

渍水对黑龙江不同年代育成大豆品种特性的影响

郑伟^{1,2}, 西天一³, 郭泰¹, 王志新¹, 李灿东¹, 张振宇¹, 刘婧琦¹, 刘忠堂¹

(1. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 黑龙江省农科院博士后工作站, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:为了明确黑龙江省不同年代育成大豆品种抗涝能力的遗传改良趋势,选用黑龙江省 1985 – 2010 年育成的 5 个代表性主栽大豆品种为试材,采用盆栽试验模拟田间渍水灾害,分别在盛花期设置渍水 7 和 14 d 处理,以常规水分处理为对照,研究渍水对大豆植株形态、根系活力、生理指标及粒重的影响。结果表明:株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重降低百分率以及冠根比增加百分率在渍水 7 和 14 d 条件下均呈先降低后升高的变化趋势;根系活力降低百分率呈现先降低后升高的变化趋势;叶色值和净光合速率降低百分率呈先降低后升高的趋势;丙二醛(MDA)增加百分率呈先降低后升高的趋势,过氧化物酶(POD)活性和可溶性糖(SS)含量呈相反的变化趋势;单株粒重降低百分率呈先降低后升高的趋势;以上各性状变化百分率与品种育成年代相关均达到显著或极显著水平。从不同年代育成品种植株形态、光合生理、根系活力、叶片部分生理指标变化规律可以看出,黑龙江省不同年代育成大豆品种抗涝能力呈先升高后降低的趋势。

关键词:大豆;不同年代;抗涝能力;遗传改良

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.06.0937

Effect of Waterlogging on Characteristics of Soybean Cultivars Released in Different Years in Heilongjiang Province

ZHENG Wei^{1,2}, XI Tian-yi³, GUO Tai¹, WANG Zhi-xin¹, LI Can-dong¹, ZHANG Zhen-yu¹, LIU Jing-qi¹, LIU Zhong-tang¹

(1. Jiamusi Branch Academy of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Jiamusi 154007; 2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Post-doctoral Workstations, Harbin 150086, China; 3. Agronomy College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to clear the genetic improvement tendency of anti-water-logging capacity of different years soybean varieties in Heilongjiang Province, five representative major soybean cultivars bred in Heilongjiang Province from 1985 to 2010 were used as test materials. The waterlogging treatment had been done in full-blossom period for 7 and 14 days respectively in order to study the effect of plant morphology, root activity, physical signs and grain weight in pot experiment. The contrast was common water treatment. The results showed that the decrease percentage of plant height, plant leaf area, root volume, root superficial area, root dry weight and the increase percentage of root/shoot ratio decreased firstly and then increased under water-logging treatment 7 and 14 days. The decrease percentage of root activity decreased firstly and then increased. The decrease percentage of leaf color and net photosynthetic rate decreased firstly and then increased. The increase percentage of malondialdehyde (MDA) also decreased firstly and then increased. The peroxidase (POD) and soluble sugar (SS) showed a opposite trend. The decrease percentage of plant grain weight decreased firstly and then increased. Change percentage of all above characters had reached a significant level or extremely significant level between different breed years. The change rule of plant morphology, photosynthetic physiology, root activity and the leaf physical signs indicated that the anti-water-logging capacity of different breed years soybean cultivars increased firstly and then decreased.

Keywords: Soybean; Different years; Anti-water-logging capacity; Genetic improvement

渍水是低湿地区大豆生产中常见的灾害现象,渍水胁迫抑制大豆植株生长、扰乱大豆正常生理功能,使大豆产量和品质受到严重影响^[1-4]。对冠层的影响表现为株高降低^[5-7]、叶面积指数减小^[8];根系发育受阻,根干重和根体积降低,冠根比增加^[9-12];对光合生理指标的影响表现为叶色值和净光合速率降低^[13-15];同时丙二醛含量会增加,渗透调节物质和保护酶活性均会发生变化^[13,16-17]。黑龙江省是我国大豆主产区,大豆生产主要中在东部三江平原地区,该地区地势低湿,降水时空分布不均,阶段性涝害时有发生,给该地区大豆生产带来了严重的影响,尤其是每年伏天雨季到来时,大部分地

收稿日期:2015-05-18
基金项目:黑龙江省科技创新工程(2014ZD009);国家现代农业产业技术体系(CARS-04-CES05)。
第一作者简介:郑伟(1976-),男,博士,副研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究工作。E-mail:zhw105122@126.com。
通讯作者:郭泰(1963-),男,研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究工作。E-mail:guotaidadou@163.com。

块容易发生内涝,形成渍水灾害。以往研究表明,大豆不同基因型之间对渍水胁迫的耐受能力存在差异,这主要是由遗传基础决定的^[18],通过选用耐涝品种可以有效降低涝害给低洼易涝地区带来的损失^[19],因此,在黑龙江省东部地区应该选择抗涝能力强的大豆品种来满足生产需求。本研究选用黑龙江省不同年代育成大豆品种为试材,研究其抗涝能力遗传改良规律,试验结论对提高低湿地区大豆抗涝育种和栽培技术水平具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

将1985-2010年平均分成5个时间段,选择每个时间段内育成的大豆主栽品种为试材,所选品种分别为合丰25(1985s)、合丰35(1990s)、绥农14(1995s)、合丰39(2000s)、垦丰16(2005s),所选品种生育日数均为120 d,亚有限结荚习性。

1.2 试验设计

试验于2013-2015年在国家大豆区域创新中心佳木斯分中心进行。供试土壤为黑钙土,取自田间0~20 cm耕层,有机质含量1 235 mg·kg⁻¹,全氮28.6 mg·kg⁻¹,碱解氮2.2 mg·kg⁻¹,速效磷11.8 mg·kg⁻¹,速效钾40.6 mg·kg⁻¹,搅拌均匀风干备用。采用盆栽试验,盆规格为上口直径30 cm,下口直径25 cm,高40 cm,每盆装风干土14.0 kg。渍水方式以水面到达大豆子叶节处为准,采用裂区设计,以品种为主区,水分处理为副区,设置渍水7、14 d和常规水分管理(CK)3个处理水平。试验于5月15日播种,每个品种播种48盆,每盆定苗3株,于盛花期进行水分处理,每个品种处理24盆,12盆用于取样分析,12盆恢复正常水分管理,成熟时测产。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 株高 利用直尺测定试验品种株高,每个处理测定3盆,每盆测定3株,取平均值。

1.3.2 根表面积和根体积 将根系沿子叶节处剪断,利用根系扫描分析系统(WinRHIZO)测定根体积和根表面积。

1.3.3 根干重和冠根比 利用烘干法,测定冠部干重和根系干重,冠根比=冠部干重/根系干重。

1.3.4 单株叶面积 将取样后的大豆植株叶片全部摘下,铺在透明塑料板上压平,然后利用MSD-971叶面积分析仪,扫描全株叶面积。

1.3.5 叶色值 每次渍水胁迫结束后取样之前,利用活体叶绿素测定仪(SPAD502)测定主茎倒3叶中间小叶的叶色值,每盆测量3株取平均值。

1.3.6 光合速率 渍水处理后,利用Li-cor6400光合测定系统测定主茎倒3叶中间小叶片的净光合速率,测定条件:流速500 μmol·s⁻¹,红蓝光源光量子通量处理(PFD)为1 000 μmol·m⁻²·s⁻¹。

1.3.7 生理指标 丙二醛的测定采用硫代巴比妥酸法;过氧化物酶测定采用愈创木酚法;可溶性糖含量测定采用苯酚法测定;根系活力测定采用TTC法;以上生理指标的测定均参考李合生^[20]的方法。将试验材料取下,迅速放在液氮中,带回实验室放在-80℃超低温冰箱中保存,然后在实验室内进行测定。

1.3.8 单株粒重 试验材料成熟后脱粒,风干7 d后测定单株产量。

1.4 数据分析

利用Excel 2000软件对数据进行统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 渍水对大豆植株形态的影响

对不同渍水处理条件下参试品种株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重、冠根比进行分析,结果表明品种间和处理间以上性状差异均达到显著或极显著水平,说明不同年代育成品种植株形态指标对渍水胁迫反应存在差异。胁迫使参试品种株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重均呈降低趋势,而冠根比呈增加趋势,但不同品种之间存在差异。参试品种在渍水7和14 d条件下,合丰25(1985s)、合丰35(1990s)、绥农14(1995s)、合丰39(2000s)和垦丰16(2005s)株高分别降低9.93%和16.57%、6.80%和13.78%、5.49%和7.93%、8.70%和14.02%、9.63%和17.48%;单株叶面积分别下降12.17%和25.08%、9.12%和20.96%、5.76%和11.38%、9.37%和20.13%、13.53%和25.12%;根体积降低16.94%和26.05%、10.56%和18.10%、7.23%和14.34%、11.09%和13.65%、16.26%和23.87%;根表面积降低14.53%和28.37%、9.80%和25.19%、5.85%和15.65%、9.79%和27.38%、14.92%和33.06%;根干重降低10.19%和21.27%、7.30%和16.10%、4.07%和10.81%、6.54%和16.55%、11.53%和22.81%;冠根比增加9.90%和15.61%、7.38%和12.35%、3.39%和8.59%、5.51%和11.21%、9.80%和15.63%,其中1990s、1995s、2000s根表面积、1995s根干重渍水7 d与对照差异不显著,其它处理与对照差异均达到显著或极显著;1985s和

2005s 除冠根比与对照差异为极显著外,其它年代品种冠根比与对照差异均为不显著和极显著。对不同年代育成品种渍水处理后株高、单株叶面积、根体积、根表面积、根干重、根冠比变化百分率与品

种育成年代之间进行了多元线性回归分(图1),结果表明,渍水7和14 d条件下,以上性状变化百分率与品种育成年代相关均达到显著或极显著水平。

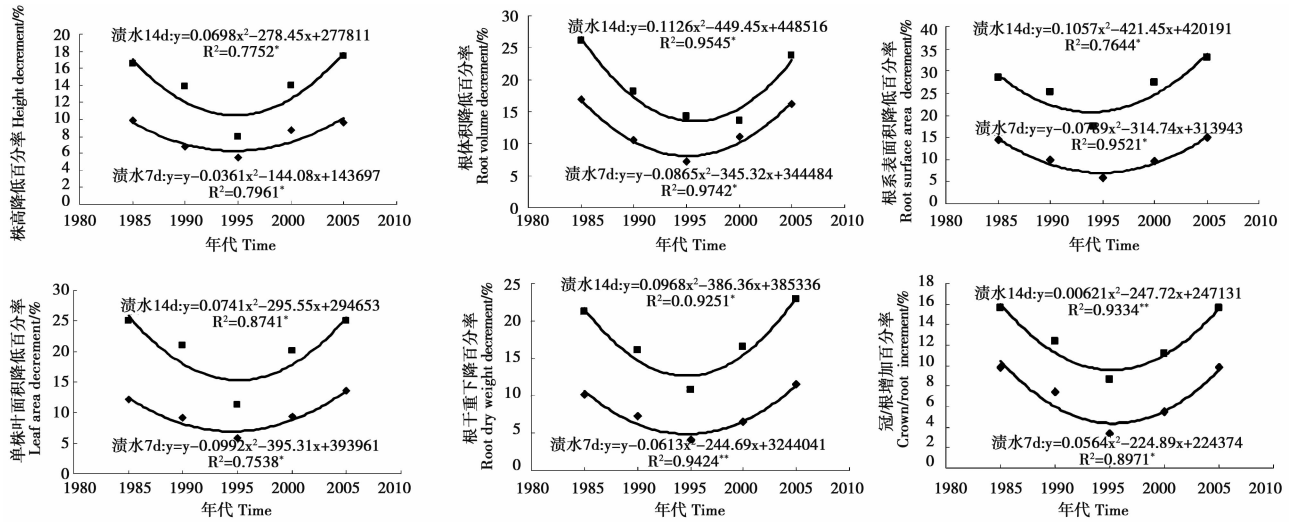


图1 不同渍水处理条件下不同年代育成品种形态性状与品种育成年代相关性

Fig.1 The correlation between morphological character and variety breed years under different waterlogging days

2.2 渍水对根系活力的影响

对渍水处理条件下参试品种根系活力进行方差分析,结果表明,品种间和处理间根系活力差异均达到极显著水平,说明不同年代育成品种根系活力对渍水胁迫反应存在差异。随着渍水时间的延长,不同年代育成品种根系活力均呈降低趋势,但不同品种之间存在差异。1985s-2005s 育成品种在渍水7和14 d条件下,根系活力分别降低22.96%和30.63%、14.44%和21.70%、8.78%和15.32%、15.08%和21.45%、22.84%和30.58%,与对照差异均达到显著或极显著水平。对根系活力降低百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图2),结果表明,渍水7和14 d条件下,根系活力降低百分率与品种育成年代相关达到极显著水平。

2.3 渍水对光合生理指标的影响

开花期对不同渍水处理条件下参试品种叶色值和净光合速率进行了方差分析,结果表明,品种间和处理间叶色值和净光合速率差异均达到极显著水平。参试品种在渍水7和14 d条件下,叶色值分别降低18.46%和21.51%、12.76%和16.3%、16.60%和17.7%、12.45%和16.60%、29.91%和25.61%;净光合速率分别下降21.75%和32.64%、21.75%和33.25%、19.24%和23.06%、23.46%和29.66%、31.70%和38.62%,叶色值降低和净光合速率下降百分率与对照差异均达到极显著水平。对不同年代育成品种渍水处理后,叶色值和净光合

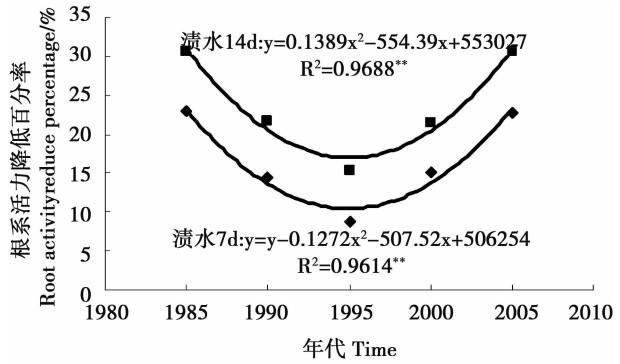


图2 不同渍水条件下根系活力降低百分率与品种育成年代的相关性

Fig.2 The correlation between decrement of root activity and variety breed years under different waterlogging days decrement

速率下降百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图3),结果表明,渍水7和14 d条件下,以上性状降低百分率与品种育成年代相关均达到显著或极显著水平。

2.4 渍水对叶片部分生理指标的影响

对渍水条件下不同年代育成品种叶片丙二醛(MDA)、可溶性糖(SS)含量和过氧化物酶(POD)活性进行了方差分析,结果表明,不同年代育成品种间和不同渍水处理间叶片MDA、POD和SS差异均达到极显著水平。渍水处理后,不同年代育成品种叶片MDA、POD和SS均呈上升趋势,但不同品种之间存在差异。参试品种在渍水7和14 d条件下,MDA含量分别增加43.73%和67.18%、36.90%和

44.39%、26.05%和34.37%、33.31%和38.40%、53.32%和68.65%；POD活性分别增加13.49%和24.20%、29.08%和35.85%、41.73%和60.38%、34.61%和53.26%、14.49%和23.18%；可溶性糖含量分别增加9.68%和15.06%、19.83%和21.33%、28.07%和30.23%、19.18%和20.62%、6.08%和13.23%，除1990s渍水7d条件下SS与

对照差异不显著外，其它年代品种各性状与对照差异均达到显著和极显著。对不同年代育成品种渍水处理后，叶片MDA、POD和SS增加百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图4)，结果表明，渍水7d条件下，以上性状增加百分率与品种育成年代相关均达到极显著水平；渍水14d条件下，均达到显著水平。

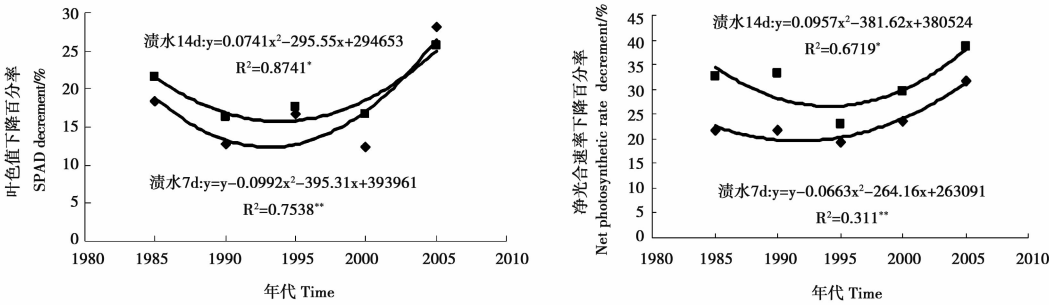


图3 不同渍水条件下大豆光合指标下降百分率与品种育成年代的相关性
Fig. 3 The correlation between decrement of photosynthetic indexes and variety breed yeras under different waterlogging days

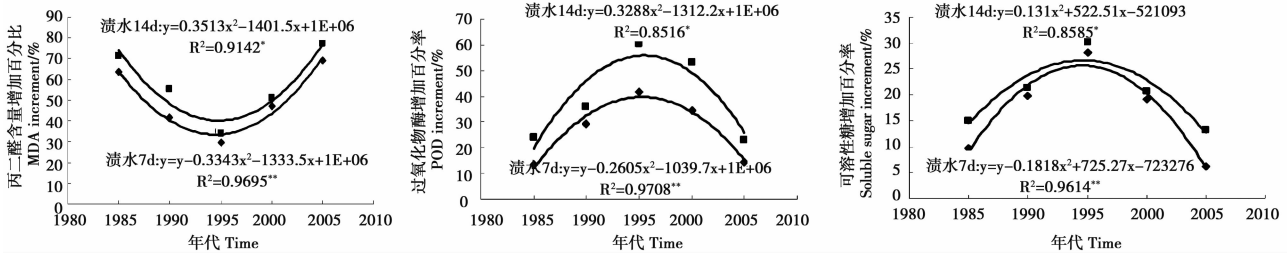


图4 不同渍水处理条件下叶片部分生理指标变化百分率与品种育成年代相关性
Fig. 4 The correlation between change percentage of leaf physical signs and variety breed years under different waterlogging days

2.5 渍水对株粒重的影响

对渍水处理条件下不同年代育成品种单株粒重进行方差分析,结果表明,品种间和处理间单株粒重差异均达到极显著水平。不同年代育成品种单株粒重呈降低趋势,但不同品种之间存在差异。1985s-2005s 育成品种在渍水7和14d条件下,单株粒重分别降低18.33%和26.16%,与对照差异为不显著和显著;1990s 育成品种分别下降14.80%和23.30%,与对照差异均没有达到显著水平;1995s 育成品种分别降低11.40%和19.50%,与对照差异为不显著和显著;2000s 育成品种15.10%和24.10%,与对照差异均不显著;2005s 育成品种分别降低20.50%和30.02%,与对照分别达到显著和极显著水平。对不同年代育成大豆品种渍水处理后,单株粒重下降百分率与品种育成年代之间进行了多元线性回归分析(图5),结果表明,单株粒重降低百分率与品种育成年代相关均达到了极显著

水平。

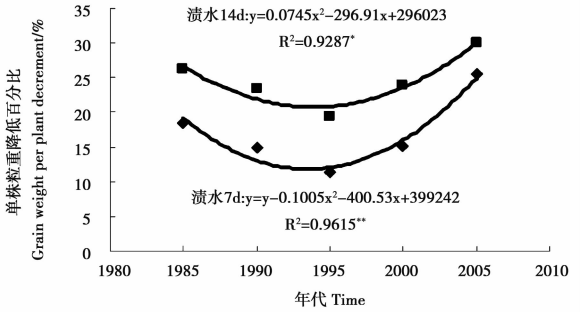


图5 不同渍水条件下大豆单株粒重下降百分率与品种育成年代的相关性
Fig. 5 The correlation between decrement of plant grain weight and variety breed years under different waterlogging days

3 讨论

渍水胁迫对大豆的影响首先在植株形态变化

上表现出来。周琴等^[21]、东先旺^[22]、韩亮亮等^[1]研究表明,长期渍水抑制了大豆的生长,叶面积和植株的生物量显著低于对照处理,耐涝品种变化相对稳定,本研究对不同年代育成品种株高、叶面积、根系表面积、根干重、冠根比等性状进行了分析,结果表明不同年代育成品种以上指标的变化呈先降低后升高的趋势,即中期品种抗涝能力强,早期和近期品种抗涝能力相对弱。田一丹等^[13]分析了渍水对大豆光合生理的影响,结果表明,植株叶片在受到渍水胁迫后光合速率呈现低-高-低的单峰曲线。周琴等^[21]研究结果表明,长期渍水条件下,大豆叶片色素含量下降同时光合速率也呈现显著下降趋势。韩亮亮等^[1]研究认为,短期渍水处理下净光合速率与对照差异不显著,随着渍水时间的延长下降趋势达到显著,渍水时间继续延长,则净光合速率表现为与对照接近,说明大豆自身对水分胁迫有一个适应的过程,抗涝品种适应的快些。本研究中不同年代品种叶色值和净光合速率变化呈现高低高的变化趋势,且与育成年代相关性达到显著,说明品种的抗涝能力呈现低-高-低的变化趋势。涝害发生后大豆植株本身会发生一系列的生理反应来适应这种胁迫。周琴等^[21]、韩亮亮等^[1]等研究认为,渍水后大豆叶片丙二醛(MDA)含量呈增加趋势,并且随着时间的延长增加幅度增大;田一丹等^[13]和宋晓慧等^[23]认为渍水后叶片中过氧化物酶和可溶性糖(SS)含量总体上呈现逐渐升高的趋势,本研究结果表明不同年代育成品种 POD 活性和 SS 含量均呈现先生高后降低趋势,而 MDA 含量和根系活力呈相反趋势,且与育成年代相关性达到显著或极显著,说明不同年代品种抗涝能力呈低-高-低的变化趋势。Vantoai 等^[17]研究发现,在盛花期淹水 28 d 大豆平均产量较对照减少 25% 左右, Galme 等^[15]研究结果表明,涝害胁迫使最耐涝品种的产量减少 39%,最敏感品种的产量减少了 77%,主要是由遗传因素决定的。本研究中不同年代品种在渍水胁迫条件下,单株粒重降低百分率表现先降低后升高的趋势,说明抗涝能力呈现先升高后降低的变化趋势。

随着品种的遗传改良,大豆形态逐渐向着有利于产量提高的方向发展,而品种本身的抗逆性在降低,大豆抗涝性也是如此^[24-26]。大豆不同基因型之间耐涝性存在差异,主要是由大豆遗传因素所决定的,大豆耐涝性本身具有遗传多样性^[27],同时作物耐涝性与人工定向选择密切相关^[28-29]。Voldeng 等^[3]研究认为,美国大豆新品种产量虽然较老品种

有较大幅度的提高,但是品种本身的抗涝能力并没有提高。本研究对黑龙江省近期育成大豆品种抗涝能力遗传改良趋势进行研究认为,黑龙江省 1985 年以来育成大豆品种抗涝能力变化趋势与抗旱能力呈现相反的趋势,即先升高后降低的单峰曲线,与 Voldeng 等^[3]的研究结论存在差异。这主要是由于不同生态条件下的定向选择而产生的差异,80 年代以前的育种目标是选育抗涝能力强的品种,因而前期育成品种的抗涝能力逐渐增强,而后期育种目标转换为选育抗旱能力强的品种,所以近期育成品种的抗涝能力在下降。

4 结 论

本研究对黑龙江省近期育成大豆品种抗涝能力遗传改良趋势进行研究,结果表明黑龙江省 1985 年以来育成大豆品种抗涝能力变化趋势为先升高后降低的单峰曲线,这主要是由于不同生态条件下的定向选择而产生的差异。

参考文献

[1] 韩亮亮,周琴,陈卫平,等. 淹水对大豆生长和产量的影响[J]. 大豆科学,2011,30(4):589-595. (Han L L,Zhou Q,Chen W P, et al. Effects of flooding on growth and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2011,30(4):589-595.)

[2] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社,2000: 46-49. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press,2000: 46-49.)

[3] Voldeng H D, Cober E R, Hume D J, et al. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada [J]. Crop Science,1997,37:428-431.

[4] Luedders V D. Genetic improvement in yield of soybeans[J]. Crop Science,1977,17: 971-972.)

[5] 倪君蒂,李振国. 淹水对大豆生长的影响[J]. 大豆科学,2000,19(1):42-48. (Ni J D,Li Z G. Effects of flooding on growth of soybean seedlings[J]. Soybean Science, 2011,19(1):42-48.)

[6] 褚丽丽,张忠学. 氮素营养与水分胁迫对大豆产量补偿效应的影响[J]. 生态学报,2013,30(10):2665-2670. (Chu L L,Zhang Z X. Effects of nitrogen nutrition and water stress on compensation effect of the yield of soybean[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,30(10):2665-2670.)

[7] 王彩洁,李伟,张礼凤,等. 黄淮海地区主栽大豆品种耐涝性比较研究[J]. 山东农业科学,2016,48(5):23-27 (Wang C J,Li W,Zhang L F, et al. Comparative studies on waterlogging tolerance of major soybean cultivars in Huanghuaihai valley region[J]. Shandong Agricultural Sciences,2016,48(5):23-27.)

[8] 朱建国,张文英,欧光华,等. 夏大豆花荚期受渍胁迫对农艺性状、产量与品质的影响[J]. 大豆科学,2001,20(1): 71-73. (Zhu J G,Chang W Y,Ou G H, et al. Influence upon agronomic properties,yield and qualities of summer soybean in period of soy-

- bean with flowers and pods under subsurface waterlogging of soybean field[J]. Soybean Science, 2001, 20(1): 71-73.)
- [9] 赵恩龙, 葛慧玲, 龚振平, 等. 灌溉水平对春大豆株高及产量的影响[J]. 作物杂志, 2014(1): 126-128. (Zhao E L, Ge H L, Gong Z P, et al. Effect of levels of irrigation on plant height and yield in spring soybean[J]. Crops, 2014(1): 126-128.)
- [10] 李丽君, 于晓芳, 李强, 等. 不同生育时期灌水对大豆根系性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 133-135. (Li L J, Yu X F, Li Q, et al. Effect of irrigation at different growth stages on root characters and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2013, 32(1): 133-135.)
- [11] 宋丰萍, 胡立勇, 周广生, 等. 渍水时间对油菜生长及产量的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(1): 170-176. (Song F P, Hu L Y, Zhou G S, et al. Effects of waterlogging time on rapeseed (*Brassica napus* L.) growth and yield[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(1): 170-176.)
- [12] 宋晓慧, 滕占林, 萧长亮, 等. 淹水胁迫对不同耐涝性大豆品种苗期根部形态及叶部生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 130-132. (Song X H, Teng Z L, Xiao C L, et al. Effect of waterlogging on root morphology and foliar physiological indexes of soybean varieties[J]. Soybean Science, 2013, 32(1): 130-132.)
- [13] 周琴, 董艳, 卞雅姣, 等. 不同渍水时间对苗期和花期大豆生长及碳氮代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1577-1584. (Zhou Q, Dong Y, Bian Y J, et al. Influence of different duration of waterlogging on the growth and C and N metabolism of soybean at seedling and flowering stages[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(6): 1577-1584.)
- [14] 王芳, 赵团结, 盖钧镒. 大豆野生与栽培资源苗期耐淹性的鉴定、生态区特征和优异种质发掘[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 828-834. (Wang F, Zhao T J, Gai J Y. Evaluation, eco-region characterization and elite germplasm identification of submergence tolerance at seedling stage wild and cultivated soybeans[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 828-834.)
- [15] Galme J, Medrano H, Flexas J. Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean liants with different growth forms[J]. New Phytologist, 2007, 175(1): 81-93.
- [16] Githiri S M, Watanabe S, Harada K, et al. QTL analysis of flooding tolerance in soybean at an early vegetative growth stage[J]. Plant Breeding, 2006, 125(6): 613-618.
- [17] Vantoai T T, Martin S K, Chase K, et al. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging[J]. Crop Science, 2001, 41(4): 1247-1252.
- [18] 孙慧敏, 赵团结, 盖钧镒. 大豆苗期耐淹性的遗传与 QTL 分析[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 590-595. (Sun H M, Zhao T J, Gai J Y. Inheritance and QTL mapping of waterlogging tolerance at seedling stage of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(4): 590-595.)
- [19] 王芳, 赵团结, 盖钧镒. 大豆野生与栽培资源苗期耐淹性的鉴定、生态区特征和优异种质发掘[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 828-834. (Wang F, Zhao T J, Gai J Y. Evaluation, eco-region characterization and elite germplasm identification of submergence tolerance at seedling stage wild and cultivated soybeans[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 828-834.)
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137. (Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134-137.)
- [21] 周琴, 董艳, 卞雅姣, 等. 不同渍水时间对苗期和花期大豆生长及碳氮代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1577-1584. (Zhou Q, Dong Y, Bian Y J, et al. Influence of different duration of waterlogging on the growth and C and N metabolism of soybean at seedling and flowering stages[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(6): 1577-1584.)
- [22] 东先旺. 大豆苗期耐涝性研究初报[J]. 莱阳农学院学报, 1988, 5(2): 71-74. (Dong X W. Preliminary of research of waterlogging resistance of soybean at seedling stage[J]. Journal of Laiyang Agricultural College, 1988, 5(2): 71-74.)
- [23] 宋晓慧, 张智杰, 李春光, 等. 淹水时间对不同耐涝性大豆品种苗期根部形态和叶部生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(1): 70-72. (Song X H, Zhang Z J, Li C G, et al. Effect of waterlogging time on root morphology and foliar physiological indexes of soybean varieties[J]. Soybean Science, 2014, 33(1): 70-72.)
- [24] Frederick J R, Woolley J T, Hesketh J D, et al. Seed yield and agronomic traits of old and modern soybean cultivars under irrigation and soil water-deficit[J]. Field Crops Research, 1991, 27: 71-82.
- [25] 马启林, 雷慰慈, 山口武视, 等. 过湿条件下大豆不定根的发生及其生理作用研究[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 79-84. (Ma Q L, Lei W C, Takeshi Y, et al. Incidence and physiological effects of soybean adventitious root under excessive soil water[J]. Soybean Science, 2008, 27(1): 79-84.)
- [26] 韩亮亮. 淹水胁迫对大豆生长和生理特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2011: 47. (Han L L. Effects of flooding stress on growth and physiological characteristics of soybean[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011: 47.)
- [27] Vantoai T T, Martin S K, Chase K, et al. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging[J]. Crop Science, 2001, 41(4): 1247-1252.
- [28] Scott H D, Deangulo J, Daniels M B, et al. Flood duration effects on soybean growth and yield[J]. Agronomy Journal, 1989, 81(4): 631-636.
- [29] 李阳生, 李绍清. 淹涝胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(2): 117-122. (Li Y S, Li S Q. Effect of submergence on physiological indexes and yield component at reproductive stage in rice[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2000, 18(2): 117-122.)