生态环境学报 2011, 20(8-9): 1214-1220 http://www.jeesci.com
Ecology and Environmental Sciences E-mail: editor@jeesci.com

滨海不同生境下盐地碱蓬生物量分配特征研究

毛培利[1]，成文连[2]，刘玉虹[1*]，王光美[1]，陈景春[3]，
韩广轩[1]，张志东[1]，于君宝[1]，刘福德[4]

1. 中国科学院烟台海岸带研究所，山东 烟台 264003；2. 防化指挥工程学院，北京 102205;
3. 山东省东营市科技局，山东 东营 257091；4. 山东省水利科学研究院，山东 济南 250013

摘要：盐地碱蓬是黄河三角洲重要的先锋植物，抗盐能力强，分布范围广，对维持该地区生态系统稳定和演替发挥着重要作用。通过野外取样测定，研究了潮间带和潮上带盐地碱蓬种群的形态及生物量分配特征。在个体大小上，潮间带盐地碱蓬在株高和地径上显著低于潮上带盐地碱蓬；潮上带盐地碱蓬密集分布的株高高于散生分布，而生物量低于散生分布。在生物量分配特征上，潮间带盐地碱蓬Ⅰ以发展花、叶为主，潮上带盐地碱蓬Ⅱ的密集分布以优先发展茎为主，潮上带盐地碱蓬Ⅲ的散生分布以发展枝为主，属于种群发展的稳定阶段。因此，盐地碱蓬通过形态特征及生物量分配特征的调节，以适应潮间带和潮上带的不同生境特征，从而达到种群维持和土壤改良的目的。

关键词：盐地碱蓬；生物量；密度；黄河三角洲
中图分类号：X173 文献标志码：A 文章编号：1674-5906（2011）08-09-1214-07

种群是指在特定空间里能自由交配繁殖后代的同种个体的集合，是生态学研究的核心内容之一。自 Harper[1]的巨著《植物种群生物学》问世以来，在短短 30 年时间里，植物种群生物学得到了迅猛的发展，在植物种群结构、数量动态、分布格局、繁殖对策等方面进行了大量研究[2-6]。植物生理生态学是指应用生理方法和手段，以植物的生理机能为基础，阐明植物与环境之间的关系的学科。植物生理生态学在植物种群生态学上得到了广泛的应用[7-8]，使植物种群生态学从主要对结果的描述走向对机理、成因的解释[9]。

盐地碱蓬 *Suaeda salsa* 种群是黄河三角洲重要的先锋种群。它是一种典型的稀盐型盐生植物，具有很强的耐盐能力[10]，吸收土壤大量盐分，改善土壤生境[11]，而且入侵、繁殖迅速，对黄河三角洲生态系统稳定和演替发挥着重要作用。目前，对于盐地碱蓬种群的动态变化规律研究很少，例如侯本栋等[12]对盐地碱蓬群落特征进行了简单描述，而崔保山等[13]深入研究了在水盐梯度下盐地碱蓬种群的分布格局。但是大量的研究主要集中在对盐地碱蓬的生理生态适应性上，主要包括种子萌发[14-15]、植株生长[16-17]、光合作用[18]、耐盐能力[10]和耐盐机理[19-24]，并且这些研究主要是从生理适应角度展开的，但在形态适应上研究很少[19-20]，特别是生物量分配上尚未涉及。

在黄河三角洲，由于生境的差异，盐地碱蓬存在着紫红色和绿色两种典型表型。在滨海的潮间带或者部分涝洼积水地带，在整个生长期生长植株的地上部分皆为紫红色，经常遭受高盐、低温及淹水的影响；而在地势较高或距离海边较远的潮上带，生长的植株呈现绿色，主要遭受盐和干旱的胁迫[20]。对于绿色表型盐地碱蓬，存在着密集和散生两种分布形式。因此，本研究拟选择以潮间带和潮上带（密集分布、散生分布）的盐地碱蓬，从生物量分配的角度探讨其生态适应性，为黄河三角洲的植被恢复研究提供理论支持。

1 研究方法

1.1 研究区概况

黄河三角洲国家级自然保护区（N37°40′~38°10′，E118°41′~119°16′）地处我国山东省东营市黄河入海口，总面积 153 000 hm^2，是以保护黄河口新生湿地生态系统和珍稀濒危鸟类为主体的自然保护区。黄河入海口在自然保护区境内，由于黄河携带大量泥沙入海，使黄河三角洲自然保护区的面积在逐年增大，是世界上土地面积自然增长最快、成陆最年轻的自然保护区。该地区属暖温带季风型气候区，受季风影响显著，四季分明，具明显的大陆性气候特点。年均气温 12.3 ℃，年均无霜期 199 d，年均降水量为 542.3 mm，蒸发量为 1 926.1 mm。土壤以潮土和盐土为主。天然植被以

基金项目：山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目（2007BS08008）；山东省自然科学基金项目（2008ZRA06061）；国家自然科学青年基金项目（40901029）;水资源工艺项目（200801026）
作者简介：毛培利（1979 年生），男，助理研究员，博士，主要从事植物生理生态研究
*通信作者：刘玉虹（1974 年生），男，副研究员，博士，主要从事流域生态水文其建模。E-mail: yhliu@yic.ac.cn
收稿日期：2011-07-06

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

草甸为主，主要有湿生植被和盐生植被两种类型，包括 10 余种群落，其中沼生芦苇 *Phragmites australis* 群落、柽柳 *Tamarix chinensis* 群落及盐地碱蓬群落分布较广[25]。

表 1 潮间带和潮上带土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of intertidal and suratidal zone

测定项目	潮间带	潮上带
w(土壤盐分)/%	1.22	1.10
土壤 pH 值	8.82	8.49
土壤容重/(g·cm^{-3})	1.31	1.09
w(土壤全氮)/(mg·kg^{-1})	435.23	610.96
w(土壤全磷)/(mg·kg^{-1})	538.00	520.02
w(土壤全钾)/(mg·kg^{-1})	21549.50	20314.89
w(土壤有机质)/(g·kg^{-1})	5.57	5.80

1.2 试验方法

根据野外调查，由于生境盐度和水分的差异，盐地碱蓬种群存在着不同的分布形式。生长在潮间带的盐地碱蓬记做Ⅰ，植被盖度为 30%左右。生长在潮上带的盐地碱蓬，密集分布时的植被盖度为 80%，记做Ⅱ，而散生分布的记做Ⅲ。在 2008 年 9 月初，进行了植株采集，此时盐地碱蓬正处于结果盛期。在野外Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类型的生境中，随机设置样方各五个并且每个样方随机采集 15 株，测量了它们的株高和地径。然后带回实验室，将植株分为根、茎、枝、叶和生殖器官，在 70 ℃烘干至恒质量，并测量其干质量。

1.3 数据分析

根据不同部分的生物量，计算叶生物量比[LMR，LMR=(叶干质量/总生物量)×100%]、根生物量比[RMR，RMR=(根干质量/总生物量)×100%]、茎生物量比[SMR，SMR=(茎干质量/总生物量)×100%]、枝生物量比[BMR，BMR=(枝干质量/总生物量)×100%]、生殖分配[RA，RA=(生殖器官干质量/总生物量)×100%]。通过软件 SPSS13.0 对各指标进行单因素方差分析（One-Way ANOVA），并进行 LSD 多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同生境个体大小特征比较

植物的个体大小反应了植物的适应能力。由图 1 看出，不同生境下的盐地碱蓬个体大小差异明显。方差分析表明，3 种不同类型的盐地碱蓬在株高（$F = 104.08, P < 0.01$）、地径（$F = 48.77, P < 0.01$）和生物量（$F = 49.54, P < 0.01$）上都差异极显著。在株高和地径上，潮间带盐地碱蓬Ⅰ都低于潮上带盐地碱蓬Ⅱ和Ⅲ。潮间带盐地碱蓬Ⅰ经常受到水涝、高盐和低温的综合胁迫，生长明显受到抑制。这表明生境的差异对盐地碱蓬的生长有着重要的影响。

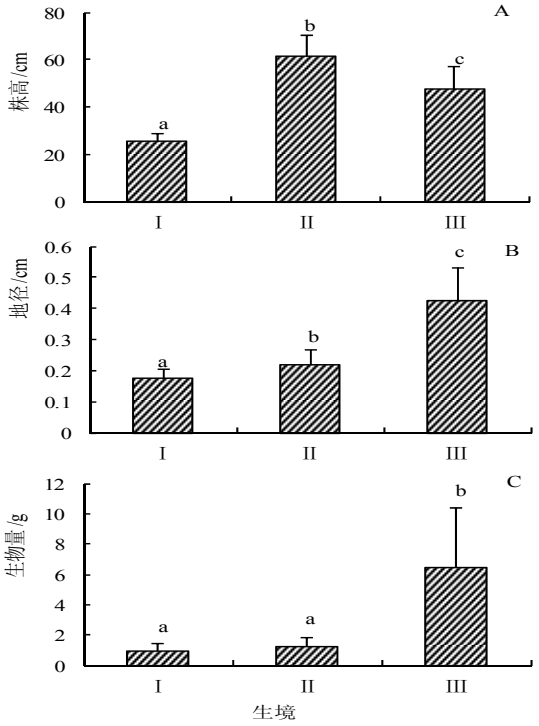

图 1 不同生境下盐地碱蓬个体大小

Fig.1 Individual size of *S. salsa* in different habitats

潮上带盐地碱蓬Ⅱ在株高上高于Ⅲ，在地径上低于Ⅲ，这主要是密度效应的体现。在高密度下，单个植株为了争取光资源，优先快速高生长，而在较低密度下则不受此限制。在生物量上，潮间带盐地碱蓬Ⅰ和潮上带盐地碱蓬Ⅱ差异不显著，低于潮上带盐地碱蓬Ⅲ，这是生境限制和密度制约的综合作用的结果。

2.2 不同生境下生物量分配的差异比较

生物量分配是植物适应不同生境的重要途径。由图 2 看出，不同生境下的盐地碱蓬，在生物量分配上明显不同，表明适应生境机制也不同：潮间带盐地碱蓬Ⅰ的 LMR（图 2A）和 RA（图 2E）显著高于潮上带盐地碱蓬Ⅱ和Ⅱ，表明潮间带盐地碱蓬优先把生物量分配到叶片和生殖上；潮上带盐地碱蓬Ⅱ的 BMR（图 2B）和潮上带盐地碱蓬Ⅲ的 SMR（图 2C）最高，说明潮上带的盐地碱蓬Ⅱ优先把生物量分配到茎，利于其快速的高生长，与植株间竞争强有关，而盐地碱蓬Ⅲ则优先把生物量分配到枝上，有利于其向横向空间的扩展，这些与其生境开阔，植株间竞争能力弱有关；在 RA（图 2E）及 SMR（图 2D）上，潮上带盐地碱蓬Ⅱ与Ⅲ差异不显著，说明潮上带的盐地碱蓬的生殖分配与根生物量的分配不受密度效应的影响。

2.3 不同生物量的分配特征随生物量增长的空间变化格局

根据图 3，不同生境的盐地碱蓬的叶生物量比、

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

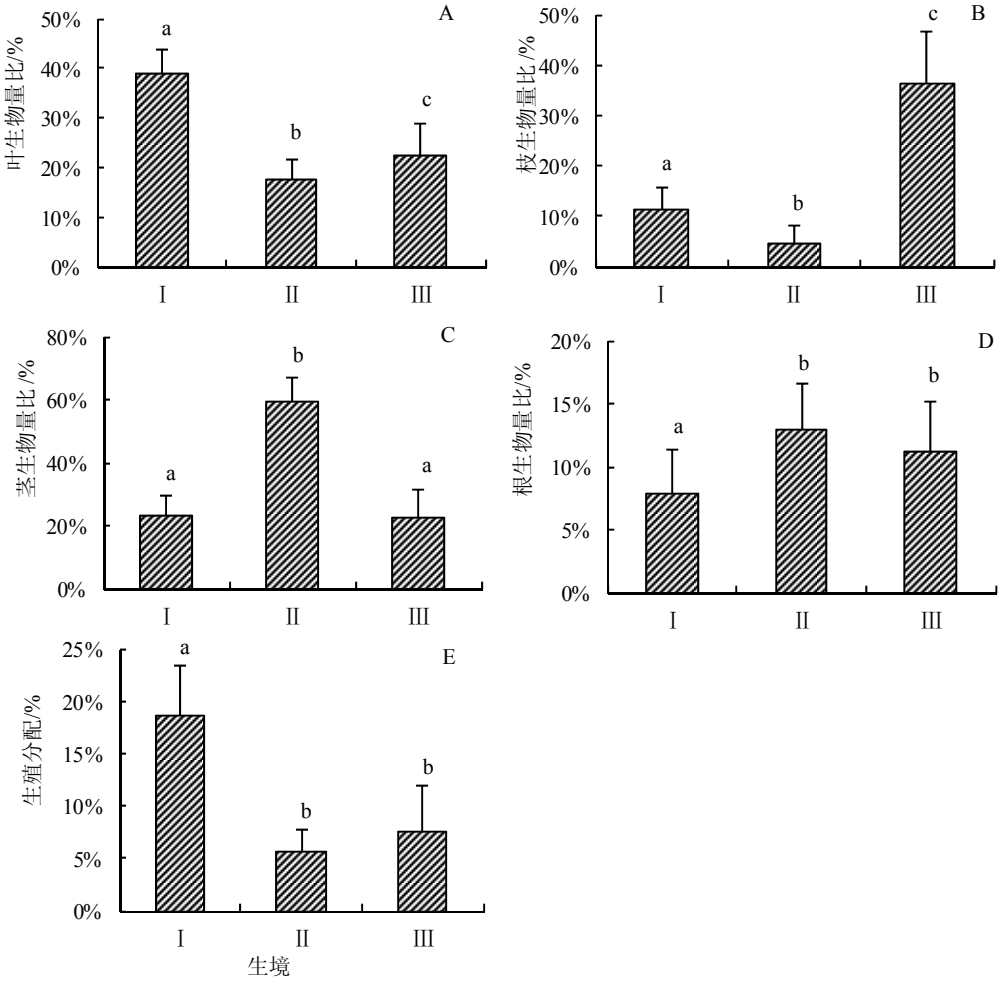

图 2 不同生境下盐地碱蓬生物量生殖分配

Fig.2 Biomass reproductive allocation of *S. salsa* in different habitats

茎生物量比和花生物量比随生物量的增长，呈一阶幂衰减，而枝生物量比呈对数增长，根生物量呈三阶多项式变化。潮间带盐地碱蓬Ⅰ、潮上带盐地碱蓬Ⅱ和Ⅲ的不同生物量比指标特征，分布在整体曲线的不同部分，显然，这说明潮上带盐地碱蓬Ⅲ属于种群发展的稳定状态，而潮上带盐地碱蓬Ⅱ及潮间带盐地碱蓬Ⅰ属于种群发展的两个初级阶段。

不同生境下盐地碱蓬各个器官生物量与植株生物量线性相关（除Ⅲ花生物量与株生物量外，见表 2）。相关系数表明，在生境Ⅰ，叶生物量、花生物量与株生物量的相关系数最大，其次是枝生物量，再次是茎生物量和根生物量；在生境Ⅱ，茎生物量与株生物量的相关系数最大，其次是叶生物量、根生物量和枝生物量，再次是花生物量；在生境Ⅲ，枝生物量与株生物量的相关系数最大，其次是叶生物量，再次是茎生物量、根生物量和花生物量。结合图 3 和表 2，可以发现，潮间带盐地碱蓬Ⅰ以发展叶、花、为主，潮上带盐地碱蓬Ⅱ则优先发展茎，潮上带盐地碱蓬Ⅲ则优先发展枝。不同生境下盐地碱蓬器官生物量比与株生物量相关系数表明，不同生境下盐地碱蓬都显著减少茎生物量比，在叶生物量比、根生物量比和花生物量比上相关不显著；在潮上带，显著增加枝生物量比，生境Ⅱ相关系数比生境Ⅲ要大（表 3）。

3 讨论

通过本项研究，我们发现：盐地碱蓬在不同生境下生物量分配适应方式明显不同：潮间带盐地碱蓬Ⅰ以发展枝、花、叶为主，潮上带盐地碱蓬Ⅱ以优先发展根和茎，潮上带盐地碱蓬Ⅲ属于种群发展的稳定阶段。那么为什么会出现这些特征呢？

（1）潮间带盐地碱蓬Ⅰ的LMR显著高于潮上带盐地碱蓬。叶片是植物的主要光合组织，高的叶片生物量投入，有利于植物吸收更多的光能，产生更多的光合产物[26]，并且高的叶片生物量投入在一定程度上抵消了潮间带盐地碱蓬由于光合能力低带来的不利影响。同时，叶片肉质化是稀盐盐生植物盐地碱蓬能够在盐渍生境中生长并完成生活史的进化策略之一，在盐（Na^+和Cl^-）胁迫下，盐地碱

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

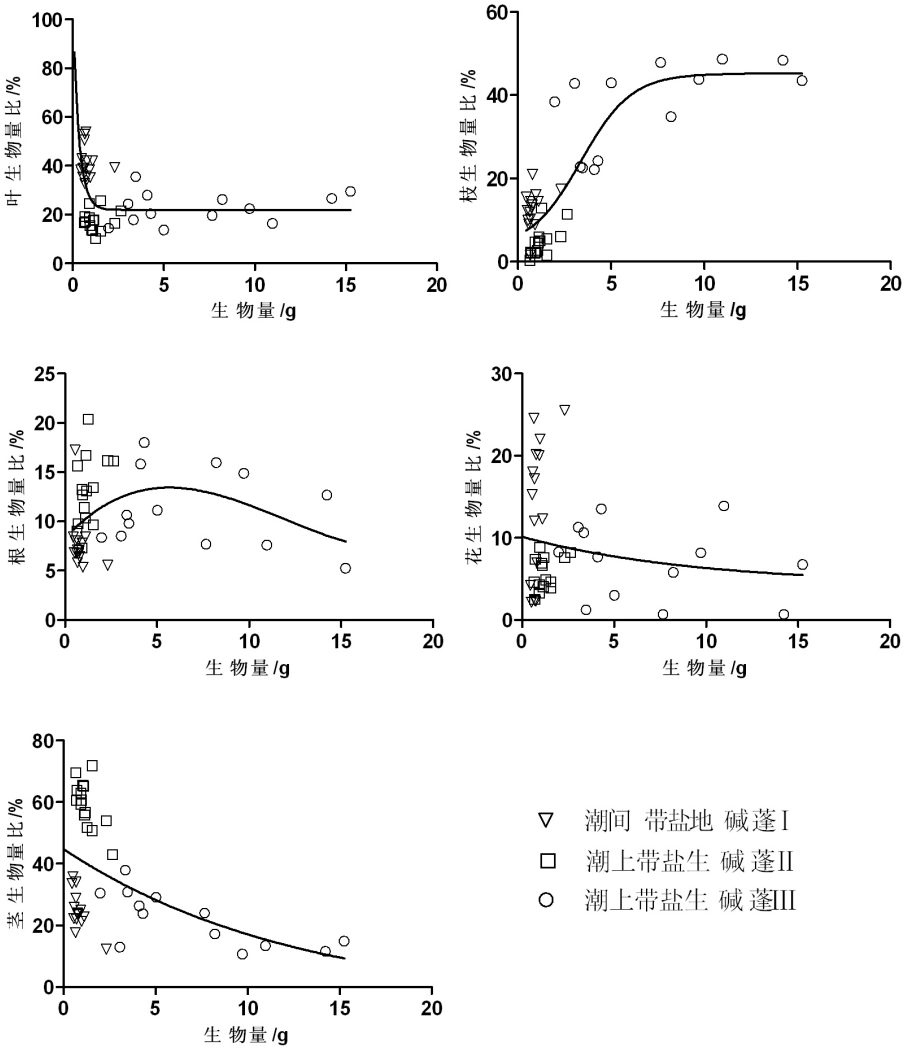

图 3 盐地碱蓬生物量分配特征与单株生物量的关系

Fig.3 The relationships between the characters of biomass allocation and the total biomass of *S. salsa*

表 2 盐地碱蓬器官重量与单株生物量的相关分析

Table 2 The relationships between structure weight and total biomass of *S. salsa*

生境	叶质量/g	枝质量/g	茎质量/g	根质量/g	生殖器官质量/g
Ⅰ	0.39**	0.19**	0.08**	0.05**	0.30**
Ⅱ	0.20**	0.12**	0.42**	0.18**	0.09**
Ⅲ	0.27**	0.51**	0.09**	0.08**	0.05ns

*: P< 0. 05；** : P < 0. 01；ns :无显著性差异 No significance

表 3 盐地碱蓬器官生物量分配与单株生物量的相关分析

Table 3 The relationships between the ratio of structure masses and the total biomass of *S. salsa*

生境	叶 生物量比/%	枝 生物量比/%	茎 生物量比/%	根 生物量比/%	生殖器官 生物量比/%
Ⅰ	-0.01ns	0.04ns	-0.09**	-0.02ns	0.09ns
Ⅱ	0.01ns	0.04*	-0.09**	0.03ns	0.01ns
Ⅲ	0.00ns	0.02*	-0.01**	-0.00ns	-0.00ns

*: P < 0. 05；** : P < 0. 01；ns :无显著性差异No significance

蓬叶片产生肉质化[19-20]，使得叶片的薄壁细胞组织大量增生，细胞数目增多，体积增大，可以吸收和贮存大量水分，并且，盐地碱蓬可以吸收外界盐分并积累在液泡中，提高叶片渗透调节能力，有利于吸收水分[22, 24]，进而改善植物体的水分状况。因此，高的叶片生物量投入，更加有利于潮间带盐地碱蓬吸收更多的水分，适应在盐胁迫环境下生长。

（2）在RMR上，潮间带盐地碱蓬Ⅰ显著低于潮上带盐地碱蓬Ⅱ和Ⅲ。潮间带盐地碱蓬减少对根系生物量的投入，有利于对叶片生物量的投入的增加，是对高盐环境的一种重要适应策略。而潮上带盐地碱蓬除了遭受盐胁迫外，还经常遭受水分胁迫，对根系生物量投入的增加可以有效提高对土壤水分的吸收[27]，因此，高的根系生物量投入是潮上带盐地碱蓬对水分胁迫适应的重要方式。

（3）潮上带盐地碱蓬Ⅱ的种群生长密集，对光

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

资源的竞争非常激烈，导致植株的侧向生长由于个体冠层间重叠的加大而受到抑制，因此其高生长要明显的强于侧向生长[28]，体现在生物量分配上，就是茎生物量投入最大，枝生物量投入最小。同时，随着株生物量的增加，潮上带生境Ⅱ盐地碱蓬的茎生物量比减少、枝生物量比增加，这有利于高密度下个体大植株增加分枝遮蔽周围个体小的植株，是对光资源竞争的重要适应方式。而潮上带盐地碱蓬Ⅲ对枝的生物量投入最大，并且在高光环境下，通过增加枝的生物量投入，可以增加叶片的自我遮荫，避免强光直接到达叶表面，降低对光合组织的破坏程度[29]。因此，高的枝生物量投入是潮上带盐地碱蓬发展稳定阶段的重要适应方式。

（4）盐地碱蓬的生殖分配在不同生境下差异显著，潮间带盐地碱蓬Ⅰ的生殖分配最高。研究证明，在开放的生境下，植物容易遭受各种胁迫，在这种情况下，植物会增加对生殖分配的投入，尤其是一年生植物[30]。潮间带盐地碱蓬生长在海边，土壤含盐量高，土壤粘重，同时还有高频率的水淹，这些都不利于其生长，因此，高的生殖分配是其适应逆境的重要方式。潮上带盐地碱蓬Ⅱ和Ⅲ远离海边，土壤含盐量降低，土壤粘重程度减小，生境相对较好，所以在营养生长上的投入较多，而在生殖分配上较少。而潮间带紫红色盐地碱蓬和潮上带绿色盐地碱蓬发芽的研究也表明：在低盐浓度下，绿色表型盐地碱蓬种子发芽能力高于紫红色盐地碱蓬；而在高盐浓度下，紫红色盐地碱蓬种子的发芽能力高于绿色盐地碱蓬[15]，这表明潮间带生境和潮上带生境的盐地碱蓬存在繁殖策略上有一定的差异。另外，一些研究表明，生殖分配还受到种群密度的影响[31]，但有些研究也表明生殖分配不受密度影响，与植物遗传特性有关[30, 32]。对于潮上带盐地碱蓬Ⅱ和Ⅲ，生殖分配差异不显著，表明在相同生境下其生殖分配不受密度影响。盐地碱蓬的生殖器官生物量与植株大小呈正相关，这与垂穗披碱草*Elymus nutans*[30]、黄帚橐吾*Ligularia virgaurea*[33]、5 种毛茛科植物[34]研究一致；但盐地碱蓬生殖分配与植株大小没有显著相关性，与垂穗披碱草结果相似，与黄帚橐吾和5种毛茛科植物结果相反，表明盐地碱蓬生殖分配比例没有明显相关性，较为稳定。

综上所述，作为黄河三角洲重要的先锋物种的盐地碱蓬，通过在潮上带和潮间带不同生境中生物量分配的调节，有助于其适应强的盐分胁迫[10, 23]，形成入侵能力强、繁殖速度快和分布面积广的特征。此外，一些研究还表明，种植盐地碱蓬3年后的土壤脱盐率可达26.83%，土壤有机质可增加56.1%[10]，说明盐地碱蓬对盐碱地土壤有着很强的改良能力，为其它植物种的侵入和生长创造了条件，而且盐地碱蓬还具有着重要的经济价值。因此，对于盐地碱蓬的研究，不能仅局限于单株的生理生态适应性研究，而且还应加深对盐地碱蓬种群的动态变化规律的研究，从而为科学的开发利用提供理论依据。

4 结论

通过不同生境盐地碱蓬的地径、株高、总体生物量及不同生物量分布特征的分析研究，可以发现，盐地碱蓬作为滨海湿地的先锋物种，其生物量在根、茎、叶、花、枝上的优化配置是适应潮上带与潮间带不同生境的重要形态方式。潮间带盐地碱蓬Ⅰ以发展花、叶为主，潮上带盐地碱蓬Ⅱ以优先发展茎，以发展枝为主的潮上带盐地碱蓬Ⅲ属于盐地碱蓬Ⅰ和Ⅱ生长的稳定阶段。

参考文献：

[1] HARPER J L. Population Biology of Plants [M]. New York: Academic Press, 1977.

[2] 韩路, 王海珍, 周正立, 等. 塔里木河上、中游胡杨种群结构与统计分析[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1315-1322.
HAN Lu, WANG Hhaizhen, ZHOU Zhengli, et al. Population structure and demography of *Populus euphraticu* in upper and middle reaches of Tarim River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4): 1315-1322.

[3] 唐建维, 施济普, 张光明, 等. 西双版纳不同斑块望天树种群的密度、结构和生物量[J]. 植物生态学报, 2008, 32 (1): 40-54.
TANG Jianwei, SHI Jipu, ZHANG Guangming, et al. Density, structure and biomass of *Parashorea Chinensis* populations in different patches in Xishuangbanna, S W China[J]. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 2008, 32 (1): 40 - 54.

[4] 费世民, 何亚平, 陈秀明, 等. 秦岭水灾迹地油松和华山松更新种群数量特征[J]. 植物生态学报, 2008, 32 (1): 95 -105.
Fei Shimin, HE Yaping, CHEN Xiuming, et al. Quantitative features of populations of *Pinus tabulaeformis* and *P. armandii* regenerated following water damage at Qinling Mountain, China[J]. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 2008, 32 (1): 95-105.

[5] 杨洪晓, 张金屯, 李振东, 等. 毛乌素沙地油蒿(*Artemisia ordosica*)种群空间格局对比[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 1901-1910.
YANG Hongxiao , ZHANG Jintun , LI Zhendong, et al. Comparative study on spatial patterns of *Artemisia ordosica* population s in the Muus sandy land[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (5): 1901-1910.

[6] 陈劲松, 苏智先. 缙云山马尾松种群生物量生殖配置研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 704-708.
CHEN Jinsong, SU Zhixian. Reproductive allocation of biomass in *Pinus massoniana* at MT Jinyun[J]. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 2001, 25(6): 704-708.

[7] LARCHER W. Physiological plant ecology- ecophysiology and stree physiology of functional groups[M]. New York: Springer- Verlag, 1995.

[8] 蒋高明. 植物生理生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
JIANG Gaoming. Plant Ecophysiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.

[9] 钟章成, 曾波. 植物种群生态研究进展[J]. 西南师范大学学报:自

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

然科学版, 2001, 26(2): 230 - 236.
ZHONG Zhangcheng, ZENG Bo. Trends and advances in researches on plant population ecology [J]. Journal of Southwest China Normal University : Natural Science , 2001, 26(2): 230 - 236.

[10] 张立宾, 徐化凌, 赵庚星. 碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J]. 土壤, 2007, 39(2): 310 - 313.
ZHANG Libin, XU Hualing, ZHAO Gengxing. Salt Tolerance of *Suaeda Salsa* and its soil ameliorating effect on coastal saline soil [J]. Soils, 2007, 39(2): 310 - 313.

[11] 林学政, 陈靠山, 何培青, 等. 种植盐地碱蓬改良滨海盐渍土对土壤微生物区系的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 801 - 807.
LIN Xuezheng, CHEN Kaoshan, HE Peiqing, et al. The effects of *Suaeda salsa* L. planting on the soil microflora in coastal saline soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 801-807.

[12] 侯本栋, 马风云, 邢尚军, 等. 黄河三角洲不同演替阶段湿地群落的土壤和植被特征[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(3): 313 - 318.
HOU Bendong, MA Fengyun, XING Shangjun, et al. Soil and vegetation characteristics of wetland communities at different successive stages in the Huanghe River Delta[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2007, 24(3): 313 - 318.

[13] 崔保山, 贺强, 赵欣胜. 水盐环境梯度下翅碱蓬(*Suaeda salsa*)的生态阈值[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1408 - 1418.
CUI Baoshan, HE Qiang, ZHAO Xinsheng. Researches on the ecological thresholds of *Suaeda salsa* to the environmental gradients of water table depth and soil salinity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1408-1418.

[14] 李存桢, 刘小京, 杨艳敏, 等. 盐胁迫对盐地碱蓬种子萌发及幼苗生长的影响[J].中国农学通报, 2005, 21(5): 209 - 212.
LI Cunzhen, LIU Xiaojing, YANG Yanmin, et al. The effects of saline condition on the germination and seedling growth of *Suaeda salsa*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(5): 209 - 212.

[15] 闫留华, 陈敏, 王宝山. NaCl 胁迫对 2 种表型盐地碱蓬种子萌发的渗透效应和离子效应研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(4): 718-723.
YAN Liuhua, CHEN Min, WANG Baoshan. Osmotic and ionic effect on the seed germination of two phenotypes of *Suaeda salsa* L. under NaCl stress[J]. Acta Bot Boeal – Occident Sin, 2008, 28 (4) : 718-723.

[16] 杨明锋, 杨超, 候文莲, 等. NaC1 和 KCl 胁迫对碱蓬根和地上部分生长的效应[J]. 山东师大学报:自然科学版, 2002, 17(1): 68 - 72.
Yang Mingfeng, Yang Chao, Hou Wenlian. Effets of NaCl and KCl stress on the roots and shoots of *Suaeda*[J]. Journal of Shandong Normal University:Natural Science, 2002, 17(1): 68 - 72.

[17] 赵勐, 范海, 赵可夫. NaCl、KCl 和 $NaNO_3$ 对盐地碱蓬生长以及植物体内离子组成和分布的效应[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(2): 263-267.
ZHAO Meng，FAN Hai，ZHAO Kefu. Effects of NaCl，KCl and NaNO3 on the growth and ion composition and distribution in *Suaeda salsa* (L.) Pall [J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44(2): 263-267.

[18] 阮圆, 刘彧, 王宝山. 不同自然盐渍生境下盐地碱蓬叶片色素积累及光合特性的研究[J]. 山东师范大学学报:自然科学版, 2008, 23 (1): 115 - 117.
RUAN Yuan, LIU Yu, WANG Baoshan. Study on the pigment accumulation and characteristics of photosynthesis of *Suaeda salsa* under different natural saline environments[J]. Journal of Shandong Normal University:Natural Science, 2008, 23(1): 115 - 117.

[19] 綦翠华, 韩宁, 王宝山. 不同盐处理对盐地碱蓬幼苗肉质化的影响[J]. 植物学通报, 2005, 22(2): 175 - 182.
QI Cuihua, HAN Ning, WANG Baoshan. Effect of different salt treatments on succulence of *Suaeda salsa* seedlings [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2005, 22(2): 175 - 182.

[20] 刘彧, 丁同楼, 王宝山. 不同自然盐渍生境下盐地碱蓬叶片肉质化研究[J]. 山东师范大学学报:自然科学版, 2006, 21(2): 102 - 104.
LIU Yu, DING Tonglou, WANG Baoshan. Study on the leaf succulence of *Suaeda salsa* under differently natural saline environments[J]. Journal of Shandong Normal University:Natural Science, 2006, 21(2): 102 - 104.

[21] 闫留华, 彭建云, 陈敏等. 潮间带生境下两种表型盐地碱蓬的抗氧化系统比较[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(1):109-111.
YAN Liuhua, PENG Jianyun, CHEN Min, et al. Comparison on antioxidant systems of two phenotypes *Suaeda salsa* L. grown in intertidal zone[J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44(1): 109-111.

[22] 黄玮, 李志刚, 乔海龙, 等. 旱盐互作对盐地碱蓬生长及其渗透调节物质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16 (1): 173-178.
HUANG Wei, LI Zhigang, QIAO Hailong, et al. Interactive effect of sodium chloride and drought on growth and osmotica of *Suaeda salsa*[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16 (1): 173-178.

[23] 车永梅, 赵可夫. 盐地碱蓬在不同盐度和发育阶段离子含量的变化[J]. 莱阳农学院学报, 2000, 17(1): 1- 6.
CHE Yongmei, ZHAO Kefu. Changes of ion content of *Suaeda salsa* grown under different salinity[J]. Journal of Laiyang Agricultural College, 2000, 17 (1): 1- 6.

[24] 张海燕, 赵可夫. 盐分和水分胁迫盐地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究[J]. 植物学报, 1998, 40 (1) : 56-61.
ZHANG Haiyan, ZHAO Kefu. Effects of salt and water stresses on osmotic adjustment of *Suaeda salsa* seedlings[J]. Acta Botanica Sinica, 1998, 40 (1): 56-61.

[25] 张建锋, 邢尚军, 孙启祥,等. 黄河三角洲植被资源及其特征分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1):100 - 102.
ZHAN Jianfeng, XING Shangjun, SUN Qixiang, et al. Study on flora resources and its features in Yellow River Delta region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(1):100 - 102.

[26] WALTERS M B, REICH P B. Are shade tolerance, survival, and growth linked? Low light and nitrogen effects on hardwood seedlings [J]. Ecology, 1996, 77 (3): 841-853.

[27] EDWARDS E J, BENHAM D G, MARLAND L A, et al. Root production is determined by radiation flux in a temperate grassland community [J]. Global Change Biology, 2004, 10: 209-227.

[28] WEINER J, TOMAS S C. Competition and allometry in three species of annual plants [J]. Ecology, 1992, 73: 648-656.

[29] PEARCY R W, MURALKA H, VALLADARES F. Crown architecture in sun and shade environments: assessing function and trade-offs with a three-dimensional simulation model [J]. New Phytologist, 2005, 166: 791-800.

[30] 杜国祯, 孙国钧, 王兮之等. 垂穗披碱草个体大小依赖的繁殖分配与种群密度的关系[J]. 草业学报, 1999, 8(2): 26 - 33.
DU Guozhen, SUN Guojun, WANG Xizhi. The relationship between size-dependent reproduction and population density of *Elymus nutans*[J]. Acta Prataculturae Sinica, 1999, 8(2): 26-33.

[31] RAI J P N, TRIPATHI R S. Effect of salinity, nitrogen levels on growth of *Galinsoga quadriradiata* and *G. parriflora* in pure and mixed stands [J]. Canadian Journal of Botany, 1986, 64 (11): 2708-2715.

[32] DRAKE D R, UNGAR I A. Effect of salinity, nitrogen, and population density on the survival, growth, and reproduction of *Artripiex triangularis* (Chenopodiaceae) [J]. American Journal of Botany, 1989, 76 (8): 1125-1135.

[33] 刘左军, 杜国祯, 陈家宽. 不同生境下黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*) 个体大小依赖的繁殖分配[J]. 植物生态学报, 2002, 26 (1) :44-50.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

LIU Zuojun, DU Guozhen, CHEN Jiakuan. Size-dependent reproductive allocation of *Ligularia viraurea* in different habitats[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2002, 26 (1): 44-50.

[34] 赵志刚, 杜国祯, 任青吉. 5 种毛茛科植物个体大小依赖的繁殖分配和性分配[J]. 植物生态学报, 2004, 28 (1) :9-16.
ZHAO Zhigang, DU Guozhen, REN Qingji. Size-dependent reproduction and sex allocation in five species of Ranunculaceae[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28 (1): 9-16.

Biomass allocation in *Suaeda salsa* population in different habitats of coastal zone

MAO Peili[1], CHEN Wenlian[2], LIU Yuhong[1]*, Wang Guangmei[1], Chen Jingchun[3], HAN Guangxuan[1], Zhang Zhidong[1], YU Junbao[1], Liu Fude[4]

1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China;

2. Institute of Chemical Defence, Beijing 102205; 3. Bureau of Science and Technology, Dongying 257091, China;

4. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China

Abstract: *Suaeda salsa* with a strong salt tolerance and wide distribution is one of the most important pioneer species and plays an important role in the stability and succession of ecosystem in the Yellow River Delta. Biomass allocation of *S. salsa* population in the intertidal and supratidal zone was studied. On the individual size, plant height and basal diameter of *S. salsa* in the intertidal zone were higher than that in the supratidal zone. Comparing with the scattered distribution, *S. salsa* in the intertidal zone had higher plant height and lower biomass in the dense distribution. On the biomass allocation, *S. salsa* in the intertidal zone devoted more biomass into growth of flowers and leaves, while in the supratidal zone, *S. salsa* in the dense distribution tended to accelerate growth of stem, and *S. salsa* with a scattered distribution focus on growth of branch. Moreover, *S. salsa* of habitat Ⅲ was stable phase of *S. salsa* of habitat Ⅰ and Ⅱ. Therefore，*S. salsa* of different habitats may adapt to different habitats of the intertidal and supratidal zone by changing their biomass allocation characteristics in order to maintain their population stability and improve quality of soil.

Key words: *Suaeda salsa*; biomass; density; Yellow River Delta

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net