

挠力河自然保护区退耕湿地恢复初期高等维管束植物多样性研究

姜海霞, 刘曼红*, 张斐然, 于王瑞, 刘海铃

东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

Email: *manhong@nefu.edu.cn

收稿日期: 2021年4月19日; 录用日期: 2021年5月17日; 发布日期: 2021年5月26日

摘要

为研究退耕湿地高等维管束植物恢复现状, 于2020年秋季(10月份)在黑龙江省挠力河自然保护区对2014年、2017年退耕湿地以及自然湿地高等维管束植物进行样方法调查取样。在物种鉴定的基础上, 利用Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数, 对退耕湿地植物的生物多样性进行了研究, 同时与自然湿地进行了对比分析。本次调查共发现高等植物20种, 隶属于3纲8目7科18属, 主要包括单子叶植物纲(12种)和双子叶植物纲(7种)以及木贼纲(1种), 其中以单子叶植物禾本科个体数量最多, 占60.44%, 其中狭叶香蒲(*Typha angustifolia*)和小叶章(*Deyeuxia angustifolia*)为优势物种。湿地植物的平均盖度为83.75%。退耕湿地的Shannon-Wiener生物多样性指数为3.3595, 明显高于自然湿地(2.1423); Margalef物种丰富度指数退耕湿地也高于自然湿地, 分别为2.7435和1.3661; Pielou均匀度指数退耕湿地和自然湿地相差不大, 分别为1.1858和1.0302, 意味着物种在环境的分布比较均衡。对以往不同耕种作物(玉米和大豆)退耕湿地物种多样性的比较发现, 以往耕种作物为大豆的退耕湿地高等植物种类和数量较原耕种作物是玉米的退耕湿地有明显增加。通过退耕初期不同退耕年份湿地高等植物物种丰富度的比较发现, 随着退耕时间的延长, 高等物种组成趋于单一, 优势种更加明显。

关键词

挠力河自然保护区, 退耕还湿, 高等维管束植物, 生物多样性

The Study on the Diversity of Vascular Plants in the Early Stage of Wetland Restoration in Naolihe Natural Reserve

Haixia Jiang, Manhong Liu*, Feiran Zhang, Wangrui Yu, Hailing Liu

College of Wildlife and Protected Areas, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Email: *manhong@nefu.edu.cn

*通讯作者: 刘曼红, 副教授, 生态学学科, 研究方向: 湿地生态学。

文章引用: 姜海霞, 刘曼红, 张斐然, 于王瑞, 刘海铃. 挠力河自然保护区退耕湿地恢复初期高等维管束植物多样性研究[J]. 植物学研究, 2021, 10(3): 355-363. DOI: 10.12677/br.2021.103048

Abstract

In order to study the current situation of the restoration of vascular plants in the returned farmland wetland, the samples of vascular plants in the returned farmland wetland and natural wetland in 2014 and 2017 were collected in Naolihe Nature Reserve of Heilongjiang Province in the autumn of 2020 (October). Based on species identification, the plant biodiversity of returned farmland wetland was studied by using Margalef richness index, Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index. The result showed that there are 20 species of vascular plant, belonging to 3 classes, 8 orders, 7 families, 18 Genera, including Monocots (12 species), Dicotyledones (7 species) and Equisetum (1 species), and *Typha angustifolia* and *Deyeuxia angustifolia* were the dominant species, accounting for 60.44%. The average vegetation coverage of wetland was 83.75%. The Shannon-Wiener Biodiversity Index was 3.3595, significantly higher than that of natural wetland (2.1423), and the Margalef species richness index was 2.7435 and 1.3661, respectively. The Pielou evenness index indicated no significant difference between the returned farmland wetland and natural wetland, which was 1.1858 and 1.0302 respectively, showing that the species distribution in the environment was more balanced. By comparing the species diversity of wetlands with different cultivated crops (corn and soybean), it was found that the species and quantity of higher plants in returned farmland wetland with soybean were significantly higher than those with corn. By comparing the species richness of wetland vascular plants in different years at the initial stage of returned farmland wetland, it was found that with the extension of returned farmland wetland time, the composition of higher species tended to be unitary, and the dominant species were more obvious.

Keywords

Naolihe Nature Reserve, Returned Farmland Wetlands, Vascular Plants, Biodiversity

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湿地进行退耕恢复的过程，就是先锋物种进入生态系统中率先建立种群，随着时间的推移，慢慢发生群落演替，最终成为一个可以自我发展、自我调控、自我净化的湿地生态系统的过程。退化湿地的生态恢复与重建是经济可持续发展的需要，更是人类生存的需要。由于湿地退化严重影响了区域生态、经济和社会的可持续发展[1] [2]，目前的湿地恢复与重建的研究与实践主要集中在沼泽、湖泊及河流和河口湿地等湿地类型上[3] [4]。

植物群落构成了湿地生态系统的基本骨架，是湿地构成的基本要素，受湿地水深和水体营养条件的限制[5]。湿地植物作为湿地的重要组成部分，其分布格局、物种多样性反映了湿地的自然环境与质量，同时也影响着水鸟栖息地的状况，是衡量湿地生态功能和生态系统稳定性的重要指标[6] [7] [8]。植物多样性可以有效地表征湿地的恢复效果，为湿地群落演替的预测提供依据。在卧龙湖湿地恢复中，植物群落从湖岸向湖心呈现明显的带状分布，其主导植物群落依次为灌丛植物群落 - 草甸植物群落 - 湿生植物群落 - 挺水植物群落 - 浮叶植物群落 - 沉水植物群落[5]。另外，在恢复早期的湿地，水体中有丝叶眼子

菜、芦苇等水生植物，这有利于水体的净化[9]。

挠力河自然保护区湿地类型复杂多样，生物多样性丰富，但原始的天然湿地经过不断开发利用丧失了大面积的天然湿地。从 2014 年开始退耕还湿，截至 2020 年共退耕还湿 105,060 亩。主要以自然修复与人工修复相结合的方式对退耕湿地进行修复和综合整治，当前保护区湿地面积不断扩大，生态环境有了明显改善。通过对挠力河自然保护区退耕湿地(以往耕种作物是大豆和玉米)与自然湿地典型地块进行植物样方的调查，对退耕湿地植物物种的多样性、物种多样性进行研究，退耕湿地与自然湿地植物群落恢复的比较研究，为挠力河自然保护区加强湿地保护和执行退耕还湿生态修复提出依据。

2. 研究地概况与研究方法

2.1. 研究地概况

黑龙江挠力河国家级自然保护区位于三江平原腹地，位于宝清、饶河、抚远和富锦三县一市行政区域内的红兴隆和建三江两个农垦管理局境内。保护区类型属于“自然生态系统类”中的“内陆湿地与水域生态系统类型”。地理坐标为：东经 132°57'25"~134°10'24"，北纬 46°30'10"~47°22'17" [10]，该保护区主要保护对象是以水生和陆栖生物及其生境共同形成的湿地和水域生态系统。

挠力河流域气候属于中温带湿润半湿润大陆性季风气候区，其特点是春季回暖快，多风少雨，易发生春旱；夏季温热，暴雨集中，易发生洪水；秋季天高气爽，降温快，霜冻寒潮来得早；冬季寒冷而干燥，冰天雪地，但多为晴朗天气。年平均气温为 3.5℃，最暖月为 7 月，月平均气温 21.9℃；最冷月为 1 月，月平均气温-18.1℃，降水量的年内分配极不均匀，夏季受东亚季风影响，雨量充沛且集中，每年 6~8 月，降水量占全年总降水量的 64.5%，年平均降水量为 537.2 mm [11]。

2.2. 采样点设置

于 2020 年秋季(10 月)，利用样方法对挠力河自然保护区的退耕湿地高等维管束植物进行了调查。分别对 2014 年退耕湿地、2017 年退耕湿地以及自然湿地，同时也要考虑以往不同的耕种作物(玉米和大豆)地块设定植物样方进行对比研究。

1) 样点布设：

在与原监测站点一致的基础上(8 个样点)，补充典型植被类型的调查样点，各采样点利用 GPS 定位，隶属于保护区的各监测站依托的大兴农场、胜利农场、红旗岭农场、八五二农场、八五三农场和五九七农场展开调查，对每个类型根据已经确定的样点的植被分布情况，适当调整(表 1，图 1)。

Table 1. Setting sampling sites

表 1. 采样点设置

调查位点	经纬度	海拔	退耕年份	以往耕种作物	农场名称
1#	N46.8522°, E132.9426°	64 m	2014 年	大豆	大兴农场
2#	N46.8511°, E133.0707°	59 m	2017 年	玉米	大兴农场
3#	N47.2876°, E133.9303°	77 m	2017 年	大豆	胜利农场
4#	N47.3536°, E133.8415°	91 m	自然湿地	无作物	胜利农场
5#	N46.8537°, E133.2195°	74 m	2014 年	玉米	红旗岭农场
6#	N46.7400°, E132.8912°	82 m	自然湿地	无作物	八五二农场
7#	N46.5740°, E132.6329°	83 m	自然湿地	无作物	八五三农场
8#	N46.7449°, E132.6118°	73 m	自然湿地	无作物	五九七农场

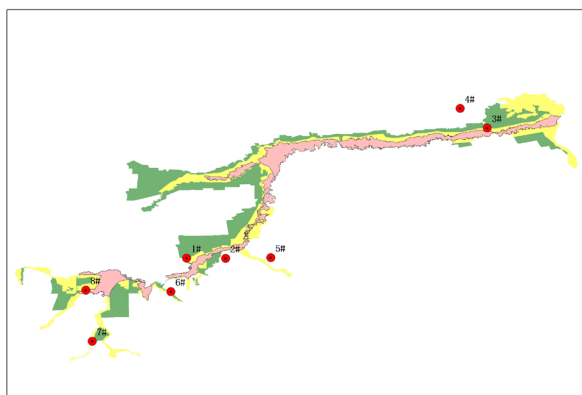


Figure 1. The geographical location of sampling sites

图 1. 采样点的地理位置示意图

2) 样点设置原则

- a) 面积较大，分布广泛，代表性强的植被类型；
- b) 兼顾地形地貌，样地相对均匀分布。

3) 野外调查步骤

- a) 描述并记录样地基本特征，主要包括样地名称、经度、纬度、海拔、照片等；

b) 草本样地：设置一条 100 m 样线，在样线上设样方 10 个 1 m × 1 m 样方；灌丛样地：根据实地情况，样线长度可适当调整，在样线上布设 5 个 2 m × 1 m 的样方；对于现场不确定的物种，进行多角度拍照并记录物种特征，同时留存样本在实验室中利用形态学特征依据专业分类书籍[12] [13] [14]或者请相关专家进行鉴定。

4) 样地调查测定指标体系

- a) 样地基本特征描述，保存 GPS 设备中的样地和途经路线定位数据；
- b) 草本样方取样：总盖度、物种株丛数等。

5) 调查取样方法

- a) 测定指标及其测定方法：

总盖度的测定：运用目测法测试盖度，是在设定了样方的基础上，根据经验目测估计样方内各植物种冠层的投影面积占样方面积的比例，以此来确定植被盖度。

植物名称：为方便外业操作可以先使用植物的中文名、地方名，来分别记载样方内中文名称，回室内再补充拉丁名称。

- b) 株数的测定：在每一个样方内，数每一物种的株(丛)数目[15]。

2.3. 数据处理与分析

使用 Past326b 软件分析保护区不同退耕年份及不同以往耕种作物类型的湿地高等植物物种多样性指数，包括 Margalef 丰富度指数，Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数[16] [17] [18]；分析保护区不同样点和不同以往耕种作物类型的湿地植物物种多样性指数是否有显著差异。

Margalef 指数(D)反映指一个群落或多寡，即生物物种的丰富度程度；Shannon-Wiener 指数(H)大小意味着群落多样性的高低，可以预测群落中下一个采集到的样本属于哪一种，如果群落的多样性越高，采集的不定性就越大，故 H 值越大，多样性越高，反之物种多样性越低。如：当 $H \leq 1$ 时，物种组成较少；当 $1 < H \leq 3$ 时，物种组成适中；当 $H \geq 3$ 时物种组成高。Pielou (J)均匀度指某一群落或生境中全部

物种个体数目的分配状况, 其反映了各物种个体数目分配的均匀程度。若各物种个体数越接近, 均匀度就越大[19]。

3. 结果与分析

3.1. 生态修复前后湿地高等植物物种组成的变化特征

3.1.1. 不同恢复年份退耕湿地高等植物物种组成

2020年的调查期间, 在挠力河自然保护区采样调查到的高等植物, 经鉴定隶属于7目9科20种, 包括3个纲: 单子叶植物纲(12种)和双子叶植物纲(7种)以及木贼纲(1种), 其中单子叶植物纲中禾本科种类最多, 共8种, 占总物种数的40%。

2014年退耕湿地高等植物4科、4属、9种, 分别为禾本科的芦苇(*Phragmites australis*)、小叶章(*Deyeuxia angustifolia*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、狗尾草(*Setaira viridis*)和菰(*Zizania latifolia*)、木贼科的问荆(*Equisetum arvense*)、莎草目的灰脉苔草(*Carex appendiculata*)以及桔梗目的长裂苦苣菜(*Sonchus brachyotus*)和萎蒿(*Artemisia selengensis*); 其中, 主要以单子叶植物纲禾本科植物为主, 优势物种为小叶章和芦苇。2017年退耕湿地高等植物5科、5属、6种, 分别包括禾本科的拂子茅(*Calamagrostis epigeios*)、野稗(*Echinochloa crusgalli*)、荻(*Triarrhena sacchariflora*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、狗尾草(*Setaira viridis*); 粉状胚乳目菊科的婆婆针(*Bidens bipinnata*); 露兜树目菊科的狭叶香蒲(*Typha angustifolia*); 桔梗目菊科小花鬼针草(*Bidens parviflora*)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)以及菊目菊科的蓟(*Cirsium japonicum*); 其中, 主要以禾本科的野稗、芒以及露兜树目的狭叶香蒲为优势物种(如表2)。

Table 2. Species list of vascular plants for returned farmland wetland in different years

表 2. 不同退耕年份湿地高等植物物种名录

目	科	种	退耕年份			
			2014		2017	
			大豆	玉米	大豆	玉米
禾本目 Poales	禾本科 Gramineae	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	√	√		
		小叶章 <i>Deyeuxia angustifolia</i>	√			
		芒 <i>Miscanthus sinensis</i>		√		√
		狗尾草 <i>Setaira viridis</i>		√	√	
		拂子茅 <i>Calamagrostis epigeios</i>			√	√
		野稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>			√	
		荻 <i>Triarrhena sacchariflora</i>				√
		菰 <i>Zizania latifolia</i>	√			
木贼目 Equisetales	木贼科 Equisetaceae	问荆 <i>Equisetum arvense</i>		√		
莎草目 Cyperales	莎草科 Cyperaceae	灰脉苔草 <i>Carex appendiculata</i>	√			
粉状胚乳目 Farinosae	菊科 Compositae	婆婆针 <i>Bidens bipinnata</i>			√	√
露兜树目 Pandanales	香蒲科 Typhaceae	狭叶香蒲 <i>Typha angustifolia</i>			√	
桔梗目 Campanulales	菊科 Compositae	小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i>			√	√
		长裂苦苣菜 <i>Sonchus brachyotus</i>	√	√		
		萎蒿 <i>Artemisia selengensis</i>		√		
		豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i>				√
菊目 Asterales	菊科 Compositae	蓟 <i>Cirsium japonicum</i>			√	

原始湿地高等植物为 5 目 5 科 8 种，分别为露兜树目香蒲科的狭叶香蒲、禾本目禾本科的狗尾草、拂子茅、芦苇、荻、董菜目报春花科的球尾花(*Lysimachia thyrsoiflora*)、桔梗目菊科的柳蒿(*Artemisia integrifolia*)、粉状胚乳目雨久花科的鸭舌草(*Monochoria vaginalis*)。其中优势物种为香蒲科的狭叶香蒲(表 3)。

Table 3. Vascular plant species in natural wetlands

表 3. 自然湿地高等植物物种种类

目	科	种
露兜树目 Pandanales	香蒲科 Typhaceae	狭叶香蒲 <i>Typha orientalis</i>
		狗尾草 <i>Setaria viridis</i>
禾本目 Poales	禾本科 Gramineae	拂子茅 <i>Calamagrostis epigeios</i>
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>
		荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i>
董菜目 Sedum	报春花科 Primulaceae	球尾花 <i>L. thyrsoiflora</i>
桔梗目 Campanulales	菊科 Compositae	柳蒿 <i>A. integrifolia</i>
粉状胚乳目 Farinosae	雨久花科 Pontederiaceae	鸭舌草 <i>M. vaginalis</i>

3.1.2. 不同退耕年份高等植物物种数量变化特征

总体而言，从 2014 年到 2017 年，挠力河自然保护区湿地经过 4 年的退耕还湿修复，2017 年的湿地植物达到 5 目 5 科 10 种，2014 年退耕湿地植物为 4 目 4 科 5 种；植物种类的成增长趋势，增长了 1 目 1 科 5 种。

退耕湿地与自然湿地相比较，调查到的退耕湿地高等植物有 8 目 8 科 17 种，退耕湿地的高等植物有 5 目 5 科 8 种，说明湿地修复初期的植被类型更加丰富(图 2)。

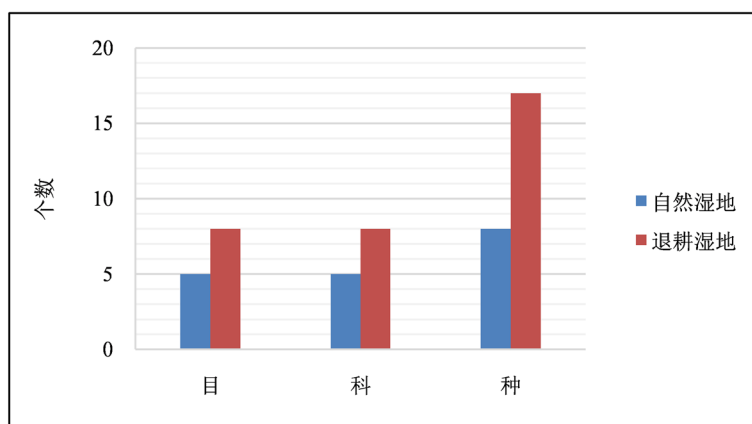


Figure 2. Comparison of plant species between natural wetland and returned farmland wetland

图 2. 自然湿地与退耕湿地植物种类比较

3.2. 以往不同耕种作物退耕湿地高等植物物种恢复情况

由表 4 可以看出，当以往耕种作物是大豆的退耕湿地，2017 年退耕湿地的高等植物种类相比 2014 年科、属、种均增加两种；而以往耕种作物为玉米的湿地，植物种类没有增加。

Table 4. Statistics of families, genera and species of plants in the returned wetlands of soybean and corn
表 4. 以往耕种作物大豆、玉米的退耕湿地植物科、属、种统计表

	退耕年份	科	属	种
大豆	2014 年	3	3	5
	2017 年	5	5	7
玉米	2014 年	3	3	6
	2017 年	3	3	6

3.3. 不同退耕年份湿地植被盖度特征

如表 5 所示, 挠力河自然保护区湿地植被盖度均值为 83.75%, 2014 年的 1#和 5#采样点的植被盖度分别为 100%和 45%, 2017 年的 2#和 3#采样点的植被盖度为 85%和 95%。该保护区的植被盖度最高值为 100%, 出现在采样点 1#、3#、8#, 位于 2014 年退耕湿地和自然湿地; 最低值为 45%, 出现在 5#采样点, 位于水体较深岸边位置。其他各采样点的植被盖度无明显特征。

Table 5. Wetland vegetation coverage in Naolihe Nature Reserve
表 5. 挠力河自然保护区湿地植被盖度

采样点	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	平均值
盖度/%	100	85	95	65	45	90	85	100	83.75%

3.4. 多样性指数

通过 Past326b 软件对挠力河自然保护区的退耕湿地和自然湿地高等植物的三种生物学指数进行分析, 退耕湿地与自然湿地的 Margalef 物种丰富度指数分别为 2.7435 和 1.3661; 退耕湿地的 Shannon-Wiener 生物多样性指数要明显高于自然湿地分别为 3.3595 和 2.1423; 退耕湿地均匀度指数(1.1858)与自然湿地 Pielou 均匀度指数(1.0302)值大致相同(表 6)。

Table 6. Plant biodiversity index of returned farmland wetlands in Naolihe National Nature Reserve (means)
表 6. 挠力河自然保护区退耕湿地植物生物多样性指数(平均值)

生物多样性指数	Margalef (D)		Shannon-Wiener (H)		Pielou 均匀度(J)	
	自然湿地	退耕湿地	自然湿地	退耕湿地	自然湿地	退耕湿地
平均值	1.3661	2.7435	2.1423	3.3595	1.0302	1.1858

4. 讨论

通过对不同年份退耕湿地的高等维管束植物数量和种类的比较, 发现挠力河自然保护区湿地经过 4 年间的退耕修复, 从 2014 年到 2017 年的退耕湿地高等维管束植物种类是呈现增长趋势, 说明随着退耕年限的增加, 高等植物种类趋于单一, 优势种越来越明显, 可能与退耕还湿后土壤有机碳随着恢复年限而逐步提高有关[20]。

与以往不同耕种作物(玉米和大豆)情况相比, 在退耕初期, 当以往耕种作物为大豆时, 退耕湿地高等植物种类和数量较原耕种作物是玉米的湿地有明显增加, 即在退耕初期大豆的残余对退耕湿地植物的修复起着较大作用, 这是退耕后大豆的土壤种子库具有用于植被恢复的可能性。土壤种子库对植物群落演

替作用明显,且土壤种子库进行植被恢复所获得的群落结构基本趋于稳定[21]。

挠力河退耕湿地植物的 Shannon-Wiener 生物多样性指数(3.3595)明显高于自然湿地(2.1423),退耕湿地的 Margalef 丰富度指数要高于自然湿地,分别为 2.7435 和 1.3661,而退耕湿地和自然湿地的 Pielou 均匀度指数大致相同,分别为 1.1858 和 1.0302。对比分析,该湿地退耕初期生物多样性更丰富,群落结构更为复杂,高等植物均匀度比较高,但物种种类比较少。退耕年份对退耕湿地高等植物的群落结构和多样性的影响也具有相关性,如理化环境、水质等对湿地高等植物生物多样性的影响还有待进一步研究[22][23]。可能与退耕还湿后人类干扰活动的减少有关,但由于研究区退耕湿地的恢复时间较短,水生植物群落的生物量还处于增长期,研究区的湿地土壤还需要更长的恢复时间才可能演替到自然湿地的稳定状态[24]。

在调查过程中,于 2017 年玉米退耕的湿地发现入侵物种豚草(*Ambrosia artemisiifolia*),但在样地中的数量较少,很可能是刚入侵该保护区,还需进一步扩大范围进行采样调查,豚草在自然群落中零星分布,但受到人类活动干扰的生境中豚草表现出一定的优势度。因此,在豚草防治中应防止人类活动的过度干扰影响,以保护当地的生态环境[25]。退耕湿地维管束植物的恢复与湿地原耕种作物、恢复年限、湿地水文以及种子库等多方面因素有关,为加强退耕湿地的修复和管理还需要进一步研究。

5. 结论

利用样方法在挠力河自然保护区退耕湿地进行维管束植物恢复现状的调查,退耕湿地与自然湿地维管束植物的调查得到 20 种,主要以禾本科为主,优势物种为狭叶香蒲(*Typha angustifolia*)和小叶章(*Deyeuxia angustifolia*)。通过退耕初期不同退耕年份湿地高等植物物种丰富度的比较发现,随着退耕时间的延长,高等物种组成趋于单一,优势种更加明显。通过对退耕湿地与自然湿地的生物多样性的比较分析发现 Shannon-Wiener 生物多样性指数明显高于自然湿地; Margalef 物种丰富度指数退耕湿地也高于自然湿地; Pielou 均匀度指数退耕湿地和自然湿地相差不大,在环境的分布比较均匀。与以往不同耕种作物(玉米和大豆)情况相比,在退耕初期,当以往耕种作物为大豆时,退耕湿地高等植物种类和数量较原耕种作物是玉米的退耕湿地有明显增加。

基金项目

本研究得到东北林业大学“2020 年大学生创新训练计划”省级项目(S202011225046)资助。

参考文献

- [1] 张绪良. 山东省海洋灾害及防治研究[J]. 海洋通报, 2004, 23(3): 66-72.
- [2] 邱东茹, 吴振斌. 富营养化浅水湖泊沉水水生植被的衰退与恢复[J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 82-88.
- [3] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 三江平原湿地景观结构的时空变化[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 391-400.
- [4] 罗新正, 朱坦, 孙广友. 松嫩平原大安古河道湿地的恢复与重建[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 243-250.
- [5] 樊蓓莉, 张凯, 赵晓红, 等. 基于植被物种多样性调查的卧龙湖湿地恢复建设研究[J]. 人民珠江, 2017, 38(10): 95-99.
- [6] 冯倩. 鄱阳湖国家湿地公园湿地生态系统健康评价研究[J]. 水生态学杂志, 2016, 37(4): 48-54.
- [7] 姬奇武. 山西省湿地公园建设与发展问题浅析[J]. 山西林业科技, 2017, 46(4): 60-61.
- [8] 马晓勇. 黄河中上游能源化工区(山西)生态环境现状及演变趋势[J]. 环境与可持续发展, 2012(6): 108-112.
- [9] 董正武, 赵晓英, 陈丽华, 任振华. 新疆艾比湖精河入湖口退化湿地恢复过程中浮游植物群落的变化[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 395-400.
- [10] 吴海一. 黑龙江省挠力河自然保护区植物区系特征[J]. 国土与自然资源研究, 2001(4): 76-78.

- [11] 陈连, 孟莹, 孙永贺. 挠力河流域水文特征分析[J]. 黑龙江水专学报, 2005(3): 48-50.
- [12] 易富科. 中国东北湿地野生维管束植物[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [13] 周长发. 东北湿地彩色植物图志[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2019.
- [14] 闫晗. 挠力河国家级自然保护区千鸟湖旅游区植物景观展示规划研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [15] 王广鑫. 黑龙江挠力河国家级自然保护区湿地本底植物水质资源调查报告[R]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2016.
- [16] Claude, E. and Shannon, W.W. (1964) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- [17] Ramon, M. (1951) Diversidad de Especies en las comunidades naturales. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, 6, 59-72.
- [18] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报(中文版), 2004(1): 62-75.
- [19] 商淋友, 刘筋旻, 徐磊, 刘曼红. 三环泡自然保护区大型底栖动物生物多样性研究[J]. 世界生态学, 2020, 9(4): 345-351.
- [20] 汪青, 张平究, 孟向东. 不同退耕年限对菜子湖湿地表土有机碳组分与质量的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(8): 2038-2043.
- [21] 莫训强. 土壤种子库应用于滨海地区植被恢复的研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 南开大学, 2013.
- [22] 张辛阳, 杨陈虎, 张诗意, 师骄琦. 沉湖湿地自然保护区种子植物区系及群落多样性分析[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2020, 45(5): 87-96.
- [23] 王杰, 王计平, 张华新, 常卓, 支晓蓉, 闫珂. 滦河河口地区植物区系分析及多样性研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2020, 40(4): 111-120.
- [24] 贾宏宏, 辜彬. 水源退耕湿地不同植物群落土壤特征变化初探[J]. 土壤, 2019, 51(4): 715-723.
- [25] 柏祥, 刘传才, 塔莉, 王连龙. 外来植物豚草的入侵机理研究进展及其现状[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2015, 25(2): 13-16.