

# 水氮耦合对玉米水分利用效率的影响

聂灵杰

(甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 在甘肃河西绿洲灌区通过田间试验, 研究了水氮耦合两因素共同作用下对春玉米水分利用率的影响。研究表明: 全生育期施氮量为 360 kg/hm<sup>2</sup>、灌水量为 5 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 条件下, 玉米水分利用效率最高, 为 30.4 kg/(hm<sup>2</sup>·mm), 比玉米水分利用效率最低的全生育期不施氮、灌水量为 7 200 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理的 24.1 kg/(hm<sup>2</sup>·mm) 高 26.0%。全生育期施氮量为 540 kg/hm<sup>2</sup>、灌水量为 6 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 条件下, 玉米经济产量最高, 为 15 060 kg/hm<sup>2</sup>, 比玉米经济产量最低的全生育期不施氮、灌水量为 5 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理的 12 204 kg/hm<sup>2</sup> 高 23.4%。在全生育期施氮 540 kg/hm<sup>2</sup>、灌水 6 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 条件下, 既可获得高产又可获得较高的水分利用效率。

**关键词:** 玉米; 水氮耦合; 水分利用效率; 经济产量

**中图分类号:** S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2016)04-0036-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2016.04.013

## Effect of Water and Nitrogen Coupling on Water Use Efficiency of Corn

NIE Lingjie

(College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** In Hexi oasis irrigation district, we through the field experiment to study effects of different water and nitrogen coupling on spring corn of the water use efficiency. The result shows that in the whole growth period under the condition of the nitrogen level is 360 kg/hm<sup>2</sup> and irrigation water is 5 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, the highest corn water use efficiency is 30.4 kg/(hm<sup>2</sup>·mm), more than no nitrogen level and irrigation water is 7 200 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> in the whole stages is 26%. In the whole growth period, under the condition of nitrogen level is 540 kg/hm<sup>2</sup> and irrigation water is 6 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, the highest economic output of corn is 15 060 kg/hm<sup>2</sup>, more than no nitrogen level and irrigation water is 5 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> in the whole stages is 23.4%. In the whole growth period, under the condition of the nitrogen level is 540 kg/hm<sup>2</sup> and irrigation water is 6 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, can obtain higher yield and higher water use efficiency.

**Key words:** Corn; Water and nitrogen coupling; Water use efficiency; Economic output

中国的水资源不但总量不足, 而且地域和季节分布不均衡, 绝大部分分布在南方, 而作为农作物重要种植区的北方地区, 可供耕地使用的水资源非常少。有限水资源在时空上的分布不均匀, 使水资源短缺问题成为严重制约我国国民经济可持续发展的瓶颈<sup>[1-3]</sup>。近年来农业生产中存在施用氮肥和灌溉不合理的情况<sup>[4]</sup>, 氮肥过量施用已相当严重, 但作物产量并未随着施氮量的增加而增加, 而过量氮肥的施用导致氮肥利用率降低和潜在的环境压力<sup>[5-10]</sup>。氮是植物必需的营养元素, 也是限制作物产量的重要因子之一<sup>[11]</sup>。水分和养分既是影响灌区农业生产的主要胁迫因子, 也是一对联因互补、互相作用的因子, 它们既有各自特殊的作用, 又互相牵制、互相制约, 影响着彼

此效果的发挥。农田水氮调控的主要目的是要尽量发挥水氮之间的耦合效应, 减少水氮之间的拮抗效应。水氮耦合效应也是“以氮调水”、“以水促氮”的理论基础<sup>[10]</sup>。因此, 科学合理的施氮是玉米高产、高效生产的重要途径。玉米是一种需水较多的作物, 但综观对玉米水分利用的已有研究成果, 大多集中在氮素对玉米水分利用效率的影响及机理和不同覆盖方式对玉米水分利用效率的影响方面, 而忽略了在氮肥施用与覆盖相结合的基础上提高玉米水分利用效率等方面的研究。甘肃河西地区是典型的灌溉农业区, 水资源不足严重制约着该区农业生产的进一步发展, 玉米是甘肃河西栽培的主要粮食和饲料作物, 因此, 研究玉米水氮耦合对水分利用率的影响及其机理, 对

收稿日期: 2015-11-12

作者简介: 聂灵杰(1988—), 男, 甘肃武威人, 硕士研究生, 主要从事节水农业理论与技术研究工作。联系电话: (0)18093784369。E-mail: 980474105@qq.com

甘肃河西地区发展节水型农业, 实现水资源持续利用具有重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验于2012年3—11月在甘肃省武威市凉州区金羊镇甘肃农业大学与武威市农业科学院校地联合试验基地(103° 5' E, 37° 30' N)进行。该区属冷温带干旱区, 是典型大陆性气候, 日照充足, 春季多风沙, 平均海拔1 776 m, 无霜期135~155 d; 年总辐射133~138 MJ/m<sup>2</sup>, 日照时数2 700~3 030 h, ≥10℃有效积温3 016℃, 适于发展间作套种。降水年际变化不大, 但季节变化较大, 多年平均降水160 mm左右, 主要集中在7、8、9月。光、热、水资源组合严重失调, 光、热资源丰富, 水资源十分短缺, 种植业的特点是无灌溉不成农业。供试土壤为灌漠土, 容重1.32 g/cm<sup>3</sup>, 地下水埋深25~30 m。耕层土壤有机质含量为15.70 g/kg, 全氮、全磷含量分别为0.87 g/kg、1.02 g/kg, 速效磷含量为13.38 mg/kg, 速效钾含量为248.63 mg/kg, pH为8.2。

### 1.2 试验设计

以单作玉米为试验模式, 指示玉米品种为吉祥1号, 播种密度为82 500株/hm<sup>2</sup>, 行距40 cm, 株距30 cm, 小区面积33.6 m<sup>2</sup>(4.2 m×8.0 m), 小区留走道0.3 m。采用宽度为140 cm地膜覆盖, 每幅地膜种3行。于4月17日播种, 9月18日收获。

试验共计9个处理, 每处理3次重复, 共27个小区, 田间随机排列(表1)。试验设不施氮(N<sub>0</sub>)、低于地方施氮水平20%(N<sub>1</sub>)、高于地方施氮水平20%(N<sub>2</sub>) 3个施氮水平(表2), 及高(W<sub>3</sub>)、中(W<sub>2</sub>)、低(W<sub>1</sub>) 3个灌水梯度(表3)。

### 1.3 测定项目及方法

作物水分利用效率  $WUE=Y/ET$ , 式中, Y为不同处理玉米的经济产量, ET为处理的总耗水量。 $ET=(\text{播前土壤贮水量}-\text{收获后土壤贮水量})+\text{生育期内灌水量}+\text{降水量}$ , 式中, 土壤贮水量根据土壤容重和土壤含水量计算, 0~30 cm土层用

表1 处理代码及水平

处理编号	施氮量(kg/hm <sup>2</sup> )	灌溉水平(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )
N <sub>0</sub> W <sub>1</sub>	0	5 700
N <sub>0</sub> W <sub>2</sub>	0	6 450
N <sub>0</sub> W <sub>3</sub>	0	7 200
N <sub>1</sub> W <sub>1</sub>	360	5 700
N <sub>1</sub> W <sub>2</sub>	360	6 450
N <sub>1</sub> W <sub>3</sub>	360	7 200
N <sub>2</sub> W <sub>1</sub>	540	5 700
N <sub>2</sub> W <sub>2</sub>	540	6 450
N <sub>2</sub> W <sub>3</sub>	540	7 200

表2 各处理玉米的施肥制度

施氮水平	施氮定额(kg/hm <sup>2</sup> )			
	基肥	大喇叭口期	灌浆期	总施氮量
N <sub>0</sub>	0	0	0	0
N <sub>1</sub>	100	220	40	360
N <sub>2</sub>	150	330	60	540

烘干法测定土壤含水量, 30 cm以下用503DR水分中子仪(美国CPN公司)按20 cm分层测定至110 cm。每10 d测定1次, 降水或灌水前后加测1次。玉米收获后, 分别按小区测定经济产量和生物产量。所得数据用EXCEL进行整理汇总, 用SPSS统计软件进行方差分析及相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水氮耦合对玉米经济产量的影响

不同处理条件下的玉米经济产量如图1所示。不同供水及施氮处理对玉米经济产量影响显著。不施氮条件下, 高、中、低3个灌水水平对玉米经济产量影响显著, 高灌水处理经济的玉米产量最高, 为14 225 kg/hm<sup>2</sup>, 较经济产量最低的中灌水处理12 204 kg/hm<sup>2</sup>高16.6%; 低于地方施氮水平20%条件下, 不同灌水处理的经济产量随着灌水量的增加而显著提高, 高灌水处理的经济产量最高, 为14 513 kg/hm<sup>2</sup>, 比经济产量最低的低灌水处理13 330 kg/hm<sup>2</sup>高8.9%; 高于地方施氮水平

表3 各处理玉米灌溉制度

灌水水平	灌水定额(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )					
	冬灌	拔节期	大喇叭口期	抽雄吐丝期	开花后10 d	总灌水量
低(W <sub>1</sub> )	1 800	1 050	975	975	900	5 700
中(W <sub>2</sub> )	1 800	1 275	1 125	1 125	1 125	6 450
高(W <sub>3</sub> )	1 800	1 350	1 350	1 350	1 350	7 200

20%条件下,随着灌水量的增加,各处理的经济产量先显著提高后有所下降,中灌水处理的经济产量最高,为15 060 kg/hm<sup>2</sup>,较经济产量最低的低灌水处理14 190 kg/hm<sup>2</sup>高6.1%。综上结果,高于地方施氮水平20%中灌水处理经济产量最高,较经济产量最低的不施氮中灌水处理高23.4%。

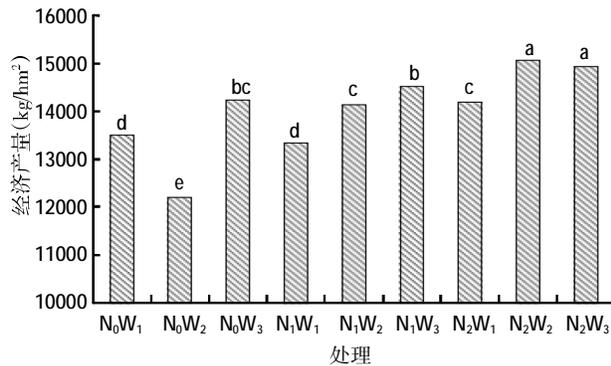


图1 不同处理玉米的经济产量

## 2.2 水氮耦合对基于经济产量水分利用效率(WUE<sub>ET·Y</sub>)的影响

由表4可知,不同供水及施氮处理对玉米水分利用效率(WUE<sub>ET·Y</sub>)影响显著。不施氮条件下,低灌水处理的WUE<sub>ET·Y</sub>最高,为26.4 kg/(hm<sup>2</sup>·mm),较WUE<sub>ET·Y</sub>最低的高灌水处理的24.1 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)高9.5%;低于地方施氮水平20%条件下,低灌水处理的WUE<sub>ET·Y</sub>最高,为29.0 kg/(hm<sup>2</sup>·mm),较WUE<sub>ET·Y</sub>最低的高灌水处理24.4 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)高18.8%;高于地方施氮水平20%条件下,低灌水处理的WUE<sub>ET·Y</sub>最高,为30.4 kg/(hm<sup>2</sup>·mm),较WUE<sub>ET·Y</sub>最低的高灌水处理24.8 kg/hm<sup>2</sup>·mm高22.6%。综上所述,在不同施氮水平下,各处理的WUE<sub>ET·Y</sub>均随灌水量的增加而减小,且低灌水和中灌水处理的水分利用效率均显著高于高灌水处理。

表4 不同处理玉米经济产量、耗水量及水分利用效率

处理	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	耗水量 (mm)	水分利用效率 [kg/(hm <sup>2</sup> ·mm)]
N <sub>0</sub> W <sub>1</sub>	12 204 e	463 c	26.4 b
N <sub>0</sub> W <sub>2</sub>	13 497 d	521 b	25.9 bc
N <sub>0</sub> W <sub>3</sub>	14 225 bc	591 a	24.1 c
N <sub>1</sub> W <sub>1</sub>	13 330 d	460 c	29.0 a
N <sub>1</sub> W <sub>2</sub>	14 126 c	529 b	26.7 b
N <sub>1</sub> W <sub>3</sub>	14 513 b	594 a	24.4 c
N <sub>2</sub> W <sub>1</sub>	14 190 c	466 c	30.4 a
N <sub>2</sub> W <sub>2</sub>	15 060 a	517 b	29.1 a
N <sub>2</sub> W <sub>3</sub>	14 932 a	602 a	24.8 c

## 2.3 基于经济产量WUE<sub>ET·Y</sub>与耗水量的关系分析

为了进一步分析产量与耗水量的关系,分析

了WUE<sub>ET·Y</sub>与耗水量的相关关系。从图2可以看到,经济产量WUE<sub>ET·Y</sub>与耗水量有较好的相关性,计算求得相关系数为R<sup>2</sup>=0.5299。有研究表明,由于经济产量与耗水量间的关系比较复杂,想要获得高产,就得提高灌水量,产量升高了,灌水量增加了,分子与分母都增大,WUE<sub>ET·Y</sub>不一定提高,但在一定范围内控制灌水量,水分利用效率可以有所提高。

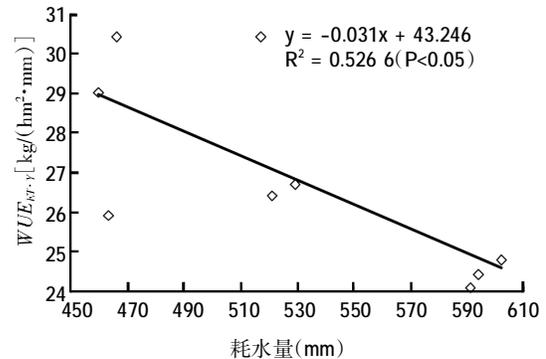


图2 玉米全生育期耗水量与WUE<sub>ET·Y</sub>的相关性分析

## 2.4 水氮耦合对基于生物产量水分利用效率(WUE<sub>ET·B</sub>)的影响

不同处理条件下玉米WUE<sub>ET·B</sub>如图3所示。不同供水及施氮处理对玉米WUE<sub>ET·B</sub>影响显著。不施氮条件下,低灌水与中灌水处理间WUE<sub>ET·B</sub>差异不显著,但两者均与高灌水处理的WUE<sub>ET·B</sub>有显著差异,中灌水处理WUE<sub>ET·B</sub>最高,为68.08 kg/(hm<sup>2</sup>·mm),较WUE<sub>ET·B</sub>最低的高灌水处理61.71 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)高10.3%。低于地方施氮水平20%条件下,随着灌水梯度的增加,WUE<sub>ET·B</sub>逐渐降低,且各处理间差异显著;低灌水处理WUE<sub>ET·B</sub>最高,为70.67 kg/(hm<sup>2</sup>·mm),较WUE<sub>ET·B</sub>最低的高灌水处理59.85 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)高18.0%。高于地方施氮水平20%条件下,低灌水处理与高灌水处理间WUE<sub>ET·B</sub>差异显著,低灌水处理WUE<sub>ET·B</sub>最高,为

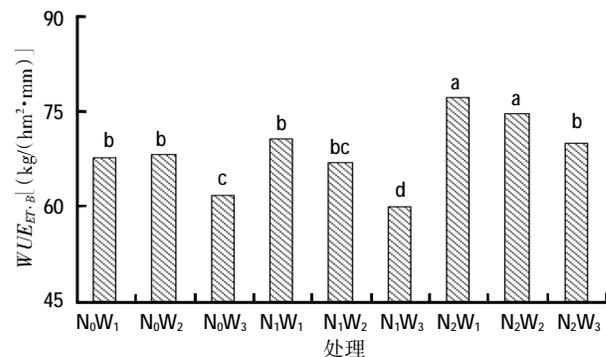


图3 不同处理玉米的生物产量水分利用效率

77.09 kg/(hm<sup>2</sup>·mm), 较 WUE<sub>ET-B</sub> 最低的高灌水处理 69.79 kg/(hm<sup>2</sup>·mm) 高 10.4%。

## 2.5 基于干物质水分利用效率(WUE<sub>ET-B</sub>)与耗水量的关系分析

有研究表明,在一定范围内控制灌水量,可以实现玉米产量与 WUE<sub>ET-B</sub> 同步提高的目的。因此,我们进行了玉米全生育期总耗水量与其对应生物产量水分利用效率(WUE<sub>ET-B</sub>)之间相关性的研究。图 4 为分别以 X 轴表示玉米全生育期各处理所对应的总耗水量, Y 轴表示玉米生物产量水分利用效率(WUE<sub>ET-B</sub>),采用 EXCEL 软件对其进行相关性分析获得散点图。从图 4 中可看出,玉米全生育期总耗水量与其对应生物产量水分利用效率之间在一定程度上的负相关,即 Y 随 X 的增大而减小,并计算求得相关系数为 R<sup>2</sup>=0.509 9。

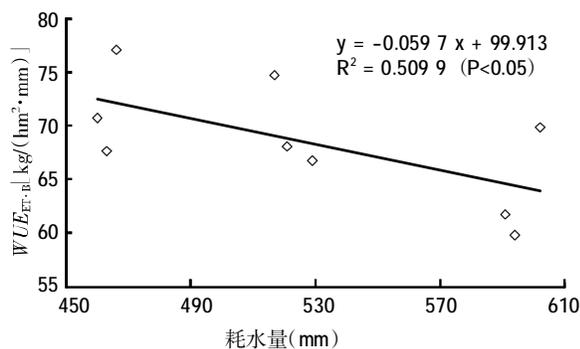


图 4 玉米全生育期耗水量与 WUE<sub>ET-B</sub> 的相关性分析

## 3 结论与讨论

在农业生产中,必须强调“以水定产,以肥调水”理论的重要性<sup>[12]</sup>,水分和养分既是影响旱地农业生产的主要胁迫因子,也是一对因互补、互相作用的因子。科学合理地确定灌水量和施肥量,充分利用它们之间的耦合效应,才能发挥两者最大的增产效果。在干旱半干旱地区,水分和养分俱缺,作物产量受两者共同影响。水分的供应必须有与之相当的氮肥配合,否则,就会降低作物对水分的利用效率。同样,氮素的有效利用也需要适宜的水分供应<sup>[13-15]</sup>。本试验结果表明,水肥对经济产量和生物产量都影响显著。各施氮处理的水利用效率均高于不施氮处理,且在灌水相等的条件下随着施氮量的增加而增加,说明水氮耦合有利于提高玉米水分利用效率。在相同的施氮条件下,随着灌水量的增大,水分利用效率随之降低,水分利用效率与耗水量间的关系相对复杂,前人的研究及本研究都表明,适度的水分

胁迫有利于水分利用效率的提高,适当减少灌水量,对玉米进行适当的干旱胁迫,同时配合合理的氮肥施用量,提升玉米对有限水肥的吸收利用水平,是提高水分利用效率的有效途径之一。

## 参考文献:

- [1] 李秧秧, 黄占斌. 节水农业中化控技术的应用研究[J]. 节水灌溉, 2001(3): 4-6.
- [2] 刘金芳. 我国农业可持续发展面临的水资源问题及对策探讨[J]. 甘肃农业科技, 2007(9): 27-29.
- [3] 祁旭升, 兰念军, 谢忠奎. 全地面地膜覆盖玉米节水增产栽培技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(2): 26-30.
- [4] 王 敏, 张胜全, 方保停, 等. 氮肥运筹对限水灌溉冬小麦产量及氮素利用的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 349-353.
- [5] 张福锁, 催振岭. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 68-69.
- [6] JU X T, et al. Current status of soil environment from excessive application of fertilizers and manures to low contrasting in tensile cropping systems on the North China Plain[J]. Environmental Pollution, 2007, 145: 497-507.
- [7] CUI Z L, et al. On-farm evaluation of the improved soil N-min-based nitrogen management for summer maize in North China Plain[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(3): 517-525.
- [8] 周镇邪, 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.
- [9] 虞 娜, 张玉龙, 黄 毅, 等. 温室滴灌施肥条件下水肥耦合对番茄产量影响的研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(3): 179-183.
- [10] 刘晓宏, 肖洪浪, 赵菊良. 不同水肥条件下春小麦耗水量和水分利用率[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 56-59.
- [11] 刘秀珍, 张阅军, 杜慧玲. 水肥交互作用对间作玉米、大豆产量的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 75-77.
- [12] 李世清, 李生秀. 水肥配合对玉米产量和肥料效果的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(1): 47-53.
- [13] 肖俊夫, 刘战东, 南纪琴, 等. 不同水分处理对春玉米生态指标、耗水量及产量的影响[J]. 玉米科学, 2010, 18(6): 94-97; 101.
- [14] 王 琦, 李锋瑞, 赵文智. 黑河绿洲新垦沙地农田灌溉与施氮量对春小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 51-57.
- [15] 沈荣开, 王 康, 张瑜芳. 水肥耦合条件下作物产量、水分利用和根系吸氮的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 35-38.

(本文责编: 陈 珩)