

美国湿地健康评价方法

陈 展, 尚 鹤*, 姚 斌

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091)

摘要: 湿地健康评价是湿地科学的一个重要研究方向, 其内容复杂繁多, 方法多样, 根据不同的评价目的有不同的评价方法。美国近十几年来在湿地健康评价方面做了大量的工作, 主要介绍美国开发和应用的评估方法, 包括 Level I 水平的景观发展强度法(LDI), 概要法(Synoptic); Level II 水平的快速评价法以及 Level III 水平的水文地貌法(Hydrogeomorphic, HGM)和生物完整性指数法(Indexes of Biological Integrity, IBI)。通过介绍上述方法的适用范围、优缺点及主要评价步骤, 相关成果可为中国湿地健康评价工作提供参考。

关键词: 美国; 湿地; 健康; 评价

文章编号: 1000-0933(2009)09-5015-08 中图分类号: Q149, X171.1 文献标识码: A

Methods of wetlands health assessment in USA

CHEN Zhan, SHANG He*, YAO Bin

Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF; Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 5015 ~ 5022.

Abstract: Wetland health assessment is an important part of wetland science characterized by complex context and various assessment methods. There are different methods to meet different assessment goals. The researchers in USA have done much work on wetland health assessment over the past decade, and this paper mainly introduced three level assessments developed and applied in USA including as level I, level II and level III. The application scope, the advantage and disadvantage and the assessment steps were described in the paper, for purpose of offering reference for wetland ecologic health assessment in China.

Key Words: USA; Wetland; health; Assessment

湿地是地球上水生与陆地生态系统的过渡区, 具有水量平衡、滞纳洪水、调节局地气候、去除污染物、提供野生生物栖息地、休闲旅游和维护区域生态平衡等重要功能, 与森林、海洋一起并称为全球三大生态系统。被誉为“地球之肾”的湿地, 在各类型生态系统中的效益价值最高^[1]。随着人口的增长, 经济的快速发展, 城市化进程的加快, 环境污染加剧, 世界各地的湿地都面临着严峻的考验。人类活动使得湿地遭受有形或无形的破坏, 湿地生态系统的结构被破坏, 功能衰退。湿地面积大量减少, 湿地健康严重受损, 湿地生物多样性降低、水质改变、富营养化等问题日益严重, 这些将影响一个区域或流域的生态安全, 甚至将威胁人类自身的健康与发展^[2]。因此, 对湿地生态系统进行健康诊断和评价显得格外重要和迫切。

国外对生态系统健康评价方面的研究起步比我国早, 以美国 EPA 为代表的研究团队开展了全国性的湿地生态系统健康状况评价。目前我国在湿地健康评价方面的研究工作还比较少, 主要是从生态特征、功能整

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目资助项目(2006CB403307); 国家林业局 948 项目资助项目(2008-4-37)

收稿日期: 2008-10-29; 修订日期: 2009-02-12

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

合性以及社会政治环境 3 个方面构建几十个指标,运用模糊综合评价法来进行湿地系统健康评价^[3]。其他学者基本都是在此基础上围绕生物、化学、物理和社会等几个方面建立一系列指标进行评价,皆为定性的评价^[4,5]。美国 EPA 在湿地健康评价方面做了大量的研究工作,对美国国内的大量湿地进行了全面深入的健康诊断和评价,形成了一系列的评价方法。本文综合介绍美国湿地生态系统健康评价方法,以期我国的湿地工作者提供借鉴,推进我国湿地生态系统健康诊断和评价工作。

1 湿地健康评价内涵

湿地生态系统健康是指系统内的物质循环和能量流动未受到损害,关键生态组分和有机组织被完整保存且缺乏疾病,对长期或突发的自然或人为扰动能保持弹性和稳定性,整体功能表现出多样性、复杂性和活力^[6,7]。湿地的健康程度特别是其结构和功能的表现直接影响到景观和流域内的整体利益,即可持续发展。要管理好流域或景观,首先要对其内部的湿地生态系统健康进行研究,找出湿地面临的压力及表征的压力指标,以便对湿地健康做出正确的判断。对生态系统健康诊断指标的研究,可以追溯到 17 世纪末 18 世纪初^[4],最早的指标是对水质(颜色、有氧含量)的简单测量,逐步发展到物种指标以及富营养化上。在过去几十年里,湿地生态系统健康的诊断指标主要集中在化学和生物指标上,这些指标比较容易测度,花费较低,能够提供生态系统受损的早期预警,同时对生态变化具有极高的敏感性,也能为决策者提供有利依据。随着对生态系统的深入研究,近几年研究者又将物理指标、压力指标等考虑在内,使健康诊断指标不断完善。

湿地生态系统健康评价的目的是诊断由自然因素和人类活动引起的湿地系统的破坏或退化程度,以此发出预警,为管理者、决策者提供目标依据,更好地利用、保护和管理好流域湿地^[5]。湿地健康涉及到湿地的方方面面,物理的、化学的、生物的以及社会经济方面的健康诊断,湿地生态系统健康评价主要是围绕这几个方面完成以下目的:(1)获得关于湿地数量和质量的基础数据;(2)准确评价湿地数量和质量未来的变化趋势;(3)将湿地数量和质量的变化与原因机制联系起来,如城乡发展,农业和造林活动,运输,开矿,自然因素,保护活动以及其他活动;(4)提供湿地数量和质量状况和发展趋势的报告,这些报告可用于评价湿地恢复措施的效果,可为未来湿地政策和管理提供很好的依据;(5)对湿地进行健康评价有助于长期了解湿地的健康(功能)、分布、结构和过程状况。

2 美国湿地健康评价方法

根据评价方法的强度和尺度,美国环保署(EPA)提出了 3 个层次的湿地健康评价方法,通常称为 Level I, II, III^[8]。Level I,是利用地理信息系统和遥感技术的一种景观尺度的评价方法。此方法的优点为可以用较少的资源来评价大面积或大量的湿地,但其对单个湿地的基本状况的评价精度相对较低。Level II 评价方法是利用单个湿地简单的观测数据来快速定性评价局地或区域尺度的健康状况,其优点是可以用中等资源花费对区域尺度的湿地进行评价,对单个湿地的评价精度适中。因此 Level II 评价方法是最普遍使用的方法。Level III 评价方法是一种利用野外采样定量进行场地评价的强度较大的方法,该方法是精度最高的一种方法,可以评价湿地的健康或生态完整性,但需耗费大量的人力、物力和财力。美国环保署建议用 Level III 方法来验证 Level I 和 Level II 评价技术。

2.1 Level I 评价方法

Level I 评价方法以景观数据为基础,主要有两种方法:景观发展强度指数(landscape development intensity, LDI)法和概要评价法(synoptic approach)。

2.1.1 LDI 法

景观及其内部的生物群落健康状况与人类活动强度密切相关,以人为主的土地利用方式,尤其是利用强度能够通过直接、间接和累积作用来影响临近的生态系统。Brown 和 Vivas^[9]利用土地利用数据及以单位面积单位能耗测量的发展强度数据,计算景观发展强度指数(LDI),从而评估人类活动对水域生态系统的潜在影响。LDI 可以作为一个人类干扰梯度指数(人类对周围土地或水域的生物、物理和化学过程的影响水平)来使用。以土地利用和土地覆盖为基础,LDI 采用 GIS 的土地利用/土地覆盖数据、航片或野外调查数据。

Brown 和 Vivas^[9]认为 LDI 可以作为一种 Level I 评价工具,用以预测湿地的健康状况,同时 LDI 可以对人类干扰程度进行定量评价。

LDI 方法包括以下步骤:(1)对受影响的区域进行描述:首先描述景观单元内的土地利用类型,然后对每一类型赋一个强度因子。发展强度因子是单位面积土地利用能量使用的函数。受影响的区域应该包括景观单元内所有的土地,一般来说 100 m 的缓冲区即可包括周边所有土地利用的影响^[9]。(2)描述土地利用情况:应用 LDI 首先要对土地利用进行分类,其分类系统区域与区域之间都不同,主要根据分析的尺度进行分类。(3)通过土地利用程度来量化人类发展强度:用单位时间单位面积的能耗来定量人类活动,因此人类活动强度的单位就是 $\text{sej}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ^[9]。计算 LDI 时使用的都是不可更新能源,包括电能、燃料等。已有的研究对不同土地利用类型单位面积单位时间的能耗平均值进行了计算^[10,11],单位能耗的自然对数即是每种土地利用类型的 LDI 系数。(4)计算区域加权的 LDI:根据 GIS 数据,利用总面积以及各种土地利用类型面积的百分比可以计算 LDI, $\text{LDI}_{\text{total}} = \sum \% \text{LU}_i \cdot \text{LDI}_i$,这里 $\text{LDI}_{\text{total}}$ 指景观单元的 LDI, $\% \text{LU}_i$ 指受影响的土地利用类型 i 占总面积的百分比, LDI_i 指土地利用类型 i 的 LDI 系数。

2.1.2 概要法

1988 年, Bedford 和 Preston 提出一种定性的概要的(synoptic)评价方法,可以用来评价湿地调整项目的累积影响^[12]。概要“synoptic”的定义是“提供一个总体的综合的看法”^[13],表示概要性评价方法提供的是一个总体看法,而不是一个详细的分析,其目的是对区域总体做出一个准确评价^[14]。概要性评价方法提供一个框架以供景观亚单元之间进行比较,这些比较是通过评价每个亚单元内一个或多个景观因子或概要指标来进行的。指标的选择是以景观生态学和胁迫生态学的基本原理为基础的^[15]。概要指标包括功能指标、价值指标、功能丧失指标以及功能恢复指标。

该方法利用景观数据和 GIS 影像对水域进行分级,据此评价水域维持不同功能的能力,以及湿地丧失的敏感性。该方法包括五个主要的步骤,在实际应用时可能需要重复这些步骤:(1)确定目标和标准,这一步要确定评价的目的,用途,需要评价的精度以及实施评价的限制因素等。(2)确定概要指标,需要确定湿地的类型,描述自然地形条件,定义景观范围,确定湿地功能和价值,确定主要影响因素,选择景观亚单元并确定整合指标的原则。(3)选择景观指标。(4)进行评价,评价过程中要建立质量保障和控制体系,利用 GIS 数据做出受不同人类影响程度的湿地分布图。(5)准备概要报告,包括使用手册以及评价文件两个部分。

目前该方法还没有广泛应用,其缺点还不清楚,但它能为评价累积影响提供一个可行的参考方法。

2.2 Level II 评价方法

Level II 是一种快速评价方法,花费比较低,能在短时间内收集到所需的数据。快速评价法主要用来评价单个湿地或数量较少的湿地,是美国最普遍采用的湿地健康评价方法,近十年来美国发展的 40 多种评价方法中大部分都是快速评价方法^[16]。快速评价方法是一个评价人类活动对湿地系统影响的敏感工具^[17-20],可以用来评估管理措施的效果,评价恢复措施的效率以及在资源管理时可以对湿地进行排序以便更好的利用资源,同时也可以用来建立湿地水生生物利用标准等^[16]。

当采用或开发一种快速评价方法时,有 4 个标准是很重要的:首先,该方法要能用来评价健康状况;其次,该方法必须是快速的,即两个人半天实地考察,半天室内准备和数据分析即可得到评价结果;再次,该方法必须是现场评价的,以确定评价区域的面积、边界等;最后,该方法必须能被验证。Fennessy 等人^[16]根据这 4 个标准对美国已有的评价方法进行了详细分析,发现有 7 种方法完全符合这些标准(表 1)。

为了成功的开发或应用一个快速评价方法并应用于野外,必须考虑到几个方面。包括如何确定评价范围,区域内湿地如何分类,如何确定指标,如何给指标进行赋值(如一些指标比其它指标赋值高),以及方法的可验证性等。

2.2.1 湿地范围界定

待评价湿地范围的定义因方法而异,可以是围绕一个点取一个固定面积(如 0.5 hm^2),也可以是将整个

湿地看成一个整体。当包含许多复杂的不同湿地类型时,第二种方法就会有问题,会难以定义单个湿地,或者当需要大面积湿地取样时就会有困难。评价范围的界定是很重要的,它关系到数据采集及结果的报告、理解及应用等。

表 1 符合 4 个标准的 7 种快速评价方法的概要

Table 1 Summary of seven rapid assessment methods that meet the four criteria

名称 Procedure	引用 Citation	评价的 湿地类型 Wetland type	时间 Time(d)	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
特拉华方法草案 Delaware Method (Draft)	[21]	特拉华州的潮 汐湿地和非潮 汐湿地	< 0.5	能够用于所有的 HGM 亚 类型;快速且易于应用	不能用于那些胁迫不清楚 的地方;要求按地区列出胁迫 清单
佛罗里达湿地快速评价 方法 Florida Wetland Rapid Assessment Procedure	[22]	旨在修复但有 广泛应用的 项目	<1	快速;易于操作;允许使 用者根据实地条件调整 打分	叙述性变量将许多指标合 成一个分数;特别偏重野生 生境的评价
马萨诸塞州海岸带管理 方法 Massachusetts Coastal Zone Management Method	[23]	淡水湿地和盐 碱沼泽	0.5	专门评价大型无脊椎动 物生境;可评价潮汐和非 潮汐系统;快速;易于操 作,打分灵活	将许多测度合成一个指标; 将所有人类胁迫合成一个 指标
蒙大拿湿地评价方法 Montana Wetland Assessment Method	[24]	淡水湿地	0.5	应用简单;给快速建立野 外指标提供了很好的 想法;	某些指标不是快速的,在野 外难以确定;重点强调独特 的价值高的湿地
俄亥俄快速评价方法 Ohio Rapid Assessment Method (ORAM)	[25]	淡水湿地	<0.5	问题表述清楚;能给出 一个全面的排序;快速;最 后的分值易于计算	包括一些价值量度,因此一 些类型的湿地得分较高,而 并不代表其健康状况良好
佩恩州胁迫清单 Penn State Stressor Checklist	[26]	淡水湿地	<0.5	该方法的野外考察易于 应用;快速	那些景观分析必须在野外 使用之前进行的方法并不 快速;需要按地区列出胁迫 清单
华盛顿湿地等级系统 Washington State Wetland Rating System (Western)	[27]	华盛顿西部的 淡水湿地	0.5	快速;易于使用;包括健 康状况的测定	包括一些价值测量;一些类 型的湿地得分偏高;并非所 有湿地都能得到一个分值

2.2.2 湿地的分类

建立一个快速评价方法时需要考虑的一个关键问题就是湿地的类型及分类的必要性。在建立和使用一个快速方法时必须要考虑到区域内存在的不同的湿地类型,如采用水文地貌分类系统得到的不同类型。这主要是由于不同类型的湿地对不同的胁迫因子敏感,而且不同类型的湿地可能对某些特殊胁迫的敏感性不同。湿地分类系统主要根据水文条件(水源、水文周期、水文动态)、植被(挺水植物、灌木)、地形(低凹、河滨)和土壤(腐殖土、泥炭、土质疏松)等来划分不同的湿地类型。分类的目的是降低同一类型湿地内部的变异性,以便更敏感的辨别出影响很小和受损严重的湿地之间的差别。

2.2.3 确定评价指标

快速评价方法的共同指标包括水文、土壤、植被和景观信息,其中水文是最受关注的,包括有水文波动,水文周期,水质,地表水的连续性以及蓄洪能力等;而土壤指标是关注最少的,包括土壤类型,基质扰动,微地貌以及沉积物组成等。生物群落特征尤其是植被是上述指标的基础,植被指标包括植物种类,分散程度,入侵物种,野生生境及珍惜濒危物种及其生境等,许多方法都以植物群落结构特征作为生物丰富度的指标。景观信息则包括周边土地利用,与其他湿地或廊道的连通性,缓冲区的范围和植被类型,缓冲区内土地利用程度等。

湿地容易受人类活动的影响,人类活动胁迫其系统并降低生态完整性。任何一种健康评价方法都有一个假设即湿地对胁迫的反应或者对胁迫因子的影响是可以预计的(如入侵种所占百分比,植被群落数量)。无论对什么湿地类型而言,胁迫都会对湿地健康产生负面影响,因此胁迫指标是很有用的指标,最好的快速评价方法需要将自然指标和胁迫指标结合起来。

2.2.4 指标赋值

快速评价方法对每一个指标赋值,然后计算总分值,根据每个湿地的最后得分对其作出健康诊断。因此快速评价方法必须建立一个赋分的办法,通常的办法是将评价问题的答案分成几个等级,然后给每一等级赋一个分值。例如,评价一个湿地周边平均缓冲区的宽度可以用分级方法来打分,如“窄”(10 ~ 25 m)、“中”(25 ~ 75 m)或“宽”(大于 75 m)。这种方法可以降低打分的变异性,减少测量误差,不同的人能得到同样的答案使得结果的重复性好。

2.2.5 可验证性

建立一个快速评价方法的核心是它要能用更广泛的生态评价数据来验证(Level III 评价方法如 IBI 或 HGM 方法获得的数据)。必须建立快速评价方法与 Level III 数据之间的关系,以便能将快速方法得到的结果进行外推得到更详细的评价结果。

2.3 Level III 评价方法

该水平的评价方法对湿地的生物、物理、化学性质进行定量的测定,是劳动强度较大且花费较高的一种野外评价方法。现在应用得较多的有两类 Level III 方法,即水文地貌法(hydrogeomorphic, HGM)和生物完整性指数法(indexes of biological integrity, IBI)。

2.3.1 HGM 评价方法

HGM 是一种以功能评价为基础的湿地健康评价方法,在美国陆军兵工署航道实验站湿地研究计划资助下,Brinson^[28]和 Smith^[29]等人逐步开发完善了湿地评价水文地貌分类(HGM)技术。该方法把地貌、水源与输送和水动力特征看成是湿地的 3 个同等重要的基本属性,根据这 3 个属性对区域内的湿地进行分类。该方法可以对一个大尺度地理区域内的诸多湿地进行定量的、一致的评价。HGM 方法选取景观内同一类型湿地中未受影响或受影响很小的湿地作为参考湿地,以此为标准建立模型度量待评价湿地的健康状况。

HGM 方法包括 3 个步骤:(1)根据地貌、水文和水文动态特征把湿地分为不同的湿地类型,以便于在同一湿地类型内进行评价。根据 HGM 可以将湿地分成几个大类,包括低洼地、河口湖泊边缘地、斜坡、河岸带等^[29]。在每一个大类下还可以分成很多亚类。(2)确定湿地功能的表示方式,并确定表达这些功能的变量,即能够直接或间接测量的湿地属性。利用这些变量建立评价模型并计算功能指数(Functional Capacity Indices, FCI)。(3)选择参考湿地,利用参考湿地建立功能标尺。参考湿地一般指那些能自我维持、代表同类湿地中最佳健康水平的未受干扰或受人类影响很小的湿地。并利用参考湿地的数据对模型进行校准,并以参考湿地为标准进行比较评价。

HGM 模型的开发是一个循环的过程,这样就可以根据数据和专家意见对模型进行仔细的修正和校准,且该方法是一种定量的客观评价方法。一旦建立了评价模型,就能迅速的对湿地进行一致的评价,且结果重现性好。但 HGM 模型的开发费用高,参考湿地的选择需耗费大量时间和财力,且其测定的功能和评价的结果既复杂又费解,不能如管理目标预期的那样获得重要的功能。此外,HGM 不能在不同类型的湿地之间进行比较评价,也不能很好的评价那些受人类高度影响的湿地,如城市湿地。城市湿地的某些功能要高于参考湿地,但较之参考标准,无论正负偏离,HGM 模型都会给出一个低的评价,这会导致这类湿地得到的功能等级低,而与事实相违背。

2.3.2 IBI 方法

生物完整性指数法 IBI(indexes of biological integrity)是一种生物评价方法。IBI 由 Karr^[30]首次提出,当时是用鱼类来划分河流系统的质量等级的。随后,美国的研究者们尝试将 IBI 评价方法的生物类群扩大并应用

于湿地系统,包括脊椎动物、藻类、植物、鸟类等^[31]。IBI 是利用一系列与人类干扰密切相关的生物属性来构建的一个多测度指标,一般采用 8~12 个对人类干扰敏感的生物属性来构建多测度指标。IBI 方法的关键就是要确定组成多测度指标的各生物属性,即与人类干扰密切相关的生物属性。自然变化对其影响很小,且其测量是经济有效的,这些生物属性被称之为“测度”,并将这些测度合并成一个区域适合的参数^[32]。多测度指标将几个生物属性整合在一起用来指示湿地的健康状况,它们对胁迫生物系统的许多因子(物理的,化学的,生物的)都很敏感,且这些指标易于测量和解释^[32]。

IBI 方法是一种强度较大的小尺度湿地健康评价方法,需要进行实地调查和取样测定,劳动强度相对较大,其具体步骤见图 1^[25]。首先要对待评价区域内的湿地进行分类,因为湿地生物评价只能在同一湿地类型之间比较它们的健康状况。分类后在同一类型中选择待评价的目标湿地,然后收集这些地区的土地利用和栖息地信息,并建立人类干扰梯度。应用 IBI 方法需要确定一种或几种生物类群来进行评价,现在还不清楚哪类生物用于湿地生物评价是最好的。因为湿地类型不同,合适的生物也不一样,因此建立一个 IBI 方法首先就要仔细考虑所选生物类群的优缺点。确定了生物类群后则需进一步确定各类生物属性,取样测定这些生物属性,然后根据人类干扰下各类生物属性的反应,选择那些与人类干扰密切相关的属性构建多指标测度。对多数生物种类而言,至少应该确定和选择 5 个(最好是 8~12 个)测度来构建一个多测度指标。对每一个所选的属性进行打分,各个属性得分总和则为该湿地的 IBI 值。

虽然 IBI 方法强度较大、要求的人力物力较多,但 IBI 方法能提供一种直接测量水生植物和动物的方法,有效地用来确定胁迫反应的阈值,并能提高管理决策的信心^[33,34];且 IBI 的结果直观,能引起参与的公众以及其他缺乏专业的环境知识而又想参与湿地保护的那些人的共鸣^[35]。由于具有这些优点,IBI 得到了广泛的应用,在美国应用湿地生物评价方法进行湿地健康评价的 10 个州中,有 9 个州采用的即为 IBIs 方法^[36]。

3 总结

本文所介绍的 3 个水平的评价方法各有其优缺点及各自适用的范围,应根据评价目的来选择合适的方法。例如,如果要评价较大地理单元内诸多湿地的健康状况,且可获得评价对象的 GIS 数据和遥感数据,对评价结果精度要求不高,那么我们就可以选择 Level I 评价方法;若需对一个或少量的湿地健康状况进行快速评价、又要求花费又少时,则应选择 Level II 评价方法;而当要求做出高精度的评价,而人力物力资源又恰好能满足要求时,就可以选择 Level III 评价方法,而选择 HGM 方法还是 IBI 方法对湿地进行评价,需根据具体情况来定。同时,每一种方法都是可以用其它方法来验证的,例如,快速评价方法(Level II)可以用来检验 Level I;同样,生物评价方法(Level III)则可以用来校准和验证快速评价方法。总之,不存在普遍适用的评价方法,应用时需要根据评价目的,能获取的资源等来选择适合的评价方法,并尽量将多种方法相结合以保证湿地健康评价的结果准确、客观。

湿地生态系统健康评价的最终目的是为了退化湿地的恢复和管理,并实现湿地健康的可持续性。把湿地生态系统健康评价作为实现湿地管理目标的工具,可以为湿地管理提供新的思路和方法。然而目前我国开展的湿地生态系统健康评价研究一般是围绕科研项目进行,对于湿地恢复和湿地监测没有较强的实用性,针对性也不强。此外,由于湿地类型不同,湿地所处地理位置不同,评价目的、评价标准以及评价方法等的不同,得

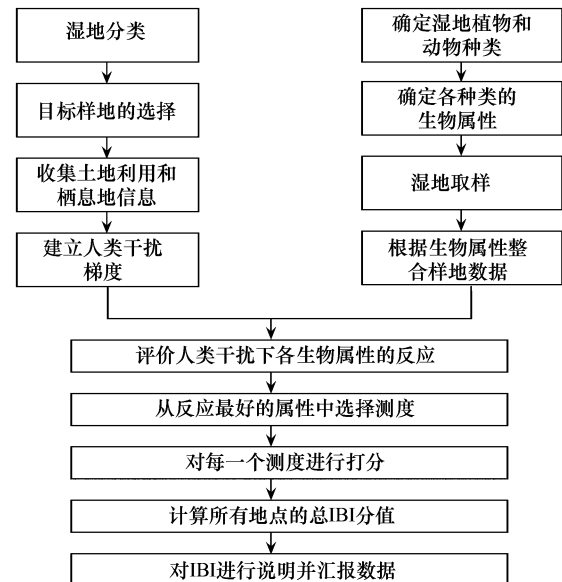


图 1 构建属性测度及 IBI 的步骤^[33]

Fig. 1 Sequence of activities in developing metrics and IBI^[33]

出的评价结果也可能相差甚大^[2,4,7,37]。我国的湿地评价工作还仅局限于对单一湿地进行评价,没有在流域水平或景观水平上的综合评价即到目前为止还没有对省或全国水平上的某一类型湿地进行过整体评价。而美国的研究人员在 EPA 的组织下,已经进行了大尺度上的湿地健康评价。一般是根据评价目的不同,对州范围内的同类型湿地进行统一的、整体的评价,如 Genet and Olsen 利用植物和大型无脊椎动物的 IBI 对明尼苏达州的 100 多个低洼湿地进行了评价^[38],Mack 等则利用 VIBI(植物生物完整性指数法)对俄亥俄州的湖滨沼泽地进行了评价^[39],这样的评价结果有利于对湿地恢复项目和湿地监测工作进行指导。但不论是我国还是美国,所评价的都是同一类型的湿地,而不同类型的湿地由于其地质、土壤、水文、动植物等都不同,是难以用同一个指标体系进行评价的。

由于生态系统具有高度复杂性,所以必须用综合方法而不是单一方法来揭示生态系统发生、发展过程的一般模式与规律。

References:

- [1] Chen Z X, Zhang X S. The value of Chinese ecosystem service. *Chinese Science of Bulletin*, 2000, 45 (1): 17—22.
- [2] Jiang W G, Li J, Li J H, *et al.* Assessment of wetland ecosystem health in the Liaohe River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (3): 408—414.
- [3] Cui B S, Yang Z F. Establishing and indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands. I. A theoretical framework, 2002, 22 (7): 1005—1011.
- [4] Yuan X Z, Liu H, Lu J J. Assessment of ecosystem health-concept framework and indicator selection. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12 (4): 628—629.
- [5] Wang C H, Wang K L, Xu L F. The assessment indicators of wetland ecosystem health. *Territory & natural resources study*, 2003, 4: 63—64.
- [6] Keiter R B. Ecosystems and the law: toward an integrated approach. *Ecological Applications*, 1998, 8(2): 332—341.
- [7] Cui B S, Yang Z F. Research review on wetland ecosystem health. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20 (3): 31—36.
- [8] U. S. Environmental Protection Agency. Application of elements of a state water monitoring and assessment program for wetlands. Wetlands Division, USEPA, Washington, D. C. Washington State Department of Ecology. 1993. Washington State Wetlands Rating System: Western Washington. Second Edition. Publication #93-74. Washington State Department of Ecology, Olympia, WA, 2006
- [9] Brown M T, Vivas M B. Landscape development intensity index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 101: 289—309.
- [10] Whitfield D F. 'Energy Basis for Urban Land Use Patterns in Jacksonville, FL', *MA Dissertation*, Department of Landscape Architecture, University of Florida. Gainesville, 1994, 259
- [11] Brandt-Williams S. Emergy of Florida Agriculture, Folio #4, Handbook of Emergy Evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios, Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, 2002, 40.
- [12] Bedford B L, Preston E M. Developing the scientific basis for assessing cumulative effects of wetland loss and degradation on landscape functions: Status, perspectives, and prospects. *Environmental Management*, 1988, 12 (5): 751—772.
- [13] <http://www.merriam-webster.com/dictionary/synoptic>
- [14] Preston E M, Bedford B L. Evaluating cumulative effects on wetland functions: A conceptual overview and generic framework. *Environmental Management*, 1988, 12 (5): 565—583.
- [15] Abbruzzese B, Leibowitz S G. A synoptic approach for assessing cumulative impacts to wetlands. *Environmental Management*, 1997, 21(3): 457—475.
- [16] Fennessy M S, Jacobs A D, Kentula M E. Review of Rapid Methods for Assessing Wetland Condition. EPA/620/R-04/009. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C, 2004.
- [17] Fennessy M S, Geho R, Elfritz B, *et al.* Testing the Floristic Quality Assessment Index as an Indicator of Riparian Wetland Disturbance. Final Report to U. S. Environmental Protection Agency. Ohio Environmental Protection Agency, Wetlands Unit, Division of Surface Water. Grant CD995927, 1998.
- [18] Van Dam R A, Camilleri C. The potential of rapid assessment techniques as early warning indicators of wetland degradation: a review. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 1998, 13: 297—312.
- [19] Bartoldus C C. A comprehensive review of wetland assessment procedures: A guide for wetland practitioners. Environmental Concern, Inc., St. Michaels, Maryland, 1999.

- [20] Mack J J, Augusta M M L, Sablak G R. Vegetation Indices of Biotic Integrity (VIBI) for Wetlands and Calibration of the Ohio Rapid Assessment Method for Wetlands v. 5.0. Final Report to U. S. EPA. Ohio Environmental Protection Agency, Division of Surface Water, 401 Wetland Ecology Unit, Columbus, Ohio, 2000.
- [21] Jacobs A D. Working Draft. Delaware Rapid Assessment Procedure. Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control, Dover DE, 2003.
- [22] Lodge T E, Hillestad H O, Carney S W, *et al.* Wetland quality Index (WQI): A method for determining compensatory mitigation requirements for ecologically impacted wetlands. Proceedings of the American Society of Civil Engineers South Florida Section Annual Meeting, 1995, Sept 22–23, 1995. Miami, FL.
- [23] Hicks A L, Carlisle B K. Rapid Habitat Assessment of Wetlands, Macro-Invertebrate Survey Version: Brief Description and Methodology. Massachusetts Coastal Zone Management Wetland Assessment Program, Amherst, MA, 1998.
- [24] Burglund J. Montana Wetland Assessment Method. Montana Department of Transportation and Morrison-Maierle, Inc., Helena, MT, 1999.
- [25] Mack J J. Ohio Rapid Assessment Method for Wetlands v. 5.0; User's Manual and Forms. Ohio EPA Technical Report WET/2001-1. Ohio Environmental Protection Agency Division of Surface Water, 401/Wetland Ecology Unit, Columbus, OH, 2001.
- [26] Brooks R P, Wardrop D H, Bishop J A. Watershed-Based Protection for Wetlands in Pennsylvania: Levels 1 & 2-Synoptic Maps and Rapid Field Assessments, Final Report. Report No. 2002-1 of the Penn State Cooperative Wetlands Center, University Park, PA 16802, 2002, 64.
- [27] Washington State Department of Ecology. Washington State Wetlands Rating System; Western Washington. Second Edition. Publication #93-74. Washington State Department of Ecology, Olympia, WA, 1993.
- [28] Brinson M M. A hydrogeomorphic classification for wetlands. Technical Report WRP-DE-4, US Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 1993.
- [29] Smith R D, Ammann A, Bartoldus C, *et al.* "An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices," Technical Report WRP-DE-9, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1995.
- [30] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries, 1981, 6 (6):21–27.
- [31] DeKeyser E S, Kirby D R, Ell M J. An index of plant community integrity: development of the methodology for assessing prairie wetland plant communities. Ecological Indicators, 2003, 3: 119–133.
- [32] Karr J R, Chu E W. Restoring Life in Running Waters; Better Biological Monitoring. Washington, D C: Island Press, 1999.
- [33] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, *et al.* Assessment of biological integrity in running waters. A method and its rationale. Illinois Nat Hist Surv Spec Publ 5, 1986.
- [34] Simon T P and Davis W S eds. Biological Assessment and Criteria: tools for water resource planning and decision-making. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL, 1995.
- [35] Gernes M C and Helgen J C. Indexes of biological integrity (IBIs) for large depressional wetlands in Minnesota. Minnesota Pollution Control Agency, St. Paul, MN. Final Report to US EPA, Federal Assistance #CD995525-01, 1999.
- [36] Teels B, Adamus P. Methods for Evaluating Wetland Condition: Developing Metrics and Indexes of Biological Integrity. Office of Water, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-822-R-02-016, 2002.
- [37] Shen D Y, Zhong P. Application of ecosystem health assessment in wetland management. Wetland and Science & Management, 2008, 4(3): 30–33.
- [38] Genet J A, Olsen A R. Assessing depressional wetland quantity and quality using a probabilistic sampling design in the Redwood River watershed, Minnesota, USA. Wetlands, 2008, 28 (2): 324–325.
- [39] Mack J J, Avdis N H, Bragi IV E C, *et al.* Application of a vegetation-based index of biotic integrity for Lake Erie coastal marshes in Ohio. Aquatic Ecosystem Health & Management, 2008, 11 (1): 91–104.

参考文献:

- [1] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45 (1): 17–22.
- [2] 蒋卫国, 李京, 李加洪, 等. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价. 生态学报, 2005, 25 (3): 408–414.
- [3] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论. 生态学报, 2002, 22(7): 1005–1011.
- [4] 袁兴中, 刘红, 陆健健. 生态系统健康评价——概念构架与指标选择. 应用生态学报, 2001, 12 (4): 628–629.
- [5] 汪朝辉, 王克林, 许联芳. 湿地生态系统健康评估指标体系研究. 国土与自然资源研究, 2003, 4: 63–64.
- [7] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展. 生态学杂志, 2001, 20(3): 31–36.
- [36] 申德铁, 衷平. 生态健康评价在湿地管理中的应用. 湿地科学与管理, 2008, 4(3): 30–33.