

水氮互作对小麦旗叶光合特性、籽粒产量及氮素和水分利用率的影响

王小燕^{1,2}, 王 东², 于振文^{2*}

(1. 长江大学农学院, 湖北 荆州 434025; 2. 山东农业大学农业部作物生理生态与栽培重点开放实验室, 山东 泰安 271018)

摘 要: 在高产条件下, 研究了水氮互作对小麦旗叶光合特性、籽粒产量及水分和氮素利用率的影响。结果表明: (1) 同一灌水处理下, 旗叶光合速率、蔗糖磷酸合成酶活性、蔗糖含量和籽粒产量均随施氮水平的提高而提高, 千粒重、氮素收获指数和氮素表现利用率随施氮水平的提高而降低。 (2) 同一施氮水平下, W1(底墒水+拔节水+开花水)、W2(底墒水+冬水+拔节水+开花水)和 W3(底墒水+冬水+拔节水+开花水+灌浆水)处理的旗叶光合速率、蔗糖磷酸合成酶活性和蔗糖含量在开花后 0~14 d 无显著差异; 开花 21 d 后, W3 处理显著高于 W1 和 W2 处理。 (3) 在 N0(不施氮)和 N1(180 kg/hm²)水平下, W1 和 W2 处理的籽粒产量显著低于 W3 处理, 在 N2(240 kg/hm²)水平下则反之; 氮素表现利用率和氮素生产效率为 W0<W1、W2<W3; 水分利用率为 W3<W2<W1<W0。在本试验条件下, 灌溉底墒水、拔节水和开花水, 每公顷施纯氮 240 kg 的 N2 W1 处理的籽粒产量、水分利用率和氮素利用效率均较高, 可供生产中参考。

关键词: 小麦; 水氮互作; 光合特性; 籽粒产量; 水分利用率; 氮素利用效率

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0017-06

水分和氮素是影响小麦光合作用和籽粒产量的重要因素^[1,2]。已有研究表明, 开花后土壤水分亏缺导致植株上部叶片的光合功能迅速衰退, 光合速率和籽粒灌浆速率降低, 产量下降^[3], 也有研究认为灌浆期水分亏缺降低了光合速率, 加速了功能叶片的衰老, 但诱导了开花前贮存于营养器官的碳水化合物向籽粒的再转运, 收获指数、籽粒产量和水分利用率均显著提高^[4]。前人关于水氮互作的试验结果表明, 适量施氮可显著提高叶片光合速率, 部分弥补因干旱导致的光合速率降低的损失^[5]。另有研究结果表明, 土壤相对含水量低于 45% 时, 施氮导致叶片光合速率受非气孔因素制约而降低^[1]。上述结果表明, 由于品种、生态条件、栽培措施不同, 氮素和水分对小麦光合作用影响的结论颇不一致, 而且许多研究是在盆栽条件下进行的。本文在前人研究的基础上, 于田间高产条件下, 探讨水氮互作对小麦旗叶光合特性、籽粒产量及氮素和水分利用率的影响, 旨在为确定小麦高产高效的水、氮运筹方案提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2004~2005 小麦生长季在山东泰安山东农业大学实验农场进行, 选用中筋品种泰山 23 为

试验材料。在磷钾肥用量一致的条件下, 设置 3 个施氮水平: 不施氮(N0)、180 kg/hm²(N1)、240 kg/hm²(N2); 每个施氮水平下设置 4 个灌水处理: 不灌水(W0)、底墒水+拔节水+开花水(W1)、底墒水+冬水+拔节水+开花水(W2)、底墒水+冬水+拔节水+开花水+灌浆水(W3)。每次灌水量为 60 mm, 用水表计量灌水量。各生育时期的降水量为: 播种至冬前期 35.4 mm、冬前至拔节期 35.5 mm、拔节至开花期 30.8 mm、开花至成熟期 94.4 mm, 总计 196.1 mm。

播种前 0~20 cm 土层土壤养分含量: 有机质 1.0%, 全氮 1.0 g/kg, 水解氮 85.21 mg/kg, 速效磷 52.34 mg/kg, 速效钾 83 mg/kg。裂区设计, 施氮水平为主区, 灌水处理为副区。

小区面积为 1.5 m×7 m=10.5 m², 行距 25 cm, 重复 3 次。用量(P₂O₅)为 105 kg/hm², 钾肥用量(K₂O)为 135 kg/hm²。氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为硫酸钾。播种前全部磷、钾肥和 50% 的氮肥作底肥施入, 50% 的氮肥于拔节期(雌雄蕊原基分化期)追施。2004 年 10 月 11 日播种, 4 叶期定苗, 基本苗为 150 株/m²。其余管理同一般高产田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 旗叶净光合速率测定 用美国 Li-Cor 公司生产的 Li-6400 型便携式光合测定仪, 于开花后 0、

收稿日期: 2009-02-02
基金项目: 国家自然科学基金项目(30871478); 农业部现代农业小麦产业技术体系项目(nycytx-03)
作者简介: 王小燕(1978—), 女, 山东泰安人, 博士, 讲师, 从事小麦高产生理生态研究。E-mail: wamailwang@163.com。
通讯作者: 于振文 E-mail: yuzw@sdau.edu.cn
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

7、14、21、28、35 d 上午 9:00~11:00, 自然光照下测定。每处理 3 个重复, 每重复测定 10 个叶片, 取其平均值。

1.2.2 蔗糖磷酸合酶活性测定 参考 Douglas 等^[6]的方法提取蔗糖磷酸合酶, 1 g 叶片加 HEPES—NaOH 缓冲液 (pH7.5) 1 mL, 冰浴研磨, 10 000 r/min 冷冻离心 10 min。参考上海植物生理学会^[7]和 Wardlaw 等^[8]的方法测定活性, 50 μ L 酶液加 HEPES—NaOH 缓冲液 50 μ L、50 mmol/L MgCl₂ 20 μ L、100 mmol/L UTPG 20 μ L、100 mmol/L 6-磷酸果糖 20 μ L, 反应 30 min 后, 加 40% NaOH 200 μ L 终止反应, 加浓盐酸 1.5 mL 和 1% 间苯二酚 0.5 mL, 测定生成磷酸蔗糖含量。

1.2.3 蔗糖含量测定 将植物样烘干粉碎后, 用蒽酮比色法^[9]测定蔗糖含量。

1.2.4 植株氮素含量测定 于开花期选择同一日开花的植株挂牌, 并于开花期及成熟期选择同一日开花的植株取样。样品按旗叶、其余叶、茎鞘、颖壳、籽粒进行分样, 将样品置于烘干箱中 70℃ 烘至恒重, 称重并粉碎, 用于植株含氮量测定。植株含氮量采用国标法 (GB 2905—82), 用北京市通润源机电技术有限责任公司产 KDY—980 型凯氏定氮仪测定。将小麦植株或籽粒样品加入催化剂用浓硫酸硝煮, 使其中的氮转化为铵态氮, 加碱蒸发出氨, 用硼酸吸收氨, 用标准酸滴定, 计算含氮量^[10]。

1.2.5 土壤含水量测定 在土壤水分观测点用土钻取样装入铝盒, 重复 3 次。在室内将装有土样的铝盒称重, 称量铝盒加湿土的质量 $W_{\text{湿}}$ 。揭开铝盒盖, 放入烘箱中, 在 105℃ 下烘至恒重 (12 h), 从烘箱中取出铝盒, 盖好盒盖, 称量, 即铝盒加烘干土的重量 $W_{\text{干}}$ 。参照下式计算土壤含水量:

重量含水量 (%) = $(W_{\text{湿}} - W_{\text{干}}) / (W_{\text{干}} - W) \times 100\%$
式中, $W_{\text{湿}}$ 为湿土 + 铝盒重 (g); $W_{\text{干}}$ 为干土 + 铝盒重 (g); W 为铝盒重 (g); 体积含水量 (%) = 重量含水量 (%) $\times$ 土壤容重 (g/cm^3)。

1.3 计算方法

试验数据利用 DPS (data processing system) 2003 软件进行处理。

氮素和水分利用效率的计算公式如下^[11~13]:

氮肥表观利用率 (%) = (施氮处理植株氮素积累量 - 对照植株氮素积累量) / 施氮量 $\times 100\%$;

氮素生产效率 (%) = (施氮处理产量 - 对照产量) / 施氮量;

氮素收获指数 (%) = 籽粒氮素积累量 / 植株氮素积累量 $\times 100\%$;

水分利用率 [$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$] = 籽粒产量 / 耗水量;

水分生产效率 [$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$] = (灌水处理产量 - 对照产量) / 灌水量。

作物耗水量用农田水分平衡法^[13]计算, 水分平衡方程式为: $ET = \Delta S + I + P$ 。P 为降水量, I 为灌水量, 由水表测定; ΔS 为土壤贮存水变化量, 用水层厚度 Δh 表示: $\Delta h (\text{mm}) = 10 \sum (\Delta \theta_i \times Z_i)$, $i (1, m)$ 。 $\Delta \theta_i$ 为土壤某一层在给定时段内体积含水量变化, Z_i 为土壤层次厚度 (cm), i, m 是从土壤第 i 层到第 m 层。

2 结果与分析

2.1 不同处理对旗叶光合速率的影响

由图 1 可以看出, 开花后旗叶光合速率呈先升高后降低的趋势, 花后 7 d 光合速率达最大值。同一灌水处理, 不同施氮水平间比较, $N_2 > N_1 > N_0$, 说明在一定灌水处理条件下, 旗叶光合速率随施氮水平的提高而增加。

同一施氮水平, 不同灌水处理比较, W_0 花后的旗叶光合速率显著低于 W_1 、 W_2 和 W_3 处理; 花后 0~14 d, W_1 、 W_2 和 W_3 处理间无显著差异, 开花 21 d 后, $W_3 > W_1$ 、 W_2 , W_1 、 W_2 处理间无显著差异。说明全生育期不灌水, 旗叶光合速率显著降低; 在灌溉底墒水、拔节水和开花水的基础上, 增加冬水对花后旗叶光合速率无显著影响; 灌溉灌浆水显著提高了开花 21 d 后的旗叶光合速率。

2.2 不同处理对旗叶蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性的影响

由图 2 可以看出, 开花后, 旗叶蔗糖磷酸合成酶活性逐渐升高, 花后 7 d 达最大值, 而后下降, 这与旗叶光合速率的变化动态一致。同一灌水处理, 不同施氮水平间比较, N_1 和 N_2 极显著高于 N_0 水平, N_2 显著高于 N_1 水平, 说明适量施氮, 促进旗叶蔗糖磷酸合成酶活性提高, 继续增加施氮量, 旗叶 SPS 活性提高幅度减小。

同一施氮水平下, 不同灌水处理比较, W_0 开花后的旗叶 SPS 活性显著低于 W_1 、 W_2 和 W_3 处理; 花后 0~14 d, W_1 、 W_2 和 W_3 处理间无显著差异; 开花 21 d 后, $W_3 > W_1$ 、 W_2 , W_1 、 W_2 处理间无显著差异。说明全生育期不灌水, 显著降低了旗叶 SPS 活性, 抑制了蔗糖的合成; 在灌溉底墒水、拔节水和开花水的基础上, 增加冬水对花后旗叶 SPS 活性无显著影响; 灌溉灌浆水显著提高旗叶 SPS 活性, 促进了旗叶中蔗糖的合成。

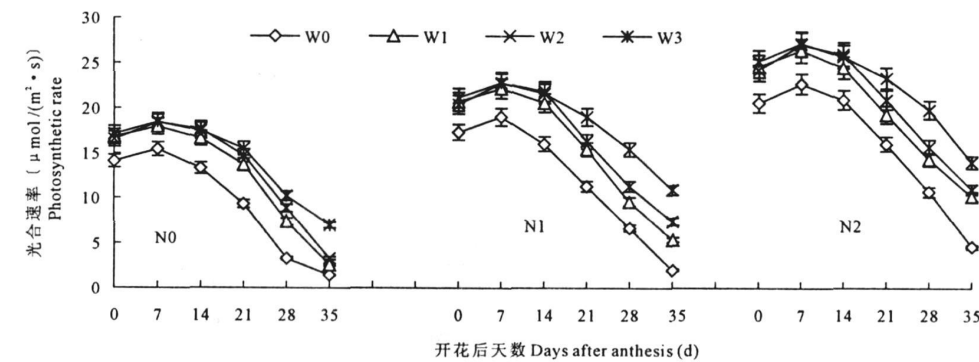


图 1 不同处理对旗叶光合速率的影响
Fig.1 Effect of different treatments on photosynthetic rate in flag leaf

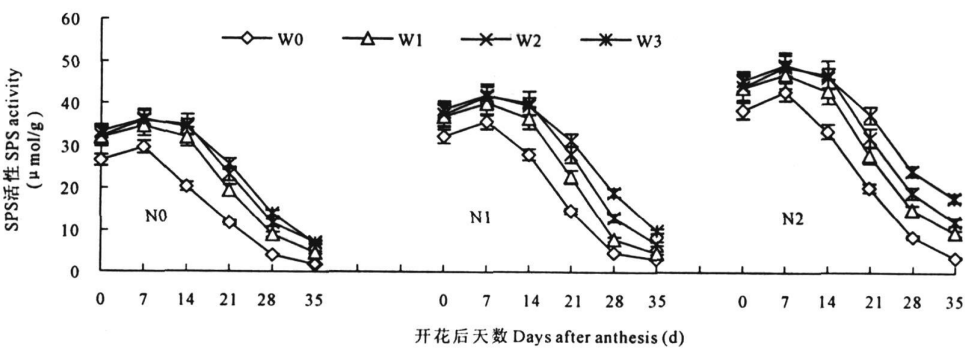


图 2 不同处理对旗叶 SPS 活性的影响
Fig.2 Effect of different treatments on sucrose-phosphate synthase (SPS) activity in flag leaf

2.3 不同处理对旗叶蔗糖含量的影响

由图 3 可以看出,开花后旗叶(干重)蔗糖含量呈双峰曲线变化,花后 28 d 达最大值后迅速降低。同一灌水处理,不同施氮水平间比较,N1 和 N2 极显著高于 N0 水平,N2 显著高于 N1 水平,说明适量施氮,促进旗叶蔗糖合成,继续提高施氮水平,成熟期旗叶中残留的蔗糖增多。

同一施氮水平,不同灌水处理比较,W0 花后旗叶蔗糖含量显著低于 W1、W2 和 W3 处理;花后 0~

14 d,W1、W2 和 W3 处理间无显著差异;开花 21 d 后,W3 > W1、W2,W1、W2 处理间无显著差异。说明全生育期不灌水,抑制旗叶蔗糖合成,显著降低旗叶蔗糖含量;在灌溉底墒水、拔节水和开花水的基础上,增加冬水对花后旗叶蔗糖含量无显著影响;灌溉灌浆水促进旗叶蔗糖合成,旗叶蔗糖含量显著提高,但在全生育期灌溉 5 水条件下,施氮量过多导致蔗糖在叶片中的残留增加,不利于旗叶中的蔗糖向籽粒中转运。

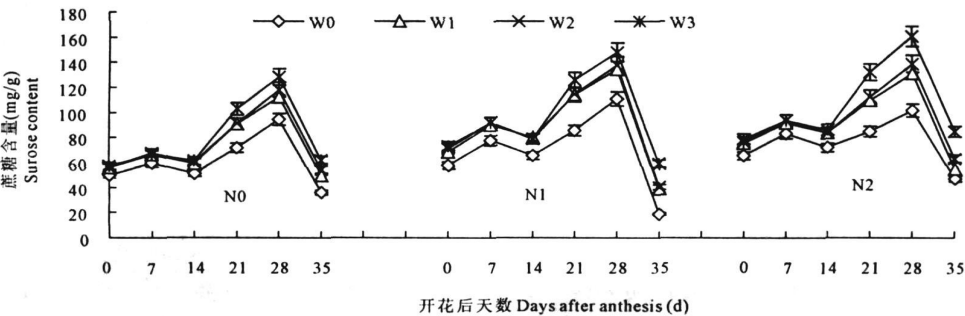


图 3 不同处理对旗叶蔗糖含量的影响
Fig.3 Effect of different treatments on sucrose content in flag leaf

2.4 不同处理对籽粒增重的影响

由表 1 知,同一灌水处理,不同施氮水平间比较,成熟期粒重随施氮水平的提高而降低。同一施氮水平下,花后 7~28 d,W1、W2 和 W3 均显著低于 W0 处理,其中花后 7~14 d W1、W2 和 W3 处理间无显著差异;花后 21~28 d,W1 和 W2 处理之间无显著差异,但均显著高于 W3 处理;成熟期(35 d),W1 和 W2 显著高于 W3 处理,W3 显著高于 W0 处理,W1 和 W2 处理间无显著差异,说明全生育期不灌水,籽粒灌浆速率在花后 28 d 前较高,但灌浆后期较低,成熟期粒重较小;在灌溉底墒水、拔节水和开花水的基础上,增加冬水对籽粒增重无显著影响;再增加灌浆水粒重降低。

2.5 不同处理对籽粒产量及氮素和水分利用率的影响

由表 2 可以看出,同一灌水处理下,施氮水平由 0 kg/hm² 增至 180 kg/hm²,籽粒产量显著提高;由 180 kg/hm² 增至 240 kg/hm²,不同灌水处理籽粒产量表现不一致,W1 和 W2 处理籽粒产量增加,W3 处理降低。N2 的氮素收获指数和氮素表观利用率均低于 N1 水平。W1 和 W2 处理下,各施氮水平的水分生产效率为 N0<N1<N2;W3 处理下为 N0<N2<

N1。说明在 W1 和 W2 处理下,施氮水平由 180 kg/hm²增至 240 kg/hm²,显著提高了水分生产效率;在 W3 处理下则水分生产效率降低。

表 1 不同处理对籽粒增重的影响

Table 1 Effect of different treatments on kernel weight

处理 Treatment	开花后天数 Days after anthesis (d)					
	7	14	21	28	35	
N0	W0	5.0 a	14.5 a	25.5 a	46.0 a	51.8 d
	W1	3.4 d	11.6 d	21.1 e	42.2 d	55.4 a
	W2	3.4 d	11.7 d	21.1 e	42.3 d	55.3 a
	W3	3.4 d	11.7 d	20.4 f	41.9 e	54.3 b
N1	W0	4.6 b	14.0 b	24.9 b	44.8 b	49.9 g
	W1	3.2 e	11.3 e	22.4 c	42.2 d	52.3 c
	W2	3.2 e	11.3 e	22.4 c	42.2 d	52.4 c
	W3	3.2 e	11.3 e	20.0 g	39.8 g	51.5 e
N2	W0	4.3 c	13.0 c	22.3 c	44.4 c	48.3 i
	W1	2.8 f	10.5 f	21.5 d	40.7 f	50.5 f
	W2	2.8 f	10.4 f	21.5 d	40.4 f	50.5 f
	W3	2.8 f	10.4 f	18.8 h	38.0 h	49.0 h

注:不同小写字母表示在同一列中数据间达显著差异,下同。
Note: Values within a column followed by a different letter mean significant difference at $P<0.05$, and they are the same as follows.

表 2 不同处理对籽粒产量、氮素利用率和水分利用率的影响

Table 2 Effects of different treatments on grain yield and nitrogen use efficiency and water use efficiency

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	氮肥表观 利用率(%) N apparent recovery rate	氮素生产 效率(kg/kg) N productive efficiency	氮素 收获指数(%) N harvest index	耗水量(mm) Water consumption	水分利用率 [kg/(hm ² ·mm)] WUE	水分生产 效率[kg/(hm ² ·mm)] Water productive efficiency	
N ⁰	W0	8557 e	—	—	—	340.1 k	25.2 a	—
	W1	8956 d	—	—	—	385.7 i	23.1 c	2.0 g
	W2	8954 d	—	—	—	440.8 f	20.3 f	1.7 h
	W3	9123 d	—	—	—	503.5 e	17.9 i	1.6 h
N ¹	W0	8916 d	10.7 e	2.0 d	79.6 a	370.5 j	24.1 b	—
	W1	9607 c	16.2 a	4.3 a	78.2 b	419.5 h	23.1 c	4.4 c
	W2	9572 c	16.4 a	4.2 a	77.9 b	445.7 e	21.7 e	3.2 d
	W3	9711 b	14.7 c	3.8 b	72.4 d	509.6 b	19.1 g	2.7 e
N ²	W0	8954 d	10.1 f	0.2 e	77.1 b	372.8 j	24.0 b	—
	W1	9917 a	14.3 b	4.2 a	74.6 c	425.9 g	23.3 c	5.4 a
	W2	10144 a	14.3 b	4.3 a	75.0 c	451.7 d	22.5 d	5.0 b
	W3	9634 c	13.7 d	2.5 c	68.1 d	516.9 a	18.6 h	2.3 f

不同灌水处理间比较,N0 和 N1 水平下,籽粒产量为 W0<W1、W2<W3;在 N2 水平下为 W0<W3<W1、W2,W1 和 W2 处理间无显著差异。表明在灌溉底墒水、拔节水和开花水的基础上,增灌冬水对籽粒产量无显著影响;施氮水平为 180 kg/hm² 时,在灌

溉底墒水、冬水、拔节水和开花水的基础上增加灌浆水,籽粒产量显著升高,但在 240 kg/hm² 施氮水平下,增加灌浆水则导致减产。

同一施氮水平下,小麦耗水量为 W0<W1<W2<W3,氮素收获指数为 W0>W1、W2>W3,氮素表

观利用率和氮素生产效率为 $W_0 < W_1, W_2 < W_3$, 水分利用率为 $W_0 > W_1 > W_2 > W_3$ 。说明在灌溉底墒水、拔节水和开花水的基础上, 增加冬水对小麦耗水量、氮素表观利用率和氮素生产效率均无显著影响, 但是水分利用率降低; 在灌溉底墒水、冬水、拔节水和开花水的基础上增加灌浆水, 小麦耗水量显著增加, 但是氮素表观利用率、氮素生产效率和水分利用率均显著降低。

3 讨论

前人研究表明, 在一定范围内施氮可以提高旗叶净光合速率, 增强旗叶蔗糖磷酸合酶 (SPS) 活性, 促进蔗糖合成^[2]。本文的研究结果与前人一致。诸多研究认为, 提高叶片光合速率是提高籽粒产量的基础^[14]。本试验结果表明, 适量施氮和灌水, 旗叶光合速率显著提高, 籽粒产量增加; 在灌溉底墒水、冬水、拔节水和开花水的基础上增加灌浆水, 施氮量由 180 kg/hm^2 增至 240 kg/hm^2 , 旗叶光合速率、SPS 活性和蔗糖含量提高, 但籽粒产量显著降低, 这与水肥投入过多导致灌浆后期蔗糖在叶片中的残留量增加, 不利于蔗糖向籽粒中转运有关。

一般认为, 灌冬水可保证小麦越冬期有适宜的水分供应, 巩固冬前分蘖, 促进新生分蘖, 兼有冬水春用、防止春旱和防止因温度剧烈升降造成冻害死苗的效果^[15]。在本试验土壤肥力和降水条件下, 灌溉底墒水、拔节水和开花水的基础上, 增加冬水对小麦旗叶光合速率、SPS 活性、蔗糖含量、耗水量、籽粒产量、氮素表观利用率和氮素生产效率均无显著影响, 但是水分利用率显著降低。在灌溉适宜时期的选择上, 有研究强调孕穗水和灌浆水的作用, 小麦全生育期灌底墒水、拔节水、抽穗扬花水和灌浆水可获得较高的产量^[16]。本试验结果表明, 在灌溉底墒水、冬水、拔节水和开花水的基础上增加灌浆水, 开花 21 d 后的旗叶光合速率显著提高, 总氮素积累量和耗水量显著增加, 但粒重、氮素表观利用率、氮素生产效率和水分利用率均显著降低。

研究表明, 水分和氮素存在明显的交互作用, 水分不足时氮素向籽粒的转移受到限制, 趋于基部叶片和根部累积, 籽粒含氮量减少, 籽粒产量和氮肥生产效率降低; 水分供应充分条件下, 需要相应提高施氮量, 否则会降低水分利用率^[17]。本试验结果表明, 在灌溉底墒水、冬水、拔节水和开花水的条件下, 施氮水平由 180 kg/hm^2 增至 240 kg/hm^2 , 水分生产效率显著升高; 而增加灌浆水后, 240 kg/hm^2 施氮水平的水分生产效率显著低于 180 kg/hm^2 , 说明在灌

水次数较多的条件下, 过多施氮不利于水分生产效率的提高。在本试验条件下, 灌溉底墒水、拔节水和开花水, 每公顷施纯氮 240 kg 的 $N_2 W_1$ 处理的籽粒产量、水分利用率和氮素利用效率均较高, 可供生产中参考。

参考文献:

- [1] 王国骄, 孙 备, 王嘉宇, 等. 水分与氮素营养对辽春 10 号小麦旗叶光合作用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 139—142.
- [2] 王 东, 于振文, 李延奇, 等. 施氮量对济麦 20 旗叶光合特性和蔗糖合成及籽粒产量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(6): 903—908.
- [3] 娄成后, 王学臣. 作物产量形成的生理学基础[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 52—63.
- [4] 胡梦芸, 张正斌, 徐 萍, 等. 亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究[J]. 作物学报, 2007, 33(10): 1711—1719.
- [5] 于显枫, 郭天文, 张仁陟, 等. 水氮互作对春小麦叶片气体交换和叶绿素荧光参数的作用机制[J]. 西北植物学报, 2008, 17(3): 117—123.
- [6] Douglas C, Doehelter T, Tsung M K, et al. Enzymes of sucrose and hexose metabolism in developing grains of two inbreds of maize[J]. Plant Physiol, 1988, 86: 1013—1019.
- [7] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 134—138, 148—150.
- [8] Wardlaw I F, Willenbrink J. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase[J]. Aust J Plant Physiol, 1994, 21: 251—271.
- [9] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985: 76—115.
- [10] 刘春生, 杨守祥. 农业化学分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1996: 174—176.
- [11] 赵俊晔, 于振文. 高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(4): 484—490.
- [12] 赵满兴, 周建斌, 杨 绒, 等. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 143—149.
- [13] 江晓东, 李增嘉, 侯连涛, 等. 少免耕对灌溉农田冬小麦夏玉米作物水、肥利用的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 20—24.
- [14] 房全孝, 陈雨海. 节水灌溉条件下冬小麦耗水规律及其生态基础研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(3): 18—22.
- [15] 李雁鸣, 王焕忠, 段巍巍, 等. 需水特性不同的两个冬小麦品种叶片光合特性的比较研究[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(1): 94—96.
- [16] 石鸿文. 小麦越冬期的肥水管理[J]. 河南农业科学, 1999, (1): 40.
- [17] 马春英, 李雁鸣, 任月同. 土壤水分胁迫对小麦产量的影响及节水灌溉的可行性[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(5): 1—4.
- [18] 李世娟, 周殿玺, 李建民. 限水灌溉下不同氮肥用量对小麦产量及氮素分配利用的影响[J]. 华北农学报, 2001, 16(3): 86—91.

Interactions of water management and nitrogen application on photosynthetic character and kernel yield and nitrogen use efficiency and water use efficiency in wheat

WANG Xiao-yan^{1,2}, WANG Dong², YU Zhen-wen^{2*}

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China; 2. Key Laboratory of

Crop Physiology, Ecology and Production, Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: The Interactions of water management and nitrogen application on photosynthetic character and kernel yield and nitrogen use efficiency and water use efficiency in the high-yielding conditions were studied. The results showed that: (1) In the same irrigation rate, the photosynthetic rate, sucrose-phosphate synthase (SPS) activity and sucrose content in flag leaf and kernel yield increased, but kernel weight, nitrogen (N) harvest index and N apparent recovery rate decreased as the nitrogen application rate increased. (2) In the same nitrogen application rate, the photosynthetic rate, SPS activity and sucrose content in flag leaf of W¹, W² and W³ showed no significant difference during 0~14 d after anthesis; but which of W³ were higher than W¹ and W² significantly 21 days after anthesis. The kernel weight of W¹ and W² had no significant difference, but all higher than W³. (3) In N⁰ and N¹ levels, the yield of W³ were higher than W¹ and W², but it was quite the contrary under N² level; the N apparent recovery rate and N productive efficiency of different treatments presented as: W⁰<W¹, W²<W³; while water-use efficiency of different treatments were presented as: W³<W²<W¹<W⁰. In this experiment, with water irrigated at pre-sowing, jointing and althesis, and 210 kg/hm² nitrogen applied, the yield, water use efficiency and nitrogen use efficiency were higher.

Keywords: wheat; interactions of water management and nitrogen application; photosynthetic character; kernel yield; water use efficiency; nitrogen use efficiency

(上接第 16 页)

[15] 宇万太,马 强,赵 鑫,等.不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化[J].生态学杂志,2007,26(12):2013—2016.

[16] 彭佩钦,张文菊.洞庭湖典型湿地土壤碳、氮和微生物碳、氮及其垂直分布[J].水土保持学报,2005,19(1):49—53.

[17] Havlin J L, Kissel D E, Maddux L D, et al. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen[J]. Soil Science Society of America Journal, 1990, 54: 448—452.

[18] 张超兰,徐建民.添加粪去津的土壤微生物量碳氮磷对外源有机无机物质的响应[J].水土保持学报,2004,18(4):57—60.

[19] 梁爱珍,张晓平,杨学明.耕作措施对耕层黑土有机碳库储量的短期影响[J].中国农业科学,2006,39(6):1287—1293.

Effect of different tillage patterns on organic carbon pool and microbial quotient in two sequence rotation system with spring wheat and field pea

BI Dong-mei, ZHANG Ren-zhi^{*}, WANG Juan, WANG Xin-jian, CAI Li-qun

(College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on a long-term experiment, the soil organic carbon(SOC), readily oxidizable carbon(ROC) and microbial biomass carbon(MBC) of two sequence rotation systems with spring wheat and field pea in soil layer under different tillage patterns were studied. The results showed that the content of soil organic carbon(SOC) pool in conventional tillage with straw incorporated(TS), no-till without straw cover(NT), no-till with straw cover(NTS) were more than conventional tillage with no straw(T), and the content of SOC in 0~5 cm soil layer was higher than other layers, and decreased with the soil depth, especially in NTS. Correlation analysis showed that the indicator of ROC and MBC had the same response to the long-term tillage methods with SOC. They were significantly correlated to SOC. The accumulation of microbial quotient with NTS was more than other tillage patterns. The results demonstrated that the activity of the carbon in soil of NTS was higher and could convert easily.

Keywords: tillage pattern; sequence rotation system; soil organic carbon; readily oxidizable carbon; microbial biomass carbon