

应用稳定性同位素 ^{15}N 研究 冬小麦的氮肥效应*

彭运生 张起刚 陈佑良 王福钧 梅楠
(北京农业大学)

〔摘要〕应用 ^{15}N 示踪技术,通过ZhT-02型质谱计分析测定,研究冬小麦对氮素吸收利用的规律,以及不同时期施肥对产量和产量构成的影响,为小麦合理施肥,实现稳产高产提供科学依据。

引言

在小麦高产理论及栽培技术中,施肥与氮素效应的研究日益受到重视。但是对合理施肥还缺乏理论根据。有人认为,北京地区小麦要高产,必须“大水大肥”或“多施基肥”,结果有的不但没有增产反而减产。为此,我们利用 ^{15}N 示踪技术,通过ZhT-02型质谱计分析测定,研究了冬小麦对氮素吸收利用的规律,以及不同时期施肥对产量及产量构成的影响,从而为小麦合理施肥提供了科学依据。

材料和方法

实验地点在北京农业大学校园网室内及校外附近的实验地。1979—1980年为盆栽实验,1980—1981年为盆栽、田间微区试验(框栽)和田间小区实验结合进行。盆栽为白瓷盆直径25cm高30cm。框栽为铁制长方形、框长30cm,宽19cm,高30cm。每盆装土15公斤(折干土14公斤)。铁框埋在田间试验小区中,每框盛过筛土14公斤。1979—1980年试验用沙壤质褐土,有机质含量1.67%(丘林法),全氮含量0.093%(凯氏法),碱解法86.1ppm。1980—1981年盆栽和框栽,用土为轻壤质褐土,有机质含量为2.20%,全氮含量为0.108%,碱解氮6.62ppm。

两年实验的处理基本相同,对照CK不施氮肥。不同时期施肥处理有冬前(处理A),二稃期(处理B),雌雄蕊期(处理C),四分子期(处理D),扬花期(处理E)。1979—1980年各处理每盆均施基肥(普通尿素)0.55克。按实验设计于不同时期每盆施标记尿素0.74克(丰度为11.68%)。1980—1981年末施基肥(普通氮肥,按试验设计于不同时期每盆施2.96克;每框施3.44克标记硫铵,(丰度为11.70%)。两年试验均施基肥过磷酸钙和氯化钾。

实验小麦品种为农大139号,每盆6株苗,每框20株苗。盆栽四次重复。框栽和小区试验三次重复。随机区组排列。小区面积9平方。

在不同生育期取样,按生长情况分为叶片、叶鞘、茎秆、幼穗和根系等部分。烘干、称

•1982年12月15日收

重。样品粉碎后用凯氏法测定全氮。 ^{15}N 分析全部由ZhT-02型质谱计完成。

对产量和产量构成等主要数据作方差分析,并在此基础上用Duncan的新复极差测验法或最小显著差数法(LSD)作多重比较。

结 果 与 讨 论

一、施肥时期与氮肥的吸收利用

(一) 氮素吸收动态。

小麦吸收不同时期施用氮肥的测定结果列于表1。全部氮肥作基肥施用,施肥后50天到临近越冬,植株吸收的肥料氮占施肥量的14—20%。第二年返青后,小麦继续吸收土壤中的肥料氮,到雌雄分化(拔节期)肥料利用率有所提高。与施基肥相比,小麦对春季追施的氮肥吸收的速度要快得多。以1979—1980年为例,二穗期(起身)施的氮肥到雌雄分化期,25天取样,植株吸收157.9毫克/盆肥料氮,占全生育期吸收肥料氮的81%,肥料利用率为46.72%。雌雄分化期施的氮肥到四分子(孕穗)期,仅14天,吸收152.1毫克的肥料氮。占全生育期肥料吸收量的77.5%。拔节以后植株生长速度大大加快,吸收肥料的速度比冬前苗期大4—7倍。

所有追肥处理,在施肥后25天,植株吸收的肥料氮占全生育期吸收的肥料氮量的75%以上。冬前小麦吸收土壤氮和肥料氮的绝对量均比较少,吸收速度也慢。春季小麦对土壤氮和肥料氮的吸收量显著增加。从表1中的数据看出,幼苗吸收的总氮量中,土壤氮的数量总大于肥料氮的数量。盆栽和恒栽的氮肥吸收的动态基本趋势一致。

(二) 氮肥的利用率。

表2的数据表明:追施氮肥的利用率为47—73%。二穗期至扬花期的各次追肥随追肥时期的延迟,氮肥的利用率提高。各处理之间差异也明显。1980—1981年盆栽各期追肥利用率变化较小(59—67%),以四分子期追肥利用率最高。氮肥作基肥时,肥料利用率仅为追肥的1/2到1/3。

成熟期吸收的总氮量中,约有9—26%的氮素来自肥料,74—91%来自土壤氮。氮肥在二

表1 不同时期追肥吸收动态

试验处理	取 样 时 期		植株吸收 总氮量 (克/盆)	植 株 吸 收 肥 料 氮			植株吸收 土壤氮 (克/盆)
	穗发育期	施肥至取样 天 数		总 量 (克/盆)	占植株总氮 (%)	氮肥回收率 (%)	
1979—1980 基 肥	生长锥未伸长	55 天	390.3	46.5	11.91	13.76	343.8
	雌雄蕊形成	207 天	787.4	79.6	10.11	23.53	707.8
	四分子期	221 天	760.1	84.7	11.14	25.06	675.4
	成熟期	262 天	851.3	79.1	9.29	23.39	772.2
1979—1980 二穗期追肥	雌雄蕊形成	25 天	715.3	157.9	22.07	46.72	557.4
	成熟期	80 天	880.4	195.2	22.17	57.73	685.2
1979—1980 雌雄蕊期追肥	四分子期	14 天	760.0	152.1	20.01	44.99	607.9
	成熟期	55 天	931.8	196.3	21.07	58.06	735.5

表2 不同时期施肥的氮肥利用率

试 验 处 理	植株吸收 总氮量 (毫克/盆)	植株吸收肥料氮		*NOFF (%)	**NDFS (%)
		总 量 (毫克/盆)	氮肥利用率 (%)		
1979—1980年盆栽实验					
基 肥 (A)	851.3	79.1	23.39	9.29	90.71
二 稜 期 追 肥 (B)	880.4	195.2	57.73	22.17	77.83
雌雄蕊期追肥 (C)	931.8	196.3	58.06	21.07	78.93
四分子期追肥 (D)	947.8	232.1	68.66	24.49	75.51
扬花期追肥 (E)	945.6	245.8	72.66	25.99	74.01
1980—1981年盆栽实验					
基 肥 (A)	1081.8	208.0	35.15	17.88	82.12
二 稜 期 追 肥 (B)	1218.2	347.7	59.25	27.37	72.63
雌雄蕊期追肥 (C)	1220.6	387.1	63.32	30.74	69.26
四分子期追期 (D)	1217.0	397.6	65.45	32.67	67.33
扬花期追肥 (E)	117.0	368.4	60.45	30.60	69.40
1980—1981年田间框栽实验					
基 肥 (A)	1053.7	148.8	22.7	14.05	85.95
二 稜 期 追 肥 (B)	1240.3	304.6	45.60	24.56	75.44
雌雄蕊期追肥 (C)	1314.0	316.8	47.49	24.10	75.90
四分子期追肥 (D)	1250.6	307.0	45.96	24.55	75.45
扬花期追肥 (E)	1275.7	384.0	42.51	22.26	77.74

* 来自肥料氮 (%); ** 来自土壤中氮

稃期作追肥时, 来自肥料氮的比例显著增加, 且随追肥的延迟而越来越高。

二、不同时期施肥的氮素效应

(一) 对产量及产量构成的影响

不同时期施肥对麦苗生长和器官的建成有不同的效应。最后对产量及产量构成的影响也不相同。表3是两年盆栽和一年田间实验的产量及产量构成的结果。不同时期施肥对产量的影响不同, 即使产量基本相同时也改变了产量构成因素。1979—1980年的D处理高于E处理, 但和A、B、C处理属于同一产量水平。A、B、C、D处理比对照产量高55—63%, E处理比对照产量高32%。施肥的增产作用很明显。1980—1981年的盆栽实验的A、B、C各处理比对照产量高31—34%。D、E处理比对照产量分别高25%和15%。第二年的增产幅度不如第一年高。但第二年各处理的产量均比第一年高。对照与对照比高63%。1979—1980年产量低的原因主要是严重的不利天气条件造成的。

表“3”田间条件下, 不同时期施肥对穗数的作用与盆栽不同, 但对穗粒数和千粒重的提高作用是相同的。1980—1981年田间小区实验, 每公顷6000公斤的产量水平, A、B、C处理中, C处理的穗粒数最多。获得的结果表明, 雌雄蕊分化期施肥是提高穗粒数的关键时

表“3” 不同时期施肥产量及产量构成因素

年份	处理	穗数 (个/盆)	结实小穗数 (个/穗)	不孕小穗数 (个/穗)	粒数 (个/盆)	穗粒数	千粒重 (克)	穗粒重 (克)	籽粒重 (克/盆)
一九七九 (盆栽) 八〇年	A	33.7a*	13.1	4.74	885b	26.3b	35.2	0.926	31.2a
	B	34.0a	14.2	2.94	903ab	26.6b	34.6	0.918	31.2a
	C	32.3a	14.4	2.79	946a	29.4a	34.6	1.012	32.7a
	D	36.3a	13.3	2.95	901ab	24.8a	34.5	0.857	31.1a
	E	29.0b	13.8	3.09	707c	24.4c	37.9	0.917	26.6b
	CK	27.0c	14.2	2.38	684.c	25.3bc	29.3	0.774	20.1c
一九八〇 (盆栽) 八一年	A	40.3a	15.0	1.85	1208a	30.2b	35.3c	1.07	42.8ab
	B	36.0ab	15.7	1.64	1150ab	31.9ab	37.5bc	1.20	43.2ab
	C	34.0bc	15.5	1.28	1134ab	33.5a	38.7b	1.31	43.7a
	D	32.7bc	15.9	1.51	1050bc	32.1ab	39.3ab	1.26	41.1b
	E	31.7bc	15.3	1.83	976c	30.9b	38.2bc	1.19	37.7bc
	CK	28.7c	15.1	1.39	775d	27.5c	41.9a	1.15	32.8d
一九八〇 (田间) 八一年	A	55.34	13.0	2.32	996.7c	18.0b	36.5b	0.658	5457.4c
	B	55.95	13.3	2.03	1052.9bc	18.8b	36.9b	0.697	5832.0b
	C	54.78	14.2	1.68	1130.9a	20.7a	37.5ab	0.750	6145.6a
	D	53.17	13.2	2.12	999.5c	18.9b	34.8a	0.724	5749.0b
	E	56.67	12.9	2.39	980.8c	17.4b	39.1a	0.678	5746.0b
	CK	57.13	13.4	2.28	1009.6c	17.7b	36.6b	0.631	5392.0c

*: 有相同字母者差异不显著 (5%显著水平), 田间产量为实收 (公斤/公顷)

期。不同年份盆栽、田间试验的产量和产量构成尽管有许多不同之处, 但有明显的共同趋势。两年的实验的结果都是C处理产量最高, 穗粒数和穗粒重也是C处理最高。CK和E处理的穗粒数都比较少, C处理的不孕小穗数最少, A处理最多。

(二) 氮在植物中的分配

成熟时的植株总氮的70~73%分配在籽粒中, 根系10~11%, 叶片中为6~8%。分配在叶鞘、颖轴和茎秆中的比例更小。随追肥时期的推迟籽粒中氮占的比例有增加的趋势, 而叶片中氮有下降的趋势、叶鞘和茎中氮的比例没有明显的变化。成熟时肥料氮在植株各器官中的分配则显著不同, 施肥越晚肥料氮在籽粒中占的比例越大。A处理时为66.6%, E处理增加到87.8%。营养器官中, 肥料氮所占的比例虽然有特点, 但总的趋势是随施肥时期后延, 肥料氮的比例降低, 和籽粒情况正相反。

根据全氮分析, 成熟各器官中的含氮百分数除不施肥的对照较低外, 各处理间差异不大。但各器官中¹⁵N的丰度明显不同。丰度不同说明肥料氮参与器官建成的程度及成熟时肥料

表4 成熟时期各器官¹⁵N丰度(%)

试 验 处 理	叶 片	叶 鞘	茎	籽 粒
1979~1980年盆栽实验				
基 肥	1.57	1.843	1.212	1.369
二稃期追肥	3.044	2.492	2.845	2.379
雌雄蕊期追肥	2.086	2.545	3.066	2.878
四分子期追肥	1.283	2.072	3.250	3.521
扬花期追肥	1.321	2.101	3.340	3.939
1980~1981年盆栽实验				
基 肥	1.692	1.223	1.146	2.279
二稃期追肥	3.633	3.180	2.049	4.210
雌雄蕊期追肥	3.220	3.251	2.632	4.852
四分子期追肥	3.305	2.579	2.384	4.825
扬花期追肥	1.186	1.617	1.671	4.586

氮在营养器官中残留量不同。

表“4”中列出了小麦成熟期各器官的¹⁵N丰度。显然,参与器官建成的肥料氮素,到成熟时在该器官中残留的数量多。如二稃期(B)施肥叶片的丰度高,表明叶片中残留的肥料氮多。而雌雄蕊期追肥,茎和叶鞘的丰度高,肥料氮多。扬花后追肥主要参与营养器官的更新代谢,残留少。

(三)施肥时期与籽粒蛋白的含量。

表“5”表明,施氮肥提高了籽粒蛋白的含量每盆施氮肥0.59克,籽粒蛋白比不施肥提高17~18%。施肥时期越晚,氮素对籽粒蛋白的贡献越大;盆栽条件下,E比A籽粒蛋白质

表5 不同时期施肥对籽粒蛋白的影响

试 验 年 份	处 理	籽 粒		
		含氮量(%)	蛋白质(%)	蛋白质产量 (克/盆)
1979~1980年 盆 栽	基 肥	1.91cde*	10.86**	3.386
	二稃期追肥	1.96 cd	11.17	3.488
	雌雄蕊期追肥	2.04c	11.65	3.813
	四分子期追肥	2.22b	12.65	3.927
	扬花期追肥	2.57a	14.64	3.950
	不 施 氮 肥	1.63f	9.28	1.864

续表 5

试验年份	处 理	籽 粒		
		含氮量 (%)	蛋白质 (%)	蛋白质产量 (克/盆)
1980~1981年	基 肥	1.88d	10.74	4.550
	二稃期追肥	2.25bc	12.82	5.535
	雌雄蕊期追肥	2.22c	12.68	5.552
	四分子期追肥	2.33b	13.28	5.461
	扬花期追肥	2.47a	14.09	5.295
	不 施 氮 肥	1.58e	9.01	2.953
1980~1981年	基 肥	1.98c	11.28	公斤/公顷 615.6b
	二稃期追肥	2.17b	12.39	722.48ab
	雌雄蕊期追肥	2.22b	12.65	777.6a
	四分子期追肥	2.24b	12.78	732.53ab
	扬花期追肥	2.36a	13.45	772.50a
	不 施 氮 肥	1.89d	10.77	580.73b

*：有相同字母者差异不显著；

**：蛋白质折算系数5.7。

含量增加31~35%，C比A增加7~18%。田间条件下E比A增加19%，C比A增加12%。在各期施肥中，以E和D处理提高蛋白质的含量的作用最显著。从籽粒蛋白产量看，C、D、E各处理蛋白质产量都比较高。增加氮肥，尤其是后期施肥是提高籽粒蛋白质含量和蛋白质产量的有效手段。雌雄蕊期施肥不仅对增加粒数及粒重是个重要时期，而且对提高蛋白质含量和蛋白质的产量也是有意义的。

结 束 语

1. 追施氮肥的利用率明显地高于基施氮肥，随追肥时期的延迟，氮肥利用率提高，而且肥料氮在植株总氮中的比例也显著增加。成熟期植株总氮的70%左右分配在籽粒中，植株中来自肥料的氮所占比例不高，一般仅占四分之一。施肥促进了小麦对土壤氮的吸收利用。施肥越早土壤中回收（固定）的氮素越多，施肥越早肥料氮损失越多。

2. 不同时期施肥对产量及产量构成因素的作用不同。基施氮肥和早春起身期追施氮肥主要促进叶片增大，但叶片薄。拔节以后施肥对营养器官的作用较小，但能维持植株有较高氮素营养水平。

3. 施氮肥显著地影响蛋白的含量及籽粒蛋白质的产量。四分子和扬花期施氮肥是提高蛋白的产量和籽粒蛋白质的含量的有效措施。雌雄蕊期施肥不仅是提高穗粒数的关键，而且对增加粒重和提高蛋白质的含量也有意义。

Studies on the Effect of Fertilizer-N upon Winter Wheat by Using Stable Isotope ^{15}N

Pen Yunsheng, Zhang Qigang, Chen Youliang, Wang Fujun & Mei Nan
(Beijing Agricultural University)

Abstract

The law of absorption and utilization of fertilizer-N in winter wheat and the effect of applying fertilizer in different stages of growth upon the production and the production constitute are discovered by using stable isotope ^{15}N with ZhT-02 mass spectrometer. According to these studies, a scientific basis is provided for rational application of fertilizer to stabilize the increase of production.

承办广告业务启事

本刊承接国内、外质谱仪器、质谱学专刊和理化分析仪器的广告
业务，请广为利用。