

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **2011**

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 31 卷 第 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性·····	刘 波,郑雪芳,孙大光,等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应·····	尹 红,王 靖,刘洪滨,等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程·····	李海波,李英华,孙铁珩,等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划·····	肖 燚,陈圣宾,张 路,等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例·····	鲁春霞,刘 铭,冯 跃,等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征·····	许倍慎,周 勇,徐 理,等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响·····	李宁云,袁 华,田 昆,等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例·····	宋晓龙,李晓文,张明祥,等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力·····	韩道瑞,曹广民,郭小伟,等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究·····	张 杰,张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价·····	孙才志,杨 磊,胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析·····	钟林生,王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者·····	褚福印,唐思贤,潘虎君,等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响·····	朱俊霞,王 勇,张美文,等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统·····	祁 君,苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究·····	张 琳,WANG Baode,许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系·····	杨忠岐,王小艺,王 宝,等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响·····	李 乐,万冬梅,刘 鹤,等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究·····	宋 伦,杨国军,李 爱,等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征·····	王海梅,李政海,乌 兰,等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响·····	兰春剑,江 洪,黄梅玲,等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理·····	赵风华,王秋凤,王建林,等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较·····	巩国丽,陈 辉,段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响·····	雍石泉,仝 川,庄晨辉,等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性·····	谢彩香,索风梅,贾光林,等 (7551)
苈对黑麦草根系几种低分子量有机分泌物的影响·····	谢晓梅,廖 敏,杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定·····	张丽珍,樊晶晶,牛 伟,等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响·····	安 娟,郑粉莉,李桂芳,等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建·····	楼 波,徐 毅,林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响·····	张远东,刘世荣,顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展·····	胡广录,赵文智,王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物·····	高 东,何霞红,朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征·····	刘 刚,沈守云,闫文德,等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对萼花臂尾轮虫生殖的影响·····	黄 林,刘昌利,韦传宝,等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办·····	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等·····	(I)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境,同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中,但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变,形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭,绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬,远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

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.

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.

人参皂苷与生态因子的相关性

谢彩香¹, 索风梅¹, 贾光林², 宋经元¹, 黄林芳^{1,*}, 陈士林¹

(1. 中国医学科学院 北京协和医学院药用植物研究所, 中草药物质基础与资源利用教育部重点实验室, 北京 100193;

2. 青岛农业大学 动物科技学院, 青岛 266109)

摘要:环境条件影响中药材活性成分的形成和积累。利用各种数学统计分析方法探讨影响人参皂苷积累的生态因子, 提高人参品质。人参样品采自人参道地产区(主产区)吉林、辽宁、黑龙江三省 5 年生栽培人参, 同时采集采样点处的土壤样品。超高效液相(UPLC)色谱法分析了不同产区 9 种人参皂苷(Rg1、Re、Rf、Rg2、Rb1、Rc、Rb2、Rb3、Rd)的含量; 利用“中药材产地适宜性分析地理信息系统”的生态因子空间数据库, 获得采样区包括温度、水分、光照等 10 个生态因子数据; 按土壤理化性质常规方法测定土壤样品中的有效硼、有效铁等微量元素和速效氮、速效钾等有效养分。对人参有效成分含量与土壤养分进行典型相关性分析发现, 土壤中的有效硼、有效铁、速效氮与人参皂苷含量呈显著正相关, 即适当提高土壤中有效硼、有效铁和速效氮的含量可以促进人参皂苷成分的积累, 土壤水分与所测人参皂苷含量(Rb3 除外)呈显著正相关, 速效磷(P)、pH、速效锌(Zn)与各人参皂苷含量呈弱相关; 人参皂苷与气候因子相关分析表明, 温度(年活动积温、年平均气温、7 月最高气温、7 月平均气温、1 月最低气温、1 月平均气温)与人参皂苷含量呈显著负相关, 其中与药典中人参含量测定项下的人参皂苷 Rg1、Re、Rb1 负相关尤为显著($r > 0.6$), 说明在一定温度范围内, 人参皂苷是随着温度的降低而升高的, 即适当低温有利于人参皂苷有效成分的积累; 海拔与人参皂苷 Rc、Rb2、Rb3 含量呈显著正相关($r > 0.6$), 即相对较高的海拔可以促进这 3 种成分的积累; 而年均降水量、年相对湿度和年均日照时数与人参皂苷相关不显著。通过主成分分析(PCA)、典型相关分析、排序等统计方法, 考察不同产地样品中人参皂苷含量与生态因子间的相关性, 研究结果揭示了温度在人参的主要活性成分-皂苷类形成中起决定性作用, 在一定的温度范围内, 温度越低越有利于人参皂苷的积累; 阐明了土壤中的有效硼、有效铁、速效氮与人参皂苷含量成正相关。研究结果提示在人参实践生产中可以通过适当低温处理, 增施硼、铁、氮肥等农艺措施来调控人参皂苷含量。

关键词: 温度; 人参皂苷; 生态因子

Correlation between ecological factors and ginsenosides

XIE Caixiang¹, SUO Fengmei¹, JIA Guanglin², SONG Jingyuan¹, HUANG Linfang^{1,*}, CHEN Shilin¹

1 The Key Laboratory of Bioactive Substances and Resources Utilization of Chinese Herbal Medicine, Ministry of Education, Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

2 Animal Science Institute, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: Environmental conditions affect the distribution and quality of Chinese herbal medicines. Specific ecological conditions influence the formation and accumulation of the active ingredient of these medicines, therefore an appropriate ecological environment is a prerequisite for production of high-quality genuine medicinal materials. Ginseng is a valuable Chinese herbal medicine. Ginsenoside content is the main indicator used for evaluation of ginseng quality. This study aimed to explore the impact of ecological factors on ginsenoside accumulation to enhance the quality of ginseng. The data was analyzed with multiple statistical analytic methods. Root samples were collected from five-year-old cultivated panax ginseng plants in the major genuine (Daodi) ginseng-producing areas of Jilin, Liaoning, and Heilongjiang provinces, China. Soil

基金项目:国家自然科学基金重点项目(81130069); 国家自然科学基金青年基金(30801519); 国家科技支撑计划(2006BAI09B02); 科技部重大新药创制专项(2009ZX09502-025); 北京市科委计划项目(D08080203640901); 中医药行业专项基金(200707007, 200807042)

收稿日期: 2011-06-23; 修订日期: 2011-11-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lfhuang@implad.ac.cn

samples from the sampling sites were collected. Ultra-performance liquid chromatography was used to analyze the contents of nine ginsenosides (Rg1, Re, Rf, Rg2, Rb1, Rc, Rb2, Rb3, and Rd). Data for 10 ecological factors, including temperature, moisture, and sunlight, were obtained from the ecological database of Geographic Information System for Traditional Chinese Medicine. Effective boron, effective iron and other trace elements as well as available nitrogen, available potassium and other soil nutrients were determined by conventional soil physicochemical property assay methods. Canonical correlation analysis between ginsenosides contents and soil nutrients showed that soil available boron, effective iron, and available nitrogen were significantly positively related to ginsenosides contents. Thus, increased quantities of soil available boron, effective iron and available nitrogen could promote the accumulation of ginsenosides. In addition, a significant positive correlation existed between soil moisture and ginsenosides contents (Rb3 excluded), and a weak correlation was obtained between available phosphorus, pH, quick zinc and ginsenosides contents. The correlation between ginsenosides contents and climatic factors (annual active accumulated temperature, annual mean temperature, July maximum temperature, July mean temperature, January minimum temperature, and January mean temperature) was strongly negative in this study. In particular, there existed a significant negative correlation ($r > 0.6$) between climatic factors and the ginsenosides Rg1, Re and Rb1, which were specified in the pharmacopoeia. These results implied that ginsenosides contents increased with decreasing temperature within a certain temperature range; an appropriate low temperature was conducive to the accumulation of the ginsenosides, and elevation was significantly positively related to the contents of Rc, Rb2, and Rb3 ($r > 0.6$). In other words, a relatively high elevation could promote the accumulation of these three components. However, the results showed average annual precipitation, relative humidity, annual average sunshine hours were not significantly correlated with ginsenosides contents in this study. In conclusion, principal component analysis, canonical correlation analysis and ordination were applied to investigate the correlation between ecological factors and ginsenosides contents of cultivated ginseng collected from three ginseng-producing areas. The results indicated temperature factors play a decisive role in the accumulation of ginsenosides. Within a certain temperature range, the lower the temperature the more beneficial was the accumulation of ginsenosides; in addition, the levels of available boron, effective iron and available nitrogen in the soil were positively correlated to ginsenosides contents. These results indicated an appropriate low temperature and enhancement of boron, iron, and nitrogen in the soil could improve the ginsenosides contents in cultivated ginseng.

Key Words: temperature; ginsenosides; ecological factors

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)系五加科人参属多年生草本植物^[1],素有“百草之王”美誉,是第三纪幸存下来的极其珍贵的植物活化石^[2],具有滋补强壮、安神益智之功效;已有几千年的药用历史,在国内外中药领域占有极其重要的地位^[3],主要分布于东北的吉林、辽宁、黑龙江等地。由于野生资源非常稀少,已被“国家重点保护野生药用动植物名录”列为一类保护植物。人参研究目前主要集中在栽培、分类、化学成分、药理及临床应用等方面^[4-12],近年来,随着人们生活水平的提高和保健意识的增强,对人参的消费需求呈日益增加的趋势,人参价格每年以5%—10%的速度上升^[13];另一方面,连作障碍已成为制约人参种植水平和生产规模的主要因素^[14-15]。由于人参对生态环境要求相当高,因此盲目的引种栽培和扩大生产规模不仅使人参品质不稳定,而且对参农具有极大的风险性,研究人参品质和环境(气候因子、土壤因子等)的相关性,对提高人参品质,保障人参产业的可持续发展具有重要意义。

人参皂苷是人参的主要活性成分,人参皂苷含量随产地不同变化较大,作为主要的环境因子,温度、光照、水分等气候因子单一或相互作用影响着人参品质^[16-17]。近年研究发现,多变的气候因子和复杂的地形地貌,使不同批次人参质量差异较大^[18]。也有资料表明,人参有效成分的次生代谢产物是由遗传、环境因素及二者的相互作用决定的^[19-21]。目前对人参有效成分与生态因子之间的相关性研究^[22-23]仅局限于某一个、某几个

环境因子或小范围的模拟实验。关于人参各产区的人参皂苷类活性成分与多个土壤、气候因子(温度、水分、光照)之间的关系研究尚未见报道。本文拟对人参主产区和道地产区的吉林、辽宁、黑龙江三省的人参样品的 9 个人参皂苷类(Rg1、Re、Rf、Rg2、Rb1、Rc、Rb2、Rb3、Rd)含量与各产地 9 个气候因子、13 个土壤指标,应用典型相关分析和主成分分析进行研究,以探讨影响人参活性皂苷类成分合成富集的主导生态因子。该研究对提高人参品质和道地药材人参 GAP 基地建设提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本文选用的人参样品为 2008 年 10 月采自人参道地产区(主产区)吉林、辽宁、黑龙江三省的人参栽培样地(图 1)。16 个栽培样地的立地条件主要是平地,少数为阳坡,采样时按照东、西、南、北、中 5 个方位分别采集 5 株 5 年生人参样品和土样,并同时记录人参样品的长度、直径、鲜重等形态学指标,室内烘干机将人参样品烘干,做好标记;土壤样品的采集方法是取距土壤表面 5cm 以下至人参基部土壤 500g,剔除杂质,装入密封袋混匀,并做好标记。人参样品由中国医学科学院药用植物研究所林余霖教授鉴定,凭证标本保存于中国医学科学院药用植物研究所标本馆。

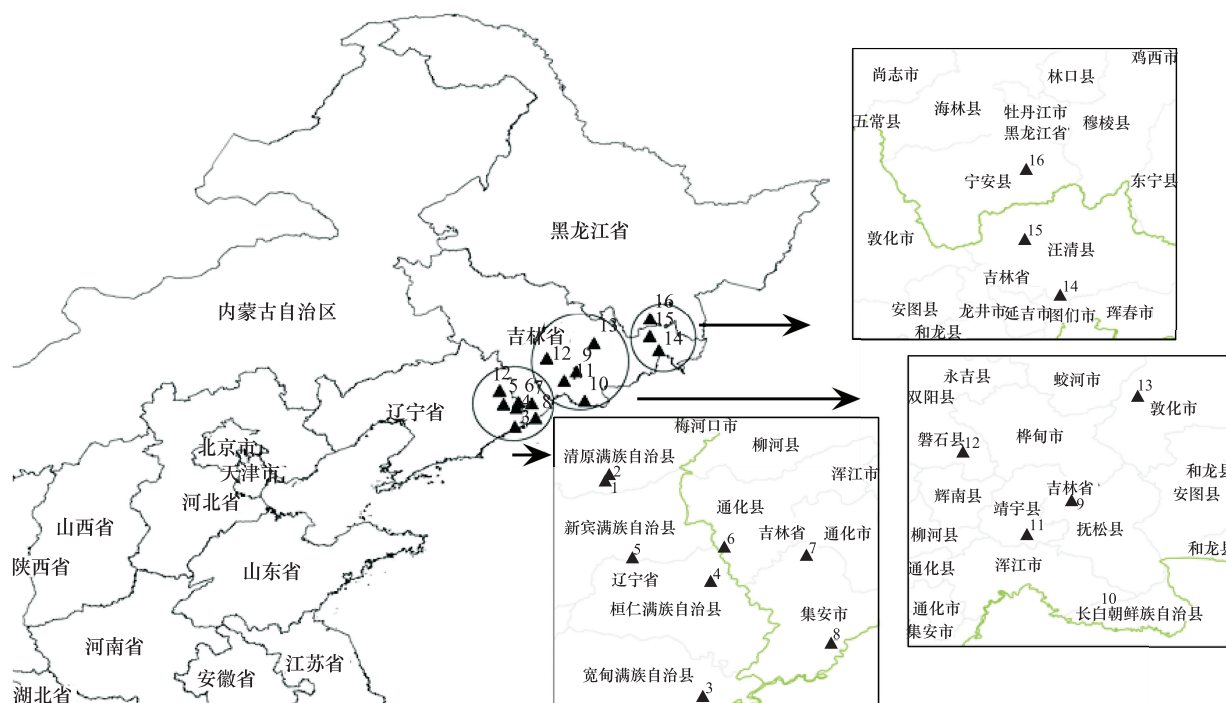


图 1 人参采样点空间地理分布

Fig. 1 Collection sites of geographic distribution for *Panax ginseng*

1.2 人参有效成分测定

人参皂苷(Rg1、Re、Rf、Rg2、Rb1、Rc、Rb2、Rb3、Rd)用超高效液相(UPLC)色谱法测定。精密称定样品粉末(四号筛,65 目)1.0g,置于具塞三角瓶中,加入甲醇 50mL, 密塞,称重,超声提取 30 min,冷却至室温,用甲醇补足减少的重量,滤过。精密吸取续滤液 25mL,挥去溶剂,残渣用适量甲醇溶解并转移至 10 mL 量瓶中,加甲醇稀释至刻度,用 0.2 μ m 微孔滤膜过滤,滤液作供试品溶液用于含量测定。

色谱条件为:ACQUITY UPLC BEH C18 色谱柱(50 mm $\times$ 2.1 mm, ID 1.7 μ m),柱温 30 $^{\circ}$ C,流速 0.3 mL/min,检测波长 203 nm,进样量 2 μ L,流动相 A 为乙腈、B 为水,梯度洗脱(0 $\rightarrow$ 3 min,19% A;3 $\rightarrow$ 4 min,19% $\rightarrow$ 21% A;4 $\rightarrow$ 5 min,21% $\rightarrow$ 26% A;5 $\rightarrow$ 9 min,26% $\rightarrow$ 27% A;9 $\rightarrow$ 12 min,27% $\rightarrow$ 32% A;12 $\rightarrow$ 15 min,32% $\rightarrow$ 43% A;15 $\rightarrow$ 18 min,43% $\rightarrow$ 60% A;18 $\rightarrow$ 20 min,100% A),以人参皂苷 Rf 计算理论塔板数不低于 63000^[24]。方法

学考察结果显示精密度、重现性、稳定性良好。

1.3 土壤理化性质测定

将土壤样品风干、磨细、过筛、装瓶以备各项测定,按土壤理化性质常规方法分别参照 DB13/T 843—2007、NY/T 889—2004、GB9834—88、NY/T1121.16—2006、NY/T52—1987、NY/T1377—2007、NY/T 1121.8—2006、NY/T890—2004 测定土壤样品中速效氮、速效钾、有机质、水溶性盐总量、水分、pH 值、有效硼、有效锌、有效锰、有效铁、有效铜、有效钙的含量。速效磷的测定参照《土壤农化分析》中 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ 法测定酸性土壤速效磷^[25]。

1.4 气候因子栅格数据生成

将中国 600 多个气象台站 30a 的站点数据(年均温、活动积温、1 月平均气温、7 月平均气温、最冷月气温、最热月气温、年降水量、年均相对湿度、年均日照时数),按照 DEM 的多元线性回归插值方法转换成栅格曲面数据^[26],气候栅格数据生成过程如下(以 1 月平均气温为例),气象站月平均气温与气象站的海拔高度和经纬度有极显著的相关性。

(1)建立基于 DEM 的多元线性回归方程可表达为:

$$T = c + aX + bY + hH \quad (1)$$

式中, T 为气象站的气温; X 为气象站的经度; Y 为气象站的纬度; H 为气象站的高度; c 为常数项; a, b, h 为回归系数。

(2)用回归方程(1)计算月均温图层中每个栅格的气温值 V_i :

$$V_i = c + aX_i + bY_i + hH_i \quad (2)$$

式中, V_i 为栅格所代表的月均温值; X_i 为该栅格的经度; Y_i 为该栅格纬度; H_i 为该栅格海拔; c, a, b, h 为根据方程(1)解算出来的回归系数。根据气象站的气温残差,用逆距离权重法计算每个栅格的气温残差。

(3)最终的月均温栅格数据

$$T_i = V_i + v_i = c + aX_i + bY_i + hH_i + v_i$$

式中, T_i 是最终的月均温栅格数据值; V_i 是根据线性回归方程得到的每个栅格的月均温值; v_i 是每个栅格的修正残差。

1.5 数据处理

数据分析和图表绘制采用 canoco4.5 软件包、simca-p 11.5 (Umetrics 公司,瑞典)和 SPSS 18.0 软件进行。调用 spss18.0 提供的典型相关分析宏插件对人参有效成分含量与气候因子、土壤因子分别进行典型相关性分析,得出各相关系数,并利用 simca-p 11.5 软件对人参有效成分与环境因子(气候、地形、土壤因子)进行主成分分析(PCA),得到人参有效成分和环境因子分别在主成分分析中的聚类结果。最后为明确各环境因子梯度间的关系,应用 canoco4.5 软件包对环境因子进行排序分析。

2 结果

2.1 样品生物学性状测定结果

通过对 16 组人参样品长度、直径、鲜重、干重测定后发现,人参样品平均鲜重数值较大的是吉林集安,辽宁新宾,吉林长白、通化等,分别为 82.82,51.56,48.75,33.53 g/株;平均干重数值较大的是吉林集安,辽宁新宾,吉林长白,黑龙江宁安,吉林抚松等样品,分别为 32.26,19.2,18.61,13.7,13.23 g/株;平均根长最长的是辽宁新宾,吉林长白、集安,黑龙江宁安,吉林抚松、通化等样品,分别为 33.9,32.2,31.0,30.0,28.3,25.2cm/株;平均直径最大的是吉林集安、安图、长白、通化和辽宁新宾的人参样品,分别为 3.4,3.0,2.7,2.6,2.5 cm/株。综合 4 个指标得出,吉林省和辽宁新宾的人参样品生物学性状较优(图 2)。

2.2 人参样品有效成分含量分析

人参有效成分 UPLC 测定结果显示,辽宁新宾、吉林通化、吉林集安、吉林抚松、吉林长白、吉林靖宇、吉林安图和吉林敦化的样品人参皂苷含量均较高,这与人参样品的生物学性状的测定结果相一致(图 3)。其中吉

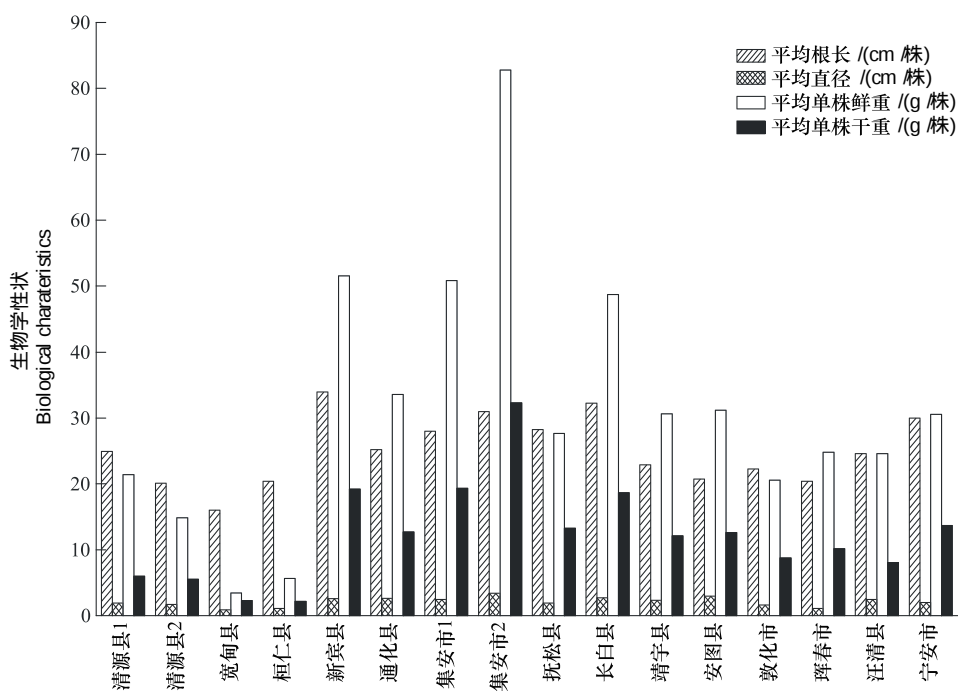


图2 人参样品生物学性状

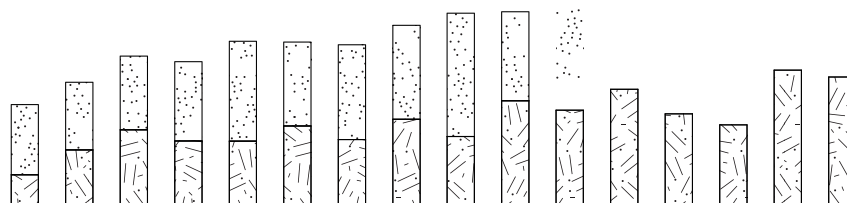
Fig. 2 Biological characteristics of *Panax ginseng*

图3 人参样品人参皂苷类含量

Fig. 3 Content of 9 ginsenosides of *Panax ginseng*

林靖宇人参样品有效成分含量总体最高。其中人参中的主要化学成分人参皂苷 Rg1、人参皂苷 Re 和人参皂苷 Rb1 含量较高(表1),这3种化学成分也是《中华人民共和国药典》(2010年版,一部)规定的成分;9个化学成分在16组样品中变异系数较高的为 Rd、Rg1。各种人参皂苷成分含量由高到低的排序为:

Rg1 吉林敦化>吉林靖宇>吉林安图>吉林珲春>辽宁新宾>黑龙江宁安>吉林汪清>吉林长白>吉林抚松>辽宁桓仁>吉林集安1>吉林集安2>辽宁清源1>吉林通化>辽宁清源2>辽宁宽甸;

Re 吉林靖宇>吉林敦化>吉林长白>吉林集安 1>黑龙江宁安>吉林安图>辽宁新宾>辽宁清源 1>吉林集安 2>吉林汪清>吉林琿春>吉林抚松>吉林通化>辽宁桓仁>辽宁宽甸>辽宁清源 2;

Rb1 吉林靖宇>吉林敦化>黑龙江宁安>吉林长白>吉林集安 1>吉林安图>辽宁新宾>吉林琿春>吉林汪清>吉林抚松>吉林集安 2>辽宁桓仁>辽宁清源 1>吉林通化>辽宁宽甸>辽宁清源 2;

Rb2 吉林长白>吉林靖宇>吉林集安 2>吉林琿春>黑龙江宁安>吉林集安 1>吉林安图>吉林抚松>辽宁新宾>吉林汪清>吉林通化>吉林敦化>辽宁清源 1>辽宁桓仁>辽宁宽甸>辽宁清源 2;

Rb3 吉林长白>吉林靖宇>吉林集安 2>辽宁桓仁>吉林安图>吉林琿春>吉林抚松>黑龙江宁安>吉林集安 1>辽宁新宾>吉林通化>辽宁清源 1>吉林汪清>吉林敦化>辽宁宽甸>辽宁清源 2;

Rc 吉林靖宇>吉林长白>黑龙江宁安>吉林集安 2>吉林琿春>辽宁新宾>吉林抚松>吉林敦化>吉林集安 1>吉林安图>吉林汪清>吉林通化>辽宁清源 1>辽宁桓仁>辽宁宽甸>辽宁清源 2;

Rd 黑龙江宁安>吉林靖宇>吉林长白>辽宁新宾>吉林琿春>吉林敦化>吉林抚松>吉林安图>吉林集安 2>吉林集安 1>辽宁清源 2>辽宁清源 1>吉林汪清>吉林通化>辽宁桓仁>辽宁宽甸;

Rf 吉林靖宇>吉林敦化>吉林琿春>吉林安图>黑龙江宁安>辽宁新宾>吉林汪清>吉林通化>吉林集安 1>吉林长白>吉林集安 2>辽宁清源 1>吉林抚松>辽宁桓仁>辽宁清源 2>辽宁宽甸;

Rg2 黑龙江宁安>辽宁新宾>吉林靖宇>吉林安图>吉林敦化>辽宁清源 1>吉林长白>吉林汪清>吉林集安 2>吉林集安 1>吉林抚松>辽宁清源 2>吉林通化>辽宁宽甸>吉林琿春>辽宁桓仁;

人参皂苷总含量由高到低的排序为:吉林靖宇>吉林敦化>吉林长白>黑龙江宁安>吉林安图>辽宁新宾>吉林琿春>吉林集安>吉林汪清>吉林抚松。

表 1 人参样品 9 种人参皂苷含量

Table 1 Content of 9 ginsenosides of *Panax ginseng*

采样点 Collection sites	人参皂苷 Ginsenosides (mg/g)								
	Rg1	Re	Rb1	Rb2	Rb3	Rc	Rd	Rf	Rg2
辽宁省清源县 1	2.30	3.61	1.69	0.93	0.13	0.76	0.14	0.56	0.25
辽宁省清源县 2	1.98	2.45	1.17	0.48	0.06	0.49	0.16	0.46	0.17
辽宁省宽甸县	1.08	2.55	1.34	0.51	0.09	0.52	0.12	0.32	0.15
辽宁省桓仁县	2.71	2.66	1.73	0.80	0.18	0.74	0.12	0.51	0.14
辽宁省新宾县	3.42	3.76	2.35	1.04	0.14	1.12	0.30	0.83	0.31
吉林省通化县	2.30	2.87	1.68	1.00	0.13	0.82	0.12	0.64	0.16
吉林省集安市 1	2.46	4.46	2.89	1.15	0.14	1.05	0.16	0.61	0.20
吉林省集安市 2	2.36	3.43	2.26	1.44	0.18	1.22	0.19	0.57	0.22
吉林省抚松县	2.85	3.03	2.28	1.08	0.15	1.08	0.27	0.52	0.20
吉林省长白县	2.89	4.49	2.92	1.73	0.23	1.43	0.31	0.58	0.24
吉林省靖宇县	4.62	4.87	3.55	1.59	0.18	1.44	0.39	0.97	0.29
吉林省安图县	4.17	4.00	2.51	1.14	0.16	1.04	0.24	0.90	0.26
吉林省敦化市	4.86	4.85	3.52	0.96	0.11	1.06	0.28	0.96	0.25
吉林省琿春市	3.76	3.22	2.34	1.27	0.15	1.17	0.28	0.91	0.14
吉林省汪清县	3.08	3.41	2.29	1.02	0.11	0.89	0.12	0.76	0.23
黑龙江省宁安市	3.28	4.04	3.13	1.16	0.14	1.31	0.49	0.83	0.32
平均值 Mean	3.01	3.61	2.35	1.08	0.14	1.01	0.23	0.68	0.22
标准差 Standard deviation	0.99	0.79	0.72	0.33	0.04	0.29	0.11	0.20	0.06
变异系数 Coefficient of variation/%	33.02	22.02	30.56	30.91	28.25	28.50	47.38	29.05	26.56

Rg1、Re、Rb1、Rb2、Rb3、Rc、Rd、Rf、Rg2 都是人参皂苷成分

综上所述,吉林地区人参皂苷总含量最高,辽宁地区(除新宾外)人参样品的皂苷含量都较低(图 3)。利用 simca-p 软件包对人参皂苷含量进行 PCA 分析发现,1—10 号样品主要分布在 PCA 三维图的左上半部分,

而 11—15 号样品主要分布在右下半,且较为分散(图 4)。这与采样点的地理分布极为相似,1—10 号采样点主要分布于吉林抚松至辽宁宽甸一带,11—16 号采样点主要分布于吉林靖宇至黑龙江宁安一带。

2.3 人参有效成分含量与气候因子、地形因子相关性分析

基于气候数据库获得人参采样点处的生态因子及地形数据(表 2),同时对所测人参样品有效成分含量与气候因子数据进行典型相关性分析,分析结果表明(表 3)年活动积温、年平均气温、7 月最高气温、7 月平均气温、1 月最低气温、1 月平均气温与人参皂苷含量相关系数均为负值,说明在一定温度范围内,人参皂苷是随着温度的降低而升高的,即适当低温有利于人参皂苷有效成分的积累。

其中 R_{g1} 与气候因子的相关系数大小顺序为 $|r|$

$|r|_{1\text{月平均温}} > |r|_{\text{年活动积温}} = |r|_{1\text{月最低温}} > |r|_{\text{年平均温}} > |r|_{\text{纬度}} > |r|_{7\text{月平均温}} > |r|_{7\text{月最高温}} = |r|_{\text{年降水量}} > |r|_{\text{经度}} > |r|_{\text{年日照时数}} > |r|_{\text{海拔}} > |r|_{\text{年相对湿度}};$

R_e 与气候因子的相关系数大小顺序为 $|r|_{1\text{月平均温}} = |r|_{\text{年活动积温}} > |r|_{1\text{月最低温}} > |r|_{\text{年平均温}} > |r|_{7\text{月平均温}} > |r|_{7\text{月最高温}} > |r|_{\text{年相对湿度}} > |r|_{\text{海拔}} > |r|_{\text{纬度}} > |r|_{\text{经度}} > |r|_{\text{年日照时数}} > |r|_{\text{年降水量}};$

R_{b1} 与气候因子的相关系数大小顺序为 $|r|_{\text{年平均温}} > |r|_{1\text{月平均温}} > |r|_{7\text{月平均温}} > |r|_{1\text{月最低温}} > |r|_{\text{年活动积温}} = |r|_{7\text{月最高温}} > |r|_{\text{经度}} > |r|_{\text{纬度}} > |r|_{\text{年相对湿度}} > |r|_{\text{海拔}} > |r|_{\text{年降水量}} > |r|_{\text{年日照时数}}。$

另外人参皂苷 R_c 、 R_{b2} 、 R_{b3} 含量与海拔成显著正相关($r > 0.6$),即相对较高的海拔可以促进这三种成分的积累。年日照时数、年相对湿度、年降水量与人参皂苷含量呈弱相关。

2.4 人参有效成分含量与土壤因子相关性分析

土壤样品中养分的测定结果显示,速效氮、速效钾和有效铁的平均值较高,分别为 541.60、267.52 mg/kg 和 230.75 mg/kg(表 4)。对人参有效成分含量与土壤养分进行典型相关性分析(表 5)发现,土壤中的有效硼、有效铁与人参皂苷含量呈显著正相关,即适当提高土壤中有有效硼和有效铁的含量可以促进人参皂苷成分的积累。另外除 R_{b3} 外土壤水分与所测人参皂苷含量呈显著正相关;pH 值与人参皂苷各成分皆为弱负相关。

2.5 人参采样点生态因子分析

为更加全面分析采样点人参的生态因子,对人参生长环境中的气候因子和土壤因子进行 PCA 分析(图 5),发现 1—9 号组主要集中在 PCA 图的左上部,而 10—16 号组则分散在 PCA 图的右下部,与人参样品有效成分含量 PCA 分析的集散形式比较相似(图 4)。

用 canoco 软件对人参有效成分与环境因子进行排序,得到 16 份人参样品各项指标的排序图(图 6),结果显示温度因子都集中在排序图纵轴左侧,1 月平均气温与(MT1)、1 月最低气温(HT1)与横轴夹角最小,表明与有效成分之间存在显著负相关;另外,年均气温、7 月最高气温、7 月平均气温等其他温度因子也都与有效成分之间呈负相关,即适当低温有利于人参皂苷有效成分的积累,这与有效成分含量与气候因子、地形因子相关性分析中的结论基本一致。

土壤无机元素主要集中在排序图纵轴的右侧,有效硼(B)与横轴夹角最小,表明其与有效成分之间呈显著正相关。土壤有效铁(Fe)、速效氮(N)与有效成分含量也呈显著正相关,土壤速效磷(P)、速效锌(Zn)、pH 值与有效成分含量呈弱相关。这与有效成分含量与土壤因子相关性分析中的结论一致。

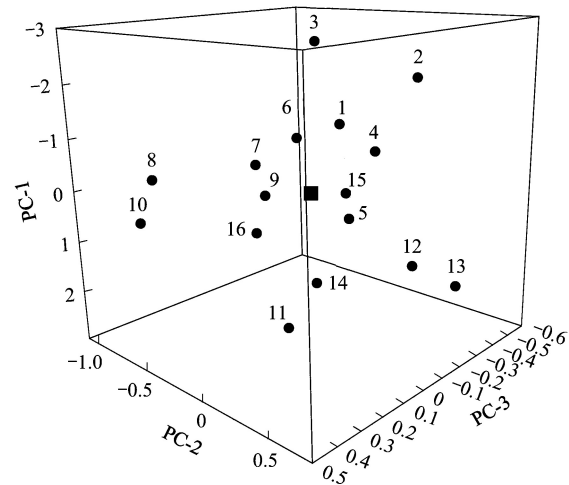


图 4 人参皂苷含量主成分分析

Fig.4 PCA for ginsenoside

表 2 人参采样点气候因子
Table 2 Climatic factors of *Panax ginseng* collection sites

采样点 Collection sites	气候因子 Climatic factor											
	活动积温 Active accumulative temperature	年均温 Average annual temperature	7月最高温 Maximum temperature in July	7月均温 Average temperature in July	1月最低温 Minimum temperature in January	1月均温 Average temperature in January	年日照时数 Annual sunshine time	年相对湿度 Relative humidity	年降水量 Annual precipitation	海拔 Altitude	经度 Longitude	纬度 Latitude
辽宁省清源县 1	2637.8	12.1	26.4	21.9	-21.5	-15.4	2408	68.7	763	500	124.92	41.91
辽宁省清源县 2	2637.8	11.8	26	21.4	-21.9	-15.7	2409	68.7	767	500	124.91	41.89
辽宁省宽甸县	2952.8	12.7	26.6	22	-19.1	-13.2	2291	68.7	874	606	125.40	40.79
辽宁省桓仁县	2680.5	12	26.1	21.5	-20.9	-14.8	2346	66.0	835	871	125.44	41.37
辽宁省新宾县	2643.9	11.8	25.8	21.3	-21.3	-15.1	2387	66.8	812	500	125.04	41.49
吉林省通化县	2634.8	11.7	25.9	21.2	-21.7	-15.4	2357	67.2	822	532	125.51	41.55
吉林省集安市 1	2644.1	11.8	26.2	21.4	-21.5	-15.5	2325	68.6	835	500	125.92	41.51
吉林省集安市 2	2671.4	12.1	26.1	21.5	-20.4	-14.6	2260	70.1	875	500	126.04	41.06
吉林省抚松县	2616.4	10.1	25.2	20.1	-24.5	-17.8	2360	69.3	761	500	127.30	42.49
吉林省省长白县	2200.1	9.5	24	18.8	-23.7	-17.1	2318	69.8	840	916	127.55	41.59
吉林省靖宇县	2148.3	9.2	23.8	18.7	-25.8	-18.9	2425	72.5	796	1000	126.92	42.21
吉林省安图县	2610.1	11.3	26.9	22.1	-23.8	-17.5	2325	69.5	712	500	126.38	42.90
吉林省敦化市	1458.6	9.2	24.5	19.2	-25.9	-18.9	2417	70.6	693	987	127.83	43.37
吉林省珲春市	2337.8	10.8	26.1	20.8	-21	-15.4	2301	65.4	680	426	129.84	43.15
吉林省汪清县	2420.6	10.3	25.7	20.5	-22.1	-16.5	2339	66.7	650	500	129.56	43.59
黑龙江省宁安市	2497.1	9.3	24.9	19.7	-23.7	-18.2	2435	68.0	630	500	129.57	44.13
平均值 Mean	2487.01	10.98	25.64	20.76	-22.43	-16.25	2356.44	68.54	771.56	614.88	126.76	42.19
标准差	338.46	1.20	0.91	1.13	1.94	1.65	52.56	1.83	78.24	200.74	1.70	0.98
范围值 Range	2148.3—2337.8	9.2—10.8	23.8—26.1	18.7—20.8	-25.8—-21	-18.9—-15.4	2301—2425	65.4—72.5	680—796	426—1000	124.91—129.84	40.79—44.13

表 3 人参皂苷含量与气候因子相关系数
Table 3 Correlation coefficient between ginsenosides and climatic factors

人参皂苷 Ginsenosides	气候因子 Climatic factor											
	活动积温 Active accumulative temperature	年均温 Average annual temperature	7月最高温 Maximum temperature in July	7月均温 Average temperature in July	1月最低温 Minimum temperature in January	1月均温 Average temperature in January	年日照时数 Annual sunshine time	年相对湿度 Relative humidity	年降水量 Annual precipitation	海拔 Altitude	经度 Longitude	纬度 Latitude
Rg1	-0.77	-0.72	-0.54	-0.60	-0.77	-0.78	0.40	0.26	-0.54	0.38	0.48	0.62
Re	-0.69	-0.66	-0.64	-0.64	-0.68	-0.69	0.26	0.56	-0.20	0.40	0.30	0.33
Rf	-0.65	-0.62	-0.39	-0.46	-0.60	-0.65	0.37	0.11	-0.61	0.22	0.54	0.67
Rg2	-0.33	-0.52	-0.48	-0.44	-0.55	-0.59	0.48	0.41	-0.33	0.14	0.18	0.39
Rb1	-0.73	-0.81	-0.73	-0.77	-0.75	-0.78	0.25	0.47	-0.33	0.45	0.53	0.49
Rc	-0.46	-0.67	-0.64	-0.67	-0.53	-0.58	0.02	0.35	-0.16	0.61	0.52	0.32
Rb2	-0.37	-0.51	-0.53	-0.55	-0.39	-0.42	-0.18	0.35	0.01	0.64	0.41	0.13
Rb3	-0.13	-0.27	-0.36	-0.34	-0.20	-0.20	-0.31	0.18	0.26	0.77	0.15	-0.13
Rd	-0.43	-0.75	-0.69	-0.71	-0.63	-0.69	0.45	0.31	-0.41	0.46	0.51	0.52

表 4 人参采样点土壤因子分析表

Table 4 Soil factor analysis of <i>Panax ginseng</i> sampling points													
采样点 Sampling points	土壤成分 Soil component												
	速效氮 Available nitrogen /(mg/kg)	速效磷 Available phosphorus /(mg/kg)	速效钾 Available potassium /(mg/kg)	有效硼 Effective boron /(mg/kg)	有效铜 Effective copper /(mg/kg)	有效铁 Effective iron /(mg/kg)	有效锌 Effective zinc /(mg/kg)	有效锰 Effective manganese /(mg/kg)	有效钙 Effective calcium /(mg/kg)	有机质 Organic matter /(g/100g)	水溶性盐总量 Water soluble salt /(g/100g)	水分 Water /(g/100g)	pH
辽宁省清源县 1	328.72	28.56	79.49	0.23	1.73	159.63	6.09	10.67	1332.17	3.30	0.215	1.75	4.72
辽宁省清源县 2	365.64	5.14	87.63	0.28	1.39	170.67	6.38	3.01	2132.24	11.62	0.099	3.03	5.44
辽宁省宽甸县	296.52	1.92	87.62	0.16	0.76	106.99	5.64	2.58	536.85	12.04	0.095	2.93	4.81
辽宁省桓仁县	482.50	5.95	166.43	0.31	0.98	193.76	5.67	4.70	2017.93	8.39	0.133	2.98	5.32
辽宁省新宾县	438.28	18.47	111.60	0.44	1.21	250.45	5.75	29.06	865.00	4.39	0.352	1.54	4.24
吉林省通化县	439.48	23.57	283.85	0.40	1.55	225.60	12.19	60.35	1101.00	11.35	0.450	2.45	4.18
吉林省集安市 1	377.27	3.94	365.56	0.33	1.08	196.51	13.22	3.76	1642.22	7.40	0.295	2.71	4.61
吉林省抚松县	491.23	3.46	318.85	0.28	0.70	170.17	3.48	40.85	696.93	5.25	0.711	1.82	4.23
吉林省长白县	465.90	8.22	340.39	0.70	1.38	408.38	24.82	20.52	1713.15	16.28	0.237	3.77	4.67
吉林省靖宇县	505.79	6.73	194.22	0.37	1.21	226.09	11.21	26.10	1281.31	10.99	0.107	4.22	5.11
吉林省安图县	682.27	10.94	562.50	0.89	1.87	519.92	16.30	124.41	1634.92	8.07	0.819	3.09	4.05
吉林省敦化市	342.42	2.57	86.28	0.14	0.56	94.14	2.49	12.33	1369.26	3.69	0.453	1.76	4.94
吉林省辉春市	566.48	6.62	68.96	0.29	0.86	191.57	4.78	9.15	1525.74	9.84	0.722	2.71	4.57
吉林省汪清县	451.96	13.52	627.49	0.68	0.96	175.05	13.17	1.20	2727.59	11.23	0.266	3.31	6.94
黑龙江省宁安市	1889.48	57.92	631.97	0.61	2.39	372.27	10.57	8.58	2132.74	6.37	2.277	3.05	4.54
平均值 Mean	541.60	13.17	267.52	0.41	1.24	230.75	9.45	23.82	1513.94	8.68	0.48	2.74	4.82
标准差	385.67	14.70	203.45	0.22	0.49	116.23	5.93	32.41	590.70	3.68	0.55	0.77	0.71
Standard deviation													
范围值 Range	296.52— 1889.48	1.92— 57.92	68.96— 631.97	0.14— 0.89	0.56— 2.39	94.14— 519.92	2.49— 24.82	1.2— 124.41	536.85— 2727.59	3.3— 16.28	0.095— 2.277	1.54— 4.22	4.05— 6.94

表 5 人参有效成分含量与土壤因子相关系数

Table 5 Correlation coefficient of Ginseng effective component content and soil factors

土壤元素 Soil elements	人参皂苷 Ginseng saponins								
	Rg1	Re	Rb1	Rb2	Rb3	Rc	Rd	Rf	Rg2
速效氮 Available nitrogen	0.5705	0.2199	0.3436	0.4656	0.4907	0.4673	0.2953	0.5158	0.0883
速效磷 Available phosphorus	-0.0686	0.273	0.0233	0.0573	0.0137	-0.0055	-0.2028	0.0454	0.2824
速效钾 Available potassium	-0.0824	0.0047	0.0304	0.3678	0.3092	0.2133	-0.2083	-0.0536	0.0471
有效硼 Effective boron	0.4841	0.5099	0.5055	0.6018	0.4721	0.5709	0.4612	0.5079	0.5516
有效铜 Effective copper	0.1484	0.3831	0.2789	0.2965	0.2011	0.3255	0.4776	0.2663	0.5925
有效铁 Effective iron	0.4901	0.5361	0.5176	0.6293	0.5648	0.6213	0.5851	0.4849	0.5426
有效锌 Effective zinc	-0.0307	0.3317	0.2256	0.591	0.5594	0.413	0.0852	0.0011	0.2169
有效锰 Effective manganese	0.2494	0.2418	0.1572	0.1267	0.1747	0.1258	0.022	0.2246	0.1684
有效钙 Effective calcium	0.1546	-0.011	0.0444	0.072	0.0132	0.0256	0.0162	0.1963	0.0819
有机质 Organic matter	-0.1115	0.1046	0.1317	0.365	0.2995	0.2417	0.1079	-0.1003	-0.1408
水溶性盐 Water soluble salt	0.4257	0.1604	0.2214	0.2201	0.1502	0.2634	0.1194	0.4	0.0005
水分 Water	0.4165	0.492	0.5154	0.6459	0.2778	0.6155	0.5273	0.502	0.4519
pH	-0.0836	-0.1925	-0.0969	-0.1431	-0.2468	-0.1847	-0.1929	-0.0447	-0.0583

3 结论与讨论

环境条件影响中药材的分布、生长发育、产量及品质,只有适宜的生态环境才能生产出优质高产的道地药材。特有的气候、土壤、地形因子条件有利于药材某种活性成分的形成和积累,从而影响到药材的品质。人参皂苷是评定人参品质的主要指标,本文采用主成分分析(PCA)、典型相关分析、排序等统计方法,考察了不同产地人参样品中人参皂苷含量与生态因子间的相关性,寻找并揭示影响人参皂苷富集和影响人参品质的主要生态因子,阐明生态因子对人参的作用规律,为提高人参品质、扩大种植区域,保证人参中药资源可持续利用奠定基础。

3.1 与气候、地形生态因子的关系

人参主产区在北纬 40—44°,东经 117.5—134°,位于长白山区及辽东山地,靠近渤海和日本海,属于中温带大陆季风气候,形成了特有的气候生态类型。人参皂苷与气候因子相关分析表明,温度(年活动积温、年平均气温、7 月最高气温、7 月平均气温、1 月最低气温、1 月平均气温)与人参皂苷含量呈显著负相关,其中与药典中人参含量测定项下人参皂苷 Rg1、Re、Rb1 负相关尤为显著($r>0.6$)。此外,人参皂苷含量分析显示,吉林靖宇、敦化产的人参中的人参皂苷 Rg1、Re、Rb1 含量最高,其中吉林靖宇人参皂苷含量指标均较高(除 Rg2 外)。年均降水量、年相对湿度和年均日照时数与人参皂苷相关不显著。典型相关分析表明温度是影响人参皂苷含量的主导气候因子,这些结论与已有报道^[27-28]一致。

地理位置因素通过影响光、热量、水分等环境因子的空间分布间接影响着植物的生长,不同的环境影响着植物体内有机物质的分布^[29]。相关分析表明海拔与人参皂苷 Rc、Rb2、Rb3 含量呈显著正相关($r>0.6$),与前人研究一致^[30]。通过 PCA 分析发现,人参采样点的空间分布集散形式和人参气候、土壤环境因子的分析结果极为相似(图 1,图 5),1—9 号样品组地理空间分布相对集中,10—16 号样品组地理空间分布相对分散,在一定程度上说明人参皂苷含量最终受环境因子的制约与调控^[31-32]。

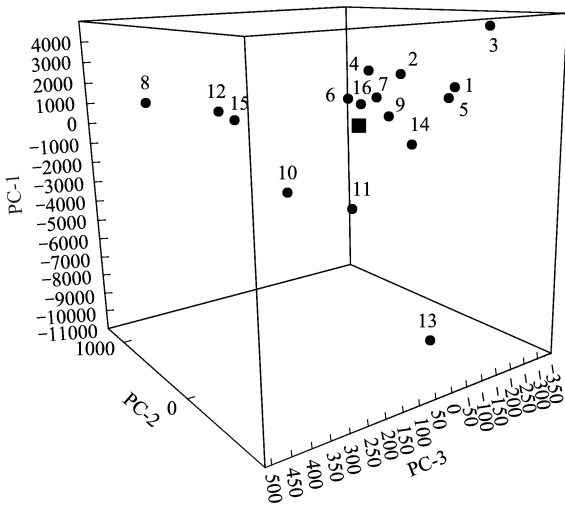


图 5 采样点生态因子主成分分析

Fig. 5 PCA for environmental factors of collection sites

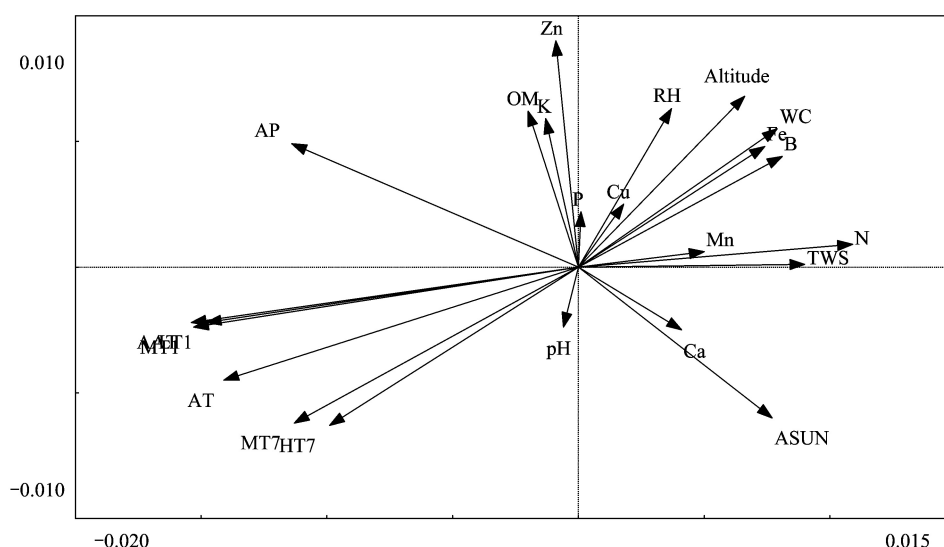


图 6 采样点环境因子排序

Fig. 6 environmental factors rank for collection sites

3.2 与土壤生态因子的关系

土壤理化性质对药用植物的产量和质量有显著影响。微量元素铁有助于植物体内叶绿素形成、促进植物体内氮素代谢(糖类、脂肪、蛋白质)以及增强抗病力,硼能有效促进植物体内糖的运输,改善有机物质的供应,促进细胞分裂生长和木质素合成,促进根系生长。对促进根系生长和增强吸收能力,对人参皂苷和多糖的合成和代谢起调控作用^[33-35]。硼是人体内重要的微量元素,有助于提高男性睾丸甾酮分泌量,强化肌肉能改善脑功能,具有提高反应能力和提高机体活动能力的作用,与人参抗疲劳的功效相关。土壤因子与人参皂苷含量相关性分析结果表明有效硼、有效铁与人参皂苷含量成正相关。与简在友等^[28,36]研究发现重茬人参土壤中铁、硼含量明显低于生茬土壤,硼缺乏或者过量均不利于人参皂苷积累的报道一致。

综上所述,本文揭示了温度在人参的主要活性成分—皂苷类形成中起决定性作用,在一定的温度范围内,温度越低越有利于人参皂苷的积累;阐明了土壤中的有效硼、有效铁、速效氮与人参皂苷含量成正相关。研究结果提示在人参实践中可以通过适当低温处理,增施硼、铁、氮肥等农艺措施来调控人参皂苷含量,可以用于指导人参精准施肥及土壤养分管理;亦可将人参皂苷含量较高的吉林省靖宇、敦化地区作为基准产区,将其环境因子数据作为基准数据进行产地生态适宜性分析,根据生态相似性原理得到与基准产区生态相似度较高的区域做人参适宜发展区域,从而为人参产业的发展提供科学依据,该研究结果对科学阐明东北人参道地性本质起着指导作用。

References:

- [1] State Pharmacopeia Committee of China. Chinese Pharmacopoeia. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 2010.
- [2] Chen S L, Xiao P G. Introduction to the Sustainable Utilization of Chinese Herbal Medicine Resources. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 2006.
- [3] Cheng H T, Zhang Y Y, Zhang X L, Xu Y H. Research progress on the relationship of soil environment and ginseng growth. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2011, 34(2): 313-317.
- [4] Wang Q, Cheng Z, Zhang L, Wan S W, Ding J M, Fu D X, Chen J K, Zhang W J. Distinguishing wild Panax ginseng from cultivated Panax ginseng based on Direct Amplification of Length Polymorphism (DALP) analysis. Journal of Fudan University (Natural Science), 2004, 43(6): 1030-1034.
- [5] Zhuravlev Y N, Reunova G D, Kozyrenko M M, Artyukova E V, Muzarok T I. Genetic variation of wild ginseng populations (RAPD analysis). Molecular Biology, 1998, 32(6): 910-914.
- [6] Sun Y L, Xue W Z. Analysis methods study on Ginseng main chemical composition. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2001, 11

- (5): 555-556.
- [7] Wang Y, Jiang Y, Wang B X. Effects of ginsenoside rg1 and its metabolite rh1 on the function of immunocyte in mice. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2002, 37(12): 927-932.
- [8] Guo H Y, Cheng S K, Chen M Y, Ding B. Sketch of Ginseng pharmacology and clinical application. *Acta Chinese Medicine and Pharmacology*, 1996, (4): 37-38.
- [9] Artyukova E V, Kozyrenko M M, Reunova G D, Muzarok T I, Zhuravlev Y N. RAPD analysis of genome variability of planted ginseng. *Applied Molecular Biology*, 2000, 34(2): 297-302.
- [10] Ha W Y, Shaw P C, Yau F C F, Wang J. Authentication of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolius* using amplified fragment length polymorphism (AFLP) and directed amplification of minisatellite region DNA (DAMD). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(7): 1871-1875.
- [11] Yu K W, Murthy H N, Hahn E J, Paek K Y. Ginsenoside production by hairy root cultures of *Panax ginseng*; influence of temperature and light quality. *Biochemical Engineering Journal*, 2005, 23(1): 53-56.
- [12] Fournier A R, Proctor J T A, Gauthier L, Khanizadeh S, Bélanger A, Gosselin A, Dorais M. Understory light and root ginsenosides in forest-grown *Panax quinquefolius*. *Phytochemistry*, 2003, 63(7): 777-782.
- [13] Zhang G R, Pang L J, Dong Y. Ponder over sustainable development of Ginseng cultivation. *Ginseng Research*, 2007, 19(4): 42-43.
- [14] Chen S L. Chinese Medicinal Material Origin Ecological Suitability Divisions. Beijing: Science Press, 2011.
- [15] Zhao Y F. Ginseng and American ginseng to avoid the formation mechanism. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2001, 23(1): 40-45.
- [16] Chen S L, Suo F M, Han J P, Xie C X, Yao H, Li X W, Li Y, Wei J H. Analysis on ecological suitability and regionalization of traditional Chinese medicinal materials. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2007, 38(4): 184-191.
- [17] Cao H L, Cao G F, Wei J H, Yang C M, Li M J. Effects of genetical and environmental factors on medicinal plant quality. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2007, 38(5): 785-788.
- [18] Li Q, Liang Z S, Dong J E, Fu L L, Jiang C Z. Grey correlation for main climatic factors and quality of Danshen (*Salvia miltiorrhiza* Bunge). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10): 2569-2575.
- [19] Wink M. Introduction: biochemistry, physiology and ecological functions of secondary metabolites//Wink M, ed. *Biochemistry of Plant Secondary Metabolism*. 2nd ed. Ames: Blackwell Publishing, 2010: 1-19.
- [20] Hartmann T. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 2007, 68(22/24): 2831-2846.
- [21] Yang S T, Li J H, Zhao Y P, Chen B L, Fu C X. Harpagoside variation is positively correlated with temperature in *Scrophularia ningpoensis* Hemsl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(5): 1612-1621.
- [22] Wei Y J, Wang Y P, Zhang L X, Kong X Y, Cao X Y, Zhao L B, Liu X Q, Li H P. Model research on suitable environment conditions of Ginseng saponins synthesis and accumulation. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1995, (4): 27-29.
- [23] Cheng H T, Xu Y H, Guo S, Song J, Li H T, Zhang L X. Research progress in light environment of *Panax ginseng*. *Renshen Yanjiu*, 2010, 22(3): 27-30.
- [24] Zhang C Y, Dong L, Chen S L, Xie C X, Chang D L. UPLC fingerprint for quality assessment of ginsenosides of Ginseng Radix et Rhizoma. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2010, 45(10): 1296-1300.
- [25] Bao S D. Soil Agriculturalization Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [26] Liu X N, Huang F, Wang P. GIS Spatial Analysis Principle and Method. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2008.
- [27] Ye D X, Zhou W H, Xiao Y Q, Guo Z X, Sun Z X, Lei Z P. Effect of temperature on the growth and development, the yield and quality of *Panax quinquefolium* L. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1998, 19(1): 30-32.
- [28] Jian Z Y, Wang W Q, Meng L, Wang D, You P J, Zhang Z L. Analysis of element contents in soil for continuous cropping ginseng. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(2): 369-371.
- [29] Ma D W. Phytogeography. Beijing: Science Press, 2008.
- [30] Wu Q S, Zhu R B, Wan Z H, Ding Y P. The correlation between effective components of American ginseng and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 779-782.
- [31] Yu H, Xie C X, Song J Y, Zhou Y Q, Chen S L. TCMGIS-II based prediction of medicinal plant distribution for conservation planning: a case study of *Rheum tanguticum*. *Chinese Medicine*, 2010, 5: 31-39.
- [32] Huang L F, Xie C X, Duan B Z, Chen S L. Mapping the potential distribution of high artemisinin-yielding *Artemisia annua* L. (Qinghao) in China with a geographic information system. *Chinese Medicine*, 2010, 5(1): 18-27.

- [33] Ma F L, Song L M, Wang J M. Brief introduction of soil trace elements research. *Qinghai Technology*, 2009, (3): 32-36.
- [34] Fan Y Y, Zhao J W, Liu S X, Yang Z T. Effect of B、molybdenum micronutrient fertilizer on production and quality of soybean. *China Seeds*, 2003, (10): 44-44.
- [35] Tian Y Q, Liu M L, Liu J Y, Tan J. Farmland selection, fertilizer and pesticide residues degradation of Ginseng cultivation. *Ginseng Research*, 2004, 16(3): 29-30.
- [36] Zhang L X, Huang C H, Wei Y J, Li X G, Yang J X, Gong X J. The main influence factors of the main content of ginseng saponins. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1998, (3): 47-52.

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- [2] 陈士林, 肖培根. 中药资源可持续利用导论. 北京: 中国医药科技出版社, 2006.
- [3] 程海涛, 张亚玉, 张连学, 许永华. 土壤环境与人参生长关系的研究进展. *中药材*, 2011, 34(2): 313-317.
- [4] 王琼, 程舟, 张陆, 万树文, 丁建弥, 傅大煦, 陈家宽, 张文驹. 野山人参和栽培人参的 DALP 指纹图谱. *复旦学报: 自然科学版*, 2004, 43(6): 1030-1034.
- [6] 孙玉岭, 薛维政. 人参主要化学成分分析方法的研究. *中国卫生检验杂志*. 2001, 11(5): 555-556.
- [7] 王毅, 姜艳, 王本祥. 人参皂苷 Rg1 及其肠内菌代谢产物 Rh1 对小鼠免疫细胞功能的影响. *药学报*, 2002, 37(12): 927-932.
- [8] 郭辉岩, 成善葵, 陈慕英, 于波. 简述人参的药理和临床应用. *中医药学报*, 1996, (4): 37-38.
- [13] 赵曰丰. 人参西洋参忌地形成机制. *特产研究*, 2001, 23(1): 40-45.
- [14] 陈士林. 中国药材产地生态适宜性区划. 北京: 科学出版社, 2011.
- [15] 张国荣, 庞立杰, 董宇. 关于人参栽培可持续发展的思考. *人参研究*, 2007, 19(4): 42-43.
- [16] 陈士林, 索凤梅, 韩建萍, 谢彩香, 姚辉, 李西文, 李滢, 魏建和. 中国药材生态适宜性分析及生产区划. *中草药*, 2007, 38(4): 184-191.
- [17] 曹海禄, 曹国番, 魏建和, 杨成民, 李梅君. 遗传和环境因子对药用植物品质的影响. *中草药*, 2007, 38(5): 785-788.
- [18] 李倩, 梁宗锁, 董娟娥, 付亮亮, 蒋传中. 丹参品质与主导气候因子的灰色关联度分析. *生态学报*, 2010, 30(10): 2569-2575.
- [22] 魏云洁, 王英平, 张连学, 孔祥义, 曹秀英, 赵立波, 刘兴权, 李慧平. 人参皂甙合成与积累的适宜环境条件模型研究. *特产研究*, 1995, (4): 27-29.
- [23] 程海涛, 许永华, 郭爽, 孔祥义, 曹秀英, 赵立波, 刘兴权, 李慧平. 人参光环境研究进展. *人参研究*, 2010, 22(3): 27-30.
- [24] 张翠英, 董梁, 陈士林, 谢彩香, 常段玲. 人参药材皂苷类成分 UPLC 特征图谱的质量评价方法. *药学报*, 2010, 45(10): 1296-1300.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [26] 刘湘南, 黄方, 王平. GIS 空间分析原理与方法 (第二版). 北京: 科学出版社, 2008.
- [27] 叶殿秀, 周微红, 肖永全, 郭兆夏, 孙志学, 雷治平. 温度对西洋参生长发育和产量品质的影响. *中国农业气象*, 1998, 19(1): 30-32.
- [28] 简在友, 王文全, 孟丽, 王丹, 游佩进, 张子龙. 人参连作土壤元素含量分析. *土壤通报*, 2011, 42(2): 369-371.
- [29] 马丹炜. 植物地理学. 北京: 科学出版社, 2008.
- [30] 吴庆生, 朱仁斌, 宛志沪, 丁亚平. 西洋参有效成分与气候生态因子的关系. *生态学报*, 2002, 22(5): 779-782.
- [33] 马扶林, 宋理明, 王建民. 土壤微量元素的研究概述. *青海科技*, 2009, (3): 32-36.
- [34] 范彦英, 赵继文, 刘素霞, 杨振廷. 硼、钼微肥施对大豆产量及品质的影响. *中国种业*, 2003, (10): 44-44.
- [35] 田永全, 刘蔓玲, 刘金友, 谭军. 农田种参的选地培肥与农残降解. *人参研究*, 2004, 16(3): 29-30.
- [36] 张连学, 黄朝晖, 魏云洁, 李向高, 杨继祥, 弓晓杰. 影响人参中人参皂甙含量的主要因素. *特产研究*, 1998, (3): 47-52.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元