

不同施氮水平和杂草清除时间对 氮肥利用及平衡的影响

南维鸽^{1,2,3}, 李世清^{1,2}, 侯红乾^{1,2,4}, 李生秀²

(1. 西北农林科技大学中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 陕西理工学院, 陕西 汉中 723001;

4. 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 江西 南昌 330200)

摘 要:以半湿润区中等肥力土垫旱耕人为土为供试土壤,在冬小麦不同生育期采集0~100 cm土层土壤样品、作物及杂草的样品,研究不同施肥及杂草处理对半湿润农田生态系统氮肥损失及氮素平衡的影响。试验结果表明,土壤中残留 NO_3^- -N累积量均随施氮量增加而增加; NH_4^+ -N累积量随施氮量变化不显著,总矿质氮随施氮量的变化趋势与硝态氮基本一致;农田系统中杂草的存在,能在一定程度上增加土壤残留矿质氮(Nmin)累积量,且在高施氮处理下影响较大;在全生育期不清除杂草(A)、越冬前清除杂草(B)、返青期清除杂草(C)和拔节期清除杂草(D)等杂草处理下,杂草吸氮量平均值分别为2.38、1.60、4.72和4.54 kg N/hm²,占农田植物地上部分(作物+杂草)总吸氮量的1.97%、1.38%、3.98%和3.76%,返青期杂草吸氮量最高,其值是越冬期杂草吸氮量的2.94倍;氮肥损失随施氮量增加而呈线性相关,考虑杂草时,相关系数 $R^2=0.9802$ 。不同杂草处理间氮素表现损失量为59.9~96.1 kg/hm²,不同施氮处理间表现损失量为32.9~128.0 kg/hm²;不同时期清除杂草对氮损失和氮肥利用率影响显著,而越冬期清除杂草的影响效果最大;本试验条件下,杂草的存在对氮素平衡影响不显著。

关键词:矿质氮;杂草;氮肥利用率;氮肥表现损失

中图分类号: S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0018-07

施氮是农业生产中最重要的增产措施之一。氮肥的合理施用有利于提高作物产量和品质,另一方面氮肥的不合理施用会对人类生存环境带来威胁。20世纪60年代初期,人们开始注意到氮肥的大量使用以及土壤氮素损失可能造成的不良环境后果,近年来因氮肥不合理使用带来的环境问题日益尖锐^[1]。20世纪70年代以来,我国氮肥施用量增加很快,近几年氮肥施用量已达2 489万t纯氮,居世界之首^[2],占世界氮肥年施用量的1/4以上,每季作物平均施氮量约为120 kg/hm²。氮肥的增加对促进我国农业生产的发展发挥了重要作用,但随之产生氮肥利用率降低,损失严重,并引发了不少环境问题^[3,4]。农田生态系统氮肥损失的主要途径包括氮挥发、硝态氮淋溶和反硝化^[5]。但由于对作物全生育期的这些损失指标较难直接准确测定,通常采用田间氮素平衡公式确定表现损失量^[6,7]。朱兆良综述了有关研究结果后认为,从数量上讲,因加入化肥氮所增加的土壤氮素矿化量($N_{矿化}$)与被土壤中

生物固定的化肥氮($N_{固定}$)基本相当,基于这一看法,通常以土壤残留矿质氮(Nmin)测定为基础,那么计算土壤氮素的表现盈亏量,植物吸氮量便是评价田间氮素平衡的重要指标,植物吸收氮量越大,损失氮估计量会越小,因此准确评价植物吸氮量具有重要科学意义。对植物吸氮量一般根据作物地上部分生物量和含氮量确定,但在实际情况下,田间除作物外,还存在杂草。显然,在以前对植物吸氮量的评价中,忽视了杂草对氮素的吸收,因此对氮素损失结果的估计可能会产生偏差,在高施氮水平下,由于杂草生物量和吸氮量增加,这种偏差会进一步加大。本研究通过田间试验,以期阐述这一论题。

1 材料与方法

1.1 试验自然条件

试验在西北农林科技大学土壤肥料试验站进行。该试验站处于黄土高原南部旱作区,位于渭河三级阶地,海拔520 m左右。本地区属大陆性季风

收稿日期:2007-04-20

基金项目:国家自然科学基金(30571116,30670326);西北农林科技大学创新团队项目资助

作者简介:南维鸽(1979—),女,陕西兴平人,硕士生研究生,主要从事植物营养生理生态的研究工作。E-mail: Nanweige2007@yahoo.com.cn.

通讯作者:李世清, E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn.

气候,冬小麦生育期大于5℃的积温在1 000~1 300℃,年均降水量632 mm,分布不均,主要集中在7、8、9这3个月,冬春易旱,年均气温12.9℃,年蒸发量1 400 mm,地下水深大于60 m,属半湿润旱地区。作物轮作方式主要为冬小麦~夏玉米。供试土壤为土垫旱耕人为土,其剖面层次大体可划分为耕层(0~20 cm)、粘化层(20~60 cm)和母质层(60~200 cm)。

1.2 试验设计

以中等肥力土垫旱耕人为土为供试土壤(表1),以小偃22为指示作物,进行大田试验。试验处理包括施肥和杂草处理2个因子,采用完全方案。以杂草处理为主处理,施肥处理为副处理。设4种

杂草处理方式:全生育期不除杂草(A)、越冬前清除杂草(B)、返青期清除杂草(C)和拔节后清除杂草(D);在施磷的基础上每公顷施氮0、45、90、135和180 kg(即PN₀、PN₄₅、PN₉₀、PN₁₃₅和PN₁₈₀);共20个处理,3次重复,共60个小区,小区面积为6 m²,各小区间用20 cm的垄隔开。冬小麦播种量为150.0 kg/hm²,氮肥以尿素(含氮46%)为氮源;每公顷均施1 500 kg过磷酸钙(含P₂O₅ 12%)。尿素和磷肥,在小麦播种前一次性做基肥混施入0~20 cm土层,全生育期并未进行补充灌溉。管理与一般大田相同。冬小麦于2005年10月16日播种,2006年6月6日收获,全生育期为232 d。

表1 供试土壤基本性状

Table 1 Properties of the soil used in experiment

| 土层深度(cm) Layer | 有机质(g/kg) O.M. | 全氮(g/kg) Total N | NH ₄ ⁺ -N (mg/kg) | NO ₃ ⁻ -N (mg/kg) | 有效磷(mg/kg) Avail. P |
|-------------------|-------------------|---------------------|--|--|------------------------|
| 0~20 | 13.8 | 0.78 | 10.7 | 5.0 | 11.7 |
| 20~40 | 11.4 | 0.74 | 9.9 | 4.1 | 9.7 |
| 40~60 | 8.0 | 0.56 | 10.5 | 4.4 | 5.5 |
| 60~80 | 7.4 | 0.58 | 10.0 | 4.0 | 6.9 |
| 80~100 | 6.7 | 0.33 | 10.2 | 4.2 | 9.1 |

1.3 样品采集与分析

土壤样品的采集:小麦收获后在各小区按0~20、20~40、40~60、60~80和80~100 cm共分5个层次取样,矿质氮用Bremner法^[8]提取,即各小区将碎细混匀后的新鲜土壤用1 mol/L KCL浸取,土水比为1:5,振荡0.5 h后过滤,滤液中的NO₃⁻-N或NH₄⁺-N均用连续流动分析仪测定。施肥播种前测定0~100 cm土层NO₃⁻-N或NH₄⁺-N含量及累积量。土壤剖面中每土层NO₃⁻-N或NH₄⁺-N累积量按下式计算:每土层NO₃⁻-N或NH₄⁺-N累积量(kg N/hm²)=d×pb×C×10⁻¹,其中d为土层厚度20 cm;pb为土壤容重,C为土壤中NO₃⁻-N或NH₄⁺-N含量,单位为mg N/kg。将各土层NO₃⁻-N或NH₄⁺-N相加,即为累积量。经测定,0~20 cm土层容重为1.25 g/cm³,下层容重约为1.30 g/cm³。

杂草样品的采集:分别于冬小麦越冬期(2005年12月31日)、返青期(2006年3月7日)、拔节期(2006年4月18日)和成熟期(2006年6月5日)按区采取杂草样品后,分类,称其鲜重后,在60℃下烘48 h至恒重时称生物量干重;根据试验设计,各时期采完杂草后,一旦发现杂草清除,保持以后生长期田

间无草。

小麦样品的采集:成熟时,收获60个小区,每小区收获2 m×2 m=4 m²,样品采集后在90℃杀青0.5 h,烘干;成熟期样品在太阳下充分晒干后脱粒,并取茎叶和籽粒样品烘干测定含水量,由此计算茎叶和籽粒干重产量(之和为地上部生物量)。

植物样品的测定:用浓H₂SO₄-混合催化剂消煮,自动定氮仪测定杂草和小麦样品全氮含量^[9]。

1.4 计算方法

矿质氮(kg N/hm²)=硝态氮累积量+铵态氮累积量。

不考虑杂草吸氮量时氮肥表观损失按照下式计算^[10,11]:

氮肥表观损失(kg N/hm²)=施N量+土壤起始N_{min}+植物生长期间矿化氮+种子输入+降雨和灌溉-(施肥小区作物吸收N+施肥小区收获后土壤残留N_{min})

考虑杂草的吸氮量氮肥表观损失按照下式计算:

氮肥表观损失(kg N/hm²)=施N量+土壤起始N_{min}+植物生长期间矿化氮+种子输入+降雨和灌溉-(施肥小区作物吸收N+杂草吸收氮量+

施肥小区收获后土壤残留 Nmin)

其中,植物生长期间矿化氮 = 不施肥小区地上部分吸收氮量 + 不施肥小区收获后土壤残留 Nmin - 土壤起始 Nmin

在研究中未考虑种子输入和降雨输入的 N 量。

氮肥利用率(%) = [(施肥小区地上部分吸收氮量 - 不施肥小区地上部分吸收氮量) / 施氮量] × 100

试验结果采用 DPS 软件进行差异性检验、多重比较和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 施氮对杂草和作物吸氮量的影响

从不同杂草处理平均看,杂草吸氮量随施氮量增加呈增加趋势,每公顷施氮 45、90、135 和 180 kg 时,杂草吸氮量在 2.43~3.80 kg N/hm² 间变化(表

2);在不同杂草处理 A、B、C 和 D 中,杂草吸收氮量平均值分别为 2.38、1.60、4.72 和 4.54 kg N/hm²,占农田植物(杂草 + 作物)地上部分总吸氮量的 1.97%、1.38%、3.98% 和 3.76%,越冬期杂草吸氮量最低,为 1.60 kg N/hm²,其次是全生育期不消除杂草处理;返青期杂草吸氮量最高,为 4.72 kg N/hm²,是越冬期杂草吸氮量的 2.9 倍。

作物吸氮量随施氮量增加而增加,与生物量随施氮量的变化趋势基本一致,在每公顷施氮 45、90、135 和 180 kg 时,作物吸氮量平均值分别为 105.25、117.63、132.95 和 133.65 kg N/hm²,与对照(PN₀)相比,分别增加 15.95、28.33、43.65 和 44.35 kg N/hm²;在不同杂草处理间,作物吸氮量平均值变化在 114~118 kg N/hm²。

表 2 不同处理杂草和作物吸氮量
Table 2 N uptake of weed and crop under different treatments (kg N/hm²)

| 杂草处理 Weed treatments | 吸氮量 N uptake by plant | 施肥 Fertilizer | | | | | 杂草处理 平均值 Average |
|---|---|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------------|
| | | N ₀ | N ₄₅ | N ₉₀ | N ₁₃₅ | N ₁₈₀ | |
| 全生育期不消除杂草 (A) Not weeding in whole growing period | 杂草吸氮量 N uptake by weed | 2.00 | 2.82 | 2.07 | 2.63 | 2.39 | 2.38c |
| | 作物吸氮量 N uptake by crop | 82.26 | 108.02 | 114.47 | 146.46 | 139.89 | 118.22 |
| 越冬期清除杂草 (B) Removing weeds before over-winter | 杂草吸氮量 N uptake by weed | 0.91 | 0.79 | 2.69 | 1.38 | 2.24 | 1.60d |
| | 作物吸氮量 N uptake by crop | 86.28 | 98.73 | 110.40 | 136.05 | 142.19 | 114.73 |
| 返青期清除杂草 (C) Removing weeds in reviving stage | 杂草吸氮量 N uptake by weed | 2.21 | 5.80 | 4.90 | 5.34 | 5.32 | 4.72a |
| | 作物吸氮量 N uptake by crop | 95.44 | 108.08 | 122.68 | 112.91 | 129.42 | 113.71 |
| 拔节后清除杂草 (D) Removing weeds after jointing stage | 杂草吸氮量 N uptake by weed | 4.60 | 5.38 | 3.40 | 4.07 | 5.25 | 4.54ab |
| | 作物吸氮量 N uptake by crop | 93.20 | 106.16 | 122.98 | 136.36 | 123.11 | 116.36 |
| 施氮处理平均值 Average | 杂草吸氮量平均值 Average of N uptake by weed | 2.43 | 3.70 | 3.27 | 3.36 | 3.80 | — |
| | 作物吸氮量平均值 Average N uptake by crop | 89.30e | 105.25cd | 117.63c | 132.95ab | 133.65a | — |

注:相同字母为差异未达 5% 显著水平,下同。

Note: The same letter are not different at the 5% level, the same below.

2.2 收获后土壤残留矿质氮(Nmin)

小麦收获后土壤中残留 NO₃⁻ - N 累积量随施氮量增加而增加(表 3);NH₄⁺ - N 累积量随施氮量增加变化不显著,总矿质氮的变化趋势与硝态氮基本一致。从不同施氮水平平均看,不同杂草处理对残留 NO₃⁻ - N 累积量的影响不同,以在返青期清

除杂草处理最高,为 35.0 kg N/hm²,拔节期清除杂草处理最低,为 27.6 kg N/hm²,返青期清除杂草处理累积量是拔节期清除杂草的 1.27 倍,而 NH₄⁺ - N 残留累积量以全生育期不消除杂草最高,为 71.5 kg N/hm²,越冬期清除杂草最低,为 57.6 kg N/hm²,之间达到显著差异水平(P < 0.05);总矿质

氮残留累积量以全生育期不清除杂草处理最高,为 104.5 kg N/hm²,越冬期清除杂草处理最低,为 88.4 kg N/hm²。说明农田生态系统中杂草的存在,能在一定程度上增加土壤剖面中 Nmin 的残留累积量。

施氮对残留矿质氮的影响主要是 NO₃⁻-N,对 NH₄⁺-N 基本无影响。不同施氮量下小麦收获后 0~100 cm 土层中残留 NO₃⁻-N 的累积量不同:不施 N、每公顷施 N 45、90、135 和 180 kg 时,残留 NO₃⁻-N 依次为 26.6、29.3、27.9、31.8 和 42.5

N/hm²,表现为随施氮量增加 NO₃⁻-N 残留累积量也增加,每公顷施氮 135 kg 和 180 kg 时,残留 NO₃⁻-N 累积量分别比不施氮的对照增加 5.2 和 15.9 kg N/hm²,占施氮量的 3.9% 和 8.8%,而当施氮量低于 135 kg N/hm² 时,与不施氮对照相比,土壤残留 NO₃⁻-N 有限。施肥土壤剖面 NH₄⁺-N 累积量高于 NO₃⁻-N 累积量,这可能与成熟期作物对 NO₃⁻-N 的吸收利用基本停止,而土壤有机氮继续矿化(此时土壤温度较高,有利于有机氮的矿化),仍可形成 NH₄⁺-N 有关。

表 3 土壤残留的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 累积量

Table 3 Nitrate and ammonium accumulation in soil residual nitrogen in maturity (kg N/hm²)

| 杂草处理 Weed treatments | 项目 Items | 施氮水平 Fertilization rate | | | | | 杂草处理平均值 Average |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------|
| | | N ₀ | N ₄₅ | N ₉₀ | N ₁₃₅ | N ₁₈₀ | |
| A | NO ₃ ⁻ -N | 26.8 | 24.4 | 28.0 | 29.1 | 56.6 | 33.0 |
| | NH ₄ ⁺ -N | 71.9 | 65.7 | 66.5 | 87.0 | 66.3 | 71.5 |
| | Nmin | 98.7 | 90.1 | 94.5 | 116.2 | 122.9 | 104.5 |
| B | NO ₃ ⁻ -N | 22.0 | 20.3 | 29.0 | 42.9 | 39.7 | 30.8 |
| | NH ₄ ⁺ -N | 61.2 | 51.3 | 57.3 | 61.0 | 57.3 | 57.6 |
| | Nmin | 83.2 | 71.6 | 86.3 | 103.9 | 97.1 | 88.4 |
| C | NO ₃ ⁻ -N | 34.1 | 45.6 | 31.3 | 26.4 | 37.7 | 35.0 |
| | NH ₄ ⁺ -N | 73.1 | 69.7 | 60.4 | 62.8 | 56.7 | 64.5 |
| | Nmin | 107.2 | 115.2 | 91.8 | 89.2 | 94.4 | 99.6 |
| D | NO ₃ ⁻ -N | 23.3 | 26.9 | 23.2 | 28.6 | 36.0 | 27.6 |
| | NH ₄ ⁺ -N | 76.1 | 64.4 | 57.0 | 62.8 | 63.2 | 64.7 |
| | Nmin | 99.4 | 91.3 | 80.2 | 91.4 | 99.2 | 92.3 |

注:A、B、C、D 同表 1, 下表同。

Note: A, B, C, D are same as table 1. The same below.

播种前 0~100 cm 土壤剖面 NO₃⁻-N 累积量为 55.79 kg N/hm², NH₄⁺-N 累积量为 132.10 kg N/hm², 总矿质氮为 187.89 kg N/hm², 经当季作物利用后, 不施肥小区 Nmin 为 97.13 kg N/hm², 地上部分吸氮量 91.73 kg N/hm², 说明作物生长期土壤氮素净矿化量很低, 仅为 0.97 kg N/hm²。这可能与播种前, 部分是休闲地, 土壤中起始 Nmin 量较高有关。

2.3 不同杂草处理的氮肥表观损失

施入土壤中的肥料氮有 3 个去向: 作物吸收、土壤残留和损失^[16]。试验结果表明(表 4), 杂草和作物吸氮量在各生育期均随施氮量增加而增加, 氮肥表观损失也随施氮量增加而增加, 考虑杂草在内, 每公顷施 N 45、90、135 和 180 kg 时, 氮肥表观损失分别为 32.9、69.8、87.4 和 128.0 kg N/hm², 与施氮

量线性相关, 相关系数 $R^2 = 0.9802$ 。从平均看(表 4), 如果考虑杂草吸氮量氮肥表观损失(79.5 kg N/hm²)略低于不考虑杂草(80.6 kg N/hm²)。在冬小麦整个生育期中, 以返青期和拔节期清除杂草处理氮肥表观损失比较高, 这可能与返青期和拔节期杂草吸氮量较高有关。

随杂草清除时间后移, 氮肥表观损失呈增加趋势, 如果考虑杂草在内, 在越冬期清除杂草、返青期清除杂草和拔节期清除杂草, 氮肥表观损失分别为 69.6、96.1 和 92.5 kg N/hm², 返青期清除杂草氮肥损失最高, 为 96.1 kg N/hm², 全生育期不清除杂草氮肥表观损失最低, 为 59.9 kg N/hm², 与越冬期清除杂草氮肥损失差异不显著, 从这一角度看, 不同时期清除杂草对氮损失影响显著, 而越冬期清除杂草影响效果最大。

表 4 不同处理氮肥表现损失比较(kg N/hm²)
Table 4 Apparent N loss under different levels of nitrogen

| 杂草处理 Weed treatments | 考虑杂草氮损失 Loss of N including weed | | | | 不考虑杂草氮损失 Loss of N excluding weed | | | | 考虑杂草 平均值 Average including weed | 不考虑杂草 平均值 Average excluding weed |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|---|-----------------|------------------|------------------|--|---|
| | N ₄₅ | N ₉₀ | N ₁₃₅ | N ₁₈₀ | N ₄₅ | N ₉₀ | N ₁₃₅ | N ₁₈₀ | | |
| A | 27.0 | 61.9 | 52.7 | 97.8 | 27.8 | 62.0 | 53.3 | 98.2 | 59.9bc | 60.3bc |
| B | 44.3 | 61.0 | 64.1 | 108.9 | 44.2 | 62.8 | 64.6 | 110.3 | 69.6b | 70.5b |
| C | 20.7 | 75.5 | 132.3 | 155.8 | 24.3 | 78.1 | 135.5 | 158.8 | 96.1a | 99.2a |
| D | 39.4 | 80.6 | 100.4 | 149.6 | 40.1 | 79.4 | 99.9 | 150.3 | 92.5a | 92.4a |
| 施氮处理平均值 Average | 32.9d | 69.8c | 87.4b | 128.0a | 34.1d | 70.6c | 88.3b | 129.4a | 79.5 | 80.6 |

注:考虑杂草地上部分吸氮量=植物吸氮量+杂草吸氮量,不考虑杂草地上部分吸氮量=植物吸氮量,下同。

Note: N uptake by aerial parts plant was N uptake by crop and weed, when considering weed, otherwise excluding N uptake by weed, the same below.

2.4 施氮及杂草处理对氮肥利用率的影响

氮肥利用率是指作物地上部分从肥料中吸收的氮量占施氮量的百分数,它的大小可以反映氮肥的利用程度。试验结果表明(表 5),氮肥利用率随施氮量增加而降低,从施肥平均看,如果不考虑杂草,在施氮量 45、90、135 和 180 kg N/hm² 时,氮肥利用率为 35.5%、31.5%、32.4% 和 24.7%,如果考虑杂草则分别为 38.3%、32.5%、33.0% 和 25.4%,说明农田系统中约有 2/3 左右肥料的氮未被吸收利用,或者损失或残留于土壤。

不同杂草处理间氮肥利用率差异显著,杂草处理 A 的氮肥利用率明显高于杂草处理 B、C 和 D,如果考虑杂草吸氮量,全生育期不清除杂草时氮肥利用率为 43.8%,与返青期清除杂草氮肥利用率为 26.3% 间的差异达显著水平($P < 0.05$),全生育期不清除杂草时氮肥利用率分别是越冬期、返青期和拔节期清除杂草的 1.4 倍、1.7 倍和 1.6 倍,说明清除杂草应在越冬前进行,若在返青期清除杂草后,氮肥利用率反而降低。

表 5 不同杂草处理及施肥氮肥利用率
Table 5 Nitrogen utilization rate (NUR) of different treatments (%)

| 杂草处理 Weed treatments | 考虑杂草氮 NUR including weed | | | | 不考虑杂草氮 NUR excluding weed | | | | 考虑杂草 平均值 Average including weed | 不考虑杂草 平均值 Average excluding weed |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------------------|-----------------|------------------|------------------|--|---|
| | N ₄₅ | N ₉₀ | N ₁₃₅ | N ₁₈₀ | N ₄₅ | N ₉₀ | N ₁₃₅ | N ₁₈₀ | | |
| A | 59.0 | 35.9 | 48.0 | 32.2 | 57.2 | 35.8 | 47.6 | 32.0 | 43.8a | 43.2a |
| B | 27.4 | 28.8 | 37.2 | 31.8 | 27.7 | 26.8 | 36.9 | 31.1 | 31.3b | 30.6b |
| C | 36.1 | 33.3 | 15.3 | 20.6 | 28.1 | 30.3 | 12.9 | 18.9 | 26.3bc | 22.5bc |
| D | 30.5 | 31.8 | 31.6 | 17.0 | 28.8 | 33.1 | 32.0 | 16.6 | 27.7bc | 27.6bc |
| 施氮处理平均值 Average | 38.3 | 32.5 | 33.0 | 25.4 | 35.5 | 31.5 | 32.4 | 24.7 | 32.3 | 31.0 |

3 讨论

作物生长改变土壤剖面 NO₃⁻-N 的分布状况。李世清等^[12,13]和董依平^[14]进行的研究表明,当植物吸氮量增加时,土壤剖面残留 NO₃⁻-N 累积量下降。崔振岭研究^[15]认为,小麦收获后 0~90 cm 土壤剖面 NO₃⁻-N 残留量随施氮量的增加呈极显著线性增加,而氮素表现损失则呈指数增加。

在一定土质上,由于吸收利用可减少土壤 NO₃⁻-N 向深层的迁移,但是超过作物需要,施用氮肥会导致土壤中硝态氮累积^[11]。从环境安全角度而言,作物收获后土壤 NO₃⁻-N 残留越少越好,但实际上为了保证作物正常生长,土壤 NO₃⁻-N 不可能无限度减少^[15]。本研究中,在最高产量施氮量下,小麦收获后 0~100 cm 土层 NO₃⁻-N 残留保持在 56.6 kg N/hm² 以下,与欧盟规定大田作物收获后 0~

100 cm 土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 不超过 90~100 kg/hm² 的标准相符合^[1]。党廷辉等^[6]研究认为,施氮会明显增加小麦吸氮量,氮肥利用率随施氮量增加而降低。赵俊晔研究^[16]认为,随施氮量增加,小麦对肥料氮的吸收率显著降低,土壤中残留肥料氮量和肥料氮的损失量较高。边秀举^[3]统计近年来不同地区对麦田肥料氮去向研究发现,对尿素肥料氮的回收率为 28%~60%,多在 50% 左右,氮素损失为 11%~52%。

本试验研究结果表明,土壤残留 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随施氮量增加而增加, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 残留量随施氮变化不显著,总矿质随施氮量的变化与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 基本一致。当施氮量大于 90 kg/hm²,0~100 cm 土体中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 发生大量累积。对不同杂草清除处理,杂草和作物吸氮量均随施氮量增加而增加;从不同施氮水平平均看,以越冬期杂草吸氮量最低,为 1.60 kg N/hm²,这显然与越冬期杂草生物量最低有关,其次是全生育期不清除杂草;不同杂草处理氮素表观损失量变化在 59.9~96.1 kg/hm²,氮肥利用率为 26.3%~43.8%,在不同施氮量下氮肥表观损失量变化在 32.9~128.0 kg/hm²,氮肥利用率为 25.4%~38.3%,农田氮肥的损失量大。总体上,农田系统中约有 2/3 左右的氮未被吸收利用,或者损失或残留于土壤中,这与李世清等^[17,18]的研究结果一致。

考虑杂草氮肥利用率比不考虑杂草氮肥利用率略高,返青期清除杂草表现相差 3.8 个百分点,其它生育期清除杂草氮肥利用率差异不明显;而氮肥损失率考虑杂草比不考虑杂草略低,在返青期相差 3.7 个百分点。这说明在农田生态系统中,考虑杂草和不清除杂草对氮肥利用率及氮肥损失率影响不显著,其原因可能在于因杂草存在而降低了作物生物量,也可能说明有无杂草田间植物吸氮量基本稳定。

4 结论

1) 土壤中残留 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积量随施氮量增加而增加; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 累积量随施氮量变化不显著,总矿质随施氮量的变化趋势与硝态氮基本一致。

2) 在冬小麦整个生育期,杂草和植物吸氮量均随施氮量增加而增加,在全生育期不除杂草(A)、越冬前清除杂草(B)、返青期清除杂草(C)和拔节期清除杂草(D)等杂草处理下,杂草吸氮量平均值分别为 2.38、1.60、4.72 和 4.54 kg N/hm²,占农田植物地上部分(作物+杂草)总吸氮量的 1.97%、

1.38%、3.98% 和 3.76%,返青期杂草吸氮量最高,其值是越冬期杂草吸氮量的 2.94 倍。

3) 氮肥损失随施氮量增加而呈线性相关,考虑杂草时,相关系数 $R^2=0.9802$ 。不同杂草处理间氮素表观损失量为 59.9~96.1 kg/hm²,不同施氮处理间表观损失量为 32.9~128.0 kg/hm²;不同时期清除杂草对氮损失和氮肥利用率影响显著,而越冬期清除杂草的影响效果最大;本试验条件下,杂草的存在对氮素平衡影响不显著。

参考文献:

- [1] 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—冬小麦[J].生态学报,2001,11(11):1782—1789.
- [2] 李庆远,朱兆良,于天仁.中国农业持续发展中的肥料问题[M].南昌:江西科学技术出版社,1998.9—11.
- [3] 边秀举,王继芝.近年来国内外麦田肥料氮去向研究进展[J].河北农业大学学报,1994,17(11):100—106.
- [4] 朱兆良.我国土壤供氮和化肥去向的研究进展[J].土壤,1985,17(1):1—9.
- [5] 朱兆良.农田生态系统中化肥氮的去向和氮素管理[A].朱兆良,文启孝.中国土壤氮素[C].南京:江苏科学技术出版社,1992.213—249.
- [6] 党廷辉,郝明德,郭胜利,等.旱地小麦施氮和地膜栽培的氮素效应与淋溶[J].西北植物学报,2003,23(8):1433—1437.
- [7] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠,等.基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J].生态学报,2002,22(7):1122—1128.
- [8] Bremner J M. Nitrogen availability indices [A]. Black C A. Methods of soil analysis. Part2[C]. Wisconsin, USA: Am. Soc. of Agron., 1965.1324—1345.
- [9] 鲍士旦.土壤化学分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.265—267.
- [10] Mahmut B, Halitligil, Ali Akin, et al. Effect of nitrogen fertilization on yield and nitrogen and water use efficiencies of winter wheat(durum and bread) varieties grown under conditions found in Central Anatolia Biol Fertil Soils [J]. Springer-Verlag., 2000,31:175—182.
- [11] X. Chen, F. Zhang, V. Romheld, et al. Synchronizing N supply from soil and fertilizer and N demand of winter wheat by an improved Nmin method[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2006,74:91—98.
- [12] 李世清,高亚军,杜建军,等.连续施用氮肥对旱地土壤氮素状况的影响[J].干旱地区农业研究,1999,17(3):28—34.
- [13] 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.
- [14] 董依平,李继云,刘全幼.收获后不同小麦品种土壤硝态氮残留量的研究[J].环境科学学报,2000,20(2):251—253.
- [15] 崔振岭,石立委,徐久飞,等.氮肥施用对冬小麦产量、品质和氮素表观损失的影响研究[J].应用生态学报,2005,16(11):2071—2075.

- [16] 赵俊晔,于振文.不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响[J].生态学报,2006,26(3):814—822.
- [17] 李世清,李生秀.旱地农田生态系统氮肥利用率的评价[J].中国农业科学,2000,33(1):76—81.
- [18] 赵琳,李世清,李生秀,等.半干旱区生态过程中土壤硝态氮累积及其在植物氮素营养中的作用[J].干旱地区农业研究,2004,4(12):14—20.

Effects of different nitrogen fertilizer levels and time of removing weeds on nitrogen utilization and nitrogen balance

NAN Wei-ge^{1,2,3}, LI Shi-qing^{1,2}, HOU Hong-qian^{1,2,4}, LI Sheng-xiu²

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau; Northwest A & F University; Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Resources and Environment Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001; 4. Soil Fertilizer and Environmental Resources Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang, Jiangxi 330200, China)

Abstract: Application of nitrogen (N) fertilizer is one of the most important measures that increase grain yield and improve grain quality of winter wheat. However, it is common that excessive N fertilizer is applied on fertility field, which not only causes the decline of N use efficiency and economic effects, but also results in larger amount of nitrate-N accumulated in soil, and so it is concerned to bring potential risk environment. Nitrogen (N) was manipulated through fertilizer application, to determine the extent to which these treatments alleviated a competition, and that this would be related to levels of resource availability, particularly available N. However, application of N fertilizer not only helped control weed but also increased mineralization of the residues. Therefore, the experiment was a randomized complete block design consisting of two different factors. Nitrogen and weed treatments were arranged in a split-plot design with three replicates. Within normal density treatments, five levels of nitrogen, 0, 45, 90, 135 and 180 kg N/hm² were applied. Within each of these treatment combinations, different weed treatments were imposed. This experiment was carried out in Eum-Orthic Anthrosol located in the semi-humid farmland ecological system. Soil sample was collected from 0~100 cm layer. Sample of crops and weed were collected from the winter wheat in different growth stage. The research was concerned to effects of different fertilizer and weed treatment on N fertilizer loses and N balance in semi-humid farmland ecosystem. This experiment showed that residual nitrogen accumulation in soil increased with addition of N fertilizer application, but the ammonium nitrogen accumulation was stable. The total N mineralization increased with addition of N fertilizer application. The average value of Nitrogen uptake by weed in treatment A, B, C and D was respectively 2.38, 160, 4.72 and 4.54 kg N/hm². Meanwhile, nitrogen uptake by weed accounted for 1.97%, 1.38%, 3.98% and 3.76% of N uptake by aerial parts plant. N uptake of weed in the over-winter was the lowest. The N uptake of weed in the reviving stage is higher, which was the time 2.94 of N uptake by weed in over-winter. Nitrogen utilization rate decreased and apparent N fertilizer loss increased along with the increase of N fertilizer application. Apparent N fertilizer loss was the linear correlation with N fertilizer application, and the correlation coefficient R^2 was 0.9802, considering weed. The average of N fertilizer loss maintained between 59.9 and 96.1 kg N/hm² at different weed treatments. The average of N fertilizer loss was in the range of 32.9 to 128.0 kg/hm² at different fertilizer treatments. There was obvious effect of removing weeds on N utilization rate and apparent N fertilizer loss at different time, especial before over-winter. There was no significant effect of weed on N balance.

Key words: nitrogenous mineralization; weed; nitrogen utilization rate; apparent nitrogen loss