

NaCl 胁迫对甜高粱萌发及过氧化物同工酶的影响

王秀玲¹ 程序² 谢光辉² 李桂英^{3*} 赵伟华³

(1. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193; 2. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193;
3. 中国农业科学院 作物科学研究所, 北京 100081)

摘要 以 9 个甜高粱材料为对象, 设 0、70、140 和 210 mmol/L 4 个 NaCl 浓度, 在人工气候箱中进行发芽试验, 分析了不同 NaCl 浓度对甜高粱发芽的影响, 利用相对盐害率的隶属函数值综合评价了耐盐性; 用聚丙烯酰胺凝胶垂直板电泳法, 研究了不同 NaCl 浓度对甜高粱苗中 POD 同工酶的影响。结果表明: 盐胁迫下甜高粱发芽率、发芽指数、发芽势、活力指数、芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量均与对照差异显著 ($P < 0.05$)。耐盐性强弱顺序为: 泰斯 > 甜 132 > BJK156 > 考利 > 吉甜 3 > 威利 > 凯勒 > 戴尔 > 吉甜 2。与对照相比, 随着 NaCl 浓度增加, 9 个甜高粱材料 POD 同工酶表达量均逐渐增加, 并且威利、甜 132、凯勒、吉甜 2、泰斯、吉甜 3、考利在 3 个 NaCl 浓度下均诱导出了新的酶带 P1, 戴尔在 140 和 210 mmol/L 浓度下诱导出了新的酶带 P1, BJK156 仅在 210 mmol/L 浓度下诱导出了新的酶带 P1, 吉甜 3 在 70 mmol/L 浓度下酶带 P4 消失, 在 140 和 210 mmol/L 浓度下又逐渐出现。甜高粱 POD 同工酶谱的变化与其耐盐性强弱在一定程度上相关。

关键词 甜高粱; NaCl; 萌发; 过氧化物同工酶 (POD)

中图分类号 S 514; Q 554

文章编号 1007-4333(2011)01-0018-06

文献标志码 A

Effect of NaCl on germinating and expression of peroxidase isozyme of sweet sorghum

WANG Xiu-ling¹, CHEN Xu², XIE Guang-hui², LI Gui-ying^{3*}, ZHAO Wei-hua³

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
3. Institution of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Nine sweet sorghum cultivars were observed for salinity tolerance in climate incubator and irrigated with four NaCl concentrations of 0, 70, 140 and 210 mmol/L with three replications. Comprehensive evaluation on salt tolerance was studied by fuzzy mathematics. Effects of salt stress on POD isozyme of sweet sorghum seeding were studied by PAGE. As a result, there are significant ($P < 0.05$) differences between all treatments and control in germination rates, germination index, germination energy, bud length, root length, bud fresh weight, root fresh weight. Moreover, averages of the above eight indicators decrease along with the increase of salt concentrations. The order of salt-tolerance for nine varieties was: Thesi > Tian132 > BJK156 > Cowley > Jitian3 > Wray > Keller > Dale > Jitian2. In the meantime, Pattern of POD isozyme bands became stronger and stronger with increase of salinity concentration, a novel isozyme band (P1) was induced at 210 mmol/L NaCl for BJK156, at 140, 210 mmol/L NaCl for Dale, under all salt stress for Wray, Tian132, Keller, Jitian2, Thesi, Jitian3, Cowley. The isozyme band P4 disappeared at 70 mmol/L and appeared at 140, 210 mmol/L NaCl for Jitian3. The changes of peroxidase isoenzyme profiles may be related to the salt tolerance in sweet sorghum.

Key words sweet sorghum; NaCl; germinate; peroxidase isozyme (POD)

收稿日期: 2010-02-26

基金项目: 科技部“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD07A04, 2009BADA7B01); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(3-30-1)

第一作者: 王秀玲, 博士研究生, E-mail: wangxl0609@163.com

通讯作者: 李桂英, 博士, 研究员, 主要从事生物质工程研究, E-mail: liguiying@caas.net

甜高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 具有很强的抗干旱、耐贫瘠、耐盐碱特性, 适宜在盐碱、干旱等边际土地上种植, 而且由于生长快, 产量高和茎秆富含糖分, 被誉为“生物能源系统中最有力的竞争者”^[1]。世界陆地面积的 6%, 世界耕地面积的 20%, 接近 50% 的灌溉土地被高盐害所影响^[2]。中国盐渍土面积约 991 3 万 hm^2 , 而且盐碱化和次生盐碱化每年均在不断加重。由于轻度和中度的盐渍化, 我国北方及西北不少地方的土地已经处于抛荒状态^[3]。充分利用这些边际土地, 种植甜高粱, 发展生物质能源产业, 符合我国“不与粮争地、不与人争粮”发展生物质能源的政策导向, 可以有效缓解耕地资源紧张和保障国家粮食安全的压力。因此, 筛选耐盐甜高粱品种、研究盐胁迫下甜高粱幼苗的生理生化变化对有效利用盐渍化土地和发展生物质能源具有重要意义。

研究表明, 植物处于不良环境时, 能通过诱导或抑制某些同工酶的产生来适应环境。过氧化物同工酶 (POD) 是一种对外界不良环境条件十分敏感的酶^[4], 同工酶谱的变化在一定程度上能反映植物抗盐性的强弱^[5]。盐胁迫对 POD 同工酶谱的影响在水稻^[4]、小麦^[5-6]、大麦^[7]、马铃薯^[8-9]、西瓜^[10]、草莓^[11]等已作了研究, 甜高粱盐胁迫与 POD 同工酶谱关系的研究国内外文献尚未见报道。本文通过探讨不同浓度的 NaCl 胁迫对 9 个甜高粱材料发芽及 POD 同工酶谱的影响, 为筛选耐盐甜高粱材料并从蛋白质水平上为甜高粱耐盐性的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2009-12—2010-03 在中国农业科学院作物科学研究所生物质能源实验室进行, 选用 9 个甜高粱材料: 甜 132、吉甜 3、吉甜 2、BJK156 是国内培育品种(系), 泰斯、威利、戴尔、凯勒、考利是从国外引进的材料。

1.2 方法

1.2.1 发芽方法

每个材料挑选 30 粒大小一致、饱满的种子, 用体积比 1% 的次氯酸溶液消毒 10 min, 再用蒸馏水冲洗 3 次, 摆放在直径 12 cm 并铺有 2 层滤纸的培养皿中, 设 0、70、140 和 210 mmol/L 4 个 NaCl 浓度, 每个培养皿中放 20 mL 盐溶液, 3 次重复。培养

皿放在人工气候箱中发芽, 昼/夜温度 28 °C/25 °C, 光照为 6 667 lx, 相对湿度为 60%, 昼/夜各 12 h。以胚根长 0.2 mm 作为种子发芽标志, 从第 2 天到第 7 天每天统计发芽种子数, 第 7 天从每个培养皿中取有代表性的 5 株测量芽苗长、根长、芽苗鲜质量、根鲜质量, 并计算平均值, 同时取部分材料在液氮中速冻后-80 °C 冰箱中保存备用。

1.2.2 过氧化物同工酶的提取、聚丙烯酰胺凝胶电泳及染色

取发芽第 7 天的芽苗 0.5 g, 加提取液 (0.05 mol/L pH 6.8 Tris-HCl 缓冲液) 3 mL, 在液氮中磨样, 然后以 2 mL 提取液分次洗入离心管, 在台式低温高速离心机 (EPPENDORF CENTRIFUGE 5415R) 中 10 000 r/min 离心 15 min, 上清液为待测样品, 置 4 °C 冰箱中备用。采用垂直平板不连续聚丙烯酰胺凝胶电泳技术^[12]。分离胶质量分数为 7.5%, 浓缩胶质量分数为 3.0%, 浓缩胶电泳电压 100 V, 分离胶电泳电压为 300 V^[12], 采用抗坏血酸-联苯胺染色液染色^[13], 待酶带清晰后在 BIO-RAD 凝胶成像系统中拍照。测量各酶带的相对迁移距离, 计算各酶带的相对迁移率 (R_f) = 酶带迁移相对距离 / 溴酚蓝迁移相对距离^[7]。

1.3 计算公式^[14-15]

发芽率/% =

发芽第 7 天发芽种子数 / 供试种子数 $\times 100$

发芽指数 = $\sum G_t / D_t$,

(G_t 为时间 t 的发芽数, D_t 为相应的发芽天数)

发芽势/% = 4 d 内发芽种子数 / 供试种子数 $\times 100$

活力指数 = $S \times \sum G_t / D_t$, (S 为芽苗的鲜质量)

相对盐害率/% = (对照值 - 处理值) / 对照值 $\times 100$

1.4 综合评价方法

利用模糊数学中求隶属函数的方法进行各指标抗盐性综合评价。其公式为: A, $X_{ij} = x_{ij} - x_{j\min} / x_{j\max} - x_{j\min}$; B, $X_i = 1/n \sum X_{ij}$ 。其中: X_{ij} 表示 i 种类 j 指标的抗盐隶属函数值, $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 分别表示各种类指标的最大和最小测定值, n 表示抗性测定指标总和^[16]。先求出各个指标的相对盐害率在不同 NaCl 浓度下的隶属值, 再把每一指标的相对盐害率在不同 NaCl 浓度下的隶属值累加求平均值, 最后再将各品种不同指标的相对盐害率的隶属值累加求其平均值, 平均值越大则表明其抗盐性

越弱。

1.5 数据处理

利用 SAS 9.0 软件进行统计分析,计算各个性状的平均值、相对盐害率及其隶属函数值。

2 结果与分析

2.1 不同 NaCl 浓度下 9 个甜高粱材料各测试性状差异显著性分析

从表 1 可以看出,随着 NaCl 浓度的增大,发芽率、发芽指数、发芽势、活力指数、芽苗长、根长、芽鲜

质量和根鲜质量都逐渐减少。在 70 mmol/L NaCl 浓度下的发芽率、发芽指数和发芽势分别与对照差异显著($P<0.05$),在 140 和 210 mmol/L NaCl 浓度下的发芽率、发芽指数和发芽势分别与对照差异极显著($P<0.01$)。在 70 mmol/L NaCl 浓度下的芽鲜质量与对照差异不显著,在 140 和 210 mmol/L NaCl 浓度下芽鲜质量与对照差异极显著($P<0.01$)。在 70、140 和 210 mmol/L NaCl 浓度下的活力指数、芽长、根长和根鲜质量 4 项指标都与对照差异极显著($P<0.01$)。

表 1 不同 NaCl 浓度下 9 个甜高粱材料各测试性状差异显著性
Table 1 Traits of nine sweet sorghum varieties under three salt concentrations

NaCl 浓度/(mmol/L)	发芽率/%	发芽指数	发芽势	活力指数	芽长/cm	根长/cm	芽鲜质量/g	根鲜质量/g
0	84.78 a	22.86 a	0.85 a	9.72 a	8.42 a	11.3 a	0.20 a	0.14 a
70	73.44 b	19.57 b	0.74 b	6.39 b	6.39 b	7.53 b	0.15 ab	0.10 b
140	68.56 b	16.09 c	0.68 b	3.47 c	4.14 c	5.42 c	0.10 bc	0.07 c
210	67.11 b	15.99 c	0.66 b	2.87 c	2.33 d	2.96 d	0.06 c	0.04 d

注:同列不同小写字母表示不同 NaCl 浓度下同一测试指标差异显著($P<0.05$)。

2.2 9 个甜高粱材料耐盐性的综合评价

利用模糊数学隶属函数法对 9 个甜高粱材料发芽率、发芽指数、发芽势、活力指数、芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量的相对盐害率的隶属函数

值的总平均值大小进行综合评价,从而评价不同甜高粱材料的耐盐性,其耐盐性强弱顺序为泰斯>甜 132>BJK156>考利>吉甜 3>威利>凯勒>戴尔>吉甜 2(表 2)。

表 2 不同甜高粱材料各指标相对盐害率的隶属函数值及耐盐性综合评价
Table 2 Subjection value of salt toxicity rate of all traits and Comprehensive evaluation of salt tolerance order of sweet sorghum cultivars

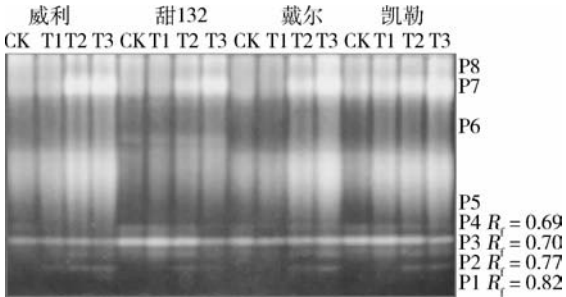
品 种	隶属函数值									耐盐 顺序
	发芽率	发芽指数	发芽势	芽 长	根 长	芽鲜质量	根鲜质量	活力指数	平均值	
甜 132	0.283 2	0.353 9	0.238 6	0.522 7	0.538 6	0.524 1	0.477 5	0.484 8	0.427 9	2
威利	0.582 5	0.610 0	0.477 8	0.662 5	0.717 5	0.624 9	0.643 2	0.735 2	0.631 7	6
吉甜 3	0.590 6	0.518 6	0.512 1	0.559 8	0.539 4	0.596 4	0.598 3	0.683 9	0.574 9	5
泰斯	0.172 1	0.061 1	0.124 2	0.556 8	0.484 5	0.462 7	0.397 3	0.395 6	0.331 8	1
BJK156	0.266 7	0.223 4	0.235 4	0.669 4	0.752 4	0.509 2	0.642 0	0.541 0	0.479 9	3
戴尔	0.654 0	0.702 8	0.602 8	0.674 9	0.641 8	0.636 3	0.491 1	0.730 8	0.641 8	8
凯勒	0.495 4	0.586 4	0.456 5	0.699 4	0.649 3	0.668 8	0.727 4	0.774 7	0.632 2	7
考利	0.531 6	0.291 6	0.429 6	0.661 0	0.535 8	0.650 5	0.534 0	0.628 1	0.532 8	4
吉甜 2	0.635 8	0.735 5	0.609 7	0.677 1	0.638 3	0.590 2	0.594 8	0.730 9	0.651 5	9

2.3 NaCl 胁迫对 9 个甜高粱材料 POD 同工酶的影响

对威利、甜 132、戴尔、凯勒、BJK156、吉甜 2、泰

斯、吉甜 3 和考利 9 个甜高粱材料在 0、70、140 和 210 mmol/L 4 种 NaCl 浓度下生长 7 d 的芽苗中 POD 同工酶谱分析(图 1、图 2),可分辨的酶带主要

有 8 条,将酶谱从正极端开始命名分别为 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 和 P8,其中 P1 是盐胁迫诱导出的新酶带,新酶带的相对迁移率为 0.815 4,P2、P3、P4、P5、P6、P7 和 P8 是对照和盐处理所共有的酶带。盐胁迫后 P5、P6、P7 和 P8 这 4 条 POD 同工酶酶带的表达量明显高于对照,是较宽的扩散酶带。其中酶带 P5、P6 和 P7 较对照明显变宽。综合分析 9 个甜高粱材料盐胁迫后 POD 同工酶谱的变化得出,从 70~210 mmol/L 随着 NaCl 浓度的逐渐增大,POD 同工酶表达量都逐渐增加。在 210 mmol/L 浓度下都诱导出了新的酶带。



CK、T1、T2、T3 分别代表每个甜高粱材料在 0、70、140 和 210 mmol/L NaCl 浓度下 POD 同工酶谱,4 条泳道为一个材料。

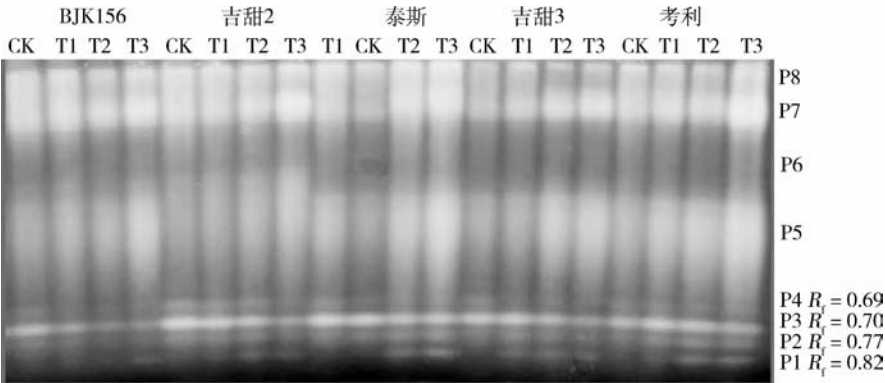
图 1 威利、甜 132、戴尔、凯勒这 4 个甜高粱材料对照和盐处理后苗中 POD 同工酶的变化

Fig. 1 Changes of POD isozyme profiles in seeding of Wray, Tian132, Dale, Keller

NaCl 胁迫对威利、甜 132、戴尔、凯勒 POD 同工酶谱的影响如图 1,威利在 70、140、210 mmol/L 浓度下都诱导出新的酶带(P1),且新酶带 P1 和酶

带 P2 同工酶表达量都随着 NaCl 浓度的增加逐渐增大;甜 132 在 3 个 NaCl 浓度下也诱导出了新的酶带(P1),但在 140 mmol/L 浓度下新酶带 P1 同工酶表达量最大,在 210 mmol/L 浓度下酶带 P1 和 P2、P3、P4 同工酶表达量减弱;戴尔在 70 mmol/L 浓度下没有出现新的酶带,在 140、210 mmol/L 浓度下诱导出现了新的酶带(P1)且随着 NaCl 浓度的增大同工酶表达量逐渐增加。凯勒在 70、140、210 mmol/L 浓度下都诱导出现了新的酶带(P1)且新酶带同工酶表达量随着 NaCl 浓度的增加而逐渐增大。

NaCl 胁迫对 BJK156、吉甜 2、泰斯、吉甜 3、考利 POD 同工酶谱的影响如图 2, BJK156 在 70、140 mmol/L 浓度下 P5、P6、P7、P8 同工酶表达量增加, P2、P3、P4 同工酶表达量减弱,在 210 mmol/L 浓度下诱导出一条新的酶带(P1);吉甜 2 盐胁迫后诱导出了新的酶带,并且随着 NaCl 浓度的增大新酶带 P1 同工酶表达量逐渐增加,但 P2、P3、P4 同工酶表达量逐渐减弱;泰斯在 70、140、210 mmol/L 浓度下诱导出了新的酶带(P1),并且随着 NaCl 浓度增大各条同工酶表达量都加强;吉甜 3 随 NaCl 浓度的增大酶带 P5、P6、P7、P8 同工酶表达量逐渐增加,在 70 mmol/L 浓度下酶带 P4 消失,但在 140、210 mmol/L 浓度下又随着 NaCl 浓度的增加逐渐出现,在 3 个 NaCl 浓度下都诱导出了新的酶带 P1。考利在 2 个 NaCl 浓度下也都诱导出了新的酶带(P1),并且随着 NaCl 浓度的增大所有确带的同工酶表达量逐渐增加。综上所述甜高粱经盐胁迫后随着 NaCl 浓度的增大,POD 同工酶表达量逐渐增加,并且诱导出的新酶带(P1)。



CK、T1、T2、T3 分别代表每个甜高粱材料在 0、70、140、210 mmol/L 浓度下 POD 同工酶谱,4 条泳道为一个材料。

图 2 BJK156、吉甜 2、泰斯、吉甜 3、考利这 5 个甜高粱材料对照和盐处理后苗中 POD 同工酶的变化

Fig. 2 Changes of POD isozyme profiles in seeding of BJK156, Jitian2, Thesi, Jitian3, Cowley

3 讨 论

作物在种子萌发期对盐分最敏感,发芽期耐盐性是进行植物耐盐性早期鉴定及进行耐盐品种早期选择的基础^[17]。本试验研究 NaCl 胁迫对甜高粱发芽的影响,结果说明盐胁迫降低甜高粱发芽率、发芽速度、推迟发芽,抑制芽苗和根的生长,且 NaCl 浓度越大对甜高粱种子发芽的抑制程度越明显,这与在玉米^[18]、大豆^[19]、水稻^[20]、棉花^[21]、草^[22]上的研究结论相一致。

发芽势反映了种子发芽的快慢和整齐度,发芽率反映了种子发芽的多少,发芽指数能够反映种子在整个发芽期的综合活力,活力指数既能反映种子发芽率、发芽速度,又能反映生长势及生长活力。这些指标能够从不同的角度反映出发芽期耐盐性的强弱,但是单个指标反映耐盐性往往具有一定的片面性,仅仅根据单个指标也很难确定耐盐性的强弱^[14]。利用各个指标的隶属函数值和总隶属函数值进行耐盐性强弱鉴定在番茄^[14]、小麦^[16]上已作了研究,本研究引用各个指标相对盐害率的隶属函数值和总隶属函数值对 9 个甜高粱材料的发芽率、发芽指数、发芽势、芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量、活力指数的相对盐害率进行综合分析,可以较客观地反映出甜高粱的耐盐性强弱^[23-24]。

过氧化物同工酶(POD)是一类广泛存在于植物体内的氧化还原酶,它的主要生理功能是清除因各种原因(包括盐胁迫)产生的细胞内活性氧自由基,抑制膜内不饱和脂肪酸的过氧化作用,维持细胞膜的稳定性和完整性,提高植物抗逆性。植物受到盐碱^[7]、干旱^[25]、冷害^[26]等逆境时 POD 同工酶都会发生变化,这已被深入研究。Jin 等^[7]研究得出大麦经 NaCl 胁迫 10 d 后 POD、SOD 同工酶谱都诱导出新的酶带。孟学平^[5]研究了不同浓度 NaCl 对冬小麦根 POD 同工酶的影响,结果显示盐胁迫诱导出了新的酶带。Rahnama 等^[9]研究认为 NaCl 胁迫诱导马铃薯幼苗也产生了新的酶带。本研究通过 9 个甜高粱材料 NaCl 胁迫后芽中 POD 同工酶谱分析得出,在 210 mmol/L 浓度下都诱导出了一条新酶带,这与以上结果相一致,另外甜高粱随着 NaCl 浓度的增大,POD 同工酶表达量逐渐增加,这与随着 NaCl 浓度的增大草莓叶片中 POD 活性增强,POD 同工酶谱强度逐渐加强^[11]的结论相一致。同时在马铃薯^[8]上也得出了相同的结论。本研究中威利、

甜 132、凯勒、吉甜 2、泰斯、吉甜 3、考利在 3 个 NaCl 浓度下均诱导出了新的酶带 P1,戴尔在 140、210 mmol/L 2 个 NaCl 浓度下诱导出了新的酶带 P1, BJK156 仅在 210 mmol/L NaCl 浓度下诱导出了新的酶带 P1。吉甜 3 在 70 mmol/L 浓度下酶带 P4 消失,但在 140、210 mmol/L 浓度下又随着 NaCl 浓度的增加逐渐出现。甜 132 在 140 mmol/L 浓度下新酶带 P1 同工酶表达量最大,在 210 mmol/L 浓度下酶带 P1 和 P2、P3、P4 同工酶表达量减弱,所以盐诱导甜高粱芽中 POD 同工酶谱变化与品种、NaCl 浓度有关,这可能是 9 个甜高粱材料耐盐能力差异的生理原因之一。王振英等^[4]对耐盐、一般耐盐、盐敏感 3 种水稻材料进行同工酶检测,结果发现耐盐品种根系中诱导产生新的 POD 谱带(POD4),而对盐敏感品种则有 3 条 POD 谱带(POD1、POD2、POD3)消失,证明 POD 同工酶谱的变化与水稻的耐盐性有一定的相关性。孙静^[6]研究小麦 POD 同工酶基因表达与盐适应的关系,证明了根和叶中 POD 同工酶谱发生显著的变化。总结本试验 9 个甜高粱材料经盐胁迫后芽中 POD 同工酶谱得出,随着盐胁迫的增加 POD 同工酶表达量逐渐增加,并且在 210 mmol/L 浓度下 9 个甜高粱材料都诱导出了新酶带,这可能说明甜高粱耐盐性与芽中 POD 同工酶谱的变化具有一定的相关性。

参 考 文 献

- [1] 黎大爵. 亟待开发的甜高粱酒精燃料[J]. 中国农业科技导报, 2003(4):48-51
- [2] FAO. FAO land and plant nutrition management service[DB/OL]. (2008-04-25) [2008-04-25] <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/>
- [3] 牛东玲,王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报,2002,33(6):449-455
- [4] 王振英,郑坚瑜. 盐胁迫下耐盐与盐敏感水稻的 RAPD 和 POD 同工酶检测[J]. 应用与环境生物学报,2000,6(2):106-111
- [5] 孟学平,杨恒山,郭宏,等. 盐胁迫对冬小麦过氧化物酶同工酶的影响[J]. 华北农学报,2000,15(4):62-67
- [6] 孙静,吕效波,张方正,等. 盐胁迫下小麦过氧化物酶同工酶、全蛋白质变化的研究[J]. 生物技术,2005,15(3):27-28
- [7] Jin X L, Huang Y Z, Zeng F R, et al. Genotypic difference in response of peroxidase and superoxide dismutase isozymes and activities to salt stress in barley[J]. Acta Physiol Plant, 2009, 31:1103-1109
- [8] 张瑞玖,尚国斌,蒙美莲,等. NaCl 胁迫对马铃薯抗氧化系统的影响[J]. 中国马铃薯,2007,21(1):11-14

- [9] Rahnama H, Ebrahimzadeh H. The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedlings[J]. *Biologia Plantarum*, 2005, 49(1):93-97
- [10] 刘香娥,郭世荣,田婧,等. 嫁接对 NaCl 胁迫下西瓜叶片抗氧化酶活性及其同工酶的影响[J]. *长江蔬菜*, 2009, 2b:22-26
- [11] Gulen H, Turhan E, Eris A. Changes in peroxidase activities and soluble proteins in strawberry varieties under salt-stress[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2006, 28(2):109-116
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 131-135
- [13] 赵会芳, 巩振辉, 赵利民, 等. 大白菜萝卜细胞质雄性不育系 RC₇ 花药发育的解剖学和同工酶研究[J]. *中国农业大学学报*, 2009, 14(2):64-69
- [14] 董志刚, 程智慧. 番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及耐盐指标评价[J]. *生态学报*, 2009, 29(3):1348-1355
- [15] 田伯红, 王素英, 李雅静, 等. 谷子地方品种发芽期和苗期对 NaCl 胁迫的反应和耐盐品种筛选[J]. *作物学报*, 2008, 34(12):2218-2222
- [16] 陈德明, 俞仁培, 杨劲松. 盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价[J]. *土壤学报*, 2002, 39(3):368-373
- [17] Levitt J. Response of Plants to Environmental stress [M]. New York: Academic press, 1980:300-590
- [18] 王宁, 曹敏建, 王君, 等. NaCl 和 Na₂CO₃ + NaHCO₃ 对玉米种子萌发及幼苗生长的影响差异研究[J]. *作物杂志*, 2009, 4:52-56
- [19] 张秀玲. 不同盐分胁迫对野生大豆种子发芽的影响[J]. *大豆科学*, 2009, 28(3):461-466
- [20] 郭望模, 傅亚萍, 孙宗修. 水稻芽期和苗期耐盐指标的选择研究[J]. *浙江农业科学*, 2004(1):30-33
- [21] 王俊娟, 叶武威, 周大云, 等. 盐胁迫下不同耐盐类型棉花的萌发特性[J]. *棉花学报*, 2007, 19(4):315-317
- [22] Dash M, Panda S K. Salt stress induced changes in growth and enzyme activities in germinating *phaseolus mungo* seeds[J]. *Biologia Plantarum*, 2001, 44(4):587-589
- [23] 陶向新. 模糊数学在农业科学中的初步应用[J]. *沈阳农学院学报*, 1982(2):96-107
- [24] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J]. *云南农业大学学报*, 1989, 4(1):73-81
- [25] Guo X H, Jiang J, Wang B C, et al. ThPOD3, a truncated polypeptide from *Tamarix hispida*, conferred drought tolerance in *Escherichia coli* [J]. *Mol Biol Rep*, 2009, DOI 10.1007/s11033-009-9484-8
- [26] Zou W H, Chen Y Z, Lu C F. Differences in biochemical responses to cold stress in two contrasting varieties of rape seed (*Brassica napus* L.) [J]. *Forestry Studies in China*, 2007, 9(2):142-146

(生物质研究专栏论文 3, 责任编辑: 袁文业)

科研简讯

我校“现代农业装备与设施教育部工程研究中心”接受专家验收

2010 年 12 月 28 日, 教育部组织专家对“现代农业装备与设施教育部工程研究中心”进行了现场验收。专家组在听取了中心主任高振江教授作的中心建设工作汇报并现场考察研究平台, 现场质疑和充分讨论后一致同意通过验收。

中心以市场为导向, 以现代农业装备和设施技术的产业化发展为目的, 根据市场需求, 以制约我国农业装备和设施农业发展的工程技术瓶颈为研究方向, 进行技术集成和工程化研究, 将科研成果转化为实际生产力, 促进农业装备产业和设施农业的健康发展, 为农业现代化和新农村建设提供科技支撑。

中心已完成建筑面积为 1.7 万 m² 的研发基地; 搭建了以智能型土壤机器植物系统、数字化实验室以及设施环境模拟实验室为主体的农业装备技术成果转化平台; 初步搭建了为样机生产、产品中试以及生产工艺制定提供技术和装备支持的机械加工中心, 与多个企业联合组建了研发平台, 极大改善了技术验证及成果转化的手段与装备条件。

中心已累计承担“十一五”国家支撑项目、“863”项目、国家自然科学基金委项目等各项科研项目 186 项; 申请专利 287 项, 其中授权发明专利 56 项, 实用新型专利 65 项; 发表论文 500 篇, 其中 SCI/EI 收录论文 306 篇; 研发推广各类新机具、新产品 30 多种; 鉴定验收科研成果 20 余项; 获得国家科技进步奖 4 项、省部级奖 7 项。

中心的近期目标是建成一支一流的农业装备与设施技术创新开发与系统集成队伍; 形成现代农业装备与设施科技成果产业化过程化验证环境和对科技成果进行技术经济分析和工程评估的能力, 针对农业装备发展、现代农业建设和社会主义新农村建设需要的不断创新的可持续发展能力, 推动农业装备制造业和农业机械化事业的技术进步。