

# 盐碱胁迫下海稻 86 土壤养分吸收特征及其对盐碱土壤“植物修复”效果

赵记伍<sup>1</sup>, 成云峰<sup>2</sup>, 向永玲<sup>1</sup>, 黄 意<sup>1</sup>, 曹 艳<sup>1</sup>, 王晓玲<sup>1\*</sup>

(1. 长江大学农学院, 湖北 荆州 434025; 2. 武汉海稻国际生物科技有限公司, 武汉 430205)

**摘 要:**采用盆栽试验方法,以黄华占为对照,以自然碱土及配制盐土为载体,研究种植海稻 86 前后土壤养分含量、pH 值及土壤全盐含量变化特征。结果表明:盐胁迫下海稻 86 对速效磷吸收增加,速效钾吸收减少,对碱解氮和有机质的吸收无显著变化;碱胁迫下海稻 86 对碱解氮和速效磷吸收量增加,速效钾吸收量减少,有机质无显著变化。与黄华占相比,盐、碱胁迫下海稻 86 对土壤速效磷吸收量均更高,在本试验最高盐胁迫(土壤全盐含量为 11.78 g/kg)下,海稻 86 对土壤速效磷吸收量较黄华占高 57.11%。海稻 86 具有降盐碱的效果,与黄华占相比,海稻 86 未表现出显著降碱优势,在高盐度土壤中,海稻 86 降盐效果显著。

**关键词:**海稻 86; 盐胁迫; 碱胁迫; 土壤养分; 植物修复

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)03-0099-04

## Characteristics of Soil Nutrient Uptake and Phytoremediation Effect of Ocean-rice 86 under Saline and Alkaline Stress

ZHAO Jiwu<sup>1</sup>, CHENG Yunfeng<sup>2</sup>, XIANG Yongling<sup>1</sup>, HUANG Yi<sup>1</sup>, CAO Yan<sup>1</sup>, WANG Xiaoling<sup>1\*</sup>

(1. College of Agronomy, Yangtze University, Jingzhou 434025; 2. Wuhan Oceanrice International Biotech Co., Ltd, Wuhan 430205, China)

**Abstract:** The pot experiment was used to study the changes of soil nutrient content, pH value and total salt content before and after planting Oceanrice 86 under salt and alkali stress with Huanghuazhan as control. The results showed that: Under salt stress, the absorption of available phosphorus of Oceanrice 86 increased and the available potassium inhibited significantly, but available nitrogen and organic matter utilization was not significant. However, Under alkali stress, the uptake of available nitrogen and available phosphorus of Oceanrice 86 increased compared with the control, while the available potassium decreased, organic matter showed no difference. Compared with Huanghuazhan, Oceanrice 86 showed stronger ability to absorb available phosphorus under salt and alkali stress, The absorption of available phosphorus of Oceanrice 86 was 57.11% higher than that of Huanghuazhan under the most severe salt stress (total salt content of soil was 11.78 g/kg) in the experiment. The salinity of saline soil and alkalinity of alkaline soil can be reduced by Oceanrice 86. Compared with Huanghuazhan, the superiority of Oceanrice 86 in reducing soil alkalinity was not significant in the experimental alkaline soil, but significant on reduce soil salinity.

**Key words:** Oceanrice 86; Salt stress; Alkali stress; Soil nutrient; Phytoremediation

土壤盐碱化实质是土壤中可溶性盐积累值超过正常值,通常将可溶性盐含量超过 2 g/kg 土壤定义为盐土,代换性钠离子占可溶性阳离子的比例大于 20%,土壤 pH>8 的土壤定义为碱土<sup>[1-3]</sup>,自

然环境中盐、碱土常混合存在,称为盐碱土<sup>[4]</sup>。水稻是最重要的粮食作物之一,同时也是对盐敏感的谷类作物<sup>[5]</sup>,土壤盐碱化对水稻生产危害严重。土壤盐碱化一方面表现为土壤盐分增加及 pH 值上升,另一方面是土壤盐碱化造成土壤养分失衡。氮、磷、钾是作物生长发育所必需的营养元素,土壤盐碱化会导致土壤氮、磷、钾养分失衡,有效性下降,从而危害水稻生长发育<sup>[6]</sup>。研究表明,增施磷肥可以缓解高盐对植物的伤害<sup>[7]</sup>。盐碱地改良可以减轻土壤盐碱化对水稻生产带来的

收稿日期: 2019-12-14

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0301306)

作者简介: 赵记伍(1993-),男,在读硕士,研究方向: 作物逆境生理生态。

通讯作者: 王晓玲,女,硕士,教授, E-mail: wangxl309@yangtzeu.edu.cn

危害,化学改良是目前盐碱地改良最有效的方法<sup>[8-9]</sup>,但是化学改良成本很高,通过植物辅助的方法可改善盐碱地土壤,也称为“植物修复”<sup>[10-11]</sup>。盐碱土种植耐盐碱作物,不仅能有效利用土地资源,同时也能对盐碱土进行修复,促进盐碱地土壤改良。利用植物改良盐碱土的方法原理是植物根系提高CaCO<sub>3</sub>的溶解速率,提高土壤溶液中Ca<sup>2+</sup>的水平,从而从阳离子交换络合物中置换出Na<sup>+</sup>,这一过程是由根区CO<sub>2</sub>的分压驱动的,向根区释放H<sup>+</sup>,置换下来的Na<sup>+</sup>用灌溉水滤去,或经一些能吸收并积累Na<sup>+</sup>的植物,通过地上部分收获去除Na<sup>+</sup><sup>[10]</sup>。盐地碱蓬、盐角草、盐爪等吸盐植物具有较强的吸盐能力,可通过收获地上部植株带走土壤盐分<sup>[11-13]</sup>,种植耐盐植物能降低盐碱土壤中的盐分及pH值,增加土壤有机质和养分,土壤中的Na<sup>+</sup>含量降低,Ca<sup>2+</sup>含量上升<sup>[14]</sup>。利用植物改良盐碱土的关键是找到耐盐碱的植物类型。

海稻86是陈日胜专家发现的新型耐盐碱水稻品种,为研究海稻86在盐、碱胁迫下土壤养分吸收特征及对盐、碱土“植物修复”效果,本试验以自然碱土和配制盐土为载体,研究种稻前后土壤养分含量及盐碱特征变化,为更好开发利用海稻86耐性基因提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试水稻品种为海稻86,对照品种为黄华占(不耐盐水稻品种),均由武汉海稻国际生物科技有限公司提供。试验于2018年在长江大学农学院试验基地进行。

### 1.2 试验设计与方法

采用盆栽试验方法,设置盐胁迫及碱胁迫试验。

(1)盐胁迫试验:人工配制盐土,设置5个海盐质量分数处理S<sub>1</sub>~S<sub>5</sub>,分别为0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%。盐土配制方法:在风干土中拌入海盐,风干土为荆州水稻土,取自土壤耕层0~20 cm,每盆装入风干土10 kg(盆规格:上下口径分别为33、30 cm,高27 cm),加入6 g复合肥(25-10-16,总养分≥51%),根据相应的海盐质量分数加入对应质量的海盐,充分拌匀,灌入淡水泡土,水面距盆口2 cm,确保无水溢出,泡土7 d。

以不加海盐为对照,记为S<sub>CK</sub>。供试土壤pH值、全盐含量及养分含量见表1。3次重复,每重复3盆,每盆10穴,每穴1株。

(2)碱胁迫试验:采集自然碱土(黑龙江盐碱区土壤),记为S<sub>A</sub>。

表1 供试土壤pH值、全盐含量及养分含量

处理	pH值	全盐含量(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)
S <sub>CK</sub>	7.54b	0.62e	64.22a	17.54d	94.33b	18.81a
S <sub>1</sub>	7.60b	4.63d	59.93a	22.1cd	72.45d	18.79a
S <sub>2</sub>	7.61b	7.13c	59.83a	27.44bc	74.06d	18.29a
S <sub>3</sub>	7.57b	8.55bc	63.19a	28.94ab	78.24cd	18.86a
S <sub>4</sub>	7.47b	9.33b	60.98a	28.76ab	73.42d	17.71a
S <sub>5</sub>	7.51b	11.78a	68.41a	33.68a	82.10c	18.56a
S <sub>A</sub>	9.06a	0.92e	61.56a	17.12d	119.42a	7.45b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同

早育秧技术育苗,育秧土为荆州水稻土,试验于6月12日播种,秧龄25 d时选素质一致的秧苗移栽,根系用清水洗净,防止根系带土中和土壤盐分,盆栽全程置于防雨棚中。移栽后进行统一肥水管理,使用淡水进行灌水,灌溉要求无水溢出,防止盐分流失。

### 1.3 测定指标与方法

土壤养分含量测定:种植前和收获后,重复内3盆土壤每盆均匀选3个点取土,混匀。检测土壤碱解氮、速效磷、速效钾及有机质含量。碱解氮采用1 mol/L NaOH-扩散法,速效磷采用0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>-钼锑抗比色法,速效钾采用1 mol/L

NH<sub>4</sub>OAc-火焰光度法,土壤有机质采用0.8 mol/L K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-外热法<sup>[15]</sup>。

土壤盐碱特征测定:种植前和收获后,重复内3盆土壤每盆均匀选3个点取土,混匀。检测土壤pH值及全盐含量。pH值采用电位法测定,土壤可溶性盐采用5:1水土比浸提-残渣法<sup>[15]</sup>。

计算种稻前后土壤养分含量、pH值及全盐含量变化差值。计算公式为: $dX = \text{种稻前}X - \text{种稻后}X$ 。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2016、DPS 7.05统计软件对数据进行相关处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐、碱胁迫下种稻前后土壤养分含量变化

#### 2.1.1 盐胁迫

非盐土加入海盐后,土壤碱解氮及有机质含量较加盐前无显著差异,土壤速效磷含量除 $S_1$ 外,

随土壤盐含量增加呈显著上升趋势,土壤速效钾含量较加盐前显著降低(表1)。

由表2可知,种植海稻86或黄华占后,随土壤全盐含量上升,土壤碱解氮及有机质含量种稻前后差值无显著差异( $P>0.05$ )。

对照条件下,种植海稻86后土壤速效磷含量

表2 盐胁迫下种稻前后土壤养分含量差值

处理	$d$ 碱解氮(mg/kg)		$d$ 速效磷(mg/kg)		$d$ 速效钾(mg/kg)		$d$ 有机质(g/kg)	
	海稻86	黄华占	海稻86	黄华占	海稻86	黄华占	海稻86	黄华占
$S_{CK}$	10.40a	6.47ab	10.62bc	7.74c	50.63a	41.17a	1.32a	1.90ab
$S_1$	6.91a	7.84ab	10.02c	8.94bc	29.45b	20.91b	1.16a	2.17ab
$S_2$	10.40a	10.14ab	14.94ab	13.53a	19.30bc	17.05bc	0.62a	1.84ab
$S_3$	12.94a	12.35a	16.92a	15.48a	25.73b	10.62cd	2.25a	2.67a
$S_4$	4.16a	5.31b	17.52a	14.52a	10.29cd	3.86d	0.92a	1.46b
$S_5$	7.66a	7.63ab	19.56a	12.45ab	5.15d	4.04d	2.31a	1.97ab
$F$ 值	1.14	1.59	6.48**	7.23**	22.78**	25.81**	1.42	2.16

注:“\*\*”表示0.01水平显著差异

较种稻前降低10.62 mg/kg,盐胁迫条件下,随着土壤全盐含量上升, $d$ 速效磷值呈上升趋势, $S_5$ 为19.56 mg/kg,较对照差异显著;黄华占在对照条件下 $d$ 速效磷值为7.74 mg/kg, $S_3$ 为15.48 mg/kg,之后随着土壤盐含量增加, $d$ 速效磷开始下降, $S_5$ 为12.45 mg/kg,与黄华占相比,种植海稻86土壤速效磷含量较种稻前差值较大,在 $S_5$ 条件下,海稻86  $d$ 速效磷值较黄华占高57.11%。

对照条件下,种植海稻86后土壤速效钾含量降低50.63 mg/kg,盐胁迫条件下,随着土壤全盐含量上升, $d$ 速效钾值呈下降趋势,在 $S_5$ 条件下为5.15 mg/kg;黄华占在对照条件下, $d$ 速效钾值为41.17 mg/kg,在 $S_5$ 条件下为4.04 mg/kg,与黄华占相比,海稻86土壤速效钾较种稻前差值较大,在 $S_5$ 条件下,海稻86  $d$ 速效钾值较黄华占高27.48%。

综上,盐胁迫对海稻86碱解氮及有机质吸收

无显著影响,显著增加海稻86对土壤速效磷的吸收,抑制对土壤速效钾的吸收,与黄华占相比,对照及盐胁迫下,海稻86对土壤速效磷、速效钾吸收能力均较强。

#### 2.1.2 碱胁迫

种稻前,对照土壤与碱性土壤碱解氮与速效磷含量无显著差异,碱性土壤速效钾含量显著高于对照土壤,有机质含量显著低于对照土壤(表1)。

由表3可知,对照土壤种植海稻86与黄华占后,土壤碱解氮含量分别降低10.40、6.47 mg/kg,两者无显著差异;碱性土壤种植海稻86与黄华占后,土壤碱解氮含量分别降低41.23、40.89 mg/kg,两者无显著差异,均较对照条件显著上升。上述结果表明,对照或碱胁迫下,与黄华占相比,海稻86对土壤碱解氮吸收均无显著差异,碱胁迫下,海稻86对土壤碱解氮吸收量增加。

表3 碱胁迫下种稻前后土壤养分含量差值

处理	$d$ 碱解氮(mg/kg)		$d$ 速效磷(mg/kg)		$d$ 速效钾(mg/kg)		$d$ 有机质(g/kg)	
	海稻86	黄华占	海稻86	黄华占	海稻86	黄华占	海稻86	黄华占
$S_{CK}$	10.40b	6.47b	10.68a	7.74b	50.63a	41.17b	1.32a	1.90a
$S_A$	41.23a	40.89a	11.22a	2.28c	21.90c	18.98c	2.11a	1.86a

对照土壤种植海稻86与黄华占后,土壤速效磷含量分别降低10.68、7.74 mg/kg,前者显著高于后者;碱胁迫下,种植海稻86后,土壤速效磷含量降低11.22 mg/kg,与对照无差异显著,种植黄华占后,土壤速效磷含量降低2.28 mg/kg,较对照条件下显著降低5.46 mg/kg。上述结果表明,对照条件

下,与黄华占相比,海稻86对土壤速效磷吸收量较大,碱胁迫下黄华占对土壤速效磷的吸收量降低,海稻86在碱胁迫下能保持较高的速效磷吸收能力。

对照土壤种植海稻86与黄华占后,土壤速效钾含量分别降低50.63、41.17 mg/kg,前者显著高

于后者;碱胁迫下,种植海稻86与黄华占后,土壤速效钾含量分别降低21.90、18.98 mg/kg,两者无显著差异。上述结果表明,碱胁迫下海稻86对土壤速效钾的吸收量降低。

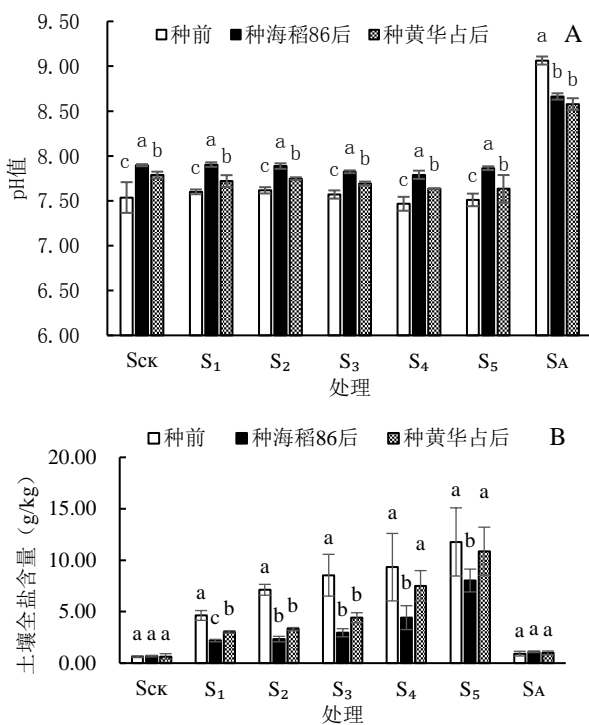
对照土壤种植海稻86与黄华占后,土壤有机质含量分别降低1.32、1.90 g/kg,两者无显著差异;碱胁迫下种植海稻86与黄华占后,土壤有机质含量降低2.11、1.86 g/kg,两者无显著差异,均较对照无显著差异。上述结果表明,碱胁迫对海稻86与黄华占对土壤有机质的吸收无显著影响。

## 2.2 盐、碱胁迫下种稻前后土壤盐碱特征

### 2.2.1 土壤pH值

种稻前对照土壤pH值为7.54,各盐土土壤pH值均与对照土壤无显著差异,在碱土中,种稻前土壤pH值为9.06,显著高于对照土壤(表1)。

由图1A可知,在对照土壤及盐土中,种稻后,各土壤pH值均较种稻前显著上升,种植海稻86后的土壤pH值显著高于种植黄华占后,但增值较低,未超过碱土pH值标准(pH>8);碱土中种植海稻86与黄华占后,土壤pH值分别为8.66、8.58,两者无显著差异,均较种稻前显著下降。上述结果表明,海稻86对碱土有降碱效应,与黄华占相比,碱土中海稻86未表现出显著降碱优势。



注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

图1 种稻前后土壤pH值及全盐含量

### 2.2.2 土壤全盐含量

种稻前对照土壤全盐含量为0.62 g/kg,各盐

土土壤全盐含量均显著高于对照土壤,供试碱土种稻前土壤全盐含量为0.92 g/kg,略高于对照土壤,差异不显著(表1)。

由图1B可知,对照土壤及碱土种稻后,土壤全盐含量无显著变化。在盐土中,种植海稻86后,供试盐土土壤全盐含量均较种稻前显著下降,种植黄华占后,在S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>土壤中,土壤全盐含量较种前显著下降,而在S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub>中较种稻前无显著差异。上述结果表明,非盐土壤种稻后,土壤全盐含量无显著变化;在一定盐度范围,盐土种稻后,土壤全盐含量下降,与黄华占相比,海稻86对较高盐度土壤仍具有降盐效应,降盐效果更显著。

## 3 结论与讨论

土壤盐碱化会造成土壤养分失衡,植株对土壤养分的吸收与土壤中养分含量及其有效性密切相关,同时与植株对土壤养分吸收能力有关<sup>[16-17]</sup>,盐碱胁迫下植株对氮素及磷的吸收受到限制<sup>[7]</sup>。本试验结果表明,盐胁迫下海稻86对土壤养分吸收量表现为碱解氮无显著变化、速效磷增加、速效钾减少、有机质无显著变化,与黄华占相比,海稻86对土壤速效磷及速效钾吸收量均较高;碱胁迫下,海稻86对土壤养分吸收量表现为碱解氮增加、速效磷增加、速效钾减少、有机质无显著变化,与黄华占相比,碱胁迫下海稻86对土壤速效磷吸收能力较强。植物在盐胁迫条件下对磷的需求增加,盐胁迫条件下,根系细胞磷的移动及在植株体内的再分配受到抑制,为维持植物生长发育,需要吸收积累更多的磷,增加磷的供应可提高大麦的耐盐能力<sup>[18-19]</sup>。盐及碱胁迫下,海稻86对土壤速效磷强吸收能力可能是其耐盐碱能力重要因素之一。

植物与土壤存在相互作用关系,盐碱土壤影响植株生长状态,而植物也影响土壤盐碱等性质,研究表明,通过种植盐地碱蓬、苜蓿等能有效降低土壤盐分含量<sup>[4,13]</sup>。随种稻年限的增加,土壤pH值逐年下降,有机质含量、碱解氮(除种稻1年外)、速效磷经改良后均高于对照土壤<sup>[11]</sup>。本试验结果表明,海稻86具有降低土壤盐碱度的效应,与黄华占相比,降碱效应无显著差异,而降盐效应存在显著优势。

本试验采用盆栽试验方法,盆栽土壤盐碱成分稳定,而在实际盐碱地区,由于降雨及蒸发等的影响,土壤盐分含量的变化存在明显季节性循环特点,包括蒸发积盐阶段、高盐(下转第122页)

- 菌的分离与鉴定[J].作物杂志,2017(2):157-162.
- [17] Stephen N W, Stephen B P, John H N, et al. Management of *Fusarium* head blight wheat and barley[J]. Crop Protection, 2015, 73: 100-107.
- [18] 黄冲,姜玉英,吴佳文,等.2018年我国小麦赤霉病重发特点及原因分析[J].植物保护,2019,45(2):160-163.
- [19] 张洪滨,柳金伟,刘秉江,等.山东省小麦赤霉病菌种群组成及其致病力分化[J].植物保护学报,2013,40(1):27-32.
- [20] Wang Y, Liu W, Hou Z, et al. A Novel Transcriptional Factor Important for Pathogenesis and Ascosporeogenesis in *Fusarium graminearum*[J]. Molecular Plant-Microbe Interactions, 2011, 24(1):118-128.
- [21] Yang L, Lee T V D, Yang X, et al. *Fusarium* Populations on Chinese Barley Show a Dramatic Gradient in Mycotoxin Profiles[J]. Phytopathology, 2008, 98(6): 719-727.
- [22] 彭红,吕国强,程家合,等.2018年河南省小麦赤霉病重发特点及原因分析[J].中国植保导刊,2018,38(8):67-70.
- [23] Dong F, Qiu J B, Xu J H, et al. Effect of environmental factors on *Fusarium* population and associated trichothecenes in wheat grain grown in Jiangsu province, China[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 230: 58-63.
- [24] 许苗,冯慧,王淑琛,等.基于环介导等温扩增技术检测江苏省中部地区小麦赤霉病菌的种群组成[J].麦类作物学报,2018,38(4):498-504.
- [25] 潘晓静,陈楠,姚远,等.东北地区小麦赤霉病镰孢菌种群及其致病性测定[J].华北农学报,2015,30(3):205-210.
- [26] 纪莉景.河北省中南部地区小麦赤霉病发生调查及品种抗性和防治研究[D].保定:河北农业大学,2004.
- [27] Zhang H, Van der Lee Theo, Waalwijk Cees, et al. Population Analysis of the *Fusarium graminearum* Species Complex from Wheat in China Show a Shift to More Aggressive Isolates[J]. Plos One, 2012, 7(2): e31722.
- [28] Ji L, Cao K, Hu T, et al. Determination of Deoxynivalenol and Nivalenol Chemotypes of *Fusarium graminearum* Isolates from China by PCR Assay[J]. Journal of Phytopathology, 2007, 155(7-8): 505-512.

(责任编辑:王昱)

(上接第102页)稳定阶段、脱盐阶段等<sup>[20-21]</sup>。对此,海稻86在盐、碱土中土壤养分吸收特征及其对盐、碱土壤“植物修复”效果尚需进一步在盐碱地实地进行验证。

#### 参考文献:

- [1] 张翼夫,李问盈,胡红,等.盐碱地改良研究现状及展望[J].江苏农业科学,2017,45(18):7-10.
- [2] 汪顺义,冯浩杰,王克英,等.盐碱地土壤微生物生态特性研究进展[J].土壤通报,2019,50(1):233-239.
- [3] Setter T L, Waters I, Stefanova K, et al. Salt tolerance, date of flowering and rain affect the productivity of wheat and barley on rainfed saline land[J]. Field Crops Research, 2016, 194:31-42.
- [4] 温延臣,孔少华,赵同凯,等.黄河三角洲盐碱地区耐盐牧草与经济作物筛选[J].山东农业科学,2019,51(5):42-46.
- [5] 宋广树,朱秀侠,孙蕾,等.水稻品种长白9号的耐盐碱机理分析[J].东北农业科学,2016,41(2):5-8.
- [6] 张磊,侯云鹏,王立春.盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J].东北农业科学,2018,43(4):11-16.
- [7] 韩浩章,张丽华,王晓立,等.盐碱胁迫对樟幼苗养分吸收的影响[J].河南农业科学,2018,47(3):116-120,127.
- [8] 汤俊芳,李志洪,徐明海.不同改良物质对苏打盐碱土的改良效果[J].吉林农业大学学报,2020,42(2):161-166.
- [9] 边荣荣,黄永飞,李惠军,等.不同改良剂对干旱区盐碱地改良效果研究进展[J].农业科学研究,2017,38(3):69-75.
- [10] M, Qadir, A D, et al. Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline - sodic soils: a review[J]. Soil Use and Management, 2005, 21:173-180.
- [11] 王巍巍,魏春雁,张之鑫,等.不同种稻年限盐碱地水田表层土壤酶活性变化及其与土壤养分关系[J].东北农业科学,2016,41(4):43-48.
- [12] 丁海荣,洪立州,王茂文,等.星星草耐盐生理机制及改良盐碱土壤研究进展[J].安徽农学通报,2007,13(16):58-59.
- [13] 李从娟,孙永强,范敬龙,等.盐地碱蓬在高盐碱土环境中的生态学意义[J].干旱区研究,2015,32(6):1160-1166.
- [14] Akhter J, Mahmood K, Malik K A, et al. Amelioration of a saline sodic soil through cultivation of a salt-tolerant grass *Leptochloa fusca*[J]. Environmental Conservation, 2003, 30(2): 26-35.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000:30-179.
- [16] 朱新开,周正权,胡宏,等.土壤氮素与小麦产量和品质关系及在施氮推荐中的应用[J].天津农学院学报,2002,29(1):13-17.
- [17] 王秋菊,张玉龙,赵宏亮,等.黑龙江省不同类型土壤养分差异及对水稻养分吸收与分配的影响[J].作物杂志,2011(5):16-21.
- [18] 冯固,杨茂秋,白灯莎.盐胁迫下VA菌根真菌对无芒雀麦体内矿质元素含量及组成的影响[J].草业学报,1998,7(3):22-29.
- [19] 黄有总,张国平.大麦耐盐机理与化控增强耐盐性的研究进展[J].大麦科学,2003(2):29-32.
- [20] 李海英,彭红春,牛东玲,等.生物措施对柴达木盆地弃耕盐碱地效应分析[J].草地学报,2002,11(1):63-68.
- [21] 崔士友,张蛟,翟彩娇,等.江苏滨海轻度盐土盐分动态及其与主要气象要素的关系-以江苏如东垦区为例[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2018,39(4):100-105.

(责任编辑:王昱)