

DOI: 10.5846/stxb201501220180

冯文娟, 徐力刚, 王晓龙, 李海英, 姜加虎. 鄱阳湖洲滩湿地地下水位对灰化藁草种群的影响. 生态学报, 2016, 36(16): - .

Feng W J, Xu L G, Wang X L, Li H Y, Jiang J H. Response of *Carex cinerascens* populations to groundwater level gradients in the Poyang Lake wetland. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16): - .

鄱阳湖洲滩湿地地下水位对灰化藁草种群的影响

冯文娟^{1,2}, 徐力刚^{1,*}, 王晓龙¹, 李海英³, 姜加虎¹

1 中国科学院流域地理学重点实验室, 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国水利水电科学研究院, 国家水电可持续发展研究中心, 北京 100038

摘要:在气候变化和人类活动的双重影响下,近年来鄱阳湖流域极端水文事件频发,洲滩湿地生态过程也相应发生变化,开展鄱阳湖水文过程变化与植被演替过程的交互作用与影响的相应研究十分必要。本研究选择鄱阳湖典型洲滩植物为研究对象,通过地下水位控制模拟试验,设置地下水位埋深 10cm-20cm-40cm-80cm-120cm 五个地下水位梯度,系统探讨了地下水位埋深对鄱阳湖典型湿地植物灰化藁草(*Carex cinerascens*)生长与种群演变的影响。研究结果表明:春季,不同地下水位对灰化藁草种群的密度和群落多样性影响不显著;夏季,不同地下水位对灰化藁草的密度、种群多样性以及藜蒿和灰化藁草的高度比影响显著。地下水位埋深 10cm 更适宜灰化藁草植株生长与群落结构的稳定,而地下水位埋深低于 80cm,尤其是低于 120cm 可能会导致灰化藁草种群的退化与演替。研究结果对于揭示地下水位波动作用下鄱阳湖湿地植被种群发生的短期变化和长期演变趋势具有重要的指示意义。

关键词:鄱阳湖; 地下水位; 灰化藁草; 种群

Response of *Carex cinerascens* populations to groundwater level gradients in the Poyang Lake wetland

FENG Wenjuan^{1,2}, XU Ligang^{1,*}, WANG Xiaolong¹, LI Haiying³, JIANG Jiahu¹

1 Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 National Research Center of Sustainable Hydropower Development, China Institute of Water Resources and Hydropower, Beijing 100038, China

Abstract: Poyang Lake has faced frequent extreme events such as floods and droughts owing to climate change and human activities. These changes in hydrological processes directly impact the ecological processes of the Poyang Lake wetland. Therefore, it is essential to investigate the relationship between hydrological processes and vegetation succession in Poyang Lake. In this study, the influence of groundwater on the development of *Carex cinerascens* populations was studied by controlled experiments. *C. cinerascens*, one of the dominant species in the Poyang Lake wetland, was planted at five groundwater-level gradients (-10, -20, -40, -80, and -120 cm relative to the soil surface). The number of *C. cinerascens* plants per barrel was surveyed and recorded at approximately 15-day intervals. The soil water content decreased significantly with decreasing groundwater level, though there was no difference in water content between the -80 cm and -120 cm groundwater level treatments. The groundwater level gradient did not significantly affect the characteristics of the *C. cinerascens* population in the spring. However, the density, growth form, diversity, and the relative heights of *Artemisia*

基金项目:国家自然科学基金(41371121, 41271034);国家重点基础研究发展计划(2012CB417005);国家科技支撑计划项目(2014BAC09B02);中国水科院科研专项(1436);水利部公益性行业科研专项(1514)

收稿日期:2015-01-22; 网络出版日期:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lgxu@niglas.ac.cn

selengensis and *C. cinerascens* showed significant differences between treatments in the summer. The density for the five groundwater levels exhibited similar changes; it decreased significantly with decreasing groundwater level. Plants in the -80 cm and -120 cm levels exhibited decreases in growth earlier than plants in the other three groundwater treatments. The Simpson diversity index for the -120 cm groundwater level treatment was significantly higher than that observed for the -10 cm, -20 cm, and -40 cm treatments. The height ratio of *A. selengensis* to *C. cinerascens* in the -10 cm groundwater level treatment was always less than 0.9, which was far smaller than the ratios observed for other groundwater treatments. At the end of the experiment, the height ratios in -80 cm and -120 cm treatments were 4.7 and 4.5 times greater than that of the -10 cm groundwater treatment. A groundwater level of -10 cm was advantageous with respect to the growth and stability of the *C. cinerascens* population compared with the other treatments, and a groundwater level of -80 cm can cause degradation and succession of *C. cinerascens* populations. When the groundwater level was below -120 cm, this effect is maximal. The results and findings in this paper are helpful to assess the effects of groundwater level fluctuation on the short-term changes and long-term succession of typical vegetation under changing groundwater level conditions in Poyang Lake wetlands.

Key Words: Poyang Lake; groundwater level; *Carex cinerascens*; population

水文节律是一个复杂的水文现象,是形成湿地植被空间和时间异质性的关键因子^[1-2]。作为水文节律的一种表现,水位波动是湿地植物物种分布的主要决定性因素之一^[3-5],影响物种的萌发和物种间的竞争互动^[6-7],一定程度上决定着植被群落结构的形成和群落的演替^[3,8-9]。目前关于水位与湿地植被群落的研究包含淹水和地下水与湿地植被的关系,其中淹水的深度、持续时间和速率等淹水水文要素对植被生长、分布和演替的影响研究较为丰富^[2,10-11]。关于地下水与植被的关系,国内外研究学者已经作了卓有成效的研究工作,如 Weiher^[3]开展了长达 5 年的确定群落组成决定性环境因子的试验,发现地下水位是决定多种植物群落构成的重要因子,地下水对湿地植被的生长和繁殖起关键作用;Kennedy 等^[12]在对英国五种湿地植被进行地下水位的控制实验研究中发现,不同物种的形态、生物量和分蘖数等对地下水位有显著的响应;谭学界等^[13]用模糊数学法对黄河三角洲的湿地芦苇进行研究,认为地下水位改变地表水分含量和土壤的盐碱化,进而影响到群落的空间分布;Feng Li 等^[14]发现湿生植物 *Polygonum hydropiper* 在相同的密度下,地下水位越低,其生长态势越差的现象。然而,由于地下水监测较为困难,而它对植被的影响具有一定的滞后效应,所以目前关于地下水与湿地植被的研究仍相对缺乏,特别是高变幅水位过程与植被生长的关系研究较少。

鄱阳湖年内湖水水位波动剧烈,其涨退使带状分布于湖滨洲滩的植被带经历着出露-淹没-出露的水文过程。近年来随着气候的异常变化以及三峡大坝的修建等人类活动的干扰^[16],鄱阳湖流域出现了更为频繁的极端水文事件年,湖水位异常波动带来的地下水位以及淹水时间的提前和推迟直接影响到洲滩植被的生长繁殖以及植被带的演替^[16-18]。鄱阳湖流域关于水位与植被的研究尚处于开始阶段,已经开展的研究主要是针对湖水水位与洲滩植被覆盖面积的关系^[15,19],湖水水位与群落结构及其变化的关系^[18,20-21],及湖水水位对群落萌芽情况及生物量时空分布的影响研究^[22]。灰化藁草(*Carex cinerascens*)是鄱阳湖湿地的主要建群种之一,是最典型的湖滨草洲类型,其分布的洲滩高程较低,植被以地下茎和根的分蘖等克隆繁殖为主,根系长 20—30cm,自然条件下一年萌发两次;灰化藁草带物种单一,伴生种较少,是鄱阳湖湿地植被的代表性物种^[23]。研究灰化藁草群落不同地下水位影响下的生态策略对鄱阳湖湿地植被与地下水位关系的探究具有一定的代表意义。

本研究旨在分析春夏生长季节不同地下水位条件下灰化藁草的数量、物种多样性以及灰化藁草与伴生种的关系,以探究地下水位影响下灰化藁草种群的发展方向,为预测水位波动作用下鄱阳湖湿地植物种群及群落发生的短期变化和长期演替提供理论依据,为鄱阳湖湿地稳定生态系统的保护提供科学支撑。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验在中国科学院鄱阳湖湖泊湿地观测研究站(116.062306°E, 29.45151°N)的试验场进行,试验时间为2月底到8月初,持续春夏生长季节。地下水位埋深设置为-10cm、-20cm、-40cm、-80cm和-120cm五个地下水位处理,每个处理三个重复,对应的实验装置是直径38cm,高度分别为50cm、50cm、60cm、100cm和120cm的有机玻璃柱,柱壁距离顶端20cm和30cm处开有直径4cm的孔,用于测量不同土壤深度的土壤含水量,平时用橡皮塞密封。每个有机玻璃柱底端连接一个小型的储水罐,用于调节有机玻璃柱内的地下水位,有机玻璃柱内底端填充10cm厚的粗砂,以保证有机玻璃柱与储水罐间水位连通性。2014年2月20日在湿地观测研究站附近洲滩上的灰化藁草带采集表层30cm厚的原状土壤及其上处于萌芽期的灰化藁草群落,避免对其根部土壤产生扰动,同时取表层30cm以下的土壤用于填充有机玻璃柱,采集时灰化藁草的高度为 (7.0 ± 1.72) cm。将洲滩上的土壤以及表层的原装土壤及植株填充到有机玻璃柱内后,在柱壁外贴上刻度尺以确定地下自由水面的位置,并在有机玻璃柱外包围锡箔纸来避免光照,模拟根部的黑暗环境。开始一周之内补充定量的水分,保持土壤的湿润,帮助灰化藁草群落在试验布置时所受到扰动的恢复,之后对灰化藁草群落进行监测。

1.2 数据获取

1.2.1 土壤含水量

使用TRIME-PICO TDR32便携式土壤水分测量仪,试验期间对不同处理下土壤表层0—10cm深度土壤、10—20cm深度土壤和20—30cm深度土壤的含水量进行定期监测,由于地下水位埋深10cm和地下水位埋深20cm的处理的地下水位较高,所以其10—20cm深度土壤和20—30cm深度土壤的含水量并未监测,相应时间的降雨量使用测量土壤含水量前24小时的降雨量。

1.2.2 生长指标

每隔10—15天对每个柱子内的灰化藁草的数量以及伴生种的数量进行记录,用于计算辛普森多样性指数(Simpson指数), $D = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i/N)^2$,其中D为Simpson指数, N_i 为物种i的个体数, N 为群落中全部物种的个体数, S 为物种数目。

灰化藁草种群的增长模型选用与密度无关的种群增长模型, $r = [\log(N_t/N_0)]/t$, N_0 为原始种群数目, N_t 为 t 时刻的种群数目, r 是一种瞬时增长率, $r>0$ 种群上升; $r=0$ 稳定; $r<0$ 下降。

每隔一个月对灰化藁草以及主要伴生种——藜蒿(*Artemisia selengensis*)的高度进行测量记录,因为灰化藁草群落在自然状态下物种较为单一,伴生种较少,所以通过主要伴生种与灰化藁草的高度比(HR)来反映灰化藁草种群的发展方向,其中 $HR = H_{Art}/H_{Car}$, H_{Art} 表示藜蒿的高度, H_{Car} 表示灰化藁草的高度。

1.3 统计分析

利用Levene's检验进行方差齐次检验,不满足方差齐性的数据运用 $\log()$ 进行数据转换。单因素方差分析用于分析土壤水分含量差异显著性,组间多重比较采用LSD检验,转换后的仍不满足方差齐性的数据进行Kruskal-Wallis非参数检验;灰化藁草的密度、灰化藁草群落的多样性以及藜蒿与灰化藁草的高度比均进行单因素重复测量方差分析,之后检验中用于进行两两比较的多重比较采用LSD检验。统计分析中除了非参数多重比较利用SAS9.1软件实现外,其余均通过SPSS软件进行处理,画图通过Origin8.5实现。

2 结果分析与讨论

2.1 地下水位对表层土壤含水量的影响

各层土壤的水分含量随着地下水位梯度的变化明显,均呈现出随着地下水位埋深的增加水分含量降低的

趋势(图1),五个处理之间存在显著的差异(0—10cm 土壤深度: $F=142.799$, $p<0.001$;10—20cm 土壤深度: $\chi^2=8.362$, $p=0.015$;20—30cm 土壤深度: $F=53.221$, $p<0.001$)。各深度土层中地下水位埋深 80cm 和 120cm 处理的土壤水分含量与其他处理间的差异均显著($p<0.05$)。

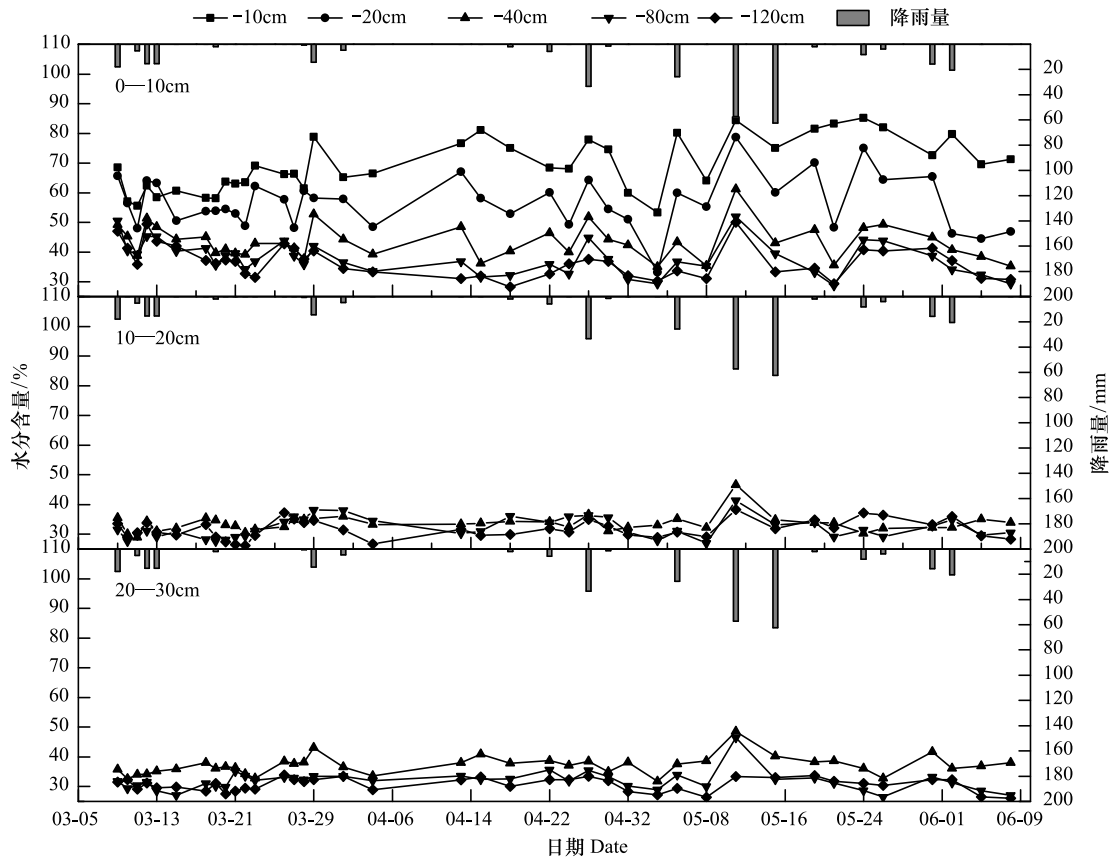


图1 各处理不同土壤深度土壤水分过程线

Fig.1 Soil water content hydrograph of the different soil depths of the five treatments

A: -10cm; B: -20cm; C: -40cm; D: -80cm; E: -120cm

土壤水分含量受到降雨、地下水和气温的共同影响,试验中各土壤深度的土壤水分含量虽然随着降雨而发生波动,但随着地下水位埋深的增加而减小是其总体的规律,距离地下水水面距离越大,通过土壤孔隙间的毛管力输送的水分越少,土壤水分含量越低,这与陈亚宁^[24]和马簪花^[25]关于地下水位对地表水分含量影响研究的结果相近。地下水位埋深 80cm 和 120cm 的处理表层含水量差异不显著,可以认为地下水位埋深 80cm 以下时,灰化藁草根部分土壤含水量基本不受地下水位的影响,其水分含量主要来源于自然降雨。试验期间,各处理各土壤深度的土壤水分含量波动发生着从小到大的变化,主要是由于 3 月份鄱阳湖流域温度较低,降水较少,其土壤蒸发量和降水对土壤水分含量的影响较小;而在 4 月份以后,气温回升较快,温度较高,且此阶段降雨增加,土壤水分含量受到地下水位影响的同时会受到土壤蒸发和降雨补给的作用,导致波动加大。

2.2 地下水位对灰化藁草密度及其增长型的影响

不同时间段,处理间灰化藁草的密度呈现不同的差异性(图2),5 月 6 日之前,各处理灰化藁草密度曲线随时间的变化规律相近,且差异不显著。5 月 20 日之后,随着地下水位埋深的增加灰化藁草的密度依次减小(图2),且处理间存在显著差异($F=21.902$, $P<0.001$),其中-10 cm 和-20 cm 处理之间差异不显著,而-120 cm 处理灰化藁草密度最小,且在试验后期其下降速度最快。

在试验过程中-10 cm、-20 cm 和-40 cm 处理的 r 值一直保持着正值,灰化藁草种群增长属于上升型,直到最后才出现下降型;-80 cm 和-120 cm 处理的 r 值在 5 月初即从上升型过度到稳定性,6 月初开始呈现出

下降型(图3)。地下水位埋深越浅出现下降型的时间越晚。

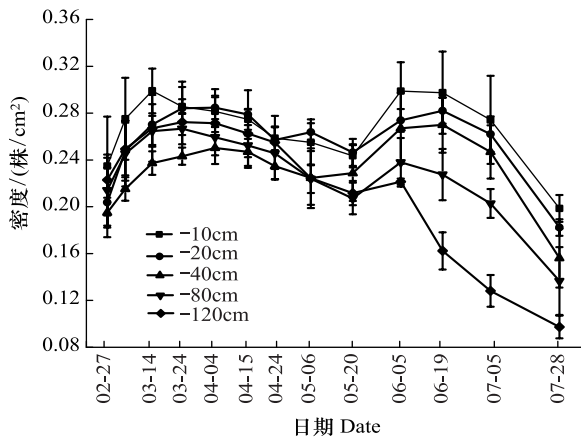


图2 不同地下水位影响下灰化藁草的密度变化曲线

Fig.2 Density change curve of *Carex cinerascens* grown under five groundwater levels

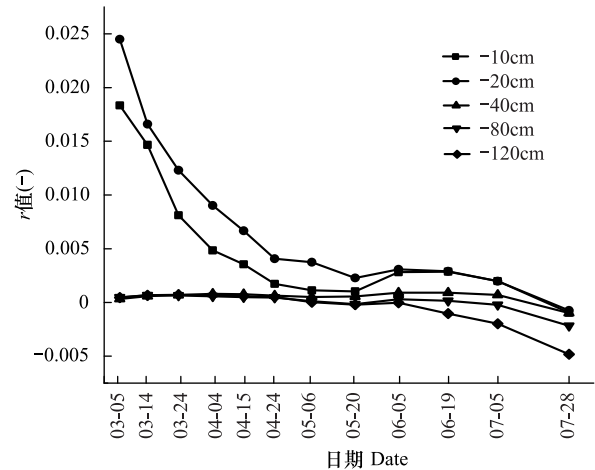


图3 不同地下水位处理下灰化藁草的增长曲线

Fig.3 Growth curve of *Carex cinerascens* grown under five groundwater levels

5个处理的灰化藁草密度变化规律均相似,都符合植物生长从萌芽到枯萎的规律,试验期间灰化藁草萌发生长两次,3月份第一次萌发,5月份枯萎的同时,又萌发第二次,其密度变化均呈单峰型(图2),灰化藁草进入萌芽期其密度增加,进入枯萎期其密度减小。试验前期处理间灰化藁草密度差异不显著,主要是因为鄱阳湖流域春季温度较低,土壤蒸发和植物蒸腾较弱,降雨所带来的土壤表层水分含量已经满足灰化藁草生长所需水分,地下水位对灰化藁草生长的作用并不明显。而5月20以后处理间灰化藁草密度差异显著,随着地下水位埋深的增加而依次减小,-80 cm和-120 cm处理与-10 cm、-20 cm和-40 cm处理差异显著(图2),这说明在鄱阳湖流域的夏季,地下水位埋深20cm之内适宜灰化藁草生长,而地下水位埋深80cm以下,灰化藁草根部的土壤水分含量低,不能满足植被维持正常生理功能所需,不仅会导致植被的枯死,而且阻碍正常的萌芽和繁殖,出现衰退现象。原因在于,鄱阳湖流域的夏季,土壤蒸发和植物蒸腾旺盛,虽然有时雨强较大,但降雨所带来的土壤水分含量升高持续时间很短,其影响较小,稳定的地下水位是灰化藁草生长所需水分的主要来源。

处理间灰化藁草的增长曲线的差异也很明显,能总体上反映试验期间的生长状况,-10 cm和-20 cm处理灰化藁草的生长优于其它处理,在实验前期,各处理虽然均为增长型,但-10 cm和-20 cm处理表现出更大的瞬时增长率,-80 cm和-120 cm处理灰化藁草先于其它处理出现衰退现象(图3)。这说明对于春季萌发的灰化藁草,如果地下水位长期维持在埋深80cm以下,会影响其繁殖和发展,导致灰化藁草种群的衰退。

2.3 地下水位对灰化藁草群落物种多样性的影响

试验前期(5月20日之前),处理间灰化藁草群落的Simpson指数的差异不显著,试验后期(5月20日之后)处理间的差异显著($F=3.814, p=0.039$),-120 cm处理的Simpson指数显著高于其它处理($p<0.05$,图4)。

Simpson指数反映的是物种的丰富度和均匀度,地下水位埋深越深,Simpson指数越大,说明地下水位埋深越深,灰化藁草群落的物种越丰富,各物种的均匀度越高,通过灰化藁草群落物种组成的分析可知,Simpson指数主要反映灰化藁草群落的均匀度高于其他处理,主要原因在于在试验后期,-120 cm处理中灰化藁草的数量迅速下降,使得各物种数量相对均匀。在野外灰化藁草植被带灰化藁草的盖度多达100%,群落物种较为单一,所以物种丰富度较高和物种较均匀预示着,在夏季,地下水位较高可能会引起灰化藁草的衰退和植被带的演替。

2.4 地下水位对藜蒿和灰化藁草的高度比的影响

处理间藜蒿和灰化藁草的高度比(HR)存在显著差异($F=6.015, p=0.038$),地下水位埋深10cm的处理

其高度比始终小于 0.9 (图 5), 显著小于其他处理的高度比 ($p < 0.05$)。经过 4 个月的不同地下水位的作用, -80 cm 和 -120 cm 处理的藜蒿与灰化藦草的高度比远大于 -10 cm 处理, 分别是其 4.7 倍和 4.5 倍。

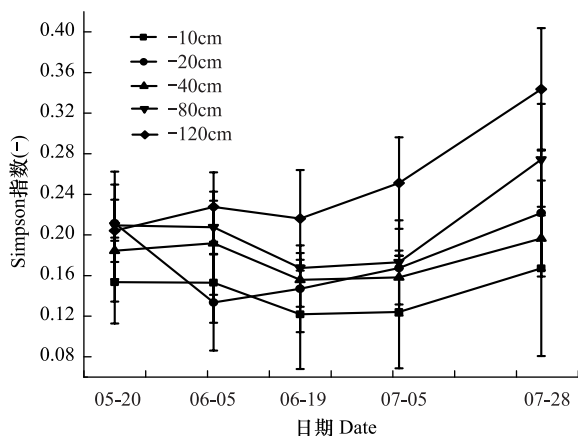


图 4 不同地下水位影响下灰化藦草群落物种多样性指数变化曲线

Fig.4 Species diversity index change curve of *Carex cinerascens* community grown under five groundwater levels

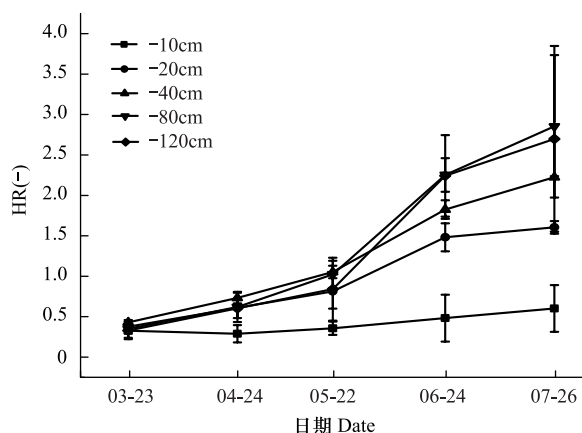


图 5 藜蒿和藦草的高度比曲线

Fig.5 Height ratio of *Artemisia selengensis* and *Carex cinerascens* grown under five groundwater levels

-10 cm 处理藜蒿与灰化藦草的高度比始终小于 0.9, 且显著低于其他处理 (图 5), 说明在地下水位埋深 10cm 的条件下, 藜蒿的高度从来没有超越灰化藦草的高度, 灰化藦草作为优势种占有明显的优势。虽然埋深较浅的地下水位适合灰化藦草的生长和繁殖, 但是长期保持埋深 20cm 以下的地下水位, 藜蒿在高度上的优势越来越明显。藜蒿的茎秆粗, 叶片厚, 成熟的藜蒿要比灰化藦草的株高大, 所以, 与灰化藦草相比, 藜蒿的储水能力更大, 在干旱条件下竞争能力更强, 能够储存更多的水分供自身生长繁殖所需, 这样灰化藦草可以利用的土壤水分就相应减少, 从而加剧了灰化藦草所遭受的水分胁迫, 一定程度上促使灰化藦草种群的衰退, 这也证明了 Sher 提出的水位决定植物竞争能力的观点^[26]。

3 结论

鄱阳湖流域水热组合条件年内变化明显, 相同的地下水位在不同的时期, 对灰化藦草群落的影响作用不同。春季地下水位埋深对灰化藦草种群的影响不显著。夏季, 相对于其它处理, -10 cm 处理是灰化藦草种群维持稳定的适宜水位, 在此地下水位条件下, 灰化藦草的优势明显, 多样性指数较低, 密度较大, 能够维持灰化藦草群落物种单一和盖度高的特征; -120 cm 处理则表现出生物多样性较大, 灰化藦草密度较小, 伴生种优势明显增加等, 此地下水位条件下灰化藦草退化明显, 可能会引起原有群落的演替。

试验中灰化藦草群落的物种多样性指数要比自然状态下大, 说明控制试验的模拟的条件与湿地自然环境存在一些差距。春季和夏季地下水位对灰化藦草生长繁殖的影响明显不同, 那么不同地下水位对秋季灰化藦草繁殖和生长的影响有待探索; 灰化藦草在春季受地下水位影响不显著, 那么对于以地下茎繁殖为主要繁殖方式的灰化藦草来说, 虽然经历了夏季不同水位的处理, 在来年春季萌发的时候, 是否处理间存在差异有待进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] Arnold G Van Der Valk. Water-level fluctuations in North American prairie wetlands. *Hydrobiologia*, 2005, 539(1): 171-188.
- [2] Birgittamalm Renöfält, David M Merritt, Christer Nilsson. Connecting variation in vegetation and stream flow; the role of geomorphic context in vegetation response to large floods along boreal rivers. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44(1): 147-157.
- [3] Evan Weiher, Paul A Keddy. The assembly of experimental wetland plant communities. *Oikos*, 1995, 73(3): 323-335.
- [4] D L Nielsen, A J Chick. Flood-mediated changes in aquatic macrophyte community structure. *Marine and Freshwater Research*, 1997, 48(2):

153-157.

- [5] Tenna Riis, Ian Hawes. Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zealand lakes. *Aquatic Botany*, 2002, 74(2): 133-148.
- [6] Scott D Wilson, Paul A Keddy. Species competitive ability and position along a natural stress/disturbance gradient. *Ecology*, 1986, 67(5): 1236-1242.
- [7] P A Keddy, P Constabel. Germination of ten shoreline plants in relation to seed size, soil particle size and water level: an experimental study. *Journal of Ecology*, 1986, 74(1): 133-141.
- [8] D H N Spence. The zonation of plants in freshwater lakes. *Advances in Ecological Research*, 1982, 12: 37-125.
- [9] Elisa J Raulings, Kay Morris, Michael C Roache, Paul I Boon. The importance of water regimes operating at small spatial scales for the diversity and structure of wetland vegetation. *Freshwater Biology*, 2010, 55(3): 701-715.
- [10] Michelle T Casanova, Margaret A Brock. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? *Plant Ecology*, 2000, 147(2): 237-250.
- [11] Jean-Marc Paillisson, Loïc Marion. Water level fluctuations for managing excessive plant biomass in shallow lakes. *Ecological Engineering*, 2011, 37(2): 241-247.
- [12] Michael P Kennedy, Judith M Milne, Kevin J Murphy. Experimental growth responses to groundwater level variation and competition in five British wetland plant species. *Wetlands Ecology and Management*, 2003, 11(6): 383-396.
- [13] 谭学界, 赵欣胜. 水深梯度下湿地植被空间分布与生态适应. *生态学杂志*, 2006, 25(12): 1460-1464.
- [14] Li F, Xie Y H, Zhang C, Chen X S, Song B B, Li Y Z, Tang Y, Hu J Y. Increased density facilitates plant acclimation to drought stress in the emergent macrophyte *Polygonum hydropiper*. *Ecological Engineering*, 2014, 71: 66-70.
- [15] 余莉, 何隆华, 张奇, 陈宇炜, 王晓龙. 三峡工程蓄水运行对鄱阳湖典型湿地植被的影响. *地理研究*, 2011, 30(1): 134-144.
- [16] 郭华, 张奇, 王艳君. 鄱阳湖流域水文变化特征成因及旱涝规律. *地理学报*, 2012, 67(5): 699-709.
- [17] 叶许春, 张奇, 刘健, 李丽娇, 郭华. 气候变化和人类活动对鄱阳湖流域径流变化的影响研究. *冰川冻土*, 2009, 31(5): 835-842.
- [18] Zhang L L, Yin J X, Jiang Y Z, Wang H. Relationship between the hydrological conditions and the distribution of vegetation communities within the Poyang Lake National Nature Reserve, China. *Ecological Informatics*, 2012, 11: 65-75.
- [19] 张方方, 齐述华, 廖富强, 张起明. 鄱阳湖湿地出露草洲分布特征的遥感研究. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(11): 1361-1367.
- [20] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 陈伏生, 李述. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6): 597-605.
- [21] 叶春, 刘元波, 赵晓松, 吴桂平. 基于 MODIS 的鄱阳湖湿地植被变化及其对水位的响应研究. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(6): 705-712.
- [22] 张华清. 鄱阳湖典型植物群落芽库组成及其对水文情势的响应[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- [23] 葛刚, 赵安娜, 钟义勇, 吴志强. 鄱阳湖洲滩优势植物种群的分布格局. *湿地科学*, 2011, 9(1): 19-25.
- [24] 陈亚宁, 李卫红, 徐海量, 刘加珍, 张宏峰, 陈亚鹏. 塔里木河下游地下水位对植被的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 542-549.
- [25] 马赞花, 张铜会, 刘新平. 半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应. *生态学报*, 2013, 33(21): 6984-6991.
- [26] Sher A A, Marshall D L. Seedling competition between native *Populus deltoides* (Salicaceae) and exotic *Tamarix ramosissima* (Tamaricaceae) across water regimes and substrate types. *American Journal of Botany*, 2003, 90(3): 413-422.