

不同种植方式和施肥对旱地春玉米 土壤硝态氮残留的影响

谢永春¹, 郭天文², 刘国一¹

(1. 西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所, 西藏 拉萨 850032; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:覆膜种植技术已在旱作农区大面积推广, 为了探明覆膜种植模式下科学合理的施肥水平, 尽量减少土壤氮素残留与淋溶, 采用田间定位试验, 设全膜双垄沟播(F)、半膜平作(H)和裸地平作(O)3种植方式, 配套优化施肥(OPT)、农民习惯施肥(FP)和不施肥(CK)3种施肥水平, 测定了春玉米各生育时期的土壤硝态氮含量, 分析了不同处理的土壤硝态氮残留量、分布以及动态变化。结果表明: 土壤中硝态氮残留累积量随着氮肥用量的增加而增加, 0~200 cm 土壤中硝态氮残留量最高可达 428.3 kg · hm⁻², OPT 和 FP 处理硝态氮平均累积量分别是 CK 的 7.6 和 4.4 倍; 覆膜种植可以减少氮素残留, 以全膜双垄沟播尤为明显; 裸地平作下长期施氮容易出现硝态氮的残留, 其主要残留在 60~140 cm 土层中, 100 cm 土层附近最高。两种覆膜种植方式下, 随着玉米生育期的推进, 0~200 cm 土壤硝态氮含量逐渐降低, 收获时土壤硝态氮残留量保持在较低水平, 而在裸地平作下施氮后硝态氮含量始终维持在较高水平, 收获期残留量高。因此, 在 OPT 施肥水平下, 配合全膜双垄沟播可以提高氮素利用效率, 减少土壤硝态氮下层淋溶, 降低因高施氮导致的土壤硝态氮累积。

关键词:全膜双垄沟播; 优化施肥; 旱地春玉米; 硝态氮残留

中图分类号:S513 **文献标志码:**A

Effects of different patterns of planting and fertilization on the residual of spring maize soil nitrate nitrogen in dry-land

XIE Yong-chun¹, GUO Tian-wen², LIU Guo-yi¹

(1. Institute of Resources and Environment, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lasa, Tibet 850032, China;
2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Film mulching technology is widely promoted in dry-land. To find out the scientific and reasonable fertilization level in the film mulching mode, and try to reduce the soil nitrogen residue and leaching, a field experiment was conducted. In this experiment, 3 planting pattern treatments: double ridge mulching and furrow planting (F), half covered and flat planting (H) and open and flat planting (O) were established with 3 fertilization levels, optimized fertilization (OPT), farmers' conventional fertilization (FP) and no fertilization (CK). Soil nitrogen at different growth stages of spring maize was measured. The residual nitrate content, its distribution and dynamics of soil in different treatments were analyzed. The results showed that NO₃⁻-N accumulation in the soil increased with the amount of nitrogen fertilizer and the residual amount of NO₃⁻-N in depth of 0~200 cm could be as high as 428.3 kg · hm⁻². The average accumulation of NO₃⁻-N in OPT and FP treatment was 7.6 and 4.4 times higher than that in CK respectively. Film mulching could reduce nitrogen' residue, especially in F treatment. In the long-term nitrogen' fertilization, NO₃⁻-N residues were prone to occur in O treatment, which mainly distributed in depth of 60~140 cm and near the depth of 100 cm was the highest. With the advance of maize growth period, the content of NO₃⁻-N in depth of 0~200 cm decreased gradually in the F and H treatments. The residual nitrate content of soil was kept on a low level at the time of harvest, while the O treatment on a high level. Therefore, OPT with F could improve the nitrogen efficiency use, reduce the leaching of soil nitrate nitrogen as well as the accumulation of NO₃⁻-

N caused by high nitrogen application.

Keywords: double ridge mulching and furrow planting; optimize fertilization; dry-land spring maize; nitrate nitrogen residual

因农作物对氮素需求量大而在农业生产中投入过多,导致氮肥用量和粮食产量不协调的现象备受学者关注^[1-2]。长期过量或者不合理的施氮,使得氮肥利用率降低、施肥经济效益下降、土壤氮素残留增加^[3-5]。据调查^[6],氮肥施入土壤后大约有 30%~50%经淋溶进入地下水,在我国黄土高原地区,一般农田 2~4 m 土壤硝态氮的累积量可达 102 kg·hm⁻²,高产农田可达 214 kg·hm⁻²。

近年来,甘肃中东部旱农区种植面积逐步扩大的全膜双垄沟播技术,具有增温、蓄水、保墒和增产增效的效应。然而此种植方式下作物肥料利用率高,对氮肥的过量投入,导致土壤养分失衡,特别是硝态氮损失尤为严重^[7-10]。如何科学种植、合理施肥,减少土壤氮素残留与淋溶,提高肥料利用效率,获得农业和环境双赢的效果众人所望。因此,本文以甘肃定西定位 3 年的旱地玉米试验为材料,对不

同种植方式和施肥水平下土壤氮素的残留做一探讨,以期为该区旱地有效减少氮素损失的种植方式和优化施肥水平提供理论依。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验设在甘肃省定西市团结镇,当地属黄土高原丘陵沟壑区,是典型的干旱半干旱农业区,2012~2015 年年均降雨量 445 mm(详细见表 1),年蒸发量 1 531 mm,年均气温 6.2℃,≥0℃积温 2 787.7℃,≥10℃积温 2 075.1℃。供试土壤为黄绵土,0~200 cm 土层平均容重为 1.15 g·cm⁻³。试验地耕层土壤有机质为 12.58 g·kg⁻¹、全氮为 0.86 g·kg⁻¹、全磷为 0.92 g·kg⁻¹、碱解氮为 51.12 mg·kg⁻¹、速效磷为 13.32 mg·kg⁻¹、速效钾为 138 mg·kg⁻¹。

表 1 试验区 2013 年~2014 年降雨量/mm

Table 1 Rainfall in the pilot area from 2013 to 2014

年份 Year	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2013	0.3	11.6	0.0	28.0	83.6	56.9	156.6	116.4	61.3	20.6	6.0	0.0
2014	0.0	12.2	6.6	76.3	17.2	81.9	34.1	73.0	124.6	56.3	5.0	2.0

1.2 试验材料

玉米品种为沈单 16 号,地膜选用幅宽 120 cm(用于全膜覆盖)和 70 cm(用于半膜覆盖)的地膜,厚度均为 0.008 mm。

1.3 试验设计

田间试验采用裂区设计,种植方式为主区,施肥水平为副区,共 9 个处理,主区 3 次重复,小区面积 18 m²(3 m×6 m)。试验于 2012 年开始长期定位,每年种植春玉米,4 月下旬播种,10 月中旬收获。所用肥料全部为基施,播种密度为 60 000 株·hm⁻²。种植方式为全膜双垄沟播(F:在播种前起垄,大垄宽 70 cm,小垄宽 40 cm,高均为 15 cm,全部用地膜覆盖后采用穴播方式种植玉米于沟内。)、半膜平作(H:不起垄,间隔 70 cm 覆膜,膜宽 40 cm,采用穴播方式种植玉米于地膜上)、裸地平作(O:不起垄,不覆盖,种植方式同 H)3 种方式;3 个施肥水平,即配方优化施肥水平(依测土配方推荐,养分下标为施肥量 kg·hm⁻²):N₂₂₅P₁₂₀K₆₀(OPT)、当地农民习惯施肥水平:N₁₅₀P₁₀₅K₀(FP)、不施肥:N₀P₀K₀(CK)。

1.4 样品采集与测定

测试土壤采集于 2014 年,分别在春玉米的苗期、拔节期、喇叭口期、灌浆期和收获期按“S”型采样,利用土钻以 20 cm 为间隔,采集 0~200 cm 土壤样品,样品采集后用冰袋垫底立即运回,在 4℃下保存。土壤 NO₃⁻-N 用酚二磺酸比色法^[13]测定。

植株样在春玉米收获期分别取 3 株,将籽粒和秸秆分离,带回实验室在烘箱中 105℃下杀青 30 min,再调温 80℃烘干至恒重。对各生育期干物质称重后进行粉碎过 0.5 mm 筛,备测定养分用。全氮采用浓 H₂SO₄-H₂O₂消煮,凯氏定氮法。

土壤 NO₃⁻-N 累积量(kg·hm⁻²)=土层厚度(cm)×土壤容重(g·cm⁻³)×土壤 NO₃⁻-N 含量(mg·kg⁻¹)/10。

氮吸收量(kg·hm⁻²)=干物质质量(kg·hm⁻²)×干物质氮含量(%)。

氮素利用效率(NUE)=(施氮区氮吸收量-不施氮区氮吸收量)/施氮量×100%

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤硝态氮累积量和氮肥利用率的影响

从表 2 可知,采用不同的种植方式和施肥水平种植玉米 3 年后,0~200 cm 土壤硝态氮累积量为 18.4~428.3 kg·hm⁻²,变异幅度大,残留效应可观。种植方式和施肥水平对 0~200 cm 土壤硝态氮的累积量影响极显著。不同的种植方式下,裸地平作硝

态氮平均累积量达 257.0 kg·hm⁻²,显著高于两种覆膜种植方式,氮素利用效率也显著低于覆膜种植方式(表 3);不同的施肥水平下,OPT 和 FP 处理的硝态氮平均累积量分别是 CK 的 7.6 和 4.4 倍,同时,氮素利用效率也显著高于 CK。由此可见,覆膜种植增加了氮肥利用,减少了氮素残留,OPT 施肥水平下虽然提高了春玉米的氮素利用率,但同时也增加了硝态氮的累积。

表 2 0~200 cm 土壤硝态氮累积量/(kg·hm⁻²)

Table 2 Residual nitrate N in 0~200 cm soil

施肥水平 Fertilization levels	种植方式 Planting models			各施肥平均值 Average
	全膜双垄沟播(F)	半膜平作(H)	裸地平作(O)	
OPT(N ₂₂₅ P ₁₂₀ K ₆₀)	105.1±0.8	145.2±21.9	428.3±14.8	226.2aA
FP(N ₁₅₀ P ₁₀₅ K ₀)	48.6±2.7	27.0±3.8	324.4±20.4	131.7bB
CK(N ₀ P ₀ K ₀)	43.5±4.1	21.4±4.4	18.4±2.0	29.5cC
种植方式平均值 Average	65.8bB	64.5bB	257.0aA	—

注:同行或同列数据后不同小写字母表示处理间达显著差异($P<0.05$),大写字母表示极显著($P<0.01$)使用 Duncan 法,下同。
Note: Values followed by different lowercase letters in the same row or column are significantly different at $P<0.05$, capitals are extremely significant different at $P<0.01$. Using Duncan method, the same as below.

表 3 不同种植方式对春玉米氮素吸收利用效率的影响

Table 3 Effect of nitrogen use efficiency in spring maize under different planting pattern

种植方式 Planting	施肥水平 Fertilization	施氮量/(kg·hm ⁻²) N amount	秸秆吸氮量/(kg·hm ⁻²) Straw N uptake	籽粒吸氮量/(kg·hm ⁻²) Grain N uptake	总吸氮量/(kg·hm ⁻²) Total N	氮素利用效率/% NUE
全膜双垄沟播(F)	OPT	225	73.6	235.4	309.0	66.8a
	FP	150	47.5	180.9	228.4	55.1b
	CK	0	34.3	68.4	102.7	—
半膜平作(H)	OPT	225	73.9	185.1	259.0	63.3a
	FP	150	35.4	169.0	204.3	53.5b
	CK	0	41.9	52.9	94.8	—
裸地平作(O)	OPT	225	75.5	81.3	156.8	43.1c
	FP	150	65.3	62.0	127.3	29.8d
	CK	0	40.5	48.7	89.2	—

2.2 种植方式对土壤硝态氮残留分布的影响

春玉米收获后(图 1),在 OPT 施肥水平下,不同种植方式 0~60 cm 土壤硝态氮残留量最少,处理间差异不显著;60 cm 以下各土层中裸地平作显著高于覆膜处理,在 80~140 cm 土层中,硝态氮残留量依次为裸地平作(O)>半膜平作(H)>全膜双垄沟播(F)。在 100 cm 土层附近,半膜平作和裸地平作出现了硝态氮残留峰值,全膜双垄沟播没有出现。

在 FP 施肥水平下,裸地平作 0~200 cm 土壤剖面硝态氮残留量均高于其它处理,其中 0~40 cm 土层中各处理间没有明显差异,40~200 cm 土层中,覆膜处理各层硝态氮残留量小于 8.0 kg·hm⁻²,两者之间差异不显著,裸地平作显著高于覆膜处理,同样,裸地平作在 100 cm 土层附近硝态氮累积量最高。

当连续 3 年不施肥(CK)时,各处理 0~200 cm 土壤剖面中硝态氮残留量小于 11.5 kg·hm⁻²,种植方式之间差异不明显。

结果表明,裸地平作下长期采用 OPT 和 FP 施肥水平容易出现硝态氮的残留,其主要残留在 60~140 cm 土层中,100 cm 土层附近最高,两种覆膜种植方式下硝态氮残留量得到有效降低,特别是在优化施肥(OPT)的情况下,全膜双垄沟播土壤剖面中硝态氮残留量甚微。

2.3 施肥水平对土壤硝态氮残留及其分布的影响

土壤中硝态氮残留累积量随着氮肥用量的增加而增加,CK(不施氮)处理下,0~200 cm 土壤中硝态氮平均残留量为 29.5 kg·hm⁻²,FP(中等施氮)处理下为 131.7 kg·hm⁻²,OPT(高施氮)处理下为 226.2 kg·hm⁻²,各施肥处理之间差异极显著(表 2)。

表 4 所示,随着氮肥的连续施入,0~200 cm 土壤中硝态氮残留量增加了 5.1~409.9 kg·hm⁻²,占 3 年总施氮量的 1.1%~68.0%。3 种植植方式下土壤中硝态氮平均增加量占施氮量的大小依次为裸地平作>半膜平作>全膜双垄沟播,分别为 64.4%,

9.8%,5.1%;OPT 施肥水平下 0~200 cm 土壤残留硝态氮平均增加了 198.4 kg·hm⁻²,FP 施肥水平下平均增加了 105.6 kg·hm⁻²,OPT 施氮量是 FP 的 1.5 倍,而残留增加量却是 FP 的 1.9 倍。

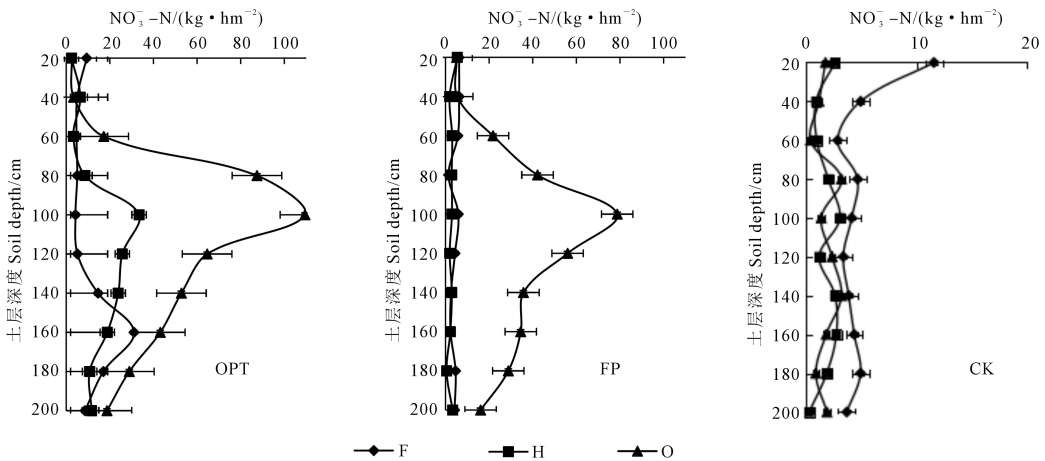


图 1 不同种植方式土壤剖面的硝态氮分布及其与施肥的关系

Fig.1 Distribution of residual nitrate N in the profile of soil under different planting and its relationship to fertilization

表 4 连续 3 年施氮土壤中增加的残留硝态氮占所施氮肥的百分比

Table 4 Percentage of increase of residual nitrate N caused by fertilizing N for 3 years

施肥水平 Fertilization levels	种植方式 Planting models					
	全膜双垄沟播(F)		半膜平作(H)		裸地平作(O)	
	增加量/(kg·hm ⁻²) Increment	占施氮比/% For fertilizing N ratio	增加量/(kg·hm ⁻²) Increment	占施氮比/% For fertilizing N ratio	增加量/(kg·hm ⁻²) Increment	占施氮比/% For fertilizing N ratio
OPT(N ₂₂₅ P ₁₂₀ K ₆₀)	61.6	9.1	123.8	18.3	409.9	60.7
FP(N ₁₅₀ P ₁₀₅ K ₀)	5.1	1.1	5.7	1.3	306.0	68.0
平均值 average	33.3	5.1	64.7	9.8	358.0	64.4

注:施氮量按 3 年总量计算。
Note:The amount of N fertilizer is accord to the total calculation of 3 years.

0~200 cm 土壤剖面中(图 2),各土层硝态氮残留量与氮肥用量成正比,0~60 cm 土层中硝态氮残留量在 1.5~10.1 kg·hm⁻²之间,各施肥水平之间差

异不显著;60~200 cm 土层中硝态氮残留量大小依次为 OPT>FP>CK,差异显著。其中不施肥的硝态氮残留量在整个剖面中含量小于 5.3kg·hm⁻²,FP 和 OPT 施肥处理的在 0~100 cm 土层中随土层的加深其硝态氮残留量升高,在 100 cm 土层附近出现峰值后,又随土层的加深其残留量降低。可见,硝态氮残留的多少主要取决于施氮,硝态氮主要残留在 60~140 cm 土层中。

2.4 不同处理 0~200 cm 土壤硝态氮含量的动态变化

在全膜双垄沟播种植方式下,从 6 月 7 日至 7 月 21 日,OPT 和 FP 施肥水平的硝态氮含量由 1 289.3、414.8 kg·hm⁻²分别降为 129.3、92.1 kg·hm⁻²,由于此阶段春玉米处于前期营养生长最旺盛时期,需肥量大,因此硝态氮含量呈直线下降趋势,此阶段硝态氮含量表现为:OPT 施肥明显高于 FP,

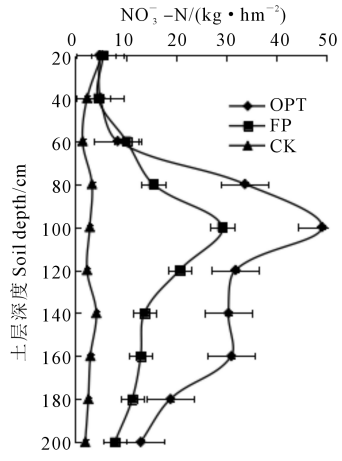


图 2 不同施肥水平下土壤剖面硝态氮的分布

Fig.2 Distribution of residual nitrate N in the profile of soil under different fertilization

FP 明显高于 CK;从 7 月 21 日以后,硝态氮含量变化平稳,且各施肥水平之间差异不明显。在半膜平作种植方式下,OPT 和 FP 施肥在生长前期硝态氮降幅比全膜双垄沟播小,变化规律同双垄沟播下一致。在裸地平作种植方式下,各时期硝态氮含量均以 OPT 施肥最高,FP 次之,CK 最低,各施肥处理在玉米整个生育期内硝态氮含量变化平稳。总体来看,由于覆膜种植方式下玉米对氮素的吸收作用加强,施用氮肥后,随着玉米生育期的推进,0~200 cm

土壤硝态氮含量逐渐降低,收获期两种覆膜种植的硝态氮残留量保持在较低水平(图 3,表 1),而在裸地平作下施氮后硝态氮含量始终维持在较高水平,收获期残留量高。由于地膜覆盖增加了土体温度和湿度,微生物和酶活性提高,加强了氮素矿化作用^[12-15]。因此,与裸地平作相比,覆膜种植下高施氮肥(OPT)玉米田苗期(6 月 7 日)硝态氮含量高 62.9%~98.0%。

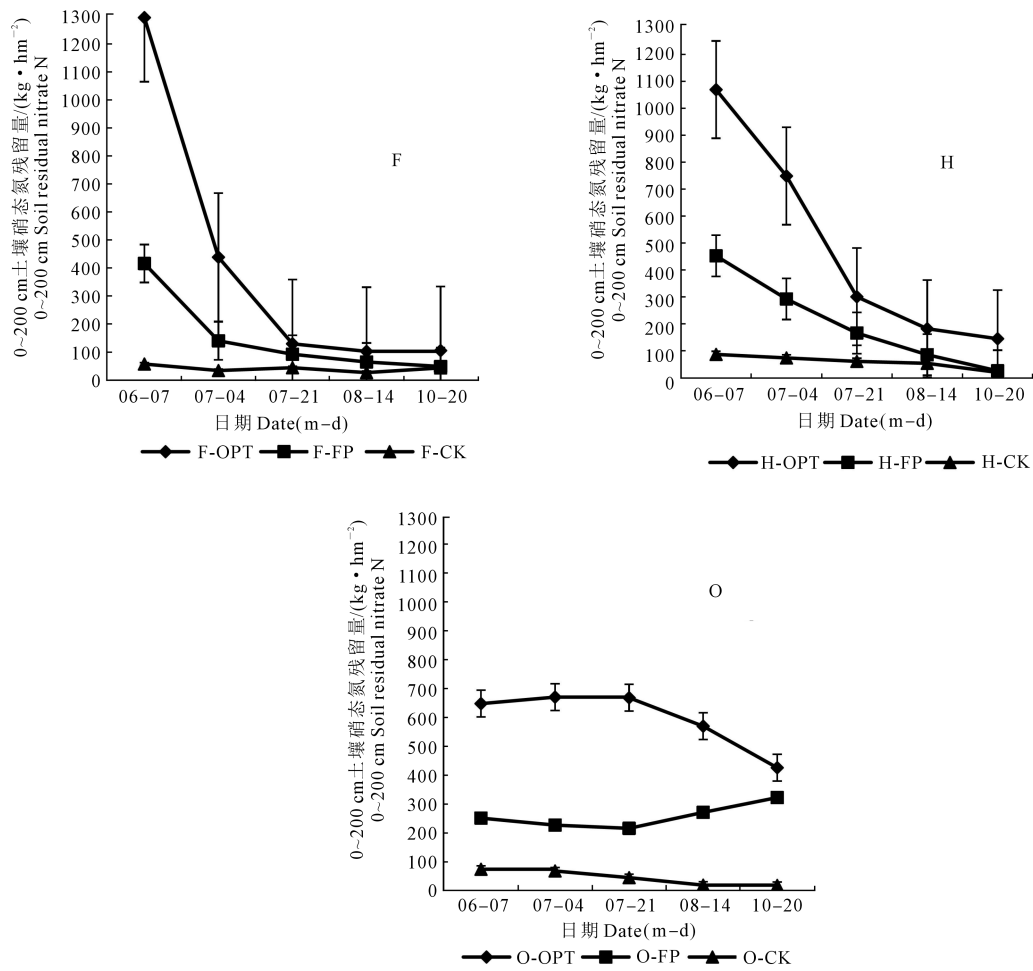


图 3 不同时期 0~200 cm 土壤硝态氮含量的变化

Fig. 3 The changes of 0~200 cm soil residual nitrate N at different stages of maize

3 结论与讨论

一般通气良好的旱地土壤中,残留矿质氮主要以硝态氮为主^[16],其含量的大小和分布受施肥、栽培方式、降雨、作物吸收和土壤质地等因素的影响^[17-19]。有研究指出^[20],在雨养农业区降雨量少,硝态氮经过常年累积富集在土壤深层,并未淋出作物根区甚至进入地下水,这种富集形式的累积也称为“雨养区硝态氮富集性淋失”。本试验结果显示,旱地通过长期施肥,0~200 cm 土层中残留硝态氮最

高可达 428.3 kg·hm⁻²,其残留量与施氮量成正比,OPT 施肥水平硝态氮平均残留量可达 226.2 kg·hm⁻²,主要分布在 60~140 cm 土层中,100 cm 土层附近最高,从氮的残留程度来看,OPT 施肥的氮素偏高,但残留硝态氮并未淋出玉米根区。

长期施用氮肥后,土壤深层都会出现硝态氮的累积现象,特别是旱地长期过量施氮和不平衡施肥加重了硝态氮的深层累积^[20]。张云贵^[19]等在华北平原长期定位的试验证明,长期单独施氮肥土壤剖面中硝态氮累积量高,且大部分累积在根区外,硝

态氮淋失风险大;氮与磷和钾配施或者在配施的基础上合理配施有机肥,能够降低深层硝态氮累积量,累积深度也出现上移。本试验中,与 $FP(N_{150}P_{105}K_0)$ 施肥水平相比,虽然 $OPT(N_{225}P_{120}K_{60})$ 配施钾肥,但由于氮肥施用量是 FP 的 1.5 倍,其土壤硝态氮累积量高于 FP 。由此可见,即使是氮磷钾配施,过量施氮也会发生硝态氮的累积^[17],控氮增钾^[19],根据当地的地力实际条件推广优化施肥^[16、21],将成为控制农田硝态氮淋失的有效途径。

覆膜对硝态氮残留量的影响前人们未有一致结论,有学者认为^[18、22-23],覆膜条件下高温高湿导致土壤有机氮矿化速率加快,在旱地以硝态氮为主的矿质氮累积增加,然有些学者认为^[24-26],旱地覆膜促进作物生长,提高氮素吸收利用,特别是深层硝态氮随水分上移,累积量减少,也有人认为跟覆膜时间的长短有关,短期覆膜会降低硝态氮残留量,而整个生育期覆膜残留量增加^[27]。本试验结果表明,与裸地平作相比,覆膜种植可以降低以施肥引起的硝态氮残留量,以高肥处理下全膜双垄沟播尤为明显。

综上所述,覆膜种植可有效降低土壤中硝态氮的累积,而过量施氮增加了硝态氮的残留,优化施肥(OPT)在全膜双垄沟播(F)下土壤硝态氮并未淋出玉米根区。因此在优化施肥(OPT)情况下,配合全膜双垄沟播可以提高氮素利用效率,减少土壤硝态氮下层淋溶,降低因高施氮导致的土壤硝态氮累积。

参 考 文 献:

[1] Arvin R Mosier. Environmental challenges associated with needed increases in global nitrogen fixation[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2002, 63: 101-116.

[2] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China-Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2002, 63: 117-127.

[3] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M].南京:江苏科技出版社,1992.

[4] 奚振邦. 现代化学肥科学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

[5] 巨晓棠,张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境,2003,12(1): 24-28.

[6] 王贺贺,吴普特,赵西宁,等. 不同施肥方式对垄沟灌溉水氮分布的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(2):158-163.

[7] 张树兰,同延安,梁东丽,等.氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响[J]. 土壤学报,2004,41(2):270-277.

[8] 刘晓宏,田梅霞,郝明德. 黄土旱塬长期轮作施肥土壤剖面硝态氮的颁布与累积[J]. 土壤肥料,2000,1(1):9-12.

[9] 李世清,王瑞军,李紫燕,等. 半干旱半湿润农田生态系统不可忽视的土壤氮库-土壤剖面中累积的硝态氮[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(4):1-13.

[10] 吴金水,郭胜利,党廷辉. 半干旱区农田土壤无机氮累积与迁移机理[J]. 生态学报,2003,23(10):2041-2049.

[11] 鲍土旦. 土壤农化分析 3 版[M]. 北京:中国农业出版社,1999.

[12] Raviv, Lourdura J A C. Comparative performance of plastic mulching on soil moisture content, soil temperature and yield of rainfed cotton[J]. Madras Agric. J., 1996,83: 709-711.

[13] Mashingsidze A B, Chivinge O A, Zishiric. The effects of clear and blank mulch on soil temperature, weed seed viability and seedling emergence, growth and yield of tomatoes [J]. J. of Applied Sci.in Southern Africa., 1996, 2: 6-14.

[14] 陈锡时,郭树凡,汪景宽,等. 地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响[J]. 应用生态学报,1998,9(4): 435-439.

[15] 刘小虎,陈小萱,须相成. 覆膜栽培条件下有机无机肥配施对土壤氮素状况和供应的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1992,23: 68-73.

[16] 冯波,孔令安,张宾,等. 施氮量对垄作小麦氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响[J]. 作物学报,2012,38(6): 1107-1114.

[17] 薛晓辉,郝明德. 小麦氮磷肥长期配施对土壤硝态氮淋溶的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(3):918-925

[18] 高亚军,李云,李生秀,等. 旱地小麦不同栽培条件对土壤硝态氮残留的影响[J]. 生态学报,2005,25(11):2901-2910.

[19] 张云贵,刘宏斌,李志宏,等.长期施肥条件下华北平原农田硝态氮淋失风险的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(6):711-716.

[20] 郭胜利,党廷辉,郝明德. 黄土高原沟壑区不同施肥条件下土壤剖面中矿质氮的分布特征[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):22-28.

[21] 周顺利,张福锁,王兴仁. 土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表观盈亏研究 I. 冬小麦[J]. 生态学报,2001,21(11): 1782-1789.

[22] 汪景宽,张继宏,须湘成,等. 长期地膜覆盖对土壤氮素状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1996,2(2):125-130.

[23] 党廷辉,郝明德,郭胜利,等. 黄土高原南部春玉米地膜栽培的水肥效应与氮肥去向[J]. 应用生态学报,2003,14(11):1901-1905.

[24] 关维刚,周建斌,董放,等. 旱地不同栽培模式下土壤水分和矿质氮含量的时空变化[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):51-57.

[25] 李华,王朝辉,李生秀. 旱地小麦地表覆盖对土壤水分硝态氮累积分布的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(7): 1371-1377.

[26] 樊军,郝明德. 旱地农田土壤剖面硝态氮累积的原因初探[J]. 农业环境科学学报,2003,22(3): 263-266.

[27] 李世清,李凤民,宋秋华,等. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响[J]. 生态学报,2001,21(9): 1519-1527.