



## 灌水量和灌水期对超高产小麦花后旗叶衰老及产量的影响

惠海滨<sup>1</sup>, 刘义国<sup>1</sup>, 刘家斌<sup>1</sup>, 张洪生<sup>1</sup>, 林 琪<sup>1</sup>, 翟延举<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>山东省旱作农业技术重点实验室/青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东青岛 266109;

<sup>2</sup>莱州市金海种业有限公司, 山东莱州 261400)

**摘 要:**为了确定超高产麦田(9750 kg/hm<sup>2</sup>)适宜的灌水时期和数量,深入挖掘超高产麦田的产量潜力。通过设置不同的灌水处理,研究灌水量和灌水期对超高产小麦花后旗叶衰老生理及产量的影响。结果表明:灌水对旗叶各衰老指标均有显著的调节作用,灌水通过改善旗叶的结构完整性和功能持续性,能够明显延缓超高产小麦花后旗叶衰老。与CK处理相比,灌水提高了超高产小麦灌浆期旗叶SPAD值、叶面积指数(LAI)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性,减少了膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)的生成,在保证水分利用率的同时显著增加了籽粒产量。在实验条件下,灌冬水、拔节水和灌浆水各60 mm的T5处理花后旗叶衰老明显延缓,产量达到超高产水平(9923.58 kg/hm<sup>2</sup>),与其他处理差异显著。继续增加灌水量,处理T7和T8旗叶SPAD值和LAI降低,POD、SOD和CAT活性增幅不大,在灌浆后期甚至出现下降,穗粒数、千粒重和水分利用率下降显著,籽粒产量降低。

**关键词:**超高产小麦;灌水量和灌水期;衰老;产量

中图分类号:S210.3015

文献标志码:A

论文编号:2011-1000

### Effects of Irrigation Amount and Stage on the Flag Leaf Senescence and Yield of Super-high-yield Wheat After Anthesis

Hui Haibin<sup>1</sup>, Liu Yiguo<sup>1</sup>, Liu Jiabin<sup>1</sup>, Zhang Hongsheng<sup>1</sup>, Lin Qi<sup>1</sup>, Zhai Yanju<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Dry Tillage Water Saving of Shandong/Agriculture and Plant Protection College of Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China; <sup>2</sup>Laizhou Jinhai Seed Limited Company, Laizhou 261400, Shandong, China)

**Abstract:** To determine feasible irrigation stage and amount of super-high-yield land (9750 kg/hm<sup>2</sup>) and excavate the yield potential of super-high-yield wheat. We created conditions in super-high-yield land of Jinhai seed limited company to evaluate the effects of irrigation stage and amount on the flag leaf senescence and yield of super-high-yield wheat after anthesis. The results indicated that, irrigation had significantly effect on senescence indexes of the flag leaf, and irrigation could greatly delay the senescence of the flag leaf by improving the structural integrity and function continuity of the flag leaf. Compared to the control irrigation increased the chlorophyll content (SPAD value), LAI, POD, SOD, CAT activity, decreased the final product of lipid peroxidation (MDA), and significantly increased the grain yield of super-high-yield wheat while the water use efficiency was high. In the conditions of this experiment, the treatment T5 was irrigated 60 mm at wintering, jointing and filling stage respectively, of which the flag leaf senescence was obviously delayed, and its yield which was different from others significantly reached super-high-yield level (9923.58 kg/hm<sup>2</sup>), so T5 was the feasible irrigation scheme to super-high-yield land. Continuing to increase irrigation amount (T7 and

**基金项目:**科技部公益性行业科研专项基金“北方主要作物抗旱节水综合技术与区域示范”(200903007-03);青岛农业大学作物栽培学与育种学“泰山学者”基金项目岗位基金。

**第一作者简介:**惠海滨,男,1986年出生,山东日照人,在读硕士,主要从事小麦超高产生理生态方面的研究。通信地址:266109 山东省青岛市城阳区长城路700号 青岛农业大学农学与植物保护学院, E-mail: haibinhui@163.com。

**通讯作者:**林琪,男,1957年出生,山东乳山人,教授,博士,主要从事作物高产栽培理论与技术研究。通信地址:266109 山东省青岛市城阳区长城路700号 青岛农业大学农学与植物保护学院, Tel: 0532-88030267, E-mail: qlin@qau.edu.cn。

**收稿日期:**2011-11-25, **修回日期:**2012-02-27。



T8) the chlorophyll content(*SPAD* value) and *LAI* dropped, *POD*, *SOD*, *CAT* activity had little rate of increased amplitude, and grains per spike, 1000-grain weight and water use efficiency were decreased significantly.

**Key words:** Super-high-yield Wheat; Irrigation Stage and Amount; Senescence; Yield

## 0 引言

衰老是生物界普遍存在的现象<sup>[1]</sup>,有研究发现,小麦叶片衰老与叶片的活性氧积累,以及活性氧清除系统能力降低,导致细胞生物膜和其他生物大分子结构与功能受到破坏有关<sup>[2-3]</sup>,而麦田干旱或渍水都会直接导致叶片早衰<sup>[4]</sup>。小麦开花后旗叶生理功能开始衰减,但是此时正值产量形成的关键时期,籽粒灌浆大量需要光合产物输入<sup>[5]</sup>。在不同的生育时期小麦对水分的需求存在差异,增加灌水次数能够提高小麦旗叶超氧化物歧化酶活性,降低过氧化物酶活性和丙二醛含量,延缓膜脂过氧化作用,延长旗叶功能持续期<sup>[5-6]</sup>,产量随灌水次数增加在一定范围内呈直线增加,但灌溉相对增产量的值是递减的。灌水次数多,总灌水量大的,产量物质来源对开花后的物质生产依赖性大<sup>[7]</sup>。虽然前人对小麦衰老生理以及不同水分条件下灌水对小麦产量影响的研究已经较全面深入<sup>[8-11]</sup>,但是多集中在中高产田的水平上,而有关灌水对超高产小麦花后衰老特性以及产量影响的研究尚未见报道。为此,笔者在超高产田条件下,研究不同灌水量和灌水期组合对超高产小麦花后旗叶衰老生理以及产量的影响,以期在探讨超高产麦田适宜的灌水时期和数量的基础上,进一步挖掘超高产小麦的产量潜力,为提升超高产小麦生产能力提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2008—2010年在烟台市莱州金海种业有限公司的“二熟制粮食超高产研究”试验田进行,前茬为玉米。“二熟制粮食超高产研究”是农业部确定的重点研究课题,全年单产指标定在22500~24000 kg/hm<sup>2</sup>,其中此试验田小麦连续多年创出10500 kg/hm<sup>2</sup>以上的超高产记录。试验田土壤有机质18.43 g/kg、全氮0.76 g/kg、碱解氮90.52 mg/kg、速效磷13.27 mg/kg、速效钾139.58 mg/kg。2009—2010年小麦生育期内降水总量为291.7 mm,具体情况见图1。供试小麦品种为‘济麦22’。

根据灌水量和灌水期不同,试验设9个处理(表1),其中CK为不灌水处理,所用氮、磷、钾肥料种类分别为尿素(含纯氮46%)、磷酸二铵(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%、含纯氮18%)硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 57%),施钾量为105 kg/hm<sup>2</sup>,施磷量为150 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥量为300 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥分三

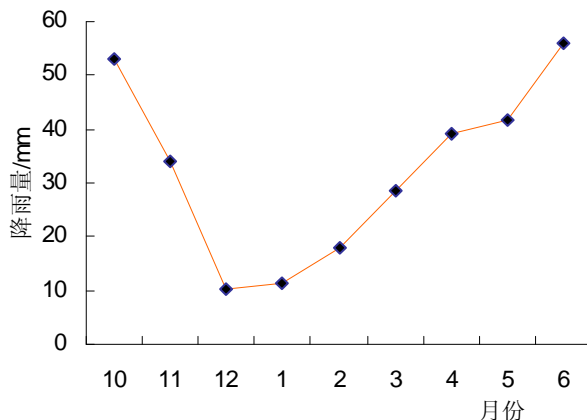


图1 2009—2010年小麦生育期降水量的动态变化

表1 各处理的灌水量 mm

处理	各生育期灌水量					灌水总量
	冬水	起身水	拔节水	孕穗水	灌浆水	
CK	—	—	—	—	—	0
T1	—	—	60	—	—	60
T2	—	—	60	—	60	120
T3	60	—	60	—	—	120
T4	—	60	—	60	—	120
T5	60	—	60	—	60	180
T6	60	60	—	60	—	180
T7	60	60	60	—	60	240
T8	60	60	60	60	60	300

期施用,基肥40%,拔节期30%,灌浆期30%;磷肥和钾肥均作为基肥一次性施入。试验小区面积为2 m × 8 m=16 m<sup>2</sup>,行距为19 cm,等行距种植,采用随机区组设计,重复3次。于2009年10月20日播种,其他管理按照超高产麦田管理进行。

### 1.2 测定项目与方法

在小麦开花期选取生长一致具有代表性的小麦植株200株予以标记,从小麦开花期开始每隔7天从标记小麦中取小麦植株,在实验室对小麦进行分解,保留擦拭干净的小麦旗叶20~25片,经液氮处理放入超低温冰箱中保存,用于测定小麦生理指标。

叶片叶绿素含量的测定:用日本产Mini型叶绿素计测定,以*SPAD*值表示叶绿素含量。从开花至成熟,在田间小区中随机选取小麦旗叶(10片)进行叶绿素

含量的田间测定,取平均数。每7天测一次。

叶面积系数(LAI):从开花至成熟,取代表性植株10株,剪下所有叶片,用LI-3100叶面积仪测定叶面积,换算出LAI。每7天测一次。

丙二醛(MDA)含量测定参照林植芳等<sup>[12]</sup>的方法;过氧化氢酶(CAT)活性采用高锰酸钾滴定的方法;超氧化物歧化酶(SOD)活性参照 Giannoplitis 以及王爱国等<sup>[13]</sup>的方法;过氧化物酶(POD)活性测定采用 Sigma 法。

水分利用效率:产量水分利用效率 $[kg/(hm^2 \cdot mm)] = \text{籽粒产量}(kg/hm^2) / \text{作物全生育期耗水量}(mm)$ 。在小麦主要生育时期用土钻取0~200 cm土层土样,20 cm为1层,置于铝盒中,采用烘干法测定土壤水分指标。作物耗水量:采用农田水分平衡法计算。

成熟期在田间调查每公顷穗数、穗粒数和千粒重,每小区收获4 m<sup>2</sup>计产,折算出公顷产量。

### 1.3 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2003 处理数据、图表,用 DPSv7.05 软件进行统计分析和差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌水对超高产小麦旗叶绿素含量(SPAD值)和 LAI 动态变化的影响

由图2~3可以看出,花后至成熟期不同灌水处理的 SPAD 值和 LAI 均成下降趋势,至成熟期降至最低。所有处理中,CK 和 T1 处理自花后开始显著下降,花后14天 SPAD 值和 LAI 急剧下降,说明干旱极易造成超高产小麦旗叶开花期后提前衰老,不利于灌浆期籽粒形成。T8 虽然在开花期和花后7天时旗叶 SPAD 值最高,但在花后14天明显低于 T5 和 T7;同时,灌浆期 T8 处理 LAI 显著低于 T5、T6 和 T7,而 T5 和 T7 在灌浆后期则仍可以保持较高 SPAD 值和 LAI,二者差异不明显。说明灌水虽然能够延缓花后旗叶衰老,但是灌水过多亦会导致旗叶 SPAD 值和 LAI 降低,进而造成小麦早衰。其原因可能是灌水过多导致小麦群体过大,植株间密度过大,叶片相互遮挡,以及根系渍水所致。另外,在相同灌水量条件下,不同灌水时期对小麦旗叶 SPAD 值和 LAI 的影响结果也不尽相同。其中,SPAD 值和 LAI 均有 T2>T3, T5>T6, 说明在相同灌水量的情

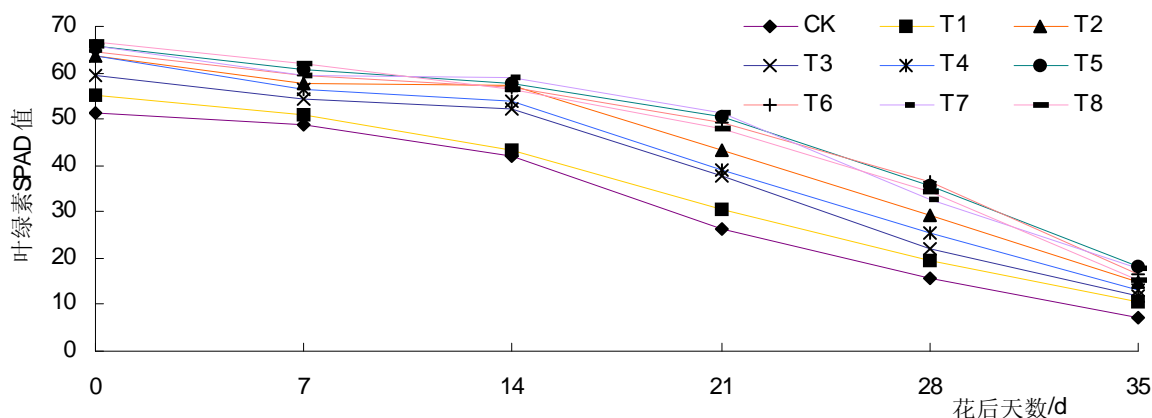


图2 不同处理对旗叶绿素动态变化的影响

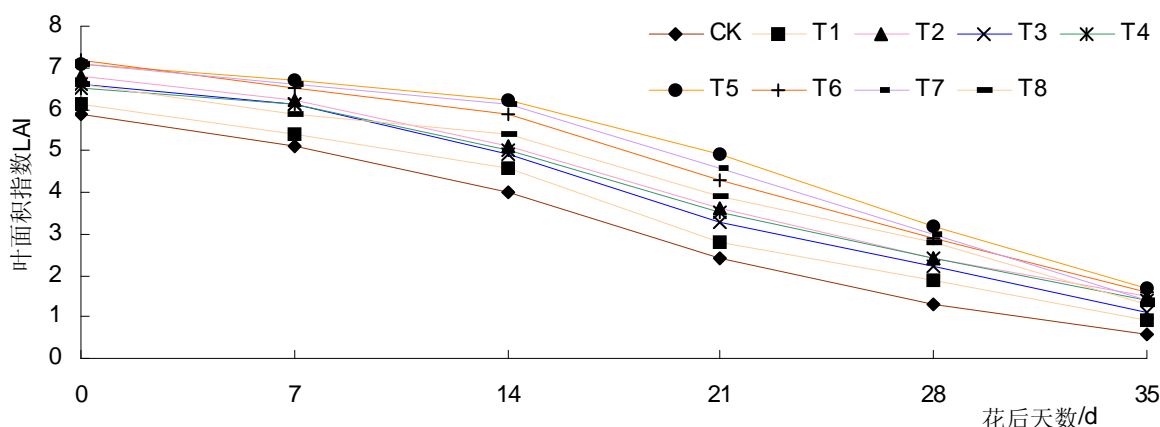


图3 不同处理对叶面积指数动态变化的影响



况下, 小麦生育后期灌水更有利于保证旗叶结构和功能的完整性, 起到延缓衰老的作用。

## 2.2 灌水对超高产小麦旗叶过氧化氢酶动态变化的影响

由图4可以看出, 自小麦开花后, 随着生育进程推

进, 各处理小麦旗叶的过氧化氢酶活性均呈先上升后下降的变化趋势。在小麦开花后0~14天, 各处理过氧化氢酶活性缓慢增加, 在花后14天达到最高值, 之后至小麦成熟, 急剧下降。

从图4中还可以看出, 不同处理间, 花后至成熟期

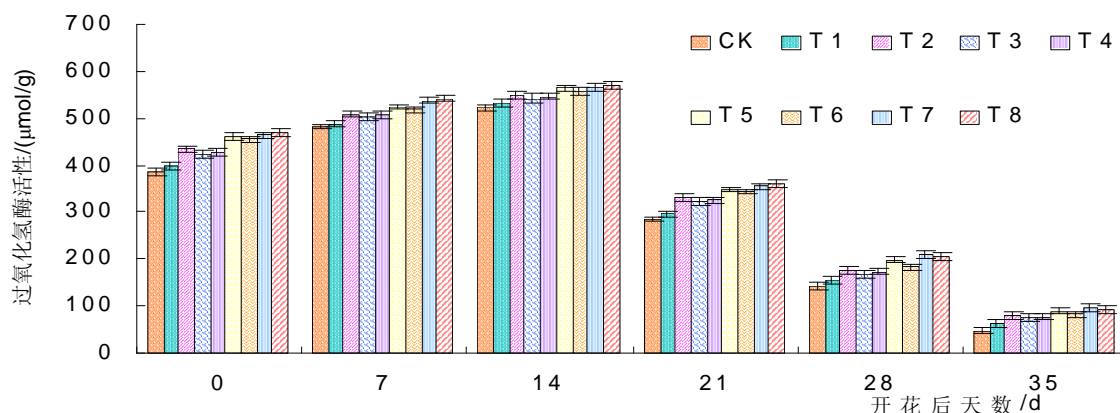


图4 不同处理对旗叶过氧化氢酶活性动态变化的影响

CK处理旗叶CAT活性明显低于各灌水处理; 在花后21天前, 随着灌水量增加, 旗叶CAT活性逐渐增加, 总体表现为T8>T7>T5>T6>T2>T4>T3>T1, 但从灌三水开始继续增加灌水量, 旗叶CAT活性增幅不大; 在近成熟期(花后28天), 随着灌水量增加旗叶CAT活性(T8=207 μmol/g, T7=210 μmol/g)甚至出现下降。说明灌水可以显著提高小麦旗叶CAT活性, 延缓花后旗叶衰老, 但是灌水过多效果不明显甚至出现负效应。相同灌水量处理中, 花后旗叶CAT活性T2>T4>T3, T5>T6, 说明生育后期灌水对增加旗叶CAT活性的效果优于生育前期。

## 2.3 灌水对超高产小麦旗叶超氧化物歧化酶活性动态变化的影响

由图5可以看出, 自小麦开花至成熟, 各处理旗叶超氧化物歧化酶活性均呈逐渐下降的趋势。从开花期

至开花后21天, 旗叶超氧化物歧化酶活性下降较缓慢, 之后至成熟, 下降迅速。不同处理间, 开花期各处理间差异不大, 花期之后不同处理间差异逐渐显现, 在花后14天, 各灌水处理旗叶超氧化物歧化酶活性总体表现为T8>T7>T5>T6>T2>T4>T3>T1, CK处理旗叶SOD活性明显低于各灌水处理; 相同灌水量处理间, 因灌水时期不同而出现旗叶SOD活性差异, T2和T5分别是相同灌水量中旗叶SOD活性最高的处理; 不同灌水量处理间, T7和T8处理的SOD活性高于其他处理, 但与T5相比增幅不大, 在花后35天甚至出现SOD活性T7>T8。说明干旱会降低小麦花后旗叶SOD活性, 加速旗叶衰老, 而灌水可以增加旗叶的SOD活性, 提升旗叶清除氧自由基的能力, 进而减轻细胞内活性氧积累的毒害作用, 但灌水量超过一定的阈值后效果不明显。

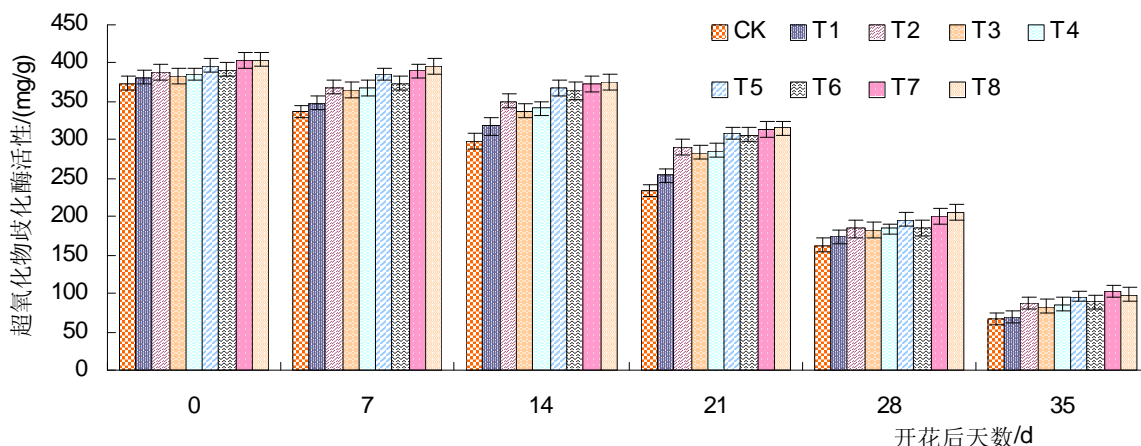


图5 不同处理对旗叶超氧化物歧化酶活性动态变化的影响



## 2.4 灌水对超高产小麦旗叶丙二醛含量动态变化的影响

由图6可以看出,各处理MDA含量均在花后不断累积升高,自开花期至开花后14天,各处理的MDA含量增加较缓慢,各处理间差异不大;从开花后21天开始,各处理间差异逐渐显现,MDA含量急剧增加,至成熟期(花后35天)各处理旗叶MDA含量达到最大值。

不同处理间,开花期至成熟期各阶段CK处理旗叶MDA含量均最高;各灌水处理间,随着灌水量增加

旗叶MDA含量逐渐降低,至T8处理旗叶MDA含量最低,与T7处理差异不明显。相同灌水量处理间,各时期旗叶MDA含量差异不明显,但后期灌水(T5、T2)效果明显优于前期灌水(T6、T3)。说明灌水虽然可以改善超高产麦田旗叶细胞膜系统的功能,并且随着灌水量增加效果逐渐提升,但达到一定灌水量后,即使安排不同的灌水时期其效果亦趋于稳定;在有限灌水量的条件下,保证麦田生育后期水分充足,可以充分发挥灌水延缓旗叶衰老的作用。

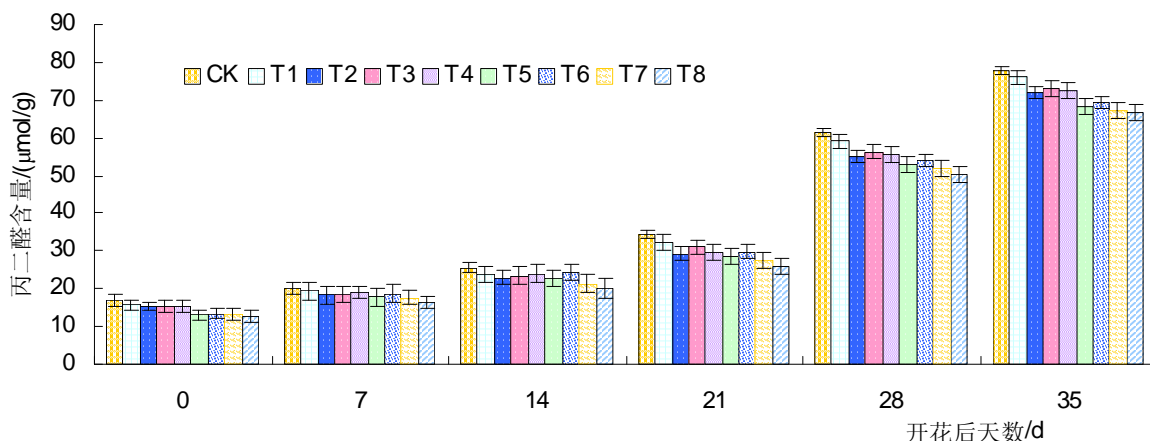


图6 不同处理对旗叶丙二醛含量动态变化的影响

## 2.5 灌水对超高产小麦旗叶过氧化物酶活性动态变化的影响

由图7可以看出,开花后随着生育进程的推进,各处理旗叶POD活性与CAT活性变化趋势相似,也呈先上升后下降的变化趋势,在花后14天达到最高值,之后呈下降趋势,至成熟期(花后35天)降到最低。不同处理间,CK处理旗叶POD活性最低;不同灌水处理间,随着灌水量增加,旗叶POD活性趋向增加,说明随着灌水量增加旗叶POD活性提高,但至T8和T7处理增幅减缓,差异不明显,表明在灌三水基础上继续增加灌水

量,对提高旗叶POD活性作用不大。相同灌水量处理中,开花期至成熟期各阶段旗叶POD活性均有T2>T4>T3, T5>T6,说明超高产麦田条件下小麦生育后期灌水,特别是灌浆水,对提高旗叶POD活性效果明显。

## 2.6 灌水对超高产小麦水分利用率的影响

由表2可以看出,CK处理的水分利用效率最高,每毫米水生产19.15 kg/hm<sup>2</sup>籽粒,与其他灌水处理差异显著,说明在超高产麦田条件下的无灌水处理,干旱促进了水分利用效率的提高,随着灌水量增加,水分利用率呈降低趋势。不同灌水处理中,灌一水、二水和三水

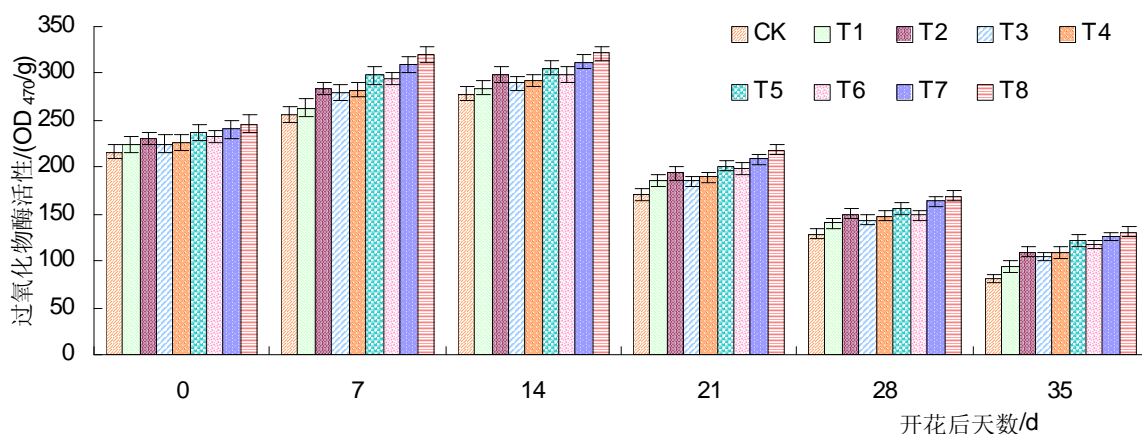


图7 不同处理对旗叶过氧化物酶活性动态变化的影响



表2 不同处理对水分利用效率的影响

处理	耗水量/mm	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	水分利用效率/[kg/(hm <sup>2</sup> ·mm)]
CK	348.21	6669.93Fh	19.15Aa
T1	401.18	7594.67Eg	18.93Bb
T2	456.11	8590.11Cde	18.83Bc
T3	457.67	8004.89Df	17.49De
T4	459.36	8691.87Cd	18.92Bbc
T5	523.27	9923.58Aa	18.96Bb
T6	520.34	9270.77Bc	17.82Cd
T7	558.32	9737.64Ab	17.44De
T8	617.68	8537.63Ce	13.82Ef

注:同列数据后不同大、小写字母分别表示处理间差异达1%和5%显著水平。下同。

的處理的水分利用率差异不明显,T7和T8处理的水分利用率显著低于其他灌水处理,其中T5处理水分利用率为18.96 kg/(hm<sup>2</sup>·mm),是灌水处理中水分利用率最高的处理。在相同的灌水量处理中,T3显著低于T2和T4,说明超高产麦田中生育后期灌水有利于提高水分利用率,减少水资源浪费。

## 2.7 灌水对超高产小麦产量及产量构成的影响

由表3可以看出,随着超高产麦田灌水量的增加,产量构成因素中穗粒数、千粒重、每公顷穗数呈上升趋势,与CK处理比较,灌水极显著增加超高产小麦产量。表4结果表明,超高产小麦产量与各产量构成因素间均成极显著正相关,说明各产量构成因素对超高产小麦产量形成贡献巨大。不同处理间,T5与T7穗粒数和穗数差异不显著,千粒重差异达极显著,最终也导致其产量差异极显著。T5与T6穗粒数和千粒重差异极显著,而穗数未达极显著水平。随着灌水进一步增加,T8各产量构成因素均显著降低。说明灌水虽然有益于超高产麦田产量形成,但是灌水过多效果降低甚至出现负效应,造成水资源浪费,综合产量因素以及最终产量来看,T5产量达超高产水平,是在超高产水

表3 不同处理对小麦产量及产量构成的影响

处理	穗粒数/(粒/穗)	千粒重/g	穗数/(×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )
CK	32.89Eg	38.97Ff	612.28Ee	6669.93Fh
T1	34.33De	41.96Ee	621.87Ee	7594.67Eg
T2	34.77Bd	44.35Bb	656.95CDd	8590.11Cde
T3	33.91Df	42.76Dd	649.59Dd	8004.89Df
T4	34.97Cc	44.28Bb	661.12CDd	8691.87Cd
T5	36.87Aa	45.02Aa	703.49Aa	9923.58Aa
T6	35.86Bb	43.81Cc	694.31ABab	9270.77Bc
T7	36.79Aa	44.21Bb	704.01Aa	9737.64Ab
T8	34.69Cc	42.63Dd	679.48BCbc	8537.63Ce

表4 产量和产量构成因素的相关性

相关系数	穗粒数	千粒重	穗数	产量
穗粒数	1			
千粒重	0.79**	1		
穗数	0.91**	0.79**	1	
产量	0.96**	0.90**	0.97**	1

注:\*表示 $P<0.05$ ; \*\*表示 $P<0.01$ 。

平上较科学的用水方案。

## 3 结论与讨论

### 3.1 灌水对超高产小麦旗叶花后衰老生理的影响

旗叶作为小麦主要的光合产物制造器官,对籽粒产量贡献巨大<sup>[8-10]</sup>。已有研究认为,水分对小麦旗叶的光合特性有调控作用,而旗叶的高叶绿素含量和叶面积指数是高效光合作用的基础<sup>[11]</sup>。彭永欣等<sup>[14]</sup>认为,小麦开花后生长中心向穗部转移,叶面积大小和衰老速度制约着籽粒灌浆,并最终影响粒重的大小。说明要保证花后光合产物的供给,确保最终产量形成,生育期内应在合理的范围内增加灌水。在本试验中,未灌水处理(CK)在开花期至成熟期,旗叶叶绿素含量(SPAD值)和LAI均低于各灌水处理,随着灌水量增加旗叶叶绿素含量(SPAD值)和LAI逐渐增加,这与前人研究结果相同<sup>[13-5]</sup>;至T5处理(冬水、拔节水和灌浆水)继续增加灌水量旗叶叶绿素含量(SPAD值)和LAI增加不明显,甚至出现下降,这与过量灌水后根系渍水,造成小麦根系早衰有关。同时在本试验条件下,两水处理中T2和T4旗叶SPAD值和LAI显著高于T3,三水处理中T5旗叶SPAD值和LAI显著高于T6,继续增加灌水T7和T8旗叶SPAD值和LAI呈下降趋势,说明仅靠增加灌水并不能确保旗叶结构的完整性和功能的持续期,在保证适宜的灌水量的同时科学安排灌水时期,才能最终实现延缓小麦衰老,保持旗叶光合性能持续高效。

叶绿素含量和叶面积指数的高低,是旗叶衰老与否的外在表现,而其内部各种保护酶活性的高低则是其衰老与否的内在体现,是影响旗叶结构完整与否和功能持续期长短的直接因素。有研究认为,植物在遭受水分胁迫后,胞内自由基代谢平衡被破坏,自由基大量积累,过剩自由基引发或加剧了膜脂过氧化作用,进而造成细胞膜系统的损伤,胁迫严重时甚至会导致植物细胞死亡<sup>[15-17]</sup>。过氧化物酶(POD)的作用机理是通过催化H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>与其他底物反应以消耗H<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>[18]</sup>。华春等<sup>[19]</sup>研究发现,叶片的衰老,伴随着SOD活性和CAT的活性下降,以及MDA的含量增加。在本试验中,开花后

伴随着超高产小麦衰老进程发展,旗叶膜系统中的保护酶CAT和POD活性呈现先上升(花后14天)后逐渐下降的趋势,SOD活性呈现逐渐下降的趋势,至成熟期达到最低值;而膜脂过氧化产物MDA含量则呈逐渐升高的趋势,至成熟期达到最高值。这与前人研究结果相同<sup>[1-5]</sup>。本试验研究表明,与未灌水处理相比,增加灌水能够显著提高开花后旗叶膜系统中的保护酶(CAT、POD、SOD)的活性,减少膜脂过氧化产物(MDA)的生成,但至三水(T5、T6)后继续增加灌水作用不大,效果不明显,甚至出现负效应。这与过多的灌水使后生育后期小麦群体过大,冠层透光差,大量无效分蘖消耗水分和养分,加快叶片衰老不无关系。说明在本试验条件下,灌三水是用总水量的上限,在此范围内适时适量用水,因地制宜的合理安排灌水时期,可以起到延缓小麦衰老,促进光合作用的作用。另外,笔者在研究中还发现,小麦生育后期(T2)灌水效果优于生育前期(T3),说明在灌溉用水有限的条件下,可以在生育后期集中灌水,在水分敏感期加强灌水,以达到用水效益最大化的目的。

### 3.2 灌水对超高产小麦灌浆期产量及其构成因素的影响

Hussein<sup>[20]</sup>研究认为,雨养农业条件下小麦抽穗期灌水可使千粒重、成穗数和产量均高于分蘖期灌水。本试验中,与CK相比,增加灌水通过显著提高各产量构成因素使得超高产小麦最终产量增加。这与灌水延缓了旗叶衰老,旗叶净光合性能提高后为花后籽粒灌浆源源不断得提供光合产物有直接关系。本试验中小麦生育前期气温较低,墒情差,通过T2与T5处理相比较,我们发现冬水对超高产小麦的作用巨大,这可能与冬水促进了小麦生育前期的形态构建,保证了生育后期光合器官完整结构有关。在灌水量为120 mm的处理中,T2与T3处理的产量及其构成因素差异显著,说明生育后期灌水对超高产小麦产量及其构成因素效果优于前期灌水。本试验中在0~300 mm范围内随着灌水量的增加,至T5(冬水、拔节水和灌浆水)处理产量达最大值;继续增加灌水量(T7和T8)小麦产量呈下降趋势。T5与T6处理相比,其差异一方面说明由于超高产小麦自身的高亩穗数潜力,起身水对超高产小麦作用不明显;另一方面说明通过延缓花后旗叶衰老,延长高效的光合同化期,在穗粒数和千粒重上实现突破,是实现挖掘超高产小麦产量潜力的有效途径。

### 4 结论

适当的水分胁迫在降低超高产小麦耗水量的同时,对其产量影响很小,并且有利于提高水分利用率。本试验条件下,灌水处理中灌冬水、拔节水和灌浆

水各60 mm的T5处理在旗叶衰老明显延缓的同时,水分利用率最高,产量达到超高产水平,能够兼顾产量形成和水分利用,是适宜超高产麦田的用水方案。

### 参考文献

- [1] 肖凯,王殿武,张荣铎,等.小麦叶片衰老生理变化的研究[J].麦类作物学报,1994(1):46-48.
- [2] 沈文飏,叶茂炳,徐明莱.小麦旗叶自然衰老过程中清除活性氧能力的变化[J].植物学报,1997,39(7):634-640.
- [3] 岳寿松,于振文,余松烈.小麦旗叶和根系的衰老[J].作物学报,1996,22(1):57-58.
- [4] 姜东,陶勤南,张国平.渍水对小麦扬麦5号旗叶和根系衰老的影响[J].应用生态学报,2002,13(11):1519-1521.
- [5] 于振文,岳寿松,沈成国,等.高产低定额灌溉对冬小麦旗叶衰老的影响[J].作物学报,1995,21(4):503-508.
- [6] Kang S Z, Zhang L, Liang Y L, et al. Effects of limited irrigation on field and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China[J]. Agricultural Water Management,2002(55):203-216.
- [7] 兰霞,周殿玺,兰林旺.灌溉制度对冬小麦产量结构形成与产量物质来源的影响[J].中国农业大学学报,2001,6(1):17-22.
- [8] 胡美君,王义芹,张亮,等.不同基因型小麦及其优选杂交后代的光合作用特性[J].作物学报,2007,33(11):1879-1553.
- [9] 隋娜,李萌,田纪春,等.超高产小麦品种(系)生育后期光合特性的研究[J].作物学报,2005,31(6):808-814.
- [10] 王之杰,郭天财,王化岑,等.种植密度对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2001,21(3):64-67.
- [11] Srivali B, Renu K C. Drought-induced enhancement of protease activity during monocarpic senescence in wheat[J]. Current Science, 1998,75(11):1174-1176.
- [12] 林植芳,李双顺.水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及膜质过氧化作用的关系[J].植物学报,1984,26(6):605-615.
- [13] 王爱国,罗广华,等.大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J].植物生理学报,1983,9(1):77-84.
- [14] 彭永欣,郭文善,严六零,等.小麦栽培与生理[M].南京:东南大学出版社,1993.
- [15] Elster E F. Oxygen activation and oxygen toxicity[J]. Annual Review of Plant Physiology,1982(33):73-96.
- [16] Venkataramana S, Naidu K M, Singh S. Membrane thermostability and nitrate reductase activity in relation to water stress tolerance of young sugar-cane plants[J]. New Phytologist,1987,107(2):335-342.
- [17] Senaratna T, Mckersie B D, Stinson R H. Simulation of dehydration injury to membranes from soybean axes by free radicals[J]. Plant Physiology,1985,77(2):472-474.
- [18] 李名迪,魏冬,颜满莲,等.水稻叶片的活性氧代谢及衰老调控[J].江西农业学报,2005,17(4):112-116.
- [19] 华春,王仁雷.杂交稻及其三系叶片衰老过程中SOD-CAT活性和MDA含量的变化[J].西北植物学报,2003,23(3):406-409.
- [20] Hussein S M A. Effect of supplemental irrigations, seeding rates and foliar application of potassium and macro-micro elements on wheat productivity under rainfed conditions[J]. Bulletin-Faculty of Agriculture University of Cairo,2005(56):431-453.