

不同滴灌量对冬小麦水分利用及品质的影响

位国峰,林 琪,商 健,刘义国

(青岛农业大学 农学与植物保护学院,山东省旱作农业技术重点实验室,旱作节水创新团队,山东 青岛 266109)

摘要:为了探明滴灌量对冬小麦水分利用效率和籽粒品质影响,在大田条件下,以青麦7号为材料,设置了7个不同灌溉量处理,即全生育期无灌水(CK1)、漫灌(CK2)、滴1水(W1)、滴2水(W2)、滴3水(W3)、滴4水(W4)和滴5水(W5),研究了不同滴灌量对冬小麦的水分利用效率和品质的影响。结果表明:与CK1相比,滴灌处理W3和W4显著改善了冬小麦品质,提高了小麦容重、出粉率、面筋值和沉降值等,处理W3和W4的稳定时间、峰值黏度和低谷黏度、糊化温度、拉伸面积也高于其他处理,提高了小麦的筋力和烘焙品质;同时,随着滴灌量的增加,滴灌处理的产量和水分利用效率先升高后降低,W3和W4表现出最大值。在本试验条件下,综合冬小麦水分利用效率及品质表现,以灌溉节水、开花水和灌浆水的W3处理(90 mm)为最优滴灌量。

关键词:冬小麦;滴灌;品质;产量;水分利用效率

中图分类号:S275.6;S512.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)04-0200-06

doi:10.7668/hbxb.2015.04.034

Effects of Different Drip Irrigation Amount on Water Use Efficiency and Quality of Winter Wheat

WEI Guo-feng, LIN Qi, SHANG Jian, LIU Yi-guo

(College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Dry Land Water-saving Farming Innovation Team, Shandong Key Laboratory of Dry Farming Technology, Qingdao 266109, China)

Abstract: In order to study the effects of different drip irrigation amount on the water use efficiency and quality of winter wheat, a field experiments was conducted with the cultivar of Qingmai 7 in the field. According to different drip irrigation amount and irrigation stage, we set seven treatments in the experiment, which were in turn: no irrigation (CK1), drip irrigation at jointing stage (W1), drip irrigation at jointing stage and filling stage (W2), drip irrigation at jointing stage, anthesis stage and filling stage (W3), drip irrigation at raising stage, jointing stage, anthesis stage and filling stage (W4), drip irrigation at raising stage, jointing stage, anthesis stage, filling stage and medium-filling stage (W5), and traditional flooding irrigation (CK2) at over winter stage, raising stage, jointing stage and filling stage, respectively. And each time the drip irrigation amount was 30 mm and the flooding irrigation amount was 60 mm. The results indicated that, the treatments W3 and W4 were significantly improved the quality of winter wheat compared to CK1. Drip irrigation treatments W3 and W4 improve grain bulk weight, flour milling rate, gluten content, SDS sedimentation and so on. The time of stability, viscosity, pasting temperature, extension area of W3 and W4 were higher than other treatments, increased the wheat gluten strength and baking quality. Drip irrigation could also improve yield and economic benefit. With the increase of drip irrigation, the yield and WUE of winter wheat firstly increased and then decreased, and W3 and W4 displayed maximum. Under the present experimental conditions, drip irrigation at jointing stage, anthesis stage and filling stage (W3) optimum processing quality indicators, showed good quality milling and baking quality, ensured production while improving water use efficiency.

Key words: Winter wheat; Drip irrigation; Quality; Yield; Water use efficiency

收稿日期:2015-05-12

基金项目:国家粮食丰产科技工程项目(2011BAD16B09-03;2013BAD07B06-3);山东省农业重大应用技术创新课题

作者简介:位国峰(1987-),男,山东滨州人,硕士,主要从事小麦旱作高产生理方面的研究。

通讯作者:刘义国(1979-),男,山东临朐人,讲师,博士,主要从事小麦栽培理论与技术研究。

小麦是我国主要粮食作物之一,随着我国经济的发展及人民对于粮食安全、食品品质等方面的重视,小麦生产原则逐渐由高产、稳产向高产、稳产、优质转变^[1]。小麦产量的高低、品质的优劣受其基因型和生长环境共同作用的影响,在一定的生态条件下,水资源状况及灌溉技术成为影响小麦产量和品质的主要因素^[2-4]。因此,如何提高小麦水分生产效率,确保小麦优质高产成为当前研究难题。

近年来,已有相关灌水量和灌水时期对小麦产量和籽粒品质影响的研究,许振柱等^[5]利用防雨池栽方法研究发现,适宜的灌水量有利于籽粒积累贮藏蛋白质,从而改善品质;水分严重亏缺会降低籽粒容重、面筋含量,影响面粉品质。赵广才等^[1]研究表明:在小麦生育期平均降雨量低于常年的情况下,籽粒蛋白质含量差异显著,随着灌水量增加,平均蛋白质含量有降低的趋势。申孝军等^[6]通过人工控水研究不同灌水下限对小麦产量和品质的影响表明,拔节-抽穗前期水分胁迫对冬小麦生长影响最为显著,显著降低籽粒出粉率及蛋白质质量分数,缩短面团形成时间及稳定时间;灌浆成熟期水分胁迫对冬小麦生长影响最小。毛凤梧等^[7]研究表明,水肥运筹对小麦品质形成具有明显的调控效应,相同的施肥条件下,灌浆水有利于叶绿素含量和NR活性的提高,提高籽粒的容重、出粉率,增加面粉的沉降值、稳定时间,改善小麦品质。

前人研究侧重于常规灌溉方式下灌水量和灌水时期对冬小麦产量和品质的影响,针对滴灌条件下滴灌量对小麦加工品质影响的研究较少,而灌溉量显著影响了小麦籽粒品质,本试验在前人的研究基础上,分析不同滴灌量对冬小麦水分利用效率、产量和品质的影响,对于小麦滴灌的利用具有一定意义。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2012年10月-2013年6月在青岛农业大学胶州试验基地进行。试验地点北纬36°16',东经120°04'。试验区前茬为玉米,土壤为砂姜黑土,0~20 cm土壤含有机质14.7 g/kg、碱解氮103.1 mg/kg、速效磷24.57 mg/kg、速效钾126.8 mg/kg,pH值6.8。供试冬小麦品种青麦7号(小麦生育期降雨量为261.06 mm)。冬小麦生长期降雨分布见图1。

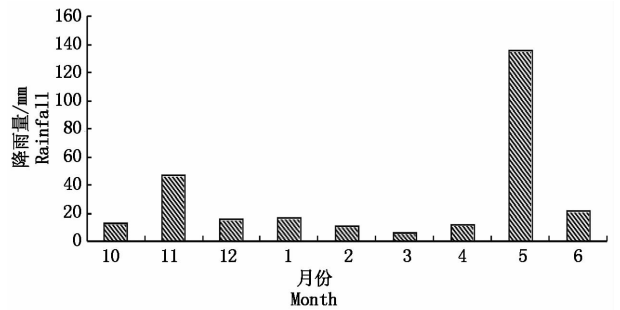


图1 2012-2013年冬小麦生长期降雨分布
Fig.1 Rainfall distribution during winter wheat growth season from 2012 to 2013

1.2 试验设计

试验采取随机区组设计,每个处理3次重复,滴灌毛管采用1管5行的铺设模式,小麦行距15 cm,每个小区面积为75 m²(5 m×15 m)。灌水定额0 mm(CK1)、30 mm(W1)、60 mm(W2)、90 mm(W3)、120 mm(W4)、150 mm(W5)和常规灌溉240 mm(CK2)。滴灌管为内镶式滴灌带(北京水润佳禾灌溉技术有限公司)管道直径16 mm,额定流量2.7 L/h,滴头间距30 cm,灌水量由水表控制。冬小麦2012年10月15日播,播种量187.5 kg/hm²,播前每个小区按纯氮108 kg/hm²,纯磷108 kg/hm²,纯钾48 kg/hm²(通过复合肥转化)施肥,无后期追肥,管理措施同大田。根据滴灌量和滴灌时期的不同,试验共设7个处理,如表1所示。

表1 不同滴灌处理方案
Tab.1 Treatments of different drip irrigation

| 处理 Treatment | 各生育期滴灌量 Drip irrigation at different growth periods | | | | | | 滴灌总量 Total drip irrigation |
|-----------------|--|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 越冬水 Over winter stage irrigation | 起身水 Raising stage irrigation | 拔节水 Jointing stage irrigation | 开花水 Anthesis stage irrigation | 灌浆水 Grain filling stage irrigation | 乳熟期 Milky stage irrigation | |
| CK1 | — | — | — | — | — | — | 0 |
| CK2 | 60 | 60 | 60 | — | 60 | — | 240 |
| W1 | — | — | 30 | — | — | — | 30 |
| W2 | — | — | 30 | — | 30 | — | 60 |
| W3 | — | — | 30 | 30 | 30 | — | 90 |
| W4 | — | 30 | 30 | 30 | 30 | — | 120 |
| W5 | — | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 150 |

1.3 测定方法和内容

1.3.1 小麦品质指标 籽粒容重、小麦出粉率、湿面筋含量、SDS-沉降值、粘度仪指标、吹泡稠度仪指标、拉伸仪指标的测定参照赵海波等^[8]的方法。

1.3.2 根据土壤含水量计算农田耗水量 $ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i_1} - \theta_{i_2}) + I + P + K$, 式中, ET_{1-2} 为阶段耗水量 (mm); i 为土层编号; n 为总土层数, γ_i 为第 i 层土壤干容重 (g/cm^3); H_i 为第 i 层土壤厚度 (cm); θ_{i_1} 和 θ_{i_2} 分别为第 i 层土壤时段初和时段末的含水率, 以占干土质量的百分数计; I 为时段内的灌水量 (mm); P 为有效降水量 (mm); K 为时段内的地下水补给量 (mm), 当地下水埋深大于 2.5 m 时, K 值可以忽略不计。

1.3.3 水分利用效率 作物水分利用效率 (WUE) 根据下式计算: $WUE = Y / ET$ 式中: WUE 为水分利用效率 ($\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$); Y 为作物的经济产量 (kg/hm^2); ET 为小麦全生育期的总耗水量 (mm)。

表 2 不同滴灌量对小麦磨粉品质及产量的影响

Tab.2 Effects of different drip irrigation systems on milling quality and yield of wheat

| 处理 Treatment | 容重/(g/L) Grain bulk weight | 出粉率/% Flour milling rate | 面粉产量/(kg/hm ²) Yield of flour | 籽粒产量/(kg/hm ²) Grain yield |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|--|---|
| CK1 | 732d | 64.82e | 3 469.21f | 5 352.59f |
| CK2 | 778b | 67.96bc | 4 966.81c | 7 309.32c |
| W1 | 737d | 65.83e | 3 952.51e | 6 003.90e |
| W2 | 742cd | 66.87d | 4 396.68d | 6 574.41d |
| W3 | 758c | 67.54cd | 5 502.16ab | 7 991.86ab |
| W4 | 789a | 68.84ab | 5 595.89a | 8 285.84a |
| W5 | 777b | 69.02a | 5 318.74b | 7 705.82bc |

注:不同小写字母表示同列不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。表 3 ~ 7 同。
Note: Different lowercase letters indicate the same column significant different between treatments ($P < 0.05$). The same as Tab. 3 - 7.

2.2 不同滴灌量对冬小麦面筋含量及沉降值的影响

由表 3 可以看出,各灌水处理干、湿面筋含量及沉降值均显著高于 CK1。干、湿面筋含量和沉降值均随着滴灌量的增加先增加后降低,但 W3 处理和 W4 处理差异不显著。W4 处理的干、湿面筋含量表

表 3 不同滴灌量对面筋含量及沉降值的影响

Tab.3 Effects of different drip irrigation systems on gluten content and SDS sedimentation of wheat

| 处理 Treatment | 湿面筋/% Wet gluten | 干面筋/% Dry gluten | 沉降值/mL SDS-sedimentation |
|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| CK1 | 30.52d | 9.85f | 27.67e |
| CK2 | 35.38b | 12.74bc | 31.55b |
| W1 | 32.69c | 11.58de | 29.13d |
| W2 | 33.54c | 11.34e | 29.82cd |
| W3 | 36.93ab | 13.55ab | 32.54a |
| W4 | 37.41a | 13.79a | 32.29ab |
| W5 | 35.67b | 12.53cd | 30.52c |

1.3.4 产量测定 小麦成熟后,按公顷有效穗数、穗粒数、千粒质量测定理论产量。

1.4 数据处理与分析

试验数据用 SPSS 数据分析软件进行统计分析并进行新复极差多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同滴灌量对小麦磨粉品质及产量的影响

表 2 可以看出,灌水处理面粉产量与籽粒产量均比 CK1 显著提高,处理 CK2、W3、W4、W5 的容重及出粉率均显著高于 CK1。各滴灌处理中,小麦容重、面粉产量和籽粒产量随着滴灌量的增加先增加后降低,小麦出粉率则随着滴灌量的增加而增加。W4 处理的容重 (789 g/L)、面粉产量 (5 595.89 kg/hm²) 和籽粒产量 (8 285.84 kg/hm²) 均表现出最大值,其中容重显著高于其他处理;W5 处理的出粉率表现出最大值,但与 W4 处理差异不显著。

现出最大值,比 CK1 和 CK2 的干、湿面筋含量增加 6.89%、3.94%、2.03% 和 3.94%;W3 处理的沉降值表现出最大值,比 CK1 和 CK2 分别增加 4.62% 和 0.74%。说明滴灌处理 W3 和 W4 显著提高了冬小麦的干、湿面筋含量和沉降值,面粉表现出较好的烘培品质。

2.3 不同滴灌量对冬小麦面粉稠度仪指标的影响

由表 4 看出,W4 处理的吸水率 HYDHA (折算到最大压力值 Prmax 2 200 mb,15% 水分基础上的加水量)显著高于其他处理,但与 W2、W3 差异不显著;W3 的能力 WAC (1 700 mb,15% 水分基础的加水量)显著高于其他处理,即 W4 处理显著提高了在最大压力值 2 200 mb,15% 水分基础上的加水量,W3 处理显著提高了在压力值 1 700 mb,15% 水分基础上的加水量,这表明滴灌处理 W3 和 W4 明显提高了小麦的吸水率,在小麦制作中表现出更好的

加工面包的品质。W5 的最大压力值表现出最大值,显著高于其他处理;最大压力时间也显著高于其他处理,但与 W4 差异不显著,CK1 表现出最小值,说明 W5 处理面团形成的时间最长,而 CK1 处理面团形成时间最短,这表明,CK1 处理面筋量少,品质最差,而滴灌处理则显著提高了小麦的面筋量,改善了小麦品质。W3 和 W4 处理的稳定时间表现出最大值,显著高于其他处理,说明滴灌处理 W3 和 W4

增加了面团稳定时间,表明其面粉筋性好。处理 CK1 在 250,450 s 的跌落值 D_{250} 和 D_{450} 表现出最大值,表明其面粉的筋力最弱,而随着滴灌量的增加,滴灌处理的跌落值 D_{250} 和 D_{450} 均呈先降低后升高趋势,说明随着滴灌量的增加,改善了小麦面粉的面包加工品质,延长面团形成时间和稳定时间,提高面团筋力。

表 4 不同滴灌量对冬小麦面粉稠度指标的影响

| Tab.4 Effects of different drip irrigation systems on consistograph indices of flour | | | | | | | |
|--|----------------|--------------|-------------------|--------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 处理 Treatment | 吸水率/% HYDHA | 吸水率/% WAC | 最大压力值/mb Prmax | 最大压力时间/s Tprmax | 稳定时间/s Tol | 跌落值/mb D_{250} | 跌落值/mb D_{450} |
| CK1 | 58.8bc | 60.0d | 1 786e | 88d | 156c | 637a | 1 032a |
| CK2 | 59.6bc | 62.7b | 2 164c | 123b | 162c | 594b | 985b |
| W1 | 57.9c | 62.1bc | 1 715e | 107c | 138d | 554c | 950c |
| W2 | 60.4ab | 62.6b | 1 966d | 104c | 160c | 531cd | 943c |
| W3 | 60.3ab | 64.6a | 2 311b | 111c | 227a | 516d | 855e |
| W4 | 61.6a | 61.7bcd | 2 307bc | 131ab | 234a | 502d | 813f |
| W5 | 59.3bc | 60.6cd | 2 564a | 136a | 185b | 564bc | 925d |

注:HYDHA. 吸水率;WAC. 吸水能力;Prmax. 最大压力值;Tprmax. 最大压力时间;Tol. 稳定时间;D. 跌落值;mb. 毫巴。
Note:HYDHA. Hydrosopic rate;WAC. Water absorbing capacity;Prmax. Maximum pressure;Tprmax. Time of maximum pressure;Tol. Time of stability;D. Drop value;mb. Millibar.

2.4 不同滴灌量对冬小麦面粉粘度仪指标的影响

由表 5 可以看出,各处理中,CK1 处理除衰减值外,其他各指标均表现出最小值;且随着滴灌量的增加,面粉粘度仪各指标先增加后降低(衰减值除外),至 W3 和 W4 处理达到最大值,W3 和 W4 处理

差异不显著;滴灌处理衰减值随着滴灌量的增加呈降低趋势,W5 处理表现出最小值,说明滴灌处理 W3 和 W4 明显提高了小麦面粉的峰值粘度、低谷粘度、糊化温度和峰值时间,提高了小麦品质。

表 5 不同滴灌量对面粉粘度仪指标的影响

| Tab.5 Effects of different drip irrigation systems on RVA indices of flour of wheat | | | | | | | |
|---|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 处理 Treatment | 峰值粘度/cp Peak viscosity | 低谷粘度/cp Though viscosity | 衰减值/cp Break down | 最终粘度/cp Final viscosity | 反弹值/cp Setback | 糊化温度/℃ Pasting temperature | 峰值时间 /min Peak time |
| CK1 | 2 194e | 1 360e | 834ab | 2 376e | 1 016c | 76.00f | 6.07c |
| CK2 | 2 592bc | 1 831bc | 761bc | 2 873c | 1 042c | 81.01c | 6.20bc |
| W1 | 2 364de | 1 491de | 873a | 2 577d | 1 085bc | 78.61e | 6.28b |
| W2 | 2 312de | 1 513d | 799ab | 2 674d | 1 161abc | 79.72d | 6.20bc |
| W3 | 2 681ab | 1 906ab | 775b | 3 126ab | 1 220ab | 83.09a | 6.47a |
| W4 | 2 784a | 2 014a | 770bc | 3 273a | 1 259a | 82.08ab | 6.46a |
| W5 | 2 432cd | 1 743c | 689c | 2 984bc | 1 241ab | 81.52bc | 6.32ab |

表 6 不同滴灌量对面粉拉伸仪指标的影响

| Tab.6 Effects of different drip irrigation systems on extensograph indices of flour | | | | | | |
|---|--|---------------------|--|--|-------------------------|-------------------------|
| 处理 Treatment | 拉伸面积/cm ² Extension area | 延伸度/mm Extension | 拉伸阻力 50/EU Extension resistance 50 | 最大拉伸阻力/EU Max extension resistance | 拉伸比 50 Draw ratio 50 | 最大拉伸比 Max draw ratio |
| CK1 | 47e | 95.3d | 417.0c | 437.3b | 3.35b | 3.50b |
| CK2 | 59bcd | 128.7a | 459.3abc | 484.7ab | 4.09b | 4.29b |
| W1 | 52de | 99.7d | 420.7bc | 445.7b | 3.37b | 3.57b |
| W2 | 57cd | 118.0abc | 422.0bc | 446.0b | 3.46b | 3.66b |
| W3 | 67ab | 127.7ab | 489.3ab | 502.3ab | 5.18a | 5.31a |
| W4 | 71a | 114.3bc | 508.7a | 521.0a | 5.11a | 5.24a |
| W5 | 65abc | 113.7c | 478.3abc | 497.3ab | 4.09b | 4.26b |

2.5 不同滴灌量对小麦面粉拉伸仪指标的影响

表 6 可以看出, W4 处理的小麦面粉的拉伸面积、拉伸阻力均表现为最大值; CK2 处理(常规灌溉)的延伸度表现为最大值; CK1 处理(不灌水)各项指标均表现为最小值; W3 和 W4 处理表现出较高的拉伸面积和拉伸阻力, 表明面粉的筋性强; W3 和 W4 处理拉伸比 50 和最大拉伸比表现为最大值, 显著高于其他处理, 而其他处理之间差异不显著。

2.6 不同滴灌量对冬小麦水分利用效率的影响

由表 7 可以看出,各处理中的耗水量随着灌溉量的增加而增加,其中,CK2 处理耗水量最大(524.54 mm),CK1 处理耗水量最小(332.27 mm),滴灌处理

表 7 不同滴灌量对冬小麦水分利用效率的影响

Tab.7 Effects of different drip irrigation systems on water use efficiency

| 处理 Treatment | 降雨量/mm Rainfall | 灌水量/mm Irrigation | 耗水量/mm Water consumption | 籽粒产量 /(kg/hm ²) Grain yield | 水分利用效率 /(kg/(mm·hm ²)) WUE |
|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|---|--|
| CK1 | 277.6 | 0 | 332.27f | 5 352.59f | 16.11b |
| CK2 | 277.6 | 240 | 524.54a | 7 309.32c | 13.93d |
| W1 | 277.6 | 30 | 396.5e | 6 003.90e | 15.14c |
| W2 | 277.6 | 60 | 417.27d | 6 574.41d | 15.76bc |
| W3 | 277.6 | 80 | 425.51d | 7 991.86ab | 18.78a |
| W4 | 277.6 | 120 | 451.79c | 8 285.84a | 18.34a |
| W5 | 277.6 | 150 | 493.94b | 7 705.82bc | 15.60bc |

3 讨论

灌水量和灌水时期对小麦籽粒产量和品质的影响已有相关报道^[4-5,9-11]。本研究表明:适宜的滴灌量可以显著提高小麦的品质,在一定范围内,随着滴灌量的增加,小麦的品质显著改善。W3 和 W4 处理小麦容重和出粉率高,显著提高了小麦的面筋含量和沉降值,这 and 前人研究结果相同^[5];同时,滴灌处理 W3 和 W4 小麦籽粒的稠度仪、粘度仪和拉伸仪指标均表现出较高值,比如小麦面粉稳定时间、糊化温度、峰值时间、拉伸面积和延伸度等,高于 CK1、CK2 和其他滴灌处理,说明滴灌 3 次(90 mm)或者 4 次(120 mm)条件下,增加了小麦面粉的筋力,提高了小麦的蛋白品质,表现出较好的面包制作特性。W5 处理在小麦乳熟期增加一个滴灌,但小麦籽粒的容重、面筋含量、沉降值等显著降低,吸水率、面团稳定时间、筋力、面粉糊化指标、拉伸指标均低于 W3 和 W4,说明在小麦生育后期增加一次滴灌会降低小麦的面粉品质,这和李光忠等^[9]的研究结果相同。

小麦产量和水分利用效率受灌水次数及灌水量的影响,而且与生育期降雨量有很大关系,不同降雨量条件下研究结果不同。已有研究表明^[10,12-16],在

间小麦生育期内总耗水量表现为: $W_5 > W_4 > W_3 > W_2 > W_1$, W_2 和 W_3 耗水量差异不显著, 其他处理间显著差异。

各滴灌处理的水分利用效率均显著高于 CK2 漫灌处理 ($13.93 \text{ kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$); 滴灌处理的 WUE 随着滴灌次数的增加先上升后下降, 其中 W3 处理的水分利用效率最高, 达到 $18.78 \text{ kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$, 显著高于其他处理, 但是和 W4 处理差异不显著, 而 W5 处理的水分利用效率明显低于其他滴灌处理, 说明在小麦乳熟期增加一次滴灌, 增加小麦耗水量使作物的水分利用效率下降, 无益于小麦的高产, 且造成了水资源的浪费。

干旱年份,灌溉 3 水对实现小麦高产是必要的,灌溉 4 水产量表现最高,但是与灌溉 3 水差异不大,因此以灌 3 水为宜,根据实际降雨情况灌水;灌水量也不能无限增大,灌水量到达一定程度以后,产量下降或者保持平稳,同时,随着滴灌次数的增加,耗水量相应增加,WUE 先升高后降低。本试验研究同时表明,在降雨量 261.06 mm 条件下,W4 处理的产量为 8 285.84 kg/hm²,表现出最大值,显著高于 CK1 和 CK2 处理,但是与 W3 处理差异不显著;CK2(常规灌溉)的耗水量表现出最大值,CK1 由于全生育期无灌溉则表现出最小值,各滴灌处理耗水量随着滴灌量的增加而增加,W3 和 W4 处理的 WUE 表现出最大值,显著高于其他处理;CK1(无灌溉)处理由于全生育期无灌溉,WUE 达到 16.11 kg/(mm·hm²),高于处理 CK2、W1、W2 和 W5;W5 处理虽然在小麦乳熟期增加了一次滴灌,但是造成了产量下降,可能是由于产生了晚熟现象,同时还造成了小麦后期水分的无效蒸发,出现“奢侈蒸腾”现象。

从旱作节水农业的角度考虑,小麦生产在考虑小麦品质和产量条件下,还需考虑小麦的水分利用效率。因此,在本试验条件下,综合分析滴灌量对籽粒加工品质、籽粒产量和水分利用效率的影响,华北平原半湿润易旱区滴灌 90 mm,即在拔节期、开花期

和灌浆期3个时期滴灌,每次滴灌30 mm 是最佳的滴灌量设置方式。本研究是滴灌处理在平水年份条件下的结果,而在干旱年及丰水年条件下仍需进一步研究。

参考文献：

[1] 赵广才,万富世,常旭虹,等. 灌水对强筋小麦籽粒产量和蛋白质含量及其稳定性的影响[J]. 作物学报, 2008,34(7):1247-1252.

[2] Farrer D C, Weisz R, Heiniger R, *et al.* Minimizing protein variability in soft red winter wheat: Impact of Nitrogen application timing and rate[J]. Agronomy Journal, 2006, 98(4):1137-1145.

[3] 赵广才,何中虎,刘利华,等. 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.

[4] 王晨阳,郭天财,彭羽,等. 花后灌水对小麦籽粒品质性状及产量的影响[J]. 作物学报, 2004,30(10):1031-1035.

[5] 许振柱,于振文,王东,等. 灌溉条件对小麦籽粒蛋白质组分积累及其品质的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5):682-687.

[6] 申孝军,孙景生,刘祖贵,等. 灌水控制下限对冬小麦产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2010,26(12):58-65.

[7] 毛凤梧,赵会杰,徐立新,等. 水肥运筹对小麦品质形成的调控效应[J]. 河南农业大学学报, 2001,35(1):13-15.

[8] 赵海波,林琪,刘义国,等. 氮磷配施对济麦22小麦产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6):1325-1332.

[9] 李光忠,王明友,薛玉剑,等. 灌水对冬小麦品质和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2006,26(4):158-160.

[10] 吕凤荣,季书勤,赵淑章. 灌水次数和时期对小麦产量的影响[J]. 河南农业科学, 2000(10):5-6.

[11] 徐兆飞,张惠叶,张定一,等. 小麦品质及其改良[M]. 北京:气象出版社, 2000.

[12] 白莉萍,林而达,饶敏杰. 不同试点灌溉方式对冬小麦产量和品质性状的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(4):917-922.

[13] 周晓燕,贾殿勇,代兴龙,等. 不同灌水处理对强筋小麦谷蛋白大聚合体粒度分布和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2013,24(9):2557-2563.

[14] 石岩,林琪,位东斌,等. 不同灌水处理冬小麦耗水规律与节水灌溉方案确立[J]. 干旱地区农业研究, 1996,14(4):10-14,36.

[15] 胡化广,张振铭,吴生才,等. 植物水分利用效率及其机理研究进展[J]. 节水灌溉, 2013(3):11-15.

[16] 黄占斌,山仓. 论我国旱地农业建设的技术路线与途径[J]. 干旱地区农业研究, 2000,18(2):1-6.