

灌溉频次和时期对冬小麦籽粒产量及品质特性的影响

韩惠芳¹, 李全起², 董宝娣³, 刘孟雨^{3,*}

(1. 山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; 2. 山东农业大学水利土木工程学院, 山东泰安 271018;

3. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 河北石家庄 050021)

摘要:为探讨我国北方地区冬小麦的节水灌溉模式, 2006—2008 年, 在中国科学院栾城农业生态系统试验站, 以冬小麦品种科农 9204 为试验材料, 在总灌溉量为 120mm 的条件下, 研究了灌溉次数和灌溉时期对籽粒产量、水分利用效率(WUE)、籽粒蛋白质含量以及相关主要品质特性的影响。结果表明, 拔节期、抽穗期和灌浆期一次灌溉分别有利于产量、干物质积累量和千粒重的形成或提高; 两次灌溉处理中, 以拔节和抽穗期各灌 60mm 处理籽粒产量最高, 籽粒蛋白质产量有随灌溉时期后移而降低的趋势; 冬小麦生育期间随灌溉次数增多和灌溉时期后移, 湿面筋含量、面团形成时间、面团稳定时间等均显著降低。综合考虑冬小麦的籽粒产量、WUE、营养品质和加工品质, 在总灌溉量为 120mm 的条件下, 以拔节和抽穗期各灌溉 60mm 为宜。

关键词:灌溉; 冬小麦; 产量; 品质

Effects of irrigation frequency and stages on grain yield and quality characteristics of winter wheat

HAN Huifang¹, LI Quanqi², DONG Baodi³, LIU Mengyu^{3,*}

1 College of Agronomy, Shandong Agricultural University /State Key Laboratory of Crop Biology, Taian 271018, China

2 College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

3 Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetic and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China

Abstract: In North China, in order to obtain high and stable grain yield of winter wheat, irrigation should be applied during its growing season. However, water resource is very shortage and irrigation water use efficiency is very low. Therefore, irrigation frequency should be adopted in this region. In 2006 — 2008, an experiment was conducted at Luancheng Experimental Station of CAS to study irrigation frequency on grain yield, water use efficiency (WUE), protein yield, wet gluten content, development time, and stability time of winter wheat under irrigation frequency by variety Kenong “9204”. The results showed that irrigated at jointing, heading, and milking stages were in favor of increased grain yield, dry matter accumulation, or 1000 kernel weight, respectively. The highest grain yield was obtained in case of the treatment was irrigated 60 mm at jointing and heading stages, respectively. Irrigated two times during the growing stages of winter wheat could increase protein yield; however, irrigation timing during the later part of the growing season of winter wheat could decrease the protein yield. The results indicated that irrigation timing in the later part of the growing season and the increase in the times of irrigation, wet gluten content, development time, and stability time were all significantly decreased. On the basis of the experimental results, it is suggested that irrigation should be applied at jointing and heading stages of winter wheat to obtain reasonable grain yield, WUE, and quality under irrigation frequency in North China.

Key Words: irrigation; winter wheat; grain yield; grain quality

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目(KSCX2-YW-N-004); 国家“863”资助项目(2006AA100221); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目(S2009NY008); 山东省高等学校科技计划资助项目(J09LC03); 山东农业大学青年科技创新基金资助项目(23652)

收稿日期:2009-08-11; 修订日期:2009-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mengyuliu@ms.sjziam.ac.cn

我国北方冬小麦生育期间耗水量约为同期降水量的 2—3 倍^[1],要想获得稳产和高产,一般年份必须灌溉。北方冬麦区降水量和土壤含水量在地域和年际间的差异,是导致已推广优良小麦品种品质差异显著的主要原因之一。有研究指出,作为主要生态因子的水是影响小麦产量和品质最活跃的因素之一,通常降水量或土壤水分含量与籽粒蛋白质含量呈负相关,即小麦高产与节水和优质是不协调的^[2]。由于品种特性和生态条件的差异,其结果不尽一致^[3-5],而有关小麦高产节水优质三者之间的协同研究报道更少。

小麦籽粒形成过程中,源(叶)同化物的生成、转运及向库(籽粒)中的分配累积能力是制约产量的重要因素^[6]。一般认为小麦籽粒产量大部分来自花后光合产物的积累,因此灌浆期同化物的分配、转运和积累具有重要意义,对此前人已做了大量研究^[7-8]。而小麦籽粒积累的氮素主要来自前期营养器官储存氮素的再分配,再分配氮占籽粒氮素的 53.0%—80.5%。不同水分条件下植株干物质和氮素的积累与转运差异明显,王小燕和于振文研究表明,在氮量为 120 kg hm⁻²条件下,全生育期灌溉底墒水和拔节水,开花前营养器官中积累的氮素向籽粒转移率高,籽粒蛋白质含量最高。许振柱等研究了灌溉量对小麦氮素吸收和运转的影响,表明小麦籽粒氮素的 67.47%—83.37% 来自开花前营养器官的贮存氮,改善土壤水分状况可促进氮素自营养器官向籽粒的转移。这些研究说明土壤水分能影响贮藏物质和氮素的运转以及花后同化物输入籽粒量,导致籽粒蛋白质、淀粉产量和含量的差异^[4,5,9-10]。土壤水分对小麦碳氮积累及生理活性的影响研究较多^[11-14],但灌溉频次对碳氮运转的影响以及小麦产量、蛋白质含量及各类面制品的加工品质目前尚鲜见报道。因此,目前仍难以系统地解释灌浆期内土壤水分对籽粒蛋白质含量和加工品质指标的影响机制。本文选用不同的灌水次数和灌水时期,系统研究不同水分条件下小麦的花前贮藏物质再运转和花后同化物运转规律以及小麦产量、营养品质和加工品质,以揭示不同灌水频次对小麦产量和品质的影响,以期为我国北方地区节水栽培条件下小麦产量提高和品质改善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究试验区概况

试验于 2006—2007 年和 2007—2008 年在中国科学院栾城农业生态系统试验站(37°53'N,114°40'E;海拔 50 m)进行。该站位于华北平原北部太行山山前平原,属暖温带大陆性季风气候。年降水变率大,多年平均降水量 480.7 mm,其中 70% 集中在 7—9 月份的玉米生长季节;与此相应的 10 月份至翌年 6 月份的冬小麦生长季节,其平均降水量仅 129.8 mm,远远满足不了冬小麦耗水的需要。土壤类型为壤质潮褐土,耕层有机质含量为 1.2%。2006—2007 年冬小麦生育期间的降水量为 140.0 mm,2007—2008 年为 276.2 mm,如表 1 所示。

表 1 试验期间的降水量/mm

Table 1 Precipitation during the growing seasons of winter wheat in 2006—2007 and 2007—2008

年份 Year	月份 Month								
	10	11	12	1	2	3	4	5	6
2006—2007	0.6	17.1	3.9	0	1.4	52.1	16.7	48.2	0
2007—2008	1.3	86	2.8	1.4	0	0	40	61.9	82.8

1.2 试验设计与安排

小麦品种选用当地普遍种植的科农 9204。前期大量研究表明,我国北方冬小麦生育期间灌溉量为 120 mm,可获得最佳产量、水分利用效率 and 经济效益^[1,15-16]。因此,本实验灌溉量全部设为 120 mm。共设以下 7 个处理: T1,拔节期灌 120 mm; T2,抽穗期灌 120 mm; T3,灌浆期灌 120 mm; T4,拔节和抽穗期各灌 60 mm; T5,拔节和灌浆期各灌 60 mm; T6,抽穗和灌浆期各灌 60 mm; T7,拔节、抽穗和灌浆期各灌 40 mm。3 次重复。小区面积 16m²,小区间用 1.5m 的隔离带隔开,以防水分侧渗。2006 年和 2007 年的播种日期分别为 10 月 12 日和 10 月 17 日,收获日期分别为 2007 年 6 月 11 日和 2008 年 6 月 12 日。播种时,基施尿素 300 kg·hm⁻²,磷酸二铵 300 kg·hm⁻²,硫酸钾 225.0 kg·hm⁻²;拔节期,追施尿素 300 kg·hm⁻²。2007 年,灌拔节、抽穗和灌浆水

的时间分别为4月7日、5月1日和5月17日;2008年,分别为4月9日、4月29日和5月21日。灌溉时,用水表严格控制灌水量。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 干物质运转相关参数

分别于抽穗开花盛期、成熟期各取15株单茎,样株分离为茎、叶(含叶鞘)、穗轴+颖壳和籽粒,称鲜重,105℃下杀青30 min,80℃烘干至恒重,称干重。参照Papakosta和Gagianas^[17]的计算方法,计算同化物运转与分配的特征参数。

$$DMR = DM - DM^* \quad (1)$$

式中, DMR (dry matter remobilization)为干物质转移量; DM 为抽穗开花后地上部分干物质量; DM^* 为成熟收获期叶、茎鞘、颖壳干物质量。该式未考虑呼吸作用的消耗和根系干物质的转移。

$$DMRE = (DMR/DM) \times 100 \quad (2)$$

式中, $DMRE$ 为干物质的转移效率;

$$CDMRG = (DMR/GY) \times 100 \quad (3)$$

式中, $CDMRG$ 为干物质转移对籽粒的贡献率; GY 为籽粒产量。

1.3.2 土壤水分含量和水分利用效率测定

在冬小麦生育期间,采用CNC503B型智能中子仪每5—7 d测定1次。每10 cm土层为一个层次,测深为1.8 m,降雨和灌溉前后加测1次。0—20 cm土壤水分含量用土钻取土烘干法校正。试验期间没有大的降雨,地表径流可忽略不计。水分利用效率(WUE) = 籽粒产量/耗水量^[1,18]。耗水量由农田水量平衡方程^[16] $ET = P + I + \Delta S$ 求得,式中: ET 为冬小麦生育期间的耗水量(mm), P 为冬小麦生育期间的降水量(mm), I 为灌溉量(mm),由自来水表直接读取, ΔS 为冬小麦收获与播种时的土壤蓄存水变化量(mm)。

1.3.3 品质特性测定

小麦收获后,各处理小麦籽粒风干储存1月后进行品质化验分析。首先用Perten7200近红外分析仪对小麦籽粒的蛋白含量、吸水率、面筋含量、形成时间和稳定时间测定,小麦近红外校准曲线由中国农业部谷物品质监督检验测试中心(泰安)建模,并由本实验室校正,结果由系统软件自动分析。同时进行以下品质特性的国际化学测定:

制粉采用德国Brabender公司生产BUHLER磨,按NY/T1094.4-2006实验制粉;水分的测定:按照GB549—85方法测定;面粉蛋白质含量的测定采用蛋白质指标检测采用半微量凯式定氮法(AACC39—10)测定;湿面筋含量的测定采用湿面筋含量按手洗法(GB/T5506—1985)进行测定;干面筋含量(%)按GB/14607—93小麦粉干面筋测定法;沉降值用中国农业大学生产的BAU-A型沉降值测定仪,依据AACC56—61A法进行测定;降落值(s)用Perten降落值仪,按GB/T10361—1989谷物降落值测定法测定。最后用德国Brabender公司产的粉质仪做粉质图,分析计算面团形成时间、稳定时间、断裂时间、吸水率、软化度和评价值等面团流变学参数。

1.4 数据分析

用SPSS13.0软件进行统计分析数据,用Duncan's s进行处理间差异性检验($P=0.05$),用Sigmaplot绘制图表。两年的试验结果趋势基本一致,故除产量和 WUE 外,其他数据用两年的平均数表示。

2 结果与分析

2.1 灌溉频次和时期对冬小麦开花前后同化物再运转的影响

由于各处理的灌水次数和灌水时期不同,抽穗开花后小麦植株的营养器官(叶、茎鞘、颖壳)贮藏物质会受到不同程度地促控调节,这些贮藏物质的积累和向籽粒的转移对产量形成的影响显得尤为重要。表1表明,灌溉频次和时期调控条件下各处理抽穗开花后地上部干物质(DM)和成熟收获期叶、茎鞘、颖壳等干物质(DM^*)的变化趋势一致,T1、T4、T5和T7显著高于T2、T3和T6,说明拔节期灌溉有利于干物质积累量的

形成。

T4 和 T5 的干物质转移量显著高于其余各处理,而 T4 的干物质转移效率最高,说明干物质由茎叶向籽粒转出时,灌拔节和抽穗水更有利于提高转移效率。在灌一水条件下,T1 和 T2 显著提高干物质转移对籽粒的贡献率,而 T3 则显著降低干物质积累量、干物质对籽粒积累的转移和贡献率,表明在冬小麦整个生育期间只灌灌浆水最不利于干物质的形成和转移。

表 1 灌溉频次和时期对成熟期小麦开花前后同化物运转的影响

Table 1 Effects of irrigation frequency and stages on assimilate transportation at maturity

处理 Treatment	DM/g	DM*/g	DMR/g	DMRE/%	CDMRG/%
T1	1069.79 ^a	807.55 ^a	262.24 ^{ab}	24.51 ^c	59.57 ^a
T2	934.40 ^c	713.02 ^d	221.38 ^c	23.69 ^d	58.20 ^a
T3	658.17 ^g	510.09 ^f	148.08 ^d	22.50 ^e	45.22 ^{de}
T4	1031.98 ^{bc}	756.28 ^b	275.70 ^a	26.72 ^a	55.49 ^b
T5	1042.66 ^b	768.76 ^b	273.90 ^a	23.39 ^d	50.48 ^c
T6	910.69 ^{ef}	687.63 ^e	223.05 ^c	24.49 ^c	47.31 ^d
T7	1004.45 ^d	748.03 ^{bc}	256.42 ^b	25.53 ^b	57.45 ^a

DM 为抽穗开花后地上部分干物质质量;DM* 为成熟收获期叶、茎鞘、颖壳等干物质质量;DMR 为干物质转移量;DMRE 为干物质的转移效率;CDMRG 为干物质转移对籽粒的贡献率;(1)表中数据为 15 株的平均值;(2)a—f 不同字母表示在 5% 水平上差异显著

2.2 灌溉频次和时期对小麦籽粒产量及产量构成因素的影响

表 2 为灌溉频次对冬小麦籽粒产量及产量构成因素的影响。两年中,均以 T4 的穗数最高,显著高于 T1、T2、T3 和 T7。2006—2007 年,T4 的穗粒数最高,但与 T1、T5 和 T7 间没有显著差异;2007—2008 年,T5 穗粒数最高,但和 T1、T2、T4、T6 和 T7 间差异不显著,说明冬小麦生育期间灌拔节或抽穗水有利于提高穗粒数。2006—2007 年,T2 和 T6 的千粒重显著高于其余各处理;2007—2008 年,T2、T3 和 T6 的千粒重显著提高,说明冬小麦生育后期灌溉有利于提高千粒重。综合考虑各灌溉处理的籽粒产量,两年中,以 T4 的籽粒产量最高,说明在灌溉量为 120 mm 的条件下,于拔节和抽穗期灌溉最有利于提高籽粒产量。两年中,和灌两水处理相比,灌一水处理的籽粒产量分别降低 24.0% 和 8.3%。2006—2007 年,T7 与 T5 和 T6 的产量没有显著差异;2007—2008 年,T7 与 T4、T5 和 T6 的产量均没有显著差异。

表 2 灌溉频次和时期对籽粒产量和产量构成因素的影响

Table 2 The average grain yield and yield components of winter wheat under irrigation frequency and stages

处理 Treatment	穗数 Number of spikes /(spikes·m ⁻²)	穗粒数 Kernel numbers/spike	结实率 Grain setting rate /%	千粒重 1000-grain weight /g	籽粒产量 Grain yield /(kg m ⁻²)
2006—2007					
T1	550.25 ^{bc}	30.98 ^{ab}	79.91 ^a	28.94 ^d	440.2 ^{bc}
T2	475.51 ^{cd}	27.80 ^b	73.45 ^c	43.92 ^a	380.4 ^{cd}
T3	409.29 ^d	28.92 ^b	74.17 ^{bc}	37.47 ^c	327.44 ^d
T4	678.29 ^a	34.08 ^a	78.84 ^{ab}	38.20 ^c	542.64 ^a
T5	621.11 ^{ab}	30.76 ^{ab}	78.60 ^{ab}	36.58 ^c	496.88 ^{ab}
T6	589.33 ^{ab}	28.87 ^b	74.51 ^{bc}	45.26 ^a	471.46 ^{ab}
T7	557.92 ^{bc}	32.77 ^{ab}	79.09 ^{ab}	40.21 ^b	446.34 ^{bc}
2007—2008					
T1	559.27 ^{bc}	29.2 ^{ab}	81.80 ^{ab}	40.16 ^c	699.14 ^{bc}
T2	477.93 ^c	31.5 ^a	80.13 ^{bc}	46.13 ^a	691.40 ^c
T3	440.31 ^f	27.2 ^b	77.72 ^c	45.63 ^a	554.33 ^d
T4	658.05 ^a	30.0 ^a	81.65 ^{ab}	39.32 ^c	769.16 ^a
T5	602.42 ^{ab}	31.4 ^a	83.00 ^a	42.40 ^b	757.62 ^a
T6	558.10 ^{bc}	29.0 ^{ab}	78.36 ^c	46.49 ^a	711.99 ^{abc}
T7	547.45 ^{cd}	30.7 ^a	82.01 ^{ab}	42.22 ^b	705.85 ^{abc}

(1)表中数据不同字母表示在一个生长季中;(2)a—d 不同字母表示在 5% 水平上差异显著

2.3 灌溉频次和时期对冬小麦 WUE 的影响

在总灌溉量为 120 mm 的情况下,灌溉频次和时期对冬小麦 WUE 有显著影响。2a 中,T1、T2 和 T3 的平均 WUE 为 $15.95 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$,T4、T5 和 T6 的为 $19.23 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$,而 T7 的则为 $17.80 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 。可见,以冬小麦生育期间灌两水最有利于 WUE 的提高。在灌两水处理中,2006—2007 年 T4 的 WUE 为 $17.62 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$,显著高于 T5 和 T6;2007—2008 年中,以 T5 最高,为 $21.91 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$,但与 T4 和 T6 没有显著差异。综合考虑冬小麦生育期间的产量和 WUE,在总灌溉量为 120 mm 的情况下,以拔节期和抽穗期各灌溉 60 mm 为宜。

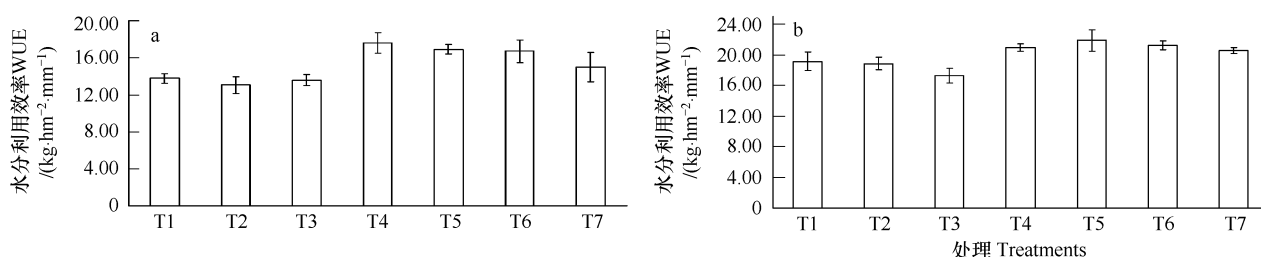


图1 不同灌溉频次和时期下冬小麦水分利用效率

Fig.1 WUE under different irrigation frequency and stages $/(\text{kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1})$

2.4 灌溉频次和时期对成熟期籽粒蛋白质产量和含量的影响

由图 2 可知,灌溉频次显著影响籽粒蛋白质产量,以两次灌水处理最高,其次是 3 次灌水,最低为 1 次灌水。2 次灌水时,籽粒蛋白质产量的顺序为:T4 > T5 > T6;1 次性灌水时,籽粒蛋白质产量的顺序为:T1 > T2 > T3,均表现为随灌溉时期后移而降低。籽粒蛋白质含量在各处理间的顺序为:T2 > T1 > T6 > T5 > T7 > T4 > T3,即在整个生育期只灌溉 1 次的条件下,以灌抽穗水最有利于提高籽粒蛋白质含量;在整个生育期灌溉 2 次的条件下,以灌抽穗和灌浆水最有利于提高籽粒蛋白质含量。

2.5 灌溉频次和时期对面筋特性及沉降值的影响

面筋是冬小麦蛋白质存在的一种特殊形式,面筋含量是小麦面粉品质的重要指标,其含量与小麦面粉的加工品质关系极为密切。沉降值与面筋的数量和质量有关,与小麦的加工品质呈显著正相关。由表 3 可以看出,在总灌溉量为 120 mm 的条件下,不同灌水次数对湿面筋、面筋指数和沉降值的影响不同。灌拔节水和抽穗水有利于提高湿面筋含量和沉降值,而灌灌浆水则相反,灌灌浆水的 T3、T6 和 T7 的沉淀值与湿面筋含量均显著降低。T3 与 T1 相比,湿面筋含量降低 6.92%,湿面筋指数降低 25%,沉降值降低 1 mL;从灌水次数来看,T7 的湿面筋、面筋指数和沉降值等指标均显著降低,说明在冬小麦生育期间总灌溉

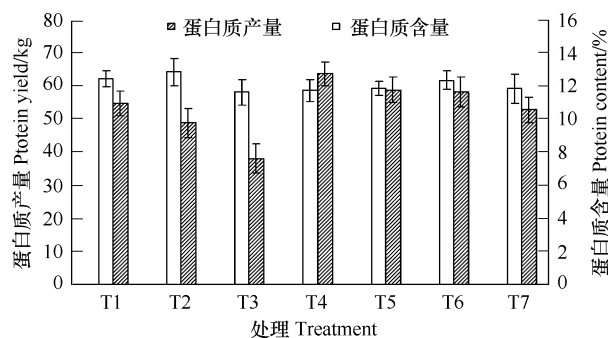


图2 灌溉频次和时期对成熟期籽粒蛋白质产量和含量的影响

Fig.2 Effects of irrigation frequency and stages on yields and contents of protein at maturity

表3 灌溉频次和时期对成熟期小麦面筋特性及沉降值的影响

Table 3 Effects of irrigation frequency and stages on gluten characteristics at maturity

处理 Treatment	湿面筋 WGC/%	面筋指数 GI	沉降值 SDS/mL
T1	39.0 ^b	8.0 ^d	29.2 ^a
T2	40.3 ^a	32.0 ^b	28.2 ^a
T3	36.3 ^d	6.0 ^d	20.8 ^d
T4	40.5 ^a	29.3 ^b	23.2 ^c
T5	39.5 ^{ab}	30.0 ^b	25.7 ^b
T6	36.3 ^d	42.0 ^a	22.5 ^d
T7	37.4 ^c	20.0 ^c	22.7 ^d

SDS: sedimentation volumes, GI: gluten index, SDS: sedimentation volumes; a—e 不同字母表示在 5% 水平上差异显著

量为 120 mm 的条件下,灌溉次数增多不利于品质改善。

2.6 灌溉频次和时期对成熟期小麦粉质特性的影响

如表 4 所示,出粉率在各处理间差异不显著,含水率在各处理间没有一定规律性。灌溉频次对粉质仪参数有显著影响,随灌溉时期后移和灌溉次数增多,吸水率、面团形成时间和稳定时间等粉质仪参数均逐渐减小。因此,冬小麦生育后期灌溉及灌水次数过多对小麦品质不利,会降低小麦的加工品质。

表 4 灌溉频次和时期对成熟期小麦粉质特性的影响

Table 4 Effects of irrigation frequency and stages farinogram parameter on at maturity

处理 Treatment	出粉率 FE /%	粉质仪参数 Farinogram parameter			含水率 WC /%
		吸水率 WA/(ml/100g)	形成时间 DDT/min	稳定时间 DST/min	
T1	69.0a	63.9a	3.7a	2.4a	10.3d
T2	69.0a	63.7 a	3.4 a	2.3a	11.1b
T3	69.6a	62.7 b	2.9b	2.3 a	11.6a
T4	70.2a	62.2bc	2.8bc	1.4b	11.0b
T5	70.1a	62.0 bc	2.8 bc	1.5 b	11.0b
T6	68.8a	61.6 c	2.5c	1.4b	10.7c
T7	70.0a	60.2 d	2.5 c	1.5b	10.8c

FE: flour extraction, WA: water absorption, DDT: dough development time, DST: dough stability time, WC: water content; a—e 不同字母表示在 5% 水平上差异显著

3 讨论

小麦籽粒产量的物质来源有两个,一是开花后的光合产物,二是开花前营养器官中暂贮的物质转移。因为灌水影响到物质生产结构和“源库”平衡状况,所以灌水也影响产量物质来源。在水分亏缺下,小麦体内存在一个对花前临时库同化物的再转运和对产量的有效补偿机制。本研究得出,干物质由茎叶向籽粒转出时,灌拔节和抽穗水更有利于提高转移效率。在灌一水条件下,冬小麦整个生育期间只灌灌浆水最不利于干物质的形成和转移。

土壤水分对小麦籽粒贮藏物质含量和运转的调控势必影响到最终的籽粒产量。王晨阳^[19]的试验结果表明,花后适量灌水有利于提高小麦籽粒产量,在花后灌一水条件下,小麦籽粒产量随灌水时间的后移而明显下降。本试验结果表明,在冬小麦生育期间总灌溉量为 120 mm 的条件下,于拔节或抽穗期灌溉,会显著提高穗数和穗粒数;于灌浆期灌溉,显著提高千粒重。冬小麦籽粒产量主要来自抽穗后绿色器官制造的光合产物,约占 70%—80%,其中穗部和旗叶约占 60% 以上,于抽穗或灌浆期灌溉,可为花后提供充足的土壤水分,防止因植株早衰、光合能力下降和灌浆期缩短而造成产量降低^[18,20-21]。

小麦品质可分为加工品质和营养品质。水是小麦籽粒品质的主要影响因素,这方面的研究较多,但大多限于不同灌溉量对品质的影响。徐阳春等报道^[22],适当减少灌溉量对提高蛋白质含量和增加面包体积有利,但对沉降值和湿面筋含量的影响却不尽相同,而稳定时间则有随浇水次数增多的趋势。Singh 和 Shephend 报道^[23],籽粒蛋白质含量和沉降值均随灌溉量增加而减少。本试验在总灌溉量一定的条件下,研究了灌溉频次对品质的影响,结果表明,冬小麦生育期间于拔节、抽穗或灌浆中的任何两个时期灌溉,其蛋白质产量均显著高于灌一水处理或灌三水处理,但在灌二水处理中,蛋白质产量有随灌溉时期后移而降低的趋势。这和王晨阳等^[19]的研究结果不同:在花前灌溉 135 mm 条件下,花后灌一水(40—90 mm)未引起籽粒蛋白质性状的明显变化。结果差异的原因可能与花前和花后的总灌溉量有关,也可能与品种有关。兰涛等^[24]的研究结果表明不同小麦品种品质与水分的关系差异很大。随冬小麦生育期间灌溉次数增多或灌溉时期后移,湿面筋含量、面团形成时间、面团稳定时间等均显著降低。许振柱等研究表明^[25],和品质密切相关的许多酶的活性均在灌浆之前逐渐升高,在这期间保持适宜的土壤水分含量可使这些酶保持较高的活性,从而使品质得以改善。但是,尚缺乏灌溉频次和灌溉时期对硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶、内肽酶、羧肽酶、氨肽酶和可溶性淀粉合成

酶等和品质密切相关的酶活性方面的研究,这是今后农业水资源精准管理和可持续利用领域研究的重要内容。

References:

- [1] Li Q Q, Chen Y H, Liu M Y, Zhou X B, Dong B D, Yu S L. Effect of irrigation to winter wheat on the soil moisture, evapotranspiration, and water use efficiency of summer maize in North China. *Transactions of the ASABE*, 2007, 50(6): 2071-2080.
- [2] Jiang D Y, Yu Z W. Effects of soil water on yield and grain quality of wheat. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2007, 21(6): 641-645.
- [3] Li L Y, Du J Z, Jiang W, Lin Q, Liu Y G. Effects of different soil water content on baking quality of strong gluten and weak gluten wheat. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(3): 198-203.
- [4] Wang Y H, Yao Y Q, Lu J J, Li J H, Zhang J, Wang C H, Ding Z Q. Effect of irrigation frequency on yield & quality of high-gluten wheat. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(6): 25-28.
- [5] Wang H B, Li Q L, Zhou X L, Gan P Y. Effects of lysine compound salt on the properties of wheat flour and its products. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(3): 228-235.
- [6] Evans L T, Ward I F, Fischer R A. *Wheat*//Evans L T ed. *Crop Physiology*, London, New York: Cambridge Univ Press, 1975, 101-149.
- [7] Jenner C F, Ugalde T D. Starch and protein deposition in the endosperm as determinant of yield and quality of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1991, 18: 211-226.
- [8] Wardlaw I F, Moncur L, Patrick J W. The response wheat to high temperature following anthesis II. sucrose accumulation and metabolism by isolated kernels. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995, 22: 399-407.
- [9] Wang X Y, Yu Z W. Effect of Irrigation Rate on Absorption and Translocation of Nitrogen Under Different Nitrogen Fertilizer Rate in Wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3015-3024.
- [10] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L. Effects of Irrigation Amount on Absorbability and Translocation of Nitrogen in Winter Wheat. *Acta Agron Sinica*, 2004, 30(4): 1002-1007.
- [11] Xie Z J, Jiang D, Cao W X, Dai T B, Jing Q. Effects of plant growth regulation substances on photosynthetic characteristics and assimilates transportation in winter wheat under post-anthesis drought and waterlogging. *Acta Agron Sinica*, 2004, 30(10): 1047-1052.
- [12] Ma X M, Li L, Liao X Z. Effect of different water control on kernel quality and photosynthetic characteristics of flag leaves in winter wheat. *J Henan Agric Univ*, 2004, 38(1): 13-16.
- [13] Przulj N, Momcilovic V. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley I. Dry matter translocation. *European Journal of Agronomy*, 2001, 15(4): 241-254.
- [14] Han H F, Yang W Y. Influence of uniconazole and plant density in South China on nitrogen content and grain quality in winter wheat. *Plant Soil and Environment*, 2009, 55(4): 159-166.
- [15] Li Q Q, Chen Y H, Liu M Y, Zhou X B, Yu S L, Dong B D. Effect of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 469-476.
- [16] Li Q, Liu M, Zhang J, Dong B, Bai Q. Biomass accumulation and radiation use efficiency of winter wheat under deficit regimes. *Plant Soil and Environment*, 2009, 55(2): 85-91.
- [17] Papakosta D K, Gagianas A A. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 1999, 83: 864-870.
- [18] Peng Y, Guo T C, Wang C Y. Effect of water control after anthesis on yield properties and photosynthetic characteristics of winter wheat. *J Triticeae Crops*, 2001, 21(4): 83-86.
- [19] Wang C Y, Guo T C, Peng Y, Zhu Y J, Ma D Y, Zhang C J. Effects of Post-Anthesis Irrigation on Grain Quality Indices and Yield in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agron Sinica*, 2004, 30(10): 1031-1035.
- [20] Fang Q X, Chen Y H, Li Q Q, Yu S Z, Yu S L, Dong Q Y, Luo Y, Yu Q. Effects of Irrigation on Photosynthate Supply and Conversion and Related Enzymes Activity during Grain Filling Period. *Acta Agron Sinica*, 2004, 30(11): 1113-1118.
- [21] Han H F, Li Z J, Ning T Y, Zhang X, Shan Y, Bai M. Radiation use efficiency and yield of winter wheat under deficit irrigation in North China. *Plant Soil and Environment*, 2008, 54(7): 313-319.
- [22] Xu Y C, Jiang T H, Zhang C L, Wang Y B, Chai D T. Responses of grain yield and protein content of bread-making wheat cultivars to nitrogen application rate. *Acta Agron Sinica*, 1998, 24(6): 731-737.
- [23] Singh N K, Shephend K W. Linkage mapping of genes controlling endosperm storage proteins in wheat. *Theor Appl Genet*, 1988, 75: 628-665.
- [24] Lan T, Jiang D, Xie Z J, Dai T B, Jing Q, Cao W X. Effects of Post-Anthesis Drought and Waterlogging on Grain Quality Traits in Different

Specialty Wheat Varieties. J Soil Water Conserv, 2004,18(1):194-196.

- [25] Xu Z Z, Yu Z W, Zhang Y L. The effects of soil moisture on grain starch synthesis and accumulation of winter wheat. Acta Agron Sinica, 2003, 29(4): 595-600.

参考文献:

- [2] 姜东燕,于振文. 土壤水分对小麦产量和品质的影响. 核农学报,2007,21(6):641-645.
- [3] 李玲燕,杜金哲,姜雯,林琪,刘义国. 不同土壤水分对强、弱筋小麦烘烤品质的影响. 华北农学报,2008,23(3):198-203.
- [4] 王育红,姚宇卿,吕军杰,李俊红,张洁,王聪慧,丁志强. 水分调控对强筋小麦产量和品质影响. 干旱地区农业研究,2006,24(6):25-28.
- [9] 王小燕,于振文. 不同施氮量条件下灌溉量对小麦氮素吸收转运和分配的影响. 中国农业科学,2008,41(10):3015-3024.
- [10] 许振柱,于振文,王东,张永丽. 灌溉量对小麦氮素吸收和运转的影响. 作物学报,2004,30(4):1002-1007.
- [11] 谢祝捷,姜东,曹卫星,戴廷波,荆奇. 花后干旱和渍水条件下生长调节物质对冬小麦光合特性和物质运转的影响. 作物学报,2004,30(10):1047-1052.
- [12] 马新明,李琳,廖祥正. 不同水分处理对小麦生育后期光合特性及子粒品质的影响. 河南农业大学学报,2004,38(1):13-16.
- [18] 彭羽,郭天财,王晨阳. 冬小麦开花后水分调控对光合特性及产量性状的影响. 麦类作物学报,2001,21(4):83-86.
- [19] 王晨阳,郭天财,彭羽,朱云集,马冬云,张灿军. 花后灌水对小麦籽粒品质性状及产量的影响. 作物学报,2004,30(10):1031-1035.
- [20] 房全孝,陈雨海,李全起,于舜章,余松烈,董庆裕,罗毅,于强,欧阳竹. 灌溉对冬小麦灌浆期光合产物供应及有关酶活性的影响. 作物学报,2004,30(11):1113-1118.
- [22] 徐阳春,蒋廷惠,张春兰,王义炳,蔡大同. 不同面包小麦品种的产量及蛋白质含量对氮肥用量的反应. 作物学报,1998,24(6):731-737.
- [24] 兰涛,姜东,谢祝捷,戴廷波,荆奇,曹卫星. 花后土壤干旱和渍水对不同专用小麦籽粒品质的影响. 水土保持学报,2004,18(1):194-196.
- [25] 许振柱,于振文,张永丽. 土壤水分对小麦籽粒淀粉合成和积累特性的影响. 作物学报,2003,29(4):595-600.