

[文章编号] 1000-2782(1999)05-0001-05

氮肥对冬小麦抗旱适应性 及水分利用的影响

杜建军, 李生秀, 高亚军, 李世清, 王朝辉, 田霄鸿

(西北农业大学资源与环境科学系, 陕西杨陵 712100)

[摘 要] 在田间试验条件下, 研究了不同氮素营养水平时冬小麦对水分胁迫的适应机理和水分利用效果。结果表明, 干旱条件下, 施氮后, 植物叶水势降低, 气孔阻力增大, 蒸腾速率减弱, 抵御干旱的能力增强; 净光合速率提高, 干物质积累增加; 最终使作物单叶水分利用效率和群体水分利用效率分别提高 33.3% ~ 55.7% 和 13%。

[关键词] 氮素营养; 冬小麦; 水分胁迫; 水分利用效率

[中图分类号] S512.101; Q945.12; Q945.17 [文献标识码] A

作物的抗旱性是作物对水分胁迫的一种适应性反应。作物适应干旱条件不仅表现出特有的形态特征, 如根系发达、根冠比大、叶片细胞小等, 而且还表现出较为明显的生理反应, 如渗透调节增强、气孔关闭、蒸腾减弱等。这些适应性反应有利于作物经济地利用水分^[1~3]。作物对水分的有效利用取决于水分代谢的 3 个方面, 即水分的吸收、水分在植物体内的运输和水分的排出^[1], 后者主要与叶水势、气孔阻力、蒸腾速率有关。有关这方面的研究已有不少报道^[4~8], 但多限于模拟试验, 且很少与养分结合。本研究在大田条件下, 以叶水势、气孔阻力、蒸腾速率和水分利用效率为指标, 研究了冬小麦在不同氮素营养下对水分胁迫的适应机理及水分利用效率的影响, 以期旱地水肥的有效管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 田间试验

于 1993-09-21~1994-06-08 在陕西澄城县西北农业大学试验基地进行。供试品种为抗旱性较强的晋麦 33。试验设水分和肥料 2 个因子。水分因子设不灌和灌水 60 mm (分别在 1994 年 3 月 15 日和 1994 年 5 月 5 日各灌 30 mm) 2 个水平; 肥料因子设每公顷施 0、37.5、75、0、112.5、150.0 kg 氮素 (以尿素为氮源) 5 种水平, 每公顷施 1500 kg 普钙作底肥, 共 10 个处理, 3 次重复, 小区面积 20 m²。田间采取裂区排列, 水分作主区, 氮肥作副区, 在主区内随机排列。所有肥料均在播前 1 次施入。每次灌水后, 待地表略干, 进行中耕。冬小麦生长期, 由 1 个重复内测定叶水势、气孔阻力、蒸腾速率和净光合速率; 分层 (每 20 cm 1 层) 采取 2 m 深土样, 测定含水量。冬小麦生育前期降雨适中, 4 月上中旬降雨偏

[收稿日期] 1998-09-15

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (4989033Q 39770425)

[作者简介] 杜建军 (1966-), 男, 讲师, 硕士

多, 4月 20日至 5月 25日滴雨未下, 是多年少见的旱灾

1 2 测定项目及方法

叶水势用压力室法^[9]测定 (分别在测定日的 8 00~ 10 00 12 00~ 14 00 16 00~ 18 00测定, 取日平均值); 气孔阻力、蒸腾速率、净光合速率用 LI-6200便携式光合仪测定 (分别在测定日的 8 00 10 00 14 00 16 00 18 00测定, 取日平均值); 土壤水分用烘干法测定

2 结果与讨论

2 1 对冬小麦叶水势的影响

本试验条件下, 水分胁迫增加表现在作物生育过程中土壤干旱逐渐加剧; 未灌水与灌水处理比较, 未灌水处理水分胁迫强度增加; 施氮量高时, 小麦长势强, 前期消耗土壤水分较多, 中后期土壤干旱, 水分胁迫更为严重, 以 5月 4日不灌水处理测定为例, 每公顷施 0 37. 5 75 0 112. 5 150 0 kg N时, 0~ 2 m 土层平均贮水量依次为 188. 2 176. 3 175. 3 153. 8 136. 9 mm. 表 1表明, 不论哪种情况下, 施氮处理的叶水势明显低于对照, 并随施氮量增加和土壤含水量降低, 叶水势的降低幅度增大 (也与施肥后叶片溶质浓度增加有关)。生育后期, 不同施氮量间的叶水势差异更加明显。施用氮肥后, 虽然作物对土壤水分耗竭较大, 但在水分胁迫时, 能保持较低的叶水势, 有利于作物从土壤中吸收更多的水分, 又能防止在干热的气候条件下通过蒸腾丧失过多的水分。

表 1 不同水肥处理下的叶水势

M Pa

测 定 期	灌 水 情况	施氮量 /(kg · hm ^{- 2})					平均	施肥 平均
		0	37. 5	75. 0	112. 5	150. 0		
1994-05-04	未灌水	- 2. 01	- 2. 07	- 2. 09	- 2. 08	- 2. 11	- 2. 07	- 2. 08
	灌 水	- 1. 89	- 1. 96	- 1. 94	- 2. 07	- 2. 08	- 1. 99	- 2. 01
	平 均	- 1. 95	- 2. 01	- 2. 01	- 2. 08	- 2. 09	- 2. 03	- 2. 05
1994-05-14	未灌水	- 2. 07	- 2. 11	- 2. 35	- 2. 55	- 2. 62	- 2. 34	- 2. 41
	灌 水	- 1. 97	- 2. 03	- 2. 13	- 2. 19	- 2. 24	- 2. 11	- 2. 15
	平 均	- 2. 02	- 2. 07	- 2. 24	- 2. 37	- 2. 43	- 2. 23	- 2. 28
1995-05-24	未灌水	- 2. 18	- 2. 23	- 2. 19	- 2. 54	- 2. 94	- 2. 42	- 2. 48
	灌 水	- 2. 04	- 2. 07	- 2. 24	- 2. 35	- 2. 76	- 2. 29	- 2. 36
	平 均	- 2. 11	- 2. 15	- 2. 22	- 2. 45	- 2. 85	- 2. 35	- 2. 42

土壤水分对叶水势的影响更为突出, 随水分胁迫增加, 叶水势愈来愈低。补充灌水虽未完全解除干旱对小麦生长的威胁, 但灌水后冬小麦叶水势较不灌水处理有所提高

2 2 对冬小麦叶片气孔阻力的影响

植物叶片是调节体内水分状况的主要器官。水分胁迫下, 气孔不同程度的关闭可使气孔水分扩散阻力增大, 减少水分散失, 保持植株体内水分平衡 (表 2)。表 2结果表明, 随施氮量和水分胁迫强度的增加, 气孔阻力随之增大, 但并未降低叶片的光合速率 (表 3), 这说明虽然由于水分胁迫致使气孔内外 CO₂ 交换受到抑制, 对光合作用有不利影响, 但由于叶肉细胞光合活性的增强^[10], 净光合速率在胁迫强度不太大时随施氮量的增加仍呈上

升趋势。

表 2 不同水肥处理下的气孔阻力 $s^{\circ} \text{ } \text{m}^{-1}$

测定日期	灌水情况	施氮量 /(kg° hm ^{- 2})					平均	施肥平均
		0	37. 5	75. 0	112. 5	150. 0		
1994-04-25	未灌水	0. 073	0. 097	0. 085	0. 087	0. 100	0. 088	0. 092
	灌 水	0. 111	0. 118	0. 111	0. 109	0. 114	0. 113	0. 113
	平 均	0. 092	0. 108	0. 098	0. 098	0. 107	0. 101	0. 103
1994-05-18	未灌水	1. 846	2. 010	1. 849	2. 002	2. 209	1. 983	2. 018
	灌 水	1. 463	1. 746	1. 926	1. 645	1. 748	1. 706	1. 766
	平 均	1. 655	1. 878	1. 888	1. 824	1. 979	1. 845	1. 892

表 3 不同水肥处理下的净光合速率 $\mu\text{m ol}^{\circ} \text{m}^{-2}\text{ }^{\circ} \text{s}^{-1}$

测定日期	灌水情况	施氮量 /(kg° hm ^{- 2})					平均	施肥平均
		0	37. 5	75. 0	112. 5	150. 0		
1994-04-25	未灌水	19. 76	21. 01	23. 24	22. 75	25. 51	22. 45	23. 13
	灌 水	18. 81	22. 10	21. 09	22. 38	22. 86	21. 45	22. 11
	平 均	19. 29	21. 56	22. 17	22. 57	24. 19	21. 95	22. 62
1994-05-18	未灌水	4. 13	4. 03	5. 75	5. 58	5. 46	4. 99	5. 21
	灌 水	5. 93	5. 50	6. 50	7. 26	5. 20	6. 08	6. 12
	平 均	5. 03	4. 77	6. 13	6. 42	5. 33	5. 54	5. 66

2. 3 对冬小麦叶片蒸腾速率的影响

表 4表明, 水分胁迫时, 施氮后蒸腾速率降低, 并随施氮量增加而减小。蒸腾速率的大小与气孔阻力呈负相关。这表明, 在干旱条件下施肥有利于增强叶片气孔关闭的调节能力, 降低蒸腾速率, 减少叶片水分的蒸腾损失。

表 4 不同水肥处理下的蒸腾速率 $\text{m ol}^{\circ} \text{m}^{-2}\text{ }^{\circ} \text{s}^{-1}$

测定日期	灌水情况	施氮量 /(kg° hm ^{- 2})					平均	施肥平均
		0	37. 5	75. 0	112. 5	150. 0		
1994-04-25	未灌水	0. 034. 3	0. 028. 5	0. 028. 9	0. 028. 6	0. 028. 5	0. 029. 8	0. 028. 6
	灌 水	0. 032. 1	0. 029. 3	0. 028. 8	0. 027. 6	0. 027. 7	0. 029. 1	0. 028. 4
	平 均	0. 033. 2	0. 028. 9	0. 028. 9	0. 028. 1	0. 028. 1	0. 029. 5	0. 028. 5
1994-05-18	未灌水	0. 018. 2	0. 014. 9	0. 014. 6	0. 014. 2	0. 013. 1	0. 015. 0	0. 014. 2
	灌 水	0. 019. 7	0. 016. 7	0. 014. 6	0. 014. 9	0. 013. 2	0. 015. 8	0. 014. 9
	平 均	0. 019. 0	0. 015. 8	0. 014. 6	0. 014. 6	0. 013. 2	0. 015. 4	0. 014. 6

2. 4 对水分利用效率的影响

氮素营养和水分胁迫对叶水势、气孔阻力、蒸腾速率的影响最终表现在水分利用效率上。水分利用效率有两种不同的概念: 一种是以作物群体表示的水分利用效率, 用来描述作物生长量(特别是产量)与水分利用间的关系, 即作物产量与蒸散量的比值, 常用 WUE_T 表示^[11], WUE_T 用来研究和评价栽培措施对生产体系蒸发蒸腾所造成的水分损失的差别以及水分有效利用的程度; 另一种是单叶水分利用效率, 即叶片净光合速率与叶片蒸腾速率的比值, 常用 $WUE_{T(L)}$ 表示^[7, 12], $WUE_{T(L)}$ 可以从微观角度提供水分代谢和光

合作用之间的信息。

表 5 不同水肥处理下的水分利用效率

灌水 情况	施氮量 / (kg·hm ⁻²)	籽粒产量 / (t·hm ⁻²)	生物学产量 / (t·hm ⁻²)	消耗水分 (2m 深度) / mm	WUE _{ET} / (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)		WUE _{T(L)} / (g·kg ⁻¹)	
					籽粒	生物量	WUE _{T(L)} ¹	WUE _{T(L)} ²
未灌水	0	1 020	2 700	291 1	3 45	9 30	0 576	0 237
	37 5	1 977	5 279	314 9	6 30	16 80	0 737	0 270
	75 0	2 673	7 542	344 6	7 80	21 90	0 804	0 394
	112 5	3 048	8 099	310 4	9 75	26 10	0 795	0 393
	150 0	2 711	7 955	325 7	8 25	24 45	0 895	0 417
	平 均	2 286	6 315	317 3	7 05	19 65	0 761	0 342
	施肥平均	2 602	7 218	323 9	8 03	22 31	0 808	0 369
灌 水	0	1 061	2 690	377 6	2 85	7 05	0 586	0 301
	37 5	2 301	5 643	374 1	6 15	15 15	0 754	0 329
	75 0	2 881	8 289	412 2	7 05	20 10	0 732	0 445
	112 5	3 011	8 862	427 6	7 05	20 70	0 811	0 487
	150 0	3 381	9 432	384 6	8 85	24 45	0 825	0 394
	平 均	2 528	6 984	395 2	6 45	17 55	0 742	0 391
	施肥平均	2 894	8 057	399 6	7 28	20 10	0 781	0 414

注:WUE_{T(L)}¹和WUE_{T(L)}²分别表示 1994-04-25和 1994-05-18的测定值

表 5结果表明,各处理间消耗土壤水分与施氮量间并无本质联系,但水分利用效率却明显地随施氮量和产量的变化而变化。除未灌水情况下每公顷施 150 0 kg N 时 WUE_{ET}略有下降外,在其他情况下,WUE_{ET}随施氮量的增加稳定增加。灌水以后,未施肥或施氮量低时,WUE_{ET}比未灌水时略有下降,但氮肥用量高时(150 0 kg·hm⁻²),则有过之而无不及。总体来看,施肥后以籽粒为基础的水分利用效率在灌水和未灌水条件下均提高 13%左右。从施肥对单叶的水分利用效率来看,由于叶片净光合速率随施氮量增加而增加,蒸腾速率随施氮量的增加而降低,因而 WUE_{T(L)}也明显地随氮肥用量而变化。4月 25 日测定,灌水和未灌水条件下,施氮肥较未施氮肥的 WUE_{T(L)}平均增加 33.3%和 40.3%;5月 18 日测定,平均增加 37.5%和 55.1%。由此可见,施肥的增产作用并不在于以消耗较多的土壤水分为代价,而是以提高水分的有效利用为基础的。

[参考文献]

[1] 潘瑞炽,董愚得.植物生理学(上册)[M].北京:高等教育出版社,1979.5~31

[2] 王韶唐.植物抗旱的生理机制[J].植物生理生化进展,1983(2):120~130

[3] Hsiao T C. Physiological effects of plant in response to water stress[J]. Ann Rev Plant Physiol, 1973, 24: 519~570

[4] 荆家海,马书尚.大田玉米、高粱、芝麻、豇豆叶片水势、蒸腾速率、气孔阻力对环境因素的反应[J].西北植物学报,1990,10(1):8~16

[5] 徐萌,山仑.不同水分条件下无机营养对小麦物质生产和水分利用的影响[J].西北植物学报,1991,11(4):299~308

[6] 梁宗锁,丁钟荣,王韶唐.两个油菜种对水分胁迫的适应方式[J].西北植物学报,1992,12(1):38~45

[7] 王韶唐.植物的水分利用效率和旱地农业生产[J].干旱地区农业研究,1987(2):67~80

- [8] Tumer N C, Begg J E. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions [J]. *Plant Physiology* 1973 51: 31~ 36
- [9] 西北农业大学植物生理生化教研组. 植物生理学实验指导 [M]. 西安: 陕西科技出版社, 1987. 7~ 8
- [10] 杜建军, 王朝辉, 田霄鸿, 等. 氮素营养对水分胁迫下冬小麦光合效率的影响 [A]. 见: 汪德水主编. 旱地农田肥水关系原理与调控技术 [C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995 145~ 149
- [11] 李生秀, 李世清, 高亚军, 等. 施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果 [J]. 干旱地区农业研究, 1994 12(1): 38~ 46
- [12] Rawson H M, Tumer N C, Begg J F. Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits IV. Photosynthesis, transpiration and water-use-efficiency of leaves [J]. *Aust J Plant Physiology* 1978 5: 179~ 194

Effects of N fertilizer on the mechanism of adaptation to water stress and water use of winter wheat

DU Jian-jun LI Sheng-xiu GAO Ya-jun, LI Shi-qing WANG Zhao-hui TIAN Xiao-hong

(Department of Resources and Environmental Science, Northwestern
Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100 China)

Abstract The mechanism of adaptation to water stress and water use efficiency of winter wheat under different N nutrition was studied in the field. The results showed that applying N fertilizer reduced the leaf water potential and increased the stomatal resistance, and thus reduced the transpiration rate, therefore it was beneficial to drought resistance. Owing to the increase of the photosynthetic rate, the accumulation of dry matter was raised. As a result, the leaf water use efficiency and the colony water use efficiency were increased by 33.3% ~ 55.7% and 13% respectively with the increase of N rate even in drier conditions.

Key words N nutrition; winter wheat; water stress; water use efficiency

《西北农业大学学报》加入《中国学术期刊 (光盘版)》 和“中国期刊网”的声明

为适应我国信息化建设需要, 扩大作者学术交流渠道, 本刊已加入《中国学术期刊 (光盘版)》和“中国期刊网”, 作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库, 请在来稿时声明, 本刊将做适当处理。

《西北农业大学学报》编辑部

1999-10