

水氮胁迫对玉米产量和氮素吸收和运移的影响

张丽华, 赵洪祥, 闫伟平, 谭国波, 边少锋

(吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130124)

摘 要: 2011~2012年在吉林公主岭试验区可移动防雨棚内进行两年微区试验, 探讨水氮胁迫对玉米产量及氮素的吸收和分配的影响。结果表明, 全生育期灌水 300 mm 情况下, 玉米产量随施氮量的增加而增加; 水分胁迫(灌水 100 mm)情况下, 玉米产量随施氮量的增加而减少。植株氮积累总量成熟期最高, 氮素在营养器官中的比例最高时期是拔节期, 生殖器官含氮比例最高在吐丝期, 子粒的含氮百分比最高时期是吐丝后 15 d。水氮胁迫条件下, 氮素转运率、贡献率均下降, 仅氮胁迫转运率和贡献率增加。相同灌水量情况下, 子粒吸收氮素量与施氮量显著正相关; 水分胁迫条件下, 表观土壤水分利用效率随施氮量的增加而下降, 正常供水则相反; 水分胁迫下的土壤水分利用效率极显著高于正常供水。

关键词: 玉米; 水氮胁迫; 产量; 氮素

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effects of Water and Nitrogen Stress on Maize Yield and Nitrogen Intake Transport

ZHANG Li-hua, ZHAO Hong-xiang, YAN Wei-ping, TAN Guo-bo, BIAN Shao-feng

(Institute of Agricultural Resources and Environment,

Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130124, China)

Abstract: In order to study the effect of water and nitrogen stress on maize yield and nitrogen intake and transport. The micro plot experiment was carried in mobile rainproof shed of Gongzhuling city in 2011–2012 years. The test results showed that, maize yield increased with increasing amount of nitrogen in the conditions of irrigation 300 mm growth period. However maize yield decreased with the creasing of nitrogen in case water stress(100 mm irrigation). For the nitrogen accumulation, the total nitrogen accumulation per plant was the highest in maturity. The percentage of nitrogen in vegetative organs of the highest period is jointing stage. The proportion of nitrogen in the reproductive organs was highest at silking stage. But the grain has the highest percentage of nitrogen period is the 15th day after silking. Water and nitrogen stress led to the nitrogen accumulation of various organs, the transfer and contribution rate of nitrogen had dropped, but the transfer and contribution rate were increased in condition of only nitrogen stress. It was significantly positive correlation of the amount of nitrogen absorbed per kilogram of grain with nitrogen applied at the same amount of water circumstances. The apparent soil water use efficiency was decreased with the increasing of nitrogen provided under the condition of water stress. Otherwise, it was contrary. But the water use efficiency of water stress was significantly higher than that normal water supply.

Key words: Maize; Water and nitrogen stress; Yield; Nitrogen

收稿日期: 2014-09-09

基金项目: “863”计划项目(2011AA100504)、国家科技支撑计划项目(2013BAD07B02)

作者简介: 张丽华(1974-), 女, 吉林公主岭人, 硕士, 副研究员, 主要从事农作物旱作节水栽培技术研究。Tel: 15543447265

E-mail: zhanglh_3161@163.com

边少锋为本文通讯作者。

水和氮不仅是影响玉米生产的主要因子, 而且相互作用和影响, 并最终影响玉米的产量。氮素供应不足会导致玉米产量降低^[1]。水分亏缺造成的减产是无法用肥力水平的提高所能补偿^[2]。Brown^[3]等认为, 旱地条件下施肥均可促使植物吸收利用更多的土壤水分。Porver^[4]则认为, 施肥增加利用水分的量通常较小。在农业生产实践中, 对水分和养分进行合理调配, 就可以达到“以水促肥、以肥调水”的增

产目的^[5]。如果水氮用量不协调势必对氮素的吸收产生不同的影响。本文对水氮耦合下的氮素动态运移进行研究,揭示水氮胁迫作用下玉米对氮素的吸收及分配规律,为玉米水氮管理技术的优化提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与试验材料

本试验在吉林公主岭试验区完全开放式可移动防雨棚内进行。试验地 0~90 cm 基础肥力情况见表 1。试验材料为先玉 335,氮肥为尿素,磷肥为重

过磷酸钙,钾肥为氯化钾。

1.2 试验设计与取样方法

试验处理设水分和氮肥 2 个因子,水分处理设 2 个水平,即全生育期内滴灌水量分别为 100 mm 和 300 mm(以 W1 和 W2 表示);氮肥处理设 3 个水平,即生育期内施纯氮总量为 0、45、180 kg/hm²(分别以 N0、N1 和 N2 表示),N2 为正常施氮量(其中 1/3 作为种肥,2/3 大喇叭口期追施)。所有处理的磷、钾肥播种时正常施入,用量分别为 P₂O₅ 75 kg/hm²和 K₂O 90 kg/hm²。小区面积 18 m²,密度 60 000 株/hm²,随机区组设计,3 次重复。

表 1 试验地基础肥力
Table 1 Basic fertility of test site

土层深度(cm)	水解氮(mg/kg)	硝态氮(mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(%)	pH 值
Soil depth	Hydrolysis nitrogen	Nitrate nitrogen	Available phosphorus	Available potassium	Organic matter	pH value
0~30	119.80	11.75	64.08	147.44	3.44	5.95
31~60	76.81	8.34	18.25	154.70	1.88	6.62
61~90	30.41	1.35	4.67	154.48	0.69	7.25

在玉米拔节期、吐丝期、吐丝后 15 d、吐丝后 30 d 和成熟期取地上部植株,并按器官发育情况进行分解,在 105℃烘箱内杀青 2 h 后在 80℃下烘至恒重,称干重后用高速中药粉碎机粉成细面。全氮含量检测委托吉林省农业科学院检测中心进行。

1.3 统计分析方法

各器官氮素积累量=器官全氮含量(%)×干物质积累量(kg/hm²);各器官氮素转运量=吐丝期该器官的氮素积累量-成熟期该器官的氮素残留量;各器官氮素转运率=该器官的氮素转运量/吐丝期该器官的氮素积累量×100%;营养器官氮素转运贡献率=营养器官氮素转运量/成熟期子粒氮积累量×100%;子

粒氮素吸收量=子粒氮素总积累量/产量^[6]。

数据采用 DPSv7.05 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 水氮胁迫对玉米产量及其构成因素的影响

在水分胁迫情况下,随着氮胁迫的增加,产量反而极显著提高,正常施氮量产量最低,两年试验的产量变化情况一致。正常供水条件下,氮胁迫严重阻碍了玉米产量的形成,并且达显著或极显著水平。2011 年百粒重变化与产量变化趋势一致;2012 年水分胁迫下的百粒重有随施氮量增加趋势,但不显著。穗粒数变化也同产量变化一致。

表 2 不同水氮处理的产量性状
Table 2 The yield traits of different water and nitrogen treatments

处 理 Treatment	产 量(kg/hm ²) Yield		百粒重(g) 100-grain weight		穗粒数(粒) Number of grain per ear	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
N0W1	7 269.2 c B	10 450.2 d D	33.4 b B	37.9 c B	447 b B	457 c B
N1W1	7 153.9 d C	10 372.8 de D	32.0 c C	38.1 c B	446 b B	450 cd B
N2W1	6 990.1 e D	10 222.9 e D	31.3 c C	38.6 c B	445 b B	443 d B
N0W2	9 589.9 b A	13 424.0 c C	34.2 ab AB	41.2 b A	545 a A	515 b A
N1W2	9 618.6 b A	13 784.3 b B	34.1 ab AB	42.1 a A	543 a A	514 b A
N2W2	9 703.7 a A	14 100.4 a A	34.7 a A	41.6 ab A	547 a A	525 a A

注:表内产量及百粒重的玉米含水率为 14%。

Note: The maize moisture content was 14% of the yield and 100-seed weight in the table.

表3 2011年玉米产量方差分析

Table 3 The variance analysis of maize yield in 2011

变异来源	平方和	自由度	均 方	F值	P值
Sources of variation	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F-value	P-value
区组间	4 832.242 9	2	2 416.121 5	1.304 1	0.313 8
水分因素间	28 118 749.13	1	28 118 749.13	15 177.656	0.000 1
肥料因素间	20 500.341 1	2	10 250.170 5	5.532 7	0.024 1
水分×肥料	118 546.888 6	2	59273.444 3	31.994 0	0.000 1
误 差	18 526.410 9	10	1 852.641 1		
总变异	28 281 155.01	17			
水分因素间多重比较 The multiple comparisons of A factors					
处 理	均 值	5%显著水平		1%极显著水平	
Treatment	Mean	5% significant level		1% significant level	
W2	9 637.422 2	a		A	
W1	7 137.700 2	b		B	
氮肥因素间多重比较 The multiple comparisons of B factors					
N0	8 429.533 4	a		A	
N1	8 386.249 9	ab		AB	
N2	8 346.900 0	b		B	

表4 2012年玉米产量方差分析

Table 4 The variance analysis of maize yield in 2012

变异来源	平方和	自由度	均 方	F值	P值
Sources of variation	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F-value	P-value
区组间	20 036.077 5	2	10 018.038 8	0.713 6	0.513 2
水分因素间	52 662 533.26	1	52 662 533.26	3 751.235	0.000 1
肥料因素间	154 648.694 2	2	77 324.347 1	5.507 9	0.024 4
水分×肥料	612 659.783 2	2	306 329.891 6	21.820 4	0.000 2
误 差	140 387.189 5	10	14 038.718 9		
总变异	53590 265.00	17			
水分因素间多重比较 The multiple comparisons of A factors					
处 理	均 值	5%显著水平		1%极显著水平	
Treatment	Mean	5% significant level		1% significant level	
W2	13 769.589 0	a		A	
W1	10 348.655 3	b		B	
氮肥因素间多重比较 The multiple comparisons of B factors					
N0	12 161.666 8	a		A	
N1	12 078.566 4	ab		A	
N2	11 937.132 8	b		A	

由产量的多重比较分析可看出,影响产量形成的最大因子是水分,达极显著差异;氮肥的影响相对小些,只有正常量施氮跟不施氮间差异达显著或极显著水平。

2.2 氮的积累动态

所有处理的玉米单株总吸氮量均随着玉米的生

长发育而递增,成熟期最高。水分胁迫使玉米植株吸氮量降低,相同水分条件下,植株氮积累量与土壤施氮量正相关(图1、图2)。

2.3 不同生育期氮素在各器官中的比例

从表5、表6可以看出,氮素在各器官中所占的比例随植株的生长发育而逐渐减少,即拔节期各营

养器官中氮素比例最高,氮各器官比例高低依次为茎>叶>鞘;吐丝期生殖器官氮素比例最高,2011年高低顺序依次为叶>雄穗>苞叶>茎>鞘,2012年为雄穗>叶>苞叶>茎>鞘;氮素在子粒中分配比例最高时期是吐丝后15 d。吐丝后15 d、吐丝后30 d氮各器官百分比高低依次为为叶>子粒>雄穗>轴>鞘>苞叶>茎;成熟期依次为粒>叶>雄穗>鞘>轴>茎>苞叶。各

时期氮素比例最高的器官分别为拔节期茎、吐丝灌浆期叶和成熟期的子粒。雄穗含氮比例始终处于前3位。拔节期水分胁迫下茎、鞘内氮比例高于正常供水,而叶则相反;吐丝至成熟期水分胁迫下的雄穗氮素比例高于正常供水,其他器官氮比例有正常供水高于水胁迫趋势;相同水分条件下不同施氮量之间的各器官含氮比例无明显规律。

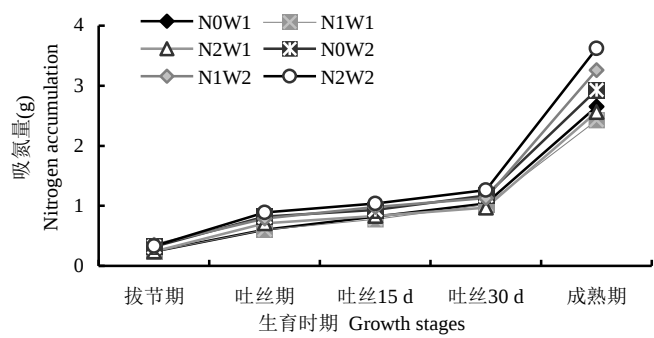


图1 玉米植株各时期吸氮量(2011)

Fig.1 Maize plant nitrogen uptake different stages in 2011

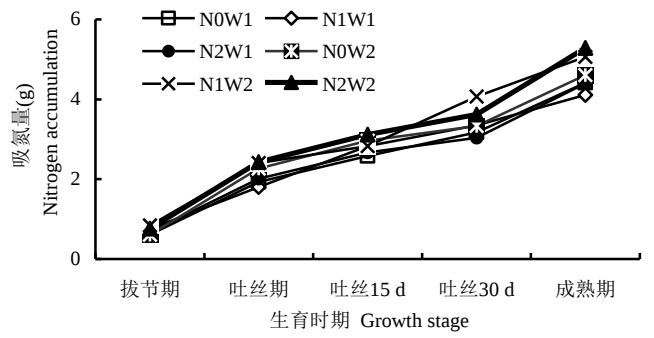


图2 玉米植株各时期吸氮量(2012)

Fig.2 Maize plant nitrogen uptake different stages in 2012

表5 不同生育时期氮素在各器官的百分比(2011)

Table 5 The percentage of nitrogen in various organs at different growth stages (2011)

项 目 Item		N0W1		N1W1		N2W1		N0W2		N1W2		N2W2	
拔节期	茎	4.727 1 b	A	4.714 3 b	A	4.753 7 a	A	4.542 9 c	B	4.291 7 e	D	4.459 1 d	C
	鞘	2.764 3 a	A	2.555 8 b	AB	2.704 0 ab	A	2.626 2 ab	A	2.341 2 c	B	2.298 1 c	B
	叶	3.802 5 ab	A	3.699 2 b	A	3.827 9 ab	A	3.975 4 a	A	3.858 2 ab	A	3.889 6 ab	A
吐丝期	茎	1.130 3 a	A	1.303 2 a	A	1.308 9 a	A	1.261 1 a	A	1.172 4 a	A	1.269 9 a	A
	鞘	0.853 8 b	B	0.984 0 a	AB	0.988 3 a	AB	1.016 9 a	A	0.918 5 ab	AB	1.003 4 a	A
	叶	2.895 5 ab	A	2.641 5 c	A	2.697 1 bc	A	2.837 9 abc	A	2.823 3 abc	A	2.915 7 a	A
吐丝后 15 d	苞叶	1.734 0 bc	BC	1.695 9 cd	BCD	1.483 2 e	D	1.562 4 de	CD	1.879 7 b	B	2.278 1 a	A
	雄穗	1.777 9 bc	BC	1.603 8 c	C	1.844 7 b	BC	2.787 3 a	A	1.919 8 b	B	2.803 8 a	A
	茎	0.837 8 a	A	0.857 7 a	A	0.891 1 a	A	0.803 9 a	A	0.760 3 a	A	0.796 3 a	A
	鞘	0.950 1 a	A	0.900 8 a	A	0.898 2 a	A	0.841 4 a	A	0.897 7 a	A	0.910 2 a	A
	叶	2.582 4 f	F	2.616 7 d	D	2.750 8 a	A	2.594 4 e	E	2.635 7 c	C	2.641 3 b	B
	苞叶	0.828 4 a	A	0.885 0 a	A	0.874 1 a	A	0.765 9 a	A	0.878 8 a	A	0.907 6 a	A
	雄穗	1.657 9 a	A	1.658 4 a	A	1.468 1 b	B	1.351 6 c	C	1.341 8 c	C	1.473 9 b	B
	子粒	2.658 3 a	A	2.559 8 ab	A	2.693 1 a	A	2.490 9 ab	A	2.498 8 ab	A	2.444 5 b	A
	轴	1.429 7 a	AB	1.567 0 a	A	1.554 8 a	A	1.522 6 a	A	1.439 8 a	AB	1.222 2 b	B

续表5 Contin 5

项 目	Item	NOW1		N1W1		N2W1		NOW2		N1W2		N2W2	
吐丝后 30 d	茎	0.587 1 b	B	0.720 6 a	A	0.620 6 b	AB	0.599 0 b	B	0.591 5 b	B	0.568 6 b	B
	鞘	0.684 0 c	C	0.761 5 a	A	0.754 5 a	AB	0.727 5 b	B	0.689 1 c	C	0.681 1 c	C
	叶	2.373 8 abc	AB	2.402 7 ab	AB	2.228 8 bc	AB	2.336 8 abc	AB	2.188 7 c	B	2.489 6 a	A
	苞叶	0.714 5 b	BC	0.754 0 a	A	0.675 1 c	D	0.739 6 a	AB	0.691 1 c	CD	0.689 8 c	CD
	雄穗	1.432 3 ab	AB	1.562 6 a	A	1.403 8 abc	ABC	1.215 7 cd	BC	1.115 3 d	C	1.304 6 bed	ABC
	子粒	1.903 1 a	A	1.866 0 a	A	1.771 2 a	A	1.759 1 a	A	1.787 1 a	A	1.764 5 a	A
	轴	0.746 4 d	CD	0.741 1 d	D	0.779 5 bc	B	0.795 3 b	AB	0.772 3 c	BC	0.815 0 a	A
	茎	0.678 1 a	A	0.605 6 b	B	0.582 9 cd	BC	0.598 4 bc	B	0.567 5 d	C	0.489 6 e	D
	鞘	0.607 0 a	A	0.516 3 a	A	0.624 2 a	A	0.625 5 a	A	0.546 2 a	A	0.676 9 a	A
	叶	1.229 1 b	A	1.513 3 a	A	1.378 4 ab	A	1.515 8 a	A	1.502 0 a	A	1.443 0 a	A
	苞叶	0.468 2 a	A	0.607 4 a	A	0.586 8 a	A	0.609 4 a	A	0.512 4 a	A	0.520 8 a	A
	雄穗	1.404 4 b	BC	1.546 8 b	B	1.746 0 a	A	1.338 8 bc	BC	1.346 0 bc	BC	1.167 4 c	C
	子粒	1.737 0 a	A	1.576 5 e	E	1.551 5 f	F	1.640 3 d	D	1.707 3 b	B	1.673 3 c	C
	轴	0.544 8 d	C	0.607 8 b	B	0.553 2 cd	C	0.595 8 b	B	0.705 3 a	A	0.564 5 c	C

表6 不同生育时期氮素在各器官的比例(2012)
Table 6 The percentage of nitrogen in various organs at different growth stages(2012)

项 目	Item	NOW1		N1W1		N2W1		NOW2		N1W2		N2W2	
拔节期	茎	4.206 3 c	BC	4.552 4 a	A	4.265 3 bc	BC	4.416 0 ab	AB	4.567 7 a	A	4.083 7 c	C
	鞘	3.195 5 ab	AB	2.997 5 bc	BC	2.842 6 cd	CD	3.296 7 a	A	2.729 6 c	D	2.662 8 d	D
	叶	3.809 3 b	B	3.835 9 b	B	4.010 3 b	AB	3.937 5 b	AB	4.215 9 a	A	3.996 6 b	AB
吐丝期	茎	1.211 9 a	A	1.197 2 a	A	1.136 1 a	A	1.054 0 a	A	1.072 6 a	A	1.084 2 a	A
	鞘	0.929 4 a	A	0.832 3 a	A	0.867 1 a	A	0.943 0 a	A	0.949 4 a	A	0.978 5 a	A
	叶	2.713 8 a	A	2.640 4 a	A	2.596 2 a	A	2.739 9 a	A	2.713 9 a	A	2.690 1 a	A
	苞叶	1.405 0 b	A	1.502 4 ab	A	1.422 1 b	A	1.656 0 a	A	1.672 1 a	A	1.401 2 b	A
	雄穗	2.864 8 b	B	2.892 5 a	A	2.818 5 d	D	2.836 8 c	C	2.723 2 f	F	2.769 7 e	E
吐丝后 15 d	茎	0.861 9 a	A	0.798 9 b	B	0.737 0 d	D	0.670 9 f	F	0.680 1 e	E	0.759 0 c	C
	鞘	0.7401 d	C	0.762 0 c	C	0.757 2 cd	C	0.832 3 a	A	0.798 9 b	B	0.829 4 a	A
	叶	2.844 6 c	B	2.936 4 bc	AB	3.070 2 ab	AB	3.014 2 abc	AB	2.943 1 bc	AB	3.161 3 a	A
	苞叶	0.742 8 a	A	0.706 1 a	A	0.700 7 a	A	0.761 8 a	A	0.691 1 a	A	0.763 4 a	A
	雄穗	1.656 3 c	C	1.799 8 a	A	1.787 2 b	B	1.372 2 e	E	1.264 6 f	F	1.499 6 d	D
	子粒	2.314 4 c	B	2.402 5 bc	AB	2.664 8 a	A	2.480 6 abc	AB	2.557 7 ab	AB	2.654 0 a	A
	轴	0.892 4 e	E	0.976 8 d	D	1.153 3 b	B	1.077 4 c	C	1.260 7 a	A	1.135 5 b	B
吐丝后 30 d	茎	0.453 4 c	C	0.413 3 d	D	0.454 1 c	C	0.442 3 c	C	0.480 2 b	B	0.589 7 a	A
	鞘	0.627 8 e	E	0.611 2 f	F	0.660 6 d	D	0.674 2 c	C	0.685 0 b	B	0.700 6 a	A
	叶	2.522 0 ab	ABC	2.166 8 d	D	2.402 8 bc	BC	2.356 7 c	CD	2.583 1 a	AB	2.664 8 a	A
	苞叶	0.453 4 b	A	0.462 0 ab	A	0.471 1 a	A	0.455 1 b	A	0.411 4 c	B	0.418 2 c	B
	雄穗	1.682 3 b	B	1.747 4 a	A	1.332 9 e	E	1.391 8 d	D	1.590 8 c	C	1.314 1 e	E
	子粒	1.819 9 b	B	1.832 9 b	AB	1.847 8 a	A	1.750 1 d	D	1.727 1 e	E	1.784 3 c	C
	轴	0.486 3 b	AB	0.476 6 bc	B	0.506 8 a	A	0.439 9 d	C	0.436 9 d	C	0.467 3 c	B
	茎	0.345 3 d	D	0.414 8 b	B	0.340 8 d	D	0.480 1 a	A	0.384 8 c	C	0.381 7 c	C
	鞘	0.673 9 b	B	0.566 7 f	F	0.627 6 c	C	0.603 8 e	E	0.605 0 d	D	0.700 5 a	A
	叶	1.504 5 c	B	1.510 1 c	B	1.367 4 d	C	1.517 6 bc	B	1.530 1 b	B	1.561 9 a	A
成熟期	苞叶	0.289 5 e	C	0.315 1 bc	ABC	0.342 2 a	A	0.309 2 cd	BC	0.293 3 de	C	0.332 0 ab	AB
	雄穗	1.705 3 a	A	1.424 5 c	C	1.420 6 c	C	1.216 2 d	D	1.188 4 e	E	1.471 0 b	B
	子粒	1.699 5 c	B	1.699 5 c	B	1.713 2 bc	B	1.698 4 c	B	1.718 6 b	B	1.747 8 a	A
	轴	0.515 6 c	BC	0.491 1 d	C	0.505 5 cd	C	0.514 7 c	BC	0.538 8 b	B	0.641 7 a	A
	茎	0.345 3 d	D	0.414 8 b	B	0.340 8 d	D	0.480 1 a	A	0.384 8 c	C	0.381 7 c	C
	鞘	0.673 9 b	B	0.566 7 f	F	0.627 6 c	C	0.603 8 e	E	0.605 0 d	D	0.700 5 a	A
	叶	1.504 5 c	B	1.510 1 c	B	1.367 4 d	C	1.517 6 bc	B	1.530 1 b	B	1.561 9 a	A

2.4 水氮胁迫对氮素转运、吸收及土壤水分利用效率的影响

两年试验结果表明,氮素转运率和营养器官氮素贡献率变化一致,即水分胁迫情况下,氮胁迫使其极显著下降;供水正常氮胁迫下,氮素转运率和贡献率则升高,且无氮处理极显著高于正常氮量处理(表7)。

相同水分条件下,子粒吸收氮素量均与施氮量成正比,而且不同氮量级之间差异达显著或极显著水平。相同施氮量不同水分处理之间,除2011年无

氮不同水分处理间变化不显著外,其余各处理均达极显著水平。

水分胁迫下,表观土壤水分利用效率随施氮量的增加而降低,并且不同氮量级间差异达显著或极显著水平,说明以肥促水的作用微乎其微。正常供水情况下,土壤水分利用效率则随施氮量的增加而增加,且2012年各氮量级间达极显著差异,说明只有满足一定的需水量才能起到水肥互促的作用。相同施氮量下,水分胁迫下的水分利用效率显著或极显著高于正常供水处理。

表7 不同水氮处理的各项指标差异
Table 7 The differences of each index different water and nitrogen treatments

处 理 Treatment	氮素转运率 (%) Nitrogen transport rate		营养器官氮素贡献率(%) Vegetation organ Nitrogen contribution rate		每千克子粒吸收氮素量 (g/kg) Absorbed N amount per kg grain		表观土壤水分利用效率 (kg/m ³) Apparent soil water use efficiency	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
N0W1	48.8 b BC	40.1 e E	14.6 c CD	23.8 c C	15.3 e E	17.1 c C	7.05 a A	10.2 a A
N1W1	49.0 b B	43.1 d D	15.7 b BC	23.8 c C	18.3 c C	19.1 b B	6.96 b B	10.1 a AB
N2W1	53.9 a A	48.9 a A	16.2 b AB	28.0 b B	18.9 b B	20.3 a A	6.73 c C	9.8 b B
N0W2	47.8 c CD	47.6 b B	17.3 a A	30.5 a A	15.5 e E	14.7 f E	3.19 d D	4.5 c C
N1W2	47.2 cd DE	45.4 c C	14.2 cd D	27.8 b B	17.4 d D	15.7 e D	3.21 d D	4.6 c C
N2W2	46.5 d E	38.6 f F	13.5 d D	23.8 c C	19.6 a A	16.3 d CD	3.23 d D	4.7 c C

3 结论与讨论

水分胁迫条件下,各施氮量级的玉米极显著减产,且随施氮量的增加减产越大,这可能是由于土壤环境的水分不能满足植株正常的生理需要,存在植株根系与土壤里氮肥相互争水,氮素越多对根系的吸水影响越大,从而最终影响产量的提高。正常供水量情况下,玉米产量随施氮量的增加而显著或极显著增加;水氮胁迫也同样影响着穗粒数和百粒重的形成。多重分析结果进一步表明,水分因子对产量的影响大于氮肥,水分处理之间差异达极显著水平,氮肥之间只有无氮处理和正常施氮处理间差异达显著或极显著水平。王小燕^[7]研究表明,施氮量和灌溉量对植株吸氮量、子粒产量的影响存在互作,其中,灌溉量的效应大于施氮量的效应。

随着植株的生育进程,植株对氮素的吸收和积累逐渐增加,成熟期积累最多。水胁迫使玉米植株吸氮量降低,且随施氮量的增加降低越明显。正常供水条件下,氮胁迫使植株氮积累量降低。

不同生育时期氮素在各器官中所占比例随植株的生长发育逐渐降低。各生育时期氮素比例最高的器官分别为拔节期茎、吐丝灌浆期的叶、成熟期子

粒。雄穗在各期含氮比例始终处于前3位。水分胁迫下氮素比例高于正常供水的器官有拔节期的茎、鞘和吐丝至成熟期的雄穗。其他器官氮比例有正常供水较高的趋势。

水分胁迫下氮素转运率和营养器官氮素贡献率随氮胁迫的增加而降低,而供水正常情况下,氮胁迫使氮素转运率和氮素贡献率极显著增加;相同水分条件下,每kg子粒吸收氮素量与施氮量显著正相关,相同氮量水分胁迫使子粒氮素吸收量有增多趋势;水分胁迫下,表观土壤水分利用效率随施氮量的增加而下降。张岁岐等^[8]认为,严重水分亏缺削弱了氮肥对提高WUE的作用,因而严重干旱时大量的氮肥并无益于WUE的提高,而正常供水氮胁迫下WUE降低。徐萌等^[9]报道,营养亏缺对植物同化作用和生长等过程的影响大于其对水分消耗的影响,因而导致了WUE的降低。相同施氮量下,水分胁迫下的水分利用效率显著或极显著高于正常供水处理。

参考文献:
[1] 鱼欢,杨改河,王杰. 不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 266-273.

- Yu H, Yang G H, Wang Z J. Nitrogen rate and timing considerations on physiological parameters of corn canopy and yield[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 266–273. (in Chinese)
- [2] 张锡梅,魏其克,闵安成,等. 不同水肥条件对春玉米光合运转关系的影响及其产量效应的研究[J]. *西北植物学报*, 1996, 16(3): 232–238.
- Zhang X M, Wei Q K, Min A C, et al. Study on the effect of different soil water content and soil fertility conditions on the photosynthetic conductance and yield of spring corn[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1996, 16(3): 232–238. (in Chinese)
- [3] Brown P J. Water use and soil water depletion by dry land wheat as affected by nitrogen fertilization[J]. *Agron. J.*, 1972, 63: 43–46.
- [4] Porver J F. Soil management for efficient water use soil fertility[A]. Taylor H M etc(eds). *Limitation to efficient water use in crop production*[M]. USA: ASA-CSSA-SSSA, 1983.
- [5] 翟丙年,李生秀. 不同水分状况下施氮对夏玉米水分利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(4): 473–480.
- Zhai B N, Li S X. Effects of nitrogen nutrition on summer maize water use efficiency[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(4): 473–480. (in Chinese)
- [6] 赵万春,董 剑,高 翔,等. 施氮对杂交小麦不同器官氮素积累与转运及其杂种优势的影响[J]. *作物学报*, 2007, 33(1): 57–62.
- Zhao W C, Dong J, Gao X, et al. Effects of nitrogen application on nitrogen accumulation and translocation as well as their heterosis in different organs of hybrid wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(1): 57–62. (in Chinese)
- [7] 王小燕,于振文. 不同施氮量条件下灌溉量对小麦氮素吸收转运和分配的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3015–3024.
- Wang X Y, Yu Z W. Effect of irrigation rate on absorption and translocation of nitrogen under different nitrogen fertilizer rate in wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3015–3024. (in Chinese)
- [8] 张岁岐,山 仑. 氮素营养对春小麦抗旱适应性及水分利用的影响[J]. *水土保持研究*, 1995, 2(1): 31–35, 55.
- Zhang S Q, Shan L. Effects on nitrogen nutrition on adaptation and water use of spring wheat drought resistance[J]. *Research of Soil and Water conservation*, 1995, 2(1): 31–35, 55. (in Chinese)
- [9] 徐 萌,山 仑. 无机营养对春小麦抗旱适应性的影响[J]. *植物生态学与植物学学报*, 1991, 15(1): 79–87.
- Xu M, Shan L. Effects of mineral nutrition on spring wheat drought adaptability[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1991, 15(1): 79–87. (in Chinese)
- (责任编辑:朴红梅)

(上接第116页)

- [18] 张淑香,赵琳平,等. 包膜尿素对玉米和小麦的生物学与环境效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1086–1091.
- Zhang S X, Zhao L P, et al. Biological and environmental effect of coated urea on maize and wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(6): 1086–1091. (in Chinese)
- [19] 宗晓庆,张 民,张庆富. 硫包膜尿素对土壤性质和夏玉米生长的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(2): 227–231.
- Zong X Q, Zhang M, Zhang Q F. Effects of sulfur coated urea on properties of soil and growth of maize[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(2): 227–231. (in Chinese)
- [20] 满建国,周 杰. 硫加树脂包膜尿素控释肥对小麦干物质积累分配及产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(5): 1175–1182.
- Man J G, Zhou J. Effects of sulfur plus resin-coated controlled release urea fertilizer on winter wheat dry matter accumulation and allocation and grain yield[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(5): 1175–1182. (in Chinese)
- [21] 高 强,李德忠,黄立华,等. 吉林玉米带玉米一次性施肥现状调查分析[J]. *吉林农业大学学报*, 2008, 30(3): 301–305.
- Gao Q, Li D Z, Huang L H, et al. Investigation of present situation on single fertilization for maize in Jilin maize belt[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2008, 30(3): 301–305. (in Chinese)
- (责任编辑:姜媛媛)