# 不同生境下盐生灌木盐岛效应的变化及生态学意义*

尹传华[1,2]　董积忠[3]　石秋梅[4]　张　科[1,2]　赵振勇[1,2]　田长彦[1,2]

（1 荒漠与绿洲生态国家重点实验室，乌鲁木齐　830011）
（2 中国科学院新疆生态与地理研究所，乌鲁木齐　830011）
（3 喀什地区农业技术推广中心，新疆喀什　844000）
（4 新疆大学生命科学与技术学院，乌鲁木齐　830046）

**摘　要**　为探明生境与植物种类对盐岛效应的影响，选取了分布于塔里木盆地北缘盐化草甸生境和灌丛生境的 3 种盐生灌木，即多枝柽柳（*Tamarix ramosissima*）、盐穗木（*Halostachys caspica*）、盐节木（*Halocnemum strobilaceum*），分析了植丛下与植丛间土壤的 pH、总盐和 8 种盐分离子含量的变化。研究结果表明在盐化草甸生境，只有盐节木植丛下的土壤盐分呈明显的富集状态，即形成了盐岛；而在灌丛生境，3 种盐生植物均具有明显的盐岛效应，且盐岛效应以盐节木最高，多枝柽柳最低。数据分析进一步表明盐岛效应的强弱受植物种类和所处生境的影响：即分布于高盐环境的盐生植物和耐盐能力强的植物盐岛效应更为明显。而生境变化和植物种类的不同，对盐岛内盐分离子的富集也有不同的影响。盐岛效应的增强有加速草甸向盐生灌木为主的荒漠退化的趋势。

**关键词**　塔里木盆地；盐岛；多枝柽柳；盐穗木；盐节木

**中图分类号**　156.4　　**文献标识码**　A

新疆有着丰富的盐生植物资源[1-4]，多分布于绿洲边缘或外围[3]，在景观类型上大都属于绿洲-荒漠过渡带。因此，盐生植物群落的演替去向很可能影响着绿洲与荒漠之间的平衡关系。引发植物群落演替的有“外源型”（Allogenic process）和“自源型”（Autogenic process）两种过程。前者指外界环境施加于植物群落的压力，诸如气候变化、火烧、放牧和土地利用等外在因素而引发的群落优势种更替[5]，后者则指植物与土壤之间的相互作用造成的环境变化而引起的植被动态变化[6]。在干旱、半干旱区，资源岛在植物群落“自源型”演替过程中发挥了重要的作用。例如，在美国西南部灌木资源岛的形成和发展加速了这一地区草原灌丛化的进程[7]。“盐岛”属于资源岛的一部分。有研究表明由于生物积盐的作用，盐生灌木可以在其植丛下形成“盐岛”[8-9]。

由于受全球气候变暖的影响，塔里木盆地北缘的盐化草甸逐渐受到盐穗木、盐节木和柽柳等盐生灌木的侵入而开始退化[10]。在这一过程中，盐生灌木的入侵是否诱发了盐岛效应？而盐生灌木种类和生境的变化对盐岛效应的强弱有无影响？这些问题的回答对于揭示全球变暖背景下干旱区荒漠化过程的生物学机制具有重要的理论意义和实践价值，值得进一步去研究。

## 1　材料与方法

### 1.1　研究区概况

研究区域位于塔里木盆地北缘、地处塔里木河中游的轮台县境内。该地区属大陆性干旱气候，年均温度 10.8 ℃，年均降水量 52 mm，其中夏季降雨占全年降水量的 56%。研究区地势北高南低，北抵天山南麓山前洪积扇前缘，南连塔里木河老冲积平原，地貌类型由洪积扇、冲积扇、冲积平原向沙漠过渡。根据地貌及植被情况，将研究区划分为以下 2 种生境类型：即位于轮台县城以北的阳霞镇境内、有少量盐穗木（*Halostachys caspica*）、盐节木（*Halocnemum strobilaceum*）和柽柳（*Tamarix ramosissima*）入侵的冲积扇扇缘带的盐化草甸，简称为“草甸”生境（41°52′N, 84°26′E）；位于轮台县城西南的山前冲积平原上的以柽柳为主并伴生有大量盐穗木、盐节木的

* 国家自然科学基金项目（40701081）、中国科学院西部之光博士专项（XBBS200802）资助
作者简介：尹传华（1976—），男，博士，助理研究员，主要从事干旱区盐生植物-土壤相互作用研究。E-mail：yinchh2006@126.com
收稿日期：2010－11－08；收到修改稿日期：2011－04－14

盐生灌丛,简称“灌丛”生境(41°40′N, 84°03′E)。具体群落概况见表1。

### 1.2 野外取样调查方法

2006年10月,在位于研究区域内的“草甸”生境和“灌丛”生境内分别随机选取4个大小为20 m×20 m的样方(两种生境共8个样方)以调查灌木种的株数、高度、冠幅、树龄及草本植物的盖度和高度,并以GPS进行定位,记录每个样地的海拔高度、经纬度及各样地的地下水埋深等。在每个样方内选取3丛茎粗、株高、冠幅接近、大小在群落中具有代表性的柽柳、盐穗木、盐节木(每一生境每种植物计12丛,3种合计36丛,两个生境共计72丛),截取灌木基部最粗的一个枝条,根据其年轮数估算整个灌木的树龄;同时,选取植丛下(灌木中心与灌木边缘之间的中点)和空地(灌木之间,无植被覆盖而且平坦的裸地)2个部位采集土壤样品,采样深度为30 cm,每个部位按照东、南、西、北4个方向进行取样,混合后装入封口袋密封保存。

### 1.3 室内测定与分析

土样自然风干后磨碎,过2 mm筛,取过筛土壤按土水比1∶5制备待测液用以盐分测定。总盐分含量用干涸残渣法;pH用电位测定法;$Na^+$和$K^+$用火焰光度计法;$CO_3^{2-}$、$HCO_3^-$、$Cl^-$、$SO_4^{2-}$、$Ca^{2+}$和$Mg^{2+}$用土壤盐分常规滴定法。

### 1.4 数据处理与统计分析方法

用柽柳植丛内相对于植丛外的盐分富集率($E$)作为衡量指标,表征柽柳植丛内盐岛效应的强弱和变化:

$$E = C/O$$

式中,$C$为植丛下的盐分含量;$O$为植丛间裸地的盐分含量。$E$值越大则表明柽柳植丛内外盐分含量的差异越大[11]。

试验数据的统计和数学模拟基于SAS软件和Excel软件包完成,作图用Origin8.1完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种生境的植物群落概况

如表1所示,丛盐化草甸到灌丛地,地下水埋深从1~2 m下降至3~4 m。植物的物种数量未发生变化,但植物种类有所变化,浅根系的芦苇被深根系的骆驼刺所代替。植被的盖度和植株密度明显下降,而3种盐生灌木的个体体积和树龄显著上升。

**表1 两种生境的植物群落概况**

**Table 1** Plant communities in saline meadow and shrubland

| 生境 Habit | 植物种组成 Plant species composition | 总盖度 Cover (%) | 植株密度 Plant density (Plant $m^{-2}$) | 灌木体积 Shrub volume ($m^3$) | 估计年龄 Estimated age (years) | 地下水埋深 Groundwater table (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 草甸 Meadow | 多枝柽柳 *Tamarix ramosissima* | | 0.07 | 0.78 | 8.8 | |
| | 盐穗木 *Halostachys caspica* | 41.8 | 0.16 | 0.23 | 6.1 | 1~2 |
| | 盐节木 *Halocnemum strobilaceum* | | 0.24 | 0.12 | 4.3 | |
| | 芦苇 *Phragmites australis* | | | | | |
| 灌丛 Shrubland | 多枝柽柳 *Tamarix ramosissima* | | 0.02 | 3 | 20.6 | |
| | 盐穗木 *Halostachys caspica* | 18.7 | 0.01 | 1.59 | 22.3 | 3~4 |
| | 盐节木 *Halocnemum strobilaceum* | | 0.02 | 0.78 | 9.3 | |
| | 骆驼刺 *Alhagi sparsifolia* | | | | | |

### 2.2 两种生境下不同盐生灌木对土壤盐分分布的影响

**2.2.1** 对土壤pH的影响 如表2所示,在盐化草甸,多枝柽柳、盐穗木、盐节木植丛下土壤的pH均明显高于植丛间土壤的pH,而这3种盐生灌木在冲积平原中部的灌丛地也表现出相同的规律。这表明在两种生境中,多枝柽柳、盐穗木、盐节木均具有增加土壤碱性的作用。

**2.2.2** 对土壤总盐及盐分离子的影响 在扇缘带的盐化草甸,只有盐节木植丛下土壤的总盐含量明显高于植丛间土壤。这说明在草甸生境中的3种盐生灌木只有盐节木能形成明显的盐岛。在盐节木盐岛中,除了$HCO_3^-$含量与植丛间土壤无明显差异外,其余7种离子含量均明显高于植丛间土壤。这表明盐节木对$CO_3^{2-}$、$Cl^-$、$SO_4^{2-}$、$K^+$、$Na^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$均具有明显的富集效应而共同导致了盐岛的

形成。

在灌丛生境，多枝柽柳、盐穗木、盐节木植丛下土壤总盐含量均明显高于植丛间土壤。这表明在灌丛生境下，3 种盐生灌木均能产生显著的盐岛效应。多枝柽柳盐岛中的所有 8 种盐分离子（$CO_3^{2-}$、$HCO_3^-$、$Cl^-$、$SO_4^{2-}$、$K^+$、$Na^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$）含量均明显高于植丛间土壤；而盐穗木盐岛除 $Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 含量与植丛间土壤无显著性差异外，其余 6 种离子的含量均明显高于植丛间土壤；盐节木盐岛中除 $CO_3^{2-}$、$Mg^{2+}$ 含量与植丛间土壤差异不显著外，其余 6 种离子的含量明显高于植丛间土壤。上述结果表明多枝柽柳对 8 种盐分离子均有明显的富集效应，而盐穗木、盐节木盐岛只有 6 种盐分离子富集效应明显。这进一步说明在灌丛生境下，多枝柽柳盐岛对盐分离子的富集没有明显的选择性。而盐穗木、盐节木对盐分离子的富集则带有明显的倾向性。这种现象的发生可能与 3 种盐生灌木对土壤矿质养分的选择性吸收特性有关。

**表 2　两种生境下不同盐生灌木植丛下与植丛间盐分含量的比较**

**Table 2**　Soil salt contents under halophytic shrub groves and in – between the groves in the two habitats

| 生境 Habitats | | 灌木种类 Shrub species | pH | 总盐 | $CO_3^{2-}$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $K^+$ | $Na^+$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Cl^-/SO_4^{2-}$ | $Na^+/K^+$ | $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | （g kg$^{-1}$） | | | | | | | | | | | |
| 草甸 Meadow | 植丛下 Beneath shrubs | 多枝柽柳 *Tamarix ramosissima* | 8.0b | 44.5b | 0.00bc | 0.19a | 15.8b | 12.3b | 0.2b | 12.1b | 3.3b | 1.0c | 1.3a | 66.57b | 4.1a |
| | | 盐穗木 *Halostachys caspica* | 8.1ab | 50.3b | 0.01b | 0.16b | 19.2b | 12.1bc | 0.2b | 16.7b | 3.1b | 1.2bc | 1.4a | 76.8b | 5.5a |
| | | 盐节木 *Halocnemum strobilaceum* | 8.3a | 80.9a | 0.01a | 0.15b | 33.5a | 15.5a | 0.2a | 27.6a | 5.3a | 2.1a | 2.1a | 108.7a | 2.8a |
| | 植丛间 Interspaces | | 7.7c | 47.6b | 0.00c | 0.13b | 18.8b | 11.1bc | 0.2b | 12.9b | 3.5b | 1.3bc | 1.6a | 76.1b | 3.7a |
| 灌丛 Shrubland | 植丛下 Beneath shrubs | 多枝柽柳 *Tamarix ramosissima* | 8.1b | 195.4b | 0.02a | 0.40a | 102b | 12.8a | 0.4a | 93.0a | 5.4a | 1.6a | 8.2b | 230.1a | 3.9a |
| | | 盐穗木 *Halostachys caspica* | 8.2a | 234.6a | 0.02b | 0.24b | 125a | 12.6a | 0.4a | 93.2a | 4.2bc | 1.2ab | 10.2a | 269.1a | 5.1a |
| | | 盐节木 *Halocnemum strobilaceum* | 8.1b | 236.7a | 0.01c | 0.19bc | 128a | 13.9a | 0.4a | 87.7a | 4.7b | 1.2ab | 9.5ab | 275.3a | 5.7a |
| | 植丛间 Interspaces | | 7.1c | 74.2c | 0.00d | 0.13c | 34c | 10b | 0.2b | 22.7b | 4.0c | 0.8b | 3.6c | 126.8b | 5.4a |

注：同一列内字母不同表示 3 种盐生植丛下和植丛间土壤盐分含量 0.05 水平差异显著 Note: Different letters affixed to the means in the same column indicate significant differences in soil salt contents between under shrubs groves and in-between groves at $p = 0.05$

**2.2.3**　对土壤盐分离子组成比例的影响　　如表 2 所示，在草甸生境，多枝柽柳、盐穗木植丛下土壤与植丛间土壤的 $Cl^-/SO_4^{2-}$、$Ca^{2+}/Mg^{2+}$、$Na^+/K^+$ 无显著性差异。这表明这 3 种盐生灌木对盐化草甸的侵入没有明显改变土壤的阴阳离子组成比例。而盐节木植丛下除 $Na^+/K^+$ 明显高于植丛间土壤外，$Cl^-/SO_4^{2-}$、$Ca^{2+}/Mg^{2+}$ 与植丛间土壤并无明显差异。这表明盐节木的存在增加了土壤中 $Na^+$ 的比例，而未影响到其他几种离子的组成比例。

在灌丛生境，多枝柽柳、盐穗木、盐节木植丛下土壤 $Cl^-/SO_4^{2-}$、$Na^+/K^+$ 高于植丛间土壤，且差异达显著水平（$p < 0.05$）；但是 3 种盐生灌木植丛下土壤与植丛间土壤的 $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ 差异并不明显。这说明在 3 种盐生灌木的影响下，土壤中 $Cl^-$、$Na^+$ 的比例明显增加，而 $SO_4^{2-}$、$K^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 比例变化不大。

### 2.3 两种生境下 3 种盐生灌木下盐分富集率的变化

如图 1a ~ 图 1d 所示，对于同一种盐生灌木而言，植丛下土壤总盐富集率、灌木内外 pH 比值以及 $Cl^-$、$HCO_3^-$ 的富集率均为灌丛生境明显高于草甸生境；而对于不同种类的盐生灌木而言，同样的指标均为盐节木明显高于多枝柽柳，而盐节木与二者均无显著性差异。植丛下 $K^+$ 富集率也表现出类似的规律，只是盐节木冠下的 $K^+$ 富集率在两种生境间的差异未达到显著水平，而且 $K^+$ 富集率在植物种间差异不明显（图 1e）。以上结果说明灌丛生境中盐生灌木产生的盐岛效应以及盐岛富集 $Cl^-$、$HCO_3^-$、$K^+$ 的能力要强于草甸生境，3 种盐生植物的盐岛效应和富集 $Cl^-$、$HCO_3^-$ 的能力均以盐节木最明显，柽柳的最低；同样，灌丛生境中这 3 种盐生灌木增强土壤碱性的能力要高于草甸生境，而 3 种植物中以盐节木增加土壤碱性的能力最强，多枝柽柳最低。

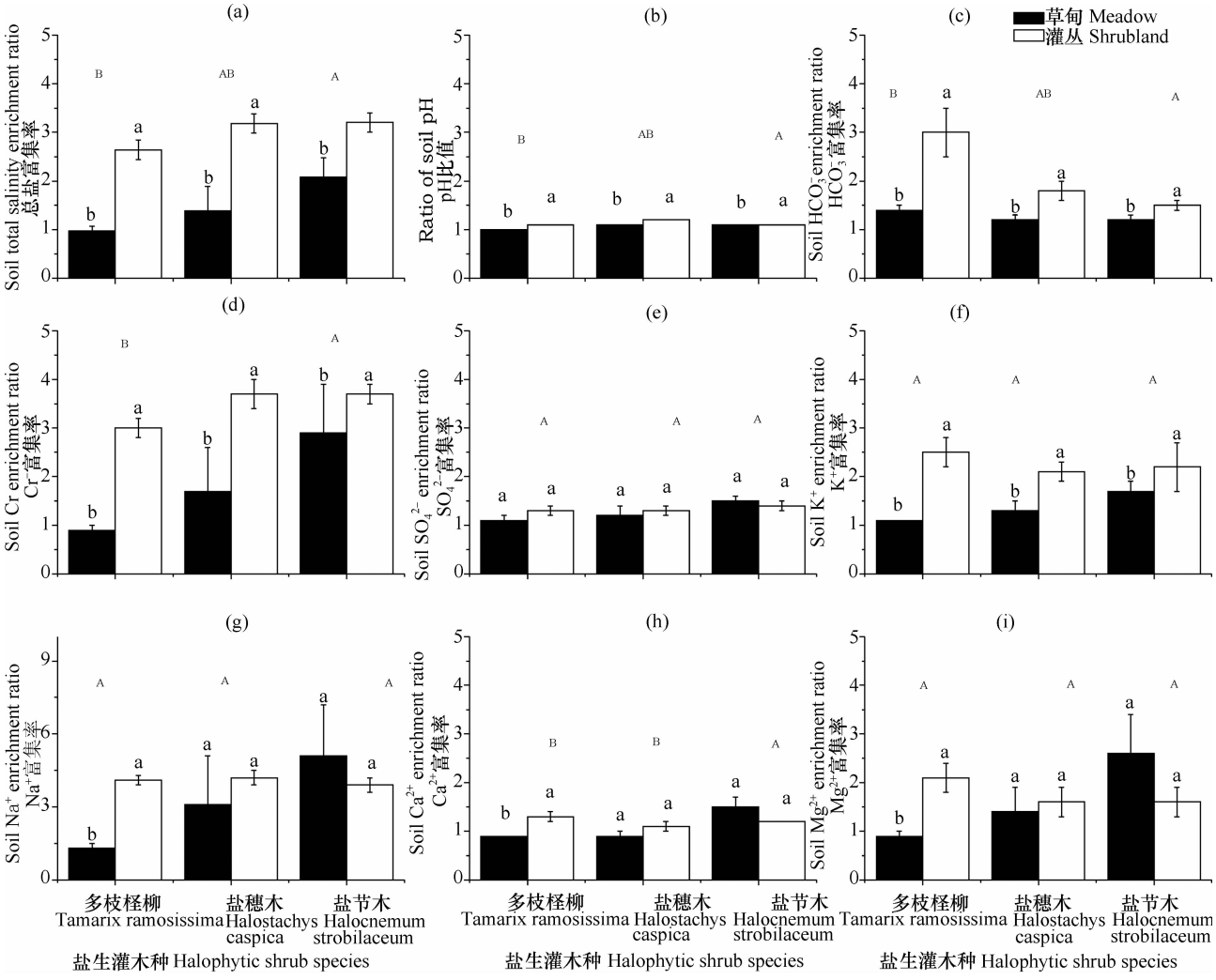


图 1 两种生境下不同盐生植物盐分富集率的变化

Fig. 1 Variation of soil salt enrichment ratios in the two habitats

注：大写字母不同代表三种植物之间盐分富集率差异显著，小写字母相同表示两种生境间盐分富集率差异不显著 Note: Different capital letters above the bars mean significant differences in soil salt enrichment rate among three halophytic shrubs at $p = 0.05$. Same lower-case letter indicate insignificant differences in soil salt enrichment rate between the two habitats

如表 3 所示，植丛下土壤总盐富集率、灌木内外 pH 比值以及 $Cl^-$、$HCO_3^-$、$K^+$ 富集率受生境变化的影响最显著，均达到了极显著水平（$p < 0.001$）。而两种生境最大的差异在于灌丛生境的土壤盐分要高于草甸生境，这进一步说明高盐生境下的盐生灌木的盐岛效应和岛内富集 $Cl^-$、$HCO_3^-$、$K^+$ 的能力以及增加土壤碱性的能力要高于低盐环境。

如图 1g ~ 图 1i 所示，生境之间，仅柽柳植丛下

土壤 $Na^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 富集率表现出灌丛生境明显高于草甸生境的趋势；灌木种间，盐节木对 $Ca^{2+}$ 的富集率表现出明显高于柽柳和盐穗木的趋势。以上结果表明除柽柳形成的盐岛富集 $Na^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 的能力会因生境改变而升高外，盐穗木、盐节木盐岛富集这 3 种离子能力在两种生境下没有明显变化；而这 3 种盐生灌木盐岛富集 $Na^+$、$Mg^{2+}$ 能力均很接近。表 3 显示的数据表明，盐岛内 $Na^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 富集率均不受生境变化影响，这进一步说明盐穗木、盐节木盐岛富集 $Na^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 离子的能力对生境变化响应不明显，不会因生境中盐分的高低而发生变化。

如图 1e 所示，无论在两种生境间还是 3 种盐生灌木之间，植丛下土壤 $SO_4^{2-}$ 富集率均无明显变化。表 3 的结果也说明植丛下土壤 $SO_4^{2-}$ 富集率不受生境变化、植物种类以及二者之间的相互作用的影响。这些结果说明这 3 种盐生灌木富集 $SO_4^{2-}$ 能力接近而且有限，且这种能力不受生境中盐分高低的影响而有所改变。

**表 3　生境与植物种类对盐生灌木植丛下土壤盐分富集率的作用**

**Table 3**　Effects of habitat and plant specie on soil salt enrichment ratio in the soil under halophytic shrubs

| 指标 Index | | 生境 Habitats | 植物种类 Plant species | 植物种类×生境 Plant species × Habitats |
|---|---|---|---|---|
| pH | F | 80.18 | 5.52 | 5.96 |
| | P | <0.000 1 | 0.006 5 | 0.004 5 |
| 总盐 | F | 47.21 | 5 | 0.84 |
| | P | <0.001 | 0.010 1 | 0.437 1 |
| $HCO_3^-$ | F | 19.08 | 8.92 | 4.33 |
| | P | <0.000 1 | 0.000 4 | 0.017 9 |
| $Cl^-$ | F | 13.92 | 3.47 | 0.87 |
| | P | 0.000 5 | 0.038 | 0.424 3 |
| $K^+$ | F | 13.09 | 0.47 | 1.15 |
| | P | 0.000 6 | 0.626 6 | 0.324 9 |
| $Na^+$ | F | 1.04 | 1.37 | 1.72 |
| | P | 0.311 5 | 0.262 1 | 0.189 4 |
| $Ca^{2+}$ | F | 0.98 | 7.67 | 8.35 |
| | P | 0.326 7 | 0.001 2 | 0.000 7 |
| $Mg^{2+}$ | F | 0.13 | 1.32 | 3.52 |
| | P | 0.725 | 0.276 6 | 0.036 4 |
| $SO_4^{2-}$ | F | 1.32 | 2.07 | 0.54 |
| | P | 0.255 3 | 0.136 4 | 0.586 3 |

## 3　讨　论

对于柽柳、红树、胡杨等盐生植物而言，盐岛的形成一般被认为是生物积盐的结果[8-9, 12-13]。生物积盐与盐生植物根系对盐分的吸收和转运直接相关[14]。所以，尽管盐岛的发生主要集中于植丛下的表层土壤，但根际过程在其中起到了重要的作用，如弋良朋等[15]的结果表明荒漠盐生植物根际盐分的盈亏在吸收盐分的过程中起到了“盐泵”的作用，促进了盐分向地上部的运输。因此，盐生植物根际过程的强弱决定了地上部生物积盐量的大小，从而直接影响到盐岛效应的显著程度。

### 3.1　不同生境间盐岛效应变化的可能原因

根际对土壤环境的波动十分敏感[16]。因此，环境的改变会影响到盐生植物根际效应的强弱，进而引起盐岛效应的变化。根据弋良朋等[17]的结果，在盐含量越高的土壤中盐生植物根际盐分富集的程度也越高。所以，灌丛生境中土壤的盐分含量明显高于盐化草甸生境（表 2），可能会造成前一生境中的盐生灌木根际效应强于后者，致使草甸中的 3 种盐生灌木的生物积盐量小于灌丛生境。从实际观察中也可发现，盐化草甸中这 3 种植物的尺寸要小于灌丛生境（表 1）。此外，与肥岛效应受梭梭发育阶段影响相类似[18]，草甸生境的 3 种盐生灌木树龄较轻，可能是盐岛效应低于灌丛生境的原因之一。

### 3.2　盐生灌木种间盐岛效应变化的可能原因

在立地尺度下，树种的耐盐能力是盐渍化发生的一个关键性的生物学驱动力。Nosetto 等[19]的研究结果表明，耐盐能力高的树种根区地下水含盐量高于耐盐能力低的树种。但由于耐盐树种体内及凋落物中 Cl、Na 富集量较低[20]，不能通过盐分循环在表土层形成一个高盐区（即盐岛）[21]。而柽柳这类富含盐分的盐生植物则可通过盐分运输形成盐岛[22]。根系的排盐机制和较好的地上部渗透调节机制共同作用可能是树种具有较高的耐盐能力的原因[23-24]。因此，耐盐能力越强的盐生植物，根际富集的盐分和地上部累积的盐分也越多[17]。这意味着更多的盐分最终积聚在地表而形成明显的盐岛效应。一般认为，3 种盐生灌木中，耐盐能力排序为盐节木 > 盐穗木 > 多枝柽柳[25]。这可能是两种生境中盐节木盐岛效应最高，柽柳的盐岛效应最低的原因之一。

而植物种间株型的差异也可能会导致盐岛效

应的变化。相对于株型松散的灌木,具有紧凑型株型的灌木能够更有效地保护植丛下凋落物而不受到损失[26],从而使盐分更多地累积于植丛下。在 3 种盐生灌木中,盐节木贴地面生长,株型最为紧凑的小灌木;多枝柽柳最为高大,株型相对松散。这也是导致 3 种盐生植物种间盐岛效应不同的可能原因之一。3 种灌木间形成的盐岛内富集的离子类型的变化,可能与不同植物种根系的选择性吸收和吸收速率不同有关[27]。

### 3.3 盐生灌木提高土壤 pH 的原因

在本研究中,多枝柽柳、盐穗木、盐节木均能显著增加表层土壤 pH,增强土壤的碱性(表 2)。同一区域的研究结果也表明,不同生境下的柽柳均具有相同的作用[9]。植丛下土壤 pH 变化与灌木种类和凋落物的酸碱度有关[11],如柽柳灌丛下土壤 pH 偏高可能与柽柳同化枝盐腺与空气中 $CO_2$ 结合会形成 $HCO_3^-$ 有关[28]。3 种盐生灌木植丛下土壤 $HCO_3^-$ 富集效应明显(特别是在灌丛生境)也间接印证了这一说法。弋良朋等[15, 17]的结果表明,$HCO_3^-$ 在囊果碱蓬、盐爪爪、琵琶柴等 7 种盐生植物根际少量富集,造成根际土壤的 pH 均略高于非根际土。这与常见的植物根际酸化土壤的主流观点不同[29]。这也可能是多枝柽柳等 3 种盐生灌木植丛下土壤碱性升高的内在原因。从我们的结果推测,大部分多年生盐生植物可能均具有增强土壤碱性的作用。

### 3.4 盐岛效应的生态学意义

盐岛的形成可能是柽柳这类盐生植物在草地建成的重要机制[22]。本研究中,灌丛生境中 3 种盐生灌木的盐岛效应明显强于盐化草甸(表 2,图 1a)。它意味着多枝柽柳、盐穗木、盐节木产生的盐岛效应增强了土壤表层的积盐速率。这加速了盐化草甸向以盐生灌木为主的荒漠的退化[10]。所以,Nosetto 等[19]认为耐盐能力更强的植物种会导致较高水平的盐分累积和土壤退化。

## 参 考 文 献


[1] 张立运,夏阳,邹韫. 内亚的盐生植物和盐生植物群落. 干旱区资源与环境, 1993(1): 44—50. Zhang L Y, Xia Y, Zou Y. Halophyte and halophyte community in inner Asia (In Chinese). Resource and Environment in Arid Zone, 1993(1): 44—50

[2] 赵可夫,李法曾,樊守金,等. 中国的盐生植物. 植物学通报, 1999, 16(3): 201—207. Zhao K F, Li F Z, Fan S J, et al. Halophytes in China (In Chinese). Chinese Bulletin of Botany, 1999, 16(3): 201—207

[3] 郗金标,张福锁,毛达如,等. 新疆盐渍土分布与盐生植物资源. 土壤通报, 2005, 36(3): 299—303. Xi J B, Zhang F S, Mao D R, et al. Saline-soil distribution and halophyte resource in Xinjiang (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(3): 299—303

[4] 王雷, 张道远, 黄振英, 等. 新疆盐生植物区系分析. 林业科学, 2008, 44(7): 36—42. Wang L, Zhang D Y, Huang Z Y, et al. Floristic analysis of halophytes in Xinjiang (In Chinese). Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(7): 36—42

[5] Reynolds J F, Virginia A R, Schlesinger W H. Defining functional types for models of desertification// Smith T M, Shugart H H, Woodword F I. Plant function types: Their relevance to ecosystem properties and global change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1997: 195—216

[6] van Breemen N, Finzi A C. Plant-soil interactions: Ecological aspects and evolutionary implications. Biogeochemistry, 1998, 42(1/2): 1—19

[7] Schlesinger W H, Pilmanis A M. Plant-soil interactions in deserts. Biogeochemistry, 1998, 42(1/2): 169—187

[8] 郗金标, 张福锁, 陈阳, 等. 盐生植物根冠区土壤盐分变化的初步研究. 应用生态学报, 2004, 15(1): 53—58. Xi J B, Zhang F S, Chen Y, et al. A preliminary study on salt contents of soil in root-canopy area of halophyte (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 53—58

[9] 尹传华, 冯固, 田长彦, 等. 塔克拉玛干沙漠边缘柽柳对土壤水盐分布的影响. 中国环境科学, 2007, 27(5): 670—675. Yin C H, Feng G, Tian C Y, et al. Influence of tamarisk shrub on the distribution of soil salinity and moisture on the edge of Taklamakan desert (In Chinese). China Environmental Science, 2007, 27(5): 670—675

[10] 张宏,樊自立. 全球变化对塔里木盆地北部盐化草甸植被的影响. 干旱区地理, 1998, 21(4): 16—21. Zhang H, Fan Z L. Impact of global change on salinized meadow in north of Tarim Basin (In Chinese). Arid Land Geography, 1998, 21(4): 16—21

[11] Titus J H, Nowak R S, Smith S D. Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert. Journal of Arid Environments, 2002, 52(3): 269—292

[12] 蓝福生,李瑞棠,陈平,等. 广西海滩红树林与土壤的关系. 广西植物, 1994, 14(1): 54—59. Lan F S, Li R T, Chen P, et al. The relationship between mangrove and soils on the beach of Guangxi (In Chinese). Guihaia, 1994, 14(1): 54—59

[13] 刘立诚,排祖拉,徐华君. 新疆胡杨林下土壤的形成特征及其系统分类. 新疆大学学报: 自然科学版, 1999, 16(3): 86—91. Liu L C, Pai Z L, Xu H J. The formation characteristics and Taxonomic classification of the soils under the *Populus euphraticas* foresis in Xinjiang (In Chinese). Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition, 1999, 16(3): 86—91

[14] Waisel Y. The biology of halophytes. New York: Academic Press, 1972

[15] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征. 生态学报, 2007, 27(9): 3 565—3 571. Yi L P, Ma J, Li Y. Soil salt and nutrient concentration in rhizosphere of desert halophytes (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(9):

3 565—3 571

[16] Lynch J. Root architecture and plant productivity. Plant Physiology, 1995, 109(1): 7—13

[17] 弋良朋，马健，李彦. 不同土壤条件下荒漠盐生植物根际盐分特征研究. 土壤学报，2007, 44(6): 1 139—1 143. Yi L P, Ma J, Li Y. Soil salt regime in rhizosphere of desert halophytes in deferent soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(6): 1 139—1 143

[18] 刘耘华，杨玉玲，盛建东，等. 北疆荒漠植被梭梭立地土壤养分"肥岛"特征研究. 土壤学报，2010, 47(3): 545—554. Liu Y H, Yang Y L, Sheng J D, et al. Fertile island characteristics of soil nutrients in *Haloxylon ammodendron* land in north Xinjiang (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(3): 545—554

[19] Nosetto M D, Jobbágy E G, Toth T, et al. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. Global Biogeochemical Cycles, 2008, 22(2): GB2015, doi: 10.1029/2007GB003000

[20] Jobbágy E G, Jackson R B. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. Biogeochemistry, 2003, 64(2): 205—229

[21] Jobbágy E G, Jackson R B. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. Biogeochemistry, 2001, 53(1): 51—77

[22] Di Tomaso J. Impact, biology, and ecology of saltcedar (*Tamarix* spp.) in the southwestern United States. Weed Technology, 1998, 12: 326—336

[23] Adams M A, Richter A, Hill A K, et al. Salt tolerance in *Eucalyptus* spp.: Identity and response of putative osmolytes, Plant Cell and Environment, 2005, 28: 772—787

[24] Niknam S R, McComb J. Salt tolerance screening of selected Australian woody species—A review. Forestry Ecology Management, 2000, 139: 1—19

[25] 王荷生. 新疆主要盐生植物群落的分别及其与土壤、地下水的关系. 植物生态学与地植物学丛刊，1964, 2(1): 57—69. Wang H S. Relationship between dominating halophyte community and soil, groundwater in Xinjiang (In Chinese). Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica, 1964, 2(1): 57—69

[26] Bochet E J, Rubio L, Poesen J. Modified topsoil islands within patchy Mediterranean vegetation in SE Spain. Catena, 1999, 38(1): 23—44

[27] 李加宏，俞仁培. 土壤-作物根陆系统中离子的迁移. 土壤学报，1998, 35(2): 186—194. Li J H, Yu R P. Ion transport in soil-crop rhizosphere system under different conditions (In Chinese). Acata Pedologica Sinica, 1998, 35(2): 186—194

[28] Waisel Y. The glands of *Tamarix aphylla*: A system for salt secretion or for carbon concentration? Physiologia Plantarum, 1991, 83(3): 506—510

[29] Zhang F S, Shen J B, Zhang J L, et al. Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: Implications for China. Advances in Agronomy, 2010, 107(1): 1—32

# SALT ISLAND EFFECT OF HALOPHYTIC SHRUBS IN DIFFERENT HABITATS AND ITS ECOLOGICAL IMPLICATION

Yin Chuanhua[1,2]　Dong Jizhong[3]　Shi Qiumei[4]　Zhang Ke[1,2]　Zhao Zhenyong[1,2]　Tian Changyan[1,2]

(1 *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Sciences*, *Urumqi* 830011, *China*)

(2 *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Sciences*, *Urumqi* 830011, *China*)

(3 *Kashi Agricultural Technology Spread Center*, *Kashi*, *Xinjiang* 844000, *China*)

(4 *College of Life Science and Technology*, *Xinjiang University*, *Urumqi* 830046, *China*)

**Abstract** Soil pH, total soil salt and eight main salt ions ($K^+$, $Na^+$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $CO_3^{2-}$ and $HCO_3^-$) in soils under and in-between groves of *Tamarix romasissima*, *Halostachys caspica*, *Halocnemum strobilaceum* in two habitats, i. e. saline meadow and shrubland, were analyzed in order to explore effects of habitat and shrub species on salt island effect of halophytic shrubs in north Tarim Basin. Results show that in the saline meadow only under the grove of *Halocnemum strobilaceum* in the saline meadow, significant salt enrichment was observed in the soil, forming a salt island, while in the shrubland salt island effect was found in soils under all the three halophytic shrubs. That under *Halocnemum strobilaceum* was the most significant whereas under tamarisk the least. Data analysis further suggested that the salt island effect varied in strength with the halophytic shrub species and the habitat they grew in, that is to say, the salt island effect of halophytes and plants high in salt tolerance in salt-rich habitats is more obvious. And changes in habitat or plant species also influence to a varying extent enrichment of salt ions in the salt island. Intensified salt island effect accelerates degradation of saline meadow into halophyte-dominated desert in north Tarim Basin, Xinjiang.

**Key words** Tarim basin; Salt island; *Tamarix romasissima*; *Halostachys caspica*; *Halocnemum strobilaceum*