

盐生植物种植对克拉玛依农业开发区盐分平衡的影响

赵振勇¹, 李中邵², 张福海², 张科¹, 王雷¹, 田长彦¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 新疆油田公司供水公司, 新疆克拉玛依 834000)

摘要: 水资源日益紧缺态势下, 以水利工程措施调控灌区盐分平衡已难以为继, 生物脱盐对于无排水灌区盐分平衡调控意义重大。以克拉玛依市农业开发区重盐化土壤为对象实施了盐生植物田间试验。基于水盐平衡原理, 计算了灌溉水盐分输入量与盐生植物生物移盐量, 构建了盐分平衡关系方程。研究结果表明, 盐地碱蓬与野榆钱菠菜可以进行灌区脱盐, 其中野榆钱菠菜两年的地上部分生物量分别为 27 040.4 和 25 620.0 kg/hm², 刈割后灰分盐移出量分别为 7 618.6 和 7 019.5 kg/hm², 移出的盐量是灌溉水引入盐量的 7.8 和 7.2 倍; 盐地碱蓬两年的地上部分生物量分别为 18 836.4 和 19 119.3 kg/hm², 刈割后灰分盐移出量分别为 5 258.0 和 5 185.0 kg/hm², 移出的盐量是灌溉水引入盐量的 5.4 和 5.3 倍。在无排水灌区, 盐生植物生物脱盐将是盐分平衡调控的重要途径。

关键词: 无排水系统灌区; 盐生植物; 地上生物量; 盐分平衡

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0211-05

中图分类号: S156.4

Impacts of Halophytes Planting on Salt Balance in Agricultural Development Region of Karamay City

ZHAO Zhen-yong¹, LI Zhong-shao², ZHANG Fu-hai²,
ZHANG Ke¹, WANG Lei¹, TIAN Chang-yan¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Xinjiang Oilfield Water Supply Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: With the increasing scarcity of water resources, it is becoming difficult to use hydraulic engineering measures to regulate salt balance in irrigation districts. Bio-desalination method is of great importance to improve salt balance regulation in irrigation districts where drainage systems are lacking. In this study, we conducted field experiments by using halophytic vegetation in the heavily salinized soils in the agricultural development region of Karamay City. Based on the principle of salt-water balance, the salt content in irrigation water and the amount of bio-desalination of the halophytic vegetation were calculated, and an equation for salt balance regulation was established. Our results indicated that *Atriplex aucheri* and *Suaeda salsa* were two ideal options for bio-desalination. The aboveground biomass of *Atriplex aucheri* was 27 040.4 and 25 620.0 kg/hm² in 2009 and 2010, respectively, while the ash-free dry weight of *Atriplex aucheri* after clipping was 7 618.6 and 7 019.5 kg/hm² in 2009 and 2010, respectively. The corresponding amount of bio-desalination was 7.8 and 7.2 times of the amount of salt introduced by irrigation water, respectively. As for *Suaeda salsa*, the aboveground biomass was 18 836.4 and 19 119.3 kg/hm²; while the ash-free dry weight was 5 258.0 and 5 185.0 kg/hm², respectively. The corresponding amount of bio-desalination was 5.4 and 5.3 times of the amount of salt introduced by irrigation water, respectively. We concluded that, bio-desalination using halophytic vegetation will be an important approach to salt balance regulation in irrigation districts where drainage systems are lacking.

Keywords: irrigation districts devoid of drainage systems; halophytic vegetation; aboveground biomass; salt balance

收稿日期: 2012-06-26

修回日期: 2012-09-23

资助项目: 新疆维吾尔自治区科技计划项目“新疆典型区风沙与盐碱综合整治关键技术研发及应用”(201130106-2); 国家高技术研究发展(863)计划项目(2012AA100604-6); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(XBBS200811; XBBS201101)

作者简介: 赵振勇(1973—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区精河县人, 博士, 副研究员, 主要从事干旱区土地安全与管理研究。E-mail: zhaozhy@ms.xjb.ac.cn。

土壤盐碱化问题和灌溉引起的次生盐渍化已经成为制约干旱区农业发展的主要因素^[1-2],灌排工程一直以来是干旱区灌区控制盐渍化最为直接有效的方法^[3-4],但在水资源日益紧缺态势下,以水利为中心的工程措施已难以为继,新垦灌区也多数有灌无排。20世纪90年代以来,膜下滴灌技术的推广和应用为干旱区农业节水 and 盐碱土利用创造了条件,但其在提高水分利用效率的同时也改变了传统的水盐运移模式,盐分不断累积于耕作层^[5]而无法排出农田。如何实现灌区盐分平衡成为干旱区农业可持续发展的战略问题。

由于工程措施的不足,人们考虑采用生物学措施来控制 and 改良盐碱地。盐生植物是生长在盐碱土壤中的一类天然植物区系,在高盐土壤环境条件下,许多盐生植物不仅能够存活,且能产生可观的生物量。盐生植物对于盐渍化土壤改良的应用,主要基于其植株的积盐特性,例如盐角草,其干物质 NaCl 含量高达 50%^[6]。盐生植物在盐渍化土壤改良方面的应用已有文献报道^[7-9]。除了对盐渍化土壤的正面影响,盐生植物的饲用价值及作物潜力也被涉及^[10-12]。然而,迄今为止盐生植物的开发利用仍处于探索阶段,盐生植物用于盐渍化土壤生物改良的研究仍十分有限^[13-14]。

克拉玛依农业开发区位于准噶尔盆地西北边缘的湖积平原低地,为“引额济克”引水工程国家级农业综合开发区。开发区自土地开发以来多采用以地面灌为主的灌溉方式,无排水系统。这种有进无出的灌溉方式虽暂时达到了开垦初期土壤脱盐的目的,但随土地使用年份增加,地下水抬升及土壤盐渍化却日趋严重^[15]。目前,缓解和稳定开发区盐渍化的主要趋向于两种方案:(1)根据区域地形特点,修建排水系统和蒸发池来实现灌区的盐平衡调控;(2)以盐生植物生物脱盐来实现灌区盐分平衡调控。前者不但花费甚巨,且治标不治本,很难解决长远隐患。后者须以灌区水盐平衡原理为指导,进行田间试验验证。本研究基于试验盐生植物及灌溉引水间盐分量化分析,评估无排水灌区基于盐生植物生物脱盐实现灌区盐分平衡调控的可行性。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2009 和 2010 年的 5—9 月在克拉玛依农业开发区进行。克拉玛依农业开发区属典型的温带大陆性干旱荒漠气候,冬季严寒,年极端最低温度可达 -35.9℃,夏季高温炎热,年极端最高气温可达 42.9℃。多年平均降水量为 105.3 mm,潜在蒸发量

为 3 545 mm,无霜期 180~220 d。开发区地带性土壤主要为湖积母质发育而成的沼泽土和沉积母质发育成的各类盐土,土壤质地黏重致密,易板结,肥力低,新开垦土地中,非盐渍化土地仅占 33.2%。试验地 0—30 cm 土层盐分含量为 15.28~23.05 g/kg。盐生植物生长期灌水制度详见表 1。

1.2 植物生物量测定

试验用盐生植物盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)和野榆钱菠菜(*Atriplex aucheri*)。试验灌溉方式为滴灌,毛管间距 1.0 m,2 种植物分别条播于滴灌带毛管两侧 20 cm 范围内,形成 40 cm 宽播种带,每种植物 4 个重复,小区面积为 5 m×5 m。出苗后定苗,野榆钱菠菜密度控制在 30 株/m²,盐地碱蓬为 80 株/m²。9 月中旬收获地上部分,刈割后称全量鲜重,同时取样,用烘干法于 80℃ 恒温下烘至恒重测其生物量。

表 1 盐生植物生长期灌水制度 m³/hm²

灌溉时间	0502— 0506	0507— 0624	0625— 0719	0720— 0824
间隔天数/d	1	3	5	7
灌溉次数/次	4	16	5	5
次灌溉量/(m ³ ·hm ⁻²)	180	120	180	225

1.3 植物含盐量测定

取烘干的植物材料 1 g,放入马伏炉中 550℃ 灰化 18 h,置于干燥器中,冷却后称重,即为植物含盐量^[16]。植物盐分移出量计算公式为:

$$\text{盐总量} = \text{总生物量} \times 1 \text{ g 生物量积累的盐分}$$

1.4 灌水引入盐量的测定

收集研究期灌溉水,测定盐分。由灌溉水引入的盐量计算公式为:

$$\text{盐分引入总量} = \text{总灌水量} \times \text{灌溉水盐分含量}$$

水样化学分析采用常规分析法^[17]。数据分析方法利用 Excel 和 SPSS 13.0 软件进行统计分析。

2 结果分析

2.1 盐生植物地上部生物量和盐分累积量

生物量能很好地体现生态系统物质的固定、分配和积累。利用盐生植物控盐主要是通过植物根系吸收固定盐分,并转移到地上部分,进而采用收割植物的方式带出土壤中的盐分。由图 1 可看出,两种盐生植物 2009 及 2010 年地上生物量干重均差异显著,其中 2009 年野榆钱菠菜和盐地碱蓬地上生物量干重分别为 27 040.4 和 18 836.4 kg/hm²,2010 年分别为 25 620.0 和 19 119.3 kg/hm²。2009 和 2010 年的野榆钱菠菜地上生物量差异不显著,盐地碱蓬亦是如

此,表明野生盐生植物在人工种植条件下可获得较为稳定的生物学产量。

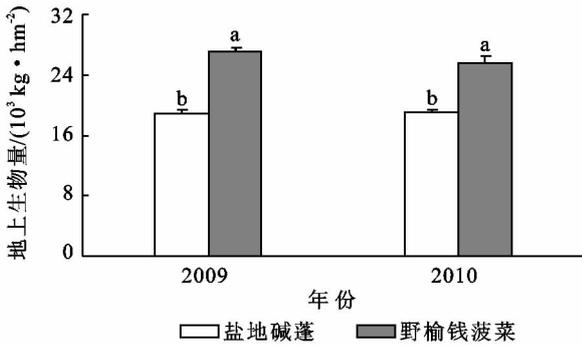


图 1 盐生植物地上生物量差异

注:图中小写字母表示 5% 水平的差异性显著,下同。

盐生植物灰分通常含量较高,主要成分为盐物质。由图 2 的灰分含量分析表明,两种盐生植物各年份间无显著差异,基本维持在 27.0%~28.0% 范围内。图 3 为以灰分为盐分含量计算的两种盐生植物地上部分盐分累积量。连续 2 a 的试验表明两种盐生植物脱盐能力均为:野榆钱菠菜>盐地碱蓬。由图 3 可看出,不同年份两种盐生植物地上部分盐分累积量均存在显著差异,2009 年野榆钱菠菜和盐地碱蓬盐分累积量分别为 7 618.6 和 5 258.0 kg/hm²,2010 年分别为 7 019.5 和 5 185.0 kg/hm²。2009 和 2010 年野榆钱菠菜地上部分盐分累积量差异不显著,盐地碱蓬亦是如此。

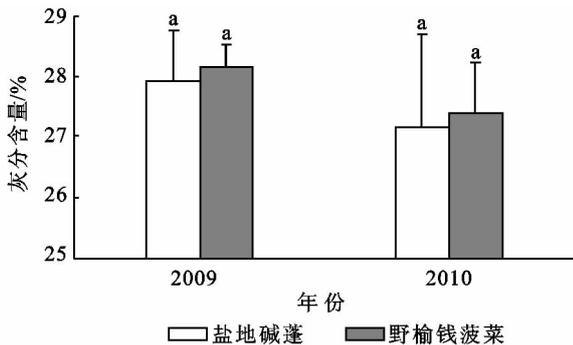


图 2 盐生植物地上部分灰分含量差异

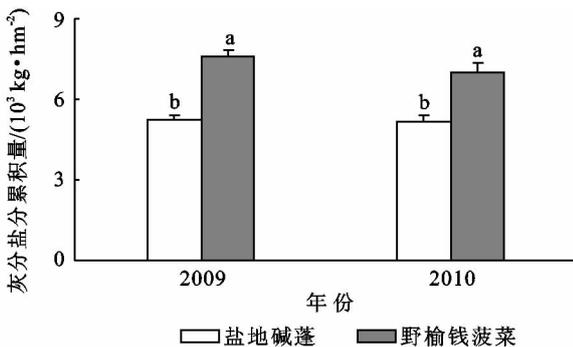


图 3 盐生植物灰分盐分累积量差异

2.2 灌区盐分引入量

干旱地区农业生产主要依靠灌溉,在灌区大量引水的同时,亦将盐分带入灌区。克拉玛依试验区 2009 和 2010 年两年灌溉引水水质矿化度检测结果平均为 0.21 g/L。克拉玛依灌区农业灌溉定额出现了 3 个时期,自开发以来至 2001 年,灌溉定额基本在 11 955 m³/hm²;2008 年滴灌全面推行前,平均灌溉定额维持在 6 210 m³/hm²;目前克拉玛依农业开发区滴灌棉花推荐灌溉定额为 4 800 m³/hm²。以灌溉水平平均矿化度 0.21 g/L 计算,3 种灌溉定额下盐分引入量分别为 2 510.6,1 304.1 和 1 008.0 kg/hm²。本实验两年植物全生育期耗水量均为 4 665 m³/hm²,灌溉引入盐分 979.7 kg/hm²。

2.3 灌区盐平衡

美国土壤学家 Sofield 提出,进入灌区的易溶性盐量和通过排水排出的盐量之间的关系称之为盐分平衡。因缺乏灌溉水多年监测资料,根据 2009 及 2010 年的监测结果,假定多年灌溉水矿化度值为 0.21 g/L,则克拉玛依农业开发区灌溉定额概算:自开发至 2001 年,灌溉水带入的盐分为每年 2 510.6 kg/hm²,至 2008 年滴灌全面推行,这个数字变为 1 304.1 kg/hm²,对于地处湖盆低洼地且缺乏排水设施的克拉玛依农业综合开发区来说,在忽略植物盐分的吸收作用下,由灌溉水带入的盐分将逐年累积于灌区内,即灌区处于持续积盐状态。

以水盐平衡理论为指导,在无排水设施的前提下,设计建立一种新的盐分平衡,即以节水灌溉为前提,以经济型盐生植物开发利用为突破口,实现盐分平衡。克拉玛依农业综合开发区,盐分主要由灌溉水带来,盐生植物收获带出。假定灌溉水在根区得到充分利用,忽略灌溉水下渗至根区下所携带的盐分,则盐分平衡方程可以简化为:

$$\Delta S = S_d - S_i \quad (1)$$

单位面积上灌溉引水带入的盐量 (S_i) 与盐生植物地上部分收获带出的盐分 (S_d) 分别由公式(2)~(3)计算:

$$S_i = W_i \cdot C_i \times 10^3 \quad (2)$$

$$S_d = B_d \cdot C_d \times 10^3 \quad (3)$$

式中: W_i ——灌溉引水量(m³),2009 和 2010 年均为 4 665 m³/hm²; B_d ——盐生植物地上部分总生物量(kg); C_i ——灌溉水平平均矿化度(g/L),2009 和 2010 年均为 0.21 g/L; C_d ——1 g 生物量积累的盐分(mg/g)。

2009 和 2010 年盐生植物种植下的监测结果概算,灌溉水带入的盐分为 979.7 kg/hm²,2009 年

野榆钱菠菜和盐地碱蓬刈割所带出的盐分别为 7 618.6 和 5 258.0 kg/hm², 2010 年分别为 7 019.5 和 5 185.0 kg/hm²。S_d/S_i 能很好地反映盐生植物的脱盐效果。由表 2 可以看出, 2009 年野榆钱菠菜

和盐地碱蓬的 S_d/S_i 值分别为 7.8 和 5.4, 2010 年分别为 7.2 和 5.3, 即在试验灌水量下, 由野榆钱菠菜地上部分刈割带出的盐量至少相当于 7 和 5 a 由灌水引入总盐量。

表 2 克拉玛依农业综合开发区种植盐生植物盐分平衡结果

年份	植物种类	B _d /(kg·hm ⁻²)	C _d /(mg·g ⁻¹)	S _d /(kg·hm ⁻²)	△S/(kg·hm ⁻²)	S _d /S _i
2009 年	盐地碱蓬	18 836.4	27.95	5 258.0	4 278.3	5.4
	野榆钱菠菜	27 040.4	28.18	7 618.6	6 638.9	7.8
2010 年	盐地碱蓬	19 119.3	27.15	5 185.0	4 205.3	5.3
	野榆钱菠菜	25 620.0	27.38	7 019.5	6 039.9	7.2

注: W_i 灌溉引水量; B_d 盐生植物地上部分总生物量; C_d 1 g 生物量积累的盐分; S_d 盐生植物地上部分收获带出的盐分量。

3 结论与讨论

长期以来, 新疆灌区盐平衡调控多采用“排水洗盐”的明沟排水系统模式, 通过建立灌、排系统, 引水淋洗土壤盐分, 排出洗盐水实现土壤脱盐^[18]和灌区盐分平衡^[3], 但“洗盐”耗水量大, 排水系统建设及维护成本高, 且高盐排水易恶化下游灌区环境。20 世纪 80 年代中期, 新疆地区开始引入暗管排水技术^[19]进行重盐碱区土壤盐渍化治理, 实践证明该技术在排水排盐及控制地下水位等方面效果显著^[20-21], 由于一次性投资大, 该技术尚未得到推广。与水利工程改良措施相比, 挖掘盐生植物的生物潜力实现灌区盐平衡控制和盐渍土的生物改良具有低投入、环境可持续发展的优点。

试验结果表明, 野榆钱菠菜和盐地碱蓬生物量差异显著, 连续两年的生物量测定均表现为: 野榆钱菠菜 > 盐地碱蓬, 其中野榆钱菠菜两年产量均超过 25 000 kg/hm², 盐地碱蓬也均在 18 000 kg/hm² 以上。野榆钱菠菜和盐地碱蓬灰分含量十分接近, 基本都在 27.0%~28.0%。尽管灰分含量十分接近, 但因野榆钱菠菜生物量显著高于盐地碱蓬, 进而野榆钱菠菜脱盐能力也显著高于盐地碱蓬。盐生植物移盐能力与地上部分生物量及灰分含量关系密切, 高生物量和高灰分的植物种类在灌区盐平衡调控中更具有推广应用价值。

灌区盐分平衡虽是一种粗略的宏观估算, 但对评价可持续发展及灌溉制度规划有很好的指导意义。实现盐分平衡调控是克拉玛依大农业开发区农业可持续发展的关键。开发区地处湖积平原低地, 无排盐出路, 灌区盐平衡调控需基于灌区水盐平衡原理积极探索新模式。监测分析表明, 试验条件下当年灌溉引盐量为 979.7 kg/hm², 而野榆钱菠菜和盐地碱蓬地上

部分灰分盐累积都在 4 200 kg/hm² 以上, 尤其野榆钱菠菜, 地上部分灰分盐累积量超过了 7 000 kg/hm², 相当于当年灌水引入盐量的 7 倍以上。有研究表明, 一般大田作物地上部分的收获也能带走一定的盐分, 例如玉米, 地上部分灰分含量通常不超过 7.0%, 带出的盐分不超过 1 500.0 kg/hm²^[22]。表明在新灌溉模式下, 基于盐生植物的生物排盐对于灌区盐分平衡起到了至关重要的作用。

盐生植物通常具有较好的可塑性, 自然生境下盐生植物生物量通常较低, 这也是盐生植物未引起重视的原因。有研究表明, 在高盐环境下, 增势氮肥能明显地缓解盐胁迫^[23], 显著提高盐生植物生物量并改变地上部分盐分分配^[24], 这对于盐生植物在盐碱地改良中的推广应用意义重大。盐生植物生物脱盐模式可产生一定的经济收入, 关键在于选择具有经济效益的盐生植物种类。新疆地区盐生植物约占中国盐生植物总数的 60%^[25], 其中许多具有开发利用潜力, 应根据植物排盐特性, 调整种植结构, 建立生物排盐改良和开发利用盐碱地的新理念。

[参 考 文 献]

- [1] Yang Jinsong, Zhao Qiguo, Zhu Shouquan, et al. Features of salt affected soils and salinization hazard in East Asia and its neighboring regions[J]. Pedosphere, 1995, 5(1): 21-34.
- [2] Shahbaz Khan, Rana Tariq, Cui Yuanlai, et al. Can irrigation be sustainable? [J]. Agricultural Water Management, 2006, 80(1/3): 87-99.
- [3] 关志华, 齐文虎, 张红旗. 渭干河灌区水盐平衡及盐分运移[J]. 资源科学, 2004, 26(2): 74-79.
- [4] 杨劲松, 陈小兵, 胡顺军, 等. 绿洲灌区土壤盐分平衡分析及其调控[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1438-1443.
- [5] 杨鹏年, 董新光, 魏光辉, 等. 干旱区膜下滴灌下土壤积

- 盐特征研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 360-363.
- [6] Stroganov B P. Salt Tolerance of Plants[M]// Rubin B A. Fiziologiya Selskokhozyaistvennykh Rastenii(Physiology of Agricultural Plants), Russia Moscow: MGU, 1967: 270-323.
- [7] DeVilliers A J, VanRooyen M W, Theron G K, et al. Removal of sodium and chloride from a saline soil by *Mesembryanthemum barklyi*[J]. Journal of Arid Environments, 1995, 29(3): 325-330.
- [8] Qadir M, Qureshi R H, Ahmad N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca* [J]. Geoderma, 1996, 74(3/4): 207-217.
- [9] Ravindrana K C, Venkatesana K, Balakrishnana V, et al. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(10): 2661-2664.
- [10] Glenn E P, Brown J J, Blumwald E. Salt tolerance and crop potential of halophytes [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1999, 18(2): 227-255.
- [11] Jelte R, Timothy F. Crops for a salinized world[J]. Science, 2008, 322(5907): 1478-1480.
- [12] Ajmal K M, Raziuddin A, Haibat A, et al. *Panicum turgidum*, a potentially sustainable cattle feed alternative to maize for saline areas[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 129(4): 542-546.
- [13] Helalia A M, El-Amir S, Abou-Zeid S T, et al. Bio-reclamation of saline sodic soil by *Amshot* grass in Northern Egypt[J]. Soil and Tillage Research, 1992, 22(1/2): 109-116.
- [14] Zhao Kefu. Desalinization of saline soils by *Suaeda salsa* [J]. Plant Soil, 1991, 135(2): 303-305.
- [15] 师长兴, 杜俊, 范小黎. 克拉玛依农业开发区地下水位变化和应对措施探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 127-132.
- [16] 赵可夫, 范海, 江行玉, 等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(1): 31-35.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 49-56.
- [18] Jury W A, Jarrell W M, Devitt D. Reclamation of saline-sodic soils by leaching[J]. Soil Science Society of America Journal, 1979, 43(6): 1100-1106.
- [19] 刘子义. 新疆内陆干旱重盐碱地区暗管排水技术的应用[J]. 农田水利与小水电, 1994(7): 9-13, 48.
- [20] 姚中英, 赵正玲, 苏小琳. 暗管排水在干旱地区的应用[J]. 塔里木大学学报, 2005, 17(2): 76-78.
- [21] 孟凤轩, 迪力夏提, 罗新湖, 等. 新疆盐渍化农田暗管排水技术研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(1): 106-109.
- [22] 朱树国, 刘景辉, 成建宏, 等. 不同收获期青贮玉米品种粗灰分和无氮浸出物的积累与分配[J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 110-114.
- [23] 段德玉, 刘小京, 李存桢, 等. N 素营养对 NaCl 胁迫下盐地碱蓬幼苗生长及渗透调节物质变化的影响[J]. 草业学报, 2005, 14(1): 63-68.
- [24] 王界平, 田长彦. 不同氮磷水平下盐角草生长及盐分累积特征分析[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 234-243.
- [25] 郗金标, 田长彦, 阎平, 等. 新疆盐生植物区系初探[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 7-10.