

科尔沁沙地 4 种生境地土壤种子库特征及其与土壤化学因子的关系

马金宝, 高凯, 孙忠林, 周立业* (内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028000)

摘要 [目的]探究科尔沁沙地 4 种生境下的土壤种子库特征及其与土壤化学因子的关系。[方法]以科尔沁沙地 4 种不同演替阶段下的生境(农田地区、弃耕地区、自然草地区、林间草地区)为研究对象,通过野外调查取样及室内种子萌发相结合的方法,研究不同生境下瞬时土壤种子库的组成、空间分布以及与土壤化学因子之间的关系。[结果]4 种生境地土壤种子库共计出现 11 种植物,分为 6 科 11 属,种子库组成较为简单,多为一年生植物。不同生境地土壤种子库密度有显著差异($P < 0.05$),表现为自然草地区>林间草地区>农田地区>弃耕地区,且在相同生境垂直方向上密度均呈递减趋势。4 种生境地土壤种子库中 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数变化趋势基本一致,均表现为自然草地区最高,农田地区最低;农田地区和林间草地区的种子库相似性最高,为 0.88,自然草地区和弃耕地区相似性最低,为 0.46。土壤种子库多样性指数与速效钾、有效磷呈正相关,与有机质、碱解氮呈负相关。[结论]该研究结果为科尔沁沙地植被的恢复与重建提供理论依据。

关键词 土壤种子库;土壤化学因子;异质生境;变化特征;相关关系;科尔沁沙地

中图分类号 Q948 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)03-0065-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.03.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Characteristics of Soil Seed Banks and Their Relationships with Soil Chemical Factors in Four Habitats in Horqin Sandy Land

MA Jin-bao, GAO Kai, SUN Zhong-lin et al (Agricultural College of Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028000)

Abstract [Objective] To explore the characteristics of soil seed banks and their relationships with soil chemical factors in 4 habitats in Horqin Sandy Land. [Method] Taking four habitats under different succession stages in Horqin Sandy Land (agricultural area, abandoned farming area, natural grass area, and forest grass area) as the research object, the composition and spatial distribution of instantaneous soil seed banks in different habitats and their relationship with soil chemical factors were studied through a combination of field survey sampling and indoor seed germination. [Result] There were 11 kinds of plants in the soil seed banks of 4 habitats, which were divided into 6 families and 11 genera. The composition of the seed bank was relatively simple, mostly annual plants. The density of soil seed banks in different habitats had significant difference, which was natural grassland area> forest grass area> farmland area> abandoned area, and the density of soil seed banks in the same habitat showed a decreasing trend in the vertical direction. The Simpson index and Shannon-Wiener index in the soil seed banks of the four habitats were basically the same, with the highest in the natural grass area and the lowest in the farmland area. The similarity of seed banks in farmland area and forest grass area was the highest, which was 0.88, and that in natural grassland area and abandoned area was the lowest, which was 0.46. The density of soil seed banks was positively correlated with available potassium and available phosphorus, and negatively correlated with organic matter and alkali hydrolyzable nitrogen. [Conclusion] The results of this study provide a theoretical basis for the restoration and reconstruction of vegetation in Horqin Sandy Land.

Key words Soil seed bank; Soil chemical factors; Heterogeneous habitat; Change characteristics; Correlation; Horqin Sandy Land

土壤种子库是指存在于土壤表面及以下的全部存活种子的总和^[1]。它与地表植被关系密切,反映植被群落过去的状况,是地上植被潜在更新能力的物质基础,对植物多样性的保护有重要作用^[2]。土壤种子库也是植被群落受到干扰后恢复的主要种质资源,同时也在退化草地恢复与重建中起着重要的作用,在植被群落不同的演替阶段,土壤种子库会因地上植被的变化而产生差异,土壤种子库的变化也与土壤化学因子存在关联。已有研究表明,土壤微环境会通过影响种子的储存、萌发及地上植被的组成进而改变土壤种子库密度的分布格局^[3-5]。由于不同的植被类型土壤种子库组成不一致,掌握不同植被类型土壤种子库的特征有助于对该地区群落演替规律作出科学的预测,从而为植被的恢复与重建提供理论依据。

科尔沁沙地位于松嫩平原与内蒙古高原的过渡地带,是我国北方典型的生态脆弱区,不同于典型草原的相对均质性,荒漠草原的景观异质性非常明显^[6-7],区域内山地、农田、

草地、林地等景观镶嵌分布,不同的生态系统也在多方面发挥着保护科尔沁沙地的重要作用^[8]。近年来,对科尔沁沙地土壤种子库的研究主要集中在放牧、封育以及特定植物群落等方面,对不同生境下土壤种子库特征及其与土壤化学因子的联系鲜见报道。该研究以科尔沁沙地 4 种不同生境为对象,通过分析土壤种子库特征及其与土壤化学因子的关系,预测出该地区植被演化趋势并探究二者之间的关系,为科尔沁沙地的植被恢复与重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究地位于内蒙古自治区通辽市科尔沁区丰田镇附近(120°30'~120°55'E,43°19'~43°55'N),属于科尔沁沙地腹地,试验地为温带大陆性气候,四季分明,年平均降水量为 350~380 mm,年均蒸发量 1 957 mm,春季多风,年平均风速 3.6 m/s,年均有效积温 3 192 °C·d,平均海拔为 184 m,土壤类型为砂壤土,植被种类多为狗尾草[*Setaria viridis* (L.) Beauv.]、虎尾草(*Chloris virgata* Sw.)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia* DC.)、蒺藜(*Tribulus terrestris* L.)、沙蓬[*Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.]等。该试验样地主要选择科尔沁沙地腹地 4 种处于不同演替阶段下的异质生境:自然草地区、农田地区、林

基金项目 国家自然科学基金项目(31460634)。

作者简介 马金宝(1996—),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生,研究方向:草地生态。*通信作者,教授,博士,硕士生导师,从事草地生态方面的研究。

收稿日期 2021-05-18

间草地区、弃耕地区,各个生境的地上植被情况及海拔、坡度 见表 1。

表 1 研究地基本情况

Table 1 General situation of the study area

样地 Sample plot	海拔 Altitude//m	坡度 Slope//°	主要植物种类 Main plant species
自然草地区 Natural grassland area	182	10	狗尾草、砂引草、虎尾草、苳草、反枝苋、达乌里胡枝子、少花蒺藜草、蒺藜、茵陈蒿、野黍
农田地区 Farmland area	186	8	狗尾草、野黍、马齿苋、茵陈蒿、灰绿藜、稗草
林间草地区 Forest grass area	180	15	狗尾草、野黍、马齿苋、茵陈蒿、画眉草、苦麦菜、地稍瓜
弃耕地区 Abandoned area	183	9	狗尾草、马齿苋、茵陈蒿、灰绿藜、野艾蒿

1.2 野外调查采样 于 2020 年 7 月进行地上植被调查,2020 年 10 月进行土壤种子库采样,在通辽市科尔沁区丰田镇附近选择包括自然草地区、弃耕地区、林间草地区、农田地区的 4 个不同生境地,在每个生境地随机选择 3 块样地,在每个样地等距离的设置 3 条长 30 m、间距 10 m 的样带,在每条样带上每间隔 10 m 设置一个取样点,每个生境共计 27 个取样点,相同生境取样地的相同土层的土样混合在一起。取样时用专用的土壤种子采集器采集面积为 10 cm×10 cm 的原状土体,分 3 层(0~2、2~5、5~10 cm)取土,装入自封袋内带回实验室。种子库取样结束之后,于种子库每个取样点周围按 0~10、10~20、20~30 cm 3 个土层进行取样,带回实验室自然风干过筛后进行土壤化学性质的测定。

1.3 萌发试验 土壤种子库萌发试验于 2020 年 10 月 19 日进行,取回的种子在无外界种子干扰的情况下晒干过筛,并挑出其中的杂物。将每个样品平铺在发芽盆内,土样的厚度约 4 cm,萌发盆底部垫 5 cm 的经过高温消毒的蛭石(设置 3 个空白对照),然后置于玻璃温室内进行种子的发芽与幼苗的种属鉴定。在种子发芽期间,要每天喷施适量的水分来保证土壤的湿润,并逐日观察种子的发芽情况,在种子出苗后仔细辨别幼苗的种属,一旦能够辨别出幼苗的种属立即记录并且去除,直至能够识别出全部的幼苗之后结束试验。土壤种子库密度用单位面积(1 m²)土壤中有生命力的种子数量(即有效种子数量)表示(粒/m²),在持续 14 d 内观察无新物种出苗后试验结束,试验大概持续 90 d^[9-11]。

1.4 指标测定

1.4.1 相似性系数(SC)。相似性系数采用索雷申相似性系数(Sorensen's coefficient),即 $SC = 2w / (a + b)$,式中, w 为 2 个不同生境地共有的植物种数, a 和 b 分别为 2 个生境地各自拥有的植物种数^[12]。

1.4.2 多样性指数。

$$(1) \text{Simpson 优势度指数}(D) : D = 1 - \sum_{i=1}^s (P_i)^2$$

$$(2) \text{Shannon-Wiener 多样性指数}(H') : H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$(3) \text{Pielou 均匀度指数}(J) : J = H' / \ln S$$

$$(4) \text{Margalef 丰富度指数}(R) : R = (S - 1) / \ln N$$

式中, P_i 为第 i 个物种所占种子库总量的比例, N 为种子库全部种子数, S 为种子库物种个数^[13]。

1.4.3 土壤化学性质测定。土壤全氮采用凯氏定氮法测定,碱解氮采用碱解扩散法测定,有效磷采用碳酸氢钠浸提-

钼锑抗比色法测定,速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定,有机质采用重铬酸钾外加热法测定^[14]。

1.4.4 种子库密度。土壤种子库密度用单位面积土壤内所含有的活力种子数量来表示,即将取样面积 10 cm×10 cm 的种子数目换算为 1 m×1 m 的数量。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较土壤种子库密度的差异。

1.5 数据分析 采用 SPSS 23.0 和 Microsoft Excel 2019 软件处理数据及制作图表。用 Canoco 5.0 进行 RDA 分析和制图,将 Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数作为响应变量,将土壤化学性质作为解释变量,利用 RDA 分析对二者之间的关系进行解释。

2 结果与分析

2.1 土壤种子库物种组成、密度及生活型特征 由表 2 可知,科尔沁沙地 4 种生境地土壤种子库组成较为简单,共统计出 11 种植物,隶属于 6 科 11 属;其中一年生植物占绝大部分,包括单子叶植物 5 种、双子叶植物 6 种,4 种生境地土壤种子库密度具有显著性差异($P < 0.05$),表现为自然草地区 > 林间草地区 > 农田地区 > 弃耕地区。自然草地区种子库密度为 10 866.5 粒/m²,其中包括 10 种植物,分属于 5 科 10 属,其中禾本科物种较多;农田地区种子库密度为 2 533.3 粒/m²,其中包括 4 种植物,分属于 3 科 4 属;林间草地区种子库密度为 2 666.8 粒/m²,其中包括 5 种植物,分属于 3 科 5 属;弃耕地区种子库密度为 2 166.6 粒/m²,其中包括 4 种植物,分属于 4 科 4 属。

2.2 不同生境地土壤种子库的垂直分布特征 从图 1 可以看出,4 种生境地土壤种子库密度不同,同一生境地土壤种子库密度垂直方向分布不均匀,且都随土壤深度的加深种子库密度逐渐降低。在 0~2 cm 土层,4 个生境地种子库密度表现为自然草地区 > 农田地区 > 林间草地区 > 弃耕地区,且都呈现出显著差异($P < 0.05$);在 2~5 cm 土层,4 个生境地种子库密度表现为自然草地区 > 林间草地区 > 弃耕地区 > 农田地区,且都呈现出显著差异($P < 0.05$);在 5~10 cm 土层,4 个生境地种子库密度表现为自然草地区 > 林间草地区 > 农田地区 = 弃耕地区,且都呈现出显著差异。

2.3 不同生境地土壤种子库与地上植被物种相似性及多样性特征 由表 3 可知,自然草地区和农田地区土壤种子库与地上植被的物种相似性最高,弃耕地区最低,整体变化规律

表 2 4 种生境地土壤种子库组成及密度

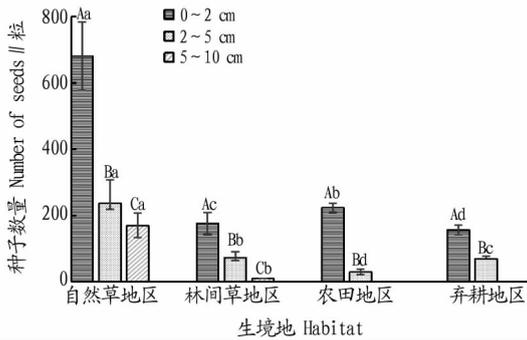
Table 2 Composition and density of soil seed bank in four habitats

粒/m²

生境地 Habitats	土层 Soil layer//m	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	野黍 <i>Eriochloa villosa</i>	蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	反枝苋 <i>Amaran- thus retroflexus</i>	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	灰绿藜 <i>Chenop- odium glaucum</i>	苳草 <i>Arthraxon hispidus</i>	少花蒺藜草 <i>Cenchrus pauci- florus</i>	合计 Total
自然草地区 Natural grass- land area	0~2	1 333.3± 235.7	1 333.3± 355.9	733.3± 362.5	733.3± 170.0	566.7± 47.1	733.3± 47.1	566.7± 81.6	566.7± 47.1	—	100± 47.1	133.3± 81.6	6 799.9± 1 475.1 a
	2~5	933.3± 47.1	733.3± 571.5	566.7± 47.1	133.3± 47.1	—	—	—	—	—	—	—	2 366.6± 712.8 a
	5~10	—	566.7± 163.3	700.0± 81.6	433.3± 124.7	—	—	—	—	—	—	—	1 700.0± 369.7 a
农田地区 Farmland area	0~2	1 866.7± 47.1	—	100.0± 0.0	—	133.3± 47.1	133.3± 47.1	—	—	—	—	—	2 233.3± 141.3 b
	2~5	200.0± 81.6	100.0± 0.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300.0± 81.6 d
	5~10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
林间草地区 Forest grass area	0~2	433.3± 47.1	—	66.7± 0.0	—	166.7± 47.1	933.3± 47.1	—	166.7± 47.1	—	—	—	1 766.7± 188.4 c
	2~5	166.7± 47.1	—	66.7± 0.0	—	166.7± 0.0	200.0± 81.6	—	200.0± 0.0	—	—	—	800.1± 128.7 b
	5~10	100.0± 0.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.0± 0.0 b
弃耕地区 Abandoned area	0~2	933.3± 47.1	—	—	—	100.0± 0.0	433.3± 47.1	—	—	100.0± 0.0	—	—	1 566.6± 94.2 d
	2~5	166.7± 94.3	—	—	—	233.3± 47.1	200.0± 81.6	—	—	—	—	—	600.0± 223.0 c
	5~10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注: 同列不同小写字母表示不同生境地同一土层间种子库密度差异显著 ($P < 0.05$)。"—"表示样地中无该种植物

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in seed bank density between the same soil layer in different habitats ($P < 0.05$)."—" means there is no such plant in the plot



注: 不同小写字母表示不同生境下同一土层之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同一生境下不同土层之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference in the same soil layer in different habitats ($P < 0.05$), different capital letters indicated significant difference in different soil layers in the same habitat ($P < 0.05$)

图 1 不同生境地土壤种子库的垂直分布特征

Fig. 1 Vertical distribution characteristics of soil seed banks in different habitats

在 0.55~0.80。4 种生境地土壤种子库之间物种组成相似性系数变化在 0.46~0.88, 其中农田地区和林间草地区的土壤种子库相似性系数最高, 为 0.88, 弃耕地区和自然草地区的土壤种子库相似性系数最低, 为 0.46(表 4)。土壤种子库物种多样性指数表明(表 5), Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数都表现为自然草地区>林间草地区>弃耕地区>农田地区, Pielou 均匀度指数表现为弃耕地区>林间草

地区>自然草地区>农田地区, Margalef 丰富度指数表现为自然草地区>林间草地区>农田地区=弃耕地区。

表 3 不同生境地土壤种子库与地上植被的物种相似性

Table 3 Species similarity of soil seed banks and aboveground vegetation in different habitats

生境地 Habitat	土壤种子 库物种数 Number of species in soil seed bank	地上植 被物种数 Number of aboveground vegetation species	共有物种数 Number of common species	相似性 指数 Similarity index
自然草地区 Natural grassland area	10	10	8	0.80
农田地区 Farmland area	4	6	4	0.80
林间草地区 Forest grass area	5	7	5	0.76
弃耕地区 Abandoned area	4	5	4	0.55

2.4 土壤化学因子与土壤种子库生物多样性及密度的 RDA 排序 经蒙特卡罗检验分析, 土壤化学性质对种子库多样性有显著影响。在 RDA 排序图中, 前 2 个轴的特征值分别为 0.82 和 0.17, 累计贡献率为 93.48% 和 99.85%, 因此轴 2 更能反映他们二者之间的关系(图 2)。从图 2 可以看出, 土壤种子库多样性指数与速效钾、有效磷、全氮相关性较高, 速效钾和有效磷对土壤种子库多样性指数影响较大且呈正相关, 而与有机质、碱解氮呈负相关。

3 结论与讨论

在荒漠及沙地区域, 土壤种子库有结构简单、密度低、萌发时间短、对水分高度敏感的特性^[15], 在科尔沁沙地的 4 种

表 4 不同生境地种子库物种组成相似性

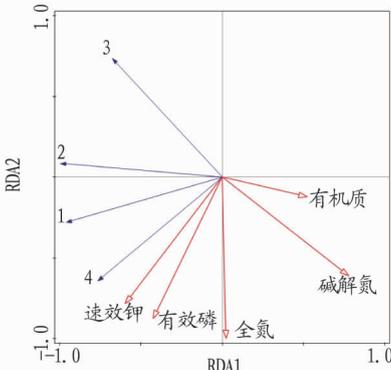
Table 4 Similarity of species composition of seed banks in different habitats

生境地 Habitat	自然草地区 Natural grassland area	农田地区 Farmland area	林间草地区 Forest grass area	弃耕地区 Abando- ned area
自然草地区 Natural grassland area	1	0.61	0.71	0.46
农田地区 Farmland area		1	0.88	0.75
林间草地区 Forest grass area			1	0.66
弃耕地区 Abandoned area				1

表 5 不同生境下土壤种子库多样性指数

Table 5 Diversity index of soil seed banks in different habitats

生境地 Habitat	Simpson 优势度指 数(D)	Shannon- Wiener 多 样性指 数(H')	Pielou 均 匀度指 数(J)	Margalef 丰富度 指数(R)
自然草地区 Natural grassland area	0.85	1.45	0.66	0.86
农田地区 Farmland area	0.56	0.58	0.41	0.38
林间草地区 Forest grass area	0.70	1.21	0.75	0.50
弃耕地区 Abandoned area	0.67	1.18	0.85	0.38



注:1. Simpson 优势度指数;2. Shannon-Wiener 多样性指数;3. Pielou 均匀度指数;4. Margalef 丰富度指数

Note:1. Simpson dominance index (D);2. Shannon-Wiener diversity index (H');3. Pielou uniformity index (J);4. Margalef richness index (R)

图 2 土壤化学因子与土壤种子库生物多样性的 RDA 排序

Fig. 2 RDA ordination of soil chemical factors and soil seed banks biodiversity

不同生境中,共计统计出 11 种植物,分属于 6 科 11 属,种子库组成较为简单且大多以一年生植物为主。有学者研究表明,草地土壤种子库密度为 $10^3 \sim 10^6$ 粒/ m^2 ^[16],在该研究中,4 种生境地土壤种子库密度分别为自然草地区 10 866.5 粒/ m^2 、农田地区 2 533.3 粒/ m^2 、林间草地区 2 666.8 粒/ m^2 、弃耕地区 2 166.6 粒/ m^2 ,符合有关学者对草地土壤种子库密度的研究^[7,17-18]。影响土壤种子库密度及特征的原因有许多,土壤因子、人类干扰、地形、海拔均会成为制约因素^[19-20]。科尔沁沙地地处我国北方典型农牧业交错区,近年来由于人类活动频繁,致使大部分天然草地退化或变更为农田、沙地^[21-22],随着地上植被的变化,地下土壤种子

库的组成和结构势必会发生相应的改变。4 种生境地土壤种子库总密度表现为自然草地区>林间草地区>农田地区>弃耕地区,这可能是由于人类的干扰造成地上植被的减少、改变,还可能是由于高大乔木或灌木半灌木的遮光效应,造成地上植被的改变,进而导致土壤种子库密度的下降。

土壤种子库具有明显的垂直分布特征,这种特征不仅影响种子的萌发,更是原有植被恢复与重建的基础^[23]。有学者研究表明,土壤种子库种子随深度呈现明显的二项式分布或泊松分布^[24]。在该研究中,4 种生境地土壤种子库密度随着深度的加深都有显著降低 ($P < 0.05$),且大多数种子集中在 0~5 cm 土层中,说明该试验中 4 种生境地种子库具有表聚性,产生这种情况的原因一方面可能是由于深层土壤种子库主要是持久型种子库,一方面可能也与研究地上植物种类大多以一年生植物为主有关。

群落物种相似性可以反映土壤种子库群落间的相互关系,对群落演替具有重要的研究意义^[25]。刘美珍等^[26]在对浑善达克沙地土壤种子库的研究中发现,种子库是浑善达克沙地恢复的重要物质基础,在经受到轻度的干扰之后,植物群落可以通过种子库的储存恢复原有的结构和功能。该研究中,自然草地区与弃耕地区种子库间物种相似性最低,二者间物种组成差异较大,且弃耕地区种子库物种丰富度最低,这说明在遭受到严重的干扰之后,弃耕地区在物种组成及丰富度上发生巨大的变化,这种变化通常在短时间不可逆,且如果没有辅以人工恢复,植物群落会进一步退化,很难恢复到原本的状态,从而无法恢复原本的生态功能。该研究发现,除 Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数以外,其他的土壤种子库多样性指数均表现为自然草地区>林间草地区>弃耕地区>农田地区,表明随着演替进程的加深,植被群落逐渐向更高级的方向发展进而使植物丰富度升高。人类干扰会影响植物群落正常的演替进程,而随着影响时间的延长,这种影响会进一步增强。

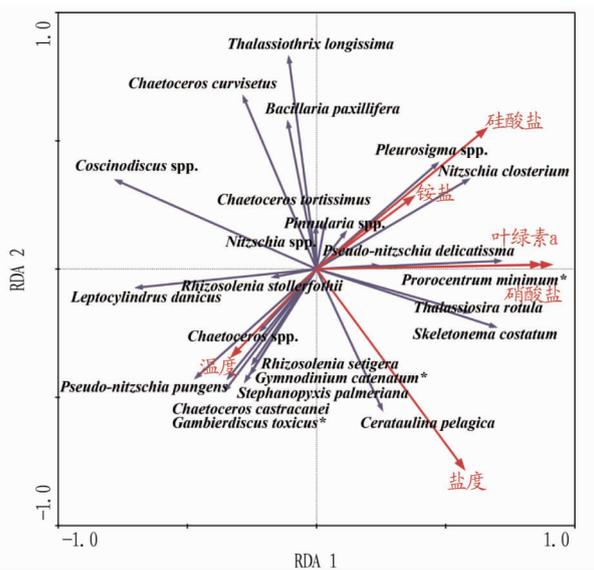
植物群落在遭受到破坏之后,能够通过自然演替恢复一定的结构和功能,土壤因子对植物的生长、分布影响较大,对土壤种子库的密度及物种多样性指数也有一定的影响,张蕊^[27]在对宁夏黄土丘陵区典型草原的研究中发现,土壤容重、土壤速效钾和全氮会影响该区土壤种子库的分布;邵文山^[28]在对荒漠草原区 4 种植物群落进行研究发现,不同的植物群落土壤化学性质存在差异,且土壤化学性质会影响土壤种子库的生物多样性。在该研究中,速效钾、有效磷与土壤种子库多样性相关性较高,其次为全氮,这种结果可能是磷、钾元素影响了地上植被的分布,进而对地下种子库的多样性产生影响。

参考文献

- [1] LECK M A, PARKER V T, SIMPSON R L. Ecology of soil seed banks [M]. San Diego: Academic Press, 1989: 149-209.
- [2] COFFIN D P, LAUENROTH W K. Spatial and temporal variation in the seed bank of a semiarid grassland [J]. Am J Bot, 1989, 76(1): 53-58.
- [3] GAD M R M, KELAN S S. Soil seed bank and seed germination of sand dunes vegetation in North Sinai-Egypt [J]. Ann Agric Sci, 2012, 57(1): 63-72.

(下转第 73 页)

硝酸盐影响较大。



注: * 表示甲藻,其余表示硅藻

Note: * means dinoflagellate, the rest means diatom

图8 唐山京唐港电厂温排水海域环境因子与浮游植物优势种的冗余分析

Fig.8 Redundancy analysis of environmental factors and dominant species of phytoplankton in the thermal drainage sea area of Tangshan Jingtang Port Power Plant

3 结论与讨论

通过此次调查,得出唐山京唐港电厂温排水影响区域内水文和营养盐的时空分布特征以及浮游植物群落物种组成和群落结构在不同季节的分布特征。通过冗余分析,得出5月份JTG-1受硅酸盐影响较大,其余站位受硝酸盐或盐度影

响;8月份各站位受温度影响较为明显,11月份则与盐度呈负相关。在优势种中,大洋角管藻受盐度影响较大,曲舟藻和新月菱形藻受硅酸盐和铵盐影响较大,微小原甲藻受硝酸盐影响较大。

此次调查研究也存在一定的局限性,主要表现在3次调查取样浮游植物群落物种组成存在较大差异,8月份浮游植物种类最多,硅藻门24种、甲藻门9种;其次为11月份,硅藻门19种、甲藻门5种;5月份浮游植物种类最少,硅藻门12种、甲藻门1种。在今后的工作中,应加大取样频率和取样站位,建立长期持续的监测工作,为海洋行政主管部门开展海洋生态环境监测提供基础数据。

参考文献

- [1] 郑承志,左丽明,马旺,等.不同温度下抑食金球藻、中肋骨条藻和海洋卡盾藻间的相互作用[J].热带海洋学报,2021,40(3):124-131.
- [2] 郭楠楠,李丹丹,陈曦,等.春秋两季西大洋水库生态修复示范区浮游植物群落结构特征[J].大连海洋大学学报,2020,35(3):417-423.
- [3] 唐森铭,商照荣,黄浩,等.刍议我国直流冷却电厂冷却用水生态危害与减损[J].应用海洋学报,2020,39(4):590-599.
- [4] 魏新渝,张琨,熊小伟,等.电厂取水设施运行对水生生物影响与减缓措施[J].水生态学杂志,2017,38(4):1-10.
- [5] 冯佳伟,顾杰,匡翠萍,等.秦皇岛海域夏季温排水对流扩散特征[J].水动力学研究与进展,2018,33(4):490-499.
- [6] 顾杰,韩雪健,匡翠萍,等.温排水在河口潟湖海岸中运输的三维模拟与分析[J].水动力学研究与进展,2020,35(2):201-212.
- [7] 汪琪,黄蔚,陈开宁,等.大溪水浮游植物群落结构特征及营养状态评价[J].环境科学学报,2020,40(4):1286-1297.
- [8] 刘林峰,周先华,高健,等.神农架大九湖湿地浮游植物群落结构特征及营养状态评价[J].湖泊科学,2018,30(2):417-430.
- [9] 马沛明,施练东,张俊芳,等.浙江汤浦水库浮游植物季节演替及其影响因子分析[J].环境科学,2016,37(12):4560-4569.
- [10] 刘西汉,王玉珏,石雅君,等.曹妃甸海域浮游植物群落及其在围填海前后的变化分析[J].海洋环境科学,2020,39(3):379-386.
- [11] 曾茹,李亚军,何金曼,等.清澜港近岸海湾春秋两季浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系[J].安徽农业科学,2021,49(10):77-82,100.

(上接第68页)

- [4] 陈颖颖,吴自荣,潘萍,等.飞播马尾松林土壤种子库的萌发特征及其与土壤理化性质的关系[J].土壤通报,2016,47(1):92-97.
- [5] 翟付群,许诺,莫训强,等.天津蓟运河故道消落带土壤种子库特征与土壤理化性质分析[J].环境科学研究,2013,26(1):97-102.
- [6] 赵丽娅,李元哲,陈红兵,等.科尔沁沙地恢复过程中地上定植群落与土壤种子库特征及其关系研究[J].生态环境学报,2018,27(2):199-208.
- [7] 崔珍珍,马超,陈登魁.1982—2015年科尔沁沙地植被时空变化及气候响应[J].干旱区研究,2021,38(2):536-544.
- [8] 李玉霖,赵学勇,刘新平,等.沙漠化土地及其治理研究推动北方农牧交错区生态恢复和农牧业可持续发展[J].中国科学院院刊,2019,34(7):832-840.
- [9] 刘静逸,牛艳东,郭克疾,等.南洞庭湖杨树清理迹地恢复初期土壤种子库特征及其与土壤因子的关系[J].应用生态学报,2020,31(12):4042-4050.
- [10] 韩润燕,陈彦云,李旺霞.不同微地形固定沙丘地上植被、土壤种子库和土壤含水量的分布特征[J].草业科学,2014,31(10):1825-1832.
- [11] 马妙君,周显辉,吕正文,等.青藏高原东缘封育和退化高寒草甸种子库差异[J].生态学报,2009,29(7):3658-3664.
- [12] 赵丽娅,李兆华,李锋瑞,等.科尔沁沙地植被恢复演替进程中群落土壤种子库研究[J].生态学报,2005,25(12):3204-3211.
- [13] 马克平,刘灿然,刘玉明.生物群落多样性的测度方法II β多样性的测度方法[J].生物多样性,1995,3(1):38-43.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [15] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志[M].北京:科学出版社,2004.
- [16] 李洪远,莫训强,郝翠.近30年来土壤种子库研究的回顾与展望[J].

- 生态环境学报,2009,18(2):731-737.
- [17] 赵晓男,唐进年,樊宝丽,等.高寒地区不同程度沙化草地土壤种子库特征[J].草业科学,2020,37(12):2431-2443.
- [18] 左小安,赵学勇,张铜会,等.中国北方农牧交错带植被动态研究进展[J].水土保持研究,2005,12(1):162-166.
- [19] SITVERTOWN J W. Introduction to plantation population ecology [M]. London: Longman, 1982:126-135.
- [20] 罗鑫萍,张祖欣,陈大立,等.黄土高原人工灌草系统不同立地条件土壤种子库特征[J].草地学报,2020,28(4):940-946.
- [21] 陈学平,杨艳刚,尚占环,等.青藏高原公路两侧草地土壤种子库特征研究:以国道214公路共玉公路段为例[J].草地学报,2018,26(1):85-91.
- [22] BEKKER R M, BAKKER J P, GRANDIN U, et al. Seed size, shape and vertical distribution in the soil: Indicators of seed longevity [J]. Funct Ecol, 1998, 12(5):834-842.
- [23] AMBROSIO L, DORADO J, DEL MONTE J P. Assessment of the sample size to estimate the weed seedbank in soil [J]. Weed Res, 1997, 37(3):129-137.
- [24] 李国旗,邵文山,赵盼盼,等.封育对荒漠草原两种植物群落土壤种子库的影响[J].草业学报,2018,27(6):52-61.
- [25] 于浩,高丽,闫志坚,等.库布齐沙漠东段不同演替阶段沙丘土壤种子库变化特征[J].中国草地学报,2015,37(4):80-85.
- [26] 刘美珍,蒋高明,于顺利,等.浑善达克退化沙地恢复演替18年中植物群落动态变化[J].生态学报,2004,24(8):1734-1740.
- [27] 张蕊.不同生态恢复措施下宁夏黄土高原典型草原土壤种子库特征[D].银川:宁夏大学,2018.
- [28] 邵文山.荒漠草原区4种植物群落土壤特性和种子库的研究[D].银川:宁夏大学,2017.