

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

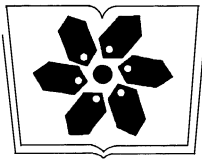
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 17 期 Vol.33 No.17 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 17 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 植物角质层蜡质的化学组成研究综述 曾 琼, 刘德春, 刘 勇 (5133)
- 中国滨海盐沼湿地碳收支与碳循环过程研究进展 曹 磊, 宋金明, 李学刚, 等 (5141)

个体与基础生态

- 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等 (5153)
- 盐地碱蓬二型性种子及其幼苗对盐渍环境的适应性 刘 艳, 周家超, 张晓东, 等 (5162)
- 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应 丁 红, 张智猛, 戴良香, 等 (5169)
- 夏季苹果新梢生理指标与抗苹果绵蚜的关系 王西存, 周洪旭, 于 毅, 等 (5177)
- 花期海蓬子对盐胁迫的生理响应 刘伟成, 郑春芳, 陈 琛, 等 (5184)
- 白蜡多年卧孔菌生物学特性及驯化栽培 鲁 铁, 图力古尔 (5194)
- 重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响——以坡度和坡向为例
..... 白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (5201)
- 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等 (5210)
- 大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征 王丽芳, 王德轩, 上官周平 (5219)
- 复合不育剂 EP-1 对小鼠空间记忆与焦虑行为的影响 王晓佳, 秦婷婷, 胡 霞, 等 (5228)

种群、群落和生态系统

- 小兴安岭阔叶红松混交林林隙特征 刘少冲, 王敬华, 段文标, 等 (5234)
- 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征 林 丽, 李以康, 张法伟, 等 (5245)
- 中亚热带人工针叶林生态系统碳通量拆分差异分析 黄 昆, 王绍强, 王辉民, 等 (5252)
- 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应 赵成章, 张 静, 盛亚萍 (5266)
- 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群 彭松耀, 李新正 (5274)

景观、区域和全球生态

- 采伐干扰对大兴安岭落叶松-苔草沼泽植被碳储量的影响 牟长城, 卢慧翠, 包 旭, 等 (5286)
- 西南喀斯特地区轮作旱地土壤 CO₂ 通量 房 彬, 李心清, 程建中, 等 (5299)
- 干湿季节下基于遥感和电磁感应技术的塔里木盆地北缘绿洲土壤盐分的空间变异性
..... 姚 远, 丁建丽, 雷 磊, 等 (5308)
- 东北温带次生林和落叶松人工林土壤 CH₄ 吸收和 N₂O 排放通量 孙海龙, 张彦东, 吴世义 (5320)
- 新疆东部天山蝶类多样性及其垂直分布 张 鑫, 胡红英, 吕昭智 (5329)
- 玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系 蔡 福, 周广胜, 明惠青, 等 (5339)

天山北坡家庭牧场复合系统对极端气候的响应过程..... 李西良,侯向阳,丁 勇,等 (5353)

大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例..... 李 灿,张凤荣,朱泰峰,等 (5363)

资源与产业生态

基于 GLBM 模型的中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化 陆化杰,陈新军,曹 杰 (5375)

三峡库区古夫河水质时空分异特征..... 冉桂花,葛继稳,苗文杰,等 (5385)

城乡与社会生态

汉、藏、回族地区农户的环境影响——以甘肃省张掖市、甘南藏族自治州、临夏回族自治州为例.....

..... 赵雪雁,毛笑文 (5397)

研究简报

中国近海浮游动物群落结构及季节变化..... 杜明敏,刘镇盛,王春生,等 (5407)

海洋污染物对菲律宾蛤仔的免疫毒性..... 丁鉴锋,闫喜武,赵力强,等 (5419)

衰亡期沉水植物对水和沉积物磷迁移的影响..... 王立志,王国祥 (5426)

伊洛河流域外来草本植物分布格局..... 郭屹立,丁圣彦,苏 思,等 (5438)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-09



封面图说: 帽儿山次生林林相——帽儿山属于长白山山脉的张广才岭西坡,松花江南岸支流阿什河的上游,最高海拔 805m,由侏罗纪中酸性火山岩构成,是哈尔滨市附近的最高峰,因其貌似冠状而得名。东北林业大学于 1958 年在此建立了实验林场。山上生长着松树、榆树、杨树及各种灌木等,栖息着山鸡、野兔等野生动物,在茂密的草地上还生长有各种蘑菇。其地带性植被为温带针阔混交林,目前状况为天然次生林。部分地方次生林转变为落叶松人工林后,落叶松林地的凋落物层影响了林地土壤水分的格局。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201206150861

赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 胡小龙, 王婧, 高鸿永. 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响. 生态学报, 2013, 33(17): 5153-5161.

Zhao Y G, Pang H C, Li Y Y, Hu X L, Wang J, Gao H Y. Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5153-5161.

秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响

赵永敢¹, 逢焕成¹, 李玉义^{1,*}, 胡小龙², 王婧¹, 高鸿永³

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 石河子大学/新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子 832003;

3. 内蒙古河套灌区义长灌域管理局试验站, 五原 015100)

摘要: 在内蒙古河套灌区通过微区试验, 研究了秸秆深埋(S)、上盖秸秆下埋秸秆(简称上秸下秸, S+S)、上盖地膜下埋秸秆(简称上膜下秸, P+S)和地膜覆盖(对照, CK)4种耕作措施对0—40 cm土层水盐运移及食葵光合特性的影响。结果表明: (1) 不同措施对土壤水盐调控的效果与作用时期差异较大。P+S在整个生育期内土壤盐分含量和盐溶质浓度较低, 控盐效果显著; S+S仅在苗期能保墒控盐, 但控盐效果比P+S差, 后期出现水减盐增现象, 保墒控盐效果也不佳; S在整个生育期内土壤盐分含量和盐溶质浓度最高, 控盐效果最差; CK在整个生育期内土壤水分含量变化不大, 而盐分含量较高, 控盐效果也不明显。 (2) 不同措施对土壤水盐运移调控程度的差异, 导致食葵光合特性也有明显变化。与CK、S、S+S相比, P+S由于其较低的盐溶质浓度环境, 明显改善了其光合特性, 在苗期、蕾期和花期能提高净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r), 增加气孔导度(G_s), 降低胞间 CO_2 浓度(C_i), 从而使其作物长势和干物质积累明显高于其它措施。综合试验结果, P+S是内蒙古河套灌区盐碱地改良中优选的控抑盐耕作措施。

关键词: 地膜覆盖; 秸秆; 控盐; 盐碱土; 食葵

Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils

ZHAO Yonggan¹, PANG Huancheng¹, LI Yuyi^{1,*}, HU Xiaolong², WANG Jing¹, GAO Hongyong³

1 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Key Laboratory of Oasis Ecological Agriculture, Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China

3 Management Department of Yichang Irrigation Sub-district of Hetao Irrigation District in Inner Mongolia, Inner Mongolia, Wuyuan 015100, China

Abstract: Insufficient drainage and over irrigation make salinity still a remaining problem in the Hetao Irrigation District of Inner Mongolia. In view of the occurrence characteristics of saline-alkali soils in this area, controlling invalid soil water evaporation and increasing water use efficiency are very important. It has been demonstrated that surface mulching with straw and film and placing a straw interlayer in soil are effective measures for soil salinity control. In this paper, we investigated the influences of integrated application of mulching and straw interlayer on the movement of soil and water and photosynthetic characteristic of sunflower on a typical saline-alkali soil. Micro-plot experiment was established with four treatments: straw interlayer only (S), straw interlayer plus surface straw mulching (S+S), straw interlayer plus surface plastic film mulching (P+S), and surface plastic film mulching (CK). Water and salt contents in the 0—40 mm soil layer and crop photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s), and intercellular CO_2 concentration (C_i) were measured during sunflower growing season. Mulching and straw interlayer significantly modified

基金项目: 国家自然科学基金项目(31000692); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2012ZL031)

收稿日期: 2012-06-15; **修订日期:** 2012-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuyili@caas.ac.cn

soil water and salt processes. Compared with the other treatments, the P+S treatment showed lower salt contents and solute concentration in the 0—40 cm soil layer. The S+S treatment increased soil water content and reduced salt content at the seedling stage, but the degree of changes were less than that of the P+S treatment. At later growth stages, the S+S treatment had lower soil water content and higher salt content, suggesting that a straw interlayer plus surface straw mulching was not very effective in soil salinization control. The S treatment had the highest salt content in the whole growing season, an indication that placing a straw interlayer in the soil has limited effect on reducing soil salinity. Although the CK treatment had a higher and stable water content in the 0—40 cm soil layer, its salt content remained higher in sunflower growing season. In terms of crop photosynthetic characteristics, compared to the CK, S, and S+S treatments, the P+S treatment significantly increased sunflower P_n , Tr , and G_s , and reduced C_i at seedling stage, bud stage, and flowering stage. In addition, the P+S treatment promoted crop growth, reduced the growth period, and accelerated dry matter accumulation of sunflower plants. We concluded that the P+S treatment was an optimal measure on amelioration of saline-alkali soil in the Hetao Irrigation District.

Key Words: plastic film mulching; straw; soil salinization control; saline-alkali soils; sunflower

我国盐渍土面积较大且分布较广泛,同时还有大面积的潜在盐渍化土壤^[1],高效开发利用盐渍土资源对促进区域农业发展,保障我国粮食安全意义重大。内蒙古河套灌区是我国盐渍土面积较大的区域之一,全灌区盐碱耕地面积约为 39.4 万 hm^2 ,占总耕地面积的 68.65%^[2],开发潜力较大。

长期以来,盐碱土改良主要采用灌溉排水、利用覆盖物和施加化学改良剂,以及客土转移和耐盐植物种植等措施^[3-4]。在盐渍土利用过程中,土壤水分无效蒸发,潜水上升是造成地表返盐的主要原因,因此只要能有效控制土壤水分蒸发,或者阻断潜水上升路径,就能减轻盐分表聚,降低水分和盐分对作物的胁迫。国内外研究表明,通过地表覆盖能保墒蓄水、降低土表蒸发,提高水分利用效率,抑制地表返盐^[5-9]。另有研究表明,在土表下 30 cm 处铺设砂砾层,以及在土表下 20 cm 处或 30 cm 处铺设秸秆层,可以切断土壤毛管,阻止底层土壤含盐潜水上行,减轻盐分表聚^[10-15],但有关土表下隔层的研究多数为室内模拟。总体来看,目前将地表覆盖与土表下设置隔层结合起来的研究较少,同时受盐渍土类型和地下水埋深的限制,研究结果具有一定的局限性,秸秆层对土壤水盐运动以及作物生长发育和光合特性的影响,还需要进一步的试验研究。因此,本研究在内蒙古河套灌区以玉米秸秆作为隔层材料,研究地表覆盖结合秸秆深埋措施对河套灌区中度盐渍土 0—40 cm 土层水盐运移及食葵光合特性的影响,探索土表下隔层措施的控盐效果,以期对河套灌区盐渍土改良和促进作物增产提供理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

试验于 2011 年 5 月至 9 月在内蒙古五原县隆兴昌镇永联村河套灌区义长灌域管理局试验站进行。地理坐标为北纬 41.07°,东经 108.00°,海拔 1022 m。该地属于中温带季风气候带,全年日照时数 3263 h,年均温 6.1 °C,≥10 °C 的积温 3362.5 °C,无霜期 117—136 d。年蒸发量较大,蒸降比较高,冬春季土壤盐分表聚现象严重。试验区 0—100 cm 层土壤为粉砂壤土,按盐土分类为氯化物—硫酸盐土,平均容重为 1.45—1.50 g/cm^3 ,生育期内地下水埋深变幅为 1.10—1.70 m。0—40 cm 土层有机质 9.54 g/kg ,全氮 0.51 g/kg ,速效磷 3.09 mg/kg ,速效钾 118.93 mg/kg 。试验区基础土壤盐分含量与离子组成情况见表 1。

2011 年试验区总降水量为 76.3 mm,食葵生育期内总降水量为 55.5 mm,约占全年降水量的 72.74%,其中苗期、蕾期、花期和乳熟期降水量分别为 14.8 mm、9.4 mm、26.3 mm 和 5.0 mm。日降水量大多集中在 0.2—0.4 mm/d 之间,超过 5.0 mm/d 的天数极少,最大值(8 月)仅为 12.3 mm/d。

1.2 试验设计

试验安排在微区进行,每个微区面积为 $1.8 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} = 3.24 \text{ m}^2$,随机区组排列。微区于 2010 年 10 月修

表 1 试验区基础土壤盐分含量与离子组成

Table 1 Foundational soil salt content and ion composition in experimental area

采样深度/cm Sampling depth	pH 值	全盐/(g/kg) Total salt	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	$(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$
/%											
0—5	9.77	8.61	0.002	0.023	0.222	0.283	0.018	0.032	0.281	0.784	5.660
5—20	9.11	3.12	0.002	0.032	0.072	0.086	0.006	0.009	0.106	0.834	7.280
20—40	8.83	2.31	0.001	0.027	0.052	0.063	0.008	0.005	0.075	0.822	5.757

建,先将各微区四周开槽深挖至 1 m 处,用双层塑料布阻隔,使微区间互不影响,中间再用土填实空隙。每个微区上部四周用 40 cm×60 cm 混凝土预制板围砌(外露 20 cm,下埋 40 cm),然后将露出部分用水泥硬化。微区内土壤没有扰动,40—100 cm 土层盐分相对一致,为保证微区表层土壤盐分基本一致,将各微区 0—20 cm 土层盐分通过人工方法均调到 0.4%。方法是 2010 年秋浇前每个微区均取 0—20 cm 土层 8 个点土样混合,并测定其盐分值作为微区土壤盐分基础值,然后根据 0—20 cm 土层盐分基础值和目标值(0.4%),添加盐结皮(结皮盐分类型和含量经混匀后完全一致),所加盐全部均匀撒在地表并用耙挡平。

试验设地膜覆盖(当地农户普遍采用的措施,CK)、秸秆深埋(S)、上秸下秸(S+S)和上膜下秸(P+S)4 个处理,每个处理重复 3 次。由于食葵根系生长主要分布在 40 cm 以上土层,机耕深度也低于 40 cm,因此 S、S+S 和 P+S 处理在距地表 40 cm 深处埋设秸秆层,CK 处理不埋设秸秆层。秸秆埋设前先将微区土壤用铁锹按 0—20 cm 和 20—40 cm 层次取出,然后把约 10 cm 长的玉米秸秆均匀铺设在地下,铺设厚度 5 cm(压实前厚度),最后将土壤按原层次回填。试验布置完毕,立即进行秋浇压盐,每个微区灌溉定额均为 0.60 m³(合 1850 m³/hm²),用黄河水(矿化度为 0.58 g/L)灌溉,用水表计量。

2011 年 5 月开始种植作物,供试验作物为食葵(*Helianthus Annuus*),品种为 LD5009。5 月 11 日定额灌溉,灌水量为 1850 m³/hm²,水源为黄河水。播前 2 d 进行人工耕翻,深度约 20 cm。耕翻后松土施肥,所施肥料均为尿素(含 N 46%)、磷酸二铵(含 N 18%,P₂O₅ 46%)、硫酸钾(含 K₂O 50%),用量分别为 N 180 kg/hm²,P₂O₅ 120 kg/hm²,K₂O 75 kg/hm²,均作为底肥一次性条施,用松土将肥料盖住。此后进行地表覆盖,其中,S 处理地表不覆盖,P+S 和 CK 处理地表用地膜分两行覆盖,膜间距 20 cm,膜间地表裸露,S+S 处理地表用切碎的玉米秸秆覆盖,秸秆用量约 6 000 kg/hm²。5 月 28 日播种,人工点播,每微区 4 行,每行 3 株,穴距 45 cm,行距 60 cm,种植密度约 37 000 株/hm²。食葵生育期内不再进行灌水和施肥,其它管理措施与当地农户一致。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 土壤水分与盐分含量

用自制不锈钢土钻在各微区两行食葵之间取 0—40 cm 土样(有地膜覆盖的处理在膜下取样,有秸秆覆盖的处理在秸秆下取样),带回实验室进行土壤水分和盐分含量测定。土壤水分含量用烘干法测定,为质量含水量。土样烘干后磨碎,过 2 mm 筛,以 1:5 的土水比提取土壤溶液上清液,用电导率仪 DDS-307 测定土壤电导率,根据公式^[16]计算出土壤盐分含量:土壤盐分含量(g/kg)=电导率×0.064×5×10/1000 再根据公式计算出各时期土壤盐溶质浓度:土壤盐溶质浓度(g/L)=盐分含量/水分含量×10。

1.3.2 光合指标

采用美国 Li-Cor 公司生产的 Li-6400 光合仪分别在食葵苗期、蕾期、花期和乳熟期选择晴朗无风的天气于 9:00—11:00 进行光合参数的测定。由于各处理生育期相差 3—5 d,因此在各个时期连续测定 3 d,取平均值作为该时期的光合参数值。用红蓝光源叶室测定,设定光量子度(PAR)为 1 200 μmol·m⁻²·s⁻¹,样本室内气流速度(Flow)为 500 μmol·s⁻¹,叶室温度为 30 ℃。

每个微区选取长势一致的食葵 3 株,在每株相同部位选取完全伸张的向阳的叶片,每片叶读数 5 次,取 15 次平均结果。测定参数为:净光合速率(P_n , μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹)、气孔导度(G_s , mmol·m⁻²·s⁻¹)、胞间 CO₂ 浓

度 (C_i , mmol CO_2/mol) 和蒸腾速率 (T_r , mmol $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。叶片水分利用效率 (LWUE, $\mu\text{mol} \text{CO}_2/\text{mmol} \text{H}_2\text{O}$) 的计算公式为: $\text{LWUE} = P_n / T_r$ 。

1.3.3 生长指标

食葵长至第 4 对小叶时开始,每个微区选取长势一致的 3 株定株观测,用卷尺和游标卡尺测量株高、茎粗和叶面积,每个时期测量 1 次。

1.4 数据处理

试验数据均用 Excel 做图, DPS v6.85 版进行统计分析,单因素方差分析采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 秸秆隔层对土壤水盐运移的影响

2.1.1 土壤水分含量动态

从图 1 可以看出,在地下 40 cm 处铺设秸秆层能显著提高苗期 0—40 cm 土层水分含量。其中 S、S+S 和 P+S 铺设的秸秆层能把灌水蓄积在隔层以上土层,显著提高了土壤水分含量,三者苗期分别比 CK 高 11.30%、15.61% 和 11.02%,为食葵生长前期发育提供了充足的水分。而 CK 地下无秸秆层,灌水下渗速率较快,苗期土壤水分含量相对较低。

随着生育期的推进,各处理土壤水分含量呈降低趋势。其中, S+S 和 P+S 的土壤水分含量从蕾期开始显著低于 CK, P+S 尤为明显; S 在蕾期略高于 CK, 花期显著高于 CK。这可能是由于土壤水分含量还与降水有关,在蕾期和花期,当地降水量增加, S 地表无覆盖, S+S 地表覆盖秸秆,二者均能较好的接收降水,而 CK 和 P+S 只有膜间无覆盖区域能接收降水,土壤水补充量小。

乳熟期食葵对土壤水消耗较大,由于 S、S+S 和 P+S 铺设的秸秆层减弱了底层土壤水向上供给能力,土壤水分含量下降较快,三者显著低于 CK,其中 P+S 食葵生长最为旺盛,其土壤水分含量也最低。

2.1.2 土壤盐分含量动态

由图 2 可知, P+S 在整个生育期内能降低 0—40 cm 土层盐分含量,控抑盐效果极为显著。P+S 能使生育期内土壤盐分含量控制在 2.5—4.0 g/kg 之间,平均比 CK 低 16.76%—27.78%。这是由于 P+S 地表覆盖的地膜降低了土壤蒸发量,抑制了地表返盐,同时地下铺设的秸秆层也阻断了底层土壤盐分随水向上运移,抑制了盐分表聚,隔层和地膜结合体现了较好的控抑盐效果,为食葵根系的生长提供了低盐环境。S+S 在生长前期也能控制地表返盐,苗期其盐分含量比 CK 低 25.43%,但控抑盐效果不如 P+S 明显,且只体现在苗期;蕾期和花期盐分含量略高于 CK,乳熟期显著高于 CK,后期控抑盐效果不佳。S 在生育期内盐分含量高达 4.0—7.0 g/kg,平均比 CK 高 15.02%—66.21%,控抑盐效果最差。

由此可见,在铺设秸秆层的同时必须进行地表覆盖才能起到控抑盐作用,只设秸秆层而不进行地表覆盖的控抑盐效果较差。另外,在有秸秆层情况下,地表覆盖材料不同其控抑盐效果和作用时期也不同,地表覆盖地膜比覆盖秸秆的控抑盐效果显著,作用时期也持久,即 P+S 比 S+S 的控抑盐效果好、时效长。

2.1.3 土壤盐溶质浓度动态

图 3 表明, P+S 在整个生育期内能显著降低 0—40 cm 土层盐溶质浓度,能为食葵的生长提供较低的盐溶质浓度环境。其中, P+S 在生育期内土壤盐溶质浓度平均比 CK 低 10.27%—34.95%,苗期尤为突出; S+S 苗期土壤盐溶质浓度比 CK 低 35.51%,蕾期和花期略高于 CK,乳熟期显著高于 CK; S 苗期土壤盐溶质浓度与

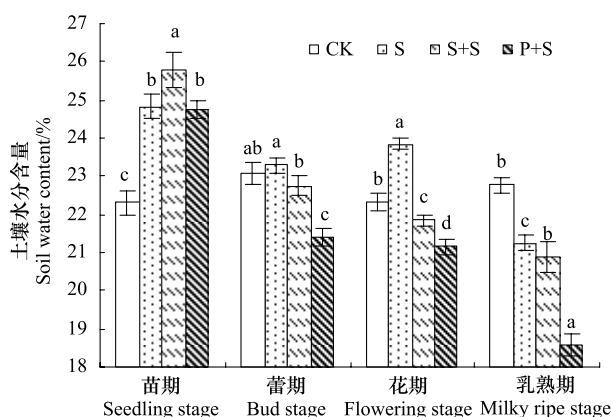


图 1 不同时期 0—40 cm 土层水分含量

Fig. 1 Soil water content of 0—40 cm layer in the different stages

不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$); CK: 通常措施; S: 秸秆深埋; S+S: 上秸下秸; P+S: 上膜下秸

CK 差异不大,后期显著高于 CK。由此表明,尽管 P+S 在生长后期土壤水分含量低于其它处理,但由于其盐分含量较低,土壤盐溶质浓度不高,淡化了根系生长层,对食葵生长的盐胁迫程度要低于其它处理。

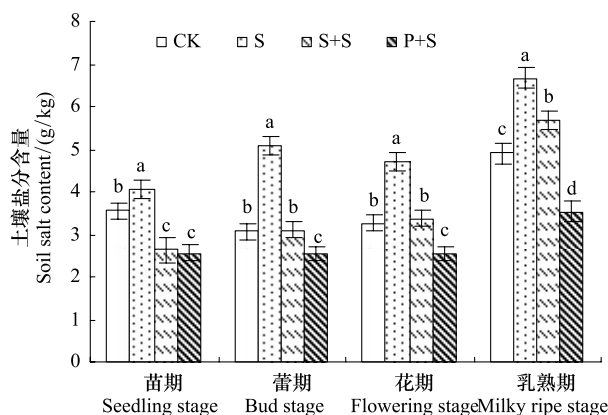


图2 不同时期0—40 cm 土层盐分含量

Fig. 2 Soil salt content of 0—40cm layer in the different stages

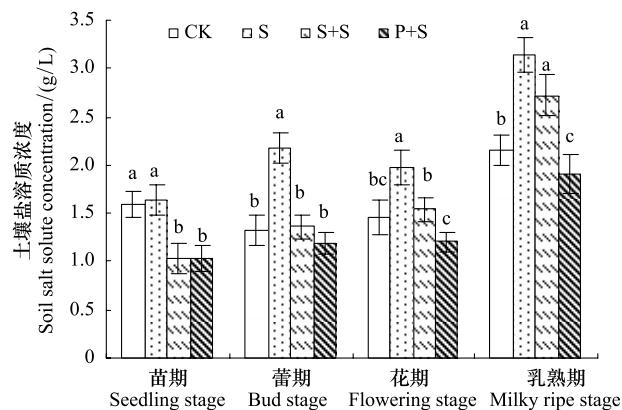


图3 不同时期0—40 cm 土层盐溶质浓度

Fig. 3 Soil salt solute concentration of 0—40cm layer in the different stages

2.2 秸秆隔层对食葵光合特性的影响

2.2.1 净光合速率

由于不同处理对0—40 cm 土层水盐运移调控程度不同,食葵净光合速率(P_n)也随之发生变化(表2)。其中,P+S 能在食葵关键生育期提高 P_n ,在苗期、蕾期和花期,其 P_n 分别比 CK 高 4.89%、2.29% 和 3.70%。由于 P+S 生育期提前了 2—3 d,其 P_n 在乳熟期略低于 CK,但不显著,且此时食葵灌浆已基本完成,对产量的形成影响不大。S+S 的 P_n 表现趋势与 P+S 相同,在苗期、蕾期和花期分别比 CK 高 1.32%、2.11% 和 1.67%,但其 P_n 均低于 P+S,表明 S+S 对提高 P_n 的效果不如 P+S 明显。而 S 的 P_n 仅在苗期比 CK 高 1.17%,蕾期、花期和乳熟期分别比 CK 低 4.03%、0.26% 和 1.29%,对提高 P_n 的作用时期较短。

从作用时期看,P+S 对食葵 P_n 的提升效果主要体现在苗期、蕾期和花期,其中苗期尤为明显。这与其对水盐调控结果的趋势基本一致,进一步说明 P+S 在食葵生长前期可起到保墒控盐的作用,从而有效地降低了水盐胁迫对 P_n 的影响。

2.2.2 气孔导度

对各处理食葵气孔导度(G_s)的分析结果(表2)与 P_n 一致。P+S 和 S+S 在苗期、蕾期和花期的 G_s 均显著高于 CK,乳熟期由于土壤水分含量降低,水分胁迫下气孔关闭, G_s 降低,显著低于 CK。S 在苗期 G_s 与 CK 差异不大,后期土壤盐溶质浓度较高,胁迫较严重, G_s 显著低于 CK。这表现出与水盐动态相同态势,说明食葵在受到水分和盐分胁迫时气孔关闭,极显著地降低了 G_s ,对 P_n 造成负面影响。

2.2.3 胞间 CO_2 浓度

由表2可知,食葵生育期内胞间 CO_2 浓度(C_i)的变化情况与 P_n 和 G_s 相反。在苗期、蕾期和花期,食葵的 C_i 表现为:S>CK>P+S>S+S,乳熟期 C_i 表现为:P+S>S+S>S>CK。由此可见,受水分、盐分或二者双重胁迫程度较大的处理, C_i 也最高, P_n 有所降低。这表明当土壤盐分含量过高或者水分含量过低时,叶肉细胞利用 CO_2 的能力降低,导致 C_i 增加,从而降低了食葵的 P_n 。

2.2.4 蒸腾速率

在食葵生育期内,蒸腾速率(T_r)表现出与 G_s 相似的变化趋势(表2)。在苗期、蕾期和花期,食葵的 T_r 表现为:P+S>S+S>CK>S,乳熟期 T_r 表现为:CK>P+S>S+S>S。食葵的 T_r 受气孔大小调节, G_s 较高, T_r 也较大,从而加速了土壤水分散失速度,故而导致 P+S 和 S+S 处理水分含量下降。当土壤水分含量减少和盐分含量增加时,食葵可通过自身调节机制,关闭气孔, G_s 减小,因而 T_r 下降。

2.2.5 叶片水分利用效率

从表 2 可以看出,食葵的叶片水分利用效率(LWUE)呈现先降后增的趋势。从苗期到蕾期,LWUE 逐渐降低,而花期和乳熟期又迅速上升。在苗期,S、S+S 和 P+S 的土壤水分含量均高于 CK,但 S 的盐分含量也较高,形成一定程度的盐分胁迫,导致 T_r 降低,从而使 LWUE 高于其它处理,但不显著;从蕾期开始,P+S 受水分胁迫,S 和 S+S 受水分胁迫的同时还受盐分胁迫, T_r 迅速降低,LWUE 不断提高,到了乳熟期,三者的 LWUE 显著高于 CK。由此表明,随着土壤水分含量的减少和盐分含量的增加,以及 P_n 的迅速下降,食葵主要通过降低 T_r 来提高 LWUE,尤其在受到水分胁迫严重时表现较为明显。

表 2 不同时期食葵光合参数

Table 2 Photosynthetic parameters of sunflower in the different stages

生 育 期 Growth stages	处 理 Treatments	净光合速率(P_n) Net photosynthesis rate /($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度(G_s) Stomatal conductance /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度(C_i) Intercellular CO_2 concentration /($\text{mmolCO}_2/\text{mol}$)	蒸腾速率(T_r) Transpiration rate /($\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	叶片水分利用效率 (LWUE) Leaf water use efficiency /($\mu\text{molCO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$)
苗期 Seedling stage	CK	40.37±0.80 Ab	2.17±0.06 Bb	293.20±3.11 Aa	15.91±0.19 Aab	2.54±0.15 Aa
	S	40.84±0.71 Ab	2.20±0.07 Bb	295.6±5.69 Aa	15.40±0.10 Ab	2.65±0.06 Aa
	S+S	40.90±0.91 Aab	2.22±0.08 Bb	282.38±7.09 Ab	15.82±0.61 Aab	2.59±0.06 Aa
	P+S	42.34±0.61 Aa	2.67±0.07 Aa	283.03±2.80 Ab	16.28±0.37 Aa	2.60±0.06 Aa
蕾期 Bud stage	CK	30.57±0.76 Aab	1.39±0.05 Cc	285.49±5.01 Aab	14.69±0.41 Aab	2.08±0.06 Aa
	S	29.34±0.91 Ab	1.23±0.06 Cd	290.96±7.54 Aa	14.43±0.66 Ab	2.04±0.10 Aa
	S+S	31.22±1.25 Aa	1.59±0.09 Bb	279.56±4.94 Ab	14.75±0.25 Aab	2.12±0.05 Aa
	P+S	31.27±0.79 Aa	2.02±0.04 Aa	282.87±4.36 Aab	15.53±0.81 Aa	2.02±0.16 Aa
花期 Flowering stage	CK	29.87±0.91 Aa	1.65±0.03 Bb	282.80±7.01 Aab	9.79±0.37 Aab	3.05±0.20 Aa
	S	29.79±0.96 Aa	1.52±0.04 Cc	285.76±1.45 Aa	10.11±0.07 Ab	2.95±0.08 Aa
	S+S	30.37±0.79 Aa	1.69±0.02 Bb	272.79±7.31 Ab	10.15±0.05 Aab	2.99±0.07 Aa
	P+S	30.97±0.45 Aa	1.79±0.04 Aa	282.88±4.01 Aab	10.29±0.13 Aa	3.01±0.04 Aa
乳熟期 Milky ripe stage	CK	28.76±1.09 Aa	0.86±0.06 Aa	315.31±7.05 Ab	6.21±0.17 Aa	4.43±0.41 Bb
	S	27.94±1.14 Aa	0.68±0.05 Bb	317.70±4.12 Ab	5.27±0.55 Ab	5.03±0.22 Aa
	S+S	28.09±0.80 Aa	0.73±0.07 ABb	320.80±5.92 Aab	5.39±0.47 Ab	5.23±0.26 Aa
	P+S	28.39±1.01 Aa	0.77±0.05 ABb	329.31±7.01 Aa	5.39±0.38 Ab	5.31±0.25 Aa

同列不同小写和大写字母分别表示处理间差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$);CK:通常措施;S: 秸秆深埋;S+S:上秸下秸; P+S:上膜下秸

2.3 秸秆隔层对食葵农艺性状的影响

图 4 是食葵生育期内株高、茎粗、叶面积和地上部干物质质量动态变化情况。与 CK 相比,P+S 长势较好,尤其苗期生长较为迅速,其株高、茎粗和地上部干物质质量均显著高于 CK,平均比 CK 高 4.23%、22.87% 和 16.22%。由于 P+S 的生育期较其它处理提前 3—5 d,其叶面积在生长前期也平均比 CK 高 17.82%,乳熟期略低于 CK。S+S 在苗期和蕾期的长势优于 CK,地上部干物质质量显著也高于 CK,但株高、茎粗和叶面积与 CK 差异不显著;花期和乳熟期生长态势减缓,株高、叶面积和地上部干物质质量显著小于 CK。S 在整个生育期内长势最差,地上部干物质也较少,显著弱于 CK。这表明 P+S 处理能促进食葵生长发育,增加干物质积累量,进而实现增产,其效果明显优于其它处理。

3 讨论与结论

3.1 讨论

以往研究表明^[5,11-14],在盐碱耕地上,地表覆盖能使土表和空气接触面减小,提高保水性和抑盐性;地下铺设秸秆层能破坏土壤毛细管的连续性,降低深层土壤的水分蒸发,从而抑制盐分表聚。本试验结果显示,P+S 控抑盐效果较好,体现了地表覆盖与秸秆层的控盐抑盐和蓄水保墒作用,且效果显著优于 S+S。这是由于 P+S 和 S+S 均铺设了秸秆层,减弱了土壤毛管作用,将底土层盐分控制在秸秆层以下土层,其中 P+S 覆盖的地膜在地表形成不透气的阻隔层,使土壤水分垂直蒸发受阻,蒸发速率减缓,无效蒸发减少^[17],土壤水利用效

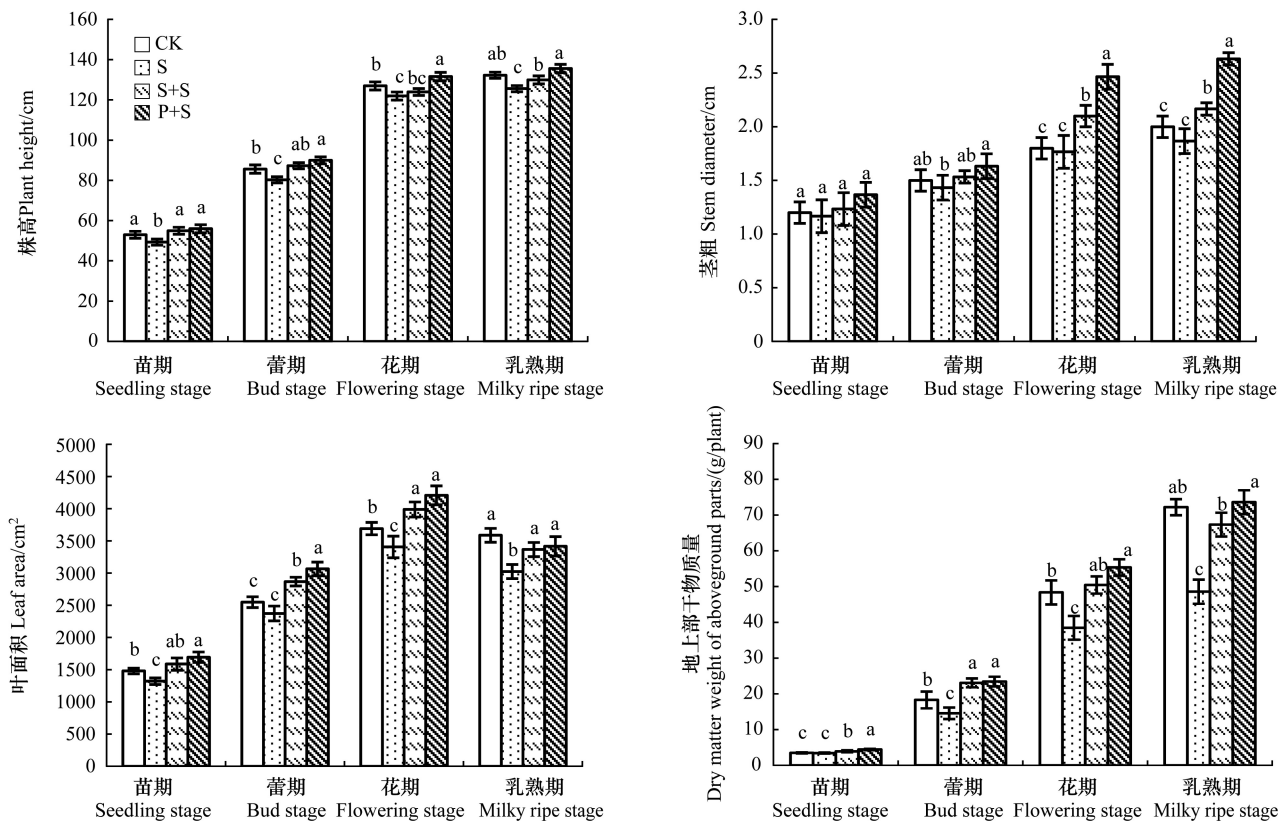


图4 不同时期食葵的农艺性状动态

Fig. 4 Agronomic characteristic dynamics of sunflower in the different stages

率较高,而 S+S 覆盖秸秆的土壤蒸发量相对较大,返盐较快,因而其抑盐效果也较差。

在本试验中,P+S 的 0—40 cm 土层水分含量从蕾期开始不断减少,这是由于其食葵生长旺盛(图4),植株蒸腾作用强烈(表2),水分消耗较大,同时秸秆层阻断了底土层水分的上升,降水补给量也不足,导致后期水分含量下降。但试验结果表明,P+S 的盐分含量较低,为食葵的生长提供了较低的土壤盐溶质浓度环境。S+S 的土壤水分含量在生长后期不断下降,而盐分含量上升也较快,其土壤盐溶质浓度显著高于 P+S,对食葵生长后期不利。S 在蕾期和花期水分含量最高,这可能是由于其植株长势较弱,对水分消耗量较小,加之对降水的接收能力相对较强,但其盐分含量也最高,严重抑制了食葵生长发育。CK 由于无秸秆层,底层土壤水能向上供给,水分含量相对稳定,但盐分含量始终高于 P+S。

光合作用是作物生产力高低的决定因素和对环境胁迫程度的反应指标^[18-19],土壤水分过低或盐分过高都会降低作物的 P_n ^[20-21]。同时, P_n 也受 G_s 和叶肉细胞光合能力高低的调控^[22-25], P_n 和 Tr 的耦合过程决定了 LWUE 和作物能量转化效率的高低^[26-27]。本试验结果显示,食葵在各时期 P_n 、 G_s 和 Tr 与土壤水分、盐分含量变化趋势相同,但 C_i 表现出不同的变化趋势。各时期导致食葵 P_n 降低的原因不同,苗期 P_n 与土壤水分含量有关,P+S、S+S 和 S 的水分含量均显著高于 CK,三者的 P_n 、 G_s 和 Tr 均高于 CK,而 C_i 低于 CK,表明此时 P_n 降低主要是由水分胁迫引起;蕾期、花期和乳熟期, P_n 随土壤水分含量的降低和盐分含量的升高而降低, G_s 和 Tr 也呈不同程度降低,而 C_i 先降后增,表明此时 P_n 降低由水分和盐分胁迫共同造成。另外,在本试验中,食葵生长前期各处理间 LWUE 差异不显著,后期水盐胁迫加剧时气孔关闭, Tr 下降幅度大于 P_n ,从而使 LWUE 升高,且 LWUE 与胁迫程度关系密切,这与刘瑞显等^[18]对棉花的研究结果一致。

在本试验中,P+S 在食葵生长前期土壤水分含量充足,尽管后期有所降低,但其盐分含量较低,为食葵生长提供了较低的土壤盐溶质浓度环境,提高了 P_n ,整个生育期内保持了较好的生长态势和干物质积累。S+S 在苗期和蕾期长势仅次于 P+S,但从花期开始,土壤水分减少的同时盐分含量也不断增加,土壤盐溶质浓度升

高,致使 P_n 降低,食葵长势减缓,影响了干物质积累。S 在生育期内受盐分胁迫严重,后期还受水分胁迫, P_n 较低,食葵长势较弱,干物质积累量也较少。

3.2 结论

(1)不同措施对土壤水盐调控的效果与作用时期差异较大。P+S 在整个生育期内 0—40 cm 土层盐分含量和土壤盐溶质浓度较低,控盐效果极为突出,明显优于其它处理。S+S 只能在苗期保墒控盐,且控盐效果比 P+S 差,生育后期水减盐增,土壤盐溶质浓度上升较快。S 在整个生育期内盐分含量最高,控盐效果不佳,土壤盐溶质浓度较大。CK 在整个生育期内土壤水分含量变化不大,而盐分含量较高,控盐效果也不明显。

(2)不同耕作措施对土壤水分和盐分有不同程度的调控作用,并通过改变土壤水盐动态而影响了食葵的光合特性和生长状况。与 CK、S、S+S 相比,P+S 由于其较低的盐溶质浓度环境,明显改善了其光合特性,在苗期、蕾期和花期能提高净光合速率(P_n)和蒸腾速率(Tr),增加气孔导度(G_s),降低胞间 CO_2 浓度(C_i)。另外,P+S 促进了食葵生长发育,长势较好,干物质积累较多,明显优于其它处理。S+S 在生长前期也能促进食葵生长发育,效果不如 P+S 显著,但后期长势减缓,干物质积累也减少。S 抑制了食葵生长发育,在整个生育期内生长缓慢,长势比 CK 差,干物质积累较少。

(3)综合试验结果,P+S 是内蒙古河套灌区盐碱地改良中优选的技术措施。

References:

- [1] Yang J S. Development and prospect of the research on salt-affected soils in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 837-845.
- [2] Lei T W, Issac S, Yuan P J, Huang X F, Yang P L. Strategic considerations of efficient irrigation and salinity control on Hetao Plain in Inner Mongolia. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2001, 17(1): 48-52.
- [3] Liu G M, Yang J S, Lü Z Z, Yu S P, He L D. Effects of different adjustment measures on improvement of light-moderate saline soils and crop yield. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(9): 164-169.
- [4] Barter-Lennard E G. Restoration of saline land through revegetation. *A cultural Water Management*, 2002, 53(1/3): 213-226.
- [5] Deng L Q, Chen M D, Liu Z P, Shen Q R, Wang H J, Wang J H. Effects of different ground covers on soil physical properties and crop growth on saline-alkaline soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(2): 93-97.
- [6] Bi Y J, Wang Q J, Xue J. Effects of ground coverage measure and water quality on soil water salinity distribution and helianthus yield. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(S1): 83-89.
- [7] Li X J, Zhang Z G, Liu X L, Li Y C. Effects of straw mulch on soil water and salt moving. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition*, 2000, 31(1): 38-40.
- [8] Chen S Y, Zhang X Y, Pei D, Sun H Y, Chen S L. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. *Annals of Applied Biology*, 2007, 150(3): 261-268.
- [9] Mulumba L N, Lal R. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 2008, (1): 106-111.
- [10] Rooney D J, Brown K W, Thomas J C. Effectiveness of capillary barriers to hydraulically isolate salt contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1998, 104(3/4): 403-411.
- [11] Shi W J, Shen B, Wang Z R, Zhang J F. Water and salt transport in sand-layered soil under evaporation with the shallow under ground water table. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(9): 23-26.
- [12] Qiao H L, Liu X J, Li W Q, Huang W, Li C Z, Li Z G. Effect of deep straw mulching on soil water and salt movement and wheat growth. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(5): 885-889.
- [13] Qiao H L, Liu X J, Li W Q, Huang W. Effects of straw deep mulching on soil moisture infiltration and evaporation. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(2): 34-38.
- [14] Tumarbay H D, Wu X C, Di L D. The experimental studies of soil water and salt movement under the condition of straw mulch in different locations. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2006, 25(1): 34-37.
- [15] Chi B L, Pang J M, Jiao X Y. Effects of residue mulch methods in control of salinization in root zone. *Journal of Shanxin Agricultural University: Natural Science Edition*, 1994, 14(4): 440-443.
- [16] Pang H C, Li Y Y, Yang J S, Liang Y S. Effect of brackish water irrigation and straw mulching on soil salinity and crop yields under monsoonal climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 2010, 9(12): 1971-1977.
- [17] Yuan X F, Wu P T, Wang Y K. Study on the effect of irrigation under plastic preservation of soil moisture on soil and crop. *Journal of Irrigation*

and Drainage, 2008, 28(2): 525-533.

- [18] Liu R X, Guo W Q, Chen B L, Zhou Z G. Physiological responses of cotton plant to fertilizer nitrogen at flowering and boll-forming stages under soil drought. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1475-1482.
- [19] Gao F, Jia Z K, Lu W T, Han Q F, Yang B P, Hou X Q. Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(3): 777-783.
- [20] Yang J, Yang M X, Dong B D, Qiao Y Z, Shi C H, Zhai H M, Liu M Y. Research progress in soil water/salt dynamics and crop growth under saline water irrigation. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(4): 976-981.
- [21] Munns R. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypo theses. Plant Cell and Environment, 1993, 16(1): 15-24.
- [22] Yu G R, Zhuang J, Yu Z L. An attempt to establish a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior for maize and soybean plants grown in field. Journal of Plant Physiology, 2001, 158(7): 861-874.
- [23] Yu G R, Nakayama K, Matsuoka N, Kon H. A combination model for estimating stomatal conductance of maize (*Zea mays* L.) leaves over a long term. Agricultural and Forest Meteorology, 1998, 92(1): 9-28.
- [24] Nepomuceno A L, Osterhuis D M, Stewart J M. Physiological responses of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. Environment Experimental Botany, 1998, 40(1): 29-41.
- [25] Farquhar G D, Skarkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(1): 317-345.
- [26] Shan L. Water use efficiency // Zou C L, ed. Present Biology. Beijing: Chinese Zhigong Press, 2000: 399-400.
- [27] Wang J L, Yu G R, Fang Q X, Jiang D F, Qi H, Wang Q F. Responses of water use efficiency of nine plant species to light and CO₂ and it's modeling. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 525-533.

参考文献:

- [1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.
- [2] 雷廷武, Issac S, 袁普金, 黄兴法, 杨培岭. 内蒙古河套灌区有效灌溉及盐碱控制的战略思考. 农业工程学报, 2001, 17(1): 48-52.
- [3] 刘广明, 杨劲松, 吕真真, 余世鹏, 何丽丹. 不同调控措施对轻中度盐碱土壤的改良增产效应. 农业工程学报, 2011, 27(9): 164-169.
- [5] 邓力群, 陈铭达, 刘兆普, 沈其荣, 王洪军, 王建华. 地面覆盖对盐渍土水盐运移及作物生长的影响. 土壤通报, 2003, 34(2): 93-97.
- [6] 毕远杰, 王全九, 雪静. 覆盖及水质对土壤水盐状况及油葵产量的影响. 农业工程学报, 2010, 26(13): 83-89.
- [7] 李新举, 张志国, 刘勋岭, 李永昌. 秸秆覆盖对土壤水盐运动的影响. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2000, 31(1): 38-40.
- [11] 史文娟, 沈冰, 汪志荣, 张建丰. 蒸发条件下浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究. 农业工程学报, 2005, 21(9): 23-26.
- [12] 乔海龙, 刘小京, 李伟强, 黄玮, 李存桢, 李志刚. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响. 土壤通报, 2006, 37(5): 885-889.
- [13] 乔海龙, 刘小京, 李伟强, 黄玮. 秸秆深层覆盖对水分入渗及蒸发的影响. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 34-38.
- [14] 虎胆·吐马尔白, 吴旭春, 迪力达. 不同位置秸秆覆盖条件下土壤水盐运动实验研究. 灌溉排水学报, 2006, 25(1): 34-37.
- [15] 池宝亮, 庞金梅, 焦晓燕. 秸秆不同覆盖方式在控制根层盐化中的作用. 山西农业大学学报: 自然科学版, 1994, 14(4): 440-443.
- [17] 员学锋, 吴普特, 汪有科. 地膜覆盖保墒灌溉的土壤水、热以及作物效应研究. 灌溉排水学报, 2006, 25(1): 25-29.
- [18] 刘瑞显, 郭文琦, 陈兵林, 周治国. 干旱条件下花铃期棉花对氮素的生理响应. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1475-1482.
- [19] 高飞, 贾志宽, 路文涛, 韩清芳, 杨宝平, 侯贤清. 秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响. 生态学报, 2011, 31(3): 777-783.
- [20] 杨静, 杨明欣, 董宝娣, 乔匀周, 师长海, 翟红梅, 刘孟雨. 咸水灌溉下土壤水盐动态和作物生长研究进展. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 976-981.
- [27] 王建林, 于贵瑞, 房全孝, 姜德锋, 齐华, 王秋风. 不同植物叶片水分利用效率对光和 CO₂ 的响应与模拟. 生态学报, 2008, 28(2): 525-533.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 17 Sep. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The overview and prospect of chemical composition of plant cuticular wax ZENG Qiong, LIU Dechun, LIU Yong (5133)
- Research progresses in carbon budget and carbon cycle of the coastal salt marshes in China
..... CAO Lei, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (5141)

Autecology & Fundamentals

- Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils
..... ZHAO Yonggan, PANG Huancheng, LI Yuyi, et al (5153)
- Adaptations of dimorphic seeds and seedlings of *Suaeda salsa* to saline environments
..... LIU Yan, ZHOU Jiachao, ZHANG Xiaodong, et al (5162)
- Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress
..... DING Hong, ZHANG Zhimeng, DAI Liangxiang, et al (5169)
- The relationship between physiological indexes of apple cultivars and resistance to *Eriosoma lanigerum* in summer
..... WANG Xicun, ZHOU Hongxu, YU Yi, et al (5177)
- Physiological responses of *Salicornia bigelovii* to salt stress during the flowering stage
..... LIU Weicheng, ZHENG Chunfang, CHEN Chen, et al (5184)
- Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild medicinal mushroom *Perenniporia fraxinea*
..... LU Tie, BAU Tolgor (5194)
- The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an
example of slope and aspect BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (5201)
- Effect of different fertilizer combinations and straw return on microbial biomass and nitrogen-fixing bacteria community in a paddy
soil LIU Xiaoqian, TU Shihua, SUN Xifa, et al (5210)
- Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat
..... WANG Lifang, WANG Dexuan, SHANGGUAN Zhouping (5219)
- Effects of EP-1 on spatial memory and anxiety in *Mus musculus* WANG Xiaojia, QIN Tingting, HU Xia, et al (5228)

Population, Community and Ecosystem

- Gap characteristics in the mixed broad-leaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains
..... LIU Shaochong, WANG Jinghua, DUAN Wenbiao, et al (5234)
- Soil nitrogen and phosphorus stoichiometry in a degradation series of *Kobresia humilis* meadows in the Tibetan Plateau
..... LIN Li, LI Yikang, ZHANG Fawei, DU Yangong, et al (5245)
- An analysis of carbon flux partition differences of a mid-subtropical planted coniferous forest in southeastern China
..... HUANG Kun, WANG Shaoqiang, WANG Huimin, et al (5252)
- The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China
..... ZHAO Chengzhang, ZHANG Jing, SHENG Yaping (5266)
- Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan PENG Songyao, LI Xinzhen (5274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of selective cutting on vegetation carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling,
China MU Changcheng, LU Huicui, BAO Xu, et al (5286)
- CO₂ flux in the upland field with corn-rape seed rotation in the karst area of southwest China
..... FANG Bin, LI Xinqing, CHENG Jianzhong, et al (5299)
- Monitoring spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the North Tarim Basin using remote sensing and electromagn-
etic induction instruments YAO Yuan, DING Jianli, LEI Lei, et al (5308)
- Methane and nitrous oxide fluxes in temperate secondary forest and larch plantation in Northeastern China
..... SUN Hailong, ZHANG Yandong, WU Shiyi (5320)
- Butterfly diversity and vertical distribution in eastern Tianshan Mountain in Xinjiang
..... ZHANG Xin, HU Hongying, LÜ Zhaozhi (5329)

- Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors CAI Fu, ZHOU Guangsheng, MING Huiqing, et al (5339)
- The response process to extreme climate events of the household compound system in the northern slope of Tianshan Mountain LI Xiliang, HOU Xiangyang, DING Yong, et al (5353)
- Analysis on spatial-temporal heterogeneities of landscape fragmentation in urban fringe area; a case study in Shunyi district of Beijing LI Can, ZHANG Fengrong, ZHU Taifeng, et al (5363)
- Resource and Industrial Ecology**
- CPUE Standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery based on generalized linear Bayesian models LU Huajie, CHEN Xinjun, CAO Jie (5375)
- Spatial-temporal differentiation of water quality in Gufu River of Three Gorges Reservoir RAN Guihua, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (5385)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region; case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province ZHAO Xueyan, MAO Xiaowen (5397)
- Research Notes**
- The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea DU Mingmin, LIU Zhensheng, WANG Chunsheng, et al (5407)
- Immunotoxicity of marine pollutants on the clam *Ruditapes philippinarum* DING Jianfeng, YAN Xiwu, ZHAO Liqiang, et al (5419)
- Influence of submerged macrophytes on phosphorus transference between sediment and overlying water in decomposition period WANG Lizhi, WANG Guoxiang (5426)
- Distribution patterns of alien herbs in the Yiluo River basin GUO Yili, DING Shengyan, SU Si, et al (5438)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 张利权

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

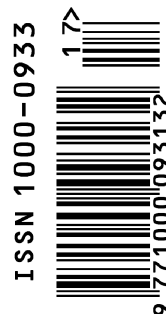
第 33 卷 第 17 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 17 (September, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元