

半干旱黄土区不同施氮水平冬小麦 产量形成与氮素利用

赵新春,王朝辉

(西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:在黄土高原南部旱地,采用田间试验研究了氮肥用量对冬小麦生长、产量及氮素累积和吸收利用的影响,确定不同施氮量条件下,冬小麦生长后期地上部干物质和氮素向籽粒转移的差异,明确合理的氮素用量。供试土壤在有效氮缺乏,肥力中等偏下。试验设不施氮(N1),每公顷分别施 80, 160 和 240 kg N(分别以 N2, N3 和 N4 表示)。试验期间分期测定了地上部及各器官(茎叶、穗、颖、籽粒)生物量的变化和吸氮量变化。结果表明:氮肥用量合适,小麦增产效果特别突出,每公顷施 80 kg N,每 kg N 增产小麦籽粒 33 kg,几乎达最大增产值。小麦由氮肥中吸收的氮素远高于由土壤中吸收的氮素。随施氮量增加,同一生育期小麦植株含氮量升高,而后期降低幅度增大;吸氮量显著增加,至灌浆期或收获期达峰值。施用氮肥对后期籽粒氮素累积有十分重要的作用,籽粒累积的氮素大部分来源于生长前期累积在营养体中氮素在灌浆期间的转移。从氮素效率和氮对环境影响来看,每公顷施用 80 kg N 是最佳选择。

关键词: 氮肥用量;冬小麦;生物量;籽粒产量;氮素吸收;累积;分配与转移

中图分类号: S342.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0065-06

氮素是植物生长必需的营养元素之一,是植物体内蛋白质、核酸等重要化合物的组成部分;同时,氮素也是土壤中普遍匮乏的元素,尤其是旱地。小麦是当今世界上重要的粮食作物之一。全世界约有 35%~40% 的人口以小麦为主食,其种植面积、总产量、总贸易额和库存量均居各种作物之首^[1]。作为最重要的大量营养元素,供氮情况决定着小麦生长发育、产量和品质,影响着小麦光合特性,产量结构,籽粒灌浆特征和进程,在很大程度上决定着小麦产量的高低^[2~9]。增强氮素营养可加快冬小麦氮素的吸收累积进程,提高冬小麦植株体内氮素的累积量^[10],直接影响着氮素的吸收、同化与转运,从而直接影响着小麦生长发育和产量形成。抽穗开花到成熟是小麦籽粒形成的时期。一般花后不久,营养器官中的贮藏氮开始分解,并向发育中的籽粒转移^[11]。很多研究表明,小麦籽粒中的氮素有相当一部分来自于营养器官氮素的花后再转移^[12~16]。Simpson 等^[17]研究表明在无外源氮供应情况下,小麦开花后,由茎叶提供的氮占营养器官向籽粒输入总氮量的 63%,营养器官转移至穗中的氮素占穗氮素累积量的 51%~91%。其他人研究表明,在籽粒灌浆过程中,营养器官中贮藏氮的输出和转移不断

加快,对土壤氮的吸收不断减慢^[18]。

在氮肥施用中,确定合理的氮肥用量是关键所在。不同的施氮水平不仅会影响氮肥效果,而且会影响作物干物质累积、分配和产量形成,引起作物对氮素的吸收、累积和转运的差异,从而影响作物对肥料氮的利用和肥料氮向环境的投放。过去对氮肥用量的研究多集中在不同用量氮肥的增产效果,确定合理量,而对氮肥用量所引起的上述差异注意较少。

本试验在研究不同施氮量对冬小麦氮肥利用效率影响的基础上,确定其对不同生育期生物量和生长后期地上部分(茎叶、穗、颖、籽粒)干物质的影响,查明各器官含氮量和吸氮量以及生殖生长后期植株内累积氮素向籽粒的转移量及籽粒从土壤的吸收量,为高产优质高效小麦生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及供试土壤

田间试验从 2007 年 10 月至 2008 年 6 月。试验地位于陕西杨凌西北农林科技大学水利灌溉试验站。处于渭河三级阶地,年平均气温 13℃,年均降雨量 550~600 mm 左右,降雨主要集中在 7~9 月,属半湿润易旱地区,供试土壤为塋土中的红塋土,表

收稿日期:2010-01-07

基金项目:科技支撑计划子课题(2006BAD25B09)

作者简介:赵新春(1977—),女,山西永济人,硕士,研究方向为植物营养与施肥。E-mail: zhaoxinchun2008@126.com。

层(0 ~ 20 cm)土壤基本理化性状为:容重 1.24 g/cm³,pH8.25,有机质 13.79 g/kg,全氮 1.07 g/kg,硝态氮 5.43 mg/kg,铵态氮 2.41 mg/kg,速效磷(Olsen - P)15.0 mg/kg,速效钾 182.4 mg/kg。

1.2 试验设计及实施

氮肥用量设 4 个水平,分别为不施氮(N1),每公顷施 80 kg N(N2),每公顷施 160 kg N(N3)和每公顷施 240 kg N(N4)。重复 4 次,共 16 个小区,小区面积为 3 m × 6 m = 18 m²。供试小麦品种为陕 253,播种时沿小区短边成行,行距为 25 cm,每小区播 25 行。采用点播方式,穴距 6 cm,每穴播 4 粒种子。磷肥用过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%),每公顷施 P₂O₅ 135 kg,播种前与耕层土壤混匀做基肥一次施入;氮肥用尿素,1/2 做基肥和磷肥一起施入,1/2 做追肥于小麦返青期随灌水施入。整个生长期间的管理措施同当地农田。

1.3 测试项目及方法

地上部生物量,各器官(茎叶、穗、颖、籽粒)生物量的变化:植物样品采集后立即在 105℃烘箱内杀青 20 min,然后在 60℃的条件下烘 24 h 至恒重。

全氮含量的测定:采用凯氏定氮法^[19]。

2 结果分析

2.1 施氮量对冬小麦产量的影响

表 1 结果表明,在本试验地上,氮肥有明显增产效果。每公顷施氮 80、160 和 240 kg 均可显著提高小麦的籽粒产量,施氮量 80 kg 小麦的生物量和籽粒产量均增加 1 倍以上,平均每 1 kg 氮素增产小麦 33 kg,施氮量 160 kg N/hm² 时小麦的生物量和籽粒产量同样均增加 1 倍以上,平均每 1 kg 氮素增产小麦 19 kg;施氮量 240 kg N/hm²,小麦籽粒产量的比不施氮肥增产 1.5 倍,每 1 kg 氮素增产小麦 15.5 kg,增产依然突出。

氮素收获指数是指籽粒重量占植株地上部分生

物总量的比值。其值越高,经济效益越高,因此提高收获指数是人们追求的目标之一。影响收获指数的关键因素是小麦营养体生长的协调程度,过旺的营养体生长必然导致营养体生物量相对增加,收获指数降低。试验年度雨水相对充沛(567.9 mm),营养体生长过旺,收获指数下降。氮肥用量对收获指数影响不大,也无明显规律。

表 1 施氮水平对冬小麦地上部分生物量、籽粒产量和收获指数的影响

Table 1 The effects of nitrogen fertilizer rates on biomass, grain yield and harvest index of winter wheat

施氮量 (N, kg/hm ²)	地上部生物量 (kg/hm ²) Aboveground biomass	籽粒产量 (kg/hm ²) Grain yield	收获指数 (%) Harvest index
0	6610 c	2400 c	36.3 a
80	14190 b	5020 b	35.4 a
160	16480 a	5390 b	32.7 b
240	16760 a	6110 a	36.5 a
平均 Average	13510	4730	35.0

2.2 施氮量对冬小麦关键生长期生物量的影响

生物量是籽粒产量的基础。茎叶虽非收获器官,但收获器官(籽粒)依赖其存在和发展。只有较大的生物量才能支撑较大的籽粒产量。

不同生长期测定结果表明(表 2),冬小麦植株生物量(以干重表示)随生长期而变化。抽穗期和灌浆期生物量虽有增有减,不尽一致,但整体变化不大,而收获期却有明显下降现象。施氮能显著提高冬小麦的生物量。以灌浆期为例,施氮量 80、160 和 240 kg/hm² 时,生物量比未施氮肥分别增长 5 730, 5 841 和 6 045 kg/hm²,不同氮量间无显著差别。另外,不同时期测定表明,生物量的高峰值与施氮量有关,施氮量高者(160 和 240 kg/hm²)出现在抽穗期,未施和施氮量低者(80 kg/hm²)延后,出现在灌浆期。

表 2 施氮水平对冬小麦关键生长期生物量的影响(kg/hm²)

Table 2 The effects of nitrogen fertilizer rates on biomass during the key growth period

施氮量 (N, kg/hm ²)	茎叶生物量 Biomass of stem and leaf(kg/hm ²)			穗生物量 Biomass of ear(kg/hm ²)		
	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	收获期 Harvest	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	收获期 Harvest
0	4090c	4425c	2860c	1700b	2217c	3750c
80	8730b	10155b	6530b	1220c	6020b	7660b
160	10360b	10266b	7590b	1540b	6083b	8890b
240	11940a	10470a	7310a	1770a	6170a	9450a

2.3 施氮量对冬小麦生长后期地上部干物质转移的影响

冬小麦籽粒干物质的积累是产量和品质形成的关键。从灌浆开始,籽粒干物质来源有两个方面,一是原营养体中即茎叶(包括颖壳)中的干物质向籽粒的转运,另一是后期合成的干物质。前者可由收获时营养体干物质的减少来估计,后者可由籽粒的增量减过转运量来估计。计算表明(表 3),从灌浆期到收获期,地上部分干物质总量均有所增加,增加的主要部分是籽粒,而营养体则有明显下降趋势,下降表明了营养体中干质向籽粒的转移。氮肥对营养体中干物质的转运有着明显的作用。不施氮肥,作物营养体生

物量小,灌浆期累积的干物质远远不能满足充实籽粒的需要,后期籽粒的增长几乎完全靠新合成的干物质。相反,施用氮肥以后,营养体干物质大幅度增加,施氮 80,160,240 kg/hm²,收获期营养体产量分别增加 118%,163%和 153%。由于营养体累积了大量干物质,后期籽粒的增长主要靠营养体中干物质的转移,而不是靠合成(表 4)。除过未施氮肥的对照以外,营养体绝对贡献量随施氮量增加而增加,而合成贡献量差别小,作用也不大。这说明虽然冬小麦生长后期还在不断进行干物质合成,以充实籽粒,但在充分供应氮素的条件下,其作用并不重要。

表 3 不同施氮水平对干物质在营养体和籽粒中的分配(kg/hm²)

Table 3 The distribution of dry matter in vegetative parts and grain at different nitrogen fertilizer rates

施氮量 (N, kg/hm ²)	灌浆期 Filling			收获期 Harvest		
	营养体 Vegetative part	籽粒 Grain	总量 Total	营养体 Vegetative part	籽粒 Grain	总量 Total
0	4425	1470	5610	4210	2400	6610
80	10155	4013	14168	9170	5020	14190
160	12344	4006	16350	11088	5392	16480
240	12740	3900	16640	10650	6110	16760

表 4 不同施氮水平对冬小麦生长收获期地上部分干物质合成及转移的影响

Table 4 Effects of nitrogen fertilizer rates on the dry matter synthesis and transfer of winter wheat during the harvest

施氮量 (N, kg/hm ²)	籽粒干物质增量 (kg/hm ²) Grain dry matter increase	营养体贡献量 (kg/hm ²) Contribution rate of vegetative part	合成贡献量 (kg/hm ²) Synthetic contribution	营养体贡献率(%) Contribution rate of vegetative part	合成贡献率(%) Synthetic contribution
0	930	215	715	23.1	76.9
80	1007	985	22	97.8	2.2
160	1386	1256	130	90.6	9.4
240	2210	2090	120	94.5	5.4

2.4 施氮量对冬小麦收获期吸氮量的影响

从收获期总吸氮量可以看出(表 5),施氮既增加了总吸氮量,也增加了籽粒吸氮量。三种氮肥用量平均,植株吸氮量比不施氮肥增加 211%,籽粒吸氮量增加 198%;施氮 240 kg/hm² 时吸氮量最高。

表 5 不同施氮水平对冬小麦吸氮量的影响

Table 5 The effects of nitrogen fertilizer rates on nitrogen uptake of winter wheat

施氮量 (N, kg/hm ²)	总吸氮量 (kg/hm ²) Total	籽粒吸氮量 (kg/hm ²) N uptake of grain	氮收获指数 (%) N harvest index
0	55.2	42.2	76.4
80	135.3	101.6	75.1
160	178.8	126.0	70.5
240	201.1	149.7	74.4

与不施氮肥的对照相比,小麦产量依靠氮肥投入而大幅度增产;采用差减法计算,在氮肥用量为 160 和 240 kg/hm² 情况下,地上部分或籽粒由肥料中吸收的氮素总量,均比未施氮肥高出二倍以上,氮素收获指数也较高。

2.5 施氮量对冬小麦不同生育期吸氮量的影响

小麦生育过程中不断由土壤吸收氮素,因而吸氮量随生育期而不断增长。不论从某个处理来看,也不论从 4 个处理的平均数来看,都遵循同一规律(表 6)。一般情况是,从返青期开始不断上升,至灌浆期达到峰值,收获期与灌浆期无显著差别;吸氮量的增长速率是前期高而后期低。以本试验的平均数来看,由返青到拔节、拔节到抽穗、抽穗到灌浆三个时期,各时期吸收的氮约为 20 kg/hm²,几乎是同一

数量。

施用氮肥大幅度增加了小麦各生育期对氮素的吸收,各生育期地上部的吸氮量随施氮量而增长;吸氮量的增长与各生育期生物量的增长有一致规律:生物量增长最多的时期也是吸氮量增长最多的时期。返青到拔节期,生物量增长最快、增长数量最多,施用氮肥所起的促进作物对氮素吸收的数量也最快、最多;拔节以后各生育期生物量增加平缓,施氮所起的促进氮素吸收的作用也相应平缓。灌浆期是小麦吸氮量最多的时期,也是施氮后小麦吸氮最多的时期;收获期的吸氮量比灌浆期略有下降,施氮后的吸氮量也表现同一趋势。

氮肥用量对冬小麦各生育期不同器官吸氮量的影响与其对地上部氮吸收总量的影响一致。与不施氮肥相比,施氮 80 kg/hm²,灌浆和收获期的茎叶吸氮量分别增加 28.5% 和 8.7%;穗部吸氮量分别增加 16.9% 和 35.5%;氮肥用量为 160 kg/hm²,茎叶的吸氮量分别增加 47.7% 和 53.8%,穗部吸氮量分别增加 16.6% 和 19.4%;氮肥用量为 240 kg/hm² 时,茎叶的吸氮量分别增加 29.0% 和 13.6%,穗部吸氮量分别增加 4.4% 和 6.8%。氮肥的施用使茎叶早期累积的氮素大幅度增加,为氮素向穗部转移奠定了基础,而穗部氮素的累积又为氮素向籽粒转移创造了条件。

表 6 不同施氮水平对冬小麦不同生长期吸氮量的影响(kg/hm²)

Table 6 The effects of nitrogen fertilizer rates on the nitrogen uptake of winter wheat at different growth stages .

施氮量 (N, kg/hm ²)	返青期 Reviving	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	收获期 Harvest
0	23.7	25.0	44.4	41.2	55.2
80	66.6	89.3	86.5	144.1	135.3
160	109.2	127.4	142.7	172.7	178.8
240	121.2	162.0	216.8	217.3	201.1
平均施氮量 Average	80.2	100.9	122.6	143.8	142.7

2.6 施氮量对冬小麦生长后期地上部氮转移的影响

灌浆期间,小麦籽粒中的氮素一方面来自抽穗前植株中累积的氮素向籽粒转移;一方面来自抽穗后植株从土壤的吸收^[20]。表 7 表明,抽穗期后籽粒从土壤吸收氮素对籽粒累积的氮素贡献取决于施氮量。未施氮肥或施氮量较少时,作物茎叶中累积的氮素较少,灌浆后籽粒中部分甚至大部分氮素仍要

依靠由土壤吸收。在施氮量充分的条件下,茎叶中氮素的转移对籽粒氮素有着决定性作用,籽粒中的大部分甚至全部氮素来源于营养体中累积氮素的转移。施氮量越高,茎叶中累积的氮素越多,向籽粒转移的比率也越大。在表 7 中,每公顷施用 240 kg 氮素,由茎叶向籽粒转运的氮素达到 111%;而抽穗以后从土壤吸收氮素对籽粒的贡献为负值,没有任何作用。

表 7 不同施氮水平对冬小麦后期转移和吸收的影响

Table 7 Effects of nitrogen fertilizer rates on transfer and absorption of winter wheat at late growth stage

施氮量 (N, kg/hm ²)	抽穗期地上部 吸氮量 (kg/hm ²)	收获期地上部吸氮量 (kg/hm ²)		茎叶转移 (kg/hm ²)	吸收量 (kg/hm ²)	转移贡献率 (%)	吸收贡献率 (%)
		茎叶 Stem and leaf	籽粒 Grain				
0	44.4	13.0	42.2	31.4	10.8	74.4	25.6
80	86.5	33.7	101.6	52.8	48.8	52.0	48.0
160	142.7	52.8	126.0	89.9	36.1	71.3	28.7
240	216.8	51.4	149.7	165.4	- 15.7	110.5	- 10.5

2.7 氮肥用量对冬小麦收获后土壤氮素残留的影响

硝态氮是旱地土壤中矿质氮的主要形态,也是旱地作物吸收的主要氮素形态。由于硝态氮会随降水或灌溉水淋入土壤深层污染地下水,或随地表径

流进入河流、湖泊水体,引起水体富营养化,或在土壤中经反硝化作用形成破坏臭氧层的温室效应气体氧化亚氮,所以土壤中的硝态氮数量,及其动态历来受到研究者的广泛关注。

小麦收获后测定了不同氮肥用量处理残留在土

壤中的硝态氮含量。土壤硝态氮的累积量明显与施氮量有关。这不但在1 m深的土层中表现明显,例如每公顷施用80, 160和240 kg氮素,累积的硝态氮分别为19, 51和181 kg/hm²;也在其它土层中有一定反映:1~2 m土层中累积的硝态氮分别为6, 14和44 kg/hm², 2~3 m深的土层中,则为14, 39和53 kg/hm²。从0~3 m深的土层来看,三种施氮水平总累积的氮素分别为39, 104和278 kg/hm²。数量也相当可观。本试验持续2年(2006~2008),累积的

氮素也是两年综合结果。由两年的结果来看,残留在土壤中的硝态氮还是很可观的。增施氮肥会增加土壤的硝态氮残留,但由于冬小麦生长季节处在西北地区的旱季,降水少,来自氮肥的硝态氮不会被淋入土壤深层,而主要累积在上层土壤。7~9月是这一地区的雨季,全年降水的60%分布在这一季节,残留在土壤中的硝态氮会在这一时期大量向下淋溶。如果不能合理的管理和利用,会对环境造成一定威胁。

表8 氮肥用量对冬小麦收获后土壤残留的硝态氮(kg/hm²)的影响

Table 8 The effects of nitrogen fertilizer rates on nitrate residual in soil after winter wheat harvest

土层(cm) Layer	施氮量 Nitrogen fertilizer rate(kg/hm ²)			
	0	80	160	240
0~100	30.7	19.2	51.4	180.7
100~200	14.7	6.0	14.2	44.1
200~300	19.8	13.9	38.7	53.0
0~200	45.4	25.2	65.5	224.8
0~300	65.2	39.1	104.2	277.8

3 讨论

土壤氮素是土壤肥力中最活跃的因素,也是农业生产中最重要限制因子之一。据报道,世界粮食增产的50%左右取决于土壤氮素肥力^[21]。作物对土壤氮素有很大依赖性^[22-24]。李仁岗等^[24]应用¹⁵N的试验结果表明,冬小麦由土壤吸收的氮素占总吸氮量的74.7%到79%,肥料氮仅占21%到26%。唐耀先等^[23]在辽宁中、高肥力土壤上进行的五年大田试验表明,土壤供氮能力与作物氮肥利用率成反比;玉米对土壤氮素的依存率按土壤肥力高低变动在70%~45%之间。郭金如等^[25]根据全国氮肥实验结果分析表明,高产作物需氮量约有45%~80%来自土壤。朱兆良^[26]根据国内8个省市的田间试验资料分析表明,不同作物对土壤氮素的依赖值大都在50%以上;南方作物为45%~83%。可见,高产作物在很大程度上依赖于土壤的供氮能力,而且这种依赖性与土壤肥力成正相关^[23,26];土壤供氮能力愈高,作物对土壤氮素依赖性愈高,氮肥的增产效果和利用率就愈低;反之亦然。吕殿青,李瑛^[27]在黄土高原不同地力水平上所得到的结果表明,当基础产量为每公顷1 500 kg时,氮肥利用率为65.4%,当基础产量为3 000 kg时,氮肥利用率为42.5%。

与前人结果不完全相同,在本试验地上,施用的氮肥则起决定作用:小麦由土壤吸收的氮素仅占总

氮量的32%,而由氮肥中吸收的氮素占68%。由此可见,氮肥对作物的贡献不能一概而论,而要根据土壤的实际情况考虑。虽然在高产田块上,土壤上的供氮能力起着决定作用,但在供氮能力低的土壤上,肥料氮则起决定作用。在后一情况下,加大氮肥用量是高产的保证。这一结果为科学应用氮肥、提高作物产量提供了有益启示。

4 结论

1) 氮肥有明显的增产效果。每公顷施80 kg N,每kg N增产小麦籽粒33 kg,利用率极高,是本试验条件下最佳用量。施氮对小麦籽粒收获指数无明显影响。

2) 冬小麦地上部生物量随生育期而变化,抽穗期或灌浆期生物量出现峰值,收获期明显下降。施氮能显著提高冬小麦的生物量,但不同氮量间无显著差别。施氮量高者生物量的高峰值出现时间早,未施氮或氮量少者延后。

3) 从灌浆期到收获期,地上部分干物质增加以籽粒为主,营养体的干物质因向籽粒转移而明显下降。施氮后营养体累积了大量干物质,后期籽粒的增长主要靠营养体中干物质的转移,而未施氮者后期干物质的合成仍有一定作用。

4) 小麦吸收氮素的数量随生育期而不断增长,至灌浆期达到峰值,收获期与灌浆期无显著差别;吸氮量的增长速率是前期高而后期低。施用氮肥大幅

度提高了各生育期地上的吸氮数量,氮肥用量对各生育期不同器官吸氮量的影响与其对地上部吸氮总量的影响一致。

5) 土壤硝态氮的累积量明显与施氮量有关。0~3 m 深的土层中,施用 80,160 和 240 kg 氮素,总累积氮素分别为 39,104 和 278 kg/hm²。本试验持续 2 年(2006~2008),累积的氮素也是两年综合结果。由两年的结果来看,残留在土壤中的硝态氮还是很可观的,如果不能合理的管理和利用,会对环境造成一定威胁。

参考文献:

- [1] 单玉珊.小麦高产栽培技术原理[M].北京:科学出版社,2001:1—5,154—156.
- [2] Hardy R W F, Havelka U D. Nitrogen fixation research: A key to world food? [J]. Science(Washington D C),1975,188:633—643.
- [3] 马新明,张娟娟,熊淑萍,等.氮肥用量对不同品质类型小麦品种籽粒灌浆特征和产量的影响[J].麦类作物学报,2005,25(6):72—77.
- [4] 冯伟,李晓,郭天财,等.氮用量对不同穗型小麦品种籽粒灌浆及灌浆特征的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):22—25.
- [5] 蔡国瑞,王振林,李文阳,等.氮素水平对不同基因型小麦旗叶光合特性和子粒灌浆进程的影响[J].华北农学报,2004,19(4):36—41.
- [6] 康国章,王永华,郭天财,等.氮素施用对超高产生育后期光合特性及产量的影响[J].作物学报,2003,29(1):82—86.
- [7] 张永丽,李雁鸣,肖凯,等.不同氮、磷用量对杂种小麦旗叶光合特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3):231—236.
- [8] 蔡瑞国,张敏,戴忠民,等.施氮水平对优质小麦旗叶光合特性和子粒生长发育的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(1):49—55.
- [9] 盛祝梅.施氮量对免少耕小麦生长发育及产量影响的试验初报[J].安徽农学通报,2008,14(6):83—84.
- [10] 李生秀,赵伯善.我国旱地土壤合理施肥之刍议[J].土壤通报,1991,22(4):145—148,152.
- [11] 汪德水,程宪国,张美荣,等.旱地土壤中的肥水激励机制[A].汪德水.旱地农田肥水关系原理和调控技术[C].北京:中国农业科技出版社,1995:195—203,315.
- [12] 山仑,陈陪元.旱地农业生理生态基础[M].北京:科学出版社,1998:1—17,43,106,161—165,214—220.
- [13] 李秧秧,邵明安.小麦根系对水分和氮肥的生理生态反应[J].植物营养与肥料学报,2000,6(4):383—388.
- [14] 岳寿松,于振文,余松烈,等.不同生育期施氮对冬小麦旗叶衰老和粒重的影响[J].中国农业科学,1997,30(2):42—46.
- [15] 梁振兴,刘兴海.小麦产量形成的栽培技术原理[M].北京:北京农业大学出版社,1994:44—46.
- [16] Dalling M J, Boland G, Wilson J H. Relation between acid proteinase activity and redistribution of nitrogen during grain development in wheat[J]. Aust J Plant Physiol, 1976, (3):721—730.
- [17] McNeal F H, Boat W, Right G O, et al. Nitrogen in plant parts of seven wheat varieties at successive stages of development[J]. Crop Science, 1968, (8):535—537.
- [18] Guitman M R, Arnozis F A, Barneix A J. Effect of source-sink relations and nitrogen nutrition on senescence and N remobilization in ear flag leaf of wheat[J]. Physiol Plant, 1991, 82:278—284.
- [19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:263—271.
- [20] 王树安.作物栽培学各论(北方本)[M].北京:中国农业出版社,1995:49—51.
- [21] 佩德罗,桑切兹和约翰 A, 尼科雷斯 J. 发展中国家植物营养与土壤限制因素[R].联合国粮食及农业组织技术咨询委员会秘书处,1983:1—17.
- [22] 朱兆良.种稻下氮肥的氨挥发及其在氮素损失中的重要性研究[J].土壤学报,1985,(22):320—327.
- [23] 唐耀先,张继宏,须湘成,等.土壤基础供氮能力与肥料氮素利用率及其应用的研究[J].土壤通报,1986,17(5):204—208.
- [24] 李仁岗,王淑敏,王克武,等.冬小麦对土壤氮和肥料氮的吸收及氮素平衡的研究[J].土壤通报,1982,(13):21—22.
- [25] 郭金如,李光锐.我国氮肥试验研究和施用发展概况[J].土壤肥料,1989,(4):28—33.
- [26] 朱兆良.我国土壤供氮和化肥氮去向的研究进展[J].土壤,1985,17(1):1—9.
- [27] 吕殿青,李瑛.提高氮肥利用率,促进黄土旱塬地区小麦增产[R].国际旱地农业学术讨论论文集(上册).杨凌.1987.

(英文摘要下转第 91 页)

Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and soil CO₂ emission under no-tillage on dry land in farming-pastoral zone of northern China

ZHANG Zhi-dong¹, LIU Jing-hui¹, YU Qing², WANG Yong-qiang¹,

CUI Feng-juan¹, WANG Run-lian¹

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. East Cereal and Oilseed Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa K1A 0C6, Canada)

Abstract: Soil enzymatic activities and CO₂ emission of no-tillage lands with different treatments of fertilizers was determined, analysed and estimated for their effects on soil enzymatic activities and CO₂ emission under no-tillage lands in farming-pastoral zone of northern China and their correlations. Valuable data were provided for improving soil quality, enhancing farmland carbon sequestration, reducing CO₂ emission and conducting sustainable utilization in dry land region. The results showed: the soil enzymatic activities and CO₂ emission in the fertilizer treatments were higher than those from the no-fertilizer treatment under no-tillage. The increased activities of Alkali-phosphates, Ivertase and CO₂ emission was mostly influenced by N-fertilizer, followed by P-fertilizer and K-fertilizer while the increased Catalase activities were mainly affected by K-fertilizer. The soil enzymatic activities and CO₂ emission was further enhanced by the combined uses of NP-fertilizer or NPK-fertilizer. However, K-fertilizer treatment, compared to N-P fertilizer treatment, showed a better increase on Catalase activity. Conclusively, a highly positive correlation existed between soil CO₂ emission and Ivertase and Urease activity while Alkali-phosphates and Catalase activity do not correlate CO₂ emission.

Keywords: dry farming; oat; no-tillage; soil enzyme activity; CO₂ emission

(上接第70页)

Effects of nitrogen fertilizer rates on yield formation and nitrogen utilization of winter wheat

ZHAO Xin-chun, WANG Zhao-hui

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effect of N rate on wheat growth, yield, N accumulation and uptake and utilization efficiency with an aim to determine the differences of the transfer of dry matter and N from shoots to seeds at the late stages of winter wheat and the rational N rate. The soil used for the trial was deficient in available N and thus it had good response to N fertilizer. The experiment included four treatments: control (without N application) and addition of 80, 160 and 240 kg N per ha, respectively. During the experimental period, changes of dry matter of different organs (stem and leaf, ear chaff and seed) and N in the aboveground part were measured. The results showed that when N rate was adequate, wheat yield was remarkably increased. Application of 80 kg N per ha had the highest efficiency, and 1 kg N increased 33 kg of wheat grain, almost reaching the highest limit of N function. There was no significant effect of application of N fertilizer on N harvest index. The biomass of wheat was increased with wheat developing time, and the peak value occurred at grain filling stage. Wheat took up much higher N from N fertilizer than from soil. At the same growing stages, the N content or concentration in plants was increased with the rise of N rate while at the late stages the concentration was declined higher for the higher N rate than for the lower N rate. However, the N uptake amount was continuously increased until grain filling stage when peak values were reached. Application of N fertilizer played a great role for grain to accumulate N and a large part of N in grains was originated from the transfer of N accumulated in plants during the grain filling stage. Evaluated by N utilization efficiency and its impact on the environment, application of 80 kg N per ha was the best choice for the soil used in the trial.

Keywords: nitrogen fertilizer rate; winter wheat; biomass; grain yield; N uptake; distribution and transfer