免储水灌注水播种条件下保水剂使用对玉米生长发育的影响

王以兵，丁 林，张新民
（甘肃省水利科学研究院，甘肃 兰州 730000）

摘 要：通过大田试验研究了民勤绿洲免储水灌注水播种条件下施用保水剂对大田玉米的生长发育状况的影响。结果表明，注水播种配合使用保水剂可使玉米提早出苗，提高叶面积指数，促进干物质积累，提高穗干物质分配比例，提高玉米籽粒产量和生物产量。施用保水剂量为 2.5 g/m^2 和采用保水剂拌种注水播种处理较常规灌溉处理可分别增产 17.77% 和 15.13%，节水 18.76% 和 13.92%，增收 26.37% 和 15.73%，水分利用效率达到 3.33 和 3.07 kg/m^3。

关键词：免储水灌；注水播种；生理性状；产量；玉米
文献标识码：A 文章编号：1000-288X(2010)04-0152-05 中图分类号：S152.75，S274

Effect of Water Retaining Agent on Growth and Development of Maize Under Condition of Water-saving Irrigation

WANG Yi-bing, DING Lin, ZHANG Xin-min
(*Institute of Water Conservancy of Gansu Province, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*)

Abstract: The effect of water retaining agent on growth and development of maize was studied by a field experiment under the condition of sowing with water, a water-storing absolved irrigation, in Minqin Oasis. Results show that the technology of sowing with water and the application of water-holding agent enable early emergence, enhance leaf area index, promote the accumulation of dry matter, improve the ratio of panicle dry matter distribution, and improve maize grain yield and biological yield. Compared with the CK, applying water absorbent of 2.5 g/m^2 and using sowing seed dressing can increase yield by 17.77 % and 15.13%, save water by 13.92% and 18.76%, increase farmer's income by 15.73% and 26.37%, and increase water use efficiency by 3.33 and 3.07 kg/m^3, respectively.

Keywords: **water-storing absolved irrigation; sowing with water; physiological character; yield; maize**

石羊河流域是河西地区灌溉农业最发达的地区，近 30 a 来，由于区内社会经济快速发展，对水资源的需求日益增长及大量开发利用，导致了严重的水资源供需矛盾和生态环境的恶化问题[1]。针对这种情况，只有走高效节水的道路，才能够持续发展。因此，合理有效地利用有限的水资源，提高水资源利用率，发展节水农业迫在眉睫。加强农业节水技术的研究与示范推广，提高灌溉水量从水源到形成作物产量过程中各个环节的利用效率，建设高产、优质、高效的节水型农业，是石羊河流域综合治理的现实需求[2]。

由于民勤地区冬季气候干燥寒冷，降水很少，大风天气较频繁，致使大部分冬季储水量被无效蒸发，至次年玉米播种时，0—10 cm 表层土壤较为干燥，不利于玉米出苗及苗期生长。免储水灌即免冬(春)灌，在干旱半干旱地区由于无法冬灌或冬灌灌水定额不足，而免冬灌可减少劳动强度，降低生产成本，调节土壤温度，节水保土，提高生产能力，增加产量[3]，可在一定程度缓解水资源短缺问题；注水播种是在玉米播种时所开沟中先注水后播种的一种播种方式，它使作物种子坐落在灌溉水湿润过的土壤之上，使种子恰好

收稿日期：2010-03-07 修回日期：2010-03-30
资助项目：国家科技支撑计划项目“民勤生态—经济型绿洲技术集成试验示范”(2007BAD46B05)；甘肃省科技重大专项计划项目(0702NKDA032)；水利部公益性行业科研专项经费项目(200801009)；甘肃省技术研究与开发专项计划项目(0912TCYA010)
作者简介：王以兵(1964—)，男(汉族)，甘肃省民勤县人，高级工程师，主要从事节水灌溉及旱区水资源利用方面的研究。E-mail：gslzwyb@yahoo.com.cn。
通信作者：张新民(1965—)，男(汉族)，甘肃省镇原县人，博士，教授级高级工程师，硕士生导师，主要从事节水灌溉及旱区水资源利用方面的研究。E-mail：xmzhgs@yahoo.xom.xn。

被湿土团包容, 供应充足的水分和养料, 使之顺利萌发[4], 注水播种既能增加种位土壤含水率, 减少表层土壤水分消耗, 又能与底层湿土搭接, 达到引墒目的, 提高抗旱能力, 增加抗旱天数, 为增产增收打下良好的基础[5]; 由于注水播种时所注水量有限, 这些水经蒸发和侧渗后种位土壤含水量降低很快, 而保水剂能起到保水、保肥、保土作用, 可保持种位土壤水分, 提高肥料利用率[6-7], 并可促进作物根系发育, 保证出苗, 促进植株生长发育, 延缓凋萎时间[8-13], 因此在免储水灌注水播种时配合使用一定量的保水剂。这项技术对于科学利用当地有限水资源, 发展高效灌溉, 改善生态环境、调整种植结构具有一定的指导意义。

1　试验材料及研究方法

1.1　试验区概况

试验区位于甘肃省水利科学研究院民勤试验基地, 地处绿洲和腾格里沙漠交界地带, 地理坐标东经 130°05′, 北纬 38°37′, 属典型的大陆性荒漠气候, 气候干燥, 降水稀少, 蒸发量大, 风沙多, 自然灾害频繁。多年平均气温 7.8 ℃, 极端最高气温 39.5 ℃, 极端最低气温 -27.3 ℃, 平均湿度 45%, 多年平均降水 110 mm, 多年平均蒸发量 2 644 mm, 年日照时数 3 028 h, 光热资源丰富, ≥0 ℃积温 3 550 ℃, ≥10 ℃积温 3 145 ℃, 无霜期 150 d, 最大冻土深 115 cm。试验区土质 0—60 cm 为黏壤土, 60 cm 以下逐渐由黏壤土变为沙壤土, 土壤平均容重为 1.54 g/cm^3。

1.2　试验设计

2008 年 4—10 月在甘肃省水利科学研究院民勤试验基地研究免储水灌配合施用保水剂注水播种条件下玉米的生长发育情况, 供试作物品种为"豫玉"22 号, 于 4 月 14 日注水播种, 4 月 25 日出苗。本试验采用单因素完全随机试验, 设计 6 个处理, 以常规覆膜穴播膜上灌溉为对照处理(CK), 其余为配合施用保水剂注水播种处理, 保水剂施用量分别为 2.5 g/m^2(YB 2.5), 1.5 g/m^2(YB 1.5), 0.5 g/m^2(YB 0.5), 0 g/m^2(YB 0)及采用保水剂拌种(YBH)处理。各处理重复 3 次, 共 18 个试验小区, 小区规格为 3 m×15 m。玉米播种前先人工开沟, 沟宽 20 cm, 沟深 10 cm, 注水量为 240 m^3/hm^2, 每个沟注水量按小区面积换算后用潜水泵从试验地附近蓄水池抽取, 注水后将保水剂拌土直接撒入播种时所开沟中, 撒好保水剂后人工点播, 播后人工将注水沟填平并覆膜。玉米灌溉制度按当地玉米灌溉情况定为灌溉定额 4 500 m^3/hm^2, 灌水次数为 5 次, 每次灌水定额为 900 m^3/hm^2, 各次灌水时间为 6 月 1 日、6 月 24 日、7 月 10 日、7 月 22 日、8 月 13 日。本试验将玉米划分以下 6 个生育阶段: 出苗期, 拔节期, 大喇叭口期, 抽穗期, 灌浆期和成熟期。

1.3　试验测试内容及方法

玉米生育期每隔 10 d 用钢卷尺测定一次株高, 各小区取固定 10 株测定; 叶面积及干物质每 15 d 采样, 每个小区取 3 株, 叶面积用长×宽×系数法测定, 系数取 0.75, 鲜重用电子秤测定, 再用烘干称重法测干物质积累; 玉米成熟期在每个小区中随机选取两点, 每点取样 5 株, 将两个点的样品合成一个样, 进行考种, 按各小区单打单收, 分别计各小区籽粒产量。在玉米生育期内观测记载温度、降水、蒸发、风速等气象因素。在玉米播种前 2 d 及整个生育期内每隔 10 d 以及作物收获后, 共分 6 层: 0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm, 80—100 cm, 100—120 cm 用土钻取土烘干法测定土壤含水量, 灌水前后及降雨前后进行加测。

2　结果分析

2.1　玉米全生育期降水特点

由图 1 可以看出, 在试验期间降雨量超过 5 mm 的降雨共有 7 次, 分别为 5 月 17 日(7 mm), 6 月 14 日(15.5 mm), 7 月 18 日(5.1 mm), 7 月 28 日(10.8 mm), 7 月 30 日(8.6 mm), 9 月 21 日(5.9 mm), 9 月 22 日(18.4 mm)。玉米生长期间降雨量为 103.1 mm, 当地玉米全生育期需水约 500～600 mm, 降雨对作物补充水量作用不大, 所以供水量主要是灌溉, 灌溉的时间和灌溉量的多少仍然对玉米生长发育造成一定程度的胁迫。

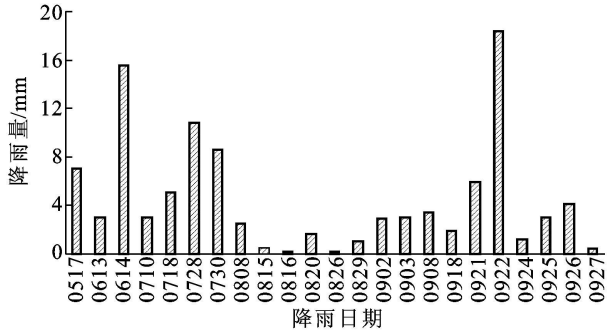


图 1　2008 年注水播种玉米全生育期降雨量分布

2.2　免储水灌注水播种对玉米生理性状的影响

2.2.1　免储水灌注水播种对玉米株高的影响　株高是冠层结构对水分响应的主要体现者。从图 2 可以看出, 在玉米整个生长过程中, 处理 CK 株高与 YB 2.5 和 YBH 无差别, 而与其它处理均有极显著差异, 在玉米株高最高时不施加保水剂注水播种处理 YB 0 的株高与 CK, YB 2.5, YBH 分别相差 79.3, 83.6 和

66.0 cm。在播种后 20～30 d，各处理株高相差不大，到灌第一次水时（6 月 1 日）各处理株高已有明显差别，其中处理 CK 和 YB 2.5 与其余处理间达到极显著差异。虽然灌水后的补偿效应使得各处理株高激增，但处理 YB 0 和 YB 0.5 的株高在苗期后各生育阶段仍低于 CK，YB 2.5，YBH，YB 1.5 处理并与它们间达到显著差异。玉米株高增长速率在整个生育期呈现小—大—小的变化规律，在苗期各处理株高增长较慢；拔节期—大喇叭口期是玉米株高增长最快的时段，此时玉米株高进入了快速增长期，各处理玉米株高增长速率平均达到 3.67～5.33 cm/d，虽然处理 YB 0.5 和 YB 0 在此阶段株高增长速率也达到最大，但由于苗期受旱影响，其株高增长速率较其它处理都小；在玉米进入抽穗灌浆期以后株高增长速率已很小，这主要是因为进入抽穗期后玉米营养生长基本停止而转向生殖生长，所以株高基本不再增长。以上分析说明保水剂对玉米株高增长具有明显促进效应。

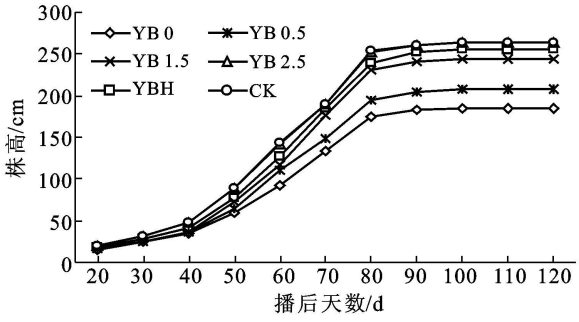


图 **2** 注水播种玉米株高全生育期变化

注：CK 为常规覆膜穴播膜上灌溉作为对照处理；YB 2.5，YB 1.5，YB 0.5，YB 0 为配合施用保水剂注水播种处理，保水剂施用量分别为 2.5，1.5，0.5，0 g/m²；YBH 为采用保水剂拌种处理。下同。

2.2.2 免储水灌注水播种对玉米叶面积的影响 玉米叶面积指数随生育期的推进，呈现出先增加、后稳定、最后又减小的趋势，玉米叶面积指数在苗期—拔节期增长速度较快，平均日增长 0.007～0.011，拔节—抽穗期叶面积指数增长速度最快，平均日增长 0.102～0.125，玉米抽穗—灌浆期叶面积指数基本不再增长，日平均增长仅为 0.011～0.017；灌浆—成熟期玉米叶面积指数出现明显的下降趋势。在苗期 YB 2.5 和 YBH 的叶面积指数与其它处理呈极显著差异，灌水后各处理叶面积均较快增长，但 YB 0，YB 0.5，YB 1.5 由于在苗期受旱时间较长，植株长势较弱，虽然在灌水后叶面积增长较快，但到叶面积指数最大时仍与 CK，YB 2.5 和 YBH 有极显著差异。无论是在拔节期还是在抽穗期，施用保水剂较不施用保水剂处理都使单株绿叶面积增加，抽穗期 YB 2.5 和 YBH 叶面积分别比 YB 0 增加 21.26%和 11.08%，比 YB 0.5 增加 18.33%和 8.38%，说明施用保水剂对叶片无明显不利影响，甚至有一定的促进作用（图 3）。

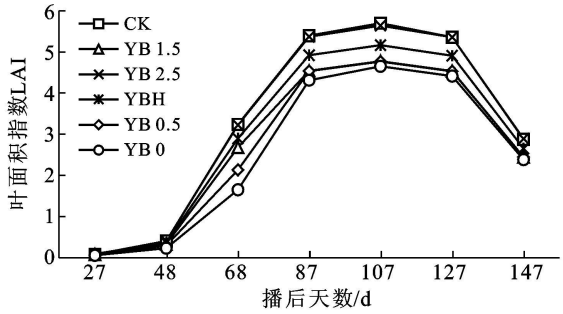


图 **3** 玉米各处理生育期叶面积指数变化

2.2.3 注水播种对玉米干物质积累的影响 植株地上部分干重反映了植株干物质积累和生长状况，且单株地上部干重为干物质向籽粒运转提供能源物质。玉米干物质的积累是一个连续的过程，抽穗前干物质在茎鞘的积累、花后灌浆期光合产物向籽粒的大量积累以及籽粒成熟期茎杆干物质向穗部的转移，这 3 个阶段是不同处理玉米干物质积累的主要过程；不同保水剂施用量的玉米其 3 个阶段所持续的时间长短不同，在各个阶段干物质积累的强度也不同。玉米干物质积累在苗期已存在显著差异，且以 YB 2.5 最大，为 39.46 g/m²，以 YB 0 最小，为 24.65 g/m²，这说明保水剂的保水作用可为玉米苗期生长提供较为充足的水分，使玉米在苗期及后续生育阶段生长旺盛，植株粗壮、高大，干物质积累较快；在玉米苗期由于缺水 YB 0 及 YB 0.5 处理植株生长受抑制，其植株高度及粗壮程度远低于 CK，YB 2.5 和 YBH，故其干物质积累较慢，所以其干物质积累与 CK，YB 2.5，YBH 间有极显著差异（$P<0.01$），这种差异一直到玉米收获时仍然存在，且随着保水剂使用浓度增大，玉米干物质积累量也增大（图 4）。

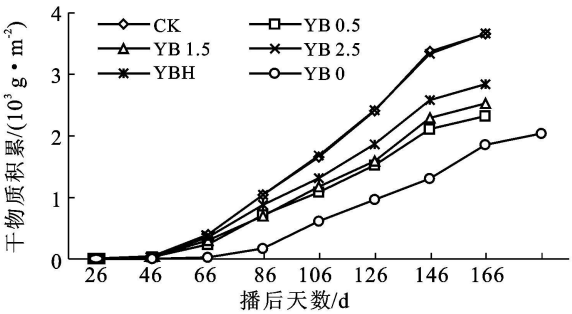


图 **4** 注水播种全生育期干物质积累情况

各个处理的干物质积累均表现为“缓慢生长—快速生长—缓慢生长”，可以说玉米生长速率在整个生育

期呈现小—大—小的变化规律, 基本"S"型曲线。在出苗至拔节, 由于气温较低玉米生长缓慢, 干物质积累缓慢, 从拔节到灌浆期间, 干物质迅速积累, 之后积累速率减缓甚至不再增加。不同处理间后期的干物质积累量差异显著, 说明水分影响是对玉米干物质的第一影响因子, 玉米施用保水剂注水播种会对干物质动态变化产生显著影响, 因此, 可以通过合理保水剂施用量, 配合其它农艺措施可控制玉米的干物质重的形成。

2.2.4　免储水灌注水播种对玉米器官间干物质运转的影响　干物质生产受土壤水分状况的影响较大, 在土壤水分胁迫下, 干物质积累降低, 降低的程度与水分胁迫的程度呈正相关。短期干旱后, 玉米叶、穗的分配指数均降低, 茎鞘的分配指数升高, 有学者研究认为, 在光合产物相对不足时, 轻度土壤水分亏缺有促进贮存物质向穗部运转的效应[14-16]。

由免储水灌注水播种玉米干物质器官间的转移分配上看(图 5), 玉米成熟期各器官干物质量为: 穗＞茎＞叶。不同保水剂施用量下茎分配比例为: CK＞YB 2.5＞YBH＞YB 1.5＞YB 0.5＞YB 0, 叶片分配比例与茎分配比例相反。成熟期穗分配以 YB 2.5 最高为 67.72%, 以 CK 最小为 63.39%, 施用保水剂处理的穗干物质比例均高于对照, 而茎干物质比例均低于对照, 说明施用保水剂在一定程度上可提高玉米穗的分配比例, 光合产物能充分转移到籽粒中。

2.3　免储水灌注水播种对玉米产量及水分利用效率的影响

2.3.1　免储水灌注水播种对玉米生物产量及水分利用效率的影响　作物的水分利用效率是指作物消耗单位水分所生产的干物质的量, 实质上反映了作物耗水与干物质生产之间的关系, 是评价作物生长适宜程度的综合性生理生态指标。作物生长期内某一阶段的水分利用率(WUE)以生长期内某一阶段作物收获部分的干物质产量(Y)与该阶段的耗水量(ET)的比值来表示。

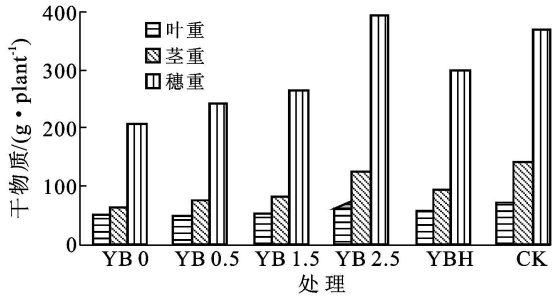


图 **5**　各处理成熟期各器官干物质量

表 1 是玉米各生育期生物产量的水分利用率计算结果。从中可以看出, 水分利用效率有两个峰值, 一个在拔节期—抽穗期, 另一个在灌浆期—成熟期, 主要是由于拔节期—抽穗期玉米处于生长旺盛期, 其生长速率、生长强度均达到最大, 故水分利用效率较高; 灌浆期—成熟期玉米灌水较少, 气温较低, 田间蒸发量小, 且玉米籽粒重量主要在此阶段形成, 因而其水分利用效率较高。在前 4 个生育期处理 YB 2.5 的水分利用效率均处于最大值, 与对照处理有极显著差异, 而最后一个生育期各处理水分利用效率均无差异。说明适当施用保水剂不但能提高玉米苗期水分利用效率而且可以提高生育后其的水分利用效率。

表 **1**　玉米全生育期水分利用效率

处 理	播种—苗期			苗期—拔节期			拔节期—抽穗期		
	用水量/mm	干物质/(g·m^{-2})	水分利用效率/(kg·m^{-3})	用水量/mm	干物质/(g·m^{-2})	水分利用效率/(kg·m^{-3})	用水量/mm	干物质/(g·m^{-2})	水分利用效率/(kg·m^{-3})
YB 2.5	21.91^{cC}	39.46^{aA}	1.80	84.22^{bcAB}	394.20^{aA}	4.21	224.55^{bB}	1 676.60^{aA}	5.71
YBH	55.13^{bB}	36.38^{abAB}	0.66	65.38^{cB}	357.62^{abA}	4.91	218.90^{bB}	1 312.44^{bB}	4.36
YB 1.5	63.34^{bB}	32.65^{bcAB}	0.52	111.58^{aA}	302.87^{bcB}	2.42	167.57^{dD}	1 172.98^{cC}	5.19
YB 0.5	59.75^{bB}	29.19^{cdBC}	0.49	108.50^{aA}	231.97^{cdC}	1.87	188.10^{cC}	1 079.89^{dD}	4.51
YB 0	73.91^{bAB}	24.65^{dC}	0.33	94.10^{abAB}	171.28^{dC}	1.56	189.32^{cC}	959.72^{eE}	4.16
CK	95.44^{aA}	39.26^{aA}	0.41	88.08^{bAB}	395.43^{aA}	4.04	246.18^{aA}	1 654.49^{aA}	5.11

处 理	抽穗期—灌浆期			灌浆期—成熟期		
	用水量/mm	干物质/(g·m^{-2})	水分利用效率/(kg·m^{-3})	用水量/mm	干物质/(g·m^{-2})	水分利用效率/(kg·m^{-3})
YB 2.5	169.17^{bcCD}	1304.88^{dD}	2.04	51.05^{abA}	2 039.48^{eE}	14.39
YBH	179.95^{aABC}	2416.66^{aA}	4.11	64.39^{abA}	3 664.49^{aA}	19.38
YB 1.5	171.23^{bBCD}	1585.37^{cC}	2.41	51.05^{abA}	2 523.44^{cC}	18.38
YB 0.5	162.50^{cD}	1523.28^{cC}	2.73	56.18^{abA}	2 322.36^{dD}	14.22
YB 0	183.13^{aA}	2353.48^{aA}	3.82	44.62^{bA}	3 656.43^{aA}	29.20
CK	182.16^{aAB}	1865.28^{bB}	3.03	66.28^{aA}	2 838.52^{bB}	14.68

注: 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$), 下同。

2.3.2 免储水灌注水播种对玉米产量及其构成因素的影响 免储水灌注水播种玉米各处理产量及其构成因素见表 2 所示。处理是 YB2 .5 和 YBH 较对照是增产的，其产量分别为 18 332.6 和 17 921.2 kg/hm^2，较对照分别增产 17.77%和 15.13%；而 YB 1.5，YB 0.5 和 YB 0 较对照是减产的，其减产率分别为 0.18%，2.09%和 8.26%。施用保水剂量大的处理的穗长、穗粒数、穗粒重、穗重均比对照大，其中 YB 2.5 与 YBH 的穗长较 CK 增加 1.92 和 0.3 cm，穗粒数较 CK 增加 74.40 和 11.18 粒/穗，穗粒重较 CK 增加 42.90 和 36.05 g，穗重较 CK 增加 53.04 和 47.82 g，除上述几个因素外各处理在其它因素之间无明显差异。说明在水资源比较紧缺或者是冬季无法进行冬灌的地区，施用保水剂注水播种技术可提高玉米穗长、穗粒数、穗粒重、穗重等产量构成因素，进而提高玉米产量。

表 2 各处理产量构成因素分析

处 理	株高/cm	穗长/cm	穗行数（行/穗）	秃尖长/cm	穗粒数（粒/穗）	穗粒重（g/穗）	穗重（g/穗）	百粒重/g	产量/(kg·hm^{-2})
YB 2.5	243.67^{aA}	22.63^{aA}	16.89^{aA}	1.52^{aA}	648.78^{aA}	305.54^{aA}	398.31^{aA}	47.08^{aA}	18 332.6^{aA}
YBH	234.78^{abA}	21.01^{abA}	16.44^{aA}	1.50^{aA}	585.56^{bAB}	298.69^{aA}	393.09^{aA}	50.18^{aA}	17 921.2^{aA}
YB 1.5	231.89^{abAB}	20.58^{abA}	16.44^{aA}	1.36^{aA}	570.89^{bAB}	258.98^{abA}	339.17^{abA}	45.48^{aA}	15 538.9^{abA}
YB 0.5	213.67^{bcB}	20.01^{abA}	16.00^{aA}	1.22^{aA}	563.00^{bAB}	254.01^{abA}	331.33^{abA}	45.76^{aA}	15 240.9^{abA}
YB 0	211.89^{cB}	18.68^{bA}	15.33^{aA}	0.98^{aA}	497.87^{cB}	238.72^{bA}	312.95^{bA}	48.70^{aA}	14 280.3^{bB}
CK	244.15^{aA}	20.71^{abA}	16.57^{aA}	1.43^{aA}	574.38^{bAB}	262.64^{abA}	345.27^{abA}	46.35^{aA}	15 566.2^{abA}

3 结 论

免储水灌注水播种配合使用保水剂可使玉米提早出苗，提高叶面积指数，促进干物质积累，能提高玉米苗期及后续生育阶段的水分利用效率，提高穗干物质分配比例；施用保水剂量为 2.5 g/m^2 和采用保水剂拌种注水播种处理较常规灌溉处理分别增产 17.77%和 15.13%，增收 26.37%和 15.73%；在水资源比较紧缺或者是冬季无法进行冬灌的地区，施用保水剂注水播种技术可提高玉米穗长、穗粒数、穗粒重、穗重等产量构成因素，进而提高玉米产量。玉米生理性状及产量的形成受很多因素的影响，但玉米免储水灌注水播种后其生长环境发生很大变化，因而其生理性状和产量的形成也受到影响，因此玉米注水播种条件下产量形成的机理今后还需大量的观测和补充，以及进一步研究注水深度、注水量和不同品种保水剂浓度等因素对产量形成的影响。

[参 考 文 献]

[1] 于保静，王开录，石培泽. 石羊河流域水资源可持续利用对策探讨[J]. 甘肃水利水电技术，2005，41(1)：7-8.

[2] 康绍忠，张建华，梁宗锁，等. 控制性交替灌溉：一种新的农田节水调控思路[J]. 干旱地区农业研究，1997，15(1)：1-6.

[3] 李芳花，袁辅恩，于井喜，等. 苗期注水灌溉技术参数研究[J]. 黑龙江水专学报 1999，26(4)：15-18.

[4] 陶延怀，王传荣，安清平. 注水灌溉效益分[J]. 黑龙江水利科技，2002(2)：92-93.

[5] 陆祥生，梁智. 武威灌溉农业节水问题思考[J]. 农业科技与信息，2006(9)：26-27.

[6] Bowman D C，Evans R Y. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium[J]. Hort. Sci.，1991，26(8)：1063-1065.

[7] Johnson M S. The effects of gel forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils[J]. Sci. Food Agric.，1984，35：1196-1200.

[8] 张富仓，康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应[J]. 农业工程学报，1999，15(4)：74-78.

[9] 马天新，庞中存，陆秀珍. 土壤保水剂在我省旱作农业上的应用展望[J]. 甘肃农业科技，1997(12)：31-32.

[10] Alasdair B. Super absorbents improve plant survival[J]. World Crops，1984(1/2)：7-10.

[11] Woodhouse J，Johnson M S. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedlings[J]. Agricultural Water Management，1991，20：63-70.

[12] Gehring J M，Lewis A J. Effect of hydrogen on wilting and moisture stress of bedding plants[J]. Soc. Hort. Sci.，1980，105(4)：511-513.

[13] 冯金朝，赵金龙，胡英娣，等. 土壤保水剂对沙地农作物生长的影响[J]. 干旱地区农业研究，1993，11(2)：36-40.

[14] 王志琴，杨建昌，朱庆森，等. 土壤水分对小麦光合速率与物质运转的影响[J]. 中国小麦科学，1996，10(4)：235-240.

[15] Matsuo T，Kumazawa K，Ishii R，et al. Science of the rice plant physiology (volume two)[M]. Tokyo：Food and Agriculture Policy Research Center，1995，458-459.

[16] 陆建飞，黄丕生，丁艳锋，等. 持续土壤水分胁迫对小麦物质积累和运转的影响[J]. 江苏农业学报，1998，14(3)：135-140.