

网络出版时间:2012-09-25 10:09

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120925.1009.033.html>

不同水肥优化模式对冬小麦生长发育及产量的影响

贾 亮¹, 翟丙年¹, 冯梦龙¹, 王明英¹, 强晓敏¹, 赵粉萍², 党松茂²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 澄城县农业技术推广中心, 陕西 澄城 715200)

[摘 要] **【目的】**在渭北旱塬有限灌溉条件下, 优化小麦水氮管理, 为渭北旱塬冬小麦高产及资源高效利用提供理论依据。**【方法】**通过大田试验, 研究了优化施氮补灌、秸秆覆盖和有机无机肥结合对冬小麦群体动态、干物质量及产量的影响。**【结果】**各处理小麦从出苗开始群体数量不断增加, 到返青期达最大后开始下降; 返青期以前, 各处理之间没有显著差异, 且群体数量和干物质量都以农户模式 2(农户传统施肥灌溉处理)最高; 返青期后经拔节期追氮补灌, 小麦群体数量和干物质量存在显著差异, 以优化模式 3-1(优化水氮管理并结合秸秆覆盖和配施有机肥)最高, 施氮和灌水均提高了小麦的群体总茎(穗)数和干物质量。各处理产量以优化模式 3-1 最高, 为 5 542 kg/hm², 较对照、农户模式 1(不灌水的农户传统施肥处理)和农户模式 2 分别显著提高了 110.8%, 72.1% 和 17.8%。**【结论】**在渭北旱塬有限灌溉条件下, 优化模式 3-1 不仅节约大量水资源, 而且显著提高了小麦产量。

[关键词] 冬小麦; 水肥优化模式; 小麦产量; 群体动态

[中图分类号] S512.1⁺1; S143.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)10-0075-07

Effects of different optimized water and fertilizer modes on the yield and growth of winter wheat

JIA Liang¹, ZHAI Bing-nian¹, FENG Meng-long¹, WANG Ming-ying¹,
QIANG Xiao-min¹, ZHAO Fen-ping², DANG Song-mao²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Agricultural Technology Extension Center of Chengcheng County, Chengcheng, Shaanxi 715200, China)

Abstract: 【Objective】The research was on the optimized irrigation-fertilization of winter wheat to provide theoretical basis for the cultivation measures of grains yield and resource using efficiency in the condition of water deficit in Weibei dryland. **【Method】**A field experiment was carried out to study the effects of optimized nitrogen with supplementary irrigation, straw mulch, combination of organic manure and inorganic fertilizer on the population dynamics, dry biomass and yield of winter wheat. **【Result】**The results showed that the population amount of the each treatment all increased after emergence, reached the highest at revival stage, and decreased afterwards. Before the revival stage, dry biomass and population were the highest in the farmers' mode 2 treatment (farmers' traditional fertilization and irrigation), while there was no significant difference among all the treatments on the population amount. After the topdressing nitrogen and supplementary irrigation in jointing stage, significant differences were showed in the population amount and dry biomass; dry biomass and population were the highest in the optimized mode 3-1. Nitrogen and irrigation could improve the population and dry biomass. The maximum yield was 5 542 kg/hm²

[收稿日期] 2012-02-23

[基金项目] 国家小麦现代产业技术体系建设专项(Z225020803); 西北农林科技大学“创新团队建设计划”项目(Z111021005); 国家支撑计划项目(2008BADA4B09)

[作者简介] 贾 亮(1987—), 男, 山东临沂人, 硕士, 主要从事旱地水肥管理研究。E-mail: jialiang624@yahoo.com.cn

[通信作者] 翟丙年(1967—), 男, 陕西宝鸡人, 教授, 博士, 主要从事植物营养调控与旱地水肥管理研究。

E-mail: bingnanz@sohu.com

in the optimized mode 3-1 which was 110.8%, 72.1%, 17.8% higher than control treatment farmers' mode 1 (farmers' traditional fertilization) and farmers' mode 2, respectively. 【Conclusion】 In short, under the limited irrigation condition of Weibei dryland, optimized mode 3-1 could effectively save great amount of water resource and increase the grain yield of winter wheat, so it has a great promotion value.

Key words: winter wheat; water and fertilizer model; yield; population dynamics

我国是一个水资源分布极不均匀的农业大国,作为旱作农业区的渭北旱塬是陕西重要的小麦生产区。由于该地区降雨稀少,土壤肥力低下,干旱缺水、养分不足成为限制该地区小麦增产的关键因素^[1-2]。随着综合生产能力的不断提高,农民对土地的投入逐渐增加,但目前传统的施肥仍然存在施肥不足,重化肥而轻视有机肥的现象^[3]。渭北旱塬当地农民仍采用传统的水肥管理方式,不仅作物产量无法得到有效提高,而且水氮利用效率低、损失量大^[4]。因此,如何采取有效措施来提高有限水肥资源的利用效率,提高作物产量,并对土壤进行培肥,已成为提高当地农田生产力水平的关键。

在渭北旱塬开展优化施肥与优化灌溉相结合,可以使冬小麦在生育期内协调水肥并能均衡生长发育,从而获得小麦的高产稳产^[5]。大量研究表明,良好的群体质量是小麦产量的重要基础,小麦的高产群体结构受品种、施肥、灌水等因素影响,而合理的氮肥供应是提高小麦群体质量和产量的关键^[6-11]。研究表明,拔节期是冬小麦水氮配合效应的关键期和亏缺敏感期,拔节期供水供肥可以显著地提高冬小麦产量^[12];拔节期灌水与秸秆覆盖相结合,其增产效果最明显^[13]。而有机无机肥配施能增强土壤酶活性,进而促进土壤中有机养分的转化,有利于作物吸收和利用土壤养分,从而促进作物生长,提高作物产量^[14]。

目前,有关补充灌溉、秸秆覆盖、有机无机肥料配施对冬小麦生长发育及产量的影响研究较多,但多为单一或两种技术措施的结合,将栽培措施和水肥管理等相结合,探讨对冬小麦生长发育及产量影响的研究较少。因此,本试验从渭北旱塬冬小麦生产实际出发,通过有限灌溉、覆盖保墒,优化施肥等技术的结合,研究不同水肥处理对冬小麦群体质量和产量的影响,旨在为半干旱农业区冬小麦高产稳产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于陕西澄城县,该县地处陕西渭北高

原,东经 109°56′30″,北纬 35°13′14″,海拔 653 m,属温带大陆性季风气候,多年平均降雨量 544.6 mm,年平均气温 12.1℃,无霜期 204 d,昼夜温差大,光照充足,年日照时数达 2 616 h。

本试验为长期定位试验的第 2 年,在开展试验以前一直为大田传统耕作,通常为氮磷配施,施肥量均为 90~120 kg/hm²,无有机肥投入。试验区土壤类型为黄绵土,黄土母质,基础肥力中等。0~20 cm 土层有机质含量 13.56 g/kg,全氮 0.77 g/kg,硝态氮 11 mg/kg,铵态氮 3 mg/kg,速效磷 15.41 mg/kg,速效钾 151 mg/kg,pH 为 8.19。

1.2 试验设计

本试验为随机区组设计,共设有对照(CK)、农户模式 1(FM1)、农户模式 2(FM2)、优化模式 1-1(OM1-1)、优化模式 1-2(OM1-2)、优化模式 2(OM2)、优化模式 3-1(OM3-1)、优化模式 3-2(OM3-2)8 个处理,详见表 1。4 次重复。小区面积为 108 m²(18 m×6 m)。供试冬小麦品种为晋麦 47,播种量为 150 kg/hm²。农户模式 1 为采用传统施氮“一炮轰”的施肥方式;农户模式 2 为在农户模式 1 基础上增加了传统返青期漫灌;优化模式为在节水的前提下,采用以基追比为 2:1 结合拔节期追氮补灌及秸秆覆盖和配施有机肥相结合的优化施氮灌溉方案,并且根据第 1 年小麦试验田中单位土体内土壤供给的无机氮和有机肥的矿化养分状况,增加了优化模式 1-1、3-2。氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 12%),钾肥为硫酸钾(含 K₂O 50%),有机肥为猪粪(有机质 32.5 g/kg,全氮 1.70 g/kg,有效磷 112.44 mg/kg,速效钾 1 218.1 mg/kg),覆盖物为小麦秸秆(覆盖量为 4 500 kg/hm²);基肥在冬小麦播种前撒施,翻入土中;小麦秸秆于冬前人工均匀撒入试验小区;追肥结合拔节期灌水人工撒施,其余田间管理与当地农户相同。

试验于 2010-10-01—2011-06-13 进行,为定位试验第 2 年。小麦于 2010-10-01 机械播种,12-08 进行秸秆覆盖;2011-03-10 对农户模式 2 返青期漫灌,04-01 对优化模式进行拔节期追肥补灌,06-13 收获,整个小麦生育期内降水量为 142.5 mm。

表 1 冬小麦优化灌水及施肥试验方案

Table 1 Experiment design of optimized water and fertilizer management in winter wheat

处理 Treatment	磷肥/ (kg·hm ⁻²) P ₂ O ₅	钾肥/ (kg·hm ⁻²) K ₂ O	基肥氮/ (kg·hm ⁻²) Base fertilizer N	小麦秸秆/ (kg·hm ⁻²) Straw mulching	有机肥/ (kg·hm ⁻²) Organic fertilizer	拔节期追肥氮/ (kg·hm ⁻²) Topdressing N	灌水量/ mm Amount of irrigation	灌水时期 The stage of irrigation
CK	120	45	0	0	0	0	0	—
FM1	90	0	120	0	0	0	0	—
FM2	90	0	120	0	0	0	130	返青期 Revival stage
OM1-1	120	45	60	0	0	30	65	拔节期 Jointing stage
OM1-2	120	45	100	0	0	50	65	拔节期 Jointing stage
OM2	120	45	100	4 500	0	50	65	拔节期 Jointing stage
OM3-1	120	45	100	4 500	30 000	50	65	拔节期 Jointing stage
OM3-2	120	45	87	4 500	30 000	43	65	拔节期 Jointing stage

1.3 测定项目及方法

1.3.1 群体调查 小麦出苗后三叶期时,从每小区选定 3 段长势均匀的 1 m 样段定点调查,并依次于小麦越冬期、返青期、孕穗期、开花期、成熟期定点调查群体数量。

1.3.2 干物质取样与考种计产 于小麦越冬期、返青期、孕穗期、开花期、灌浆期、成熟期,从每个小区采集长势均匀的 1 m 植株样段带回实验室,并自抽穗期开始按叶片、茎鞘、穗(或籽粒、颖壳)等分器官处理,105 ℃杀青后置 70 ℃烘箱中烘干至恒质量记为干物质量。

收获前,在已定的 3 段 1 m 长的长势均匀的小麦样段测定有效穗数;选择有代表性的 15 株小麦,

手工脱粒,测定穗粒数;准确称取 1 000 个小麦籽粒的质量,测定千粒质量(2 次的质量相差小于 0.5 g)。小麦成熟时,在各试验小区选取 3 m×2 m 代表性样方,单独收割、晾晒,脱粒计产。

1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行统计分析,并用 LSD 法进行差异显著性多重比较($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同水肥优化模式对冬小麦群体动态的影响
不同水肥优化模式对冬小麦群体总茎(穗)数的影响见表 2。

表 2 不同水肥优化模式对冬小麦群体总茎(穗)数的影响

Table 2 Effect of different optimized modes on winter wheat population culms (spikes)

处理 Treatment	群体茎数/(万·hm ⁻²) Population						成穗率/% Spike rate
	出苗期 Emergence stage	越冬期 Over-wintering stage	返青期 Revival stage	孕穗期 Booting stage	开花期 Anthesis stage	成熟期 Maturity stage	
CK	275 a	615 a	885 d	382 d	361 c	319 e	34.0 c
FM1	278 a	625 a	967 bc	456 c	391 c	371 d	38.8 c
FM2	314 a	703 a	1 078 a	572 a	546 ab	497 b	45.1 b
OM1-1	279 a	673 a	935 cd	544 ab	514 b	455 c	47.4 ab
OM1-2	293 a	665 a	1 066 a	576 a	543 ab	504 ab	48.8 ab
OM2	287 a	689 a	1 044 ab	560 ab	545 ab	523 ab	49.0 ab
OM3-1	289 a	692 a	1 059 a	579 a	563 a	537 a	51.9 a
OM3-2	284 a	659 a	975 bc	535 b	516 b	498 b	49.0 ab

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:The same letters in the same column mean no differences at the 0.05 level. The same are as follow.

由表 2 可以看出,不同水肥优化模式都是从出苗开始群体数量不断增加,到返青期达到最大,然后又开始下降。在出苗期和越冬期,各处理冬小麦群体茎数无显著差异,而由于水氮管理不同,返青期以

后各处理群体数量出现显著差异。整个生育期以 CK 处理群体数量最低,出苗期、越冬期与返青期以 FM2 最高,小麦抽穗之后以 OM3-1 最高。各时期 FM2 群体数量高于 FM1,返青期灌水前分别提高

了 13.0%,12.6%,11.5%;返青期漫灌之后分别显著提高了 25.3%,39.7%,42.4%和 34.0%,说明返青期漫灌有利于提高小麦群体数量。OM1-2、OM3-1 群体数量分别高于 OM1-1、OM3-2,说明适当增施氮肥可以增加小麦群体数量。返青期之后,小麦进入拔节孕穗期,也进入两级分化的重要时期,群体数量开始迅速下降。孕穗期 CK 处理较返青期降低了 58.8%;FM 降低了 49.9%;OM 降低了 44.9%,说明拔节期追氮补灌有利于延缓两极分化,促进小麦成穗。

由表 2 还可以看出,不同水氮处理小麦成穗率有显著差异,表现为 OM>FM>CK。其中,FM2>FM1>CK,说明增施氮肥和返青期漫灌有利于小麦的分蘖成穗。OM 较 FM 和 CK 分别提高了 17.3%和 44.7%,说明拔节期追肥补灌促进了小麦成穗,有利于小麦高产稳产。OM3-1 的小麦成穗率最高,为 51.9%,较 OM2、FM、CK 分别提高了 6.0%,23.7%和 52.6%,说明有机无机肥配施结合拔节追氮补灌可以进一步提高小麦分蘖成穗率,促进小麦高产的形成。

2.2 不同水肥优化模式对冬小麦干物质质量的影响

由表 3 可以看出,返青期前各处理干物质质量的形成比较缓慢,返青期后小麦进入拔节期,各处理干

物质的形成速度明显加快,小麦经过灌浆期到成熟期,干物质积累速度开始减缓。由于各处理水氮管理不同,随着生育期的推迟干物质质量差异增大。小麦返青期之前,各处理干物质质量以施氮量为 120 kg/hm² 的 FM2 最高,说明基施氮肥量越高,干物质质量越高。返青期后,由于 CK 和 FM1 处理没有灌水,其干物质积累量和积累速率显著低于其他灌水处理,说明灌水可以促进小麦干物质的形成。从灌浆期到成熟期,增施氮肥并拔节期追氮补灌的优化模式小麦干物质质量显著高于传统灌溉的 FM2,这说明增施少量氮肥并结合拔节追氮补灌可以使小麦生育后期有充足的氮素营养,能够促进小麦营养生长和生殖生长,进而促进干物质的形成。

各生育期相比,开花期到灌浆期各处理干物质积累速度最快,因为小麦要经过生殖生长发育形成大量干物质来促进籽粒形成。各处理冬小麦经过不同速度的生长导致灌浆期和成熟期干物质积累存在显著的差异,均表现为 OM3-1>OM2>OM1-2>OM3-2>FM2>OM1-1>FM1>CK,这表明有机无机肥的配施、秸秆覆盖、拔节期追氮补灌相结合,较传统施肥灌水更加有利于小麦的干物质累积,有利于形成小麦高产稳产。

表 3 不同水肥优化模式对冬小麦干物质质量的影响

Table 3 Effect of different optimized modes on winter wheat dry biomass							kg/hm ²
处理 Treatment	越冬期 Over-wintering stage	返青期 Revival stage	孕穗期 Booting stage	开花期 Anthesis stage	灌浆期 Filing stage	成熟期 Maturity stage	
CK	1 000 d	1 141 e	3 067 c	4 680 e	10 023 d	10 395 e	
FM1	1 061 cd	1 193 de	3 725 c	7 081 d	10 904 cd	11 385 e	
FM2	1 266 a	1 636 a	5 538 ab	9 078 ab	12 983 bc	14 960 cd	
OM1-1	1 055 cd	1 196 de	5 050 b	8 555 bc	12 887 bc	14 048 d	
OM1-2	1 066 cd	1 315 cd	5 891 a	8 130 c	16 593 a	18 042 b	
OM2	1 176 ab	1 412 bc	5 461 ab	9 279 ab	16 693 a	18 810 ab	
OM3-1	1 206 ab	1 521 ab	5 941 a	9 449 a	17 549 a	19 718 a	
OM3-2	1 112 bc	1 333 cd	5 113 ab	7 789 cd	14 413 b	15 774 c	

2.3 不同水肥优化模式对冬小麦产量及其构成要素的影响

由表 4 可以看出,不同水肥处理的小麦籽粒产量有着显著差异,总体表现为 OM>FM>CK。其中,FM1 籽粒产量较 CK 提高了 22.5%,说明施用氮肥可以显著提高小麦产量。FM2 籽粒产量较 FM1 提高 40.2%,说明该地区农户传统返青漫灌也可以显著提高小麦产量。施氮量为 150 kg/hm² 的 OM1-2 较施氮量为 90 kg/hm² 的 OM1-1 增产 14.5%,说明在一定施氮量范围内,小麦产量随着施氮量的增加而增加。与 OM1-2 相比,增加秸秆覆盖

的 OM2 产量提高了 7.3%,但未达到显著水平,说明优化施氮灌溉条件下,增加秸秆覆盖也可以提高小麦产量。本试验条件下,OM3-1 产量最高,为 5 542 kg/hm²,与 OM1-2、OM2、FM2 相比,分别增产 2.2%,9.7%和 17.8%,说明在优化水肥管理结合秸秆覆盖的基础上,增施有机肥也可以提高小麦产量。各处理比较表明,该地区影响小麦产量的限制性因素主要是氮肥和水,秸秆覆盖以及有机肥的投入可以显著增加小麦产量。

由表 4 还可以看出,各处理有效穗数、穗粒数、千粒质量的变异系数依次为 16.8%,8.2%和

2.9%,说明不同水肥管理措施主要是通过影响小麦有效穗数及穗粒数来进一步影响小麦产量。不同水肥处理的冬小麦产量三要素有着显著差异,整体趋势均为 OM>FM>CK。其中,OM3-1 小麦有效穗数最大,为 537 万株/hm²;与 FM1 相比,FM2 有效穗数增加了 34.0%,说明在渭北旱塬半干旱条件下,返青期灌水 130 mm 可以显著增加小麦有效穗

数。OM1-2、OM3-1 的有效穗数较 OM1-1、OM3-2 分别增加了 10.7%和 7.8%,说明在一定施氮量范围内,小麦有效穗数随着施氮量的增加而增加。在本试验条件下,OM 处理的有效穗数、穗粒数高于 FM,说明拔节期追氮补灌、秸秆覆盖及配施有机肥均有利于提高小麦的有效穗数、穗粒数,从而提高小麦产量。

表 4 不同水肥优化模式对冬小麦产量及其构成要素的影响

Table 4 Effects of different optimized modes on grain yield and composition of winter wheat

处理 Treatment	有效穗数/(万·hm ⁻²) Number of spikes	穗粒数 Kemels per ear	千粒质量/g 1 000-kemel mass	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²) Grain yield
CK	319 e	31.46 c	42.18 c	2 629 e
FM1	371 d	35.29 bc	42.99 c	3 221 d
FM2	497 b	34.85 bc	44.49 b	4 704 c
OM1-1	455 c	34.07 bc	44.45 b	4 567 c
OM1-2	504 ab	40.22 a	44.38 b	5 054 b
OM2	523 ab	37.65 ab	45.53 ab	5 425 ab
OM3-1	537 a	39.98 a	46.06 a	5 542 a
OM3-2	498 b	36.70 ab	44.95 ab	5 000 b

3 结论与讨论

在冬小麦生产中,分蘖对个体生长发育和群体发展具有重要作用^[6],小麦群体数量的高低与最终产量密切相关。有研究表明,氮肥施用不足会导致小麦群体数量不够,影响小麦的分蘖和产量,而氮肥施用过量则导致小麦生长过旺、无效分蘖增加^[15],只有适量施用氮肥才能显著增加小麦群体有效分蘖数,提高小麦产量^[8];拔节期追施氮肥结合限水灌溉,可以明显增加土壤水分含量,提高小麦产量^[16-17]。本研究结果表明,在渭北旱塬有限灌溉条件下,拔节期前以基施氮肥用量最高并结合返青期灌水的农户模式 2(FM2)群体数量最大,而拔节期追氮补灌后优化模式群体数量超过农户模式,说明优化模式的拔节期追氮补灌可以减少冬小麦的无效分蘖,有利于有效穗数的增加,这与前人研究结果一致^[18]。

小麦产量是由合理的群体动态和产量三要素相协调而达到的。研究表明,影响冬小麦产量构成要素的大小顺序为有效穗数>穗粒数>千粒质量,有效穗数是构成产量的主导因素^[19]。在本试验条件下,产量以有效穗数最高的 OM3-1 处理最高,并且各处理产量均随着有效穗数的增加而增加,这说明有效穗数是影响渭北旱塬冬小麦产量的关键因素,而拔节期追氮补灌、秸秆覆盖及配施有机肥均有利于增加有效穗数,从而提高小麦产量。

麦田秸秆覆盖可以减少农田土壤表面水分蒸

发,保护土壤表层结构,培肥土壤,从而提高小麦产量^[20]。研究表明,秸秆覆盖、灌水量、灌水时期和灌溉次数等水分调控模式,对提高作物产量和水分利用效率有重要影响,旱作土壤施用有机肥和秸秆覆盖,有利于改善土壤理化性质,提高作物产量^[21-24]。李全起等^[13]研究表明,拔节期灌水与秸秆覆盖相结合,可增加小麦氮素吸收和干物质积累,提高小麦产量。本研究结果也表明,增加秸秆覆盖可以提高小麦产量;在秸秆覆盖的基础上增施有机肥可以显著提高小麦产量。另外,优化施肥灌溉、秸秆覆盖和有机肥配施也可以影响水分和养分的利用效率,其作用还有待于在后续工作中进一步研究。

试验地地处黄土高原南端,年降水量 500~600 mm,该地区大部分农民有冬灌或春灌的习惯,并且多采用传统的漫灌方式,灌水量约 130 mm,水资源浪费巨大。而采用优化的拔节期限水灌溉,不但可以增加冬小麦产量,而且可以节约大量水资源。同时为满足当地果园有机肥的需要,政府大力扶持畜禽养殖业的发展,为麦田有机肥的来源提供了方便。本试验结果表明,优化模式的冬小麦群体数量、干物质量、产量都高于农户模式和对照。其中集优化水肥管理、秸秆覆盖、有机肥等于一体的优化模式 3-1 冬小麦产量最高。因此,采用“优化施氮灌水+秸秆覆盖+有机肥”的集成栽培模式,不仅节约了大量水资源,还大幅提高了小麦产量,促进了旱地农业的可持续发展。从生态环境和经济效益上看,这种集成模式的节水灌溉农业有一定的推广潜力。

[参考文献]

- [1] 张福锁,朱耀瑄.旱地小麦生产第一因素[J].干旱地区农业研究,1992,10(1):39-42.
Zhang F S, Zhu Y X. The primary factor of dryland winter wheat production [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1992, 10(1): 39-42. (in Chinese)
- [2] 刘文国,张建昌,曹卫贤,等.旱地小麦不同栽培条件对土壤水分利用效率的影响[J].西北农业学报,2006,15(5):47-51.
Liu W G, Zhang J C, Cao W X, et al. Effects of different wheat cultivation methods on soil moisture use-efficiency in dryland soil [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2006, 15(5): 47-51. (in Chinese)
- [3] 王圣瑞,马文奇,徐文华,等.陕西省小麦施肥现状与评价研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):31-34.
Wang S R, Ma W Q, Xu W H, et al. Evaluation and present situation of fertilization for wheat in Shaanxi Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(1): 31-34. (in Chinese)
- [4] 巨晓棠,张福锁.中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J].生态环境,2003,12(1):24-28.
Ju X T, Zhang F S. Nitrate accumulation and its implication to environment in north China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2003, 12(1): 24-28. (in Chinese)
- [5] 程宪国,汪德水,张美荣,等.不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响[J].中国农业科学,1996,29(4):67-74.
Cheng X G, Wang D S, Zhang M R, et al. Effects of different soil moistures on growth and nutrient uptake of winter wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1996, 29(4): 67-74. (in Chinese)
- [6] 李朝霞,赵世杰,孟庆伟,等.高粒叶比小麦群体生理基础研究进展[J].麦类作物学报,2002,22(4):79-83.
Li Z X, Zhao S J, Meng Q W, et al. Advances in the study on physiological base of wheat population with high grain-leaf area ratio [J]. Journal of Triticeae Crops, 2002, 22(4): 79-83. (in Chinese)
- [7] 范仲学,王璞,Boeing-Zilkens M,等.优化灌溉与施肥对冬小麦产量的影响[J].麦类作物学报,2003,23(4):99-103.
Fan Z X, Wang P, Boeing-Zilkens M, et al. Effects of optimized irrigation and nitrogen fertilization on grain yield of winter wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2003, 23(4): 99-103. (in Chinese)
- [8] 马兴华,于振文,梁晓芳,等.施氮量和底追比例对小麦氮素吸收利用及子粒产量和蛋白质含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(2):150-155.
Ma X H, Yu Z W, Liang X F, et al. Effects of nitrogen application rate and ratio of base and topdressing on nitrogen absorption, utilization, grain yield, and grain protein content in winter wheat [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(2): 150-155. (in Chinese)
- [9] 赵广才,李春喜,张保明,等.不同施氮比例和时期对冬小麦氮素利用的影响[J].华北农学报,2000,15(3):92-102.
Zhao G C, Li C X, Zhang B M, et al. Effects of different proportion and stage of nitrogen application on nitrogen utilization in winter wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2000, 15(3): 92-102. (in Chinese)
- [10] 赵琳,吉春容,李世清,等.施氮和不同栽培模式对半湿润农田生态系统冬小麦群体特征的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(12):143-148.
Zhao L, Ji C R, Li S Q, et al. Effect of nitrogen and planting modes on the colony characteristic of winter wheat in sub-humid farmland ecosystem [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2007, 35(12): 143-148. (in Chinese)
- [11] 林琪,侯立白,韩伟.不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):561-567.
Lin Q, Hou L B, Han W. Effects of nitrogen rates on grain yield and quality of wheat in different soil fertility [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2004, 10(6): 561-567. (in Chinese)
- [12] 翟丙年,李生秀.冬小麦水氮配合关键期和亏缺敏感期的确定[J].中国农业科学,2005,38(6):1188-1195.
Zhai B N, Li S X. Study on the key and sensitive stage of winter wheat responses to water and nitrogen coordination [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(6): 1188-1195. (in Chinese)
- [13] 李全起,陈雨海,周勋波,等.灌溉和种植模式对冬小麦播前土壤含水量的消耗及水分利用效率的影响[J].作物学报,2009,35(1):104-109.
Li Q Q, Chen Y H, Zhou X B, et al. Effects of irrigation and planting patterns on consumption of soil moisture before sowing and water use efficiency in winter wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(1): 104-109. (in Chinese)
- [14] 李雪屏,陈垣,晋小军,等.有机肥对提高旱作土壤水分利用率的效应[J].干旱地区农业研究,1994,12(2):12-16.
Li X P, Chen Y, Jin X J, et al. The effect of organic fertilizer upon water use efficiency in rainfed land [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1994, 12(2): 12-16. (in Chinese)
- [15] 陆增根,戴廷波,姜东,等.氮肥运筹对弱筋小麦群体指标与产量和品质形成的影响[J].作物学报,2007,33(4):590-597.
Lu Z G, Dai T B, Jiang D, et al. Effects of nitrogen strategies on population quality index and grain yield & quality in weak-gluten wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(4): 590-597. (in Chinese)
- [16] 朱统泉,袁永刚,曹建成,等.不同施氮方式对强筋小麦群体及产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2006,26(1):150-152.
Zhu T Q, Yuan Y G, Cao J C, et al. Effect of the different nitrogen application methods on population, yield and quality of strong gluten wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(1): 150-152. (in Chinese)
- [17] 李巧珍,李玉中,郭家选,等.覆膜集雨与限量补灌对土壤水分及冬小麦产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(2):25-30.

- Li Q Z,Li Y Z,Guo J X,et al. Effects of field rainwater harvesting by plastic mulch and complement irrigation on soil water and yield of winter wheat [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2010,26(2):25-30. (in Chinese)
- [18] 李廷亮 谢英荷,任苗苗,等. 施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响 [J]. 生态学报,2011,31(1):212-220.
Li T L,Xie Y H,Ren M M,et al. Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland [J]. Acta Ecologica Sinica,2011,31(1):212-220. (in Chinese)
- [19] 孙本普,孙士宗,李风云,等. 气候条件对冬小麦穗数的影响研究 [J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):60-64.
Sun B P,Sun S Z,Li F Y,et al. Influence of climatic condition on the spike number per plant of wheat [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2005,13(4):60-64. (in Chinese)
- [20] 方日尧,赵惠青,方 娟. 渭北旱原冬小麦不同覆盖栽培模式的节水效益 [J]. 农业工程学报,2006,22(2):46-48.
Fang R Y,Zhao H Q,Fang J. Water-saving benefits of different mulching cultivation mode for winter wheat in Weibei Highland [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,22(2):46-48. (in Chinese)
- [21] 翟军海,凌 莉,高亚军,等. 补充灌溉、氮素营养与秸秆覆盖对冬小麦生长及产量的影响研究 [J]. 中国生态农业学报,2004,12(1):130-132.
- Zhai J H,Ling L,Gao Y J,et al. Effects of supplementary irrigation,nitrogen fertilizer and straw mulching on the growth and yield of winter wheat [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2004,12(1):130-132. (in Chinese)
- [22] 张树兰,Lars Lovdahl,同延安. 渭北旱塬不同田间管理措施下冬小麦产量及水分利用效率 [J]. 农业工程学报,2005,21(4):20-24.
Zhang S L,Lars Lovdahl,Tong Y A. Effects of different field management practices on winter wheat yield and water utilization efficiency in Weibei Loess Plateau [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2005,21(4):20-24. (in Chinese)
- [23] 杨晓亚,于振文,许振柱. 灌水量和灌水时期对小麦耗水特性和氮素积累分配的影响 [J]. 生态学报,2009,29(2):846-852.
Yang X Y,Yu Z W,Xu Z Z. Effects of irrigation regimes on water consumption characteristics and nitrogen accumulation and allocation in wheat [J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(2):846-852. (in Chinese)
- [24] 邢素丽,刘孟朝,徐明岗. 有机无机配施对太行山山前平原小麦产量和土壤培肥的影响 [J]. 华北农学报,2010,25(S1):212-216.
Xing S L,Liu M C,Xu M G. The research of NPK fertilizer combined with soil organic manure enhancing soil fertilization in Taihang piedmont plain [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2010,25(S1):212-216. (in Chinese)

(上接第 74 页)

- [13] 王 波,张洪江,杜士才,等. 三峡库区天然次生林凋落物森林水文效应研究 [J]. 水土保持通报,2009(3):83-87.
Wang B,Zhang H J,Du S C,et al. Forest hydrological effects of litter layers under different natural secondary forest in Three Gorges Reservoir Area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2009(3):83-87. (in Chinese)
- [14] 朱丽晖,李 冬,邢宝振. 辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能 [J]. 辽宁林业科技,2001(1):35-37.
Zhu L H,Li D,Xing B Z. Eco-hydrological function of forest-litter for secondary natural forest in eastern mountainous region in Liaoning province [J]. Liaoning Forestry Science and Technology,2001(1):35-37. (in Chinese)
- [15] 张 瑞,张建军,赖宗瑞,等. 晋西黄土高原水土保持林适宜密度研究 [J]. 水土保持通报,2009(4):67-71,121.
Zhang R,Zhang J J,Lai Z R,et al. Best density of soil and water conservation forest on loess plateau of western Shanxi province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2009(4):67-71,121. (in Chinese)
- [16] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法 [M]. 北京:中国科学技术出版社,1994.
Technology Department of Forestry Ministry. Method of forest ecosystem research [M]. Beijing: Chinese Scientific and Technical Press,1994. (in Chinese)