

高温干旱混合胁迫对大豆主要农艺性状的影响

邢雪莹,霍建玲,喻金秋,杨 雪,周静文,王昕奕,魏 彬,柏 锡

(东北农业大学 生命科学院,黑龙江 哈尔滨 150000)

摘 要:干旱与高温常常相伴发生,会使大豆受害程度加剧。为了解高温干旱双重胁迫对大豆农艺性状的影响,选取了160个大豆品种,采用一点两年重复实验,在高温干旱双重胁迫和正常条件下进行种植,分析单株荚数、分枝数、百粒重、株高、单株粒数等性状。结果表明:高温干旱双重胁迫使大豆群体株高、主茎分枝数、单株粒数、单株荚数、百粒重呈下降趋势,分别下降34%、36%、60%、62%、49%,其中也有部分材料性状会有升高或不变,胁迫下株高有6%的材料变高、5%的材料没影响,单株荚数未见增加的材料,有3%材料不变,分枝数有15%材料增加,7%不变,单株粒数有9%材料升高、4%不变,百粒重有4%增加、3%未见变化。在两种生境下,株高、单株荚数、单株粒数、主茎分枝数之间相关性变化不明显,百粒重与其它性状相关性发生明显变化,同时发现两种环境下性状变异系数除株高外变化都很明显。

关键词:大豆;高温干旱;农艺性状

中图分类号:S565.1 文献标识码:A DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2017.04.0554

Effects of High Temperature and Drought Stress on Main Agronomic Traits of Soybean

XING Xue-ying, HUO Jian-ling, YU Jin-qiu, YANG Xue, ZHOU Jing-wen, WANG Xin-yi, WEI Bin, BAI Xi
(College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150000, China)

Abstract: Drought and high temperature often occur simultaneously. That will exacerbate the damage to soybean. In order to understand the effect of these two double threats, high temperature and drought, on agronomic traits of soybean, selected 160 soybean varieties were selected in the experiment with the adoption of two-year repeated experiments in the same field. The soybeans were cultivated in high temperature and drought and normal conditions respectively, and then were analyzed such traits as the number of pods of a single plant, number of branches, 100-seed weight, plant height, seed number of an individual soybean. The conclusions are arrived at as follows: high temperature and drought make the height of tested soybeans, branches numbers of stem, seed numbers per plant, number of pods of a soybean and 100-seed weight undergoing a downward trend, among which partly showing upward trend or constant. The number of pods per plant decreased by 62%, the number of grains per plant decreased by 60%, the 100-seed weight decreased by 49%, the plant height and branch number decreased by 34% and 36%. The order of the traits decline is the number of pods per plant, the number of grains per plant, the 100-grain weight, the branch number and the plant height. The height of 6% of soybeans varieties increased in the course of high temperature and drought, while 5% unchanged. Pods of a single plant have not seen increase and 3% varieties remained constant. Branches numbers witnessed 15% increased, 7% unchanged; 9% of seed number of an individual soybean raised and 4% unchanged; 4% of 100-seed weight increased, 3% not change. Under these two living conditions, the relevance among height of soybeans, pods of a single soybean, seed numbers per plant, branches numbers of stem does not change obviously. However, relevance between 100-seed weight and other traits changes dramatically. On the other hand, conclusion can be drawn that variation coefficients of soybean traits varies significantly except the height of soybean under the environment of high temperature and drought.

Keywords: Soybean; High temperature drought; Agronomic traits

大豆是世界五大作物之一,是人类优质蛋白和食用油脂的重要来源,但大豆需水量较多,是豆类作物中对缺水最敏感的一类^[1],有研究表明,每合成1 kg的干物质,就需要消耗600~800 kg的水资源,是玉米的1倍多^[2]。目前,受气候多变的影响,干旱发生的周期变短,发生的时期变多,且干旱程

度越来越严重,很大程度上威胁了粮食的质量和产量^[3,4]。同时温度也是影响作物生长发育的主要生态因素,随着温室效应的加剧,全球气温上升,给农业造成了非常严重的后果,尤其近年来,整个种植业面临高温挑战。大豆是喜温的短日植物,对温度非常敏感,这就在一定程度上限制了大豆优良品种

收稿日期:2017-04-03
基金项目:国家自然科学基金(31371544)。
第一作者简介:邢雪莹(1992-),女,硕士,主要从事植物学研究。E-mail:575966087@qq.com。
通讯作者:柏锡(1975-),男,博士,副教授,主要从事植物分子生物学和逆境生理学研究。E-mail:baixi@neau.edu.cn。

的推广^[5]。在大田种植环境下,高温与干旱常同时发生,研究水分、温度对大豆农艺性状的影响对科学提高大豆产量有很大帮助。

干旱对大豆的影响最终归结到对产量的变化^[6],在干旱胁迫下会变化的产量性状^[7-8]主要有籽粒的大小及形状、单株荚数、单株粒数、籽粒的产量、单株粒重、分枝数、株高等^[9],有研究表明在干旱胁迫下大豆单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重全部都会降低,并且达到显著水平^[10]。干旱对大豆的品质、产量和稳产性有很大的影响^[11]。大量研究表明,作物形态特征受到水分胁迫的影响,会导致作物干物质积累量的降低,最终导致作物产量降低^[12]。高温处理会使大豆生殖生长期的长度发生改变,同时农艺性状也会发生相应的变化,有研究证明,大豆产量与温度呈高度相关^[13]。据《大豆栽培》南方本介绍,温度高于 29℃ 会增加大豆落花落荚。Mann 等^[14]学者测定,温度超过 40℃ 大豆座荚率减少 57% ~ 71%。从大豆生殖生长过程看出,当气温超过 32℃ 并伴有干旱环境对开花和受精过程都有负作用,从而改变大豆主要农艺性状。

在实际生产中,由于降雨量少、时空分布不均等因素,田间干旱往往伴随着高温,这种干旱加高温的胁迫会使大豆主要农艺性状发生变异。国内外已经有许多学者对单独干旱和单独高温下农艺性状进行过研究^[15-16],而高温干旱双重胁迫下大豆农艺性状的研究还比较少,针对这一突出问题,本研究选用 160 份来自世界各地的大豆品种为试验材料,在前人研究的基础上对高温干旱胁迫环境下农艺性状变化进行研究,旨在了解高温干旱胁迫下大豆农艺性状的变化,为提高大豆产量提供依据,进一步研究高温干旱对大豆影响打下基础,进而在大豆育种和生产上发挥一定的作用。

1 材料与方法

1.1 材料

2015 和 2016 年从中国包括吉林、辽宁、黑龙江、河南等大豆主产区 and 美国等地收集共 160 份大豆种质资源进行试验,160 份材料编号以 H 开头,即 H001 ~ H160。

1.2 方法

2015 和 2016 年在东北农业大学实验实习与示范中心进行种植,分为高温干旱(HD)和正常(CK)两种植植环境,每种环境下种植 160 份材料。每个品种行长 2 m,行距 0.5 m,株距 0.2 m,模拟高温干旱双重处理的大豆材料在高温大棚中种植,对照组的大豆材料在温度适宜大棚中种植。高温胁迫利

用大棚内温室效应来实现,平均温度在 40℃ 以上,干旱胁迫利用控制灌溉法达到干旱处理。干旱处理饱和含水量控制在 15% 以下,正常区域含水量控制在 40% 左右。

1.3 测定项目与方法

植株成熟后,分别收获、考种。考种项目包括株高、主茎分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重,以 6 次重复平均作为各处理考察性状指标的代表值,参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[17]。对高温干旱下 160 份材料各性状变化率进行分析。

变化率 = (正常种植下的指标 - 高温干旱胁迫下指标) / 正常环境下的指标

1.4 数据分析

利用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 高温干旱胁迫对大豆株高的影响

在高温干旱双重胁迫下大豆群体株高分布发生变异,与正常种植相比,高温干旱条件下株高的分布整体有向左趋势,峰值变大,区间变窄(图 1),CK 下群体株高在 60 cm 处达到峰值,约有 30 个品种,HD 下群体株高在 40 cm 处达到峰值,约有 40 个品种,胁迫下区间变化范围从 24 ~ 150 cm,正常种植下株高区间范围要比胁迫下大,在正常胁迫下品种 H160 达到最大值,株高约为 230 cm,在胁迫后该品种株高为 115 cm,可见在高温干旱胁迫下大豆群体株高整体有下降趋势。图 1B 为不同品种在胁迫下株高变化率分布图,在 X 轴正向的说明该指标降低,负向说明该指标增加。Y 轴为品种数,变化率区间分布在 -0.1 ~ 0.8,分隔 0.1 进行品种分区,所得变化率分布呈正态分布,在高温干旱胁迫下仅有很少一部分品种株高变高,约有 8 个品种株高没有发生变化,而群体中大部分材料在高温干旱胁迫下株高会减少,变化率在 0.3 左右达到峰值,约有近 30 个品种,在变化率达到 0.8 的也约有 5 个品种,胁迫下株高有 6% 的材料变高,5% 的材料没影响。说明在高温干旱胁迫下各品种的株高变化率有所不同,但大部分都趋于减少,使得整个群体在高温干旱胁迫下株高降低。

2.2 高温干旱胁迫对大豆单株荚数的影响

由图 2A 可知在胁迫下大豆群体单株荚数分布发生了向左变异,峰值有所提高,在荚数为 15 个处为峰值,约 42 个品种,曲线的跨度较正常种植环境下变小,在高温干旱环境下大豆群体单株荚数在低于 50 个区间分布居多,而正常环境下大豆群体单株荚数主要分布在 50 ~ 100 区间内,导致整个群体正

常环境下单株荚数高于高温干旱下的单株荚数。高温干旱胁迫下大豆单株荚数整体下降。图 2B 为不同品种在胁迫下单株荚数变化率分布图,变化率分布范围在 0~0.9,在胁迫下群体中单株荚数没

有增加的品种,不变的约有 5 个品种,剩余的品种在高温干旱胁迫下单株荚数都会减少,在 0.8 时达到峰值,约有 35 个品种左右,单株荚数未见增加的材料,有 3% 材料不变,图 A、B 所得结果基本吻合。

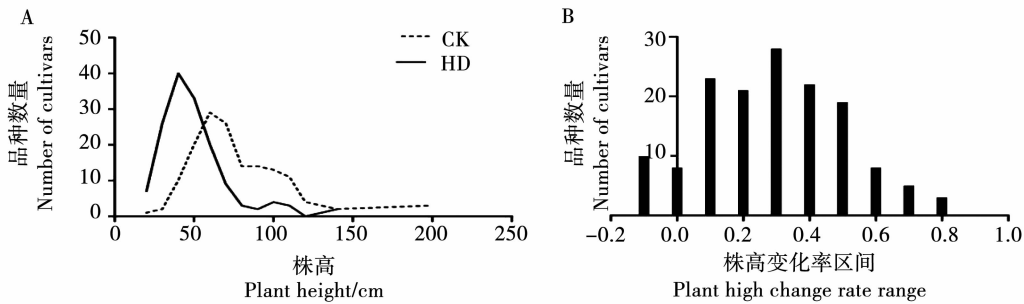
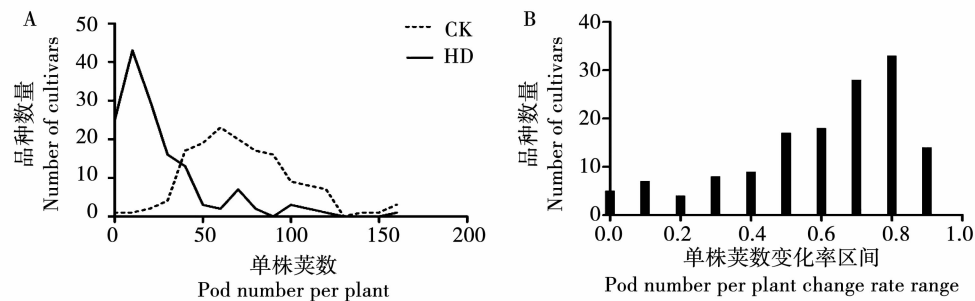


图 1 高温干旱胁迫处理下大豆群体株高变化
Fig. 1 Changes of soybean plant height in high temperature and drought stress



A: 两种环境下大豆单株荚数分布;B: 不同品种在高温胁迫下单株荚数变化率分布。
A: The distribution of pods per plant of soybean in two environments;B: The change rage distribution of pods per plant of different varieties in stress.

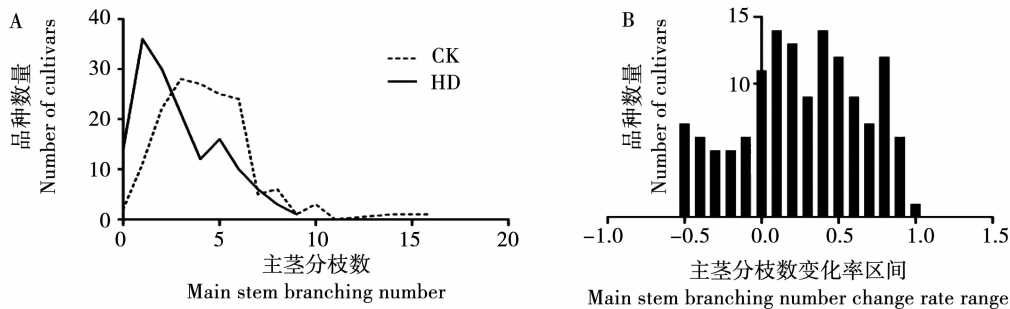
图 2 高温干旱胁迫处理下大豆群体单株荚数变化

Fig. 2 Changes of pods per plant in soybean in high temperature and drought stress

2.3 高温干旱胁迫对大豆主茎分枝数的影响

图 3A 为高温干旱胁迫下大豆主茎分枝数的分布图,与其它性状相比胁迫对主茎分枝数的影响不是太大,但是两种植条件下分枝数分布还是有所不同,高温干旱环境下大豆分枝数分布有向左变异的趋势,峰值向左移动,分枝数为 0 的品种从 4 个变为

16 个。胁迫也会使大豆群体分枝数降低。图 3B 为不同品种在胁迫下主茎分枝数变化率分布图,分布范围在 -0.5~0.1,在胁迫下分枝数有 11 个品种不变,29 个品种增多,大部分品种分枝数在胁迫下都减少。



A: 两种环境下主茎分枝数分布;B: 不同品种在高温胁迫下主茎分枝数变化率分布。
A: The distribution of pods per plant of soybean in two environments;B: The change rage distribution of pods per plant of different varieties in stress.

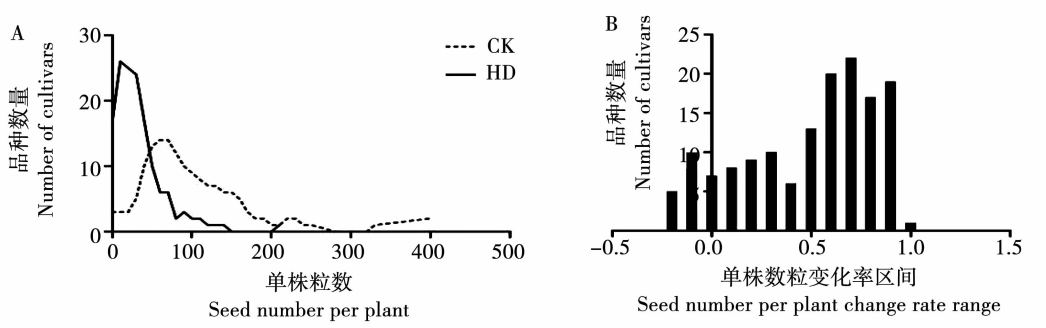
图 3 高温干旱胁迫处理下大豆群体分枝数变化

Fig. 3 Changes of soybean number of branches in high temperature and drought stress

2.4 高温干旱胁迫对大豆单株粒数的影响

图 4A 为高温干旱胁迫后大豆单株粒数变异分布图,且发生了显著的变异,高温干旱环境下区间明显变窄很多,整体相对向左移动,峰值变高的也很明显,在胁迫环境下,大豆群体单株粒数在 30 个时达到峰值约 25 个品种,在正常环境下,大豆群体单株粒数 80 个时达到峰值约 15 个品种。高温干旱

胁迫下大豆各品种单株粒数分布基本在小于 100 之内,正常环境下分布在小于 200 的区间内,因此使得群体单株粒数有下降趋势。由图 4B 为不同品种在胁迫下单株粒数变化率分布图,在胁迫下有 7 个品种单株粒数未发生改变,15 个品种单株粒数升高,剩余大部分品种的单株粒数都有所减少。



A:两种环境下单株粒数分布;B:不同品种在高温胁迫下单株粒数变化率分布。
A:The distribution of pods per plant of soybean in two environments;B:The change rage distribution of pods per plant-of different varieties in stress.

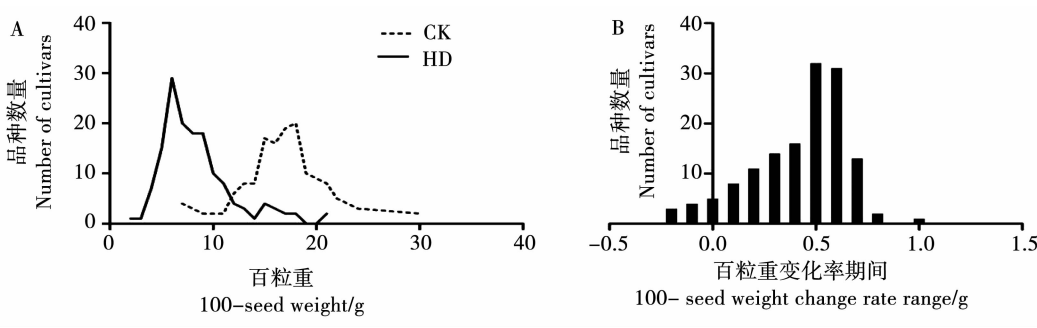
图 4 高温干旱胁迫处理下大豆群体单株粒数变化

Fig. 4 Changes of soybean number of grains per plant in high temperature and drought stress

2.5 高温干旱胁迫对大豆百粒重的影响

由图 5A 可知,在高温干旱环境下大豆百粒重整体分布向左发生变异,峰值向左移动且变大,使得群体的百粒重会减小,高温干旱胁迫下百粒重分布在小于 15g 的区间,正常环境下百粒重分布在 10 ~ 30 g 内,大豆百粒重在高温干旱下总体呈下降趋势。图 5B 为不同品种在胁迫下百粒重变化率分布图,

在胁迫后群体中大部分品种百粒重都减少,约有 4% 的品种百粒重会增加,3% 未见变化,剩余品种在胁迫下都降低。综上,高温干旱胁迫会对大豆群体株高、单株荚数、分枝数、百粒重、单株粒数各主要农艺性状产生一定影响,使各性状在胁迫下总体呈下降趋势。



A:两种环境下载粒重分布;B:不同品种在高温胁迫下百粒重变化率分布。
A:The distribution of pods per plant of soybean in two environments;B:The change rage distribution of pods per plantof different varieties in stress.

图 5 高温干旱胁迫处理下大豆群体百粒重变化

Fig. 5 Changes of soybean 100-seed weight in high temperature and drought stress

2.6 高温干旱下大豆主要性状统计分析

由表 1 可知,在高温干旱环境下各主要性状平均值都低于正常种植环境下的平均值,最大值、最小值也都是会下降,变异范围也会减小,平均值以百粒重、单株粒数和单株荚数下降尤为明显,其中单株荚数下降 62%、单株粒数下降 60%、百粒重下

降 49%,株高、分枝数也分别下降了 34% 和 36%,由此推断高温干旱环境下大豆产量会明显下降。胁迫后各性状变异系数也发生了变化,株高的变异系数不明显,说明在不同生境下控制株高的位点不多,受环境影响小,反之,单株粒数、单株荚数、主茎、分枝数、百粒重更易受环境影响。

表 1 高温干旱下大豆主要性状统计分析
Table 1 Statistical analysis of main characters of soybean under drought and high temperature

性状 Trait	处理 Treatment	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异范围 Variation range	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高	CK	29.50	235.00	205.50	82.96	11.26	13.57
Plant height/cm	HD	24.17	145.33	121.16	54.82	6.21	11.33
单株荚数	CK	6.50	544.00	537.50	87.55	21.79	24.89
Pods number per plant	HD	0.50	224.25	223.75	32.65	12.03	36.84
分枝数	CK	0	15.67	15.67	3.66	1.41	38.52
Branches	HD	0	8.33	8.33	2.33	1.06	45.49
单株粒数	CK	12.50	617.83	605.33	113.19	22.47	19.80
Seeds number per plant	HD	1	210.67	209.67	44.90	18.36	40.89
百粒重	CK	7.48	37.02	29.54	17.36	4.14	23.85
100-seed weight/g	HD	2.25	22.89	20.64	8.90	3.59	40.33

2.7 高温干旱下大豆主要性状相关性分析

结果显示:在正常种植环境下,株高与单株荚数、分枝数、单株粒数呈极显著正相关,单株荚数与分枝数、单株粒数呈极显著正相关、与百粒重极显著负相关,分枝数与单株粒数呈极显著正相关、与百粒重呈显著负相关,单株粒数与百粒重呈极显著

负相关(表 1)。在高温干旱胁迫下,株高与单株荚数、分枝数、单株粒数呈极显著正相关,单株荚数与分枝数、单株粒数呈极显著正相关,分枝数与单株粒数呈极显著正相关,单株粒数与百粒重呈极显著正相关。高温干旱胁迫会引起部分性状之间的相关性发生改变(表 2)。

表 2 正常种植条件下各指标之间的相关系数
Table 2 The correlation coefficient between the index in normal conditions

	株高 Plant height	单株荚数 Pods number per plant	分枝数 Branches	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight
株高 Plant height	1				
单株荚数 Pods number per plant	0.562**	1			
分枝数 Branches	0.562**	0.684**	1		
单株粒数 Seed number of per plant	0.246**	0.437**	0.249**	1	
百粒重 100-seed weight	-0.135	-0.262**	-0.169*	-0.421**	1

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ 。

表 3 高温干旱种植条件下指标之间的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between the index in high temperature and drought conditions

	株高 Plant height	单株荚数 Pods number per plant	分枝数 Branches	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight
株高 Plant height	1				
单株荚数 Pods number per plant	0.695 **	1			
分枝数 Branches	0.598 **	0.638 **	1		
单株粒数 Seeds number per plant	0.334 **	0.368 **	0.452 **	1	
百粒重 100-seed weight	0.105	0.135	0.113	0.293 **	1

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ 。

3 结论与讨论

干旱和高温双重胁迫对大豆农艺性状的研究目前还很少,大多只做单一的逆境处理,实际上田间高温常与干旱相伴,高温胁迫会加剧水分胁迫,水分胁迫也会加剧高温伤害^[18]。高温伴随干旱对植物的伤害远远大于高温、干旱单因子分别对植物造成的伤害^[19]。由于大豆对水分缺失和温度都比较敏感,导致各主要农艺性状都有下降趋势,本实验结果与之前的研究结果类似。

不同的农艺性状在高温干旱胁迫下变化也不同,梁成第等^[20]研究考察干旱下大豆各性状变化,性状检验相关系数后得出,性状均达到极显著,但性状之间存在很大的数值差异,总结出大豆形态性状抗旱性顺序依次为:分枝、主茎节数、株高、单株粒数。本研究也得出在高温干旱双重胁迫下大豆主要农艺性状呈下降趋势,其中大豆群体单株粒数、单株荚数、百粒重下降的比较明显,单株荚数下降 62%、单株粒数下降 60%、百粒重下降 49%,株高、分枝数也分别下降了 34% 和 36%,各性状降低程度为单株荚数 > 单株粒数 > 百粒重 > 分枝数 > 株高,这个结果与前人研究基本一致,但也有所不同,可能原因一是大豆材料组成的自然群体不同,前人只是根据辽宁地区材料进行分析,本试验材料选取范围更广,群体更具代表性;二是胁迫方式不同,前人只针对单一胁迫进行研究,本试验为高温干旱混合胁迫,对材料来说胁迫更为极端,影响方式更为复杂,导致结果稍有不同,说明大豆群体在单独胁迫和混合胁迫下农艺性状变化是不同的。

虽然在胁迫下群体各性状整体下降,其中也有部分材料性状会有升高或不变,胁迫下株高有 6%

的材料变高,5% 的材料没影响,单株荚数未见增加的材料,有 3% 材料不变,分枝数有 15% 材料增加,7% 不变,单株粒数有 9% 材料升高、4% 不变,百粒重有 4% 增加、3% 未见变化,这些材料有可能本身抗逆性较强,还有待进一步探究。

在正常种植高温干旱胁迫下,株高与单株荚数、分枝数、单株粒数呈极显著正相关,单株荚数分枝数、单株粒数呈极显著正相关,分枝数与单株粒数呈极显著正相关。高温干旱胁迫处理会在一定程度上影响大豆各主要性状,同时,高温干旱胁迫会使各性状之间的相关性发生改变,在正常条件下单株粒数与百粒重是显著负相关,而在胁迫环境下变为显著正相关,本研究中的相关性可以看作作为一个描述 160 个不同大豆材料构成群体属性的手段,在不同处理下相应性状相关系数的改变可看作这个群体在胁迫来临时群体内部的调节。

综上所述,高温干旱对大豆造成了严重的伤害,研究只对高温干旱胁迫下大豆部分农艺性状的变化做了研究,而对胁迫下大豆的其它农艺性状影响还有待进一步研究;另外,试验的高温胁迫是在温室大棚的条件下进行的,试验数据不能说明高温引发其他环境因子变化对大豆生理的综合影响。由于大豆生长发育的整个阶段都处在高温夏季,因此开展高温干旱双重胁迫对大豆其它方面影响的研究,可以为提高大豆的抗高温干旱能力和优质高产提供理论依据。

参考文献

[1] Nachappa P, Culkin C T, Saya P M, et al. Water stress modulates soybean aphid performance, feeding behavior, and virus transmission in soybean[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7(114): 1-15.

[2] 王晓君. 干旱胁迫对大豆吸收营养展、产量及相关酶的影响 [D]. 哈尔滨:东北农业大学,2015:1-66. (Wang X J. Effects of drought stress on absorption and nutrition, yield and related enzymes of soybean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015:1-66.)

[3] Chowdhury J A ,Karim M A, Khaliq Q A, et al. Genotypic variations in growth, yield and yield components of soybean genotypes under drought stress conditions[J]. Bangladesh Journal of Agricultural Research,2015,40(4) :537-550.

[4] 张永芳,王润梅,张东旭,等. 我国大豆耐旱性研究进展[J]. 山西农业科学,2011,39(1) :88-90. (Zhang Y F, Wang R M, Zhang D X, et al. Advances in research on drought tolerance of soybean in China [J]. Shanxi Agricultural Sciences,2011,39(1) :88-90.)

[5] 李金玉. 不同生态类型大豆品种光、温反应特性的解析及关联分析 [D]. 北京:中国农业科学院,2012:1-60. (Li J Y. Analysis and correlation of light and temperature response characteristics of soybean varieties with different ecological types [D]. Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2012:1-60.)

[6] 郝兴宇,韩雪,居焯,等. 气候变化大豆影响的研究进展[J]. 应用生态学报,2010,21(10) :2697-2706. (Hao X Y, Han X, Ju H, et al. Advances in research on the effects of climate change on soybean [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(10) :2697-2706.)

[7] 孟凡钢,李羽,张伟,等. 不同生育时期干旱胁迫对大豆根系分布和农艺性状的影响 [J]. 大豆科学,2016,35(6) :943-946. (Meng F G, Li Y, Zhang W, et al. Effects of drought stress on root distribution and agronomic traits of soybean at different growth stages [J]. Soybean Science,2016,35(6) :943-946.)

[8] 吕彩霞. 大豆耐萎焉品种根系和地上部性状的遗传分析[D]. 北京:中国农业科学院,2006:1-67. (Lyu C X. Genetic analysis of root and aboveground traits of soybean resistance to *Prunus* [D]. Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2006:1-67.)

[9] 刘秀红,杜天庆,郝建平,等. 土壤水分对大豆根冠生长及生理特性和产量的影响 [J]. 江苏农业科学,2014,42(1) :74-76. (Liu X H, Du T Q, Hao J P, et al. Effects of soil moisture on growth and physiological characteristics and yield of soybean root [J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2014,42(1) :74-76.)

[10] 孙恒伟,宁海龙,李海旭,等. 干旱胁迫对大豆产量的影响[J]. 大豆科技,2010(5) :7-10. (Sun H W, Ning H L, Li H X, et al. Effects of drought stress on soybean yield[J]. Soybean Science and Technology,2010(5) :7-10.)

[11] Zhang Q, Li P, Zong Y Z, et al. Effects of drought on physiology and yield of soybean[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2016, 31(5) :140-145.

[12] 沈融,章建新,苏广禄,等. 不同时期水分亏缺对高产大豆植株地上部分生长的影响[J]. 新疆农业大学学报,2011,34(4) :297-301. (Shen R, Zhang J X, Su G L, et al. Effects of water deficit on the aboveground growth of high-yielding soybean plants [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011,34(4) :297-301.)

[13] 于光磊,崔明元,姜海英,等. 通化地区5-9月温度对大豆产量的影响分析[J]. 现代农业科技,2015(3) :229-230. (Yu G L, Cui M Y, Jiang H Y, et al. Effects of Temperature on Yield of Soybean in Tonghua Region from May to September [J]. Modern Agricultural Science and Technology 2015(3) :229-230.)

[14] 仇锦生. 高温对大豆生产的影响[J]. 大豆科技,2003(1) :12. (Qiu J H. Effect of high temperature on soybean production [J]. Soybean Science and Technology, 2003(1) :12.)

[15] 雍太文,刘小明,肖秀喜,等. 不同种子处理对苗期干旱胁迫条件下大豆农艺性状、产量及品质的影响 [J]. 大豆科学,2013,32(5) :620-624. (Yong T W, Liu Xiao M, Xiao X X, et al. Effects of different seed treatments on agronomic traits, yield and quality of soybean under drought stress in seedling stage [J]. Soybean Science, 2013,32(5) :620-624.)

[16] 韩永华,郑易之,李甜,等. 高温/渗透双重胁迫对大豆某些生理反应具累加效应的初报[J]. 大豆科学,2001,20(1) :41-44. (Han Y H, Zheng Y Z, Li T, et al. Effect of high temperature and osmotic stress on physiological characteristics in seedling of two soybean cultivars [J]. Soybean Science, 2001,20(1) :41-44.)

[17] 邱丽娟,常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:9-31. (Qiu L J, Chang R Z. Soybean germplasm resources description specification and data standard [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006:9-31.)

[18] 刘琴,孙辉,何道文. 干旱和高温对植物胁迫效应的研究进展[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2005,26(4) :364-368. (Liu Q, Sun H, He D W. Advances in the effects of drought and high temperature on plant stress [J]. Journal of China West Normal University (Natural Science Edition), 2005,26(4) :364-368.)

[19] 何亚丽,王惠林,沈剑,等. 冷地型草坪草耐热机理的研究——Ⅱ. 5种冷地型草坪草离体叶片在骤然高温、干旱下细胞膜透性的变化及其抗性鉴定[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),1997(3) :209-214. (He Y L, Wang H L, Shen J, et al. Studies on the heat tolerance mechanism of cold-type turfgrass——Ⅱ Changes and resistance identification of the leaf of the low-lying turfgrass leaves in sudden high temperature and drought [J]. Shanghai Jiaotong University Journal(Agricultural Science Edition), 1997(3) :209-214.)

[20] 梁成第. 大豆生态、形态及产量性状与抗旱性研究[J]. 辽宁农业科学,1990(2) :3-8. (Liang C D. Study on the ecological, morphological and yield traits and drought resistance of soybean [J]. Liaoning Agricultural Sciences, 1990(2) :3-8.)