

滴施不同水溶肥对玉米产量形成的影响

梁 飞^{1,2,5},王国栋^{2,4},王克全^{2,4},尤琦英¹,郭 斌^{3,4},张 磊^{2,4},曾胜和^{2,4}

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 新疆农垦科学院农田水利与土壤肥料研究所, 新疆 石河子 832000;
3. 新疆农垦科学院作物研究所, 新疆 石河子 832000; 4. 农业部作物高效用水石河子科学观测实验站, 新疆 石河子 832000;
5. 长安大学旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:为了探索不同类型水溶肥对滴灌玉米生产的影响,验证专利配方施肥及施用方法对玉米生产的效果。研究了专利配方施肥(X7)、磷酸脲(X1)、氨基酸粉(X2)、腐植酸钾(X3)、水溶性纳米有机肥(X4)、含氨基酸水溶肥(X5)、含氨基酸水溶肥半量(X6)和不施肥(X8,CK)8个处理6种新型水溶肥料对玉米生产状况及产量的影响。结果表明:(1)滴施氨基酸粉和腐植酸钾能够提早玉米发芽,两处理一周的出苗率均超过50%;氨基酸粉、腐植酸钾和磷酸脲能够促进滴灌玉米发芽率,发芽率均超过90%。(2)专利配方施肥叶面积指数LAI最高,显著高于其他处理。(3)专利配方施肥在一定程度上促进玉米生长,整株生物量为:拔节期,X7>X5>X6>X3>X4>X1>X2>X8;开花期,X7>X6>X5>X4>X2>X1>X3>X8;成熟期,X2>X6>X7>X4>X3>X5>X1>X8。(4)含氨基酸水溶肥的干物质转移量和干物质转移效率对籽粒贡献率最高,显著高于专利配方施肥处理,干物质转移对籽粒贡献率可达43.36%。(5)含氨基酸水溶肥和专利配方施肥有利于玉米产量增加,较不施肥处理分别增产44.5%和46.5%。

关键字:水溶肥;玉米;滴灌施肥;配方肥;产量
中图分类号:S513;S274.1 **文献标识码:**A

Effect of the different water soluble fertilizer dripping application on yield formation of maize

LIANG Fei^{1,2,5}, WANG Guo-dong^{2,4}, WANG Ke-quan^{2,4}, You Qi-ying¹,
GUO Bin^{3,4}, ZHANG Lei^{2,4}, ZENG Sheng-he^{2,4}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shannxi 710054, China;
2. Institute of Farmland Water Conservancy and Soil-fertilizer, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Science, Shihezi, Xinjiang 832000; 3. Crop Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Science, Shihezi, Xinjiang 832000;
4. Experimental Station for Crop Water Use of Ministry of Agriculture, Shihezi, Xinjiang 832000;
5. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region Chang'an University, Ministry of Education, Xi'an, Shannxi 710054, China)

Abstract: In order to explore the impact of different water soluble fertilizers on yield of maize and verify the effects of patented formula fertilizers and its application methods on maize under drip irrigation, the 6 kinds of new type of water soluble fertilizers, which are formulated by urea phosphate(X1), amino acid(X2), Humic acid potassium(X3), water-soluble nano-organic fertilizer(X4), amino acid water soluble fertilizer(X5), half the amount of acid soluble fertilizer containing(X6), patented fertilization(X7) and no fertilizer(X8) were used in the study. The results showed that amino acid, potassium humate can promote maize germination, and the emergence rate of both treatments exceeds 50% in the first week. urea phosphate, amino acid, potassium humate can promote the germination rate of maize under drip irrigation and the germination rate exceeds 90%. Patented formula fertilization has the highest leaf area index LAI, which is significantly higher than other treatments. also patented formula fertiliza-

tion can promote the growth of maize.The whole plant biomass is: jointing stage $X7>X5>X6>X3>X4>X1>X2>X8$, flowering period $X7>X6>X5>X4>X2>X1>X3>X8$, mature $X2>X8>X6>X7>X4>X3>X5>X1$. The dry matter transfer amount and transfer efficiency of amino acid soluble fertilizer had the highest contribution rate to grain, which was significantly higher than that of the patented formula fertilization, and the contribution rate of dry matter transfer to the grain reached 43.36%. Amino acid-containing water-soluble fertilizer and patented formula fertilization were favorable to the increase of maize yield, which increased by 44.5% and 46.5% respectively compared with the non-fertilizer treatment.

Keyword: water soluble fertilizer;maize; fertigation; formula fertilizer; yield

玉米是粮食、饲料、加工、能源多元用途作物,被誉为 21 世纪的“谷中之王”,2001 年玉米已经成为全球第一大粮食作物。2013 年,玉米已经超过稻谷成为我国第一大粮食作物,产量占我国粮食总产量的 38.9%,在我国农业生产及国民经济中有举足轻重的作用^[1]。2006–2013 年,新疆兵团六次打破我国玉米高产纪录,从 17 175.3 kg · hm⁻²一直增加到 22 676.1 kg · hm⁻²;2012 年新疆平均玉米产量 6 915 kg · hm⁻²,较全国平均增产 1 050 kg · hm⁻²^[2]。玉米膜下滴灌是将覆膜种植技术与滴灌技术相结合的一种新的灌水技术。滴灌是一种节水的灌水技术,高频度的灌溉、缓慢的施加少量的水作用于作物的根部^[3-4];由于滴灌随水施肥的特点,养分也集中分布在由滴水形成的湿润体内,在 50 cm 土层以下养分含量显著降低^[5]。目前滴灌玉米在 15 000~18 000 kg · hm⁻²产量水平下,生育期间田间灌溉定额由原来漫灌的 7 200~9 000 m³ · hm⁻²,减少到 4 200~5 400 m³ · hm⁻²,节水 40%左右^[3,6];生育期间氮磷钾肥用量分别为 300~450、75~135、45~75 kg · hm⁻²的范围内,氮磷钾的利用率分别较漫灌条件下常规施肥提高 20%、10%、15%以上,整体节肥达 15%~25%^[3,7-9]。

随着灌溉施肥技术的推广与普及,滴灌水溶肥越来越多地被农民采用。水溶肥即水溶性肥料,是一种完全溶于水的速效多元复合肥料,它的营养元素比较全面,且根据不同作物的需肥特点相应的肥料有不同的配方,能迅速地溶解于水中,更易被作物吸收,且吸收利用率较高,近年来广泛应用于灌溉施肥^[10]。国内新型水溶肥料发展起步较晚,但近年来随着现代农业、无公害农业等迅速发展,人们对绿色食品的关注,原料、能源的日趋紧张,更高效率、更少消耗、更低排放的新型水溶肥料已逐渐被农民接受和应用^[11]。目前,我国已有大量元素水溶肥料、中量元素水溶肥料、微量元素水溶肥料、含氨基酸水溶肥料和含腐植酸水溶肥料 5 类标准,有机水溶肥的标准还未出台。为了探索不同类型水溶肥

对滴灌玉米生产的影响,本文通过不施肥、专利配方施肥、酸性磷肥、氨基酸粉、腐植酸钾、水溶性纳米有机肥和含氨基酸水溶肥 8 个处理 6 种新型水溶肥料试验,以期于干旱区滴灌玉米合理施用新型水溶肥提供科学依据,为进一步完善滴灌玉米水肥调控理论提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 试验区基本情况 于 2016 年 5—10 月在新疆石河子市的新疆农垦科学院农业部作物高效用水石河子科学观测实验站(45°38'N,86°09'E)进行。研究区域位于天山北麓的冲积扇平原,属于典型的温带大陆性气候,年均气温 6.5~7.2℃,年平均降雨量 115 mm、蒸发量 1 942 mm,蒸降比 16.9>10。试验土壤为灌耕灰漠土,耕层土壤有机质 7.14 g · kg⁻¹,碱解氮 34.30 mg · kg⁻¹,速效磷 18.0 mg · kg⁻¹,速效钾 130.50 mg · kg⁻¹,pH 值为 8.2,土壤容重 1.67 g · cm⁻³,田间持水量 17.7%。

1.1.2 供试玉米 郑单 958,河南农科院育成的品种。

1.1.3 供试肥料 ① 尿素:N>46.4%,颗粒,新疆心连心能源化工有限公司生产;②磷酸一铵:N>12%,P₂O₅>61%,粉剂,成都尼达罗农业科技有限公司生产;③磷酸脲:N>17%,P₂O₅>44%,粉剂,成都尼达罗农业科技有限公司生产;④硫酸钾:K₂O>51%,粉剂,国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产;⑤腐植酸钾:含腐植酸>55%,K₂O>12%,粉剂,山西美邦大富农科有限公司生产;⑥氨基酸粉:基酸>50%,氮>18,有机质>40%,粉剂,北京傲禾测土肥业连锁有限公司生产;⑦水溶性纳米有机肥:纳米级有机质>60%,氮磷钾>12%,溶液,南宁汉和生物科技股份有限公司生产;⑧含氨基酸水溶肥:氨基酸>130 g · L⁻¹,氮>50 g · L⁻¹,钾>80 g · L⁻¹,磷>20 g · L⁻¹,锌>50 g · L⁻¹,硼>10 g · L⁻¹,溶液,海南冠植丰生物科技有限公司生产;⑨专利配方施肥:由 3 组不同养

1.3 测定项目及方法

1.3.1 植株生长发育指标测定 出苗率:每个小区选固定的 4 段 5 m,以幼苗胚芽鞘露出表土 2 cm 以上为标准,分别于出苗水灌溉后 7 天和 14 天,记录出苗量,统计田间出苗率。株高:土面量至(雄穗)顶端的高度,每个处理取 10 株测定后取平均值;叶片数:记录单株全部展开叶和未展开叶,每个处理取 10 株测定后取平均值;叶面积指数测定:每个小区选生长一致的玉米 10 株,测量绿叶叶面积;叶面积=长×宽×0.75 ,LAI=单株叶面积×单位土地面积内株数/单位土地面积;叶绿素值测定:采用 SPAD - 502 叶绿素仪(Minolta, JPN)测定,在田间小区每处理随机连续选取 10 株玉米的苞叶进行测定,取均值;干物质:在各生育期每个处理取地上植株 4 株 ,在实验室洗净烘干,按器官(穗、茎秆和叶片)分类,105℃杀青,80℃烘干,称取生物量。

1.3.2 产量及产量构成因素测定 籽粒成熟期测产 ,每小区取出 20 个果穗称鲜重并带回风干,风干后考种,折标准水(14%) 计算单位面积产量,调查其有效株数、穗数、穗粒数、穗列数、千粒重,分析产量构成因素。

1.3.3 干物质转移量、干物质转移效率和转移干物质对籽粒的贡献率计算

干物质转移量 DMT=开花期茎叶干物质量-成熟期茎叶干物质量;

干物质转移效率(%) DMTE=干物质转移量/开花期茎叶干物质量×100;

干物质转移量对籽粒贡献率(%) DMTP =干物质转移量/籽粒产量×100。

1.4 数据处理与分析

数据均采用 SPSS 16.0 与 Excel 2007 进行分析, Sigma Plot 进行绘图,用 LSD 进行多重比较确定差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 不同水溶肥对玉米生长的影响

由图 1 看出,在播种后滴施不同类型水溶肥,各处理一周和两周的出苗情况差异较大;一周后氨基酸粉(X2)和腐植酸钾(X3)处理的出苗率分别达到 56.4%和 50.7%,显著高于其他处理(P<0.05);两周后 X1、X2、X3 和 X4 处理的出苗率均超过 90%,显著高于专利配方施肥和不施肥处理,X3 处理的出苗

率最高,达到 92.9%,X1、X2 和 X3 处理显著高于其他处理。水溶肥对玉米株高影响在不同时期存在一定差异,生育前期活性炭、氨基酸和腐殖酸钾处理较高;生育中后期含氨基酸水溶肥和专利配方施肥较高。滴水后 2 周活性炭处理最高,显著高于其他处理;滴水后第 3、4 周氨基酸和腐植酸钾处理最高,显著高于其他处理;滴水后第 6、8 周和开花期,含氨基酸水溶肥半量处理(X6)株高最高,显著高于其他处理;开花期专利配方施肥处理最高,显著高于其他处理;不施肥处理的株高最低。玉米叶面积指数(LAI),专利配方施肥处理最高,其次为含氨基酸水溶肥,均与不施肥和酸性磷酸脲处理达到显著性差异;其他处理间差异不显著。拔节期专利配方施肥与含氨基酸水溶肥半量处理(X7、X6)SPAD 最小,不施肥处理最高,显著高于其他处理;开花期腐植酸钾、专利配方施肥和氨基酸处理的 SPAD 值显著高于磷酸脲和不施肥处理。总体而言,氨基酸、腐植酸、水溶性纳米有机肥和酸性磷酸脲有利于玉米出苗,不同肥料对玉米株高影响与生育期有关,专利配方施肥处理的叶面积指数相对较高,SPAD 值与玉米生育期有关,但开花期腐植酸钾和氨基酸有利于增加玉米叶绿素含量。

2.2 不同水溶肥对玉米产量构成因素的影响

由表 2 看出,施用相同的氮磷钾条件下,玉米产量表现为:X7>X6>X5>X4>X3>X1>X2>X8;除了 X1 和 X2 外其他处理均显著高于不施肥处理,增产幅度为 24.3%~46.5%;X6、X7、X5 处理显著高于 X1、X2 和不施肥处理(X8)。就产量结构而言,X6、X7 处理的穗长、穗粗和穗行数显著高于其他处理;X5 处理穗长显著高于不施肥处理,其他处理间无显著差异;X5 和 X3 处理穗长显著高于 X1 和不施肥处理,X4 处理穗长显著高于不施肥处理,其他处理间穗长无显著差异;X7 处理穗列数显著高于 X1、X2、X3、X4 和不施肥处理,除了 X1 处理外,其他处理穗列数均显著高于不施肥处理;X5 处理显著高于 X3、X4 和不施肥处理,X1 处理显著高于不施肥处理,其他处理间显著性差异;千粒重表现为:X7>X6>X3>X4>X2>X5>X1>X8,其中 X3、X4、X6、X7 处理千粒重显著高于 X1 和不施肥处理,X2 和 X5 处理显著高于不施肥处理,其他处理间显著性差异。总体而言,含氨基酸水溶肥和专利配方施肥有利于玉米产量增加,产量结构特征的趋势与产量一致。

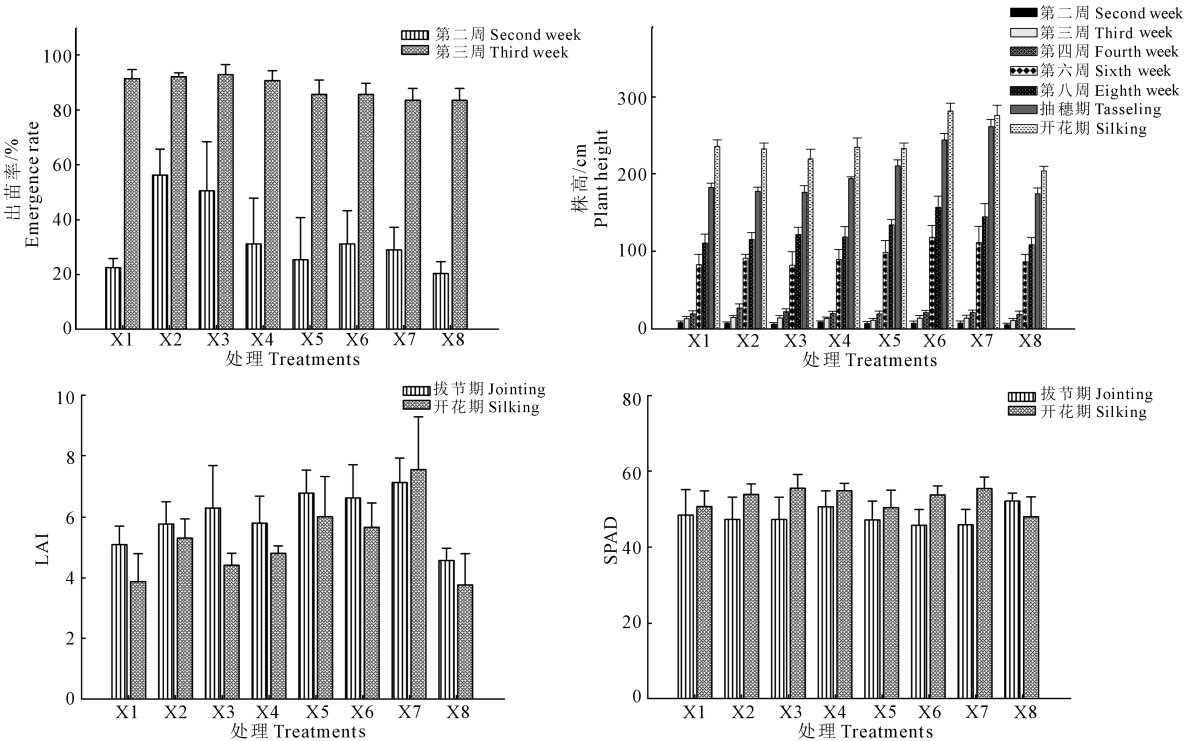


图 1 不同水溶肥处理玉米出苗率、株高、LAI 和 SPAD 值的变化

Fig.1 Effects of the different water soluble fertilize on seedling emergence, plant height, LAI and SPAD

表 2 滴施不同水溶肥处理玉米的产量与产量结构

Table 2 Effects of the different water soluble fertilize on maize yield and yield composition

处理 Treatments	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Spike diameter	穗列数 Spike column number	穗行数 Spike line number	千粒质量/g Kernel weight	产量/(kg·hm ⁻²) Yield
X1	11.55 bc	3.55 cd	12.50 cd	25.90 bc	32.34 bc	12685.76 cd
X2	11.14 bc	3.58 bcd	13.00 bc	25.40 bcd	36.34 ab	12659.29 cd
X3	11.15 bc	3.76 b	11.90 d	24.65 cd	37.92 a	13448.82 bc
X4	11.12 bc	3.73 bc	13.05 bc	24.55 cd	37.51 a	14259.30 abc
X5	11.77 b	3.75 b	13.60 ab	27.00 b	36.02 abc	15207.38 ab
X6	13.69 a	4.40 a	13.65 ab	30.85 a	38.19 a	15642.77 ab
X7	13.51 a	4.28 a	14.15 a	30.45 a	39.23 a	15858.46 a
X8	10.49 c	3.42 d	11.70 d	23.25 d	32.14 c	10823.70 d

注:同一列不同字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平下差异显著。
Note: Different letters indicate significant difference in $P<0.05$ level in the same column.

2.3 滴施不同水溶肥对玉米干物质累积和转移的影响

玉米干物质积累是判断玉米营养状况的主要指标之一,也是衡量玉米水肥管理好坏的重要指标。拔节期总生物量表现为: X7>X5>X6>X3>X4>X1>X2>X8, 专利配方施肥的叶片、茎秆与生物量均为最高,显著高于其他处理, X5 处理显著高于不施肥处理,其他处理间差异不显著;开花期总生物量表现为: X7>X6>X5>X4>X2>X1>X3>X8, 专利配方施肥 X7 的穗、茎秆与总生物量均为最高, X5 处理的叶片量最高,均显著高于不施肥处理;成熟期总生物量表现为: X2>X6>X7>X4>X3>X5>X1>X8, 氨

基酸处理(X2)的穗部生物量最高,含氨基酸水溶肥半量处理(X6)的叶片生物量最大,专利配方施肥的茎秆生物量最高(图 2)。玉米开花期和成熟期茎叶干物质累积量分别占总生物量的 48.6%~60.5%和 31.7%~42.9%(表 3)。从干物质转移量、转移效率及对籽粒贡献率来看, X5 处理的干物质转移量和干物质转移量对籽粒贡献率最高,显著高于专利配方施肥处理(X7),其他处理间未达到显著性差异; X5、X4 处理的转移效率显著高于专利配方施肥处理(X7),其他处理间未达到显著性差异;可见,干物质转移对籽粒贡献率可达 18.5%~43.36%,表明不同类型水溶肥均可以促进干物质转移。

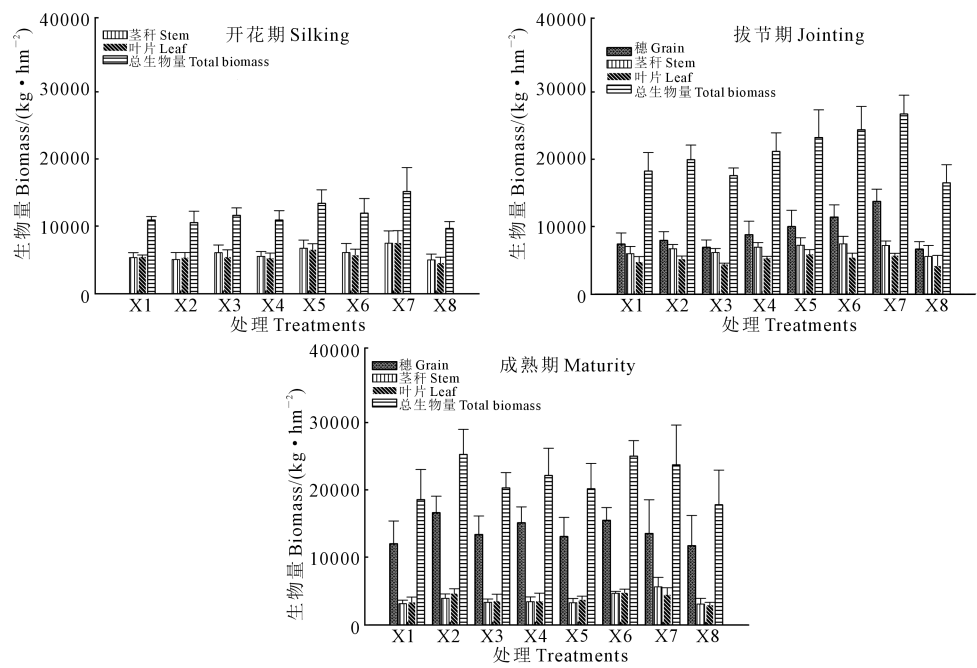


图 2 不同水溶肥处理下的玉米生物量

Fig.2 The biomass under different water soluble fertilize

表 3 不同水溶肥处理下的玉米开花前干物质累积和转移

Table 3 Dry matter accumulation and transferring before flowering under different water soluble fertilize

处理 Treatments	开花期 Silking		收获期 Maturity		产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	干物质转移量 The amount of dry matter translocation /(kg·hm ⁻²)	干物质转移效率 Dry matter remobilization efficiency/%	干物质转移量 对籽粒贡献率 Contribution of remobilization to grain yield/%
	茎叶 Stem	总生物量 Total biomass	茎叶 Stem	总生物量 Total biomass				
	/(kg·hm ⁻²)	/(kg·hm ⁻²)	/(kg·hm ⁻²)	/(kg·hm ⁻²)				
X1	10832 bc	18251 de	6552 c	18588 b	12686 cd	4281 ab	37.82 ab	35.87 ab
X2	11981 ab	19946 cde	8662 ab	25292 a	12659 cd	3319 ab	27.19 ab	27.97 ab
X3	10643 bc	17579 de	6933 c	20340 ab	13449 bc	3710 ab	34.93 ab	29.58 ab
X4	12351 ab	21166 bcd	7028 bc	22169 ab	14259 abc	5323 ab	42.48 a	39.81 ab
X5	13219 a	23230 abc	7082 bc	20191 ab	15207 ab	6137 a	45.37 a	43.36 a
X6	12948 a	243788 ab	9523 a	25034 a	15858 a	3425 ab	25.25 ab	23.41 ab
X7	12977 a	26715 a	10194 a	23751 ab	15643 ab	2783 b	20.74 b	18.50 b
X8	9825 c	16502 e	6090 c	17825 a	10824 d	3735 ab	36.60 ab	37.07 ab

3 讨 论

营养元素缺乏和不均衡供给会成为土壤养分限制因子和潜在限制因子,影响土壤—作物系统养分收支平衡,对作物高产、稳产构成严重威胁,应该引起足够重视^[14]。前人研究表明:氮磷钾及中微量元素之间具有相互促进的作用,一种元素的缺乏会影响玉米对其它元素的吸收利用^[15];氮、磷、钾养分作为作物生长发育的三大养分资源,其吸收、同化与转运直接影响着作物的生长发育状况,平衡施肥对玉米穗长及百粒重也有明显的提高作用,从而影响作物的产量^[16]。本研究表明:与专利配方施肥相比,其他功能性肥料能够提高滴灌玉米发芽率,促进玉米前期生长;但专利配方施肥在第一水灌溉后能够促进玉米生长,提高玉米的叶面积与干物质累

积,能够显著提高玉米产量。

研究表明,滴施氨基酸粉和腐植酸钾后玉米出苗快,出苗率高;滴施磷酸脲不能提早玉米出苗,但能提高出苗率;专利配方施肥在提高玉米出苗速度及出苗率中均未表现出优势。这是由于新疆土壤普遍呈碱性,氨基酸、腐植酸具有刺激植物生长、增强植物抗逆性等功效^[14],因此氨基酸和腐植酸处理有利于玉米出苗,具有络合、离子交换、活化等作用,可以降低土壤中钠离子对玉米种子的胁迫^[17],从而提高玉米出苗率;磷酸脲施入土壤,能够有限降低根区土体或者土壤微区的 pH 值,改变土壤离子平衡,从而起到改善土壤理化性质、改良土壤结构、促进作物生长等作用^[18],因此磷酸脲处理玉米出苗率也较高;而本研究中专利配方施肥中未设置出苗专用肥配方(新的配方中已经改进),滴灌玉米

专用肥Ⅰ中腐殖酸钾与磷酸脲含量均较低,因此专利配方施肥处理的出苗率及前期生长情况未表现出明显优势。专利配方施肥对玉米株高、叶面积与干物质累积的影响主要从拔节期开始,这可能是因为本研究采用了专利中“延迟第一水灌溉时间,合理蹲苗,促进滴灌玉米根系合理构型”这一技术,而该技术对应的各生育期土壤含水量控制(灌溉量)和养分用量均与本研究的专利配方施肥处理相一致。专利配方施肥根据玉米各生育期水分需求规律设计了不同的土壤含水量控制下限,根据玉米不同生育期对养分需求规律及特性,按照不同比例将尿素、磷酸一铵、磷酸脲、腐殖酸钾、硫酸钾、氯化钾混合形成的适应于玉米拔节期施用的玉米滴灌专用肥Ⅰ、小喇叭口期至抽穗期施用的玉米滴灌专用肥Ⅱ、开花期至乳熟期施用的玉米滴灌专用肥Ⅲ;另外,专利配方中根据玉米不同生育期对中微量元素的需求,添加了不同比例的氨基酸锌、硼砂、硫酸锰、络合铁等中微量元素。专利施肥技术实现了玉米需肥与供肥的统一;该专利配方将滴灌玉米的水肥管理技术系统化和模式化,可根据玉米的需水、需肥规律适时、适量地持续供应玉米生长所需的水分和养分,降低了田间蒸发、氮素气态损失和养分的土壤固定,有效地提高了水肥的效率,解决了作物生长中后期的脱肥脱水造成的早衰问题;另外玉米生育后期,氮磷钾及中微量元素合理配施能有效地促进玉米植株生育前期总生物量的积累,提高生育后期叶片和茎秆的物质转移能力,提高光合产物向生殖器官的分配能力^[19],为高产打下物质基础。

4 结 论

1)滴施不同类型水溶肥显著影响玉米出苗率,但功能性肥料能够促进滴灌玉米发芽率。滴施氨基酸粉和腐植酸钾后玉米出苗快,出苗率高,滴施磷酸脲加快玉米出苗,但能提高出苗率。

2)专利配方施肥能促进玉米生长,提高玉米的叶面积与干物质累积,但干物质转移量、转移效率及对籽粒贡献率相对较低。

3)专利配方施肥能够显著提高玉米产量。施用等量的氮磷钾条件下,玉米产量表现为:专利配方施肥>半量含氨基酸水溶肥>含氨基酸水溶肥>水溶性纳米有机肥>腐植酸钾>酸性磷酸脲>氨基酸粉>不施肥,除了磷酸脲和氨基酸粉外其他处理均显著高于不施肥处理,增产幅度为24.3%~46.5%。

综上所述,在北疆滴灌玉米生产中,要结合玉

米的需水、需肥规律适时、适量地持续供应玉米生长所需的水分和养分,尤其要注意氮、磷、钾肥的平衡施用和中微量元素的配合施用;制定系统化和模式化的滴灌玉米水肥管理方案,解决了作物生长中后期的脱肥脱水造成的早衰问题,实现滴灌施肥条件下玉米生产的高产、优质、节水、节肥以及水肥资源高效的目的。

参 考 文 献:

- [1] FAO. GIEWS Country Briefs of china (Mainland). [EB/OL]. [2016-04-22]. <http://www.fao.org>, 2013.
- [2] 梁飞,曾胜和,陈云,等.关于粮食作物滴灌施肥高产高效机理的思考[J].节水灌溉,2015,(9):87-90.
- [3] Entz M H, Gross K G, Fowler D B. Root growth and soil-water extraction by winter and spring wheat[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1992, 72(04):1109-1120.
- [4] 张志刚,李宏,李疆,等.地滴灌条件下滴头流量对土壤水分入渗过程的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):53-59.
- [5] 姜益娟,郑德明,翟云龙.不同灌溉方式的棉花根系在土壤中的分布特征[J].塔里木大学学报,2008,20(1):1-5.
- [6] 唐光木,何红,杨金钰,等.灌溉定额对膜下滴灌玉米生理性状及产量的影响[J].水土保持研究,2014,21(3):293-297.
- [7] 赵靛,侯振安,黄婷,等.新疆石河子地区玉米产量及氮素平衡的施氮量阈值研究[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):860-869.
- [8] 夏文豪,刘涛,唐诚,等.北疆滴灌玉米施氮量估算及减氮增铵效应[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):79-84.
- [9] 呼生春,张永飞,张旭东,等.不同水溶肥对土壤养分及“红地球”葡萄产量和品质的影响[J].北方园艺,2016,40(10):166-170.
- [10] 李代红,傅送保,操斌.水溶性肥料的应用与发展[J].现代化工,2012,32(7):12-1.
- [11] 张炎,王讲利,李磐,等.新疆棉田土壤养分限制因子的系统研究[J].水土保持学报,2005,19(06):59-62.
- [12] 梁飞,曾胜和,陈云,等.一种玉米节水高产的水肥管理方法:中国,ZL201410157534.5[P].2015-08-12.
- [13] 梁飞,王国栋,曾胜和,等.滴灌玉米根区调控专用肥套组及其施用方法:中国,ZL201611194730.5[P].2017-05-24.
- [14] 姬景红,李玉影,刘双全,等.平衡施肥对玉米产量、效益及土壤-作物系统养分收支的影响[J].中国土壤与肥料,2010,(04):37-41.
- [15] 陈祥,同延安,杨倩.氮磷钾平衡施肥对夏玉米产量及养分吸收和累积的影响[J].中国土壤与肥料,2008,45(06):19-22.
- [16] 程亮,张保林,王杰,等.腐植酸肥料的研究进展[J].中国土壤与肥料,2011,48(5):1-6.
- [17] 郭云平,巩彪,王秀峰,等.腐植酸对NaCl胁迫下西瓜幼苗的缓解效应[J].中国蔬菜,2016,36(7):58-63.
- [18] 刘键,杜建卫,张卫星.磷酸脲对膜下滴灌棉花品质和产量的影响[J].中国土壤与肥料,2006,43(4):37-39.
- [19] 刘梦星,崔彦宏,丁民伟,等.氮磷钾及锌配施对旱薄区夏玉米干物质积累、分配和转移的影响[J].河北农业大学学报,2007,30(1):1-4.