

水分与氮素营养对辽春10号小麦旗叶光合作用的影响

王国骄, 孙 备, 王嘉宇, 曹 莹

(沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要: 在盆栽条件下, 研究不同水分条件下氮素营养对辽春10号春小麦籽粒灌浆期旗叶光合特性的影响。结果表明, 随着土壤水分状况的改善, 春小麦的光合作用不断增强。土壤相对含水量低于45%时, 施氮处理春小麦旗叶气孔导度、蒸腾速率和 WUE_{leaf} 降低, 胞间二氧化碳浓度升高, 光合速率受非气孔因素制约而降低。当土壤相对含水量在45%~75%时, 随着氮肥施用量的增加和土壤相对含水量的提高, 春小麦旗叶的光合效率、气孔导度、蒸腾速率和 WUE_{leaf} 不断增加, 胞间二氧化碳浓度逐渐减小, 气孔因素制约了光合效率的提高。当土壤相对含水量高于75%时, 氮素营养对春小麦旗叶光合的促进作用减弱。

关键词: 春小麦; 光合作用; 氮素营养; 土壤相对含水量

中图分类号: S512.1⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0139-04

水和肥是高产麦田生态系统中可人为调控的重要生产因素, 但两个因素对生态系统的作用不是孤立的, 而是相互影响和制约的^[1~3]。土壤水分不仅影响养分在土壤中的转化、迁移, 而且通过植物体的代谢过程, 影响机体的养分吸收、运转及分布过程^[4]。同时, 养分也会影响植株水分状况和干旱胁迫的进程^[3]。因此旱地农田施肥及水肥耦合效应研究就一直为国内外许多研究者关注, 研究不同土壤水分状况下尤其是土壤干旱条件下氮素营养对作物生长的影响及其机理, 对提高施肥效益和增加作物产量有重要作用^[3,4]。以往虽然关于水分和氮素营养交互作用的研究相对较多, 但由于试验设计、作物品种和肥料水平的差异, 研究结果并不一致^[4~8]。并且很多试验的水分控制为阶段控水, 对全生育期水分胁迫条件下小麦生长发育规律的研究较少^[9]。而关于干旱条件下氮素营养对春小麦光合特性的影响的研究不多。本试验通过在春小麦全生育期控制土壤水分, 研究了不同的水分条件下氮素营养对春小麦灌浆期旗叶光合作用的影响, 以此探索水肥耦合机理, 提高旱地小麦产量和品质。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于2005年在沈阳农业大学农学院田间试验基地内进行。供试作物为辽春10号春小麦。供试土壤采自沈阳农业大学小麦试验田, 土壤理化指标分别为: 全氮0.106%, 全磷0.235%, 全钾

2.61%, 碱解氮111 mg/kg, 有效磷59.8 mg/kg, 有效钾104 mg/kg, 有机质含量1.95%, 田间持水量24.17%。本试验是用盆栽在防雨旱棚中进行, 每盆装土5 kg。

本试验共设水分和氮肥施用量两个因素, 其中水分设置6个水平, 氮肥施用量设置4个水平, 共24个处理, 每个处理重复8次。

水分的6个水平分别为: W_1 维持土壤相对含水量为35%~40%, W_2 维持土壤相对含水量为45%~50%, W_3 维持土壤相对含水量为55%~60%, W_4 维持土壤相对含水量为65%~70%, W_5 维持土壤相对含水量为75%~80%, W_6 维持土壤相对含水量为85%~90%。 W_1 ~ W_4 为干旱胁迫处理, W_5 为正常水分处理, W_6 是水分过量的处理。

氮肥的4个水平分别是: N_0 为不施氮肥处理; N_1 为轻施氮肥处理, 施尿素112.5 kg/hm²; N_2 为适量施用氮肥处理, 施尿素225 kg/hm²; N_3 为重施氮肥处理, 施尿素450 kg/hm²。每盆均施入过磷酸钙630 kg/hm²。

出苗前通过喷水保证种子能正常萌发, 出苗后每盆定苗13株。从出苗到三叶期土壤相对含水量控制在75%~80%, 三叶期以后开始采用称重法控制土壤水分。

1.2 测定项目和方法

春小麦籽粒灌浆期, 在天气晴朗的上午9:00~11:00之间, 使用美国Li-cor公司生产的Li-6400系列便携式光合作用测量系统测定春小麦旗叶的光

收稿日期: 2007-12-13

作者简介: 王国骄(1978—), 男, 辽宁省沈阳市人, 讲师, 硕士, 博士研究生, 主要研究方向为作物逆境生理。E-mail: wangguojiao@126.com。

合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr)。旗叶的瞬时水分利用效率(WUE_{leaf})=光合速率(P_n)/蒸腾速率(Tr)。

2 结果与分析

2.1 对春小麦旗叶光合速率的影响

春小麦籽粒灌浆期旗叶光合速率随着土壤含水量的增加而升高(表 1)。方差分析表明,各水分条件下不同氮肥施用量对光合速率的影响不显著,而不同土壤含水量对旗叶光合速率的影响达到极显著的差异,说明水分条件对旗叶光合速率影响的作用大于氮肥的作用。

表 1 不同水氮配合处理春小麦旗叶的光合速率[$\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]

Table 1 Photosynthesis rate of spring wheat in flag leaves under treatments of different water and nitrogen cooperation

项目 Item	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
N ₀	11.51	13.92	15.15	18.09	20.86	21.05
N ₁	10.83	13.63	15.48	18.70	22.03	21.98
N ₂	10.28	13.51	16.19	19.62	22.72	21.31
N ₃	9.96	12.96	16.45	20.41	21.35	21.42

水分和氮肥对旗叶光合速率的交互作用受土壤相对含水量的制约。在土壤含水量低的 W₁ 和 W₂ 的水分条件下,春小麦的光合速率显著低于正常的水分处理,说明土壤含水量的降低对光合速率影响很大,而此水分条件下增施氮肥加重了水分胁迫对春小麦的影响,使旗叶光合速率更低。而随着土壤水分状况的改善,在 W₃ 和 W₄ 条件下,氮素营养对提高旗叶光合速率的作用随着氮肥施用量的增加而提高。在土壤含水量较高的 W₅ 和 W₆ 处理中,春小麦旗叶的光合速率没有明显增加,水分条件已经不是制约春小麦光合速率提高的限制因子,而重施氮肥对春小麦旗叶光合速率的提高作用也不大。

2.2 对春小麦旗叶气孔导度的影响

不同水分条件下氮素营养对春小麦旗叶气孔导度的影响与光合速率中所表现的规律一致(表 2)。经方差分析,水分条件对旗叶气孔导度的影响达到了极显著水平,而氮肥的作用不明显。

水分和氮肥的交互作用表明,在严重胁迫的 W₁ 和 W₂ 条件下,低土壤含水量迫使春小麦气孔关闭以减少水分丧失,而施氮处理使气孔导度更小,说明氮肥恶化了植株的水分状况,导致更多的气孔关闭。在 W₃ 和 W₄ 条件下,土壤含水量的增加促进气孔导度升高,此条件下增施氮肥可以提高春小麦

的气孔导度,减少 CO₂ 的扩散阻力,有利于光合速率提高。随着氮肥施用量的增加,氮肥对气孔导度的调节能力增强。在 W₅ 和 W₆ 水分处理中,春小麦旗叶气孔导度较高,氮素营养增加对春小麦旗叶气孔导度的调节能力减弱。

表 2 不同水氮配合处理春小麦旗叶的气孔导度[$\text{mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]

Table 2 Stomatal conductance of spring wheat in flag leaves under treatments of different water and nitrogen cooperation

项目 Item	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
N ₀	0.248	0.276	0.302	0.327	0.361	0.362
N ₁	0.241	0.278	0.308	0.335	0.368	0.370
N ₂	0.239	0.273	0.312	0.349	0.377	0.365
N ₃	0.235	0.268	0.316	0.354	0.371	0.364

2.3 对春小麦旗叶胞间二氧化碳浓度的影响

方差分析表明,土壤的水分条件对旗叶胞间二氧化碳浓度的影响呈极显著差异,而氮肥的作用不明显。随着土壤含水量的增加,春小麦旗叶胞间二氧化碳浓度升高;而随着氮肥施用量的增加,胞间二氧化碳浓度变化的规律与气孔导度相反(表 3)。

表 3 不同水氮配合处理春小麦旗叶的胞间二氧化碳浓度[$\mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$]

Table 3 Inter cellular CO₂ concentration of spring wheat in flag leaves under treatments of different water and nitrogen cooperation

项目 Item	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆
N ₀	147.6	184.5	217.3	235.8	266.2	258.3
N ₁	148.4	186.5	209.3	223.2	251.5	248.2
N ₂	150.9	182.4	211.5	216.8	246.0	255.7
N ₃	146.8	190.7	206.2	208.4	259.6	256.1

在水分胁迫严重的 W₁ 和 W₂ 条件下,春小麦旗叶胞间二氧化碳浓度很低原因是此条件下旗叶的气孔导度较低,限制了 CO₂ 向胞间的扩散。而施氮处理使胞间二氧化碳浓度升高,与气孔导度的变化规律相反,说明氮肥导致细胞同化二氧化碳的能力降低,二氧化碳产生富积,是非气孔因素限制了光合速率的提高。随着水分状况的改善,W₃ 和 W₄ 条件下,增施氮肥使胞间二氧化碳浓度降低,说明氮素营养可以提高细胞同化二氧化碳的能力,此条件下气孔是影响光合作用的主导因素。当水分达到正常后,各氮肥处理胞间二氧化碳浓度差异较小,说明在 W₅ 和 W₆ 条件下水分和氮素营养已经不是限制春小麦生长的主要因素了。

2.4 对春小麦旗叶蒸腾速率的影响

春小麦旗叶蒸腾速率的变化规律与气孔导度的

情况一致(表 4)。不同土壤含水量条件下,氮素营养对旗叶蒸腾速率的影响存在差异。在土壤相对含水量很低 W_1 和 W_2 条件下,氮肥的施用使土壤水势降低,春小麦获得水分更加困难,为了维持植株的水分平衡,导致蒸腾速率降低。在 W_3 和 W_4 的水分条件下,春小麦旗叶的蒸腾速率不断提高,而施氮处理的春小麦蒸腾速率高于不施氮肥的处理,说明氮素营养可以改善春小麦的水分状况,使得旗叶在水分散失同时获得更多的 CO_2 ,有助于提高光合速率。氮肥的效果随着土壤相对含水量的提高而增强。在土壤水分充足的 W_5 和 W_6 条件下,植株可以获得足够的水分供给,氮肥对春小麦旗叶蒸腾速率的调控能力降低。

表 4 不同水氮配合处理春小麦旗叶的蒸腾速率[mmol $H_2O/(m^2 \cdot s)$]

Table 4 Transpiration rate of spring wheat in flag leaves under treatments of different water and nitrogen cooperation

项目 Item	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
N_0	3.64	3.93	4.37	4.68	5.24	5.39
N_1	3.52	3.98	4.43	4.76	5.38	5.51
N_2	3.38	3.86	4.51	4.91	5.44	5.45
N_3	3.41	3.81	4.49	5.04	5.41	5.48

2.5 对春小麦旗叶瞬时水分利用效率的影响

不同水分条件下春小麦旗叶的 WUE_{leaf} 随着土壤相对含水量的增加而提高,氮素营养对 WUE_{leaf} 的影响受到土壤水分条件的制约(表 5)。方差分析的结果同样显示了土壤相对含水量是影响旗叶 WUE_{leaf} 的主要因素,氮肥效果不明显。

表 5 不同水氮配合处理春小麦旗叶的瞬时水分利用效率(mmole $CO_2/mol H_2O$)

Table 5 WUE_i of spring wheat in flag leaves under treatments of different water and nitrogen cooperation

项目 Item	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
N_0	3.1621	3.5420	3.4668	3.8654	3.9809	3.9054
N_1	3.0767	3.4246	3.4944	3.9286	4.0948	3.9891
N_2	3.0414	3.5000	3.5898	3.9959	4.1765	3.9101
N_3	2.9208	3.4016	3.6637	4.0496	3.9464	3.9088

氮素营养对 WUE_{leaf} 的影响受水分条件的制约。在 W_1 和 W_2 水分条件下,各处理的蒸腾速率较低,植株水分散失很少,但因此条件下较低的光合速率导致 WUE_{leaf} 低于其它的处理组合。随着水分状况的改善, W_3 和 W_4 水分条件下,春小麦旗叶的气孔导度和蒸腾速率都随着氮肥施用量的增加而提

高,所以植株单位时间内散失的水分不断增加,但增施氮肥使光合数速率提高的幅度大于使气孔导度和蒸腾速率增加的比例,气孔开度增大的同时更多的 CO_2 向光合器官内扩散,细胞同化 CO_2 的能力也随着氮肥的施用而提高,最终使春小麦旗叶的 WUE_{leaf} 增加。氮素营养可以改善水分胁迫条件下春小麦的光合代谢,提高 WUE_{leaf} ,这是增产的生理基础。在土壤水分条件很好的 W_5 和 W_6 各氮肥处理中,春小麦可以获得充足的水分,但旗叶 WUE_{leaf} 并不能大幅度提高,这说明此条件下植株对水分的利用并不是高效的。

3 结论与讨论

王月福等的研究表明,春小麦旗叶的光合速率随着土壤含水量的减少而降低^[10~18]。本试验的研究结果也表明,随着土壤水分胁迫的增加,春小麦旗叶光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率和 WUE_{leaf} 均呈下降趋势。但是氮素营养对春小麦旗叶光合特性的影响随着土壤相对含水量的不同发挥的作用并不一致。

土壤含水量低于 45% 时,春小麦为减少水分散失,降低气孔导度,但同时增加了 CO_2 进入气孔的阻力。王月福等研究表明,土壤含水量下降加快时,气孔限制逐渐降低,非气孔限制不断增加^[10,16]。施氮处理的气孔导度趋于降低,说明氮肥使春小麦的水分胁迫加重,细胞同化的能力减弱,造成 CO_2 富积,反而加剧了非气孔因素对光合速率的制约,这与上官周平的研究结果一致^[11]。故在严重缺水时,氮素表现为负效应,施肥并不能弥补干旱对春小麦生长发育和产量带来的损失^[14],所以在严重缺水的地区,还是少量施用氮肥为好。

当土壤相对含水量在 45%~75% 之间时,氮素营养使春小麦光合速率增加,此条件下是气孔因素制约了光合效率的提高^[16]。施用氮肥虽然使气孔导度提高,蒸腾作用加强,但氮素营养对光合速率的促进作用更大,故而使 WUE_{leaf} 提高,这应该是在干旱条件下,增施氮肥使春小麦增产的生理基础^[19]。故在一定的水分胁迫条件下,增加氮肥的使用量能够提高春小麦的产量,且土壤水分状况越好,氮肥的作用越显著。

当土壤含水量高于 75% 时,虽然春小麦的光合速率、气孔导度和胞间二氧化碳浓度不断提高,但重施氮肥的处理蒸腾速率和 WUE_{leaf} 并没有明显增加,说明重施氮肥的处理植株水分供应能力减弱,所以在水分充足的情况下,氮肥的作用逐渐减弱,应适

量减少其使用量。而如果想在水分充足的条件下进一步提升春小麦的光合速率,应该尝试采用调控水肥措施以外的手段。

贾树龙和杨建昌等关于水氮交互作用对小麦和水稻的产量影响研究表明,土壤干旱程度较轻时,增施氮肥后产量明显提高;在土壤干旱程度较重时,高氮作用不明显,甚至会产生不利影响^[4,20,21],而本试验的研究结果从光合作用的角度阐释了在土壤干旱条件下施肥的增产生理机制。

参考文献:

- [1] 郭天财,冯伟,赵会杰,等.水分和氮素运筹对冬小麦生育后期光合特性及产量的影响[J].西北植物学报,2003,23(9):1512—1517.
- [2] 李卫民,周凌云.水肥(氮)对小麦生理生态的影响[J].土壤通报,2004,35(2):136—142.
- [3] 黄明丽,邓西平,白登忠.N、P营养对旱地小麦生理过程和产量形成的补偿效应研究进展[J].麦类作物学报,2002,22(4):74—78.
- [4] 杨建昌,王志琴,朱庆森.不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究[J].中国农业科学,1996,29(4):58—66.
- [5] 贾树龙,孟春香,唐玉霞,等.麦田生态系统中的水肥时空关系与调控途径[J].生态农业研究,1995,3(3):62—66.
- [6] 梁银丽,陈培元.土壤水分和氮磷营养对小麦根系生理特性的调节作用[J].植物生态学报,1996,20(3):255—262.
- [7] 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.
- [8] 陈新红,徐国伟,孙华山,等.结实期土壤水分与氮素营养对水稻产量与米质的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2003,24(3):37—41.
- [9] 石岩,于振文,位东斌,等.土壤水分胁迫对小麦根系与旗叶衰老的影响[J].西北植物学报,1998,18(2):196—201.
- [10] 王月福,于振文,潘庆民,等.水分处理与耐旱性不同的小麦光合特征及物质运转[J].麦类作物,1998,18(3):44—47.
- [11] 上官周平.氮素营养对旱作小麦光合特征的调控[J].植物营养和肥料学报,1997,3(2):105—109.
- [12] 张绪成,上官周平.施氮对不同抗旱性冬小麦叶片光合与呼吸的调控[J].应用生态学报,2006,17(11):2064—2069.
- [13] 武玉叶,李德全,赵世杰,等.土壤水分胁迫下小麦叶片渗透调节与光合作用[J].作物学报,1999,25(6):752—758.
- [14] 韩系英,宋凤斌,王波,等.土壤水分胁迫对玉米光合特征的影响[J].华北农学报,2006,21(5):28—32.
- [15] 黄明丽,邓西平,白登忠.N、P营养对旱地小麦生理过程和产量形成补偿效应的研究进展[J].麦类作物学报,2002,22(4):74—78.
- [16] 王同朝,魏国庆,吴克宁,等.水资源亏缺下水肥耦合对作物的影响[J].河南农业科学,1999,(10):10—11.
- [17] 张永丽,李雁鸣,肖凯,等.不同氮、磷用量对杂种小麦旗叶光合特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,10(3):231—236.
- [18] 许振柱,王崇爱,李晖.土壤干旱对小麦叶片光合和氮素水平及其转运效率的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):75—79.
- [19] 张成军,陈国祥,黄春娟,等.干旱对高产小麦宁麦9号旗叶光合特性的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):24—27.
- [20] 贾树龙,孟春香,唐玉霞,等.麦田生态系统中的水肥时空关系与调控途径[J].生态农业研究,1995,3(3):62—66.
- [21] 汪德水,程宪国,张美容,等.旱地土壤中的肥水激励机制[J].植物营养与肥料学报,1995,1(1):64—70.

Effects of nitrogen nutrition on flag leaves photosynthesis of spring wheat Liaochun 10 under different relative soil water content

WANG Guo-jiao, SUN Bei, WANG Jia-yu, CAO Ying

(Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to study the effect of nitrogen nutrition on flag leaves photosynthesis at the tillage stage of spring wheat Liaochun 10 under different soil water content. The results showed that the photosynthesis of spring wheat was strengthened with the increasing of SRWC. Under the condition of the relative soil water content below 45 percent, the stomatal conductance, transpiration rate and WUE_{leaf} in flag leaves decreased, while the intercellular CO_2 concentration increased with the increasing N fertilizer. The decrease of photosynthesis rate was limited by non-stomatal factor. When the relative soil water content was between 45 and 75 percent, with the increasing of N fertilization and SRWC, photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate and WUE_{leaf} increased, while intercellular CO_2 concentration reduced. The increase of photosynthesis rate was limited by stomatal factor. The stimulative effects of nitrogen nutrition on flag leaves photosynthesis of spring wheat reduce under the condition of the relative soil water content beyond 75 percent.

Keywords: spring wheat; photosynthesis; nitrogen nutrition; relative soil water content