

荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量与地下水埋深关系

赵文智¹, 常学礼², 李启森¹, 何志斌¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 山东省烟台师范大学地理旅游系, 烟台 264025)

摘要:在野外调查的基础上, 利用 Pearson 关联分析法研究了河西荒漠绿洲区不同生境中芦苇种群构件生物量与地下水埋深的关系, 结果表明: 地下水埋深对芦苇种群的影响明显, 主要体现在: 在湿地和地下水埋深小于 0.5m 的生境中, 芦苇种群表现为高的种群密度、低的种群高度、低的地上生物量和高的地下生物量; 在地下水埋深为 1.5m 左右的生境中, 芦苇种群地上生物量最高, 生长最旺盛。随着地下水埋深的增加, 垂直根茎生物量对芦苇种群地上生物量的影响加强, 而水平根茎生物量对芦苇种群生物量的影响呈随机型, 这可能是造成芦苇种群呈不连续、斑块状分布的主要原因。在地下水埋深 1.5m 左右的生境中, 芦苇的垂直根茎对种群生物量影响十分显著 ($P < 0.01$); 在地下水埋深 1.5~4.0m 的生境中, 影响显著 ($P < 0.05$), 但在地下水埋深 4m 以上的生境中影响不显著, 这表明在河西荒漠绿洲区, 芦苇垂直根茎的最大水力提升高度 4m 左右。

关键词: 芦苇; 构件生物量; 生境; 地下水埋深; 关联分析; 荒漠绿洲区

Relationship between structural component biomass of reed population and ground water depth in desert oasis

ZHAO Wen-Zhi¹, CHANG Xue-Li², LI Qi-Sen¹, HE Zhi-Bin¹ (1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou, 730000, China; 2. Yantai Normal University, Yantai, 264005, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1138~1146.

Abstract: Reed (*Phragmites communis*), one of the intrazonal plants, is a dominant or constructive species in the wetland communities and widely distributes all over the world. The ground water depth plays important roles in the formation of reed biomass and its population dynamics. The relationship between the structural component biomass of reed population and ground water depth was investigated using Pearson correlative analysis in order to reveal how reed responses to changes of ground water depth in the desert oasis. The results show as follows:

The population densities, height, aboveground biomass, ratio of root to canopy are significantly correlated with ground water depth. Their Pearson correlation coefficients are -0.686, 0.883, 0.690, and -0.647, respectively. Population density decreases with increasing ground water depth. Specifically, there

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX3-SW-329); 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX1-09-02)

收稿日期: 2002-06-23; **修订日期:** 2003-02-08

作者简介: 赵文智(1966~), 男, 陕西定边人, 博士, 研究员, 主要从事干旱区生态水文学和恢复生态学研究。E-mail: zhaowzh@ns.lzb.ac.cn

Foundation item: the Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences Titled (No. KZCX3-SW-329) and the Western China Action Programme of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX1-09-02)

Received date 2002-06-23 **Accepted date:** 2003-02-08

Biography: ZHAO Wen-zhi, Ph. D., Professor, main research field: ecohydrology in arid region.

is a dramatic decrease at the 1.5m depth below and a steady reduce at the upwards of 1.5m. However, population height increases with increasing ground water depth. There is a steady increase when the depth is less than 1.2m, and there is a dramatic increase when the depth is more than 1.2 m. Above-ground biomass also increases with increasing depth generally, with a slight rise when the depth is less than 1.2 m and a fluctuating increase when the depth is more than 1.2 m. Although the change in the ratio of root to canopy appears complex with the ground water depth, it shows a dramatic decrease with increasing at 2.0m depth below and a steady reduction at the upwards of 2.0m.

In addition, the density and underground biomass of reed population appear the highest and its aboveground biomass exhibits the lowest at the habitats studied with under-groundwater burying less than 0.5m. The peak of aboveground biomass appears at the habitat with groundwater burying about 1.5m.

Aboveground biomass is affected by vertical rhizome due to its hydraulic lift. The effective degree increases with increasing ground water depth. For instance, the effective degree is extremely significant ($P<0.01$) at the habitat with the depth less than 1.5m, and significant ($P>0.1$) at the habitat with that between 1.5~4.0m. However, it is insignificant ($P>0.1$) at the habitat where the ground water depth is more than 4.0m. This finding illustrates that the height of hydraulic lift of vertical rhizome of reed is less than 4.0m in the area investigated.

So the conclusion can be drawn that aboveground biomass of reed population is randomly affected by the horizontal rhizome. It might be the primary reason why reed population usually shows patchy and discontinuous pattern distribution.

Key words:reed; structural component biomass; ground water depth;pearson correlative analysis; desert oasis

文章编号:1000-0933(2003)06-1138-09 中图分类号:Q948,Q948.118 文献标识码:A

干旱区地下水埋深对维持植物种群的稳定性以及对植被的演替具有重要作用,从而也成为干旱区生态水文研究的热点问题之一。但这类研究的挑战在于对大多数植物来说,其稳定状态所对应的地下水埋深需要长期定位观测。芦苇(*Phragmites australis*)是隐域性植物,广泛分布于世界各地,多成为湿地植被的主要组成种,而且常常形成单种种群或以芦苇为建群种的植被类型^[1]。芦苇种群在干旱地区具有普遍性和特殊性,生境地下水埋深变化较大,是研究干旱区植物与地下水埋深关系的理想种群。

近 10a 来,有关芦苇的生物学、生理生态学的研究十分活跃。在湿润区主要集中在:芦苇在湿地生物多样性保护中的作用^[2~5]、芦苇生境中排放的 CH₄ 气体^[6]、芦苇植被对水污染的净化作用^[7,8]以及芦苇在盐碱地改良中的作用等^[9,10]。在干旱区对芦苇的研究主要集中在芦苇 C 固定途径、水分生理代谢、细胞结构、种群特征及其与环境因子的相互关系^[11~18]以及芦苇的生理、生化代谢和生物量结构特征方面^[19~21]。这些研究对揭示芦苇种群的生物学和生态学内在规律奠定了扎实的基础,但是有关芦苇种群对地下水埋深响应方面的研究相对较少。

本文选择甘肃河西走廊的临泽县荒漠绿洲区,研究芦苇种群生物量构件特征与地下水埋深的关系,从生态水文学的角度分析芦苇种群对地下水埋深变化的响应,探讨干旱区植物与地下水关系研究的途径。

1 研究区概况

研究区位于甘肃省临泽县北部,地理位置为 39°20'N,99°25'E,处在低山、荒漠、绿洲与沙漠的交汇处。地形地貌为平坦的荒漠和缓起伏沙丘。气候属温带大陆性荒漠气候,日照长、辐射强、昼夜温差大、降水少而集中、蒸发量大、气候干燥。全年日照时间 3053.9h,年总辐射量 146.2×4.16 kJ/cm²,年平均气温 7.7℃,≥0℃活动积温 3544.6℃,≥10℃活动积温 3092.4℃,无霜期 152d,年平均降水量 117.1mm,年蒸发量 2337.6mm,平均风速 3.2 m/s,大风日数(≥17m/s 的日数)15d。

土壤以灰棕漠土、风沙土和灌耕土为主,其中灰棕漠土为地带性土壤。地带性植被为中温带荒漠化草

原植被,主要由超旱生灌木、半灌木或盐生、旱生肉质半灌木组成。主要植物种有白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr)、红砂(*Reaumuria soongirica* (Pall) Maixm.)、珍珠(*Salsola passerina* Bunge)、白茎盐生草(*Halogeton arachnoideus* Miq.)、盐生草(*Halogeton glomeratus* (Bieb.) C. A. Mey.)和虫实(*Corispermum* spp)等,芦苇主要分布在河床、绿洲内部集水洼地及其邻近沙丘,在河床、集水洼地等生境中形成单一种群。维持芦苇生境的水资源主要来源黑河,由地表水、中部泉水及地下水 3 部分组成。绿洲内部低洼处形成的斑块湿地主要是由农田灌溉多余水分侧渗所致。

2 研究方法

2.1 芦苇生境的划分

相关研究表明,在不同地区芦苇存在着不同的生态型,一般划分为湿生型、耐盐碱型和旱生型等^[13,14]。有关研究将河西荒漠绿洲区芦苇划分为盐化草甸芦苇、过渡带芦苇、沼泽芦苇和沙丘芦苇 4 种生态型^[22]。根据前人研究成果以及本文研究目的,依据地下水条件的差异将芦苇种群生境划分为 6 个类型(表 1),包括盐化草甸、过渡带、沼泽和沙丘芦苇 4 种生态型,所不同的是本文的划分强调了芦苇生境的生态水文特征(表 2)。

表 1 芦苇种群生境的划分

Table 1 Habitat classification of <i>Phragmites australis</i> in Hexi Region						
生境 Habitat	a	b	c	d	e	f
地下水埋深(m) Depth	积水	0.9	1.5	1.9	4.0	5.5
生境	湖水中,土壤剖面泥炭发育	有季节性积水,沙壤质土壤	草滩,沙壤质土壤	沙丘丘间低地,风沙土	缓坡沙岗,风沙土	流动沙丘顶部,风沙土

2.2 野外调查与数据处理方法

野外调查是在 2001 年 8 月下旬进行,因为这时芦苇种群的生物量基本达到了一年中的峰值。针对本文的研究目的,调查样地选择在绿洲内部集水洼地及其附近的沙丘上,主要以上述 6 种生境分别调查,从生境 a 到 f 样地基本在一条线上。每一生境中调查 25 个样方,样方面积为 1m×1m。调查内容包括种群密度、高度、地上生物量、水平根状茎生物量、垂直根状茎生物量和地下水位埋深等,其中地下水埋深用剖面 and 土钻确定。另外,在不同生境之间做了补充调查,以便在分析地下水埋深与芦苇种群构件生物量时数据符合统计分析要求。在本研究中,芦苇种群生产力用地上生物量(鲜重,g/m²)来表示。

表 2 芦苇生境土壤湿度(%)

Table 2 Soil moisture at different habitats					
取样深度(cm) Profile depth	b	c	d	e	f
5~10	22.50	4.40	1.90	1.00	0.70
15~20	21.50	20.30	2.50	1.20	0.90
25~30	23.20	22.40	2.40	1.80	1.10
35~40	23.60	22.00	3.10	2.20	2.50
45~50	24.70	22.10	4.10	2.70	2.80
55~60	23.30	21.70	22.80	1.90	3.60
平均值 Mean	23.13	18.82	6.13	1.80	1.93
均方差 Average variance	1.07	7.10	8.20	0.63	1.19
变异系数 Coefficient of variation	0.05	0.38	1.34	0.35	0.62

用 SPSS 8.0 (for windows)进行数据分析。首先对芦苇种群构件生物量与地下水埋深相互关系进行关联分析(Pearson correlation),其次对关联程度高的因子进行回归建模分析,以揭示芦苇种群对地下水埋深变化的适应机制。

3 结果分析

3.1 地下水埋深对芦苇种群的影响

维诺格拉多夫的研究表明,在干旱和半干旱地区地下水埋深对植被的影响比较明显,在地下水埋深较浅的生境(1~2m)多生长柽柳,在地下水埋深较深生境(2~5m)多生长梭梭,在地下水埋深大于 5m 的地方生长着白刺^[23]。对于芦苇而言,其特有的适应性决定了在不同的生境(包括集水湿地和地下水埋深 5m 以上的沙丘)都有分布,不同的是种群特征存在差异^[13~18,22]。Pearson 关联分析结果表明(表 3),地下水埋深与芦苇种群密度、高度、生物量和根冠比的关联程度在 0.01 的水平上显著,关联系数分别为-0.686、

0.883、0.690 和 -0.647 ;与根茎量和地下地上生物量比在 0.05 的水平上显著,关联系数分别为 0.552 和 -0.462 。这说明地下水埋深变化对芦苇种群影响十分明显。此外,从地下水埋深与芦苇种群特征的关联矢量来看,种群密度、根冠比、地上地下生物量比均与地下水埋深呈负关联,说明在湿地和水分条件较好的生境中芦苇种群密度较大、根系发达,地下生长高于地上生长。随着地下水埋深的增加芦苇种群的生长优势逐渐从地下转到地上,地上生物量所占比重逐渐增加。

表 3 地下水埋深与芦苇种群特征的关联分析

Table 3 Pearson analysis between dengraphics of <i>Phragmites australis</i> population and groundwater depth							
盖度(%) Coverage	种群密度 (株/m ²) Population density	高度(cm) Height	生物量 (g/m ²) Biomass	根茎量(g) Root-stem biomass	根量(g) Root biomass	根冠比 Ratio of root to canopy	地下地上生物量比 Ratio of biomass of underground/ aboveground
0.266	-0.686^{**}	0.883^{**}	0.690^{**}	0.552^{*}	0.264	-0.647^{**}	-0.462^{*}

* * 在 0.01 水平上显著; * 在 0.05 水平上显著

对关联程度较高的种群密度、高度、地上生物量、根冠比与地下水埋深进行回归分析表明,芦苇种群密度与地下水埋深的关系可用回归方程 $y = 270.67x^{-1.2933}$ ($R = 0.805, R > P(|r| > r_{0.001}) = 0.679$) 表示,芦苇种群密度随地下水埋深的增加逐渐降低,在地下水埋深超过 1.5m 左右时种群密度的变化趋向平缓(图 1)。与种群密度相反,芦苇种群高度随地下水埋深的增加而增加,当地下水埋深小于 1m 时,种群高度变化不大,当地下水埋深大于 1m 时,芦苇种群高度明显增加(图 2),种群高度与地下水埋深的关系可用回归方程 $y = 18.272e^{0.126x}$ ($R = 0.872, R > P(|r| > r_{0.001}) = 0.679$) 表示。

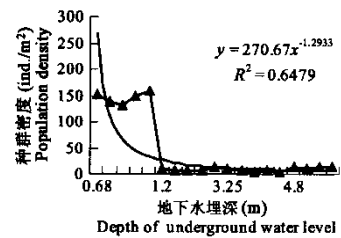


图 1 地下水埋深对芦苇种群密度的影响

Fig. 1 Impacts of depth of underground water level on density of *P. australis* population

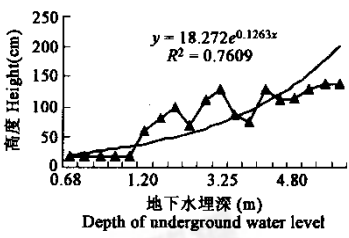


图 2 地下水埋深对芦苇种群高度的影响

Fig. 2 Impacts of depth of underground water level on height of *P. australis* population

芦苇种群地上生物量与地下水埋深的关系与种群高度相似,即:随地下水埋深的增加而增加,变化特点为在地下水埋深小于 1.5m 时,生物量的变化不明显,当地下水埋深大于 1.5m 时呈波动式增加(图 3),种群生物量与地下水埋深的关系可用回归方程 $y = 59.24x + 1.668$ ($R = 0.644, R > P(|r| > r_{0.001}) = 0.561$) 来表示。芦苇种群的根冠比与地下水埋深的关系比较复杂,从变化趋势来看随地下水埋深的增加呈降低的趋势,其中在地下水埋深小于 2m 时,根冠比的变化趋于剧烈;当地下水埋深大于 2m 时,变化趋向平缓(图 4),二者的关系可用回归方程 $y = 0.0003x^3 - 0.0092x^2 + 0.0489x + 0.3361$ ($R = 0.656, R > P(|r| > r_{0.001}) = 0.561$) 来表示。

3.2 芦苇种群构件生物量及其对生产力的影响

前文对芦苇种群随地下水埋深变化的统计分析是建立在芦苇种群随地下水埋深的变化而逐渐变化的基础上。Van der Maarel 等的研究表明,事实上干旱区植被存在明显的斑块状格局,而且随时间和空间发生明显的变化^[24]。芦苇种群在河西荒漠绿洲区的分布也呈斑块状,即存在着不同的生态型或生长在不同的生境中^[13,14,22],而不同的生境存在着不同的芦苇种群格局,不同的植被格局又对应有不同的生态水文效应^[25]。因此,研究芦苇种群生态水文学就必须研究不同生境(地下水埋深)的芦苇种群特性。

首先,从不同生境中芦苇种群地上生物量的特征来看(图 5),在生境 c 中(地下水埋深 1.5m 左右),芦

种群地上生物量最高,为 $829.8 \pm 463.7 \text{ g/m}^2$, 在生境 a 中(集水湿地),地上生物量最低为 186.7 ± 48.8

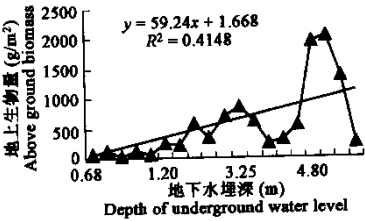


图 3 地下水埋深对芦苇种群地上生物量的影响
Fig. 3 Impacts of depth of underground water level on above ground biomass of *P. australis* population

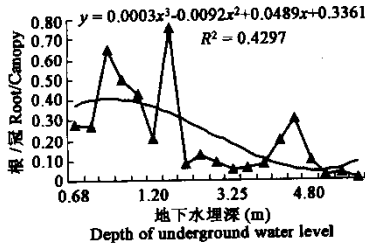


图 4 地下水埋深对芦苇种群根冠比的影响
Fig. 4 Impacts of depth of underground water level on biomass ratio of root and canopy of *P. australis* population

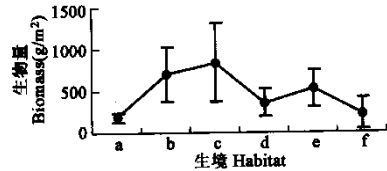


图 5 不同生境芦苇种群地上生物量特征
Fig. 5 Characters of above ground biomass of *P. australis* population at different habitats

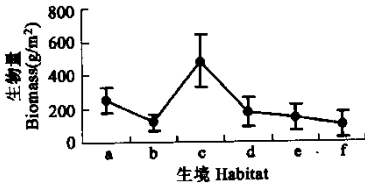


图 7 不同生境芦苇种群垂直茎生物量特征
Fig. 7 Characters of vertical root-stem biomass of *P. australis* population at different habitat

g/m^2 。在芦苇种群地上生物量高的生境中,种群的变异性也强烈,主要表现在地上生物量的变化幅度较大(图 5)。从芦苇种群的地下生物量来看,在生境中,地下生物量最高为 $555.8 \pm 188.3 \text{ g/m}^2$,变化趋势为随生境水分条件的恶化(从 a 到 f),地下生物量降低。同样,在地下生物量高的生境中,其变异性也大,地下生物量变化也剧烈(图 6)。

芦苇种群垂直茎生物量在生境 c 中最大,为 $479.0 \pm 159.1 \text{ g/m}^2$,在其他生境中垂直茎生物量的差异不大(图 7)。芦苇种群水平茎生物量在生境 b、c、d 中较高,分别为 $662.9 \text{ g/m}^2 \pm 225.5 \text{ g/m}^2$ 、 $533.5 \pm 184.3 \text{ g/m}^2$ 和 $692.1 \pm 294.9 \text{ g/m}^2$ (图 8)。

已有研究表明,生长在干旱区有些植物具有“水力提升”和“逆水力提升”的功能,深根性植物可以将深层土壤水(甚至是浅层地下水)通过根系提升到浅根系植物的根际圈后释放到土壤中供浅根系植物吸收利用^[26~28]。芦苇具有垂直根茎,因此可以初步推断,芦苇也可能具有一定的“水力提升”作用。这种作用如果存在的话,其垂直根茎生物量、水平根茎生物量和根系生物量必然与地上生物量之间存在显著正相关。为此,分别用芦苇种群垂直根茎、水平根茎和根系生物量与地上生物量进行关联分析。

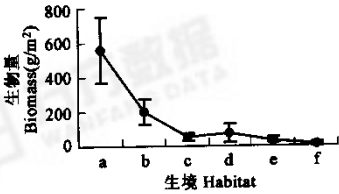


图 6 不同生境芦苇种群地下生物量特征
Fig. 6 Characters of underground biomass of *P. australis* population at different habitats

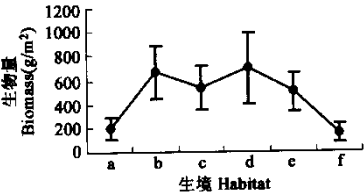


图 8 不同生境芦苇种群水平茎生物量特征
Fig. 8 Characters of horizontal root-stem biomass of *P. australis* population at different habitats

从垂直根茎生物量与地上生物量的关联系数来看,在水分条件较好的生境 a 和 b 中,垂直根茎与地上生物量的关系不显著,但是当地下水埋深 $>1.5\text{m}$ 时(即从生境 c 到 f),垂直根茎与地上生物量的关联程度显著,特别是在生境 c 中关联程度达到显著(在 0.01 水平上)(表 4)。产生这种结果的主要原因可能有以下几点:首先,在水分条件较好的生境中,水分条件不是限制因子,芦苇种群可以通过根系、水平根茎等完成水分代谢对水的需求,这一点从表 3 中水平根茎生物量与地上生物量的关联程度可以得到证明,二者的关联系数为 0.449,在 0.05 的水平上关联显著。其次,芦苇垂直根茎的“水力提升”作用随地下水埋深的变化而发生变化,当地下水埋深 1.5m 左右时作用最明显,二者的关联系数为 0.563,在 0.01 水平上关联显著。其后,随地下水埋深的增加,关联程度降低。

表 4 不同生境芦苇种群构件生物量与地上生物量的关联分析

		a	b	c	d	e	f
垂直根茎生物量 Vertical root-stem biomass	Pearson correlation	0.333	0.364	0.563**	0.481*	0.501*	0.472*
	Sig. (2-tailed)	0.104	0.074	0.003	0.015	0.011	0.017
	n	25	25	25	25	25	25
水平根茎生物量 Horizontal root-stem biomass	Pearson correlation	0.449*	0.104	0.453*	0.379	0.525**	-0.008
	Sig. (2-tailed)	0.024	0.622	0.023	0.062	0.007	0.972
	n	25	25	25	25	25	25
根生物量 Root biomass	Pearson correlation	0.332	0.129	0.671**	0.436*	0.592**	0.103
	Sig. (2-tailed)	0.105	0.539	0.000	0.030	0.002	0.624
	n	25	25	25	25	25	25

* * 在 0.01 水平上显著; * 在 0.05 水平上显著

从表 3 也可以看出,水平根茎对地上生物量的影响呈无规律状态,说明水平根茎在不同地下水埋深的生境中随机分布,可能正是这种随机分布决定了芦苇种群的斑块状格局。芦苇根系生物量对地上生物量的影响因生境水分条件而异,在水分条件较好的生境中,与垂直根茎一样,作用不明显,但是当地下水埋深在 $1.5\sim4.0\text{m}$ 时,根系生物量对地上生物量的影响显著。例如,在生境 c 和 e 中,二者的关联系数分别为 0.671 和 0.592,在 0.01 水平上显著关联。但是,当地下水埋深超过 4m 时,根系对芦苇种群地上生物量的影响不显著。

从不同生境中芦苇种群垂直根茎、水平根茎和地上生物量的关系来看,当垂直根茎生物量为 $400\sim450\text{g}/\text{m}^2$ 和水平根茎生物量在 $500\sim550\text{m}/\text{g}^2$ 时,地上生物量最高(图 9)。从图 9 还可以看出,水平根茎生物量对地上生物量的影响比垂直根茎生物量的影响要复杂,垂直根茎生物量对地上生物量的影响在不同的水平根茎生物量的水平上,都随生物量增加而增长,而水平根茎生物量在不同垂直根茎生物量变化复杂,其中垂直根茎生物量在 $160\sim250\text{m}/\text{g}^2$ 时,芦苇地上生物量随垂直根茎生物量的增加而增加。除此以外,呈抛物线型变化,即:水平根茎生物量对芦苇地上生物量的影响规律为,随水平根茎生物量的增加呈低高高低的变化趋势。

4 讨论

河西荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量受地下水埋深的影响十分显著。从种群特征来看在水分条件较好的生境中,芦苇种群以高密度和小个体的生长状况来适应湿生环境,随着地下水埋深的增加,芦苇种群特征趋向小密度和大个体的生长状况(图 1~图 4)。这一变化特点与生态学上的种群自疏法则是相一致的^[29]。

从不同生境芦苇种群的生物量特征来看,在生境 b 和 c 中芦苇种群地上生物量最高,而其根系生物量却在生境 a 中最高(图 5、图 6)。产生这种原因可能与芦苇的生物学特性有关,因为芦苇的根茎特别发达(图 7、图 8),种群内的个体多为克隆繁殖,水分养分共享是普遍现象,不能排除生境 a 地下生物量高的功能是为其他生境提供水分、养分条件。此外,河西地区湿地生境(a)往往伴随有盐碱化^[20~22],并非其最适生境。有关的研究表明,芦苇的蒸腾速率和气孔导度有明显差异,总体上,随生境盐度的增加而降低,气孔限制因素是盐胁迫下芦苇光合降低的原因之一。低盐度生境芦苇的 RNBPCASE 活性均大于高盐度生境芦苇,而

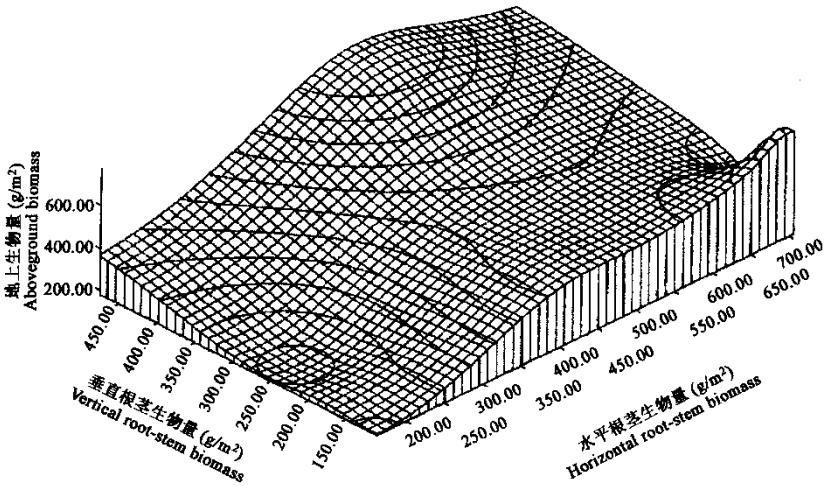


图9 不同生境中芦苇垂直根茎、水平根茎和地上生物量的关系

Fig. 9 The relationships between vertical root-stem biomass, horizontal root-stem biomass and aboveground biomass (*Phragmites australis*) at the different habitats

PEPCASE 活性均小于高盐度生境。在盐渍条件下,叶肉光合器官光合活性也限制芦苇的光合速率^[30]。采用光学超显微镜和电子显微镜对不同生态型芦苇叶解剖结构及叶脉维管鞘细胞超微结构的研究表明,沼泽芦苇维管束鞘细胞内含物较少,维管束鞘细胞叶绿体呈近圆形,超微结构与典型 C₃ 植物小麦鞘细胞相似;而生长在沙丘的芦苇鞘细胞内含物较多,鞘细胞叶绿体呈近椭圆形,超微结构与典型 C₄ 植物玉米的相似^[24]。据此可以断定,生境 b、c 中的芦苇种群地上生物量高的原因与地下水埋深直接相关,因为地下水埋深的高低直接影响到生境的盐碱化程度、土壤湿度、以及土壤温度状况,而这些因子都与芦苇的生长密切相关。

References:

[1] Liu Y X. *Flora in Deserts Republicae Populorum Sinarum Tomus* (1). Beijing: Science Press, 1985. 350~402.

[2] Ni H W, Wu H Y. The plant diversity and conservation of *Phragmites australis* mire in Hong He state Natural Reserve. *Territory and Natural Resource Study*, 2000, (2): 76~78.

[3] Li F, Li J S, Lu C W, et al. Nest defense behavior breeding birds in reed marshes of Zhalong Natural Reserves. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, 28(1): 55~58.

[4] Liu S L, Xu Q. The research of white-winged black terns breeding biology in Zhalong Nature Reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 1999, 27(5): 71~73.

[5] Yu Y M, Dong Z G. The coastal wetland biodiversity at Yalu River mouth and counter measurements for their protection. *Resource Science*, 1999, 21(1): 57~62.

[6] Huang G H, Li Y X. Influence of environmental factors on CH₄ emission from reed wetland. *Environmental Science*, 2001, 22(1): 1~5.

[7] Zhao K F, Fan H. Approaches to roles and mechanism of reed wetland to waste water purification. *Scientific Chinese*, 2000, (4): 8~11.

[8] Qu X Y, Jia H Y. Preliminary study of purification function of reed wetland for nutrients from land sources. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(2): 270~272.

[9] Li Q S, Deng W. Formation and evolution of salt marsh plain in western Songnen. *Scientia Geographica Sinica*,

2000, **20**(4):362~367.

- [10] Shen Y Y, Li J . Forage Yield and vegetation response to managements on saline grassland in Hexi Corridor Region. *Grassland of China*, 1998, **20** (6):7~11.
- [11] Zhao X S, Zhang C L . RuBP carboxylase in *Phragmites communis* at saline habitats of Hexi Corridor. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, **5**(2):152~155.
- [12] Zheng X P, Zhang C L. Adaptation way of photosynthesis carbon assimilation of reed to habitat condition in Hexi Corridor. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, **17**(1):1~8.
- [13] Gao H Y, Li W J, Tursunay, *et al.* Study on leaf water potential, transpiration and water use efficiency in different growth forms of reed in plain desert area of northern Xinjiang. *Grassland of China*, 1995, **17**(5):60~66.
- [14] Gao H Y, Li W J, Xu J, *et al.* Diurnal course of photosynthesis and respiration in reed leaves of different growth forms in plain desert area of northern Xinjiang. *Grassland of China*, 1995, **17**(5):53~59.
- [15] Chen K Y, Ye H C, Chen J L, *et al.* A salt tolerant variant of *Phragmites* communities and its cytological characterization. *Acta Botanica Sinica*, 1994, **36**(12):930~933.
- [16] Chen K Y, Ye H C . Cytology appraisal of reed plant variation. *Journal of Botany*, 1993, **10**(2):44~46.
- [17] Wang Z H, Sang H Y, Yang H L, *et al.* Reed bio-productivity and response to increase of air CO₂. *Acta Grass-industry Sinica*, 1994, **3**(1):1~6.
- [18] Zhu X Y, Zhang C L. Photosynthesis electron transmit and resist oxygen protect system of two ecological mold reed. *Acta Botanica Physiology Sinica*, 2000, **26**(6):476~480.
- [19] Zhang C L, Zhou R L, Chen G C. Physio-ecological analysis on the capability of dehydration tolerance of *Phragmites* communities. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1992, **16**(4):311~316.
- [20] Shen Y Y, Yan S G. Study on primary productivity of some salted grassland in Hexi Corridor: on the aboveground biomass and underground biomass. *Acta Grass-industry Sinica*, 1995, **4**(2):44~50.
- [21] Shen Y Y, Zhao Y. Study on primary productivity of some salted grassland in Hexi Corridor: distributive characteristics of underground biomass. *Acta Grass-industry Sinica*, 1995, **4**(2):51~57.
- [22] Zheng W J, Wang S. A study on the leaf structure of four reed ecotypes. *Acta Botanica Sinica*, 1999, **41**(6):580~584.
- [23] Wu J H, Zhang S. *Plant geography*. Beijing: Higher Education Press, 1995. 39~55.
- [24] Van der Maarel E. Vegetation dynamics: patterns of change in time and space. *Vegetatio*, 1988, **77**:1~9.
- [25] Baird A J & Wilby R eds. Translated by Zhao W Z & Wang, G X. *Ecohydrology*. Beijing: Ocean Press, 2002. 25~45.
- [26] Richards J H, Caldwell M M. Hydraulic lift: Substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. *Oecologia*, 1987, **73**:486~489.
- [27] Schulze E D, Galdwell M M, Galdwell J, *et al.* Downward flux of water through roots (i. e. inverse hydraulic lift) in dry Kalahari sands. *Oecologia*, 1998, **115**:460~462.
- [28] Wraith J M, Baker J M. High resolution measurement of root water uptake using automated time-domain reflectometry. *Soil Sciences Society of American Journal*, 1991, **55**:928~932.
- [29] Yoda K, Kira T, Qgawa H, *et al.* Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. *J. Biol. Osaka City Univ.*, 1963, **14**:107~129.
- [30] Zhao K F, Feng L T. The salinity-adaptation physiology in different ecotypes of *Phragmite* communities in the Yellow River Delta Ⅱ the characteristics of photosynthetic gas exchange in different ecotypes of *Phragmite* communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(5):795~799.

参考文献:

- [1] 刘 心. 中国沙漠植物志(第一卷). 北京: 科学出版社, 1985. 350~402.
- [2] 倪红伟, 卢昌伟. 阿拉善自然保护区芦苇沼泽植物的多样性. 国土与自然资源研究, 2000, (2): 76~78.
- [3] 李枫, 李俊生, 卢昌伟. 扎龙自然保护区芦苇沼泽营巢鸟的护巢行为. 东北林业大学学报, 2000. **28**(1): 55~58.

[4] 刘胜龙,许青. 扎龙自然保护区白翅浮鸥繁殖生物学的研究. 东北林业大学学报, 1999, **27**(5):71~73.

[5] 于砚民 董志刚. 鸭绿江口滨海湿地生物多样性与保护对策. 资源科学, 1999, **21**(1):57~62.

[6] 黄国宏,李玉祥. 环境因素对芦苇湿地 CH₄ 排放的影响. 环境科学, 2001, **22**(1):1~5.

[7] 赵可夫, 范海. 芦苇湿地在处理污水中的作用及机理的探讨. 科学中国人, 2000, (4):8~11.

[8] 曲向荣,贾宏宇. 辽东湾芦苇湿地对陆源营养物质净化作用的初步研究. 应用生态学报, 2000, **11**(2):270~272.

[9] 李取生,邓伟. 松嫩平原西部盐沼的形成与演化. 地理科学, 2000, **20**(4):362~367.

[10] 沈禹颖,李响. 几种培育措施对河西走廊盐化草地影响的研究. 中国草地, 1998, **20** (6):7~11.

[11] 赵相山,张承烈. 河西走廊芦苇在不同盐渍生境中 RuBP 羧化酶的比较研究. 应用生态学报, 1994, **5**(2): 152~155.

[12] 郑学平, 张承烈. 河西走廊芦苇的光合碳同化途径对生境条件的适应. 植物生态学与地植物学学报, 1993, **17**(1): 1~8.

[13] 高辉远, 李卫军. 北疆平原荒漠区不同生长型芦苇光合作用与呼吸作用日变化的研究. 中国草地, 1995, **17**(5): 53~59.

[14] 高辉远,李卫军. 北疆平原荒漠区不同生长型芦苇叶片水势,蒸腾速率及水分利用效率的研究. 中国草地, 1995, **17**(5):60~66.

[15] 陈可咏,叶和春. 芦苇耐盐变异植株及其细胞学鉴定. 植物学报, 1994, **36**(12):930~933.

[16] 陈可咏,叶和春. 芦苇变异植株的细胞学鉴定. 植物学通报, 1993, **10**(2):44~46

[17] 王祝华,桑华园,杨海莲,等. 芦苇生物生产力及其对大气 CO₂ 加浓的响应. 草业学报, 1994, **3**(1):1~6.

[18] 朱学艺,张承烈. 两种生态型芦苇叶绿体的光合电子传递和抗氧保护体系. 植物生理学报, 2000, **26**(6): 476~480.

[19] 张承烈,周瑞莲,陈国仓. 芦苇耐脱水能力的生理生态学分析. 植物生态学与地植物学学报, 1992, **16**(4):311~316.

[20] 沈禹颖,阎顺国. 河西走廊几种盐化草地第一性生产力的研究 I. 地上生物量与地下生物量. 草业学报, 1995, **4** (2):44~50.

[21] 沈禹颖,赵银. 河西走廊几种盐化草地第一性生产力的研究 II. 地下生物量的分布特点. 草业学报, 1995, **4** (2):51~57.

[22] 郑文菊,王双. 四种生态型芦苇叶片结构的研究. 植物学报, 1999, **41**(6):580~584.

[23] 武吉华,张绅. 植物地理学. 北京:高等教育出版社, 1995. 39~50.

[25] Baird A J & Wilby R L. 赵文智,王根绪译. 生态水文学——陆生和水生环境的植物与水分关系. 北京:海洋出版社, 2002. 25~45.

[30] 赵可夫,冯立田. 黄河三角洲不同生态型芦苇对盐度适应生理的研究 III. 不同生态型芦苇的光合气体交换特点. 生态学报, 2000, **20**(5):795~799.