

南水北调中线工程对具入侵性植物传播的潜在影响评估

何志恒¹, 张全发^{1*}

(1. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 南水北调中线工程为水源区丹江口库区植物提供了水流这一新的传播途径。筛选了在丹江口库区分布而尚未在工程沿线及受水区分布的植物, 利用修正后的杂草风险评估系统(weed risk assessment, WRA)评估这些植物的人侵性, 并结合水流传播途径和营养繁殖特征, 应用一个附加筛选系统进一步评估了这些植物人侵工程沿线和受水区的能力。结果表明: 共有 145 种水源区库区植物尚未在工程沿线及受水区分布, 其中 60 种(41.4%)植物不具有人侵性, 63 种(43.4%)植物需要进一步的野外调查或者试验, 7 种(4.8%)植物具有潜在人侵性, 15 种(10.3%)植物需要更多的信息才能进行评估。具有潜在人侵性的物种均为水生或者湿生植物, 表明该工程的实施将可能对输水沿线及受水区的湿地和水生生态系统产生影响。

关键词: 跨流域调水; 杂草风险评估系统; 生物人侵; 丹江口库区

中图分类号: Q948.13

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2007)04-0335-08

Assessment of the South-to-North Water Transfers Project (Middle-Route) on the Invasion of Plant Species

HE Zhi-Heng¹, ZHANG Quan-Fa^{1*}

(1. Wuhan Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The South-to-North Water Transfers Project will provide a new pathway—water dispersal—for plant invasion. We compared the difference in flora between the water supplying area (i. e., Danjiangkou Reservoir Region) and water receiving areas of the project. A modified Australian and New Zealand weed risk-assessment system (WRA) were used to identify vascular plants, which occurring in the water supplying area but absent in the water receiving areas with potential invasiveness. Consequently, a secondary screening system concerning the dispersal and productive capacities was applied for further evaluation. There are 145 species absent in the water receiving areas in the Danjiangkou Reservoir Region. Of which, 40.8% were non-invasive plants, 43.5% required further investigation, and 7 species were invasive. These 7 species were aquatic and wetland species implying that the project might influence the wetland and aquatic ecosystems in the water receiving areas.

Key words: Interbasin water transfer; Weed risk-assessment system; Biological invasion; Danjiangkou Reservoir Region

生物人侵是指在自然、半自然生态系统或生境中, 外来物种建立种群并影响和威胁到本地生物多样性的过程。生物人侵是一个复杂的链式过程, 分为外来种的引入、初期定居与成功建立种群、时滞、扩散及暴发四个阶段^[1]。人侵物种在新的地区扩散及种群暴发, 会给当地的生态环境造成危害, 导致整个生态系统结构和功能的变化^[2,3]。随着全球经济一体化进程的加快, 人类的贸易和交通活动促进了各地区间的物种交流, 扩大了生物人侵的地理范围。生物人侵已成为当前全球三大环境问题之一,

并被广泛地视为全球变化的重要组成部分^[4-7]。

生物人侵的防治重点在于预防, 目前已有多种预测人侵植物的方法, 但在早期多着眼于分析人侵植物的生物学特征。Gray^[8]最早对人侵植物的特征进行了归纳总结。Baker^[9]列出杂草性物种的特征目录, 认为较多符合这些特征的植物更可能成为人侵植物。但是后来的研究也发现, 许多非人侵植物同样具有目录上的很多特征, 而一些人侵植物却仅有少数几个特征。Perrins 等^[10]认为不可能单纯根据生物学特征就能将杂草和非杂草区别开来。因此

收稿日期: 2006-12-06, 修回日期: 2007-01-22。

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目(0629221C21)资助。

作者简介: 何志恒(1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事生物人侵研究。

* 通讯作者(E-mail: qzhang@wbgcas.cn)。

结合入侵生物的相关生物学特征、物种来源地和目的地的气候特征以及进化史来创建预测模型^[11-13]，从而评估植物的入侵性成为现行研究的重点。研究表明，在入侵的不同阶段，入侵植物的重要特征是不同的，因此许多研究者采用定量的方法来预测入侵植物^[14,15]。Daehler 等^[16,17]的研究表明利用 WRA 系统及一个附加的筛选系统评估夏威夷和太平洋群岛上的外来入侵植物，与采用定性方法的专家系统和定量方法的决策树相比可以获得较高的筛选入侵植物的正确率。

生物入侵都是人类有意无意的活动所造成的，外来种的风险评估系统则为预测新的物种传入提供了参考。我国正在实施兴建的南水北调中线工程，是一项解决我国华北水资源危机的重大基础设施。该工程总干渠全长约 1276 km，连接湖北、河南、河北、北京和天津 5 省市。总干渠自渠首至北拒马河河段采用明渠自流输水，北京段采用 PCCP 管和暗涵结合的加压输水方式。水源地的物种可通过输水系统向北传播，因此，工程的实施为物种的传播提供了一个新的途径，并由此可能改变受水区和输水沿线地区生态系统的组成、结构，进而影响生态系统的功能。本研究旨在通过筛选尚未在南水北调中线工程受水区及沿线地区分布的水源区植物，应用杂草风险评估系统 (WRA) 及附加筛选系统评估这些植物的入侵性，并分析其对受水区及输水沿线生态系统的潜在影响，从而为预防南水北调工程所引起的有害生物传播提供理论基础。

1 研究区概况

南水北调中线工程总干渠沿线及受水地区地处东亚季风气候区，四季分明。总干渠从南到北，分属湿润、半湿润、半干旱地区，沿线降水自南向北递减^[18]。多年平均降水量在长江流域境内为 838 mm，到石家庄减至 500 mm。降水主要集中在 4~9 月。气温由南向北递减，例如供水区南阳多年平均气温 14.8℃，极端最高气温 41.4℃，极端最低气温 -17.6℃；受水区北京多年平均气温 11.3℃，年极端最高气温一般在 35~40℃ 之间，年极端最低气温在 -14~ -20℃ 之间。总干渠沿线穿过 688 条河流，其中河渠交叉建筑物以上集水面积大于 20 km² 的河流 189 条，小于 20 km² 的河流 499 条。干渠沿

线及受水区土壤主要有黄棕壤、褐土、潮土、砂姜黑土、盐碱土 5 个类型，沼泽土和水稻土零星分布¹⁾。

南水北调中线工程水源区湖北省丹江口库区位于豫鄂交界处，海拔约 300 m，西南部分毗邻鄂北低山丘陵，东北部分分属南阳盆地。该地区年平均气温 15.8℃，极端最高气温 42.6℃，极端最低气温 -13.2℃，1 月份平均气温 2.4℃，7 月份平均气温 28.4℃。无霜期为 228 d，初霜期约在 11 月上旬，终霜期约为 3 月下旬，热量多，霜期短，是全省最温暖的地方。年平均降水量为 804.3 mm，多集中在 7~9 月，约占全年降水量的 49%^[19]。

2 研究方法

2.1 筛选干渠沿线及受水区尚未分布的水源区物种及评估植物入侵性的资料来源

根据中国植物志^[20]，中国高等植物数据库全库^[21]，湖北省野生动植物保护站提供的《湖北丹江口湿地省级自然保护区维管束植物名录》²⁾，结合刘文治等^[19]经过调查收集的库区湿地水生植物名录等数据资料，得到较完整的水源区物种分布资料。排除在水源区已分布、而在输水沿线及受水区（河南、河北、北京、天津）也有分布的物种，并对照河南、河北、天津及北京等地方植物志对结果进行校正。

搜集物种的生物地理特点、有害特征以及生物学和生态学特征等方面的资料运用 WRA 系统评估。本研究应用了中国植物图谱数据库^[22]、中国植物志^[20]、中国外来植物入侵信息系统^[23]、基础科学数据共享网生物学科数据分中心^[24]、中国西南种子植物资源基础数据库^[25]以及《中国水生高等植物图说》^[26]，尽可能搜集较为全面、准确的物种信息资料预测植物的入侵性。

2.2 应用修正后的杂草风险评估系统 (WRA) 评估物种的入侵性

WRA 系统是根据杂草的主要特征和影响提出的 49 个问题组成的。它是一个用来评定可能成为环境或者农业系统杂草物种的评分系统。这个系统在澳大利亚、新西兰和其他地区都得到了广泛验证^[12,16,17]。该系统根据影响植物成功入侵的特征将这些问题分为三个部分：①生物地理部分，②有害特征，③生物学或者生态学特征。并据每个问题对物

1) 长江水利委员会。南水北调中线工程规划(2001 年修订), 2002。

2) 湖北省野生动植物保护站。湖北丹江口湿地省级自然保护区维管束植物名录, 2005。

种成功入侵的影响权重给该问题相应的分值。该评分系统根据这些问题的答案赋予分值,计算总分,并设定关键分值0和6来评估可能成为环境或者农业系统杂草的物种。0分以下的物种不具有入侵性,0到6分之间需要进一步的野外调查或试验评估,6分及以上具有入侵性。本研究根据南水北调工程区的特点,对WRA系统中的气候、天敌进行了修正,评估工程沿线和受水区尚未存在的物种的入侵性。

2.3 结合南水北调中线工程为物种提供的传播途径的附加筛选系统进一步评估

研究采用Daehler等^[16,17]提出的附加筛选方法,评估经WRA筛选后仍需进一步评估的物种。本研究主要考虑南水北调中线工程的输水系统即水流对植物传播的影响,来进一步评估水源区物种的入侵性。此外,在对入侵物种的生物学特征进行研究时发现,营养繁殖是入侵物种与非入侵物种的重要区别特征之一^[10,27,28]。在水环境长距离传播中,

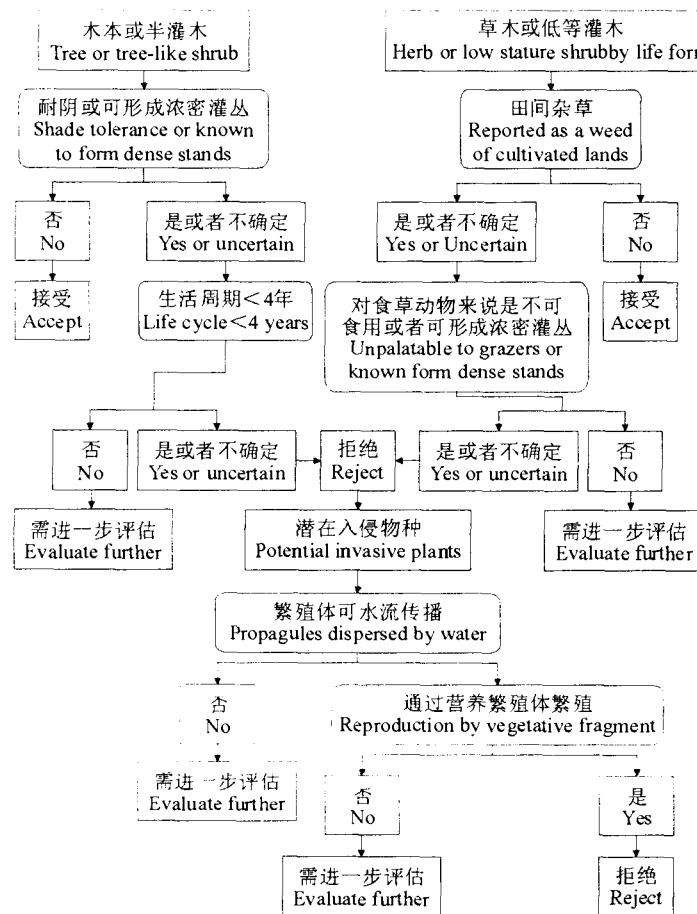
营养繁殖体相对种子而言更为有效^[29]。许多植物的营养繁殖体能终年通过水流传播^[30]。因此,本研究将营养繁殖作为植物入侵风险评估的另一个附加筛选条件。

本研究对经WRA评估得到的具潜在入侵性的物种,也应用水流传播途径和营养繁殖这两个筛选条件进一步评估。结合这两个筛选条件,运用附加筛选方法对经WRA预测得到的需进一步评估的物种和入侵物种进行进一步的评估(图1)。

3 结果与分析

3.1 植物入侵性的评估结果

经过第一步的物种筛选,得到145种在南水北调中线工程水源区丹江口库区分布,而在工程沿线及受水区尚未分布的物种(表1)。利用WRA及附加筛选系统对145个物种进行分析,结果表明:60种(41.4%)植物不具有入侵性,63种(43.4%)植物



拒绝:代表物种具有入侵性;需进一步评估:代表仍需要野外调查或试验来进一步评估物种
Reject = invasive plants; Evaluate further = more field investigations or trials

图1 用于进一步筛选南水北调中线工程影响下物种潜在入侵性的“决策树”^[16]

Fig. 1 Decision tree used for assessment of the plant species' invasiveness with respect to the new pathway for the migration by the implementation of the middle-route of South-to-North Water Transfers Project^[16]

表1 南水北调中线工程水源区植物入侵性评估结果

Table 1 Invasive assessment using the modified Weed Risk Assessment on the plants occurring in the water supplying area but absent in the water receiving areas of the Middle Route of the South-to-North Water Transfers Project

科名 Family	种名 Species	修正WRA得分 Modified WRA score	结果 Results
松科 Pinaceae	金钱松 <i>Pseudolarix amabilis</i>	0	需要进一步评估
	铁坚油杉 <i>Keteleeria davidiana</i>	-1	需要更多的信息
杉科 Taxodiaceae	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0	非入侵物种
金粟兰科 Chloranthaceae	丝穗金粟兰 <i>Chloranthus fortunei</i>	5	需要进一步评估
杨柳科 Salicaceae	意杨 <i>Populus euramericana</i>	0	需要更多的信息
桦木科 Betulaceae	狭叶鹅耳枥 <i>Carpinus fargesiana</i> var. <i>hwai</i>	-5	非入侵物种
壳斗科 Fagaceae	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	-4	非入侵物种
	尖齿高山栎 <i>Quercus acrodonta</i>	0	需要更多的信息
	短柄枹栎 <i>Q. serrata</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0	需要更多的信息
	锥栗 <i>Castanea henryi</i>	1	需要更多的信息
	无柄爬藤榕 <i>Ficus sarmentosa</i> var. <i>luducca</i> f. <i>sessilis</i>	-4	非入侵物种
桑科 Moraceae	构棘 <i>Cudrania cochinchinensis</i>	3	需要进一步评估
	地果 <i>Ficus tikoua</i>	1	需要进一步评估
	紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>	-3	非入侵物种
荨麻科 Urticaceae	南川楼梯草 <i>Elatostema nanchuanense</i>	-2	非入侵物种
	小赤麻 <i>Boehmeria spicata</i>	0	非入侵物种
	小赤车 <i>Pellionia minima</i>	1	非入侵物种
	石筋草 <i>Pilea plataniflora</i>	2	需要进一步评估
	毛花点草 <i>Nanocnide lobata</i>	2	需要进一步评估
	序叶苎麻 <i>B. clidemoides</i> var. <i>diffusa</i>	3	需要进一步评估
	异叶马兜铃 <i>Aristolochia kaempferi</i> f. <i>heterophylla</i>	3	需要进一步评估
	愉悦蓼 <i>Polygonum jucundum</i>	2	非入侵物种
	长萼石竹 <i>Dianthus longicalyx</i>	1	需要更多的信息
毛茛科 Ranunculaceae	西南唐松草 <i>Thalictrum fargesii</i>	0	需要进一步评估
	巴山铁线莲 <i>Clematis pashanensis</i>	0	需要进一步评估
	卵瓣还亮草 <i>Delphinium anthriscifolium</i> var. <i>calleryi</i>	1	需要进一步评估
	单叶铁线莲 <i>Clematis henryi</i>	5	非入侵物种
	秦岭铁线莲 <i>C. obscura</i>	5	非入侵物种
	五叶木通 <i>Akebia quinata</i>	14	需要进一步评估
	川鄂淫羊藿 <i>Epimedium fargesii</i>	-4	非入侵物种
	黔岭淫羊藿 <i>E. leptorrhizum</i>	-4	非入侵物种
	四川淫羊藿 <i>E. sutchuenense</i>	-4	非入侵物种
	南天竹 <i>Nandina domestica</i>	3	非入侵物种
木通科 Lardizabalaceae	草质千金藤 <i>Stephania herbacea</i>	4	非入侵物种
	金线吊乌龟 <i>S. cepharantha</i>	10	需要进一步评估
	近轮叶木姜子 <i>Litsea elongata</i> var. <i>subverticillata</i>	-1	非入侵物种
	唐松草叶紫堇 <i>Corydalis thalictrifolia</i>	3	需要更多的信息
	冬青叶鼠刺 <i>Itea ilicifolia</i>	-4	非入侵物种
	插田泡 <i>Rubus coreanus</i>	7	需要进一步评估
	单瓣缫丝花 <i>Rosa roxburghii</i> f. <i>normalis</i>	6	需要进一步评估
	金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	5	非入侵物种
	细长柄山蚂蝗 <i>Podocarpium leptopus</i>	-3	非入侵物种
	大金刚藤 <i>Dalbergia dyeriana</i>	-2	非入侵物种
防己科 Menispermaceae	网络崖豆藤 <i>Millettia reticulata</i>	-2	非入侵物种
	直生刀豆 <i>Canavalia ensiformis</i>	1	非入侵物种
	常春油麻藤 <i>Mucuna semperflorens</i>	1	需要进一步评估
	葫芦茶 <i>Tadehagi triquetrum</i>	0	需要进一步评估
	中华胡枝子 <i>Lespedeza chinensis</i>	0	需要进一步评估
	秃叶黄檗 <i>Phellodendron chinense</i> var. <i>glabriusculum</i>	-2	非入侵物种
	裸芸香 <i>Psilopeganum sinense</i>	0	非入侵物种
	蚬壳花椒 <i>Zanthoxylum dissitum</i>	2	需要进一步评估
	毛叶花椒 <i>Z. bungeanum</i> var. <i>pubescens</i>	2	需要进一步评估

续表1

科名 Family	种名 Species	修正WRA得分 Modified WRA score	结果 Results
楝科 Meliaceae	毛红椿 <i>Toona ciliata</i> var. <i>pubescens</i>	-2	非入侵物种
黄杨科 Buxaceae	大花黄杨 <i>Buxus henryi</i>	-2	非入侵物种
	野扇花 <i>Sarcococca ruscifolia</i>	-4	非入侵物种
卫矛科 Celastraceae	过山枫 <i>Celastrus aculeatus</i>	-4	非入侵物种
	昆明山海棠 <i>Tripterygium hypoglauicum</i>	0	需要进一步评估
	雷公藤 <i>T. wilfordii</i>	1	需要进一步评估
无患子科 Sapindaceae	复羽叶栾树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	-2	非入侵物种
清风藤科 Sabiaceae	鄂西清风藤 <i>Sabia campanulata</i> subsp. <i>ritchiae</i>	-2	非入侵物种
凤仙花科 Balsaminaceae	长距凤仙花 <i>Impatiens dolichoceras</i>	0	非入侵物种
	红棕凤仙花 <i>I. potaninii</i> f. <i>rudrobrunnea</i>	3	需要更多的信息
椴树科 Tiliaceae	糯米椴 <i>Tilia henryana</i> var. <i>subglabra</i>	-4	非入侵物种
	单毛刺蒴麻 <i>Triumfetta annua</i>	1	非入侵物种
	毛果田麻 <i>Corchoropsis tomentosa</i>	2	需要更多的信息
猕猴桃科 Actinidiaceae	美味猕猴桃 <i>Actinidia deliciosa</i>	0	需要更多的信息
山茶科 Theaceae	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	-3	非入侵物种
藤黄科 Cittiferae	密腺小连翘 <i>Hypericum seniavini</i>	-1	非入侵物种
堇菜科 Violaceae	长梗堇菜 <i>Viola grayi</i>	3	非入侵物种
	柔毛紫花堇菜 <i>V. grypoceras</i> var. <i>pubescens</i>	3	需要更多的信息
大风子科 Flacourtiaceae	柞木 <i>Xylosma racemosum</i>	2	需要进一步评估
瑞香科 Thymelaeaceae	岩杉树 <i>Wikstroemia angustifolia</i>	-4	非入侵物种
胡颓子科 Elaeagnaceae	宜昌胡颓子 <i>Elaeagnus henryi</i>	1	需要进一步评估
	披针叶胡颓子 <i>E. lanceolata</i>	1	需要进一步评估
	银果牛奶子 <i>E. magna</i>	6	需要进一步评估
谷精草科 Eriocaulaceae	华南谷精草 <i>Eriocaulon sexangulare</i>	11	需要进一步评估
	谷精草 <i>E. buergerianum</i>	12	需要进一步评估
	白药谷精草 <i>E. cinereum</i>	7	需要进一步评估
	大百部 <i>Stemona tuberosa</i>	3	非入侵物种
	圆叶节节菜 <i>Rotala rotundifolia</i>	8	入侵物种
百部科 Stemonaceae	棘茎楤木 <i>Aralia echinocaulis</i>	-2	非入侵物种
千屈菜科 Lythraceae	破铜钱 <i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> var. <i>batrachium</i>	6	需要进一步评估
五加科 Araliaceae	百两金 <i>Ardisia crispa</i>	5	需要进一步评估
伞形科 Umbelliferae	硃砂根 <i>A. crenata</i>	2	需要进一步评估
紫金牛科 Myrsinaceae	异花珍珠菜 <i>Lysimachia crispidens</i>	1	非入侵物种
报春花科 Primulaceae	野茉莉 <i>Styrax japonicus</i>	1	需要进一步评估
安息香科 Styracaceae	小蜡 <i>Ligustrum sinense</i> var. <i>sinense</i>	1	需要进一步评估
木犀科 Oleaceae	湖北络石 <i>Trachelospermum gracilipes</i> var. <i>hupehense</i>	0	非入侵物种
夹竹桃科 Apocynaceae	贯筋藤 <i>Dregea sinensis</i> var. <i>corrugata</i>	2	需要进一步评估
萝藦科 Asclepiadaceae	狭叶白前 <i>Cynanchum stenophyllum</i>	2	非入侵物种
旋花科 Convolvulaceae	土丁桂 <i>Evolvulus alsinoides</i>	1	需要进一步评估
紫草科 Boraginaceae	光叶粗糠树 <i>Ehretia macrophylla</i> var. <i>glabrescens</i>	-2	非入侵物种
马鞭草科 Verbenaceae	黄荆 <i>Vitex negundo</i>	3	非入侵物种
	过江藤 <i>Phyla nodiflora</i>	9	入侵物种
唇形科 Labiatae	光萼血见愁 <i>Teucrium viscidum</i> var. <i>leiocalyx</i>	3	需要进一步评估
	紫背鼠尾草 <i>Salvia cavaleriei</i> var. <i>erythrophylla</i>	1	需要进一步评估
	血盆草 <i>S. cavaleriei</i> var. <i>simplicifolia</i>	1	非入侵物种
	镰叶动蕊花 <i>Kinostemon ornatum</i> f. <i>falcatum</i>	0	需要更多的信息
茄科 Solanaceae	佛光草 <i>Salvia substolonifera</i>	-2	需要更多的信息
玄参科 Scrophulariaceae	小米椒 <i>Capsicum frutescens</i>	2	需要进一步评估
	假马齿苋 <i>Bacopa monnieri</i>	14	入侵物种
	山萝卜钝叶变种 <i>Melampyrum roseum</i> var. <i>obtusifolium</i>	-1	非入侵物种
	腹水草 <i>Veronicastrum stenostachyum</i> subsp. <i>plakenetii</i>	1	非入侵物种
	裂叶地黄 <i>Rehmannia piasezkii</i>	3	需要更多的信息
	旱田草 <i>Lindernia ruellioidea</i>	8	需要进一步评估
	紫苏草 <i>Limnophila aromatica</i>	7	需要进一步评估

续表 1

科名 Family	种名 Species	修正WRA得分 Modified WRA score	结果 Results
狸藻科 Lentibulariaceae	黄花狸藻 <i>Utricularia aurea</i>	17	入侵物种
茜草科 Rubiaceae	水团花 <i>Adina pilulifera</i>	2	需要进一步评估
	长叶茜草 <i>Rubia dolichophylla</i>	5	需要进一步评估
	白花蛇舌草 <i>Hedychium diffusa</i>	12	需要进一步评估
	小叶猪殃殃 <i>Calium trifidum</i>	6	需要进一步评估
	纤花耳草 <i>Hedychium tenellifloa</i>	6	需要进一步评估
	广州蛇根草 <i>Ophiorrhiza cantoniensis</i>	-2	非入侵物种
忍冬科 Caprifoliaceae	双盾木 <i>Dipelta floribunda</i>	-3	非入侵物种
	金佛山莢蒾 <i>Viburnum chinshanense</i>	-3	非入侵物种
桔梗科 Campanulaceae	刺萼参 <i>Echinocodon lobophyllum</i>	-2	需要更多的信息
菊科 Compositae	华东蓝刺头 <i>Echinops grijsii</i>	3	非入侵物种
	南茼蒿 <i>Chrysanthemum segetum</i>	2	非入侵物种
	线叶菊 <i>Cirsium lineare</i>	10	需要进一步评估
禾本科 Gramineae	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	5	需要进一步评估
	圆果雀稗 <i>Paspalum orbiculare</i>	9	需要进一步评估
	乱草 <i>Eragrostis japonica</i>	6	需要进一步评估
	假俭草 <i>Eremochloa ophiuroidea</i>	11	需要进一步评估
	细长早熟禾 <i>Poa prolifior</i>	4	需要进一步评估
	臭根子草 <i>Bothriochloa bladhii</i>	5	需要进一步评估
	大狗尾草 <i>Setaria faberii</i>	5	需要进一步评估
	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	9	需要进一步评估
	溪边野古草 <i>Arundinella fluvialis</i>	-3	非入侵物种
	慈竹 <i>Neosinocalamus affinis</i>	5	非入侵物种
	毛金竹 <i>Phyllostachys nigra</i> var. <i>henonis</i>	1	非入侵物种
莎草科 Cyperaceae	短叶茳芏 <i>Cyperus malaccensis</i> var. <i>brevifolius</i>	13	入侵物种
	密穗砖子苗 <i>Mariscus compactus</i> var. <i>compactus</i>	11	入侵物种
	拟二叶飘拂草 <i>Fimbristylis diphylloides</i> var. <i>diphylloides</i>	13	需要进一步评估
	猪毛草 <i>Scirpus wallachii</i>	12	需要进一步评估
天南星科 Araceae	滴水珠 <i>Pinellia cordata</i>	8	需要进一步评估
	大薸 <i>Pistia stratiotes</i>	18	入侵物种
百合科 Liliaceae	土茯苓 <i>Smilax glabra</i>	7	需要进一步评估
	武当菝葜 <i>Smilax outansianensis</i>	3	需要进一步评估
	菝葜 <i>Smilax china</i>	12	需要进一步评估
	宜昌百合 <i>Lilium leucanthum</i>	5	非入侵物种
薯蓣科 Dioscoreaceae	绵萆薢 <i>Dioscorea septemloba</i>	3	非入侵物种
	山萆薢 <i>Dioscorea tokoro</i>	0	非入侵物种
	盾叶薯蓣 <i>Dioscorea zingiberensis</i>	5	需要进一步评估
姜科 Zingiberaceae	襄荷 <i>Zingiber mioga</i>	11	需要进一步评估
	阳荷 <i>Zingiber striolatum</i>	4	非入侵物种

要进一步的野外调查或者试验,7种(4.8%)植物具有潜在入侵性,15种(10.3%)植物由于无法根据搜集的资料回答系统要求的、最少的问题而不能进行评估。

3.2 植物入侵特征分析

本研究从植物的生物学/生态学特征、自然地理分布状况等方面对经风险评估得到的潜在入侵植物进行验证^[9,31]。初步验证表明这些物种具有通过新的传播途径产生入侵的可能性。

圆叶节节菜(*Rotala rotundifolia*)、短叶茳芏(*Cyperus malaccensis* var. *brevifolius*)、密穗砖子苗

(*Mariscus compactus*)、假马齿苋(*Bacopa monnieri*)、黄花狸藻(*Utricularia aurea*)、过江藤(*Phyla nodiflora*)和大薸(*Pistia stratiotes*)这7种潜在入侵植物均自然分布地区广、具水流传播特性、可营养繁殖、不需要特别的传粉与传播机制等生物地理学及生物学特征(表2),并且均为农田杂草,可种子繁殖。圆叶节节菜容易成活,繁殖迅速,可快速占领新的生境。它与在我国各地皆有分布的、被列入世界100种恶性外来植物入侵名录^[9]的千屈菜(*Lythrum salicaria*)属同科植物。假马齿苋的主要化学成分是三萜皂苷类化合物,该化合物对神经系统、消化系统和血

表2 7种植物的入侵特征分析
Table 2 The analysis of invasive character of seven species

入侵草本植物学特征 Invasive character of plants	地理分布 区域广 Wide distribution	同属物种是 否是杂草 Congeneric weed	是否具水流 传播特点 Propagules dis- persed by water	是否具营养 繁殖特性 Vegetative reproduction	是否与本地 种不同属 Belonging to native genera	不需要特别的 传粉和传播机制 Non-specific mutualisms
圆叶节节菜 <i>Rotala rotundifolia</i>	是	是	是	是	否	是
短叶茳芏 <i>Cyperus malaccensis</i> var. <i>brevifolius</i>	是	是	是	是	否	是
密穗砖子苗 <i>Mariscus compactus</i>	是	是	是	是	是	是
假马齿苋 <i>Bacopa monnieri</i>	是	是	是	是	是	是
黄花狸藻 <i>Utricularia aurea</i>	是	是	是	是	否	是
过江藤 <i>Phyla nodiflora</i>	是	否	是	是	是	是
大薸 <i>Pistia stratiotes</i>	是	否	是	是	是	是

液循环系统等均有作用。过江藤耐阴,在贫瘠的土壤中也能生长,生长在田间或者公路旁,可被无意传播,通过除草剂能很好地控制,但却耐受或者受益于损伤、栽培或者火灾。大薸^[32],原产于巴西,喜高温多雨环境,在平静的水域中极易生长,由于其繁殖迅速,大量生长,堵塞了河流的航道,影响水产养殖,致使沉水植物死亡,破坏水生生态系统,已被我国列为入侵植物。

4 讨论

南水北调中线工程为物种传播提供了新的廊道。这条传播途径穿过长江、淮河、黄河、海河4条河流,跨越了我国南北气候的分界线秦岭淮河一线,打破了物种自然传播的地理障碍。工程总干渠沿线穿越众多的大小河流,沿线分布各大型的水库及平原洼地等流域系统,以及将因调水常年形成薄层积水土壤的过湿地段形成的湿地,为水源区入侵植物到达后的进一步扩散和繁殖提供了条件。

本研究评估了南水北调中线工程水源区植物的入侵性,分析了入侵植物可能对输水沿线及受水区的生态环境造成的影响,给跨流域调水工程的生态环境评价提供参考。本研究掌握了较全面的南水北调中线工程水源区湿地植物区系资料,对水源区湿地植物进行了较完整的人侵性评估。经评估得到的7种潜在入侵植物多生长于水田、池塘、湖泊、静水以及江边湿地等水位较稳定、水流速度缓慢的水域。由于水生环境的稳定性,这些物种可能适应工程沿线的湿生环境,对输水沿线系统的湿地或水生生态系统造成影响。圆叶节节菜、短叶茳芏、黄花狸藻等在工程沿线及受水区有同属物种,可能与当地同属近缘种杂交和基因渗入,将给土著种带来破坏性的后果,甚至灭绝。大薸已经被列为我国的外来入侵种,但是该物种主要生长在热带、亚热带地区,其是否将对我国北方水生生态系统造成危害尚需要进一

步研究。这7种植物均是农业杂草,对输水沿线及受水区的农田生态系统也会产生危害,给农业经济造成影响。

由于本研究所涉及的大部分物种的分布资料难搜集,无法对工程水源区库区湿地植物对输水沿线及受水区的气候适合度进行分析,因此按照WRA系统的要求,假设研究的所有物种都适应我国北方的温带气候。

跨流域调水工程给调水沿线或者整个流域的生态环境都可能造成重大影响,例如造成沿线土壤次生盐碱化、沼泽化;给沿线洼淀或湖库地区的水状态、水生生物、岸边生物等造成影响。水生生物随着水文体系的改变而迁移栖息地,甚至形成入侵,会给新的水域生态系统带来影响。研究多注重水生动物沿输水系统迁移形成入侵给调水沿线流域造成的影响。本研究采用WRA针对南水北调中线工程输水沿线及受水区进行植物入侵性的风险评估。水源区的非入侵性植物对工程全线不具有入侵性,7种具潜在入侵性的植物对输水沿线及受水区都具有潜在的入侵性。具体可能入侵的地区和生境还有待进一步研究。

致谢:程晓莉老师审阅论文初稿,黎明、李永泉、卜红梅、党海山、李思悦、曾少华、陈建军、谭香等给论文提出宝贵意见和建议,朱利川协助数据处理,刘文治、何亚婷给予帮助。

参考文献:

- [1] 徐汝梅.生物入侵数据集成、数量分析与预警 [M].北京:科学出版社,2003.
- [2] Mooney H A, Hobbs R J. Invasive Species in A Changing World [M]. Washington D C: Island Press,2000.
- [3] Sala, O E, Chapin F S, Armesto, J J, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Mooney H A, Oesterheld M, Poff N L, Sykes M T, Walker B H, Walker M, Wall D H. Global biodiversity scenarios for the year 2100 [J]. *Science*, 2000, 287: 1770-1774.
- [4] 李博,陈家宽.生物入侵生态学:成就与挑战 [J].世界科技研究与发展,2002,24:26-36.

- [5] Cohen A N, Carlton J T. Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary [J]. *Science*, 1998, **279**: 555 – 558.
- [6] Everett R A. Patterns and pathways of biological invasions [J]. *Trends Ecol Evol*, 2000, **15**: 177 – 178.
- [7] Huenneke L F. Outlook for plant invasions: interactions with other agents of global change [A]. In: Lukens J O, Thieret J eds. *Assessment and Management of Plant Invasions* [C]. Springer-Verlag, 1997. 95 – 103.
- [8] Gray A. The pertinacity and predominance of weeds [J]. *Am J Science Arts*, 1879, **18**: 161 – 167.
- [9] 徐汝梅, 叶万辉. 生物入侵理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [10] Perrins J, Williamson M, Fitter A. Do annual weeds have predictable characters? [J]. *Acta Oec*, 1992, **13**: 517 – 533.
- [11] Richardson D M, Cowling R M, Le Mertre D C. Assessing the risk of invasive success in *Pinus* and *Banksia* in South African mountain fynbos [J]. *J Veget Sci*, 1990, **1**: 629 – 642.
- [12] Tucker K C, Richardson D M. An expert system for screening potentially invasive alien plants in South African fynbos [J]. *J Envir Man*, 1995, **44**: 309 – 338.
- [13] Pheloung P C, Williams P A, Halloy S R. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions [J]. *J Envir Man*, 1999, **57**: 239 – 251.
- [14] Reichard S H. What traits distinguish invasive plants from non-invasive plants [A]. In: Lovich J J, Randall M, Kelley eds. *Proceedings of the California Pest Plant Council Symposium* [C]. Sacramento, CA, 1997, **96**: 31 – 38.
- [15] Reichard S H, Hamilton C W. Predicting invasions of woody plants introduced into North America [J]. *Cons Biol*, 1997, **11**: 193 – 203.
- [16] Daehler C C, Carino D A. Predicting invasive plants: prospects for a general screening system based on current regional models [J]. *Biol Inv*, 2000, **2**: 93 – 102.
- [17] Daehler C C, Denslow J S, Ansari S, Kuo H C. A risk-assessment system for screening out invasive pest plants from Hawaii and other Pacific Islands [J]. *Cons Biol*, 2004, **18**: 360 – 368.
- [18] 南水北调规划设计管理局. 南水北调中线工程 [EB/OL]. <http://www.nsbd.mwr.gov.cn/nsbd/intro/middle.html>.
- [19] 刘文治, 张全发, 刘贵华, 李天煜, 李伟, 吴文颖. 丹江口库区湿地水生维管束植物的区系研究 [J]. 武汉植物学研究, 2005, **23**: 449 – 454.
- [20] 中国植物志 [DB/OL]. <http://cvh.ibcas.ac.cn/zhiwuzhi/list.asp>.
- [21] 中国高等植物数据库全库 [DB/OL]. <http://www.bioinfo.cn/db05/KmzwSpecies.php>.
- [22] 中国植物图谱数据库 [DB/OL]. <http://www.plantpic.csdb.cn/>.
- [23] 中国外来植物入侵信息系统 [DB/OL]. <http://weed.njau.edu.cn/exowor/exoflora.htm>.
- [24] 基础科学数据共享网生物学科数据分中心 [DB/OL]. <http://www.bioinfo.cn/>.
- [25] 中国西南种子植物资源基础数据库 [DB/OL]. http://www.swplant.csdb.cn/SWChinaPlants/SWChina_Specieslist.asp?psearch=%BF%ED%C6%A4%BD%DB&psearchtype.
- [26] 颜素珠. 中国水生高等植物图说 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [27] Lodge D M. Biological invasions: lessons for ecology [J]. *Tree*, 1993, **8**: 133 – 137.
- [28] Goodwin B J, McAllister A J, Fahrig L. Predicting invasiveness of plant species based on biological information [J]. *Cons Biol*, 1999, **13**: 422 – 426.
- [29] Eriksson O. Evolution of seed dispersal and recruitment in clonal plants [J]. *Okios*, 1992, **63**: 439 – 448.
- [30] Boedeltje G, Bakker J P, Bekker R M, Groenendaal J M V, Soesbergen M. Plant dispersal in a lowland stream in relation to occurrence and three specific life-history traits of the species in the species pool [J]. *J Ecol*, 2003, **91**: 855 – 866.
- [31] Rejmanek M. Invasive plants: approaches and predictions [J]. *Aus Ecol*, 2000, **25**: 497 – 506.
- [32] Pitelka L F. Plant migration and climate change [J]. *Am Sc*, 1997, **85**: 464 – 474.