

## 洞庭湖区不同退田还湖模式下湿地植被恢复特征的比较\*

任 勃<sup>1,2,3</sup>, 李 峰<sup>2,3</sup>, 谢永宏<sup>2,3\*\*</sup>, 陈心胜<sup>2,3</sup>, 侯志勇<sup>2,3</sup>, 李 旭<sup>2,3</sup>

(1: 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128)

(2: 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125)

(3: 中国科学院亚热带农业生态研究所洞庭湖湿地生态系统观测研究站, 长沙 410125)

**摘 要:** 以2006年野外调查资料为依据, 对洞庭湖区3种“双退”恢复模式(自然恢复、种植荻和种植杨树)下的植被特征进行了比较分析。结果表明, 自然恢复模式下的物种数最为丰富, 达79种, 而种植荻模式下的物种数最为稀少, 仅36种; 自然恢复模式下湿生植物种类最为丰富, 占物种总数的81.0%, 而种植杨树和荻模式下所占比例分别为78.7%和69.4%; 群落类型以自然恢复模式下最为丰富, 达11种, 其中水生植物群落类型3种, 而种植杨树和荻模式下的群落种类分别为8种和1种; 各群落间生产力水平差异显著, 以种植杨树模式下群落生产力最高, 而多样性水平以种植荻模式下最低。结果表明, 从植被特征角度来看, 自然恢复模式为3种“双退”模式中的最优恢复模式。

**关键词:** 洞庭湖; 退田还湖; 植被特征; 恢复生态

## Comparison between the characteristic of wetland vegetations under different restoration modes after returning farmland to lake in the Lake Dongting area

REN Bo<sup>1,2,3</sup>, LI Feng<sup>2,3</sup>, XIE Yonghong<sup>2,3</sup>, CHEN Xinsheng<sup>2,3</sup>, HOU Zhiyong<sup>2,3</sup> & LI Xu<sup>2,3</sup>

(1: *College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, P. R. China*)

(2: *Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, P. R. China*)

(3: *Lake Dongting Station for Wetland Ecosystem Observation and Research, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, P. R. China*)

**Abstract:** The characteristics of wetland vegetations in three different restoration modes of “returning farmland to lake” (natural restoration, reed plantation and poplar plantation) were studied based on the field investigation of 2006 in the Lake Dongting area. The results showed that the highest and lowest species richness was found in the modes of natural restoration and reed plantation, respectively. Moreover, the highest richness of wetland plants was also found in the mode of natural restoration, which took 81.0% of the total number of species, while in the other two restoration modes, the ratios of wetland plants were 78.7% (poplar plantation) and 69.4% (reed plantation), respectively. 11 community types were found in the mode of natural restoration, including 3 communities of aquatic plants, while there were 8 and 1 community types in the modes of poplar plantation and reed plantation, respectively; the productivity changed significantly among different plant community types and the highest productivity was found in the mode of poplar plantation, while the lowest biodiversity was found in the mode of reed plantation. Based on the above results, we concluded that natural restoration was the best modes among the three different restoration modes for the restoration of the Lake Dongting area.

**Keywords:** Lake Dongting; returning farmland to lake; vegetation characteristics; restoration ecology

洞庭湖(28°30′–30°20′N, 111°40′–113°10′E)作为我国第二大淡水湖泊, 具有调节江河径流、净化水

\* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-435-02)、国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421103)和国家自然科学基金项目(30770362)联合资助。2010-08-23 收稿; 2010-12-07 收修改稿。任勃, 男, 1974年生, 博士研究生, 讲师; E-mail: csrenbo@163.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: yonghongxie@163.com.

质、维护生物多样性和改善生态环境等多种生态服务功能<sup>[1]</sup>。然而,近百年来,尤其是1949年后,由于人们对湖区资源不合理的开发利用,导致湖泊面积迅速萎缩,湖泊调蓄能力严重衰退,江湖关系恶化,湖区洪涝灾害加剧。为此,1998年特大洪灾后,湖南省适时地提出了洞庭湖区退田还湖计划,并开始逐步实施<sup>[2]</sup>,至今已产生巨大生态效应。如湖泊面积由1995年的2625km<sup>2</sup>扩大为2002年的3082km<sup>2</sup>,湖容由167×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>提高为197×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,洪峰消减能力提高了4.2%,全面缓解了洪涝灾害<sup>[2-3]</sup>。退田还湖主要分“单退”和“双退”两种方式。“单退”是指退人不退田,即只将居住区外迁,农民仍在垸内进行农业生产,在大洪水年作为蓄洪区。单退计划平退耕地面积626km<sup>2</sup>,平退总面积1351km<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。“双退”是指退人又退田,即对严重阻碍行洪的垸垸、江心洲、巴垸等进行平垸行洪、创毁堤防。双退计划平退耕地面积133km<sup>2</sup>,平退总面积1351km<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。双退后耕地的恢复模式主要有3种,即恢复自然水域、种植杨树(*Populus nigra*)和种植荻(*Miscanthus sacchariflorus*)(当地居民称之为芦苇)。种植后杨树和荻自然发展,每年秋冬季洪水过后对荻进行收割,为满足营养需求生长季节有时对杨树进行施肥。

湿地植被作为湿地生态系统中的初级生产者,对湿地生态系统结构和功能起着重要的支撑作用,一方面它可以通过为其他生物提供食物及栖息环境等功能,直接参与湿地生态系统的物质循环;另外它自身的许多特性(如植被组成、生物多样性等)可以作为重要参数指示外部环境的变化,并用来评价湿地生态系统健康与否。因此湿地植被的研究是湿地生态学研究最基础的内容之一<sup>[4-5]</sup>。然而国内目前有关退田还湖生态效应的研究主要集中于水文特征<sup>[6]</sup>、土壤理化性质<sup>[1,7]</sup>、生态承载力<sup>[8]</sup>及景观格局变化<sup>[9]</sup>等几个方面,有关植被特征变化的研究欠缺。为此本文试图以洞庭湖为研究对象,通过比较三种“双退”模式下植被特征的变化,揭示不同恢复模式对洞庭湖湿地生态效应的影响,以为洞庭湖湿地的恢复和管理提供依据。

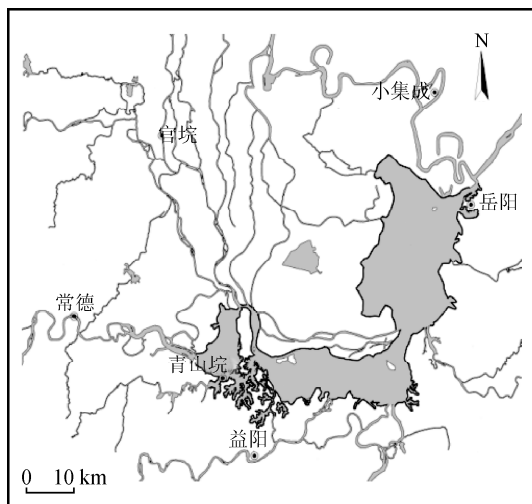


图1 研究区的地理位置

Fig. 1 Location of the three study areas

## 1 研究区概况及方法

### 1.1 研究区概况

研究区属亚热带季风湿润气候,年平均温度16.4–17.0℃,1月平均气温4.0–4.5℃,7月平均气温29.0℃,无霜期260–280d,年平均降水量1200–1550mm,年平均湿度80%<sup>[7]</sup>。为寻求经济效益与湿地生态调蓄功能的平衡,在不同的双退区因地制宜地选择种植荻、杨树或自然水域水产养殖作为恢复模式。本研究选取的3个区域(图1)均为1998年退耕且之前为农业和住宅用地。小集成(29°41'N, 112°56'E)以种植杨树为恢复方式,即在居民迁至垸外安置后,退耕并栽植大量的杨树,形成以杨树为建群种的人工林系统;官垸(29°33'N, 112°01'E)退田还湖后以种植荻为恢复方式,建群种为荻;青山垸(28°51'N, 112°12'E)退田还湖前主要为废弃稻田、油菜及住宅用地等,该区以形成自然湖

泊为恢复方式,垸垸设有水位控制闸,春末夏初开闸蓄水,期间关闭闸门维持水位,冬初开闸放水收获水产品。

### 1.2 调查方法

采用大面积踏查及样方调查相结合的方法。踏查的目的在于记录该地区所有的植被构成,样方调查中样方大小为1m×1m,记录指标主要有:样方经纬度、物种名称、个体数、盖度及高度等,随后对样方内所有植株的地上部分进行收割,带回实验室后用80℃恒温烘箱烘至恒重,进行生物量的测定。调查样方总数分别为青山垸39个,小集成32个,官垸15个。青山垸水域中植物的调查采用特制铁茭(0.5m×0.5m)进行。调查时间为2008年5月份洪水期之前。

### 1.3 植物划分标准

物种鉴定及植物特征的划分主要参考《中国植物志》、《中国水生维管束植物图谱》及《中国常见湿地

植物》<sup>[10-12]</sup>.

#### 1.4 多样性的计算

多样性的计算采用 Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ ):

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中, $P_i = n_i/N$ ,其中 $S$ 为样方中的种数, $N$ 为全部种的个体数, $n_i$ 为第 $i$ 个种的个体数.

## 2 结果

### 2.1 物种组成

调查发现植物种类以恢复自然湖泊的青山垸样地最为丰富,共有 79 种,隶属于 28 科 65 属(图 2a),较大的科有禾本科(Poaceae,含 12 属 15 种)、菊科(Compositae,含 9 属 11 种)、莎草科(Cyperaceae,含 5 属 8 种)和唇形科(Lamiaceae,含 5 属 5 种),较大的属有苔草属(*Carex*, 4 种)、蔺草属(*Rorippa*, 3 种)和蒿属(*Artemisia*, 3 种);以种植杨树模式的样地植物科数最多,共 34 科(含 55 属 61 种),其中以禾本科(含 9 属 10 种)、菊科(含 5 属 6 种)、唇形科(含 5 属 5 种)和豆科(Leguminosae,含 3 属 3 种)所含属种数较多,单属单种占总属比例的 91%;以种植荻为恢复模式的官垸样地中植被组成最为简单,共 36 种,隶属于 22 科 35 属,比较大的科为禾本科(含 5 属 5 种)、唇形科(含 5 属 5 种)和菊科(含 4 属 4 种),单属单种占总属数的 97%.

青山垸的一二年生植物共 37 种,占物种总数的 46.8%,而小集成和官垸样地中一二年生植物的种类数分别为 18 和 12 种,分别占其总数的 29.5% 和 33.3% (图 2b). 由此可以看出,三种恢复模式中以青山垸一二年生植物最为丰富,而多年生植物在小集成占的比例最大.

三个样地中青山垸的湿生植物种数最多,达 64 种(含水生植物 12 种),占总数的比例也最大,达 81.0%;小集成的湿生植物种类仅次于青山垸,共含 48 种(含水生植物 5 种),占总数的比例为 78.7%;而官垸的湿地植物物种数最少,仅 25 种(含水生植物 2 种),占总数的比例也最小,为 69.4% (图 2c).

### 2.2 主要群落类型

由于杨树为高大乔木,为便于比较,小集成样地中所列出的群落类型为杨树林下的草本植物群落. 不同退田还湖模式下主要群落类型的种类和数量均存在明显不同(表 1),以青山垸的植物群落类型最为丰富,达 11 种,其中水生植物群落 3 种,占总数的 27.3%,分别为菹草群落、茶菱群落、荇菜群落;以种植杨树为恢复模式的小集成样地中共有 8 种草本群落类型;而官垸群落类型最为单一,只有荻一种.

### 2.3 主要群落类型的生产力及多样性

各群落生产力和多样性的值为该群落所有调查样方的均值,生产力以植物的鲜重表示. 由于调查的局限性,青山垸样地中有 4 种群落类型的数据缺失,而小集成样地中群落的生产力不包括杨树. 青山垸群落生产力的变化范围为 0.9–4.8 kg/m<sup>2</sup>,而小集成样地为 0.5–1.1 kg/m<sup>2</sup>,因此如果不考虑杨树,青山垸的生产力水平要相对高于小集成. 青山垸中群落多样性的变化范围为 0.42–0.76;而在小集成样地,除苔草 + 蔺草群落和苔草群落外,其他群落的多样性水平平均相对较高,最高值为大蓟群落,多样性指数达 0.85;而在官垸样地,荻群落的多样性水平相对较低,为 0.47(表 2).

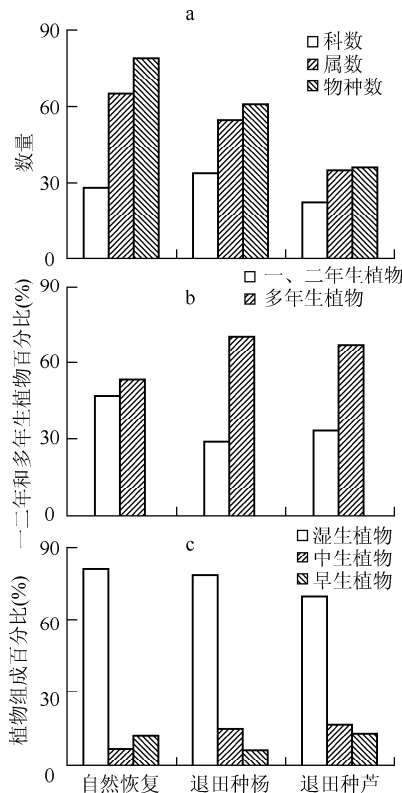


图 2 不同退田还湖模式样地的植被特征

Fig. 2 Vegetation characteristics of sites under different modes after returning farmland to lake

表 1 不同退田还湖模式样地的主要植物群落类型及其伴生种

Tab. 1 Plant community types and concomitant species of sites under three different modes after returning farmland to lake

地点	群落类型	主要伴生种
青山垸	藨草 ( <i>Phalaris arundinacea</i> )	三俭草 ( <i>Rhynchospora corymbosa</i> )、紫云英 ( <i>Astragalus sinicus</i> )、无芒稗 ( <i>Echinochloa crusgalli</i> )、狗牙根 ( <i>Cynodon dactylon</i> )、通泉草 ( <i>Mazus japonicus</i> )
	红穗苔草 ( <i>Carex argyi</i> levl. et Vant)	垂穗苔草 ( <i>Carex melanostachy</i> )、无芒稗、短尖苔草 ( <i>Carex brevicuspis</i> )、紫云英、水蓼 ( <i>Polygonum hydropiper</i> )
	藨草 + 紫云英	大籽蒿 ( <i>Artemisia sieversiana</i> )、荔枝草 ( <i>Herba Salviae Plbeiae</i> )、细叶藨本 ( <i>Ligusticum tachiroei</i> )、牵牛花 ( <i>Pharhiris nil</i> )、无芒稗
	藨草 + 水蓼	看麦娘 ( <i>Alopecurus aequalis</i> Sobol)、日本看麦娘 ( <i>A. japonicus</i> Steud.)、红穗苔草、绵毛果委陵菜 ( <i>Potentilla eriocarpa</i> )
	无芒稗	看麦娘、水蓼、石龙芮 ( <i>Ranunculus sceleratus</i> )、水苦苣 ( <i>Veronica undulata</i> Wall.)、茶菱 ( <i>Trapella sinensis</i> )、细叶藨本
	菹草 ( <i>Potamogeton crispus</i> )	茶菱、穗花狐尾藻 ( <i>Myriophyllum spicatum</i> )、浮萍 ( <i>Lemna minor</i> )
	垂穗苔草 ( <i>Carex melanostachy</i> )	通泉草、紫云英、野胡萝卜 ( <i>Daucus carota</i> )、早熟禾 ( <i>Poa annua</i> )、无芒稗、鼠麴草 ( <i>Gnaphalium offline</i> D. Don)
	狗牙根	牛鞭草 ( <i>Hemathria sibirica</i> )、泥湖菜 ( <i>Hemistepta lyrata</i> Bunge)、紫云英
	短柱苔草 ( <i>Carex brevicuspis</i> )	牛鞭草、紫云英、无芒稗
	茶菱	金鱼藻 ( <i>Ceratophyllum demersum</i> )、紫背萍 ( <i>Spirodela polyrrhiza</i> )、荇菜 ( <i>Nymphoides peltatum</i> )
	荇菜	金鱼藻、茶菱
小集成	藨草	大蓟 ( <i>Cirsium japonicum</i> )、益母草 ( <i>Leonurus artemisia</i> )、血见愁 ( <i>Teucrium viscidum</i> )、辣蓼 ( <i>Polygonum hydropiper</i> )、细叶风轮菜 ( <i>Clinopodium gracile</i> )
	菱蒿 ( <i>Artemisia selengensis</i> )	苔草 ( <i>Carex</i> sp.)、益母草、血见愁、细叶风轮菜 ( <i>Clinopodium gracile</i> )
	血见愁	辣蓼、细叶风轮菜、菱蒿、益母草、苔草
	菱蒿 + 细叶风轮菜	鹅肠草 ( <i>Stellaria media</i> )、毛茛 ( <i>Ranunculus japonicus</i> )、益母草
	益母草	短柱苔草 ( <i>Carex brevicuspis</i> )、血见愁、菱蒿、野胡萝卜
	苔草 + 藨草	窃衣 ( <i>Torilis japonica</i> )、菱蒿
	苔草	窃衣、藨草、大蓟、菱蒿
	大蓟	苔草、藨草、细叶风轮菜、鹅肠草、血见愁
官垸	荻	鸡矢藤 ( <i>Paederia scandens</i> )、土荆芥 ( <i>Chenopodium ambrosioides</i> )、少花水芹 ( <i>Oenanthe benghalensis</i> )、辣蓼、芦苇 ( <i>Phragmites communis</i> )、葎草 ( <i>Humulus scandens</i> )

3 讨论

湿地植被作为湿地生态系统中的重要组成部分,不仅具有多种生态服务功能,还可以用于指示外部环境的变化. 因此,对不同退田还湖模式下植被特征的研究不仅有助于掌握该区植被自身的一些特征,还可以此为依据对洞庭湖不同退田还湖模式下的生态效应进行评估. 本研究表明,三种恢复模式中,以自然恢复模式下植物种类最为丰富,而以单一种植荻的模式物种最少,仅为自然恢复模式的 45.6%. 青山垸退田还湖后,植物按照野生状态进行生长繁衍,随着演替的进行,典型湿地植物逐渐取代原有的人工作物,构成新的植物类群. 姜加虎等<sup>[6]</sup>通过对该区退田还湖后的跟踪调查发现,原有人工种植的油菜群落已逐渐被藨草群落所替代. 此外退田还湖使得该区水域面积增大,生境多样化程度高,为一些湿地植物的定居提供了条件. 调查发现该区湿生植物已高达 64 种,占物种总数的 81.0%,尤其是其他两种恢复模式中未出现的一些水生植物如菹草、茶菱、穗花狐尾藻等已广泛分布并形成优势群落. 这些水生植物的增加直接导致了该区湿地植物比例的增大,因此该模式下湿地植物占的比例也是最大的. 在官垸样地中物种数最为稀少,群落多样性指

数仅为 0.47, 远远低于其他群落的多样性水平, 这可能是由于单一种植使生境同质化引起的. 平亮等<sup>[13]</sup>和 Vallan<sup>[14]</sup>研究表明, 单一种植桉树林会导致林下群落生产力的下降和生物多样性的丧失, 这是因为单一种植所导致的生境单一性不利于多种植物的存活. 同时官垸退田还湖后直接与外湖相连<sup>[1]</sup>, 受洪水影响大, 水陆交替频繁, 从而进一步限制了植物的定居. 在单一种植杨树的小集成样地, 相对较高的物种数和多样性水平可能是因为调查时杨树龄级较小, 未达到郁闭成林的程度, 临窗效应为物种的存活提供了一定的条件. 同时该区地势相对较高, 自 1998 年来从未被洪水淹过, 因此林下植被可按自身规律进行正常演替, 故导致其较高的物种数和多样性水平. 吴立勋<sup>[15]</sup>对洞庭湖杨树种植影响的研究也表明, 大面积的杨树种植并没有显著降低林下植被的物种数和多样性, 只是物种组成发生了耐阴植物对喜光植物的更替.

群落生产力是生态系统健康状况的重要评价指标, 其变化会对系统生态过程(如生物地球化学循环等)产生重要影响. 因此群落生产力的研究一直受到生态学家的关注<sup>[4,16]</sup>. 与青山垸相比, 小集成林下群落的生产力水平相对较低. 如同一类型的藨草群落, 小集成的群落生产力仅为青山垸的 18.8%. 这可能是由于杨树为高大乔木, 其发达的根系吸收了土壤中大部分的营养物质和水分, 因此限制了其他植物群落的生长. 事实上, 如果考虑杨树, 该恢复模式下的生产力水平是最高的, 达 117g/m<sup>2</sup>. 由于杨树具有喜湿、生长快、适应性强的特点, 大面积种植会导致地下水位下降、土壤板结<sup>[1]</sup>, 促进湿地向旱地特征转化, 从而导致原有湿地植被的丧失和湿地生态服务功能的退化. 同时, 官垸样地中荻群落的生产力相对较高, 这可能是其物种特性以及相对适宜的水文条件所导致的.

三种退田还湖模式中, 最为期望的是以恢复自然湖泊为主的模式发挥最大生态学效应<sup>[1]</sup>, 因为无论从植被组成还是从群落多样性水平来看都是恢复自然湖泊的模式最有利于生物多样性的维持. 虽然种植杨树有利于提高土壤质量和土壤生产力, 却易导致土壤板结、地下水位下降和鸟类多样性水平的降低, 对湿地的综合生态效应是有限的<sup>[1,17-18]</sup>. 当前洞庭湖最主要的生态服务功能是防洪调蓄<sup>[17]</sup>, 然而杨树和荻大面积的种植一方面使得湖水水流变缓, 阻碍了行洪. 吴立勋<sup>[15]</sup>研究表明, 4 年生杨树纵向阻水面为 3.3%–4.7%, 而芦苇的阻水效应更为显著, 24 株/m<sup>2</sup>的芦苇地, 其茎干纵向阻水面为 5.9%, 大大减小了水流速度; 另一方面, 大面积的杨树和芦苇种植也使得泥沙淤积速率加快, 导致湖床抬高, 同样降低了洞庭湖的蓄洪功能. 因此退田还湖过程中, 人们不仅要考虑不同模式所带来的经济效益, 还要考虑不同模式所产生的生态影响, 实现生态和经济效益的最优化. 不可否认, 退田还湖后的生态恢复是一个长期综合性的过程, 因此长时间的观测及多方面的评价仍然是必要的.

4 参考文献

[ 1 ] 杨 刚, 谢永宏, 陈心胜等. 退田还湖后洞庭湖区土壤颗粒组成和化学特性的变化. 生态学报, 2009, **29** (12): 6392-6400.

[ 2 ] 张光贵. 退田还湖对洞庭湖区生态环境的影响. 人民长江, 2002, **33** (5): 39-48.

[ 3 ] 张光贵. 退田还湖对洞庭湖生态环境的影响. 生态学杂志, 2003, **22** (3): 94-96.

[ 4 ] 李 峰, 谢永宏, 杨 刚等. 白洋淀水生植被初步调查. 应用生态学报, 2008, **19** (7): 1597-1603.

[ 5 ] Benson ER, O'Neil JM, Dennison WC. Using the aquatic macrophyte *Vallisneria americana* (wild celery) as a nutrient

表 2 不同退田还湖模式样地的主要植物群落的生产力及多样性

Tab. 2 The productivity and diversity of different plant communities under three different modes after returning farmland to lake

地点	群落类型	生产力 ( kg/m <sup>2</sup> )	Shannon-Wiener 多样性指数
青山垸	藨草	4.8	0.69
	红穗苔草	3.9	0.53
	藨草 + 紫云英	0.9	0.47
	藨草 + 水蓼	2.4	0.42
	无芒稗	2.0	0.55
	垂穗苔草	2.0	0.75
	狗牙根	1.2	0.76
小集成	藨草	0.9	0.76
	菱蒿	0.9	0.83
	血见愁	0.9	0.80
	菱蒿 + 细叶风轮菜	0.5	0.81
	益母草	1.1	0.73
	苔草 + 藨草	0.9	0.27
	苔草	1.0	0.21
	大蓟	0.9	0.85
	官垸	荻	3.2

大部分的营养物质和水分, 因此限制了其他植物群落的生长. 事实上, 如果考虑杨树, 该恢复模式下的生产力水平是最高的, 达 117g/m<sup>2</sup>. 由于杨树具有喜湿、生长快、适应性强的特点, 大面积种植会导致地下水位下降、土壤板结<sup>[1]</sup>, 促进湿地向旱地特征转化, 从而导致原有湿地植被的丧失和湿地生态服务功能的退化. 同时, 官垸样地中荻群落的生产力相对较高, 这可能是其物种特性以及相对适宜的水文条件所导致的.

三种退田还湖模式中, 最为期望的是以恢复自然湖泊为主的模式发挥最大生态学效应<sup>[1]</sup>, 因为无论从植被组成还是从群落多样性水平来看都是恢复自然湖泊的模式最有利于生物多样性的维持. 虽然种植杨树有利于提高土壤质量和土壤生产力, 却易导致土壤板结、地下水位下降和鸟类多样性水平的降低, 对湿地的综合生态效应是有限的<sup>[1,17-18]</sup>. 当前洞庭湖最主要的生态服务功能是防洪调蓄<sup>[17]</sup>, 然而杨树和荻大面积的种植一方面使得湖水水流变缓, 阻碍了行洪. 吴立勋<sup>[15]</sup>研究表明, 4 年生杨树纵向阻水面为 3.3%–4.7%, 而芦苇的阻水效应更为显著, 24 株/m<sup>2</sup>的芦苇地, 其茎干纵向阻水面为 5.9%, 大大减小了水流速度; 另一方面, 大面积的杨树和芦苇种植也使得泥沙淤积速率加快, 导致湖床抬高, 同样降低了洞庭湖的蓄洪功能. 因此退田还湖过程中, 人们不仅要考虑不同模式所带来的经济效益, 还要考虑不同模式所产生的生态影响, 实现生态和经济效益的最优化. 不可否认, 退田还湖后的生态恢复是一个长期综合性的过程, 因此长时间的观测及多方面的评价仍然是必要的.

- bioindicator. *Hydrobiologia*, 2008, **596**:187-196.
- [ 6 ] 姜加虎, 张 臣, 黄 群等. 洞庭湖退田还湖及其生态恢复工程分析. 湖泊科学, 2004, **16**(4):325-330.
- [ 7 ] 杨 刚, 谢永宏, 陈心胜等. 洞庭湖区退田还湖后不同恢复模式下土壤酶活性的变化. 应用生态学报, 2009, **20**(9): 2187-2192.
- [ 8 ] 陶卫春, 王克林, 陈洪松等. 退田还湖工程对洞庭湖生态承载力的影响评价. 中国生态农业学报, 2007, **15**(3): 155-160.
- [ 9 ] 郑景明, 王灵艳, 孙启祥等. 洞庭湖集成垸退田还湖前后景观格局变化和生态安全格局. 湿地科学与管理, 2009, **5**(1):40-43.
- [ 10 ] 中国科学院植物研究所. 中国植物志. 北京:科学出版社, 2004.
- [ 11 ] 中国科学院武汉植物研究所. 中国水生维管束植物图谱. 武汉:湖北人民出版社, 1983.
- [ 12 ] 张树仁. 中国常见湿地植物. 北京:科学出版社, 2009.
- [ 13 ] 平 亮, 谢宗强. 引种桉树对本地生物多样性的影响. 应用生态学报, 2009, **20**(7):1765-1774.
- [ 14 ] Vallan D. Effects of anthropogenic environmental changes on amphibian diversity in the rain forests of eastern Madagascar. *Journal of Tropical Ecology*, 2002, **18**:725-742.
- [ 15 ] 吴立勋. 洞庭湖区杨树造林及其对生态环境的影响. 中国林业产业, 2006, (11):27-30.
- [ 16 ] Schimel D, Melillo J, Tian H *et al.* Contribution of increasing CO<sub>2</sub> and climate to carbon storage by ecosystems of the United States. *Science*, 2000, **287**:2004-2006.
- [ 17 ] 邓学建, 米小其, 牛艳东等. 洞庭湖杨树林及原生湿地生态环境中鸟类的群落结构. 农业现代化研究, 2008, **29**(1): 108-111.
- [ 18 ] 庄大昌. 洞庭湖湿地生态系统服务功能价值评估. 经济地理, 2004, **24**(3):391-394.