

水肥一体膜下滴灌对玉米产量与氮素利用的影响

谭 华, 郑德波, 邹成林, 韦新兴, 黄爱花, 吴永升,

蒋维萍, 韦 慧, 莫润秀, 黄开健

(广西农业科学院玉米研究所, 广西南宁 530007)

摘要: 为探讨水肥一体滴灌对玉米产量与氮素利用的影响, 以玉米杂交种‘桂单 688’为材料, 列区设计, 设 4 个灌水量(A1, A2, A3, A4)和 4 个施肥水平(B1, B2, B3, B4)进行田间试验。结果表明, 灌水量由 A4(1237.5 m³·hm⁻²) 提高到 A1(2 250 m³·hm⁻²)时, 玉米产量由 7 682.2 kg·hm⁻²提高到 8 640.7 kg·hm⁻², A1 灌水量(2 250 m³·hm⁻²)与 B2 施肥水平(纯 N 191.25 kg·hm⁻²、P₂O₅ 76.5 kg·hm⁻²和 K₂O 153.0 kg·hm⁻²)组合可获玉米产量 9016.9 kg·hm⁻², 是最优水、肥配合选择。随着灌水量由 A4 提高到 A1, 玉米籽粒蛋白质由 9.01% 提高到 9.92%; 同一灌水量下, 玉米籽粒蛋白质含量 B1 > B2 > B3 > B4; 随灌水量增加, 氮素利用率、氮素农学效率、氮素生理效率均有所增加, 随施氮量增加氮素利用率、氮素农学效率、氮素生理效率均有所降低, 同一施肥水平随密度增加氮吸收利用率、氮农学效率、氮生理效率均有所提高。合理的水肥协同优化组合可以提高水分、养分利用效率, 是提高产量的关键。

关键词: 玉米; 膜下滴灌; 水肥一体; 产量; 籽粒蛋白质含量; 氮素利用

中图分类号: S275.6; S513 **文献标志码:** A

Effect of drip irrigation and fertilization on grain yield and nitrogen utilization of maize

TAN Hua, ZHENG De-bo, ZOU Cheng-lin, WEI Xin-xing, HUANG Ai-hua, WU Yong-sheng,

JIANG Wei-ping, WEI hui, MO Run-xiu, HUANG Kai-jian

(Maize research institute, Guangxi academic of agriculture science, Nanning, Guangxi 530007, China)

Abstract: Field experiments were conducted to evaluate the effect of drip irrigation and fertilization on yield and nitrogen utilization of a maize hybrid Guidan 688 with a split plot design of four irrigation treatments (A1, A2, A3, and A4) and four fertilizer levels (B1, B2, B3, and B4). The results showed that maize yield ranged from 7 682.2 kg·hm⁻² (A4, 1 237.5 m³·hm⁻²) to 8 640.7 kg·hm⁻² (A1, 2 250 m³·hm⁻²). The combination of A1 and B2 (191.25 kg N·hm⁻², 76.5 kg P₂O₅·hm⁻², 153.0 kg K₂O·hm⁻²) obtained the highest yield (9 016.9 kg·hm⁻²). Protein content of maize kernel ranged from 9.01% to 9.92% across the four nitrogen treatments, with an order of B1 > B2 > B3 > B4 under the same irrigation amount. Nitrogen use efficiency, nitrogen agronomy efficiency and nitrogen physiological efficiency increased as the irrigation amount increased, while decreased as the fertilizer rate increased. In addition, plant density showed beneficial effect on nitrogen use. In summary, right combination of irrigation and fertilizer could improve water and nutrient use efficiency and grain yield as well.

Keywords: maize; drip irrigation under film; integration of irrigation and fertilization; yield; kernel protein content; nitrogen utilization

水、肥是制约干旱、半干旱地区农业生产的主要因素, 适宜的水分条件与合理的养分供应是作物获得丰产的基础^[1]。我国西南地区耕地干旱、半干旱

面积大, 土壤薄瘠、蓄水保肥能力差, 年降水量集中, 区域性干旱或季节性干旱等使水、肥要素成为制约玉米生产的重要因素, 为此探讨如何提高水、肥利用、节

收稿日期: 2014-04-28

基金项目: 国家支撑计划子课题“广西玉米抗旱关键技术集成与示范”(2012BAD40B04-2); 现代农业产业技术体系广西创新团队建设专项(nycytgxctd-07-B)

作者简介: 谭 华(1959—), 男, 广西贵港人, 研究员, 主要从事玉米遗传育种及高产优化栽培技术研究。E-mail: tanhua19881206@126.com。

通信作者: 黄开健(1963—), 男, 广西灵山人, 研究员, 主要从事玉米遗传育种及科研管理。E-mail: hkjian@gxass.net。

水省肥的栽培技术是玉米生产所需解决的问题。

水肥一体滴灌是借助压力系统,将可溶性肥料溶于灌溉水,把水和肥输送到作物根际附近土壤,提供作物吸收利用以提高肥、水利用率。在干旱、半干旱地区玉米获得高产的水分供给与肥料供应关系密切,肥料的增产作用需要适宜水分,水分的作用效应与肥料供给相关,合理的水肥供应更是抗旱保收的需要^[1]。水肥一体滴灌施肥影响肥料施用后养分在土壤中的分布,同时也对作物根系的生长和分布造成影响,进而影响作物对养分的吸收和利用^[2],将肥料施于根区,能减少水分的损耗和养分的淋失^[3],可以促进肥料转化及吸收,提高肥料利用率,也可以调节水分利用,提高水分利用率^[4]。水肥一体滴灌能不同程度提高玉米根系活力、叶绿素含量、叶片硝酸还原酶活性和作物叶片的水分利用效率,增加作物对养分吸收和干物质累积^[5],促进木薯块根生长发育和生理代谢^[6],促进烤烟生长发育^[7]和生姜地下根茎膨大^[8],在增加甘蔗蔗茎长度、单茎增重方面优于常规施肥,是提高产量、优化肥料施用、改善品质的有效措施^[9]。本试验将水肥一体滴灌应用于旱作玉米,探讨水肥因子对玉米产量及氮素利用的作用效应,以期旱作玉米高产节水省肥、优化水肥管理栽培技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试品种为杂交玉米‘桂单 688’,试验于 2013 年在国家玉米改良中心南宁分中心试验基地(东经 107°19′,北纬 22°12′,海拔 105 m)进行,供试土壤为沙壤土,耕层土壤有机质 1.96%,全氮 0.196%,全磷 0.058%,全钾 0.396%,碱解氮 53.5 mg·kg⁻¹,速效磷(P₂O₅) 17.9 mg·kg⁻¹,速效钾(K₂O) 125.0 mg·kg⁻¹,pH 7.5。

1.2 试验设置

试验裂区设计,设主处理 4 个灌水量 A1、A2、A3 和 A4,副处理 4 个施肥水平 B1、B2、B3 和 B4,设最高灌水量 2 250 mm·hm⁻²,最高施肥量纯 N 225.0 kg·hm⁻²、P₂O₅ 90.0 kg·hm⁻²、K₂O 180.0 kg·hm⁻²,各处理以 15% 递减,试验密度为 52500 株·hm⁻²,3 次重复,6 行区,行长 10 m,小区 42 m²,以最高灌水量设 CK1(不施肥)和 CK2(B2 施肥水平)为参考对照。试验处理方案如下表 1。

试验小区田间排列如表 2,周围设置 4~5 m 保护行。

表 1 试验处理方案表

Table 1 Treatments in the experiments

序号 Code	处理 Treatment	N /(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)	K ₂ O /(kg·hm ⁻²)	灌水量 Irrigation amount /(m ³ ·hm ⁻²)
1	CK1	0.0	0	0	2250.0
2	CK2	191.25	76.5	153.0	2250.0
3	A1B1	225.00	90.0	180.0	2250.0
4	A1B2	191.25	76.5	153.0	2250.0
5	A1B3	157.50	63.0	126.0	2250.0
6	A1B4	123.75	49.5	99.0	2250.0
7	A2B1	225.00	90.0	180.0	1912.5
8	A2B2	191.25	76.5	153.0	1912.5
9	A2B3	157.50	63.0	126.0	1912.5
10	A2B4	123.75	49.5	99.0	1912.5
11	A3B1	225.00	90.0	180.0	1575.0
12	A3B2	191.25	76.5	153.0	1575.0
13	A3B3	157.50	63.0	126.0	1575.0
14	A3B4	123.75	49.5	99.0	1575.0
15	A4B1	225.00	90.0	180.0	1237.5
16	A4B2	191.25	76.5	153.0	1237.5
17	A4B3	157.50	63.0	126.0	1237.5
18	A4B4	123.75	49.5	99.0	1237.5

表 2 试验小区田间排列图

Table 2 Arrangement of experimental plots in the field

CK2	CK1	A3B1	A3B2	A3B3	A3B4	A2B1	A2B2	A2B3	A2B4	A4B1	A4B2	A4B3	A4B4	A1B1	A1B2	A1B3	A1B4
A4B1	A4B2	A4B3	A4B4	A2B1	A2B2	A2B3	A2B4	A3B1	A3B2	A3B3	A3B4	A1B1	A1B2	A1B3	A1B4	CK1	CK2
CK1	CK2	A1B1	A1B2	A1B3	A1B4	A2B1	A2B2	A2B3	A2B4	A3B1	A3B2	A3B3	A3B4	A4B1	A4B2	A4B3	A4B4

1.3 试验方法

所有施肥处理所施磷肥全部作基肥施用;CK2 施肥处理氮肥 20% 作基肥,80% 作追肥(苗肥:拔节肥:穗肥为 10%:20%:50%),钾肥 30% 作基肥,

70% 作追肥(苗肥:拔节肥:穗肥为 20%:30%:20%);水肥一体施肥处理氮和钾肥为苗肥:拔节肥:穗肥:粒肥分别为 10%:30%:55%:5% 和 20%:35%:45%:0% 通过滴灌施用,试验期间降水量为 355.5

mm。

玉米播种后每行玉米布一条滴灌管,喷除草剂封闭后地膜覆盖,各小区独立进水管,通过压力管计算灌水量。

1.4 数据采集与计算

成熟后收中间 2 行晾晒到至水分 14% 计产;各小区取样 5 株,105℃ 杀青后 80℃ 烘干至恒重,计生物产量,提供检测籽粒蛋白质(蛋白质含量 = 全氮 × 6.25)和植株含氮量;

植株全氮含量测定,烘干样品粉碎后用浓 $H_2SO_4 - H_2O_2$ 消煮,采用凯氏定氮法测定;

氮素利用效率 = (施氮处理植株吸氮量 - 非施氮区对照植株吸氮量) / 施氮量 × 100%

氮素农学效率 = (施氮处理产量 - 无氮区对照产量) / 施氮量

氮素生理效率 = (施氮处理产量 - 无氮区对照产量) / (施氮处理植株吸氮量 - 无氮区植株吸氮量)

用 Excel 2007 和 DPS7.55 对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 灌水量及施肥量对玉米籽粒产量的影响

方差分析表明不同灌水量之间、同一灌水量不同施肥量之间玉米产量差异达到显著水平,灌水量与不同施肥量互作(A × B)产生正效应而差异未达显著水平。

统计表明不同灌水量玉米籽粒产量 A1(8 640.7 $kg \cdot hm^{-2}$) > A2(8 479.0 $kg \cdot hm^{-2}$) > A3 (7 995.1 $kg \cdot hm^{-2}$) > A4 (7 682.2 $kg \cdot hm^{-2}$), A1、A2、A3 比 A4 增产达显著水平,A1、A2 比 A3 增产达显著水平,A1 与 A2 产量差异未达显著水平。

在同一灌水量下,不同施肥量玉米籽粒产量 B2(8 562.9 $kg \cdot hm^{-2}$) > B1 (8 207.7 $kg \cdot hm^{-2}$) > B3 (8 092.6 $kg \cdot hm^{-2}$) > B4(7 933.9 $kg \cdot hm^{-2}$), B2 比 B1、B3、B4 增产达显著水平,B1 比 B3、B4 增产达显著水平,B3 比 B4 增产达显著水平(表 3)。

上述分析表明,不同灌水量对玉米产量作用效应差异显著,在试验条件下玉米籽粒产量随灌水量增加而提高,由 A4 灌水量(1 237.5 $m^3 \cdot hm^{-2}$)提高到 A1 灌水量(2 250.0 $m^3 \cdot hm^{-2}$),玉米产量由 7 682.2 $kg \cdot hm^{-2}$ 提高到 8 640.7 $kg \cdot hm^{-2}$,灌溉水对提高玉米产量具有重要作用;在同一灌水量中不同施肥量产量差异显著,B2(8 562.9 $kg \cdot hm^{-2}$)比 B1 (8 207.7 $kg \cdot hm^{-2}$)、B3 (8 092.6 $kg \cdot hm^{-2}$)、B4

(7 933.9 $kg \cdot hm^{-2}$)增产达显著水平,可见适宜的施肥量能获得较高的产量。

表 3 不同水、肥施肥处理玉米产量

Table 3 The yield of maize under different water and fertilizer treatments

主处理 Main treatment		副处理 Assistant treatment	
灌水量 Irrigation amount	籽粒产量 Grain yield /($kg \cdot hm^{-2}$)	施肥水平 Fertilization level	籽粒产量 Grain yield /($kg \cdot hm^{-2}$)
A1	8640.7a	B1	8207.7b
A2	8479.0a	B2	8562.9a
A3	7995.1b	B3	8092.6c
A4	7682.2c	B4	7933.9d

注: ** 表示同一列不同字母为 5% 差异显著。

Note: ** different letters mean significance at $P < 0.05$ level in the same column. The same as below.

2.2 水肥一体膜下滴灌对玉米籽粒产量的影响

不同水肥条件下玉米产量各处理间差异显著。水肥一体滴灌及常规施肥处理玉米产量在 7 411.8 ~ 9 016.9 $kg \cdot hm^{-2}$, 比 CK1 无肥区处理(5 913.3 $kg \cdot hm^{-2}$)增产 25.3% ~ 52.5%, 体现出水肥一体滴灌及常规施肥对提高玉米产量都有增产作用;与常规施肥处理 CK2 相比,水肥一体滴灌处理有 8 个处理比 CK2 增产,其中 A1B2(9 016.9 $kg \cdot hm^{-2}$)、A2B2(8 854.2 $kg \cdot hm^{-2}$)和 A1B1(8 646.9 $kg \cdot hm^{-2}$)等 3 个处理比常规施肥 CK2(8 269.5 $kg \cdot hm^{-2}$)增产 4.6% ~ 9.0%, 体现出适宜的水、肥组合下水肥一体滴灌增产作用优于常规施肥。

在同一灌水量条件下,玉米产量随着不同施肥水平不同而存在差异。在 A1 灌水量中,B2(9 016.9 $kg \cdot hm^{-2}$) > B1 (8 646.6 $kg \cdot hm^{-2}$) > B3 (8 506.1 $kg \cdot hm^{-2}$) > B4(8 393.8 $kg \cdot hm^{-2}$), B2 比 B1、B3、B4, B1 比 B3、B4, B3 比 B4 增产达显著水平;在 A2 灌水量中,B2(8 854.2 $kg \cdot hm^{-2}$) > B1(8 448.1 $kg \cdot hm^{-2}$) > B3(8 367.8 $kg \cdot hm^{-2}$) > B4(8 245.9 $kg \cdot hm^{-2}$), B2 比 B1、B3、B4, B1、B3 比 B4 增产达显著水平, B1 与 B3 之间产量差异未达显著水平;在 A3 灌水量中,B2 (8 378.9 $kg \cdot hm^{-2}$) > B1 (8 026.8 $kg \cdot hm^{-2}$) > B3 (7 890.6 $kg \cdot hm^{-2}$) > B4(7 684.0 $kg \cdot hm^{-2}$), B2 比 B1、B3、B4, B1、B3 比 B4 增产达显著水平, B1 与 B3 之间产量差异未达显著水平;在 A4 灌水量中, B2 (8 001.5 $kg \cdot hm^{-2}$) > B1 (7 709.2 $kg \cdot hm^{-2}$) > B3 (7 606.1 $kg \cdot hm^{-2}$) > B4(7 411.8 $kg \cdot hm^{-2}$), B2 比 B1、B3、B4, B1、B3 比 B4 增产达显著水平, B1 与 B3 之间产量差异未达显著水平(表 4)。

表4 不同水、肥处理玉米产量及蛋白质含量

Table 4 The yield and protein content of maize under different water and fertilizer treatments

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	籽粒产量 比 CK1/% Compared with CK1	籽粒产量 比 CK2/% Compared with CK2	蛋白质/% Protein	蛋白质 比 CK1/% Compared with CK1	蛋白质 比 CK2/% Compared with CK2
CK1	5913.3		-28.5	8.22		
CK2	8269.5	39.8	0.0	9.55	16.18	
A1B1	8646.6bc	46.2	4.6	9.99	21.53	4.61
A1B2	9016.9a	52.5	9.0	9.94	20.92	4.08
A1B3	8506.1cd	43.8	2.9	9.88	20.19	3.46
A1B4	8393.8cd	41.9	1.5	9.87	20.07	3.35
A2B1	8448.1cd	42.9	2.2	9.99	21.53	4.61
A2B2	8854.2ab	49.7	7.1	9.92	20.68	3.87
A2B3	8367.8cd	41.5	1.2	9.86	19.95	3.25
A2B4	8245.9de	39.4	-0.3	9.82	19.46	2.83
A3B1	8026.8ef	35.7	-2.9	9.99	21.53	4.61
A3B2	8378.9cd	41.7	1.3	9.86	19.95	3.25
A3B3	7890.6fg	33.4	-4.6	9.65	17.40	1.05
A3B4	7684.0gh	29.9	-7.1	9.56	16.30	0.10
A4B1	7709.2fghi	30.4	-6.8	9.05	10.10	-5.24
A4B2	8001.5efg	35.3	-3.2	9.03	9.85	-5.45
A4B3	7606.1hi	28.6	-8.0	8.99	9.37	-5.86
A4B4	7411.8ij	25.3	-10.4	8.95	8.88	-6.28

试验结果表明,无论何种灌水量,不同施肥水平下随着施肥量增加籽粒产量呈现由低→高→低变化,表明施肥水平过高也会导致增产效果降低,选择适宜的施肥水平可以提高肥料利用率,获得较高玉米产量。

2.3 水肥一体膜下滴灌对玉米籽粒蛋白质的影响

不同灌水量制约玉米籽粒蛋白质合成,施肥可以改善玉米的营养成分,提高玉米籽粒中蛋白质含量。统计发现不同灌水量籽粒蛋白质 A1(9.92%) > A2(9.90%) > A3(9.77%) > A4(9.01%);当灌水量由 A4(1 237.5 m³·hm⁻²)提高到 A1(2 250.0 m³·hm⁻²),玉米籽粒蛋白质由 9.01%提高到 9.92%,提高了 10.01%。

不同施肥处理玉米籽粒蛋白质含量在 8.95%~9.99%,比无肥区 CK1 籽粒蛋白质含量(8.22%)提高 8.88%~21.53%,水肥一体滴灌有 12 个处理籽粒蛋白质含量比常规施肥处理 CK2(9.55%)有不同程度的提高,提高幅度 0.1%~4.61%,有 4 个处理比 CK2 有不同程度的下降,下降幅度 5.24%~6.28%;施肥水平籽粒蛋白质 B1(9.76%) > B2(9.69%) > B3(9.59%) > B4(9.55%),见表 4。

以上结果表明:不同灌水量制约玉米籽粒蛋白质合成,试验条件下随灌水量增加更有利于玉米蛋白质的合成而提高籽粒蛋白质含量;同一灌水量随施肥量增加玉米籽粒蛋白质含量提高。

2.4 主处理因素(A因素)及副处理因素(B因素)对生物产量的影响

不同灌水量对玉米生物产量产生显著的作用效应。统计表明,生物产量 A1(21 602.6 kg·hm⁻²) > A2(21 355.9 kg·hm⁻²) > A3(20 100.6 kg·hm⁻²) > A4(19 291.9 kg·hm⁻²),A1、A2 比 A3、A4 产量提高达显著水平,A3 比 A4 产量提高达显著水平,A1 与 A2 之间产量差异未达显著水平。

同一灌水量生物产量随施肥水平提高而提高。在同一灌水量生物产量 B1(21 005.4 kg·hm⁻²) > B2(20 952.4 kg·hm⁻²) > B3(20 438.5 kg·hm⁻²) > B4(1 955.0 kg·hm⁻²),B1 与 B2 差异不显著,B1、B2 比 B3、B4 增产达显著水平,B3 比 B4 增产达显著水平(表 5)。

表明不同灌水量、同一灌水量不同施肥水平对生物产量都有显著的作用效应,随灌水量增加或施肥水平提高生物产量在提高,灌溉水及施肥对提高玉米生物产量具有重要增产作用。

2.5 水肥一体滴灌对氮利用效率的影响

不同水肥处理对玉米氮利用效率带来不同的影响。水肥一体滴灌各处理生物产量变幅在 18 705.4~22 237.7 kg·hm⁻²,与常规施肥处理 CK2(2 054.0 kg·hm⁻²)相比,其中有 9 个组合增产 0.5%~8.3%,有 7 个组合比常规施肥处理 CK2 减产 0.1%~8.9%。

表 5 不同水、肥处理平均生物产量

Table 5 The average biomass under different water and fertilizer treatments

主处理 Main treatment		副处理 Assistant treatment	
灌水量 Irrigation amount	籽粒 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	施肥水平 Fertilization level	籽粒 Grain yield /(kg·hm ⁻²)
A1	21602.6a	B1	21005.4a
A2	21355.9b	B2	20952.4a
A3	20100.6c	B3	20438.5b
A4	19291.9d	B4	19955.0c

在 A1 灌水量条件,不同施肥水平生物产量在 20 925.0 ~ 22 237.7 kg·hm⁻²,植株吸收纯氮量 148.5 ~ 170.4 kg·hm⁻²,氮利用率在 40.8% ~ 56.5%,施入单位氮肥所能增加玉米产量的氮农学效率,亦即

施公斤纯氮获得玉米产量为 12.1 ~ 20.0 kg,作物将所吸收单位氮素转化为经济产量能力的氮素生理效率为 29.7 ~ 36.0 kg;在 A2 灌水量条件下,不同施肥水平生物产量在 20 906.8 ~ 21 969.2 kg·hm⁻²,植株吸收纯氮量 135.2 ~ 168.3 kg·hm⁻²,氮利用率在 39.9% ~ 45.8%,氮农学效率为 11.3 ~ 18.8 kg,氮素生理效率为 28.2 ~ 41.2 kg;在 A3 灌水量条件,不同施肥水平生物产量在 19 282.9 ~ 20 516.0 kg·hm⁻²,植株吸收纯氮量 127.0 ~ 157.8 kg·hm⁻²,氮利用率在 35.2% ~ 39.2%,氮农学效率为 9.4 ~ 14.3 kg,氮素生理效率为 26.7 ~ 36.5 kg;在 A4 灌水量条件,不同施肥水平生物产量在 18 705.4 ~ 19 298.6 kg·hm⁻²,植株吸收纯氮量 143.8 ~ 112.1 kg·hm⁻²,氮利用率在 29.0% ~ 27.2%,氮农学效率为 8.0 ~ 12.1 kg,氮素生理效率为 27.5 ~ 44.5 kg(表 6)。

表 6 不同水、肥处理对玉米 N 利用效率的影响

Table 6 The effect of different water and fertilizer treatments on nitrogen utilization efficiency

处理 Treatment	生物产量 Biomass /(kg·hm ⁻²)	比 CK2 Compared with CK2 /%	植株含 N Nitrogen content of maize/%	植株吸 N 量 N uptake of maize /(kg·hm ⁻²)	N 利用率 Nitrogen utilization efficiency/%	N 农学效率 Nitrogen agronomic efficiency /(kg·kg ⁻¹)	N 生理效率 Nitrogen physiological efficiency /(kg·kg ⁻¹)
CK1	14694.0	-28.5	0.5339	78.5			
CK2	20540.5	—	0.7121	146.3	35.4	12.3	34.8
A1B1	22237.7a	8.3	0.7662	170.4	40.8	12.1	29.7
A1B2	21787.3abc	6.1	0.7565	164.8	45.1	16.2	36.0
A1B3	21460.5cd	4.5	0.7225	155.1	48.6	16.5	33.9
A1B4	20925.0ef	1.9	0.7095	148.5	56.5	20.0	35.5
A2B1	21969.2ab	7.0	0.7663	168.3	39.9	11.3	28.2
A2B2	21522.4bcd	4.8	0.7325	157.7	41.4	15.4	37.2
A2B3	21025.3de	2.4	0.6885	144.8	42.1	15.6	37.0
A2B4	20906.8ef	1.8	0.6465	135.2	45.8	18.8	41.2
A3B1	20516.0f	-0.1	0.7691	157.8	35.2	9.4	26.7
A3B2	20647.6ef	0.5	0.7342	151.6	38.2	12.9	33.7
A3B3	19956.0g	-2.8	0.6645	132.6	34.4	12.6	36.5
A3B4	19282.9h	-6.1	0.6588	127.0	39.2	14.3	36.5
A4B1	19298.6h	-6.0	0.7452	143.8	29.0	8.0	27.5
A4B2	19852.0g	-3.4	0.6692	132.8	28.4	10.9	38.4
A4B3	19311.6h	-6.0	0.6456	124.7	29.3	10.7	36.7
A4B4	18705.4i	-8.9	0.5995	112.1	27.2	12.1	44.5

从分析比较可见,随灌水量增加氮素利用率、氮素农学效率、氮素生理效率均有所增加,随施氮量增加氮素利用率、氮素农学效率、氮素生理效率均有所降低,同一施肥水平随密度增加氮吸收利用率、氮农学效率、氮生理效率均有所提高,可通过适宜的种植密度较好发挥氮素的作用效率。

3 讨论与结论

3.1 水肥一体滴灌对玉米产量的影响

施肥的增产效果与土壤水分状况密切相关,水

分不足影响肥料养分的扩散和质流,制约植株对养分的截获吸收利用;施肥能促进作物根系生长发育,扩大根系汲取水分和养分的土壤空间,提高水分利用效率,合理的水、肥协同作用能达到水分和养分的高效利用,因而水分和养分用量的优化组合既是提高水分利用率、养分利用率的关键,同时也是提高产量的关键^[1,5,10]。

本试验显示:灌水量由 A4(1237.5 m³·hm⁻²)提高到 A1(2 250.0 m³·hm⁻²),玉米产量由 7 682.2 kg·hm⁻²提高到 8 640.7 kg·hm⁻²,在同一灌水量中,B2

施肥量比 B1、B3、B4 增产达显著水平, A1 灌水量与 B2 施肥量配合获得最高玉米产量 $9\ 016.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 与前人的研究结果一致^[4]。

3.2 水肥一体膜下滴灌对玉米籽粒蛋白质的影响

水肥因子对玉米籽粒全氮的含量有明显的影 响, 水分促进植株旺盛生长而有利于从土壤中吸收氮素养分, 提高植株与籽粒氮含量, 进而增加籽粒的蛋白质含量^[11-12]。在覆膜和露地栽培施用氮肥可以分别提高玉米籽粒蛋白质 $0.63\% \sim 0.87\%$ 、 $0.71\% \sim 0.75\%$ ^[13], 本试验表明不同灌水量制约玉米籽粒蛋白质合成。当灌水量由 A4 ($1\ 237.5\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$) 提高到 A1 ($2\ 250.0\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$), 玉米籽粒蛋白质由 9.01% 提高到 9.92% , 提高了 10.01% ; 同一灌水量随施肥量增加可以提高玉米籽粒蛋白质含量, 施肥水平籽粒蛋白质 B1 (9.76%) > B2 (9.69%) > B3 (9.59%) > B4 (9.55%), 其原因在于施氮能够增加土壤中碱解氮供应浓度, 促进植株根系的生长发育, 有利于植株对氮素养分的吸收、转化向籽粒输送, 增加灌浆中后期籽粒氮素含量而促进蛋白质合成, 提高蛋白质含量, 因而随灌水量增加更有利于玉米蛋白质的合成而提高籽粒蛋白质含量。笔者认为合理的水肥管理可提高玉米籽粒的营养成分, 与一些学者的报道吻合^[21-22]。

3.3 水肥一体滴灌对氮利用效率的影响

水肥一体滴灌相对于大水漫灌改善了土壤通透性, 提高养分利用效率, 与传统大水漫灌施肥栽培模式相比, 降低了硝酸盐淋失至 $90\ \text{cm}$ 以下土体的潜在风险^[14]。本试验分析比较表明, 水肥一体滴灌随灌水量增加氮素利用率、氮素农学效率、氮素生理效率均有所增加, 随施氮量增加氮素利用率、氮素农学效率、氮素生理效率均有所降低, 同一施肥水平随密度增加氮吸收利用率、氮农学效率、氮生理效率均有所提高, 可通过调节适宜的种植密度可以较好发挥氮素的作用效率, 降低对环境污染, 与前人的研究结果相一致^[15-19]。

近年来, 随着节水灌溉技术的发展, 与之相结合的水肥一体化灌溉施肥技术应用也越来越广泛, 为解决传统施肥不能很好协同作物氮素供求不同步的矛盾提供了便利, 但目前如何利用灌溉施肥的养分供应与作物需求同步尚有待深入研究, 如何充分挖掘水肥耦合的最大效应作用也有待进一步深入研究。

参 考 文 献:

- [1] 高亚军, 李生秀, 田霄鸿, 等. 不同供肥条件下水分分配对旱地玉米产量的影响[J]. 作物学报, 2006, 132(13): 415-422.
- [2] 侯振安, 李品芳, 龚 江, 等. 不同滴灌施肥策略对棉花氮素吸收和氮肥利用率的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(4): 702-708.
- [3] 李伏生, 陆申年. 灌溉施肥的研究和应用[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 233-240.
- [4] 孙文涛, 孙占祥, 王聪翔, 等. 滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(3): 563-568.
- [5] 习金根, 汤海军, 周建斌. 不同灌溉施氮方式夏玉米生长效应[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 68-73.
- [6] 蒋建华, 关意昭. 水肥耦合效应对木薯产量的影响[J]. 广东农业科学, 2012, (11): 75-76, 79.
- [7] 刘 毅, 申昌优, 肖先仪, 等. 水肥耦合对旱地烟生长、产量、品质及肥料利用率的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(6): 100-102.
- [8] 刘虎成, 石 健, 徐 坤. 水肥一体化对生姜生长及叶片 CO_2 、 H_2O 交换特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 200-205.
- [9] 陆树华, 张承林, 邓兰生, 等. 滴灌施肥条件下氮钾分配时期对甘蔗产量和品质的影响[J]. 节水灌溉, 2009, (4): 22-25.
- [10] 温利利, 李淑文, 李秀芳, 等. 水肥耦合效应对平原区夏玉米产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(3): 481-484, 489.
- [11] 曲 威, 刘作新, 张法升, 等. 水肥耦合对玉米籽粒全氮含量的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(9): 1749-1753.
- [12] 王宏庭, 赵萍萍, 郭军玲, 等. 不同施氮运筹对夏玉米产量、净收益及氮肥利用率的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(10): 30-33, 47.
- [13] 李建奇, 黄高宝, 牛俊义. 氮磷营养对覆膜春玉米产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 62-66.
- [14] 樊兆博, 刘美菊, 张晓曼, 等. 滴灌施肥对设施番茄产量和氮素表现平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 970-976.
- [15] 吕丽华, 陶洪斌, 王 璞, 等. 施氮量对夏玉米碳、氮代谢和氮利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 630-637.
- [16] 夏来坤, 陶洪斌, 许学彬, 等. 不同施氮时期对夏玉米干物质积累及氮肥利用的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 138-140, 144.
- [17] 石岳峰, 张 民, 张志华, 等. 不同类型氮肥对夏玉米产量、氮肥利用率及土壤氮素表现盈亏的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 95-98.
- [18] 易镇邪, 王 璞, 刘 明, 等. 不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表现盈亏[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 63-67.
- [19] 宋桂云, 徐正进, 贺 梅, 等. 氮肥对水稻氮素吸收及利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007, (4): 44-48.
- [20] 李建奇. 氮、磷营养对黄土高原旱地玉米产量、品质的影响机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1042-1047.
- [21] 宋尚有, 王 勇, 樊廷录, 等. 氮素营养对黄土高原旱地玉米产量、品质及水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 387-392.