

限量灌水和施磷对冬小麦养分吸收及利用的影响

郑彩霞¹, 张富仓², 张志亮¹, 康银红¹

(1. 四川农业大学信息与工程技术学院, 四川 雅安 625014;

2. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过大田试验研究了冬小麦在整个生育期阶段植株的养分吸收量和肥料利用效率的变化规律。本研究以西农‘979’小麦为试验材料, 试验采取 3 个灌水水平即 W_1, W_2 及 W_3 , 分别为 $2\,400\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $1\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $1\,200\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。施磷设 4 个水平即 F_1, F_2, F_3 及 F_4 , 施磷肥 (纯 P_2O_5) 量分别是 0、60、120 及 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。结果表明: 在施氮肥相同的情况下, 灌水和增施磷肥均能够促进植株对氮、磷的吸收量。随着施磷量的增加, 灌溉水利用效率及产量也随着显著增加。在 F_4 处理条件下, W_2 处理的子粒产量高于 W_1, W_3 处理, 在 W_2 处理基础上再增加灌水量, 子粒产量无显著提高, 且显著降低了水分利用效率。这说明灌水和施磷显著提高子粒的产量, 但过量灌水会导致子粒产量下降, 适量灌水、增施磷肥可以显著提高子粒产量。在本试验条件下, 灌水量在 $1\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 和施磷肥 (纯 P_2O_5) 量在 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 促进小麦的生长发育进程, 施磷对土壤水分不足的补偿效应主要是增加单位面积穗数, 施肥增加了穗粒数, 从而增加了产量, 提高水分和磷素利用效率。

关键词: 限量灌水; 施磷; 冬小麦; 养分吸收量; 水分利用效率; 产量

中图分类号: S143.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0102-06

Effect of limited irrigation and Phosphorus fertilizer to nutrition absorption and utilization of winter wheat

ZHENG Cai-xia¹, ZHANG Fu-cang², ZHANG Zhi-liang¹, KANG Yin-hong¹

(1. College of Information and Technology, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Through the field experiment has researched the variation rule of amount nutrient uptake and fertilizer use efficiency in whole growth period of winter wheat. Taking wheat XiNong ‘979’ as test material, adopted. three irrigation levels as W_1, W_2 and W_3 , the irrigation quota was $2\,400\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, $1\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ and $1\,200\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively. Four phosphorus fertilizer levels as F_1, F_2, F_3 and F_4 , the amount of phosphorus fertilizer application (pure P_2O_5) was 0, 60, 120 and $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively. The results showed that: Under the condition of same level of nitrogen fertilize application, the irrigation and phosphorus fertilizer application can be promoted the absorption of nitrogen and phosphorus by crops. With the increase of phosphorus amount, the irrigation water use efficiency and yield will be a remarkable increase. Under F_4 treatment condition, the grain yield in treatment W_2 was high than W_1 and W_3 treatment; On the basis of W_2 , if increased the irrigation amount, but the grain yields was no significant increase, also the WUE significantly reduced. It explains proper irrigation and phosphorus application will increase the grain yield, but excess irrigation will cause the grain yield decrease. In this experimental condition, the irrigation quota was $1\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ and $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ of phosphorus fertilizer (pure P_2O_5) application, the winter wheat growth can be promoted. The compensation effects for soil water shortage by phosphorus application was increased the panicles numbers per unit area, thus increase crop production and improve water and phosphorus utilization efficiency.

Keywords: limited irrigation; phosphorus fertilizer; winter wheat; amount of nutrient uptake; WUE; yield

收稿日期: 2013-11-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50579066); 四川省教育厅资助项目 (11ZA072)

作者简介: 郑彩霞 (1982—), 女, 甘肃省武威人, 讲师, 主要从事农业水土环境方面的研究。E-mail: caixia818@163.com。

目前农业生产中仍然采取的是大水漫灌等传统灌溉方式,从而导致农业用水浪费巨大,更使我国水资源短缺的局面雪上加霜^[1]。从目前我国的经济和技术发展现状来看,在一个相当长的时期内仍将以地面灌溉为主。地面灌溉的主要问题就在于如何提高自然降水和灌溉水的利用效率,这方面存在着巨大潜力^[2]。为实现这一目标,研究不同作物在不同灌水模式下的生理反应,了解作物对土壤有限水分的生长反应,以便用有限的灌溉水生产更多的干物质是众多学者探索的一个重要问题^[3]。以追求高产为目标,应特别强调节约水资源,提高水资源利用效率^[4]。许多学者对冬小麦的水肥效应进行了较多的研究,特别是对冬小麦进行合理施肥、提高降水利用效率等方面有较多的研究。王海艺^[5]等研究表明,当土壤含水量下降时,植物对 N、P、K 等营养元素的吸收随之下降,这主要是由于干旱抑制了植物根系的生长,降低了根系的吸收面积和吸收能力,降低了养分的吸收和运输;水分不足还影响植物体内的营养代谢,直接影响体内的代谢过程。而施肥能补偿干旱条件下植物生长受抑的不良效应和改善植物的生理功能,提高水分利用效率^[6]。近年来,不同条件下冬小麦对养分吸收利用的规律已成为当今研究的焦点,关于冬小麦植株体内氮、磷、钾的吸收积累及分配规律已有研究^[7]。磷肥是我国粮食作物和经济作物广泛施用的一种肥料,大量试验表明,磷不仅是作物必需的元素,而且施用磷肥还可以调节作物根系生长,促进作物对氮素和其它营养元素的吸收^[8],土壤缺磷经常成为作物增产的限制因素^[9-10]。本研究在以往研究成果的基础上,探讨限量灌水和施磷量对冬小麦养分积累及产量的影响,以期利用灌水和施肥措施调控小麦生长提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料和处理

田间试验于 2006 年 10 月—2007 年 6 月在西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室大田中进行。供试土壤为重壤土,1 m 内土壤平均容重为 1.39 g·cm⁻³,田间持水量为 24%,种植前测得土壤理化性质:pH 为 8.14,土壤有机质含量为 6.08 g·kg⁻¹,全磷含量为 0.72 g·kg⁻¹,全氮含量为 0.89 g·kg⁻¹,全钾含量为 20.19 g·kg⁻¹,碱解氮 55.93 mg·kg⁻¹,速效磷含量为 28.4 mg·kg⁻¹,速效钾 102.30 mg·kg⁻¹。供试小麦品种为‘西农 979’。

试验小区设计采用裂区随机区组合,试验设灌水和磷肥 2 个因素,设 3 个灌水水平即 W₁,W₂ 及

W₃,分别为 2 400 m³·hm⁻²、1 600 m³·hm⁻²和 1 200 m³·hm⁻²。施磷设 4 个水平即 F₁、F₂、F₃ 及 F₄,施磷肥量分别是 0、60、120 及 180(纯 P₂O₅ kg·hm⁻²),共 12 个处理,每处理 3 次重复,共 36 个小区。小区面积 4.5 × 4 = 18 m²。所有试验小区均施纯氮(80 kg·hm⁻²),氮、磷肥全部作为底肥一次性施入。灌水方式采用畦灌,畦田的周围用小土埂挡水,挡水地埂宽度大约是 0.4 m,试验田周围设有 2 m 宽的保护带。当地冬小麦灌溉定额以 2 060 ~ 2 450 m³·hm⁻²,整个生育期自然降水量不能满足作物耗水量的要求,整个生育期内灌 3 次水,分别是冬灌(1 月 11 日),拔节期(4 月 3 日),灌浆水(5 月 13 日),灌水量用水表控制。

1.2 测定方法

小麦生长过程中,分别在返青、拔节、抽穗、灌浆、成熟期取样 5 次,各生育时期在各小区按 5 点法,每次取样 20 株,测定株数后从中选取代表性植株 10 株,在实验室将植株洗去泥土,105℃烘箱中杀青 30 min,然后降温至 80℃烘干至恒重。冷却后称重,按根冠分开,粉碎待测。植株中测定用 H₂SO₄ - H₂O₂ 消煮,全氮含量采用开氏定氮法测定,全磷含量采用(H₂SO₄ - H₂O₂)消煮,钒钼黄比色法测定。产量和产量构成因素的测定:成熟前在各小区计数穗数,求出每公顷穗数。在样点中随机选取 20 个样穗,计数穗粒数。每小区收获 9 m²,计算实际产量。

1.3 数据分析及处理方法

采用 SAS 8.1 统计分析软件处理数据。多重比较用 Duncan 法(a≤0.05 显著水平、a≤0.01 极显著水平)。

2 结果与分析

2.1 限量灌水和施磷对冬小麦植株体内氮、磷养分含量的动态变化

冬小麦植株体内氮、磷养分浓度,在不同生育期变化较大,总体趋势是生育前期高于后期。从返青~起身期开始,氮浓度逐渐下降,呈单峰曲线变化。植物生长速率高的生育期,养分浓度也高,说明此时植物对养分的需求很迫切。

2.1.1 限量灌水和施磷对冬小麦整个生育期植株氮养分含量动态变化 冬小麦地上部分整株体内氮养分平均含量在整个生育期内变化较大,从表 1 可以看出,其总体趋势是生育前期高于生育后期,养分含量的总体变化虽呈下降趋势,且在拔节期至抽穗期下降较快,这主要是此期间植株生长旺盛所致,灌浆后下降减缓。从表 1 不同处理冬小麦体内 N 浓

度可以看出,由于不同处理之间 N 肥施用量相同,而不同处理冬小麦体内 N 浓度差异明显。且不同处理植株 N 含量都随施磷水平的升高而增加,表明增施磷肥提高了小麦的相对吸氮能力。返青期是全生育期养分含量的最高值;峰值出现在植株生长速率(单位时间内干物质的增加数量)逐渐增加的阶段可见,浓度的升高并非植株生长速率下降导致的浓缩效应,而是该阶段植株对养分的吸收速率高于生长速率的结果,这也说明了此时小麦对养分的需求比较迫切。即高水条件下,不论高施磷量还是低施

磷量处理,施磷处理的冬小麦植株 N 含量均显著高于不施磷处理冬小麦 N 含量,但最高施磷量处理和适中施磷处理之间冬小麦 N 含量差异不显著。低水条件下,除高施磷量冬小麦 N 含量显著高于其它处理外,其它处理之间冬小麦 N 差异也显著。中水条件下高施磷量处理的冬小麦 N、P 吸收量最高,是由于此条件下小麦磷营养状况最佳,地上部生长最好的原因。不同处理冬小麦各生育阶段植株的氮含量表现为从高到低,各处理随施磷量的增加而增加,施磷量最大,磷的吸收量不是最大。

表 1 限量灌水和施磷对冬小麦整个生育期植株氮含量的变化规律/(g·kg⁻¹)
Table 1 The effects of limited irrigation and phosphorus applied on the content of N in plant on every period of winter wheat

处理 Treatments		生育阶段 Growth stage				
		返青期 Reviving	拔节期 Shooting	抽穗期 Booting	灌浆期 Filling	成熟期 Ripening
W ₁	F ₁	26.2 ± 0.66d	20.20 ± 0.30d	17.17 ± 0.35cd	9.50 ± 0.66a	6.40 ± 0.10c
	F ₂	27.53 ± 0.8abc	21.13 ± 0.57abcd	17.90 ± 0.30bc	9.87 ± 0.70ab	6.60 ± 0.17abc
	F ₃	28.13 ± 0.25ab	21.4 ± 0.62abcd	17.96 ± 0.20abc	10.33 ± 0.81ab	6.73 ± 0.15ab
	F ₄	27.53 ± 0.6cde	20.7 ± 0.4bcd	18.07 ± 0.25ab	9.83 ± 0.45ab	6.50 ± 0.20bc
W ₂	F ₁	26.30 ± 0.20d	20.23 ± 0.40d	17.73 ± 0.32bcd	9.00 ± 0.56ab	6.60 ± 0.17abc
	F ₂	28.00 ± 0.53a	20.57 ± 0.64bcd	18.40 ± 0.26ab	10.13 ± 0.47a	6.77 ± 0.06ab
	F ₃	28.3 ± 0.53ab	21.83 ± 0.68abc	18.80 ± 0.45a	10.33 ± 0.78ab	6.97 ± 0.12a
	F ₄	28.36 ± 0.40a	22.43 ± 0.76a	18.17 ± 0.23ab	10.10 ± 0.66b	6.80 ± 0.10abc
W ₃	F ₁	26.57 ± 0.31cd	20.43 ± 0.97dc	17.07 ± 0.47d	8.9 ± 0.36ab	6.63 ± 0.15abc
	F ₂	27.1 ± 0.31bcd	21.60 ± 0.47abcd	18.00 ± 0.20abc	9.90 ± 0.46ab	6.80 ± 0.10abc
	F ₃	27.83 ± 0.32ab	22.1 ± 0.44ab	18.60 ± 0.50ab	10.33 ± 0.71ab	6.97 ± 0.21a
	F ₄	28.27 ± 0.32ab	21.43 ± 0.57abcd	18.17 ± 0.30ab	10.20 ± 0.66ab	6.83 ± 0.23ab
显著性检验(F 值) Test of significance(F)						
水分 Water(W)		2.85 *	5.12 *	6.62 *	0.42	4.10 *
施磷 Phosphorus(F)		33.40 * *	21.06 * *	17.96 * *	81.14 * *	20.19 * *
W × F		1.89	1.26	1.17	5.44 *	1.48

注:表中不同小写字母表示 0.05 水平的显著差异,下同。
Note: Means with different letters in the same column indicate significant difference($P < 0.05$), the same as below.

2.1.2 限量灌水和施磷对冬小麦体内植株磷养分含量动态变化 与氮素相比,小麦植株体内磷养分浓度在不同生育期变化较大,总体趋势是生育前期高于后期。在小麦各生育期,施磷肥处理比不施磷肥处理小麦植株磷含量都要高。施磷处理小麦磷含量均高于不施磷处理,各个施磷处理磷含量有显著差异。表 2 表明,从起身期开始,磷浓度逐渐下降,磷呈单峰曲线变化,且养分浓度峰值在越冬~返青期;不同处理含磷量均表现出越冬期-返青期最高 2.07~2.6 g·kg⁻¹,灌浆期最低 1.23~1.5 g·kg⁻¹,整个生育期总的趋势是降低的。植物生长速率高的生育期,养分浓度也高,说明此时植物对养分的需求很迫切。其中越冬-返青期降低最为显著,而灌浆

-成熟期磷含量还略有升高。这是因为磷到后期不易淋失。从不同处理间的比较来看,施磷处理的含磷量高于不施磷处理。不同处理冬小麦各生育阶段植株的磷含量也表现为从高到低,处理随施磷量的增加而增加,但施磷量 120 kg·hm⁻²到施磷最大处理这一阶段磷的吸收量不再增加。

2.2 限量灌水和施磷对冬小麦氮、磷吸收量的变化规律的影响

作物的养分吸收量是估算农田养分移出量的重要参数,植株体内的养分浓度、收获产品中养分在子粒和秸秆的分配比及每形成单位子粒产量等参数不同程度地受施肥或植株生长状况的影响。不同水肥对冬小麦各生育期地上部分养分吸收量(表 3)的

影响,不同处理冬小麦从出苗到起身期、生育前期,植株对氮、磷的积累量不大。随生育期的进程,各养分积累量逐渐增加,氮的累积峰值在挑旗和成熟期,磷的累积峰值在拔节和灌浆期,冬小麦吸磷总的呈现出中后期偏多的特点。拔节期是根茎叶生长旺盛

时期,需要有充分的养分供应,因此,拔节 – 挑旗期和灌浆 – 成熟期,是氮、磷累积的重要时期。因此,根据植物所需及时供给充足的养分对植物正常生长非常关键。

表 2 限量灌水和施磷条件下对冬小麦整个生育期植株磷含量的变化规律/(g·kg⁻¹)

		生育阶段 Growth stage				
处理 Treatments		返青期 Reviving	拔节期 Shooting	抽穗期 Booting	灌浆期 Filling	成熟期 Ripening
W ₁	F ₁	2.13 ± 0.06ed	2.0 ± 0.1c	1.5 ± 0.1a	1.23 ± 0.15b	1.40 ± 0.1c
	F ₂	2.3 ± 0.1bcd	2.27 ± 0.21abc	1.6 ± 0.21a	1.37 ± 0.06a	1.60 ± 0.1abc
	F ₃	2.5 ± 0.1ab	2.47 ± 0.21ab	1.53 ± 0.15a	1.5 ± 0.1ab	1.73 ± 0.12ab
	F ₄	2.26 ± 0.16cde	2.26 ± 0.16cde	1.63 ± 0.15a	1.4 ± 0.1ab	1.60 ± 0.10abc
W ₂	F ₁	2.07 ± 0.12e	2.13 ± 0.06bc	1.63 ± 0.12a	1.36 ± 0.06ab	1.53 ± 0.06abc
	F ₂	2.4 ± 0.1abc	2.4 ± 0.1abc	1.63 ± 0.15a	1.47 ± 0.06ab	1.7 ± 0.1ab
	F ₃	2.6 ± 0.1a	2.57 ± 0.21a	1.56 ± 0.15a	1.57 ± 0.15a	1.8 ± 0.1a
	F ₄	2.53 ± 0.12a	2.43 ± 0.15ab	1.5 ± 0.1a	1.5 ± 0.1ab	1.63 ± 0.06abc
W ₃	F ₁	2.3 ± 0.2bcd	2.17 ± 0.15abc	1.57 ± 0.06a	1.33 ± 0.06ab	1.5 ± 0.1bc
	F ₂	2.4 ± 0.1abc	2.3 ± 0.1abc	1.6 ± 0.1a	1.47 ± 0.15ab	1.63 ± 0.06abc
	F ₃	2.6 ± 0.1a	2.47 ± 0.15ab	1.7 ± 0.1a	1.4 ± 0.1ab	1.67 ± 0.15abc
	F ₄	2.6 ± 0.1a	2.57 ± 0.21a	1.73 ± 0.15a	1.47 ± 0.15ab	1.70 ± 0.17ab
显著性检验(<i>F</i> 值) Test of significance(<i>F</i>)						
水分 Water(W)		9.25 *	5.12 *	1.49	2.97 *	37.54 * *
施磷 Phosphorus(F)		26.25 * *	21.06 * *	0.66	5.30 * *	29.39 * *
W × F		2.14	1.26	0.86	0.75	0.57

表 3 限量灌水和施磷条件下对冬小麦整个生育期植株氮、磷吸收量的变化规律/(g·10 株⁻¹)

		生育阶段 Growth stage									
处理 Treatments		返青期 Reviving		拔节期 Shooting		抽穗期 Booting		灌浆期 Filling		成熟期 Ripening	
		N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
水分 Water	W ₁	10.01b	0.84b	42.49b	3.85a	50.49a	5.47a	27.80b	3.87b	25.38a	6.13a
	W ₂	11.58a	1.01a	48.43a	4.15a	54.21a	6.10a	33.50a	5.01a	25.23a	6.21a
	W ₃	10.7ab	0.97a	46.68ab	4.28a	54.22a	6.03a	31.80ab	4.49ab	25.10a	5.99a
施磷 Phosphorus	F ₁	9.71b	0.79c	39.96c	3.60c	46.42b	4.50c	28.04b	4.08a	23.71a	5.30b
	F ₂	10.5ab	0.91bc	48.07b	4.28ab	50.29b	5.54bc	30.99ab	4.48a	25.60a	6.25a
	F ₃	11.77a	1.08a	54.40a	4.76a	62.47a	7.20a	33.13a	4.78a	26.41a	6.67a
	F ₄	11.1b	0.98ab	41.05c	3.72bc	52.72b	5.93b	31.96ab	4.65a	25.37a	6.22a
显著性检验(<i>F</i> 值) Test of significance(<i>F</i>)											
水分 Water(W)		3.39 *	4.64 *	1.64	0.80	5.92 *	1.86	4.60 *	5.45 *	0.03	0.36
施磷 Phosphorus(F)		3.14 *	6.53 *	7.44 * *	6.23 * *	21.49 * *	11.56 *	1.90	1.19	1.72	7.22 *
W × F		1.30	1.66	1.42	0.25	3.47	0.27	0.11	0.34	0.56	0.75

不同处理冬小麦各生育阶段植株的吸氮量表现出随施磷量的增加而增加,表现为施磷对小麦各生育阶段氮素吸收的影响幅度均比不施磷肥对氮素吸收

的影响幅度大,其中对返青 ~ 拔节和孕穗 ~ 灌浆阶段的影响更为明显,施磷处理比不施磷处理小麦氮素吸收分别增加 8.34% ~ 34.58% 和 2.73% ~ 36.14%,越

冬~返青、拔节~孕穗阶段及灌浆~成熟阶段分别增加 8.14%~21.21%,13.98%~18.15%和 7.0%~11.38%。孕穗期是小麦吸 N 量最多时期,供应充足的 N 素以保证穗分化,增加每穗小穗数、粒数及其它器官的协调发育。其中施磷处理 F₃、F₄ 吸 N 量较多,分别占不施磷处理的 34.58%和 13.57%。

冬小麦吸磷量随生育期的变化,与氮素吸收的影响相似,各处理冬小麦吸磷量同样是前期很小,返青以后迅速增大,孕穗-灌浆初期达峰值。有所不同的是,小麦吸 P 是一个缓慢过程,而且吸量比 N 少。小麦越冬期对 P 极敏感,充足的 P 促进根系旺盛生长,促进分蘖,提高有效分蘖数和抗寒力。冬小麦各生育阶段的磷素吸量见表 3。表明不施肥冬小麦一生中只有一个吸磷高峰,在孕穗期至灌浆初期;而施肥处理灌浆中期至成熟阶段又增加一个吸磷高峰,只是峰值低于前一个。处理 W₂F₃ 施肥提高了冬小麦各生

育阶段,尤其是生长发育后期的吸磷强度,从而显著加大了各阶段的绝对吸磷量,改变了其相对吸磷量,特别是明显增大了后期子粒形成阶段的相对吸磷量,使子粒发育良好,最终使产量显著提高。

2.3 限量灌水和施磷对氮、磷肥及水分利用效率的影响

由表 4 可以看出,不同的灌水量和施磷量对氮、磷肥的利用率及其灌溉水利用效率的影响。随着灌水量的增加,氮肥、磷肥利用率及其产量也随着增加,而灌溉水利用效率是减少的。在施氮相同的底肥基础上,随着施磷量的增加,氮肥、灌溉水利用效率及其产量也随着增加。在同一底肥基础上磷肥利用率随其用量的增加而降低。从表 4 冬小麦不同处理吸磷量及磷肥利用率的结果可以看出,单位面积作物吸收的磷量基本随施磷量的增加而增加,而且施磷越多,利用率越低。

表 4 限量灌水和施磷对冬小麦产量及水分、养分利用效率的影响					
Table 4 The effects of limited irrigation and phosphorus on yield,water and fertilizer use efficiency					
处 理 Treatments		产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	氮肥生产效率 NUE/(kg·kg ⁻¹)	磷肥生产效率 PUE/(kg·kg ⁻¹)	灌溉水利用效率 WUE/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
灌水 Irrigation	W ₁	7672.1b	95.90b	78.39a	63.94a
	W ₂	7931.8a	99.15a	81.74a	44.07b
	W ₃	7702.8ab	96.28ab	78.33a	32.10c
施磷 Phosphorus	F ₁	7570.2c	94.63b	—	45.37b
	F ₂	7696.7b	96.22b	128.29a	46.28b
	F ₃	8044.8a	100.56a	67.04b	48.19a
	F ₄	7762.9b	97.04b	43.13c	46.94ab
显著性检验(F 值) Test of significance(F)					
水分 Water		3.11	3.11	3.2	991.36**
施磷 Phosphorus		4.66*	4.66*	1617.44**	4.04*
水分×施磷 Water×Phosphorus		1.51	1.51	0.61	1.35

注:氮、磷肥生产效率=子粒重量/施 N、P 量;灌溉水利用效率=子粒重量/灌水量。
Note: Nitroge utilization efficiency(NUE)= grain yield / amount of N,P applied in soil.

氮肥当季利用率表示小麦植株吸收当季肥料氮的能力,它体现了整株小麦吸收肥料氮的多少,然而并不能体现出所吸收氮的利用情况,如果吸收的肥料氮量很高,成熟时大部分却滞留在茎、叶等营养器官,一般是不会高产的。我们的最终目标是产量,所以要评价作物对氮素的吸收利用能力的高低,应该将氮素利用率和产量结合起来,也就是评价氮素生产效率的高低,即吸收的氮素形成产量的能力,氮素生产效率越高,说明小麦利用氮素更为经济有效。

从不同水分条件来看,虽然不同处理之间 N 肥施用量相同,但氮肥的利用率却有着明显的差异,氮、磷肥利用率随灌水量的增加而增加。而灌溉水

利用效率随着灌水量的增加却降低。从氮素利用效率看,随灌水量的减少,氮素利用效率依次降低。说明水分胁迫愈重,氮素利用效率愈低。因此,要提高磷肥利用率必须掌握适宜用量,并充分利用它的后效作用。说明适度水分胁迫可提高水分利用效率。说明植株对肥料的吸收利用率受水分胁迫影响极大,水分亏缺将影响作物地上部的生长,加速生长后期叶的衰老,使叶面积减少,光合作用降低,影响植株对肥料的吸收利用,使大量肥料滞留于耕层中,且淋渗损失极少。因而在无水浇条件的旱地麦田应重视底施化肥,以提高肥料利用率。

3 结论与讨论

小麦吸收磷素是一个缓慢的过程。磷素营养的高低和迟早,可以促进或延续干物质积累和营养物质向分配中心转移的进程。高产小麦,植株前期吸磷强度大,速度快,磷的累积量迅速上升。磷对冬小麦生长发育的作用贯穿于整个生育时期,其中以对前期的促进作用最为明显。以往的研究大都注重于这一时期,磷对冬小麦分蘖数发生十分重要的作用,施磷促进小麦初期的生育,增加分蘖数,增加穗数,从而增加产量^[11-12]。适量施磷可显著提高冬小麦产量,施磷不足或过量,作物生长与产量形成均会受到抑制。杨太新^[13]等人的研究结果表明,在高磷土壤上植株对肥料磷素的吸收利用高峰在返青-起身期,低磷土壤则在起身-拔节期。本试验研究结果表明,增施磷肥和灌水均能提高冬小麦磷素积累量和积累百分率,且变化一致。在 W_2 处理下冬小麦植株各生育期磷积累量为 $P_3 > P_4 > P_2 > P_1$,因而增施磷肥能缓解土壤水分胁迫对作物的不利影响。由本试验结果可知,增施磷肥和灌水均增加冬小麦植株磷素积累量和植株磷积累百分率,同时提高冬小麦开花期前植株吸收磷素比例,同时提高了冬小麦干物质磷素生产效率、子粒磷素生产效率。虽然随着施磷量和灌水量的增加,冬小麦磷素积累量增加,但在过多灌水和施肥的情况下小麦子粒磷素生产效率有所下降。这是由于小麦产量与灌水量和施磷量并不呈线性关系,即在过多灌水和施磷时灌水与施磷对冬小麦子粒产量的降低效应大于灌水与施磷。曾广伟^[14]等研究表明,轻度水分胁迫下合理施用磷肥不仅可以降低水分胁迫的负效应,促进小麦的生长发育进程,施磷对土壤水分不足的补偿效应主要是增加单位面积穗数,施肥增加了穗粒数,从而增加了产量,而对穗长不显著。

试验结果还表明,冬小麦吸收氮、磷的关键时期,分别在拔节-抽穗期和灌浆-成熟期,起身-拔节期和拔节-灌浆期,该阶段养分含量和养分吸收量均达最高值,此期应适当满足小麦对各种养分的需求。因此,依据植株在不同时期对各养分的吸收规律,有针对性地施肥,也是提高小麦产量的关键。磷的吸收、累积特点与氮相似,冬小麦氮的积累在灌浆初期达峰值后,出现氮素的损失,这与胡田田^[15]的研究相似。本研究表明,在小麦的整个生育期,适当的水分胁迫可以提高水肥利用效率而获得较高产量和高效益。在正常供水时磷肥当季利用率,随施

磷量增加而下降。在小麦生育期内土壤中含磷量随施磷量增加而增加,并在小麦的不同生育期出现一致性起伏。当土壤含水量增加后,氮、磷等养分向根系的移动性增大,根系的吸收范围加宽,养分的空间有效性增强。而在缺水少肥的土壤上,植物具有一定的适应能力,其适应方式之一就是使根系向更深的土层生长,以吸收利用其中的养分和水分。人们可通过各种途径充分发掘和利用植物的这种自身潜力,然而这种潜力的发挥是有限度的。如果通过适量施肥和灌水使植物在有效利用表层土壤养分的同时,也尽可能多地吸收下层土壤的库存养分和水分,使土壤空间水分和养分得到充分合理利用。作物从上层土壤中吸收的养分量增加,起到以水调肥的作用。

参考文献:

- [1] 黄勇.节水滴灌:兼容环境与市场[N].中国环境报,2003-01-21(第4版).
- [2] 山仑.植物抗旱生理研究与发展半干旱地农业[N].干旱地区农业研究,2007,25(1):1-5.
- [3] 曹翠玲,李生秀,杨希文.灌水模式对作物生长、养分吸收及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):56-59.
- [4] 张忠学,于贵瑞.不同灌水处理对冬小麦生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2003,22(2):1-4.
- [5] 王海艺,韩烈保,黄明勇.干旱条件下水肥耦合作用机理和效应[J].中国农学通报,2006,22(6):124-129.
- [6] 关军峰,李广敏.干旱条件下施肥效应及其作用机理[J].中国生态农业学报,2003,10(1):59-61.
- [7] 李迎春,彭正萍,薛世川,等.磷、钾对冬小麦养分吸收、分配及运转规律的影响[J].河北农业大学学报,2006,29(5):1-6.
- [8] 张富仓.土壤-根系统养分迁移机制及其数值模拟[D].杨凌:西北农林科技大学,2001.
- [9] 李继云,孙建华,刘全友,等.不同小麦品种的根系生理特性、磷的吸收及利用效率对产量影响的研究[J].西北植物学报,2000,20(4):503-510.
- [10] 王庆仁,李继云,李振声.植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):107-116.
- [11] 关军峰,李广敏.施磷对限水灌溉小麦根冠及产量的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,12(4):102-105.
- [12] 阳显斌,张锡洲,李廷轩,等.磷素子粒生产效率不同的小麦品种磷素吸收利用差异[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):525-531.
- [13] 杨太新,李雁鸣.应用 32P 对冬小麦返青期追磷吸收利用规律的研究[J].河北农业大学学报,2000,23(1):5-8.
- [14] 曾广伟,林琪.不同土壤水分条件下施磷量对小麦干物质积累及耗水规律的影响[J].麦类作物学报,2009,29(5):849-854.
- [15] 胡田田,刘翠英,李岗,等.施肥对土壤供肥和冬小麦养分吸收及其产量的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):36-40.