

后期持续干旱对北疆棉花生长发育的影响 及其抗旱适应性评价

李志博, 徐建伟, 李 衡, 张小均, 魏亦农 *

(新疆兵团绿洲生态农业重点实验室/石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要: 以 18 个北疆棉区适宜棉花品种(系)为材料, 在大田条件下研究了生育期后期持续干旱对棉花产量和生长发育因子的影响, 并用加权隶属函数值法对参试棉花材料的后期抗旱适应性进行评价分析。结果表明, 除功能叶叶片的干物质含量显著增加外, 后期连续干旱引起了其它的产量因子(铃重、铃数、籽棉产量、衣分)和生长发育相关因子(叶面积、鲜重、干重、株高)的明显下降, 籽棉产量的下降率最大, 为 46.80%; 在抗旱系数隶属函数值评价上, 不同产量和生长发育因子的抗旱性鉴定结果不同; 铃数、籽棉产量、叶面积和叶片干重与后期棉花抗旱性显著正相关, 其相对重要性依次为铃数 > 叶面积 > 叶片干重 > 籽棉产量。参试材料中, 具有抗旱性的材料为晋棉 13 号、297-5、新陆早 8 号、新陆早 26 号和新陆早 35 号, 没有抗旱性的材料为益农 2 号、新陆早 13 号、18-3、81-3 和 134-1。

关键词: 棉花; 持续干旱; 产量; 生长因子; 权重; 模糊隶属法; 抗旱适应性

中图分类号: S562.034 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0045-05

Effect of prolonged drought during late growth stage on growth of cotton and evaluation of its drought resistance in North Xinjiang

LI Zhi-bo, XU Jian-wei, LI Heng, ZHANG Xiao-jun, WEI Yi-nong *

(The Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Group/ College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Eighteen cotton cultivars (*Gossypium hirsutum*) suitable for North Xinjiang were used to study the effect of prolonged drought during late stage on cotton yield, growth and development. And the drought resistance of these cultivars was also evaluated by weighted fuzzy subordination function method. The results showed that yield components including boll size, boll number, seeds yield and lint percent, and parameters of growth and development such as the single functional leaf area, fresh mass, dry mass and plant height decreased significantly as compared to the normal irrigation. But the dry matter of stay-green leaf increased significantly, and the variations of seed yield was the highest for the drought treatment, with a reduction by 46.80%. The results of drought resistance evaluation differed when using fuzzy subordination function method. The drought resistance was mainly associated with boll number, leaf area, dry matter, and seed cotton yield (in the order of significance). Cultivars of Jinmian 13, 297-5, Xinluzao No.8, Xinluzao No.26 and Xinluzao No.35 were high resistant, whereas Yinong 2, Xinluzao No.13, 18-3, 81-3, and 134-1 were sensitive.

Keywords: cotton; prolonged drought; yield; growth parameters; weight; fuzzy subordination; drought resistance

棉花是世界性的经济作物,我国是世界上最大的原棉生产国和消费国之一,但棉花是一种耗水性作物,且棉花种植在大面积的干旱、半干旱和盐渍地

上,因此各个植棉国(区)非常重视棉花的抗旱研究^[3-4]。我国对棉花的抗旱研究起始于 20 世纪 50 年代^[5],早期的研究主要集中在干旱胁迫下棉花的

收稿日期:2013-11-13

基金项目:国家自然科学基金(31360265,30800695);国家重点基础研究发展规划(973)(2012CB722205);石河子大学动植物育种专项(gxjs2010-yz06)

作者简介:李志博(1978—),男,甘肃镇原人,博士,主要从事棉花遗传育种及抗逆研究。E-mail: lzb_oea@shzu.edu.cn。

* 通信作者:魏亦农(1964—),男,主要从事作物遗传育种研究。E-mail: weiyinong@163.com。

生长发育^[6-8]、光合特性^[9-10]及一些生理代谢物质^[3,8,11]的调控变化等方面,研究也多集中在长江、黄河流域棉区的适宜棉花基因型上^[5-6,10-11],对棉花的耐旱性研究和资源鉴定多以苗期等单一生育期为主^[3,12]。近年我们对棉花的抗旱性生育期差异评价研究中发现,不同生育期棉花的抗旱机制及适宜评价体系存在差异^[13],表明开展不同生育期棉花耐旱机制和资源筛选等相关研究具有重要的意义。

新疆是我国最大的棉花生产基地,但长期以来,人们对新疆棉花抗旱重要性的认识不足,相关研究远远滞后于其它干旱生态棉区^[5]。本世纪以来,随着全球高温、干旱气候的持续恶化以及新疆天山冰川等棉花灌溉有效水源的不断减少,新疆棉区的干旱问题开始引起了诸多棉花工作者的重视^[3,12-13]。前人研究发现,中后期棉花的耗水强度增大,是其产量因子形成和生长发育的关键时期,为整个棉花生长发育中的相对需水关键生育期^[6,8,12,14]。本试验以北疆棉区的适宜棉花材料为研究对象,通过在大田条件下生育期后期实施连续水分胁迫,研究后期持续干旱对棉花主要产量和生长发育因子的影响,并对北疆棉花材料的后期抗旱适应性进行评价,期望探索北疆棉区棉花抗旱性鉴定的简易指标,为棉花抗旱性品种选育提供一定的资源和理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

主要为北疆棉区曾经主栽或推广的一些代表性棉花品种(品系)如新陆早 8 号、新陆早 13 号、新陆早 19 号、新陆早 24 号、新陆早 26 号、新陆早 31 号、新陆早 33 号、新陆早 35 号、新陆早 36 号、益农 2 号、18-3、81-3、98-2、134-1 和 297-5 以及引入的部分抗旱性较强的棉花资源如晋棉 13 号、中棉所 25 号和中棉所 33 号,共计 18 个材料。所有参试的棉花种子均由新疆兵团绿洲生态实验室棉花育种研究室保存、提供。

1.2 试验方法

1.2.1 水分处理及管理 参试棉花种子于 2012 年 4 月 26 日人工点播于石河子大学棉花研究所专用棉花育种大田。大田前茬棉花,土壤质地为重壤,各处肥力均匀,含有机质 1.959%,碱解氮 56.70 mg·kg⁻¹,速效磷 15.63 mg·kg⁻¹,速效钾 194.81 mg·kg⁻¹。大田采用覆膜高密度膜下滴灌栽培模式,每材料种植 1 区,小区面积 5 m × 1.5 m,宽窄行种植 4 行,行距 30 cm + 60 cm + 30 cm,株距 12 ~ 12.5 cm。

试验设 2 个水分处理:I:正常灌溉(灌水),各生育期灌水量和灌水次数按正常大田生产的需求要求进行^[17],各生育期的灌水次数和总灌水量分别约为:苗期 2 次,3 780 m³·hm⁻²;蕾期 2 次,5 200 m³·hm⁻²;花铃期 3 次,12 000 m³·hm⁻²;吐絮期 2 次,4 000 m³·hm⁻²。II:干旱处理(干旱):苗期和蕾期的灌溉次数和灌溉量与正常灌溉相同,花铃期起(7 月 3 日)开始停止灌水直至收获(自然降水量 47.4 mm),其余的管理措施均按常规大田进行。

1.2.2 指标测定及抗旱系数计算 吐絮盛期(9 月 25 号)参照文献^[15]的方法分别统计、测定各参试材料相关的产量和生长发育因子指标。各材料测定分析选种植行中段不缺苗且生长一致的连续 10 株进行。其中株高用毫米刻度直尺测量,为子叶节到生长点的距离;选取叶片为倒 2 叶,用千分之一的电子天平称量鲜重后,先在 100℃ 下杀青 60 min 后在 80℃ 烘箱中烘干至恒重为相应的干重,干物质含量按干重/鲜重 × 100% 计算;用自来水快速冲洗干净所摘取的叶片上的泥土等脏物,再用吸水纸吸干叶片表面的残余水分后在台式叶面积仪器 LI-3100 上测定叶面积。籽棉产量为根据收获的小区籽棉产量所折算的亩产量。

不同产量和生长发育指标的抗旱系数按下列公式计算:抗旱系数 = 干旱处理测定值/正常灌溉处理测定值。

1.2.3 抗旱适应性评价 为了消减不同棉花材料的原始差异,不同产量和生长发育指标因子的抗旱性鉴定和评价采用抗旱系数隶属函数法进行^[15]。

采用相关分析法筛选对棉花抗旱性鉴定有显著影响的指标因子,然后按照其相关系数和显著度对各指标的相对重要性分别从 1、2...9、10 依次排序,用排序跟所有排序和的比值的倒序作为各筛选指标的权重^[16],根据权重计算各参加材料的抗旱性显著影响因子的加权隶属函数值,即为棉花抗旱性的适应评价。

抗旱性分析标准参考^[13,17]的方法,即隶属值 > 0.7 为高抗;在 0.60 ~ 0.7 之间为抗;在 0.45 ~ 0.6 之间为中抗,在 0.3 ~ 0.44 之间为弱抗,<0.3 为不抗。

2 结果与分析

2.1 试验材料的基本特性

对正常灌水和后期干旱胁迫后参试的 18 个棉花材料的产量和生长发育因子的基本性状统计分析结果见表 1。可以看出,两种处理下,参试棉花群体

的各个指标参数均有较大的变异,大部分指标的变异系数超过了 10%,而最高的变异系数高达 31.98%,表明参试材料两种处理下性状分离差异明显,研究材料具有较强的代表性。同时各个材料的各个指标受干旱胁迫后的变化不同,正常灌溉条件下,新陆早 31 号的单铃重、衣分,单叶鲜重、叶面积及籽棉产量值在所有材料中最大,而干旱处理后,只

有单铃重、单叶鲜重和叶面积依然保持在所有材料中最大,籽棉产量最高的为 297-5。正常灌水下,群体中铃数、干重、干物质含量、株高及果枝始节最大值的棉花材料分别为 18-3、新陆早 33 号、新陆早 33 号、新陆早 24 号及 81-3,而干旱处理下,相应因子的最大值棉花材料分别为 297-5、益农 2 号、新陆早 8 号、益农 2 号及新陆早 26 号。

表 1 不同干旱处理下试验材料的基本性状
Table 1 Parameters of the experimental material under different water treatments

性状 Traits		灌水 Irrigation			干旱 Drought		
		极差 Range	均值 Average	变异系数 CV/%	极差 Range	均值 Average	变异系数 CV/%
产量因子 Yield components	铃重 Boll size/g	4.93 ~ 6.77	5.63	9.40	3.61 ~ 4.61	4.19	6.91
	铃数 Boll number/个	5.75 ~ 9.83	8.06	14.98	3.50 ~ 5.67	4.65	13.30
	籽棉产量 Seed yield/(kg·667m ⁻²)	317.3 ~ 708.04	489.56	19.61	194.70 ~ 337.15	260.45	16.20
	衣分 Lint percent/%	39.14 ~ 52.74	43.31	6.81	37.92 ~ 43.72	41.07	4.49
生长发 育因子 Parameters of growth and development	叶面积 Leaf area/mm ²	69.55 ~ 145.50	116.96	18.31	11.84 ~ 129.00	79.77	31.91
	鲜重 Fresh mass/g	3.49 ~ 7.24	5.38	19.55	2.05 ~ 5.24	3.57	22.16
	干重 Dry mass/g	0.87 ~ 1.89	1.40	20.45	0.60 ~ 1.50	1.04	21.40
	干物质含量 Dry mass content/%	23.53 ~ 32.46	25.94	8.61	26.68 ~ 30.77	29.33	3.28
	株高 Plant height/cm	42.10 ~ 72.60	59.85	14.00	39.65 ~ 65.30	52.55	14.47
	果枝始节 First branch(节)	3.80 ~ 6.00	4.55	13.92	3.00 ~ 5.29	4.65	16.09

2.2 干旱胁迫对棉花产量和生长发育因子的影响

后期持续干旱胁迫后,棉花的主要产量因子指标均会产生显著性下降,其中籽棉产量的下降率最大,平均下降率高达 46.80%,其次依次为铃数、铃重和衣分,下降率分别为 42.31%、25.57% 和 5.17%。所有参试材料中,籽棉产量下降最大的是 18-3,下降率达 63.03%,而 297-5 的籽棉产量下降率最小,为 40.17%。

在棉花生长发育因子中,当后期持续干旱发生后,除了干物质含量增加外,其它指标均发生下降,其中只有果枝始节的变化不显著。功能叶的鲜重在所有指标中的变化率最大,为 33.64%,其次为功能叶叶面积,也高达 31.80%,而棉花株高变化率最小,平均下降率为 12.19%。所有参试棉花中,功能叶的鲜重下降最大的是益农 2 号,下降率达 48.23%,而 98-2 的下降率最小,为 13.31%。

棉花抗旱适应性评价:

根据 2.1 的分析结果,选取了干旱胁迫下棉花产量和生长发育因子有显著变化的 9 个指标进行各参试棉花材料的抗旱系数的模糊隶属函数值分析(表 2)。可以看出,不同指标因子下,各棉花材料的

模糊隶属函数值的抗旱性评价结果不完全一致,甚至表现为完全相反的结果,如 297-5 的籽棉产量的隶属函数值在所有材料中最高,但其衣分的隶属函数值仅为 0.243,抗旱性评价结果为不抗;新陆早 33 号的铃重隶属函数值在所有材料中最大,但其叶片干重和干物质含量的隶属函数值在所有材料中均为最小,这可能由于不同产量和生长发育因子影响棉花抗旱适应性的相对效应大小存在差异。

按照前人的研究结果,以不同隶属值的平均值为棉花的抗旱性强弱,然后对不同指标的抗旱性鉴定结果与其相关性进行了分析,结果见表 2。可以看出,在 9 个分析指标中,只有铃数、籽棉产量、功能叶叶面积及其干重与棉花的抗旱性有显著相关关系,表明它们可能是影响棉花抗旱性的关键指标因子。它们对棉花抗旱性影响的相对重要性依次为铃数>叶面积>干重>籽棉产量,其相应的权重系数见表 2。根据后期棉花抗旱性关键影响因子的加权隶属值,对参试的 18 个棉花的抗旱适应性进行了分析评价(表 3)。研究结果表明,18 个棉花材料中,只有晋棉 13 号和 297-5 的抗旱分级达到高抗新陆早 8 号、新陆早 26 号和新陆早 35 号的抗旱分级达到抗

的标准,占所参试材料的 27.78%;抗旱性差的材料 27.78%,为益农 2 号、新陆早 13 号、18-3、81-3 和 134-1。占了参试材料的 50%左右,其中完全不抗的材料占 134-1。

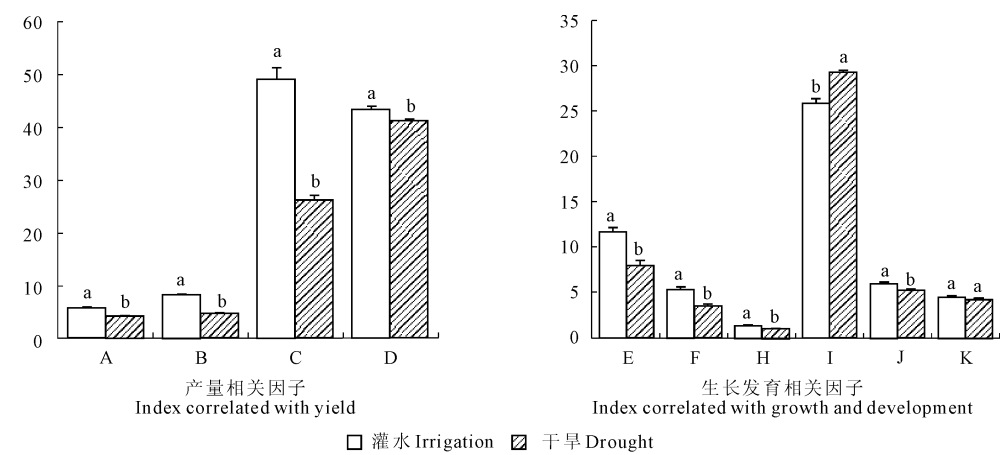


图 1 后期干旱对棉花产量和生长发育相关因子的影响

Fig.1 Effect of drought on cotton yield, growth and development at late growth period

注:A:铃重($\text{g}\cdot\text{个}^{-1}$);B:铃数($\text{个}\cdot\text{株}^{-1}$);C:籽棉产量($10\text{kg}\cdot667\text{m}^{-2}$);D:衣分(%);E:功能叶面积($\text{mm}^2\cdot\text{叶}^{-1}$);F:鲜重($\text{g}\cdot\text{叶}^{-1}$);H:干重($\text{g}\cdot\text{叶}^{-1}$);I:干物质含量(%);J:株高(cm);K:果枝始节(节)

Note: A: boll weight(g); B: boll number($\text{No.}\cdot\text{plant}^{-1}$); C: seed yield($10\text{ kg}\cdot667\text{m}^{-2}$); D: lint percent (%); E: leaf area($\text{mm}^2\cdot\text{leaf}^{-1}$); F: fresh mass($\text{g}\cdot\text{leaf}^{-1}$); H: dry mass($\text{g}\cdot\text{leaf}^{-1}$); I: dry matter content (%); J: height(cm); K: first branch(number of internode)

表 2 抗旱系数的模糊隶属函数值

Table 2 The fuzzy subordination values of drought resistance coefficient

品种 Variety	铃重 Boll size	铃数 Boll number	籽棉产量 Seed yield	衣分 Lint percent	叶面积 Leaf area	鲜重 Fresh mass	干重 Dry mass	干物质含量 Dry material content	株高 Plant height
297-5	0.870	0.880	1.000	0.243	0.489	0.450	0.561	0.677	0.691
新陆早 26 号 Xinluzao 26	0.549	0.797	0.431	0.450	0.612	0.325	0.519	0.837	0.970
新陆早 19 号 Xinluzao 19	0.512	0.612	0.575	0.325	0.389	0.021	0.150	0.837	0.543
新陆早 24 号 Xinluzao 24	0.242	0.416	0.228	0.021	0.000	0.543	0.582	0.558	0.482
新陆早 35 号 Xinluzao 35	0.871	0.629	0.737	0.543	0.693	0.342	0.508	0.789	0.531
81-3	0.595	0.146	0.323	0.342	0.311	0.089	0.097	0.593	0.262
新陆早 13 号 Xinluzao 13	0.764	0.063	0.280	0.089	0.124	0.217	0.167	0.471	0.290
益农 2 号 Yinong 2 hao	0.830	0.269	0.312	0.217	0.308	0.000	0.182	0.946	0.630
新陆早 8 号 Xinluzao 8	0.503	0.233	0.146	0.000	0.999	0.957	0.999	0.506	0.527
新陆早 33 号 Xinluzao 33	1.000	0.567	0.921	0.957	0.312	0.344	0.000	0.000	0.494
新陆早 31 号 Xinluzao 31	0.314	0.156	0.313	0.344	0.845	0.575	0.829	0.849	0.110
新陆早 36 号 Xinluzao 36	0.532	0.395	0.636	0.575	0.357	0.171	0.375	0.911	0.246
134-1	0.897	0.257	0.172	0.171	0.145	0.057	0.240	0.921	0.811
晋棉 13 Jinmian 13	0.192	1.000	0.965	0.057	0.350	0.527	0.694	0.740	0.365
中棉所 33 号 Zhongmiansuo 33	0.304	0.317	0.000	0.527	0.841	0.997	0.905	0.349	0.696
18-3	0.988	0.002	0.636	0.997	0.399	0.391	0.467	0.640	0.007
98-2	0.001	0.301	0.016	0.391	0.724	1.000	0.560	0.667	0.406
中棉所 25 号 Zhongmiansuo 25	0.850	0.496	0.582	1.000	0.218	0.233	0.506	1.000	0.632

表 3 不同指标抗旱适应性评价的相关性分析及关键因子的权重系数
Table 3 Correlaiton analysis of subordinate function values for drought resistance

抗旱性适应性关系 Relation to adaptability	铃重 Boll size	铃数 Boll number	籽棉产量 Seed yield	衣分 Lint percent	叶面积 Leaf area	鲜重 Fresh mass	干重 Dry mass	干物质含量 Dry mass content	株高 Plant height
相关系数 Correlation coefficient	0.147	0.612**	0.472*	0.388	0.510*	0.294	0.481*	0.124	0.378
重要性 Rank	—	1	4	—	2	—	3	—	—
权重系数 Weight coefficient		0.4	0.1		0.3		0.2		

注: ** 和 * 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。 Note: **, * presents significance at 0.01 and 0.05 level, respectively.

表 4 参试材料的抗旱适应性评价
Table 4 Evaluation of drought resistance of the experimental cultivars

适应性 Adaptability	高抗 High-resistance	抗 Resistance	中抗 Moderate-resistance	弱抗 Low-resistance	不抗 Sensitive
个数/个 Number	2	3	4	4	5
所占百分率 Percentage/%	11.11	16.67	22.22	22.22	27.78
代表性材料 Typical cultivar	晋棉 13 Jinmian 13 hao	新陆早 35 号 Xinluzao No.35	中棉所 33 号 Zhongmiansuo No.33	新陆早 33 号 Xinluzao No.33	益农 2 号 Yinong 2 hao

3 讨 论

干旱是影响棉花产量和品质的主要限制因素^[3,6-13],研究表明,干旱胁迫后,棉花的光合能力^[9-10]和荧光效率^[12]下降,叶片持水能力减弱^[8,10,13],棉花体内代谢水平失衡^[8,10],棉花株高^[6,13]、叶面积^[8,13]和总干物质含量^[5-6]降低,无论抗旱性强还是弱的品种,其株高、籽棉产量、铃重等相关产量因子和品质指标均比正常灌溉条件下降低^[17],但此类研究多发生在棉花的幼苗期或花铃期^[3,8,10-12]。由于不同生育期棉花的抗旱机制存在差异^[13],而且研究发现,生育中后期是棉花生长发育和产量形成的关键时期,因此开展中后期的棉花抗旱相关研究更为重要^[6,8,12,14]。针对近年来全球持续高温、干旱的气候变化趋势,本研究对后期持续干旱对棉花的影响进行了初步探索,研究发现:除了果枝始节外,干旱后所有的产量和生长发育指标均比正常灌水下有明显下降,其中籽棉产量的下降率最大,说明产量受干旱的影响最大,也进一步表明了人们常常以产量作为评价作物抗旱性指标因子的合理性;而且产量形成因子铃数的下降率高于铃重,说明干旱造成棉花籽棉产量的降低主要是由于铃数的减少引起的,这跟我们前面的研究结果相符^[13]。本研究中所发现的与棉花后期抗旱性显著相关因子的相对重要性依次为铃数>叶面积>叶片干重>籽棉产量也证实了这一点,这为棉花后期的抗旱管理提供了极为重要的指导。同时我们研究发现,后期干旱使棉花的干物质含量上升,这跟李志博^[13]的研究结果不同,分析原因是由于棉花功能叶片干重在干

旱后的下降率低于鲜重引起的,也可能与本参试材料中大部分材料的抗旱性较差有关^[15]。

筛选抗旱性棉花资源,培育抗旱性强的品种是抵御棉花干旱灾害的有效方法。模糊隶属函数法是鉴定作物抗旱性最常用的数学统计方法之一^[12-13,15,18],在棉花的抗逆鉴定已开始了广泛的应用^[12-13],但在隶属值评价中,前人多采用干旱逆境下的指标绝对值的计算结果^[3,12-13],其实,作物的抗旱性不仅是干旱条件下相关性状的表现,还应体现在保持非逆境条件下相应性状的稳定性。本试验以抗旱系数结合隶属函数法对不同产量和生长发育相关因子下的抗旱性进了评价,消除了不同棉花材料的背景误差,达到了抗旱性“高、稳”评价的统一^[15,17]。研究发现,不同指标评价的抗旱性结果并不完全一致,其原因可能在于不同指标对棉花抗旱适应性的影响“权重”不同,为此,本文对显著影响棉花后期抗旱性的相关因子及其相对重要性又进行了分析,发现显著影响因子对棉花抗旱性的影响作用大小依次为铃数>叶面积>叶片干重>籽棉产量。加权隶属函数值法对参试棉花材料的后期抗旱适应性评价结果表明,晋棉 13 号、297-5、新陆早 8 号、新陆早 26 号和新陆早 35 号具有较强的抗旱性,益农 2 号、新陆早 13 号、18-3、81-3 和 134-1 的抗旱性差。由于晋棉 13 号是目前公认的一个抗旱性较强的材料,且本研究对其它材料的鉴定结果和我们前期的研究结果及当前的生产实际中表现极为一致,从而表明加权隶属函数法是棉花抗旱性鉴定评价的一种较为准确有效的方法,应得到广泛的应用^[18]。

(下转第 82 页)

果表明:当地下水埋深小于 1.5~2.0 m 时,潜水蒸发速率会明显降低,对土壤次生盐渍化的贡献较小。结合前述的研究成果,1.5~3.0 m 的地下水埋深是灌区内较理想的水位区间^[21]。

参 考 文 献:

[1] Namken L N, Wiegand C L, Brown R G. Water use by cotton from low and moderately saline static water tables[J]. Agronomy Journal, 1969,61(2):305-310.

[2] 杨建锋,李宝庆,李运生,等.浅地下水埋深区潜水对 SPAC 系统作用初步研究[J].水利学报,1999,(7):28-33.

[3] 王晓红,侯浩波.有作物的潜水蒸发规律试验研究和理论分析(I):有作物生长条件下的潜水蒸发规律试验研究[J].水力发电学报,2008,27(4):60-65.

[4] Kruse E G, Champion D F, Cueval D L, et al. Crop water use from shallow, saline water tables[J]. Transactions of the ASAE, 1993,36(3):697-707.

[5] Hutmacher R B, Ayars J E, Vail A D, et al. Uptake of shallow-groundwater by cotton: growth stage, groundwater salinity effects in column[J]. Agricultural Water Management, 1996,31(3):205-233.

[6] Sepakhah A R, Kanooi A, Ghasemi M M. Estimating water table contribution to corn and sorghum water use[J]. Agricultural Water Management, 2003,58(1):67-79.

[7] 沈振荣,汪林,于副亮,等.节水新概念——真实节水的研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2000:60-77.

[8] 张林,吴普特,朱德兰,等.多点源滴灌条件下土壤水分运移模拟试验研究[J].排灌机械工程学报,2012,30(2):237-243.

[9] 王水献,董新光,吴彬,等.干旱盐渍土区土壤水盐运动数值模拟及调控模式[J].农业工程学报,2012,28(13):142-148.

[10] 何雨江,汪丙国,王在敏,等.棉花微咸水膜下滴灌灌溉制度的研究[J].农业工程学报,2010,26(7):14-20.

[11] Genuchten M T V. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980,44(5):892-897.

[12] 王在敏,何雨江,靳孟贵,等.运用土壤水盐运移模型优化棉花微咸水膜下滴灌制度[J].农业工程学报,2012,28(17):63-70.

[13] Feddes R A, Hoff H, Bruen M, et al. Modeling root water uptake in hydrological and climate models[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001,82(12):2797-2807.

[14] 郭金强,危常州,侯振安,等.北疆棉花膜下滴灌耗水规律的研究[J].新疆农业科学,2005,42(4):205-209.

[15] 郑旭荣,胡晓棠,李明思,等.棉花膜下滴灌田间耗水规律的试验研究[J].节水灌溉,2000,(5):25-27.

[16] 胡晓棠,陈虎,王静,等.不同土壤湿度对膜下滴灌棉花根系生长和分布的影响[J].中国农业科学,2009,42(5):1682-1689.

[17] Vrugt J A, Hopmans J W, Simunek J. Calibration of a two-dimensional root water uptake model[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001,65(4):1027-1037.

[18] Vrugt J A, van Wijk M T, Hopmans J W, et al. One-, two-, and three-dimensional root water uptake functions for transient modeling[J]. Water Resources Research, 2001,37(10):2457-2470.

[19] 王淑芬,裴冬,贾金生,等.膜下滴灌棉花关键生育期不同灌水量、灌水次数对其生长、产量及水分利用效率的影响[J].华北农学报,2005,20(5):76-80.

[20] 罗宏海,朱建军,赵瑞海,等.膜下滴灌条件下根区水分对棉花根系生长及产量的调节[J].棉花学报,2010,22(1):63-69.

[21] 杨鹏年,吴彬,王水献.内陆干旱灌区地下水水位调控研究[J].节水灌溉,2010,(7):57-58,62.

(上接第 49 页)

参 考 文 献:

[1] Cattivelli L, Rizza F, Badeck FW, et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics[J]. Field Crops Research, 2008,105:1-14.

[2] 山仑,黄占斌,张岁岐.节水农业[M].北京:清华大学出版社,2000:12-13.

[3] 于健.棉花品种的抗旱遗传多样性分析及抗旱性评价[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2008:14-29.

[4] Sambrook J, Russel D W, 黄培堂,等.分子克隆实验指南(第三版)[M].北京:科学出版社,2002:418-424.

[5] 刘全义,张裕繁,严根土,等.我国棉花耐旱碱研究的现状及前景[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):117-122.

[6] 肖俊夫,刘祖贵,孙景生,等.不同生育期干旱对棉花生长发育及产量的影响[J].灌溉排水,1999,18(1):23-27.

[7] Petterson D T, Highsmith M T. Competition of spurred anode (*Anode cristata*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) with cotton (*Gossypium hirsutum*) during simulated drought and recovery[J]. Weed Science, 1989,37(5):658-664.

[8] 马富裕,杨建荣,李蒙春,等.花铃期土壤含水量对棉花群体生理和产量影响研究[J].石河子大学学报(自然科学版),1998,2(2):93-98.

[9] 章杰,刘江娜,邓小艳,等.干旱对特早熟陆地棉光合特性与产量的影响[J].新疆农业科学,2010,47(7):1397-1401.

[10] 牟筱玲,鲍啸.土壤水分胁迫对棉花叶片水分状况及光合作用的影响[J].中国棉花,2003,30(9):9-10.

[11] 程林梅,张原根,阎继耀,等.土壤干旱对棉花生理特性与产量的影响[J].棉花学报,1995,7(4):233-237.

[12] 李志博,杨敏,张荣华.北疆棉花品种抗旱性初步评价及鉴定方法研究[J].新疆农业科学,2006,43(6):463-466.

[13] 李志博,林海荣,魏亦农,等.北疆主栽棉花抗旱性生育期差异评价及鉴定体系的初步建立[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):84-90.

[14] 余美,杨劲松,刘梅先,等.膜下滴灌灌水频率对土壤水盐移及棉花产量的影响[J].干旱地区农业研究,29(3):18-23,28.

[15] 李志博,章杰,魏亦农,等.覆膜高密度下棉花抗旱性产量和品质指标的特征分析[J].核农报,2011,25(3):576-581.

[16] 梁建兰,李志博,尚勋武,等.不同小麦品种搭配生产兰州拉面专用粉的灰色关联度分析[J].麦类作物学报,2009,29(1):63-68.

[17] 付凤玲,李晚枕,潘光堂.模糊隶属法对玉米苗期耐旱性的拟合分析[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):83-85,125.

[18] 席万鹏,王有科,孙飞达.利用隶属函数值法综合评价花椒的抗旱性[J].甘肃林业科技,2004,29(1):5-6.