

氮肥施用量对砂壤质潮土玉米生长 及水分利用效率的影响

杨永辉^{1,2}, 武继承^{1,2*}, 王洪庆³, 赵丽君¹, 郭庆³

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002;

2. 农业部作物高效用水原阳科学观测站, 河南 原阳 453514; 3. 西华县农业科学研究所, 河南 西华 466600)

摘要: 为探明氮肥施用量对玉米生长及水分利用的影响, 采用田间试验研究了氮肥不同用量[N0 (对照): 0 kg/hm², N1: 90 kg/hm², N2: 180 kg/hm², N3: 270 kg/hm², N4: 360 kg/hm², N5: 450 kg/hm², N6: 540 kg/hm²]对玉米不同生育期土壤水分、农艺性状、成产要素、产量及水分利用的影响。结果表明, 总体上, 施用氮肥尤其是 N5 处理增加了上层土壤的含水率, 并促进了玉米根系下扎深度, 使玉米利用了较多的深层土壤水; 在不同生育期, 以 N5 和 N6 处理的形态指标表现最佳; 穗长、穗粗、穗行数、行粒数等玉米成产要素以 N5 处理最高。随施氮量的增加, 玉米产量显著提高, 但当氮肥用量高于 450 kg/hm² 时, 玉米产量增幅不明显; 水分利用效率呈先增加后降低的趋势, 以 N5 处理最高, 其产量(12 093.0 kg/hm²)和水分利用效率[24.4 kg/(mm·hm²)]分别较对照增加 70.7% 和 78.1%。综上所述, 玉米的最佳施氮量为 450 kg/hm²。

关键词: 氮肥; 玉米; 成产要素; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)10-0055-05

Effects of Nitrogen Fertilizer on Growth and Water Use Efficiency of Maize in Sandy-loam Alluvial Soil

YANG Yong-hui^{1,2}, WU Ji-cheng^{1,2*}, WANG Hong-qing³, ZHAO Li-jun¹, GUO Qing³

(1. Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Sciences, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Yuanyang Experimental Station of Crop Water Use, Ministry of Agriculture, Yuanyang 453514, China; 3. Xihua Institute of Agricultural Sciences, Xihua 466600, China)

Abstract: In order to ascertain the characteristics of growth and water utilization of maize under different amount of nitrogen fertilizer, a field experiment was conducted to investigate the effect of nitrogen fertilizer with dosage of 0 kg/ha (CK), 90 kg/ha (N1), 180 kg/ha (N2), 270 kg/ha (N3), 360 kg/ha (N4), 450 kg/ha (N5), 540 kg/ha (N6) on soil moisture, maize agronomic characters, production elements, yield and water utilization. The results indicated that application of nitrogen fertilizer, especially 450 kg/ha increased the upper soil water content, and prompted the maize root deep growth, so the maize could use more deep soil water. The corn morphological indexes of the treatment with 450 kg/ha nitrogen in different growth period had better performance, and the production elements such as ear length, ear coarse, ear number of rows, row grains were higher compared with CK. With the increase of nitrogen rate, maize yield increased significantly, but when nitrogen fertilizer was higher than 450 kg/ha, the increase rate of maize yield decreased obviously. And water use efficiency first increased and then dropped with the increase of nitrogen.

收稿日期: 2013-06-27

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203077)

作者简介: 杨永辉(1978-), 男, 陕西西安人, 助理研究员, 博士, 主要从事土壤生态与节水农业方面的研究。

E-mail: yangyongh@mail.ucas.ac.cn

* 通讯作者: 武继承(1965-), 男, 河南通许人, 研究员, 博士, 主要从事节水农业方面的研究。E-mail: wujc2065@126.com

The water use efficiency(WUE) of the treatment with 450 kg/ha nitrogen was highest and the yield (12 093.0 kg/ha) and WUE ($[24.4 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)]$) were 70.7% and 78.1% higher than CK. It was concluded that the treatment with 450 kg/ha nitrogen was the most promising option.

Key words: nitrogen fertilizer; maize; yield components; yield; water use efficiency

土壤水分与养分是农作物生长的必要条件。水、肥互为促进,且相互制约。水分不足影响营养物质的合成和转运,降低产量和品质,肥力不足则影响水分的吸收和利用。不同水肥条件对作物的生长、干物质分配及作物产量等产生重要影响^[1-4]。适量施用氮肥可提高叶片光合机构活性,增加干物质积累量,增强植物对干旱的适应能力^[5-7]。而氮素缺乏可影响作物生理代谢过程^[8-10],最终影响其产量。相关研究表明,在一定条件下,施肥可大幅度提高作物的水分利用效率^[11-15],但 Porver^[16]的研究结果相反。在降雨较为丰富的华北平原,玉米生育期内降雨量占全年的 70% 左右,而在小麦—玉米轮作体系中,氮肥过量施用现象十分普遍。因此,在玉米生长期,氮肥易通过径流或淋溶而损失,从而导致氮肥利用率较低,且过量施用氮肥对生态环境造成了一定的危害。在干旱条件下,不同氮肥用量对作物的生长及水分利用产生重要影响^[17-20],有关这方面的研究已屡见不鲜,但在降雨量较大的豫东地区,研究氮肥用量对土壤的水分状况、玉米生长和水分利用的影响鲜有报道。为此,针对豫东地区的具体情况,开展了氮肥施用量对玉米生长及水分利用的影响研究,旨在探明氮肥不同施用量条件下玉米对水分的利用特征,为该地区氮肥的合理施用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试玉米品种为郑单 958, N 肥为尿素(含氮量为 46.4%)。

1.2 研究区概况

试验在西华县农业科学研究所试验地进行,其位于东经 $114^{\circ}33'$ 、北纬 $33^{\circ}43'$,海拔 51.8 m,为暖温带大陆性气候。年降水量 747.4 mm,其中 50% 以上集中在夏季,冬、春易旱,夏、秋易涝,旱涝交错。该地区地势平坦,土壤类型为砂壤质潮土,土壤容重为 1.45 g/kg,肥力均匀,耕层有机质 11.7 g/kg、全氮 0.82 g/kg、水解氮 79.31 mg/kg、速效磷 9.51 mg/kg、速效钾 51.23 mg/kg。前茬作物为小麦。土壤机械组成为:砂粒($2 \sim 0.02 \text{ mm}$)占 57.6%,粉粒($0.02 \sim 0.002$)占 29.1%,黏粒($<0.002 \text{ mm}$)占 13.3%。

玉米生长期该地降雨情况:6 月份降雨量为 14.9 mm,7—9 月降雨量分别为 391.0、138.2、

25.9 mm。全生育期降雨总量为 570 mm。

1.3 试验设计

试验设 7 个 N 肥施用量处理,分别为: N0(对照): 0 kg/hm²、N1: 90 kg/hm²、N2: 180 kg/hm²、N3: 270 kg/hm²、N4: 360 kg/hm²、N5: 450 kg/hm²、N6: 540 kg/hm²。其中 1/3N 肥作底肥,2/3N 肥于大喇叭口期追施。3 个重复,共 21 个小区。于 2012 年 6 月上旬播种玉米,6 月 11 日开沟底施氧化钾(K₂O, 60 kg/hm²)和 1/3 N 肥,6 月 11 日浇蒙头水,6 月 23 日喷施玉米苗期专用除草剂,6 月 27 日定苗,7 月 22 日(大喇叭口期)追施 2/3 N 肥。玉米株距 25 cm、行距 60 cm,小区面积 20 m²。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 可见叶数、株高、茎粗、生物量及产量 于小、大喇叭口期测定玉米可见叶片数、株高(从地面到主茎顶端的高度)、茎粗(距离地面第 1 片叶和第 2 片叶中间部位的茎周长),在每小区取代表性植株 5 株;于小、大喇叭口期和收获期测定玉米生物量,在每小区取代表性植株 2 株,取其地上部完整植株,带回室内,放入烘箱于 105 °C 条件下杀青 0.5~2.0 h,75~80 °C 恒温烘干至恒质量,用精确度为 0.01 g 的电子天平称质量;于收获期测定玉米成产要素,并以每小区产量记产,折合成每公顷产量。

1.4.2 水分利用效率 水分利用效率=玉米籽粒产量/玉米全生育期耗水量(播种前 0~100 cm 土层土壤储水量+玉米生育期内降雨量-收获时 0~100 cm 土层土壤储水量)。

1.5 数据处理

数据采用 3 次重复的算术平均值,且采用 DPS 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 氮肥施用量对土壤水分的影响

玉米收获后不同氮肥处理的 0~100 cm 土层土壤水分见图 1。0~60 cm 土层,随着土层的加深,所有氮肥处理土壤含水率呈上升趋势,均高于对照,尤其是在 20~40 cm 土层,且 N5 处理的土壤含水率最高,其次为 N4 处理。大于 60 cm 土层,随土层加深,各处理土壤水分均呈下降趋势,但到 80 cm 土层以下,土壤水分有所恢复,除 N5 处理外,其他处理的土壤含水率均小于对照。说明,施用氮肥增加了

上层土壤的含水率,并促进了玉米根系下扎深度,使玉米利用了较多的深层土壤水,且氮肥施用量以 450 kg/hm² (N5) 为佳。

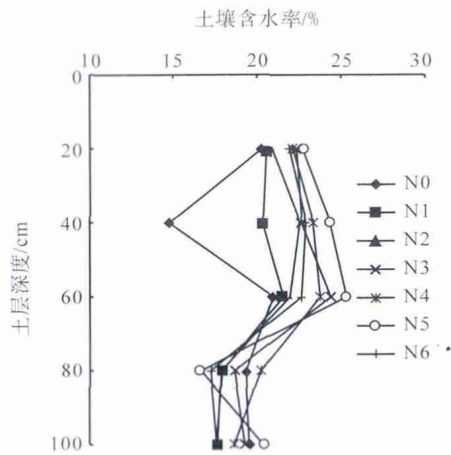


图 1 氮肥施用量对 0~100 cm 土层土壤水分的影响

2.2 氮肥施用量对玉米植株生长的影响

由表 1 可以看出,在小喇叭口期,随氮肥用量的增加,可见叶片数呈先增加后减少的趋势,以 N4 处理最多,其次为 N5、N6 处理,但差异不显著;玉米株

高基本呈增—减—增—减的变化趋势,以 N5 处理最高,对照最低;玉米茎粗呈增—减—增的变化趋势,氮肥用量增加至 360 kg/hm² (N4) 之前,均表现为增加趋势,氮肥用量继续增加时,其茎粗有所降低,但当氮肥用量再继续增加时,其茎粗又有所增加,以 N6 处理最高,N5 处理位居第 4,但两者差异不显著;而地上部生物量基本呈增加趋势,以 N6 处理最高,其次为 N4 处理。

在大喇叭口期,随氮肥用量的增加,玉米可见叶片数先增加后趋于平稳,当氮肥用量增加至 270 kg/hm² (N3) 处理时,其叶片数基本不再增加,以 N5 处理最高;玉米株高呈增—减—增的变化趋势,以 N6 处理最高,其次为 N4 处理;玉米茎粗和地上部生物量均显著提高,均以 N6 处理最多,N5 处理次之,两者差异均不显著。在成熟期,随氮肥用量的增加,玉米地上部生物量呈显著增加的趋势。

综上所述,总体上随氮肥用量的增加,玉米不同生育期的形态指标呈上升趋势,且总体以 N5 和 N6 处理最佳,但两者相差不大,因此,从经济的角度考虑,宜选用的氮肥用量为 450 kg/hm² (N5)。

表 1 氮肥施用量对玉米植株生长的影响

生育期	形态指标	N0	N1	N2	N3	N4	N5	N6
小喇叭口期	可见叶片数/片	12.0c	12.0c	12.0c	13.0b	14.0a	13.5ab	13.5ab
	株高/cm	90.2e	94.6d	103.2c	109.1a	106.8b	110.4a	109.2a
	茎粗(周长)/cm	6.6c	6.9bc	7.2b	7.6ab	7.9a	7.5ab	8.1a
	生物量/(g/株)	13.80d	17.05c	19.05b	19.45b	20.7b	20.05b	24.05a
大喇叭口期	叶片数/片	15.0d	16.0c	16.5bc	17.0ab	17.0ab	17.5a	17.0ab
	株高/cm	120.2e	142.5d	150.4c	152.4b	154.2a	152.1b	155.4a
	茎粗(周长)/cm	7.7d	8.0c	8.9b	9.1b	9.3ab	9.5a	9.8a
	生物量/(g/株)	34.2d	39.15c	40.02c	42.03b	42.5b	45.01a	45.3a
成熟期	生物量/(g/株)	252.0f	302.4e	310.2d	348.0c	349.6c	363.0b	372.5a

注:同行不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05),下同。

2.3 氮肥施用量对玉米成产要素的影响

氮肥施用量对玉米成产要素有重要影响(表 2)。随氮肥用量的增加,玉米穗长、穗行数、单穗质量及单穗粒质量均显著提高,以 N6 处理最高,但与 N5 处理差异不显著(穗行数除外);而穗粗和行粒数

呈先增加后降低的趋势,以 N5 处理最佳;百粒质量基本呈增加趋势,以 N6 处理最高,而 N6 和 N5 处理间差异不显著;玉米秃尖长显著降低,且氮肥用量超过 360 kg/hm² 时玉米秃尖消失。综上所述,N5 处理对提高玉米成产要素的效果最佳。

表 2 氮肥施用量对玉米成产要素的影响

处理	穗长/cm	穗粗/cm	秃尖长/cm	穗行数/行	行粒数/粒	单穗质量/g	单穗粒质量/g	百粒质量/g
N0	16.2d	4.7b	2.8a	12.6e	32.4e	160.0e	130.6f	35.1d
N1	16.6cd	4.9b	2.0b	13.6d	35.6d	200.0d	158.4e	34.5d
N2	16.8c	4.8b	1.1c	13.6d	36.8c	205.0d	165.4d	38.5c
N3	18.0b	5.0b	0.5d	13.8d	36.6c	230.0c	198.2c	39.9b
N4	18.5ab	5.4a	0.1c	14.8c	37.0c	245.2b	204.1b	40.6a
N5	18.6ab	5.6a	0e	15.2b	41.2a	257.0a	208.3a	40.5a
N6	18.9a	5.4a	0e	16.0a	38.02b	260.0a	209.2a	41.1a

2.4 氮肥施用量对玉米产量及水分利用效率的影响

由图 2 可以看出,在施氮量低于 450 kg/hm^2 时,随着施氮量的增加,玉米产量显著增加,以 N5 (450 kg/hm^2) 处理最高,为 $12\ 093.0 \text{ kg/hm}^2$,但当氮肥用量高于 450 kg/hm^2 时,玉米产量增幅不明显;与对照相比,随施氮量的增加,各施氮处理玉米

产量分别增加 25.8%、39.0%、47.1%、59.9%、70.7%、73.0%。对于玉米水分利用效率而言(图 2),随氮肥用量的增加,玉米水分利用效率呈先增加后减少的趋势,以 N5 处理最高,为 $24.4 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。综上所述,从经济的角度考虑,玉米的最佳施氮量为 450 kg/hm^2 (N5)。

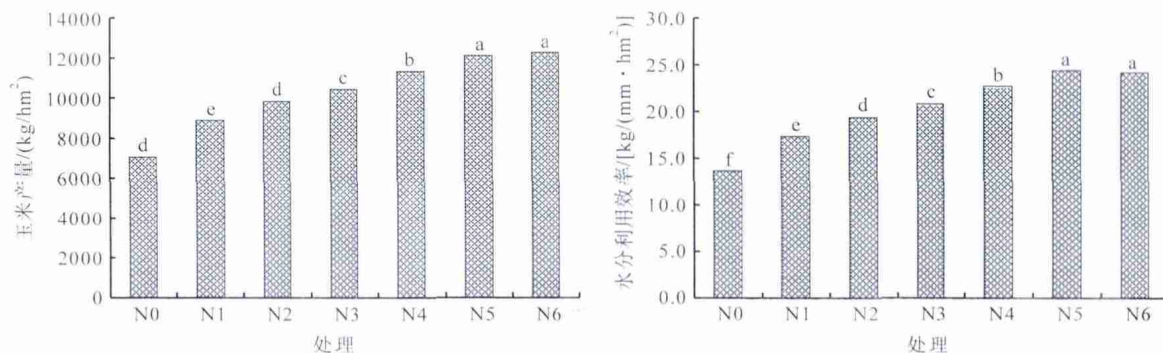


图 2 氮肥施用量对玉米产量及水分利用效率的影响

3 结论与讨论

玉米对氮素的吸收比任何元素都要多,且生育期内经常受到干旱威胁^[21]。在水分胁迫条件下,可通过施用氮磷肥提高作物对水分的利用效率^[22],且有利于养分利用率的提高。而在水分充足条件下,不同氮肥用量对土壤水分、玉米生长、产量构成及产量和水分利用效率产生重要影响。本研究发现,对照 0~60 cm 土层土壤含水率均小于施用氮肥处理,且以 N5 处理的土壤含水率最高,其次为 N4 处理;60 cm 以下,随土层的加深,各处理土壤水分均呈降低趋势,尤其 N5 处理;但到 80 cm 土层以下,N5 处理的土壤含水率又显著提高,且高于其他处理,而其他氮肥处理均小于对照。说明,施用氮肥增加了上层土壤的含水率,并促进了玉米根系下扎深度,使玉米利用了较多的深层土壤水。

在玉米生长期,养分供应不足会对玉米水分吸收利用、生长及产量等产生重要的影响。研究结果表明,不同生育期均以 N5 和 N6 处理的形态指标表现较佳,尤其在大喇叭口期,效果更为明显。而 N5 处理的穗长、穗粗、穗行数、行粒数等玉米成产要素均较对照增幅较大。随施氮量的增加,玉米产量分别较对照增加 25.8%、39.0%、47.1%、59.9%、70.7%、73.0%。但当氮肥用量高于 450 kg/hm^2 (N5) 时,玉米产量增幅不明显。对于玉米水分利用效率而言,随氮肥用量的增加,玉米水分利用效率呈先增后降的趋势,以 N5 处理的水分利用效率最高,

为 $24.4 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。综上所述,玉米的最佳施氮量为 450 kg/hm^2 (N5)。

参考文献:

- [1] 成林,李树岩,刘荣花,等. 限量灌溉下冬小麦水分利用效率模拟[J]. 生态学报,2009,28(10):2147-2152.
- [2] 祁有玲,张富仓,李开峰. 水分亏缺和施氮对冬小麦生长及氮素吸收的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(10):2399-2405.
- [3] 李志勇,陈建军,陈明灿. 不同水肥条件下冬小麦的干物质积累、产量及水氮利用效率[J]. 麦类作物学报,2005,25(5):80-83.
- [4] 杨书运,严平,梅雪英,等. 土壤水分亏缺对冬小麦根系的影响[J]. 麦类作物学报,2007,27(2):309-313.
- [5] Chaves M M, Maroco J P, Pereira J S. Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30(3): 239-274.
- [6] Hébert Y, Guingo E, Loudet O. The response of root/shoot partitioning and root morphology to light reduction in maize genotypes[J]. Crop Science, 2001, 41(2): 363-371.
- [7] Shangguan Z P, Shao M A, Ren S J, et al. Effect of nitrogen on root and shoot relations and gas exchange in winter wheat[J]. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 2004, 45(1): 49-54.
- [8] Ciompi S E, Gentill L G, Soldatini G F. The effect of nitrogen on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower[J]. Plant Science, 1996, 118(2): 177-184.

(下转第 69 页)

- 18(6):763-767.
- [8] 王彩萍,左联忠,杨文龙,等.起垄种植对冬小麦增产效应研究[J].山西农业科学,2002,30(1):27-28.
- [9] 杜群,欧阳竹.淮北砂姜黑土区小麦单产变化及影响因素分析[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1434-1438.
- [10] 陆长青,刘世芬,陶祖貽.砂姜黑土腐殖质某些结构特征的研究[M].北京:中国农业科技出版社,2000:137-147.
- [11] 陆长青,廖海秋.农牧结合改良砂姜黑土的理论与实践[M]//周明枞,姚培元.淮北地区水土资源开发与治理研究.北京:科学出版社,1992:74-86.
- [12] 张子武,孙克刚,孙克振,等.粉煤灰中重金属元素在小麦、玉米各器官的富集情况[J].河南农业科学,2000(3):15-16.
- [13] 詹其厚,袁朝良,张效朴.有机物料对砂姜黑土的改良效应及其机制[J].土壤学报,2003,40(3):420-425.
- [14] 张阿凤,潘根兴,李恋卿.生物黑炭及其增汇减排与改良土壤意义[J].农业环境科学学报,2009,28(12):2459-2463.
- [15] 王小纯,马新明,郑谨.粉煤灰施入砂姜黑土对麦田重金属元素分布影响的研究[J].土壤通报,2002,33(3):226-229.
- [16] 卢中民,孙彩霞,张浩,等.滑县小麦测土配方施肥决策系统的应用效果[J].河南农业科学,2008(12):64-66.
- [17] 吴建英,李凤.驻马店市砂姜黑土中、低产田改良途径和措施初探[J].河南农业,2008(3):79-80.
- [18] 田景瑜.河南省砂姜黑土生物工程综合治理途径初探[J].地域研究与开发,2003,22(1):50-53.
- [19] 武继承,王生厚,王秋杰,等.开封试区农田防护林综合效益分析[J].农业现代化研究,1997,18(3):175-176.
- ~~~~~
- (上接第 58 页)
- [9] 张福锁,李春俭,米国华.植物营养生理进展[M]//洪德元.21 世纪的生命科学展望.济南:山东教育出版社,2003:206-235.
- [10] McDonald A J S, Davies W J. Keeping in touch; response of the whole plant to deficit s in water and nitrogen supply[J]. Advances Botanic Research, 1996, 22:229-300.
- [11] 张仁陟,李小刚,胡恒觉.施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[J].植物营养与肥料学报,1999,5(3):221-226.
- [12] 谷洁,刘存寿,方日尧.半湿润偏旱区施肥对冬小麦水分利用效率和产量的影响[J].西北农业学报,1997,6(1):22-25.
- [13] 尹光华,刘作新,李桂芳,等.水肥耦合对春小麦水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2004,18(6):156-162.
- [14] 东先旺,刘树堂,陶世荣.不同肥水组合对夏玉米水分利用效率及经济效益的影响[J].华北农学报,2000,15(1):81-85.
- [15] Brown P J. Water use and soil water deletion by dry land wheat as affected by nitrogen fertilization [J]. Agron J, 1971, 63(1):43-46.
- [16] Porver J F. Soil management for efficient water use soil fertility[M]//Taylor H M. Limitation to efficient water use in crop production. USA: ASA-CSSA-SS-SA, 1983:87-113.
- [17] 郑惠玲,姬变英,武继承,等.氮肥分期施用对夏玉米生长发育和产量的影响[J].河南农业科学,2007,393(10):69-71.
- [18] 易镇邪,王璞,陈平平,等.不同夏玉米品种水分利用效率对氮肥与降水量的响应[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):51-58.
- [19] 王宇先,刘玉涛,连永利,等.黑龙江省西部地区不同施肥量对春玉米水分利用率的影响[J].黑龙江农业科学,2008(6):56-57.
- [20] 杨永辉,武继承,吴普特,等.冬小麦不同生育阶段水分利用对保水剂与氮肥的响应[J].中国生态农业学报,2012,20(7):888-894.
- [21] 田霄鸿,李生秀.养分对旱地小麦水分胁迫的生理补偿效应[J].西北植物学报,2000,20(1):22-28.
- [22] 李全起,陈雨海,房全孝.夏玉米种植中水分问题的研究进展[J].玉米科学,2004,12(1):72-75.