

波动和静止水文情势下小叶章 (*Calamagrostis angustifolia*) 的生理生态特征

王 丽^{1,2}, 胡金明³, 宋长春^{1,*}, 杨 涛^{1,2}

(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. 云南大学亚洲国际河流中心, 昆明 650091)

摘要:通过野外调查与控制试验相结合的方法, 比较研究了波动和静止两种水文情势下, 沼泽化草甸植物——小叶章 (*Calamagrostis angustifolia*) 某些生理生态特征 (种群密度与高度、叶长、叶宽、茎长、节长以及叶绿素含量) 对不同水分条件的响应。结果表明, 不同水文情势对小叶章生理生态特征具有明显的影响。波动水文情势下, 小叶章种群、形态指标及叶绿素含量总体随水分的增加而减小或下降, 但是由于特定水文情势下形成的群落竞争格局的影响, 小叶章单优群落分布带上小叶章各指标值明显大于其它水分带; 静止水文情势下, 小叶章各指标值呈波动变化, 30 cm 积水处理下的种群密度、高度、叶宽和茎长以及叶绿素含量与其它处理差别显著。波动水文情势下小叶章各指标测定值均大于静止水文情势下的, 同一生活史阶段要较静止水文情势下的提前, 生长能力较强。湿地水分条件不仅直接影响植物特性, 还通过影响植物定植的土壤环境特征及群落内的竞争格局间接作用于植物。不同水分条件下, 小叶章的生理生态特征是水分条件直接与间接作用的综合结果。

关键词:小叶章 (*Calamagrostis angustifolia*); 水分条件; 密度与高度; 形态特征; 叶绿素含量

文章编号: 1000-0933(2008)04-1794-08 中图分类号: Q948 文献标识码: A

A comparison of some eco-physiological characters of *Calamagrostis angustifolia* under variable and static water regimes

WANG Li^{1,2}, HU Jin-Ming³, SONG Chang-Chun^{1,*}, YANG Tao^{1,2}

1 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China

2 Graduate School, CAS, Beijing 100039, China

3 Asian International River Centre of Yunnan University, Kunming 650091, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1794 ~ 1801.

Abstract: Ecol-physiological characters including population density and height, leaf length and width, culm length, internode length and chlorophyll content of *Calamagrostis angustifolia* were studied using field survey and controlled experiment for two water regimes. Different responses of *C. angustifolia* to water regimes were detected. The values of above indicators decreased as the water level increased under the variable water regime. However, for the different composition of communities resulted from different water conditions, these indicators reached the maximum on the zone occupied by *C. angustifolia* community. In contrast, under static water regime, these indicators showed a wave-like change, population density and height, leaf width, culm length and chlorophyll content in the treatment with static water level of 30 cm were

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40301001); 中国科学院重要方向资助项目(KZCX2-YW-309)

收稿日期:2007-01-29; **修订日期:**2007-08-23

作者简介:王丽(1982 ~), 女, 山东人, 博士生, 主要从事湿地生态水文研究. E-mail: wangli0539@neigae.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songcc@mail.neigae.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40301001); The Key Project of CAS (No. KZCX2-YW-309)

Received date: 2007-01-29; **Accepted date:** 2007-08-23

Biography: WANG Li, Ph. D. candidate, mainly engaged in wetland eco-hydrology. E-mail: wangli0539@neigae.ac.cn

significantly different from other treatments. Under variable water regime, *C. angustifolia* grew better and its growing stage came earlier than under static water regime. In wetlands, water conditions not only affected directly the growth of plants, but also indirectly influenced by the composition of communities and soil characters. Therefore, ecol-physiological characters of *C. angustifolia* were the results of both direct and indirect functions of different water conditions.

Key Words: *Calamagrostis angustifolia*; water conditions; density and height; morphological characters; chlorophyll content

水文、土壤与植被是湿地生态系统三大组成要素^[1]。水文条件决定土壤环境特征,又结合土壤环境特征选择定居其上的植被类型^[2,3]。因此,水是湿地景观形成的主导因子,是湿地植被组成及其分布特征的最根本原因。水分条件形成了湿地植被特殊的带状或环带状分布格局^[4~6],并决定了各植被分布带主要植物群落的物种成员型组成^[7,8]。而同一物种生长于不同水分带时,就会对不同的水分条件产生趋异反应,形成可以反映生境条件的生理生态特征^[9~11]。王海洋等^[7]研究水位梯度对4种植物幼苗生长、繁殖器官干重、生物量及其分配样式的影响;叶勇等^[12]研究淹水时间对两种植物生长速率、生物量及特种酶活性等的影响;Macek等^[10]研究长期淹没对植物茎长、生物量、气体交换及叶绿素含量等的影响,都发现湿地植物对不同水分条件有明显的生理生态响应。

三江平原位于我国黑龙江省东北部(43°49'~48°27'N,129°11'~135°05'E),由黑龙江、松花江和乌苏里江冲积而成,地势平坦,地面坡降小,土质粘重,渗透困难,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*)是三江平原分布最广泛的湿地植物之一。其为禾本科多年生根茎型草本植物,水分生态幅度较宽,最适合的生境为土壤水分充足、饱和或过饱和。本文通过野外调查和控制试验相结合的方法,研究了两种水文情势下,小叶章对不同水分条件的生理生态响应,以期为三江平原湿地退化与恢复研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验样地与材料

三江平原小叶章单优群落是指以小叶章为单一建群种形成的群落,其中小叶章无论个体数目还是生物量都占到群落总量的95%以上^[13]。本研究野外试验调查各水分梯度带上,处于波动水文情势下的小叶章的生理生态特征;而控制试验以小叶章单优群落为试验材料,目的是在尽量不破坏小叶章最适基质条件的前提下,研究持续静止水文情势下,其对不同水分条件的生理生态响应,并与野外试验结果作比较。

野外试验布设在中国科学院三江沼泽生态试验站试验场的典型碟形洼地(47°35'N,133°29'E)内。2006年5月,由洼地外围向中心,垂直水分梯度布设3条样带,各长100m左右。根据水分条件和植被群落特征,在每条样带内设置5个1m×1m的群落样方,对小叶章进行观测。样方间距在15~25m之间,从外向内群落类型依次为灌丛-小叶章(*Shrub-C. angustifolia*)、小叶章单优(*C. angustifolia*)、小叶章-乌拉苔草(*C. angustifolia-Carex meyeriana*)、乌拉苔草-小叶章(*Carex meyeriana-C. angustifolia*)和毛苔草沼泽(*Carex lasiocarpa*)^[14],各代表不同的水分梯度带。水分状况依次为灌丛-小叶章群落:表层10cm土壤含水量73.75%~98.15%;小叶章单优群落:表层10cm土壤含水量93.5%以上,季节性积水;小叶章-乌拉苔草群落:常年积水5~20cm;乌拉苔草-小叶章群落:常年积水8~25cm;毛苔草沼泽群落:常年积水10~45cm。

控制试验于2004年9月,选取典型的小叶章单优群落分布带,连带其上植物采集小叶章单优群落的原状土块,体积约50cm×50cm×50cm,保持原状放置于内部尺寸50cm×50cm×100cm,壁厚为1cm的有机玻璃箱内,次年4月下旬开始进行水位控制。试验设积水-10cm(地表以下10cm)、0、10、20cm和30cm5个水位处理,每个处理2个重复,与野外群落样方由外围向中心的水分条件有对应关系。2006年5月份开始与野外进行同步观测。

1.2 试验方法

种群特征调查 生长顶峰期(7月30日)调查小叶章种群密度及高度;密度为群落内所有无性系小株株数,高度为种群自然平均高度。

形态及叶绿素含量测量 于各处理中选2个重复,根据小叶章生长情况,分别在生长季初期和旺盛期共进行4次测定。测定时在每个重复中选15株小叶章测量,每次每个指标30个观测值。具体方法为选择植株顶部第一片完全展开叶,测量叶长和叶宽(最大宽度);用美国Spectrum生产的SPAD-502叶绿素仪进行叶绿素含量测定(该仪器通过测量叶片在650nm和940nm两种波长的光学浓度差的方式来确定叶片当前叶绿素的相对数量,测量精度在 ± 0.1 SPAD单位之间,读数在0~50之间为可靠值);同时测量该叶片所在茎节的长度,即节长;茎长,为地面到植株最上部茎节顶端的距离。

生长顶峰期,在对植物进行观测的同时,用美国Spectrum产IQ150土壤原位pH计和南京土壤所生产的FJA-16型氧化还原电位去极化法全自动测定仪,进行各群落内0~15cm表层及16~30cm深层土壤的酸碱度(pH)、氧化还原状态(Eh)和温度(T)的监测。

数据分析及作图通过spss13.0和origin7.5完成。

2 结果与分析

2.1 不同水分条件下小叶章种群密度与高度特征

单因素方差(one-way ANOVA)分析表明,水分条件对野外小叶章种群密度及高度影响显著($n=3, p<0.01$);控制试验中,水分条件对小叶章密度无显著影响($n=2, p=0.391$),但对高度影响显著($n=2, p<0.01$)。

野外调查小叶章种群密度均值(表1),小叶章单优群落>灌丛-小叶章群落>小叶章-乌拉苔草群落>乌拉苔草-小叶章群落>毛苔草沼泽群落,除小叶章单优群落外,随水分条件的增加种群密度下降。最小显著极差法(LSR)检验表明,在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上,小叶章单优群落种群密度与其它群落差异显著,灌丛-小叶章群落、小叶章-乌拉苔草群落和乌拉苔草-小叶章群落差异不显著,灌丛-小叶章群落、小叶章-乌拉苔草群落与毛苔草沼泽群落差异显著,而乌拉苔草-小叶章群落与毛苔草沼泽群落差异不显著。控制试验的密度均值, $-10\text{cm}>10\text{cm}>20\text{cm}>0\text{cm}>30\text{cm}$,但LSR检验结果各水分处理间差异均不显著($n=2, p=0.11$)。

表1 不同水分条件下小叶章种群密度和高度均值及差异显著性

Table 1 Mean values and variable significances of *C. angustifolia* population density and height under different water conditions

项目 Item	处理 Treatment	密度 Density (Mean $\pm$ SD, nb/m ²)	高度 Height (Mean $\pm$ SD, cm)
野外调查 Field survey	灌丛-小叶章群落 Shrub- <i>C. angustifolia</i> community	360.0 $\pm$ 220.0a	82.3 $\pm$ 3.5a
	小叶章单优群落 <i>C. angustifolia</i> community	1080.0 $\pm$ 60.0b	105.3 $\pm$ 4.5b
	小叶章-乌拉苔草群落 <i>C. angustifolia</i> - <i>C. meyeriana</i> community	298.0 $\pm$ 2.0a	78.8 $\pm$ 1.3a
	乌拉苔草-小叶章群落 <i>C. meyeriana</i> - <i>C. angustifolia</i> community	126.0 $\pm$ 26.0ac	71.2 $\pm$ 1.3c
	毛苔草沼泽群落 <i>C. lasiocarpa</i> community	28.0 $\pm$ 4.0c	64.7 $\pm$ 0.6d
控制试验 Controlled experiment	-10 cm	1126.0 $\pm$ 174.0a	85.0 $\pm$ 3.0a
	0 cm	816.0 $\pm$ 344.0a	82.3 $\pm$ 2.5b
	10 cm	980.0 $\pm$ 56.0a	85.0 $\pm$ 0.5a
	20 cm	978.0 $\pm$ 46.0a	82.3 $\pm$ 2.5b
	30 cm	750.0 $\pm$ 370.0a	92.3 $\pm$ 2.5c

数字带相同字母表示处理间差异不显著(LSR检验, $n=3$ (控制试验 $n=2$), $p<0.05$) Values with same letter represents not significantly different(LSR test; $n=3$ (controlled experiment $n=2$), $p<0.05$)

野外调查高度均值在处理间的差异与密度相似,但在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上,LSR检验乌拉苔草-小叶章群落与毛苔草沼泽群落高度均值也呈现显著差异。控制试验结果,高度均值 $30\text{cm}>-10\text{cm}\geq 10\text{cm}>20\text{cm}\geq$

0 cm, 总体趋势与密度随水分条件的变化相反; 在 $\alpha = 0.05$ 显著性水平上, LSR 检验结果表明高度对水分条件的响应特征明显分为 3 个子集: -10 cm 和 10、0 cm 和 20、30 cm。

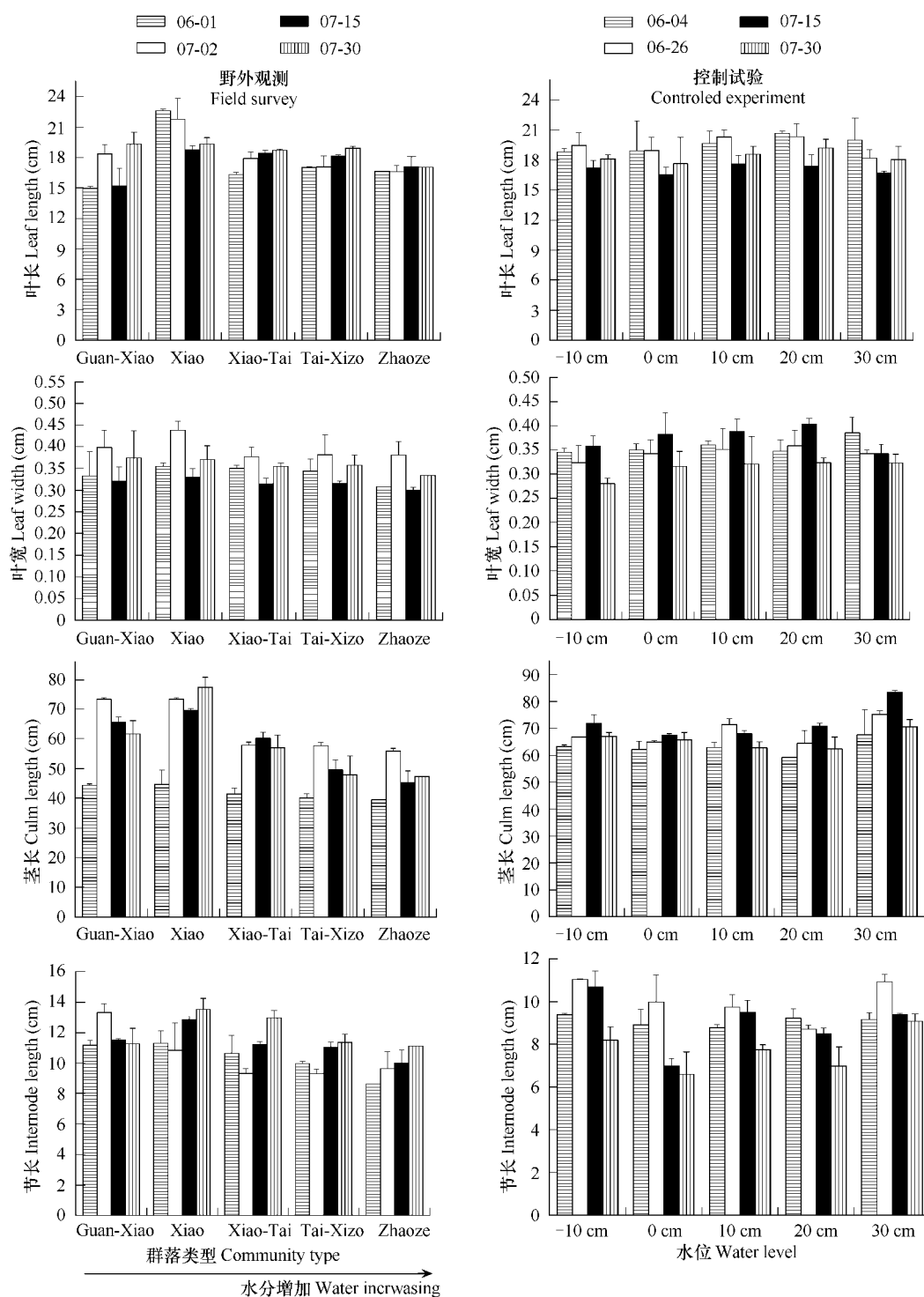


图1 不同水分条件下小叶章形态特征季节动态

Fig.1 Seasonal dynamics of *C. angustifolia* morphological characters under different water conditions

Guan-xiao: 灌丛-小叶章群落 *Shrub-C. angustifolia* community; , Xiao: 小叶章单优群落 *C. angustifolia* community; Xiao-Tai: 小叶章-乌拉苔草群落 *C. angustifolia-C. meyeriana* community; Tai-Xiao: 乌拉苔草-小叶章群落 *C. meyeriana-C. angustifolia* community; Zhaoze: 毛苔草沼泽群落 *C. lasiocarpa* community; 下同, the same below

2.2 不同水分条件下小叶章形态特征

对7月30日生长顶峰期的实验结果进行 one-way ANOVA 分析,结果发现除叶宽($n=30, p=0.561$)之外,水分条件对野外小叶章形态特征皆有显著影响($n=30, p<0.05$);而控制试验中的形态指标,除节长($n=30, p=0.053$)外,皆对水分条件呈极显著响应关系($n=30, p<0.01$)。

在生长季内(图1),小叶章叶长:野外观测,小叶章单优群落>灌丛-小叶章群落 $\geq$ 小叶章-乌拉苔草群落>乌拉苔草-小叶章群落>毛苔草沼泽群落,且随时间推移,差异减小;观测值范围为(22.0 ± 10.2) cm,小叶章单优群落内叶长随时间推移逐渐变短,而其他群落则有微弱增长。控制试验观测值范围(20.1 ± 6.1) cm, 10 cm 与 20 cm 两个水位下的叶长略大于其他3个水位的,差异也随时间推移而减小;与野外观测不同的是,各水位处理的叶长绝对值在生长季内皆呈减小趋势。叶宽,野外观测值范围(0.41 ± 0.15) cm,生长季初期小叶章单优群落略大于其它群落,但后期总体趋势:灌丛-小叶章群落>小叶章单优群落>小叶章-乌拉苔草群落 $\geq$ 乌拉苔草-小叶章群落>毛苔草沼泽群落。控制试验观测值范围(0.35 ± 0.15) cm,初期30 cm 水位处理的叶宽值略大于其他群落的,但随生长过程的推进,逐渐形成20 cm>10 cm>0 cm>-10 cm $\geq$ 30 cm 的趋势,随水位的升高而加宽,到30 cm 水位时出现下降拐点。此外,野外叶宽在7月2日时出现一个极大值,而控制试验的相似极值则出现在7月15日。

野外茎长观测值范围为(64.5 ± 24.5) cm,LSR 检验表明,在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上可以分为灌丛-小叶章群落和小叶章单优群落与小叶章-乌拉苔草群落、乌拉苔草-小叶章群落和毛苔草沼泽群落两个子集,后期呈现小叶章单优群落>灌丛-小叶章群落>小叶章-乌拉苔草群落>乌拉苔草-小叶章群落>毛苔草沼泽群落的大趋势(图1);控制试验的观测值范围为 72 ± 18 cm,LSR 检验表明,在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上可以分为-10 cm和0、10 cm 和20、30 cm 三个子集,总体趋势30 cm>-10 cm>0 cm>10 cm>20 cm。两种水文情势下,茎长的生长峰值出现时间与叶宽相同,野外观测出现在7月2日,而控制试验结果出现在7月15日。

野外节长观测值范围为(13.1 ± 5.4) cm,初期随水分条件的增加而缩短,后期小叶章单优群落>灌丛-小叶章群落>小叶章-乌拉苔草群落 $\geq$ 乌拉苔草-小叶章群落>毛苔草沼泽群落;生长季内呈逐渐伸长趋势(图1)。控制试验观测值范围为(10 ± 5.5) cm,极值在各处里间波动变化,最终趋势为-10 cm $\geq$ 30 cm $\geq$ 10 cm>20 cm>0 cm;生长季内呈逐渐缩短态势。

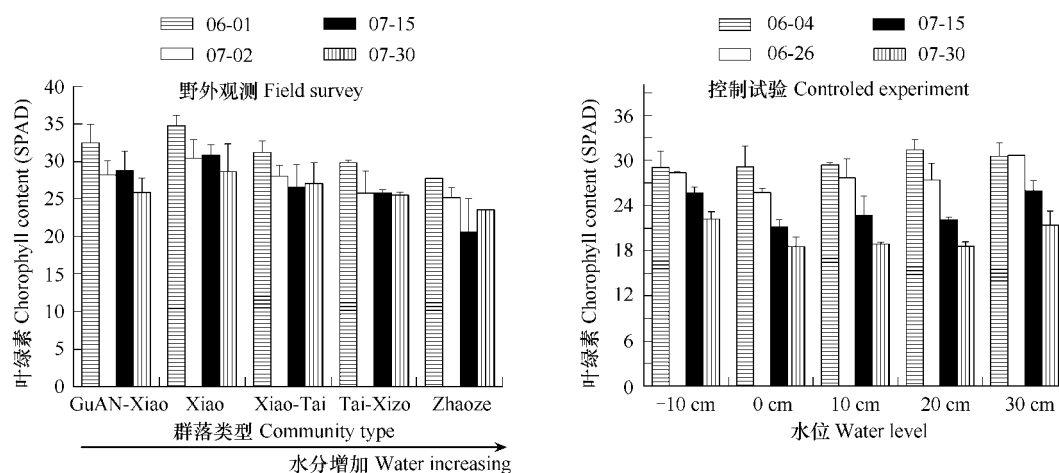


图2 不同水分条件下小叶章叶绿素含量季节动态

Fig. 2 Seasonal dynamics of *C. angustifolia* chlorophyll content under different water conditions

2.3 不同水分条件下小叶章叶绿素含量

one-way ANOVA 分析表明,水分条件对小叶章叶绿素含量有极显著影响($n=30, p<0.01$)。两种水文情势下,观测期内小叶章叶绿素含量均呈下降趋势(图2)。野外含量范围为(27.3 ± 8.3) SPAD 单位,且始终保

持小叶章单优群落 > 灌丛-小叶章群落 > 小叶章-乌拉苔草群落 > 乌拉苔草-小叶章群落 > 毛苔草沼泽群落。控制试验含量范围为 (20.35 ± 10.2) SPAD 单位,初期差异不显著,中期 $-10\text{ cm} \geq 30\text{ cm} > 10\text{ cm} > 20\text{ cm} \geq 0\text{ cm}$,至生长顶峰期, -10 cm 和 30 cm 两个处理的含量明显高于其他处理(LSR 检验, $p < 0.05$),而 10 cm 与 30 cm 之间以及其他3个处理之间差异均不显著(LSR 检验,前组 $p = 0.347$,后组 $p = 0.654$)。

3 讨论与结论

很多自然湿地以频繁的水位季节性波动为特征,高水位期整个生态系统可能完全被淹没,而低水位期也会出现持续的干旱^[1]。水位的波动变化决定了植物生存的土壤环境及群落竞争格局。因此,水分胁迫是湿地植物最根本的环境胁迫。植物应对环境胁迫有耐受与逃避两种策略,一般为两种机制的结合。对生境胁迫的耐受响应主要指生理及生物化学上的响应;逃避则指长时间形成的种群分布及形态特征的改变^[15,16]。

3.1 两种水文情势下植物对水分条件的响应特征比较

水分胁迫抑制植物生长与新陈代谢,植物对水分胁迫的响应特征取决于胁迫的强度及持续时间^[17,18],即湿地植物对某一水分条件的响应特征受总的水文情势变化的影响^[15,19]。White 等^[19]研究发现水位静止和季节波动两种水文情势下,湿地植物 *P. australis* 对水分条件有不同的形态及生理响应。研究野外波动水文情势下,小叶章种群密度及高度总体随水分的增加而下降;而静止水文情势下,各指标随水分的增加多呈波动变化态势。两种水文情势下,高度对水分的响应较密度更为敏感。

Pagter 等^[20]研究发现随着土壤含水量的减少,湿地植物 *P. australis* 的叶片形态有明显变化,叶面积及叶生物量都呈下降趋势。本研究中,波动水文情势下叶片长、宽值总体变化同样随水分条件的增加而减小,而静止水文情势下叶长无明显变化,但叶宽明显随水位的升高而增加,水位到 30 cm 时出现下降拐点;茎长观测结果与 White 等^[19]的研究结果类似,波动水文情势下随水分条件的增加而减小,静止水文情势下随水位的升高而呈增加趋势;波动水文情势下节长同样总体随水分的增加而增大,静止水文情势下则呈波动变化。此外,波动水文情势下小叶章叶绿素含量总体随水分条件的增加而减少;而静止水文情势下, -10 cm 和 30 cm 两个极端水位条件下的叶绿素含量明显高于其他处理。

两种水文情势下,叶宽与茎长在各水分条件下的季节动态对比,可以看出水文情势对小叶章的生活史有明显影响,水位季节性波动的复杂水文情势下,同一生活史阶段要较静止水文情势下提前。造成这种现象的原因可能是复杂水文情势下,植物面临的环境胁迫较强,植物为完成生活史,成功定居或繁殖而采取了缩短或延长某些生活史阶段的生存策略^[15,19]。此外,各形态指标及叶绿素含量的观测值范围在波动水文情势下皆大于静止水位条件下的。原因是在静止水文情势下,环境条件相对稳定,小叶章无需争取资源,以积累能量在恶劣环境中维持生长,这导致植物生产能力下降,物质积累减少,说明在波动的环境中植物的主动生长能力较强,适当的干扰对植物的生长有促进作用^[5]。

静止水文情势下, 30 cm 水位处理的种群密度、高度以及叶宽、茎长和叶绿素含量与其它处理差别显著,充分体现了水分胁迫强度对小叶章生长的影响,说明只有当环境胁迫达到一定程度时植物才会产生明显的生理生态响应,短时期的、弱的胁迫不足以使植物形成明显的响应特征。

3.2 不同水分条件下种群竞争及土壤条件的影响

湿地植物对水分胁迫的响应特征,除了受水分胁迫的强度和持续时间的影响外,还受植物基因型,特定水分条件下群落组成及其它环境因子的影响^[17]。

野外试验结果,排除小叶章单优群落,其它群落观测值皆随水分条件的增加而减小,充分说明水分增加对小叶章生长存在明显的抑制作用。而小叶章单优群落区别于其它群落的最直观的特点是,在此群落中小叶章作为群落单一建群种存在。自然湿地中,水分条件决定了不同水分梯度带植物群落的物种成员型组成^[7,8]。在小叶章单优群落中,小叶章自身的基因特征使其在竞争过程中拥有了生长所需的最佳生态位,生长旺盛;而在其它群落的竞争中,小叶章作为群落伴生种则处于劣势,长势较差,从而导致单优群落的各项指标值明显高于其他群落。

控制试验中,与野外最适水分条件对应的 0 cm 水位处理的多数指标观测结果均低于其它处理,充分说明了水分条件对植物作用的复杂性。湿地水分条件对植物的作用机理并不完全明确。土壤作为湿地三大组成要素之一,直接受水文变化的影响。大量研究表明不同水文情势下,土壤 pH、Eh 和 T 是不同的^[15,21,22],而土壤 pH、Eh 和 T 变化直接影响土壤中的氧气含量以及营养元素的有效性^[23,24]。

本研究在进行植物观测的同时进行了土壤特性的测定。生长顶峰期小叶章形态特征及叶绿素含量与土壤特征的 Pearson 相关分析表明(表 2),野外小叶章种群和形态特征及叶绿素含量与土壤表层 Eh 和深层 pH、Eh 呈较好的正相关关系,但仅茎长与土壤表层 Eh 呈显著相关($R=0.899$)。控制试验中,种群特征,仅高度与 Eh 值呈较好的正相关关系;各形态特征及叶绿素含量与温度的相关性较好,且叶绿素含量与温度呈显著正相关关系($R=0.907$);叶长、宽与 pH 呈较好正相关关系,而茎长、节长和叶绿素含量与 Eh 呈较好正相关关系,且茎、节长度与 Eh 呈显著正相关,相关系数分别为 0.951 和 0.878。

由于实验箱材料有升温效应,虽采取简易降温措施但箱内温度平均仍比野外高 2~3℃。因此,虽然试验箱内温度与植物指标相关性较好,温度与其他生态系统中植物生长的高度相关也有论述^[8],但笔者认为,由于本地区土壤温度偏低^[30],且空间分异不明显(野外观测各植被带温差仅 1~2℃),土壤温度对三江平原湿地植物的空间异质性无明显作用。各观测指标与土壤 pH、Eh 的较好相关性,在其他湿地研究中也有相似结果^[23,24]。可以看出解释水分条件的作用机理,水文与土壤以及土壤与植被之间的作用值得进一步深入研究。

表 2 小叶章形态特征及叶绿素含量与环境因子的相关性

Table 2 Correlations of *C. angustifolia* morphological characters and chlorophyll content with environment factors

指标 Indicators	野外观测 Field survey						控制试验 Controlled experiment		
	表层 Surface layer			深层 Deep layer			表层 Surface layer		
	pH	Eh	T	pH	Eh	T	pH	Eh	T
密度 Density	-0.098	0.789	-0.130	0.833	0.766	0.471	-0.438	-0.307	0.118
高度 Height	-0.073	0.850	-0.201	0.809	0.814	0.371	0.344	0.890	0.430
叶长 Leaf length	0.421	0.738	-0.425	0.599	0.650	-0.107	0.590	-0.429	-0.554
叶宽 Leaf width	0.313	0.855	-0.244	0.512	0.814	-0.009	0.711	-0.240	-0.740
茎长 Culm length	-0.193	0.899 *	-0.155	0.710	0.877	0.350	0.005	0.951 *	0.794
节长 Internode length	-0.320	0.545	-0.600	0.756	0.412	0.076	0.171	0.878 *	0.553
叶绿素含量 Chlorophyll content	-0.019	0.752	-0.566	0.828	0.629	0.060	-0.191	0.857	0.907 *

* 相关显著 Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

综上所述,湿地植物的生长、繁殖以及分布特征是植物与植物以及植物与环境之间作用与反作用的结果,但水分条件的作用是最根本的原因。水分条件不仅直接影响植物特性,还通过影响植物定植的土壤环境特征及群落内的竞争格局来间接作用于植物。不同水分条件下,小叶章的生理生态特征是水分条件直接与间接作用共同形成的。

References:

- [1] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 2000.
- [2] Kellogg C H, Bridgman S D, Leicht S A. Effects of water level, shade and time on germination and growth of freshwater marsh plants along a simulated successional gradient. *Journal of Ecology*, 2003, 91: 274—282.
- [3] Fraser L H, Karnezis J P. A comparative assessment of seedling survival and biomass accumulation for fourteen wetland plant species grown under minor water-depth differences. *Wetland*, 2005, 25(3): 520—530.
- [4] Sorrell B K, Mendelsohn I A, McKee K L, et al. Ecophysiology of wetland plant roots: a modelling comparison of aeration in relation to species distribution. *Annual Botany*, 2000, 86: 675—685.
- [5] Liu Z M, Zhao X Y, Liu X M. Relationship between disturbance and vegetation. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(4): 1—9.
- [6] Wu C D, Meng X M, Chu J Y, et al. Correlation between hydrological situation and vegetation in Mount Beigu wetland. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2005, 26(4): 331—335.

- [7] Wang H Y, Chen J K, Zhou J. Influence of water level gradient on plant growth, reproduction and biomass allocation of wetland plant species. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(3): 269 — 274.
- [8] Qun Z X, Wu Y S, Wang H X, *et al.* 1983. *Plant Ecology* (the second edition). Beijing: High Education Press, 1983. 74 — 79.
- [9] Paillisson J M, Marion L. Can small water level fluctuations affect the biomass of *Nymphaea alba* in large lakes? *Aquatic Botany*, 2006, 84: 259 — 266.
- [10] Macek P, Rejma'nkova' E, Houdkova' K. The effect of long-term submergence on functional properties of *Eleocharis cellulosa* Torr. *Aquatic Botany*, 2006, 84: 251 — 258.
- [11] Voeseek L A C J, Colmer T D, Pierik R, *et al.* How plants cope with complete Submergence. *New Phytologist*, 2006, 170: 213 — 226.
- [12] Ye Y, Lu C Y, Tan F Y. Studies on differences in growth and physiological responses to waterlogging between *Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia candel.* *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1654 — 1661.
- [13] Ma K P, Zhang Y, Zhou R C. Studies on the seasonal dynamics of above-ground biomass of *Deyeuxia angustifolia* grasslands in Sanjiang Plain. *Grassland of China*, 1991, 13(2): 4 — 8.
- [14] Yi F K, Li C H, Zhao K Y, *et al.* A study on the vegetation type in the Sanjing Plain. In: Huang X C ed. *Study of Mires in China*. Changchun: Science Press, 1988. 162 — 171.
- [15] Zhao W Z, Wang G X, trans. *Eco-hydrology——plants and water in terrestrial and aquatic environments*. Beijing: Ocean press, 2002. 91 — 97.
- [16] McCue K F, Hanson A D. Drought and salt tolerance: towards understanding and application. *TibTech*, 1990, 8: 358 — 362.
- [17] Bray E A. Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology*, 1993, 103: 1035 — 1040.
- [18] Mao Z H, Zhu J J. Effects of disturbances on species composition and diversity of plant communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2697 — 2701.
- [19] White S D, Ganf G G. A comparison of the morphology, gas space anatomy and potential for internal aeration in *Phragmites australis* under variable and static water regimes. *Aquatic Botany*, 2002, 73: 115 — 127.
- [20] Pagter M, Bragato C, Brix H. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, 2005, 81: 285 — 299.
- [21] Urban G, Hakan R, Hugo S. Diversity and pH changes after 50 years on the boreal mire Skattlösbergs Stormosse, Central Sweden. *Journal of Vegetation Science*, 2000, 11: 277 — 286.
- [22] Reddy K R, Patrick W H. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1974, 7: 87 — 94.
- [23] Miller R C, Zedler J B. Responses of native and invasive wetland plants to hydroperiod and water depth. *Plant Ecology*, 2003, 167: 57 — 69.
- [24] Pezeshki S R. Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 2001, 46: 299 — 312.
- [25] Wang S Y, Yang Y X, Yang B. Study on temperature of typical types of wetland soils and its influencing factors in the Sanjiang Plain. *Geographical Research*, 2003, 22(3): 389 — 396.

参考文献:

- [5] 刘志民, 赵晓英, 刘新民. 干扰与植被的关系. *草业学报*, 2002, 11(4): 1 ~ 9.
- [6] 吴春笃, 孟宪民, 储金字, 等. 北固山湿地水文情势与湿地植被的关系. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2005, 26(4): 331 ~ 335.
- [7] 王海洋, 陈家宽, 周进. 水位梯度对湿地植物生长、繁殖及生物量分配的影响. *植物生态学报*, 1999, 23(3): 269 ~ 274.
- [8] 曲仲湘, 吴玉树, 王焕校, 等. *植物生态学* (第二版). 北京: 高等教育出版社, 1983. 74 ~ 79.
- [12] 叶勇, 卢昌义, 谭凤仪. 木榄和秋茄对水渍的生长与生理反应的比较研究. *生态学报*, 2001, 21(10): 1654 ~ 1661.
- [13] 马克平, 张悦, 周瑞昌. 三江平原小叶章草地地上生物量季节性模式的研究. *中国草地*. 1991, 13(2): 4 ~ 8.
- [14] 易富科, 李崇浩, 赵魁义, 等. 三江平原植被类型研究. 见: 黄锡畴主编. *中国沼泽研究*. 长春: 科学出版社, 1988. 162 ~ 171.
- [15] 赵文智, 王根绪译. *生态水文学——陆生环境和水生环境植物与水分关系*. 北京: 海洋出版社, 2002. 91 ~ 97.
- [18] 毛志宏, 朱教君. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响. *生态学报*, 2006, 26(8): 2697 ~ 2701.
- [25] 王世岩, 杨永兴, 杨波. 三江平原典型湿地土壤温度变化及其影响因子分析. *地理研究*, 2003, 22(3): 389 ~ 396.