

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

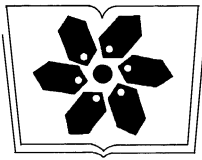
Acta Ecologica Sinica



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 燧, 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)
苈对黑麦草根茎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蓼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

巩国丽,陈辉,段德玉. 利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较. 生态学报, 2011, 31(24): 7533-7541.

Gong G L, Chen H, Duan D Y. Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of *Nitraria Tangutorum*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7533-7541.

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¹, 陈 辉^{1,*}, 段德玉²

(1. 河北师范大学资源与环境科学学院 河北省环境演化与生态建设实验室, 石家庄 050016;

2. 三亚市海洋与渔业局, 三亚 572000)

摘要: 水是影响植物分布的重要生态因子之一, 对植物水源的研究有助于在全球变化背景下了解植物的时空分布格局。根据同位素质量守恒, 利用稳定氢氧同位素可以确定植物水分来源, 相关的方法也不断改进。利用三源线性混合模型、多源线性混合模型、吸水深度模型以及动态模型分别对格尔木白刺(*Nitraria Tangutorum*)的水分来源进行了对比研究, 发现格尔木白刺主要吸收利用 50—100 cm 处的土壤水及地下水。在研究方法上, 各模型都有自己的应用范围和局限; 三源线性混合模型一般只能在植物吸收的水分来源不超过 3 个的情况下运行; 多源线性混合模型弥补了三源线性混合模型的不足, 可以同时比较多种来源水各自对白刺的贡献率及贡献范围; 吸水深度模型弥补了混合模型中不能计算白刺对土壤水的平均吸水深度的缺陷; 动态模型则会为未来降水格局变化对植物的时空分布的影响研究起很大作用。针对不同的适用范围, 模型的选择及综合应用会更广泛。但是, 该技术还存在一些不足, 需要结合测定土水势, 富氘水的示踪等方法来弥补。

关键词: 稳定氢氧同位素; 植物水分来源; 模型

Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of *Nitraria Tangutorum*

GONG Guoli¹, CHEN Hui^{1,*}, DUAN Deyu²

1 College of Resources and Environment Sciences, Hebei Normal University, Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Shijiazhuang 050016, China

2 Oceans and Fisheries bureau of Sanya City, Sanya 572000, China

Abstract: Water is one of the most important factors affecting vegetation distribution in terrestrial ecosystems, especially in arid region, water will be the key factor to restrict growth of plant species. Plant species have different availability to absorb water from different sources. Water sources of plant species directly determined the patterns of species distribution. Therefore, quantifying water use of dominant species from certain sources are critical important to define and predict spatio-temporal distribution patterns of vegetation under global changes. Stable isotopes of oxygen and hydrogen were considered to be a good tools and have been used to identify the source of water, because different sources of water possess different oxygen or hydrogen isotope signatures. Until now, several approaches have been developed to quantify the contribution of different water sources to plants based on the isotopic mass-balance principal. In this study, we used four different models to estimate the sources of water used by *Nitraria Tangutorum*, the dominant species in an alpine desert steppe in Golmud on the Tibetan Plateau. Furthermore, the advantages and disadvantages of the four models were compared. The four models were as follows: a three-compartment linear mixing model, a multiple sources linear mixing model, a model of mean depth

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971118, 40601109); 河北省自然地理学省级重点学科资助

收稿日期: 2011-06-13; **修订日期:** 2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenhui@igsnrr.ac.cn

of water uptake by plants and a dynamic model. Results showed that *N. tangutorum* mainly used the below-ground water which concentrated in the 50 to 100 cm depth (mostly from the depths of 70 to 100 cm). The four models we used in this study have their own range of application and limitations. The three-compartment linear mixing model was used only in the situation that only less than three water sources were available. If more than three water sources were available for plants, the water sources should be reduced within three sources by removing those with less contribution to plant growth. The multiple sources mixed-linear model can remedy the defects of the three compartment linear mixing model. Therefore it can be used to quantify more than three water sources as well as the range of each source. However, either of the two models can not be used to calculate the mean depth of the water from which *N. tangutorum* can take up. However, the model of mean depth of water can solve this problem. For the dynamic model, control experiments are often needed. This study ultimately failed to use this model because of the rainfall time and the precipitation. Nonetheless, control experiment and the dynamic model should play a great role in predicting spatio-temporal distribution of dominant plant species under future precipitation patterns in this region. By comparison, the multiple sources mixed-linear model and the model of mean depth of water can work very well only with hydrogen or oxygen isotope. The result obtained by the oxygen isotope should be more precise, because hydrogen isotope fractionation should be more easily influenced by environmental factors. In view of the different application scopes, selection of models should be crucial and need to be pay more attention. Stable isotope method is a promising approach, although there are some defects in distinguishing the source of water of the plant species using stable isotopic hydrogen and oxygen. It is suggested that stable isotopic measurement on hydrogen and oxygen should be in combination with measurement on soil water potential and deuterium in different water components.

Key Words: stable hydrogen isotope; stable oxygen isotope; plant water sources; model

不同生活型的植物利用不同来源的水。当植物可利用的水源减少时,某些种类植物的分布范围可能会减少,而另一些种类植物的分布范围可能会扩大。因此,定量研究植物吸收的水源可以预测在水源发生变化的情况下植被时空分布的变化趋势^[1]。

以全根系挖掘法研究植物根系分布特征,并结合测定同化枝水势、植物导水度以及植物蒸腾速率等来研究植物水分来源的传统方法不仅费时、费力、而且严重破坏了植物的生境,常常影响对植物水源的量化^[2]。随着稳定性同位素的发现和同位素分析技术的迅速发展,氢氧稳定同位素示踪技术逐渐被广泛应用到确定植物水分来源的研究当中。其理论依据是不同来源的水中氢氧稳定性同位素组成不一样,除了有些排盐种类,绝大多数植物根系吸收水分后,植物体内茎木质部水分中氢氧稳定同位素的组成一般不会发生变化,仍然保持近似水源的稳定性同位素特征^[2-5]。当植物有多个水分来源时,植物所吸收的水是不同来源水分的混合体^[6]。

以往的研究多采用三源线性混合模型来估算植物水分来源,其结果只能得出 3 种来源水对植物的贡献率。近年来,赵良菊等用多源线性混合模型研究了黑河下游河岸林生态系统下不同水源对植物的贡献率,发现不同水源对植物的贡献不同,并提出地下水对沙生植物胡杨等的生长具有重要的贡献^[7]。Romero-Saltos 等用降水控制实验及吸水深度模型研究了热带雨林区的亚马逊东部塔帕若斯河植物的水分来源,发现在降水很少的干季,树木吸收的土壤水不断加深^[8]。Cheng 等借助于氢稳定同位素利用动态模型将夏季各次降水都作为单一水源,研究了鄂尔多斯沙漠化草地生态系统中的 3 个树种各自对夏季降水的利用情况,认为一般性降水在典型荒漠植物水分中的衰减期为 7d^[9]。

随着利用氢氧稳定同位素量化植物水分来源的研究不断增加,有必要对这些方法进行分析比较,明确各模型在量化植物水分来源中的优缺点。本文利用了三源线性混合模型、多源线性混合模型、吸水深度模型及动态模型分别分析了格尔木白刺(*Nitraria tangutorum*)的水分利用来源,目的是比较各模型的优缺点及适用范围,为植物水分利用来源模型的选择和综合利用奠定基础。

1 研究区概况

格尔木市位于柴达木盆地南部(图1)。为高原大陆性气候,干旱少雨,冬季漫长,夏季短促。采样点位于格尔木市东南 10 km 处,具体位置为北纬 36°24′50″,东经 94°56′35″,海拔高度为 2793 m。采样地土壤盐碱化,表层沙化。1971—2000 年多年平均气温为 5.8℃,多年平均降水量仅为 42.1 mm。2005 年的年均温为 6.6℃,年降水量为 41.9 mm,6—9 月为格尔木降水集中期。植被以荒漠灌丛为主,唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)为采样地的优势植物。

2 样品收集与分析

2.1 样品收集

格尔木降水期主要集中在 6—9 月份。优势植物白刺在 5—6 月开花,9—10 月落叶。本研究样品采集时间为 2005 年 6—9 月,每月 15 日和 30 日各采集一次植物、地下水和分层土壤样品。采集植物样品时,在植株中部大枝条上选一根小树枝,截取小树枝上三四段一寸半长的距叶节点尽量远的嫩枝,以避免蒸腾。利用挖掘法采集地下水,降水样品用气象站的标准量雨筒进行收集。每月的上半月和下半月各收集一次降水,并尽量保证每次取得的样品都来自于这半个月中降水量较大的一次降水。用 1 m 长的土钻手工钻取土壤样品,采集 5 个层次,分别为 0—10 cm、10—30 cm、30—50 cm、50—70 cm 和 70—100 cm。采集的土壤立即带回实验室进行前处理,土壤分成两份,一份用于土壤含水量的测定;另一份用于测定各深度土壤水的氢氧同位素值。用于测定氢氧稳定性同位素组成的土壤、植物茎、地下水及降水样品装入密封玻璃瓶中进行保存,每次收集 3 个重复样品。

2.2 样品分析

土壤含水量用烘干称重法测定。用于测定氢氧同位素的土壤水和植物茎中的水采用液氮低温真空抽气线真空抽提,将抽提出的水分、收集的降水和地下水等样品密封冷藏,运到中国科学院地理科学与资源研究所的环境同位素实验室,使用 MAT-253 型的质谱仪测定氧氢同位素值。测得 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 的结果为与“标准平均海洋水(V-SMOW)”的千分差:

$$\delta\text{‰} = \left[\frac{R_{\text{样品}}}{R_{\text{标准}}} - 1 \right] \times 1000 \quad (1)$$

式中, R 为 $^2\text{H}/^1\text{H}$ 或是 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 。测得的 $\delta^{18}\text{O}$ 的精度为 $\pm 0.1\text{‰}$ 、 δD 的精度为 $\pm 0.1\text{‰}$ 。

3 白刺利用水分来源定量分析

3.1 实测结果

6—9 月份植物茎、降水、各层土壤水的稳定氢氧同位素值以及各层土壤含水量值如图 2 所示:较深处的土壤水一般比较浅处的土壤水中的同位素值小。蒸发使得降水、地表土壤水中的同位素的值偏高。而地下水的氘同位素值一般都在 -70‰ 左右,使得受地下水影响的深层土壤水的氢氧同位素值也相对较低。由于降水并非在每月固定的 15 和 30 日收集,采集间隔较大,不仅无法同时比较降水和土壤水中同位素的值,且降水过程中同位素也发生了分馏,致使降水同位素值波动幅度最大。从土壤含水量来看,表层 0—10 cm 处的土壤含水量明显低于深层土壤含水量。6、7 月份的土壤含水量相对较高,9 月份土壤含水量最小。

3.2 三源线性混合模型

三源线性混合模型是基于同位素质量平衡原理上的。公式如下:

$$\begin{cases} \delta\text{D} = F_1\delta\text{D}_1 + F_2\delta\text{D}_2 + F_3\delta\text{D}_3 \\ \delta^{18}\text{O} = F_1\delta^{18}\text{O}_1 + F_2\delta^{18}\text{O}_2 + F_3\delta^{18}\text{O}_3 \\ F_1 + F_2 + F_3 = 1 \end{cases} \quad (2)$$

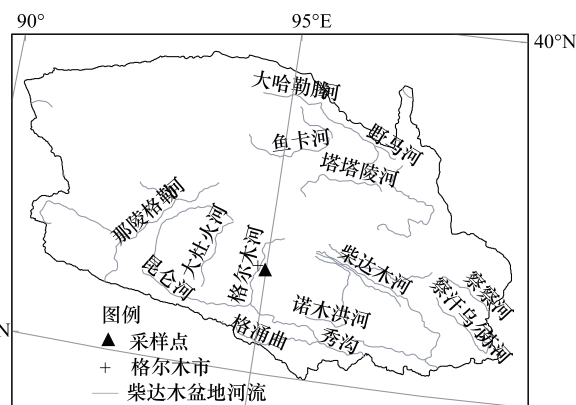


图1 研究区位置

Fig. 1 The location of research sites

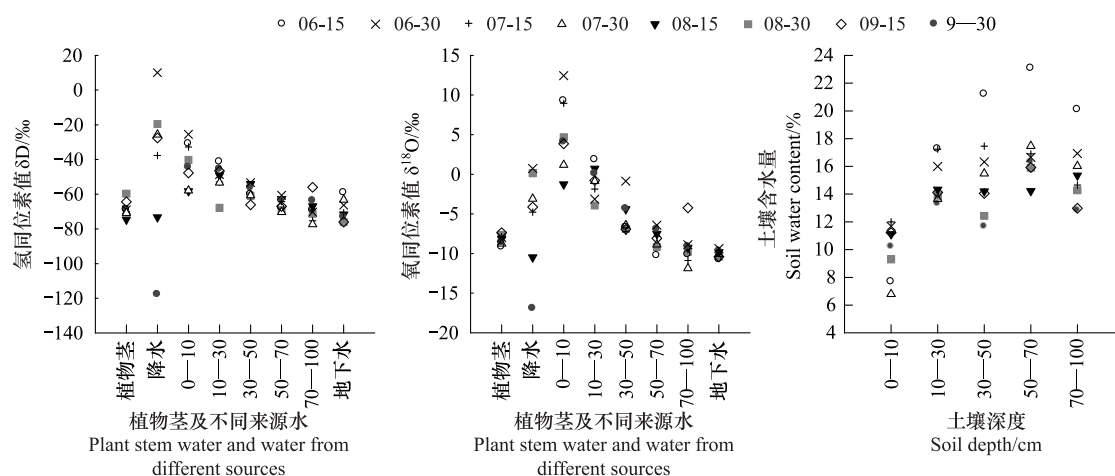


图2 实测氢氧同位素值与土壤(0—10 cm、10—30 cm、30—50 cm、50—70 cm及70—100 cm)含水量

Fig. 2 The hydrogen and oxygen isotope value and soil water content

式中, δD 、 $\delta^{18}O$ 为植物体内茎木质水分中的稳定氢氧同位素的值, δD_1 ($\delta^{18}O_1$)、 δD_2 ($\delta^{18}O_2$)、 δD_3 ($\delta^{18}O_3$)为3个不同水源中各自的稳定氢(氧)同位素的值, F_1 、 F_2 、 F_3 为对应的3个不同水源在植物茎木质部水分总量中所占的比例^[4,10]。

3.2.1 计算结果

由于此模型只能在植物吸收的水分来源不超过3个的情况下进行计算,且3个来源水中的 δD 、 $\delta^{18}O$ 值应有明显差异。因此在利用公式计算时,选取了5组,分别为0—10 cm、10—30 cm和30—50 cm处的土壤水(第1组),30—50 cm、50—70 cm和70—100 cm处的土壤水(第2组),50—70 cm、70—100 cm处的土壤水和地下水(第3组),30—50 cm、70—100 cm处的土壤水和地下水(第4组),70—100 cm处的土壤水、地下水和降水(第5组),计算每组中各来源水对白刺茎木质水中氢氧同位素值的贡献率(表1)。

第1组水源中求得6—9月间均为30—50 cm处的土壤水对白刺的贡献率大,即使最低贡献率也达到了91%,而0—10 cm和10—30 cm处的土壤水对白刺几乎没有贡献(表1)。

6月份,70—100 cm处的深层土壤水对格尔木白刺的贡献率大。第2组水源中求得7月份均为50—70 cm处的土壤水对白刺的贡献率大,也达到了95%以上。在第3组水源中求得7月15日为地下水对白刺的贡献率大,其次为50—70 cm处的土壤水,而7月30日为50—70 cm处的土壤水对白刺的贡献率达到了92%。在第4组水源中求得7月30日为70—100 cm处的土壤水对白刺的贡献率大。而7月15日的地下水不论在哪一组中比较均对白刺有最大的贡献率。所以7月15日地下水对白刺的贡献率大,其次为50—70 cm处的土壤水,而7月30日白刺主要吸收50—70 cm处的土壤水,其次为70—100 cm处的土壤水。

地下水为8月15日白刺利用的主要水源。8月30日白刺主要吸收30—50 cm深处的土壤水。9月15日,50—70 cm处的土壤水对白刺的影响最为主要,其次为70—100 cm处的土壤水。9月30日,地下水对白刺的贡献率大,其次为50—70 cm处的土壤水。

3.2.2 结果分析和讨论

三源线性分隔混合模型计算植物潜在水分来源需要明确具体的时间和3个确切的来源水。本文计算结果清晰地表明不同组中相同来源水对植物的贡献率并不一致,不同季节内相同组中相同来源水对白刺的贡献率也不一致;尽管该模型只能分析3种来源水,但有时也可以在通过分组对多于3种来源水的情况进行分析比较,最后可确定对植物贡献率较高的水分来源。根据计算结果,可以断定白刺主要依赖于深层土壤水或者地下水,而表层(0—30 cm)土壤水对白刺的贡献率很低,可能的原因是白刺的根系可能主要分布于30 cm之下。

表 1 不同来源水对白刺的贡献率

Table 1 Contribution of different water sources to *N. tangutorum*

日期 Date	土壤水 Soil water /cm	F /%	土壤水 Soil water /cm	F /%	土壤水 Soil water /cm	F /%	土壤水 Soil water /cm	F /%	土壤水 Soil water /cm	F /%
06-15	0—10	0	30—50	3	50—70	0	30—50	28	70—100	
	10—30	0	50—70	0	70—100	97	70—100	72	地下水	
	30—50	100	70—100	97	地下水	3	地下水	0	降水	
06-30	0—10	0	30—50	11	50—70	13	30—50	11	70—100	98
	10—30	0	50—70	0	70—100	87	70—100	89	地下水	0
	30—50	100	70—100	89	地下水	0	地下水	0	降水	2
07-15	0—10	0	30—50	0	50—70	26	30—50	7	70—100	0
	10—30	0	50—70	98	70—100	0	70—100	0	地下水	98
	30—50	100	70—100	2	地下水	74	地下水	93	降水	2
07-30	0—10	0	30—50	5	50—70	92	30—50		70—100	88
	10—30	0	50—70	95	70—100	8	70—100		地下水	0
	30—50	100	70—100	0	地下水	0	地下水		降水	12
08-15	0—10	0	30—50	0	50—70		30—50	29	70—100	
	10—30	0	50—70	0	70—100		70—100	0	地下水	
	30—50	100	70—100	100	地下水		地下水	90	降水	
08-30	0—10	6	30—50	75	50—70	100	30—50	75	70—100	74
	10—30	0	50—70	0	70—100	0	70—100	25	地下水	19
	30—50	94	70—100	25	地下水	0	地下水	0	降水	07
09-15	0—10	0	30—50	0	50—70	81	30—50	0	70—100	85
	10—30	9	50—70	76	70—100	19	70—100	58	地下水	0
	30—50	91	70—100	24	地下水	0	地下水	42	降水	15
09-30	0—10	0	30—50	0	50—70	39	30—50	20	70—100	
	10—30	0	50—70	58	70—100	05	70—100	08	地下水	
	30—50	100	70—100	50	地下水	57	地下水	73	降水	

3.3 多源线性混合模型 IsoSource 法

Phillips 和 Gregg 在一篇文章中介绍了该模型^[9],随后 Robert Gibson 公司编成软件 Isosource。该模型在同位素质量守恒的基础上先把所有来源水加起来的总贡献率 100% 确定下来。再确定每一个来源贡献率误差的上下限。具体做法如下:在来源部分输入潜在各来源水及其氢氧同位素值,在混合物部分输入白刺茎木质水中的氢氧同位素值,增量设为 1%。

3.3.1 计算结果

将不同日期采集的各深度土壤水和地下水的同位素值按日输入 Isosource 进行计算。同时输入氢氧同位素值不能计算出 6 月 15 日和 8 月 30 日的白刺水分来源。考虑到氢稳定性同位素比氧稳定性同位素更易受外界影响,因此文中该二日计算结果为单独输入氧同位素值计算出的白刺水分来源。如图 3 所示:

计算结果表明 6 月中上旬,地下水对白刺的贡献率最大,其次为 50—100 cm 处的土壤水。6 月中下旬至 7 月,白刺主要吸收 70—100 cm 深处的土壤水,而三源线性混合模型得出的结果是地下水在 7 月中上旬对白刺的贡献率大。8 月中上旬白刺主要吸收地下水,8 月中下旬白刺主要吸收 50—100 cm 处的土壤水及地下水。9 月中上旬白刺主要利用 50—70 cm 处的土壤水,而 9 月中下旬白刺主要利用地下水。

3.3.2 结果分析与讨论

三源线性混合模型与此模型得出的结论虽然不完全相同,但都得出了白刺主要吸收利用深层土壤水和地下水的结论,与三源线性混合模型只能确定 3 种来源水对植物总贡献率为 100% 相比,多源线性混合模型有

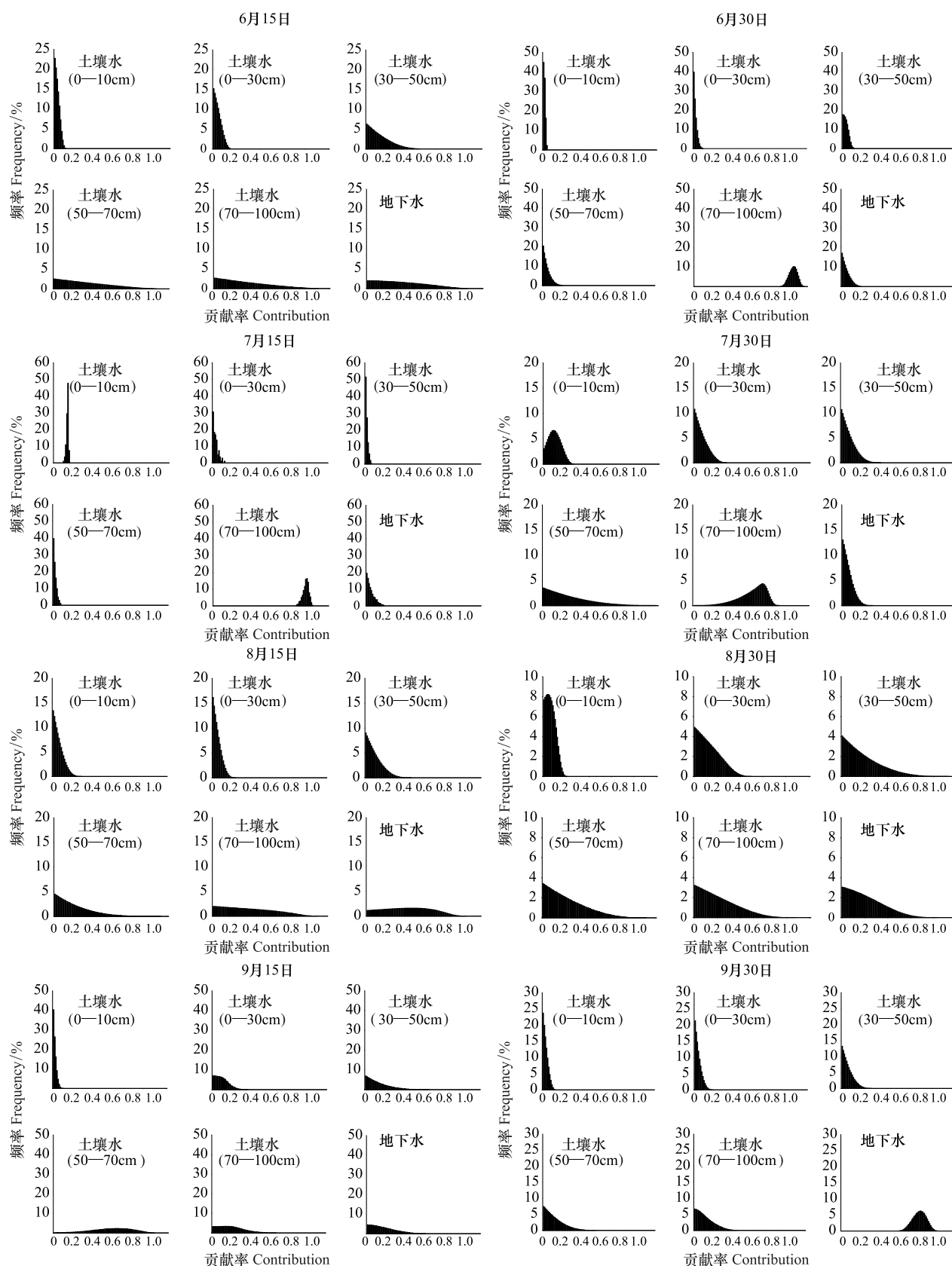


图3 不同日期多源线性混合模型计算结果

Fig. 3 The results of multi-source mixed-linear model in different date

* 图的横坐标表示来源水对白刺的贡献率,贡献率越接近于1表示该来源水对白刺的贡献率越大。纵坐标表示来源水对白刺的某一确定贡献率所出现的频率。来源水对白刺的贡献率越大、频率越高表示白刺最可能吸收该来源水

诸多优点,该模型不仅可以同时比较多种来源水对白刺的贡献率,而且可以比较出各来源水对白刺的贡献范围。除此之外,用此模型可单独利用氢(氧)同位素值来计算白刺吸收的主要水源。

由于采样的合理性、抽提、假设条件以及实验误差等原因,利用混合模型也只能是适当的找出潜在的水分来源。之前混合模型不能提供植物吸收水分的深度,到 2005 年,这个缺陷由 Romero-Saltos 等克服了^[11]。

3.4 吸水深度模型

该模型是由 Romero-Saltos 等在 2005 年提出的,该模型结合了 Matlab 软件来计算土壤中每厘米的氘同位素值,并据此进一步计算出植物吸收土壤水的平均深度。该模型假设植物根吸收的水分来自于由用户自己设定垂直间隔的土壤中,且植物在任何时间都能吸收 50 cm 处的土壤水,计算结果服从正态分布:

$$N_i = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(Y-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (3)$$

正态分布解释如下: N_i 是植物根在 Y 深度处所吸收的水分的比例, μ 是根在土壤中所吸收水分的平均深度。 N_i 的总和为 1。

3.4.1 计算结果

计算结果如表 2 所示。

表 2 不同日期白刺平均吸水深度

Table 2 Average soilwater depths of *N. tangutorum* absorbed in different date

日期 Date	06-15	06-30	07-15	07-30	08-15	08-30	09-15	09-30
平均吸水深度(D)/cm Average depth of absorbed water(D)	83	94	87	73	-1	16	52,82	-1
平均吸水深度(¹⁸ O)/cm Average depth of absorbed water(¹⁸ O)	91	70	69	82	72	66	64	80

* 平均吸水深度单位:cm

表 2 中,-1 表示无法通过程序计算出白刺吸水来源。由氘同位素值计算出的白刺平均吸水深度显示:6、7 月份白刺根系平均吸收土壤水的深度都在 70—100 cm 处。该结论与多源线性混合模型得出的结论基本一致。

8 月份之后测得白刺根系平均吸水深度有明显上升,这可能是由于昆仑山冰雪消融量在 8 月份之后逐渐减少,无法形成河水进而补给地下水,当地下水无法补给下层土壤水时,根系就会利用受降水影响的浅层土壤水。8 月 15 日测得平均吸水深度为-1,表示白刺吸收的水源可能为降水和地下水。8 月 30 日测得的白刺平均吸水深度为 16 cm。

由于 50—70 cm 处土壤含水量较大,认为 9 月 15 日白刺的平均吸水深度为 52 cm。9 月 30 日测得的平均吸水深度为-1,同样可以表示白刺吸收的水源可能为降水和地下水,而从降水和地下水的氘同位素的值与白刺茎木质水中的氘同位素值相比来看,白刺更倾向于利用地下水。

由氧同位素值计算的结果显示格尔木白刺稳定地吸收 60—95 cm 之间的土壤水,且平均吸水深度为 74 cm。

3.4.2 结果分析与讨论

模型计算结果显示白刺主要吸收 50 cm 以下的土壤水。

由氧同位素计算出的结果与用氢同位素计算的结果相差较大,究其原因,可能与氢氧同位素的分馏速度不一致有关。氢同位素的相对质量差大,同位素分馏应该比氧同位素的分馏更明显。且考虑到 8 月份之后的深层土壤中的含水量值虽然较低,但仍然与上层土壤含水量相比较多。所以从实际上来说,由氧同位素值计算出的白刺吸水来源更为可信。

由于用户自己定的土壤深度间隔和土壤同位素的复杂性,以及模型不能给出除土壤水之外的其它来源水

对植物的贡献率。所以当植物没有从用户自己设定的土壤深度间隔中吸收水分时,计算结果为-1;当不同深度土壤水中的同位素相似时,认为土壤含水量低的该深度的土壤水不是植物所吸收的水。所以最终确定9月15日的白刺主要吸收52 cm处的土壤水。当然,白刺可能并不能只吸收52 cm处的土壤水,且由于吸水深度模型为每1 cm土壤水的同位素值进行了线性插值,所以在每1 cm的土壤水的氢氧同位素值都存在的情况可以不单单计算出白刺吸收土壤水的平均深度。对此问题还有待进一步研究。

3.5 动态模型

动态模型就是把每一单次降水都作为植物吸收的一个来源水。

当植物利用的水源有两个(降水和另一水源),且一次降水作为动态变化因素时,模型可以写成:

$$\delta^{18}\text{O} = [X_n \cdot \delta^{18}\text{O}_q + (1 - X_n) \cdot \delta^{18}\text{O}_{j(n)}] \cdot \left(1 - \frac{t_n}{d}\right) + \frac{t_n}{d} \cdot \delta^{18}\text{O}_{n-1} \quad (4)$$

式中, $\delta^{18}\text{O}_{n-1}$ 为第 $n-1$ 次降水后得到的植物茎木质水中的同位素值, X_n 为第 n 次降水后的其余水源在总水源量中所占的比例, $\delta^{18}\text{O}_{j(n)}$ 表示第 n 次降水的同位素值, t_n 为第 n 次降水后的时间^[12]。

一般认为白刺这种典型的荒漠植物对3—6 mm之间的小降水也可以吸收利用,不过持续时间短,一般为3d左右,对较强降水,白刺在第2天才开始吸收利用^[8],且Cheng等对干旱地区的研究发现典型荒漠植物的体内在降水之后的7d内保存有大量的降水^[13]。

从采样日期和降水量上来看,不能利用动态模型研究白刺水源。但可以帮助排除降水对植物的影响,如吸水深度模型无法计算8月15日的白刺吸收水分来源贡献率,只能推测该天白刺可能受降水和地下水的影 响,然而利用动态模型可以排除降水对白刺根系吸收水分的影响,从而得出了该天白刺吸收的水分更多来自于地下水的结论。

4 结论与展望

4.1 结论

(1)由三源线性混合模型计算得出6—9月除8月30日外(该日白刺主要吸收了30—50 cm处的土壤水),采样点白刺主要吸收了50—100 cm处的土壤水及地下水;多源线性混合模型则得出白刺无一例外地吸收了50—100 cm处的土壤水及地下水,且土壤水对白刺的贡献率更为突出;由氧同位素利用吸水深度模型计算得出的白刺稳定地吸收了70—100 cm处的土壤水。

(2)在同位素质量守恒的前提下,三源线性混合模型只能在植物吸收的水分来源不超过3个的情况下运行,一旦植物吸水来源超过3个,则可以简化或合并来源,直至来源只剩3个。多源线性混合模型弥补了三源线性混合模型的不足,可以同时比较多种来源水各自对白刺的贡献率及贡献范围。吸水深度模型则弥补了混合模型中不能计算白刺对土壤水的平均吸水深度。但是吸水深度模型也仅限于计算白刺对土壤水的吸收情况。多源线性混合模型及吸水深度模型都可以单独利用氢(氧)同位素的值来进行计算,且用氧同位素的值计算显示的结果应该更为可信。动态模型利用时有很高的局限性,经常需要做控制实验来应用此模型。但是利用该模型可以排除降水对白刺的影响,从而弥补了利用氦同位素的值进行吸水深度运算时不能得出8月15日以及9月30日白刺对地下水吸收的结果的不足。

(3)在利用稳定氢氧同位素区分植物水分来源的模型筛选中,可先用多源线性混合模型计算出各水源对植物的贡献率及贡献范围,筛选出对植物贡献率大的水源。如果植物利用水源为土壤水时,利用吸水深度模型进一步计算出植物吸收土壤水的平均深度。如果植物利用水源为降水时,利用动态模型可计算出各单次降水对植物的贡献率。

4.2 展望

利用稳定同位素技术可以使植物吸水来源的研究定量化,未来必然会有更多应用。吸水深度模型可以得出植物吸收土壤水的平均深度,且由于吸水深度模型为每1 cm土壤水的同位素值进行了线性插值,在每1 cm的土壤水的氢氧同位素值都存在的情况可以不单单计算出植物吸收土壤水的平均深度。利用控制实验等对

动态模型的应用必然对未来降水格局变化后植物的时空分布的影响研究起很大作用。

仅用氢氧同位素来确定植物水分来源还有些不足,因为在蒸发强烈的地区,可能各水源在植物根吸收水分前就已发生了一定的同位素分馏。所以在使用模型时,最好考虑一些其它因素,如结合土壤含水量、土水势、添加富集氙的示踪物来研究植物吸收的水源。

References:

- [1] Schimek D S. Population and community processes in the response of terrestrial ecosystems to global change//Kareiva P M, Kingsolver J G, Huer R B, eds. *Biotic Interactions and Global Change*. Sunderland: Sinauer Associates, 1993: 45-54.
- [2] Gonfiantini R, Gratzu S, Tongiorgi E. Oxygen isotopic composition of water in leaves//*Isotopes and Radiation in Soil-Plant N Nutrition Studies*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1965: 405-410.
- [3] Wershaw R L, Friedman I, Heller S J. Hydrogen isotope fractionation of water passing through trees//Hobson F, Speers M, eds. *Advances in Organic Geochemistry*. New York: Pergamon, 1966: 55-67.
- [4] Zimmermann V, Ehhalt D, Munnich K O. Soil-water movement and evapotranspiration: changes in the isotopic composition of water//*Proceedings of the Symposium of Isotopes in Hydrology*. Intern At Energy Assoc Pub, 1966: 567-585.
- [5] Lin G, Sternberg L. Hydrogen isotopic fractionation by plant roots during water uptake in coastal wetland plants//Ehleringer J, Hall A, Farquhar G, eds. *Stable Isotopes and Plant Carbon-Water Relations*. San Diego: Academic Press, 1993: 497-510.
- [6] Dawson T E, Pate J S. Seasonal water uptake and movement in root systems of Australian phreatophytic plants of dimorphic root morphology: a stable isotope investigation. *Oecologia*, 1996, 107(1): 13-20.
- [7] Zhao L J, Xiao H L, Cheng G D, Song Y X, Zhao L, Li C Z, Yang Q. A preliminary study of water sources of riparian plants in the lower reaches of the Heihe Basin. *Acta Geoscientia Sinica*, 2008, 29(6): 709-718.
- [8] Chu J M. *Studies on Selective Utilization of Water by Plants in Aridland Region [D]*. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2007: 79-79.
- [9] Snyder K A, Williams D G. Water sources used by riparian trees varies among stream types on the San Pedro River, Arizona. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 105(1/3): 227-240.
- [10] Wang P, Song X F, Han D M, Zhang Y H, Liu X. A study of root water uptake of crops indicated by hydrogen and oxygen stable isotopes: a case in Shanxi Province, China. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(3): 475-482.
- [11] Romero-Saltos H, Sternberg L da S L, Moreira M Z, Nepstad D C. Rainfall exclusion in an eastern Amazonian forest alters soil water movement and depth of water uptake. *American Journal of Botany*, 2005, 92(3): 443-455.
- [12] White J W C, Cook E R, Lawrence J R, Broecker W S. The D/H ratios of sap in trees: implications of water sources and tree ring D/H ratios. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1985, 49(1): 237-246.
- [13] Cheng X L, An S Q, Li B, Chen J Q, Lin G H, Liu Y H, Luo Y Q, Liu S R. Summer rain pulse size and rainwater uptake by three dominant desert plants in a desertified grassland ecosystem in northwestern China. *Plant Ecology*, 2006, 184(1): 1-12.

参考文献:

- [7] 赵良菊, 肖洪浪, 程国栋, 宋耀选, 赵亮, 李彩芝, 杨秋. 黑河下游河岸林植物水分来源初步研究. *地球学报*, 2008, 29(6): 709-718.
- [8] 褚建民. 干旱区植物的水分选择性利用研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2007: 79-79.

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