

网络出版时间:2013-05-02 10:22

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130502.1022.001.html>

不同水氮处理对冬小麦生长及土壤硝态氮含量的影响

周昌明^{a,b}, 李援农^{a,b}, 蒋耿民^{a,b}, 李莎^{a,b}, 白麟^{a,b}, 吕静^{a,b}

(西北农林科技大学 a 水利与建筑工程学院, b 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究不同施氮量、灌水量对覆膜冬小麦生长及土壤中硝态氮含量的影响。【方法】以“小偃 22 号”为供试材料,通过 2010 年和 2011 年 2 年的大田试验,研究了不同灌水量(750 m³/hm²(冬前灌),1 500(冬前和返青期各灌 750 m³/hm²),2 250(冬前、返青期和拔节期各灌 750 m³/hm²),3 000 m³/hm²(冬前、返青期、拔节期和灌浆期各灌 750 m³/hm²))和施氮量(75,150,225 和 300 kg/hm²,70%基肥,30%追肥)处理对拔节期一成熟期覆膜冬小麦生长、产量及越冬期、返青期和拔节期土壤硝态氮含量的影响。【结果】在拔节期一成熟期,冬小麦的株高随着灌水量和施氮量的增大而增加,表现出明显的正相关性。在越冬期一拔节期,0~200 cm 土层的土壤硝态氮含量先降低后增加,高氮处理能提高表层 0~60 cm 土壤硝态氮含量,高灌水量会降低表层土壤硝态氮含量并增加深层土壤硝态氮含量。小麦产量随着灌水量和施氮量的增大而增加,但在氮肥高于 150 kg/hm²、灌水量高于 2250 m³/hm² 时,产量增加不显著。【结论】灌水量和施氮量对小麦株高、地上部干质量、产量和土壤硝态氮含量都有一定的影响,灌水量和施氮量超过一定值后,小麦的生长指标则不会显著增加。在本试验条件下,灌水量 2 250 m³/hm²(冬前、返青和拔节期各 750 m³/hm²)和施氮量 150 kg/hm²(70%基肥,30%追肥)处理水氮利用效率最佳。

【关键词】 冬小麦;株高;产量;干物质;硝态氮含量

【中图分类号】 S512.1⁺16.2;S512.1⁺17.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2013)05-0052-07

Effects of different water and nitrogen treatments on growth of winter wheat and soil nitrate content

ZHOU Chang-ming^{a,b}, LI Yuan-nong^{a,b}, JIANG Geng-min^{a,b},
LI Sha^{a,b}, BAI Lin^{a,b}, LÜ Jing^{a,b}

(a College of Water Resources and Architectural Engineering, b Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This paper studied the effects of watering and fertilizer coupling on growth and soil nitrate contents of winter wheat with film mulching. 【Method】 Winter wheat “Xiaoyan 22” was used as the test material during crop season in 2010 and 2011. Through providing different water supplements: 750 m³/hm² (750 m³/hm² water supplement before winter), 1 500 m³/hm² (750 m³/hm² water supplement before winter and turning green stage, respectively), 2 250 m³/hm² (750 m³/hm² water supplement before winter, turning green and jointing stage, respectively), 3 000 m³/hm² (750 m³/hm² water supplement before winter, turning green, jointing stage and filling stage, respectively) and different nitrogen applications (75, 150, 225 and 300 kg/hm²), the changes of growth and yield of winter wheat with film mulching during jointing to mature stage and soil nitrate content were studied. 【Result】 During jointing to maturing stage,

【收稿日期】 2012-09-03

【基金项目】 国家“863”计划项目(2011AA100504)

【作者简介】 周昌明(1986—),男,湖北钟祥人,在读硕士,主要从事节水灌溉新技术研究。E-mail:zhouchangming.ok@163.com

【通信作者】 李援农(1962—),男,陕西大荔人,教授,博士,博士生导师,主要从事节水灌溉新技术及 3S 技术应用研究。

E-mail:liyuannong@163.com

there was a significant positive correlation between plant height of winter wheat, water supply and nitrogen application. During overwintering to jointing stage, the soil nitrate contents increased firstly and then decreased in of the depth of 0—200 cm. High nitrogen treatment (300 kg/hm^2) could improve the nitrate content in the depth of 0—60 cm. Irrigation decreased nitrate content in surface soil while increased it in deep soil. The yield increased with irrigation and fertilization until the irrigation quantity raised above $2\,250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ and fertilizing amount was over 150 kg/hm^2 . 【Conclusion】 Nitrogen application and water supplement had certain effects on plant height, dry matter quantity aboveground, yield of winter wheat and soil nitrate contents. However, when they reached a certain level, the growth of winter wheat would not significantly enhance. In the conditions of this study, the treatment with water amount of $2\,250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ and nitrogen amount of 150 kg/hm^2 would get the highest water and nitrogen use efficiency.

Key words: winter wheat; height; yield; dry matter; soil nitrate content

陕西地处西北干旱半干旱地区,降雨量少且时空分布不均,土壤贫瘠且保水保肥性差,耕作粗放,水肥资源紧缺^[1]。土壤水肥供应不足将引起小麦植株体内生理代谢紊乱,光合能力降低,从而抑制小麦的正常发育,影响产量构成因子,使小麦产量下降^[2],据资料统计,我国因干旱所造成的小麦产量损失约为其他自然灾害造成产量损失的总和^[3]。有研究发现,拔节期或孕穗期追施氮肥有助于减缓旗叶光合功能的衰退,延长叶片功能期,提高植株的光合产物积累^[4-5];土壤干旱缺水会导致小麦干物质积累量和籽粒产量降低,充分灌溉可显著提高小麦的生物产量和籽粒蛋白质、淀粉含量^[6]。施用氮肥是小麦生产中最重要增产措施之一^[7]。随着小麦生产中氮肥施用量的增加,土壤供氮水平不断提高,小麦产量大幅度提高。然而,氮肥的持续大量使用,一方面会造成其增产效果下降、肥料利用率降低,对整个大田平均水平而言,氮肥利用率已降至 $30\% \sim 35\%$ ^[8];另一方面,过量的氮素在土壤中积累会对水环境造成污染。大量的研究表明,在年降水量 $400 \sim 800 \text{ mm}$ 的地区,种植禾本科作物且长期大量施用氮肥往往导致硝态氮在土壤深层积累^[9-10]。因此,合理的灌水量、施肥量对于提高作物产量,提高水肥利用效率具有重要意义。本试验研究了从返青期到开花期,水、肥对冬小麦生长及硝态氮含量的影响,以期小麦前期灌溉、施肥管理提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2010-10—2012-06 在陕西杨凌西北农林科技大学农业水土工程重点实验室试验站进行,该试验站地处北纬 $34^\circ 17' 38''$,东经 $108^\circ 04' 08''$,海拔 521 m ,年平均气温为 13°C ,多年平均蒸发量 $1\,500$

mm ,年平均降水量 632 mm ,且主要集中于 7—9 月,地下水埋深 80 m ,属于半湿润易旱地区,试验土壤为壤土。试验站内设有县级自动气象站。土壤基本理化性质:质地为壤土,体积质量 1.58 g/cm^3 ,有机质 15.87 g/kg ,速效磷 13.24 mg/kg ,速效钾 182.91 mg/kg ,全氮 0.67 g/kg ,碱解氮 52.6 mg/kg 。

1.2 试验设计

供试小麦品种为“小偃 22”。试验设灌水量和施氮量 2 个因子,各 4 个水平,其中施氮量 4 个水平分别为 $75 (\text{N}_1)$, $150 (\text{N}_2)$, $225 (\text{N}_3)$ 和 $300 (\text{N}_4) \text{ kg/hm}^2$ 。灌水量的 4 个水平分别为:1 水平 (W_1),仅冬前灌 1 次水,灌水量为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,其他生育期不灌水;2 水平 (W_2),冬前和返青时分别灌水 1 次,每次灌水量为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,共 $1\,500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;3 水平 (W_3),冬前、返青和拔节期各灌水 1 次,每次灌水量均为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,共 $2\,250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;4 水平 (W_4),冬前、返青、拔节和灌浆期各灌水 1 次,每次灌水量均为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,共 $3\,000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。试验共设 7 个处理(表 1),每个处理 2 个重复,共 14 个小区。每个小区长 6.5 m ,宽 3.6 m ,起垄 4 行,垄上均覆盖 0.08 mm 厚度地膜,垄、沟各宽 40 cm ,每个沟中播种小麦 2 行,行距 20 cm 。试验田周围设有 40 cm 保护带。氮肥 70% 作为基肥, 30% 作为追肥,基肥在播种前一次性施入土壤,追肥在小麦返青拔节期的 4 月份施入。

基肥施用时间分别为 2010-11-05 和 2011-10-30,当年的 12 月下旬浇冬前水,次年 3 月下旬浇返青水,4 月上旬浇拔节水,5 月上旬浇灌浆水。除草、灌水等均按一般大田管理措施进行。土壤样品在小麦越冬期、返青期、拔节期各取 1 次,作物样品于返青期到孕穗期每 10 d 左右采样 1 次。

表 1 不同水氮处理的试验设计
Table 1 Experimental design of water and nitrogen

处理 Treatment	灌水量/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation quota	施氮量/(kg·hm ⁻²) N-Fertilization amount	处理 Treatment	灌水量/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation quota	施氮量/(kg·hm ⁻²) N-Fertilization amount
N ₁ W ₂	1 500	75	N ₂ W ₁	750	150
N ₂ W ₂	1 500	150	N ₂ W ₂	1 500	150
N ₃ W ₂	1 500	225	N ₂ W ₃	2 250	150
N ₄ W ₂	1 500	300	N ₂ W ₄	3 000	150

1.3 测定项目与方法

采集植物样本时,先将小麦地上部齐土壤表面剪下,用直尺测定小麦株高,然后烘干测定干质量;采集土样时,用土钻取 0~200 cm 的土壤样品,每 20 cm 为 1 层,共 10 层,每处理 3 次重复。取 5 g 土

样,加入 50 mL 2 mol/L KCl 溶液,振荡 1 h,静置 3~5 min后过滤,然后用紫外分光光度计测量滤液的硝态氮含量^[11]。小麦成熟期,在每个小区随机取 1 m² 植物样本,人工脱粒,称总质量,然后推算出整个小区的产量。试验期间降雨量的变化见图 1。

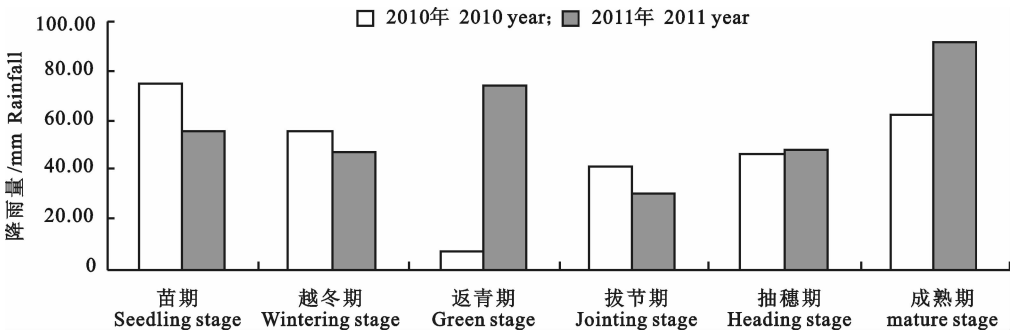


图 1 2010 和 2011 年冬小麦整个生育期的降雨量
Fig. 1 Rainfall distribution in winter wheat growth period in 2010 and 2011

1.4 数据处理与分析

试验数据分析和处理采用 EXCEL 和 SAS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同水氮处理对冬小麦株高的影响

株高是反映作物生长情况的重要指标之

一^[12-13], 2010 和 2011 年 2 年不同水氮处理下小麦的株高见表 2。由表 2 可知,2010 和 2011 年不同水氮处理的小麦株高差异显著。在 2010 和 2011 年灌溉定额为 1 500 m³/hm² (W₂)时,从拔节期到成熟期 N₂W₂、N₃W₂、N₄W₂ 处理的小麦株高均高于 N₁W₂ 处理,说明冬小麦株高对不同氮肥处理有一定的响应。

表 2 不同水氮处理对冬小麦株高的影响
Table 2 Effect of water and nitrogen at different growth stages on plant height cm

处 理 Treatment	拔节期 Jointing stage		抽穗期 Heading stage		开花期 Flowering stage		成熟期 Mature stage	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
N ₁ W ₂	35.2 c	35.6 d	50.2 d	52.1 c	65.4 c	67.6 d	80.6 c	83.3 c
N ₂ W ₂	36.2 bc	37.0 c	55.2 c	55.3 c	70.9 b	69.3 c	83.3 b	84.9 bc
N ₃ W ₂	36.8 bc	39.9 b	55.3 c	56.3 bc	73.4 ab	74.5 b	85.7 a	86.3 b
N ₄ W ₂	37.5 b	38.7 bc	56.7 bc	57.2 b	75.3 a	79.1 a	85.4 a	88.0 a
N ₂ W ₁	34.2 d	34.9 d	52.1 c	53.7 c	68.3 bc	65.3 d	79.8 c	83.5 c
N ₂ W ₃	38.7 b	39.6 b	57.3 b	58.5 ab	73.5 ab	75.6 b	85.4 a	88.2 a
N ₂ W ₄	40.9 a	41.0 a	59.1 a	59.6 a	74.5 a	76.3 b	85.7 a	88.5 a

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著(P<0.05)。下表同。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference(P<0.05). The same below.

由表 2 还可知,当氮肥施用量为 150 kg/hm² (N₂)时,不同水氮处理小麦的株高也大多差异显

著。2010 和 2011 年,在小麦不同生育期中, N_2W_2 、 N_2W_3 、 N_2W_4 处理比 N_2W_1 处理小麦的株高长势良好,说明当施氮量相同时,增加灌水量能促进小麦的生长,其中以拔节期灌水对株高的影响最大。进入开花期和成熟期后, N_2W_3 和 N_2W_4 处理小麦的株高差异不显著,说明在开花期—成熟期灌水对小麦生长的影响不显著,而适当减少灌水量则能增加水分的利用效率,有利于小麦生长。

2.2 不同水氮处理对冬小麦地上部干质量的影响

由表 3 可知,在不同水、氮处理下,冬小麦拔节期到成熟期地上部的干质量大多差异显著。在 2010 和 2011 年,当灌水量为 $1\,500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (W_2) 时,小麦在成熟期的地上部干质量由高到低依次为

$N_3W_2>N_4W_2>N_2W_2>N_1W_2$, N_3W_2 和 N_4W_2 处理均显著高于其他处理,说明随着小麦的生长,植株对氮肥的利用并不是施氮量越高越好,尤其是在生育期的后期,适量施氮更有利于小麦干物质的积累。

在灌水量不同的处理条件下,随着小麦的生长地上干物质积累量逐渐增加,到成熟期时 2010 和 2011 年小麦地上部干质量由高到低依次为 $N_2W_3>N_2W_4>N_2W_2>N_2W_1$,可知随着小麦的生长发育,当施氮量相同时,增加灌水量能够提高小麦地上部干物质积累,但当施氮量均为 $150\text{ kg}/\text{hm}^2$ (N_2) 时,灌水量超过一定量后小麦地上部干物质质量并未显著增加,以冬前、返青和拔节期各灌 $750\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为最佳灌水方式。

表 3 不同水氮处理对冬小麦地上部干质量的影响
Table 3 Effect of water and nitrogen at different growth stages on dry matter weight g/株

处 理 Treatment	拔节期 Jointing stage		抽穗期 Heading stage		开花期 Flowering stage		成熟期 Mature stage	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
N_1W_2	1.49 c	1.48 c	5.47 ab	5.40 ab	6.05 a	5.92 a	7.77 b	7.85 b
N_2W_2	1.57 ab	1.62 a	5.57 a	5.50 a	6.11 a	6.01 a	7.79 b	7.96 b
N_3W_2	1.51 b	1.52 b	5.50 a	5.51 a	5.70 b	5.73 b	8.06 a	8.12 a
N_4W_2	1.52 b	1.54 b	5.11 bc	5.28 b	5.65 b	5.66 b	8.00 a	8.11 a
N_2W_1	1.50 b	1.52 b	5.52 a	5.49 a	5.98 ab	5.91 a	7.55 b	7.77 b
N_2W_3	1.60 a	1.68 a	5.37 b	5.40 ab	6.10 a	5.98 a	7.96 a	8.09 a
N_2W_4	1.58 ab	1.64 a	5.33 b	5.31 b	5.90 ab	5.81 b	7.91 a	8.02 a

2.3 不同水氮处理对土壤硝态氮含量的影响

2.3.1 施氮量对土壤硝态氮含量的影响 硝态氮是植物能够直接吸收利用的速效性氮素,是反映北方地区农业土壤氮素水平的一个重要指标^[14-16]。由图 2 可知,在小麦越冬期, N_1W_2 、 N_2W_2 、 N_3W_2 和 N_4W_2 4 个处理土壤硝态氮含量变化趋势基本一致,即表层(0~60 cm)土壤硝态氮含量较高,之后随着土层深度的增加,硝态氮含量呈先降低后升高再降低再升高的变化趋势。 N_1W_2 、 N_2W_2 、 N_3W_2 和 N_4W_2 4 个处理 0~100 cm 土壤硝态氮累积量分别为 30.92,31.44,41.75 和 51.33 kg/hm^2 ,表层土壤硝态氮含量从高到低依次为 $N_4W_2>N_3W_2>N_2W_2>N_1W_2$,表明随着施肥量的增加,土壤表层硝态氮含量会逐渐增加;在 100~200 cm 土层, N_1W_2 、 N_2W_2 、 N_3W_2 和 N_4W_2 4 个处理的土壤硝态氮累积量分别为 24.65,20.95,37.74 和 31.08 kg/hm^2 ,变化不是很明显。

在小麦返青期,由于有 30%氮肥进行了追施,表层(0~100 cm)土壤硝态氮含量变高, N_4W_2 、

N_3W_2 、 N_2W_2 、 N_1W_2 处理在 0~100 cm 的土层中硝态氮累积量依次为 66.66,65.52,55.74 和 53.06 kg/hm^2 ,100 cm 以下土层的硝态氮含量变化不大,说明不同量氮素的追肥处理能提高土壤剖面硝态氮的累积量。 N_4W_2 、 N_3W_2 、 N_2W_2 、 N_1W_2 处理在 100 cm 土层硝态氮含量较低,分别为 6.90,5.76,6.30 和 4.75 mg/kg 。

在拔节期,小麦快速生长,对氮肥需求高, N_4W_2 、 N_3W_2 、 N_2W_2 、 N_1W_2 处理的土壤硝态氮含量明显降低,并在 120 cm 土层达到最低值,分别为 4.035,2.995,3.315 和 3.112 mg/kg ,说明 0~120 cm 土层为此阶段的主要硝态氮消耗层。 N_4W_2 、 N_3W_2 、 N_2W_2 、 N_1W_2 处理在 0~120 cm 土层硝态氮累积量分别为 21.705,18.86,38.35 和 30.72 kg/hm^2 ,比返青期各个处理的硝态氮累积量分别降低 67.34%,71.21%,31.20%和 42.05%,说明在拔节期小麦对氮素的需求量很高,在此阶段追施氮肥能提高小麦对氮肥的利用效率。

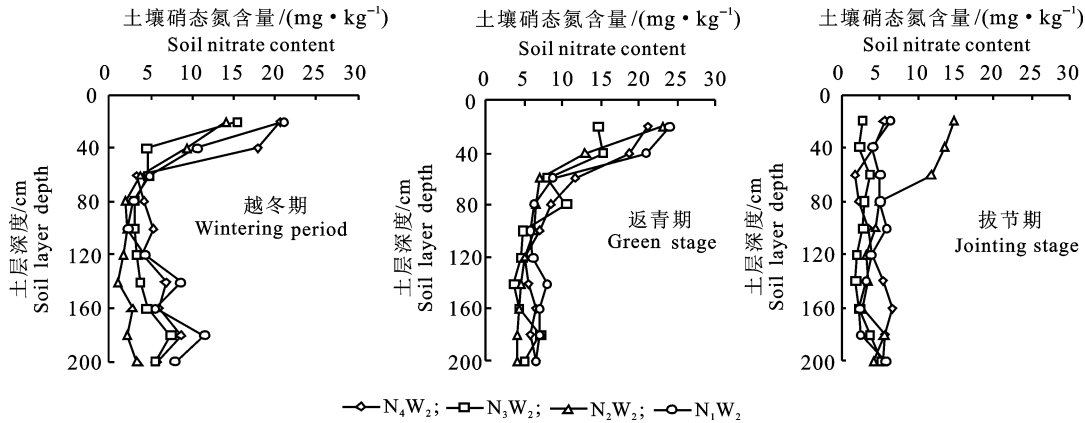


图 2 2011 年灌水量相同时不同施氮量对冬小麦不同生育时期 0~200 cm 土层土壤硝态氮含量的影响

Fig. 2 Effect of different nitrogen level on soil nitrate content in depth of 0~200 cm at different growth stages in 2011

2.3.2 灌水量对土壤硝态氮含量的影响 灌水量对土壤硝态氮含量的影响结果见图 3。由图 3 可见,在越冬期,不同水氮处理硝态氮含量在土层深度为 80 cm 处最低。在 0~20 cm 土层, N_2W_1 处理硝态氮含量高于 N_2W_2 ,而在 20~40 cm 土层 N_2W_4 处理高于 N_2W_1 ,说明在越冬期灌水大大降低了 0~20 cm 土层的硝态氮含量,提升了 20~40 cm 土层硝态氮的含量。在 0~80 cm 土层硝态氮累积量依次为: $N_2W_3 > N_2W_4 > N_2W_2 > N_2W_1$,在 80~200 cm 土层 4 个处理的硝态氮累积量变化不明显。

在小麦返青期,所有水肥处理在 60 cm 土层硝态氮含量均较低,在 0~60 cm 土层 N_2W_4 处理的土壤硝态氮含量较低,而 N_2W_1 处理的硝态氮含量则较高,说明随着灌水量的增加,加上返青期雨水的补给,土层硝态氮会随着水分向深层渗透,从而造成了

硝态氮的淋洗损失。0~60 cm 土层硝态氮累积量依次为 $N_2W_1 (54.02 \text{ kg/hm}^2) > N_2W_2 (42.85 \text{ kg/hm}^2) > N_2W_3 (41.10 \text{ kg/hm}^2) > N_2W_4 (28.59 \text{ kg/hm}^2)$ 。

在小麦拔节期,所有水肥处理硝态氮含量在 100 cm 土层均较低;在 100~120 cm 土层各处理的土壤硝态氮含量与返青期、越冬期相比明显降低,说明随着小麦地下根的快速生长,小麦根系活力增强,对氮素的需求较高,从而大量吸收利用了土壤中的硝态氮。在拔节期中,0~200 cm 土层的土壤硝态氮累积量依次为 $N_2W_1 > N_2W_2 > N_2W_3 > N_2W_4$,说明在施肥量一定的情况下,提供充足的水分能够提高小麦对氮肥的利用效率。在返青期到拔节期,氮肥利用效率依次为 $N_2W_4 (56.85\%) > N_2W_3 (44.36\%) > N_2W_1 (27.64\%) > N_2W_2 (25.12\%)$ 。

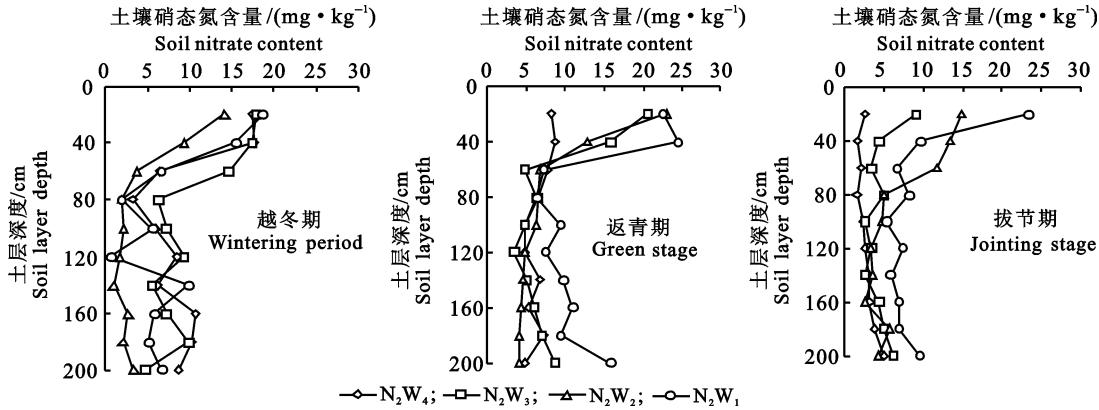


图 3 2011 年施氮量相同时不同灌水量对冬小麦不同生育时期 0~200 cm 土层土壤硝态氮含量的影响

Fig. 3 Effect of different irrigation level on soil nitrate content in depth of 0~200 cm at different growth stages in 2011

2.4 不同水氮处理对冬小麦产量的影响

由表 4 可见,在灌水量相同($1500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)条件下,随着施氮量的增加,小麦产量逐渐增加, N_1W_2 处理的产量显著低于其他处理,当施氮量为 150~

300 kg/hm^2 时,增施氮肥能提高小麦的产量,但差异性不明显,说明在本试验条件下 150 kg/hm^2 是最佳施氮量,过多施氮肥对于增加产量作用不大,只会减小氮肥的利用效率,造成氮肥资源浪费。其原

因是植株从土壤中吸收水分主要依靠根毛部的渗透作用,当施氮肥过多时土壤溶液浓度增大,造成渗透胁迫,从而使植株脱水,造成小麦枯萎或死亡,最终对小麦产量产生不利影响。

在施氮量相同(150 kg/hm²)条件下,小麦产量依次为 N₂W₃、N₂W₄ > N₂W₂ > N₂W₁,且 N₂W₁、N₂W₂处理的产量显著低于 N₂W₃、N₂W₄ 处理,说明增加灌水量能明显提高小麦产量,这是因为冬小麦前期水分充足与否直接影响到冬小麦根系的发育,根系发育的良好程度又直接影响到冬小麦对土壤养分的吸收及养分在作物体内的循环,进而对地上部的产量构成产生影响。N₂W₃ 和 N₂W₄ 处理的小麦产量差异不显著,说明灌浆期灌水对于增加小麦产量作用不大,这是因为灌浆期已进入雨季,小麦需求的水分由降雨即可补给,因此 N₂W₄ 处理的增产效果不明显。由此可知,在冬小麦生育后期可以减少灌水量以充分利用雨水补给,从而达到节水而不影响产量的效果。

表 4 2011 年不同水氮处理对冬小麦产量的影响

Table 4 Effects of different treatments on the winter wheat yield in 2011				
处理 Treatment	有效穗数/ (10 ⁴ · hm ⁻²) Panicles number	穗粒数 Grains/ spike	千粒质量/g Thousand seed weight	产量/ (t · hm ⁻²) Production
N ₁ W ₂	588.32 c	38.78 b	39.08b c	8.946 c
N ₂ W ₂	600.89 b	39.45 ab	40.06 b	9.765 b
N ₃ W ₂	635.21 a	40.12 a	40.11 b	9.778 b
N ₄ W ₂	640.68 a	40.88 a	42.95 a	9.790 b
N ₂ W ₁	587.06 c	38.98 b	40.01 b	9.012 c
N ₂ W ₃	640.20 a	39.90 a	42.55 a	9.958 a
N ₂ W ₄	638.54 a	39.78 a	41.36 ab	9.947 a

3 结 论

本研究分析了不同灌水量和施氮量对冬小麦生长及土壤硝态氮含量的影响,得到了以下结论:

1) 小麦株高对水分和氮肥反应敏感,不同水氮处理之间的株高差异明显。小麦株高会随着灌水量或者施氮量的增大而增加,而且灌水量或者施氮量较高处理的株高明显比灌水量和施氮量较低处理高。小麦干物质在有些处理间差异性显著,在相同灌溉量下,225 kg/hm² 处理小麦干物质质量相对较高,过多施肥会产生一定的负面影响。在施肥量一定的条件下,以 W₃ 灌水处理为最佳灌水方式。

2) 在小麦越冬期、返青期、拔节期对 0~200 cm

土层的土壤硝态氮含量的研究发现,在灌水量相同(1 500 m³/hm²)条件下,随着施氮量的增加,0~100 cm 土层土壤硝态氮含量逐渐增加,促进了冬小麦的生长,提高了其根系活力;从返青到拔节期冬小麦生长迅速,对水和肥的需求量较高,此时灌水、施氮对于冬小麦的生长发育有很大影响,同时在冬小麦生长过程中雨水对硝态氮含量也有影响,土壤硝态氮会随着水分向深层渗透,造成硝态氮的淋洗损失。因此基施和追施氮肥的比例有待调整。

3) 不同施氮和灌水处理对冬小麦产量有明显影响,在灌水量相同的条件下,增施氮肥能增加冬小麦产量,但当施氮量高于 150 kg/hm² 时,冬小麦产量增加幅度较小,因此在本试验条件下 N₂ 为最佳施氮方式,过多的施用氮肥只会造成环境污染,降低氮肥的利用效率。在氮肥施用量相同(150 kg/hm²)的条件下,N₂W₂、N₂W₃ 和 N₂W₄ 处理的产量分别比 N₂W₁ 高出 0.753,0.946 和 0.935 t/hm²,表明冬小麦产量随着灌水量的增大而增加,但当灌水量高于 2 250 m³/hm² 时,冬小麦产量却降低,因此本试验中灌水量以 2 250 m³/hm² 为宜。

综上所述,不同施氮量和灌水量对冬小麦的生长、产量和土壤硝态氮含量具有一定的影响,合理灌水和施用氮肥能够避免氮肥的浪费和对环境的污染。本试验发现,灌水量为 2 250 m³/hm²(冬前、返青期和拔节期各灌 750 m³/hm²)和施氮量 150 kg/hm²(70%基肥,30%追肥)处理冬小麦的水氮利用效率最佳。

[参考文献]

[1] 郭天财,姚战军,王晨阳,等.水肥运筹对小麦旗叶光合特性及产量的影响[J].西北植物学报,2004,24(10):1786-1791.
Guo T C, Yao Z J, Wang C Y, et al. Effects of irrigation and fertilizer application regimes on photosynthetic characteristics of flag leaves and yield traits of wheat [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(10): 1786-1791. (in Chinese)

[2] 王同花,李援农.起垄覆膜沟播冬小麦土壤水分利用效率及土壤温度的影响[J].中国农村水利水电,2011(1):46-49.
Wang T H, Li Y N. Effect of furrow planting winter wheat with plastic film mulching on water-use efficiency and soil temperature [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(1): 46-49. (in Chinese)

[3] 黄彩霞,柴守玺,赵德明,等.不同水分处理对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J].草业学报,2010,19(5):196-203.
Huang C X, Chai S X, Zhao D M, et al. Effects of irrigation on grain yield and water use efficiency of winter wheat [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(5): 196-203. (in Chinese)

[4] 孔东,晏云,段艳,等.不同水氮处理对冬小麦生长及产

- 量影响的田间试验 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 36-40.
- Kong D, Yan Y, Duan Y, et al. Field experiment study on growth and yields of winter wheat under different water and nitrogen treatments [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 36-40. (in Chinese)
- [5] 王同花, 李援农. 起垄覆膜沟播冬小麦的水分效应研究 [J]. 中国农村水利水电, 2010(11): 79-81.
- Wang T H, Li Y N. Research on water effect of winter wheat with plastic film mulching in semiarid farmland [J]. China Rural Water and Hydropower, 2010(11): 79-81. (in Chinese)
- [6] 徐祥德, 王馥棠, 萧永生, 等. 农业气象防灾调控工程与技术系统 [M]. 北京: 气象出版社, 2002: 15-59.
- Xu D X, Wang Y T, Xiao Y S, et al. Agricultural meteorological disaster prevention control engineering and technology system [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002: 15-59. (in Chinese)
- [7] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作中 NO_3^- -N 在土壤剖面的累积和移动 [J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 538-546.
- Jü X T, Liu X J, Zhang F S. Accumulation and movement of NO_3^- -N soil profile in winter wheat-summer maize rotation system [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(4): 538-546. (in Chinese)
- [8] 李 莎, 李援农. 水氮耦合对冬小麦生长的影响 [J]. 节水灌溉, 2010(4): 1-4.
- Li S, Li Y N. Effects of water and nitrogen coupling on growth of winter wheat [J]. Water Saving Irrigation, 2010(4): 1-4. (in Chinese)
- [9] Benbi D K. Efficiency of nitrogen use by dry land wheat in a sub-humid region in relation to optimizing the amount of available water [J]. Journal of Agricultural Science, 1989, 115(1): 7-10.
- [10] 赵满兴, 周建斌, 杨 绒, 等. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 143-149.
- Zhao M X, Zhou J B, Yang R, et al. Characteristics of nitrogen accumulation, distribution and translocation in winter wheat on dry land [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(2): 143-149. (in Chinese)
- [11] 张丽华, 贾秀领, 张全国. 不同小麦品种产量构成和水分利用效率差异分析 [J]. 河北农业科学, 2008, 12(1): 1-3.
- Zhang L H, Jia X L, Zhang Q G. Variation of yield components and water use efficiency of different wheat cultivars [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2008, 12(1): 1-3. (in Chinese)
- [12] 周 荣, 杨荣泉, 陈海军. 水、氮耦合效应对冬小麦生长、产量及土壤 NO_3^- -N 分布的影响 [J]. 北京水利, 1994(3): 75-78.
- Zhou R, Yang R Q, Chen H J. Effects of water and nitrogen coupling on growth, yield of winter wheat and NO_3^- -N distribution of soil [J]. Beijing Hydraulic Engineering, 1994(3): 75-78. (in Chinese)
- [13] 李 莎, 李援农. 种植模式和灌溉对冬小麦生长、产量及品质的影响 [J]. 节水灌溉, 2010(3): 6-9.
- Li S, Li Y N. Effects of different planting patterns and irrigation on growth, yield and quality of winter wheat [J]. Water Saving Irrigation, 2010(3): 6-9. (in Chinese)
- [14] 杨新泉, 冯 锋, 宋长青, 等. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 373-376.
- Yang X Q, Feng F, Song C Q, et al. Fate and efficient use of nitrogen fertilizer in main agroecosystems [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 373-376. (in Chinese)
- [15] 张树兰, 同延安, 梁东丽, 等. 氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响 [J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 270-277.
- Zhang S L, Tong Y A, Liang D L, et al. Nitrate-N movement in the soil profile as influenced by rate and timing of nitrogen application [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(2): 270-277. (in Chinese)
- [16] 赵海祯, 梁哲军, 齐宏立, 等. 不同时期水肥耦合对旱地小麦光合特性和产量的影响 [J]. 华北农学报, 2002, 17(增刊): 61-65.
- Zhao H Z, Liang Z J, Qi H L, et al. Effect of irrigation combined with fertilization in different stage of wheat on photosynthetic characteristics and yield in dry land field [J]. Acta Agriculae Boreali-Sinica, 2002, 17(Suppl): 61-65. (in Chinese)