

# 近 20 年冬小麦供水量与产量关系变化分析

贾秀领, 马瑞昆, 张全国, 姚艳荣, 张丽华

(河北省农林科学院 粮油作物研究所, 河北 石家庄 050031)

**摘要:** 在 20 多年的小麦节水高产理论和栽培技术的研究过程中, 通过对 1986—1987、1988—1989、1995—1996 和 2006—2007 共 4 个代表性年度的冬小麦供水量与产量的关系研究, 分析了近 20 年来河北省冬小麦产量对供水量的反应变化趋势。结果表明, 小麦产量与供水量呈抛物线关系, 随年代推进, 小麦达到最高产量的供水量逐渐减少, 产量逐渐提高。达到最高产量的供水量从 1986—1987 年的 475 mm 减少到 2006—2007 年的 280 mm, 平均每年减少 10 mm。最高产量从 1986—1987 年的 5 358.5 kg/hm<sup>2</sup>, 提高到 2006—2007 年的 9 240.9 kg/hm<sup>2</sup>, 平均每年增加 194.1 kg/hm<sup>2</sup>。小麦灌浆期较高的土壤水分有利于 20 世纪 80 年代小麦籽粒灌浆, 但不利于目前小麦籽粒灌浆, 造成粒重降低, 产量下降。在这一演变过程中, 配套节水栽培技术应用、新育成品种节水性的探明和应用以及地力基础的提高发挥了重要作用。

**关键词:** 冬小麦; 供水量; 产量

中图分类号: Q946.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2009)增刊-0214-04

## Trend in Relationship between Water Supply Amount and Grain Yield of Winter Wheat from 1987 to 2007

JIA Xiu—ling, MA Rui—kun, ZHANG Quan—guo, YAO Yan—rong, ZHANG Li—hua

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** Based on research throughout the recent 20 years on cultivating techniques and physiological basis in winter wheat with objective of water saving and high yielding, trend in relationship between water supply amount and grain yield of winter wheat from 1987 to 2007 was characterized by analyzing experimental data of four typical years of 1987, 1989, 1996 and 2007. The results showed that the relations of water supply amount versus grain yield could be well fitted by parabolic curves. Current wheat crop required much less amount of water for achieving its growing maximum yield than that of 1980's. The water amount required for achieving its maximum yield decreased from 475 mm in 1987 to 280 mm in 2007, with a mean yearly drop of 10 mm. Meanwhile, the maximum yield level grew from 5 358.5 kg/ha to 9 240.9 kg/ha, with an average yearly increase of 194.1 kg/ha. High level of soil moisture during grain filling stage was beneficial to wheat production of 1980's, which, however, led to reduced grain weight and grain yield for present wheat crop. These changes mainly attributed to utilization of integrated water-saving management techniques, improvement in water-saving and high yielding traits of new cultivars and enhancement in soil fertility.

**Key words:** Winter wheat; Water supply amount; Yield

河北省是资源型严重缺水地区, 农业是河北省用水大户, 农业用水占全省用水量的 70% 左右, 其中约 70% 主要为冬小麦灌溉用水。因此冬小麦节水栽培研究一直受到人们广泛关注<sup>[1, 2]</sup>。过去的二十几年, 科研工作者围绕冬小麦节水研究做出了长

期的努力, 并取得了显著的成效, 在大幅度提高小麦产量的基础上, 单位面积用水量大幅下降。如河北省山前平原井灌区的高产小麦灌水次数从传统 6 ~ 7 次降到目前 2 ~ 3 水的麦田节水灌溉制度, 对维持河北省粮食持续生产能力做出了巨大贡献。本研究

收稿日期: 2009-03-20

基金项目: 河北省财政专项(高层次人才科技创新工程 2008055002; 2007055001); 国家科技支撑计划(2007BAD69B04; 2007BAD69B01); 石家庄市科技支撑计划(07149042A)

作者简介: 贾秀领(1964—), 女, 河北正定人, 研究员, 博士, 主要从事小麦节水高产栽培及生理基础研究。

通讯作者: 马瑞昆(1949—), 男, 河北肃宁人, 研究员, 硕士, 主要从事小麦节水高产栽培技术及生理基础研究。

综合考虑地力基础水平、产量水平、品种更迭等因素, 选择 1986—1987、1988—1989、1995—1996 和 2006—2007 共 4 个代表性年度的冬小麦供水量与产量试验数据进行分析, 目的在于明确 20 年来河北省冬小麦产量对供水量的反应变化趋势, 对当前及未来小麦节水高产栽培和育种研究提供依据。

1 材料和方法

试验于 1986—1987、1988—1989、1995—1996 和 2006—2007 共 4 个年度进行。其中 1986—1996 年试验于河北省农林科学院粮油作物研究所试验田进行, 试验田位于河北省石家庄市郊区。2006—2007 年于河北省农林科学院粮油作物研究所石家庄市藁城堤上试验站进行。试验区属河北省太行山山前平原区, 试验田土质为壤土, 种植制度为冬小麦—夏玉米一年两熟, 试验田前茬均为青储夏玉米。1986—1987 年和 1995—1996 年为灌水单因子试验, 试验为随机区组设计, 重复 4 次, 两年度品种分别为冀麦 7 号和冀 9195。1988—1989 年为灌水和密度两因素裂区试验, 灌水为主处理, 密度为副处理, 设 300、480

和 660 万/hm<sup>2</sup> 3 个密度, 品种为冀麦 30, 重复 3 次。2006—2007 为灌水和品种两因素裂区试验, 灌水为主处理, 品种为副处理, 应用的 5 个品种为冀 8901、石新 733、石麦 15、石新 828 和石 4185, 重复 4 次。各年度灌水处理设计见表 1。各处理的供水量由生育期灌水量和降水量之和计算而来。

4 个年度试验田纯氮施用量依次为 102、177、144 和 210 kg/hm<sup>2</sup>。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量分别为 75、69、103.5 和 135 kg/hm<sup>2</sup>。前 3 个试验年度以磷酸二铵做基肥, 按相应的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>投入量计算基肥施用量, 春季追施尿素补足相应的纯氮投入量。2006—2007 年增施 K<sub>2</sub>O 112.5 kg/hm<sup>2</sup>, 磷钾肥全部作为基肥施入, 50% 氮素作为基肥, 50% 拔节期一次追施。10 月 7—9 日播种, 1986—1987 年基本苗 180 万/hm<sup>2</sup>, 1995—1996 和 2006—2007 年基本苗 300 万/hm<sup>2</sup>, 小区面积 7~45 m<sup>2</sup>。播种方式依次为 10 cm :20 cm, 15 cm :10 cm 大小行, 15 cm 等行距, 13 cm 等行距。试验播前全部浇底墒水, 小麦生育期降水量依次为 147、81.9、61.6 和 125.4 mm。各年度试验地的土壤地力基础见表 2。小麦成熟后取样考种, 收获小区产量。

表 1 各年度灌水试验处理设计

Tab. 1 Treatment designs of irrigation experiments in different years																				
灌水次数 Irrigation times	苗期 Seedling		越冬前 Pre-winter		返青 Re-green		起身 Erecting		拔节 Stem elongation		孕穗 Booting		抽穗 Heading		开花 Anthesis		灌浆 Grain fill		麦黄 Early ripening	
	日期	水量	日期	水量	日期	水量	日期	水量	日期	水量	日期	水量	日期	水量	日期	水量	日期	水量	日期	水量
	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm	月—日	/mm
1986—1987 *																				
0																				
2									04—18	41.1					05—13	62.9				
4			11—28	58.0	03—10	46.0			04—07	54.0	04—24	63.0								
6			12—06	49.5	02—26	30.9			04—08	33.6	04—24	45.3			05—13	62.9	05—27	42.8		
7			11—28	56.0			03—27	53.0	04—07	52.0	04—24	53.0			05—13	63.0	05—27	40.0	06—03	50.0
9	11—04	71.0	11—28	50.0	03—10	46.0	03—27	45.0	04—07	53.0	04—24	56.0			05—13	63.0	05—27	43.0	06—03	67.0
1988—1989 *																				
0'																				
0																				
1									04—05	80.0										
2							03—24	80.0			04—29	67.7								
3							03—24	80.0			04—29	54.3			05—11	82.5				
5			11—25	60.0	03—14	70.0			04—05	70.0	04—22	34.2			05—11	62.9				
7			11—25	60.0	03—14	80.0			04—05	73.3	04—22	45.2	04—29	45.1	05—11	78.4	05—26	71.3		
1995—1996 *																				
2							03—20	78.3					04—30	68.3						
3							03—20	78.3					04—30	68.3			05—29	38.2		
4							03—20	78.3					04—30	68.3	05—14	52.8	05—29	68.8		
5			11—20	48.3			03—20	78.3	4—18	56.2					05—14	52.8	05—29	68.8		
2006—2007 *																				
0																				
1									04—08	66.1										
2									04—08	66.1					05—03	64.3				
3									04—08	66.1					05—03	64.3	05—24	52.5		
4					03—14	71.4			04—08	66.1					05—03	64.3	05—24	49.5		

注: \*. 年度, 1988—1989 年度的 0 处理为旱棚下未灌水处理。  
Note: \*. Year, the treatment of 0' represents no irrigation under rain shelter condition in the year of 1988—1989.

表 2 各年度试验地 0~20 cm 土壤地力基础

Tab. 2 Base soil fertility of 0—20 cm soil layer for experimental fields in different years						
年度 Year	有机质/ % Organic matter	全氮/ (g/ kg) Total N	全磷/ (g/ kg) Total P	碱解氮/ (mg/ kg) Available N	有效磷/ (mg/ kg) Available P	有效钾/ (mg/ kg) Available K
1986—1987	1. 96	1. 28	1. 61	90. 5	9. 2	122. 5
1988—1989	2. 06	1. 33	2. 15	114. 2	44. 6	169. 4
1995—1996	2. 01	1. 19	1. 76	77. 9	43. 4	104. 0
2006—2007	1. 54	0. 94	2. 00	69. 6	19. 3	86. 2

2 结果与分析

2.1 不同年度小麦供水量—产量关系模型

将 1988—1989 年不同密度处理的籽粒产量进行平均, 2006—2007 年 5 个品种的产量进行平均后, 对 4 个年度供水量(灌水量+小麦生育期降水量)和籽粒产量进行回归分析, 结果表明产量随供水量呈曲线变化(图 1), 这种曲线反应方式各年度均表现相似, 二者可以用抛物线进行很好拟合, 拟合均达到显著和极显著水平。拟合方程( $Y=a+bX+cX^2$ )的拟合参数见表 3。根据拟合方程计算出抛物线的峰值点( $X_m, Y_m$ ;  $X_m=-b/2c, Y_m=a-b^2/4c$ ), 参数值见表 3。

由图 1 和表 3 可以看出, 随着年代推移, 小麦产量对供水量的反应出现了明显的变化, 抛物线峰值点按线性关系( $Y=12\,606-14.7X$ )向左上方移动, 说明 20 年间, 小麦节水高产特征越来越突出。随年代推进, 达到最高产量  $Y_m$  的供水量  $X_m$  随年代推进呈明显减小的趋势,  $X_m$  从 1986—1987 年的 475.4 mm 减少到 2007 年的 279.8 mm, 20 年减少了 195.6 mm(41.1%), 平均每年约减少 10 mm(2.1%)。其次, 相同供水量下小麦产量水平得到了大幅提高,  $Y_m$  从 1987 年的 5 358.5 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 2007 年的 9 240.9 kg/hm<sup>2</sup>, 20 年增加了 3 882.4 kg/hm<sup>2</sup>(72.5%), 平均每年增加 194.1 kg/hm<sup>2</sup>(3.6%)。

1986—1987 年度, 小麦的最高产量出现在灌 6 水区, 相应供水量 412 mm, 且产量水平低, 表现出典型的产量低耗水量大的特性, 该年度试验地土壤速

效磷含量低, 所用品种冀麦 7 号育成年代较早(1974 年), 代表了 80 年代品种和地力基础条件下小麦产量和供水量的典型关系。1988—1989 年度, 试验地地力基础较高, 种植品种为冀麦 30(1990 年审定), 该品种是 90 年代节水高产品种的典型代表<sup>[3]</sup>。与 1986—1987 年相比,  $Y_m$  增加 2045.2 kg/hm<sup>2</sup>(38.2%),  $X_m$  减少 78.6 mm, 灌水模式的优化、生育期首次灌水的推迟和总灌水量的减少<sup>[1]</sup>、品种更换和地力基础的提高(表 2)对小麦产量与供水量关系的变化发挥了重要作用。1995—1996 年试验田地力基础和 1988—1989 年相近, 所用品种为冀 9195(1994 年育成), 与 1988—1989 年相比, 其产量水平变化不大, 但节水灌溉技术进一步提高和完善, 品种的节水性能有了进一步的提高,  $X_m$  减少 99 mm。和 1995—1996 年相比, 2006—2007 年小麦  $X_m$  减少 18 mm, 减小幅度较小, 但产量水平增加幅度较大,  $Y_m$  增加了 29.4%。

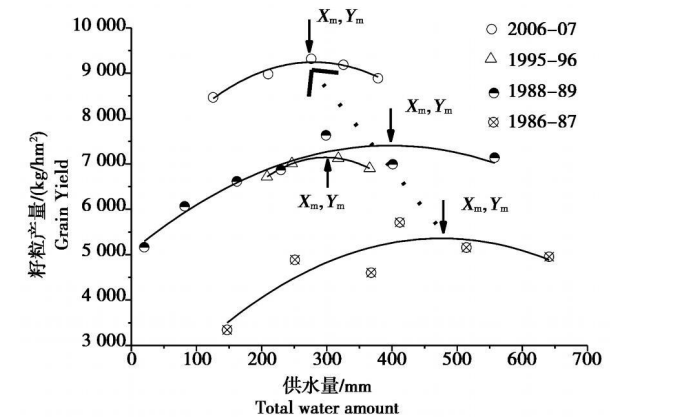


图 1 不同年度小麦供水量—产量抛物线模型  
Fig. 1 Parabolic fitting curves of water supply amount versus grain yield of winter wheat in different years

表 3 不同年度小麦供水量—产量抛物线拟合参数

Tab. 3 Parameters of parabolic equations by fitting water supply amount versus grain yield in different years						
年度 Year	a	b	c	r <sup>2</sup>	$X_m$ /mm	$Y_m$ /(kg/hm <sup>2</sup> )
1986—1987	1 462. 3	16. 4	—0. 017	0. 776 *	475. 4	5 358. 5
1988—1989	5 065. 3	11. 8	—0. 015	0. 906 **	396. 8	7 403. 7
1995—1996	2 453. 4	31. 5	—0. 053	1. 000 **	297. 9	7 142. 4
2006—2007	6 607. 7	18. 8	—0. 034	0. 960 **	279. 8	9 240. 9

2.2 供水量与产量三要素的关系

不同年代小麦产量三要素对供水量的反应不同(表 4)。在只依靠自然降水的条件下, 1988—1989 和 2006—2007 年均表现出穗数和穗粒数减少, 千粒

重增高的现象, 但 1986—1987 年则表现穗数、穗粒数和千粒重同步降低, 体现出 20 世纪 80 年代土壤地力基础较低, 品种节水性较差条件下小麦生产的特点。虽然不同年代小麦均表现过量灌水条件下产

量下降的趋势,但导致产量下降的原因却有所不同。1986—1987和1988—1989两个年度过量灌水产量降低的原因在于穗粒数的减少,而千粒重并没有下降的趋势,说明在当时条件下充足的土壤水分含量对小麦籽粒灌浆过程有利。而1995—1996年和

2006—2007年均表现供水量在300mm左右时,千粒重较高,供水量达到350mm时,千粒重呈现明显下降的突出特点,说明随着年代的推进,适中的土壤水分含量对小麦的灌浆过程有利,土壤水分含量偏高明显抑制籽粒灌浆过程。

表4 不同年度小麦产量三要素对供水量的反应

Tab. 4 Responses of yield component to water supply amount in different years年度					
年度 Year	灌水次数 Irrigation times	供水量/mm Water supply amount	穗数/( $\times 10^4/\text{hm}^2$ ) Ear No.	穗粒数 Ear grain number	千粒重/g Grain wt
1986—1987	0	147.0	552.8	23.2	27.8
	2	251.0	586.5	27.5	31.4
	4	368.0	711.8	24.7	26.9
	6	412.0	723.0	31.4	27.9
	7	514.0	736.9	29.7	27.2
	9	641.0	685.5	32.5	28.4
1988—1989	0	20.0	785.3	21.4	34.3
	0	81.9	789.0	23.6	35.0
	1	161.9	1005.5	23.4	29.6
	2	229.6	1011.5	24.6	31.5
	3	298.7	906.5	26.1	33.8
	5	401.2	927.0	23.3	34.2
1995—1996	7	557.4	1025.0	22.3	35.9
	2	208.2	729.8	24.6	38.3
	3	246.4	765.8	23.3	39.3
	4	317.6	764.8	24.3	39.1
2006—2007	5	365.8	758.5	24.2	37.6
	0	125.4	714.6	29.5	36.6
	1	210.0	735.7	31.3	34.6
	2	276.1	769.1	31.5	35.4
	3	325.6	763.2	31.4	36.1
	4	378.5	768.6	30.4	34.2

3 讨论与结论

小麦产量与供水量的关系多年来研究较多<sup>[2,4-6]</sup>,一般认为二者呈抛物线关系。李晋生等<sup>[6]</sup>在河北省黑龙港地区研究结果表明在0~260mm供水量范围内二者呈直线关系,马瑞昆等<sup>[2]</sup>建立了二者的直线—抛物线复合模型。本研究通过对不同年代小麦供水量与产量模型的演变趋势分析,发现与20世纪80年代比较,当代小麦产量与供水量的关系发生了显著的变化,变化趋势为达到最高产量的供水量逐渐减少,产量水平逐渐提高。在这一演变过程中,配套节水栽培技术应用<sup>[3]</sup>、新育成品种节水性的探明和应用以及地力基础的提高发挥了重要作用。与20世纪70年代比较,目前小麦高产节水特点突出,尤其籽粒灌浆过程要求适中较低的土壤水分,灌浆期土壤水分偏高抑制籽粒灌浆进程<sup>[7]</sup>。在节水栽培技术方面,取消小麦越冬水、返青水和起身水,拔节期进行首次水肥管理,浇好开花

水,一般年份小麦灌浆期不灌水,是实现小麦节水高产的关键技术措施。此外,随着生产条件的改善,农田投入逐渐增加,地力基础不断提高,水效益不断提高,“以肥调水”的作用得以充分发挥,也是实现小麦节水高产的重要保证条件。

参考文献:

[1] 河北省小麦生产顾问团, 河北省小麦生产技术指导小组编著. 冬小麦模式化栽培技术[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1988.

[2] 马瑞昆, 贾秀领. 冬小麦水分关系与节水高产[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.

[3] 马瑞昆, 刘淑贞, 贾秀领, 等. 高产节水小麦基因型生理特性及综合评价[J]. 中国农业科学, 1995, 28(6): 32—39.

[4] 袁汉民, 王小亮, 孙建昌, 等. 宁夏引黄灌区小麦垄作节水高产栽培研究[J]. 节水灌溉, 2005(6): 5—8.

[5] 刘昌明, 周长青, 张士锋, 等. 小麦水分生产函数及其效益研究[J]. 地理研究, 2005, 24(1): 1—10.

[6] 李晋生. 节水型农业理论与技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 43—44.

[7] 贾秀领, 姚艳荣, 张丽华, 等. 小麦花后土壤水分状况与籽粒灌浆过程关系分析[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(增刊): 117—124.