

保水剂与氮肥互作对玉米生理特性和水氮利用的影响

李常亮¹, 张富仓^{2,3}, 雒天峰¹

(1. 甘肃省水利厅水利工程建设造价与费管理中心, 甘肃 兰州 730040; 2. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:通过盆栽试验, 设置3个保水剂种类[得米高吸水性树脂(PAM, 聚丙烯酰胺保水剂); 沃特多功能抗旱保水剂(WT, 凹凸棒(有机)/聚丙烯酸(无机)保水剂); 海明高能抗旱保水剂(HM, 聚丙烯酸钠型保水剂)], 3个保水剂施用量(分别占干土质量的0‰、2‰、4‰)和3个氮肥施用量(0、0.25、0.50 g·kg⁻¹), 通过不完全正交试验设计共设置9个处理, 研究保水剂与氮肥配施对玉米苗期生长生理、根系活力、氮素吸收及水分利用的影响。结果表明: 与不施加保水剂和氮肥的处理相比, 保水剂与氮肥配施使苗期玉米株高、叶面积、地上部干物质质量、叶片叶绿素含量、根系活力、氮素吸收、水分利用效率分别显著增加了9.30%、14.88%、68.85%、16.26%、103.86%、86.35%、81.06% ($P<0.05$)。PAM保水剂在提高玉米根系活力和氮素吸收方面效果更好, WT保水剂在促进玉米生长、提高水分利用效率方面更优, 并且保水剂与氮肥施用量分别为4‰和0.50 g·kg⁻¹时效果最好。主成分分析结果进一步证明, 使用PAM保水剂并且保水剂与氮肥施用量分别为4‰和0.50 g·kg⁻¹时得分最高, 是西北干旱半干旱地区提高玉米产量、水氮利用效率的有效处理模式。

关键词: 玉米; 保水剂; 氮肥; 生理特性; 氮素吸收; 水分利用效率

中图分类号: S153; S365 **文献标志码:** A

Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on physiological characteristics and water and nitrogen use in maize

LI Changliang¹, ZHANG Fucang^{2,3}, LUO Tianfeng¹

(1. Construction Cost and Fee Management Center of Water Conservancy Projects, the Water Resources Department of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730040, China; 2. The Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Areas Subordinated to the Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A total of nine treatments were established using an incomplete orthogonal experimental design, with each treatment replicated three times in a pot experiment. The treatments included three water-holding agent types [Demi high absorbent resin (PAM, polyacrylamide); Walter multifunctional drought tolerant water retainer (WT, bump (organic)/polyacrylic acid (inorganic) water retainer); Haiming high energy drought tolerant water retainer (HM, sodium polyacrylate type)], three water-retaining agent application rates (0‰, 2‰, and 4‰ of the dry soil mass, respectively), and three nitrogen fertilizer application rates (0, 0.25, 0.50 g·kg⁻¹). The effects of water retention agent and N fertilizer on growth physiology, root vigor, nitrogen uptake and water use of maize seedlings were investigated. The results showed that compared with the treatment without application of water retainer and nitrogen fertilizer, water retainer with nitrogen fertilizer significantly increased seedling maize plant height, leaf area, aboveground dry matter mass, leaf chlorophyll content, root vigor, nitrogen uptake and water use efficiency by 9.30%, 14.88%, 68.85%, 16.26%, 103.86%, 86.35%, and 81.06%, respectively ($P<0.05$). PAM water retainer was more effective in improving maize root vigor and nitrogen uptake, WT water retainer was

superior in promoting maize growth and improving water use efficiency, and it was the most effective when water retainer and nitrogen fertilizer were applied at 4‰ and 0.50 g · kg⁻¹, respectively. The results of principal component analysis revealed that the optimal treatment model for improving maize yield and water and nitrogen use efficiency in the arid and semi-arid regions of northwest China involved the use of PAM water retainer. The highest scores were obtained when the water retainer application rate was 4‰ and the nitrogen fertilizer application rate was 0.50 g · kg⁻¹.

Keywords: maize; water retention; nitrogen fertilizer; physiological characteristics; nitrogen uptake; water use efficiency

作为三大粮食作物之一,玉米具有产量高、用途广、分布广泛的特点,在我国农业生产中占据重要地位^[1-2]。水资源短缺是目前限制我国玉米生产的主要因素之一,在玉米开花期缺水会导致花粉减少、发育延缓,甚至无法正常授粉等,进而造成玉米空秆率增加^[3]。同时不合理的施肥不仅会造成肥料利用率下降、环境污染,同样会造成玉米空秆率增加,进一步导致玉米减产。因此,在我国干旱半干旱地区,研究如何提高玉米水肥利用具有重要意义。

保水剂是一种化学节水材料,遇水后可以迅速吸收相当于自身重量百倍的水并膨胀为水凝胶,当土壤缺水时水凝胶又可缓慢释放 80%~90%的水供作物吸收,且具有反复吸水的功能^[4-5]。高吸水性保水剂可提高土壤保水能力,抑制土壤水分蒸发,提高灌溉水资源利用效率^[6];同时,保水剂也能吸附土壤和肥料中的养分并缓慢释放,促进作物对养分的吸收利用,提高化肥利用效率^[7]。相关研究表明,保水剂可改善土壤水分状况,提高作物水分利用效率并促进作物对 N、P、K 等养分的吸收利用^[8-9]。邓超超等^[10]研究表明,土壤中施用保水剂不仅显著提高了玉米叶片的叶绿素含量,还提高了叶片水分利用效率和产量。适宜的氮素可以增强作物叶片光合速率,提高作物产量和水氮利用效率^[11-12]。李明蔚等^[3]研究表明,保水剂与氮肥互作可有效改善玉米的抗旱性以及生理生化特性。保水剂与氮肥互作增强作物光合作用进而提高产量的成果已在燕麦^[13]、小麦^[14]、马铃薯^[8]等作物中得到证实。本试验通过研究不同保水剂种类、保水剂施用量和氮肥施用量对玉米生长生理、根系活力、氮素吸收及水分利用的影响,以期干旱半干旱地区保水剂施用条件下氮肥合理配施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于陕西省杨陵区西北农林科技大学节水灌溉试验站(34°20′N,108°24′E)。该区为暖温

带半湿润大陆性季风气候,海拔 521 m,年平均温度、平均光照时数、降水量、蒸发量分别为 11.9℃、2 158.1 h、562 mm、1 413 mm。试验地土壤类型为重壤土,播前测定土壤(0~30 cm)pH 值为 8.02,田间持水量为 24%(质量分数),干容重为 1.43 g · cm⁻³,硝态氮含量为 61.24 mg · kg⁻¹,有效钾含量为 81.11 mg · kg⁻¹,有效磷含量为 74.86 mg · kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验玉米品种为‘高农 901’。供试保水剂为 A₁:得米高吸水性树脂(PAM,聚丙烯酰胺保水剂);A₂:沃特多功能抗旱保水剂(WT,凹凸棒(有机)/聚丙烯酸(无机)保水剂);A₃:海明高能抗旱保水剂(HM,聚丙烯酸钠型保水剂)。供试氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙。

试验设置保水剂类型、保水剂用量、氮肥用量 3 个因素。保水剂用量设 3 个水平:B₁:施用干土质量 4‰的保水剂,B₂:施用干土质量 2‰的保水剂,B₃:不施保水剂;氮肥用量设 3 个水平:C₁:0.50 g · kg⁻¹干土,C₂:0.25 g · kg⁻¹干土,C₃:不施氮肥(对照)。共 9 个处理,每个处理 3 个重复,具体处理见表 1。

试验采用盆栽玉米,在栽培用桶底部铺一层 3 cm 的沙子。所用磷肥为过磷酸钙,用量为 0.13 g · kg⁻¹

表 1 试验设计方案
Table 1 Experimental design

编号 Number	处理 Treatment	A 保水剂 种类 SAP type	B 保水剂用量 SAP amount (占干土质量的‰) (‰ of dry soil mass)	C 氮肥用量 Nitrogen amount (g · kg ⁻¹)
1	A ₁ B ₁ C ₁	PAM	4	0.50
2	A ₁ B ₂ C ₂	PAM	2	0.25
3	A ₁ B ₃ C ₃	PAM	0	0.00
4	A ₂ B ₁ C ₂	WT	4	0.25
5	A ₂ B ₂ C ₃	WT	2	0.00
6	A ₂ B ₃ C ₁	WT	0	0.50
7	A ₃ B ₁ C ₃	HM	4	0.00
8	A ₃ B ₂ C ₁	HM	2	0.50
9	A ₃ B ₃ C ₂	HM	0	0.25

干土。氮肥和磷肥全部一次施入,以上肥料在种植前混合均匀,避免出现肥料集中现象,并按容重 $1.35\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 装土。每盆播 3 粒供试玉米种子,播种前灌水至田间持水量,玉米 3 叶期前各处理水量均控制在 $80\%\sim 95\%$ 田间持水量,3 叶期后各处理水量均控制在 $65\%\sim 80\%$ 田间持水量,3 叶期定苗 2 株。7 叶期收获,测定玉米的生长、生理指标和植株全氮含量,同时计算水分利用效率。

1.3 测定项目与方法

叶面积计算方法:采用 Montgomery 法,按照叶长 $\times$ 最大叶宽 $\times 0.75$ 求出各单叶面积后,累计相加得到全株总面积。地上部生物量:玉米 7 叶期时,将植株按茎、叶、根分开, 105°C 杀青 $30\sim 40\text{ min}$, 然后于 85°C 烘干至恒重后称重,各部分干物质量相加得出单株总干物质量。叶绿素含量采用分光光度法测定。根系活力用 TTC 还原法测定。水分利用效率($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)=干物质量累积量/总耗水量。玉米苗期收获后根据凯氏定氮法分别测定玉米叶片、茎、根的全氮含量。养分吸收量($\text{mg}\cdot\text{株}^{-1}$)=叶干质量 $\times$ 叶片养分含量+茎干质量 $\times$ 茎养分含量+根干质量 $\times$ 根养分含量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2021 软件进行试验数据整理,Origin 2022 软件进行绘图,SPSS 26.0 软件进行显著性分析。

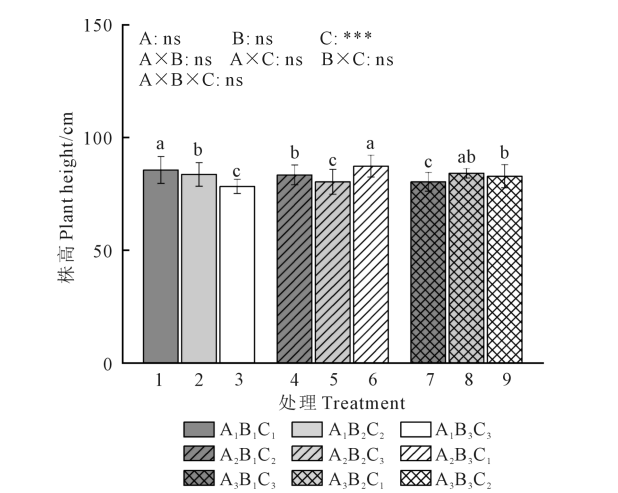
2 结果与分析

2.1 保水剂与氮肥互作对玉米生长的影响

图 1 为保水剂与氮肥互作对玉米株高的影响,仅氮肥处理对玉米株高产生极显著影响 ($P<0.001$),保水剂种类与保水剂用量对玉米株高的影响并不显著 ($P>0.05$)。玉米株高范围为 $78.3\sim 87.3\text{ cm}$,在 $A_2B_3C_1$ 处理取得最大值, $A_1B_3C_3$ 取得最小值。玉米株高随着施氮量的增加呈现递增趋势, C_1 、 C_2 、 C_3 处理的玉米平均株高分别为 85.7 、 83.3 、 79.6 cm , C_1 相比于 C_2 和 C_3 处理分别显著提高了玉米平均株高 2.9% 和 7.6% ($P<0.05$)。不同保水剂施用量对玉米株高的影响不同,在 A_1 中,保水剂施用量增加显著增加了玉米平均株高 ($P<0.05$)。 A_2 中,施加 4% 保水剂处理玉米平均株高显著高于施加 2% 保水剂处理 ($P<0.05$)。 A_3 处理中,施加 2% 保水剂玉米平均株高高于不施加保水剂但并不显著 ($P>0.05$),施加 4% 保水剂的株高最低。综合考虑,施氮量为 $0.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土有利于增加玉米株高。

图 2 展示了保水剂与氮肥互作对玉米叶面积的影响,保水剂种类对玉米叶面积产生显著影响 ($P<0.05$),氮肥施用量对叶面积产生极显著影响 ($P<$

0.001),保水剂施用量对玉米叶面积无显著影响 ($P>0.05$)。玉米叶面积在 $A_2B_3C_1$ 处理取得最大值,为 831.4 cm^2 ;在 $A_1B_3C_2$ 取得最小值,为 675.3 cm^2 。对保水剂种类而言, B 处理平均叶面积相比于 A 和 C 处理显著增加了 3.1% 和 3.8% ($P<0.05$)。玉米叶面积随施氮量的增加显著增加 ($P<0.05$),对于 A 和 C 处理, C_1 的平均叶面积高于 C_2 处理但并不显著 ($P>0.05$), C_2 平均叶面积显著高于 C_3 处理 ($P<0.05$);对于 B 处理, C_1 的平均叶面积显著高于 C_2 处理 ($P<0.05$)。综合考虑,促进玉米苗期叶面积增加的方案是使用 WT 保水剂,施氮量为 $0.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土。



注: ns、*、**、*** 分别表示影响不显著、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.001$ 。不同小写字母表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平。下同。

Note: ns, *, ** and *** indicate non-significant, $P<0.05$, $P<0.01$, and $P<0.001$, respectively. Different lower-case letters indicate that the differences between treatments reached the $P<0.05$ level of significance. The same below.

图 1 保水剂与氮肥互作对玉米株高的影响
Fig.1 Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on maize plant height

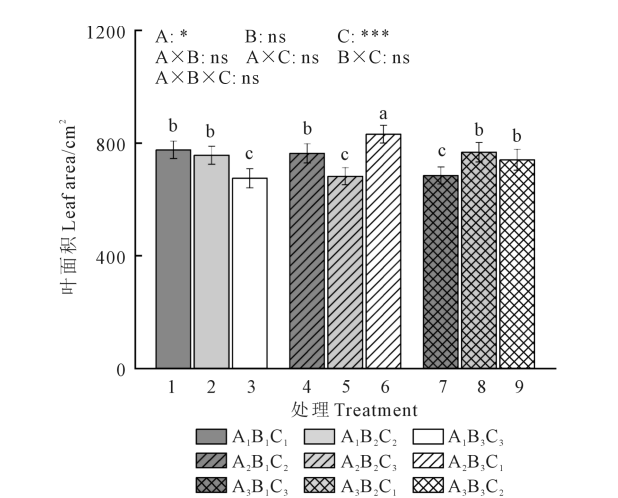


图 2 保水剂与氮肥互作对玉米叶面积的影响
Fig.2 Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on maize leaf area

保水剂与氮肥互作对玉米地上部干物质质量的影响如图 3 所示,保水剂种类对玉米地上部干物质质量产生显著影响($P<0.05$),保水剂施用量对玉米地上部干物质质量产生显著影响($P<0.01$),氮肥施用量对玉米地上部干物质质量产生极显著影响($P<0.001$)。由图 3 可知, $A_2B_3C_1$ 处理的玉米地上部干物质最大,为 $11.43\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$, $A_1B_1C_1$ 处理次之,为 $11.33\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$, $A_1B_3C_3$ 处理最低,为 $6.71\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,仅为 $A_2B_3C_1$ 处理的58.7%。在促进玉米苗期平均地上部干物质质量增加方面, A_2 保水剂优于 A_1 和 A_3 保水剂;随着保水剂施用量的增加,玉米苗期平均地上部干物质质量呈现出增加的趋势,其中 B_1 和 B_2 、 B_3 的平均地上部干物质质量分别达到了显著差异水平($P<0.01$)。随着氮肥施用量的增加,玉米苗期地上部干物质质量也有增加趋势。综合考虑,促进玉米苗期地上部干物质质量增加的方案是使用WT保水剂,保水剂用量为4‰,施氮量为 $0.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土。

2.2 保水剂与氮肥互作对玉米生理的影响

叶绿素是作物进行光合作用的物质基础,叶绿素越多,作物光合作用越强,化合物合成越多。保水剂与氮肥互作对玉米叶绿素含量的影响如图 4 所示,保水剂施用量对玉米叶片叶绿素含量的影响达到了显著水平($P<0.05$),氮肥施用量对玉米叶片叶绿素含量的影响达到了极显著水平($P<0.001$),保水剂类型对玉米叶片叶绿素含量的影响不显著($P>0.05$)。由图 4 可知 $A_1B_1C_1$ 处理的玉米叶片叶绿素含量最大,为 $3.86\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $A_1B_3C_3$ 处理的最低,为 $3.32\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在同一保水剂类型和氮肥水平下,随着保水剂施用量的增加,玉米苗期叶片平均叶绿素

含量有增加趋势, B_1 、 B_2 和 B_3 处理下叶片叶绿素含量均值分别为 3.68 、 3.61 、 $3.57\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, B_1 与 B_3 之间达到显著差异水平($P<0.05$);在同一保水剂类型和保水剂施用量水平下,随着氮肥施用量的增加,玉米叶片叶绿素含量均值也随之增加, C_1 、 C_2 和 C_3 处理下叶片叶绿素含量均值分别为 3.81 、 3.63 、 $3.43\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, C_1 的叶片平均叶绿素含量分别较 C_2 和 C_3 处理显著提高5.0%和11.1%($P<0.05$)。综合考虑,促进玉米苗期叶片叶绿素含量增加的方案是保水剂施用量为4‰,氮肥施用量为 $0.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.3 保水剂与氮肥互作对玉米根系活力及氮素吸收的影响

作物生长过程中需要根系从土壤中吸收水分和养分,根系的生长状况和活力水平直接影响到作物的生长和营养状况以及产量水平。图 5 展示了保水剂与氮肥互作对玉米根系活力的影响,保水剂种类对玉米根系活力产生显著影响($P<0.01$),保水剂和氮肥施用量均对玉米根系活力产生极显著影响($P<0.001$)。 $A_1B_1C_1$ 处理的玉米根系活力最大,为 $232.6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, $A_3B_2C_1$ 处理次之,为 $177.1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, $A_1B_3C_3$ 处理最低,为 $114.1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,仅为 $A_1B_1C_1$ 的64.4%。在同一保水剂施用量和氮肥水平下, A_1 、 A_2 和 A_3 处理的平均根系活力分别为 160.3 、 136.7 、 $144.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,均达到了显著差异水平($P<0.01$),在促进玉米苗期根系活力增加方面, A_1 保水剂明显优于 A_2 和 A_3 保水剂。在同一保水剂类型下,玉米苗期根系活力随着保水剂与氮肥施用量的增加而增加,其中 B_1 、 B_2 和 B_3 处理玉米平均根系活力分别为 164.9 、 142.7 、 $133.6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,

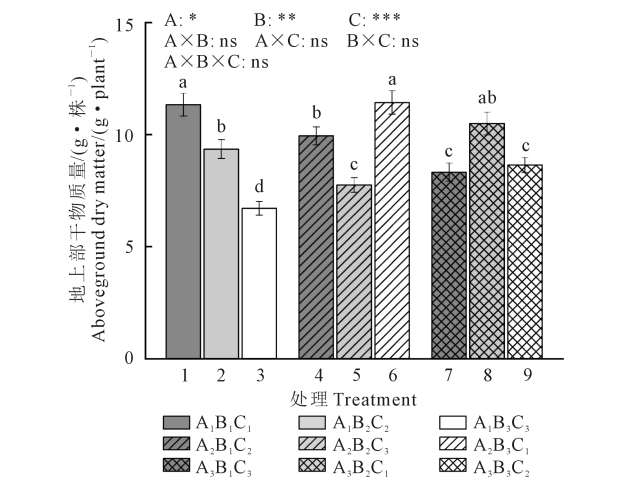


图 3 保水剂与氮肥互作对玉米地上部干物质质量的影响
Fig.3 Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on maize aboveground dry matter

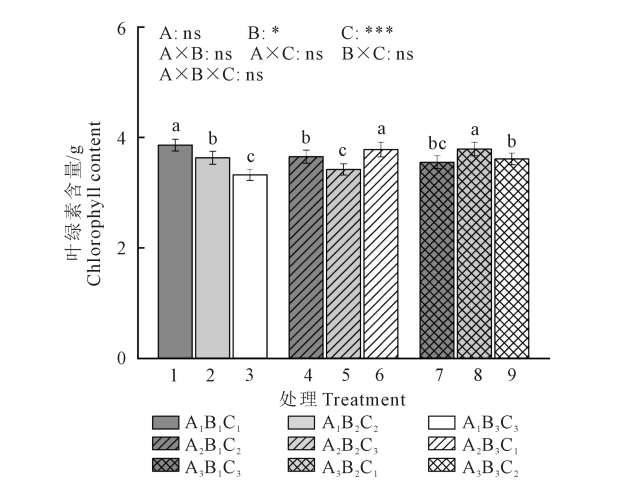


图 4 保水剂与氮肥互作对玉米叶绿素含量的影响
Fig.4 Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on maize chlorophyll content

C₁、C₂和 C₃处理玉米平均根系活力分别为 188.0、135.3、118.0 μg · g⁻¹ · h⁻¹。综合考虑,促进玉米苗期根系活力增加的方案是使用 PAM 保水剂,保水剂施用量为 4‰,氮肥施用量为 0.50 g · kg⁻¹。

氮在作物生长过程中具有决定性作用,氮素吸收量与作物叶绿素合成直接相关,进一步影响光合作用从而决定产量。图 6 展示了保水剂与氮肥互作对玉米植株氮素吸收的影响,与根系活力相同,保水剂种类对玉米植株氮吸收产生显著影响 ($P < 0.01$),保水剂和氮肥施用量均对玉米植株氮吸收产生极显著影响 ($P < 0.001$)。整体而言,A₁B₁C₁处理的植株氮素吸收量最大,为 282.5 mg · 株⁻¹;A₁B₃C₃的植株氮素吸收量最小,为 151.6 mg · 株⁻¹。在 A₁

和 A₂处理中,施加 4‰保水剂显著提高了玉米的氮素吸收量 ($P < 0.05$),但在 A₃处理中,施加 4‰保水剂并没有显著提高植株氮素吸收量 ($P > 0.05$),在促进玉米苗期植株氮素吸收量增加方面,A₁和 A₂保水剂优于 A₃保水剂。在同一保水剂类型下,随着保水剂和氮肥施用量的增加,玉米苗期植株氮素吸收量也呈现递增趋势,B₁、B₂和 B₃处理玉米苗期平均氮素吸收量分别为 261.0、192.2、163.2 mg · 株⁻¹,C₁、C₂和 C₃处理玉米苗期平均氮素吸收量分别为218.1、210.6、187.7 mg · 株⁻¹。综合考虑,促进玉米苗期植株氮素吸收量增加的方案是使用 PAM 或 WT 保水剂,保水剂施用量为 4‰,氮肥施用量为 0.50 g · kg⁻¹。

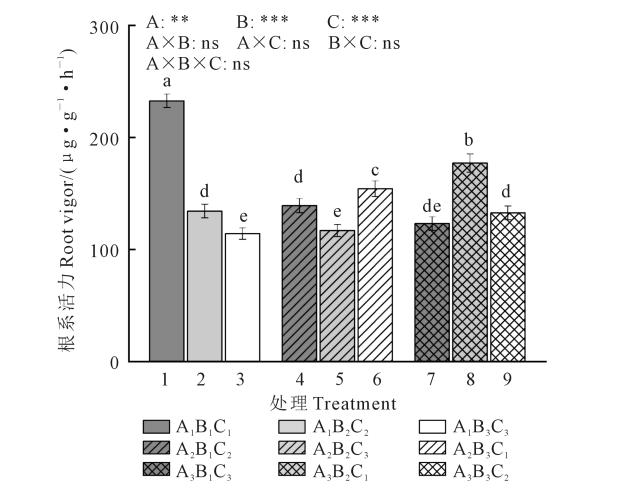


图 5 保水剂与氮肥互作对玉米根系活力的影响

Fig.5 Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on maize root vigor

2.4 保水剂与氮肥互作对玉米水分利用效率的影响

保水剂与氮肥互作对玉米水分利用效率 (WUE)的影响如图 7 所示,保水剂种类对玉米水分利用效率产生显著影响 ($P < 0.05$),保水剂施用量对玉米水分利用效率产生极显著影响 ($P < 0.001$),而氮肥施用量对玉米水分利用效率无显著影响 ($P > 0.05$)。整体而言,A₂B₁C₂处理的玉米苗期水分利用效率最高,为 2.92 g · kg⁻¹,A₃B₁C₃处理次之,为 2.62 g · kg⁻¹,A₁B₃C₃处理最低,为 1.32 g · kg⁻¹,仅为 A₂B₁C₂的 45.2%。在同一保水剂施用量和氮肥水平下,A₁、A₂和 A₃处理的平均水分利用效率分别为 1.88、2.17、2.06 g · kg⁻¹,A₂和 A₃保水剂在促进玉米水分利用效率增加方面优于 A₁。在同一保水剂类型和氮肥水平下,随保水剂施用量增加,玉米苗期水分利用效率也增加,B₁、B₂和 B₃处理的平均水

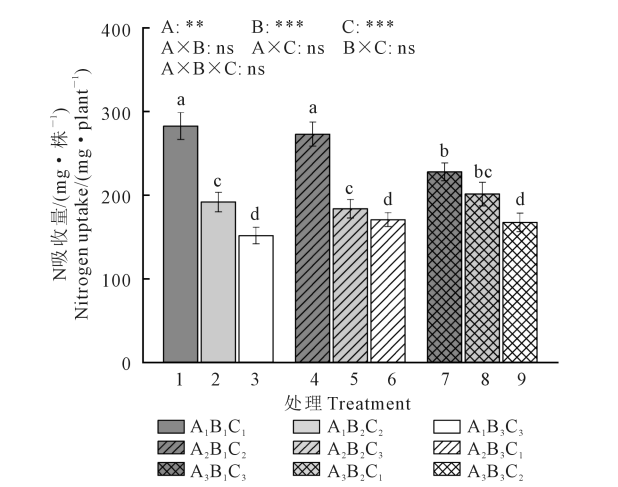


图 6 保水剂与氮肥互作对玉米氮吸收量的影响

Fig.6 Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on maize nitrogen uptake

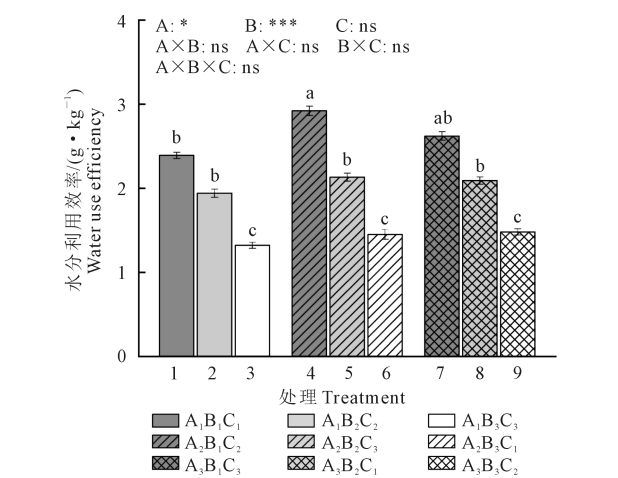


图 7 保水剂与氮肥互作对玉米水分利用效率的影响

Fig.7 Effects of water retention and nitrogen fertilizer interactions on maize water use efficiency

分利用效率分别为 2.64、2.05、1.42 g · kg⁻¹, B₁ 显著高于 B₂ 和 B₃ 处理 28.7% 和 86.6% ($P<0.05$)。综合考虑,促进玉米苗期水分利用效率增加的方案是使用 WT 或 HM 保水剂,保水剂用量为 4‰。

2.5 主成分分析

为达到提高玉米产量和资源利用效率,以期为干旱半干旱地区保水剂施用条件下氮肥合理配施提供理论依据,对玉米苗期株高、叶面积、地上部干物质质量、叶绿素含量、根系活力、植株氮素吸收以及水分利用效率 7 项指标进行主成分分析,结果如图 8 和表 2 所示。所有指标均对 PC1 均具有正相关性,水分利用效率、植株氮素吸收、根系活力和地上部干物质质量对 PC2 具有正相关性,而株高、叶面积和叶绿素含量对 PC2 产生负相关性。由表 2 可知, A₁B₁C₁ 得分最高,因此使用 PAM 保水剂、保水剂施用量为 4‰、氮肥施用量为 0.50 g · kg⁻¹ 有助于提升玉米产量和资源利用效率。

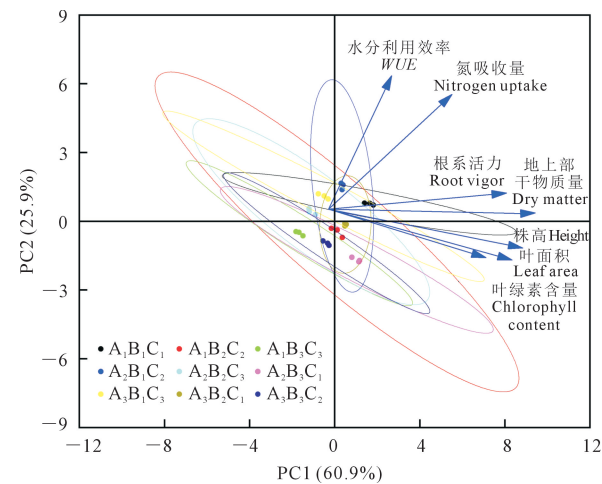


图 8 主成分分析图

Fig.8 Principal component analysis (PCA) plot

表 2 各处理主成分得分

Table 2 Principal component scores of each treatment

处理 Treatment	得分 Score	排序 Rank
A ₁ B ₁ C ₁	2.46	1
A ₁ B ₂ C ₂	-0.11	5
A ₁ B ₃ C ₃	-2.57	9
A ₂ B ₁ C ₂	1.13	2
A ₂ B ₂ C ₃	-1.39	8
A ₂ B ₃ C ₁	0.85	4
A ₃ B ₁ C ₃	-0.46	6
A ₃ B ₂ C ₁	0.9	3
A ₃ B ₃ C ₂	-0.81	7

3 讨论

保水剂可通过快速吸水而后缓慢释水的方式来调控土壤水分状况,以保证为作物长时间供应水分^[15]。氮在作物生长过程中起到至关重要的作用,是必需的大量元素之一,同时有研究表明保水剂可吸附土壤中的养分,减少氮素损失^[16],因此保水剂与氮肥互作被认为有利于促进作物增产并提高水氮利用效率。结合前人研究基础,本文选用了 3 种类型的保水剂,研究不同保水剂施用量下氮肥配施对玉米生长、生理、根系活力、氮素吸收和水分利用效率的影响。

施用保水剂后土壤贮水量和最大持水量明显高于对照组,并且随着施用量的增加而增加^[17-18]。荣俊冬等^[19]研究表明,施加保水剂有助于提升麻竹叶片内的叶绿素含量。李荣等^[20]研究表明,在宁夏干旱区施用保水剂促进了玉米的生长,显著提高了玉米籽粒产量和水分利用效率 ($P<0.05$)。田露等^[21]研究表明,施用保水剂显著提高燕麦根系活力 5.56%~15.27% ($P<0.05$)。本文研究结果与前人一致,在土壤中施入保水剂显著促进了苗期玉米生长,提高了苗期玉米叶片叶绿素含量、根系活力、氮素吸收和水分利用效率,并且在施加 4‰ 时效果优于施加 2‰ 保水剂。这是由于保水剂不仅能有效提高作物根区土壤水分,增加保水性;还可以改善土壤的团块结构,增加土壤的透气性,为作物生长提供良好的土壤水分环境,从而促进植株生长,提高叶片叶绿素含量和水分利用效率^[20]。

相关研究表明,适量的氮肥施用有助于提高作物叶片的叶绿素含量,增强光合作用以促进果实光合产物积累^[22]。由于保水剂中的活性基团和土壤颗粒表面的活性基团或离子发生吸附、交换、络合作用,因而保水剂在土壤中还可以增加根系对养分的吸附,减少肥料淋失,具有良好的保水保肥效果^[22-23]。魏全全等^[24]研究表明,保水剂施用提高了甘蓝的肥料利用效率,进而促进甘蓝增产。魏蓉等^[18]研究表明,与不施加保水剂或包膜尿素处理相比,保水剂与包膜尿素配施分别提高了冬小麦的产量和氮素利用效率 4.9%~53.3% 和 8.6%~35.6%。本文与前人研究结果一致,保水剂与氮肥配施显著提升了玉米苗期的叶片叶绿素含量 ($P<0.05$),增加了干物质质量积累,提高了根系活力、氮素吸收和水分利用效率。这一结论将对西北干旱半干旱地区保水剂施用条件下氮肥合理配施来提高作物产量提供理论依据。

本试验只设置了 0‰、2‰、4‰ 的保水剂施用量和 0、0.25、0.50 g · kg⁻¹ 的氮肥施用量,结果表明保水剂与氮肥施用量分别为 4‰ 和 0.50 g · kg⁻¹ 效果最好,但这并不一定是最佳施用量,后续可以增设梯度来进一步探究保水剂与氮肥配施的最佳施用量。

4 结 论

1) 保水剂与氮肥配施显著促进了苗期玉米的生长,与 A₁B₃C₃ 处理相比,苗期玉米叶片叶绿素含量、根系活力、氮素吸收和水分利用效率分别提高了 16.26%、103.86%、86.35% 和 81.06% ($P<0.05$)。保水剂与氮肥施用量分别为 4‰ 和 0.50 g · kg⁻¹ 时效果最好,但不同类型保水剂的作用效果不同,PAM 保水剂在增加玉米根系活力和氮素吸收方面效果更好,WT 保水剂在促进玉米生长、增加水分利用效率方面更优。

2) 主成分分析表明,使用 PAM 保水剂,保水剂与氮肥施用量分别为 4‰ 和 0.50 g · kg⁻¹ 时得分最高,其次是使用 WT 保水剂,保水剂与氮肥施用量分别为 4‰ 和 0.50 g · kg⁻¹。可见,在西北干旱半干旱地区,推荐使用 PAM 保水剂,保水剂与氮肥施用量分别为 4‰ 和 0.50 g · kg⁻¹。

参 考 文 献:

[1] 丁仕英,汪经壮. 玉米种植现状与新技术应用的效率[J]. 吉林农业, 2016, (5): 64.
DING S Y, WANG J Z. Current situation of maize cultivation and efficiency of new technology application [J]. Jilin Agriculture, 2016, (5): 64.

[2] 王俊霞. 玉米栽培中采用土壤保水剂对促进其产量提高的作用分析[J]. 农业开发与装备, 2023, (7): 152-154.
WANG J X. Analysis of the role of using soil water retention agents in maize cultivation in promoting its yield improvement [J]. Agricultural Development and Equipments, 2023, (7): 152-154.

[3] 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 H, XIA Z Q, et al. Effects of a new type of water-retaining agent interacted with nitrogen fertilizer on physiological characteristics of maize [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(9): 66-72.

[4] 李常亮,张富仓. 保水剂与氮肥混施对土壤持水特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 172-176.
LI C L, ZHANG F C. Effects of super absorbent polymer application to soil mixed with nitrogenous fertilizer on soil water retention properties [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(2): 172-176.

[5] 张茅文. 保水剂对玉米生长发育及产量的影响[J]. 陕西水利, 2020, (10): 187-188, 191.
ZHANG J W. Effect of water retaining agents on growth and development and yield of maize [J]. Shaanxi Water Conservancy, 2020, (10):

187-188, 191.

[6] 张扬,赵世伟,梁向锋,等. 保水剂对宁南山区马铃薯产量及土壤水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 27-32.
ZHANG Y, ZHAO S W, LIANG X F, et al. Effects of super absorbent on growth of potato and soil water utilization in the mountain area of Southern Ningxia [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(3): 27-32.

[7] 黄震,黄占斌,李文颖,等. 不同保水剂对土壤水分和氮素保持的比较研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 245-249.
HUANG Z, HUANG Z B, LI W Y, et al. Effect of different super absorbent polymers on soil moisture and soil nitrogen holding capacity [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 245-249.

[8] 张朝巍,董博,郭天文,等. 施肥与保水剂对半干旱区马铃薯增产效应的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 152-156.
ZHANG C W, DONG B, GUO T W, et al. Effects of fertilization and water retaining agent on yield of potato [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(6): 152-156.

[9] 穆俊祥,曹兴明,刘拴成. 保水剂和氮肥配施对马铃薯生长和水肥利用的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(9): 35-40.
MU J X, CAO X M, LIU S C. Effects of combined application of water-retaining agent and nitrogen fertilizer on growth and water and fertilizer utilization of potato [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(9): 35-40.

[10] 邓超超,宿翠琴,周琦,等. 新型生态保水剂对青贮玉米光合特性及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2023, (5): 96-102, 108.
DENG C C, SU C C, ZHOU Q, et al. Effects of new ecological water retention agents on photosynthetic characteristics and yield of silage maize [J]. Water Saving Irrigation, 2023, (5): 96-102, 108.

[11] 刘欢,陈苗苗,孙志梅,等. 氮肥调控对小麦/玉米产量、氮素利用及农田氮素平衡的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(1): 232-238.
LIU H, CHEN M M, SUN Z M, et al. Effects of different nitrogen management practice on crop yield, N utilization and N apparent balance in wheat/maize rotation system [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2016, 31(1): 232-238.

[12] 王晓菁,李中方,臧贺藏,等. 不同施氮模式对夏玉米生长、产量和氮素利用效率的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(10): 68-72.
WANG X J, LI Z F, ZANG H C, et al. Effects of different nitrogen application modes on growth, yield and nitrogen utilization efficiency of summer maize [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44(10): 68-72.

[13] 马力. 保水剂与氮肥对燕麦产量及产量构成因素的影响[J]. 青海草业, 2018, 27(3): 7-11.
MA L. Effect of applying nitrogen and super absorbent polymers on yield of oats [J]. Qinghai Prataculture, 2018, 27(3): 7-11.

[14] 杨永辉,武继承,吴普特,等. 冬小麦不同生育阶段水分利用对保水剂与氮肥的响应[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(7): 888-894.
YANG Y H, WU J C, WU P T, et al. Response of water use of winter wheat at different growth stages to nitrogen fertilizer and water-retaining agent [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(7): 888-894.