

黄淮海平原旱田氮素损失特征及其环境影响研究^{*}

陈健 宋春梅 刘云慧^{**}
(中国农业大学资源与环境学院 北京 100094)

摘 要 利用 N 素平衡参数和统计数据计算黄淮海平原地区主要农作系统冬小麦田和夏玉米田 N 素损失特征及其环境影响研究结果表明,1992~1998 年随 N 肥用量的增加,每公顷农田 N 肥总损失量及氨挥发、硝化-反硝化、淋洗与径流等损失量呈逐年递增趋势,且不同 N 肥利用率、土壤残留率和损失率不同,同一 N 肥在不同农作系统中利用率、土壤残留率及损失率亦不同,夏玉米田 N 肥损失率高于冬小麦田。并探讨了 N 肥损失的环境影响及主要技术对策。
关键词 冬小麦 夏玉米 N 肥 损失特征 环境影响

Characteristics of N loss and its environmental effects in the dryland of Huang-Huai-Hai plain .CHEN Jian, SONG Chun -Mei, LIU Yun-Hui (College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094 ,China) , *CJEA* ,2006 ,14(2):99~102
Abstract Based on the N balance parameters and statistical data ,the characteristics of N loss and its environmental effects for the dominant crops of winter wheat and summer maize in Huang-Huai-Hai plain were studied .The results indicated that with the increase of N fertilizer application from 1992 to 1998 ,the total N loss , ammonia volatilization loss , nitrification-denitrification loss , leaching and runoff per unit area were gradually increased . The residual rate ,loss rate and utilization efficiency were different for N fertilizers and crops ; the loss of N fertilizers was much higher in the field of summer maize than that in the field of winter wheat . At last , the environmental effect of N loss and possible countermeasures were discussed .
Key words Winter wheat ,Summer maize ,N fertilizer ,Loss characteristic ,Environmental effect
(Received Nov 25 ,2004 ;revised Feb 17 ,2005)

1 N 素去向与损失途径

N 肥施入土壤-作物体系后的去向一是被作物所吸收;二是在土壤剖面中以无机氮形态或有机结合形态残留;三是以各种形式损失。肥料 N 的损失途径主要有氨挥发、硝化-反硝化、淋洗到根层以下或发生径流损失^[1,2]。其中 N 肥的损失不仅导致经济损失,也是地表水富营养化、地下水 NO₃⁻-N 含量增加、温室气体 N₂O 排放量升高等一系列环境问题产生的主要原因。

冬小麦田 N 素的去向。农田生态系统中化肥 N 的去向,是作物和环境条件影响下土壤中 N 素转化和移动各过程的综合表现。N 素的去向受作物种类、土壤理化性质、气温、降雨、肥料种类、施肥量和施肥方式等因子的影响^[3,4]。表 1 表明近年来我国黄淮海平原地区冬小麦田各种 N 肥平均吸收率依次为尿素>硝酸铵>硫酸铵>碳酸氢铵,土壤平均残留率则为碳酸氢铵>尿素>硫酸铵>硝酸铵,N 素平均损失率为碳酸氢铵>硝酸铵>硫酸铵>尿素。造成 N 素不同损失率的原因一是由于黄淮海平原地区土壤多为石灰性土壤,氨挥发损失较显著,故 NH₄⁺-N 肥损失大于尿素,其中碳酸氢铵更易于挥发;二是 NO₃⁻-N 比硫酸盐更易淋失,故硝酸铵损失大于硫酸铵;三是旱作条件下尿素易于随降雨或灌溉水向深层土壤中移动,有利于减少氨挥发,因而尿素损失率可能低于其他 NH₄⁺-N 肥。从绝对数量来看,N 肥被作物吸收数量、土壤中残留 N 肥量以及 N 素损失量均随 N 肥用量的增加而增大。而相对值 N 肥利用率一般随施肥量的增加而减少,损失率则随施 N 量的增加而增大。前人研究同时显示 N 肥和 P 肥配施处理下 N 肥损失率较小,这与其他地区研究结果一致,即配施 P 肥、K 肥各组处理下 N 肥利用率高于、损失率低于未施 P 肥相应处理,这说明平衡施肥重要性。土壤水分条件亦是影响 N 肥吸收与损失的重要因素之一,随 N 肥用量、土壤水分含量的增

^{*} 国家高技术发展(863)计划项目“土壤-作物系统过程模型与数字化设计技术研究”(2003AA209030)资助
^{**} 通讯作者

表 1 黄淮海平原地区冬小麦 N 肥去向

Tab .1 The fate of nitrogen fertilizer in winter wheat field in Huang-Huai-Hai plain							
N 肥 种类	作物吸收率/ %		土 壤 残 留 率/ %		N 素 损 失 率/ %		文 献
Kind of	Recovery rate		Residual rate		Loss rate		References
nitrogen fertilizer	of crop		of soil				
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	
尿 素	32 .0 ~ 66 .5	46 .6	13 .0 ~ 36 .0	25 .3	7 .3 ~ 59 .7	31 .2	[2 , 5 ~ 9 , 25]
碳酸氢铵	25 .0 ~ 39 .0	32 .0	20 .7 ~ 45 .5	33 .6	20 .8 ~ 45 .3	34 .0	[6 , 7 , 25]
硫 酸 铵	30 .0 ~ 58 .0	42 .0	13 .0 ~ 33 .0	23 .7	20 .3 ~ 42 .6	32 .2	[6 , 7]
硝 酸 铵	37 .9 ~ 50 .8	44 .1	14 .3 ~ 26 .0	21 .7	29 .2 ~ 36 .2	33 .4	[6 , 7]

尿素 > 硫酸铵 > 碳酸氢铵。比较表 1 和表 2 可知我国黄淮海平原地区夏玉米田各种 N 肥的 N 素损失率均高于冬小麦田, 其原因是夏玉米生育期间正值华北地区高温和多雨季节, 加之免耕播种使 N 肥只能以撒施后灌水或雨前撒施方式施入, 这使施入 N 肥极易发生氨挥发、硝化-反硝化和淋洗损失, 多施的 N 肥并非残留在土壤中; 冬小麦生长季节由于基肥可结合播前翻耕深施, 返青、拔节期追施后及时灌溉, 此期气温并不很高, 故 N 肥的氨挥发、硝化-反硝化损失可能很小, 而多施的 N 肥可在土壤中储存, N 肥损失率较小^[11]。

N 肥损失途径。黄淮海平原地区冬小麦生长期间降雨少、灌溉量小情况下 N 素淋失可能性较小, 氨挥发损失所占比例较大, 尤其是石灰性土壤上氨挥发损失一直被认为 NH₄⁺-N 肥损失的重要途径^[14]。大水漫灌情况下淋洗损失亦可能发生, 尤其是质地轻土壤表现明显。黄淮海平原地区冬小麦生长季 N 的硝化-反硝化损失量较低(见表 3)^[12, 15], 这可能与黄淮海平原地区冬小麦生育期气温低而降雨量少有很大关系。对氨挥发和硝化-反硝化的测定方法不同, 其所得结果差异亦很大(见表 3)。黄淮海平原地区夏玉米田氨挥发平均损失率为 16 .97%, 硝化-反硝化平均损失率为 6 .31%(见表 3), 这可能与黄淮海平原地区大部分为石灰性土壤以及夏季高温、雨水充足有关^[12, 16]。胡春胜等^[16]研究结果表明, N 素淋溶主要发生在 7 ~ 9 月份夏玉米生育期, 施 N200kg/ hm² 处理 N 素淋失量为 21mg/ kg 左右, 施 N400kg/ hm² 处理为 31mg/ kg 左右, 施 N800kg/ hm² 处理为 37mg/ kg 左右; 114cm 土层处 NO₃⁻-N 积累施 N200kg/ hm² 处理为 14mg/ kg 左右, 施 N400kg/ hm² 处理为 140mg/ kg 左右, 施 N800kg/ hm² 处理为 154mg/ kg 左右, 这是由于黄淮海平原地区降雨主要集中在 7 ~ 9 月份, 强度大的降雨引起 N 素地表径流损失, 且使表层 NO₃⁻-N 下渗到较深土层。巨晓棠

表 3 黄淮海平原地区冬小麦和夏玉米 N 素氨挥发与硝化-反硝化损失率

Tab 3 Ammonia volatilization loss rate and nitrificattion-denitrification loss rate in winter wheat and summer maize field in Huang-Huai-Hai plain					
作 物	氨挥发损失率/ %		硝化-反硝化损失率/ %		文 献
Crops	Rate of ammonia volatilization loss		Rate of nitrificattion-denitrification loss		References
	范围	均值	范围	均值	
	Range	Average	Range	Average	
冬小麦	2 .10 ~ 24 .00	10 .18	0 .24 ~ 1 .10	0 .63	[11 ~ 13, 18]
夏玉米	4 .80 ~ 37 .00	16 .97	1 .39 ~ 18 .00	6 .31	[11, 15, 18, 26]

* 文献[11, 12]采用通气法, 文献[18]采用微气象(梯度扩散)法, 文献[26]采用微气象学迎风采样器法测定氨挥发损失, 文献[2, 15]采用乙炔抑制-土柱培养法, 文献[26]采用差减法测定硝化-反硝化损失。

加 N 肥的 N 素损失量增大^[4, 9, 10]。

夏玉米田 N 素的去向。表 2 表明黄淮海平原地区夏玉米田各种 N 肥的平均吸收率依次为硫酸铵 > 碳酸氢铵 > 尿素, 土壤平均残留率为尿素 > 碳酸氢铵 > 硫酸铵, N 素平均损失率为氯化铵 >

表 2 黄淮海平原地区夏玉米 N 肥的去向

Tab 2 The fate of nitrogen fertilizer in summer maize field in Huang-Huai-Hai plain							
N 肥种类 Kind of nitrogen fertilizer	作物吸收率/ % Recovery rate of crop		土壤残留率/ % Residual rate of soil		N 素损失率/ % Loss rate		文 献 References
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	
尿 素	20 .0 ~ 66 .7	40 .9	14 .9 ~ 48 .0	26 .0	7 .5 ~ 87 .5	41 .4	[9, 11 ~ 13, 25]
碳酸氢铵	29 .2 ~ 51 .6	43 .9	8 .8 ~ 37 .0	18 .5	12 .0 ~ 62 .0	37 .5	[13, 25]
硫 酸 铵	28 .9 ~ 60 .5	46 .7	9 .1 ~ 27 .5	15 .3	15 .4 ~ 59 .0	38 .0	[13]
氯 化 铵	-	-	-	-	35 .3 ~ 50 .0	42 .7	[14]

棠等^[11]研究表明, N 肥深施处理 N 素的氨挥发平均损失率可降至 5 .1%, 硝化-反硝化平均损失率降至 5 .78%, 气体挥发损失占总损失的 21 .23%。故推断 NO₃⁻-N 下移至 100 ~ 300cm 或更深土层可能是冬小麦/ 夏玉米轮作体系中 N 肥主要损失途径。李有田^[17]模拟研究表明, 渗漏水量过低或过高及施 N 量过多时 N 的气态损失量均远大于 N 素淋失量, 而渗漏水量适

中及施 N 量少时 N 素淋失量却大于气态损失量。由于施入土壤中肥料损失主要途径和数量受诸多因素的影响,故很难明晰黄淮海平原地区 N 素损失究竟是以氨挥发、硝化-反硝化为主,还是以淋溶损失为主,不同的条件其结果不同,且土壤下层累积的 N 素很难被下季作物所利用,并随时间的推移逐渐向更深土层移动或在移动过程中发生反硝化而造成不良的环境效应。

表 4 黄淮海平原地区旱地 N 肥使用量及损失量(1992 ~ 1998)

Tab 4 Dosage and lossing of nitrogen fertilizer in dryland of Huang-Huai-Hai from 1992 to 1998							
年 份	耕地面积/ hm ²	使用 N 肥	N 素总损	平 均 施 N	氨挥发损	硝化-反硝化	淋洗与径流
Years	Arable	纯 量 / t	失 量 / t	量/ kg·hm ⁻²	失 量 / t	损 失 量 / t	等 损失量/ t
	land area	Neat nitrogen	Total losing	Average nitrogen dosage	Ammonia volatilization loss	Nitrificattion-denitri-fication loss	Leaching and runoff loss
1992	16833701	3572702	1298319.9	212.2	494462.0	178635.1	625222.9
1993	16185034	5007337	1819666.3	309.4	693015.4	250366.9	876284.0
1994	16520746	4304289	1564178.6	260.5	595713.6	215214.5	753250.6
1995	15755887	4206837	1528764.6	267.0	582226.2	210341.9	736196.5
1996	16936233	4853199	1763652.5	286.6	671682.7	242660.0	849309.8
1997	16643013	4950834	1799133.1	297.5	685195.4	247541.7	866396.0
1998	15858928	4787687	1739845.5	301.9	662615.9	239384.4	837845.2

2 黄淮海平原农田 N 素损失估算

黄淮海平原地区冬小麦耕地面积(其中包括小麦/玉米轮作种植制度)占总耕地面积的 60 % 以上。据以上研究所得 N 肥损失参数和统计数据估算出 1992 ~ 1998 年黄淮海平原地区旱地 N 素损失量以及氨挥发、硝化-反硝化和淋洗与径流损失量(见表 4), 1992 ~ 1998 年该区农田 N 肥使用总量稳中有增,单位面积平均施 N 量亦逐年递增;除 1993 年外,其他年份 N 素总损失量以及氨挥发、硝化-反硝化、淋洗与径流损失量均随 N 肥使用量的增加而逐年增加,平均每公顷农田 N 肥总损失量以及氨挥发、硝化-反硝化和淋洗与径流损失量呈逐年递增趋势(见图 1)。

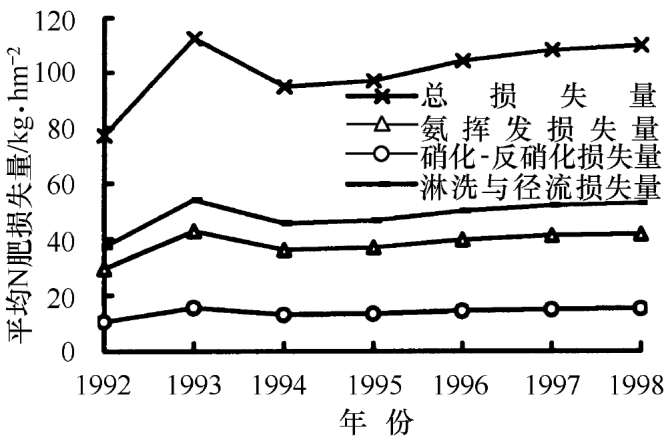


图1 黄淮海平原单位面积农田N肥损失状况(1992~1998)
Fig.1 Lossing of nitrogen fertilizer in Huang-Huai-Hai plain from 1992 to 1998

3 N 肥损失对环境的影响与对策

随着高产、优质、高效农业的发展,农业生产采取的集约经营、高投入高产出种植制度,主要依赖于增加化肥施用量,加之不合理的农业管理措施,导致 N 素利用率降低,损失加剧,由此而带来的生态环境问题日益突出。

黄淮海平原地区、北京昆明湖和密云水库、天津于桥水库和江苏太湖等湖泊(水库)均出现不同程度水体富营养化问题。据研究农田 N、P 流失是引起水体富营养化的直接原因^[19]。N 素淋失还可污染浅层地下水,我国制定的生活饮用水水质标准(CJ3092-92)NO₃⁻-N 含量为 20mg/ L,张维理等^[20]对北京和天津市、河北和山东省 14 个市县 69 个地点调查结果显示,有 1/ 2 以上区域超过饮用水硝酸盐含量最大允许值 50mg/ L,其中最高者达 300mg/ L,造成地下水 NO₃⁻ 污染主要原因是 20 世纪 80 年代以来农田大量施用 N 肥所致。通过计算还表明若 N 素损失率能降低 1 个百分点,则黄淮海平原地区将减少 N 肥(折纯量)损失近 5 万 t,这意味着降低 N 肥损失具有十分重要的经济和环境意义。

我国黄淮海平原地区旱田农业生产中 N 肥当季利用率仅为 36.3%,这是造成 N 肥增产效率低且环境污染的重要因素。减少 N 肥损失、提高 N 肥利用率的主要技术对策一是适量施用 N 肥,研究结果表明随 N 肥施用量的增加,N 肥增产效果逐渐降低,当 N 肥用量超过适宜施用量时,不仅增加成本亦不能达到高产,且造成 N 肥大量浪费。因此农业生产中不是施肥越多越好,而应以获取最大 N 肥经济效益为目标。黄淮海平原地区二熟制粮食作物年施 N 量建议维持在 350kg/ hm² 左右,不宜超过 400kg/ hm²^[16,20 ~ 22]。二是采用科学施肥方法,深施是减少NH₄⁺-N 肥和尿素的 N 素损失、提高其利用率效果最大且较稳定的最佳方法,尤其是在 N 肥以气态损失为主的黄淮海平原地区更为适用。N 肥混施和深施均比表施减少氨挥发损失^[2,3]。

王朝辉等^[12]研究表明,尿素深施的 N 素氮挥发损失可降至 10% 以下。三是水肥综合管理,旱作系统撒施尿素后随即灌水可将尿素带入耕层土壤中,从而达到部分深施而减少 N 素氮挥发损失的目的。而分次施用和适度灌溉可使 N 素损失降至最小,雨前表施,若雨量适宜亦可达到类似效果。四是平衡施肥,黄淮海平原地区旱地土壤缺 K 和 P 面积很大,缺 P、K 土壤配施 P 肥和 K 肥可明显降低化肥 N 的损失。同时根据不同作物不同生育期养分需要而适宜施肥,以保证作物全生育期养分平衡且不浪费肥料,如冬小麦拔节~抽穗期养分状况决定有效分蘖的多少和穗的大小,而夏玉米生长过程中吸 N 较多,拔节后吸 N 量占总吸 N 量的 58%~64%^[23]。大幅增加有机肥施用量,有机与无机肥相结合,大力发展生态农业,以促进农业生产可持续发展^[2,4,11,24]。

参 考 文 献

1 朱兆良.我国土壤供氮和化肥氮去向研究进展.土壤,1985,17(1):2~9

2 朱兆良,文启孝.中国土壤氮素.南京:江苏科学技术出版社,1992.214~287

3 鲁如坤.土壤-植物营养学原理和施肥.北京:化学工业出版社,1998.423~443

4 沈善敏.中国土壤肥力.北京:中国农业出版社,1998.175~211

5 傅积平,徐富安.豫北平原农业生态系统研究.北京:气象出版社,1998.48~51

6 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(2):15~18

7 赵振达等.旱地土壤中氮的挥发.我国土壤氮素研究工作的现状与展望.北京:科学出版社,1986.46~54

8 张国梁,章申.农田氮素淋失研究进展.土壤,1998(6):291~297

9 周凌云.土壤水分条件对尿素氮素去向的影响.植物营养与肥料学报,1998,4(3):237~241

10 马茂同.钾氮配施对土壤氮钾渗漏损失的影响.土壤,1999(3):136~139

11 巨晓棠,刘学军等.冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素损失途径分析.中国农业科学,2002,35(12):1493~1499

12 王朝辉,刘学军等.北方冬小麦/夏玉米轮作体系土壤氮挥发的原位测定.生态学报,2002,22(3):359~365

13 曾江海,王智平等.小麦-玉米轮作期土壤排放 N₂O 通量及总量估算.环境科学,1995,16(1):32~35

14 徐志红等.尿素粒肥在石灰性砂壤土上对夏玉米效应及氮素去向的研究.土壤学报,1987,24(2):51~58

15 丁洪,蔡贵信.玉米-潮土系统中氮肥硝化-反硝化损失与 N₂O 排放.中国农业科学,2001,34(4):416~421

16 胡春胜,程一松,于贵瑞.华北平原施氮对农田土壤溶液中硝态氮含量的影响.资源科学,2001,23(6):46~48

17 李有田.人民胜利渠灌区氮素淋失特性的模拟研究.土壤肥料,1994(5)30~33

18 李贵桐,李保国等.大面积冬小麦夏玉米农田土壤的氮挥发.华北农学报,2002,17(1):76~81

19 司友斌,王慎强等.农田氮、磷的流失与水体富营养化.土壤,2000(4):188~193

20 张维理,田哲旭,张宁等.我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查.植物营养与肥料学报,1995,1(2):80~87

21 李志宏,王兴仁,张福锁.我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究 I.几种主要作物氮磷施用量的研究.植物营养与肥料学报,1997,3(3):262~267

22 江华,王兴仁,张福锁.冬小麦-夏玉米轮作条件下氮肥总用量的决策作物收获后 0~100cm 土壤硝酸盐残留与氮肥决策.青海农林科技,1999(1):15~16

23 李志宏,王兴仁,张福锁.我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究.冬小麦-夏玉米轮作制度下氮素诊断及追肥推荐的研究.植物营养与肥料学报,1997,3(4):357~362

24 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策.土壤与环境,2000,9(1):1~6

25 Chen R.Y.,Zhu Z.L.Characteristics of the fate and efficiency of nitrogen in supergranules of urea.Fert.Res.,1982,3:63~71

26 Zhang S.J.,Cai G.X.,Wang X.Y.,et al.Losses of urea-nitrogen applied to maize grown on a calcareous fluvo-aquic soil in North China Plain.Pedosphere,1992,2(2):171~178