

调亏灌溉对冬小麦光合特性及水分利用效率的影响

王育红,姚宇卿,吕军杰,李俊红,丁志强,李双辉,张 洁

(洛阳农业科学研究院,河南 洛阳 471022)

摘 要: 在干旱棚内排除自然降雨条件下,研究了不同调亏灌溉对冬小麦水分利用效率及生理指标影响。结果表明:冬小麦产量随灌水量与灌水次数增加而增加;灌水量相同,拔节水的产量较孕穗水高,且水分利用效率最高。灌水量的增加与时间后移,延缓了花后叶面积指数的减少,整个灌浆时期,各处理叶面积指数的大小顺序是:拔节水 60 mm+孕穗水 60 mm+开花 10 d 灌水 45 mm>拔节水 60 mm+孕穗水 60 mm>孕穗水 60 mm>拔节水 60 mm>不灌水(CK);并且提高了旗叶荧光参数 Fv/F_0 、 Fv/Fm 的值和叶绿素含量,减少了丙二醛的含量。

关键词: 调亏灌溉; 水分利用效率; 光合特性; 叶面积指数

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0059-04

水资源短缺已是全球农业生产面临的严峻问题^[1],也是制约我国农业和经济发展的重要因素。发展节水农业,实现有限水资源的可持续利用,是实现农业可持续发展的必然选择。调亏灌溉(Regulated Deficit Irrigation, 简称 ADI)是根据作物的生理生化作用,在作物生长发育的某一阶段施加一定程度的有益亏水度,调节器官和产物向不同组织器官的分配比例,从而提高所需收获的产量而舍弃部分营养器官的生长量和有机物的总量,以达到节水增产和提高作物品质的目的^[2]。调亏概念自提出以来,绝大部分研究^[3,4]较少涉及到粮食和蔬菜作物。直到 20 世纪 90 年代后期,国内外学者才开始在大田作物上进行试验,证明了调亏灌溉对大田作物也是一种非常有效的节水增产的有效方法^[5,6]。本文分析了不同调亏灌溉时期对冬小麦生理特性及

生长发育的影响,以期调亏灌溉的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2003、2004 年度,在中国农科院洛阳旱农基地干旱棚内进行。该地区年均降水量为 646 mm,但年蒸发量大(1793.0 mm,蒸发量是降水量的 2.8 倍),且降水时空分布不均,70%的降水集中在气温较高的 7~9 月份,春、秋干旱严重,0~50 cm 土壤含水量时常在 10%以下。供试土壤地下水位 4~5 m,土质为粘土,最大田间持水量为 27.92%。前茬作物 2003 年旱稻,2004 年休闲,本文以 2004 年试验结果进行分析。试验地耕作层土壤肥力见表 1。

表 1 基础土壤养分含量
Table 1 Nutrient content of basic soil

土 层 Soil layer	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碱解氮 A·N (mg/kg)
0~20 mm	14.52	1.16	0.917	12.21	21.24	107.65	106.9

试验采用随机区组设计,3 次重复。处理为:A·CK(不灌水);B·拔节水 60 mm;C·孕穗水 60 mm;D·拔节水 60 mm+孕穗水 60 mm;E·拔节水 60 mm+孕穗水 60 mm+开花 10 d 灌水 45 mm。小区面积 2 m²,小区四周用塑料布隔至 200 cm 深,以防水分侧渗,不封底。供试材料为豫麦 34,10 月 19 日播种,每区播种 4 行,三叶期定苗,基本苗 240 万/hm²。

播种前每 hm² 基施纯氮 189 kg, P₂O₅ 150 kg, K₂SO₄ 150 kg。试验全生育期控制浇水量,遇雨雪即将防雨棚推上,以防天然降水的影响,其他田间管理按高产田进行。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤含水量 采用烘干法测定播种前和收获后 0~100 mm(分 5 层)土壤含水量,总耗水量按

农田水分平衡方程式计算^[7]。

1.2.2 叶绿素荧光参数 于小麦灌浆中期,选晴朗无风天气,用国产便携式植物效能分析仪测定。每处理随机选择 5 片旗叶,测定前叶片暗适应 20 min,取平均值进行分析。

1.2.3 旗叶叶绿素含量 叶绿素含量采用乙醛丙酮快速浸提法测定,按 Arnon 公式计算^[8]。

1.2.4 叶面积指数(LAI) 在开花期、开花后 10、20、30、40、45 d,在取样区每处理连续取有代表性的 10 个植株,室内剪下所有绿色叶片,采用干重法测叶面积^[8],并计算叶面积指数。

2 结果与分析

2.1 调亏灌溉对小麦水分利用效率的影响

在小麦关键生育期内,随着灌水量的增加产量也逐渐增加,但不同时期的灌水不同产量也不同(表 2)。处理 E 的灌水量最多产量最高,在相同的灌水量下,处理 B 的产量较处理 C 的高。从水分利用效率上看,处理 B 的最高,较对照 CK 高出 1.91 kg/(mm·hm²),其次为处理 C 的。总上分析,在有限的灌水条件下,要取得高产量及高水分利用效率,关键要浇好拔节水。

表 2 调亏灌溉对小麦产量和水分利用效率的影响(土层 0~200 cm)
Table 2 Water using efficiency of wheat under different regulated deficit irrigation

处理 Treatment	基础含水量 Water content before sowing (mm)	终期含水量 Water content after harvest (mm)	灌水量 Irrigation (mm)	耗水量 Water consumption (mm)	产量 Yield (kg/hm ²)	水分利用效率 WUE [kg/(mm·hm ²)]
A(CK)	678.39	356.40	0	321.99	5284.5	16.41
B	678.39	392.00	60	346.39	6345.0	18.32
C	678.39	402.37	60	336.02	6017.3	17.91
D	678.39	416.55	120	381.84	6461.3	16.92
E	678.39	431.14	165	412.25	6831.0	16.57

2.2 调亏灌溉对小麦产量性状的影响

表 3 结果表明,在控制自然降水条件下,浇拔节水有利小麦分蘖成穗率的提高,处理 B、D、E 单位穗数都高于其它没浇拔节水处理的,株高随着浇水次数增加而增加。浇灌浆水,影响了小麦前期的生长

发育,造成群体偏小,植株矮小,不利于小穗数的形成,不孕小穗偏多。从单穗重分析,小麦后期灌水提高了穗粒数与千粒重,从而增加了穗重。处理 D、E 单穗重分别比对照(CK)增加 0.3 g 和 0.4 g。

表 3 调亏灌溉对小麦产量性状的影响
Table 3 Effects of different regulated deficit irrigation on the yield characteristics of wheat

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	穗数 Spikes per hm ² ×10 ⁴	小穗数 Number of spikelets	不孕小穗数 Number of sterile spikelets	穗重 Weight per spike (g)	穗粒数 Kernals per spike	千粒重 1000 kernal weight (g)
A(CK)	71.2	421.5	17.3	4.0	1.2	27.8	46.44
B	74.9	520.5	18.2	3.4	1.2	28.6	45.61
C	73.6	423.0	17.9	3.7	1.3	29.2	47.34
D	78.1	517.5	18.9	3.0	1.5	32.9	46.22
E	83.2	511.5	18.5	3.2	1.6	33.6	48.27

2.3 调亏灌溉对冬小麦光合性状的影响

2.3.1 对花后叶面积指数的影响 由图 1 可以看出,叶面积指数孕穗开花期最大,花后 10 d 迅速下降;浇水能延长叶功能期,对照 CK 的叶面积指数一直处于最低。随灌水次数与灌水量的增加,叶面积指数也在增加,处理 E>处理 D>处理 B、C>CK。从灌水时期看,灌水时期推后有利于延长叶功能期,孕穗期灌水处理 C 的叶面积指数大于拔节期灌水

处理 B。

2.3.2 对灌浆中后期冬小麦旗叶荧光日变化的影响 可变荧光(*F_v*)和固定荧光(*F₀*)的比值(*F_v*/*F₀*)代表光系统Ⅱ(PSⅡ)的潜在活性,可变荧光(*F_v*)和最大荧光(*F_m*)的比值(*F_v*/*F_m*)代表 PSⅡ最大光化学效率^[9,10]。测定结果(图 2)表明,灌浆中后期的 *F_v*/*F₀* 值和 *F_v*/*F_m* 均呈“V”字型变化趋势。灌浆中后期小麦 *F_v*/*F₀* 值以对照 A 最低,

拔节水 B 次之,灌浆以后灌水处理 C、D、E 差异不明显;在 F_v/F_0 值低谷期(13:00~15:00)处理差异最明显,处理 E 最高,处理 D 次之,明显高于对照 A 和处理 B,但后二者间差异也较明显。灌浆中后期 F_v/F_m 值总的来看,变化趋势与 F_v/F_0 基本吻合,只是 F_v/F_m 值低谷期向后推移,出现在 15:00~17:00。冬小麦后期灌水延缓小麦植株的衰老,改善叶片光合性能,提高 PS II 最大光化学效率,从而提高小麦的光能转化效率。

2.3.3 调亏灌溉对小麦花后旗叶叶绿素和丙二醛影响 光合色素叶绿素(Chl)含量直接影响叶片的光合能力。丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化的产物,其积累可使蛋白质发生交联作用,对细胞造成伤害,MDA 含量多少代表了膜损伤程度的大小,是标志植物衰老进程的一个重要指标。由图 3 可知,5 种灌溉方式小麦花后光合叶绿素含量均随生育进程推进而逐渐降低,花后 20 d 前为缓降期,之后随叶片衰老迅速下降。小麦旗叶叶绿素含量随着灌水次数增加和灌水后移而增加。在整个灌浆过程中,叶

绿素含量的大小次序为:3 水处理 $E>2$ 水处理 $D>1$ 次灌水处理 $C>1$ 次灌水处理 $B>CK$ 。这说明小麦后期灌水能延缓叶绿素的降低,对灌浆后期小麦叶片有明显的保绿防衰效果,有助于灌浆后期叶片捕捉更多光能供光合作用所利用;同时能维持较高的叶绿素含量,有利于提高植株抗逆性,延缓叶片衰老。

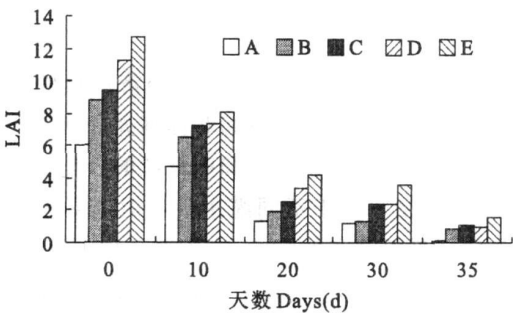


图 1 调亏灌溉对小麦 LAI 的影响
Fig.1 Comparison of different irrigation methods affecting LAI of wheat after blooming

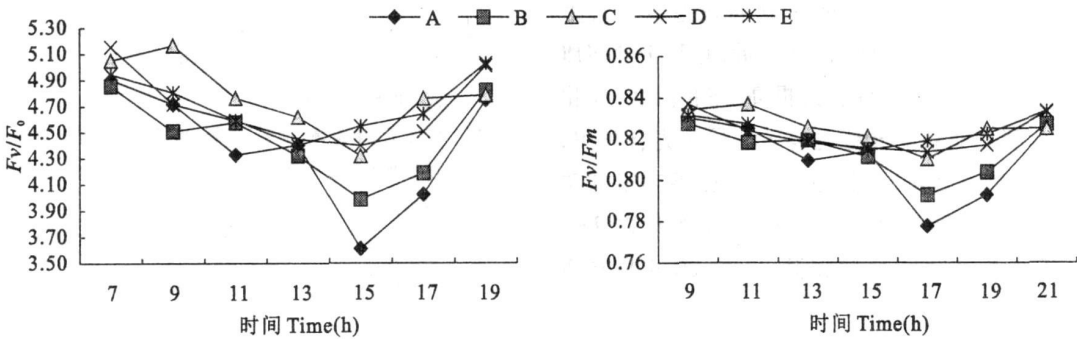


图 2 不同调亏灌溉对冬小麦旗叶 F_v/F_0 和 F_v/F_m 日变化影响

Fig.2 Diurnal variation of the F_v/F_m value and the F_v/F_0 value of winter wheat flag leaf in different regulated deficit irrigations

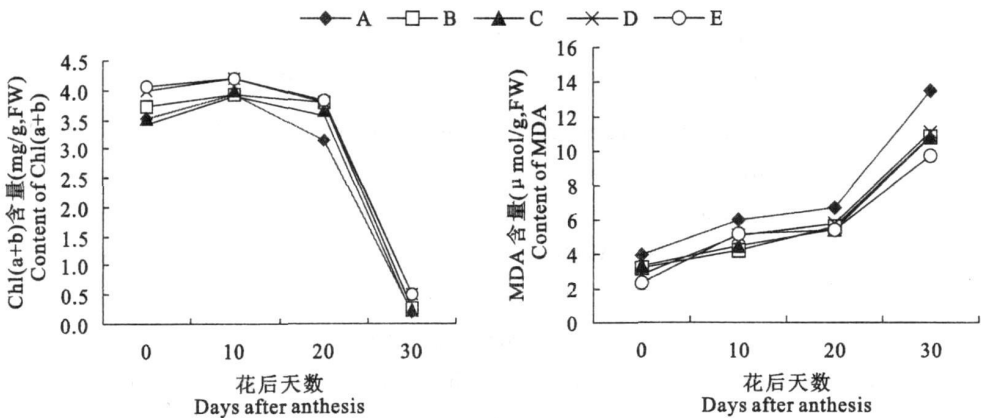


图 3 调亏灌溉对花后小麦旗叶叶绿素含量和丙二醛含量的影响

Fig.3 Effects of different regulated deficit irrigations on total Chl content and MDA content of winter wheat flag leaf after flowering

30 d 时,处理 B、C、D 趋于一致,分别为 $10.83 \mu\text{mol/g FW}$ 、 $10.88 \mu\text{mol/g FW}$ 和 $11.11 \mu\text{mol/g FW}$ 。处理 E 最低,为 $9.74 \mu\text{mol/g FW}$,比 CK $13.50 \mu\text{mol/g FW}$ 低 $2.74 \mu\text{mol/g FW}$ 。说明小麦后期灌水旗叶过氧化水平较低,减小了膜受损伤程度,这对维持细胞代谢水平具有重要意义,尤其以处理 E 效果更为明显。

3 讨 论

作物光合产物的积累总量是经济产量的基础,增加光合面积、延长光合时间和提高光合速率、光合时间,能增加光合产物积累和向籽粒的分配,从而获得较高的产量。关于不同灌水量与时期对土壤水、肥、作物产量等因子的影响,在不同条件下已有不少研究^[5,6,11]。根据本试验结果,在控制自然降水条件下,冬小麦的产量随着灌水量的增加而增加,拔节水主要是增加了成穗率,孕穗后灌水能提高千粒重与穗粒数,拔节水处理的水分利用效率最大,这与以往研究结果相符^[12]。本研究进一步探明了不同水分调亏对冬小麦生理指标的影响,结果表明:小麦籽粒灌浆中后期处理 D 和处理 E 叶面积指数一直处于较高水平,提高旗叶光合色素含量,有利于延缓旗叶衰老,增强光能的捕获能力,提高 PS II 活性、光化学效率,有利于捕获的光能更有效地用于光合作用,促进光合速率的提高,为籽粒的形成提供丰富的源供应物。开花期和灌浆中后期旗叶荧光参数 F_v/F_0 、 F_v/F_m 及旗叶叶绿素较高,花后 20 d 小麦旗

叶 MDA 含量迅速增加,对照不灌水明显高于其他灌水 4 个处理,花后 30 d 时灌 3 水(处理 E)最低,灌 2 水(处理 D)次之。

参 考 文 献:

- [1] Somerville C, Briscoe J. Genetic engineering and water[J]. Science, 2001, 292—2217.
- [2] 康绍忠,蔡焕杰.作物根区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [3] Chalmers D J, Mitchell P, Heek L. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning[J]. J Amer Sol Sci, 1998, 106(3): 302—307.
- [4] 曾德超.果树调亏密植节水增产技术的研究与开发[M].北京:农业大学出版社,1994.
- [5] 康绍忠,史文娟,胡笑涛,等.调亏灌溉对玉米生理生态和水分利用效率的影响[J].农业工程学报,1998, 14(4): 72—82.
- [6] 房全孝,陈雨海,李全起,等.灌溉对冬小麦水分利用效率的影响研究[J].农业工程学报,2004, 20(4): 39—34.
- [7] 苏正淑,张宪政.几种测定叶绿素方法的比较[J].植物生理学通讯,1989, (5): 77—78.
- [8] 刁操铨,贺汉林.作物栽培学实验指导[M].北京:农业出版社,1991.
- [9] 赵广才,何中虎.肥水调控对强筋小麦中优 9507 品质与产量协同提高的研究[J].中国农业科学,2004, 37(3): 351—356.
- [10] 田 义,张玉龙,虞 娜,等.温室地下滴灌灌水控制下限对番茄生长发育、果实品质和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2006, (5): 88—92.
- [11] 沈玉芳,李世清,邵明安,等.水肥空间组合对冬小麦生物学性状及生物量的影响[J].中国农业科学,2007, 39(8): 1822—1829.
- [12] 盛 钰,赵成义,贾宏涛,等.水分胁迫对冬小麦光合及生物学特性的影响[J].水土保持学报,2006, (1): 193—196.

Effect of regulated deficit irrigation on photosynthetic characteristics & water use efficiency of winter wheat

WANG Yu-hong, YAO Yu-qing, LU Jun-jie, LI Jun-hong, DING Zhi-qiang, LI Shuang-hui, ZHANG Jie
(Luoyang Academy of Agricultural Sciences, Luoyang, He'nan 471022, China)

Abstract: Studies on photosynthetic characteristics & water use efficiency of winter wheat under the condition of controlling rainfall & different regulated deficit irrigations. The results showed that the yield of winter wheat would be better along with the increasing of irrigations. At the same irrigation, the yield of jointing water was higher than that of booting water. The WUE of jointing water was the highest among all the treatments. With the increase and postponement of water, the decrease of the LAI after blooming got lower. During filling stage, the LAI of different treatments was in such order; the LAI of treatment E was number one, the LAI of treatment D was ranked the second, that of treatment C the third, that of treatment B was the fourth, and the last one was no irrigation treatment A (CK), and the F_v/F_0 value & F_v/F_m value of fluorescence parameters of wheat flags were also improved, and Chl content was improved, too. But the MDA content was decreased.

Keywords: regulated deficit irrigation; water use efficiency; photosynthetic characteristics; leaf area index