不同土壤类型对北方粳稻穗部性状及产量构成的影响*

左静红^{1,2} 李景鹏¹ 杨福^{1**}

(¹中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; ²中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 以北方粳稻品种“长白9”、“东稻4”为试材,研究了水稻土(pH=7.25, ESP=7.60)、苏打盐碱土壤(pH=9.11, ESP=32.80)条件下两品种穗部性状及产量构成的变化规律。结果表明:与水稻土相比,在苏打盐碱土壤条件下,两品种大部分穗部性状有显著变化,枝梗数、枝梗长度、枝梗粒数均显著下降;各产量构成因素也发生显著变化,尤其是穗粒数显著减少(“东稻4”减少30.0%，“长白9”减少30.5%);单株产量与穗部性状相关分析表明,穗粒数较结实率、千粒重对产量的贡献率最大;每穗一次枝梗总粒数的减少主要受每穗一次枝梗数减少的影响,每穗二次枝梗总粒数的减少受每穗二次枝梗数及二次枝梗单枝着粒数减少共同影响;在苏打盐碱土壤条件下,相对一次枝梗来说,二次枝梗粒数更容易受环境影响。

关键词 水稻; 盐碱; 穗部性状; 产量

中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)1-0059-05

Effects of different soil types on the panicle traits and yield components of northern Japonica rice. ZUO Jing-hong^{1,2}, LI Jing-peng¹, YANG Fu^{1**} (¹ *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China*; ² *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32** (1): 59-63.

Abstract: Taking the northern Japonica rice varieties Dongdao 4 and Changbai 9 as test materials, this paper studied the characteristics of their panicle traits and yield components on paddy soil (pH=7.25, ESP=7.60) and soda saline-sodic soil (pH=9.11, ESP=32.80). As compared with those on the paddy soil, most panicle traits of the rice varieties on the soda saline-sodic soil changed significantly, with a significant decrease in the branch number, branch length, and grain number. The grain yield components on the soda saline-sodic soil also had great change, among which, the grain number decreased significantly, with a decrement of 30.0% and 30.5% for the Dongdao 4 and Changbai 9, respectively. The correlation analysis of the grain yield per plant and the panicle traits showed that the spikelet per panicle had more contribution to the grain yield than the seed setting rate and 1000-grain weight. The decrease of the amount of primary branches could reduce the total grains of the primary branches per panicle, while the total grains of the secondary branches per panicle could be affected by both the amount of secondary branches and the grains per branch. On the soda saline-sodic soil, the secondary branch grains could be more sensitive to the changes of the environment, as compared with the primary branch grains.

Key words: rice; salt and alkali; panicle trait; yield.

实践证明,盐碱地种水稻是土壤盐碱化治理、改良、利用的有效途径(曾宪修,1986)。目前吉林省

西部大面积盐碱地开发种稻,以期提高粮食总产量。调查发现,当前大规模开发的盐碱地多以苏打盐碱土为主,其成分主要为 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 ,土壤pH达9.0以上,可溶性盐含量高达0.3%~0.7%(王志春等,2004;李彬和王志春,2006),交换性 Na^+ 含

* 农业科技成果转化资金项目(2011GB24910004)资助。

** 通讯作者 E-mail: yangfu@neigae.ac.cn

收稿日期: 2012-07-09 接受日期: 2012-10-18

量高,土壤结构恶劣,饱和导水率低(赵兰坡等,2000;王春裕,2004)。研究表明,苏打盐碱水稻植株矮小,分蘖减少(梁正伟等,2004),各器官干物质的积累量不同程度下降(杨福等,2007b),生育期延迟导致水稻不能安全成熟(齐春艳等,2009),水稻的产量、品质和效益均低于非盐碱地水田(张瑞珍等,2006)。前人对苏打盐碱水稻的研究多集中在分蘖、株高、生育期等农艺性状及生理生态变化方面(刘奇华等,2006;江敏等,2010),对水稻穗部性状尤其是穗部枝梗粒数分布情况的变化规律研究相对较少。水稻穗部作为有机物储存库,是水稻经济产量的最终体现者(徐海等,2009)。水稻穗部性状与产量密切相关,对产量和品质形成具有最直接影响(徐正进等,2006;董桂春等,2009),同时也是品种选育的重要指标(杨福等,2007a)。本文主要从典型北方粳稻穗部结构的变化来探讨不同土壤类型对水稻穗部性状及产量构成的差异规律,以期对盐碱地水稻高产育种和生产实践有指导意义,为盐碱地开发种稻提供高产栽培的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验采用北方粳稻品种“长白9”、“东稻4”为供试材料。试验于2011年在中国科学院东北地理与农业生态研究所大安碱地生态试验站玻璃防雨室水泥池中进行。试验共两种不同土壤,正常水稻土取自开垦年限较久生产稳定的当地水田,盐碱土取自开垦年限较短未经改良的吉林省西部典型苏打盐碱土壤,灌溉用水为当地地下水。土壤性质见表1。4月15日浸种催芽育苗,5月23日选取叶龄一致且大小均等的秧苗移栽至池内。试验设4次重复,随机区组排列,栽植密度20 cm×10 cm,每穴1苗。肥料和水管理参照当地生产田。

1.2 取样与测定

成熟后,取样考种,调查所有植株的总茎数并求

表2 不同土壤类型下穗部性状变化

Table 2 Changes of panicle traits under different soil types

品种	土壤类型	穗长 (cm)	每穗实粒数 (个)	每穗秕粒数 (个)	穗结实率 (%)	穗千粒重 (g)	穗着粒密度 (个·cm ⁻¹)	穗粒重 (g)
东稻4	对照土	21.61±0.32 a	131.46±4.91 a	8.54±1.23 a	94.23±0.73 bc	26.62±0.11 a	6.40±1.03 a	3.46±0.11 a
东稻4	盐碱土	18.57±0.33 b	93.87±2.52 c	4.10±0.53 b	95.67±0.41 a	25.19±0.11 b	5.25±0.44 b	2.43±0.11 b
长白9	对照土	16.43±0.30 c	105.60±4.45 b	7.35±0.72 a	93.68±0.47 c	23.46±0.05 c	6.72±0.30 a	2.48±0.05 b
长白9	盐碱土	15.59±0.25 d	74.75±2.45 d	3.75±0.41 b	95.43±0.44 ab	23.89±0.13 c	4.99±0.42 b	1.56±0.13 c

小写字母表示在5%差异显著水平。

表1 供试土壤化学性质

Table 1 Soil chemical properties in the experiment

土壤类型	pH (土水比=1:5)	EC (dS·m ⁻¹)	CEC (cmol·kg ⁻¹)	交换性钠离子 (cmol·kg ⁻¹)	ESP (%)
对照土	7.25	0.31	37.41	2.85	7.60
盐碱土	9.11	0.48	27.66	9.08	32.80

得其每穴平均值,选取与平均值一致具有代表性的中等植株3株植株进行考种,4次重复,包括每穴穗数、穗长、1,2次枝梗数、1,2次枝梗长度、1,2次枝梗实粒数及秕粒数、1,2次枝梗粒重、主轴枝梗长度、主轴实粒数及秕粒数、主轴粒重,并计算1,2次枝梗及主轴结实率和千粒重。

1.3 数据处理

利用SPSS 16.0软件进行数据处理和统计分析,对不同土壤类型下穗部性状及产量构成变化情况进行单因素方差分析,对单株产量与穗部性状采用LSD进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同土壤类型下穗部性状变化

不同土壤类型下,大部分穗部性状发生了显著变化(表2)。与水稻土相比,在苏打盐碱土壤下,两品种穗长、每穗实粒数及秕粒数、着粒密度、穗粒重均显著下降;结实率显著升高;千粒重变化有品种差异。降低幅度较大的有每穗实粒数、秕粒数、穗着粒密度、穗粒重,其中“东稻4”、“长白9”每穗实粒数分别降低28.6%、29.2%;秕粒数分别降低52.0%、49.0%;穗粒重分别降低29.8%、37.1%;着粒密度分别降低18.0%、25.8%。两品种对比来看,同处理条件下“东稻4”穗长、每穗实粒数、千粒重均显著高于“长白9”,秕粒数及着粒密度无显著差异。“东稻4”穗粒重减少受穗总粒数及千粒重的影响,而“长白9”则主要由穗总粒数影响。

2.1.1 不同土壤类型下穗部1次枝梗性状变化
统计结果显示(表3),与水稻土相比,在苏打盐碱土

壤下,两品种1次枝梗数及枝梗长度均显著减少;每穗1次枝梗实粒数及秕粒数均有所下降;结实率均有所升高;枝梗千粒重较为稳定无显著变化;枝梗着粒密度显著升高。由于两品种每枝梗实粒数均显著增加,则每穗1次枝梗实粒数减少主要受1次枝梗数的减少影响。两品种对比来看,“东稻4”在苏打盐碱土壤下1次枝梗数降低6.5%，“长白9”降低18.6%，“东稻4”较“长白9”降低幅度较低且“东稻4”粒数减少幅度也比“长白9”小;苏打盐碱土壤下“东稻4”每穗1次枝梗数、每穗1次枝梗总长、每穗1次枝梗实粒数、1次枝梗千粒重均比对照处理中“长白9”多;苏打盐碱土壤对“东稻4穗”部实粒数影响较小无显著性变化,而“长白9”则显著减少;“东稻4”的1次枝梗结实率相对“长白9”较为稳定,在两种土壤类型下无显著差异。

2.1.2 不同土壤类型下穗部2次枝梗性状变化 统计结果显示(表4),与水稻土相比,在苏打盐碱土壤下,两品种每穗2次枝梗数及枝梗总长、每穗2次枝梗实粒数及秕粒数均显著减少;2次枝梗结实率及千粒重较为稳定,无显著性变化;2次枝梗着粒密度变化有品种差异。由于两品种2次枝梗数及每枝

梗粒数均显著减少,2次枝梗总粒数显著减少。两品种对比来看,水稻土条件下,两品种2次枝梗性状中枝梗数、枝梗总长、实粒数及秕粒数差异显著,而在苏打盐碱土壤下均有所下降且品种间差异不显著;“东稻4”千粒重有所下降,但未达到显著水平,着粒密度受胁迫影响显著降低,而“长白9”较为稳定千粒重及着粒密度变化均不显著。

2.1.3 不同土壤类型下穗部主轴性状变化 与水稻土相比(表5),在苏打盐碱土壤下,两品种主轴结实率、千粒重、着粒密度变化不大;而主轴长、实粒数及秕粒数变化有品种差异。两品种对比来看,与对照相比,在苏打盐碱土壤下,“东稻4”主轴长及主轴实粒数显著降低,“长白9”变化不显著;“东稻4”主轴秕粒数较为稳定变化不显著,“长白9”主轴秕粒数显著降低;“东稻4”主轴结实率稍有下降而“长白9”则稍有升高。总体而言,“东稻4”主轴性状较“长白9”更易受到苏打盐碱土壤影响。

2.2 不同土壤类型下产量构成因素变化

产量构成因素是影响产量最直接的因素,统计结果显示(表6),从水稻土到苏打盐碱土壤,大部分产量构成因素发生了显著变化。两品种每穴有效

表3 不同土壤类型下穗部1次枝梗性状变化

Table 3 Changes of primary branch traits under different soil types

品种	土壤类型	每穗1次枝梗数 (个)	每穗1次枝梗总长 (cm)	每穗1次枝梗实粒数 (个)	每穗1次枝梗秕粒数 (个)	每枝梗实粒数 (个)	1次枝梗结实率 (%)	1次枝梗千粒重 (g)	1次枝梗着粒密度 (个·cm ⁻¹)
东稻4	对照土	10.88±0.29 a	88.86±3.02 a	58.33±1.70 a	1.63±0.20ab	5.35±0.03b	97.31±0.35 ab	28.05±0.87 a	0.68±0.01 c
东稻4	盐碱土	10.17±0.21 b	66.81±1.80 b	55.73±1.19 a	1.17±0.23 b	5.48±0.03a	97.90±0.41 a	26.49±0.35ab	0.86±0.01 b
长白9	对照土	7.81±0.25 c	53.13±2.07 c	42.07±1.51 b	1.97±0.21 a	5.35±0.06 b	95.27±0.47 c	24.60±0.34 b	0.85±0.01 b
长白9	盐碱土	6.36±0.17 d	36.49±1.23 d	35.08±1.02 c	1.31±0.18 b	5.52±0.05 a	96.58±0.22 b	25.20±0.74 b	1.01±0.01 a

表4 不同土壤类型下穗部2次枝梗性状变化

Table 4 Changes of secondary branch traits under different soil types

品种	土壤类型	每穗2次枝梗数 (个)	每穗2次枝梗总长 (cm)	每穗2次枝梗实粒数 (个)	每穗2次枝梗秕粒数 (个)	每枝梗实粒数 (个)	2次枝梗结实率 (%)	2次枝梗千粒重 (g)	2次枝梗着粒密度 (个·cm ⁻¹)
东稻4	对照土	23.86±1.15 a	44.77±2.44 a	66.53±3.60 a	6.68±1.19 a	2.77±0.05 a	91.44±1.36 a	25.28±1.15 a	1.64±0.01 c
东稻4	盐碱土	12.87±0.64 c	20.22±1.20 c	32.80±1.96 c	2.73±0.40 c	2.50±0.10 b	91.53±0.87 a	23.05±0.88 ab	1.76±0.06 b
长白9	对照土	18.89±1.05 b	30.75±1.80 b	53.53±3.21 b	4.73±0.59 b	2.72±0.05 a	92.28±0.79 a	22.51±0.31 b	1.83±0.02 a
长白9	盐碱土	11.42±0.61 c	16.36±0.88 c	29.22±1.66 c	2.06±0.28 c	2.55±0.03 b	93.92±0.81 a	22.45±0.18 b	1.90±0.02 a

表5 不同土壤类型下穗部主轴性状变化

Table 5 Changes of cob traits under different soil types

品种	土壤类型	主轴长 (cm)	主轴每穗实粒数 (个)	主轴每穗秕粒数 (个)	主轴结实率 (%)	主轴千粒重 (g)	主轴着粒密度 (个·cm ⁻¹)
东稻4	对照土	5.09±0.16 b	6.60±0.27 b	0.23±0.07 b	96.85±1.13 a	26.97±0.96 a	1.33±0.02 b
东稻4	盐碱土	4.36±0.12 c	5.33±0.19 c	0.20±0.08 b	96.46±1.21ab	25.76±0.53 a	1.25±0.03 b
长白9	对照土	5.75±0.10 a	10.14±0.35 a	0.65±0.14 a	93.88±1.41 b	23.65±0.14 ab	1.87±0.04 a
长白9	盐碱土	5.56±0.08 a	10.44±0.24 a	0.39±0.10 b	96.60±0.98 ab	21.74±1.14 b	1.95±0.03 a

表6 不同土壤类型下产量构成因素变化

Table 6 Changes of grain yield components under different soil types

品种	土壤类型	每穴有效穗数 (个)	穗粒数 (个)	每穴总颖花数 (个)	结实率 (%)	千粒重 (g)	穴粒重 (g)
东稻4	对照土	4.52±0.10 c	140.00±4.78 a	676.17±57.55 a	94.23±0.73 bc	26.62±1.03 a	16.67±2.14 a
东稻4	盐碱土	4.70±0.09 c	97.97±2.39 c	496.42±17.29 b	95.67±0.49 a	25.19±0.44 b	11.95±0.71 b
长白9	对照土	6.11±0.13 a	112.95±4.43 b	694.75±23.61 a	93.68±0.47 c	23.46±0.30 c	15.24±0.44 a
长白9	盐碱土	5.15±0.11 b	78.50±2.11 d	369.50±24.37 c	95.43±0.44ab	23.89±0.42 c	8.37±1.16c

表7 单株产量与穗部性状相关系数

Table 7 Correlation coefficients between grain yield per plant and panicle traits

品种	土壤类型	1次枝梗数	1次枝梗总长	1次枝梗实粒数	1次枝梗千粒重	1次枝梗结实率	1次枝梗着粒密度	2次枝梗数	2次枝梗总长	2次枝梗实粒数	2次枝梗千粒重	2次枝梗结实率	2次着粒密度
东稻4	对照土	0.940**	0.982**	0.949**	0.767**	-0.641*	-0.430	0.938**	0.935**	0.962**	-0.553	-0.115	-0.556
东稻4	盐碱土	0.653*	0.880**	0.636*	0.330	0.469	-0.111	0.767**	0.614*	0.667*	0.044	0.007	0.204
长白9	对照土	0.798**	0.848**	0.784**	0.162	-0.184	-0.012	0.903**	0.868**	0.889**	0.035	-0.132	0.241
长白9	盐碱土	0.963**	0.971**	0.965**	0.703*	0.387	-0.368	0.983**	0.979**	0.980**	0.116	0.291	0.120

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

穗数变化有品种差异,每穗粒数均显著减少,每穴总颖花数显著下降且下降幅度有品种差异而对照处理中则无品种差异,穗结实率均上升,千粒重变化有品种差异,每穴粒重显著减少且减少幅度有品种差异而对照处理中无品种差异。两品种对比来看,“东稻4”与水稻土相比,在苏打盐碱土壤下产量构成因素除每穴有效穗数和结实率外均显著下降,其中有效穗数增加8.8%,穗粒数减少30.0%,每穴总颖花数减少26.6%,穗结实率提高1.5%,千粒重减少5.4%,穴粒重减少28.3%;“长白9”在苏打盐碱土壤条件下,每穴有效穗数减少15.7%,穗粒数减少30.5%,每穴总颖花数减少46.8%,穗结实率提高1.9%,千粒重增加5.4%,穴粒重减少45.1%。

2.3 不同土壤类型下水稻单株产量与穗部性状关系

水稻单株产量与穗部性状相关分析表明(表7),穗粒数相对千粒重、结实率、着粒密度与水稻单株产量的相关系数更大,密切程度更高,对产量的贡献率更高。水稻土及苏打盐碱土壤下,两品种的单株产量与1,2次枝梗数、枝梗总长、枝梗实粒数均呈显著正相关,与1,2次枝梗千粒重、结实率及着粒密度相关系数较小。两处理中,对“东稻4”单株产量最大的贡献因子均为1次枝梗总长,“长白9”均为2次枝梗数,与前人对“长白9”的研究结论一致(杨福等2000b,2007a)。

3 讨论

单穗粒重和穗实粒数对产量有显著影响(甘涛和陈大涛,2008),单穗粒重的表现是单穗总粒数、

穗结实率及千粒重共同作用的结果(吴文革等,2007)。单株产量与穗部性状相关分析表明,穗粒数较结实率、千粒重对产量的贡献率更大。本研究中,与水稻土相比,在苏打盐碱土壤下,两品种穗粒数均显著减少,穗结实率相对较为稳定变化不显著但均呈升高趋势,千粒重的遗传较为稳定其变化情况主要是品种间差异。

稻穗的形态建成主要分为主穗轴产生1次枝梗、1次枝梗上产生2次枝梗或直接产生部分小花、单个小花发育3个主要阶段(Senanayake *et al.*, 1994; Yamagishi *et al.*, 2003; Rao *et al.*, 2008),每穗颖花数是产量形成的重要因子(柳新伟等,2005)。本研究中,与水稻土对照,两品种在苏打盐碱土壤下,1次枝梗实粒数、2次枝梗实粒数、主轴实粒数均呈减少趋势,且两品种每穗总粒数减少幅度相差不大(“东稻4”穗粒数减少30.0%，“长白9”减少30.5%)。两品种1次枝梗每穗粒数的减少主要受1次枝梗数减少的影响,2次枝梗每穗粒数的减少受2次枝梗数及2次枝梗每枝梗粒数减少共同影响。两品种1次枝梗粒数较2次枝梗粒数变化幅度较小,相对1次枝梗来说2次枝梗粒数受环境影响更大(徐正进等,2006),可能是2次枝梗产生阶段对盐碱环境较为敏感,容易受到环境影响。

与水稻土相比,在苏打盐碱土壤下两品种穗结实率均有所升高且升高幅度相当(“东稻4”升高了1.5%，“长白9”升高了1.9%)。两品种1次枝梗结实率均显著升高,2次枝梗结实率较为稳定无显著变化。结实率上升是由于两品种受苏打盐碱土壤

影响,枝梗分化过程中穗部总颖花数显著下降,水稻穗部总库容量减小,物质供应充足,使得两品种结实率显著提高,本研究结果与前人有关盐碱胁迫提高结实率研究结果一致(张瑞珍等,2006)。水稻穗部总库容量的变化与1次枝梗结实率间的关系有待进一步深入研究。

在水稻土及苏打盐碱土壤下,两品种1次枝梗数均小于2次枝梗,1次枝梗结实率及千粒重均高于2次枝梗,与前人在非盐碱土壤中对结实率及千粒重的研究结论一致(徐正进等,2005)。在水稻土条件下两品种1次枝梗实粒数及总粒数均小于2次枝梗,在苏打盐碱土壤下1次枝梗实粒数及总粒数均大于2次枝梗,2次枝梗粒数较1次枝梗降低更多。苏打盐碱土壤对穗部2次枝梗性状影响更大,在耐盐碱水稻品种选育时,1次枝梗数或1次枝梗粒数较多的品种,可能在盐碱土壤条件下更具有稳产潜力。

参考文献

- 董桂春,李进前,董燕萍,等. 2009. 产量构成因素及穗部性状对粳稻品种库容的影响. 中国水稻科学, **23**(5): 523-528.
- 甘涛,陈大超. 2008. 水稻产量与构成因素间的相关性研究. 南方农业, **2**(5): 17-20.
- 江敏,金之庆,石春林,等. 2010. 长江中下游地区水稻孕穗开花期高温发生规律及其对产量的影响. 生态学杂志, **29**(4): 649-656.
- 梁正伟,杨福,王志春,等. 2004. 盐碱胁迫对水稻主要生育性状的影响. 生态环境, **13**(1): 43-46.
- 李彬,王志春. 2006. 松嫩平原苏打盐渍土碱化特征与影响因素. 干旱区资源与环境, **20**(6): 183-191.
- 刘奇华,李天,张建军. 2006. 生育前期遮光对水稻后期功能叶生长及稻米品质的影响. 生态学杂志, **25**(10): 1167-1172.
- 柳新伟,孟亚利,周治国,等. 2005. 水稻颖花分化与退化的动态特征. 作物学报, **31**(4): 451-455.
- 齐春艳,梁正伟,杨福. 2009. 苏打盐碱胁迫下水稻抽穗期的变化规律及其影响因素的研究. 农业系统科学与综合研究, **25**(2): 198-203, 207.
- 王春裕. 2004. 中国东北盐渍. 北京: 科学出版社.
- 王志春,李取生,李秀军,等. 2004. 松嫩平原盐碱化土地治理与农业持续发展对策. 中国生态农业学报, **12**(2): 166-168.
- 吴文革,张洪程,吴桂成,等. 2007. 超级稻群体籽粒库容特征的初步研究. 中国农业科学, **40**(2): 250-257.
- 徐海,朱春杰,郭艳华,等. 2009. 生态环境对粳稻杂交后代穗部性状的影响及其与亚种特性的关系. 中国农业科学, **42**(5): 1540-1549.
- 徐正进,陈温福,张树林,等. 2005. 辽宁水稻穗型指数品种间差异及其与产量和品质的关系. 中国农业科学, **38**(9): 1926-1930.
- 徐正进,邵国军,韩勇,等. 2006. 东北三省水稻产量和品质及其与穗部性状关系的初步研究. 作物学报, **32**(12): 1878-1883.
- 杨福,梁正伟,王志春,等. 2007a. 水稻耐盐碱品种(系)筛选试验与省区域试验产量性状的比较. 吉林农业大学学报, **29**(6): 596-600.
- 杨福,梁正伟,王志春,等. 2007b. 苏打盐碱胁迫对水稻不同生育时期各器官干物质积累的影响. 农业系统科学与综合研究, **23**(3): 372-376.
- 张瑞珍,邵玺文,童淑媛,等. 2006. 盐碱胁迫对水稻源库与产量的影响. 中国水稻科学, **20**(1): 116-118.
- 赵兰坡,尚庆昌,李春林. 2000. 松辽平原苏打盐碱土改良利用研究现状及问题. 吉林农业大学学报, **22**(S1): 79-83, 85.
- 曾宪修. 1986. 水稻耐盐性的初步研究. 土壤, (6): 300-303.
- Rao PS, Mishra B, Gupta SR, et al. 2008. Reproductive stage tolerance to salinity and alkalinity stresses in rice genotypes. *Plant Breeding*, **127**: 256-261.
- Senanayake N, Naylor REL, De Datta SK, et al. 1994. Variation in development of contrasting rice cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, **123**: 35-39.
- Yamagishi J, Nemoto K, Mu C. 2003. Diversity of the rachis-branching system in a panicle in japonica rice. *Plant Production Science*, **6**: 59-64.

作者简介 左静红,女,1986年11月生,硕士研究生,主要从事水稻逆境生理生态研究. E-mail: zuojinghong@neigae.ac.cn

责任编辑 李凤芹