

水杨酸浸种对谷子萌发期抗旱性的影响

高汝勇¹, 吕亚慈¹, 时丽冉¹, 李明哲^{2*}

(1. 衡水学院生命科学系, 河北 衡水 053000; 2. 河北省农林科学院旱作农业研究所/河北省农作物抗旱研究实验室, 河北 衡水 053000)

摘要:为研究水杨酸对谷子萌发期抗干旱胁迫能力的影响,以衡谷15、衡谷13、冀谷19、衡饲1号谷子种子为材料,以18%的PEG模拟干旱环境,分别用7种浓度的水杨酸浸种24 h,测定发芽率、发芽指数、活力指数、根长、苗高、鲜重等,综合分析4种谷子的抗干旱胁迫能力。结果表明:在干旱胁迫下,水杨酸浸种后各品种表现不同,有些品种的抗旱能力没有明显变化。而冀谷19和衡谷15的发芽能力显著提高,衡谷15、冀谷19、衡谷13的活力指数显著增加,0.6 mmol/L水杨酸浸种是最适浓度。通过隶属函数的综合分析可知水杨酸浸种后4个品种谷子抗旱性的大小为:衡谷13>冀谷19>衡饲1号>衡谷15。

关键词:谷子;干旱胁迫;水杨酸浸种;种子萌发

中图分类号:S515

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2021)02-0015-04

Effects of Soaking Seeds with Salicylic Acid on Drought Resistance of Millet at Germination Stage

GAO Ruyong¹, LYU Yaci¹, SHI Liran¹, LI Mingzhe^{2*}

(1. College of Life Science, Hengshui University, Hengshui 053000; 2. Institute of Dryland Farming, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Key Lab of Crop Drought Tolerance Research of Hebei Province, Hengshui 053000, China)

Abstract: In order to study the effect of salicylic acid on drought resistance of foxtail millet during germination period, the seeds of Henggu 15, Henggu 13, Jigu 19 and Hengsi No.1 were soaked in salicylic acid for 24 h with 18% peg to simulate drought environment. The germination rate, germination index, vigor index, root length, seedling height and fresh weight of the four foxtail millet were determined. The results showed that under drought stress, all varieties showed different performance after soaking in salicylic acid, and the drought resistance of some varieties did not change significantly. The germination ability of Jigu 19 and Henggu 15 increased significantly, and the vigor index of Henggu 15, Jigu 19 and Henggu 13 increased significantly. 0.6 mmol/L salicylic acid was the optimal concentration for soaking seeds. According to the comprehensive analysis of membership function, the drought resistance of four millet varieties after soaking with salicylic acid was Henggu 13 > Jigu 19 > Hengsi No 1 > Henggu 15

Key words: Millet; Drought resistance; Salicylic acid soaking; Seed germination

华北地区地处半干旱大陆性季风气候带,年平均降水量较少,属于缺水地区。谷子是我国北方地区的一种常见的、非常重要的农作物。谷子

的籽粒中含有多种维生素、氨基酸、微量元素^[1],因营养丰富而成为优良的滋补品^[2]。谷子也是牲畜的优质饲料。另外谷子根系发达,蒸腾系数远远小于小麦、玉米、高粱,所以水分利用效率很高,谷子是可持续农业发展的生态作物^[3],也是应对未来水资源短缺的战略贮备作物。

抗旱性是数量性状,受多重因素影响,在抗旱性最强的谷子品种之间,水分利用效率也存在很大差异,甚至相差6倍^[4]。分析评价谷子品种的抗旱性是非常有意义的。植物种子的萌发以及幼苗的生长是整个生命活动的起点,也是植物适应外

收稿日期:2019-07-20

基金项目:现代农业产业技术体系建设项目(CARS-06-13.5-B3);衡水学院校级课题(2020ZR17);河北省现代农业产业技术体系杂粮杂豆产业创新团队(HBCT20180704 02)

作者简介:高汝勇(1973-),女,副教授,硕士,主要从事遗传学研究。

通讯作者:李明哲,男,硕士,副研究员,E-mail: limengzhe1976@yahoo.com.cn

部环境的端点,这一时期是植物生长最敏感时期^[5]。因此可以通过研究萌发期的生长状况来了解谷子的抗旱性。

聚乙二醇-6000是一种高压渗透剂^[6],可以限制种子吸水的速度,在实验中常使用PEG来模拟干旱的环境。大量研究已表明,添加的外源信号物质能减轻植物在逆境中所受的伤害,增加植物的抗性,从而促进植物生长发育^[7]。植物体内普遍存在的水杨酸是一种信号分子^[8],大量研究表明^[9-11],外源水杨酸可有效提高植物的抗性,比如抗病性、抗盐性、抗旱性、抗寒性、抗热性、抗重金属性、抗紫外线性等。水杨酸对于旱胁迫下华北地区谷子发芽的影响未见报道。本实验拟用PEG模拟干旱环境,对华北地区常见的4个谷子品种进行水杨酸浸种后的萌发期干旱实验,从而了解水杨酸对各个品种抗旱性的作用大小,获得最适合各品种在干旱环境下萌发的水杨酸浓度,这对华北地区谷子的栽培和生产具有重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

衡谷 15、衡谷 13、冀谷 19、衡饲 1 号共 4 个谷子品种。

1.2 实验方法

挑选饱满种子,用 0.1% HgCl₂ 溶液消毒 10 min,蒸馏水冲洗 3 次后自然风干,用 0(蒸馏水)、0.2、0.4、0.6、1.0、1.5、2.0、2.5 mmol/L 水杨酸浸种 24 h。采用培养皿发芽法进行萌发实验。每个培养皿中放入 100 粒种子,用蒸馏水浸种的种子分别加入 10 mL 蒸馏水、18% PEG 作为两个对照。

水杨酸浸种的种子加入 18%PEG 10 mL。重复 3 次,放置于 25 °C 温箱中培养。

每天定时观察,记录种子萌发个数。等对照组的种子不再萌发时实验结束,从每个培养皿中选取 15 株测定植株的鲜重、根长和苗高等,计算种子的发芽率、活力指数,并进行种子抗旱性的综合评价。

1.3 数据分析

对测得的数据进行差异显著性分析和多重比较并计算抑制率,抑制率(%)=(1-处理/对照)×100,采用隶属函数法对全部品种的抗干旱能力进行全面综合评价。

2 结果与分析

2.1 水杨酸浸种对谷子发芽率的影响

由表 1 可知,PEG 处理后各品种谷子的发芽率均比蒸馏水对照组低,占蒸馏水对照的 56.9%~74.2%。水杨酸浸种后,发芽率随着水杨酸浓度的增加呈先上升后下降最终低于 PEG 对照组的趋势。与 PEG 对照组相比,衡谷 13 和衡饲 1 号的发芽率分别在 0.6、1.0 mmol/L 时达到最大值,抑制率分别为-7.1%和 2.1%,与 PEG 对照组差异不大,说明水杨酸浸种对这两个品种在干旱胁迫下的发芽能力并无促进作用。冀谷 19 和衡谷 15 在 0.6 mmol/L 处理时发芽率达到最大值,抑制率分别为-72.5%和-75.8%,与 PEG 对照组差异显著,说明 0.6 mmol/L 的水杨酸对这两个品种谷子进行浸种处理,可以有效提高其在干旱胁迫下的发芽率。

表 1 水杨酸浸种后谷子发芽率的变化

%

	水杨酸浓度(mmol/L)								
	蒸馏水处理	PEG 处理	0.2	0.4	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
冀谷 19	60.0	40.0b	36.0c	44.0b	69.0a	52.0b	39.0bc	21.0d	11.0d
			(10.0)	(-10.0)	(-72.5)	(-30.0)	(2.5)	(47.5)	(72.5)
衡谷 13	85.0	56.7a	44.3b	40.3b	60.7a	52.0ab	44.7b	39.3b	23.7c
			(21.8)	(28.8)	(-7.1)	(8.2)	(21.2)	(30.6)	(58.2)
衡谷 15	58.0	33.0c	44.3b	55.3a	58.0a	29.3c	12.7d	9.7d	7.3d
			(-34.3)	(-67.7)	(-75.8)	(11.1)	(61.6)	(70.7)	(77.8)
衡饲 1 号	86.7	64.3a	52.7b	51.3b	56.0a	63.0a	46.3b	26.3c	1.7d
			(18.1)	(20.2)	(12.9)	(2.1)	(28.0)	(59.1)	(97.4)

注:同一行中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,括号中数值表示各处理对 PEG 对照组的抑制率,下同

2.2 水杨酸浸种对谷子根长的影响

由表 2 可知,在干旱胁迫下各品种谷子的根长下降,占蒸馏水对照的 24%~56%,平均值为

41%。水杨酸浸种后,各品种谷子根长呈先升后降的趋势,各品种表现不同。衡谷 13 和衡谷 15 在低水杨酸处理下与 PEG 对照无明显差异,当水杨

酸浓度分别提高到2.0 mmol/L、1.5 mmol/L时,根长下降增加,显著低于PEG对照组。因此水杨酸浸种对衡谷13、衡谷15的根长没有促进作用。

在低于0.6 mmol/L水杨酸浸种后,冀谷19的根长显著增长,0.6 mmol/L处理时增长最多,之后

根长下降。衡饲1号根长在低于0.6 mmol/L时受到抑制,1.0 mmol/L处理根长显著增大,且根长达到最大值。因此水杨酸浸种可以提高冀谷19、衡饲1号的根长,最适水杨酸浓度是0.6 mmol/L、1.0 mmol/L。

表2 水杨酸浸种后谷子根长的变化

cm

	水杨酸浓度(mmol/L)								
	蒸馏水处理	PEG处理	0.2	0.4	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
冀谷19	5.72	3.21c	3.93ab (-22.4)	3.63b (-13.2)	4.31a (-34.5)	2.73d (14.9)	1.90e (40.8)	1.05f (67.4)	0.00g (100.0)
衡谷13	4.62	1.08a	1.11a (-2.9)	1.07a (0.8)	1.12a (-3.5)	1.15a (-6.4)	1.00a (7.7)	0.76b (30.0)	0.44c (59.0)
衡谷15	5.93	2.24ab	2.08b (7.0)	2.47a (-10.4)	1.97b (11.8)	1.83b (18.0)	0.92c (58.7)	0.71c (68.1)	0.00d (100.0)
衡饲1号	6.63	2.97b	2.53c (14.8)	2.43c (18.3)	2.04d (31.4)	3.46a (-16.4)	1.68e (43.5)	0.81e (72.9)	0.00f (100.0)

2.3 水杨酸浸种对谷子苗高的影响

由表3可知,PEG抑制了谷子的苗高,各品种下降幅度为41.2%~84.5%,平均值为57.3%。在干旱胁迫下,冀谷19、衡谷13的苗高随着水杨酸浓度的增加而呈先上升后下降的趋势。与PEG对照组相比,0.4 mmol/L、0.6 mmol/L的水杨酸浸种后,冀谷19的苗高增高不显著,处理浓度大于1.0

mmol/L时,苗高较对照显著下降。衡谷13在0.6 mmol/L和1.0 mmol/L水杨酸处理下苗高较对照增高,0.6 mmol/L处理苗高增加显著,同时苗高抑制率最低,其他处理与对照相比,苗高均低于对照组。衡谷15和衡饲1号的苗高较PEG对照均降低。因此水杨酸浸种对冀谷19、衡谷15和衡饲1号的幼苗长高并无促进作用。

表3 水杨酸浸种后谷子苗高的变化

cm

	水杨酸浓度(mmol/L)								
	蒸馏水处理	PEG处理	0.2	0.4	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
冀谷19	4.71	3.98a	3.72a (6.5)	4.11a (-3.3)	4.32a (-8.6)	2.61b (34.4)	2.09b (47.5)	1.25c (68.5)	0.00d (100.0)
衡谷13	4.82	2.26b	2.00b (11.9)	2.16b (4.5)	2.92a (-29.2)	2.55ab (-12.6)	1.80b (20.4)	1.24c (45.1)	0.75c (66.7)
衡谷15	4.60	2.60a	2.34a (10.0)	1.37c (47.4)	1.82b (30.1)	1.04cd (60.1)	0.99d (61.9)	0.86d (67.1)	0.00e (100.0)
衡饲1号	4.37	1.80a	1.11b (38.1)	1.07b (40.7)	1.71a (5.0)	1.26ab (30.2)	1.47ab (18.3)	0.86b (52.2)	0.00c (100.0)

2.4 水杨酸浸种对谷子鲜重的影响

由表4可知,在干旱胁迫下,各品种下降幅度为54.4%~71.7%,平均值为64.1%。水杨酸浸种后各品种鲜重变化不同。衡谷15和衡饲1号0.4 mmol/L以下低浓度水杨酸处理轻微降低鲜重,水杨酸浓度增加到0.6 mmol/L时,鲜重增加,和PEG对照组相比差异不大,之后鲜重随水杨酸浓度升高而逐渐降低,均低于PEG对照组,因此水杨酸浸种不能有效提高衡谷15和衡饲1号的幼苗质量。冀谷19 0.2 mmol/L最低浓度处理显著提高,

抑制率高达-23.9%,之后鲜重呈下降趋势,0.4~0.6 mmol/L处理组鲜重比对照组增加幅度不大,从1.0 mmol/L处理开始鲜重低于PEG对照组。衡谷13所有处理均显著提高鲜重。因此,水杨酸浸种能有效提高衡谷13和冀谷19的幼苗鲜重。

2.5 水杨酸浸种对谷子活力指数的影响

由表5可知,在干旱胁迫下各品种活力指数下降幅度为21.6%~46.5%,平均值为33.9%。0.2~0.4 mmol/L低浓度浸种后,冀谷19的活力指数较PEG对照组变化不大;之后活力指数上升,

表4 水杨酸浸种后谷子幼苗鲜重的变化

g

	水杨酸浓度 (mmol/L)								
	蒸馏水处理	PEG 处理	0.2	0.4	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
冀谷 19	1.459	1.046b	1.296a (-23.9)	1.063b (-1.7)	1.142ab (-9.2)	0.930b (11.0)	0.677c (35.2)	0.386d (63.1)	0.000e (100.0)
衡谷 13	1.155	0.785d	1.403c (-78.7)	1.646b (-109.6)	1.881ab (-139.5)	1.600bc (-103.7)	1.840ab (-134.3)	1.924a (-145.0)	1.406c (-79.1)
衡谷 15	1.690	1.050ab	0.809bc (22.9)	0.867b (17.5)	1.087a (-3.5)	0.893b (14.9)	0.847b (19.4)	0.627c (40.3)	0.000d (100.0)
衡饲 1 号	2.040	1.110a	1.056a (4.9)	0.900a (18.9)	1.187a (-6.9)	0.987a (11.1)	1.047a (5.7)	0.423b (61.9)	0.000c (100.0)

表5 水杨酸浸种后谷子种子活力指数的变化

	水杨酸浓度 (mmol/L)								
	蒸馏水处理	PEG 处理	0.2	0.4	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
冀谷 19	35.320	16.417bc	17.942b (-9.3)	16.024bc (2.4)	31.343a (-90.9)	19.112b (-16.4)	9.864c (39.9)	3.310cd (79.8)	0.000d (100.0)
衡谷 13	68.371	14.780d	20.920c (-41.5)	23.021bc (-55.8)	39.985a (-170.5)	29.870b (-102.1)	28.322c (-91.6)	25.189bc (-70.4)	11.169d (24.4)
衡谷 15	31.729	12.431c	14.383c (-15.7)	19.205b (-54.5)	24.198a (-94.7)	10.846c (12.8)	3.331d (73.2)	1.808d (85.5)	0.000d (100.0)
衡饲 1 号	72.016	20.469ab	21.775ab (-6.4)	16.174b (21.0)	23.945a (-17.0)	18.794ab (8.2)	11.119b (45.7)	2.716c (86.7)	0.000c (100.0)

0.6 mmol/L 处理时活力指数达到最大值,显著高于 PEG 对照组,之后活力指数下降,1.5 mmol/L 处理活力指数开始低于 PEG 对照组。

0.6 mmol/L 以下水杨酸浸种后,衡谷 15 的活力指数较对照均上升;0.4、0.6 mmol/L 处理活力指数达到显著差异水平,随着水杨酸浓度增加,活力指数开始下降,也低于对照组。衡饲 1 号的活力指数在 0.2 ~ 1.5 mmol/L 处理时增加或下降不明显,2.0 mmol/L 处理才起显著抑制作用。

用浓度为 0.2 ~ 2.0 mmol/L 水杨酸浸种后,衡

谷 13 的活力指数较对照显著增加,0.6 mmol/L 处理增加最多。因此,水杨酸浸种不能有效提高衡饲 1 号的活力指数,0.6 mmol/L 处理能显著提高衡谷 15、冀谷 19、衡谷 13 的活力指数。

2.6 综合分析

通过隶属函数分析法对 4 个品种谷子的苗高、根长、鲜重、发芽率和活力指数进行综合分析,结果见表 6。水杨酸浸种后谷子抗干旱胁迫能力由高到低为:衡谷 13>冀谷 19>衡饲 1 号>衡谷 15。

表6 水杨酸浸种后谷子各项指标隶属函数值

	发芽率	根长	苗高	鲜重	活力指数	平均值
冀谷 19	0.564	0.688	0.644	0.103	0.158	0.431
衡谷 13	0.535	0.385	0.783	1.000	1.000	0.741
衡谷 15	0.417	0.156	0.076	0.016	0.139	0.161
衡饲 1 号	0.376	0.340	0.203	0.063	0.108	0.218

3 讨论

本实验用 PEG-6000 来模拟干旱环境,对衡谷 15、衡谷 13、冀谷 19 和衡饲 1 号 4 个华北地区常见的谷子品种在水杨酸浸种后进行萌发期干旱实验,结果表明,PEG 处理抑制了谷子种子发芽和幼苗生长。水杨酸浸

种后,各品种的抗干旱能力变化不尽相同。

在发芽率方面,水杨酸浸种对衡谷 13、衡饲 1 号影响不大,即不能提高其发芽能力。而冀谷 19 和衡谷 15 表现不同,0.6 mmol/L 处理能显著提高其发芽能力,达到增强其抗干旱的能力。

在幼苗生长方面,水杨酸浸种后(下转第 22 页)

产量构成因素[J]. 中国农业科学, 2017, 50(5): 822-829.

[2] 裴 斌. 帚用高粱的几个重要性状与种植密度的关系[J]. 北京农业, 2014(2): 10.

[3] 杨慧莹, 刘玉涛, 王宇先, 等. 纤维高粱高产栽培及深加工前景[J]. 黑龙江农业科学, 2013(2): 163-164.

[4] 宋旭东, 史红梅, 张海燕, 等. 工艺用高粱种质资源性状多样性分析[J]. 辽宁农业科学, 2011(4): 31-33.

[5] 黄瑞冬, 周宇飞, 李 卓, 等. 不同密度对帚用高粱生长发育及工艺性状的影响[J]. 作物杂志, 2003(5): 13-14.

[6] 王劲松, 焦晓燕, 丁玉川, 等. 粒用高粱养分吸收、产量及品质对氮磷钾营养的响应[J]. 作物学报, 2015, 41(8): 1269-1278.

[7] Ogunlela V B, Okoh P N. Response of three sorghum varieties to N supply and plant density in a tropical environment[J]. Fertilizer research, 1989, 21(2): 67-74.

[8] 刘贵锋, 白文斌, 赵建武, 等. 旱地不同种植密度对中晚熟矮秆高粱品种农艺性状及产量的影响[J]. 农学学报, 2012, 2(5): 32-35.

[9] 汪 由, 王恩杰, 王 岩, 等. 种植密度对高粱食用杂交种辽杂 13 生长发育及产量的影响[J]. 辽宁农业科学, 2010(6): 24-27.

[10] 刘均革, 孟宪刚, 王能东, 等. 高粱不同播期农艺性状差异分析研究[J]. 天津农林科技, 2011, 8(4): 25-27.

[11] 刘丽华, 钱永德, 吕艳东, 等. 不同施肥量、种植密度因素下饲用甜高粱生育动态及产量优化[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(6): 1231-1234.

[12] 王洪预, 崔正果, 伍舒悦, 等. 氮磷钾肥料配施对粒用高粱籽粒产量的影响[J]. 东北农业科学, 2018, 43(3): 1-4.

[13] 王瑛霞, 刘 涛, 于艳红, 等. 吉林省西部高粱生产中的问题及发展对策[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(6): 69-71.

[14] 杨 楠, 丁玉川, 焦晓燕, 等. 种植密度对高粱群体生理指标、产量及其构成因素的影响[J]. 农学学报, 2013, 3(7): 11-17.

[15] 申晓慧, 冯 鹏, 李如来, 等. 密度对矮秆早熟高粱新品种‘吉杂 141’的产量及产量性状的影响[J]. 农学学报, 2016, 6(9): 27-30.

[16] 李光华, 马英慧, 周紫阳, 等. 种植密度对高粱群体生理指标、产量及其构成因素的影响[J]. 农业科技与信息, 2016(2): 76, 78.

[17] 王 聪, 杨克军, 魏金鹏, 等. 不同肥密因素下酿造高粱产量及品质的表现[J]. 作物杂志, 2016(1): 98-104.

(责任编辑:王 昱)



(上接第 18 页)根长、苗高基本上呈先升后降的趋势。浸种对衡谷 13、衡谷 15 的根长无明显影响, 0.6 mmol/L 处理能显著促进冀谷 19、1.0 mmol/L 处理显著促进衡饲 1 号的根长增长。水杨酸浸种对冀谷 19、衡谷 15、衡饲 1 号的苗高无明显影响, 0.6 mmol/L 处理对衡谷 13 的苗高有显著促进作用。浸种不能有效提高衡谷 15、衡饲 1 号的幼苗质量, 0.2 mmol/L 处理能显著提高冀谷 19 的幼苗质量, 所有处理均能显著提高衡谷 13 的幼苗质量。水杨酸浸种不能有效提高衡饲 1 号的活力指数, 0.6 mmol/L 处理能显著提高衡谷 15、冀谷 19、衡谷 13 的活力指数。因此, 水杨酸浸种只能提高部分品种芽期的抗干旱能力, 最合适的水杨酸浸种浓度是 0.6 mmol/L。通过隶属函数法综合分析水杨酸浸种后各品种抗旱性的大小为: 衡谷 13>冀谷 19>衡饲 1 号>衡谷 15。这对华北地区的谷子栽培及生产具有重要意义。

参考文献:

[1] 沈 琰, 王 颖, 张东杰, 等. 黑龙江省和吉林省谷子品种遗传多样性分析[J]. 东北农业科学, 2016, 41(3): 8-13.

[2] 韩淑云, 刘明贵, 杨官厅. 陕西谷子品种资源抗旱鉴定[J].

陕西农业科学, 1986(4): 6-7.

[3] 李国营, 朱志华. 谷子分子遗传研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(4): 556-560.

[4] 陈尚漠. 旱区农田水分利用效率探讨[J]. 干旱地区农业研究, 1995(1): 14-19.

[5] 肖小君, 黄 倩, 罗陈勇, 等. 水杨酸浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 福建农业学报, 2017, 32(6): 583-586.

[6] 张百俊, 杨东平, 侯小坤. 聚乙二醇对西葫芦抗冷生理的影响[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(5): 12-13, 56.

[7] 郝敬虹, 易 晔, 尚庆茂, 等. 干旱胁迫下外源水杨酸对黄瓜幼苗膜脂过氧化和光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 717-723.

[8] 孟长军, 杜喜春, 赵银萍. 外源水杨酸对喜树幼苗盐害胁迫缓解效应的生理机制初探[J]. 东北农业科学, 2018, 43(3): 23-27.

[9] 闫艳华. 外源水杨酸对 NaCl 胁迫下燕麦幼苗生长和生理特性的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(6): 50-54.

[10] 刘 杰, 杨絮茹, 周蕴薇. 水杨酸浸种处理对黑麦草种子萌发及幼苗抗旱性的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(4): 582-585.

[11] 高培培, 章 艺, 吴玉环, 等. 外源水杨酸对铝胁迫下柞楼光合特性及耐铝性的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 267-273.

(责任编辑:刘洪霞)