

引用格式: 吴健, 邱晓霞. 基于生物勘探的遗传资源物种多样性价值评估[J]. 资源科学, 2018, 40(4): 829-837. [Wu J, Qiu X X. Valuing species diversity based on bio-prospecting[J]. *Resources Science*, 2018, 40(4): 829-837.] DOI :10.18402/resci.2018.04.16

基于生物勘探的遗传资源物种多样性价值评估

吴 健^{1,2}, 邱晓霞¹

(1. 中国人民大学环境学院, 北京 100872; 2. 中国人民大学国家发展与战略研究院, 北京 100872)

摘 要: 通过生物勘探活动获得的资源价值是生物多样性价值的主要表现形式之一。本文通过理论建模, 对遗传资源物种多样性潜在价值(选择价值)的评估方法进行了探索, 并通过数值模拟, 尝试性地评估了全中国和案例区高等植物物种多样性的遗传价值。结果显示, 中国高等植物具有较高的潜在价值: 边际物种价值为人民币 3531 万元, 潜在总价值约为 11 825 亿元; 以一个面积确定的案例区为例, 得到武夷山国家级自然保护区的边际栖息地价值约为 6444 元/hm²。本文通过修正既有主要模型和参数赋值方法, 构建新的潜在价值评估的理论模型和参数, 为国内开展遗传资源物种多样性选择价值评估提供了一个全新的方法补充, 即基于生物勘探的价值评估。通过数值模拟所形成的研究结论对于未来将遗传资源的潜在价值纳入保护政策制订、引导保护投资、促进生物遗传资源的有效保护和利用具有重要的现实意义。

关键词: 物种多样性; 遗传资源; 选择价值; 生物勘探; 中国; 武夷山

DOI :10.18402/resci.2018.04.16

1 引言

遗传资源物种多样性是生物多样性的重要组成部分。中国是世界上的生物多样性大国, 保护遗传资源具有重要意义。估算遗传资源的物种多样性价值, 对于将遗传资源的当前价值和未来价值纳入保护政策制订, 增强中国生物多样性履约谈判过程中关于资源获益分享谈判的议价能力, 促进生物遗传资源的有效保护和利用, 具有重要的现实意义^[1]。

按照环境经济学的资源价值分类, 生物多样性的价值包括使用价值和非使用价值, 使用价值又主要包括直接使用价值、间接使用价值和选择价值^[2]。其中选择价值对应的是资源未来使用的可能性, 即期权价值^[3]。遗传资源选择价值是一种潜在价值, 类似于期货和期权, 例如, 随着时间的推移, 人类有可能会在某一濒危物种身上发现一种治愈癌症的基因, 那么这个物种的价值就会增大。然而关键问题在于人们需要在这一价值被发现之前做出保护投资的决策, 这就需要人们提早对遗传资源的未来

价值做出预判^[4,5]。选择价值使资源得以处于保存状态并作为稍后开发, 而对选择价值进行评价, 就需要在不确定性情况下估算决策的预期净收益增量^[6,7]。在国内, 学者将选择价值的概念和不确定性情境下的评估方法应用到项目投资决策^[8]或土地资源价值评估中的研究较多^[9,10], 而应用到对生物多样性潜在价值(选择价值)的研究非常有限^[11]。

生物勘探(Bio-prospecting)是制药行业的机构为了从自然界的生物中发现新的有价值的化合物以研制成新药品进行的探索活动。该活动实质是对有价值的产品开展搜寻活动, 通过对物种的研究, 获知物种是否存在药用价值等一系列可以为人类所用的价值形式。由于生物勘探能够促使新药物的发现, 从而带来商业利益, 使得制药行业这样的私人机构有可能产生保护物种及其栖息地的动力, 从而生物勘探也可能成为一种既能发现新的药物产品又能保护生态系统的双赢机制, 引起许多研究者的关注^[12]。显然, 通过私人的商业活动所揭示的遗传资源生物勘探价值, 为获知人类对于这种未

收稿日期: 2017-04-07; 修订日期: 2018-01-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41571519); 国家社科基金专项(18VSJ100); 国家科技支撑计划课题(2012BAC01B01)。

作者简介: 吴健, 女, 安徽歙县人, 教授, 博士生导师, 主要从事环境与资源经济学研究。E-mail: jianwu@ruc.edu.cn

来潜在价值的支付意愿提供了一个真实可信的路径。

通过生物勘探活动获得的资源价值是生物多样性价值的主要表现形式之一。本文拟通过遗传资源的生物勘探价值评估,来间接测量并表征生物多样性保护的支付意愿或价值,为保护政策的制定和生物多样性履约的国际谈判提供直接的研究支持。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 生物勘探价值评估的研究回顾

理论上,任何私人或机构通过生物勘测活动收获的是资源的潜在经济价值,即物种在未来可能带来的经济价值,因此,资源生物勘探所揭示的价值为资源的选择价值。

生物勘探的早期文献曾经对为制药目的而保护某个物种的价值进行过一系列的评估,每个未知物种的价值从4400万美元至2370万美元不等^[13,14]。保护未知物种的价值就等于某个成功药品的平均收益乘以发现成功药品的概率。但是,这一思路估算的是某个未知物种的平均价值,而非其边际价值,因为多个物种可能含有的只是相同的物质,从而就遗传信息贡献而言,这些物种可能是冗余的。边际价值可能远远低于平均价值。这就是经济学的边际思想,即就生物勘探而言,生物多样性的价值取决于它对整个遗传信息和备选方案集合所做出的边际贡献,而不是针对个体的^[15,16]。

为了严格地界定生物多样性的价值,Weitzman和Polasky等率先从经济学角度提出了生物多样性测度的问题,通过对“物种差异度(distinctiveness)”的界定,来衡量某个物种对其所在物种集合的多样性所做的贡献,从而构建了多样性函数(diversity function),将物种的遗传多样性确定为多样性价值测度的基础^[17,18]。这对以后的研究产生了一定影响,但是,这一方法虽然为价值评估找到了一把生物学的“客观”尺子,却没能建立起生物多样性保护与社会目标和价值之间的关联,似乎是独立于社会目标对价值进行评估,在实践中显得说服力有限^[19]。

保护生物多样性的实践必须揭示保护所能带来的社会 and 私人收益,从而形成真实的保护激励,也即必须将多样性价值与特定的社会目标(如解决某个生物问题)的边际贡献联系起来。Chichilnisky等提出,生物勘探、碳汇和农业利用被认为是可以

从投资生物多样性和保护基因多样性中获得回报的项目,从而能够部分显示生物多样性的商业价值^[20]。

1996年Simpson等将保护生物多样性价值评估的问题聚焦到制药这样一类R&D密集型产业“生物勘探”活动中,试图揭示私人商业活动所揭示的生物多样性价值(以下简称SSR方法)^[21]。研究模拟了企业的生物勘探活动:企业通过对自然栖息地进行随机搜寻,寻找可以申请专利的机会。对于某个自然栖息地而言,边际物种价值是指企业申请专利后,“特许销售”所带来的预期使用费收入。这一方法在生物多样性和特定形式的社会价值之间构建了特定的联系,具体说,生物多样性有了明确的实现社会价值的途径和载体。SSR以高等植物作为生物勘探的对象,构建以单个物种为勘探单位的模型来评估物种的边际价值,再将其转化为边际栖息地价值,并以Myers^[22,23]对18个生物多样性热点区域研究的数据作为样本进行数值模拟,得出最大的边际栖息地价值仅为21美元/hm²。

沿着同样的思路,Rausser等指出SSR模型存在的缺陷——忽略了生物勘探中对搜寻顺序的科学安排,重新建立考虑了最优搜寻顺序的估值模型(以下简称RS模型),同样以Myers的18个生物多样性热点区域作为样本进行数值模拟,结果得出生物勘探激励高达9177美元/hm²^[24]。针对SSR与RS结果的差异,Costello等(以下简称CW)试图对二者进行分析,认为其差异根源不在于是否采用了科学的搜寻顺序,而在于他们在参数赋值上的出入较大^[25]。因此CW在SSR模型的基础上重新给参数赋予“更可靠”的数值,得出在最具生物多样性地区的估值仅为1.23美元/hm²,与SSR结论趋于一致。

在以专利为动机开展的搜索行动这一背景下,Goeschl等(以下简称GS)对农业技术研发产业(育种行业等)进行了观察^[26]。GS的遗传资源保护价值的评估方法在很大程度上沿用了SSR搜索模型的部分思路 and 观点,但是不同的是,GS方法还增加了一些更具体的技术假设,包括遗传资源对于促进社会创新和减缓生物适应的价值,但这些价值往往不能被专利所有者获取,因为它们代表外溢性的社会价值。因此,用私人评估方法评估用于R&D目的的生物多样性保护的社会价值,结果常常偏低^[27]。进

2018年4月

一步,Kassar等提出了实物期权分析法,描述生物多样性价值评估存在的不可逆性和不确定性^[28]。

这些研究探讨了不同的价值评估方法,显示不同学者对遗传资源价值存在不同的观点和视角。但相同点在于,他们的出发点都认为:遗传资源有助于为未来可能出现的生物问题(害虫、病原体等)提供解决方案。因此,从生物勘探的角度开展遗传资源的价值评估是一个有价值的研究思路。

通过上述研究回顾可以发现,在遗传资源生物勘探价值评估研究中,最有代表性的是SSR和RS对遗传资源勘探价值评估模型。本文试图对SSR、RS模型进行对比分析,重新对模型进行修正以建立一个更加科学合理的估值模型。

2.2 主要估值模型及评述

2.2.1 SSR模型

SSR的模型考察了药学研究活动中对作为生产投入的生物勘探的支付意愿。该模型以某一物种对于促成一个药物商业发现的边际贡献来评估该物种的边际价值。具体在构建模型过程中,SSR提出了以下假设:把每一种生物的测试都当作是独立重复试验,进行随机顺序的测试,每一次实验能够带来商业发现的概率(即成功概率)相同,设为 p ;单个测试的成本为固定值,设为 c ;测试成功(即从所测试的物种成功找到制成某种新药物的成分)能够带来的收益为 R 。

因此,在一个含有 n 个物种的样本中,总价值 $V(n)$ 为:

$$\begin{aligned} V(n) &= pR - c + (1-p)(pR - c) \\ &\quad + (1-p)^2(pR - c) + \cdots + (1-p)^n(pR - c) \quad (1) \\ &= \frac{pR - c}{p} [1 - (1-p)^n] \end{aligned}$$

由此可得出边际物种价值 v 为:

$$v = V(n+1) - V(n) = (pR - c)(1-p)^n \quad (2)$$

根据上述赋值及计算方法,SSR求得高等植物的边际物种价值。然后在模型扩展中,SSR通过引入物种面积函数: $n_i = \alpha_i A_i^Z$ (其中 n_i 、 A_i 分别表示区域 i 的物种数量和区域面积, Z 取0.25),将边际物种价值转化为边际栖息地价值 v_i :

$$v_i = \frac{\lambda}{r} (pR - c)(1-p)^n Z e_i \quad (3)$$

式中 e_i 表示区域 i 的高等植物特有种密度, λ 表示每年源于高等植物的潜在新药数量, r 表示贴现率。最后,SSR利用Myers研究的18个生物多样性热点区域的数据计算得出的每个区域的最大化边际栖息地价值。

2.2.2 RS模型

RS基于对SSR的研究方法进行批判而展开研究。RS首先认为SSR关于“随机顺序搜索”的假设值得怀疑,因为自然产品的潜在在地理上并非均匀分布,除个别例外情况,一般不会有人按照随机顺序在大量目标对象中搜寻某一事物。最优的搜寻总是优先测试最有希望获得成功的“线索”(lead)开始,这样可以尽可能缩短搜索过程,从而减少成本投入,提高净收益。

基于新的假设,RS设计了这样的情景:为了寻找一种可能制造出新药品的化合物,私人实施的勘探是通过测试“线索”(lead)来进行的,他们以一定面积的区域作为搜寻测试单位(线索),按照各个线索成功的概率 p 由大到小排列药品搜寻顺序展开勘探。在构建模型过程中,RS直接将单位生物多样性区域面积作为生物勘探的单位来计算边际栖息地价值,而不是像SSR那样将单个物种作为生物勘探的单位计算其边际价值,再转化为边际栖息地价值。

因此,第 n 个测试单位的预期持续价值 V_n 与下一个测试单位的预期持续价值 V_{n+1} 存在如下关系:

$$V_n = p_n R + (1-p_n) V_{n+1} - c, \quad n=1, \cdots, N \quad (4)$$

搜寻终止的条件为,一旦某一次测试成功了就终止,或者是在保证测试的回报非负($p > c/R$)的情况下,已经没有线索可继续搜寻了。RS设定该搜索行为正好在最后一单位区域搜寻完毕后结束——边际价值达到零。

建立模型后,RS采用与SSR相同的样本,即Myers的18个生物多样性热点区域数据,对试验成功的收益 R 、每年的潜在新药品数量 λ 、贴现率 r 等也采取相同的赋值,进行数值模拟。但必须注意的是,单个测试单位的成本 c 赋值是在使得样本最后一个测试单位的价值为零的条件下计算得到的。

2.2.3 对主要估值模型的评述

首先,SSR模型考虑到了遗传资源生物勘探价值实现中可能存在的“物种冗余问题”,同时由于许

多研究提出过,高等植物的化学物质具有独特医药潜力,不太可能被其他类型的有机体生产出来,并且其医药价值巨大,该物质具有相对稀缺性,对其进行保护的必要性更大,因此在模型应用中选取高等植物物种作为潜在保护对象,这为遗传资源勘探价值评估研究提供了一个非常关键的导向。同时,在转化为边际栖息地价值之前,SSR以单个物种为测试对象所计算的边际物种价值也基本合乎逻辑:以全球高等植物物种作为样本,根据一种新药物产品总研发成本和总收益以及单个物种试验成功概率构造出边际物种价值函数。由于单个物种实验成功的概率难以从经验性数据中获取,SSR设计了一个巧妙的方法以得到这个概率值:通过构建边际物种价值模型,然后推导出边际物种价值最大条件下的成功概率(即最优概率),从而得到最大化的边际物种价值——只要实际概率偏离了模型求出的那个最优概率,实际边际物种价值就会更小。SSR采用这种条件下的概率值来评估边际物种价值的用意是:如果用这样的模型评估得到的边际物种价值不大,那么在实际概率条件下的估值将会更小,则足以说明遗传资源勘探价值不能为私人机构开展生物勘探提供足够的激励。但相反,如果用这个模型评估的得到的边际物种价值很大,虽然可以推断出实际概率条件下的估值与之相比会更小,却很难判断实际情况会小多少,从而不能断言遗传资源勘探价值是否能为私人机构开展生物勘探提供足够的激励。

RS以“科学搜索顺序”的假设重新构建模型。RS以边际栖息地价值为评估对象,设置各区域差别的试验成功概率,并依据概率的大小安排生物勘探的顺序,就模型构建出发点而言,相较于SSR模型,这似乎是一个很大的突破。但RS模型设计中出现了严重的逻辑缺陷:假定该搜索行为正好在最后一单位区域搜寻完毕后结束——边际价值达到零,没有必要再继续搜索下去了,基于此确定单个测试单位(这里是单位区域)勘探成本 c 的估值方法不符合常理,因为这意味着单位区域勘探成本可以人为随意控制,依据最后一单位区域高等植物物种的密度来改变单位成本的大小;而且将不同生物多样性地区的单位区域勘探成本视为一个相同的常数也不合适,因为这些地区的物种丰富程度不一样,而勘

探成本主要是对应于每个物种的试验成本,所以在高等植物特有种密度大的地区单位区域内的该类物种数量也多,需要的成本投入也应该更多。笔者认为,单位勘探成本是一个主要受技术水平影响的外生变量,该参数的赋值应依据经验性数据。而RS的模型又完全依赖于这个假设条件,一旦单位勘探成本变为一个可变参数,模型便无法成立。此外,由于RS选取的样本区域只包含39 605个高等植物物种,不到全球总量的六分之一,这样一个子区域所开发出来的新药物并不能完全代表全球的数量,而在参数赋值中,RS又使用了以全球高等植物物种为样本的赋值,这显然是不合理的。

CW也曾对上述两个研究的差异进行分析,但其认为RS在模型中的“科学搜索顺序”不是二者差异根源,相当于否定了设定“科学搜寻顺序”在RS模型中的作用。

综上所述,虽然SSR的方法似乎在物种异质性和实验顺序的考虑上有所欠缺,但实际上,通过引入了物种面积函数将其转化为边际栖息地价值后,不同地区的勘探价值就有区别了,因而将不同地区高等植物特有种密度来作为确定搜寻顺序的条件,一定程度上弥补了这个缺陷,故其在模型构建原理上基本合理;而RS虽然试图基于SSR的缺陷进行修正,但由于其在重新构建模型过程中所出现的逻辑漏洞,使其估值模型说服力受到挑战。因此,笔者将基于SSR的模型来评估中国的高等植物遗传资源勘探价值,并以武夷山自然保护区为例对其边际栖息地勘探价值进行评估。

2.3 模型构建与参数赋值

基于上述分析,本文将以SSR模型为原型,同时采纳RS研究方法中的优点,重新构建遗传资源勘探价值评估模型,并对主要参数的选择进行修正。

2.3.1 模型构建与修正

模型假设:

(1)生物勘探过程被看作是一组伯努利试验,即在同样的条件下重复地、各次之间相互独立地进行的一组试验。存在(数额巨大的) n 个可用的搜寻线索,每个都有一些带来发现的可能。在此 n 指的是物种数量。

(2)每次试验的成功概率相同,为 p ;单次试验

2018年4月

成本也相同,为 c 。

(3)一旦试验成功,便停止勘探活动。当一次测试成功,就能获得报酬 R , R 是不包含生产费用、广告费等成本的净收益,只包括R&D成本。

(4) λ 为平均每年被识别出来的源于高等植物的潜在新产品数量(服从泊松分布,潜在一定时间内随机事件发生的概率);新品上市后其现金流的贴现率为 r 。

因此,在一个含有 n 个物种的样本中,总价值函数和边际物种价值函数分别为公式(1)和公式(2)。该边际物种价值表示的是在一次生物勘探活动中,以现有物种样本 n 为基数,再增加1个物种能够增加的勘探价值。下面将货币时间价值和每年潜在勘探次数这两个因素纳入模型:在第 t 年,每种新药的收益流为 R ,而每年有 λ 个潜在新药数量,已假设新品上市后其现金流的贴现率为 r ,则第 t 年的边际物种价值的现值 v_t 为:

$$v_t = \lambda(1+r)^{-t}(pR-c)(1-p)^n \quad (5)$$

假设以现有物种数量 n 为勘探样本,在无穷期限 ∞ 年中每年勘探得到的新品数量、成本及报酬均保持稳定,那么该物种的边际价值为这个无穷期限内边际物种价值的加总 v^* 为:

$$\begin{aligned} v^* &= \sum_{t=0}^{\infty} \lambda(1+r)^{-t}(pR-c)(1-p)^n \\ &= \frac{\lambda(1+r)}{r}(pR-c)(1-p)^n \end{aligned} \quad (6)$$

在此,本文对SSR的模型有所修正,增加了乘数 $(1+r)$,因为第一年的收益无需贴现,就是 $\lambda(pR-c)(1-p)^n$,那么以无限长的 ∞ 年为贴现期限的现金流,其现值计算求极限应为公式(6),其含义为:在无穷期限 ∞ 年中,每年进行 λ 次生物勘探活动,且年贴现率为 r 的条件下,以现有物种样本 n 为基数,再增加一个物种的能够增加的勘探价值。换言之,该式表示的边际物种价值即为在现有物种数量的基础上再增加一个物种能够带来的潜在收益。

然后通过物种面积函数 $n_i = \alpha_i A_i^z$ (其中 n_i 、 A_i 分别表示区域 i 的物种数量和区域面积, z 取0.25¹⁾),将边际物种价值转化为边际栖息地价值 v_i :

$$v_i = \frac{\lambda(1+r)}{r}(pR-c)(1-p)^n Z e_i \quad (7)$$

为考察物种样本总体的潜在价值 $V(n)$,本文在SSR的模型基础上新增加一个函数,即在总价值函数公式(1)中加入货币时间价值和每年潜在勘探次数 λ 两个因素,转化为下式:

$$V(n) = \frac{\lambda(1+r)}{r} \cdot \frac{(pR-c)}{p} \cdot [1 - (1-p)^n] \quad (8)$$

2.3.2 参数选择和赋值

由于许多研究提出过,高等植物的化学物质具有独特医药潜力,不太可能被其他类型的有机体生产出来,并且其医药价值巨大,该物质具有相对稀缺性,对其进行保护的必要性更大。考虑到高等植物相较于其他一般生物具有更大的选择价值,本研究将以中国的高等植物作为生物勘探对象进行数值模拟,以考察中国的遗传资源勘探价值。本文在参数赋值上将采用来源于中国的相关数据。

与SSR赋值方法上不同的是,本文对于 R 的赋值并不是通过由研发费用总额与估计的收益费用比推算出来的,而是来源于现实经验性数据:中国高等植物特有种数量 n 约为17 439种^[30],是中国中医药行业药物发现、发明的主要资源。由《中国医药统计年报》^[31]2010—2013年数据计算得到:每年新批准的来源于高等植物特有种的新药数量 m 为42.50种;每种新药年均收益为12 638.56万元,假设每种新药在市场上销售期限为20年,贴现率为5%,得到每种新药总收益的现值 R 约为157 504.39万元;平均每种新药每年的研发费用约为1382.63万元,假设每种新药的研发周期为10年,则每种新药的研发费用总额 C 为17 390.57万元。

从建模过程可以看出,除以上经验性赋值参数外,影响估值结果的主要参数还包括:单个物种测试的成功概率 p 、单个物种测试成本 c 和每年源于高等植物的新药物数量 λ 。这三个参数赋值不能直接通过经验性数据获得,本文综合SSR和RS中参数赋值的优点,采用如下方法赋值。

(1)单个物种测试成功概率 p 和单个物种测试成本 c 。理论上,单次成功概率应该属于经验性数值而非内生变量,但由于此概率值难以统计,目前

1) 根据文献[29], z 一般取值为0.25~0.35,栖息地的隔绝程度越高(例如岛屿), z 的取值越小,本文参考文献[21, 24, 25]的研究,取 $z=0.25$ 。

无法获得可靠的经验性数据,因此本文仍采用SSR的方法:以中国高等植物物种作为总样本,依据中国新药物的研发成本和收益的平均数值,计算出最优条件下的单个物种测试成功的概率值。这个概率数值代表单个物种一般性的成功概率,只不过它是令边际物种价值最大求得的一个概率值——比这个概率更大或更小的实际概率下边际物种价值都会更小。

根据边际物种价值 v 对成功概率 p 的一阶条件和二阶条件得出,边际物种价值最大化时的概率 p^* 为:

$$p^* = \frac{R+nc}{(n+1)R} \quad (9)$$

单个物种测试成本可以通过总成本推算出来。假设一个新产品的总研发成本 C 与最终成功概率的比值与单个物种的研发成本 c 与单次实验成功概率的比值相等,即:

$$\frac{c}{p} = \frac{C}{1-(1-p)^n} \quad (10)$$

将 R 、 C 、 n 三个参数值代入上两个等式,可计算得到使边际物种价值最大化条件下的单个物种成功概率 p 为0.000 068,单个物种测试成本 c 为17 046元。

(2)每年潜在新药数量 λ 。它指每年要获得一定数量的新药物成功上市必须要进行研究的药物数量,其中有些可能因为不成功而无法被批准。换言之,这个 λ 也即每年潜在的勘探次数——如果将为研发某一新药而进行的生物勘探过程视为一次勘探活动,那么平均每年要获得 m 个新药的批准就需要进行 λ 次勘探活动。因此,每年潜在新药物数量乘以最终成功概率 $1-(1-p)^n$ 就是每年新批准的药物数量,由此可得出 λ 的推算公式:

$$\lambda = \frac{m}{1-(1-p)^n} \quad (11)$$

将每年新批准的新药数量 m 、高等植物特有种数量 n 以及成功概率 p 数值代入(11),得 λ 为61.12。上述具体赋值见表1。

3 数值模拟结果

3.1 中国高等植物特有种边际物种价值及总价值评估

将表1的参数值代入公式(6),可计算得出以中

表1 主要估值参数赋值

Table 1 Parameter estimates for Evaluation

名录	变量	赋值
中国高等植物特有种数量/个	n	17 439.00
每种新药的总收益/万元	R	157 504.39
单个物种成功概率	p	0.000 068
单个物种测试成本/元	c	17 046.00
每年新批准的新药数量/个	m	42.50
贴现率/%	r	5.00
每年被识别出来的源于遗传资源的潜在新药数量	λ	61.12

注:表中参数值依据文献[31]整理得出。

国为样本的高等植物边际物种价值为人民币3531万元,它表示在仅考虑高等植物的药学价值的情况下,以中国目前发现的高等植物特有种总数为基数,中国多增加一个高等植物特有种能够获得的潜在收益。如果从遗传资源保护的角度来考虑,也可以将此边际价值认为是多保护一个高等植物物种值得投入的成本。

为评估中国高等植物物种总价值,将表1的参数值代入公式(8),得到该总价值约为11 825亿元。这意味着在仅考虑高等植物的药学价值的情况下,以目前中国高等植物特有种总量、来源于高等植物的新药收益及成本情况、每年新批准的新药数量以及假设的5%的贴现率为变量,评估得出的中国高等植物物种潜在总价值约为11 825亿元。

3.2 武夷山地区边际栖息地价值评估

中国以自然保护区作为高等植物特有种的主要保护措施,本部分以中国武夷山国家级自然保护区为案例,通过数值模拟,将物种价值转化成现实决策中为保护物种而开展边际栖息地保护的价值。

福建武夷山国家级自然保护区位于中国东南部,被列为中国陆地11个生物多样性保护“关键区”之一,面积为56 527 hm^2 [32]。该地区生物种类繁多,被称作“天然植物园”、“昆虫世界”、“鸟类天堂”,已知有高等植物2615种,其中高等植物特有种41个[33]。

通过边际栖息地价值模型公式(7)可以估算武夷山自然保护区单位面积的勘探价值。由上述数据可知武夷山高等植物物种密度为0.00 073种/ hm^2 ,对于 Z 的取值仍采用SSR的赋值0.25。将3.1章节中以中国高等植物为样本求得的边际物种价

值代入公式(7),可求得武夷山边际栖息地价值 6444 元/hm²,表示在仅考虑高等植物药物利用价值的情
况下,在武夷山地区多保护 1 hm²的面积能够获得的
潜在价值。

3.3 结果讨论

上述数值模拟结果可以作为中国高等植物资源生物勘探价值的参考。但由于目前并不能获得中国药物行业开展资源勘探和研发活动的真实成功概率,只能通过现有数据推算,再用于本模型的数值模拟,因此在估值结果上不能做到非常准确。

具体而言,在模型中,对概率参数 p 的赋值是通过使边际物种价值最大化的一阶条件和二阶条件计算得到的,在将其重新代入所求得的边际物种价值也会是相对高估了的,因为无论实际的 p 值大于还是小于求得的这个数值所估计的边际物种价值都会更小。为了考察 p 值对评估结果影响的大小,本文将参考 CW 关于 p 的经验性赋值范围[0.000 025, 0.001],将其上下限概率值分别代入公式(6)和公式(8),重新估值得到的边际物种价值见表2。

表2 不同的 p 值对评估结果的影响

Table 2 Sensitivity of different p -values

	p 取模型 计算值	p 取经验值 高值	p 取经验值 低值
p	0.682E-04	0.001	0.250E-04
c	17 046.000	15 362.550	1 086.861
$(pR-c)$	90 312.140	1 559 681.380	38 289.240
$(1-p)^n$	0.305	2.650E-08	0.647
λ	61.120	42.500	120.270
$(1+r)/r$	21.000	21.000	21.000
边际物种价值/万元	3 531.000	0.004	26 253.000
中国高等植物潜在 勘探总价值/亿元	11 825.000	13 920.000	13 669.000

表2显示,在其他条件不变的情况下, p 的变化对边际物种价值的影响比较大,而对潜在勘探总价值的影响很小。模型的概率 p 与取经验值低值时的边际物种价值比较接近,以千万元计;而在这3个概率条件下得到潜在勘探总价值较为接近,均在1.1万亿~1.4万亿元之间。

需要指出的是,遗传资源的生物勘探价值主要取决于当前的保护目标是否与未来问题解决方法相关,也即这些遗传资源是否具有为生命科学研究提供最终解决办法的价值,不能简单地用此表征资

源保护的完整价值。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文全面回顾了国际国内基于生物勘探开展遗传资源物种多样性价值评估的研究进展,在对主要模型的假设、建模技术和参数赋值方法充分评估的基础上,对遗传资源潜在价值(选择价值)的评估方法进行了模型修正,并通过优化参数赋值方法和数值模拟,尝试性地评估了中国高等植物的边际物种价值、总价值和案例保护区的边际栖息地保护的价值。结果表明,中国高等植物具有较高的潜在价值:边际物种价值为人民币 3531 万元,潜在总价值约为 11 825 亿元;以一个面积确定的案例保护区为例,得到武夷山国家级自然保护区的边际栖息地价值约为 6444 元/hm²。

本文通过理论模型和数值模拟开展选择价值评估,为国内开展遗传资源物种多样性选择价值评估提供了一个全新的方法补充,所推荐的方法和形成的研究结论对于将遗传资源的未来潜在价值纳入保护政策制订,引导保护投资,促进生物遗传资源的有效保护和利用,具有重要的现实意义。

4.2 讨论

本文提出了对遗传资源物种多样性价值评估方法开展进一步研究的需求。从原理上看,遗传资源的生物勘探价值模型是基于私人行动的评估方法。由于私人部分在评估价值时,通常无法将以勘探为目的的生物多样性保护的社会价值或效益进行内部化,私人只能获得遗传资源保护的私人部分价值,这种方法可能造成估值结果偏低,需要谨慎地解释和利用价值评估结果。另一方面,从方法上看,以成功概率 p 估算的是边际物种价值的最大值(即价值上限),但由于现实的成功概率 p 可能存在偏差,从而对价值结果产生不确定的影响。例如,任意物种勘探成功的概率增大对边际物种价值有两方面的抵消作用:一方面这样的确能提高物种测试活动的预期收益,但同时也会减少预期收益,因为其他具有同等价值的物种被先发现的可能性也会增加。这些问题都有待于进一步的研究探索和确认。

致谢:感谢中国人民大学环境学院生态学专业盛岩副教授对研究所提供的帮助和支持。

参考文献(References):

- [1] 刘冬梅, 张凤春, 吴晓蒲, 等: 遗传资源价值评估进展与应用[J]. 环境与可持续发展, 2015, 40(2): 19-22. [Liu D M, Zhang F C, Wu X P, et al. Application and progress on the valuation of genetic resource[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2015, 40(2): 19-22.]
- [2] Gollin D, Evenson R. Valuing animal genetic resources: Lessons from plant genetic resources [J]. *Ecological Economics*, 2003, 45(3): 353-363.
- [3] Xepapadeas A, Ralli P, Kougea E, et al. Valuing insurance services emerging from a gene bank: the case of the Greek Gene Bank [J]. *Ecological Economics*, 2014, 97(1): 140-149.
- [4] Arrow K J, Fisher A C. Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1974, 88(2): 312-319.
- [5] Bishop R C. Option value: an exposition and extension[J]. *Land Economics*, 1982, 58(2): 1-15.
- [6] Schmalensee R. Option demand and consumer's surplus: valuing price changes under uncertainty[J]. *American Economic Review*, 1972, 62(12): 813-824.
- [7] Zhao J, Zilberman D. Irreversibility and restoration in natural resource development[J]. *Oxford Economic Papers*, 1999, 51(3): 559-573.
- [8] 周春生, 长青, 郭良勤. 等待的价值-未来不确定性条件下的建设项目投资决策分析[J]. 经济研究, 2001, (8): 79-85. [Zhou C S, Chang Q, Guo L Q. The value of waiting-construction project investment decision analysis under future uncertainty[J]. *Economic Research*, 2001, (8): 79-85.]
- [9] 崔新蕾, 张安录. 选择价值在农地城市流转决策中的应用-以武汉市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 675-683. [Cui X L, Zhang A L. Option value applications in decision-making models for rural-urban land conversion in Wuhan City [J]. *Resources Science*, 2011, 33(4): 675-683.]
- [10] 王湃, 凌雪冰, 张安录, 等. 农地选择价值研究的进展与趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4): 409-413. [Wang P, Ling X B, Zhang A L, et al. Overview of research on farmland option value[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(4): 409-413.]
- [11] 李娜, 龙凤, 李红祥. 生物多样性遗传价值估算方法与案例研究[J]. 生态经济, 2011, 27(2): 145-150. [Li N, Long F, Li H X. Method and case study on biodiversity genetic valuation [J]. *Ecological Economics*, 2011, 27(2): 145-150.]
- [12] Daily G C, Ellison K. The New Economy of Nature: The Quest to Make Conservation Profitable [M]. Washington: Island Press, 2002.
- [13] Alyward B A, Echeverria J, Fendt L, et al. The Economic Value of Species Information and Its Role in Biodiversity Conservation: Case Studies of Costa Rica's National Biodiversity Institute and Pharmaceutical Prospecting[R]. London: Discussion Paper DP 93-06, 1993.
- [14] Principe P. The Economic Value of Biodiversity among Medicinal Plants[R]. Paris: OECD, 1989.
- [15] Oldfield M L. The Value of Conserving Genetic Resources [M]. Sunderland: Sinauer Associates, 1989.
- [16] Brock W A, Xepapadeas A. Valuing biodiversity from an economic perspective: a unified economic, ecological and genetic approach [J]. *American Economic Review*, 2003, 93(5): 1597-1615.
- [17] Weitzman M L. On diversity [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1992, 107(2): 363-405.
- [18] Polasky S, Solow A, Broadus J. Searching for uncertain benefits and the conservation of biological diversity[J]. *Environmental and Resource Economics*, 1993, 3(2): 171-181.
- [19] Polasky S, Costello C, Solow A. The Economics of Biodiversity [A]. Mäler K G, Vincent J R, Elsevier B V. Handbook of Environmental Economics (Volume 3) [M]. West Frisian: North Holland, 2005.
- [20] Chichilnisky G, Heal G. Economic returns from the biosphere[J]. *Nature*, 1998, 391: 629-630.
- [21] Simpson R D, Sedjo R, Reid J W. Valuing biodiversity for use in pharmaceutical research [J]. *Journal of Political Economy*, 1996, 104(1): 163-185.
- [22] Myers N. Threatened biotas: hot spots in tropical forests [J]. *Environmentalist*, 1988, 10(3): 187-208.
- [23] Myers N. The biodiversity challenge: expanded hot-spots analysis [J]. *Environmentalist*, 1990, 10(4): 243-256.
- [24] Rausser G, Small A. Valuing research leads: Bioprospecting and the conservation of genetic resources[J]. *Journal of Political Economy*, 2000, 108(1): 173-206.
- [25] Costello C, Ward M. Search, bioprospecting and biodiversity conservation [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2006, 52(3): 615-626.
- [26] Goeschl T, Swanson T. The social value of biodiversity for R&D [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2002, 22(4): 477-504.
- [27] Firm R D. Bio-prospecting-why is it so unrewarding? [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12(2): 207-216.
- [28] Kassar I, Lasserre P. Species preservation and biodiversity value: a real options approach [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2004, 48(2): 857-879.
- [29] Pereira H M, Daily G C. Modeling biodiversity dynamics in countryside landscapes[J]. *Ecology*, 2006, 87(8): 1877-885.

- [30] 王利松, 贾渝, 张宪春, 等. 中国高等植物多样性[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 217–224. [Wang L S, Jia Y, Zhang X C, *et al.* Overview of higher plant diversity in China[J]. *Biodiversity Science*, 2015, 23(2): 217–224.]
- [31] 工业和信息化部. 中国医药统计年报2010–2013[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2010–2013. [Ministry of Industry and Information Technology. China Medicine Statistics Annual Report[M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine, 2010–2013.]
- [32] 中华人民共和国环境保护部. 全国自然保护区名录[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014. [Ministry of Environment Protection. China Nature Reserves Inventory[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2014.]
- [33] 福建省科学技术厅. 中国·福建-武夷山生物多样性研究平台[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Department of Science and Technology of Fujian Province. China Fujian–Wuyishan Biodiversity Research Platform[M]. Beijing: Science Press, 2012.]

Valuing species diversity based on bio-prospecting

WU Jian^{1, 2}, QIU Xiaoxia¹

(1. School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China;

2. National Academy of Development and Strategy, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: Bio-prospecting is the search for valuable products such as pharmaceuticals in biological organisms and is one of the main approaches to capture the value of species biodiversity. Theoretically, private-sector bio-prospecting effort can reveal the potential value of species biodiversity conservation or its optional value. This approach provides a unique way to understand the Willingness-To-Pay of human society for conserving genetic resources. Here, we improve model setting and parameters in existing literature to explore and establish a theoretical model of assessing the potential value (option value) of genetic resources, and estimating the genetic value of species diversity of higher plants in China by numerical simulation. Results show that the option value of higher plants in China is relatively high. The marginal option value of species is 35.31 million CNY, and the potential total value of higher plants in China is about 1.18 trillion CNY. As designation of nature reserves is the major approach to protect higher plants in China, we took Wuyishan National Nature Reserve as a case, turned the species value into the value of marginal area of land in conservation, and found that the marginal land value of the case nature reserve is 6444 CNY/hm². The theoretical model and parameters on option value assessment developed in this study provide an innovative supplement to existing methods and approaches for genetic resource valuation in China. Results from numerical simulation provide an important price reference for guiding conservation investment, promoting the effective protection and utilization of biological resources, and integrating the future potential value of genetic resources into conservation policy decision-making.

Key words: species diversity; genetic resources; option value; bio-prospecting; China; Wuyishan