

旱地农田春麦系统氮素运移现状 及改善途径探讨

赵世伟 陈国良 郭玉孝

(中国科学院
水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 作者运用 ^{15}N 同位素标记手段,结合田间氨挥发直接测定技术,对黄土高原半干旱区,旱作春麦农田氮素运移现状进行了系统地研究;指出化肥氮素的高挥发,高残留,高不明途径损失和低利用率构成了该区旱作农田氮素“三高一低”的运移特征;并对改善氮素运移,提高氮肥利用率的途径进行了探讨。

关键词 旱地农田 氮素运移 改善途径

The Present Situation and Its Improving Ways of Nitrogen Transport in Farmland—Spring Wheat System in Dryland Farming

Zhao Shiwei Chen Guoliang Guo Yuxiao

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

Abstract With the ^{15}N isotopic tracing and the direct testing of NH_3 volatilization in field micro—pot test, the authors have made systematic studies on the nitrogen transport in spring wheat field in the current application methods in dryland of semi—arid loess plateau and advanced the characteristic of “3 higher and 1 lower” of nitrogen transport in crop period of duration: higher volatilization, higher remainder in soil, higher loss of non—conclusive ways and lower utilization rate; and discussed the ways of improving the nitrogen transport and increasing the nitrogen fertilizer utilization rate.

Key words dryland farming system. nitrogen transport improving ways

氮素作为生命元素的特殊性 & 生物地球化学特征使其成为生态系统中的最为活跃的元素之一。研究氮素在农田生态系统中的循环与管理,一直受到国内外土壤学家及其他有关科学家的高度重视。大量的研究表明,在农田生态系统中氮素运移损失途径多,包括 NH_3 挥发、反硝化,土壤残留,淋失,植物体气态 N 挥发等,朱兆良、蔡贵信等在南方水稻土地地区,对田间条件下 N 素的去向和数量及影响因素作了系统地研究,然而在北方旱作地区,特别是西北黄土高原系统地研究田间状态下,氮素在农田作物系统中的运移途径及数量尚未见报道。

位于黄土高原西部半干旱区的宁南黄土丘陵区,农田土壤缺氮少磷是其养分贫瘠的主要特

征,从80年代起,由于旱地深施化肥技术的突破,使化肥特别是氮肥得到了迅速广泛的大面积应用,对该地区旱作农业产量的大幅度提高及农业技术的系统改革起到了巨大的促进作用。但是近年来,随着化肥用量的进一步增加和施肥技术上存在的问题,已出现肥料利用率降低和增肥不增产的趋势,特别是频繁的干旱威胁,给化肥一次深施带来了一定的风险,如果因干旱减产或颗粒无收,则更加重了尚处贫困状态的农民的负担。以宁南黄土丘陵区的黄土试区为例,肥料氮素投入量从 $37.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 增加到 $67.5\text{kg}/\text{hm}^2$,春麦产量却徘徊在 $1\,100\sim 1\,500\text{kg}/\text{hm}^2$,氮肥利用率只有 $20\%\sim 26\%$,即除 $1/5\sim 1/4$ 的肥料氮素被当季作物利用外,大量氮素的去向和数量则不得而知。因此,在本区开展田间状态下旱作农田氮素运移的研究,有助摸清氮肥运移途径及存在问题,从而有针对性地改善施肥技术,为提高旱地氮素利用率和增产效益提供理论依据。同时对黄土高原、甚至北方旱农地区改善旱作农业施肥技术有着重要的参考意义。

1 试验区基本状况

本项研究所设在国家“八五”科技攻关的固原试区,该试区于黄土高原西部的宁南黄土丘陵山区,气候属温凉半干旱类型,年平均降水量 422mm ,年内分配不匀,冬季占 1.6% ,春季占 16.9% ,夏季占 55.4% ,秋季占 26.1% ,具有春寒夏旱秋雨多的特点。主要农田土壤为淡黑垆土,细黄土和黄绵土,土层深厚,养分缺乏,土壤 $\text{pH}7.5\sim 8.2$ 。农作物以春小麦、胡麻、豌豆、扁豆、马铃薯等为主。其气候、土壤、农业发展方向等诸方面在宁夏固原地区及黄土高原西部丘陵区均具有一定的代表性。

2 试验材料和方法

本项研究布置在上黄村川台地上。土壤为淡黑垆土, $\text{pH}8.2$,全N含量 0.078% ,有机质 0.92% ,速效P $8.5\text{mg}/\text{kg}$,碱解N $35\text{mg}/\text{kg}$ 。供试作物陇春8139春麦良种。供试肥料为上海化工研究院生产的 ^{15}N 标记尿素,含N 46.0% , ^{15}N 丰度为 9.41% ,磷肥为宁夏吴忠产普通过磷酸钙, P_2O_5 含量 12% 。

试验采用田间微区试验法。微区设置是由直径 26cm ,高 50cm 的无底白铁皮圆桶,在将表土 20cm 土层取出并修平犁底层的土体上,垂直打入至与土表一致后,混匀表土,再回填表土即成。然后在表土上埋入一个直径为 10cm ,高 15cm 的 NH_3 挥发吸收装置(蒋能慧1979)。

试验设置四个处理:不施肥对照,春季一次性基肥;春季 $1/2$ 基肥+ $1/2$ 表追肥;秋季一次性基肥。上述三种施肥处理,代表了该地区主要施肥方式,其研究结果可说明当前该地区旱作农田春麦系统氮素的运移状况。各处理三次重复,每区定植春麦25株。肥料N施入按各处理施肥期进行,即在春季3月下旬布置微区时施入基肥(其中磷肥全部作基肥)秋基肥是头年9月下旬施入,施肥深度为 10cm 面施,追肥在拔节至孕穗时表施,施肥总量为 $478.4\text{mgN}/\text{区}$, $286.5\text{mgP}_2\text{O}_5/\text{区}$ 。从施肥起,定期采集 NH_3 挥发样品,收获时采集土壤、根系、茎叶、籽实样品,按常规方法测定其全氮含量,样品 ^{15}N 丰度由本所质谱仪测定。

3 试验结果

氮素在旱作农田春麦系统中的运移途径可概括为春麦吸收,土壤中残留、淋失, NH_3 挥发、反硝化和植株的N素挥发等。鉴于现有文献报道(田霄鸿1994,Jack. A. Morgan1989)认为目前春小麦等植物体N素挥发的捕获技术尚不完善,测定结果差异较大,其重要性还不能确定。因此本项研究只就前五个途径进行探讨。

3.1 春麦对氮素的吸收不同

作物的吸收利用是氮素在农田生态的系统中主要运移途径之一，也是农田氮素施用管理的目的所在。春麦对氮素吸收利用和状况受到耕作制度，土壤条件和施肥技术的制约。本文只就施肥技术的问题进行讨论。表 1 的结果反映了当地施肥技术条件下春麦对土壤氮素和肥料 N 素吸收利用现状。

表 1 春麦对不同氮源的吸收 (mg/区)

施肥方法	根系吸收量		茎叶吸收量		籽实吸收量		地上部吸收总量		氮肥利用率 %
	土壤 N	肥料 N	土壤 N	肥料 N	土壤 N	肥料 N	土壤 N	肥料 N	
不施肥	80.2		77.3		123.8		201.1		
春基肥	135.3	4.4	90.1	17.5	200.1	89.3	290.2	106.8	22.3
春基+1/2 表追	154.9	7.4	117.6	17.1	287.5	109.3	405.1	126.4	26.4
秋基肥	140.0	5.6	96.0	18.9	210.1	80.4	306.1	99.3	20.8

3.1.1 春麦对土壤氮素吸收 在不施肥条件下，旱作农田土壤为春麦提供的氮素只有 200.1mg/区。(仅指地上部，下同)说明本地区农田土壤氮素极为缺乏，供氮能力差，通过施肥，土壤供氮能力提高，春麦从土壤吸收的氮素增加了 44%~100%，这是因为施肥的“激发效应”所致。一次性基肥(不论是春施或秋施)，这种“激发效应”均没有 1/2 春基+1/2 表追的二次施肥明显，说明在该地区增加施肥次数，可提高土壤潜在氮素的转化增加土壤供氮水平。

3.1.2 春麦对肥料氮素的吸收 从表 1 结果看，一次性基肥春麦的吸收的肥料 N 量均较低，春施和秋施的肥料利用只有 22.3%和 20.8%，而 1/2 基肥+1/2 表追的施肥方式的肥料利用率也只有 26.4%，这三种现行施肥方式，肥料氮素的 3/4~4/5 的氮素未能被作物吸收，这是该地区旱作农田春麦系统氮素运移中存在的严重问题。同时也证实该地区施肥技术急需进一步变革，方可达到国家对 N 肥利用率达 40%~60%的要求。

3.1.3 氮素在植株体内的分配 在不施肥条件下，春麦吸收的氮素全部来自于土壤，其总量(包括根系吸收的 N 量)为 281.3mg/区，在植株体内的分配中，被运输到籽实中的 N 量占 44%，茎叶中占 27.5%，根系中尚未运输到地上部的占 28.5%。施肥不仅增加了春麦吸收了更多的土壤氮素，而且提高了氮素向籽实中运输的比例，如一次性基肥(包括秋施和春施)籽实中的 N 量均占总吸收土壤 N 量的 47%，1/2 春基+1/2 表追的更高，占到 51.3%，相应地，茎叶中所占比例下降，三种施肥方式下降到 21%~21.5%；而根系中所占比例则较不施肥的比例有所提高，两种基肥方法更为明显，达 31.4%~31.8%，即近 1/3 的土壤 N 素为根系所固定，而未能运输到地上部参与春麦的生长发育过程。

从春麦吸收的肥料 N 在植株体内分配的情况来看，根系中所占比例仅为吸收肥料 N 的 4.0%~5.5%，数量很少，而绝大部分被运输到了地上部分参与春麦的生命进程，因此计算肥料利用率时，可以不考虑根系肥料 N 量的影响。三种施肥方式中，植株吸收的肥料 N 运输到籽实中的比例春施基肥和 1/2 春基+1/2 表追的高达 80.3%和 81.7%，秋施基肥只有 76.6%为最低，而残留在茎叶中的肥料 N 比例秋施基肥最高为 18.0%，春施基肥次之为 15.7%，1/2 春基+1/2 表追最低为 12.8%，上述结果可以看出一个趋势，即愈接近作物生长盛期施肥，肥料 N 素被运输到籽实中去的量和比例愈大，而茎叶和根系中的残留肥料 N 量则相应减小。

3.2 氮素的 NH₃ 挥发损失

通过全生育期农田氮挥发量的直接测定，获得了田间条件下，不同氮源的 NH₃ 挥发损失量(见表 2)。

3.2.1 土壤 N 素的 NH₃ 的挥发 宁南黄土丘陵区广泛分布着石灰性土壤,因而存在不同程度的 NH₃ 挥发损失,这同以往的研究结果一致(曲秀清等 1980)。表 2 结果表明,不施肥条件下,旱作农田土壤 N 素损失为 42.0mg/区,春基施的损失量增加了 18.3%,而 1/2 春基+1/2 表追的,土壤氮素 NH₃ 挥发量虽有增加,但不显著(仅 2.6%),但秋基施则情况就不同了,其 NH₃ 挥发损失达 59.1mg/区,较不施肥挥发损失量增加了 40.7%。根据测定结果,以头年 9 月下旬到 11 月下旬这两个月里,土壤 N 素挥发量达 15.2mg/区,而土壤封冻到来年 3 月底这段时间几乎不发生 NH₃ 挥发,因此可以认为秋基施造成的土壤 N 素挥发损失增大,是由于增加了两个月挥发时间所造成的。

表 2 农田土壤不同氮源的 NH₃ 挥发损失 (mg/区)

施肥方式	土壤 N 素挥发	肥料 N 素挥发	总挥发	肥料 N 挥发率%
不施肥	42.0		42.0	
春基肥	49.7	20.5	70.2	4.3
1/2 春基+1/2 表追	43.1	105.2	148.3	22.0
秋基施	59.1	30.2	89.3	6.3

3.2.2 肥料氮素的 NH₃ 挥发 从表 2 看,肥料 N 素的施入造成了农田 NH₃ 挥发总量的大幅度提高。春基施, NH₃ 挥发损失总量较不施肥增加了 62.4%,秋基施增加 112.6%,1/2 春基+1/2 表追则使农田 NH₃ 挥发总量提高了 2 倍,而增加的损失量 71%来自肥料 N 素。虽然不同施肥方式肥料 N 的损失量分别占总挥发量的 29.2%,33.8%和 70.9%,但基肥的肥料 N NH₃ 挥发损失占肥料施入量的比例是较低的,春基施肥料 N 挥发率仅为 4.3%,秋基施也只有 6.3%;而 1/2 春基+1/3 表追的挥发损失率则明显高于基肥方式,达 22.0%,如果以表追时的肥料 N 投入量为基数,则肥料 N 挥发损失率就达 35.6%。上述结果说明在宁南黄土丘陵区,现行基肥深施基本可防止肥料 N 素挥发损失的大量发生,而旱地表追造成的大量肥料 N 素 NH₃ 挥发损失,则是该地区农田春麦系统氮素运移中存在的又一严重问题。

3.3 肥料 N 素的土壤残留和淋溶损失

春麦收获后,采集不同深度土壤样品测定其¹⁵N 丰度,从而确定了肥料 N 素在土壤中的残留量及其在剖面中的分布(见表 3)。

表 3 肥料 N 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		
春基施	14.8	123.5	17.9	8.5	0	0	164.0	34.4
1/2 春基+1/2 表追	36.5	17.5	7.8	0	0	0	62.2	13.1
秋基施	10.9	140.1	30.3	12.5	6.0	0	199.8	41.8

3.3.1 肥料 N 素的土壤残留 在现行的三种施肥方法中,两种基肥方法肥料 N 在土壤中残留量最高,春基施为 164.7mg/区,残留率达 34.4%,秋基施则于肥料施入土体经冬春季节的土壤冻、融作用,使肥料 N 素固定,更多地残留于土壤中,其残留量高达 199.8mg/区,残留率达 41.8%,二者平均为 38.1%,这说明基肥方法造成 1/3~2/5 的肥料 N 素未能被春麦吸收,是农田春麦系统氮肥利用率低下的主要原因。根据李光锐等(1988)的研究结果,残留于土壤中的肥料 N 素的后季作物利用率不足 4%,因此,肥料 N 素的土壤残留应视为一种损失途径。

1/2 春基+1/2 表追,由于基肥是减半,因而使土壤中残留的肥料氮量大大降低,仅为 62.6mg/区,残留量较基肥方法减少了一半以上,残留率仅为 13.1%。

3.3.2 肥料 N 素的淋溶损失 施入土壤中的肥料 N 素,可以随水分运动和自身扩散,吸附作用,在土壤中上下移动,因而也可能被残留在土壤剖面的各个层次。从表 3 的结果可以看出,三种施肥方法,肥料 N 残留分布范围大都在 0~50cm 土层内,但随着深度加大,残留量逐渐减少,在 50cm 以下已没有残留肥料 N 分布。这一结果说明宁南半干旱丘陵区,肥料 N 在土壤中的下移深度有限,且全部存在于土体上部根系活动区,淋溶损失几乎不能发生。

3.4 不明途径的肥料 N 素损失

通过对肥料 N 素在旱作农田春麦系统中运移途径及其数量的平衡分析,从表 4 可以看出,该地现行三种施肥方法,使肥料氮素在系统中存在 31.1%~39.0%的不明途径的损失。在本项研究中,已确定了肥料 N 素的吸收,NH₃ 挥发,土壤残留,而且基本可以排除淋溶损失,那么这一不明的损失途径就有两种可能,一是春麦植物体氮素挥发,另一可能就是反硝化作用。根据有关研究报道(L. A. Harper, 1987)认为小麦植株从开花到灌浆期间的氮素释放损失仅为植株吸收氮量的 4%,其中包括土壤 N 和肥料 N,因而其重要性尚不能确定。故反硝化作用造成这一不明途径损失的可能性更大,相关性更强。目前旱地农田反硝化作用机理及数量的研究量少,应引起重视并作进一步的研究。

表 4 肥料 N 在农田春麦系统中的平衡 (%)

施肥方法	利用率	残留率	NH ₃ 挥发率	不明途径损失率
春基施	22.3	34.4	4.3	39.0
1/2 春基+1/2 表追	26.4	13.1	22.0	38.5
秋基施	20.8	41.8	6.3	31

4 讨论与建议

宁南黄土丘陵区分布着广泛的石灰性土壤,pH 一般在 7.5~8.4 之间,碳酸钙含量达 10% 以上,这是造成农田土壤 N 素 NH₃ 挥发的自然因素。根据本项研究结果计算,在不施肥条件下,农田土壤 NH₃ 挥发损失可达 8.6kgN/hm²。表施氮肥,则可造成 NH₃ 挥发量成倍增加,而使 35.6%的肥料 N 素白白损失,相当于 16.6kg/hm² 由 NH₃ 挥发途径损失掉了,说明施肥不当这一人为因素是造成 NH₃ 挥发损失更主要的原因。不仅如此,一次性基肥,无论是秋施还是春施,肥料 N 素的土壤残留仍高达 34.4%~41.8%,而且三种施肥方式都存在 31.1%~39.0%由不明途径的肥料 N 损失。由此可见,在宁南半干旱黄土丘陵区现行施肥技术条件下,氮素的高挥发、高残留、高不明途径损失和低下的氮素利用率构成了该地区农田春麦系统中氮素“三高一低”的运移特征。这也是当地旱地施肥和农业生产中亟待解决的严重问题。

“秋深施肥”技术因解决了宁南山区旱地化肥怎样施入的问题,从而推动了该地区旱作农业产量的大幅度提高。而目前该地区施肥技术需要解决的问题是如何减少损失,提高利用率和增产效益。要改善农田春麦系统 N 素运移现状,从本项研究可以得到一些有益的启示,例如,基肥深施可以明显地降低 NH₃ 损失,减少基肥量增加追肥则可成倍地降低土壤残留,如果改表追为深追,地可减少 NH₃ 挥发损失,至于目前,大量不明途径的 N 素损失,即是存在的问题,也是提高肥料利用率的潜力所在,因为无论是 NH₃ 挥发,固定和残留,还是反硝化作用造成的 N 素损失,都有一个共同之处,即土体是这些 N 素损失发生的同一场所,因而是否可以通过减少土体施肥量和在土体中的滞留时间,增加作物关键需肥期的叶面施肥和深层追肥来减少损失,提高利用率,值得进一步研究。有报道认为(A. Alexander 等 1987)叶面施肥是一种特别有效的施肥方法,氮素利用率可达 80%以上,与土体施肥相比,可成倍提高肥料利用率。况且本地区干旱频繁,土

(下转第 65 页)

3.3 建立胡麻生产基地和先进栽培技术培训基地

建立胡麻生产基地乡、基地村和生产专业大户,有利于发挥区域产业优势,形成区域生产特色和区域支柱产业;有利于通过现场应用、示范和推广先进的,高产、优质、高效的综合栽培技术;有利于通过现场培训农民技术人员,提高广大农民群众的科学文化素质;有利于与市场 and 厂家接轨,形成产、供、销一条龙,农、工、商相结合的生产销售体系。此外,通过胡麻生产基地乡、基地村和生产专业大户的生产和示范,可以带动周围其他乡、村乃至整个地区的胡麻生产,进而促进其它产业的发展。

参考文献

- 1 党增春等. 宁南黄土丘陵区旱地胡麻丰产优化栽培模式研究. 水土保持通报, 1995, No. 2
- 2 赵崇耀等. 陕西关中西部山旱地胡麻配套栽培技术研究. 干旱地区农业研究, 1993, No. 2
- 3 荀文峰等. 旱地胡麻最佳施肥时期研究. 干旱地区农业研究, 1994, No. 3

(上接第 61 页)

体固态追肥常受气候的影响而难以施入或充分发挥作用,因此,增加叶面追肥是一条可行的途径,而深层液态追肥则应积极试验。

通过上述分析讨论,作者建议,要改善宁南黄土丘陵区旱地农田氮素运移现状,就应该针对存在的“三高一低”问题,改革现行施肥方式,并根据减少基肥量以降低土壤残留,改表追为深追,改固态追肥为液态追肥,以减少 NH_3 挥发;减少土体施肥,增加叶面追肥,以降低不明途径损失,提高肥料利用率和增产效益的原则,实行基肥+深追+叶面施肥的综合施肥技术,是该区旱作农田氮素运移良性循环的有效途径。

参考文献

- 1 朱兆良,蔡贵信等(1989). 石灰性稻田土壤上化肥氮素损失的研究,土壤学报, Vol. 26, No. 4, 337~343
- 2 Jack A. Morgan. Characteristics of Ammonia Volatilization from Spring Wheat. Crop science. 1989 Vol. 29. No. 3, 726~731
- 3 田霄鸿,李生秀等. 植物体氮素的挥发损失,现代土壤科学研究,中国农业科技出版社,北京:1994 625~629
- 4 蒋能慧. 土壤中挥发性氨的定量测定. 土壤, 1979 No. 3, 193~197
- 5 曲秀清等. 铵态氮肥在石灰性土壤中损失的研究. 土壤肥料, 1980 No. 3, 31~35
- 6 L. A. Harper. Nitrogen Cycling in a Wheat Crop. Agronomy J. Vol. 79, 1987 No. 6, 965~973
- 7 李光锐,陈培森等. 模拟机具追施碳酸氢铵对旱作土壤中氮肥去向的影响. 土壤肥料, 1988 No. 2, 15~18.
- 8 A. Alexander. (常月译)叶面施肥的现代趋势. 国外农学—土壤肥料, 1988 No. 4, 15~18.