

不同施肥措施对冬小麦灌浆期氮素吸收分配的影响^①

聂胜委¹, 黄绍敏^{1*}, 张水清¹, 郭斗斗¹, 张巧萍^{1,2}

(1 郑州国家潮土土壤肥力与肥料效益监测站/农业部郑州潮土生态环境重点野外科学观测试验站, 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002; 2 河南农业大学生命科学学院, 郑州 450002)

摘要: 以黄淮海平原国家潮土土壤肥力与肥料效益长期监测站为平台, 研究了长期不施肥(CK)、氮钾配施(NK)、氮磷钾配施(NPK)、氮磷钾配施有机肥(MNPK)或秸秆(SNPK) 5 种施肥措施对灌浆期冬小麦吸收利用氮素的影响。研究表明, 在等氮量条件下, 施氮量为 $N\ 165\ kg/hm^2$ 时, NPK、MNPK、SNPK 处理有利于小麦在灌浆阶段维持田间较高的群体数和干物质的积累量; 其中 MNPK、SNPK 处理较 NPK 处理有利于小麦灌浆阶段在茎、鞘器官的生长和干物质积累。在氮素吸收方面, NPK、MNPK、SNPK 处理有利小麦灌浆期茎、叶、鞘、穗等器官对氮素的吸收、分配和累积。与 CK 处理相比, 施无机氮、有机氮分别为 $N\ 49.5$ 、 $115.5\ kg/hm^2$ 时, MNPK、SNPK 处理可以延长灌浆高峰期 7 天左右; 而施无机氮为 $165\ kg/hm^2$ 时, 与 CK 处理相比, NPK、NK 处理可以延长 14 天左右。在花后 1 ~ 14 天, MNPK、SNPK 处理在茎、穗部位氮素吸收累积量要高于 NPK 处理, 其中穗部差异分别达到 $P \leq 0.05$ 显著水平、 $P \leq 0.01$ 极显著水平; 在花后 21 ~ 35 天, NPK 处理在叶、籽粒部位氮素吸收累积量要高于 MNPK、SNPK 处理, 其中叶部差异均达到 $P \leq 0.05$ 显著水平或 $P \leq 0.01$ 极显著水平。此外, 在灌浆期 MNPK 处理在穗部氮素累积量要高于 SNPK 处理。总之, 在本试验条件下, 无机有机肥配施应适当加大无机氮肥的供应量以弥补小麦灌浆中后期起氮肥供应不足的现象。

关键词: 长期定位施肥; 氮素; 吸收利用; 冬小麦灌浆期

中图分类号: S143.1; S512.1⁺1

小麦作为三大粮食作物之一, 在我国粮食生产、增加食物供给以及保障国家粮食安全等方面占有举足轻重的地位。近 30 年来, 氮肥的年消费总量(折纯 N)由 1981 年的 287 万 t 增长到 2007 年的 2 302.9 万 t, 增长了 8 倍多^[1]。过量肥料的投入, 造成资源浪费的同时, 还对环境污染构成了潜在的威胁。因此, 研究长期定位施肥对小麦吸收利用氮素的影响, 在新形势下制定合理培肥施肥技术, 确保小麦高产高效及保护农田环境具有重要意义。已有研究表明, 高温^[2-7]、干旱^[2,8-9]、灌水^[5,10-13]、播期^[10,14]、品种^[8,10]、施肥^[10,15-17,23]、化控^[11]、光照^[18-19]、栽培^[20-22]等因子对小麦灌浆期的干物质积累、生理生化以及养分吸收等都有较大的影响, 并得出了大量有价值的研究成果, 为取得小麦稳产高产提供了重要的技术参考和依据。前人虽然对小麦灌浆期养分吸收进行了不少的研究, 但是有关不同施肥措施对灌浆期

小麦对氮素吸收、分配和累积的研究则少有报道。本研究以“国家潮土土壤肥力与肥料效益长期监测站”为平台, 研究长期不同施肥措施对冬小麦灌浆期不同阶段氮素吸收、分配及累积的影响, 以期小麦高产高效的施肥技术及养分管理提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于黄淮海平原国家潮土土壤肥力与肥料效益长期监测站($34^{\circ}47' N$, $113^{\circ}40' E$), 该区四季分明, 气候类型为暖温带季风气候, 年平均气温 $14.4^{\circ}C$, $>10^{\circ}C$ 积温约 $5\ 169^{\circ}C$; 7 月最热, 平均 $27.3^{\circ}C$; 1 月最冷, 平均 $0.2^{\circ}C$; 年平均降雨量 645 mm, 无霜期 224 天, 年平均蒸发量 1 450 mm, 年日照时间约 2 400 h。土壤类型为潮土, pH 8.3, 土壤有机质 $10.1\ g/kg$, 土壤碱解氮

①基金项目: 公益性行业科研专项(201203030-05), 河南省中国科学院省院合作项目(CXJQ120112), “十二五”科技支撑计划循环农业项目(2012BAD14B08, 2012BAD14B04)和河南省科技攻关项目(132102110068)资助。

* 通讯作者(nsw2010@hnagri.org.cn)

作者简介: 聂胜委(1979—), 男, 河南汝州人, 博士, 助理研究员, 主要从事长期定位施肥、农田受损生态系统修复及循环农业等方面的研究。E-mail: nsw2007@cau.edu.cn

76.6 mg/kg, 有效磷 6.5 mg/kg, 有效钾 74.5 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设置 5 个处理：① CK(不施肥)；② NK(施氮肥和钾肥，不施磷肥)；③ NPK(施氮磷钾化肥)；④ MNPK(M 指有机肥，有机肥+氮磷钾化肥)；⑤ SNPK(S 指玉米秸秆，秸秆还田+氮磷钾化肥)。试验

小区为完全随机排列，每个处理重复 6 次。各处理在等氮量情况下，施有机肥或秸秆的氮肥分配为：有机氮与无机氮之比为 7：3，N：P₂O₅：K₂O = 1：0.5：0.5，氮肥为尿素，磷肥为磷酸二氢钙，钾肥为硫酸钾，有机肥为牛粪，秸秆为玉米秸秆；各处理施肥量见表 1。

表 1 长期定位施肥各处理施肥量
Table 1 Annual amounts of N, P, K fertilizers and manures applied for various long term fertilization treatments

处理	来自无机肥的养分 (kg/hm ²)			来自有机肥的养分 (kg/hm ²)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0	0	0	0
NK	165	0	82.5	0	0	0
NPK	165	82.5	82.5	0	0	0
MNPK	49.5	82.5	82.5	115.5	176.0	113.0
SNPK	49.5	82.5	82.5	115.5	50.0	140.0

试验选用的小麦品种为郑麦 7698(豫审麦 2011008)，属半冬性优质、强筋、抗病、高产小麦新品种。2009 年 10 月 18 日播种，播种量约 150 kg/hm²，行距 23 cm，2010 年 6 月 11 日收获。各处理田间管理一致，分别于越冬期、返青期及抽穗期浇水 3 次，每次 500 m³/hm²；并进行人工除草。小麦灌浆期的取样时期分别为花后 1 天 (2010.04.29)、7 天(2010.05.06)、14 天 (2010.05.12)、21 天 (2010.05.20)、28 天 (2010.05.27)、35 天 (2010.06.02)以及成熟期(2010.06.11)。

1.3 测定及分析方法

灌浆期、成熟期进行田间植株和土壤样品的采集、室内处理和测定。植株的全氮用 H₂SO₄-H₂O₂ 法测定^[28]；土壤碱解氮用碱解扩散法测定^[24]；干物质用烘干法测定^[25-36]；氮吸收量(N, kg/hm²) = 干物质

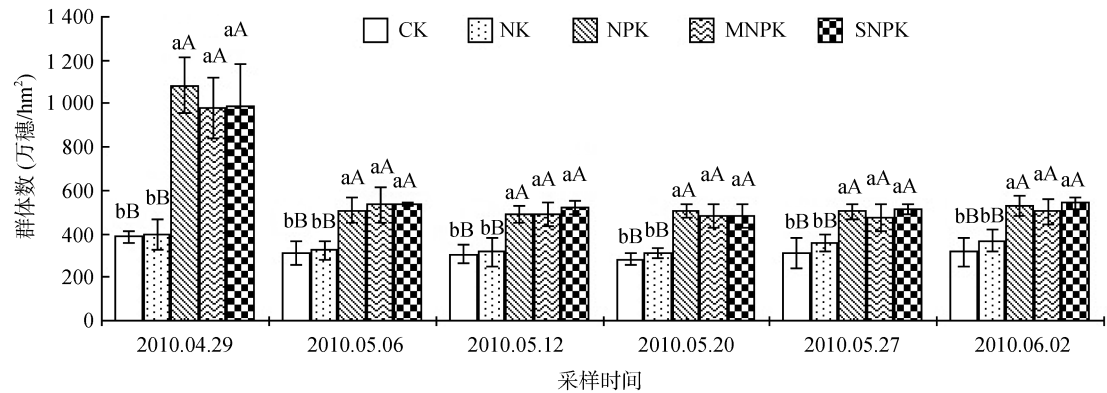
积累量(kg/hm²) × 各器官中全氮含量(g/kg)/1 000；小区实收计算产量。文中数据用 Excel、DPS 等软件进行整理分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥措施下小麦灌浆期田间群体动态及地上部干物质积累量的变化

不同施肥措施下，NPK、MNPK 和 SNPK 处理的田间群体数均明显高于 NK、CK 处理，而 NPK、MNPK 和 SNPK 施肥处理间群体数差异较小。NPK、MNPK 和 SNPK 处理的田间群体数在花后 1~7 天有较大幅度减少，继而保持稳定，其中 NPK 处理下降幅度最大，达 575 万穗/hm²；NK、CK 处理的田间群体数则变动很小(图 1)。

图 2 显示了施肥对小麦灌浆期各器官干物质累积



(图中采样时间：2010.04.29、2010.05.06、2010.05.12、2010.05.20、2010.05.27、2010.06.02 分别表示花后 1、7、14、21、35 天；不同小、大写字母表示同一时间不同处理间的差异在 $P \leq 0.05$ 、 $P \leq 0.01$ 水平显著，下同)

图 1 不同施肥处理灌浆期冬小麦群体动态变化

Fig. 1 Effects of various long term fertilizations on tiller numbers of winter wheat at filling stage

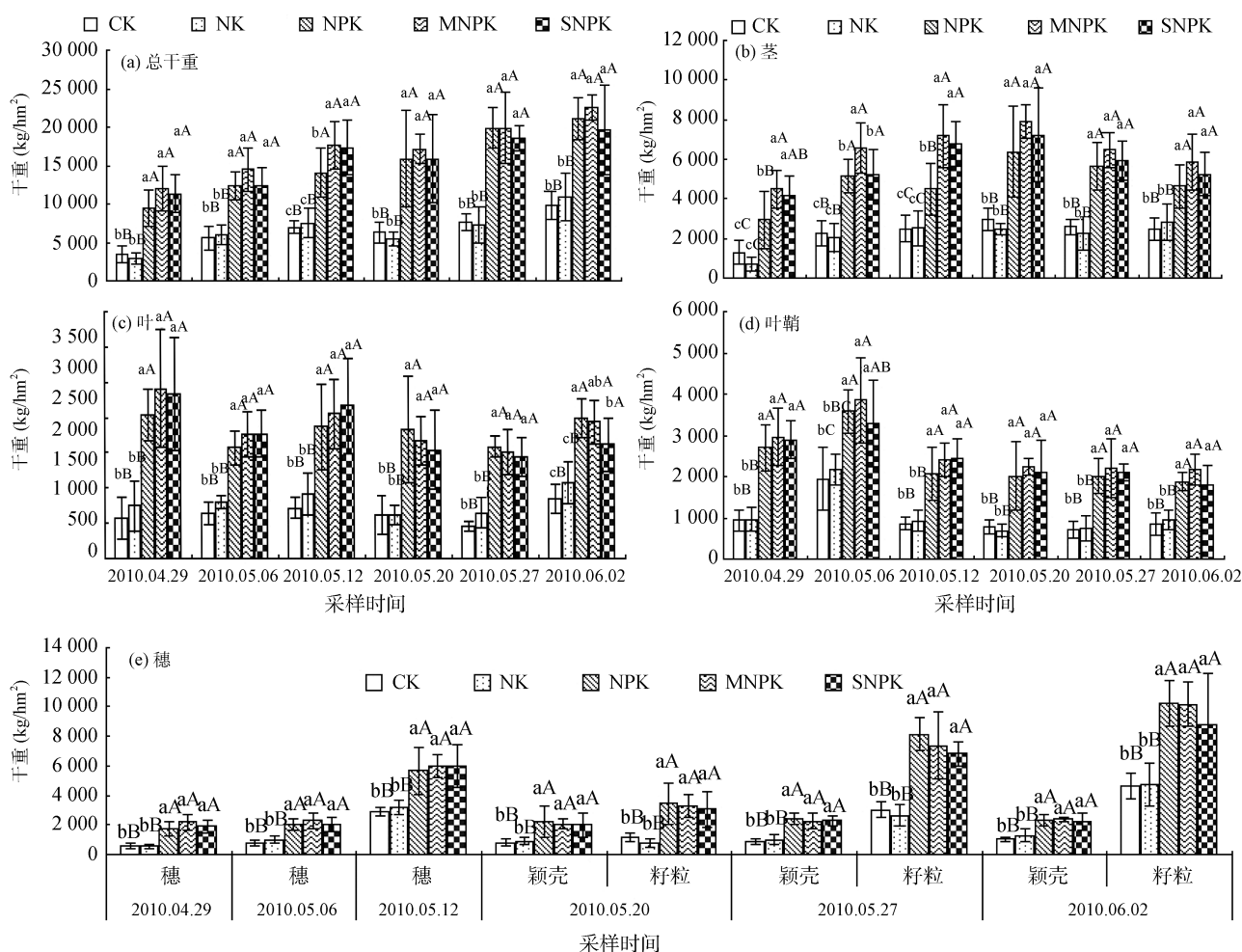


图 2 不同施肥处理对灌浆期冬小麦干物质积累量的比较

Fig. 2 Dry biomass productivities of winter wheat at filling stage under various long term fertilizations

量的影响,由图 2 可以看出,NPK、MNPK、SNPK 处理的茎、叶、鞘、籽粒干重以及总干重均明显高于 NK、CK 处理。MNPK 总干重在花后 1、7、14、21、28、35 天均最高,SNPK 处理总干重在花后 1~21 天高于 NPK 处理,在花后 28~35 天则低于 NPK 处理(图 2a)。在灌浆期不同阶段,茎干重、鞘干重均是 MNPK 处理最大,SNPK 处理次之,NPK 处理相对较小(图 2b、d)。对叶干重的影响,MNPK、SNPK 处理在花后 1~14 天高于 NPK 处理,在花后 21~35 天则低于 NPK 处理,同时 MNPK 处理也显著高于 SNPK 处理(图 2c)。对穗和籽粒的影响,在花后 1~14 天,MNPK、SNPK、NPK 处理三者差异不明显,在花后第 21 天以后,NPK 处理的籽粒干重最大,其次为 MNPK 和 SNPK 处理(图 2e)。表明 MNPK、SNPK 处理比 NPK 处理有利于促进小麦茎、鞘干物质累积和生产;对小麦叶、穗的干物质累积和生产则在花后 14 天开始减弱,其中 SNPK 处理的减弱趋势更为明显。

2.2 不同施肥措施下小麦灌浆期植株全氮含量及氮累积吸收量的变化

土壤中氮素通过小麦的根部吸收运转到叶、鞘、茎和穗等各个器官,施肥措施影响到小麦灌浆期各器官的氮含量。由表 2 可以看出,在花后 1 天,在各器官氮含量大小为:叶>穗>鞘>茎;各施肥处理间茎、叶、鞘、穗等器官氮含量差异不明显,MNPK、SNPK、NPK、NK 处理要略高于 CK 处理。花后 7 天,施肥处理小麦的各器官氮含量均高于 CK 处理,差异大多达到显著($P \leq 0.05$)、极显著($P \leq 0.01$)水平;SNPK 处理在茎、穗中的氮含量最高,NPK 处理在叶、鞘中的氮量最高。花后 14 天,各施肥处理氮含量在茎中没有明显差异;在叶中,MNPK 处理显著($P \leq 0.05$)低于 NK、NPK、SNPK 处理;在鞘中,NK 处理最高,MNPK 处理最低,且分别显著($P \leq 0.05$)、极显著($P \leq 0.01$)低于 NK、SNPK 处理;在穗中,NK 处理最低,NPK 处理最高,且显著($P \leq 0.05$)高于 NK 处理。花后 21 天,NK、NPK 处理在叶、籽粒和颖壳中氮

表 2 不同施肥处理对冬小麦灌浆期各器官全氮含量和氮累积吸收量的比较
Table 2 Nitrogen contents and accumulations of wheat organs during grain filling stages under various fertilizations

取样时间	器官	各器官全氮含量(g/kg)					各器官氮素累积量(kg/hm ²)				
		CK	NK	NPK	MNPK	SNPK	CK	NK	NPK	MNPK	SNPK
花后 1 d (2010.04.29)	茎	7.70 aA	10.60 aA	7.90 aA	7.60 aA	7.60 aA	9.94 cB	7.56 cB	23.12 bA	34.13 aA	31.74 abA
	叶	28.40 bA	31.20 abA	35.90 aA	27.60 bA	33.00 abA	16.30 bB	23.23 bB	73.23 aA	66.66 aA	77.19 aA
	鞘	9.30 aA	9.70 aA	11.40 aA	10.60 aA	11.00 aA	8.77 bB	9.319 bB	30.70 aA	31.38 aA	31.82 aA
	穗	14.30 aA	15.00 aA	16.50 aA	14.90 aA	16.70 aA	8.80 bB	8.00 bB	28.43 aA	32.49 aA	31.45 aA
花后 7 d (2010.05.06)	茎	6.40 bB	8.20 bAB	7.50 bAB	7.60 bAB	14.50 aA	14.46 cC	16.63 cC	38.95 bB	50.18 bB	75.60 aA
	叶	23.60 bB	34.40 aA	35.70 aA	31.50 aAB	33.20 aA	15.01 cB	27.51 bB	55.96 aA	55.46 aA	58.61 aA
	鞘	7.20 bB	11.60 aAB	13.40 aA	10.80 abAB	11.50 aAB	14.03 dC	25.26 cBC	48.13 aA	41.40 abA	37.84bAB
	穗	14.30 bA	15.00 abA	16.40 aA	15.50 abA	16.60 aA	11.14bB	15.03 bB	33.70aA	35.79 aA	33.68 aA
花后 14 d (2010.05.12)	茎	3.00 bB	6.90 aA	6.10 aAB	5.70 aAB	5.70 aAB	7.49 dC	17.43 cBC	27.40 bB	40.74 aA	38.51aA
	叶	18.20 bC	33.00 aA	31.20 aAB	23.50 bBC	30.80 aAB	13.05 dC	30.23 cBC	58.30 abA	48.40 bAB	66.67 aA
	鞘	6.00 cC	12.40 aA	10.60 abAB	7.80 bcBC	11.10 aAB	5.12d C	11.55 cC	21.79 bAB	18.63 bB	27.05aA
	穗	12.80 bA	13.30 bA	16.10 aA	14.70 abA	15.10 abA	37.18 cC	41.91 cC	70.19 bB	88.01 aAB	90.08 aA
花后 21 d (2010.05.20)	茎	2.80 cB	4.90 abAB	4.20 abcAB	5.50 aA	3.30 bcAB	8.28 cC	12.14 cC	26.81bB	43.72 aA	23.94 bB
	叶	14.10 cC	31.10 aA	28.00 aAB	21.80 bC	22.30 bBC	8.74 cC	18.86 cBC	51.15 aA	36.38 bAB	34.30 bAB
	鞘	9.30 aA	13.20 aA	10.40 aA	11.40 aA	8.20 aA	7.20 cD	9.02 cCD	20.97 abAB	25.38 aA	17.14 bBC
	籽粒	16.50 bA	20.00 aA	19.80 aA	19.20 abA	18.40 abA	18.60 bB	15.41 bB	67.90 aA	63.41 aA	56.60 aA
	壳	6.80 aA	9.50 aA	9.40 aA	8.80 aA	8.10 aA	5.45 bC	8.65 bBC	21.18 aA	18.08 aA	16.02 aAB
花后 28 d (2010.05.27)	茎	2.10 bA	6.30 aA	4.30 abA	4.10 abA	4.10 abA	5.42 cC	14.05 bB	24.06 aA	26.69 aA	24.53 aA
	叶	14.60 bcAB	23.90 aA	20.20 abAB	12.80 cB	17.10 abcAB	6.72 dD	15.51 cC	32.01 aA	19.42 cBC	24.57 bB
	鞘	6.80 bB	14.70 aA	8.30 bB	6.00 bB	8.80 bB	4.82 dC	11.05 cB	16.62 abA	13.19 bcAB	18.50 aA
	籽粒	14.90 bA	18.60 aA	17.80 abA	19.10 aA	17.00 abA	45.10 cB	48.68 cB	145.14 aA	140.72 abA	115.58 bA
	壳	5.10 bB	11.80 aA	7.10 bAB	7.40 abAB	7.10 abAB	4.64 cC	11.72 bB	17.18 aA	16.78 aA	16.25 aAB
花后 35 d (2010.06.02)	茎	2.20 aA	4.40 aA	3.10 aA	4.30 aA	3.30 aA	5.38 dC	12.28 cB	14.34 bcB	25.05 aA	17.55 bB
	叶	7.30 bB	15.00 aA	12.40 abAB	8.50 bAB	7.60 bB	6.16 dC	16.19 bB	24.73 aA	16.44 bB	12.33 cB
	鞘	3.80 bA	6.90 aA	5.80 abA	4.20 bA	3.40 bA	3.19 cC	6.57 bB	10.76 aA	9.18 aA	6.14 bB
	籽粒	14.40 cB	20.10 aA	17.90 abAB	16.70 bcAB	16.80 bcAB	66.42 bC	94.84 bBC	182.94 aA	170.03aA	147.78 aAB
	壳	3.90 abA	5.60 aA	5.20 aA	3.90 abA	3.00 bA	3.90 dD	7.29 bcBC	12.07 aA	9.22 bB	6.57 cCD

注：表中字母小、大写不同分别代表同一时期相同器官不同处理在 $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ 水平差异显著，下同。

含量相对较高，MNPK、SNPK 处理则相对较低。在花后 28 天，NK、NPK 处理在茎、叶、鞘中氮含量相对较高。花后 35 天，NK、NPK 处理在叶、鞘、籽粒、颖壳中氮含量相对较高，MNPK、SNPK 处理则相对较低。

灌浆期是小麦由营养生长为主转入生殖生长为主的转折点，小麦开花后籽粒的充实过程也是叶片逐渐衰老的过程，“源-叶”和“库-籽粒”的氮含量更能明显反映出不同施肥措施对小麦籽粒成熟的影响，籽粒的氮含量高于叶片，标志着叶片开始逐渐进入衰老阶段，籽粒则逐渐进入成熟期^[27-28]。CK 处理在花后 21 天，MNPK 和 SNPK 处理在花后 28 天，NPK 和 NK 处理在花后 35 天，叶片开始逐渐进入衰老阶段，籽粒则逐渐向成熟期过渡(表 2)。

不同施肥措施对小麦灌浆期氮素的吸收累积，由

表 2 可以看出，MNPK、SNPK、NPK、NK 处理小麦茎、叶、叶鞘、穗等器官氮素吸收累积量在灌浆期各阶段均明显高于长期不施肥的 CK 处理；而 MNPK、SNPK、NPK 处理要明显高于 NK 处理。在花后 1~14 天，MNPK、SNPK 处理在茎、穗部位氮素吸收累积量要高于 NPK 处理，其中穗部差异在花后 14 天分别达到显著($P \leq 0.05$)、极显著($P \leq 0.01$)水平。在花后 21~35 天，NPK 处理在叶、籽粒部位氮素吸收累积量要高于 MNPK、SNPK 处理，叶的吸收累积量差异均达到显著($P \leq 0.05$)或极显著($P \leq 0.01$)水平。在灌浆期，MNPK 处理在穗部氮素累积量要稍高于 SNPK 处理。

2.3 不同施肥措施灌浆期土壤碱解氮含量及成熟期氮素吸收总量的变化

土壤碱解氮含量反映出土壤有效氮的供应水平，

由表 3 可以看出,各施肥措施下,耕层碱解氮含量均随着灌浆进程的推进会有一定程度的升高,继而开始回落的变化趋势;MNPK、SNPK 处理的碱解氮含量较高,NPK、NK 处理的次之,CK 处理最低。在花后 7~28 天,碱解氮含量以 MNPK 处理的最高,SNPK 处理次之,均高于其他处理,且部分差异达到

了显著($P\leq 0.05$)、极显著($P\leq 0.01$)水平,顺序大小为: MNPK>SNPK>NK>NPK>CK;在花后 1、35 天,SNPK 处理的碱解氮含量均高于 MNPK 处理,但差异不显著;二者的碱解氮含量均显著($P\leq 0.05$)或极显著($P\leq 0.01$)高于 NK、CK 处理。

不同施肥措施对成熟期小麦籽粒产量及氮素吸

表 3 不同施肥处理对冬小麦灌浆期耕层 0-20 cm 土壤碱解氮含量的影响(mg/kg)
Table 3 Contents of alkali-hydrolysable nitrogen in 0-20 cm deep soil layers under various long term fertilizations

取样时间	CK	NK	NPK	MNPK	SNPK
花后 1 d(2010.04.29)	67.93 bB	62.51 bB	76.46 abAB	89.50 aA	90.15 aA
花后 7 d(2010.05.06)	70.13 cC	95.18 bB	83.82 bcBC	122.56 aA	101.12 bAB
花后 14 d(2010.05.12)	71.10 cC	92.86 bcBC	83.82 cBC	124.63 aA	106.55 abAB
花后 21 d(2010.05.20)	61.09 cC	91.05 bB	82.01 bBC	122.05 aA	96.35 bB
花后 28 d(2010.05.27)	63.03 dD	91.05 bcBC	82.01 cCD	113.65 aA	104.22 abAB
花后 35 d(2010.06.02)	59.80 dB	65.61 cdB	80.07 bcAB	93.25 abA	97.77 aA

收影响较大,NPK、MNPK、SNPK 处理的籽粒产量均明显高于 NK、CK 处理,说明均衡施用 NPK 或 NPK 与秸秆、有机肥配施有利于获得较高的籽粒产量;同样,在氮素吸收方面,NPK 处理氮素累积吸收量和相对增加量最大,其次为 MNPK 和 SNPK 处理,CK 处理最小(图 3)。在等量无机氮施肥措施中,NPK 处理的累积吸收量和增加均要明显高于 NK 处理;等量无机氮和有机氮施肥措施中,MNPK 处理要稍高于 SNPK 处理。

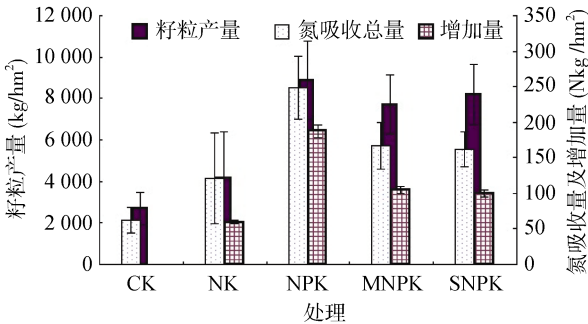


图 3 不同施肥处理对成熟期冬小麦籽粒产量和氮素吸收量的影响

Fig. 3 Total nitrogen uptakes by winter wheat and grain yields at maturing stage under various fertilizations

3 讨论与结论

灌浆期小麦对养分的吸收受多种因素的影响。杨洪宾等^[22]研究认为,垄作栽培较传统平作栽培措施更有利于改善小麦灌浆期田间的群体素质,群体从底部到顶部各层次相对光强增加,光分布得到优化,单位面积功能叶、鞘和茎干重增加,枯叶片干重减少;穗层上部穗干重大幅度增加,下落穗减少,穗层整齐。本研究表明,与 CK 或 NK 处理相比,NPK 或 MNPK、

SNPK 处理有利于提高和调节灌浆期田间群体数,增加小麦灌浆期茎、叶、鞘及穗等器官的干物质积累和氮素的累积。由于成熟期 NPK 处理氮素累积吸收量和相对增加量最大,说明无机氮肥供应量偏低,影响灌浆后期氮素的供应;但土壤耕层碱解氮的含量高,反映出施入土壤中有机氮供应的迟效性。

氮肥作为重要的营养元素,随着施氮量增加超高产麦田灌浆期叶片的光合特性逐渐增强,光合“午休”现象有一定的减缓;但过多施氮量(N 375 kg/hm²)虽然有较高的光合速率,但是降低了群体叶面积指数,千粒重下降,产量降低^[10,16];长期相同施氮量,NPK 处理能维持较高的增产效果,MNPK、SNPK 处理相对教低^[23]。本研究认为,在施氮量相同条件下,施氮种类的不同影响到灌浆期小麦对氮素的吸收,在花后 21~35 天,NPK 处理小麦叶、籽粒、颖壳中氮含量较高,而 MNP、SNPK 处理则相对较低;由于有机氮肥的投入偏高,无机氮肥供应相对不足,使得花后 28 天左右,叶片开始逐渐衰老,比单施化肥氮肥的处理提前了 7 天左右的时间,造成了成熟期籽粒产量相对较低。因此,在小麦生产中应适当加大无机氮肥的施用量,提高灌浆后期小麦对养分的吸收能力,进而取得较高的粮食产量。

本研究初步得出,在等氮量条件下,施氮量为 N 165 kg/hm² 时,施用氮磷钾化肥或者与有机肥、秸秆配合施用有利于小麦在灌浆阶段维持田间较高的群体数和干物质的积累;氮磷钾化肥与秸秆、有机肥配合施用较施氮磷钾化肥有利于小麦在灌浆阶段在茎、鞘等器官的生长和干物质积累。在氮素吸收方面,施用氮磷钾化肥或者与有机肥、秸秆配合施用更有利小

麦灌浆期茎、叶、鞘、穗等器官对氮素的吸收、分配和累积。在等氮量条件下,施无机氮、有机氮分别为 49.5、115.5 kg/hm² 时,与不施肥 CK 处理相比,MNPK、SNPK 处理可以延长灌浆高峰期 7 天左右,与 NPK、NK 处理相比则提前 7 天左右;而施无机氮为 165 kg/hm² 时,与不施肥 CK 处理相比,NPK、NK 处理可以延长 14 天左右。在花后 1 ~ 14 天,MNPK、SNPK 处理在茎、穗部位氮素吸收累积量要高于 NPK 处理,其中穗部差异分别达到显著($P \leq 0.05$)、极显著($P \leq 0.01$)水平。在花后 21 ~ 35 天,NPK 处理在叶、籽粒部位氮素吸收累积量要高于 MNPK、SNPK 处理,其中叶部差异均达到显著($P \leq 0.05$)或极显著($P \leq 0.01$)水平。此外,在灌浆期 MNPK 处理在穗部氮素累积量要高于 SNPK 处理。不同施肥措施对小麦灌浆期氮素吸收影响的机理及加大投入无机氮肥的理论量有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张卫峰,季玥秀,马文奇,王利,王雁峰,张福锁. 中国化肥资源供需矛盾及调控策略[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 754-763
- [2] 胡吉帮,王晨阳,郭天财,苗建利,朱云集,贺德先. 灌浆期高温和干旱对小麦灌浆特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(6): 597-601
- [3] Moldestad A, Mosleth Fergestad E, Hoel B, Oddvar Skjelvåg A, Kjersti Uhlen A. Effect of temperature variation during grain filling on wheat gluten resistance [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 53: 347-354
- [4] Liu P, Guo WS, Pu HC, Feng CN, Zhu XK, Peng YX. Effects of high temperature on antioxidant enzymes and lipid per oxidation in flag leaves of wheat during grain filling period [J]. Agricultural Sciences in China, 2006, 5(6): 425-430
- [5] Gooding MJ, Ellis RH, Shewry P R, Schofield JD. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat[J]. Journal of Cereal Science, 2003, 37: 295-309
- [6] David Gouache, Xavier Le Bris, Matthieu Bogard, Olivier Deudon, Christian Pagé, Philippe Gate. Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France[J]. European Journal of Agronomy, 2012, 39: 62-70
- [7] Ferreira Mariana SL, Martre P, Mangavel C, Girousse C, Rosa N N, Samson MF, Morel MH. Physicochemical control of durum wheat grain filling and glutenin polymer assembly under different temperature regimes[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 7: 1-9
- [8] Pan J, Zhu Y, Jiang D, Dai TB, Li YX, Cao WX. Modeling plant nitrogen uptake and grain nitrogen accumulation in wheat[J]. Field Crops Research, 2006, 97: 322-336
- [9] Gallé Á, Csiszár J, Secenji M, Guóth A, Cseuz L, Tari I, Györgyey J, Erdei L. Glutathione transferase activity and expression patterns during grain filling in flag leaves of wheat genotypes differing in drought tolerance: Response to water deficit[J]. Journal of Plant Physiology, 2009, 166: 1 878-1 891
- [10] 孙进先,魏秀华,王国飞,于新华,王德高,张其鲁. 品种、播期、灌水和施氮量对小麦灌浆速率的影响[J]. 山东农业科学, 2010(7): 48-50
- [11] 杨桂霞,赵广才,许轲,常旭虹,杨玉双,马少康. 灌水及化控对不同粒色小麦籽粒灌浆及叶绿素含量的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 152-157
- [12] Hossain Md. A, Araki H, Takahashi T. Poor grain filling induced by water logging is similar to that in abnormal early ripening in wheat in western Japan[J]. Field Crops Research, 2011, 123: 100-108
- [13] Motzo R, Giunta F, Deidda M. Relationships between grain-filling parameters, fertility, earliness and grain protein of durum wheat in a Mediterranean environment[J]. Field Crops Research, 1996, 47: 129-142
- [14] 杨洪强,余四平,田文仲. 不同播期洛旱 7 号小麦籽粒灌浆特性的研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(2): 136-138
- [15] 陈娟,曾青,朱建国,刘钢,谢祖彬,唐昊冶,小林和彦. 臭氧和氮肥交互对小麦干物质生产、N、P、K 含量及累积量的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 616-622
- [16] 孙旭生,林琪,刘义国,张玉梅,李玲燕,翟延举. 不同施氮量对超高产小麦灌浆期光合日变化的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 158-162
- [17] Cai RG, Zhang M, Yin YP. Photosynthetic characteristics and ant oxidative metabolism of flag leaves in responses to nitrogen application during grain filling of field grown wheat[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(2): 157-167
- [18] 石玉,陈茂学,于振文,许振柱. 灌浆期不同阶段遮光对小麦籽粒蛋白质组份含量和加工品质的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2 504-2 510
- [19] 翟怀巍,孙凤平,李春晖,郭勇,沈献荣,李双霞,房稳静. 不同气象条件下小麦灌浆速率特点分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10 442-10 443
- [20] 杨文平,郭天财,刘胜波,朱云集,王晨阳,王永华. 行距配置对大穗型小麦灌浆期干物质转移及籽粒灌浆特性的影响[J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 103-107
- [21] 龚月桦,杨俊峰,王俊儒,李生秀,刘普灵. 覆膜对小麦¹⁴C-储备物在灌浆期转运分配的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 258-263
- [22] 杨洪宾,徐成忠,何秀兰,李福元,王法宏. 不同栽培方式下小麦灌浆期群体素质的研究[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(2): 298-302
- [23] Nie SW, Huang SM, Zhang SQ, Guo DD, Bao DJ, Zhang QP. Effects of various fertilizations on soil organic carbon and total nitrogen in winter wheat-summer corn rotation in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Journal of Food, Agricultural & Environment, 2012, 10(1): 567-572
- [24] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [25] 山东省农业科学院玉米研究所. 玉米生理[M]. 北京: 中

- 国农业出版社, 1987: 50–62
- [26] 王树安. 作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 89–96
- [27] 李世清, 王瑞军, 张兴昌, 伍维模, 邵明安. 小麦氮素营养与籽粒灌浆期氮素转移的研究进展[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 106–111
- [28] 王绍中, 田云峰, 郭天财, 王志和. 河南小麦栽培学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 90–93

Effects of Nitrogen Uptakes by Winter Wheat Under Various Fertilizations During Filling Stage

NIE Sheng-wei¹, HUANG Shao-min^{1*}, ZHANG Shui-qing¹, GUO Dou-dou¹, ZHANG Qiao-ping^{1,2}

(1 National Soil Fertility and Fertilizer Effects Long-term Monitoring Net Work-Zhengzhou Fluvo-aquic Station/Key Field Scientific Observation Station of Zhengzhou Fluvo-aquic Soils Ecology Environment, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Nutrient and Environmental Resources, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2 College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to provide proper technology of fertilization and reduce nitrogen lose, effects of nitrogen uptake by winter wheat during grain filling stage were studied. In this study, nitrogen uptakes by winter wheat under five fertilization treatments: no fertilization (CK), inorganic fertilization (NK, NPK), inorganic NPK fertilizers and manure combination (MNPK), and inorganic NPK fertilizers and straw combination (SNPK), were carried out at National Soil Fertility and Fertilizer Effects Long-term Monitoring Net Work-Zhengzhou Fluvo-aquic Station in the Huang-Huai-Hai Plain. The results showed that NPK, MNPK and SNPK treatments were better to obtain proper groups, higher dry biomass production during grain filling stage; both MNPK and SNPK treatments were more useful for stems and leaf sheaves growing and producing. Moreover, they also increased nitrogen uptakes from soils at grain filling stage, and improved allocation or accumulation in stems, leaves, leaf sheaves and ears. Compared with CK treatment, the filling times of MNPK and SNPK treatment, which the application of inorganic nitrogen fertilizer (N 49.5 kg/hm²) and organic nitrogen fertilizer (N 115.5 kg/hm²), would increase in about 7 days. However, the filling times of NPK and NK treatment which inorganic nitrogen fertilizer application rates were N 165 kg/hm², would increase in about 14 days. Nevertheless, nitrogen accumulations of MNPK and SNPK treatments in stem and ears ($P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively) after flowered from 1 to 14 days were all higher than those of NPK treatment, but nitrogen accumulations of MNPK and SNPK treatments in leaves ($P \leq 0.05$ or $P \leq 0.01$) and kernels after flowered from 21 to 35 days were all lower than those of NPK treatment. In addition, nitrogen accumulation of MNPK treatment in ears at grain filling stage was better than SNPK treatment. Therefore, inorganic nitrogen fertilization rates should be increased in organic and inorganic fertilizer compound application in order to avoid nitrogen absence and gain more grain yields.

Key words: Long-term fertilization, Nitrogen, Uptake, Winter wheat grain filling stage