

抗旱保水剂对水稻旱作抗旱性及产量的影响

李佳怡, 姜浩, 李韞哲, 苏庆旺, 武志海*, 戴知宁, 李宛春

(吉林农业大学农学院/国家农作物品种审定特性鉴定站, 长春 130118)

摘要: 本试验研究抗旱保水剂对水稻旱作抗旱性及产量的影响, 为水稻旱作提高抗旱性及产量提供理论依据。以“绥粳18”为试材, 抗旱保水剂四个处理水平, 分别为0、0.5、1、1.5 kg/667 m², 一次性随底肥施入。结果表明, 施入1 kg/667 m²的抗旱保水剂可增产27%。这是由于施入抗旱保水剂使叶片可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素含量及根系活力分别提高14%、28%、19%、82%, 在水稻旱作生长发育过程中减缓干旱胁迫的不利影响, 增加根系活力可以提高作物源库交流、积累物质、增强作物抵抗干旱胁迫能力, 与对照相比, 可提高土壤含水量10%, 提高植株的抗旱能力。在长春市自然生态条件下, 抗旱保水剂以施入1 kg/667 m²为最适宜, 提高水稻旱作的抗旱性且具有最大的产量补偿效果。

关键词: 水稻旱作; 抗旱保水剂; 生物量; 产量

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)03-0001-05

Effects of Drought Resistance and Water Retention Agent on Drought Resistance and Yield of Rice in Dry Cultivation

LI Jiayi, JIANG Hao, LI Yunzhe, SU Qingwang, WU Zhihai*, DAI Zhining, LI Wanchun

(College of Agriculture, Jilin Agricultural University/National Crop Variety Certification Characteristics Identification Station, Changchun 130118, China)

Abstract: The effects of drought resistant and water-retaining agents on drought resistance and yield of rice in dry cultivation were studied to provide a theoretical basis. Suijing 18 was used as the treatment and the four treatment levels of drought resistant water-retaining agent were 0, 0.5, 1, 1.5 kg/667 m². Suijing 18 was applied together with the starter fertilizer. The test showed that the application of 1 kg/667 m² of drought resistant water-retaining agent could increase the yield by 27%. The application of drought-resistant water-retaining agents at the level of 0, 0.5, 1, 1.5 kg/667 m² increased the soluble protein of the leaves, the soluble sugar of the leaves, the chlorophyll content of the leaves and root vigor by 14%, 28%, 19% and 82%, respectively. The application of drought resistant water-retaining agent at the level of 1 kg/667 m² could reduce the drought stress's adverse impact on the growth of dry cultivation of rice, increase root of activity, efficiency of crop sink-source relationship and dry matter accumulation, increase the rice in dry condition's resistance ability of drought resistant. Compared to the control group, the application of 1 kg/667 m² of drought resistant water-retaining agent could increase soil moisture by 10% and largely increased dry cultivation of rice's drought resistance ability. Comprehensive analysis under the natural ecological conditions of Changchun, the application of the drought resistant water-retentive agent to 1 kg/667 m² is the optimum solution, which could largely increase dry cultivation of rice drought resistance ability and achieve a maximum yield compensation effect.

Key words: Dry cultivation of rice; Drought resistant and water retaining agent; Biomass; Yield

水资源是国家经济发展和社会发展最重要的战略性资源^[1], 全球气候变暖和极端性气候日益

频发, 干旱和水资源短缺已成为制约农业发展的重要因素^[2]。随着节水农业的发展, 水稻旱作应运而生, 水稻旱作大大节省了淹没式水稻所需的淡水量^[3]。此外, 水稻旱作还减少了水肥渗入土壤对土壤耕层的渗透性迫害。水稻旱作节水的同时也降低了产量, 为了缓解供水需求可以通过施用抗旱保水剂, 调节作物在生长发育和生理生化

收稿日期: 2020-03-26

基金项目: 吉林省科技发展计划重点项目(20190301061NY); 国家重点研发计划项目(2018YFD0300207-2)

作者简介: 李佳怡(1996-), 女, 硕士, 研究方向为水稻旱作栽培。

通讯作者: 武志海, 男, 博士, 教授, E-mail: wuzhihai1116@163.com

过程中渗透调节等物质含量,增加土壤蓄水能力,增加作物在干旱胁迫下的适应能力,提高作物的耐旱性,达到高产的结果^[4]。目前针对玉米、棉花、马铃薯、小麦等作物施入抗旱保水剂提高产量等方面研究已有报道^[5-11]。关于水稻旱作施入抗旱保水剂对产量等方面的影响还鲜有报道,且施用不同梯度抗旱保水剂对水稻旱作的影响未见报道。本试验研究不同梯度抗旱保水剂对水稻旱作渗透调节物质、土壤含水量、叶绿素含量、根系活力的影响。明确抗旱保水剂对水稻旱作产量的影响机制,为干旱半干旱地区水稻旱作提高产量提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于2019年在吉林农业大学水稻科研试验基地进行,试验地位于东部山地湿润与西部平原半干旱区之间的过渡带,属温带大陆性湿润气候类型,无霜期135~140 d,多年年均降水量570.3 mm,年均降水日98.7 d。

1.2 试验方案

试验设四个处理,施入抗旱保水剂水平分别为0、0.5、1、1.5 kg/667 m²(CK、T₁、T₂、T₃),施入800 kg/hm²复合肥(N:P₂O₅:K₂O=20%:12%:14%)。供试水稻旱作品种为绥粳18。灌溉方式为喷灌,间隔7 m安装一组喷洒装置,喷洒装置输水管直径1寸,上端旋转喷头入水口直径4分。整个生育期以自然降水为主,出现干旱情况以喷灌的形式补水。2019年5月7日播种。播种量为12.5 kg/667 m²,条播,行距30 cm,小区面积30 m²,重复3次。

1.3 测定项目与方法

从分蘖初期开始,每隔10 d测定1次水稻旱作剑叶可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、土壤含

水量、叶绿素含量和根系活力。共5次分别用S₁、S₂、S₃、S₄、S₅表示。采用考马斯亮蓝G-250染色法测定水稻旱作剑叶可溶性蛋白含量,采用蒽酮法测定水稻旱作剑叶可溶性糖含量,采用称重法测定水稻旱作土壤含水量,采用日本产的叶绿素计直接测定SPAD值,每次测定倒1叶的SPAD值,重复3次。在9:00~11:00时间内从土壤中取出水稻旱作根系并在6 h内对根部进行淋洗,采用TTC还原法测定水稻旱作根系活力。收获期随机取15株水稻测量株高、穗长、穗重、实粒数、秕粒数,计算收获指数。每个小区随机选取1 m²测出产量,重复3次,计算实际产量。

1.4 统计分析

采用WPS 2019对数据进行统计分析,Statistix 8.1进行显著性分析,Sigmaplot 13.0进行趋势分析。

2 结果与分析

2.1 不同梯度抗旱保水剂对收获指数及产量构成因素的影响

从表1可以看出,施入抗旱保水剂处理后水稻旱作的株高、茎重、穗重、生物量均表现为T₂处理最高,株高表现为T₂>T₃>CK>T₁;茎重表现为T₂>CK>T₃>T₁;穗重表现为T₂>T₁>T₃>CK;生物量表现为T₂>T₁>T₃>CK。施入抗旱保水剂后株高T₂、T₃处理分别比CK增加2.38%、1.65%。穗长T₁、T₂处理分别下降5.99%、8.98%。T₂处理茎重增加8.94%,T₁、T₃处理茎重分别降低7.82%、5.59%。T₁、T₂、T₃处理叶重分别增加36.00%、24.00%、-24.00%。T₁、T₂、T₃处理穗重分别增加36.23%、47.83%、26.81%。T₁、T₂、T₃处理生物量分别增加12.87%、25.73%、6.14%。T₁、T₂、T₃处理收获指数分别增加25.00%、20.00%、22.50%。

表1 不同梯度抗旱保水剂处理下水稻旱作农艺性状及收获指数的变化

处理	株高(cm)	穗长(cm)	茎重(g)	叶重(g)	穗重(g)	生物量(g)	收获指数(%)
CK	91.00±7.00a	1.67±0.23a	1.79±0.49a	0.25±0.08a	1.38±0.26c	3.42±0.73a	0.40±0.01a
T ₁	88.83±5.35a	1.57±0.21a	1.65±0.68a	0.34±0.08a	1.88±0.08ab	3.86±0.77a	0.50±0.09a
T ₂	93.17±7.91a	1.52±0.13a	1.95±0.47a	0.31±0.11a	2.04±0.16a	4.30±0.55a	0.48±0.06a
T ₃	92.50±6.14a	1.69±0.17a	1.69±0.26a	0.19±0.16a	1.75±0.11b	3.63±0.41a	0.49±0.05a

表2 不同梯度抗旱保水剂的产量构成

处理	穗数(穗/m ²)	每穗粒数	结实率(%)	千粒重(g)	实测产量(kg/hm ²)
CK	308.00±18.52b	61.87±4.65a	92.03±0.01b	23.51±0.35b	4 300.00±300.00b
T ₁	312.33±37.21b	61.73±4.88a	94.06±0.01ab	25.34±0.29a	4 800.00±300.00ab
T ₂	324.00±31.19b	69.13±8.47a	94.02±0.01a	25.26±0.58a	5 466.60±288.60a
T ₃	376.67±10.21a	66.67±5.10a	93.90±0.00ab	24.07±0.18b	5 300.00±624.50a

施入抗旱保水剂后各处理在每平方米穗数及产量上均有所增加(表2), T_1 、 T_2 、 T_3 处理每平方米穗数较CK分别增加1.41%、5.19%、22.30%。每穗粒数在施入抗旱保水剂后 T_1 、 T_2 、 T_3 处理比CK分别提高-0.23%、11.73%、7.76%,结实率 T_1 、 T_2 、 T_3 比CK分别提高2.206%、2.162%、2.032%,千粒重 T_1 、 T_2 、 T_3 处理比CK分别提高7.78%、7.44%、2.38%。施入抗旱保水剂后 T_1 、 T_2 、 T_3 处理实测产量均高于对照组,分别增加11.63%、27.13%、23.26%,其中实测产量以 T_2 处理最高。

2.2 不同梯度抗旱保水剂处理对水稻旱作剑叶可溶性蛋白含量的影响

由图1可知,不同生育时期各梯度抗旱保水剂处理水稻旱作剑叶可溶性蛋白含量存在差异,施入抗旱保水剂 T_1 、 T_2 处理剑叶可溶性蛋白含量(除 S_2 时期)均高于CK处理,平均提高6%、14%,除 S_3 时期外, T_2 处理可溶性蛋白含量最高,但 T_3 处理平均下降2%。抗旱保水剂对水稻旱作可溶性蛋白含量的影响随施入量的增加呈先增加后下降的趋势,表现为 $T_2>T_1>CK>T_3$,在 T_2 处理达到峰值。 T_1 、 T_2 、 T_3 剑叶可溶性蛋白含量 S_1 时期分别较CK增加19%、24%、7%, S_2 时期分别较CK增加-12%、3%、-34%。 S_3 时期分别较CK增加11%、17%、-7%, S_4 时期分别较CK增加7%、16%、9%, S_5 时期分别较CK增加6%、8%、14%。数据初步显示施用抗旱保水剂水稻旱作可溶性蛋白含量有所提高,且以 T_2 处理提高效果最显著,平均提高14%。

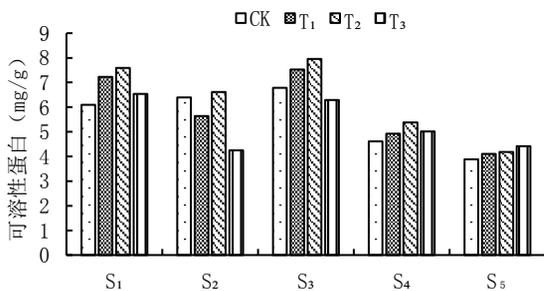


图1 不同梯度抗旱保水剂处理水稻旱作剑叶可溶性蛋白含量的比较

2.3 不同梯度抗旱保水剂处理对水稻旱作剑叶可溶性糖含量的影响

由图2可知,不同生育时期各梯度抗旱保水剂处理水稻旱作剑叶可溶性糖含量存在差异,施入抗旱保水剂 T_1 、 T_2 、 T_3 处理剑叶可溶性糖含量(除 S_2 时期)均高于CK处理,平均提高21%、28%、12%,其中 T_2 处理可溶性糖含量最高。抗旱保水

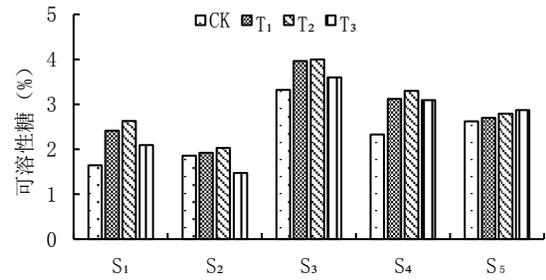


图2 不同梯度抗旱保水剂处理水稻旱作剑叶可溶性糖含量的比较

剂对水稻旱作可溶性糖含量的影响随施入量的增加呈先增加后下降的趋势,表现为 $T_2>T_1>T_3>CK$,在 T_2 处理达到峰值。 T_1 、 T_2 、 T_3 处理剑叶可溶性糖含量 S_1 时期分别较CK增加47%、61%、28%, S_2 时期分别较CK增加3%、9%、-21%, S_3 时期分别较CK增加19%、21%、9%, S_4 时期分别较CK增加34%、42%、33%, S_5 时期分别较CK增加3%、7%、10%。数据初步显示施用抗旱保水剂水稻旱作可溶性糖含量有所提高,且以 T_2 处理提高效果最显著,平均提高28%。

2.4 不同梯度抗旱保水剂处理对水稻旱作土壤含水量的影响

由图3可知,不同时期各梯度抗旱保水剂处理水稻旱作土壤含水量存在一定的差异。施入抗旱保水剂 T_1 、 T_2 、 T_3 处理土壤含水量(除 S_1 时期)均高于CK处理,平均提高5%、10%、5%,其中 T_2 处理土壤含水量最高。抗旱保水剂对水稻旱作土壤含水量的影响随施入量的增加呈先增加后下降的趋势,表现为 $T_2>T_1>T_3>CK$,在 T_2 处理达到峰值。 T_1 、 T_2 、 T_3 处理土壤含水量 S_1 时期分别较CK增加-3%、4%、1%, S_2 时期分别较CK增加0.4%、6%、3%, S_3 时期分别较CK增加7%、12%、6%, S_4 时期分别较CK增加4%、10%、3%, S_5 时期分别较CK增加16%、18%、13%。数据初步显示施用抗旱保水剂

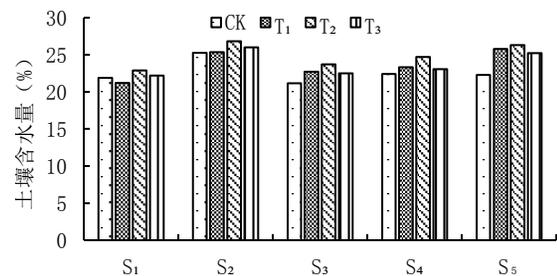


图3 不同梯度抗旱保水剂处理水稻旱作土壤含水量的比较

水稻旱作土壤含水量有所提高,且以 T_2 处理提高效果最显著,平均提高10%。

2.5 不同梯度抗旱保水剂处理对水稻旱作叶绿素含量的影响

由图4可知,不同生育时期各梯度抗旱保水剂处理水稻旱作叶绿素含量存在差异,施入抗旱保水剂 T_1 、 T_2 、 T_3 处理下叶绿素含量均高于CK处理,平均提高9%、19%、9%,其中 T_2 处理叶绿素含量最高。抗旱保水剂对水稻旱作叶绿素含量的影响随施入量的增加呈先增加后下降的趋势,表现为 $T_2>T_1>T_3>CK$,在 T_2 处理达到峰值。 T_1 、 T_2 、 T_3 处理叶绿素含量 S_1 时期分别较CK增加24%、27%、10%, S_2 时期分别较CK增加2%、18%、11%, S_3 时期分别较CK增加5%、6%、0.3%, S_4 时期分别较CK增加4%、22%、11%, S_5 时期分别较CK增加10%、21%、12%。数据初步显示施用抗旱保水剂水稻旱作叶绿素含量有所提高,且以 T_2 处理提高效果最显著,平均提高19%。

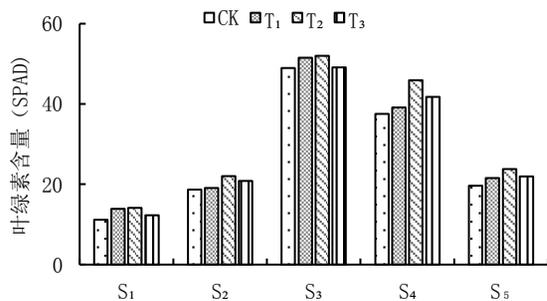


图4 不同梯度抗旱保水剂处理下水稻旱作叶绿素含量的比较

2.6 不同梯度抗旱保水剂处理对水稻旱作根系活力的影响

由图5可知,不同生育时期各梯度抗旱保水剂处理水稻旱作根系活力存在差异,施入抗旱保水剂 T_1 、 T_2 、 T_3 处理根系活力均高于CK处理,平均

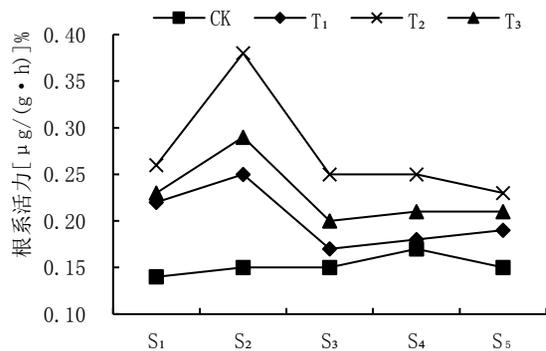


图5 不同梯度抗旱保水剂处理下水稻旱作根系活力的比较

提高35%、82%、52%,其中 T_2 处理根系活力最高。抗旱保水剂对水稻旱作根系活力的影响随施入量的增加呈先增加后下降的趋势,表现为 $T_2>T_3>T_1>CK$,在 T_2 处理达到峰值。 T_1 、 T_2 、 T_3 处理根系活力 S_1 时期分别较CK增加53%、80%、62%, S_2 时期分别较CK增加68%、153%、92%, S_3 时期分别较CK增加19%、72%、35%, S_4 时期分别较CK增加10%、50%、28%, S_5 时期分别较CK增加24%、55%、43%。数据初步显示施用抗旱保水剂水稻旱作根系活力有所提高,且以 T_2 处理提高效果最显著,平均提高82%。

3 讨论

施入抗旱剂、保水剂对玉米、棉花、马铃薯、小麦等作物在生育、产量、产量性状的影响前人做过许多研究,但对于水稻旱作施入抗旱保水剂等方面的研究较少^[5-11]。研究表明,施入保水剂处理后水稻叶绿素含量、产量均高于对照^[12-13]。本试验施入抗旱保水剂处理后水稻旱作可溶性蛋白、可溶性糖、土壤含水量、根系活力、叶绿素含量、结实率、千粒重及产量均高于对照。这表明施入抗旱保水剂后可以不同程度地提高水稻旱作的产量及生理指标,减少干旱胁迫对水稻的影响。植物渗透调节作用与抗旱性关系的研究多集中于不同种属间。生活在不同环境的植物,其渗透调节能力差异也十分明显^[14]。可溶性糖、可溶性蛋白是细胞渗透调节活性物质的重要组分^[15]。作物在受到干旱胁迫时会相应提高渗透调节物质,以减缓作物受到的侵害^[16]。烟草、玉米、小麦等作物生产过程中施入抗旱保水剂可以提高可溶性糖、可溶性蛋白含量^[17-19]。在本试验中,抗旱保水剂施用量为 $1\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 时,可溶性蛋白、可溶性糖含量最高,这与田间长势一致。叶绿素是光合作用的重要条件之一,在一定程度上可以反映植物抵抗逆境胁迫的能力^[20]。植物叶片内较高的叶绿素含量能提高作物的净光合速率,从而提高作物产量^[21-25]。另外,它还与植物的逆境适应有关。在本试验中,抗旱保水剂施用量为 $1\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 时,叶绿素含量最高,说明水稻旱作施用一定量的抗旱保水剂可以减缓干旱胁迫对水稻旱作生长过程中的不利影响。土壤含水量与根系活力在作物生长发育过程中提高作物吸收养分的能力^[26-30]。研究表明施入保水剂处理后的水稻、小麦、玉米、烟草、谷子土壤含水量与根系活力均高于对照^[31-36],本试验结果表明施入抗旱保水剂后土壤含水量与根系活力均高于对照组,且以保水剂施用量为 $1\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 时效果最佳。

4 结 论

抗旱保水剂的施入能提高水稻旱作产量及生理指标,其中施入 1 kg/667 m² 效果最佳,增产 27%。与对照相比,施入 1 kg/667 m² 处理,可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素含量及根系活力分别提高 14%、28%、19%、82%。在长春市自然生态条件下,抗旱保水剂以施入 1 kg/667 m² 时水稻旱作渗透调节物质及物质积累量最适宜,具有最大的产量补偿效果,且提高 10% 土壤含水量。本试验结果表明,施入抗旱保水剂提高土壤含水量,增强根系活力,促进根系生长,有利于利用深层次土壤水分,从而增加地上部的生理活性和促进地上部生长。

参考文献:

- [1] 王晓凌. 中国东北粳稻供需及产业经营状况研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [2] 闫伟平, 边少锋, 张丽华, 等. 半干旱区抗旱丰产玉米品种的评价及筛选[J]. 东北农业科学, 2017, 42(3): 1-5.
- [3] 陶玥玥. 水稻覆膜湿润栽培体系水氮管理优化及其氮锰营养研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [4] 白岗栓, 耿伟, 何登峰. 保水剂施用量对秦巴山区土壤特性及烤烟生长的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(3): 343-354.
- [5] 杨学珍, 李利利. 保水剂用量对旱地玉米性状和产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019(8): 32-34.
- [6] 童伟, 葛磊. 保水剂研究进展及应用分析[J]. 河南农业, 2019(26): 48-49.
- [7] 张蕊. 谷子应用抗旱保水剂效果初报[J]. 农业科技与装备, 2019(2): 13-14.
- [8] 胡畅, 张志业, 王辛龙, 等. 抗旱剂对玉米产量的影响[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(6): 50-52.
- [9] 隋华, 董家行, 李小刚, 等. 抗旱保水剂对小麦生长的作用研究[J]. 天津农学院学报, 2008(2): 11-13, 39.
- [10] 吴志科, 张武, 刘东川, 等. 马铃薯使用抗旱保水剂试验示范研究[J]. 中国马铃薯, 2006(4): 215-216.
- [11] 李馨, 冯耀祖, 钟新才. 施用抗旱保水剂对棉花产量与水分利用效率的影响[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(6): 1125-1129.
- [12] 张玉屏, 蔡雪青, 向镜, 等. 不同抗旱剂对水稻生长发育及产量的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(4): 142-146.
- [13] 张东向, 赫延龄, 郑蔚虹, 等. 保水剂对水稻耐干旱、盐碱的生理作用[J]. 作物学报, 1996(3): 378-381.
- [14] 张峰源, 曾钰洁. 植物抗性的研究进展[J]. 林业科技情报, 2019, 51(1): 1-3.
- [15] 刘鲁民, 苏宝林, 陈承慈, 等. 水、陆稻渗透调节和根系活力与抗旱性关系[J]. 北京农业大学学报, 1992(S1): 105-111.
- [16] 苗青霞, 方燕, 陈应龙. 小麦根系特征对干旱胁迫的响应[J]. 植物学报, 2019, 54(5): 652-661.
- [17] 王宗恒, 马志远, 苏兆亮, 等. 不同保水剂施用量对烟草生长品质的影响[J]. 现代农业科技, 2019(20): 11-12, 14.
- [18] 赵玉坤. 不同量保水剂对烟草、玉米生理生态特性的影响[D]. 开封: 河南大学, 2009.
- [19] 高振贤, 班进福, 曹巧, 等. 遮阴对小麦生理和品质特性影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(35): 11-15.
- [20] 孙晓东, 贾娜, 何鹏, 等. 干旱胁迫对陕北沙棘幼苗生长发育的影响[J]. 东北农业科学, 2018, 43(2): 16-20.
- [21] 汪本福, 王晴芳, 李阳, 等. 干旱胁迫对水稻叶片生理生化特性的影响综述[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(23): 5-9, 30.
- [22] 任哲斌, 程滨, 赵瑞芬, 等. 节水灌溉技术在核桃上的应用[J]. 山西农业科学, 2019, 47(11): 2009-2014.
- [23] 王丹, 李升东, 冯波, 等. 不同耕作方式对小麦光合性能和产量形成的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(10): 35-39.
- [24] 王飞, 尹飞, 龙浩强, 等. 玉米||花生茬口对冬小麦旗叶光化学活性的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(7): 123-131.
- [25] 马丙菊, 常雨晴, 景文疆, 等. 水稻水分高效利用的机理研究进展[J]. 中国稻米, 2019, 25(3): 15-20.
- [26] 刘荣花, 成林, 胡程达. 冬小麦根冠指标对干旱持续发展的响应[J]. 中国农业气象, 2019, 40(11): 702-711.
- [27] 孙倩倩, 王也, 袁东敏, 等. 玉米、小麦和水稻种植气象服务图示应用[J]. 气象科技进展, 2019, 9(5): 37-42.
- [28] 王国伟, 李阳, 王嘉欣. 不同施肥模式对春玉米生长特性及氮素利用率的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(9): 2119-2125.
- [29] 王罕博. 耕作方法和保水剂对黄绵土特性及冬小麦产量水氮利用的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [30] 赵鸿, 任丽雯, 赵福年, 等. 马铃薯对土壤水分胁迫响应的研究进展[J]. 干旱气象, 2018, 36(4): 537-543.
- [31] 乔胜. 玉米根系性状多样性及其对干旱胁迫的响应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [32] 张艳丽. PGPR、PAA 对谷子抗旱保苗机制的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [33] 郝卫平. 干旱复水对玉米水分利用效率及补偿效应影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [34] 杨永辉, 武继承, 吴普特, 等. 保水剂用量对小麦不同生育期根系生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 73-78.
- [35] 李常亮. 保水剂保水持肥特征及作物效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [36] 补红英, 宋维周, 曹湊贵, 等. 节水抗旱稻早优 113 号的根系生长对土壤水分亏缺的响应[J]. 中国农业科学, 2017, 50(22): 4277-4289.

(责任编辑: 刘洪霞)