

不同水肥条件下春小麦耗水量和水分利用率⁽²⁰⁾

刘晓宏^{1,2}, 肖洪浪¹, 赵良菊¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 通过温室盆栽试验, 研究了不同土壤水分和施氮量条件下春小麦的耗水量和水分利用率等相关参数的变化情况。结果表明: 春小麦耗水量、生物产量及经济产量均因土壤水分和施氮量的不同而变化。水分充足, 春小麦耗水量、生物产量及经济产量均随施氮量的增加而显著增加; 中度水分胁迫下, 低氮处理的耗水量、生物产量及经济产量均最高, 最适氮处理与 CK 处理接近; 干旱条件, 低氮与 CK 处理耗水量和产量接近, 而最适氮处理则显著降低。各生育时期的耗水量和日耗水量在不同生育时期存在差异, 其中以灌浆期春小麦日均耗水量为最高。在不同土壤水分条件下, 春小麦地上部分干重和籽粒的水分利用效率随施氮量的增加而增加, 尤以水分充足条件下水分利用率随施氮量的增加最为显著。

关键词: 水肥; 春小麦; 耗水量; 水分利用率

中图分类号: S512.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006) 01-0056-04

土壤水分是土壤养分的基本要素之一, 也是作物的主要营养物质。水分不但是作物生长所必需的条件之一, 也是化肥溶解和有机肥料矿化的必要条件, 养分通过扩散与质流的方式向根表迁移以及根系对养分的吸收都必须有水参与^[1]。据估计, 全世界因干旱而造成的农作物产量损失是其它各种自然灾害损失之和^[2]。在干旱半干旱地区, 干旱和瘠薄是作物产量的两个限制因素, 干旱对植物的主要影响是生理脱水, 原因是干旱导致组织和细胞水势下降, 从而影响到植物对土壤水分的利用效率^[3]。研究表明施肥能提高植物渗透调节能力, 尤其是增施氮肥可显著抑制蒸腾失水, 提高水分利用率^[3]。除此之外氮素营养可以改善水分胁迫下小麦植株体内的水分状况^[4]。本文拟就不同水分和氮素条件下春小麦耗水量、耗水动态及水分利用率的变化进行分析, 以期对干旱半干旱区农业生产中合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和作物

供试土壤采自甘肃省农业科学院土壤肥料研究所试验田, 为黄河灌淤土, 田间饱和持水量为 34%, 萎蔫系数为 8.87%, 基本理化性状见表 1。供试作物为春小麦, 品种为永良 4 号(又名宁春 4 号)。本试验盆钵(直径 18.5 cm, 深 22.6 cm) 每钵装土 5.5 kg。试

验在甘肃省农业科学院土肥所温室进行。2004 年 3 月 1 日播种, 2004 年 6 月 12~18 日收获。高水处理, 全生育期 99 d, 中水和低水处理为 93 d。

1.2 试验设计

试验处理设水分(W)和氮肥(N)两个因素, 施氮量设纯氮 0、120、450 kg/hm² 三个水平, 分别代表无氮(NN)、低氮(LN)和适量氮(ON); 土壤水分设水分充足(well-watered)、中度水分胁迫(medi-watered)和重度水分胁迫(drought)三水平, 土壤含水量分别为田间持水量的 60%、40% 和 10%, 重量含水量分别为 20%、14% 和 10%。试验重复 3 次, 收获期测定生物产量和籽粒产量。

水分利用效率测定: 水分利用效率为干物重与耗水量之比, 单位为 g/(kg · pot)。

籽粒水分 = $\frac{\text{单位面积籽粒重}}{\text{单位面积耗水量}}$

地上部分水 = $\frac{\text{单位面积地上部分干重}}{\text{单位面积耗水量}}$

1.3 土壤水分控制

据试验设计, 确定各水平水分处理总重(盆重 + 土壤重 + 需水重), 将该重设为定值, 从出苗后一周开始进行水分控制。每天称重(电子天平感量为 1 g)补加损失的水分, 并记录加水量, 据此计算春小麦耗水量。苗期忽略小麦的生长量, 每天保持恒重; 拔节

20 收稿日期: 2005-06-15

基金项目: 干旱气象基金(IAM200402); 国家“十五”攻关计划(2002BA517A11)

作者简介: 刘晓宏(1972-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为树木年轮生态学。

通讯作者: 赵良菊, zhli@lzb.ac.cn

期以后据小麦生长量在各个生育时期做相应增加。

表1 供试土壤理化性状
Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

项目 Item	有机质 O·M (g/kg)	全养分(g/kg) Total nutrients			速效养分(mg/kg) Rapidly-available nutrients			EC (S/m)	pH
		N	P	K	水解N Alk-hydro N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
兰州灌淤土 Cumulated irrigated soil	22.19	1.15	2.71	22.5	98.1	98.5	380	270.4	8.26

2 结果与分析

2.1 春小麦耗水量

2.1.1 不同处理春小麦累积耗水量

(1) 春小麦总耗水量:同一水分条件,总耗水量因施氮量不同而存在显著差异(表2)。水分充足,总耗水量随施氮量的增加而显著增加,与CK相比低氮处理和最适氮处理增幅分别为18.5%和30.7%;中度水分胁迫条件下,低氮处理总耗水量比CK处理高11.2%,最适氮处理则较CK处理降低9.2%;干旱条件低氮处理总耗水量与CK接近,最适氮处理则极显著降低。同一施氮量累积耗水量也因水分条件的不同而有差异。若以水分充足时累积耗水量为100%,不施氮肥时中度水分胁迫和干旱条件下累积耗水量分别为82.1%和65.6%;低氮处理两者分别为77.1%、55.6%,最适氮处理分别为57.0%和36.8%。由此可见随施氮量增加累积耗水量因水分胁迫的加剧而降低,水分条件和施氮量对春小麦耗水量均有显著的影响,且有明显的交互作用。

(2) 不同生育时期累积耗水量(图1):水分条件不同,春小麦在拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期耗水量随施氮量的不同而有差异。土壤水分充足,在拔节期,春小麦在三个肥料水平的累积耗水量接近,可见在拔节期之前春小麦水分效应高于肥料效应,这个结果与棉花^[5]和小麦^[6]上的研究结果相一致;拔节期以后春小麦在各生育期累积耗水量随施氮量的增加而增加,尤其是在成熟期,耗水量随施氮量的增加而极显著增加,与对照(不施氮肥)相比,低氮处理和最适氮处理春小麦该时期耗水量分别增加35.3%和80.8%。中度水分胁迫下,除拔节期低氮处理耗水量略低于CK(降低2.1%)外,其余时期均高于最适氮处理和CK处理,最适氮处理则低于或与CK接近;干旱条件低氮处理耗水量与CK处理接近,最适氮处理则极显著降低,降幅在23.2%~31.9%。由此可见水分充足增施氮肥利于作物对水分的吸收,中度水分胁迫少量氮肥有助于作物吸收水分,干旱条

件施用氮肥显著降低植物吸收水分的能力。

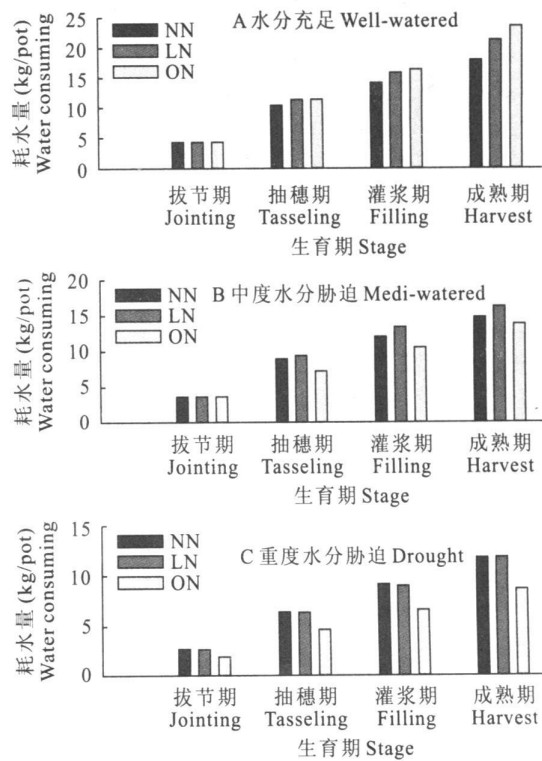


图1 春小麦各生育时期累积耗水量
Fig.1 Cumulative water consumption of spring wheat in different growth stages

2.1.2 春小麦不同生育时期耗水量 从表2可以看出,拔节期耗水量为4 354.3 g/pot,占累积耗水量的14.1%~20.4%,日均77.3~166.0 g/pot;抽穗期春小麦耗水量占全生育期累积耗水量的百分数最高,在29.6%~35.2%之间,平均每天耗水136.4~349.3 g/pot;灌浆期和成熟期耗水量分别占全生育期的19.9%~23.9%和18.2%~30.5%,日均耗水量分别在138.9~357.5 g/pot和107.2~287.7 g/pot之间。

水分充足,抽穗期前不同氮肥处理之间耗水量差异不大,在抽穗期之后耗水量则随施氮量的增加而急剧增加,可见在水分充足条件下,在抽穗期之前春小麦的生长主要受水分影响,肥料效应则在抽穗

期后起主导作用。

在中度和重度水分胁迫下,春小麦耗水量在整个生育期均受氮肥的影响,胡明芳等^[5]对施肥与不施肥两种情况下干旱胁迫对棉花苗期的生长状况研究表明,水分与养分及其耦合效应对棉花早期的生

长都具有显著的影响,干旱胁迫或养分不足都显著降低棉花生物学产量。这个结果与本研究结果一致。因此在干旱半干旱区水分供应不足条件下应合理少施或不施氮肥,以免影响作物生长。

表 2 春小麦不同生育时期的耗水量及日均耗水量

Table 2 Daily and seasonal water consumption of spring wheat in different stages

处理 Treatment	全生育期 累积耗水量 Total water consumption	拔节期Jointing (03-05~04-20)			抽穗期Tasseling (04-21~05-10)			灌浆期Filling (05-11~05-24)			成熟期Ripening (05-25~06-18)		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
W3N0	18008.0	165.7	4354.3	18.4	305.5	6109.7	33.9	255.4	3575.0	19.9	165.4	3969.0	22.0
W3N1	21330.7	166.0	4412.0	15.6	349.3	6986.0	32.8	325.9	4562.0	21.4	223.8	5370.7	25.2
W3N2	23536.0	165.7	4375.0	14.1	348.8	6976.0	29.6	357.7	5007.7	21.3	287.1	7177.3	30.5
W2N0	14784.7	151.0	3762.0	20.4	258.4	5167.0	34.9	226.1	3165.7	21.4	141.6	2690.0	18.2
W2N1	16441.0	147.8	3689.5	18.0	289.8	5795.3	35.2	280.9	3933.0	23.9	158.6	3013.0	18.3
W2N2	13418.3	120.2	2998.0	17.9	216.4	4328.3	32.3	228.8	3203.0	23.9	152.1	3289.0	21.5
W1N0	11813.7	113.6	2709.0	19.2	188.0	3759.0	31.8	193.8	2713.3	23.0	139.5	2651.3	22.4
W1N1	11854.7	112.0	2663.7	18.9	186.0	3720.7	31.4	187.7	2628.0	22.2	149.6	2842.3	24.0
W1N2	8671.2	77.3	1935.3	17.8	136.4	2728.0	31.5	138.9	1944.7	22.4	107.2	2037.0	23.5

注：A：日均耗水量[g/(pot·d)]；B:生育时期耗水量(g/pot)；C:生育时期耗水量占总耗水的百分数(%)。成熟期因水分处理不同而异：高水处理为5月25日~6月12日,中水和低水处理均为5月25日~6月12日。

Notes: A: Daily mean water consumption[g/(pot·d)]；B: Water consumption in different stages(g/pot)；C: Percentage in total water consumption(%)·The ripening stage was different for various water treatments; high water: 05-25~06-12; mid water and low water: 05-25~06-12.

表 3 不同水肥条件下春小麦水分利用率及产量

Table 3 Water use efficiency and yield of spring wheat under different nitrogen and water levels

处理 Treatment	产量 (g/10 株) Yield (g/10 plants)				水分利用率 WUE [g/(kg·pot)]			
	生物产量 Biomass yield	增幅 (%) Increase	籽粒产量 Grain yield	增幅 (%) Increase	地上部分 Overground	增幅 (%) Increase	籽粒 Grain	增幅 (%) Increase
W3N0	30.67 _a	—	15.00 _a	—	1.70 _a	—	0.83 _a	—
W3N1	46.07 _b	50.22	21.73 _b	44.89	2.16 _b	26.82	1.02 _b	22.32
W3N2	54.67 _c	78.26	25.54 _c	70.27	2.32 _c	36.39	1.09 _b	30.86
W2N0	25.33 _a	—	11.93 _a	—	1.71 _a	—	0.81 _a	—
W2N1	28.53 _{ab}	12.63	13.53 _{ab}	13.41	1.74 _a	1.28	0.82 _a	1.98
W2N2	27.00 _a	6.58	12.25 _a	2.65	2.01 _{ab}	17.42	0.91 _{ab}	13.12
W1N0	19.33 _a	—	9.20 _a	—	1.64 _a	—	0.78 _a	—
W1N1	20.87 _a	7.93	9.07 _a	−1.45	1.76 _a	7.56	0.76 _a	−1.79
W1N2	17.30 _a	−10.52	8.05 _a	−12.50	2.00 _b	21.91	0.93 _b	19.21

2.2 春小麦水分利用率

春小麦产量结果及水分利用率见表 3。水分充足,生物产量与籽粒产量均随施氮量的增加而极显著增加;轻度水分胁迫下,低氮处理生物产量和籽粒产量最高,最适氮处理与CK 处理差异不大;干旱条件下与CK 相比低氮处理生物产量增加,籽粒产量降低,但差异不显著,最适氮处理生物产量和籽粒产量均显著降低。胡明芳等^[5]研究结果表明,水分充足条件下施肥与不施肥相比棉花苗期生物产量显著增

加,干旱胁迫下产量差异不明显。曹翠玲等^[6]认为从水分胁迫和氮素亏缺影响大小来看,水分胁迫的影响大于氮素亏缺的影响。这进一步表明肥料效应在水分充足时得以发挥。因此在干旱区农业生产中首要的问题是水分的利用,其次才是养分的利用。因为水分不但是作物生长所必需的条件。也是作物输送营养的必要条件,养分通过扩散与质流的方式向根表迁移,这一过程必须借助水来完成^[1]。

同时,从表 3 也可看出春小麦水分利用率随施

氮量和土壤水分条件的不同而有差异。水分充足,地上部分和籽粒水分利用率均随施氮量的增加而显著增加;轻度水分胁迫下,随施氮量的增加水分利用率变化呈相同趋势,其中最适氮处理增加显著,以不施氮与最适氮处理间差异较大,低氮处理与CK间差异很小;干旱条件下除低氮籽粒水分利用率降低外,其余处理均随施氮量的增加而提高。可见春小麦水分利用率在不同水分条件下均随施氮量的增加而增加,尤以水分充足条件下春小麦水分利用率随施氮量的增加最为显著。周卫民等^[7]等研究供氮对旱作小麦环境适应性的影响,结果显示土壤水胁迫下增施氮肥可显著提高同一温、湿度下的水分利用率。但在干旱条件下水分利用率高并不意味着在实际生产中有利,在干旱条件下水分利用率的增加是以牺牲产量为代价,干旱胁迫使植物生长严重受阻,耗水量降低,因而水分利用率相对增加。

3 结 论

土壤水分和施氮量对作物耗水量、生物产量、经济产量和水分利用率均有极显著的影响。本研究结果表明土壤水分和施氮量对春小麦耗水量、产量及水分利用率均有显著的影响。尤其是干旱环境下随施氮量的增加春小麦耗水量、生物和经济产量等均

极显著降低。在不同土壤水分条件下,随施氮量的增加水分利用率呈增加趋势,但在干旱条件下水分利用率的增加是以牺牲产量为代价的。因此,在干旱缺水地区,应少量合理施用氮肥而不宜大量施用。

参 考 文 献:

[1] 北京农业大学·农业化学(总论)第二版[M]·北京:农业出版社,1994.

[2] 冯虎元,安黎哲,王勋陵·环境条件对植物稳定碳同位素组成的影响[J]·植物学通报,2000,17(4):312-318.

[3] 汪德水·旱地农田肥水协同效应与耦合模式[M]·北京:气象出版社,1999.

[4] 李世清,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.

[5] 胡明芳,田长彦,马英杰·不同水肥条件下棉花苗期的生长、养分吸收与水分利用状况[J]·干旱地区农业研究,2002,20(3):35-37.

[6] 曹翠玲,李生秀·水分胁迫和氮素有限亏缺对小麦拔节期某些生理特性的影响[J]·土壤通报,2003,34(6):505-509.

[7] 周卫民,周凌云·供氮对旱作小麦环境适应性的影响[J]·土壤通报,2002,33(6):414-416.

[8] 李伏生,康绍忠·浓度、氮和土壤水分对春小麦养分利用效率的影响[J]·中国农业科学,2002,35(8):953-958.

[9] 周凌云,李卫民·水肥(氮)条件对小麦产量综合效应研究[J]·土壤通报,2003,34(4):291-294.

Effects of water and nitrogen condition on water consumption and water use efficiency of spring wheat

LIU Xiao-hong^{1,2}, XIAO Hong-lang¹, ZHAO Liang-ju¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: With pot experiment, the water consumption, water use efficiency (WUE) and yields (biomass and grain) of spring wheat were investigated under different water and nitrogen fertilizer levels. The results showed that the effects of water and nitrogen fertilizer on the water consumption, WUE and yields of spring wheat were remarkable. Under sufficient water condition, the water consumption and yields increased with the improvement of nitrogen supply; under mid water condition, the water consumption and yields of low-N treatment was all the highest, and those of high-N treatment were close to those of CK; under drought condition, the water consumption and yields of low-N were close to those of CK, and those of high-N were decreased significantly. There were differences of cumulative water consumption and daily water consumption among different growth stages, and the daily water consumption in filling stage was the highest. Under different water conditions, the WUE of overground dry matter and grain were increased with the increase of nitrogen application, and this effect was much significant under sufficient water condition.

Key words: water and nitrogen fertilizer; spring wheat; water consumption; water use efficiency