

# 保水剂与锌肥协同施用对旱地春玉米 生理特征及产量的影响

李娜<sup>1,2</sup>, 孙占祥<sup>2</sup>, 张哲<sup>2</sup>, 白伟<sup>2</sup>, 李纯乾<sup>1</sup>, 李凤鸣<sup>1</sup>

(1. 辽宁省旱地农林研究所, 辽宁 朝阳 112000; 2. 辽宁省农业科学院, 沈阳 110161)

**摘要:** 2015~2016年采用盆栽实验的方法, 设置两种水分处理, 正常供水(W1)为田间持水量的75%~85%, 干旱(W2)处理为田间持水量45%~55%, 同时施加保水剂(B)和锌肥(Zn), 对照处理(CK)不添加保水剂与锌肥, 研究保水剂与微量元素锌对辽西地区玉米生理形态特性、水分利用效率及干物质分配及产量的影响。结果表明, 在玉米生育期内, 施加保水剂和Zn处理能显著提高玉米拔节期的增高速率, 在W2处理下, Zn1B(低锌+保水剂)处理较CK处理在拔节期的增高速率提高52.2%, 且效果极显著。使用保水剂时适当的施用锌肥可以提高玉米的根冠比, 在正常供水和干旱两种水分处理下, Zn1B(低锌+保水剂)处理较CK处理产量分别提高15.3%、17%。因此保水剂与锌肥配施对于辽西地区春玉米的生长发育及产量增加有一定的积极作用。

**关键词:** 玉米; 保水剂; 锌肥; 水分利用效率

**中图分类号:** S513.047

**文献标识码:** A

## Effects of Synergistic Application of Water and Zinc Fertilizer on Physiological Characteristics and Yield of Spring Maize in Dryland

LI Na<sup>1,2</sup>, SUN Zhan-xiang<sup>2</sup>, ZHANG Zhe<sup>2</sup>, BAI Wei<sup>2</sup>, LI Chun-qian<sup>1</sup>, LI Feng-ming<sup>1</sup>

(1. Liaoning Institute of Dryland Agriculture and Forestry, Chaoyang 122000;

2. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shen yang 110161, China)

**Abstract:** In 2015–2016, the pot experiment was used to set two water treatments: the normal water supply (W1) was 75%–85% of field capacity, and drought(W2) treatment was 45%–55% of field capacity. Water retaining agent(B) and zinc fertilizer(Zn) were applied at the same time, the control treatment(CK) did not add water retaining agent and zinc fertilizer. To investigate the effects of water-retaining agent and trace element zinc on physiological characteristics, photosynthetic characteristics, dry matter distribution and yield of maize in western Liaoning region. The results showed that in the growth period of maize, the application of water retaining agent could significantly improve the increase rate of maize at jointing stage. Compared with CK, Zn1B (low zinc + water retaining agent) treatment increased by 32.7% and B treatment increased by 8.3%. In addition, the application of zinc fertilizer can improve the root-shoot ratio of maize when using water-retaining agent. Under the two water treatments of normal water supply and drought, the yield of Zn1B treatment was increased by 15.3% and 17%, respectively, compared with CK. Therefore, the combined application of water retaining agent and zinc fertilizer had certain positive effects on the growth and yield increase of spring maize in western Liaoning.

**Key words:** Maize; Water retention agent; Zinc fertilizer; Water use efficiency

录用日期: 2020-10-20

基金项目: 辽宁省中央引导地方科技发展专项(2019JH6/10200004)、  
辽宁省农业科学院基本科研业务费计划项目(2021HQ1907)

作者简介: 李娜(1987-), 女, 助理研究员, 博士, 从事旱作农业与  
水土保持研究。Tel: 18842149099

E-mail: caulina@outlook.com

孙占祥和张哲为本文通讯作者。

E-mail: sunzx67@163.com E-mail: chick409@126.com

干旱缺水是制约我国农业持续发展的重要因素。目前我国45%的地区年均降水量不足400 mm, 农田缺水300多亿m<sup>3</sup>。近年来, 随着全球气候变暖, 干旱加剧, 干旱面积不断扩大, 因此抗旱节水已成为我国农业面向未来持续发展的选择<sup>[1,2]</sup>。科学研究证明, 应用化学制剂降低土壤表面蒸发和作物蒸腾, 是提高农田水分利用率的重要手段<sup>[3,4]</sup>。保水剂是

近年研究较多、推广应用较广的化学节水技术,基本原理是通过在植物根部土壤中添加保水的化学材料<sup>[5,6]</sup>,改善植物根土界面环境、从而实现维持或提高植物水分供给水平的目的。保水剂又称超强吸水树脂(SAP),是利用强吸水性树脂或者淀粉等材料制成一种超高吸水保水能力的高分子聚合物<sup>[7,8]</sup>。它能迅速吸收比自身重数百倍甚至上千倍的水分,所吸收水分85%以上可被作物利用<sup>[9,10]</sup>。同时,保水剂又能增强土壤保水性,改良土壤结构,减少土壤水分养分流失,提高水肥利用率<sup>[11,12]</sup>。

玉米是对锌最为敏感的作物之一,缺锌是玉米栽培上常见的生理性病害<sup>[1,13]</sup>。为了提高玉米产量,通常会大量施用富含氮、磷、钾的速效化肥,过量磷肥会造成玉米缺锌,二者会起拮抗作用。植株P/Zn值 $\geq 400$ 时,植物极易出现缺锌症状,原因是锌和磷酸根混合易形成磷酸锌沉淀,从而降低了锌肥的有效性<sup>[13]</sup>。辽西地区土壤中有效锌含量较低,有的甚至出现严重不足状态,严重制约了夏玉米产量的进一步提高,锌已成为提高产量的限制因素<sup>[14,15]</sup>。因此,对于干旱地区的玉米生产,研究保水剂与微量元

素锌的协同作用具有现实意义。

本研究针对玉米的实际生长情况,从辽西地区多采用一次性深施肥的实际情况出发,用盆栽进行模拟实验,分析不同保水剂和锌的施用条件下玉米的生长、光合、水分利用效率(WUE)及根冠比及产量等指标,探讨不同保水剂与锌的施用量对玉米生理特性的影响作用,研究干旱地区保水剂与锌肥对玉米生长发育影响的协同效应。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 供试材料

实验于2015~2016年在辽宁省水土保持研究所试验基地进行。试验地位于辽宁省朝阳市辽宁省旱地农林研究所试验基地(120°12'13"~120°14'15",北纬41°23'35"~41°24'34"),基地位于辽宁省朝阳市朝阳县,海拔约400 m。冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,为辽西典型的丘陵区地形,多年平均降雨量为509 mm,平均气温6.5℃,年均总辐射为102 MJ/cm<sup>2</sup>,年均日照时数为2 300~2 600 h,全年有效积温为2 600℃·d。供试土壤理化性质见表1。

表1 研究区土壤基理化性质  
Table 1 Soil properties of the study area g/kg

| 土壤质地         | 速效氮                | 速效磷                  | 土壤有机质               | 容重(g/m <sup>3</sup> ) | pH值      | 有效锌(mg/kg)     |
|--------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------|----------------|
| Soil texture | Available nitrogen | Available phosphorus | Soil organic carbon | Bulk density          | pH value | Effective zinc |
| 砂壤土          | 0.087              | 19                   | 39.8                | 1.37                  | 7.8      | 0.2            |

表2 试验设计处理  
Table 2 Test design and treatment

| 处 理           | 正常供水(W1)                | 干旱(W2)  |
|---------------|-------------------------|---------|
| Treatment     | The normal water supply | Drought |
| 低锌+保水剂(Zn1+B) | Zn1BW1                  | Zn1BW2  |
| 高锌+保水剂(Zn2+B) | Zn2BW1                  | Zn2BW2  |
| 保水剂(B)        | BW1                     | BW2     |
| 对照(CK)        | CKW1                    | CKW2    |

采用盆栽模拟的方法,保水剂以及玉米种子辽单205号由辽宁省水土保持研究所提供。实验采用盆栽称重结合蒸发皿系数法。盆子采用高35 cm、直径25 cm的白色塑料桶。每盆装入风干土12.4 kg,基肥在装盆时一次性施入。每盆播5粒种子,于2015年5月6日进行播种,9月30日进行收获;2016年5月1日播种,9月28日收获。出苗后留一株。分为两种水分处理,正常供水为土壤田间持水量的75%~85%(W1),干旱处理为土壤田间持水量的

45%~55%(W2)。在玉米展开3叶前充足供水。3叶期后,按照预定方案控水,于每日上午8时和下午17时采用称重法补水。玉米各个生育时期水分控制保持不变。处理期间除了土壤水分差异外其他管理措施保持一致,基肥20.32 g/盆(220 kg/hm<sup>2</sup>)。实验共8个处理,每个处理设3个重复(表2、表3)。

表3 保水剂、锌肥及水分处理  
Table 3 Water retaining agent, zinc fertilizer and water treatment g/盆

| 试验处理      | 保水剂                   | 微量元素 Zn |
|-----------|-----------------------|---------|
| Treatment | Water retaining agent | Zinc    |
| CK(对照)    | 0                     | 0       |
| BW1       | 0.33                  | 0       |
| Zn1BW1    | 0.33                  | 0.22    |
| Zn2BW1    | 0.33                  | 0.44    |
| BW2       | 0.33                  | 0       |
| Zn1BW2    | 0.33                  | 0.22    |
| Zn2BW2    | 0.33                  | 0.44    |

1.2 试验方法

生物量用烘干称重法测定(105°杀青,75°烘干12 h)。全部收获,测定产量数据。所有数据均使用两年间平均数据。光合指标均使用美国Lico公司生产的Li-6400型光合仪测定系统进行活体测定。每次在晴天9:00~11:00光照充足且相对稳定的时间测定。测定玉米倒三叶的Pn(净光合速率)、Tr(蒸腾速率)并计算单叶水分利用效率。

数据采用Excel和SPSS18.0进行数据统计、作图及方差分析。LSD法检验处理间的差异显著性( $P<0.05$ )。

2 结果与分析

2.1 对春玉米株高增加速率的影响

表4是两年间玉米拔节期株高平均增加速率。可以看出,拔节期玉米株高的增长速率为5.04~7.17 cm/d,在W1处理下,施用保水剂的处理在拔节期较CK平均增加11.8%,Zn1B处理较CK增加6.4%。在干旱处理下,Zn1B的处理较CK处理提高52.2%,且效果极显著;Zn2B处理较CK增加32.7%;B处理较CK增加8.3%。在W2水分胁迫的条件下,Zn1B的处理能缓解由于水分缺失造成的抑制拔节期玉米株高。同时,施加保水剂可促进玉米拔节期的增长。低剂量的锌和保水剂的共同作用可以对玉米的株高增长产生协同作用,可以减轻干旱对株高生长造成的抑制。

表4 玉米拔节期株高平均增加速率

| Table 4 Average rate of increase in maize heading stage in two yea |                           |             |                           |             |                |              | cm/d |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|----------------|--------------|------|
| 处 理<br>Treatment                                                   | 株高(2015年)<br>Plant height |             | 株高(2016年)<br>Plant height |             | 平均值<br>Average |              |      |
|                                                                    | W1                        | W2          | W1                        | W2          | W1             | W2           |      |
| Zn1B                                                               | 3.21±0.21 b               | 2.58±0.15 a | 3.63±0.32 bc              | 3.54±0.36 b | 5.79±1.16 ab   | 7.17±0.93 a  |      |
| Zn2B                                                               | 2.35±0.13 a               | 2.69±0.16 a | 3.13±0.21 b               | 3.12±0.25 b | 5.04±0.75 b    | 6.25±0.96 ab |      |
| B                                                                  | 3.21±0.16 b               | 2.87±0.11 a | 2.79±0.35 a               | 2.31±0.23 a | 6.08±0.42 a    | 5.10±0.79 bc |      |
| CK                                                                 | 3.09±0.13 b               | 2.35±0.12 a | 2.33±0.24 a               | 2.41±0.31 a | 5.44±1.35 b    | 4.71±6.08 c  |      |

注:同列不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著;不同大写字母表示处理间在0.01水平差异显著。下表、下图同。  
Note: Different lowercases indicated significant differences at0.05level; and different capital letters indicated significant differences at0.01 level.  
The same below.

2.2 对单叶水分利用效率的影响

玉米单叶水分利用效率又称之为瞬时水分利用效率,其为光合速率与蒸腾速率的比值。玉米单叶水分利效率计算结果见图1。两年的水分利用效率数据表明,在W1处理下,Zn1B处理的单叶水分利用效率最大,其他处理间差别不大。2016年的结果,不同水分及锌肥处理下,各处理之间的值并没有差

异性。2015年结果,两种水分处理下,B处理与CK差异性显著,说明施加保水剂能显著提高春玉米的单叶水分利用效率。在持续干旱的处理下,低锌加保水剂的处理下单叶水分利用效率都低于对照组,其原因是此处理在拔节期具有较高的光合速率且其具有较高的蒸腾速率所致。

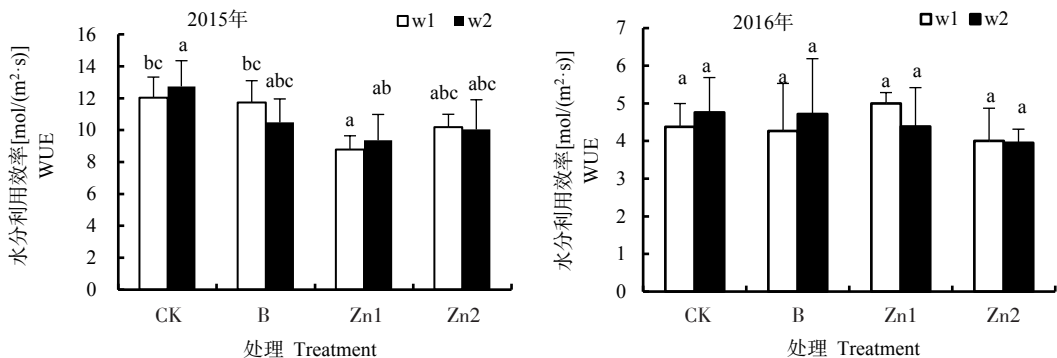


图1 不同锌肥、保水剂处理和供水下玉米的单叶水分利用效率  
Fig.1 Single leaf WUE of maize treated with different Zinc fertilizer, water retaining agent and water supply conditions

2.3 玉米同化产物的分配及产量

如表5所示,试验测得的玉米根冠比为0.11~0.24。通过比较各水分处理根冠比可见,在W1及W2处理下,Zn1B和Zn2B有较高的根冠比,且与只施加保水剂处理及对照差异显著。施用适量的锌及保水剂对促进干旱处理下玉米根系生长,在增强玉米吸水能力与抗旱能力方面具有积极的作用。其余各水分处理间的根冠比变化不明显。由两年的产量

平均数据可以看出,在两种水分处理下,Zn1B的产量都是最大的。W1处理下Zn1B高于CK、B、Zn2B处理15.3%、0.9%、2.1%,其与CK处理差异性显著。在干旱处理下,Zn1B高于CK、B、Zn2B处理17%、1%、5.2%,同样与CK处理呈现显著性差异。由此可以看出,通过施加锌及保水剂能显著提高春玉米的产量,且在干旱的调节下能缓解由于缺水造成的产量降低,对提高春玉米产量有着积极的促进作用。

表5 玉米同化产物的分配及产量  
Table 5 Distribution and yield of assimilate in maize

| 年份<br>Year | 处理<br>Treatment |      | 茎重(g)<br>Stem weight | 叶重(g)<br>Leaf weight | 根重(g)<br>Root weight | 根冠比<br>Root-shoot ratio | 产量(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Production |
|------------|-----------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 2015       | W1              | CK   | 62.69±6.53 c         | 14.82±2.31 c         | 8.18±0.65 ab         | 0.12±0.01 a             | 5 845±125 a                           |
|            |                 | B    | 53.09±3.65 bc        | 13.07±1.28 abc       | 7.96±0.78 a          | 0.11±0.01 a             | 6 753±136 c                           |
|            |                 | Zn1B | 55.01±4.32 bc        | 14.24±2.14 bc        | 15.33±1.23 d         | 0.23±0.03 d             | 6 908±156 c                           |
|            |                 | Zn2B | 42.62±5.32 a         | 12.87±1.25 b         | 13.74±1.14 d         | 0.24±0.02 d             | 6 847±179 bc                          |
|            | W2              | CK   | 50.07±3.65 c         | 13.23±1.65 bc        | 8.26±1.35            | 0.15±0.01 a             | 5 655±121 a                           |
|            |                 | B    | 45.28±9.51 b         | 13.25±0.95 bc        | 8.57±0.96 b          | 0.17±0.01 ab            | 6 654±123 bc                          |
|            |                 | Zn1B | 39.58±3.48 a         | 8.24±0.96 a          | 10.14±1.28 c         | 0.21±0.02 cd            | 6 598±165 bc                          |
|            |                 | Zn2B | 33.78±3.26 a         | 12.87±0.98 a         | 5.60±0.37 a          | 0.19±0.02 bc            | 6 240±164 ab                          |
| 2016       | W1              | CK   | 60.23±6.65 c         | 15.23±1.20 c         | 5.45±0.29 a          | 0.12±0.01 a             | 5 742±109 a                           |
|            |                 | B    | 56.31±8.32 bc        | 13.26±1.23 b         | 7.65±0.35 a          | 0.11±0.01 a             | 6 723±125 c                           |
|            |                 | Zn1B | 54.23±5.21 b         | 14.37±2.02 bc        | 15.00±1.23 d         | 0.22±0.02 c             | 6 453±213 b                           |
|            |                 | Zn2B | 50.32±4.23 b         | 12.93±1.32 b         | 14.54±1.02 cd        | 0.23±0.02 c             | 6 231±106                             |
|            | W2              | CK   | 52.31±3.22 b         | 13.21±0.96 b         | 8.51±0.98 abc        | 0.13±0.01 a             | 5 721±98 a                            |
|            |                 | B    | 54.56±4.35 b         | 13.55±1.56 b         | 10.21±0.68 c         | 0.15±0.01 a             | 6 531±112 bc                          |
|            |                 | Zn1B | 38.60±5.21 a         | 9.25±1.21 a          | 9.57±0.96 b          | 0.20±0.03 bc            | 6 723±128 c                           |
|            |                 | Zn2B | 39.32±3.63 a         | 11.35±1.09 ab        | 9.12±0.85 b          | 0.18±0.02 b             | 6 421±116 b                           |

3 结论与讨论

两年试验结果表明,施加保水剂能够提高拔节期玉米株高的生长速率并能缓解由于干旱对玉米株高增加速率造成的胁迫。在辽西地区,土壤有效锌含量较低,适量施用锌肥能够显著提高作物产量,过量锌肥会降低作物产量;在土壤高锌背景值情况下,锌肥对产量没有显著影响。锌可促进玉米植株叶面积指数提高,增强光合作用,改善生长发育。通过锌加保水剂的处理能显著提高玉米的根冠比,不论是正常供水还是干旱胁迫条件下,对于玉米根冠比的影响一致,有着促进作用。保水剂对于光合作用的影响较明显。在本实验的条件下,Zn1B的处理较为理想,在干旱胁迫的条件下,光合速率仍能保持在一个相对较高的水平。单叶水分利用效率等指标作为对于某一时间的测定值,由于影响因素较为复杂,有时只能代表测定当时的指标,所以通过本研究数据

可以看出,单叶水分利用效率作为玉米的抗旱指标来使用并不准确。

综合以上对春玉米施用不同剂量锌肥以及保水剂的方法可以看出,施用低剂量的锌肥和保水剂可以使玉米的光合指标和根冠比达到最高,并且显著提高了春玉米的产量。同时,在本研究中,高剂量的施用锌肥,未对玉米的生长及产量产生促进作用,这可能的原因是在玉米生长的过程中,锌磷会产生拮抗作用,对作物的生长起到阻碍,当植株锌含量超过上限浓度时,作物体内的酶活性会受到抑制,这也是导致植物生长受阻,根冠比降低,降低其对于干旱胁迫的缓解作用。

参考文献:

[1] 李辛. 锌肥施用方式对玉米锌吸收积累的影响[D]. 吉林农业大学,2013.  
[2] 康蓉,牛建彪,陈政仁,等. 不同锌肥组合处理对玉米农艺性状和产量的影响[J]. 大麦与谷类科学,2019,36(4):35-38.



- Kang R, Niu J B, Chen Z R, et al. Establishing a Hulless Barley Regeneration system and selecting fine Hulless Barley genotypes[J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2019, 36(4): 35–38. (in Chinese)
- [3] Yue Y Y, Han J Q, Han G P, et al. *Cropprod.* 2015, 76, 355.
- [4] Enas M A, Magdy A H, Zahran, et al. *ChemTech Res.* 2016, 8, 270.
- [5] 白岗栓,何登峰,耿伟,等.不同保水剂对土壤特性及烤烟生长的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(10): 31–43.
- Bai G S, He D F, Geng W, et al. effects of different super absorbent polymer on soil characteristics and flue-cured tobacco growth[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(10): 31–43. (in Chinese)
- [6] 张艳,王民乾,汤其宁,等.不同秸秆覆盖保水剂处理对夏玉米产量和水分利用效率的影响[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(9): 13–17, 22.
- Zhang Y, Wang M Q, Tang Q N, et al. Effects of different straw mulching and water-retaining agent on yield and water use efficiency of summer maize[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(9): 13–17, 22. (in Chinese)
- [7] 程云霞,刘迁杰,贾凯,等.不同剂量保水剂对袋式复合沙培辣椒光合特性日变化规律的影响[J]. *新疆农业科学*, 2020, 57(10): 1821–1829.
- Cheng Y X, Liu Q J, Jia K, et al. Effects of different dosage of water-retaining agents on the diurnal variation of photosynthesis of bag-type composite sape pepper[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2020, 57(10): 1821–1829. (in Chinese)
- [8] 张芥文.保水剂对玉米生长发育及产量的影响[J]. *陕西水利*, 2020, 237(10): 187–188, 191.
- Zhang J W. The effect of water retaining agent on corn growth and yield[J]. *Shaanxi Water Resources*, 2020, 237(10): 187–188, 191. (in Chinese)
- [9] Olad A, Gharekhani H, Mirmohseni A, et al. Superabsorbent nanocomposite based on maize bran with integration of water-retaining and slow-release NPK fertilizer[J]. *Adv. Polym. Technol.* 2017, 37: 1682–1694.
- [10] Yang Y, Tong Z, Geng Y, et al. Biobased polymer composites derived from corn stover and feather meals as double-coating materials for controlled-release and water-retention urea fertilizers[J]. *Agric. Food Chem.*, 2013, 61: 8166–8174.
- [11] 卫尤明,廖宗文,洪嘉乐,等.新型保水剂及其构件的保水保肥效果研究[J]. *南方林业科学*, 2020, 48(5): 69–73.
- Wei Y M, Liao Z W, Hong J L, et al. Study on the effect of water and fertilizer retention by a new type of components made from new water retention agents[J]. *South China Forestry Science*, 2020, 48(5): 69–73. (in Chinese)
- [12] 杜秀玲,王海玮,徐杏.锌肥不同施用量对玉米产量及植株性状的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(21): 37–38.
- Du X L, Wang H W, Xu X. Effects of application amount of zinc fertilizer on the yield and plant traits of maize[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2016, 44(21): 37–38. (in Chinese)
- [13] 王成宝,霍琳,杨思存,等.绿洲盐化潮土区典型缺锌玉米根际和非根际土壤锌形态差异[J]. *甘肃农业科技*, 2020, 533(6): 22–28.
- Wang C B, Huo L, Yang S C, et al. Differences of Zn fraction between rhizosphere and bulk soil of zn-deficient corn in saline fluvo-aquic soil areas[J]. *Gansu Agr. Sci. and Techn.*, 2020, 533(6): 22–28. (in Chinese)
- [14] 李文宗,张兰,徐妙云,等.富锌玉米的筛选及叶面喷施锌肥对玉米籽粒中矿物元素的影响分析[J]. *中国农业科技导报*, 2018, 20(1): 47–54.
- Li W Z, Zhang L, Xu Miao-yun, et al. Screening of zinc rich corn and the investigation of mineral element in corn grain sprayed with zinc fertilizer[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2018, 20(1): 47–54. (in Chinese)
- [15] 李明蔚,崔晨晖,夏竹青,等.新型保水剂与氮肥互作对玉米生理特性的影响[J]. *山东农业科学*, 2020, 52(9): 66–72.
- Li M W, Cui C X, Xia Z Q, et al. Screening of zinc rich corn and the investigation of mineral element in corn grain sprayed with zinc fertilizer[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 52(9): 66–72. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)