

文章编号: 1000-4025(2010) 09-1887-08

水分胁迫对三江平原典型湿地植物 种群高度与密度的影响

杨 涛^{1,2,3}, 宫辉力^{3*}, 胡金明⁴, 王 丽⁵

(1 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3 首都师范大学 三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048; 4 云南大学 亚洲国际河流中心, 昆明 650091; 5 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 基于为期 3 年的水文模拟实验, 分析了长期干旱与淹水胁迫对三江平原典型湿草甸、沼泽化草甸及沼泽群落的优势种群——小叶章和毛苔草种群高度和密度的影响。结果显示, 在不同群落中, 小叶章和毛苔草种群高度总体均随水位升高而增加, 毛苔草种群密度总体均随水位升高而下降, 而小叶章种群密度随水位升高变化无明显规律性; 随水分胁迫时间延长, 各水位梯度下两种植物种群高度和密度具有波动性。研究表明, 两优势种群在单优群落与混合群落中对水分胁迫均表现出不同的响应特征, 种群竞争对两个种群的水分需求具有重要影响; 两优势种群对水分胁迫的响应特征与水分胁迫的幅度及持续时间有关, 毛苔草种群对水分胁迫的响应更为敏感, 而两个种群指标中以种群高度对水分胁迫的响应更为敏感。

关键词: 干旱; 淹水; 小叶章; 毛苔草; 密度; 高度; 三江平原

中图分类号: Q 948.1 **文献标识码:** A

Influences of Long term Water Stress on Typical Plant Populations in the Sanjiang Plain Wetlands

YANG Tao^{1,2,3}, GONG Hui li^{3*}, HU Jin ming⁴, WANG Li⁵

(1 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3 Key Lab of 3-Dimensional Information Acquisition and Application of Ministry of Education Capital Normal University, Beijing 100048, China; 4 Asian International River Centre of Yunnan University, Kunming 650091, China; 5 Institute of Geographical Science and Nature Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract Based on a 3year hydrologic simulation experiment, we analyzed the effects of the long term drought and inundation on the typical dominant species of wet meadow, marsh and swamp meadow communities *Calamagrostis angustifolia* and *Carex lasiocarpa* population in the Sanjiang Plain. The results showed that in different communities, population height of the *C. angustifolia* and *C. lasiocarpa* generally increased as the water increased and population density of *C. lasiocarpa* declined while that of *C. angustifolia* with no significant changes and population height and density of the two plants fluctuated with prolonged stress. The two dominant species both responded differently to water stress when in a single dominant and mixed communities and species competition had an important influence on water requirements of the two populations. In addition responses of the two dominant species to water stress were related to the

①收稿日期: 2010-03-29; 修改稿收到日期: 2010-07-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (2006AA12Z111); 国家重点基础研究发展计划项目 (2006AA12Z111); 国家自然科学基金 (40961003)

作者简介: 杨 涛 (1982—), 男 (汉族), 在读博士研究生, 主要从事湿地生态水文及土壤水反演研究。E-mail: yf4226@neigae.ac.cn

* 通讯作者: 宫辉力, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态环境遥感及地下水三维数值模拟研究。E-mail: gonghl@263.net

magnitude and duration of stress. *C. lasiocarpa* was more sensitive to water stress than *C. angustifolia*, and the population height was more sensitive than the population density.

Key words :drought ;inundation ;*Calamagrostis angustifolia* ;*Carex lasiocarpa* ;density ;height ;the Sanjiang Plain

近年来,由于气候变化和人类活动的干扰,湿地生态系统退化严重^[1,2],湿地研究者试图通过湿地植被对水文条件的响应特征研究,寻找能够指示湿地生态健康状况的理想指示器^[3,4]。湿地植物积极响应于环境资源的变化,而水文情势的改变对湿地植物的影响最为关键^[5-7]。植物分布在适宜的环境中,竞争力最强,生长最旺盛。在湿地研究中发现,随着水位升高或降低,物种的竞争与存活能力发生改变^[8,9],种群生长与分布受到显著影响,洪水和干旱将导致许多物种完全或部分消失^[10],取而代之以存在于种子库中的并能在新的水位条件下萌发的植物种群^[11],并间接导致植物入侵^[12]。此外,大量研究已证实,水位的升高将导致植物种群密度下降,高度上升,但已有相关报道多为洪水胁迫下的植物响应研究,而针对目前湿地水位下降,植被退化过程中的干旱胁迫影响关注较少^[10,13-13]。

三江平原地区为中国面积最大的淡水沼泽湿地分布区,发育有淡水沼泽、沼泽化草甸、河流、湖泊等湿地类型。近年来由于气候变化和大规模的农业活动,区域降雨量减少、地下水位下降,湿地退化严重。小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)和毛苔草(*Carex lasiocarpa*)分别是三江平原分布最广泛的湿生和沼生物种。本研究通过对三江平原典型湿地植物群落为期3年的水文模拟试验,分析长期干旱与淹水胁迫对不同群落类型中小叶章和毛苔草种群特征的影响,并就两种植物种群特征对不同水位梯度的响应差别进行比较,为三江平原湿地生态系统健康评价,以及退化湿地的恢复提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料采集及处理

2004年9月末,连带植物地上部分采集典型小叶章湿草甸群落、小叶章-毛苔草沼泽化草甸群落以及毛苔草沼泽群落的原状土柱各10块,体积约为50cm×50cm×50cm,保持原状放置于内径为50cm×50cm×100cm,壁厚为1cm的有机玻璃箱内,运送回三江平原沼泽生态试验站,进行水文模拟试验。

根据野外植物分布调查,小叶章湿草甸群落、小

叶章-毛苔草沼泽化草甸群落以及毛苔草沼泽群落适宜的水分条件分别为季节性积水或土壤饱和、季节性积水或浅层积水、以及常年积水约10~30cm左右。因此,试验对小叶章群落和小叶章-毛苔草混合群落设积水-10cm(地表以下10cm)、0、10、20和30cm 5个水位处理,对毛苔草群落设置0、10、20、30和40cm 5个水位处理。试验中,各试验箱所处环境条件(降雨、温度、湿度等)基本一致。在此试验过程中,使用同一水源补给试验箱中的蒸散发失水,以维持各试验箱的水位梯度。

1.2 测定指标及方法

2005~2007年,每个生长季内定期(初期及末期每10d调查1次;中期每15d调查1次)记录群落优势物种(小叶章群落内小叶章、混合沼泽化草甸内小叶章和毛苔草、毛苔草群落内毛苔草)高度与密度两个种群特征,其中高度为所测种群自然平均高度,密度为群落内所测种群的所有无性系小株株数。

1.3 数据处理

通过SPSS 11.5的单因素方差分析对各生长季旺盛期7月10日左右的数据进行水分影响的显著性检验,并通过Duncan多重比较法对不同条件下的数据进行分析;绘图均在软件Origin 7.5内完成。

2 结果与分析

2.1 水位梯度对不同群落中小叶章和毛苔草种群密度的影响

2.1.1 小叶章群落 图1显示,小叶章群落中小叶章种群密度年际变化表现为先上升后下降的过程,生长季内表现为波动变化过程。3个生长季内,水分梯度影响达到显著水平($P<0.05$),均以30cm水位的小叶章种群密度始终最低,最低为(240±130.8) plant /m²,出现在2007年5月下旬;以-10cm水位的种群密度总体最高,最高为(1600±130.8) plant /m²,也出现在2007年5月中旬。在2005年,-10cm水位下小叶章种群的密度与0、10、20cm水位下的差异较小,后随水位施加年限延长,差异逐渐增大;各年份0、10、20cm 3个水位下的小叶章种群密度均无显著差异($P>0.05$)。

从图2来看,小叶章群落中的毛苔草种群密度

在 3 个生长季内均呈波动变化过程,20、30 cm 两个水位的毛苔草种群密度在生长季内的波动幅度较小,其密度始终处于较低水平($P < 0.05$)。年际之间,不同水位条件下,毛苔草种群密度总体呈逐年上升趋势,仅 30 cm 水位的种群密度总体逐年下降;随处理年限延长,各水位下的种群密度相对大小表现为 $0\text{ cm} > 10\text{ cm} > -10\text{ cm} > 20\text{ cm} > 30\text{ cm}$ 。其中,以 0、30 cm 水位种群密度的相对变化最为明显,0 cm 水位下,种群密度逐年提高成为各处理中最高的,最高达 $(930 \pm 130.8) \text{ plant/m}^2$,出现在 7 月中旬;而 30 cm 水位的种群密度逐年相对下降,至 2007 年成为各处理中密度最低的,最低为 $(100 \pm 130.8) \text{ plant/m}^2$,出现在 5 月中旬。

2.1.2 小叶章-毛苔草混合群落 从图 3 可知,在不同水位梯度下,小叶章-毛苔草混合群落中各水分处理的小叶章种群密度在各生长季内变化规律较为一致,表现为 -10 和 0 cm 水位下变化趋势相似,而 20 和 30 cm 水位下变化趋势相似。2005 年,水分处理之间小叶章种群密度相对大小表现为 $0\text{ cm} >$

$-10\text{ cm} > 10\text{ cm} > 30\text{ cm} > 20\text{ cm}$ 。2006 年, -10 cm 水位下种群密度上升明显,成为各处理中密度最高的,最高值为 $(690 \pm 123.7) \text{ plant/m}^2$,出现在 7 月下旬;0、10 以及 30 cm 之间的差异变小,低于 -10 cm 水位处理,但高于 20 cm 水位处理,而 20 cm 水位下的种群密度最低,最低为 $(160 \pm 21.2) \text{ plant/m}^2$,出现在 5 月中旬。2007 年,各水分处理之间差异缩小,0 cm 水位下种群密度季节变化频繁,其它处理变化规律一致, -10 cm 水位下的密度依然最大,而处理之间的相对大小总体表现为 $-10\text{ cm} > 0\text{ cm} \geq 10\text{ cm} > 30\text{ cm} \geq 20\text{ cm}$ 。

混合群落中毛苔草种群密度在年际之间均呈先上升后下降趋势;每个生长季内又呈明显的波动变化,其中 2006 年的波动最为剧烈(图 4)。2005 年,各水分处理的种群密度总体较低,其中 -10 和 0 cm 处理略大于 10 cm 处理,而 20 和 30 cm 的较低,且处理之间的差异不显著($P > 0.05$);2006 年,0 cm 水位下种群密度最高($P < 0.05$),最高为 $(1\,020 \pm 42.4) \text{ plant/m}^2$,出现在 6 月中旬,且 0、10 和 20 cm

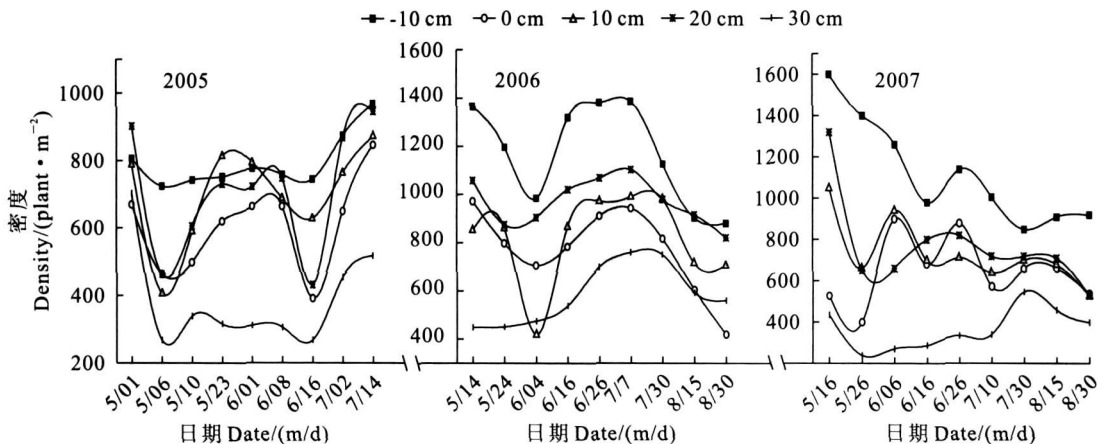


图 1 不同水位梯度下小叶章群落中小叶章种群密度动态

Fig. 1 Dynamics of *C. angustifolia* population density in the *C. angustifolia* community under different water gradients

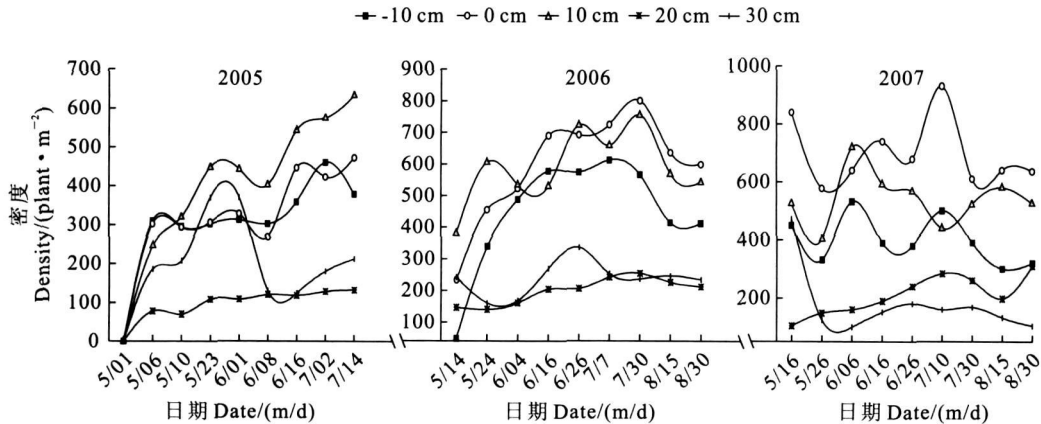


图 2 不同水位梯度下小叶章群落中毛苔草种群密度季节动态

Fig. 2 Dynamics of *C. lasiocarpa* population density in the *C. angustifolia* community under different water gradients

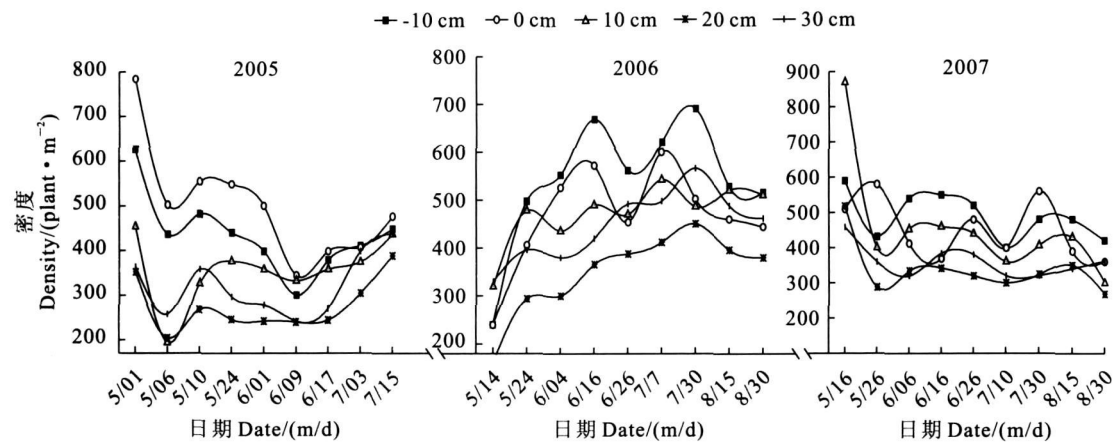


图 3 不同水位梯度下混合群落小叶章种群密度季节动态

Fig. 3 Dynamics of *C. angustifolia* population density in the *C. angustifolia*-*C. lasiocarpa* community under different water gradients

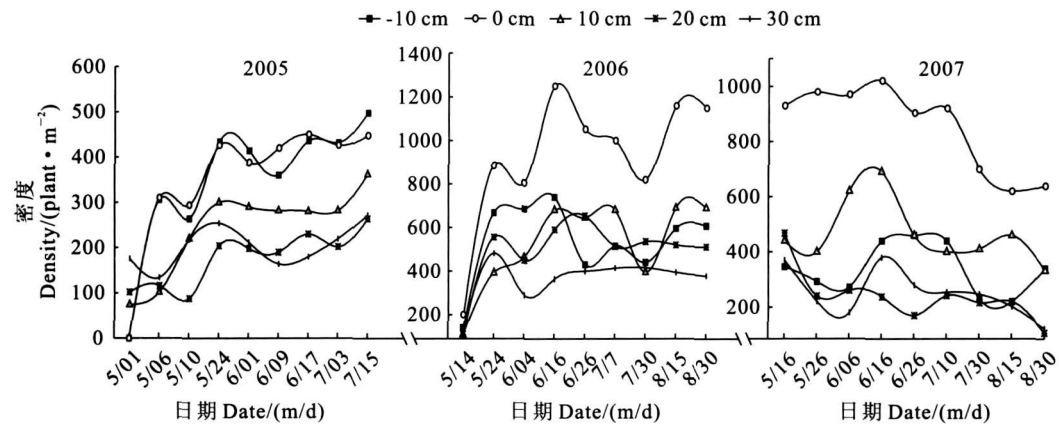


图 4 不同水位梯度下混合群落毛苔草种群密度季节动态

Fig. 4 Dynamics of *C. lasiocarpa* population density in the *C. angustifolia*-*C. lasiocarpa* community under different water gradients

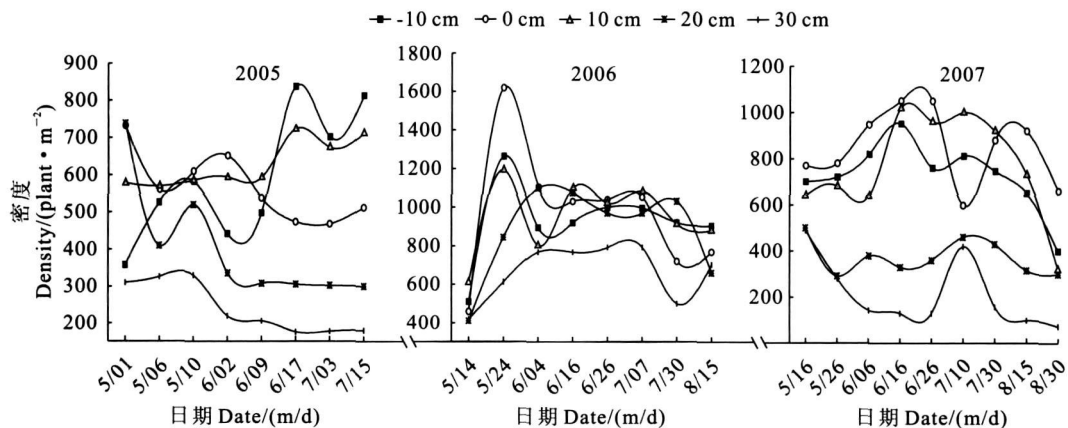


图 5 不同水位梯度下毛苔草群落中毛苔草种群密度季节动态

Fig. 5 Dynamics of *C. lasiocarpa* population density in the *C. lasiocarpa* community under different water gradients

水位的种群密度相对上升,而-10和30cm水位下对上升,而20cm水位的相对下降最为明显,各处理的相对下降;2007年,以10cm水位的种群密度相间的相对大小表现为0cm>10cm>-10cm>20

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

cm \geq 30 cm,且其间差异达到显著水平($P<0.05$)。

2.1.3 毛苔草群落 毛苔草群落中毛苔草种群密度的年际变化同样是先上升后下降的过程;季内则呈波动变化趋势,且以 2006 年的波动最为频繁(图 5)。2005 年,各水位梯度下的毛苔草种群密度季节变化较为平缓,而水分条件影响达到显著水平($P<0.05$),30 cm 和 40 cm 水位下密度始终处于较低水平,而其他 3 个水位梯度之间生长季内密度水平呈波动交替变化。2006 年,40 cm 水位的密度最低,其余处理比较接近;0 和 20 cm 水位的密度相对下降,而 10 和 30 cm 水位的相对上升,但处理之间无显著差异($P>0.05$)。2007 年,各水分处理之间密度差异增大但仍未达到显著水平,总体趋势为 10 cm $>$ 20 cm $>$ 0 cm $>$ 30 cm $>$ 40 cm;40 cm 水位的密度低于 2005 年的,在各处理中依然最低,最低值达 74 \pm 7.8) plant /m²,出现在 8 月下旬;10 和 20 cm 水位的密度相对上升,而 30 cm 水位的相对下降。

2.2 水位梯度对不同群落中小叶章和毛苔草种群高度的影响

2.2.1 小叶章群落 图 6 显示,在 2005 年,不同水位梯度下小叶章群落中的小叶章明显分为两组,即 20 和 30 cm 水位条件下的小叶章种群高度明显高于其它 3 个处理,且高度总体随水位的升高而升高。2006 年,-10、0 和 10 cm 的小叶章种群高度明显高于 2005 年,尤其是一 10 cm 水位下种群高度年际间差异达到显著水平($P<0.05$);而 20 和 30 cm 水位的小叶章种群高度比 2005 年略有下降,且处理之间的差异变小,但仍以 30 cm 水位下的小叶章种群高度最高,达到(97.5 \pm 3.5) cm,出现于 7 月上旬。2007 年,不同水位梯度小叶章种群高度差别依然较小,但是 10 cm 水位梯度的高度相对提高,而 30、0 cm 水位的则相对下降,总体趋势为 20 cm \geq 10 cm $>$ -10 cm $>$ 30 cm $>$ 0 cm,但其间差异不显著。

小叶章群落中的毛苔草种群高度在年际之间表

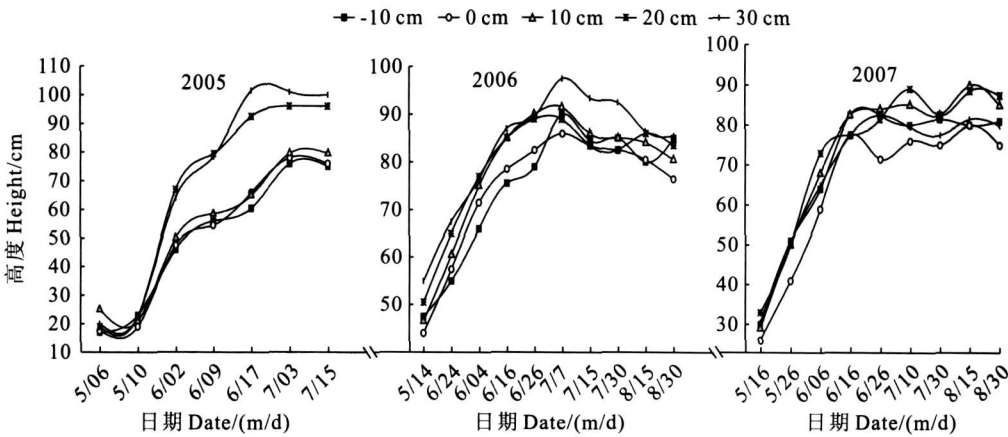


图 6 不同水位梯度下小叶章群落小叶章种群高度季节动态

Fig. 6 Dynamics of *C. angustifolia* population height in the *C. angustifolia* community under different water gradients

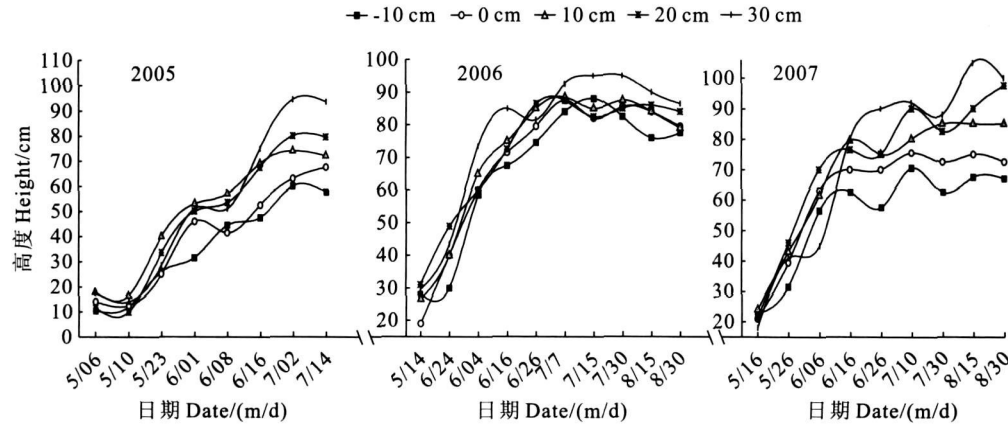


图 7 不同水位梯度下小叶章群落毛苔草种群高度季节动态

Fig. 7 Dynamics of *C. lasiocarpa* population height in the *C. angustifolia* community under different water gradients

现为先上升后下降,而总体为上升的变化过程,水分处理之间的相对大小无明显变化;在每个生长季内,毛苔草种群高度上升到最大高度后,围绕最大高度波动变化。不同水位处理之间毛苔草种群的高度差异,在 2005 年较明显,且表现为 $30\text{ cm} > 20\text{ cm} > 10\text{ cm} > 0\text{ cm} > -10\text{ cm}$;2006 年差异变小;但是 2007 年差异又显著变大 ($P < 0.05$),且其达到最大高度后,处理之间的相对大小次序与 2005 年一致,即随着水位的升高而升高(图 7)。

2.2.2 小叶章-毛苔草混合群落 混合群落中小叶章的种群高度年际之间表现为先上升后下降的变化过程,且 2006 年各水位梯度下小叶章最大高度高于 2005 年和 2007 年的(图 8)。其中,在 2005 年,水分梯度的影响达到显著水平 ($P < 0.05$),10、20 和 30 cm 水位梯度下小叶章的种群高度要高于 -10 和 0 cm 水位的;2006 年,各水位梯度之间的相对大小与

2005 年相同,但 0 和 -10 cm 之间的差异变大,0 cm 水位下的小叶章种群高度显著低于 10 和 30 cm 水位处理 ($P < 0.05$);2007 年,不同水位处理之间的小叶章种群高度无显著差异,生长季内的高度最大值出现在 30 cm 水位梯度下 (84 ± 2.7) cm,最小值出现在 -10 cm 水位梯度下。

图 9 显示,混合群落毛苔草种群高度在 2005 年明显随水位的升高而升高 ($P < 0.05$)。随着水位施加年限的延长,混合群落毛苔草种群高度在 30 cm 水位条件下逐年下降,与其它水位处理的差异变小,但其种群高度始终保持最高 (98.5 ± 4.9 cm);-10 cm 水位条件下的种群高度先上升后下降,总体都高于 2005 年的,但是其高度在各水位梯度间始终最低;0、10、20 cm 3 个水位下的种群高度差异在 2006 和 2007 年始终较小。

2.2.3 毛苔草群落 从图10来看,毛苔草群落的

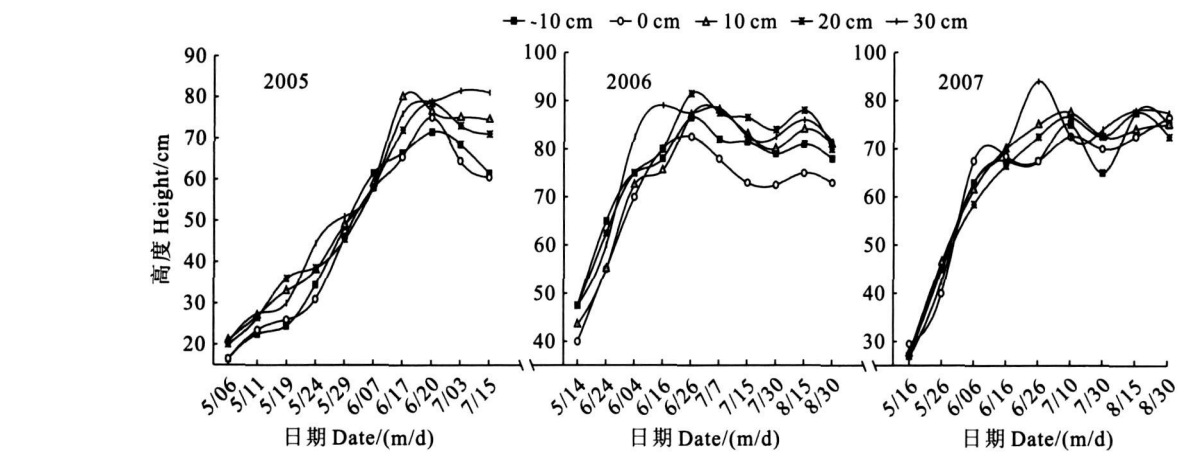


图 8 不同水位梯度下混合群落小叶章种群高度季节动态
Fig. 8 Dynamics of *C. angustifolia* population height in the *C. angustifolia*-*C. lasiocarpa* community under different water gradients

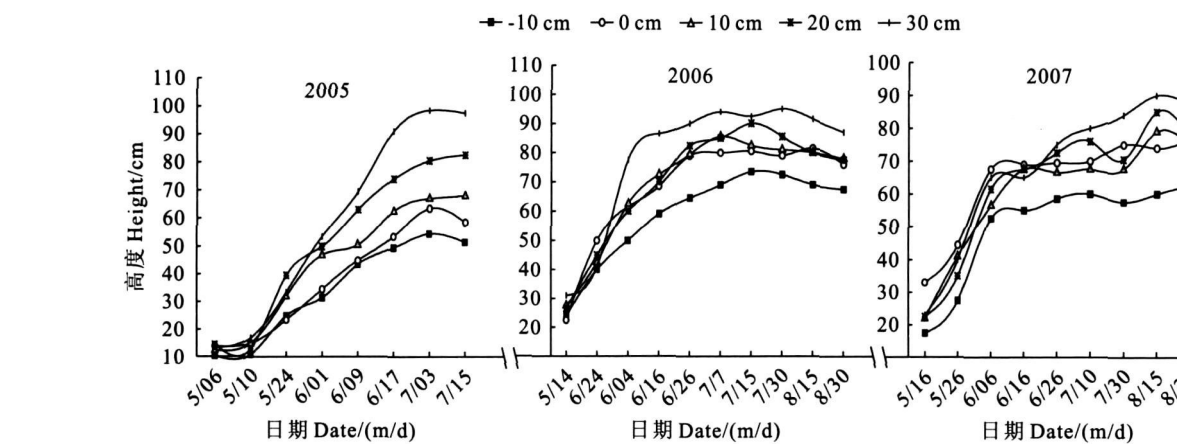


图 9 不同水位梯度下混合群落毛苔草种群高度季节动态
Fig. 9 Dynamics of *C. lasiocarpa* population height in the *C. angustifolia*-*C. lasiocarpa* community under different water gradients
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

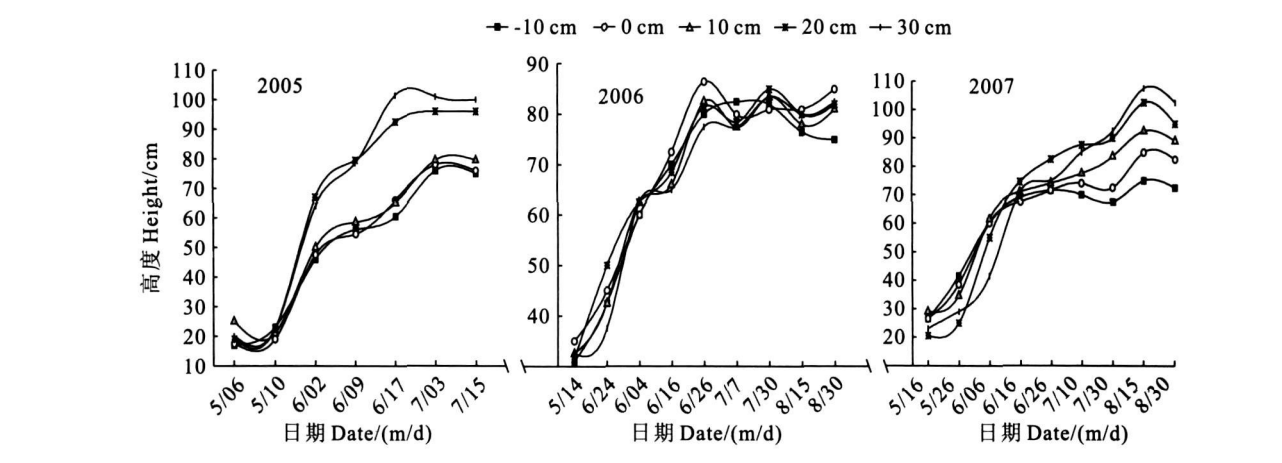


图 10 不同水位梯度下毛苔草群落的毛苔草种群高度季节动态
Fig .10 Dynamics of *C.lasiocarpa* population height in the *C.lasiocarpa* community under different water gradients

毛苔草种群高度在 2005 年可明显分为两个组,且一组(40和30cm 水位处理) 的种群高度显著高于另外一组(0、10 和 20cm 水位处理) ($P<0.05$); 2006 年,40 和 30cm 水位处理的毛苔草种群高度比 2005 年降低,而 0、10 和 20cm 3 个水位处理的毛苔草种群高度则比 2005 年提高,并以 40cm 水位下种群高度年际变化最为明显($P<0.05$); 在 2007 年,40、30 和 20cm 水位条件下的毛苔草种群高度又比 2006 年分别有不同程度的提高,且最高值出现在 40cm 水位梯度下,达到 107.5 ± 3.5 cm,而 0cm 水位处理的种群高度则略有下降,但各处理之间无显著差异,它们种群高度相对大小总体趋势为: $30\text{ cm}\geq40\text{ cm}>20\text{ cm}>10\text{ cm}>0\text{ cm}$ 。

3 讨 论

3.1 植物种群特征对水分胁迫的响应

随着水位升高或降低,湿地物种的竞争与存活能力将发生改变⁹。大量研究表明,水位升高将导致湿地植物种群密度下降,种群高度增加^{10,13}。本研究中小叶章和毛苔草种群密度在不同群落中总体均为高水位梯度下较低,低水位梯度下较高,与其他湿地研究结论一致;种群高度也表现为明显的水分适应,最大值一般出现在高水位梯度下,最小值则出现在水位较低条件下,但年际之间具有波动性,并不严格随着水位的升高而表现出显著差异。与已有研究结论一致,本研究中除最低和最高水位梯度,其它各水位梯度下小叶章群落中小叶章种群密度、毛苔草群落中毛苔草种群密度以及各群落中毛苔草种群高度等均差异较小,充分说明只有当波动幅度达到

一定水平时,植物才会表现出明显的响应调整¹⁹。

本研究中,不同水位梯度下的植物种群特征值相对大小在 3 个生长季内波动变化,尤其种群高度在第一个生长季表现出明显的规律性,第二个生长季则差异缩小,各水位梯度下波动明显,而第三个生长季最终表现出水分影响下的明显规律。这种随水分胁迫时间的延长,不同水位梯度下各群落毛苔草种群密度,以及小叶章和毛苔草种群高度的相对升降趋势,充分表现了水文情势持续时间的影响,说明环境变化引起的植物种群格局的最终变化需要一定的时间来完成。而造成植物这种响应表现的原因,一方面取决于植物自身的响应能力^{17,19},对环境变化的敏感性,另一方面,群落内部物种之间的竞争作用对植物的响应表现也具有重要影响¹⁹。

3.2 植物对水分胁迫的响应差别

前人研究表明,植物分布在适宜的环境中,竞争力最强,生长最旺盛^{20,21}。本研究的小叶章和毛苔草种群在不同的群落生境中对各水位梯度的影响表现为不同的响应调整。在小叶章单优群落中,小叶章种群密度最低值出现在 30cm 水位梯度下,而在混合群落中则始终是 20cm 水位条件下较低;同时毛苔草种群密度在单优群落中为 10cm 水位下最高,而在其他两个群落中则是 0cm 水位下最高,密度最低值在不同群落中也出现在不同水位梯度下。造成这种现象的原因在于,群落中物种间的竞争作用与水文作用的叠加影响改变了物种的水文需求,植物适宜的水分条件发生了变化²⁹。

此外,不同植物的水分需求不同,对各水文情势的响应能力及响应策略有别^{22,23}。本研究中,毛苔

草种群高度表现出随水位升高而升高的明显趋势,而小叶章种群高度的响应则更大地依赖于波动幅度。通过小叶章和毛苔草两个种群对不同水位梯度响应表征的比较发现,毛苔草种群对于水文情势的

变化更加敏感。而从两种植物种群密度和高度对水位梯度以及相对其适宜生境的胁迫程度的响应规律可以看出,种群高度对水分胁迫的响应更为敏感,对于表征环境胁迫的影响更有意义。

参考文献:

- [1] WALKER K J, STEVENS P A, STEVENS D P *et al*. The restoration and re creation of species rich lowland grassland on land formerly managed for intensive agriculture in the UK[J]. *Biological Conservation*, 2004, 119: 1—18.
- [2] BURTON M, MARSH S, PATTERSON J. Community attitudes towards water management in the Moore Catchment, Western Australia[J]. *Agricultural Systems*, 2007, 92: 157—178.
- [3] LIU G H, LI W, HOU J, LIU W Z, YANG D, DAVY A J. How does the propagule bank contribute to cyclic vegetation change in a lake-shore marsh with seasonal drawdown[J]. *Aquatic Botany*, 2006, 84: 137—143.
- [4] BRAZNER J C, DANZ N P, NIEMI G J *et al*. Evaluation of geographic, geomorphic and human influences on Great Lakes wetland indicators: A multi assemblage approach[J]. *Ecological Indicators*, 2007, 7: 610—635.
- [5] WEISNER S E B, MIAO S L. Use of morphological variability in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* to understand vegetation changes in an Everglades marsh[J]. *Aquatic Botany*, 2004, 78: 319—335.
- [6] WAN H X(万洪秀), SUN ZH D(孙战东), WANG R(王润). Influence of water level change of bosten lake wetland eco environment[J]. *Journal of Natural Resources*(自然资源学报), 2006, 21(2): 260—266(in Chinese).
- [7] ROMANELLO G A, CHUCHRA ZBYTNUK K L, VANDERMER J L, TOUCHETTE B W. Morphological adjustments promote drought avoidance in the wetland plant *Acorus americanus*[J]. *Aquatic Botany*, 2008, 89: 390—396.
- [8] 姜彦景. 三江平原典型湿地植物物种多样性空间格局及动态变化研究[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所博士学位论文, 2008.
- [9] HOFMANN H, LORKE A, PEETERS F. Temporal scales of water level fluctuations in lakes and their ecological implications[J]. *Hydrobiologia*, 2008, 613: 85—96.
- [10] SHAW G A, ADAMS J B, BORNMAN T G. Sedi ment characteristics and vegetation dynamics as indicators for the potential rehabilitation of an estuary salt marsh on the arid west coast of South Africa[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72: 1 097—1 109.
- [11] VANDER VALK A G, DAVIS C B. The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes[J]. *Ecology*, 1978, 59: 322—335.
- [12] WALDNER L S. The kudzu connection: Exploring the link between land use and invasive species[J]. *Land Use Policy*, 2008, 25: 399—409.
- [13] YANG T(杨海), GONG H L(宫辉力), HU J M(胡金明), WANG L(王丽). Study on eco physiological characters of two water ecotypes *Calamagrostis angustifolia*[J]. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin.*(西北植物学报), 2009, 29(4): 762—767(in Chinese).
- [14] WANG J G(王俊刚) *et al*. The effects of water stress on soluble protein content and the activity of SOD, POD and CAT of two ecotypes of reeds (*Phragmites communis*)[J]. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin.*(西北植物学报), 2002, 22(3): 561—565(in Chinese).
- [15] HORS? K M, H? JEK M, TICH ? L J, JURCKOV? L. Plant indicator values as a tool for land mollusc autecology assessment[J]. *Acta Oecologica*, 2007, 32: 161—171.
- [16] MITSCH W J, GOSSELINK J G. Wetlands(4th Edition)[M]. New York: Wiley, 2007.
- [17] YE Y(叶勇), LU CH Y(卢昌义), TAN F Y(谭凤仪). Studies on differences in growth and physiological responses to waterlogging between *Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia candel*[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2001, 21(10): 1 654—1 661(in Chinese).
- [18] JENSCH D, POSCHLOD P. Germination ecology of two closely related taxa in the genus *Oenanth* fine tuning for the habitat? [J]. *Aquatic Botany*, 2008, 89: 345—351.
- [19] 罗文泊. 沼泽是被带状分布格局的成因[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所博士学位论文, 2008.
- [20] MILLER R C, ZEDLER J B. Responses of native and invasive wetland plants to hydroperiod and water depth[J]. *Plant Ecology*, 2003, 167: 57—69.
- [21] WANTZEN K M, ROTHHAUPT K O, M? RTL M, CANTONATI M, G? T? TH L, FISCHER P. Ecological effects of water level fluctuations in lakes: an urgent issue[J]. *Hydrobiologia*, 2008, 613: 1—4.
- [22] YOUNIS M E, EL SHAHABY O A, NEMAT ALLA M M *et al*. Kinetin alleviates the influence of waterlogging and salinity on growth and affects the production of plant growth regulators in *Vigna sinensis* and *Zea mays*[J]. *Agronomie*, 2003, 23: 277—285.
- [23] REBECCA J H, PATRICIA S R. Clonal variation in response to salinity and flooding stress in four marsh macrophytes of the northern gulf of Mexico, USA[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 56: 301—313.