

灌溉制度对冬小麦产量结构形成与产量物质来源的影响

兰 霞 周殿玺 兰林旺

(中国农业大学作物学院)

摘 要 以冀麦 26 为材料, 在田间条件下研究了灌溉制度对小麦产量结构形成和产量物质来源的影响。结果表明: 单期灌溉的单位面积粒数, 以拔节期灌水的最高, 灌水时期向前或向后推移, 其单位面积粒数均下降, 呈现倒“U”字型变化; 粒重与此相反, 以拔节期灌水的为最低, 灌水时期向前或向后推移, 粒重均增高, 呈现“U”字型变化。灌水对产量物质来源的影响表现为: 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; 反之, 灌水次数少, 灌水量小, 产量物质来源对开花前暂贮物质的依赖性则强。此外, 本文还根据试验结果, 讨论了小麦节水栽培的对策问题。

关键词 冬小麦; 灌溉制度; 产量结构; 水分利用效率

分类号 S318; S311

Effects of Irrigation on Yield Components and Grain Carbohydrate Sources of Winter Wheat

Lan Xia Zhou Dianxi Lan Linwang

(College of Crop Science, CAU)

Abstract The effects of irrigation on yield components and grain carbohydrate sources of the winter wheat cultivator “Jimai 26” were studied under field conditions. Irrigation at jointing stage led to the highest grain number per unit area and the lowest grain weight, while irrigation at earlier or later stages led to lower grain number per unit area and higher grain weight. As irrigation times and quotas increased, contribution of carbohydrates accumulated after the flowering stage to grain yield increased. As irrigation times and quotas decreased, contribution of carbohydrates produced before flowering increased. In addition, water-saving strategies for winter wheat production were also discussed.

Key words winter wheat; irrigation; yield components; water use efficiency

土壤水分胁迫影响小麦产量的原因是多方面的。从物质生产的角度看, 它既可以影响冠层叶面积的发展, 也可以影响光合速率^[1, 2]; 就产量物质来源而言, 它既可影响开花后光合产物的积累, 也可影响开花前积累的同化物的再分配^[3, 4]。但无论是对同化物积累的影响, 还是对同化物分配和再分配的影响, 土壤水分胁迫的影响最终将体现在产量结构的变化上。小麦产量结构的形成是一个具有阶段性的连续过程, 而各产量因素间又有相互制约和补偿的自动调节关系。因此, 研究不同灌溉制度对产量结构的影响, 对制定节水高产综合技术措施, 具有指导意义。

1 材料与方 法

试验在河北省沧州市吴桥县中国农业大学吴桥实验站进行。从 1991~ 1994 年, 试验连续

收稿日期: 2000-08-23

兰霞, 广州市仲恺农业技术学院, 510225

进行了3个年度,虽然各年度的降水量及其分布有一定差异,但试验结果的趋势基本相同,因此以下仅对1993~1994年度的结果进行总结和分析。

供试田块土壤为壤质底粘潮土,土层深厚。耕层有机质含量1.34%,全氮0.116%,碱解氮 $105.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 速效磷 $16.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $93.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。供试小麦品种为冀麦26。播种前灌水造墒,使2米土体含水量达到田间持水量的85%左右。1993-10-15播种,基本苗为 $750\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$ 。基施有机肥 $30\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,磷酸二铵 $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。春后第1次灌水时追施尿素 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;播后不灌水为对照,对照的全部肥料作基肥施用。

试验按播后灌水次数分0~4次5个级别,分别称对照(CK)、一水(I)、二水(II)、三水(III)和四水(IV)处理。每次灌水量75 mm,用水表严格计量。各处理的灌水次数和灌水期组合见表1。每处理重复3次,小区面积 30 m^2 。

在冬小麦播种前、开花期和成熟期,分层测定2 m土体内各处理的土壤含水量。然后,根据土壤含水量、灌水量和降水量,用平衡法分阶段计算各处理的耗水量。在冬小麦开花期,每处理选择3个有代表性的样段,每样段长1 m,测定干物质的积累量。并从3个样段的植株中,随机取样30株,分器官测定干物质的积累量,然后根据单位面积穗数计算单位面积干物重在各器官间的分配比例。开花后的物质再分配量,则根据开花—成熟期的干物质积累量和实际产量的差值来估算。

在冬小麦成熟期,每处理选择3个有代表性的样段,每样段面积 1 m^2 ,测定单位面积穗数,然后分别收获脱粒,待自然风干后测定单位面积产量和各样段的千粒重,再根据产量、穗数和千粒重计算各灌水处理的穗粒数。最后,根据单位面积的干物质和籽粒产量计算经济系数,根据全生育期耗水量和籽粒产量计算水分利用效率和边际效益。

该年度小麦生育期间的降水量为121.3 mm,其中65.5 mm降水分布于冬前和越冬期间,在小麦生育的后期无有效降水,且高温多风,干热风危害极为严重;冬季虽然温度不低,但初冬降温突然,发生了较严重的初冬冻害。

表1 冬小麦灌水制度试验方案

处理	灌水量/mm	灌水期	处理	灌水量/mm	灌水期
CK	0	无	II-3	150	拔节、开花期
I-1	75	起身期	II-4	150	拔节、灌浆期
I-2	75	拔节期	III-1	225	起身、孕穗、灌浆期
I-3	75	孕穗期	III-2	225	拔节、开花、灌浆期
II-1	150	起身、孕穗期	IV	300	起身、拔节、开花、灌浆期
II-2	150	起身、灌浆期			

2 结果与分析

2.1 灌水对产量结构的影响

灌水对产量的影响,是对其产量构成因素综合影响的结果。因此,明确灌水对产量结构的影响,对于制定小麦节水栽培技术措施,使小麦节水与高产达到相对统一,有指导意义。

2.1.1 对穗数的影响 小麦的穗数决定于总茎数及其成穗率。拔节前是茎数增加的阶段,之后部分茎逐渐衰亡。由于不同灌水处理对其穗数决定过程的影响不同,所以其穗数各不相同

(表 2)。

起身期灌水, 由于改善了其后的土壤水分状况^[5], 对于增加茎数和提高分蘖成穗率都有积极影响, 在一水处理中穗数最高, 与年后不浇水对照相比, 穗数增加 11.0%。拔节水处理由于改善了拔节期后的土壤水分状况^[5], 提高了分蘖成穗率, 其穗数较对照增加 5.7%。孕穗水分蘖成穗率也有所提高, 穗数较对照增加 2.4%。显然, 孕穗水的增穗效果已远不如起身水和拔节水。起身水配孕穗水处理与起身水处理相比, 其穗数略有增加。上述结果表明拔节至孕穗期的土壤水分状况, 对穗数有强烈的影响; 到了孕穗期之后, 土壤水分状况对穗数的影响力则显著减弱。

2.1.2 对穗粒数和单位面积粒数的影响

2.1.2.1 对穗粒数的影响

小麦的穗粒数决定于发育健全的花数及其结实率, 而发育健全的花数, 则决定于分化花数及其成花率。由于不同灌水处理对穗粒数决定过程影响不同, 所以其穗粒数也不相同。

表 2 灌水对产量及产量结构的影响

处理	穗数 /穗·m ⁻²	穗粒数	单位面积粒数 /千粒·m ⁻²	千粒重 m/g	产量 /g·m ⁻²
CK	627	25.2	15.80	34.1	546
I-1	696	25.7	17.89	35.2	629
I-2	663	28.6	18.96	33.1	631
I-3	642	26.9	17.27	38.0	658
II-1	702	26.2	18.39	37.5	680
II-2	700	25.1	17.58	37.2	649
II-3	675	29.5	19.91	36.3	719
II-4	675	28.6	19.30	34.2	645
III-1	700	25.9	18.14	39.0	706
III-2	660	29.6	19.54	38.5	767
IV	697	26.3	18.34	37.1	686

由表 2 可见, 一水处理的穗粒数以拔节期灌水处理最高, 分别较起身水和孕穗水的高 11.3% 和 6.3%。二水处理的穗粒数, 以拔节水配开花水的最高, 分别比拔节水配灌浆水、起身水配孕穗水、起身水配灌浆水处理高 3.1%、12.6% 和 17.5%。在三水处理中, 拔节水配开花水和灌浆水处理与起身水配孕穗水和灌浆水处理相比, 穗粒数高 12.5%。这表明, 拔节期至孕穗期的土壤水分状况对穗粒数有很强的影响, 此期土壤干旱则使穗粒数显著下降。孕穗期灌水虽然还可通过提高成花率和结实率而使穗粒数增加, 但其效果已显著下降。

比较拔节水配开花水处理和拔节水处理的穗粒数则可看出, 前者的穗粒数亦高于后者, 但其差异较小, 仅为 0.9 粒。这表明开花后的土壤水分状况, 仍可通过影响结实率而对穗粒数产生影响, 但其影响强度较低。

2.1.2.2 对单位面积粒数的影响

在千粒重一定的情况下, 单位面积粒数就成为影响产量高低的决定因素, 故需进一步分析灌水对穗数和穗粒数的综合影响。

表 2 的结果表明, 单期灌水处理的单位面积粒数, 以拔节期灌水处理最高, 与起身水和孕穗水处理相比, 分别高 6.0% 和 9.8%。

起身水配孕穗水与起身水处理相比,前者较后者高 2.8%;拔节水配开花水的单位面积粒数,较拔节水处理高 5.0%。这表明,孕穗之后以及开花之后的土壤水分状况,对单位面积的粒数仍有一定影响。

2.1.3 对粒重的影响 千粒重的高低,决定于籽粒胚乳细胞数及其充实程度。由表 2 可见,孕穗水处理的千粒重分别较拔节水处理、起身水处理和春季不灌水对照高 14.8%, 7.8% 和 11.4%,这可能是由于孕穗期灌水改善了其后的土壤水分状况,对胚乳细胞数目的增加及其充实产生积极影响的结果。拔节水配开花水处理较拔节水配灌浆水的千粒重高 9.7%的结果则意味着籽粒形成期土壤干旱对粒重所造成的不利影响,即使改善其后的土壤水分状况也难于得到弥补。

2.2 灌水对物质生产结构及产量物质来源的影响

2.2.1 对物质生产结构的影响 灌水时期及灌水组合不同,有其明显的物质生产结构特征。开花后物质生产所占的比例,随灌水时期的推迟而提高,与拔节水和起身水处理相比,孕穗水处理的分别高 5.3% 和 6.2%。这是因为灌水时期的早晚对其个体体制有很强的影响。灌水时期早,物质向叶的分配比例大(见表 3),物质生产呈扩大型代谢,耗水量大,到了生育后期土壤干旱更为严重,致使后期物质生产下降,灌水时间晚,物质向穗和茎的分配比例大,向叶的分配比例减少(表 3),叶面积小,通风透光好,生育后期土壤水分也较好,故有利于后期的物质生产。而且灌第一水早晚对物质生产结构的这种影响,在其灌水组合中也可以得到体现。如拔节水配开花水处理与起身水配孕穗水处理相比,后期物质生产所占的比例高 5.5%,拔节水配开花水和灌浆水处理与起身水配孕穗水和灌浆水处理相比,后期物质生产所占比例高 18.9%。

表 3 不同处理开花期的干物质分配

处 理	干物重/ $g \cdot m^{-2}$			占整株百分比/%		
	叶	茎	穗	叶	茎	穗
CK	223.4	346.2	165.4	30.4	47.1	22.5
I-3	275.2	375.1	167.9	33.6	45.8	20.5
I-2	288.6	383.4	167.0	34.4	45.7	19.9
I-1	328.2	381.9	169.8	37.3	43.4	19.3
II-1	345.2	410.0	157.6	37.6	45.0	17.3
IV	336.6	407.0	143.9	37.9	45.9	16.2

2.2.2 对产量物质来源的影响 籽粒的物质来源有两个,一是开花前的暂贮物质,二是开花后的光合产物。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(见表 4)。

三水处理与二水处理相比,来自后期光合产物的比例高 6%,三水较一水处理高 7.7%,较不灌水对照高 26.8%。这意味着:当后期光合产物不足时,产量物质来自物质再分配的比例就加大,这是小麦对干旱的一种适应性。

2.3 灌水对产量和水分生产效率的影响

2.3.1 灌水对产量的影响 表 4 和表 5 的结果显示,灌水处理都提高了小麦的穗数,穗粒数和千粒重,所以其产量均高于对照。这表明生长在华北平原最干旱季节的冬小麦,仅靠底滴水和自然降水不能满足小麦高产对水分的需求,进行补充灌溉是必要的。

表 4 的数据还表明, 小麦产量不仅因灌水次数、灌水量不同而不同, 而且同样灌水次数和灌水量也因灌水时期和灌水组合不同而有相当大的差异。在一水处理中, 以孕穗期灌水处理的产量最高, 它较拔节期灌水的高 4.2%, 它较起身期灌水的高 4.6%。二水处理中, 以拔节水配开花水处理的产量最高, 分别较起身水配孕穗水处理、起身水配灌浆水处理、拔节水配灌浆水处理的高 5.7%, 10.8% 和 11.3%。三水处理的产量, 则以拔节水配开花水和灌浆水处理的较高, 其产量较起身水配孕穗水和灌浆水处理的高 8.6%。而四水处理的产量反低于三水的产量, 其原因是由于穗粒数和千粒重均低于三水处理, 这意味着, 即使以高产为目标, 也不是灌水次数越多越好。

表 4 灌水对产量及其物质来源的影响

处 理	开花—成熟期耗水量 /mm	干物质积累量/ $g \cdot m^{-2}$		转运量 / $g \cdot m^{-2}$	产量 / $g \cdot m^{-2}$
		全生育期	开花—成熟期		
CK	97.0	1 111	375	171	546
I-1	131.0	1 394	514	115	629
I-2	138.0	1 333	495	120	631
I-3	156.0	1 346	528	131	658
II-1	185.0	1 481	570	109	680
II-2	160.0	1 442	562	87	649
II-3	184.0	1 411	573	146	719
II-4	157.0	1 344	505	140	645
III-1	202.0	1 484	573	133	706
III-2	233.0	1 552	713	54	767
IV	236.0	1 459	571	115	686

表 5 灌水次数对产量及水分生产率的影响

处 理	穗数 / $穗 \cdot m^{-2}$	穗粒数	千粒重 /g	产量 / $kg \cdot hm^{-2}$	耗水量 /mm	水分生产率 / $kg \cdot m^{-3}$
CK	627	25.2	34.1	5462	370.3	1.47
I	667	27.1	35.4	6394	413.7	1.55
II	688	27.4	36.3	6733	453.0	1.49
III	680	27.8	38.8	7368	498.0	1.48
IV	697	26.3	37.1	6858	557.1	1.23

注: I 为所有浇一水处理的平均值, II 为所有浇二水处理的平均值, 依此类推。

2.3.2 对水分生产率的影响 水分生产率是制定灌溉制度, 合理分配灌溉水的基本依据。由于不同灌水处理对产量和耗水量有着不同的影响, 所以水分生产效率也有差异。其基本趋势是随灌水次数、灌水量的增加而下降(表 5)。这表明, 在水资源紧缺的地区, 将有限的灌溉水较均匀地分配到所有麦田, 较将灌溉水集中用在部分麦田更有利于该地区总产的提高。

3 讨论

3.1 冬小麦节水灌溉制度

前人的研究结果^[6]和本试验的结果都表明,限量灌水不但能提高产量,还能一定程度上提高水分生产率。

若当地水资源非常紧缺,仅以提高水分生产效率为目标时应选择一水制。若当地水资源条件较好,从高产的角度出发,也可以采用二水制。因为二水制麦田不仅可以取得高的小麦产量和相当高的水分生产效率,而且在经济上亦是合算的。另外,本项试验是在壤土地上的试验结果,不一定适宜于砂土和粘土地,因此,采用哪种灌溉制度,应视水资源和土壤类型而定。

3.2 灌溉制度对产量结构的影响及节水栽培对策

小麦生育在一年中最干旱的季节,仅靠降水难以满足小麦高产栽培对水分的要求,因此,进行补充灌溉是必要的。但在水资源紧缺的地区,为了提高该地区的小麦总产量,实行节水灌溉更为有利。灌水次数、灌水总量减少之后,在小麦生育期间必然会出现上层土壤水分不足。在拔节至孕穗期间发生土壤干旱,不仅会造成穗数下降,而且会使穗粒数严重下降;在开花至灌浆初期发生干旱,不仅会导致千粒重下降,而且还会因部分籽粒停滞发育而使穗粒数下降,在小麦灌浆期间发生土壤干旱,则会导致千粒重下降。

小麦对土壤水分不足,虽然有一定的适应性调节能力,但难以弥补耗水量大幅度下降对产量的不利影响。因此,要想使小麦节水与高产得到相对统一,必须研究其补偿技术。

从本试验结果来看,为了达到目标穗数,克服拔节前上层土壤水分不足对穗数的不利影响,应适当增加基本苗数,依靠基本苗保穗;为了克服或减轻适当增加基本苗数对穗粒数的不利影响,应适当增加基肥用量,促进小麦前期生育,增加小麦分化的小穗数以稳定其穗粒数;为了减轻后期水分不足对粒重的不利影响,应适当增加磷、钾肥的施用量,并适当推迟第一水的灌水时间以诱导根系下扎,增强小麦对深层土壤水分的利用能力;为减轻生育后期高温和干热风等对小麦粒重的不利影响,应采用早熟高产,灌浆期短,穗浆强度大,多花中粒品种。

参 考 文 献

- 1 Robertson M J, Giunta F. Responses of spring wheat exposed to preanthesis water stress. *Aust J Agric Res*, 1994, 45: 19~ 35
- 2 Setter T L. Transport/harvest index: photosynthate partitioning in stressed plants. In: A Ischer R G, Cumm ing J R, ed. *Stress Response in Plants: A daptation ad Accumulation Mechanism s*. Wiley-Liss, 1990. 17~ 36
- 3 盛宏达. 小麦灌浆期干旱对籽粒产量的影响. *干旱地区农业研究*, 1984, 2: 75~ 81
- 4 王万里,等. 灌浆—成熟期间土壤干旱对小麦籽粒充实和物质运转的影响. *植物生理学报*, 1982, 8(1): 67~ 80
- 5 兰林旺,周殿玺. *小麦节水高产研究*. 北京:北京农业大学出版社,1995
- 6 刘昌明,王会肖. 节水农业内涵商榷. 见:石元春等主编. *节水农业应用基础研究进展*. 北京:中国农业出版社,1995. 7~ 19