

氮素营养对春小麦抗旱适应性及水分利用的影响

张岁岐 山 仑

(中国科学院西北水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
水利部

摘 要 本文研究了氮素营养和水分胁迫对春小麦水分状况、气孔导度、渗透调节和净光合速率的影响,并对不同氮素和水分水平下的叶面积、耗水量、根系生长、根冠比、水分利用效率(WVE)和产量变异进行了分析。认为,不同氮素水平下,春小麦对干旱的适应途径不同,施用氮肥在一定程度上可以改变春小麦对干旱的适应方式,但未明显提高作物自身的生理耐旱性。施氮增加产量和提高WVE的原因主要在于氮素满足了作物的生长所需,促进了根系的发育和保持了水分的有效利用。

关键词 春小麦 水分胁迫 氮素营养 抗旱性

Effects of Nitrogen Nutrition on the Drought Adaptation and Water Use of Spring Wheat

Zhang Suiqi Shan Lun

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources Yangling Shuanxi 712100)

Abstract The effects of nitrogen nutrition and water stress on water status, stomatal conductance, osmotic adjustment and net photosynthesis rate of spring wheat were studied. The variance of leaf area, root growth, root/shoot ratio, water use, water use efficiency and yield were analysed under various nitrogen nutrition and water stress levels. Results indicated that the adaptive characteristics of spring wheat to drought were different under various nitrogen nutrition levels. Application of nitrogen fertilizer may change adaption way of spring wheat to drought in some extent. This was beneficial to resist drought, but physiological drought tolerance of crop was not significantly improved. The increasing of yield and raising of water use efficiency with nitrogen fertilizer were mainly because the need of nutrient was satisfied when the plant was growing, and the root development was promoted, the beneficial use of water were maintained.

Key words spring wheat water stress nitrogen nutrition drought resistance

在半干旱地区,水分不足和肥力低下是限制农业生产的两大主要因素。在旱地农业生产中,施肥作为一个主要的增产措施已被广泛应用。但目前,就营养和抗旱性及水分利用之间关系及机制的研究还较少,且已有的研究,结果也不尽相同^[1-4]。本文专题研究了氮素营养水平与春小麦抗旱性和水分利用的关系,现将主要结果报导如下。

1 材料和方法

- 1.1 选用春小麦 (*Triticum aestivum*) 品种定西8139(2)进行盆栽试验
- 每盆装干土7.0kg,土壤采自武功塬上,饱和持水量为28.0%,基础养分含量分别为:碱解氮6.00mg/100g 干土,全氮0.084%,有机质含量1.063%,全磷0.138%,速效磷11.98mg/kg.
- 1.2 试验分3个氮素水平
- 低氮(LN),不施尿素;中氮(MN),盆施尿素0.8g;高氮(HN),盆施尿素2.5g.另外,每盆各加入1.12gKH₂PO₄,于播前一次施入.出苗后置遮雨棚内,每盆定苗16株,土壤含水量维持在饱和持水量的70%,三叶期后开始干旱处理.
- 干旱处理也分三个水平:严重干旱,维持饱和持水量的30%;中度干旱,维持饱和持水量的50%;正常供水,维持饱和持水量的70%.水肥两因素交叉共有如下9个处理:
- LN:严重干旱

中度干旱

正常供水

MN:严重干旱

中度干旱

正常供水

HN:严重干旱

中度干旱

正常供水
- 1.3 植株水分状况参数测定

植株水分状况参数的测定均用叶片,水势(ψ_w)用3005型压力宝,渗透势(ψ_s)用冰点下降法在FM-4冰点渗透仪上测定,叶片相对含水量RWC和保水能力用干重法测定,膜透性用DDS-11A型电导仪测定,自由水、束缚水含量用马林契克法测定.在LI-1600型稳态气孔计上测得叶片远近轴面气孔阻力,计算出叶片气孔导度,单叶净光合速率用北分厂的红外CO₂分析仪测定,叶面积用AAM-7型叶面积仪测定.产量及耗水量以盆为单位计算,考种、计产及统计分析方法同一般田间试验.

2 结果与分析

2.1 土壤干旱下氮素营养对春小麦水分状况和渗透调节的影响

表1结果表明:正常供水条件下,春小麦叶片水势 ψ_w 和相对含水量RWC在不同施肥处理间变化不大;中度干旱下, ψ_w 虽无明显变化,但RWC在不施肥处理上则明显提高;严重干旱下,施肥处理的 ψ_w 明显降低,而RWC则升高.这说明:不同干旱下,施氮对春小麦水分状况有明显影响,施氮改变了春小麦受到水分胁迫的进程,严重干旱下,施氮具有增加叶片“水容”的作用(RWC升高),提高了叶片的保水能力(见图1),在一定程度上提高了其耐旱性.

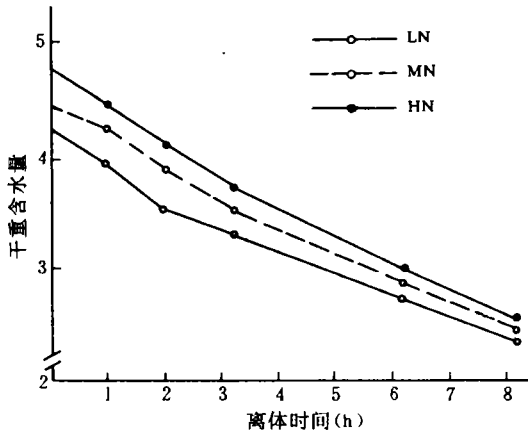


图1 严重干旱下不同氮水平离体叶片脱水曲线

表1 不同土壤含水量下氮素营养对春小麦 ψ_w 和 RWC 的影响(10⁵Pa,%)

土壤含水 (%)	低 肥		中 肥		高 肥	
	ψ_w	RWC	ψ_w	RWC	ψ_w	RWC
30	-8.5±0.1	91.7±1.55	-8.8±0.2	94.6±0.78	-10.3±0.2	94.6±0.74
50	-7.5±0.3	96.6±0.35	-6.8±0.3	95.5±0.81	-6.6±0.2	94.4±0.52
70	-4.4±0.4	97.3±0.10	-4.3±0.3	96.5±0.49	-3.5±0.9	97.3±0.99

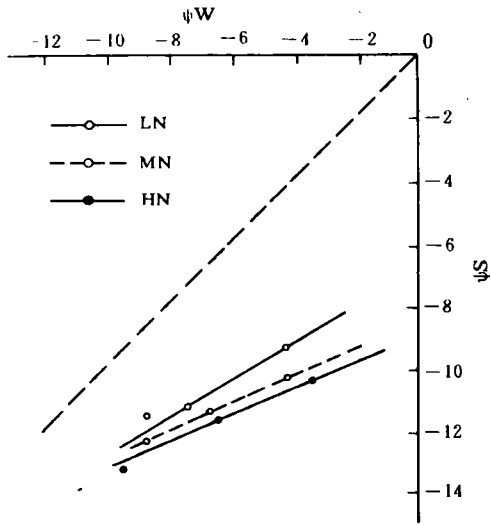


图2 $\psi_w-\psi_s$ 关系图

图2是不同处理叶片水势 ψ_w 和渗透势 ψ_s 间的关系,从图中可以看出:不论是施肥处理还是不施肥处理,在干旱情况下,春小麦都产生了渗透调节,但施氮处理的渗透调节能力要明显大于不施氮处理,而且在同等干旱下,施氮越高,渗透调节能力越强。这说明:干旱情况下,施氮处理由于渗透调节作用对膨压和生长的维持要大于不施氮处理。

2.2 膜透性及自由水、束缚水含量

表2结果说明:中度胁迫或正常供水下,施肥处理叶片的膜透性并未增加,反而有所下降,而严重干旱下,施肥处理的膜透性随施肥水平的提高而增加,与 ψ_w 的变化相似。因此,严重干旱下,施肥处理叶片膜稳定性要较不施肥处理差。

中度胁迫或正常供水下,施肥减少了叶片的束缚水含量,而增加了自由水含量,但严重干旱下,施肥没有明显影响两者的含量(表3)。因而,施用氮肥并没有增加春小麦对干旱的抗性,只是在一定程度上增加了其代谢活性。

表2 不同土壤水分下,氮素营养对春小麦叶片膜透性(%)的影响

土壤水分(%)	LN	MN	HN
30	8.58 c±0.48	9.64 b±0.29	10.61 a±0.80
50	8.33 a±0.25	8.09 a±0.26	7.40 b±0.15
70	6.48 a±0.04	5.92 b±0.24	6.53 a±0.22

表3 自由水、束缚水含量(%)

土壤水分(%)	不 施 肥		施 肥	
	自由水	束缚水	自由水	束缚水
30	48.46±1.95 a	26.37±1.33 a	47.07±0.58 a	28.74±0.63 a
50	52.39±1.53 b	24.18±1.51 a	57.37±2.49 a	2.00±2.15 b
70	58.38±1.81 b	19.67±2.88 a	63.89±1.61 a	14.5±1.46b

2.3 叶片气孔导度 G_s 和净光合速率 P_n

气孔导度反映了单位叶面积的蒸腾失水情况和气孔对干旱的敏感性。供水充足和中度干旱情况下,施肥处理的叶片气孔导度略大于不施肥处理,但差异并不显著,与 Morgen(1986)^[5] 结论一致。但在严重干旱情况下,由于施肥处理较低的 ψ_w ,使得施肥处理的叶片导度明显低于不施肥处理(表4),从而减小了施肥处理单位叶面积的水分蒸腾损失。

表4 叶片气孔导度 G_s (cm/s)和净光合速率 P_n (mgCO₂/h·cm²)的变化

土壤水分(%)	LN		MN		HN	
	G	P _n	G	P _n	G	P _n
30	0.38±0.007	6.41	0.27±0.05	8.54	0.29±0.04	10.95
50	0.45±0.05	6.27	0.45±0.07	9.97	0.51±0.07	12.35
70	1.19±0.08	16.43	1.28±0.09	17.08	1.09±0.07	14.81

单叶净光合速率 P_n 无论在那种水分水平上,皆随施氮量的增加而增大(表4,高氮高水处理除外,可能与较大的叶面积有关)。严重干旱下, P_n 变化与叶片气孔导度 G_s 的变化并不一致,说明:严重干旱条件下,施用氮肥后,影响 P_n 的主要因素不是气孔,而是叶内光合能力。

各种水分水平上,施氮没有明显增加叶片的气孔导度(严重干旱下,施氮处理的 G_s 反而下

降),而单叶净光合速率明显增大,因而,施氮明显提高了春小麦的单叶水分利用效率。

2.4 根系生长和根/冠比

强大的根系是植物低御干旱的一种主要方式^[6],根/冠比则在调节植物的失水与吸水平衡方面起着主要作用。表5结果表明:无论那种水分水平上,施氮处理的根干重都大于不施氮处理,且随施氮量的增加而增大,从而增加了作物对水分的吸收,而根/冠比则与根重的变化相反,施氮处理的根/冠比皆小于不施氮处理,且随施氮增加而减小。这说明:氮素营养对地上部的促进作用要大于对地下部的促进作用。叶面积的测定也证实了上述结论(表6)。

表5 不同处理根重(g/盆)及根/冠比

水分处理(%)	LN		MN		HN	
	根重	根/冠	根重	根/冠	根重	根/冠
30	1.26±0.006	0.13±0.003	1.30±0.04	0.085±0.007	1.40±0.02	0.069±0
50	1.30±0.12	0.12±0.02	1.45±0.07	0.074±0.009	1.55±0.07	0.62±0.007
70	1.41±0.02	0.10±0.006	1.68±0.09	0.08±0.005	1.60±0.10	0.061±0.001

表6 不同处理单株叶面积(cm²)

水分处理(%)	LN		MN		HN	
	根重	根/冠	根重	根/冠	根重	根/冠
30	22.39±4.39 c		34.28±2.17 b		51.23±3.41 a	
50	30.18±2.91 c		51.83±1.29 b		69.52±1.16 a	
70	44.05±1.22 c		59.30±0.34 b		84.02±1.05 a	

2.5 产量变异

作物对干旱的适应性,最终表现在产量变异上。水分或氮素缺乏时,都会造成作物的减产。表7结果表明:无论在那种水分水平下,施氮皆明显增加了春小麦的籽粒产量,其中以中度干旱下的高氮处理为最高。中度干旱和正常供水下,籽粒产量是随施氮量增多而明显增加,而在严重干旱情况下,施氮明显增产,但两施肥处理间无显著差异。这说明在严重干旱下,高氮的增产作用有限。另外,如果以施氮干旱处理和不施氮干旱处理与其正常供水相比较,可发现施氮干旱的减产幅度要大于不施氮干旱,这说明:严重干旱削弱了氮肥应有的增产作用。

表7 不同处理的产量和水分利用效率 WUE(g/盆·g/kg H₂O)

水分处理(%)	LN		MN		HN	
	Y	WUE	Y	WUE	Y	WUE
30	3.29±0.35 b	0.88±0.10 b	5.32±0.92 a	1.08±0.12 a	5.77±0.50 a	0.996±0.11 a
50	3.38±0.25 c	0.72±0.04 c	6.31±0.40 b	0.91±0.09 b	9.96±0.88 a	1.12±0.07 a
70	3.93±0.60 c	0.52±0.08 c	6.29±0.35 b	0.68±0.04 b	7.94±0.59 a	0.81±0.09 a

2.6 耗水量和水分利用效率

虽然施 N 处理并没有明显增大春小麦叶片的气孔导度,严重干旱下反而有所下降,但由于施氮对地上部生长的促进作用,导致了较大的叶面积(表6),因而,无论在那种水分水平上,施用氮肥都明显增大了春小麦的耗水量(表8),而且随施氮量的增加而增大。虽然施用氮肥增加了春小麦的耗水,不利于水分利用效率的提高,但从表7可以看出:无论在那种水分水平下,施氮皆提高了春小麦的群体水分利用效率。这说明:施用氮肥对春小麦同化作用和生长等过程的促进作用要大于对耗水的促进作用。另外,严重干旱下,中氮和高氮处理的 WUE 并无明显差异,说明:严重干旱下,过量氮肥的施用无益于 WUE 的提高,同样,如果以施氮干旱处理和不施氮干旱处理与其对应的正常供水相比,可发现施氮干旱增加 WUE 的幅度要小于不施氮干旱。这说明:严重干旱削弱了氮肥对提高 WUE 的作用。

表8 不同处理春小麦的耗水量(kg/盆)

水分处理(%)	LN	MN	HN
30	3.75±0.07	5.03±0.18	5.81±0.17
50	4.67±0.13	6.69±0.22	8.90±0.39
70	7.58±0.33	9.28±0.19	9.74±0.43

3 讨论和结论

3.1 作物的抗旱性是作物适应干旱环境的一种综合生理生态机制,通过作物的发育、形态、生理过程和代谢环节表现出来,本实验结果表明:中度胁迫和正常供水下,氮素水平对春小麦叶片的 ψ_w 和RWC并未产生明显影响,对光合作用的促进也较明显;但在严重干旱下,施氮叶片 ψ_w 明显降低,膜透性明显增大。这说明氮素营养明显改变了春小麦受到水分胁迫的进程,高氮春小麦对水分胁迫的敏感性要明显大于低氮春小麦。与此同时,高氮春小麦也相应产生了一些生理生态适应性变化,如渗透调节能力增强,保水能力增大,气孔导度和根/冠比减小等,这对耐水分胁迫是有利的。但是由于渗透调节只能在干旱诱导下产生,且在一定范围内起作用,因此,这些适应性状并未能完全消除胁迫对植株生长发育带来的不利影响,最终在产量上表现为干旱严重削弱了氮肥应有的增产作用。

氮素缺乏下生长的植物可以产生一系列的适应性反应,如渗透物质的积累^[7],较高的ABA含量和较小的气孔导度^[8,9,10],较大的根/冠比,较小的细胞体积和较厚的细胞壁等一系列抗旱生理性状^[11],这对植物适应干旱环境有着重要的意义。在遇到严重干旱时,不施氮处理的敏感性要小于施氮处理,叶面积、籽粒产量等的下降幅度也小于施氮处理。因此,可以认为,不同氮水平下,春小麦对干旱的适应途径不同。低氮条件下,春小麦主要通过上面所述的一些旱生性状来适应干旱;而高氮条件下,则主要通过渗透调节以及根/冠比等的变化来适应干旱。综合以上结果可以认为,施用氮肥在一定程度上改变了春小麦对干旱的适应方式,有利于抵御干旱,但并不能明显提高作物自身的生理耐旱性,以及消除干旱对产量的不利影响。

3.2 氮素营养缺乏对作物的生长发育和代谢活动有严重影响。它可以阻碍作物的生长过程,减少植株高度,叶面积和根重等,也可造成光合速率及有关代谢酶活性的下降^[12],并降低作物产量。因此,旱地施氮后,弥补了氮素缺乏对生长发育的不利影响,叶面积和根量增加,光合速率增大,导致了作物产量的成倍增加。

3.3 施氮扩大了作物的根系,增强了作物的吸水,可使作物免受水分胁迫;但同时也扩大了地上部生长,增加了叶面积,导致了蒸腾失水量的增加又使作物易受水分胁迫,这是彼此矛盾的两个方面。本实验中,除严重干旱下施氮降低了气孔导度外,中度干旱和正常供水的气孔导度并没有明显增加,但净光合速率则随施氮而明显增加,从而导致了单叶水分利用效率的提高。另外,施氮虽然同时增大了春小麦的产量和耗水量,但由于氮肥对产量的促进要明显大于对耗水的促进,从而提高了群体水平上的水分利用效率。Radin(1992)认为:施氮棉花植株低的 ψ_w 可能与较低的根茎水力学导度有关,因此,施氮或许通过根茎水力学导度的变化调节这两方面的矛盾,并提高了水分利用效率。

3.4 本实验中,春小麦的籽粒产量和水分利用效率以中度干旱的高肥处理为最高(分别为9.96g/盆和1.12g籽粒/kg, H₂O)。严重干旱下,中氮和高氮处理的产量和水分利用效率间并无显著差异,许旭旦(1985)^[13]也认为过度干旱下,施肥无助于产量的提高。因此,在旱地农业生产中,从发挥肥效和提高水分利用效率的角度出发,应充分注意氮肥施用水平和水分条件的匹配。

- 4 刘多森. 主组元分析在分辨土壤类型及风化—成土过程上的应用(以水稻土为例). 土壤学报, 1986, 23(2): 113—122
 - 5 Colwell, J. D. Some considerations in modeling the effects of fertilizers on crop yields. J. Aust. Inst. Agri. Sci, 1979, 16(2): 172~183
 - 6 Dj la Rosa, Cardona F., and Almorza J. Crop yield predictions based on properties of soils in Sevilla, Spain. Geoderma, 1981, 25: 267~274,
 - 7 Burrough P A. Multiscale source of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. J. Soil Sci, 1983, 34: 577~597
 - 8 Norris J. M. Multivariate methods in the study of soils. Soils Fertil, 1970, 33: 313~318
 - 9 Roski T, and Juo A S R. Multivariate approach to growing soils in small fields. I. Extraction of factors causing soil variation by principal component analysis. Soil Sci. Plant Nutr, 1989, 35: 469~477
- ~~~~~

(上接第35页)

参考文献

- 1 徐萌, 山仑. 无机营养对春小麦抗旱适应性的影响. 植物生态学和地植物学学报, 1991, 15(1), 79~87
- 2 薛青武, 陈培元. 土壤干旱条件下氮素营养对小麦水分状况和光合作用的影响. 植物生理学报, 1990, 16(1), 49~56
- 3 赵立新, 荆家海. 水分胁迫下施肥对冬小麦某些生理特性的影响. 西北植物学报, 1992, 12(5), 32~38
- 4 Tesha, T J et al. Effects of N fertilizer on drought resistance in coffea arabiea L., J. Agric. Sci. Camb., 1978, 90: 625~631
- 5 Morgan J A. The effects of N nutrition on the water relations and gas exchange characteristics of wheat, Plant Physiol. 1986, 80: 52~58
- 6 Turner N C. Adaption to water deficits: A Changeing perspective. Aust. J. Plant Physiol. 1986, 13: 175~190
- 7 Radin J W and L L Parker, Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. I. Dependence upon leaf structure, Plant Physiol. 1979, 65: 495~498
- 8 Radin J W L L. Parker and G Guinn, Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. V. Environmental control of abscisic acid accumulation and stomatal sensitivity to abscisic, Plant Physiol, 1982, 70: 1066~1070
- 9 Radin J W. Stomatal resposes to water stress and ABA in phosphorus deficient cotton plants, Plant Physiol, 1984, 76: 392~394
- 10 Yambao E B and J C O'Toole, Effects of nitrogen and root medium water potential on growth, nitrogen uptake and osmotic adjustment of rice, Plant Physiol, 1984, 60: 507~515
- 11 Morgen J A. Interaction of water and nitrogen supply in wheat. Plant physiol, 1984, 76: 112~117
- 12 Evans J R. Nitrogen and photosynthesis in flag leaf of wheat. Plant Physiol. 1983, 72: 297~302
- 13 许旭旦. 旱作农业中的合理施肥及其生理学基础, 干旱地区农业研究, 1985, 2: 56~71