

# 不同水氮优化组合模式对冬小麦产量形成及水氮资源利用效率的影响

李志勇<sup>1</sup>, 陈建军<sup>2</sup>, 王 璞<sup>3</sup>

(1. 河南科技大学, 河南 洛阳 471003; 2. 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642;

3. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100094)

**摘要:**针对华北平原冬小麦生产中氮肥及灌水存在严重浪费,进而引起环境污染问题进行了研究。在传统灌溉-优化施肥、优化灌溉-传统施肥、优化水肥、秸秆还田优化水肥及传统水肥条件下,冬小麦单位面积收获穗数和子粒产量无显著性差异。优化水肥和秸秆还田优化水肥冬小麦穗粒数显著减少,千粒重显著提高。所有处理间冬小麦水分利用效率无显著性差异。传统灌溉-优化施肥、优化水肥及秸秆还田优化水肥氮肥当季利用率显著提高,因此达到了挖掘冬小麦的节肥潜力,提高优化灌溉条件下氮肥利用效率的目的。

**关键词:**冬小麦;灌溉;施肥;优化

**中图分类号:**S512.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2005)02-0066-06

## Effects of the Different Irrigation - Fertilization Optimization Models on Grain Yield, Yield Structure and Water and Nitrogen Use Efficiency of Winter Wheat

LI Zhi-yong<sup>1</sup>, CHEN Jian-jun<sup>2</sup>, WANG Pu<sup>3</sup>

(1. Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2. Agronomic College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** The experimental results showed insignificant difference in the ear number per unit area and grain yield of winter wheat between the traditional irrigation-optimized fertilization, optimized irrigation-traditional fertilization, optimized irrigation-optimized fertilization, optimized irrigation-optimized fertilization with crop residues, and traditional irrigation-traditional fertilization; the greatly reduced grain number per ear and significantly heavier weight of 1 000 grains of the optimized irrigation-optimized fertilization and optimized irrigation-optimized fertilization with crop residues; the significantly higher nitrogen use efficiency of the traditional irrigation-optimized fertilization, optimized irrigation-optimized fertilization and optimized irrigation-optimized fertilization with crop residues; and indistinct difference in water use efficiency between the five treatments.

**Key words:** Winter wheat; Irrigation; Fertilization; Optimization

灌溉和施氮肥是冬小麦高产稳产的重要保证,但我国尤其是华北地区冬小麦生产中灌溉用水及氮肥施用存在严重问题,如用水量过大<sup>[1]</sup>、地下水超采引起严重的农田生态与环境问题<sup>[2]</sup>、农业用水效率低下<sup>[3]</sup>、化肥氮利用率低下<sup>[4]</sup>和由于大量施用氮

肥而带来的环境污染<sup>[5]</sup>。针对这些问题,前人从农艺节水<sup>[6~10]</sup>及氮肥施用制度<sup>[11~17]</sup>方面进行了诸多研究,但有关水氮双因子对冬小麦产量形成及水氮利用的研究鲜见报道。自1999年以来,中国农业大学和德国霍恩海姆大学(Hohenheim University of

收稿日期:2004-05-15

基金项目:国家自然科学基金(30070451);中德合作项目(0339712A)A2子项目

作者简介:李志勇(1965-),男,河南开封人,博士,副教授,主要从事农艺措施优化决策方面的研究工作。

Germany)开展了中德国际合作项目“华北平原作物高产高生产力条件下环境可承受的持续农业研究”。本文内容是该项目 2000 - 2001 年度北京试验基地研究结果的一部分。

1 材料和方法

试验于 2000 - 2001 年在中国农业大学中德合作项目北京试验基地进行。供试品种为京冬 8 号, 2000 年 10 月 12 日播种,行距 15 cm,基本苗  $4.722 \times 10^6$  株/  $\text{hm}^2$ ,2001 年 6 月 16 日收获。试验基地土壤为石灰性潮土,有机质含量平均为 21.4 g/ kg,全氮、速效磷、速效钾分别为 1.17,34.6 和 145 mg/ kg,播前 0 ~ 30 cm 土壤 Nmin 为 30 kg/  $\text{hm}^2$ 。试验设传统灌溉 - 秸秆不还田 - 优化施肥处理(简称传统灌溉 - 优化施肥处理,a 处理)、优化灌溉 - 秸秆不还田 - 传统施肥处理(简称优化灌溉 - 传统施肥处理,b 处理)、优化灌溉 - 秸秆不还田 - 优化施肥处理(简称优化水肥处理,c 处理)、优化灌溉 - 秸秆还田 - 优化施肥处理(简称秸秆还田优化水肥处理,d 处理)和冬小麦生产中采用的传统灌溉 - 秸秆不还田 - 传统施肥处理(简称传统水肥处理,e 处理,对照)。传统灌溉采用常规畦灌,传统施肥按照农民习惯,氮肥分冬小麦播种前和拔节期 2 次等量施入(施用量折合纯氮各为 150 kg/  $\text{hm}^2$ );优化灌溉根据土壤含水量采用喷灌,优化施肥根据目标产量,在作物主要生育时期利用三通道连续流动分析仪进行田间土壤 Nmin(铵态氮 + 硝态氮)<sup>[18]</sup>和叶绿素仪进行麦株硝酸盐含量的测试,根据测试结果决定氮肥施用量,具体情况见表 1 和表 2。各处理冬小麦播前磷、

钾底肥分别用重钙和氯化钾作肥源,施用量分别为  $\text{P}_2\text{O}_5$  180 kg/  $\text{hm}^2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  180 kg/  $\text{hm}^2$ 。小区面积为 20 m  $\times$  15 m,随机排列,重复 4 次。冬小麦生育期内采用时域反射仪 TDR 检测土壤水分动态变化,干物重采用烘干法,成熟期常规考种测产。

表 1 冬小麦生育期间灌溉日期和灌溉量

重复代号 Repeat code	传统灌溉		优化灌溉	
	Tradition irrigation		Optimization irrigation	
	灌溉日期 (月 - 日) Date	灌溉量 ( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ) Amount	灌溉日期 (月 - 日) Date	灌溉量 ( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ) Amount
D	11 - 15	914	11 - 18	849
	03 - 28	923	04 - 01	577
	04 - 26	729	04 - 19	569
	05 - 16	923	05 - 04	623
			05 - 20	440
C			05 - 25	452
	11 - 15	909	11 - 19	874
	03 - 26	1 040	03 - 30	574
	04 - 24	832	04 - 19	600
	05 - 14	1 100	05 - 04	623
B			05 - 14	457
			05 - 26	457
	11 - 18	889	11 - 15	951
	03 - 29	1 029	03 - 30	588
	04 - 26	797	04 - 19	634
A	05 - 16	1054	05 - 03	623
			05 - 20	423
			05 - 27	452
	11 - 14	944	11 - 14	938
	03 - 27	615	03 - 31	577
	04 - 25	726	04 - 20	609
	05 - 15	950	05 - 03	624
			05 - 19	492
			05 - 26	492

表 2 不同水肥优化模式下冬小麦优化施肥的施氮日期(月 - 日)和施氮量(kg/  $\text{hm}^2$ )

Tab. 2 N application dates(m - d) and amounts(kg/ $\text{hm}^2$ ) of the optimized N fertilization treatments for winter wheat												
	a 处理 Treatment a				c 处理 Treatment c				d 处理 Treatment d			
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>
基肥量 Base fertilizer amounts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03 - 26 ~ 04 - 01 追肥量 Fertilizer-applying amounts	10	16	16	26	10	10	15	35	22	10	18	10
04 - 19 ~ 04 - 23 追肥量 Fertilizer-applying amounts	73	56	73	62	60	16	56	54	55	36	56	50

2 结果与分析

2.1 不同水氮优化组合模式下冬小麦的产量结果

试验结果(表 3)表明:传统水肥条件下冬小麦并未表现出增产优势。与传统水肥相比较,传统灌溉 - 优化施肥、优化灌溉 - 传统施肥、优化水肥或秸

秆还田优化水肥冬小麦子粒产量略有增加,增产幅度在 1.1 % ~ 8.2 %,其中,秸秆还田优化水肥增产幅度最大。与优化水肥相比,秸秆还田优化水肥有利于提高冬小麦产量,但各处理间产量的差异未达到显著水平。

干物质是作物产量形成的基础,各种农艺措施

对产量的影响大多与干物质积累特点及其转化效率有关。从本试验结果(表 4)可以看出,优化灌溉 - 传统施肥、优化水肥、秸秆还田优化水肥各处理冬小麦全生育期干物质积累总量分别比传统水肥增加 6.10 % ,3.85 % 和 6.43 % ,传统灌溉 - 优化施肥与对照极为接近。以抽穗期为界,把物质生产全过程划分为前期和后期,抽穗期前生产的干物质主要用来建造营养器官和穗器官,大多以结构物质的形态

表 3 冬小麦各处理产量结构、经济产量、生物产量及经济系数

Tab.3 The yield structure , grain yield, economic yield,biological yield and economic coefficient of winter wheat of different irrigation-nitrogen treatments

处理 Treatment code	单位面积穗数 The ear number per unit area ( ×10 <sup>4</sup> / hm <sup>2</sup> )	穗粒数 The grain number per ear (grains/ ear)	千粒重 Weight of 1 000 grains (g/ 1 000 grains)	经济产量 Economic yield (kg/ hm <sup>2</sup> )	生物产量 Biological yield (kg/ hm <sup>2</sup> )	经济系数 Economic coefficient
a	594.8	28.5a	36.09b	4 505.1	12 911.8	0.314
b	637.5	28.8a	35.89b	4 356.5	13 746.3	0.310
c	615.2	25.6b	39.05a	4 447.4	13 454.5	0.325
d	643.3	26.4b	38.84a	4 665.0	13 791.3	0.327
e	612.8	27.9a	35.01b	4 308.9	12 955.5	0.306

注 :a ,b 表示 0.05 水平显著性差异  
Note :a ,b represent 0.05 difference level respectively

表 4 冬小麦各处理地上部分干物质生产特点

Tab.4 The characteristics of dry matter accumulation of winter wheat of different irrigation-nitrogen treatments

处理 Treatment code	生育阶段 Growth-development phase	天数(d) Days	干物质日增量 Dry matter accumulation amount per day (kg/ hm <sup>2</sup> )	干物质阶段积累量 Dry matter accumulation amount per phase (kg/ hm <sup>2</sup> )	干物质阶段积累量占总量 Percentages of dry matter accumulation amount per phase the total ( %)
a	出苗 - 抽穗 Emergence-earing	201	33.85	6 803.13	52.69
	抽穗 - 成熟 Earing-maturation	38	160.75	6 108.63	47.31
	全生育期 The whole growth-development period	239	54.02	12 911.76	100.00
b	出苗 - 抽穗 Emergence-earing	201	34.08	6 849.32	49.83
	抽穗 - 成熟 Earing-maturation	38	181.50	6 896.95	50.17
	全生育期 The whole growth-development period	239	57.52	13 746.27	100.00
c	出苗 - 抽穗 Emergence-earing	201	31.81	6 394.37	47.53
	抽穗 - 成熟 Earing-maturation	38	185.79	7 060.10	52.47
	全生育期 The whole growth-development period	239	56.29	13 454.47	100.00
d	出苗 - 抽穗 Emergence-earing	201	35.00	7 035.57	51.01
	抽穗 - 成熟 Earing-maturation	38	177.78	6 755.71	48.99
	全生育期 The whole growth-development period	239	57.70	13 791.28	100.00
e	出苗 - 抽穗 Emergence-earing	201	35.74	7 184.49	55.46
	抽穗 - 成熟 Earing-maturation	38	151.87	5 770.99	44.54
	全生育期 The whole growth-development period	239	54.21	12 955.48	100.00

固定下来,少部分后期可以向子粒运转,抽穗后生产的物质,大多用来建造子粒和充实子粒。因此要求前后期物质生产具有合理结构,保持源库平衡。通常认为不合理的物质生产结构是前期物质生产量大,后期物质生产量小,无效生育多,经济系数降低,子粒灌浆对物质运转的依赖性大。从本试验结果来看,在优化灌溉及优化施肥条件下,冬小麦抽穗前的干物质日增长量、干物质阶段积累量及干物质阶段积累量占总量的百分比均低于传统水肥处理,但是抽穗到成熟的生育后期,传统灌溉-优化施肥、优化灌溉-传统施肥、优化水肥和秸秆还田优化水肥处理冬小麦干物质日增长量分别比对照增加 8.88, 29.63, 33.92, 25.91 kg/hm<sup>2</sup>,干物质阶段积累量分别比对照增加 0.40%, 39.02%, 22.62% 和 20.45%,干物质阶段积累量占整个生育期干物质积累总量的百分比也分别比对照增加 2.77%, 5.63%, 2.99% 和 4.45%,而且经济系数也都有不同程度的提高,即干物质转化效率提高,物质生产结构优于传统水肥。表明与传统水肥处理相比,优化灌溉及优化施肥可以保证冬小麦获得相对较高的生物产量和良好的物质生产结构以获得相对较高的经

济产量。

2.2 不同水氮优化组合模式下冬小麦的产量结构

冬小麦单位面积的产量决定于穗数、穗粒数及千粒重。虽然各处理之间冬小麦的产量差异不显著,但是不同水肥处理对冬小麦产量构成因素的影响却有着明显的不同,突出表现在穗粒数和千粒重方面(表 3)。

穗数是形成冬小麦产量的决定性因素。与传统水肥相比,传统灌溉-优化施肥分蘖偏少、分蘖成穗率低,有减少收获穗数的作用;优化灌溉-传统施肥分蘖成穗率低,但分蘖数量大,有增加收获穗数的作用;秸秆还田优化水肥虽然分蘖数略低于传统水肥,但成穗率高,也有增加收获穗数的作用;优化水肥分蘖数、成穗率和单位面积穗数与传统水肥比较接近(表 5)。但统计分析表明,各处理间收获穗数均无显著性差异。如传统灌溉-优化施肥收获穗数只比对照减少了 2.94%,优化灌溉-传统施肥收获穗数也只比对照增加了 4.03%,优化水肥和秸秆还田优化水肥收获穗数也仅仅分别比对照增加了 0.039% 和 5.00%。这一结果表明,不同水氮优化管理模式均可以保证在单位面积上获取足够的冬小麦穗数。

表 5 冬小麦各处理分蘖成穗特点

Tab. 5 The tiller earing characteristics of winter wheat of different irrigation-nitrogen treatments

处理 Treatment codes	单位面积 基本苗数 ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ ) The basic seedling number per unit area	单位面积总 分蘖数 ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ ) The total tiller number per unit area	单位面积 穗数 ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ ) The ear number per unit area	单位面积 分蘖穗数 ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ ) The tiller ear number per unit area	分蘖成穗率 (%) Tiller ear in the total tillers percentage	分蘖穗百分率 (%) Tiller ear percentage in the total ears	单位面积无效分蘖数 ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ ) The ineffective tiller number per unit area
a	472.2	1 020.1	594.8	122.6	12.0	20.6	897.5
b	472.2	1 393.9	637.5	165.3	11.9	25.9	1 228.6
c	472.2	1 081.4	615.2	143.0	13.2	23.2	938.5
d	472.2	1 044.1	643.3	171.1	16.4	26.2	872.9
e	472.2	1 065.1	612.8	140.6	13.2	22.9	924.5

与传统水肥相比,传统灌溉-优化施肥和优化灌溉-传统施肥增加了穗粒数,但差异并不显著,如传统灌溉-优化施肥和传统灌溉-传统施肥穗粒数仅分别比对照增加了 0.6 粒/穗和 0.9 粒/穗;但优化水肥和秸秆还田优化水肥穗粒数分别比对照减少 2.3 粒/穗和 1.5 粒/穗,差异显著。优化水肥与秸秆还田优化水肥相比,秸秆还田对穗粒数无显著影响。

粒重是冬小麦最后形成的一个产量构成因素,根据前人研究报道,粒重在产量中所占比重约为 23.2%,是三个产量构成因素中最小的,但是粒重的遗传控制力约为 52.0%~81.7%,却是三个产量因素中最大的。就是说粒重对生育环境条件变化的敏

感程度却是最小的。因此,从理论上讲,产量结构粒重的变化理应是最稳定的,对产量高低的作用亦应逊色于单位面积穗数和穗粒数而居末位<sup>[15]</sup>。但是,实践与理论之间有差距。根据本试验结果,优化水肥和秸秆还田优化水肥冬小麦千粒重显著高于传统灌溉-优化施肥、优化灌溉-传统施肥和传统水肥,后三者之间无显著性差异,秸秆还田对千粒重无明显影响(表 3)。对不同处理子粒灌浆过程的观测结果(表 6)表明,优化水肥处理和秸秆还田优化水肥处理,子粒快速灌浆阶段的灌浆强度明显高于对照,成熟时千粒重最高。这主要与两处理良好的根系发育<sup>[19]</sup>和子粒灌浆期的喷灌改善农田生态环境有直接关系<sup>[20]</sup>。秸秆还田对灌浆强度没有明显的影响。

生育后期群体光照条件变差和轻度贪青对灌浆过程带来不利影响,成熟时千粒重最低。传统灌溉 - 优化施肥处理,小麦叶片增厚叶片质量高,株型紧凑,群体通风透光状况良好,有利灌浆,成熟时的千粒重

表 6 冬小麦各处理子粒日灌浆强度

Tab. 6 The grain filling rate of winter wheat of different irrigation-nitrogen treatments

处理 Treatment codes	开花后的天数 (d) Days after flowering					
	g/1000 粒					
	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30
a	1.42	2.08	2.90	2.20	0.50	-0.43
b	0.88	1.56	2.50	2.40	0.38	-0.67
c	1.30	2.00	3.16	2.26	0.56	-0.06
d	1.40	2.00	3.00	2.20	0.62	-0.33
e	1.48	2.14	2.68	2.02	0.46	-0.20

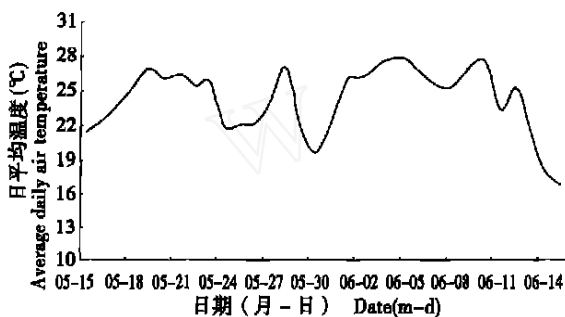


图 1 2000 - 2001 年度冬小麦开花 - 成熟日平均温度变化

Fig. 1 Changes of average daily air temperature from flowering to harvest of winter wheat in year 2000 - 2001

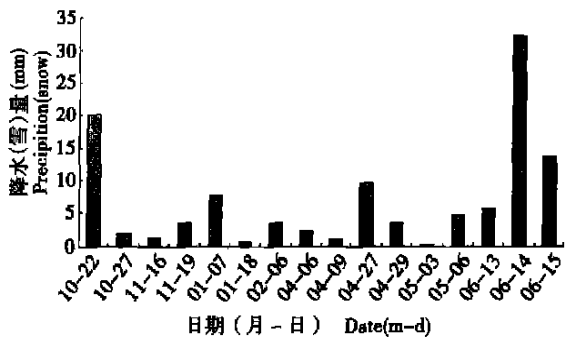


图 2 2000 - 2001 年度冬小麦生育期间降水(雪)量

Fig. 2 Precipitation(snow) during winter wheat growth season in year 2000 - 2001

高于优化灌溉 - 传统施肥处理。另外,在本年度冬小麦子粒快速灌浆阶段,平均气温高达 25.2℃,6月3日、4日及5日连续3d出现了27℃以上的高温天气(图1),导致灌浆过程提前结束,6月13~15日较大降水天气过程引起小麦穗发芽,致使开花后26~30d灌浆强度出现负值(图2)。这些不利因素

影响了该年度各处理子粒干物质积累和千粒重。

### 2.3 不同水氮优化组合模式下冬小麦水分利用效率和氮肥利用率

与传统水肥相比较,优化灌溉 - 传统施肥氮肥当季利用率无显著性差异,传统灌溉 - 优化施肥、优化水肥及秸秆还田优化水肥氮肥当季利用率显著提高,其中优化水肥和秸秆还田优化水肥最高,并且与传统灌溉 - 优化施肥差异显著,这可能是由于传统灌溉 - 优化施肥在施氮后畦灌的灌溉量大,导致氮素大量淋失,降低了氮素的有效利用所致。在传统灌溉 - 优化施肥、优化灌溉 - 传统施肥、优化水肥及秸秆还田优化水肥条件下,冬小麦水分利用效率均有不同程度的提高,其中,秸秆还田优化水肥最高,但各处理间的差异并不显著(表7)。

表 7 冬小麦各处理水分利用效率和

氮肥当季利用率

Tab. 7 The water use efficiency and nitrogen use efficiency of winter wheat of different irrigation-nitrogen treatments

处理 Treatment code	a	b	c	d	e
水分利用效率(kg/m <sup>3</sup> ) Water use efficiency	0.618	0.566	0.624	0.630	0.540
氮肥当季利用率(%) Nitrogen use efficiency in wheat growth season	35.9	18.2	67.3	70.3	14.3

注:水分利用效率是指作物消耗单位水分所获得的产量,氮肥当季利用率 = (施氮植株吸氮量 - 当季空白植株吸氮量) / 施氮量 × 100 %

Note: Water use efficiency is grain yield per unit water consumption amount, nitrogen use efficiency in wheat growth season = (N absorption amount of wheat plants of N application treatment - N absorption amount of wheat plants without N application) / N application amount × 100 %

### 3 结论与讨论

现代农业生产的最终目的是以较少的水氮等农业生产资源投入量来获取理想的经济产量。本试验研究结果表明,在各水肥优化组合模式和传统水肥下冬小麦产量无显著性差异,但是优化施肥与传统施肥相比却极大地提高了作物的氮肥当季利用率,较少且合理的氮肥施肥量是主要原因。由此可见,根据作物目标产量利用三通道连续流动分析仪对土壤 Nmin 的测试结果和叶绿素仪对植株硝酸盐含量的测定结果来确定冬小麦施肥量的优化施肥技术极具推广价值。优化灌溉与传统灌溉相比水分利用效

率也有所提高,但效果不明显,这主要是由于本试验中优化灌溉的灌溉量的确定取决于土壤水分含量的变化,是以保证小麦生长期间不受水分胁迫为标准,优化灌溉的灌溉量依然较大,因而导致了作物水分利用效率的提高不是十分明显。因此,如何进一步挖掘冬小麦优化灌溉的节水潜力,进一步提高优化灌溉的水分利用效率还需要作深入的研究。关于这一点,我们可以从冬小麦整个生育期间的需水规律来考虑,挖掘生育前期的节水潜力。另外,从本试验结果还可以看出,秸秆还田有利于作物水分利用效率的提高,这显然与秸秆覆盖还田有效地抑制了土壤水分的蒸发有着直接的关系<sup>[21,22]</sup>。综合考虑,秸秆还田优化水肥为最佳水肥优化组合模式。但优化水肥面临的突出的问题是穗粒数减少。因此,在生产实践中应用此栽培模式时应注意在施用好保蔴增花起身肥水和确保麦苗无贪青态势的基础上,适量增加拔节肥水的施用量,以达到保花、增粒、增粒重、进一步挖掘冬小麦增产潜力之目的。

#### 参考文献:

- [1] 何希吾. 水资源在提高我国土地生产能力中的地位和作用[J]. 自然资源学报, 1991, 6(2): 137 - 144.
- [2] 高寅堂. 地下水开发利用动态[J]. 地下水, 1990, 12(2): 115 - 117.
- [3] 李英能. 华北地区节水农业标准初探[J]. 灌溉排水, 1993, 12(1): 1 - 6.
- [4] 曾宪坤. 中国化肥工业的现状与展望[J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 119 - 125.
- [5] 陈新平, 张福锁. 京郊蔬菜氮肥施用中的问题与对策探讨[A]. 见: 谢建昌, 陈际型. 菜园土壤肥力合理施肥[M]. 北京: 河海大学出版社, 1997. 10 - 18.
- [6] 中国农科院农田灌溉所. 河南冬小麦的节水灌溉模式[J]. 灌溉排水, 1986, 5(2): 22 - 28.
- [7] 陈培元, 李英, 陈建军, 等. 限量灌溉对冬小麦抗旱增产和水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1992, 10(1): 48 - 53.
- [8] 亓新华, 于振文, 刘芳, 等. 中高产麦田水分变化规律及节水灌溉方案的研究[J]. 山东农业大学学报, 1993, 24(1): 55 - 62.
- [9] 李建民, 王璞, 周殿玺, 等. 冬小麦节水高产栽培技术及其生理基础的研究[A]. 见: 李建民, 周殿玺, 王璞, 等. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 3 - 16.
- [10] 王璞, 王启现, 鲁来清, 等. 灌水运筹对冬小麦粒重和产量的影响[J]. 华北农学报, 2001, 16(3): 80 - 85.
- [11] 鲍久奎. 肥料对于作物生长和发育的影响[J]. 西南农业科学, 1956, (1): 69 - 78.
- [12] Anter F. Studies on nitrogen fertilization of mexican cochat 3 nitrogen uptake and translocation at different growth stage [J]. Agricultural Research Review, 1977, 55(5): 107 - 118.
- [13] 王源. 冬小麦小花发育与 C, N 代谢的关系[J]. 植物学报, 1980, 6(3): 139 - 146.
- [14] 刘兴海, 王树安, 李绪厚. 冬小麦抗逆栽培技术原理的研究. 不同生育期重施氮肥对冬小麦生育和抗逆性的影响[A]. 见: 梁振兴, 刘兴海. 小麦产量形成的栽培技术原理[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1994. 14 - 26.
- [15] 梅楠, 朱文琳. 小麦生产系统工程的基本原理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 78 - 113.
- [16] 岳寿松, 于振文, 余松烈. 不同生育时期施氮对冬小麦氮素分配及叶片代谢的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 812 - 815.
- [17] 李建民, 李世娟, 周殿玺, 等. 冬小麦限水灌溉条件下氮肥施用制度的研究. 产量形成与资源利用效率[A]. 见: 李建民, 周殿玺, 王璞, 等. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 175 - 182.
- [18] 陈新平, 李志宏, 王兴仁, 等. 土壤植株快速测试推荐施肥技术体系的建立与应用[J]. 土壤肥料, 1999, (2): 6 - 10.
- [19] 李志勇, 王璞. 优化水肥及传统水肥对冬小麦根系生长及水氮利用效率的影响[J]. 河南农业科学, 2003, (9): 42 - 45.
- [20] 杨晓光, 陈阜, 宫飞, 等. 喷灌条件下冬小麦生理特征及生态环境特点的试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 35 - 37.
- [21] 刘巷禄. 旱地玉米秸秆覆盖栽培的增产效果[J]. 山西农业科学, 1990, (1): 9 - 10.
- [22] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 等. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59 - 66.