文章编号:1000-7601(2023)04-0208-09 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2023.04.22

抗旱剂对棉花生长发育和产量、品质的影响研究

王 新[1],陈 兵[1],余 渝[1],王 刚[1],
王 琼[1],孙乐鑫[1,2],陈子杰[1,2]

(1.新疆农垦科学院棉花研究所/农业农村部西北内陆区棉花生物学与遗传育种重点实验室,新疆 石河子 832003;
2.石河子大学农学院,新疆 石河子 832003)

摘 要:为探明干旱胁迫下不同抗旱剂对棉花生长发育各项指标的影响,设置 K1(黄腐酸钾)、K2(植物蛋白免疫剂)、K3(含氨基酸水溶肥)3 种类型抗旱剂和 A1(蕾期)、A2(蕾期+花期)、A3 (花期)3 种喷施时期组合的小区试验,定量分析不同处理对棉花农艺性状、干物质量、叶面积指数、根冠比、根系形态指标及产量和品质的影响,明确 3 种抗旱剂和喷施时期的最优组合。结果表明:K1A1、K1A3 和 K3A1 处理的株高、果枝台数、蕾数、花数、叶龄分别为 70.2、68.8、68.9 cm,7.9、7.7、7.7 台,5.9、5.8、5.9 个,1.3、1.3、1.3 个和 13.7、13.9、13.7,3 个处理株高、果枝台数、蕾数及叶龄均显著高于对照且优于其他处理;K2A3 处理的干物质量为 4.3 t·hm^{-2},K2A1 叶面积指数为 2.8,K1A1、K3A2 处理的根冠比分别为 0.156、0.156,与对照差异显著,且均优于其他处理;K1A1 处理的根长、根面积分别为 36.9 cm、0.63 mm^2,K2A1 处理根直径为 0.95 mm,K3A3 处理根体积、根面积分别为 26.9 cm^3、0.63 mm^2,均优于其他处理;K1A1、K2A3 和 K3A1 处理的籽棉产量最高、产量构成因子配比最优,产量分别为5 876.4、5 866.3 kg·hm^{-2}和 5 968.3 kg·hm^{-2};K1A1、K3A1 处理的上半部平均长度、断裂比强、马克隆值、整齐度、伸长率分别为 31.6、31.8 mm,37.2、37.1 cN·tex^{-1},4.0、3.9,87.0%、87.5%,7.1%、7.1%,除马克隆值略低外,K1A1、K3A1 处理的其余棉纤维品质均优于其他处理。综上可知,K1、K2、K3 抗旱剂蕾期喷施组合处理(K1A1、K2A1、K3A1)各项指标表现较好,可为不同需求下的滴灌棉花抗旱节水生产提供参考。

关键词:抗旱剂;棉花;生长发育;产量;品质

中图分类号:S562;S143.8 **文献标志码**:A

Effects of drought-resistance chemicals on growth, development, yield, and quality of cotton

WANG Xin[1], CHEN Bing[1], YU Yu[1], WANG Gang[1],
WANG Qiong[1], SUN Lexin[1,2], CHEN Zijie[1,2]

(1. *Cotton Institute Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Sciences, Northwest Inland Region Key Laboratory of Cotton Biology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shihezi, Xinjiang* 832003, *China*; 2. *College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang* 832003, *China*)

Abstract: In this paper, the effects of drought-resistance chemicals on growth and development under high temperature and drought stress in cotton were discussed. Different types of drought-resistance chemicals of fulvic acid potassium (K1), plant protein immunizers (K2), water-soluble fertilizer containing amino acid (K3) were sprayed at bud stage (A1), bud and flowering stages (A2), flowering stage (A3) in this study. Agronomy parameters, dry matter, leaf area index, root-shoot ratio, root morphology index, yield, and quality were observed across treatments and cultivars to decide the optimal drought-resistance chemicals at different spraying periods. The results

收稿日期:2022-06-07 **修回日期**:2022-11-02

基金项目:国家重点研发计划:棉花抗逆栽培技术集成与应用(2020YFD1001002);新疆兵团英才项目/棉花生物学国家重点实验室开放课题:基于临界氮浓度的滴灌棉花氮素营养诊断研究(CB2018A10)

作者简介:王新(1986-),男,甘肃武威人,博士,副研究员,主要从事作物模拟与栽培生理研究。E-mail:wx2011207003@126.com

通信作者:陈兵(1979-),男,甘肃高台人,博士,研究员,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:zyrcb@126.com

showed that the plant height, the number of sympodials, buds, flowers and leaf age of K1A1, K1A3 and K3A1 were 70.2, 68.8, 68.9 cm, 7.9, 7.7, 7.7, 5.9, 5.7, 5.9, 1.3, 1.3 and 1.3, 13.7, 13.9, 13.7, respectively, which were significantly different from the CK and were better than other combinations. The dry matte mass of K2A3 was 4.3 t · hm^{-2} and leaf area index of K2A1 was 2.8. The root-shoot ratio of K1A1, K3A2 were 0.156 and 0.156, respectively, which were significantly different from the CK and were better than other combinations. The root length, root area of K1A1 was 36.9 mm, 0.63 $mm^2$and the root diameter of K2A1 was 0.95 mm, the root volume and root area of K3A3 were 26.9 $cm^3$and 0.63 mm^2, respectively, which were significantly different from the CK and were better than other combinations. The combinations of K1A1, K2A3 and K3A1 had the highest seed cotton yield and the best yield composition factor ratio, with 5 876.4, 5 866.3, 5 968.3 kg · hm^{-2}, respectively. The upper half mean length, breaking tenacity, micronaire, uniformity and elongation of K1A1 and K3A1 were 31.6, 31.8 mm, 37.2, 37.1 cN · tex^{-1}, 4.0, 3.9, 87.0%, 87.5%, 7.1%, 7.1%, respectively. Except the micronaire value was slightly lower than CK, the other cotton fiber quality indexes of K1A1 and K3A1 combination treatment were higher than those of other treatments, and the cotton fiber quality was better. To sum up, the indicators under the combination treatment of K1, K2, K3 drought-resistance chemicals at bud stage (K1A1, K2A1, K3A1) all performed well, which can serve as the theoretical basis for large-area application of drought resistance and water saving in drip irrigation cotton under different needs.

Keywords: drought-resistance chemicals; cotton; growing development; yield; quality

近年来,随着全球气候变暖,我国出现大范围干旱,大多数春播作物减产或秋播作物无法成熟,造成严重减产甚至绝收[1-2]。抗旱性是指作物具有经受干旱而受害最小、减产最少的一种性质,是作物在干旱环境中生长、繁殖和生存以及干旱解除后迅速恢复正常代谢的能力[3]。棉花是喜光好温作物,但持续高温和干旱不仅影响棉叶生长,还会导致其光合作用减弱,呼吸强度增大,从而降低了碳水化合物的积累[4]。频发的高温天气是危害棉花生产的重要气候灾害[5],高温极易造成幼蕾和幼花脱落,对籽棉产量和棉纤维品质的形成产生不利影响[6-7],研究表明,高温导致生产中蕾铃的脱落率可达 70%以上[8-9]。

生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸和乙烯等植物调节剂的先后发现和利用在作物抗旱性提高、产量增加和品质改善等方面发挥了巨大作用[10]。抗旱剂是重要的植物生长调节剂,国内外学者针对作物喷施抗旱剂的效果进行了相关研究。王志伟等[11]通过在冬小麦关键生育期分次喷施抗旱剂,发现喷施抗旱剂可以增强冬小麦的抗逆性,提高土壤水分利用效率,且对增加成穗率、穗粒数和千粒重有利;刘顺国等[12]研究表明,喷施抗旱剂后,玉米株高、穗数、千粒重等都有明显提高,增产效果显著。任立红等[13]研究发现,生育期内喷施 2 次抗旱剂处理的棉花各项农艺性状优于喷施 1 次,喷施 1 次抗旱剂以蕾期喷施处理各项农艺性状和品质指标最优。孙洪波等[14]研究表明,抗旱剂浸种可以增加棉花幼苗的含水量、干重和根冠比,提高叶片光合性能,促进植株干物质量的积累。Da 等[15]研究发现,叶面喷施硝普钠盐可显著改善盆栽角生植物叶片相对含水量和叶片水势,同时大幅提高植株干物质积累。Yuan 等[16]发现,与对照相比,叶片喷施植物调节剂和 PEG 化学剂浸种均能提高玉米种子在干旱胁迫下的萌发速率以及幼苗的干物质积累量。陈静等[17]研究发现,与喷施清水相比,喷施甜菜碱后,不同播期处理的夏玉米产量均有所增加,2 个品种产量增幅分别为 3.05% ~ 12.81% 和 2.08% ~ 7.83%,百粒重平均增加 0.88 g 和 0.06 g;喷施甜菜碱缩小了各品种不同播期处理间玉米产量的差异。

抗旱剂在不同作物上得到了广泛和成功的应用,但关于抗旱剂及其适宜喷施时期在棉花上的综合应用效果研究的报道尚不多见。基于此,本文通过设置不同抗旱剂类型和喷施时期组合试验,定量分析不同处理对棉花农艺性状、干物质积累、叶面积指数、根系形态指标及产量和品质的影响,明确 3 种抗旱剂和喷施时期的最优组合,以期为棉花适宜抗旱剂和喷施时期的筛选和应用提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验于 2021 年在新疆石河子市新疆农垦科学院棉花研究所试验田(44°19′N,86°03′E)进行。该区年降雨量 210 mm,年均蒸发量 1 637.8 mm。土壤为轻度盐碱性中壤土,pH 为 7.89,全盐含量2.3%,

有机质含量17.2 g·kg^{-1},全氮含量0.11%,有效磷含量50.1 mg·kg^{-1},速效钾含量444.0 mg·kg^{-1}。供试棉花品种为'金垦1775'。

1.2 试验设计

试验设置3种抗旱剂:黄腐酸钾(新疆正午农业有限公司,天然矿源黄腐酸,黄腐酸≥50%,腐殖酸≥3%,N≥6%,P_2O_5≥6%,K_2O≥10%),微生元植物蛋白免疫剂(湖北微生元生物科技有限公司,氨基酸总量≥100 g·L^{-1},锌+硼≥20 g·L^{-1},多联免疫蛋白≥1 g·L^{-1}),正业沃特含氨基酸水溶肥(海南正业中农高科股份有限公司,氨基酸总量≥100 g·L^{-1},锌+硼≥20 g·L^{-1}),分别用K1、K2、K3表示,喷施剂量分别为:450 g·hm^{-2}、450 ml·hm^{-2}、300 ml·hm^{-2};3个喷施时期:蕾期(6月15日)1次,蕾期+花期(6月15日+7月15日)2次,花期(7月15日)1次,分别用A1、A2、A3表示;不喷施抗旱剂为对照(CK),共10个处理,3次重复,田间随机区组排列,小区面积为67.5 m^2,四周各种植2条保护行,试验处理见表1。

试验采用膜下滴灌、膜上点播、(66+10) cm机采棉栽培模式,株距10 cm,理论株数24.0万株·hm^{-2},覆膜宽205 cm,1膜6行3条滴灌带。CK处理为完全灌溉模式,即生育期灌水+其余处理喷施抗旱剂前持续灌水16 h,全生育期灌水9次,灌水量为5 700 m^3·hm^{-2};喷施抗旱剂处理为不完全灌溉模式,即生育期灌水+喷施抗旱剂前16 h开始控水,时间为当次生育时期灌水后第3天,提前4 h关闭控水阀(即仅灌水12 h),控水量45 m^3·h^{-1}·hm^{-2},每次总控水量为180 m^3·hm^{-2},蕾期喷施处理灌水关闭1次,花期喷施处理灌水关闭1次,蕾期+花期喷施处理灌水共关闭2次,形成干旱胁迫微环境,A1、A2和A3处理灌水量分别为5 520、5 340、5 520 m^3·hm^{-2}。

棉花于4月18日播种,4月24日出苗,出苗后即进行齐苗化控,喷施98%甲哌鎓7.5 g·hm^{-2},蕾期化调1次,喷施98%甲哌鎓30~45 g·hm^{-2};7月5日人工打顶,打顶前化调1次,喷施98%甲哌鎓105 g·hm^{-2},打顶后7 d化调1次,喷施98%甲哌鎓195 g·hm^{-2};9月7日机车喷施脱叶剂(80%瑞脱龙300 g·hm^{-2})+乙烯利1 050 g·hm^{-2},10月20日收获。播前未施基肥,追肥为尿素(含N 46%),硫酸钾(含K_2SO_4 34%),磷酸二氢钾(含P_2O_5 52%和K_2O 34%),均随水滴施,根据棉花需肥规律,全生育期氮、钾、磷肥施用量分别为720、180、375 kg·hm^{-2}。其他病虫草害防治按正常田间管理进行。试验期间(4—10月)每月日照时数和降雨量分别为264.7、306.9、313.0、319.3、313.1、274.9、230.3 h和1.2、33.5、8.1、12.8、22.8、2. 3、14.1 mm。

表1 试验处理

Table 1 The treatments of field experiment

处理 Treatment	抗旱剂类型 Drought-resistance chemicals type	喷施量 Spraying amount	喷施时期 Spraying time
K1A1	K1:黄腐酸钾 Fulvic acid potassium	450 g·hm^{-2}	A1:蕾期 Bud stage
K1A2			A2:蕾期+花期 Bud stage + Flowering stage
K1A3			A3:花期 Flowering stage
K2A1	K2:微生元植物蛋白免疫剂 Weishengyuan plant protein immunizers	450 ml·hm^{-2}	A1:蕾期 Bud stage
K2A2			A2:蕾期+花期 Bud stage + Flowering stage
K2A3			A3:花期 Flowering stage
K3A1	K3:正业沃特含氨基酸水溶肥 Zhengye Walter water-soluble fertilizer containing amino acid	300 ml·hm^{-2}	A1:蕾期 Bud stage
K3A2			A2:蕾期+花期 Bud stage + Flowering stage
K3A3			A3:花期 Flowering stage
CK	常规管理,全生育不喷施抗旱剂 Routine management, no application of drought-resistant chemicals during the whole growth stage		

1.3 测定项目与方法

1.3.1 农艺性状指标 喷施抗旱剂处理前一天,每个处理在内行、中行、外行随机选取长势一致的棉株各3株,3个重复,挂牌标记测定固定植株的株高、果枝台数、蕾数、花数、叶龄、始果节位等农艺性状。测定间隔为7~10 d,直到固定植株上没有蕾和花为止。各指标计算生育期平均值后进行分析。

1.3.2 干物质量 农艺性状指标调查当天同步整株取样,每个处理选择长势一致棉株6株,将地上部植株按茎、叶、蕾、花、铃和地下部根各器官分装好,在烘箱中105℃下烘15 min杀青,然后在85℃下烘干达恒重,称重后计算各器官干物质量及地上部干物质量。各处理计算生育期平均值后进行分析。

1.3.3 叶面积指数 干物质量测定当天将3株棉株叶片从叶柄处摘下,通过扫描仪扫描单株叶片并利用Scion Image计算叶面积从而得到叶面积指数。

$$LAI = LA \times D / 6667000$$

式中,*LAI*为叶面积指数,*LA*为单株叶面积(cm^2),*D*为种植密度(株·m^{-2});各处理计算*LAI*生育期平均值后进行分析。

1.3.4 根系形态指标 在棉花的现蕾期、开花期、结铃吐絮期整株取样后从子叶节部位截取根样,装入大塑料袋中,借助0.25 mm土壤筛和尼龙网用自

来水将根系冲洗干净,放入装有少量水的有机玻璃盘,用镊子小心将每条根展开,使根与根之间不交叉、不重叠,用根系图像分析软件 WinRHIZO 对每个棉株根系进行扫描检测,每个处理重复 3 次,测定根长、根直径、根体积、根面积等指标。

1.3.5　根冠比　根冠比 = 根干质量/地上部干物质量。

1.3.6　产量和品质　收获前各处理划定测产小区 6.67 m^2,测定株数、单株结铃数,取样测单铃重,并计算每公顷籽棉产量,理论籽棉产量 = 每公顷株数×每公顷铃数×每公顷铃重,重复 3 次。收获前每个处理选择连续 20 株上、中、下部吐絮铃各 20 朵并编号,轧花后送国家农业农村部棉花纤维检测室测定棉纤维品质(上半部平均长度、断裂比强、马克隆值、整齐度、伸长率)。上半部平均长度(mm)是指重量占所测棉纤维一半的较长部分纤维的平均长度;断裂比强(cN · tex^{-1})是衡量纤维抵抗拉伸的能力(拉伸强度)的指标之一;马克隆值是反映棉花纤维线密度与成熟度的综合指标;整齐度(%)是指棉纤维平均长度占上半部平均长度的百分率;伸长率(%)是指棉纤维拉伸至断裂时增加的长度占原纤维长度的百分比。

1.3.7　经济效益指标　毛收入(元 · hm^{-2}) = (处理籽棉产量-CK 籽棉产量)×籽棉收购价(元 · kg^{-1});总收入(元 · hm^{-2}) = 处理籽棉产量(kg · hm^{-2})×籽棉收购价(元 · kg^{-1});节水金额(元 · hm^{-2}) = 节水量(m^3 · hm^{-2})×水价(元 · m^{-3});纯收入(元 · hm^{-2}) = 毛收入(元 · hm^{-2}) + 节水金额(元 · hm^{-2}) - 抗旱剂投入(元 · hm^{-2}) - 植棉投入(元 · hm^{-2})。

1.3.8　水分利用效率　于播种前、每次灌水前一天和收获后取 1 m 土层的土壤,利用烘干法(每 10 cm 土层取一个样)测定土壤含水量 b,并计算土壤贮水量 W、土壤耗水量 ET 和水分利用效率 WUE,计算公式如下[]。

$$b(\%) = (\text{湿土重} - \text{烘干土重}) / \text{烘干土重} \times 100\%$$

$$W(\text{mm}) = h \times a \times b \times 10$$

$$ET(\text{mm}) = R + I - F \pm Q + \Delta W$$

$$WUE(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}) = Yield/ET$$

式中,h、a 分别为土层深度(cm)、土壤容重(g · cm^{-3}),10 为转换系数;R 为生育期内有效降雨量(mm),I 为灌水量(mm),F 为地表径流量(mm),Q 为深层渗漏量(mm),ΔW 为计算时段内土壤贮水量的变化,考虑到试验田无地表径流和深层渗漏,故 $F=0$,$Q=0$;$Yield$ 为各处理的籽棉产量(kg · hm^{-2})。

1.4　数据处理

采用 SPSS 13.0 和 Microsoft Excel 对数据进行处理和分析。

2　结果与分析

2.1　抗旱剂对棉花农艺性状的影响

由表 2 可知,喷施抗旱剂对棉花株高、果枝台数、蕾数、花数和叶龄具有不同程度影响。K1A1、K1A3、K2A1、K2A2、K2A3、K3A1 处理株高与 CK 差异显著,较 CK 提高 2.9~5.8 cm;各处理果枝台数较 CK 增加 0.3~0.7 台;K1A1、K1A2、K1A3、K2A2、K3A1、K3A2、K3A3 处理蕾数较 CK 增加 1.3~2.4 个;K2A3、K3A1、K3A3 处理的花数与 CK 差异显著,均较 CK 增加 0.41 个;除 K2A1、K2A2 处理叶龄与 CK 差异不显著外,其他处理叶龄与 CK 均差异显著,较 CK 高 0.8~1.2 片。同一抗旱剂不同喷施时期,K1、K3 抗旱剂各农艺性状均表现为蕾期喷施 A1、花期喷施 A3≥(蕾期+花期)喷施 A2,且 K1 抗旱剂蕾期喷施处理(K1A1)株高显著高于其(蕾期+花期)2 次喷施处理(K1A2),K2 抗旱剂花期喷施处理(K2A3)果枝台数显著高于其蕾期喷施处理(K2A1),其他处理间各性状差异均不显著。同一喷施时期不同抗旱剂,蕾期喷施处理各农艺性状均表现为 K1A1、K3A1>K2A1,且 K1 抗旱剂蕾期喷施处理(K1A1)果枝台数和蕾数显著高于 K2 抗旱剂蕾期喷施处理(K2A1);花期喷施处理各农艺性状均表现为 K1A3≥K3A3、K2A3,且 K2 抗旱剂花期喷施处理(K2A3)果枝台数显著高于 K3 抗旱剂花期喷施处理(K3A3),K1 抗旱剂花期喷施处理(K1A3)蕾数显著高于 K2 抗旱剂花期喷施处理(K2A3),其他处理间各性状差异均不显著。综合分析表明,K1A1、K1A3、K3A1 处理株高、果枝台数、蕾数、花数和叶龄分别较 CK 高 9.0%、9.7%、68.6%、46.1% 和 7.9%,4.5%、6.9%、62.8%、46.1% 和 9.4%,8.4%、6.9%、68.6%、46.1% 和 7.9%,农艺性状综合表现较优。

2.2　抗旱剂对棉花地上部干物质量、叶面积指数和根冠比的影响

由表 3 可知,喷施抗旱剂对地上部干物质量(DM)、叶面积指数(*LAI*)和根冠比(RSR)具有不同程度影响,其中 K2A1、K2A3 和 K3A1 处理 DM 较 CK 显著增加 0.3~0.5 t · hm^{-2},K1A1、K1A2、K1A3、K2A1、K2A2、K3A1、K3A3 处理 *LAI* 较 CK 显著增加 0.3~0.6,K1A1、K1A2、K2A1、K2A3、K3A1、K3A2、K3A3 处理 RSR 较 CK 显著增加 0.01~0.02,其他处

表2 抗旱剂对棉花农艺性状的影响

Table 2 Effects of drought-resistance chemicals on agronomic characters of cotton

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	果枝台数 Number of sympodials	蕾数 Budding number	花数 Flowering number	叶龄 Leaf age
K1A1	70.2±1.8a	7.9±0.2a	5.9±0.4a	1.3±0.3ab	13.7±0.3ab
K1A2	65.8±1.1cd	7.6±0.1ab	5.3±0.7abc	1.1±0.2ab	13.6±0.2ab
K1A3	68.8±0.9ab	7.7±0.3ab	5.8±0.5ab	1.3±0.2ab	13.9±0.4a
K2A1	68.5±1.3ab	7.5±0.1b	4.6±0.9bcd	1.1±0.1ab	13.3±0.3abc
K2A2	68.1±0.6abc	7.7±0.2ab	4.9±0.3abc	1.0±0.1ab	13.2±0.3bc
K2A3	67.3±0.9bc	7.7±0.2a	4.5±0.5cd	1.3±0.2a	13.5±0.1ab
K3A1	68.9±0.9abc	7.7±0.3ab	5.9±0.5a	1.3±0.1a	13.7±0.2ab
K3A2	66.4±1.8bcd	7.5±0.1b	4.8±0.4abc	1.0±0.1ab	13.7±0.1ab
K3A3	66.5±1.1bcd	7.5±0.1b	5.3±0.5abc	1.3±0.2a	13.7±0.5ab
CK	64.4±0.7d	7.2±0.1c	3.5±0.4d	0.9±0.2b	12.7±0.5c

注:表中数据为平均值±标准误,同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Data of the table represent average value ± standard error, different letters in the same column mean significant differences among treatments ($P<0.05$). The same below.

表3 抗旱剂对棉花地上部干物质量、叶面积指数和根冠比的影响

Table 3 Effects of drought-resistance chemicals on dry matter, leaf area index, root-shoot ratio of cotton

处理 Treatment	干物质量 Dry matter /(t·hm^{-2})	叶面积指数 Leaf area index	根冠比 Root-shoot ratio
K1A1	4.10±0.08abc	2.60±0.03abc	0.16±0.42a
K1A2	3.90±0.18bc	2.60±0.09abcd	0.15±0.27ab
K1A3	4.10±0.13abc	2.60±0.01abc	0.15±0.10bc
K2A1	4.20±0.10ab	2.80±0.09a	0.15±0.42ab
K2A2	3.90±0.36bc	2.50±0.22bcd	0.14±0.02bc
K2A3	4.30±0.21a	2.40±0.04de	0.150±0.41ab
K3A1	4.10±0.50ab	2.70±0.02ab	0.15±0.09bc
K3A2	3.90±0.60bc	2.40±0.10de	0.16±0.11a
K3A3	4.00±0.04abc	2.50±0.09cd	0.15±0.45ab
CK	3.80±0.12c	2.20±0.13e	0.14±0.12c

理DM、LAI、RSR与CK差异均不显著。同一抗旱剂不同喷施时期,各抗旱剂DM均表现为蕾期喷施A1、花期喷施A3>(蕾期+花期)喷施A2,且K2A3与K2A2处理差异显著;各抗旱剂*LAI*均表现为A1≥A3、A2,且K2A1处理显著高于K2A2、K2A3,K3A1处理显著高于K3A2、K3A3;RSR不同喷施时期之间关系各抗旱剂表现有所不同,K1A1显著高于K1A3处理,K3A2显著高于K3A1处理,K2不同喷施时间处理间差异不显著。同一喷施时期不同抗旱剂,蕾期喷施处理DM和*LAI*均表现为K2A1>K1A1、K3A1,处理间差异不显著;花期喷施处理DM表现为K2A3>K1A3、K3A3,*LAI*表现为K1A3>K2A3、K3A3;2个时期喷施处理DM和*LAI*均表现为K1A2≥K2A2、K3A2,处理间差异不显著;RSR相同喷施时期不同抗旱剂表现有所不同,(蕾期+花期)喷施处理K3A2显著高于K2A2,其他时期各处理间差异均不显著。综合分析表明,K2A3处理DM,K2A1处理*LAI*,K1A1、K3A2处理RSR指标较其他处理有所提高,表现较优。

2.3 抗旱剂对棉花根系形态指标的影响

由表4可知,喷施抗旱剂对棉花根长(RL)、根直径(RD)、根体积(RV)和根面积(RA)有不同程度影响。K1A1、K1A2处理RL与CK差异显著,较CK增加4.6~4.9 cm;K1A1、K2A1、K3A1、K3A2、K3A3处理RD与CK差异显著,较CK增加0.05~0.07 mm;K1A3、K3A1、K3A2、K3A3处理RV与CK差异显著,较CK增加1.6~2.1 cm^3;各处理RA与CK之间差异不显著,但较CK高0.02~0.10 mm^2。同一抗旱剂不同喷施时期,仅K2A1处理显著高于K2A2、K2A3,其他各处理间RL、RV、RA差异不显著,但均高于CK。同一喷施时期不同抗旱剂,蕾期喷施仅K1A1处理RL显著高于K2A1、K3A1,分别较K2A1、K3A1处理高4.5、3.8 cm;花期喷施仅K3A3处理RV较K2A3显著增加1.9 cm^3;其他同时期各处理间RL、RD、RV和RA差异均不显著。综合分析表明,K1A1处理的RL、RA,K2A1处理的RD,K3A3处理的RV、RA,较其他处理高,表现较优。

2.4 抗旱剂对棉花产量和产量构成因子的影响

由表5可知,喷施抗旱剂对单株结铃数、单铃重、收获株数和籽棉产量有不同影响,各处理单株结铃数、收获株数和籽棉产量与CK差异不显著,处理之间差异亦不显著。各处理单株结铃数为5.2~5.7个,单铃重为5.1~5.5 g,收获株数为20.6~22.5万株·hm^{-2};籽棉产量为5 568.6~5 968.3 kg·hm^{-2},以K1A1、K2A3和K3A1处理的增产效果最

好,籽棉产量分别较 CK 增加 5.5%、5.3%和 7.2%。K2A3、K3A1 处理单铃重均较 CK 提高 0.4 g。同一抗旱剂不同喷施时期,K1、K2 抗旱剂处理单铃重均表现为花期喷施 A3>蕾期喷施 A1、(蕾期+花期)喷施 A2,且 K2A3 处理较 K2A2、K2A1 分别显著增加 0.4、0.4 g;K3 抗旱剂处理单铃重表现为 A1>A2>A3,且 K3A1 较 K3A2、K3A3 分别显著增加 0.3、0.4 g。同一喷施时期不同抗旱剂,蕾期喷施和 2 个时期均喷施处理单铃重表现为抗旱剂 K3≥抗旱剂 K1、抗旱剂 K2,且 K3A1 分别较 K1A1、K2A1 处理显著增加 0.3、0.4 g;花期喷施处理则表现为 K2A3 单铃重较 K3A3 显著增加 0.4 g。综合分析表明,K1A1、K2A3、K3A1 处理的籽棉产量最高,产量构成因子配比最优。

2.5　抗旱剂对棉花品质的影响

由表 6 可知,各处理纤维品质指标上半部平均长度、断裂比强度、马克隆值、整齐度、伸长率与 CK 差异均不显著,除马克隆值略低外,其余纤维品质指标均高于 CK,分别较 CK 高 0.3~0.9 mm、0.6~2.1 cN·tex^{-1}、0.1%~2.0%、0.1%~0.2%,说明所有抗旱处理均对棉花品质有一定提升作用;除断裂比强度外,其余指标各处理间均无显著差异。同一抗旱剂不同喷施时期,K1、K2、K3 抗旱剂各时期喷施处理上半部平均长度和断裂比强度均表现为蕾期喷施 A1>(蕾期+花期)喷施 A2、花期喷施 A3,且 K1A1 处理断裂比强度显著高于 K1A3,K2A1 处理断裂比强显著高于 K2A3,其余处理间差异不显著。同一喷施时期不同抗旱剂,各处理纤维品质指标差异均不显著,但均高于 CK(马克隆值除外)。综合分析表明,除马克隆值略低之外,K1A1、K3A1 处理的其余棉纤维品质指标均高于其他处理,棉纤维品质较优。

表 4　抗旱剂对棉花根长、根直径、根体积和根面积的影响

Table 4　Effects of drought-resistance chemicals on root length, root diameter, root volume and root area of cotton

处理 Treatment	根长/cm Root length	根直径/mm Root diameter	根体积/cm^3 Root volume	根面积/mm^2 Root area
K1A1	36.90±0.71a	0.94±0.01ab	25.80±0.29abc	0.63±0.08a
K1A2	36.60±0.70ab	0.92±0.02abc	26.20±0.99abc	0.60±0.08a
K1A3	35.30±0.69abc	0.91±0.01abc	26.40±0.12ab	0.63±0.08a
K2A1	32.40±0.18c	0.95±0.04a	25.90±0.23abc	0.59±0.09a
K2A2	35.10±0.64abc	0.91±0.04bc	25.80±0.53abc	0.55±0.09a
K2A3	35.10±0.40abc	0.91±0.02bc	25.00±0.66bc	0.62±0.08a
K3A1	33.10±0.94c	0.93±0.01ab	26.50±0.06ab	0.62±0.09a
K3A2	33.30±0.13bc	0.93±0.01ab	26.80±0.99a	0.60±0.08a
K3A3	34.50±0.26abc	0.93±0.01ab	26.90±0.47a	0.63±0.08a
CK	32.00±0.80c	0.88±0.01c	24.80±0.64c	0.53±0.08a

表 5　抗旱剂对棉花产量和产量构成因子的影响

Table 5　Effects of drought-resistance chemicals on seed cotton yield and yield components of cotton

处理 Treatment	单株结铃数 Boll number per plant	单铃重 Boll weight/g	收获株数 Plants of harvest /(10^4 plants·hm^{-2})	籽棉产量 Seed cotton yield /(kg·hm^{-2})
K1A1	5.3±0.2a	5.2±0.1bc	21.3±0.8a	5876.4±520.0a
K1A2	5.4±0.6a	5.2±0.1bc	21.7±0.4a	5745.2±111.1a
K1A3	5.5±0.3a	5.4±0.1abc	20.6±2.0a	5755.4±287.4a
K2A1	5.7±0.5a	5.1±0.3c	21.0±1.1a	5714.3±618.3a
K2A2	5.6±0.5a	5.1±0.2c	22.5±1.0a	5744.6±468.1a
K2A3	5.3±0.3a	5.5±0.1ab	21.5±0.2a	5866.3±464.6a
K3A1	5.6±0.2a	5.5±0.2a	22.0±0.8a	5968.3±969.6a
K3A2	5.4±0.2a	5.2±0.1bc	21.8±3.0a	5768.5±822.9a
K3A3	5.6±0.9a	5.1±0.4c	21.0±2.4a	5811.5±586.4a
CK	5.2±0.2a	5.1±0.2c	21.5±0.6a	5568.6±532.3a

表 6　抗旱剂对棉花纤维品质的影响

Table 6　Effects of drought-resistance chemicals on fiber quality of cotton

处理 Treatment	上半部平均长度 Upper half mean length/mm	断裂比强 Breaking tenacity /(cN·tex^{-1})	马克隆值 Micronaire	整齐度 Uniformity /%	伸长率 Elongation /%
K1A1	31.60±0.41a	37.20±0.69a	4.00±0.08a	87.00±0.84a	7.10±0.09a
K1A2	31.50±0.37a	37.00±0.53ab	4.10±0.18a	86.90±0.29a	7.10±0.05a
K1A3	31.30±0.41ab	35.90±0.97bc	4.10±0.16a	85.60±0.14a	7.10±0.14a
K2A1	31.50±0.69ab	37.10±1.40a	4.10±0.26a	86.50±0.69a	7.10±0.05a
K2A2	31.20±0.15ab	36.40±0.12ab	4.20±0.11a	85.80±0.08a	7.00±0.05a
K2A3	31.30±0.32a	35.70±1.01bc	4.00±0.39a	86.60±0.67a	7.10±0.09a
K3A1	31.80±0.25a	37.10±0.57ab	3.90±0.26a	87.50±0.71a	7.10±0.09a
K3A2	31.30±0.81ab	37.00±0.98ab	4.00±0.11a	86.50±0.56a	7.00±0.05a
K3A3	31.30±0.45ab	36.50±1.02ab	4.00±0.39a	85.90±0.65a	7.10±0.12a
CK	30.90±0.31ab	35.10±0.97ab	4.20±0.25a	85.50±0.31a	6.90±0.09a

2.6 抗旱剂对棉花经济效益的影响

由表 7 可知,抗旱剂 K1、K2、K3 投入分别为 180、225、240 元·hm^{-2},按照 2021 年籽棉收购均价 10.3 元·kg^{-1}计算,各处理总收入均高于 CK,增幅为 2.6%~7.1%,K1A1、K2A3 和 K3A1 处理最高,分别较 CK 增加 5.5%、5.3%和 7.2%;A_1、A_2、A_3 各处理分别较 CK 节水 180、360、180 m^3·hm^{-2},水价按 0.25 元·m^{-3}计算,各处理节水金额分别为 45、90、45 元·hm^{-2};按植棉成本 150 元·hm^{-2}计算,K1A1、K2A3 和 K3A1 处理的纯收入分别为 2 885.30、2 736.31、3 771.91 元·hm^{-2}。同一抗旱剂不同喷施时期,K1 抗旱剂以蕾期喷施处理(K1A1)、K2 抗旱剂以花期喷施处理(K2A3),K3 抗旱剂以蕾期喷施处理(K3A1)毛收入、总收入和纯收入最高;同一喷施时期不同抗旱剂,花期喷施处理以 K2 抗旱剂(K2A3)、蕾期喷施处理以 K3 抗旱剂(K3A1)、(蕾期+花期)喷施处理以 K3 抗旱剂(K3A2)毛收入、总收入和纯收入最高。综合分析表明,K1A1、K2A3 和 K3A1 处理的经济效益各项指标最优。

2.7 抗旱剂对棉花水分利用效率的影响

由图 1 可知,抗旱剂对各处理水分利用效率(*WUE*)有不同程度的影响。各处理 *WUE* 均显著高于 CK,较 CK 增加 5.8%~10.5%。同一抗旱剂不同喷施时期,各抗旱剂处理 *WUE* 均表现为蕾期喷施 A1>(蕾期+花期)喷施 A2、花期喷施 A3,K1A1、K1A2 显著高于 K1A3,K2A1、K2A3 显著高于 K2A2,K3A1 显著高于 K3A3。同一喷施时期不同抗旱剂,蕾期喷施各处理间 *WUE* 差异不显著;(蕾期+花期)喷施处理,K1、K3 抗旱剂(K1A2、K3A2)显著高于 K2 抗旱剂(K2A2);花期喷施处理,K2 抗旱剂(K2A3)显著高于 K1 抗旱剂(K1A3)和 K3 抗旱剂(K3A3)。总体来看,喷施抗旱剂明显提高了棉花水分利用效率,以 K1A1、K2A1、K3A1 处理最高。

表 7 抗旱剂对棉花经济效益的影响/(元·hm^{-2})

Table 7 Effects of drought-resistance chemicals on economic benefits of cotton/(Yuan·hm^{-2})

处理 Treatment	抗旱剂投入 Drought-resistance chemicals input	毛收入 Gross income	总收入 Total income	节水金额 Water saving amount	纯收入 Net income
K1A1	180.00	3170.34	60526.92	45.00	2885.30
K1A2	180.00	1818.98	59175.56	90.00	1578.98
K1A3	180.00	1924.04	59280.62	45.00	1639.04
K2A1	225.00	1500.71	58857.29	45.00	1170.71
K2A2	225.00	1812.80	59169.38	90.00	1527.80
K2A3	225.00	3066.31	60422.89	45.00	2736.31
K3A1	240.00	4116.91	61473.49	45.00	3771.91
K3A2	240.00	2058.97	59415.55	90.00	1758.97
K3A3	240.00	2501.87	59858.45	45.00	2156.87
CK	0.00		57356.58	0.00	

3 讨 论

3.1 抗旱剂对棉花形态和生理指标的影响

使用抗旱剂是提高棉花抗旱性和籽棉产量、品质等指标较为有效、实用的技术途径。新疆棉区棉花生长时期的高温出现在 6—8 月,不同地区 35℃以上高温持续时间为 9~33 d 不等,7 月中旬到 8 月上旬进入盛花期,该阶段的高温和干旱胁迫是影响棉花花蕾发育和开花结铃的主要因素[19]。王志伟等[11]研究表明,拔节期、孕穗期和灌浆期叶面喷施一定浓度的抗旱剂能促进冬小麦生长发育,在干旱年份,高浓度喷施处理效果优于低浓度喷施处理,喷施 3 次效果优于喷施 2 次。本研究表明,K1A1(K1 抗旱剂蕾期喷施)、K1A3(K1 抗旱剂花期喷施)和 K3A1(K3 抗旱剂蕾期喷施)处理的株高、果枝台数、蕾数和花数均高于 CK(不喷施抗旱剂常规处理),说明喷施抗旱剂对提高植株抗旱能力、优化各项农艺性状指标、防止落蕾和落花具有较好的作用,且蕾期、花期单独喷施 1 次效果优于(蕾期+花期)喷施 2 次,结论与前人研究结果存在一定差异,可能是作物品种、抗旱剂类型、生态条件和栽培技术等不同造成的。白艳红等[20]、罗杰等[21]研究表明,在播种时撒施抗旱保水剂可显著加快棉花生育进程,平均株高、分枝数分别较对照高 2.6 cm、0.17 个;抗旱剂可以增加鸡冠花的发枝数、株高、干重和根冠比,与本文的研究结果趋势相同。说明喷施抗旱剂可对不同作物的生长发育进程和农艺性状指标产生显著作用。

赵海峰等[22]研究发现,喷施抗旱剂可使盆栽玉米叶片数量和根长增加,且能有效提高玉米产量。本研究也表明 K1A1(K1 抗旱剂蕾期喷施)、K1A3(K1

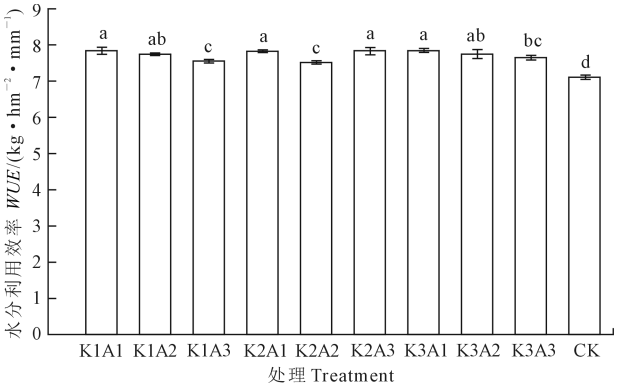

图 1 抗旱剂对棉花水分利用效率的影响

Fig.1 Effects of drought-resistance chemicals on water use efficiency of cotton

抗旱剂花期喷施)和 K3A3(K3 抗旱剂花期喷施)处理根长、根直径、根体积、根面积均高于 CK,可见在 A1(蕾期)、A3(花期)喷施抗旱剂对棉花根系功能的构建和根系形态的建成具有积极影响。赵春艳等[23]在南疆盐渍化棉田施用"FA 旱地龙"抗旱生长营养剂,棉花株高、茎粗、叶面积等均显著增加,表明在不同土壤条件下喷施抗旱剂均能较好地促进棉花生长发育。成志明等[24]研究发现,在干旱条件下,叶面喷施抗旱剂可促进冬小麦幼苗根系的生长,同时很好地协调了产量构成要素(穗数、穗粒数和千粒重)。本研究是在控水微旱情况下进行的,得到的结论与其相似,表明在干旱胁迫条件下,喷施抗旱剂能较大限度地提高不同作物抗旱能力,但并非施用量越多越好,需根据作物生长情况和抗旱剂的作用效果适量喷施。

3.2　抗旱剂对籽棉产量和棉纤维品质的影响

本研究中,K1A1(K1 抗旱剂蕾期喷施)、K3A1(K3 抗旱剂蕾期喷施)和 K2A3(K2 抗旱剂花期喷施)处理单株结铃数、单铃重和籽棉产量均高于 CK;K1A1、K3A1 处理上半部平均长度和断裂比强均高于 CK,说明喷施抗旱剂能在一定程度上缓解干旱胁迫对棉株生长和棉铃发育的不良影响。刘英等[25]研究表明,叶面喷施"FA 旱地龙"抗旱剂后,棉花单铃重和籽棉产量较 CK 分别增加了 11.6% 和 10.6%。李磐等[26]研究表明,抗旱剂与保水剂能够显著增加棉花产量,增产幅度为 2.55%~29.71%,同时显著提高了棉花单铃重。张玉屏等[27]研究发现,在干旱胁迫条件下,喷施抗旱剂有利于稳定水稻有效穗数,增加每穗粒数和植株干物质量,使其保持稳定的株高和较高的茎蘖数,进而获得稳定产量。可见,喷施抗旱剂对缓解干旱胁迫造成的作物减产具有显著作用。白艳红等[20]研究表明,抗旱保水剂对农作物有明显的增产效果和改善品质的作用,可使棉花纤维增长和产量提高。张建新等[28]研究表明,在小麦拔节期叶面喷施 MFB 多功能抗旱剂后,小麦粗蛋白含量、面筋含量和赖氨酸含量分别较不施用抗旱剂处理增加 0.98%、37.7% 和 0.07%,小麦籽粒营养品质得到改善。

3.3　抗旱剂对棉花经济效益和水分利用效率的影响

棉花经济效益是衡量抗旱剂喷施效果的重要指标。吴勇等[29]研究表明,喷施抗旱剂能显著提高冬小麦种植的经济效益,各处理较对照平均增收 1 147.5 元 · hm^{-2}。刘顺国等[12]研究发现,玉米喷施抗旱剂虽然成本增加,但效益也显著增加,较不喷施处理纯增效益 500.25~1 893.75 元 · hm^{-2}。伏旭东[30]研究发现,用抗旱拌种剂拌种育苗,水稻纯经济效益为 361.05~456.60 元 · hm^{-2},分蘖期喷施经济效益达 697.50~1 108.50 元 · hm^{-2}。莫海涛等[31]研究表明,施用腐植酸液肥后,每公顷籽棉的平均产量达到 6 731 kg,与常规施肥处理相比增产率为 12.3%,增产效果和经济效益提高显著。本研究除 CK 外其余处理均为控水形成的微旱处理,在节水前提下,各处理毛收入、总收入、纯收入均高于 CK,且 K1A1、K2A3 和 K3A1 处理均优于其他处理,研究结果与前人较为一致。

李磐等[26]研究表明,施用抗旱保水剂可显著提高棉花水分利用效率,且水分利用效率随着抗旱保水剂施用量的增大而提高。席吉龙等[32]研究表明,在干旱胁迫条件下,小麦播种前进行抗旱剂拌种可极显著提高其收获期水分利用效率,较 CK 提高 60.81%。可见,叶面喷施抗旱剂或抗旱剂拌种均能提高不同作物水分利用效率。本研究也表明,生育期喷施抗旱剂可不同程度地提高棉花水分利用效率(*WUE*),且 K1(黄腐酸钾)、K2(微生元植物蛋白免疫剂)、K3(正业沃特含氨基酸水溶肥)3 种抗旱剂均在 A1(蕾期)喷施水分利用效率最高。

4　结　论

1)喷施抗旱剂会对棉花生长发育、形态指标等产生一定程度影响,各指标受影响程度表现为蕾数>花数>株高>果枝台数。

2)喷施抗旱剂后棉花地上部干物质量、叶面积指数、根冠比、根系形态指标及籽棉产量均优于 CK;除马克隆值略低外,其余纤维品质指标均较 CK 有所增加。与常规处理相比,喷施抗旱剂有良好的节水增产及提高棉花经济效益的效果。

3)K1A1 处理各方面均表现较优,K2A1 处理在叶面积指数、根直径和水分利用效率等方面表现较优,K2A3 处理在干物质量、产量和经济效益等方面表现较优,K3A1 处理在农艺性状、产量、品质、经济效益和水分利用效率等方面表现较优。综合而言,K1(黄腐酸钾)、K2(微生元植物蛋白免疫剂)、K3(正业沃特含氨基酸水溶肥)3 种抗旱剂在 A1(蕾期)喷施为新疆棉区适宜推广的棉花抗旱节水栽培模式。

参 考 文 献:

[1] 刘云涛, 肖文俊. 高温胁迫下棉花蕾铃脱落及耐高温育种研究进展[J]. 分子植物育种, 2019, 17(15): 5089-5096.
LIU Y T, XIAO W J. Research progress on square and boll shedding and high temperature tolerance breeding of cotton under heat stress[J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(15): 5089-5096.

[2] LOBELL D B, GOURDJI S M. The influence of climate change on global crop productivity[J]. Plant Physiology, 2012, 160(4): 1686-1697.

[3] 张卫星, 赵致, 廖景容, 等. 作物抗旱剂的应用研究进展[J]. 中国农学通报, 2004, 20(6): 334-339, 341.
ZHANG W X, ZHAO Z, LIAO J R, et al. Progress in studies on application of drought-resistance chemicals of crops[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(6): 334-339, 341.

[4] ZAHID K R, ALI F, SHAH F, et al. Response and tolerance mechanism of cotton *Gossypium hirsutum* L.to elevated temperature stress:a review[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 937.

[5] SINGH R P, PRASAD P V V, SUNITA K, et al. Influence of high temperature and breeding for heat tolerance in cotton:a review[J]. Advances in Agronomy, 2007, 93: 313-385.

[6] SONG G C, CHEN Q Z, TANG C M. The effects of high-temperature stress on the germination of pollen grains of upland cotton during square development[J]. Euphytica, 2014, 200(2): 175-186.

[7] LARKINDALE J, MISHKIND M, VIERLING E. Plant responses to high temperature[M]//JENKS M A, HASEGAWA P M. Plant abiotic stress. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2005: 100-144.

[8] LOKHANDE S B, REDDY K R. Cotton reproductive and fiber quality responses to nitrogen nutrition[J]. International Journal of Plant Production, 2015, 9(2): 191-210.

[9] PETTIGREW W T. The effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality[J]. Crop Science, 2008, 48(1): 278-285.

[10] 唐启源, 周上游, 邹应斌. 作物栽培科学的新发展——从作物化控到物化栽培工程[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(4): 27-32.
TANG Q Y, ZHOU S Y, ZOU Y B. New development of crop cultivation science-from chemical control of crop growth to substance cultivation engineering[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2002, 4(4): 27-32.

[11] 王志伟, 梁亚春, 刘文平, 等. 叶面喷施FA旱地龙对冬小麦产量和发育期的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 68-72.
WANG Z W, LIANG Y C, LIU W P, et al. Effect of spraying FA on yield and growth period of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(1): 68-72.

[12] 刘顺国, 李薇. 不同抗旱剂对玉米增产效应的影响[J]. 农业科技与装备, 2014,(7): 7-9, 13.
LIU S G, LI W. Effect of different drought resistant agents on the increase of corn harvest[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2014,(7):7-9, 13.

[13] 任立红, 曹瑞玲, 张志学, 等. 多功能抗旱剂—旱地龙对棉花的抗旱增产效果[J]. 辽宁农业科学, 1995,(4): 50-52.
REN L H, CAO R L, ZHANG Z X, et al. Effect of multi-functional drought resistance agents-Handilong on yield in cotton[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 1995,(4): 50-52.

[14] 孙洪波, 宋杰, 范海, 等. 新型抗旱剂对棉花生理特性的影响[J]. 山东科学, 2000, 13(1): 19-24.
SUN H B, SONG J, FAN H, et al. Effect of new type drought resister on the physiological charicteristics of *Gossypium hirsutum* L. under drought stress[J]. Shandong Science, 2000, 13(1): 19-24.

[15] DA SILVA LEITE R, DO NASCIMENTO M N, DA SILVA A L, et al. Chemical priming agents controlling drought stress in *Physalis angulata* plants[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 275: 109670.

[16] YUAN Z H, WANG C T, LI S P, et al. Effects of different plant hormones or PEG seed soaking on maize resistance to drought stress[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2014, 94(8): 1491-1499.

[17] 陈静, 任佰朝, 赵斌, 等. 叶面喷施甜菜碱对不同播期夏玉米产量形成及抗氧化能力的调控[J]. 作物学报, 2022, 48(6): 1502-1515.
CHEN J, REN B C, ZHAO B, et al. Regulation of leaf-spraying glycine betaine on yield formation and antioxidation of summer maize sowed in different dates[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(6): 1502-1515.

[18] 陈玉梁, 石有太, 罗俊杰, 等. 干旱胁迫对彩色棉花农艺、品质性状和水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(11): 2074-2082.
CHEN Y L, SHI Y T, LUO J J, et al. Effect of drought stress on agronomic traits, quality, and WUE in different colored upland cotton varieties(lines)[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(11): 2074-2082.

[19] 辛渝, 陈洪武, 李元鹏, 等. 新疆北部高温日数的时空变化特征及多尺度突变分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 438-446.
XIN Y, CHEN H W, LI Y P, et al. Analysis on the spatiotemporal change and multi-scale abrupt change of high-temperature days in north Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2008, 25(3): 438-446.

[20] 白艳红, 刘瑞娟, 邹积田. 棉花栽培应用抗旱保水剂的效果分析[J]. 内蒙古农业科技, 2008,(3): 50-51.
BAI Y H, LIU R J, ZOU J T. Effect of drought resistant water retaining agent in cotton cultivation[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2008,(3): 50-51.

[21] 罗杰, 谢宜勤, 陈峰. 不同剂量抗旱剂对鸡冠花生长的影响[J]. 安徽农学通报, 2005, 11(3): 68-69, 72.
LUO J, XIE Y Q, CHEN F. The influence of different dosage of drought-resistent agent on the growth of cockscomb[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2005, 11(3): 68-69, 72.

[22] 赵海峰, 邢淑艳, 李广和. 抗旱剂对玉米生长及产量的影响[J]. 农业科技与装备, 2008,(2): 29-30.
ZHAO H F, XING S Y, LI G H. Effect of drought-resistant chemical on growth and yield of corn[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008,(2): 29-30.

[23] 赵春艳, 伊力哈木, 张胜江, 等. 新疆南疆盐渍化棉田FA旱地龙施用效果及推荐施用量研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 89-94.
ZHAO C Y, YI L H M, ZHANG S J, et al. Study on FA efficiency and recommended amount of FA on salinization cotton field in south Xinjiang Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(1): 89-94.

(下转第225页)