

施肥方法对改善肥料氮素 运移及肥效的影响

赵世伟 陈国良

中国科学院
(水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要 通过改进宁南黄土丘陵区旱作农田施肥的三种方法与现行两种施肥方法的对比试验研究,结果表明,改进后的施肥方法不仅能减少农田春麦系统中氮素 NH_3 挥发,土壤残留,和不明途径损失,而且能显著提高氮肥利用率,从而使“三高一低”的氮素运移特征得到明显改善,同时还能提高肥料的增产作用。在三种改进的施肥方法中以 1/4 基肥+1/2 深追+1/4 叶喷的方法,效果更好。

关键词 施肥方法 氮素运移 增产效果

The Effect of Fertilizer Apply Methods on Improving Nitrogen Transport and Increasing Crop Yield

Zhao Shirui Chen Guoliang

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources. Yangling. Shaanxi. 712100)

Abstract With the results of contrast experiments between improved fertilizer apply methods and the current methods in dryland of south Ningxia loess hilly region, the author consider that improved methods not only decrease the NH_3 volatilization, remainder in soil, and the loss of nonconclusive way of fertilizer nitrogen, but also increase the nitrogen utilization rate, and improve the nitrogen transport character of "3 Higher and 1 Lower" in farmland—spring wheat system, and raise the spring wheat yield. The fertilizer apply method of 1/4 basic application + 1/4 subsoil application + 1/4 leaf application is the best method in the three improved methods.

Key words fertilizer apply method nitrogen transport raising yields

宁南黄土丘陵区,地处黄土高原西部温凉半干旱区。“土壤瘠薄、投肥不足,干旱频繁”是影响该地区旱作农业发展的严重问题。经过 10 多年来的农业综合治理,农田化肥投入已从 $7.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 提高到 $112.5\text{kg}/\text{hm}^2$,而且改变传统的春季表施为“秋季深施”的施肥方法,旱作产量也由 $525\text{kg}/\text{hm}^2$ 提高到 $1\,200\sim 1\,500\text{kg}/\text{hm}^2$ 。可见,增加化肥投入,改善施肥方法是黄土丘陵区旱作

产量提高的有效途径。

近年来该地区旱作农田化肥用量特别是氮肥同量不断增加,但肥效渐减。根据作者的研究结果,由于现行施肥方法的缺陷春麦氮肥利用率只有 20%~26.4%,而且旱作农田春麦系统中存在氮素运移的“三高一低”即高挥发、高残留、高不明途径损失和低利用率的问题。国家科技白皮书规划要求,到 2000 年我国化肥利用率应达到 40%,到 2020 年则应提高到 60%,但该地区的实际与此相差甚远,因此,研究解决提高旱地农田化肥利用率的新途径和新技术,改善肥料氮素运移方向,不仅对宁南黄土丘陵区,而且对黄土高原广大旱农地区农业持续发展和粮食再上新台阶具有重要意义。

1 试验设计和方法

本研究分为两个部分,一是田间微区试验(其材料和方法前文已有阐述),二是大田小区试验。这两部分试验,同设置在宁夏固原县上黄村川台地上。试验以该地区现行的两种施肥方法为基础,与改进的三种试验方法进行对比试验,研究其对春麦产量和氮素运移及提高氮肥利用率的影响,具体处理见表 1、表 2。

表 1 微区试验设计

处 理	肥料及用量 mg/区	施肥时期及方法
①不施肥		
②基肥	N 478.4mg/区,	
③1/2 基肥+1/2 表追	(¹⁵ N 标记尿素)	
	P ₂ O ₅ 286.5mg/区,(普钙)	②处理 P 肥 10cm 土壤混施,N 肥 10cm
④1/2 基肥+1/2 深追		土层下面施(基肥一次施入)③处理 P
⑤1/2 基肥+1/4 深追	同 上	肥基肥一次施入,1/2N 基肥施入,
+1/4 叶喷	同 上	1/2N 在拔节—孕穗时表施④处理基肥
		同③处理相同,1/2N 在拔节—孕穗时
⑥1/4 基肥+1/2 深追	同 上	6cm 沟深施,⑤处理基肥同上,1/4N 在
+1/4 叶喷	同 上	拔节—孕穗时深追 6cm,1/4N 在抽穗
		期叶面喷施,⑥处理方法同,⑤一致,各
		时期按量进行施肥。

微区试验各处理重复三次,随机排列,每微区春麦定植 25 株。样品的采集和分析:从施肥起定期收获 NH₃ 挥发样品。在春麦收获时采集春麦根系、茎叶、籽实样品,并采集 0~10cm,10~20cm,20~30cm,30~40cm,40~50cm,50~100cm 土壤样品,测定其全氮含量,和¹⁵N 半度,¹⁵N 丰度由本所质谱仪测定。

大田试验小区面积为 5m×3m,各处理重复三次,随机排列,春麦播种量为 195kg/hm²。大田小区试验只在收获时测定小区产量,并采集¹⁵N 叶面喷肥植株样品,分析¹⁵N 丰度。

表 2 大田小区试验设计

处 理	肥料及用量 g/区	施肥时期及方法
①不施肥		
②基肥	N 135 g/区(尿素)	
	P ₂ O ₅ 81 g/区(普钙)	种前一次性混施入 10cm 土层
③1/2 基肥+1/2 表追	同 上	与微区相应处理相同
④1/2 基肥+1/2 深追	同 上	与微区相应处理相同
⑤1/2 基肥+1/4 深追+1/4 叶喷	同 上	与微区相应处理相同
⑥1/4 基肥+1/2 深追+1/4 叶喷	同上,1/4 叶喷 N	
	量为 ¹⁵ N 标记尿素	基、追与微区相应处理相同

2 试验结果

2.1 施肥方法对氮素吸收的影响

施肥方法是影响作物氮素吸收利用的一个重要因素。通过测定春麦根系、茎叶、籽实含氮量和 ^{15}N 丰度,从表3我们可以看出,无论是对土壤氮素的吸收,还是对肥料氮素的吸收,不同施肥方法间存在明显的差异。现行施肥方式基肥和1/2基肥+1/2表追吸收的肥料氮和土壤氮均为最低,肥料利用只有22.32%和26.42%。

通过改表追为深追,春麦地上部分对肥料氮素的利用达174.8mg/区,较表追提高了38.45%,其肥料利用达36.54%,效果显著。在此基础上,将深追肥分解为土追和叶追,则氮肥利用率进一步提高,达49.16%,效果极显著。我们进一步减少基肥量,即将施肥方法变成1/4基肥+1/2深追+1/4叶喷,可使春麦地上部吸收肥料氮量提高到285.1mg/区,肥料利用率达最大为59.59%,效果极显著。这一系列改变施肥方法的结果说明,改表追为深追,减少基肥土施增加叶面施肥,可大幅度提高作物对肥料的利用率。

表3 春麦对不同氮源的吸收(mg/区)

施肥方法	根系吸收		茎叶吸收		籽实吸收		地上部总N量		肥料利用率%
	土壤N	肥料N	土壤N	肥料N	土壤N	肥料N	土壤N	肥料N	
基肥	135.3	4.4	90.1	17.5	200.1	89.3	290.2	106.8	22.32
1/2基+1/2表	154.9	7.4	117.6	17.1	287.5	109.3	405.1	126.4	26.42
1/2基+1/2深	146.8	14.7	147.7	23.1	327.1	151.8	474.8	174.8	36.54*
1/2基+1/4深+1/4叶喷	116.2	9.6	148.2	27.9	299.2	207.8	447.4	235.4	49.16***
1/4基+1/2深+1/4叶喷	136.7	12.6	144.7	30.8	267.1	254.3	411.8	285.1	59.59***

为了证实将土壤深追改为土追+叶面追肥的方法对提高春麦氮肥利用率的作用,我们在相应的大田小区试验的相同处理区内,设置了三个1/4基肥+1/2深追+1/4叶喷的重复,其基肥和土壤追肥均未采用标记尿素,只在孕穗—抽穗期叶喷119.6mg/区 ^{15}N 标记尿素,收获后对茎叶和籽实进行含氮量和 ^{15}N 丰度测定,结果(表4)表明,根外追肥的氮素利用率高达80.0%。这一结果有力地证明,根外施肥的肥料利用率远远高于土体施肥。因而可以认为,减少土体施肥增加叶面施肥是提高春麦氮肥利用率的十分有效的途径。

表4 根外追肥的肥料利用(mg/区)

重复	茎叶肥料N量	籽实肥料N含量	总吸收肥料N量	肥料利用率(%)
1	25.1	71.3	96.4	80.6
2	24.8	61.8	92.6	77.4
3	25.7	72.4	98.1	82.0
平均	25.2	70.5	95.7	80.0

2.2 施肥方法对肥料氮地上部分分配的影响

春麦由营养生长转向生殖生长的同时,营养器官所利用的氮素逐渐向籽实中转移,并以蛋白质形式贮存于籽实中。转移的多少和比例受到氮素吸收数量的影响,因而也同施肥方法有着必然地联系。表3的结果证实了这一点。现行的两种施肥方法由于地上部本身吸收肥料氮素数量少,虽然运移到籽实中的肥料氮分别占地上部吸收总量83.6%~86.5%,但数量仍为最低,只有89.3mg/区和109.3mg/区,其肥料籽实利用率只有18.8%和23.0%,茎叶中肥料氮只占吸收总氮量的16.4%和13.5%。

将表追肥改为深追肥后,由于地上部吸收氮量增加,因而转移至籽实中的氮量也随之增加,达151.8mg/区,占地上部肥料氮的86.8%,茎叶只占13.2%,其籽实肥料氮利用率则高达

32.0%，显著地高于现行施肥方法。在此基础上进一步减少基肥，并将土追改为土追+叶喷，则籽实肥料氮利用率分别达 43.8%和 53.6%，相当于有 88.3%和 89.2%的地上部吸收总氮转移到了籽实之中，茎叶中只剩下 11.7%和 10.8%的肥料氮素。

上述结果说明，改善施肥方法不仅能使作物吸收更多的肥料氮素，而且能使更多的肥料氮转运到籽实之中，使肥料经济利用率提高。其中以 1/4 基+1/2 深追+1/4 叶喷效果最为理想。

2.3 施肥方法对肥料氮素 NH₃ 挥发的影响

由于宁南黄土丘陵区广泛分布石灰性土壤，因此农田土壤中存在不同程度的氮素 NH₃ 挥发损失。从表 5 结果中可以看出不良施肥方法，造成了严重的肥料氮素 NH₃ 挥发损失。例如 1/2 基+1/2 表追，其肥料氮总挥发率达 22.0%。如果以追肥量计算，则 NH₃ 挥发损失达 35.6%，这是该地区农田春麦氮素运移中存在严重问题之一。

石灰性土壤上肥料深施基本上可以防止肥料氮素的 NH₃ 挥发损失的大量发生，从表 5 的结果看，改进的施肥方法其肥料氮素 NH₃ 挥发损失平均在 4.7%~6.0%之间。因此，农田春麦系统氮素运移中的 NH₃ 挥发问题，可以通过肥料深施得到控制。

表 5 不同氮源的 NH₃ 挥发损失 (mg/区)

施肥方法	农田 NH ₃ 挥发总量	土壤 N 挥发量	肥料 N 挥发量	肥料 N 挥发率(%)
不施肥	42.0	42.0	—	—
基肥	70.2	49.2	20.5	4.3
1/2 基+1/2 表追	138.3	50.2	105.2	22.0
1/2 基+1/2 深追	63.9	41.4	22.5	4.7
1/2 基+1/4 深追+1/4 叶喷	65.5	36.9	28.6	6.0
1/4 基+1/2 深追+1/4 叶喷	66.1	38.7	27.4	5.7

2.4 施肥方法对肥料氮土壤残留的影响

肥料氮的土壤残留是农田春麦系统氮素运移的一个主要途径之一。现行的基肥和追施肥方法造成了大量肥料氮素的土壤残留，而未能被春麦所吸收。表 6 结果表明，这种施肥方法，使 34.4%的肥料残留在土壤中。改变施肥方式，减少基肥量可以大大降低氮素的土壤残留，使残留率低于 17.1%，随着土体施肥的减少并改为叶面施肥方法，其土壤残留率则下降到 11.1%到 9.3%，显然减少土体施肥可以明显降低肥料氮和土壤残留固定。

表 6 肥料氮在土壤中的残留与分布 (mg/区)

施肥方法	土壤深度(cm)						残留总量	残留率 (%)
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~100		
基肥	14.8	123.5	17.9	8.5	0	0	164.7	34.40
1/2 基+1/2 表追	36.5	17.5	7.8	0	0	0	62.2	13.00
1/2 基+1/2 深追	27.7	32.2	15.9	6.1	0	0	81.9	17.10
1/2 基+1/4 深追+1/4 叶喷	25.9	16.9	10.1	0	0	0	52.9	11.10
1/4 基+1/2 深追+1/4 叶喷	12.4	20.1	12.0	0	0	0	44.5	9.30

另外，从肥料残留氮在土壤剖面中的分布来看，虽然有向下移动的趋势，但只存在于 40cm 以上土层，因而不可能发生肥料氮素的淋溶损失。

2.5 施肥方法对不明途径损失的影响

通过对肥料氮素利用，NH₃ 挥发、残留和淋失等途径数量的测定，进行肥料氮在农田春麦系统中的运移平衡分析(见表 7)，现行两种施肥方法中存在近 40%的氮素不明途径损失。通过改变施肥方法，如改表追为深追，改土追为土追与叶面追肥相结合，虽然能提高氮肥利用率和降低土壤残留，但对减少不明途径损失方面，作用不明显。只有进一步减少基肥量，采用 1/4 基肥+1/2 深追+1/4 叶喷的方法，不明途径损失才有了较为明显的降低，但仍然高达 25.41%。这是宁南黄

土丘陵区农田春麦系统氮素运移中存在的最为严重的问题,应引起高度重视和进行进一步研究。

表 7 农田春麦系统氮素运移去向

施肥方法	春麦利用率%	NH ₃ 挥发率%	土壤残留率%	不明途径损失率%
基肥	22.32	4.30	34.40	39.98
1/2 基+1/2 表追	26.42	22.00	13.00	38.58
1/2 基+1/2 深追	36.54	4.70	17.10	41.64
1/2 基+1/4 深追+1/4 叶喷	49.16	6.00	11.10	33.74
1/4 基+1/2 深追+1/4 叶喷	59.59	5.70	9.30	25.41

2.6 施肥方法对春麦产量的影响

在同一气候土壤条件下,施肥方法不仅影响农田春麦系统肥料氮素的运移,同样也影响着作物的产量。从微区试验结果(见表 8)来看,除基肥根茎产量最低外,其余处理的根茎产量差异并不明显,而在籽实产量上差异就非常显著。现行两种施肥方法籽实产量最低,基追结合并改表追为深追的处理分别较这两种方法春麦产量提高 45.9%和 11.3%,而将土追改为土追同叶追的方法较现行两种施肥方法春麦产量增加 59%和 21.2%,差异极显著。进一步减少基肥增加追肥的 1/4 基+1/2 深追+1/4 叶喷方法,也将春麦产量分别提高 60.7%和 22.5%,为最高达 19.6 g/区。差异极显著。

表 8 微区试验春麦产量及性状

施肥方法	根+茎 (g/区)	籽实 (g/区)	穗长 (cm)	结实小穗 (个)	穗粒数 (个)	不孕小穗 (个)	千粒重 (g)
基肥	23.4	12.2	5.6	7.5	14.5	4.6	29.6
1/2 基+1/2 表追	33.6	16.0	5.8	8.1	16.3	4.4	36.2
1/2 基+1/2 深追	34.3	17.8	5.7	8.5	18.1	4.1	37.2
1/2 基+1/4 深追+1/4 叶喷	35.6	19.4	6.4	8.8	19.1	4.2	41.2
1/4 基+1/2 深追+1/4 叶喷	36.0	19.6	6.3	9.3	19.8	4.1	41.3

施肥方法改进对春麦产量提高的原因,可以通过产量性状分析得出。从表 8 中不难看出,施肥方法改进,促使春麦穗长、结实小穗数、穗粒数和千粒重等产量性状均较现行两种施肥方法有所增加,其中最为明显的是千粒重和穗粒数,这说明减少基肥,增加追肥,改土追为叶喷相结合的施肥方法,能满足春麦生育后期的营养需求,提高结实率,保证灌浆,提高了千粒重,从而使春麦产量得以提高。

从大田小区试验结果来看(表 9),施肥方法对春麦产量的影响同微区试验结果基本一致。现行两种施肥方式中基肥生物产量和籽实产量均为最低,1/2 基+1/2 表追稍好,其籽实产量达 4.8 kg/区,较之增加 19.0%。将表追改为深追,籽实产量较现行两种方法分别提高 29.3%和 10.4%。在此基础上将土追改进为土追与叶面喷施相结合,籽实产量较现行方法分别增产 31.7%和 12.5%,进一步减少基肥增加追肥并结合叶面喷施,则籽实产量进一步提高达 5.6kg/区,较现行方法分别增产 39.0%和 18.8%。通过产量性状变化的分析,施肥方法改进,主要促进了结实率提高和千粒重增加,其中以千粒量增加最为明显。

表 9 大田小区试验春麦产量及性状

施肥方法	生物产量 (kg/区)	籽实产量 (kg/区)	结实小穗 (个)	不孕小穗 (个)	千粒重 (g)
基肥	10.5	4.1	12.9	2.3	42.7
1/2 基+1/2 表追	11.8	4.8	13.0	2.4	44.6
1/2 基+1/2 深追	11.7	5.3	13.1	2.3	45.2
1/2 基+1/4 深追+1/4 叶喷	11.3	5.4	14.0	2.1	45.8
1/4 基+1/2 深追+1/4 叶喷	10.9	5.6	14.2	1.9	46.6

因此可以认为,施肥方法的改进,通过提高结实率和增加千粒重,从而达到增产的目的。改进

后的施肥方法以 $1/4$ 基 + $1/2$ 深追 + $1/4$ 叶喷效果最为显著。这已由微区和小区试验结果所证实。从春麦营养需求规律来看,这一施肥方法,在拔节时深追肥料,可满足春麦幼穗分化和小穗形成的营养所需,到抽穗时,由于根系老化,养分吸收能力减退,因此叶面喷追氮肥,有助于改善春麦后期营养,促进小穗结实,延长功能叶生理功能,促进灌浆,从而使籽粒更为饱满,千粒重增加。这既是这一施肥方法的优势,也是现行两种施肥方法在满足春麦各生育期营养需求方面的不足之处。

3 讨论与建议

通过对改进后的施肥方法与现行的基肥和 $1/2$ 基追 + $1/2$ 表追两种施肥方法的对比试验研究,结果表明,减少基肥量可以降低土壤肥料氮素的固定和残留,改表追为深追可以使 NH_3 挥发损失控制在一个较低水平,将土体追肥改为土体追肥与叶面追肥相结合,可以显著地提高利用率,从而减少不明途径损失,使农田春麦系统“三高一低”肥料氮素运移特征得到改善,同时,充分发挥了氮肥的增产效益。其中以 $1/4$ 基肥 + $1/2$ 深追 + $1/4$ 叶喷施肥方法效果最为明显,这种施肥方法不仅满足春麦不同时期氮素的需求,较现行施肥方法增产 18.8%~39.0%,而且使春麦氮肥利用率提高到 59.59%,土壤残留率降低到 9.3%,挥发损失减少到 5.7%,将不明途径损失下降到 25.41%为最低,明显地改善了农田春麦系统肥料氮素的运移特征。充分发挥了肥效。这种改进现行施肥方式的原则和综合施肥技术对宁南黄土丘陵区,乃至黄土高原同类型地区旱作农田施肥具有重要的参考价值,建议进行示范推广。

叶面喷肥对氮肥利用率的提高起到了明显的促进作用。从表 4 结果我们可以看出,其氮肥利用率可达 80%,远远高出土体施肥的利用率,因此,进一步研究叶面施肥技术以及同土体施肥比例,开发新型施肥技术和新型叶肥产品,在宁南黄土丘陵区具有广阔应用前景,应引起重视。

另外在本项研究中存在着 25.4%~41.0% 不明途径的肥料氮素损失(它应该包括反硝化和植物体氮素挥发等途径),这是本地区旱作农田春麦系统氮素运移中尚不明确的严重问题,探明这一途径和损失机理,是值得进一步研究的新课题。

* 刘耀宏高级实验师曾帮助采样和考种,张卫研究员、王百群硕士帮助测定 ^{15}N 丰度,在此一并致谢。

参考文献

- 1 李仲林等.石灰性土壤上氮肥施用方法对春小麦氮素利用的影响,土壤,1994.No(4) 134~137
- 2 吕殿青等.在石灰性土壤上碳铵挥发条件及其防止途径研究,陕西农业科学,1980.No6 7~10
- 3 李光锐等.模拟机具追施碳铵对旱作土壤中氮肥去向的影响,土壤肥料,1988.No2 15~18
- 4 林葆等.旱作土壤机深施碳铵提高肥效的研究.土壤肥料,No(4) 1~4
- 5 A Alexander 等.(常月译)叶面施肥的现代趋势,国外农学—土壤肥料,1988.No(4) 21~24
- 6 赵世伟等.宁南黄土丘陵区农田春麦系统氮素去向的研究.西北农业学报,No(4)(增刊),61~64