

文章编号 :1003-8701(2013)06-0006-05

水稻生长发育对苏打盐碱胁迫的阈值反应

李咏梅¹, 齐春艳^{1*}, 侯立刚¹, 马 巍¹,
隋朋举¹, 郭晞明¹, 张海波², 郑艳梅³

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林省前郭灌区农垦管理局, 吉林 松原 131100;
3. 吉林省靖宇县农业技术推广中心, 吉林 浑江 135200)

摘 要:对北方不同熟期类型的 14 个水稻品种进行耐苏打盐碱胁迫鉴定, 了解水稻生长发育对苏打盐碱胁迫的阈值反应。结果表明, pH>9.6 时, 水稻存活率开始下降; 在 pH7.5~9.6 范围内, 水稻虽然能够正常抽穗结实, 但随着盐碱胁迫强度的增加, 各农艺性状都受到不同程度的影响。将各形态指标受抑制率 50% 时的 pH 值作为耐苏打盐碱形态阈值, 叶面积指数、产量、单株茎蘖数要先于存活率、株高发生阈值反应, 说明用形态指标的变化来确定水稻的耐盐碱性存在不确定性。将产量抑制率为 50% 时的 pH 值定义为该品种的耐盐碱 pH 产量阈值, 水稻品种(系)耐盐碱 pH 阈值介于 8.9~9.6 之间。

关键词:水稻; 苏打盐碱胁迫; 阈值

中图分类号: S511.4

文献标识码: A

Threshold Effect of Saline-Sodic Stress on Growth and Development of Rice

LI Yong-mei¹, QI Chun-yan^{1*}, HOU Li-gang¹, MA Wei¹,
SUI Peng-ju¹, GUO Xi-ming¹, ZHANG Hai-bo², ZHENG Yan-mei³

(1. *Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;*

2. *Agricultural Reclamation Administration Bureau of Qianguo Irrigation District, Songyuan 131100;*

3. *Jingyu Agriculture Technology Popularization Center, Hunjiang 135200, China*)

Abstract: Resistance identification of Saline-sodic stress was accomplished with 14 different mature types of rice varieties in northern China to understand threshold effect of saline-sodic stress on growth and development of rice. The result showed that survival rate of rice began to decrease when PH>9.6. Although rice could regular heading and mature normally when PH was between 7.5 to 9.6, but with the increasing of saline-alkali stress, respective degree impact showed up on each agronomic character. Morphology threshold was defined at the PH value when inhibition rate of each morphology index reach 50%. LAI, yield and shoot number per plant got threshold effect earlier than survival rate and plant height. This indicated that large amount of uncertainty existed when determined saline-sodic tolerant with the change of morphology indexes. Yield threshold was defined at the PH value when yield inhibition rate reach 50%. The yield threshold of tested rice varieties lies between 8.9 to 9.6.

Keywords: Rice; Saline-sodic stress; Threshold

收稿日期: 2013-09-25

基金项目: “十二五”粮食丰产工程(2011BAD16B10); 国家水稻产业技术体系(CARS-01-28); 吉林省人社厅博士后项目(00233)

作者简介: 李咏梅(1967-), 女, 副研究员, 主要从事农业科技外事管理工作。

通讯作者: 齐春艳, 女, 博士, 副研究员, E-mail: Qichunyan0516@163.com

“阈值”是指某系统或物质状态发生剧烈改变的那一个点或区间,不同生态环境、研究尺度和研究对象存在不同的阈值^[1-3]。水稻的生长往往存在着各种各样的限制因素,如干旱、洪涝、高温、冷害、土壤盐渍化等,水稻对恶劣的生长环境存在一定的耐受性,但超越某个点-阈值,其生长发育、产量和品质等都将发生明显的变化。我国在植物耐盐碱指标的研究中,已开展了一些耐盐碱阈值研究。水稻种子萌发期间,NaCl 溶液浓度达到 200 mmol/L 时即明显抑制幼苗生长;水稻幼苗 4 叶期时,Na₂CO₃ 溶液浓度达到 283 mmol/L 时,稻苗迅速大量死亡^[4]。梁正伟等研究表明,在 pH 9.49 的苏打盐碱土中水稻单株分蘖力明显下降^[5];程广有等^[6]指出,pH 8.6 为水稻品种分蘖盛期和孕穗期耐碱鉴定的临界 pH 值,可作为这两个时期水稻耐碱性鉴定的胁迫条件;另外,不同水稻品种、不同生长发育阶段耐盐限度也不同^[7]。

以往的研究中,水稻耐盐碱阈值主要围绕芽、苗期^[8]、NaCl 型盐渍土或极少数品种进行耐性鉴定和评价^[9],但对水稻田间生长发育及产量损失情况、苏打型盐渍土、大量品种综合的耐盐碱阈值的研究还少有报道,而有研究认为,苗期耐盐性和大田生长期的耐盐性没有必然联系^[10-11],大田全生育期耐盐碱性鉴定结果更具有可靠性^[12]。

土壤苏打盐碱化是我国东北松嫩平原西部水稻生产持续发展的首要制约因素,研究和分析水稻与盐碱胁迫的关系,特别是明确胁迫过程中的一些关键值即阈值,对于了解水稻对盐碱胁迫的响应机制,因地制宜地开展水稻耐盐碱性鉴定、品种选育及高产高效栽培技术具有十分重要的科学意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

表 1 参试吉林省水稻品种(系)的名称、生育期及熟期类型

品种	类型	来源
长白 9	中早熟 (130 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
长白 11	中早熟 (133 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
长白 12	中早熟 (132 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
长白 15	中早熟 (130~133 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
通 95-74	中熟 (135 d)	通化市农业科学院
通育 318	中熟 (136 d)	通化市农业科学院
富源 4	中熟 (136 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
吉粳 75	中熟 (136 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
通育 124	中晚熟 (140 d)	通化市农科院水稻所
吉粳 78	中晚熟 (138 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
吉粳 89	中晚熟 (141 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
农大 13	中晚熟 (138 d)	吉林农业大学
吉粳 88	晚熟 (141~143 d)	吉林省农业科学院水稻研究所
松粳 7	晚熟 (142 d)	黑龙江省农业科学院

试验采用 14 个吉林省水稻品种(系),各品种(系)名称及选育单位如表 1 所示。试验土壤采用非盐碱土(河床冲积土,pH7.5)与重度苏打盐碱土(pH 11.1,电导率 2.2 ms/cm,有机质 8.1 g/kg,碱解氮 33.6 mg/kg,速效磷 14.2 mg/kg,速效钾 157.1 mg/kg,CO₃²⁻ 1 368.0 mg/kg,HCO₃⁻ 4 538.4 mg/kg)按不同质量比配制制成 8 种 pH 值梯度的供试土壤。

1.2 试验方法

试验于 2011 年 5~10 月在农业部水稻盐害科学观测实验站进行。设置 290 cm(l)×140 cm(w)×60 cm(h)的水泥池,将配置好的土壤装入池内压实,按照土壤的盐碱化程度分别设置 8 个处理(T0~T7)。2011 年 4 月 3 日将 14 个水稻品种(系)浸种催芽后育苗,5 月 25 日选取叶龄一致、大小均等的秧苗,单株移栽到池中,移栽密度为 69 穴/m²。移栽前施底肥(复合肥,含 N、P、K 各 15%)10 g/m²,分蘖期和孕穗期追施尿素 2.5 g/m²,全生育期保持水层 2 cm。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤理化性质

参照鲍士旦^[13]的方法:有机质含量测定采用电砂浴加热-K₂Cr₂O₇容量法,pH 值测定采用电位法,电导率(EC)测定采用电导法,土壤碱解氮测定采用碱解扩散法,土壤速效磷测定采用钒钼黄比色法,土壤速效钾测定采用火焰光度法,土壤 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 含量测定采用中和滴定法。

1.3.2 形态调查

返青期调查水稻植株存活率;自移栽后每隔 7 d 跟踪调查水稻株高、单株茎蘖数(主茎+分蘖);于 7 月 2 日用 LAI2000 冠层分析仪测定各处理水稻群体叶面积指数。将 14 个水稻品种(系)的形态调查结果取平均值参与不同 pH 值的比较。

1.3.3 产量及产量构成因素

成熟期收获各处理水稻,自然风干后测定实际产量,调查产量构成因素及其他农艺性状。将 14 个水稻品种(系)的产量结果取平均值参与不同 pH 值的比较。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对土壤基本性质的影响

苏打盐碱土壤以 Na⁺、HCO₃⁻、CO₃²⁻ 为主要成分,不同地段土壤 Na⁺、HCO₃⁻、CO₃²⁻ 含量各不相同,造成土壤在 pH 值、电导率以及养分状况上产生明显差别(表 2)。pH 值和电导率均随着盐碱胁迫

迫的增强而增加, T0~T7 pH 值从 7.5 上升至 11.1, 电导率从 0.800 上升至 2.190; 有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量则随着盐碱胁迫的增强

而下降, 下降幅度分别为 1.1%~85.7%、9.1%~86.7%、1.6%~25.7%和 4.7%~26.5%。在养分含量上, 有机质和碱解氮的变化幅度相对较大, 速效

表 2 供试土壤的基本性质

处理	土壤类型	pH 值	电导率 (mS/cm)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
T0	河床冲积土	pH 7.5	0.800	56.5	252.0	19.1	213.8
T1	碱化土	pH 8.0	0.801	55.9	229.0	18.8	203.8
T2	碱化土	pH 8.5	0.897	52.2	210.0	17.8	198.8
T3	碱化土	pH 8.9	1.263	33.2	155.4	16.8	177.8
T4	碱化土	pH 9.6	1.489	29.3	151.2	15.9	174.8
T5	碱化土	pH 9.9	1.756	21.9	126.0	15.3	167.0
T6	碱化土	pH 10.5	2.081	18.3	71.4	15.5	163.3
T7	自然碱土	pH 11.1	2.190	8.1	33.6	14.2	157.1

磷和速效钾含量受盐碱胁迫的影响则相对较小。

2.2 存活率

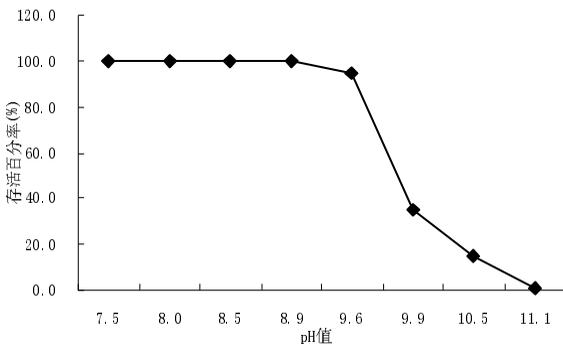


图 1 不同 pH 值下水稻存活百分率

随着 pH 值的不断提高、盐碱胁迫的逐渐增强, 水稻存活率逐渐下降(图 1)。在 pH 值 7.5~8.9 范围内, 水稻幼苗移栽后存活率均为 100%, 从 pH 值 9.6 开始, 存活率开始下降, 与 pH 值 7.5 相比, 分别下降 5.5%、64.7%、85.3% 和 99.2%, 在 pH>10.5 的盐碱胁迫下, 水稻几乎不能存活。

2.3 株高

随着生育期的延长, 水稻株高逐渐增加(图 2)。但不同 pH 值下, 水稻株高增长动态有明显差异。随着 pH 值的增加, 株高增长速率逐渐下降, 至成熟期, pH 值 10.5 的株高仅是 pH 值 7.5 的 50.9%, 其中 pH 值 11.1 的株高在水稻移栽后 15 d 左右时为 0, 这是因为该处理在此时已经没有存

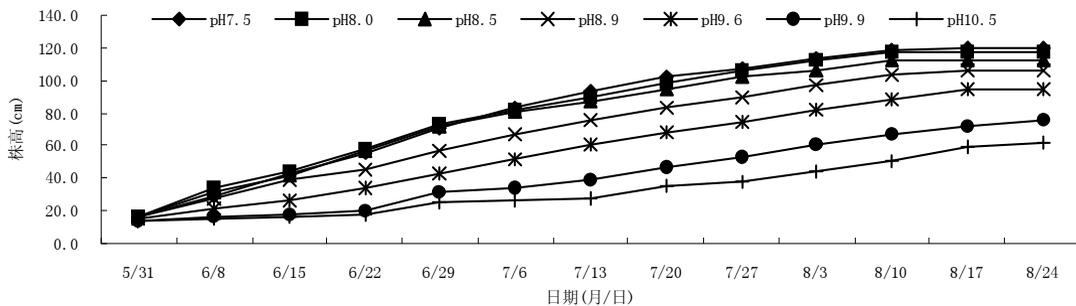


图 2 不同 pH 值下水稻株高生长动态

活的植株。

2.4 单株茎蘖数

苏打盐碱胁迫严重抑制水稻分蘖的产生, 这种抑制作用随着 pH 值的提高而逐渐增强。在成熟期, 自 pH 值 8.0 开始, 各处理单株茎蘖数分别比对照 (pH 值 7.5) 减少 5.6%、8.6%、27.6%、43.1%、55.2% 和 74.1%。与株高相同, pH 值 11.1

处理由于没有存活植株, 因而也没有分蘖。从图 3 中可以看出, pH 值 7.5~8.5 范围内, 在 6 月 29 日前后出现分蘖高峰。当 pH 值 >8.9 时, 不出现分蘖高峰, 但存在两类不同的现象, 当 pH 值 8.9~9.6 时, 在 7 月 13 日前后单株茎蘖数趋于稳定; 当 pH 值 9.9~10.5 时, 单株茎蘖数在水稻分蘖期以后仍有增加, 这说明苏打盐碱胁迫不仅使

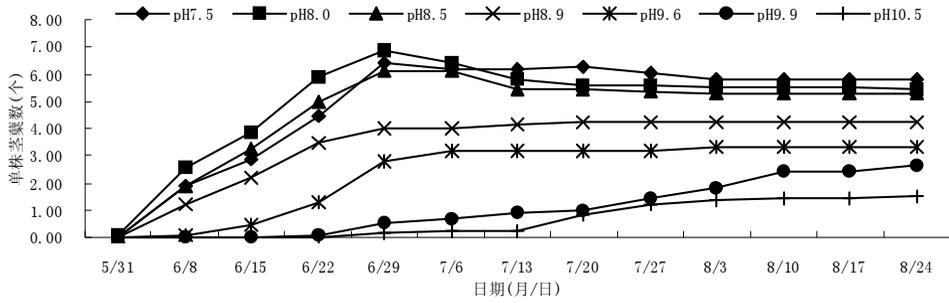


图3 不同 pH 值下水稻单株茎蘖生长动态

单株茎蘖数下降,而且延迟其分蘖的发育。

2.5 叶面积指数

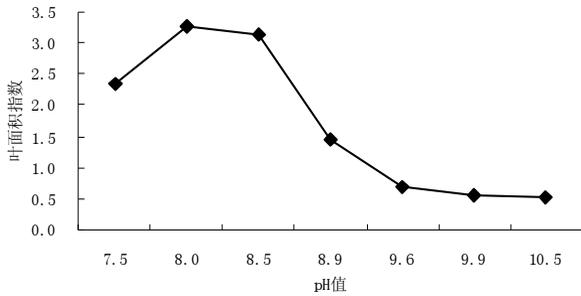


图4 不同 pH 值下水稻叶面积指数(7月2日)

从图4可以看出,与株高、分蘖不同,水稻叶面积指数不是随着盐碱胁迫的增强而逐渐下降,

表现出轻度盐碱胁迫的促进作用,pH值8.0和pH值8.5分别是对照(pH值7.5)的1.4倍和1.3倍;当pH值>8.9时叶面积指数开始明显降低,分别比对照(pH值7.5)减少38.9%、70.3%、75.8%和77.9%。

2.6 产量及产量构成因素

从表3可以看出,随着盐碱胁迫的增强,主茎和单株平均穗长、穗粒数逐渐下降,而结实率、千粒重有上升趋势。但主茎和单株平均单位面积产量变化有差异,其中主茎单位面积产量受盐碱胁迫影响不大,而单株平均单位面积产量随着pH值的增加而逐渐降低,pH值8.0、pH值8.5、pH值8.9和pH值9.6处理分别比对照(pH值7.5)减

表3 不同 pH 值下水稻主茎及单株平均产量、产量构成因素

pH 值	产量(g/m ²)	穗长(cm)	单穗重(g)	穗粒数	一次枝梗实粒数	二次枝梗实粒数	结实率(%)	千粒重(g)
主茎								
7.5	91.1	19.2	2.8	130.3	58.6	58.2	89.2	25.7
8.0	86.3	19.1	2.7	128.0	61.5	46.6	84.0	26.1
8.5	88.8	18.3	2.7	124.8	61.5	50.4	89.5	25.0
8.9	91.0	17.7	2.9	115.5	58.6	49.4	93.6	27.4
9.6	87.9	17.3	2.5	103.2	54.9	41.1	92.9	27.6
9.9	-	-	-	-	-	-	-	-
10.5	-	-	-	-	-	-	-	-
11.1	-	-	-	-	-	-	-	-
单株平均								
7.5	448.5	17.4	2.2	102.1	48.7	42.9	88.0	26.9
8.0	436.8	17.6	2.2	104.7	51.6	38.5	84.9	28.5
8.5	407.9	16.9	2.1	98.5	50.1	37.9	88.2	28.1
8.9	379.7	16.6	2.2	93.9	48.9	38.1	92.2	27.4
9.6	253.7	16.3	2.1	88.7	46.9	34.4	90.7	28.0
9.9	-	-	-	-	-	-	-	-
10.5	-	-	-	-	-	-	-	-
11.1	-	-	-	-	-	-	-	-

少2.6%、9.1%、15.4%和43.4%。

3 讨论

“阈值”是指某系统或物质状态发生剧烈改变的那一个点或区间,在植物耐盐碱研究中,阈值常被用作筛选和鉴定的临界值。目前,几种重要作物

的耐 NaCl 阈值已基本确定^[14]。张启星^[15]总结到引起产量损失的临界值是土壤含盐量的电导率为 3 mΩ/cm, 并确定 0.5% 盐浓度是稻种资源鉴定筛选的适宜浓度, 王宝山等^[16]以大田常用的植株存活 50% 的盐浓度作为耐盐阈值, 发现独角虎耐盐阈值为 135 mmol/L、糖高粱为 82 mmol/L NaCl。程广有等^[6]研究指出, pH 值 8.6(Na₂CO₃ 处理) 可以作为水稻品种耐碱性的秧苗期筛选浓度。苏打盐碱土富含 Na₂CO₃ 和 NaHCO₃, 碱化度高, 对作物生长发育的危害比 NaCl 更重, 祁栋灵等^[17]研究指出, 0.15% 或 0.20% Na₂CO₃ 胁迫可作为水稻发芽期耐碱性鉴定的碱胁迫条件, 0.10% 或 0.15% Na₂CO₃ 胁迫可作为水稻幼苗前期耐碱性鉴定的碱胁迫条件。上述研究多为对水稻 NaCl 耐性或芽期、幼苗期耐盐碱阈值的确定, 而关于水稻大田生长期耐苏打盐碱阈值的研究则不多。苏打盐碱地盐碱化程度不均一, 了解水稻生长发育在苏打盐碱胁迫下的阈值反应对合理化开发盐碱地种稻有重要意义。

苏打盐碱胁迫对水稻最显著的影响就是生长抑制, 从而降低产量。本文研究发现从 pH 值 9.6 开始, 存活率开始下降, 当 pH 值 >10.5 时, 水稻几乎不能存活, 可以认为在本试验条件下, pH 值 10.5 是水稻的生存极限。而在 pH 值 7.5~9.6 范围内, 水稻虽然能够正常抽穗结实, 但随着盐碱胁迫强度的增加, 各农艺性状都受到不同程度的影响。如果将各形态指标受抑制率 50% 时的 pH 值作为耐苏打盐碱形态阈值, 水稻不同形态指标发生阈值反应时的 pH 值范围不同, 相比较而言, 叶面积指数、产量、单株茎蘖数要先于存活率、株高发生阈值反应, 表明水稻不同指标对盐碱胁迫敏感程度不一样, 耐盐碱阈值并不相同, 其耐盐碱 pH 值阈值上限还有待于深入研究。这些说明, 用形态指标的变化来确定水稻的耐盐碱性存在不确定性, 这与陈家宙等^[18]在玉米对干旱的阈值反应的研究结果相似。

作物产量是否显著降低是确定耐盐碱阈值的根本指标。本文将产量抑制率为 50% 时的 pH 值定义为该品种的耐盐碱 pH 值产量阈值, 研究表明: 水稻成熟期各品种(系)耐盐碱 pH 值阈值不同, 大多数水稻品种(系)耐盐碱 pH 值产量阈值介于 pH 值 8.9~9.6 之间。

在本研究中还发现, 耐盐碱性强的品种耐 pH 值阈值高, 对盐碱敏感的品种耐 pH 值阈值低, 因此生产中应重视不同品种间对苏打盐碱胁迫反应的差异性, 选用合适品种, 以达到盐碱地种植水稻稳产、增产的目的。

参考文献:

- [1] 赵慧霞, 吴绍洪, 姜鲁光. 生态阈值研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 338-345.
- [2] Rabford J Q, Bennett A F, Cheers G J. Landscape-level thresholds of habitat cover for woodland-dependent birds[J]. Biological Conservation, 2005(124): 317-337.
- [3] Van der Ree R, Bennett A F, Gilmore D C. Gap-crossing by gliding marsupials: thresholds for use of isolated woodland patches in an agricultural landscape [J]. Biological Conservation, 2004(115): 241-249.
- [4] 程广有, 许文会, 黄永秀. 关于水稻苗期 Na₂CO₃ 筛选浓度和鉴定指标的研究[J]. 延边农学院学报, 1994(1): 42-46, 51.
- [5] 梁正伟, 杨福, 王志春, 等. 盐碱胁迫对水稻主要生育性状的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 43-46.
- [6] 程广有, 许文会, 黄永秀, 等. 水稻品种耐盐碱性的研究[J]. 延边农学院学报, 1995, 17(4): 195-201.
- [7] 张秀双, 魏晓敏, 杨丽, 等. 水稻不同品种耐盐限度研究初报[J]. 垦殖与稻作, 2006, 36(4): 53-55.
- [8] 王建飞, 陈宏友, 杨庆利, 等. 盐胁迫浓度和胁迫时的温度对水稻耐盐性的影响[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 449-454.
- [9] 张瑞珍, 邵玺文, 童淑媛, 等. 盐碱胁迫对水稻源库与产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 116-118.
- [10] Zaidem M L, Mendoza R D, Tumimbang E B, et al. Genetic variability of salinity tolerance at different growth stages of rice//PBGB 2003 Annual Report. Las Banos[J]. Philippines: IRRRI, 2004: 19-20.
- [11] Zang J P, Sun Y, Wang Y, et al. Dissection of genetic overlap of salt tolerance QTLs at the seedling and tillering stages using backcross introgression lines in rice [J]. Sci China: Series C(Life Sci), 2008, 51(7): 583-591.
- [12] 潘晓颍, 黄善军, 陈凯, 等. 大田全生育期盐水灌溉胁迫筛选水稻耐盐恢复系[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1): 49-54.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 赵可夫. 植物抗盐生理 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 244-245.
- [15] 张启星. 水稻耐盐性筛选、鉴定及评价[J]. 河北农垦科技, 1989(4): 4-9.
- [16] 王宝山, 邹琦, 赵可夫. 高粱不同器官生长对 NaCl 胁迫的响应及其耐盐阈值[J]. 西北植物学报, 1997, 17(3): 279-285.
- [17] 祁栋灵, 张三元, 曹桂兰, 等. 水稻发芽期和幼苗前期耐碱性的鉴定方法研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(1): 74-80.
- [18] 陈家宙, 王石, 张丽丽, 等. 玉米对持续干旱的反应及红壤干旱阈值[J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 532-539.