量与根际土壤速效钾呈极显著正相关,而 DPPHIC₅₀与之呈极显著负相关。从表 6 可以看出,相关性分析表现

为总黄酮含量与非根际土壤速效钾含量呈极显著负相关,与非根际土壤有效氮和过氧化氢酶呈显著负相关,而非根际土壤脲酶活性呈显著正相关。单宁和金丝桃苷含量与非根际土壤速效钾均呈显著正相关,槲皮素含量和 DPPHIC₅₀与非根际土壤速效钾均呈极显著正相关。由上述分析可见,单一的对应关系只能表现出普通鹿蹄草中一种成分和根际土壤因子的相关性,而无法反映出影响普通鹿蹄草品质的共同因子,因此,须进一步对其内在关系进行深入分析。

表 5 普通鹿蹄草有效成分含量与根际土壤因子的相关系数

Table 5 Correlative coefficients between active components content and soil factors in the rhizosphere of *Pyrola decorata*

	总黄酮 Total flavonoids	单宁 Tannin	金丝桃苷 Hyperin	槲皮素 Quercetin	DPPHIC ₅₀
有机质 Organic matter	0.369	-0.011	-0.024	-0.154	0.134
全氮 Total N	0.478	0.02	0.031	-0.146	0.311
全磷 Total P	0.101	-0.129	-0.020	-0.229	0.362
全钾 Total K	0.577	-0.242	-0.211	-0.390	0.333
有效氮 Available N	0.100	0.318	0.258	0.207	0.247
有效磷 Available P	0.349	0.224	0.182	0.071	0.247
速效钾 Available K	-0.962 **	0.596	0.562	0.720 **	-0.783 **
pH	0.38	-0.759 **	-0.757 **	-0.803 **	0.602 *
转化酶 Invertase	-0.128	-0.037	-0.069	-0.081	-0.198
过氧化氢酶 Catalase	0.296	-0.393	-0.400	-0.468	0.175
脲酶 Urease	0.736 **	-0.085	0.017	-0.265	0.401
酸性磷酸酶 Acid Phosphatase	-0.238	0.227	0.200	0.187	-0.478

* 表示 $P<0.05$; ** 表示 $P<0.01$

2.2.2 普通鹿蹄草有效成分含量的主成分分析

主成分分析可以在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多且彼此相关的多个变量转换为个数较少而彼此独立的变量,从而可以简化

多指标分析。对普通鹿蹄草有效成分含量的 5 个指标进行主成分分析可知,前 2 个公因子的累计方差贡献率,已涵盖了全部信息的 94.49 %,因此提取这 2 个公因子,因子分析表达式为:

$$F_1 = -0.354Z_1 + 0.478Z_2 + 0.458Z_3 + 0.492Z_4 - 0.441Z_5$$

$$F_2 = 0.799Z_1 + 0.312Z_2 + 0.419Z_3 + 0.124Z_4 + 0.269Z_5$$

式中, F_1 中单宁、金丝桃、槲皮素和 DPPHIC₅₀ 占的比

重分别为 0.478、0.458、0.492、-0.441, 占影响因素的 80.58%; F_2 中总黄酮占 0.799, 但仅占影响因素的 13.91%。第一公因子占全部提取信息的比重较大, 为主要影响因子, 所以选取 F_1 作主成分, 更能代表有效成分含量的共同因子。

表 6 普通鹿蹄草有效成分含量与非根际土壤因子的相关系数

Table 6 Correlative coefficients between active components content and soil factors in the non-rhizosphere of *Pyrola decorata*

	总黄酮 Total flavonoids	单宁 Tannin	金丝桃苷 Hyperin	槲皮素 Quercetin	DPPHIC ₅₀
有机质 Organic matter	0.382	0.110	0.128	-0.052	0.180
全氮 Total N	0.440	0.110	0.132	-0.057	0.368
全磷 Total P	-0.009	-0.155	-0.054	-0.231	0.357
全钾 Total K	0.533	-0.178	-0.128	-0.329	0.227
有效氮 Available N	-0.600 *	0.088	0.014	0.249	-0.210
有效磷 Available P	0.399	0.123	0.095	-0.031	0.377
速效钾 Available K	-0.975 **	0.623 *	0.581 *	0.730 **	-0.798 **
pH	-0.266	-0.118	-0.051	-0.118	0.422
转化酶 Invertase	0.204	-0.531	-0.513	-0.592 *	0.553
过氧化氢酶 Catalase	-0.607 *	-0.026	-0.005	0.018	-0.131
脲酶 Urease	0.633 *	-0.063	0.063	-0.237	0.376
酸性磷酸酶 Acid Phosphatase	-0.211	-0.081	-0.104	-0.091	-0.291

2.2.3 土壤因子对 F_1 的逐步回归分析

进一步就根际和非根际土壤因子对普通鹿蹄草有效成分 F_1 的影响进行逐步回归分析, 以主成分 F_1 为因变量 Y , 以 12 个土壤因子有机质 (X_1)、全氮 (X_2)、全磷 (X_3)、全钾 (X_4)、有效氮 (X_5)、有效磷 (X_6)、速效钾 (X_7)、pH (X_8)、转化酶 (X_9)、过氧化氢酶 (X_{10})、脲酶 (X_{11})、酸性磷酸酶 (X_{12}) 为自变量, 建立回归方程初始参数的选择标准是自变量对因变量作用的显著程度, 从大到小逐个引入, 直到既无不显著的变量总回归方程中剔除 ($F > 0.01$), 又无显著变量可引入 ($F < 0.05$) 回归方程为止。由此分别得到以下方程:

$$Y_R = 1.2527 + 0.1501X_7 + 0.0493X_8 - 0.0449X_9 + 0.3959X_{11} \quad (R^2 = 0.9994, P = 0.0001)$$

$$Y_N = -17.7249 + 4.2880X_5 + 0.1403X_7 + 0.3244X_8 - 34.4890X_9 \quad (R^2 = 0.9993, P = 0.0001)$$

上述方程式中, R^2 反映了普通鹿蹄草有效成分含量中被土壤因子解释的比例。式中, Y_R 代表根际土壤因子对 F_1 回归方程, Y_N 代表非根际土壤因子对 F_1 回归方程。由上述方程可看出, 由于各逐步回归分析中 R^2 均较大, 表明所提取的普通鹿蹄草根际和

非根际土壤因子能较好地解释普通鹿蹄草有效成分 F_1 的指标。此外, 根际土壤速效钾 (X_7)、pH (X_8)、转化酶 (X_9) 和脲酶 (X_{11}) 是综合影响普通鹿蹄草的有效成分含量的主导因子, 而非根际土壤有效氮 (X_5)、速效钾 (X_7)、pH (X_8) 和转化酶 (X_9) 是综合影响普通鹿蹄草的有效成分含量的主导因子。

2.2.4 土壤因子对 F_1 的途径分析

途径分析是研究变量间相互关系、自变量对因变量作用方式、程度的多元统计分析方法。通过它能够找出自变量对因变量影响的直接效应和间接效应, 比简单相关分析更深入、全面地分析指标间相互影响程度^[23]。

对上述 4 种根际土壤因子与 F_1 进行途径分析 (表 7)。由相关系数可以看出, 脲酶 (X_{11}) > 速效钾 (X_7) > pH (X_8) > 转化酶 (X_9), 其中速效钾和脲酶对 F_1 表现为正效应, 而 pH 和转化酶表现为负效应。直接作用系数表现为脲酶 (X_{11}) > pH (X_8) > 速效钾 (X_7) > 转化酶 (X_9), 其中 pH 对 F_1 表现为负效应, 而其他 3 种土壤因子均表现为正效应。间接作用系数表现为 pH (X_8) > 转化酶 (X_9) > 速效钾 (X_7) > 脲酶 (X_{11}), 其中速效钾和 pH 对 F_1 表现为正效应, 而转

化酶和脲酶对 F_1 表现为负效应。

表 7 普通鹿蹄草有效成分含量与根际土壤因子的相关和通径分析

Table 7 Correlation and path analysis of active components content and soil factors in the rhizosphere of *Pyrola decorata*

因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接作用系数 Direct path coefficient	间接作用系数总和 Sum of indirect path coefficient	间接作用系数 Indirect path coefficient			
				$\rightarrow X_7$	$\rightarrow X_8$	$\rightarrow X_9$	$\rightarrow X_{11}$
X_7	0.577	0.414	0.228		0.338	0.001	-0.366
X_8	-0.212	-0.707	0.651	-0.119		0.226	0.544
X_9	-0.175	0.407	-0.519	-0.101	0.376		-0.793
X_{11}	0.729	0.885	-0.130	-0.089	-0.510	0.472	

对上述 4 种非根际土壤因子与 F_1 进行通径分析 (表 8)。由相关系数可以看出,速效钾(X_7)>有效氮(X_5)>转化酶(X_9)>pH(X_8),其中有效氮和速效钾对 F_1 表现为正效应,而 pH 和转化酶表现为负效应。直接作用系数表现为 pH(X_8)>转化酶(X_9)>速效

钾(X_7)>有效氮(X_5),其中转化酶对 F_1 表现为负效应,而其他 3 种土壤因子均表现为正效应。间接作用系数表现为转化酶(X_9)>pH(X_8)>有效氮(X_5)>速效钾(X_7),其中有效氮、速效钾和转化酶对 F_1 表现为正效应,而 pH 对 F_1 表现为负效应。

表 8 普通鹿蹄草有效成分含量与非根际土壤因子的相关和通径分析

Table 8 Correlation and path analysis of active components content and soil factors in the non-rhizosphere of *Pyrola decorata*

因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接作用系数 Direct path coefficient	间接作用系数总和 Sum of indirect path coefficient	间接作用系数 Indirect path coefficient			
				$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_7$	$\rightarrow X_8$	$\rightarrow X_9$
X_5	0.397	0.209	0.268		0.051	0.252	-0.035
X_7	0.488	0.268	0.229	-0.468		0.693	0.004
X_8	-0.142	0.606	-0.718	-0.261	0.034		-0.491
X_9	-0.326	-0.472	0.816	0.213	-0.188	0.791	

2.2.5 土壤因子对 F_1 的决定程度分析

每个土壤因子的决定系数大小反映了影响程度的强弱,因此就各个土壤因子对 F_1 的绝对影响程度作进一步分析。决策系数可以反映自变量对因变量综合作用的大小,它可对通径分析结果进行更准确的分析和判断。决策系数的计算公式为:

$$R_{(i)}^2 = 2b_i r_{iy} - b_i^2$$

式中, b_i 为直接作用系数, r_{iy} 为间接作用系数总和。

经计算可知,根际土壤因子对 F_1 影响的决策系数大小依次为: $R_{(8)}^2 > R_{(11)}^2 > R_{(9)}^2 > R_{(7)}^2$, 且 $R_{(8)}, R_{(11)} < 0$ 。速效钾对应的决策系数为正值,说明它对普通鹿蹄草有效成分含量的综合影响较大,可以看作是影响普通鹿蹄草有效成分含量的主要决策因素。pH(X_8)、转化酶(X_9)和脲酶(X_{11})对应的决策系数为负值,并以 $R_{(8)}$ 最小,可知根际土壤 pH 是普通鹿蹄草有效成分含量最主要的限制因素,其次为脲酶和速效钾。

非根际土壤因子对 F_1 影响的决策系数大小依次

为: $R_{(8)}^2 > R_{(9)}^2 > R_{(5)}^2 > R_{(7)}^2$, 且 $R_{(8)}, R_{(9)} < 0$ 。其中,有效氮和速效钾对应的决策系数均为正值,说明它们对普通鹿蹄草有效成分含量的综合影响较大,可以看作是影响普通鹿蹄草有效成分含量的主要决策因素。pH(X_8)和转化酶(X_9)对应的决策系数为负值,并以 $R_{(8)}$ 最小,可知 pH 是普通鹿蹄草有效成分含量最主要的限制因素,其次为转化酶。

3 讨论与结论

普通鹿蹄草作为一种重要的中草药,其品质与根际土壤环境之间联系紧密,相互影响。因此,根际和非根际土壤因子是影响普通鹿蹄草有效成分含量的重要因素。对普通鹿蹄草有效成分含量与根际土壤因子相关性研究发现,普通鹿蹄草根际土壤 pH 与五种有效成分含量相关系数均较高,且根际和非根际土壤 pH 都是普通鹿蹄草有效成分含量最主要的限制因素,这与孔璐^[24]等的研究结果相似,表明土壤酸碱度与普通鹿蹄草有效成分含量之间有着紧密

的关系,而且在其他土壤因子保持一定水平时,弱酸环境下,除总黄酮和 DPPHIC₅₀ 外,更有利于普通鹿蹄草其它有效成分的累积,对于其影响机理尚需进一步研究。回归分析表明,根际土壤速效钾、pH、转化酶和脲酶综合影响普通鹿蹄草的有效成分含量,是主导因子,它们之间存在着显著或极显著的线性关系。卜静等^[25] 研究也表明,土壤 pH 和钾素含量对玉竹有效成分的积累也有重要作用。通径分析表明,根际土壤脲酶活性是综合影响普通鹿蹄草有效成分含量的最重要因子,土壤速效钾含量在根际和非根际对普通鹿蹄草有效成分含量影响均较大,这主要是由于在根际土壤脲酶活性的增强与黄酮和 DPPHIC₅₀ 的积累密切相关,而根际和非根际土壤速效钾含量的增加有利于单宁、金丝桃苷、槲皮素的积累,而抑制黄酮和 DPPHIC₅₀ 的积累。根际土壤有效氮和非根际土壤有效氮、速效钾分别是影响普通鹿蹄草有效成分含量的主要决策因素,这可能是由于鹿蹄草体内一些化学物质的合成和积累与氮素和磷素的活化有着密切的关系,而且在实践中施用氮肥和磷肥可提高土壤酸碱度,有利于黄酮类等化合物的积累^[24],刘鹏等^[26] 的研究结果也证明了这一点。因此,在人工种植时,适当增施氮肥和钾肥可以促进鹿蹄草体内有效成分的积累。从上述研究可以看出,普通鹿蹄草有效成分受根际和非根际土壤环境中多种因素的影响,且土壤速效钾含量、pH、转化酶活性是影响其含量的共同因子。因此,合理调节根系周围土壤酸碱度、钾素形态及转化酶活性,对普通鹿蹄草有效成分的积累意义重大。值得注意的是,本研究中各有效成分含量大小分别受根际土壤因子的共同影响。

植物在生长过程中,通过根部与土壤之间进行着各种物质和能量的交换,而根分泌物和根残体是影响植物生长过程中养分循环的重要因素^[27]。焦晓林等^[28] 研究表明西洋参根残体除促进植株生长外,还影响根际生态环境中酚酸类化感物质含量的变化。植物在生长过程中,通过各种途径(如根系分泌、残体分解、地上部分淋溶等)不断与根系周围土壤之间进行着物质与能量的交换,植物残体中富含多种营养元素,腐解后能补充土壤养分,死亡的根系和大量的根际微生物等有机物质在根际聚集,对根际区域土壤酶的种类和数量以及养分的活化起着

重要的作用^[16,29],土壤又通过反馈调节进而改善植物条件,从而影响植物品质^[30-31]。本研究也证明了这一点,鹿蹄草几种有效成分均与根际和非根际土壤酶和养分之间存在一定的相关性,且单个土壤因子也是通过其他因子的间接影响,从而对植物有效成分进行反馈调节,而鹿蹄草根际土壤的物质交换是通过它与植物之间相互作用来影响土壤肥力和植物生产力。因此,对鹿蹄草人工引种和栽培时,应综合考虑各种肥力因子对其有效成分的综合作用,不能只片面考虑其单一的相关性。

本研究分析的普通鹿蹄草根际和非根际土壤因子和有效成分,均为多个变量,其规律性变化也呈现出不一致的现象,故通过相关分析、主成分分析、回归分析、通径分析等多途径来综合反映普通鹿蹄草根际土壤因子对品质的影响。此外,本研究只选择与普通鹿蹄草联系紧密的根际土壤因子来研究,而普通鹿蹄草广泛分布于秦岭太白山区,也有不同的亚种,其生长除了要求适宜的土壤环境以外,光照、湿度和温度等生态因子以及生物共栖生态型同样影响着药用植物的发育、产量和品质^[32-33],所以从海拔、光照、温度、植物生态型等多方面因素来研究与普通鹿蹄草品质之间的关系,有待更深入的探讨。

致谢:本研究在土壤样品分析测定过程中得到了黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室、农业部西北植物营养与农业环境重点实验室的支持与协助,特此致谢。

References:

- [1] Hu W G, Hu L Z. Flora of China. Beijing: Science Press, 1990, 56: 158-193.
- [2] Meng L J, Geng Z C, Wang H T, Yin J Y, Jiang L, Lin W D. Soil nutrients and enzyme activities of *Pyrola* in rhizosphere and non-rhizosphere on Mt. Taibai, Qinling Mountains. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2012, 40 (5): 157-165.
- [3] Hynson N A, Jolles D, Madsen P. A case of *Pyrola* plantlets with picky palates leads to new insights on mycoheterotrophic seedlings and the fungi that feed them. New Phytologist, 2012, 195 (3): 503-506.
- [4] Ptitsyn L R, Nomura K, Sklyar I V, Ravcheeva A B. The 1,4-naphthoquinone derivative from *Pyrola rotundifolia* activates AMPK phosphorylation in C2C12 myotubes. Fitoterapia, 2011, 82 (8): 1285-1289.
- [5] Toftegaard T, Iason G R, Alexander I J, Rosendahl S, Taylor A

- F. The threatened plant intermediate wintergreen (*Pyrola media*) associates with a wide range of biotrophic fungi in native Scottish pine woods. *Biodiversity and Conservation*, 2010, 19 (14): 3963-3971.
- [6] Liu Z W, Wang Z H, Zhou J, Peng H. Phylogeny of *Pyroleae* (*Ericaceae*): implications for character evolution. *Journal of Plant Research*, 2011, 124(3): 325-337.
- [7] Chang J, Inui T. Novel phenolic glycoside dimer and trimer from the whole herb of *Pyrola rotundifolia*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 2005, 53(8): 1051-1053.
- [8] Kim J S, Shim S H, Xu Y N, Kang S S, Son K H, Chang H W. Phenolic glycosides from *Pyrola japonica*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 2004, 52 (6): 714-717.
- [9] Lee S M, An R B, Min B S, Na M K, Lee C H, Kang S J, Maeng H J, Bae K. A new naphthoquinone from *Pyrola japonica*. *Archives of Pharmacol Research*, 2001, 24(6): 522-523.
- [10] Liu L, Li A L, Zhao M B, Tu P F. Tetralones and Flavonoids from *Pyrola calliantha*. *Chemistry and Biodiversity*. 2007, 4 (12): 2932-2937.
- [11] Guo Q S, Liang Y N, Zhang Z Y, Wang T Y, Wang T. Effects of soil factor on quality of *Chrysanthemum morifolium* originated from Wenxian County. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2008, 33(2): 123-128.
- [12] Yang J D, Chen F X, Yang W Y, Liu Y Q, Zhang B L. Correlation between quality of *Alisma orientale* in Sichuan Province and rhizosphere soil physicochemical property. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2012, 43(3): 581-587.
- [13] Xie C X, Suo F M, Jia G L, Song J Y, Huang L F, Chen S L. Correlation between ecological factors and ginsenosides. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7551-7563.
- [14] Gu Y F, Liu Z, He M, Wang Y H. Correlation of the active ingredients in *Asarum sieboldii* with physico-chemical properties of soils. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2010, 28(4): 361-372.
- [15] Lynch J P. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol*, 1995, 109: 7-13.
- [16] Lynch J M, Whipps J M. Substrate flow in the rhizosphere. *Plant Soil*, 1990, 129: 1-101.
- [17] Xue Z Y, Zhou Z Y, Zhan Y Y, Ren W. Changing characteristics of phosphorus in the rhizosphere soil of the xeromorphic shrubs in arid deserts. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 341-349.
- [18] Veresoglou S D, Shaw L J, Hooker J E, Sen R. Arbuscular mycorrhizal modulation of diazotrophic and denitrifying microbial communities in the (mycor) rhizosphere of *Plantago lanceolata*. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 53: 78-81.
- [19] Yin H J, Xu Z F, Chen Z, Wei Y Y, Liu Q. Nitrogen transformation in the rhizospheres of two subalpine coniferous species under experimental warming. *Applied Soil Ecology*, 2012, 59: 60-67.
- [20] Guo Z Y. Shaanxi soil. Beijing: Science Press, 1992: 15-22.
- [21] Riley D, Barber S A. Salt accumulation at the soybean root soil interface. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1970, 34: 154-155.
- [22] Guan S Y. Soil enzyme and its method. Beijing: Agriculture Publishing Press, 1986.
- [23] Cai J B, Xu D, Liu Y, Zhang B Z. Path analysis on spatio-temporal scaling effect of crop evapotranspiration in growing seasons for winter wheat after reviving. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(8): 69-76.
- [24] Kong L, Li Y X, Quan Q M, Zhang L. Total flavonoids and icariin contents of *Epimedium pubescens* in different types of communities and their relationships with soil factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(10): 2517-2522.
- [25] Bu J, Li D W, Wang D M. Correlations between wild *Polygonatum odoratum* quality and main ecological factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(6): 1447-1454.
- [26] Liu P, Hao C Y, Chen Z L, Zhang Z X, Wei F M, Xu S Z. Nutrient element distribution in organs of *Heptacodium miconioides* in different communities and its relationship with soil nutrients. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 304-312.
- [27] Meier C L, Keyserling K, Bowman W D. Fine root inputs to soil reduce growth of a neighbouring plant via distinct mechanisms dependent on root carbon chemistry. *Journal of Ecology*, 2009, 97 (5): 941-949.
- [28] Jiao X L, Du J, Gao W W. Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(10): 3128-3135.
- [29] Guo L P, Huang L Q, Jiang Y X, Chen B D, Zhu Y G, Zeng Y, Fu G F, Fu M H. Bioactivity of extracts from rhizoma and rhizosphere soil of cultivated *Atractylodes lancea* DC. and identification of their allelopathic compounds. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 528-535.
- [30] Manning P, Morrison S A, Bonkowski M, Bardgett R D. Nitrogen enrichment modifies plant community structure via changes to plant-soil feedback. *Oecologia*, 2008, 157(4): 661-673.
- [31] Wookey P A, Aerts R, Bardgett R D, Baptist F, Brathen K A, Cornelissen J H, Gough L, Hartley I P, Hopkins D W, Lavorel S, Shaver G R. Ecosystem feedbacks and cascade processes: understanding their role in the responses of Arctic and alpine ecosystems to environmental change. *Global Change Biology*, 2009, 15(5): 1153-1172.
- [32] Cao Y, Zhang M, Yu H Z, Li G Z, Du Y T, Xiao L T. Effects of meteorological factors and mineral elements on the content of resveratrol in *Polygonum cuspidatum* rootstalk. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1143-1147.
- [33] Hou Y H, Dong S T, Hou G F, Chen C Y, Dong Z Q, Zhao M. The effect of ecological factors on the indexes of yield property equation and quantitative analysis. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(4): 536-548.

参考文献:

- [1] 胡文光, 胡琳贞. 中国植物志. 北京: 科学出版社, 1990, 56: 158-193.
- [2] 孟令军, 耿增超, 王海涛, 殷金岩, 林伟达. 秦岭太白山区鹿蹄草根际与非根际土壤养分及酶活性研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 157-165.
- [11] 郭巧生, 梁迎暖, 张重义, 王桃银, 汪涛. 土壤因子对怀菊质量影响研究. 中国中药杂志, 2008, 33(2): 123-128.
- [12] 杨俊东, 陈兴福, 杨文钰, 刘月秋, 张宝林. 川泽泻质量与其根际土壤理化性质的相关性分析. 中草药, 2012, 43(3): 581-587.
- [13] 谢彩香, 索风梅, 贾光林, 宋经元, 黄林芳, 陈士林. 人参皂苷与生态因子的相关性. 生态学报, 2011, 31(24): 7551-7563.
- [14] 古一帆, 刘忠, 何明, 王永红. 华细辛中药有效成分与土壤理化性质的相关性研究. 上海交通大学学报(农业科学版), 2010, 28(4): 361-372.
- [17] 薛梓瑜, 周志宇, 詹媛媛, 任伟. 干旱荒漠区旱生灌木根际土壤磷变化特征. 生态学报, 2010, 30(2): 341-349.
- [20] 郭兆元. 陕西土壤. 北京: 科学出版社, 1992: 15-22.
- [22] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [23] 蔡甲冰, 许迪, 刘钰, 张宝忠. 冬小麦返青后腾发量时空尺度效应的通径分析. 农业工程学报, 2011, 27(8): 69-76.
- [24] 孔璐, 黎云祥, 权秋梅, 张林. 不同群落类型柔毛淫羊藿总黄酮和淫羊藿苷含量及其与土壤因子的关系. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2517-2522.
- [25] 卜静, 李登武, 王冬梅. 玉竹品质与主要生态因子的相关性. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1447-1454.
- [26] 刘鹏, 郝朝运, 陈子林, 张志祥, 韦福民, 许士珍. 不同群落类型中七子花器官营养元素分布及其与土壤养分的关系. 土壤学报, 2008, 45(2): 304-312.
- [28] 焦晓林, 杜静, 高微微. 西洋参根残体对自身生长的双重作用. 生态学报, 2012, 32(10): 3128-3135.
- [29] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 陈保冬, 朱永官, 曾燕, 付桂芳, 付梅红. 苍术根茎及根际水土提物生物活性研究及化感物质的鉴定. 生态学报, 2006, 26(2): 528-535.
- [32] 曹庸, 张敏, 于华忠, 李国章, 杜亚填, 萧浪涛. 气象因子和矿质元素对虎杖根茎白藜芦醇含量的影响. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1143-1147.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.4 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The bioavailability of dissolved organic carbon in the eutrophic lakes YE Linlin, KONG Fanxiang, SHI Xiaoli, et al (779)
- Plant species of the non-agricultural habitats in the lower reaches of the Yellow River plain agro-landscape
..... LU Xunling, LIANG Guofu, TANG Qian, et al (789)

Autecology & Fundamentals

- Manganese stress on the ultrastructures of a manganese tolerant plant, *Polygonum perfoliatum* L.
..... WANG Jun, WU Hui, XUE Shengguo, et al (798)
- Characteristics of arsenic (As) tolerance and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different radial oxygen loss
..... WU Chuan, MO Jingyu, XUE Shengguo, et al (807)
- Effects of water stress on physiological characteristics of different *Illicium lanceolatum* ecotypes under low light intensity
..... CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin (814)
- Effect of branch number on the growth and development of *Morus alba* saplings ... HUAN Huihui, XU Xiao, LIU Gang, et al (823)
- Spatial distribution pattern and sampling technique for *Orthotylus* (*O.*) *sophorae* nymphs on *Sophora japonica*
..... ZHU Huiying, SHEN Ping, WU Jianhua, et al (832)
- Assessment of fungal diversity in apple replanted orchard soils by T-RFLP analysis
..... YIN Chengmiao, WANG Gongshuai, LI Yuanyuan, et al (837)
- Effects of dazomet on edaphon and growth of *Malus hupehensis* rehd. under continuous apple cropping
..... LIU Entai, LI Yuanyuan, HU Yanli, et al (847)
- Isolation, identification, and performance of two pyrene-degrading endophytic bacteria SUN Kai, LIU Juan, LI Xin, et al (853)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of different temperatures on the growth and development of *Eotetranychus Kankitus* (Ehara)
..... LI Yingjie, WANG Ziyang, ZHANG Guohao, et al (862)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on plant niche of alpine meadow communities in the
Qinghai-Tibet Plateau JIA Tingting, MAO Liang, GUO Zhenggang (869)
- Correlation between characteristics of *Reaumuria soongarica* communities and soil factors in the Sangong River basin
..... ZHAO Xuechun, LAI Liming, ZHU Linhai, et al (878)
- Effects of afforestation on soil microbial community structure in the arid valley of Minjiang River
..... WANG Weixia, LUO Da, SHI Zuomin, et al (890)
- Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community
..... LIN Li, CUI Jun, CHEN Xueping, FANG Changming (899)
- Effects of *Pomacea canaliculata* on aquatic macrophyte community structure in paddy fields
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jiaen, DAI Xiaoyan, et al (907)
- The adaptability and decontamination effect of four kinds of woody plants in constructed wetland environment
..... CHEN Yonghua, WU Xiaofu, HAO Jun, et al (916)
- Carbon budget of alpine *Potentilla fruticosa* shrubland based on comprehensive techniques of static chamber and biomass harvesting ...
..... LI Hongqin, LI Yingnian, ZHANG Fawei, et al (925)
- Effect of initial pH value on microbial Fe (III) reduction in alkaline and acidic paddy soils ... WU Chao, QU Dong, LIU Hao (933)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate environmental change and stable carbon isotopes in age layers of *Tamarix* sand-hillocks in Kumtag desert
..... ZHANG Jinchun, YAO Tuo, LIU Changzhong, et al (943)

Resource and Industrial Ecology

- The critical factors of transpiration on muskmelon in plastic greenhouse ZHANG Dalong, CHANG Yibo, LI Jianming, et al (953)
- Ion absorption and distribution of symbiotic *Reaumuria soongorica* and *Salsola passerina* seedlings under NaCl stress
..... ZHAO Xin, YANG Xiaojun, SHI Yong, et al (963)
- The relationship between selected rhizosphere and non-rhizosphere soil properties and the quality of *Pyrola decorata*
..... GENG Zengchao, MENG Lingjun, LIU Jianjun (973)
- Spatial variation analysis of soil organic matter and nutrient factor for before and after planting crops
..... FANG Bin, WU Jinfeng (983)

Urban, Rural and Social Ecology

- Establishment and application of the index system for urban river health assessment
..... DENG Xiaojun, XU Youpeng, ZHAI Luxin, et al (993)
- Dynamic analysis of the ecological footprint and carrying capacity of tibet AN Baosheng, CHENG Guodong (1002)

Research Notes

- Responses of soil microorganisms and soil enzyme activities to different land use patterns in the water-level-fluctuating zone of
the Three Gorges Reservoir region MA Peng, LI Changxiao, LEI Ming, et al (1010)
- Effects of salt stress on growth and root development of two oak seedlings
..... WANG Shufeng, HU Yunxue, SUN Haijing, et al (1021)
- The effects of constant and variable thermal acclimation on thermal tolerance of the common giant toad tadpoles (*Bufo gargarizans*) ...
..... WANG Lizhi (1030)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 董 鸣 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 4 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 4 (February, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元