

# 氮肥与水分互作对黑龙江半干旱区玉米 氮积累和产量的影响

张兴梅, 周攒义, 殷奎德, 孙跃春, 李佐同

(黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:** 采用水、氮两因素四水平试验设计方法, 研究了不同水氮组合对黑龙江半干旱区覆膜玉米氮积累和产量的影响。结果表明: 在灌浆期、成熟期玉米叶片、茎秆、籽粒氮积累量和产量 W1N3 处理(灌水量  $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮量  $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )最高; 随着施氮量的增加, 玉米叶片、茎秆、籽粒氮积累量和产量增加, 随着灌水量的增加, 玉米叶片、茎秆、籽粒氮积累量和产量呈现降低趋势。从玉米灌浆期、成熟期各项指标来看, W1N3 处理表现最好, 产量高达  $17\,633.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 从经济效益来看, W1N1 处理(灌水量  $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮量  $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )产量为  $17\,498.82 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 经济效益最高, 该处理为当地节水节肥最佳水氮组合。

**关键词:** 玉米; 半干旱区; 水氮互作; 氮积累; 产量

**中图分类号:** S513 **文献标志码:** A

## Effect of interaction between nitrogen and water on maize nitrogen accumulation and yield in semi-arid region of Heilongjiang Province

ZHANG Xing-mei, ZHOU Zan-yi, YIN Kui-de, SUN Yue-chun, LI Zuo-tong

(Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

**Abstract:** The method of experimental design on water and nitrogen, two factors and four levels was adopted, to investigate the different combinations of water and nitrogen on nitrogen accumulation and yield of plastic mulching maize in semi-arid region of Heilongjiang Province. The results showed that the nitrogen accumulations in maize leaves, stalks and grains and the yield with W1N3 treatment ( $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  of irrigation amount;  $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of nitrogen) were the highest during the filling and mature stage. However, with the increase of irrigation water, the nitrogen accumulations in maize leaves, stalks and grains and the yield of maize showed a decreasing trend. The changes of various indexes on maize during the filling and mature stages implied that W1N3 treatment was the best, and that the yield of maize by W1N3 treatment reached up to  $17\,633.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ . In addition, W1N1 ( $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  of irrigation amount;  $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of nitrogen) treatment, by which the yield of maize was  $17\,498.82 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , had the best economic benefit and was the best combination of water and nitrogen for water saving and fertilizer conservation in the semi-arid region.

**Keywords:** maize; semi-arid region; interaction between water and nitrogen; accumulation of nitrogen; yield

玉米是我国重要的粮食作物,其产量高低直接影响国家粮食安全和玉米产业的发展,实现玉米高产是提高玉米总产量、保障粮食安全的重要途径<sup>[1]</sup>。东北地区玉米年产量占全国玉米产量的 35% 以上,对国家粮食安全起着支撑作用<sup>[2]</sup>,黑龙江省是玉米栽培面积较大的省份。水和肥是影响玉米生长的重要因素,是旱区农业生产的重要物质资源。然而黑龙江省西部半干旱地区水资源缺乏,年降雨量相对

较少且时间、空间上分布不均匀;黑龙江省大部分地区还存在严重的养分失衡、比例不当、施肥技术落后、肥料利用效率低等突出问题。因此水和肥是限制黑龙江玉米产量的两大因子。在水资源有限的条件下,旱地农业生产的关键是水、肥的合理配合,肥料的增产作用不仅在于肥料本身,更重要的还在于与土壤水分的互作<sup>[3]</sup>。许多人在玉米水肥方面进行了研究:刘洋等<sup>[4]</sup>研究表明,东北黑土区膜下滴灌玉

收稿日期: 2015-09-20

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAD07B01-05)

作者简介: 张兴梅(1963—),女,山东齐河人,教授,主要从事作物营养与施肥研究。E-mail: zxmnd@163.com。

通信作者: 李佐同(1962—),男,黑龙江海伦人,教授,博士生导师,主要从事作物栽培学研究。E-mail: lxg6401999@163.com。

米采用 3 次施氮、施氮量  $150 \sim 200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的施氮管理模式较为适宜。仲爽等<sup>[5]</sup>认为,水分、氮肥对产量在一定范围内具有明显的正效应,二者还有显著的耦合效应。栗丽等<sup>[6]</sup>试验表明,水氮处理灌溉量  $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的土壤硝态氮残留量表现损失量较低,夏玉米籽粒氮肥回收效率和农学效率较高。多数研究偏重水、氮等单因子效应,水氮互作对作物产量和土壤硝态氮变化和水分利用的研究,研究区域水分条件一般较好,而对半干旱地区玉米水氮互作效应及对氮营养的利用研究尚少。本试验采用水肥一体化的施肥模式,对黑龙江半干旱地区氮肥与水分互作对覆膜玉米氮积累和产量的影响进行了研究,提出了提高玉米氮积累和产量的最佳灌水量和施氮量及施肥灌溉模式,旨在水资源不足条件下,通过合理的水肥互作,节水节肥,增产增效,为黑龙江西部半干旱地区灌溉和施肥制度的制定提供重要依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验地点设在黑龙江省肇州县水务局水利科学研究所园区内(黑龙江省肇州县肇州镇)。该园区位于东经  $125^{\circ}14'$ ,北纬  $45^{\circ}42'$ ,海拔  $150 \text{ m}$ ,无霜期  $143 \text{ d}$ ,年均降雨量  $456 \text{ mm}$ ,年均蒸发量  $1365 \text{ mm}$ 。全年日照时数  $2899.4 \text{ h}$ ,年均活动积温  $2800.0^{\circ}\text{C}$ ,属于典型的大陆性温带半干旱气候。供试土壤为黑钙土。土壤有机质  $22.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮(N)  $147.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效磷(P)  $26.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾(K)  $124.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,pH 值为  $7.28$ 。玉米品种为龙育 3 号,前茬作物为玉米。

### 1.2 试验方法

采用田间小区试验,每小区 3 垄,垄长  $10 \text{ m}$ ,行距  $0.65 \text{ m}$ ,株距  $0.24 \text{ m}$ ,垄距  $1.3 \text{ m}$ ,小区面积为  $52 \text{ m}^2$ ,种植密度为  $64110 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,试验采用大垄双行栽培,小区之间有两行玉米作保护行,防止水分侧渗。播种前对试验地进行旋耕、耙平、划区、起垄和施基肥等作业,旋耕深度  $30 \text{ cm}$  左右。播种后先进行封闭灭草,后同时铺设滴灌带和覆膜,滴灌带铺设在大垄中间,每条滴灌带滴灌两行玉米。试验采用两因素四水平试验设计,设施氮量和灌水量两个因素,施氮量设 4 个水平,分别为  $\text{N0}$ (施氮量为  $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、 $\text{N1}$ ( $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、 $\text{N2}$ ( $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),此用量为当地常规用量)、 $\text{N3}$ ( $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。灌水量设 4 个水平,分别为  $\text{W0}$ (灌水量为  $0 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )、 $\text{W1}$ ( $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )、 $\text{W2}$ ( $673.08 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )、 $\text{W3}$

( $992.31 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )。试验共 16 个处理,3 次重复,随机区组设计。 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  用量分别为  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。供试肥料氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。玉米氮肥二分之一作为基肥,二分之一在大喇叭口时期进行追肥,利用施肥罐通过膜下滴灌施入土壤。2014 年 5 月 3 日播种,7 月 3 日滴灌追肥,各处理灌水量相同,均为  $64 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。8 月份降雨偏少,出现了干旱趋势,通过田间取样,测定土壤含水量为田间持水量的  $50\% \sim 55\%$ ,8 月 10 日进行了膜下滴灌,根据设定的 4 个灌水量,每小区分别灌水,利用水压表控制灌水量。10 月 8 日收获。

### 1.3 测定项目与方法

灌水后在玉米灌浆期、成熟期进行田间取样,每小区采集有代表性全株样品 3 株,将整株的叶片、茎秆、籽粒分离,分别烘干、称重、粉碎,测定氮素含量。

植物全氮测定采用硫酸-过氧化氢消煮,半微量凯氏定氮法<sup>[7]</sup>。

### 1.4 数据处理

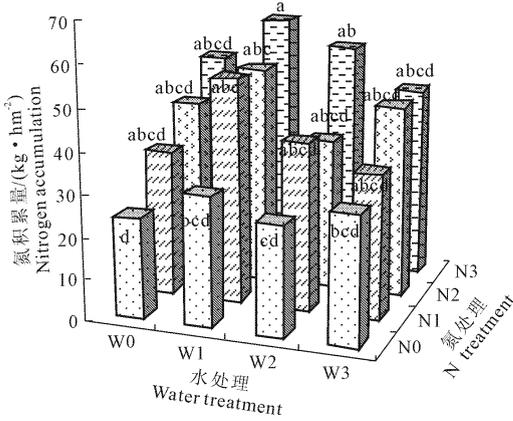
采用 Excel 进行数据处理及作图,SPSS 18.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水氮组合处理对玉米叶片氮积累量的影响

灌浆期、成熟期分别取样进行了叶片氮积累的测定。由图 1、图 2 可以看出,在氮肥水平相同的条件下,玉米叶片氮积累量随着灌水量的增加呈现降低趋势,均以  $\text{W1}$  处理的叶片氮积累量最高,根据图 1、图 2 的方差分析结果,各水分处理间差异多不显著。在灌水量相同的条件下,随着施氮量的增加,叶片氮积累量增加,以  $\text{N3}$  处理最高,且与其它施氮处理间差异不显著。综合肥水效应,玉米两个时期叶片氮积累量最高的水氮组合均为  $\text{W1N3}$ ,灌浆期叶片氮积累量为  $62.33 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,成熟期为  $39.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

试验结果表明,随着施氮量的增加,玉米叶片氮积累量也呈增加趋势,施氮量的高低对氮素在叶部的积累影响相对较大,并且对灌浆期的影响大于成熟期,灌浆期叶片氮积累量比成熟期高  $23.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。玉米是需氮量较高的作物,氮素能有效地促进玉米的生长发育,由玉米两个时期叶片的氮积累量来看,施氮量的增加比灌水量的增加对玉米氮积累的促进作用大,说明氮肥的效应大于水分的效应,两项指标的最大值所对应的处理是  $\text{W1N3}$ 。



注:不同字母代表差异达 5% 显著水平,下同。

Note: Different letter indicate significant difference at 5% level. The same below.

图 1 玉米灌浆期不同水氮组合处理叶片氮积累量

Fig.1 Different combinations of water and nitrogen on maize leaves nitrogen accumulation during the filling stage

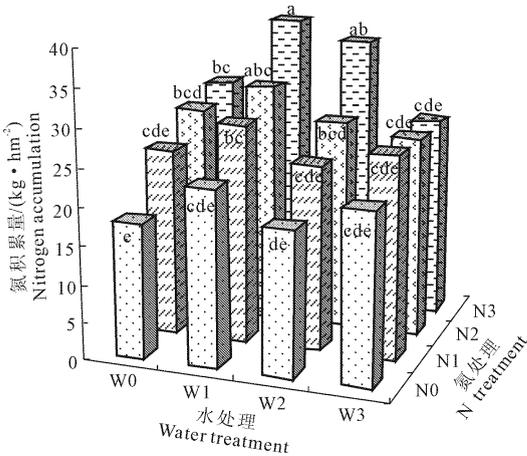


图 2 玉米成熟期不同水氮组合处理叶片氮积累量

Fig.2 Different combinations of water and nitrogen on maize leaves nitrogen accumulation during the maturity stage

2.2 不同水氮组合处理对玉米茎秆氮积累量的影响

由图 3、图 4 可知,玉米灌浆期、成熟期茎秆氮积累量最高的水氮组合仍为 W1N3,灌浆期氮积累量为 19.19 kg·hm<sup>-2</sup>,成熟期为 20.06 kg·hm<sup>-2</sup>。与玉米叶片氮积累量相似,在灌水量相同的条件下,随着施氮量的增加,玉米茎秆氮积累量也呈增加趋势,灌浆期表现为在 W1、W2 处理中,N3 处理显著高于不施氮处理,方差分析结果表明,其他各处理间差异不显著;成熟期表现为在 W0、W1 处理中,N3 处理显著高于不施氮处理,其他各处理间差异也不显著。在施氮量相同的条件下,两个时期茎秆氮积累量均以 W1 处理相对较高,但与其它处理相比,差异不显著。

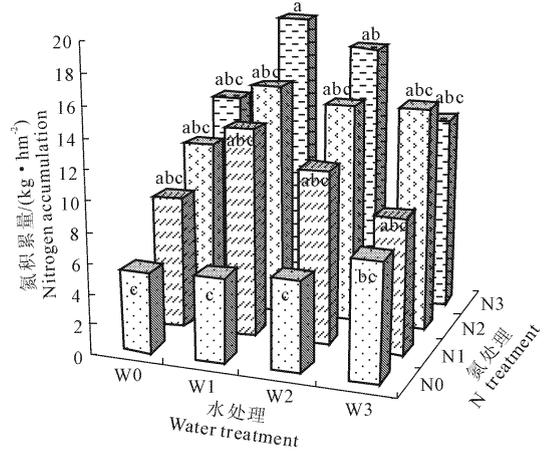


图 3 玉米灌浆期不同水氮组合处理茎秆氮积累量

Fig.3 Different combinations of water and nitrogen on maize stems nitrogen accumulation during the filling stage

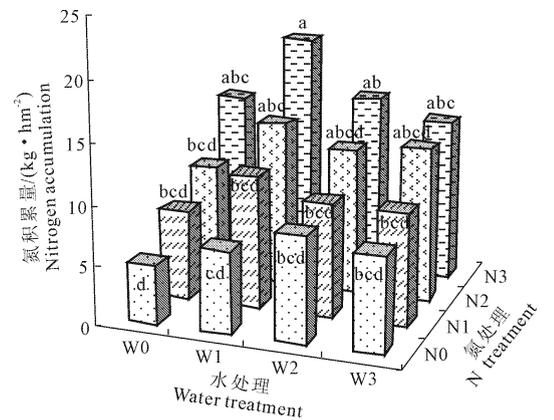


图 4 玉米成熟期不同水氮组合处理茎秆氮积累量

Fig.4 Different combinations of water and nitrogen on maize stems nitrogen accumulation during the maturity stage

由上述结果可知,灌水量和施氮量对玉米茎秆氮积累的作用结果与叶片基本一致,随着灌水量的增加,茎秆氮积累量也呈现降低趋势,随着施氮量的增加,茎秆氮积累量呈增加趋势。两个时期茎秆氮积累量最高的水氮组合为 W1N3。

比较玉米叶片与茎秆的氮积累量,灌浆期各处理叶片氮积累量平均为 42.13 kg·hm<sup>-2</sup>,茎秆为 11.65 kg·hm<sup>-2</sup>;成熟期各处理叶片氮积累量平均为 27.16 kg·hm<sup>-2</sup>,茎秆为 11.18 kg·hm<sup>-2</sup>。由此可见,水肥互作对提高叶片氮积累量的作用高于茎秆,在玉米生长旺盛的时期作用更显著。叶片是光合作用的重要场所,提高叶部氮素的积累更有利于提高光合效率,为产量的提高奠定基础。

2.3 不同水氮组合处理对玉米籽粒氮积累量的影响

由图 5 可知,玉米成熟期籽粒氮积累量最高的水氮组合是 W1N3,氮积累量为 254.97 kg·hm<sup>-2</sup>。在

同一施氮处理中,各灌水处理间籽粒氮积累量差异不显著。在同一灌水处理中,N3 与 N2 处理无显著差异,但显著高于其它各处理。

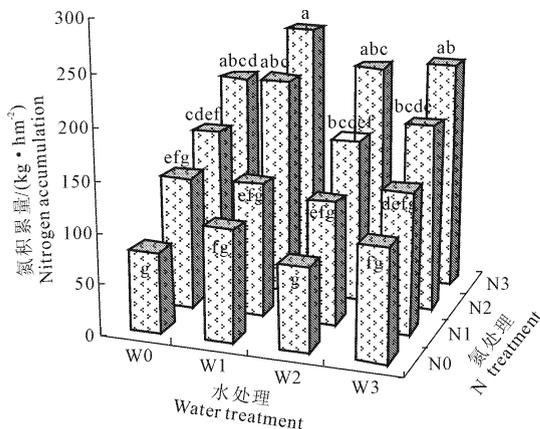


图 5 玉米成熟期不同水氮组合处理籽粒氮积累量

Fig.5 Different combinations of water and nitrogen on maize grains nitrogen accumulation during the maturity stage

本研究中随着施氮量的增加,籽粒氮积累量增加,施氮肥多,转入籽粒中的氮素也多;随着灌水量的增加,籽粒氮积累量表现下降的特征,灌水过多,籽粒氮积累量减少。试验结果表明,施氮量对玉米籽粒氮积累的促进作用较大,灌水量的作用相对较小。不施氮及低氮处理,水分的作用相对较小,施氮量高时,水分的作用相对较大,适宜的水分条件有利于提高氮肥肥效。研究表明,灌水量相同时氮积累最多的为 N3 处理,施氮量相同时氮积累最多的为 W1 处理,综合水氮效应,氮积累量最高的水氮组合是 W1N3 处理。适宜的水氮组合可有效促进籽粒氮素的积累,其中氮肥的效应大于水分的效应,水分过多不利于玉米养分的吸收。

对玉米籽粒氮积累量与水、肥两因子进行了回归分析,籽粒( $M$ )与灌水量( $W$ )、施氮量( $N$ )的关系可以拟合为曲面方程: $M = 83.337 + 0.059W - 0.490N - 0.0000456W^2 + 0.00682N^2$   $R^2 = 0.907$ ,  $P = 0.000^{**}$ ,极显著。根据方程可以获得玉米不同水氮组合的理论氮积累量。

#### 2.4 不同水氮组合处理对玉米产量的影响

由图 6 可以看出,不同灌水和施氮处理,玉米产量平均变动在  $9702.62 \sim 17633.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  之间,其中以 W1N3 处理产量最高。在 N1 处理中,W1 处理玉米产量显著高于其它各处理;在其它施肥处理中,水分处理间差异均不显著。在同一水分处理中,N1、N2 和 N3 处理之间差异不显著,但显著高于 N0 处理。从产量结果来看,最佳灌溉处理为 W1,最佳施肥处理为 N3,在此基础上继续增加灌水量和施氮

量,对产量的提高已没有明显的促进作用。玉米产量最高的水氮组合是 W1N3,产量为  $17633.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,但 W1N3 处理玉米产量与 W1N1、W1N2 处理差异不显著,从经济效益来看最佳水氮组合为 W1N1,产量是  $17498.82 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

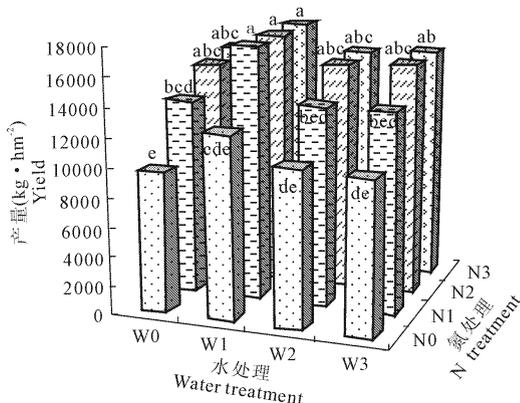


图 6 不同水氮组合处理下的玉米产量

Fig.6 Maize yields by different combinations of water and nitrogen

对玉米产量与水、氮两因子进行了回归分析,产量( $Y$ )与灌水量( $W$ )、施氮量( $N$ )的关系可以拟合为曲面方程: $Y = 9919.99 + 12.56W + 52.41N - 0.0071W^2 - 0.286N^2$   $R^2 = 0.921$ ,  $P = 0.000^{**}$ ,极显著。由方程可求得当  $W = 884.79 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $N = 91.63 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,玉米产量最大值为  $Y = 17875.74 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。由此方程求得的理论最高产量与施氮量和实际最高产量与施氮量相近,但灌水量差异较大,不同施肥处理均表现 W1 灌水量( $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )最适宜,这可能是由于本年度雨水相对偏多,导致了 W1 灌水量与 W2、W3 对玉米的作用差异不大。

玉米是喜肥喜水作物,氮肥和水分都是限制玉米产量的重要因素,增施氮肥、合理灌溉可有效提高玉米产量,多水多肥产量不一定大幅度增加,水肥协调才有利于产量的提高。本试验中,最高施氮处理 N3 产量虽然最高,但与 N1、N2 处理差异不显著,通过水分的调节作用,合理灌溉,能充分发挥氮肥的肥效,N1 水平达到了较高的经济效益产量。

### 3 结论与讨论

氮是影响玉米生长发育、产量与品质的重要元素。合理的氮素供应可有效促进玉米植株、籽粒对氮素的吸收积累,促进含氮化合物的合成,增强光合作用效率,增加干物质积累,提高玉米的产量和品质。水分是玉米生长的重要因子,水分对氮素养分的迁移、吸收、运输都起着十分重要的作用,在黑龙

江半干旱地区水分的作用更加突出,氮肥与水分协调供应,有利于提高玉米对氮素的利用效率。玉米产量对水氮的反应,不同的地区环境,研究结果不尽相同。徐杰等<sup>[8]</sup>对华北地区冬小麦/夏玉米轮作体系的研究表明,玉米施氮量在  $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,生育期不灌水,但降水量达  $480 \text{ mm}$  时,产量最高可达  $9\ 079 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;谢英荷等<sup>[9]</sup>在施氮与灌水对夏玉米产量和水氮利用的影响研究中表明,推荐灌水量  $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,施氮量  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  为夏玉米节水减氮较为适宜的水氮配比;郭丽等<sup>[10]</sup>在冬小麦-夏玉米复种连作中研究水氮组合对籽粒灌浆特性及产量的影响,结果为在灌水量  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮  $480 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  条件下(生育期降水量为  $416 \text{ mm}$ ),夏玉米最高产量可达  $10\ 207 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;Fang 等<sup>[11]</sup>在华北地区的研究表明,施氮量超过  $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时产量不再显著增加。综上所述,气候、土壤等地域环境条件不同,得出的研究结果各不相同。

在一定范围内施肥具有显著的调水作用,灌水也有明显的促肥作用<sup>[12]</sup>。适宜的水肥组合能够显著促进玉米的生长发育,增强水分和养分的供给能力,进而提高产量。本试验结果表明,在灌水量相同的条件下,随着施氮量的增加,玉米叶片、茎秆、籽粒氮积累量均呈增加趋势,玉米产量也增加,即处理  $N3 > N2 > N1$ ;不同水分条件下,玉米上述各项指标表现出明显的差异,随着灌水量的增加,肥料的效应减小,以 W1 处理效果最好,且随着施氮量的增加,玉米氮积累及产量表现为处理  $W1N3 > W1N2 > W1N1$ ,但 3 个处理之间差异不显著,即在水分适宜的条件下,在 N1 水平上再增加施氮量,玉米产量虽有增加但增幅较小,在经济效益上表现为 W1N1 处理最佳。试验结果表明,一定水分条件下,随着施氮量的增加,玉米叶片、茎秆、籽粒氮积累量呈增加趋势,玉米产量也增加,但产量达一定限度后,植株氮含量与产量的增量呈递减趋势,此结果符合报酬递减律。由此可见,在施肥量超过一定限度后,肥料的作用相对减小,其结果导致肥料利用率的降低。试验结果还表明,适宜的水氮组合可以减少肥料用量,提高肥效,提高经济效益。水分过多,不仅使土壤通气性减弱,不利于根系的发育;而且会导致养分的淋失、下渗,使玉米对氮素的吸收积累减少,肥效降低。本试验氮肥施用改变了传统的施肥方式,采用水肥一体化的施肥模式,将氮肥总量的  $1/2$  在玉米大喇叭口期采用膜下滴灌方式施入,在玉米需氮的关键时期,氮肥借助于水分的作用,易于溶解,利于吸收,减少了肥料损失,充分发挥了氮肥肥效,在施氮量低于常规用量时,N1 施氮量基本满足了玉米对氮素的

需要,在此基础上增施氮肥增产效果不显著。由此可见,水分对肥料的调节作用非常关键,水肥互作可以使作物充分利用养分,节约肥料,提高肥效,提高经济效益。

本试验水氮组合为 W1N3 的处理,玉米茎、叶、籽粒氮积累量在灌浆期、成熟期均较高,玉米产量也最高。说明灌水量为  $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,施氮量为  $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的处理是玉米产量最高组合,但 W1N3 处理与 W1N1、W1N2 无显著差异。从经济效益看 W1N1 是最佳组合,在灌水量相同的条件下,氮肥量减少三分之一,玉米产量相对降幅较小,因此从产量效应和资源利用、环保等方面综合考虑,灌水量为  $384.62 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮量为  $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的处理为当地节水节肥最佳水氮组合。根据试验结果,玉米产量( $Y$ )与灌水量( $W$ )、施氮量( $N$ )拟合的曲面方程为: $Y = 9919.99 + 12.56W + 52.41N - 0.0071W^2 - 0.286N^2$ ,由方程可得理论上当  $W = 884.79 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ , $N = 91.63 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时,玉米有最高产量  $Y = 17\ 875.74 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。本研究与他人研究结果不完全一致,气候、土壤、地域不同,研究结果有一定的差异,相比之下,在施氮量相差不大的条件下,本研究灌水量减少,产量提高。水分对半干旱区农作物生长至关重要,水分不足,肥料投入再多,产量不一定理想。近年来,随着全球气候的变化,黑龙江半干旱地区降水量有所增加,对农业生产起到了较大的促进作用,近几年降水量均保持在  $400 \text{ mm}$  以上,降水量的增加,提高了土壤水分的含量,减少了外界水分的投入,节约了成本。通过合理灌溉,有效发挥土壤与肥料中的养分作用,充分利用土壤养分,合理利用肥料养分,提高肥料与水分的经济效益。现今我国氮肥的投入量相对较大,氮肥的增产作用相对减小,势必导致肥料利用率的降低及其环境污染等后果,减肥增效是我国目前尤为重视的问题,降低肥料投入,提高肥料效益,对发展可持续农业具有重要意义。

2014 年试验地点玉米生育期降水量为  $427.6 \text{ mm}$ ,降雨量与干旱年份相比有所增加,所以 W1 处理灌水量已经满足玉米生长发育所需的水分,继续灌水效果不明显。本试验结果是在上一年试验的基础上开展的重复试验,2013 年与 2014 年气象条件相似,研究结果一致。本研究结果可以为当地玉米种植提供参考,考虑不同年份间气象条件及不同地块土壤养分的一些变化,对玉米施肥灌水可控制在施氮量  $120 \sim 150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,灌水量  $384.62 \sim 673.08 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  之间。在不同年份根据气象条件稍加调整水氮用量。

(下转第 258 页)

个新的思路和算法。

#### 参 考 文 献:

- [1] 曹永强,马 静,李香云,等. 投影寻踪技术在大连市农业干旱脆弱性评价中的应用[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1106-1110.
- [2] 胡颖颖,玉米提·哈力克,塔依尔江·艾山,等. 新疆 2001—2010 年农业气候干旱脆弱性分析[J]. 中国沙漠, 2014, 1(34): 254-258.
- [3] Kim Dae Ha, Yoo Chulsang, Kim Tae-Woong. Application of spatial EOF and multivariate time series model for evaluating agricultural drought vulnerability in Korea[J]. *Advances in Water Resources*, 2011, 34: 340-350.
- [4] 倪深海,顾 颖,王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展, 2006, 16(5): 705-709.
- [5] 陈 萍,陈晓玲. 鄱阳湖生态经济区农业系统的干旱脆弱性评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 8-13.
- [6] 王 莺,王 静,姚玉璧,等. 基于主成分分析的中国南方干旱脆弱性评价[J]. 生态环境学报, 2014, 23(12): 1897-1904.
- [7] 程 静. 农业旱灾脆弱性及其风险管理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [8] 杨奇勇,李景保,蔡松柏. 湖南农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(3): 46-49.
- [9] 李 艳. 河南省干旱承险脆弱性综合评价研究[D]. 郑州: 郑州

大学, 2011.

- [10] 文 洁,刘学录. 基于改进 TOPSIS 方法的甘肃省土地利用结构合理性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 234-239
- [11] 任力锋,王 一任,张彦琼,等. TOPSIS 法的改进与比较研究[J]. 中国卫生统计, 2008, 25(1): 64-66.
- [12] 李晓峰,刘宗鑫,彭清娥. TOPSIS 模型的改进算法及其在河流健康评价中的应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2011, 43(2): 14-21.
- [13] Bekele Shiferaw, Kindie Tesfaye, Menale Kassie. Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options[J]. *Weather and Climate Extremes*, 2014, 3: 67-79.
- [14] 鲁春阳,等. 基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断——以重庆市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 535-541.
- [15] 陕西省统计局. 陕西省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [16] 陕西省水利厅. 陕西省水利统计年鉴[M]. 西安: 三秦出版社, 2014.
- [17] 韦俊敏,胡宝清. 基于改进 TOPSIS 法的土地整治合理度评价[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1407-1414.
- [18] 赵 萌,邱莞华,刘北上. 基于相对熵的多属性决策排序方法[J]. 控制与决策, 2010, 25(7): 1098-1100.

(上接第 169 页)

#### 参 考 文 献:

- [1] 董树亭,张吉旺. 建立玉米现代产业技术体系, 加快玉米生产发展[J]. 玉米科学, 2008, 16(4): 18-20.
- [2] 杨 镇,才 卓,景希强. 东北玉米[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 1-5.
- [3] 彭国明,范永国,丁丽丽,等. 调亏灌溉下春玉米水氮耦合效应试验研究[J]. 黑龙江农业科学, 2014, (1): 11-16.
- [4] 刘 洋,栗岩峰,李久生. 东北黑土区膜下滴灌施氮管理对玉米生长和产量的影响[J]. 水利学报, 2014, 45(5): 529-536.
- [5] 仲 爽,李严坤,任 安,等. 不同水肥组合对玉米产量与耗水量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(2): 44-47.
- [6] 栗 丽,洪坚平,王宏庭,等. 施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮素平衡及其利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1358-1365.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版

社, 2000: 308-310.

- [8] 徐 杰,陶洪斌,宋庆芳,等. 水氮配置对华北冬小麦—夏玉米种植体系氮素利用及土壤硝态氮残留的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(4): 153-158.
- [9] 谢英荷,栗 丽,洪坚平,等. 施氮与灌水对夏玉米产量和水氮利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(6): 1354-1361.
- [10] 郭 丽,张凤路,贾秀领,等. 冬小麦—夏玉米复种连作中定位水氮组合对籽粒灌浆特性及产量的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(3): 159-164.
- [11] Quanzhao Fang, Qiang Yu, Enli Wang, et al. Soil nitrate accumulation, leaching and crop nitrogen use as influenced by fertilization and irrigation in an intensive wheat - maize double cropping system in the North China Plain[J]. *Plant and Soil*, 2006, 284(1-2): 335-350.
- [12] 潘晓莹,武继承. 水肥耦合效应研究的现状与前景[J]. 河南农业科学, 2011, 40(10): 20-23.