

华北地区小麦—玉米种植制度下硝态氮淋失量研究

李晓欣^{1,2}, 胡春胜¹, 张玉铭¹, 董文旭¹, 欧阳志云²

(1. 中国科学院遗传发育所农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘 要: 应用水量平衡法计算土壤水的下渗量, 通过 suction cup 采集土壤溶液并测定其中硝态氮含量, 不同施肥处理下不同作物的硝态氮淋失量分析结果表明: 2001~2002 年, 冬小麦生长季硝态氮的淋失损失严重, 其中施 N 量 200, 400, 800 kg/(hm²·a) 3 个施肥处理 180 cm 土层淋失的硝态氮量分别为 0, 22, 110 kg/hm²。玉米生长季也存在硝态氮的淋失, 上述 3 施肥处理 180 cm 层次淋失的硝态氮量分别为 2, 16, 50 kg/hm²。

关键词: 硝态氮; 淋失; 华北地区

中图分类号: S158.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0007-04

华北太行山前平原是我国化肥施用量大的粮食高产区之一, 年施氮量高达 500 kg/hm², 当施入的大量氮肥不能完全被作物吸收时, 多余的氮就以 NO₃⁻-N 的形式在降雨和灌溉时淋至土壤深层, 对地下水形成一种威胁, 由施肥所造成的土壤和水质污染已引起广泛的关注^[1~7]。国内外大量的研究表明, 氮肥的施用与地下水 NO₃⁻-N 浓度的升高有明显的相关性。为了进一步了解小麦—玉米高产区氮素的淋失状况, 我们在原有氮肥试验的基础上设置了 NO₃⁻-N 的淋洗试验, 计算了不同氮肥投入下 NO₃⁻-N 的淋失量与土壤剖面 NO₃⁻-N 的分布, 旨在为该地区的农田氮肥投入提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 取样地点概况

试验在中科院栾城生态试验站进行, 该站位于北纬 37°50', 东经 114°40', 此地海拔 50.1 m, 属中国东部暖温带半湿润季风气候, 年平均气温 12.3℃, 年降雨量 480.7 mm, 主要集中于 6、7、8 月份; 年蒸发量为 1 092.3 mm, 土壤属潮褐土, 种植制度为小麦—玉米轮作。

1.2 试验安排

试验在 12 个养分池进行, 养分池面积 6.25 m², 用 2 m 深的水泥墙将每个池子与周围隔断。试验开始于 1998 年 10 月小麦季, 设 4 个氮肥水平, N₂₀₀: 200 kg/(hm²·a), N₄₀₀: 400 kg/(hm²·a), N₆₀₀: 600 kg/(hm²·a), N₈₀₀: 800 kg/(hm²·a), 3 次重复。氮肥品种为尿素, 小麦、玉米施肥各半, 每年于小麦播种前施过磷酸钙, 折合磷 49 kg/(hm²·a)。种植了两年作物后我们选择了 N₂₀₀、N₄₀₀、N₈₀₀ 处理安装

了 suction cup, 进而研究不同肥料处理下 NO₃⁻-N 的淋失。

2001 年小麦于 10 月 12 日播种, 2002 年 6 月 8 日收获, 期间施肥两次, 分别为 2001 年 10 月 11 日底肥和 2002 年 3 月 15 日追肥。整个小麦生长季总共灌水 5 次, 播前灌底墒水 93 mm, 其余每次灌水量均为 70 mm(11 月 30 日、3 月 15 日、4 月 26 日和 5 月 30 日)。2002 年玉米于 6 月 15 日播种, 9 月 28 日收获, 期间施肥两次: 2002 年 7 月 17 日提苗肥和 2002 年 8 月 20 日大喇叭口追肥。玉米共灌水 3 次(6 月 16 日、7 月 20 日、8 月 20 日), 分别灌溉 116 mm、116 mm、93 mm。

1.3 取样方法

在每季作物播种前和收获后分层采取土样, 每 20 cm 一层, 取样深度 180 cm, 新鲜土样用 1 mol/L 的 KCl 溶液浸提, 浸提液用 A—II 型流动注射分析仪测定其中 NO₃⁻-N 含量; 作物生长期间应用 suction cup 在不同时段养分池取水, 应用 A—II 型流动注射分析仪测定土壤溶液中 NO₃⁻-N 含量; 养分池的土壤含水量通过安装在池子中央的中子管应用中子仪进行连续观测; 气温、地温等数据通过试验站的综合气象观测场获得, 农田的蒸散通过大型 lysimeter 观测。

2 结果分析

2.1 作物生长季土壤 NO₃⁻-N 累积量的变化

不同施氮处理下 0~180 cm 土体 NO₃⁻-N 的累积量通过公式(1)计算:

$$N_{accumulate} = \sum Z\rho_dC \tag{1}$$

式中： Z 为土层厚度 (cm)； ρ_d 为每层土壤容重 (g/cm^3)； C 为各层土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量 (mg/kg)。

由表 1 可知,2001 年小麦播种前不同处理剖面

累积的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 已出现了差异。我们通过三次取土所测的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的数据分析 2001~2002 年小麦—玉米生长季 0~180 cm 土体 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的变化。

表 1 不同施肥处理 0~180 cm 土体 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 总累积量 (kg/hm^2)

Table 1 Accumulation of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in the 0~180 cm soil with different N treatments

施肥时期 Fertilizing time	N ₂₀₀ ($\bar{x} \pm s$)	N ₄₀₀ ($\bar{x} \pm s$)	N ₆₀₀ ($\bar{x} \pm s$)	N ₈₀₀ ($\bar{x} \pm s$)
小麦播种前(2001-10) Before wheat sowing	66±34	196±98	431±201	618±318
小麦收获后(2002-06) After wheat harvesting	68±26	261±53	573±174	831±341
玉米收获后(2002-10) After corn harvesting	61±21	383±142	673±275	1125±338

在 N_{200} 处理下, 0~180 cm 土壤所累积的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 量基本保持不变;而 N_{400} 、 N_{600} 、 N_{800} 处理在每季作物收获后 0~180 cm 土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量均有所增加,其一年中总增加的氮量分别占施入氮肥量的 47%,40%,63%。

2.2 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在土壤剖面的累积和分布

2.2.1 冬小麦生长季 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在土壤中累积和分布的变化 2001 年冬小麦播种前,不同处理土壤各层的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 分布如图 1。各处理表层土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量最高, N_{400} 、 N_{600} 和 N_{800} 施肥处理在

80~140 cm 深度存在累积峰,且在 180 cm 左右深度仍有 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 累积峰存在的现象。小麦收获后, N_{400} 、 N_{600} 、 N_{800} 处理下土体 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量明显增加,而 N_{200} 处理 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量与播前相比几乎没有什么变化。各处理都在 20~40 cm 层次存在 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的累积峰,而在 40~120 cm 小麦根系较密集层次, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量与上下层次比相对较低,体现了作物对氮素的吸收作用。在 180 cm 深度各施肥处理 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量均高于播种前,说明冬小麦生长季存在 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的下移。

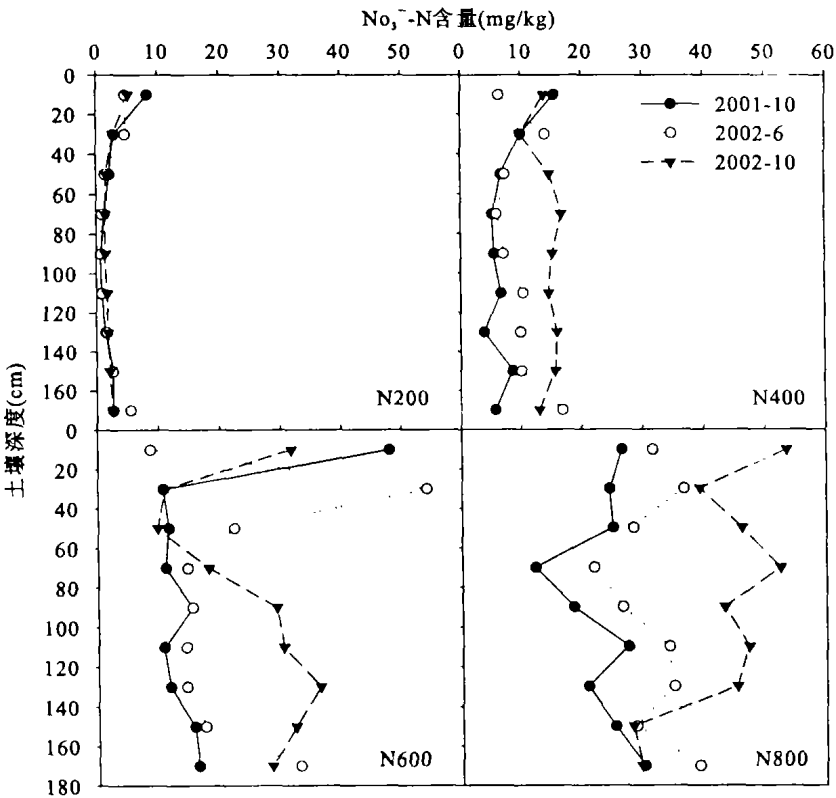


图 1 土壤剖面 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的分布变化

Fig. 1 Change of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ contents in different soil layers

不同施肥处理经过一个小麦生长季后土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的变化如表 2 所示。由于栾城试验站冬小麦 90% 的根系集中于 0~120 cm 土层^[8], 故将 0~180 cm 土体分为两部分: 120 cm 以上为小麦根系吸收层, 该层次土体中累积的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 是可以被吸收利用的, 120 cm 以下土体中的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 是难于被作物小麦吸收, 作为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的潜在淋失源, 累积在土壤中。

小麦生长季过后, 不同施肥处理下小麦根系吸收层 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量除 N_{200} 处理降低外, N_{400} 、 N_{600} 、 N_{800} 分别增加了 8.7、78.8、130.5 kg/hm^2 , 而根系吸收层以下 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量均有所增加, 且随着施入氮肥量的增加而增大。比较不同处理 0~120 cm 与 120~180 cm 层次土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的增加量, 发现 N_{200} 和 N_{400} 处理 120~180 cm 土层小麦季 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的增加量高于 0~120 cm, 而 N_{400} 和 N_{800} 处理 120~180 cm 土层小麦季 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的增加量低于 0~120 cm 土层, 说明当季高氮肥投入对根系吸收层 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 累积量的影响大于吸收层以下层; 在施肥不高的情况下小麦季土壤累积的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的增加主要发生在根系吸收层以下, N_{200} 处理小麦生长季根系吸收层 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的降低和吸收层以下 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的增加更加证明了: 即使施入氮肥低于作物生长所需, 整个土壤剖面 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量几乎没有变化时, 仍存在灌溉降水引起的水分下渗, 使得土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 向下运移。

表 2 小麦季不同施肥处理土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量变化(收后量—播前量) (kg/hm^2)

Table 2 Change of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ concentration in different soil layer during wheat season

土壤层次(cm) Soil layer	N_{200}	N_{400}	N_{600}	N_{800}
0~120	-7.2	8.7	78.8	130.5
120~180	9.1	56.6	63.1	82.2

2.2.2 夏玉米生长季 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在土壤中累积和分布的变化 小麦收获后继续种植玉米, 经过一个玉米生长季各肥料处理土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量变化如图 1 所示。各处理 0~20 cm 土层的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量均有所增加, 同时 160~180 cm 土层的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量降低; 而各处理 80~140 cm 土层 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量均高于上季作物收获后。由图 1 可以看到, 小麦收获后 20~40 cm 处的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 累积峰在玉米生长季下移了 40~60 cm, 缩短了播种前土壤原有两个累积

峰的间距。
经过一个玉米生长季, 不同施肥处理 160~180 cm 层次 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量均降低, N_{200} 、 N_{400} 、 N_{600} 、 N_{800} 分别降低了 8、11、14、28 kg/hm^2 , 由于该层次玉米根系层以下(玉米的最大根深达 120 cm, 无法对 180 cm 层次的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 进行吸收), 此层次土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的降低完全是由于淋失造成的。

2.3 不同氮肥处理下 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量的计算

由于 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 本身带负电荷, 不易被土壤所吸附, 一般随土壤水分的运移而运移, 因此对于 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的运移只是考虑了水分运移的因素, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失量则由水的下渗量和土壤溶液 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度计算求得^[9], 而对其他因素予以忽略。

作物根系层以下通过某一界面土壤水的下渗量可通过水量平衡公式(2)计算:

$$D(z) = \Delta H(z) + I + P - ET - R \quad (2)$$

式中: $D(z)$ 为土壤剖面深度 z 处土壤水下渗量(mm); $\Delta H(z)$ 为地表至深度 z 处土体含水量的变化(mm); P 为降水量(mm); I 为灌溉量(mm); ET 为实际蒸散量(mm); R 为径流量(mm)。由于试验小区不存在水的径流损失, 由作物生育期不同深度范围内土壤含水量的变化, 和灌溉降水、蒸散等数据可以算得一段时间通过某深度的下渗水量 D 。

$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量由公式(3)计算:

$$L = \sum (D \times C) \quad (3)$$

式中: C 为 suction cups 所取土壤溶液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的浓度(mg/L)。通过下渗水量结合土壤溶液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量计算作物生长季 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的通过某一土壤界面的淋失量。

2.3.1 小麦生长季土壤水下渗量与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失量 2001~2002 年小麦生长季灌溉、降水输入土壤的总水量为 451.6 mm; 农田的总蒸散量为 556.0 mm。由土体中水的输入、输出的数据可以看出在整个小麦生长季, 土壤水的支出大于输入, 但是通过水量平衡公式计算在小麦生长季存在土壤水的下渗和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失, 这主要是由于作物需水时期与灌溉时期不吻合造成的。

表 3 比较整个冬小麦生长季不同施肥处理下, 通过不同土壤层次的下渗水量及 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量, 可以发现 N_{400} 、 N_{800} 施肥处理通过 160 cm 和 180 cm 层次 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失量均大于 140 cm 层次, 这主要是由不同土壤层次 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量不同引起的(140 cm 土壤溶液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量低于 160 cm 和 180 cm

的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量)。整个小麦生长季 N_{200} , N_{400} , N_{800} 三种不同施肥处理通过 180 cm 深度界面完全进入下层土壤的下渗水量分别为 50, 23, 21 mm, 淋失的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 量分别为 0.1, 22, 110 kg/hm^2 , 由此可见施肥量的高低最终决定着 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失的多少。

2.3.2 玉米生长季土壤水下渗总量与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失量 2002 年玉米生长季经灌溉、降水输入土壤的总水量为 588.4 mm, 农田的总蒸散量为 439.96 mm, 由土壤水的输入、输出的数据可以看出在玉米生长季, 土壤水的支出小于输入, 极可能造成水分的大量下渗, 从而引起氮素的大量淋失。但是通过水量平衡公式, 玉米生长季土壤水的下渗并不是很大,

输入的水分除用于作物生长所需外有很大一部分补充了土体本身, 各处理平均补充于土体的水量达 124 mm。

表 3 冬小麦生长季土壤不同层次 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失量(kg/hm^2)

Table 3 Leaching losses of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ of different layer during the wheat season						
层次 Soil layer (cm)	N_{200}		N_{400}		N_{800}	
	下渗水 (mm)	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量	下渗水 (mm)	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量	下渗水 (mm)	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量
140	65	3	47	5	39	101
160	62	4	36	33	33	151
180	50	0	23	22	21	110

注: 小麦季的淋失量各处理间无重复。

表 4 夏玉米生长季土壤不同层次 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失量 (kg/hm^2)

Table 4 Leaching losses of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ of different layer during the corn season						
土壤层次 Soil layer (cm)	N_{200}		N_{400}		N_{800}	
	下渗水 ($\bar{x} \pm s$) (mm)	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量 ($\bar{x} \pm s$)	下渗水 ($\bar{x} \pm s$) (mm)	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量 ($\bar{x} \pm s$)	下渗水 ($\bar{x} \pm s$) (mm)	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量 ($\bar{x} \pm s$)
120	62±14	1±1.38	75±4	57±5.5	106±36	220±101.1
140	46±2	2±1.07	54±17	40±5.9	88±42	134±65.8
160	22±2	1±0.9	25±17	13±5.8	69±44	39±41.7
180	21±7	2±0.58	24±12	16±5.2	40±43	50±49.3

玉米生长季通过不同深度土壤的下渗水量及各施肥处理 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋失量如表 4 所示, 在相同的灌溉、降水及管理措施下, 不同施肥处理通过不同层次土壤淋失的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 量不同, 但各层次的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量均随着施入氮肥量的增加而增大; N_{200} 、 N_{400} 、 N_{800} 通过 180 cm 深度淋失的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 量分别为 2, 16, 50 kg/hm^2 。比较表 4 各处理 160 cm 与 180 cm 深的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量, 发现通过 160 cm 层面的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 下渗量小于 180 cm 的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失量, 所以 180 cm 界面以下的淋失主要来自 180 cm 土层。

3 结果讨论

华北平原一年两熟地区, 当年施氮量大于 200 kg/hm^2 时, 随着施氮量的增加, 土体累积的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量呈增加趋势。 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失的发生是水肥共同作用的结果, 氮肥施用过量, 是产生 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋失的主要原因。 N_{200} 、 N_{400} 、 N_{800} 不同处理 2001~2002 年淋失的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 量分别为 2, 38, 160 kg/hm^2 , 最大淋失量发生在 N_{800} 处理的冬小麦生长季, 主要是由于冬小麦生长初期的灌溉造成, 因此根据作物生长需求进行施肥灌溉是减少 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋

失的关键措施。

参考文献:

[1] 张维旭, 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[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80—87.

[2] 同延安, 吕殿青, 张 航. 灌区土壤氮素平衡与硝态氮淋失[J]. 陕西农业科学, 1994, (5): 12—13.

[3] 孙克刚, 李锦辉, 姚 键, 等. 不同施肥处理对作物产量及土体 $\text{NO}_3 \text{-N}$ 累积的长期定位试验[J]. 土壤肥料, 1999, (6): 18—20.

[4] 党廷辉, 郭胜利, 樊 军, 等. 长期施肥条件下黄土旱源土壤 $\text{NO}_3 \text{-N}$ 的淋溶分布规律[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1265—1268.

[5] 樊 军, 郝明德, 党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 23—26.

[6] 黄满湘, 章 申, 张国梁. 应用大型原装土柱渗漏计测定冬小麦—夏玉米轮做期硝态氮淋失[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 11—16.

[7] Pang X P, Letey J, Wu L. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching [J]. SOIL. SCI. SOC. AM., 1997, 61(1): 257—261.

[8] 张喜英. 作物根系与土壤水利用[M]. 北京: 气象出版社, 1999.

[9] Moreno F, Cayuela J A, Fernández J E, et al. Water Balance and Nitrate Leaching in an Irrigated Maize Crop in SW Spain[J]. Agricultural Water Management, 1996, 32(1): 71—83.

(英文摘要下转第 28 页)

211.

[8] 林作辑. 食品加工与小麦品质改良[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.

[9] Chattopadhyay R, Harit R C, Kalra N. Evaluation of water and nitrogen production functions for assessing yield and growth of wheat[J]. Fertliger News, 2001, 46(2): 43—53.

[10] 徐阳春, 蒋廷惠, 张春兰. 等. 不同面包小麦品种的产量及蛋

白质含量对氮肥用量的反应[J]. 作物学报, 1998, 17(6): 462—465.

[11] Singh A K, Jai G L. Effect of sowing time, irrigation and nitrogen on grain yield and quality of durum wheat (*Triticum durum*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2000, 70(8): 532—533.

Effect of controlling irrigation on yield & quality of high-gluten wheat

WANG Yu-hong, YAO Yu-qing, LU Jun-jie, LI Jun-hong,
Zhang Jie, WANG Cong-hui, Ding Zhi-qiang

(Luoyang dry-land farming experiment base of Chinese academy of agricultural science, Luoyang, Henan 471022, China)

Abstract: The yield and quality of high-gluten wheat under the condition of controlling irrigation in different phase and with different times were studied. The results showed that the winter water can improve formation of wheat colony, but water is deficient in late period, yield will be low; irrigation in jointing phase can improve forming spike and increasing grains; with irrigation in grouting phase the yield will be low. In term of different irrigation stages, irrigation in jointing has the highest yield and the highest water use efficiency (WUE). Compared to irrigations in winter and grouting, the yield increases by 13.78% and 72.26%, respectively, and WUE increases by 10.29% and 47.06%, respectively. As the irrigation times increases, the yield will be higher, but the WUE will be lower. Watering in Grouting reduces the quality of high-gluten wheat. In view of yield, WUE and quality, irrigations in winter and in jointing are the best way for high-gluten wheat production.

Keywords: controlling flooding; high-gluten wheat; quality; water use efficiency

(上接第 10 页)

Losses of nitrate-nitrogen from a wheat—Corn rotation in north China

LI Xiao-xin^{1,2}, HU Chun-sheng¹, ZHANG Yu-ming¹, DONG Wen-xu¹, OUYANG Zhi-yun²
(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetic and Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang, Hebei 050021, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: A study was conducted to assess the leaching of nitrate-nitrogen in wheat-corn season in North China Plain during 2001~2002 year. Leaching losses were calculated from measured flux of water percolation, soil water NO₃⁻-N concentrations extracted by suction cup. The results showed that in the 2001~2002 wheat season, there was serious NO₃⁻-N leaching, the highest value was 110 kg/hm² in N₈₀₀ treatment, the lowest was 0 kg/hm² at N₂₀₀ treatment, at N₄₀₀ treatment it was 22 kg/hm². In the 2002 corn season there were also leaching of NO₃⁻-N, the loss of NO₃⁻-N were 2 kg/hm² in N₂₀₀ treatment, 16 kg/hm² in N₄₀₀ treatment, 50 kg/hm² in N₈₀₀ treatment.

Keywords: nitrate-nitrogen; leaching; water balance