

张 蛟, 翟彩娇, 崔士友. 微咸水灌溉滩涂稻田盐分动态及其水稻产量表现[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(4) : 799-803.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.04.012

微咸水灌溉滩涂稻田盐分动态及其水稻产量表现

张 蛟, 翟彩娇, 崔士友

(江苏沿江地区农业科学研究所/南通市耐盐植物公共技术服务平台, 江苏 南通 226541)

摘要: 选用洗盐后连续种植4年、洗盐后第1年种植水稻的滩涂地块为研究对象,以邻近滩涂荒地作为对照,开展全生育期稻田土壤耕层(0~20 cm)、浅层水、以及灌溉水源中盐分的动态观测,并进行不同种植年限(1年和4年)的水稻产量比较。结果表明,种植1年、4年的稻田耕层土壤盐分的变化趋势基本一致,最高点均出现在抽穗期,耕层含盐量分别为1.83 g/kg和1.38 g/kg,全生育期平均值分别为1.07 g/kg和1.01 g/kg;浅水层盐分含量表现为前期(分蘖期)较低,中后期(拔节孕穗期后)较高,这与水稻生长期雨水分布、灌溉水含盐量有密切关系。连续种植4年的水稻较种植1年的增产46.3%,主要原因在于生物量、收获指数和单位面积穗数的显著增加。水稻收获后1 m深土层土壤盐分测定结果表明,滩涂种稻利用微咸水灌溉不存在盐渍化加重的风险。

关键词: 微咸水; 滩涂; 水稻; 盐分动态

中图分类号: S156.4⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2018)04-0799-05

Dynamics of salt content of tidal paddy fields irrigated by brackish water and performance of rice yield

ZHANG Jiao, ZHAI Cai-jiao, CUI Shi-you

(Institute of Agricultural Sciences of Jiangsu Changjiang River Bank District/Nantong Public Technology Service Platform of Salt-tolerant Plants, Nantong 226541, China)

Abstract: Two paddy fields with continuous rice planting for four year, and rice planting for the first year via leaching by fresh water or brackish water, and adjacent beach wasteland as control, were used to monitor the salinity dynamics of topsoil(0~20 cm), shallow water, irrigation water in paddy soil during whole growth period, and compare yield of rice with different planting years (one-year and four-year). The results indicated that salinity dynamics of topsoil for one-year and four-year rice planting were similar, the highest point appeared at heading stage, and soil salt content were 1.83 g/kg and 1.38 g/kg for one-year and four-year rice planting, respectively. Averaged salt content through whole growth period were 1.07 g/kg and 1.01 g/kg for one-year and four-year rice planting, respectively. The salt content in shallow water layer was lower in the early stage (tillering stage) and higher in the middle and later stage (after jointing stage), which was closely related to the distribution of rainfall and the salinity of irrigation water. Compared with one-year planting paddy field, rice yield in the paddy field with four-year continuously rice planting increased 46.3% due to significant increase in

biomass, harvest index and panicle number per unit area. The results of soil salinity determination in soil depth of one meter after rice harvesting showed that irrigation with brackish water had no risk of further salinization.

Key words: brackish water; tidal flat; rice; salinity dynamics

收稿日期:2017-04-26

基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2015337);南通市应用研究计划项目(MS12016047)

作者简介:张 蛟(1987-),男,陕西渭南人,硕士,助理研究员,研究方向为沿海滩涂土壤改良与开发利。(Tel)051387583485;(E-mail)zhangjiao0609@126.com。翟彩娇为共同第一作者。

通讯作者:崔士友,(Tel)051387583485;(E-mail)cuisy198@163.com

江苏省沿海滩涂面积占全国1/4以上^[1],是非

常重要的后备土地资源,也是江苏省社会经济可持续发展的主要保证。水稻是中国三大粮食作物之一,2011–2015 年水稻种植面积占中国粮食作物总面积的 27.1% 左右,产量占中国粮食年总产量的 34.2%^[2],因而发展水稻生产对保证粮食安全至关重要。不过水稻是中度盐敏感作物^[3],很难直接种植在不经脱盐改良的新围垦滩涂上。水稻耐盐性具体表现为芽期耐盐,幼苗期(2~3 叶期)很敏感,营养生长期耐性增加,授粉、受精期间又变得敏感,而在成熟期变得更耐盐^[4]。目前普遍的做法是通过淡水或微咸水洗盐^[5],在表层(0~40 cm)盐分降至 2~3 g/kg 后即可进行水稻种植。有关滩涂水稻的研究大多数集中在盐分逆境和不同水肥管理对水稻生长、产量的影响^[6–10],以及水稻耐盐品种的筛选^[11–16]等方面。江苏省沿海滩涂地区淡水资源短缺,微咸水资源丰富。在淡水资源紧缺的背景下,利用微咸水灌溉种稻,确实能解决滩涂种稻的供水问题,但也存在加重滩涂土壤潜在盐渍化的风险。有研究结果表明 1.5 g/L 矿化度微咸水灌溉种植水稻,在 60~90 cm 土层均出现不同程度的盐分累积现象,不过微咸水灌溉 10 年的模拟试验结果表明该灌溉制度不会引起 0~100 cm 土层土壤次生盐渍化^[17]。滩涂水稻微咸水灌溉方面的长期试验研究尚不多见,本研究以连续 4 年种植水稻的滩涂稻田为研究对象,在滩涂洗盐第 1 年种植水稻,通过全生育期稻田(包括土壤、水层)、灌溉水源盐分的动态观测,结合产量表现,探讨沿海滩涂植稻的潜力和可能的风险,为进一步开发利用沿海滩涂提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及试验处理

试验地位于江苏省如东县方凌垦区如东裕隆昌农业科技有限公司园区,为 2010 年新围垦滩涂。试验区未种植水稻前裸地土壤 0~20 cm 剖面主要理化性状:容质量(1.39 ± 0.01) g/cm³,砂粒含量 $23.6\% \pm 1.5\%$,粉粒含量 $55.2\% \pm 1.6\%$,黏粒含量 $21.2\% \pm 0.4\%$,有机碳含量(5.33 ± 0.51) g/kg,总氮含量(0.45 ± 0.07) g/kg,碱解氮含量(25.82 ± 1.76) mg/kg,有效磷含量(7.21 ± 0.66) mg/kg,速效钾含量(208.20 ± 8.40) mg/kg, $EC_{1:5}$ (3.23 ± 1.62) dS/m, $pH_{1:5}$ 8.67 ± 0.10 。种稻前用淡水洗盐 3~5 次,保持水层 10~15 cm,维持 30 d,洗盐结束后取土

样测定盐分含量,达到 3 g/kg 左右即终止洗盐。2013 年开始第 1 期滩涂种稻(面积 5.67 hm²),为改良盐土提高土壤有机质含量,水稻、大麦秸秆全量还田;第 2 期为 2016 年种稻,面积 6.07 hm²。2016 年 5 月分别选择 1 块稻田,以邻近的滩涂荒地作为对照,水稻品种为准稻 5 号,机插秧,行距 30 cm,穴距 15 cm,每穴 4 株。对第 1 年种稻与连续 4 年种稻的稻田进行全生育期盐分动态观测,并进行不同种植年限(1 年和 4 年)的水稻产量比较。水稻收获后种麦前,进行试验田块 1 m 土壤剖面取样,分析盐分在不同土层的分布和积累状况。

1.2 土样、水样盐分的测定

为明确滩涂土壤全盐含量与电导率间的回归关系,我们采集不同盐分梯度的滩涂土样 36 份,分别用电导法和烘干质量法测定土样的电导率($EC_{1:5}$)和全盐含量^[18],然后建立方程。

取样时期为前茬收获后水稻移栽前(2016-06-03)、以及水稻移栽后的分蘖期(2016-07-06)、拔节期(2016-07-31)、孕穗期(2016-08-10)、抽穗期(2016-09-09)、灌浆期(2016-10-15),取样剖面为 0~20 cm。水稻收获后下茬播种前进行 1 m 土壤剖面分层取样。采集的土壤样品室内自然风干、磨碎、过 1 mm 筛备用。取 10 g 风干土样,以土水比 1:5(质量比)的比例浸提土壤,搅拌 3 次每次 3 min,静置 30 min 后得土壤浸提液,取上清液测定土壤浸提液电导率 $EC_{1:5}$ 和 $pH_{1:5}$ 。采集的水样(稻田浅水层和灌溉水源的水样)带回室内直接测定电导率和 pH。 $EC_{1:5}$ 和 $pH_{1:5}$ 的测定采用 STARTER 3100C 电导率仪和 pH 计[均为美国奥豪斯仪器(上海)有限公司生产]。水稻生长期间,定时监测滩涂稻田土样耕层(0~20 cm)、浅层水水样以及灌溉水源水样的电导率动态变化。测定土壤 $EC_{1:5}$ 和水样电导率后,利用我们研究测得的江苏省如东县滩涂滨海盐土土壤含盐量与土壤电导率回归关系方程计算土壤全盐含量,利用换算公式 $1 \text{ dS/m} = 640 \text{ mg/L}$ 计算水样全盐含量。

1.3 水稻产量及构成因素的测定

水稻收获期采用 5 点取样法测产,每个样点 10 m² 左右。测产前测量株高,选 1 行测定连续 10 穴的穗数,取其中 5 穴植株样品带回室内测定每穗粒数,脱粒后选择饱满的籽粒测定千粒质量。随后收割样方,并脱粒,测定籽粒含水量,折算成籽粒含水量为

14.5%的样方产量;秸秆风干后称得秸秆质量。计算生物量和收获指数,生物量=籽粒质量+秸秆质量,收获指数=籽粒质量/生物量。

1.4 数据统计与分析

数据分析采用 Excel 2010 和 DPS (v7.05) 分析软件,不同处理间的差异采取随机区组单因素方差分析(One-way ANOVA),多重比较采用最小显著差法(LSD)进行。

2 结果

2.1 滩涂土壤盐分含量与电导率间的回归关系

用于建立回归方程的 36 个土样的电导率($EC_{1:5}$)和全盐含量的变化幅度分别为 0.06~5.56 dS/m 和 0.02~21.42 g/kg,基本代表了研究区域滩涂土壤盐分的变化状况。基于 36 组数据建立了两者间的回归方程为 $Y=0.175x^2+2.957x-0.109$ (x 为电导率, Y 为全盐含量)(图 1)。电导率是测定土壤中可溶性盐含量快速而简单的方法,建立电导率和全盐含量的回归关系方程后,即可通过测定土样的电导率获得土壤全盐含量的无偏估值,提高了滩涂土壤盐分含量检测的效率。

2.2 不同种植年限滩涂稻田耕层盐分动态

选择滩涂第 1 年以及连续第 4 年种植水稻的稻田,以邻近未种植水稻的滩涂荒地作为对照,在水稻主要生育期测定耕层土壤(0~20 cm)、稻田浅层水、以及灌溉水源中盐分。结果表明,无论是种植 1 年还是连续种植 4 年的滩涂稻田,土壤盐分的变化趋势基本一致(图 2),最高点均出现在抽穗期,种植 1 年、种植 4 年土壤电导率分别为 0.62 dS/m 和 0.49 dS/m,相当于全盐含量 1.83 g/kg 和 1.38 g/kg。全生育期土壤电导率平均值分别为 (0.39 ± 0.03) dS/m 和 (0.37 ± 0.05) dS/m,相当于全盐含量 1.07 g/kg 和 1.01 g/kg。与未种植水稻的滩涂荒地相比,种植水稻的滩涂土壤盐分动态变化基本是稳定的,而邻近滩涂荒地的土壤盐分一直表现出上升的趋势,从 6 月的 1.59 dS/m 增加到 10 月的 4.66 dS/m,相当于全盐含量从 5.03 g/kg 增加到 17.56 g/kg。说明种植水稻对滩涂表层土壤有稳定的脱盐改良作用。

滩涂稻田浅水层的盐分也表现出基本一致的变化趋势(图 3)。就总体而言,分蘖期水层盐分含量较低,种植 1、4 年的稻田电导率分别为 1.17 dS/m 和 0.23 dS/m,相当于全盐含量 0.75 g/L 和 0.15

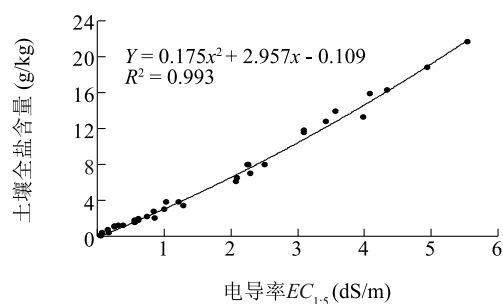


图 1 江苏省如东县滨海盐土全盐含量与电导率的关系

Fig.1 Relationship between total salt content and electrical conductivity of coastal saline soils in Rudong, Jiangsu province

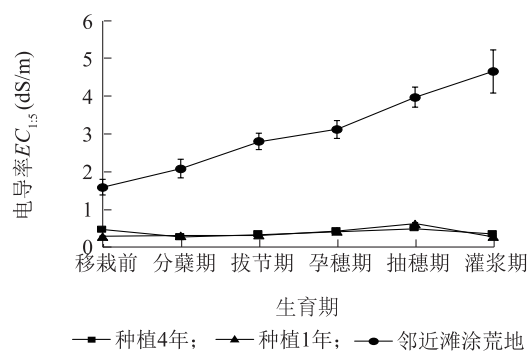


图 2 不同种植年限稻田耕层与滩涂荒地土壤盐分的动态变化

Fig.2 Dynamics of soil salinity of topsoil in tidal wasteland and coastal paddy fields with one-year and four-year

g/L,此时正处于雨季,雨水较多,田间水层较深;其余时期水层盐分含量基本稳定,变化相对较小,种植 1、4 年稻田电导率平均值分别 2.83 dS/m 和 2.55 dS/m,相当于全盐含量 1.81 g/L 和 1.63 g/L。这与灌溉水源的电导率变化是一致的,两者的相关系数分别为 0.98 ($P<0.01$) 和 0.91 ($P<0.05$)。

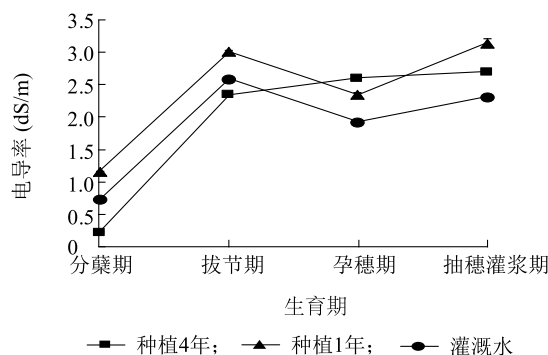


图 3 稻田浅水层和灌溉水源水样盐分的动态变化

Fig.3 Dynamics of salinity of water samples from shallow water layer of paddy rice and irrigation water source

2.3 不同种植年限滩涂水稻产量表现

结果(表1)表明,连续种植4年的水稻产量为6 613.5 kg/hm²,相比于种植1年的田块显著增产,增产幅度为46.3%,增产原因主要在于生物量、收获指数的显著增加,其中生物量增加29.6%,收获指数增加12.7%;就产量构成因素而言,主要表现为穗数的显著增加,连续4年种植的较1年种植的单位面积穗数增加29.5%,穗粒数、千粒质量变化不大,差异不显著。

表1 滩涂不同种植年限淮稻5号的产量及产量因素构成

Table 1 Comparison of yield and its components between one-year and four-year planting of coastal paddy fields

产量及构成因素	种植年限	
	第1年	第4年
产量(kg/hm ²)	4 519.5±265.5b	6 613.5±234.0a
1 m ² 穗数	297.5±9.9b	365.7±12.4a
穗粒数	75.1±3.1a	72.6±3.8a
千粒质量(g)	25.3±0.3a	25.8±0.5a
生物量(kg/hm ²)	9 951.0±884.5b	12 894.0±423.0a
收获指数(%)	45.5±1.6b	51.3±2.6a

同一行数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 不同种植年限滩涂稻田土壤剖面盐分分布

通过对不同种植年限滩涂稻田与滩涂荒地土壤1 m剖面盐分含量测定发现,种植1年的稻田0~60 cm土层盐分含量与种植4年的土壤盐分含量没有明显的差异($P>0.05$),而60~80 cm和80~100 cm土层盐分含量种植1年的稻田土壤显著高于种植4年的稻田土壤($P<0.05$);同时,种植1年和种植4年的稻田1 m剖面各土层的盐分含量均显著低于滩涂荒地($P<0.05$)(图4)。以变异系数表征的不同土层土壤盐分的变异特征表明,种植4年的滩涂稻田不同土层土壤盐分含量变异系数的变幅为0.11~0.37,平均值为0.23±0.10,与滩涂荒地类似(0.21±0.03),而种植1年的稻田不同土层土壤盐分含量变异系数的变幅为0.18~0.61,平均值为0.43±0.16。

3 讨论

盐碱地的种植开发不外乎2个技术途径:改良作物的耐盐性使其适应盐土的环境,改良盐土降低土壤盐分使之适宜对盐分较为敏感的作物种植^[3]。由于沿海滩涂地区淡水资源相对缺乏,发展水稻生产大多

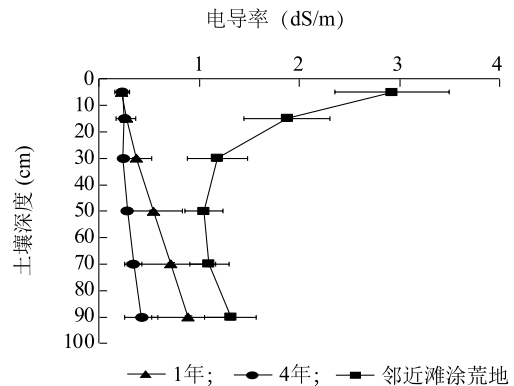


图4 滩涂水稻不同种植年限1 m土层土壤盐分分布

Fig.4 Comparison of soil salinity in one meter soil depth between tidal wasteland and coastal paddy fields with one-year and four-year rice planting

利用本地的微咸水资源。微咸水灌溉一方面提供作物生长所需的水分,同时也给土壤带入了盐分,存在一定的加重盐渍化的潜在风险。本研究连续4年滩涂种植水稻的观测结果表明,利用微咸水灌溉,特别是在水稻生长的中后期利用微咸水灌溉(本研究的灌溉水电导率为2.0~2.5 dS/m,相当于含盐量1.3~1.7 g/L),不会产生盐渍化加重的风险,且对滨海盐土脱盐改良有较好的作用。王相等^[17]的模拟结果也表明采用1.5 g/L矿化度微咸水持续灌溉10年不会引起0~100 cm土壤次生盐渍化。

由于水稻移栽后正值雨季(6~8月),充沛的雨水有利于稻苗的活棵,以及其后的分蘖和苗期生长。根据如东县气象台2001~2010年气象数据,6~8月累计降雨493.9 mm,占全年累计降雨量1 049.1 mm的47.1%。因此,这段时期只需较少的微咸水补充灌溉,保证了较低的稻田耕层、浅水层土壤盐分含量,减轻了盐分逆境对水稻生长的影响。而9~10月平均降雨量为132.5 mm,尤其10月平均仅有39.6 mm的降雨量。该阶段微咸水灌溉量增加,导致稻田耕层土壤盐分含量增加较多,抽穗期土壤盐分最高。从分蘖期到抽穗期种植4年的稻田土壤盐分增加0.22 dS/m(相当于0.55 g/kg),种植1年的田块土壤盐分增加0.31 dS/m(相当于0.83 g/kg)。在水稻生长的中后期,可通过减少微咸水灌溉量而减少由此带入稻田的盐分总量。刘广明等^[19]研究了含盐量2.1~2.6 g/kg的引黄灌区在不同控制灌溉方式下水稻各生育期稻田土壤盐分的动态变化,结果表明各灌溉方式并未引起土壤盐分的显著积聚。

但该研究所用灌溉水水质优良,在微咸水节水灌溉条件下,是否存在滩涂稻田盐渍化加重的风险,有必要继续加以研究和观测。

本研究结果表明滩涂土壤通过淡水、微咸水洗盐后种稻,其稻田表层土壤盐分含量大多在 2.0 g/kg 以下,浅水层盐分含量在 3.0 g/L 以下。以土壤容质量 1.39 g/cm³、土壤孔隙度 47.6% 计算,在土壤含盐量 2 g/kg 的情形下,旱作(土壤含水量以 25% 计算)下土壤水溶液的含盐量为 8.0 g/L,稻作(土壤饱和水含量,无水层)下土壤水溶液的含盐量为 4.2 g/L,如果建立浅水层(5 cm),则含盐量降得更低,仅有 3.0 g/L 左右。基于此滩涂发展水稻生产可适当降低对水稻耐盐性的要求,因为耐盐性强的品种往往产量和品质性状较差。尽管如此,盐分逆境对滩涂稻作生产也存在不利的影响,例如前期难活棵易僵苗、中期生长缓慢易死株、后期易早衰影响籽粒灌浆充实。因此,发展滩涂稻作生产,应加强栽培技术的研发与推广应用,例如株行距配置与基本苗、肥料运筹,以及有关生长调节剂的应用等。鉴于盐土中 Cl⁻ 比 SO₄²⁻ 对作物的危害大^[20],且相对于 Na⁺ 而言,对 Cl⁻ 的研究相对较少,应重视滨海盐土中 Cl⁻ 对水稻等作物产量和品质的影响。褚贵发等通过田间试验提出了不同生育期微咸水灌溉的含氯标准^[21]。

本研究中连续种植 4 年的滩涂水稻较第 1 年种植的增产 46.3%,从产量构成因素看单位面积穗数的增加起主要作用,而不同种植年限穗粒数和千粒质量间的差异未达显著水平。从同化物积累和分配的角度看,生物量和收获指数在不同种植年限间差异均达显著水平,且生物量间差异更大。因此,滩涂水稻生产应以促为主,确保生物量和单位面积穗数达到合理的范围。不同种植年限产量差异的原因除盐分逆境外,更重要的可能是土壤肥力水平的差异。为此,我们将进一步研究不同种植年限滩涂稻田土壤肥力的演变规律,为种稻脱盐后的滩涂改良提供依据。

参考文献:

- [1] 崔士友,张蛟蛟.碳管理:盐土治理的一种新思路[J].农学学报,2015,5(12):44-50.
- [2] 国家统计局.中国统计年鉴—2016[EB/OL].(2016-10-21)[2017-04-02].<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.
- [3] MASS E V, HOFFMAN G J. Crop salt tolerance: Current assessment[J]. Journal of the Irrigation & Drainage Division, 1977, 103(2):115-134.
- [4] IRRI. Annual Report for 1967[M]. Los Banos: International Rice Research Institute, 1967: 308.
- [5] 张文渊.沿海滩涂围垦造田种稻技术[J].农业科技通讯,1999(5):9.
- [6] 张 战,张丽丽,倪善君,等.滨海盐碱土对水稻苗期生长及生理特性的影响[J].江苏农业科学,2016,44(6):111-114.
- [7] ZENG L H, SHANNON M C. Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(3): 418-423.
- [8] ZENG L H, SHANNON M C. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice[J]. Crop Science, 2000, 40(4): 996-1003.
- [9] 周 毅,崔丰磊,杨 萍,等.盐胁迫对不同品种水稻幼苗生理生化特性的影响[J].江苏农业科学,2016,44(1):90-93.
- [10] 朱 萍,王 华,夏 伟,等.微酸性有机肥用量对滩涂土壤理化性状及水稻产量的影响[J].上海农业学报,2015,31(6):101-103.
- [11] 夏秀忠,张宗琼,杨行海,等.广西地方稻种资源核心种质的耐盐性鉴定评价[J].南方农业学报,2017,48(6):979-984.
- [12] ZENG L H, SHANNON M C, GRIEVE C M. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters[J]. Euphytica, 2002, 127(2): 235-245.
- [13] 信彩云,周学标,刘奇华,等.黄河三角洲盐碱土条件下水稻苗期耐盐指标筛选[J].山东农业科学,2017,49(1):23-28.
- [14] ZENG L H, POSS J A, WILSON C, et al. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by physiological characters[J]. Euphytica, 2003, 129(3): 281-292.
- [15] HEENAN D P, LEWIN L G, MCCAFFERY D W. Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1988, 28(3): 343-349.
- [16] 方先文,张所兵,张云辉,等.水稻高代创新品系苗期耐盐性鉴定[J].江苏农业科学,2016,44(12):130-132.
- [17] 王相平,杨劲松,姚荣江,等.苏北滩涂水稻微咸水灌溉模式及土壤盐分动态变化[J].农业工程学报,2014,30(7):54-63.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978:196-208.
- [19] 刘广明,彭世彰,杨劲松.不同控制灌溉方式下稻田土壤盐分动态变化研究[J].农业工程学报,2007,23(7):86-89.
- [20] 王文堂.为什么盐土中 Cl⁻ 比 SO₄²⁻ 对作物的危害大?[J].土壤通报,1958(3):54-54.
- [21] 褚贵发,郎素秋,周 新,等.水稻微咸水灌溉试验及开发研究[J].中国农村水利水电,1999(2):15-18.

(责任编辑:张震林)