

# 秸秆覆盖条件下不同施氮水平冬小麦 氮素吸收及土壤硝态氮残留

张月霞<sup>1</sup>, 杨君林<sup>2</sup>, 刘 炜<sup>3</sup>, 李 龙<sup>4</sup>, 高亚军<sup>1</sup>, 肖玲玲<sup>1</sup>, 毛 宁<sup>1</sup>, 田莲桂<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 甘肃省农业科学院土肥所, 甘肃 兰州 730020;

3. 陕西省宝鸡市农业局土肥站, 陕西 宝鸡 721000; 4. 陕西省延安市农科所, 陕西 延安 716000)

**摘 要:** 通过田间定位试验研究秸秆覆盖条件下施氮量对小麦氮素吸收利用及土壤硝态氮残留的影响。试验包括覆盖(不覆盖和秸秆覆盖 4500 kg/hm<sup>2</sup>)和施氮量(0, 75, 150, 225 和 300 kg N/hm<sup>2</sup>)两个因素, 共 10 个处理, 重复 3 次。3 年结果表明: 秸秆覆盖对冬小麦吸氮量没有显著影响, 但在偏早年份, 秸秆覆盖有利于提高氮肥利用效率。与不覆盖类似, 秸秆覆盖冬小麦吸氮量在 3 年间呈持续增加趋势。不论秸秆覆盖还是不覆盖, 施氮量小于等于 150 kg/hm<sup>2</sup> 时, 对土壤硝态氮残留量均没有显著影响; 施氮量高于 150 kg/hm<sup>2</sup> 时, 土壤残留硝态氮量则显著增加, 0~200 cm 剖面出现明显的累积峰, 秸秆覆盖土壤残留硝态氮累积峰较不覆盖处理深 40 cm 左右。

**关键词:** 秸秆覆盖; 施氮量; 土壤硝态氮; 氮肥利用率; 冬小麦

**中图分类号:** S158.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0189-05

在植物生长所必需的许多营养元素中, 氮素占有无可非议的重要地位。随着经济的发展和人口压力的增加, 氮肥的投入不断提高以维持作物的高产丰产<sup>[1,2]</sup>。但是, 当单位面积氮肥施用量达到一定水平后再增加氮肥施用, 则氮肥利用率会相应降低, 肥效下降, 残留量增加<sup>[3~7]</sup>。大量硝态氮残留在土壤中, 可能会增加地下水污染、水体富营养化的风险, 同时产生养分资源浪费等问题, 引起农业生态系统中氮素循环特征的改变。秸秆覆盖在协调土壤养分供应、调节土壤温度、改善土壤水分状况、提高降水利用率等方面都有显著作用, 并具有较好的生态效应<sup>[8~11]</sup>。作物秸秆具有较高的 C/N 比, 当秸秆与土壤混合后能对土壤矿质氮起到暂时性的固持作用, 从而影响土壤氮素的循环<sup>[12]</sup>。连年实行秸秆覆

盖会对氮肥肥效产生何种影响? 对氮素在土壤中的残留有无影响? 这方面的研究鲜见报道。本研究通过 3 年田间定位试验探讨秸秆覆盖条件下施氮量对冬小麦氮素吸收利用以及土壤硝态氮残留的影响, 以期完善麦田秸秆覆盖技术、提高旱地土壤氮肥利用率提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于陕西杨凌西北农林科技大学农作一站。该试验站位于黄土高原南部, 海拔 520 m 左右, 年平均气温 12.9, 年平均降雨量 632 mm, 主要集中于 7、8、9 三个月, 属于半湿润易干旱地区。试验土壤属红油土, 供试田块基本性状见表 1。

表 1 土壤基本性状

Table 1 Soil properties

土层深度(cm) Soil depth	有机质(g/kg) Organic matter	有效磷(mg/kg) Available P	铵态氮(mg/kg) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	硝态氮(mg/kg) NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
0~20	13.79	4.93	2.41	5.43
20~40	11.43	3.10	2.32	6.12
40~60	8.00	2.21	1.95	1.34
60~80	7.36	1.89	2.65	8.65
80~100	6.69	2.01	2.57	8.65

注: 土壤基本性状引用 2005 年杨君林数据。

Note: Soil properties quoted the date of Yang Junlin in 2005.

收稿日期: 2008-09-18

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(40471069); 青年项目(40201028); 重点项目(30230230)

作者简介: 张月霞(1981-), 女(汉族), 甘肃景泰人, 硕士生, 主要从事旱地农业、土壤-植物系统中的氮素行为等方面的研究。E-mail: youquan-1127@163.com。

通讯作者: 高亚军, E-mail: yajungao@nwsuaf.edu.cn

## 1.2 试验设计

试验包含覆盖(不覆盖和秸秆覆盖)和施氮量(0、75、150、225、300 kg/hm<sup>2</sup>)两个因素,完全组合,共 10 个处理。重复 3 次,每小区 4×5=20 m<sup>2</sup>,小区间距 1 m。氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>)。小麦品种小偃 22,播量 150 kg/hm<sup>2</sup>。11 月中旬覆盖秸秆,12 月中旬冬灌(40 mm)。

2004~2005 年小麦播前 0~200 cm 土壤贮水量为 479 mm,2005~2006 年小麦播前 0~200 cm 土壤贮水量为 522 mm,2006~2007 年小麦播前 0~200 cm 土壤贮水量为 423 mm,生育期降水量见表 2。

表 2 冬小麦生育期降水量(mm)

Table 2 Precipitation during winter wheat growth period

月份 Month	2004~2005 年	2005~2006 年	2006~2007 年
10	32.1	115.3	43.9
11	22.8	16.4	11
12	10.7	0.0	4.3
1	0.0	0.0	0
2	14.8	4.7	3.7
3	15.8	6.6	74.3
4	13.3	21.1	2.7
5	70.3	46.1	34.8
6	21.1	71.9	0.2
合计 Total	200.9	282.1	174.9

## 1.3 采样、分析方法及计算方法

小麦收获后用土钻取 0~200 cm 土样,每 20 cm 一层。新鲜土样采回后用 1 mol/L KCl(25℃,1 h)浸提,浸提液用流动分析仪测定硝态氮。在每个小区采冬小麦植物样,分器官烘干后称重,计算地上部干物重,粉碎后测定含氮量,进而计算植物吸氮量。植物样用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,之后用流动分析仪测定全氮。土壤硝态氮累积量和氮肥利用效率分别按以下公式计算,试验数据采用 DPS 软件进行数据统计分析。

$$\text{土壤硝态氮累积量(kg/hm}^2\text{)} = C \times H \times D / 10$$

式中,  $C$  表示土层硝态氮的含量(mg/kg);  $H$  表示土层厚度(cm);  $D$  表示土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)。

氮肥利用效率(%) = (施氮区小麦吸氮量 - 无氮区小麦吸氮量) × 100 / 施氮量

## 2 结果分析

### 2.1 秸秆覆盖条件下施氮量对冬小麦吸氮量及氮肥利用率的影响

3 年期间冬小麦的吸氮量和氮肥利用效率见表 3。从表中可以看出,秸秆覆盖条件下,冬小麦吸氮量随施氮量增加而显著提高,与不覆盖时类似。同一氮水平条件下,不覆盖和覆盖处理小麦吸氮量差异不显著,3 年结果完全一致。无论有无秸秆覆盖,随着种植年限的增加,冬小麦总吸氮量均呈增加趋势;2004~2005 年平均吸氮量为 108.2(不覆盖)和 109.6(秸秆覆盖),2005~2006 年平均吸氮量为 146.7(不覆盖)和 141.2(秸秆覆盖),2006~2007 年则为 166.7(不覆盖)和 169.4(秸秆覆盖),这可能与土壤中残留氮素增加有关。

2004~2005 年,不同施氮量条件下,秸秆覆盖小麦氮肥利用效率均呈高于不覆盖处理的趋势,其中施氮量为 75 和 225 kg/hm<sup>2</sup> 时覆盖与不覆盖的差异达到显著水平(<0.05);2005~2006 年,施氮量 75 和 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,覆盖处理小麦氮肥利用效率呈低于不覆盖的趋势,施氮量 225 和 300 kg/hm<sup>2</sup> 时,覆盖与不覆盖处理则无差异;2006~2007 年,施氮量 75 和 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,覆盖处理小麦氮肥利用效率呈高于不覆盖的趋势,施氮量 225 和 300 kg/hm<sup>2</sup> 时,覆盖与不覆盖处理则无差异(表 3)。3 年平均氮肥利用效率分别为:2004~2005 年:24.0%(不覆盖)和 37.9%(覆盖),2005~2006 年:36.2%(不覆盖)和 26.7%(覆盖),2006~2007 年:27.2%(不覆盖)和 33.4%(覆盖)。2005~2006 年冬小麦播前土壤贮水量和小麦生育期降水相对较高(表 2),由此可见,偏早年份秸秆覆盖有利于提高小麦氮肥利用效率,而偏湿润年份秸秆覆盖小麦氮肥利用效率则相对较低。

### 2.2 秸秆覆盖条件下施氮量对土壤残留硝态氮累积量的影响

不同处理 0~200 cm 土壤硝态氮的累积量(硝态氮的累积量是第三年的数据)见图 1。总体来看,不论覆盖还是不覆盖,施氮量在较低水平时(≤150 kg/hm<sup>2</sup>),各处理土壤硝态氮累积量均没有显著差异。施氮量增加到 225 kg/hm<sup>2</sup> 时,不覆盖处理硝态氮累积量显著提高,而秸秆覆盖处理仍没有显著增加;施氮量高达 300 kg/hm<sup>2</sup> 时,覆盖处理和不覆盖处理的硝态氮累积量均显著增加,是不施氮处理的 2 倍以上。即秸秆覆盖有延缓土壤硝态氮累积量增加的效果。

表 3 秸秆覆盖条件下施氮量对冬小麦吸氮量及氮肥利用率的影响

Table 3 Effect of nitrogen rate on total N uptake by winter wheat and nitrogen fertilizer use efficiency under straw mulch

施氮量 N rate(kg/hm <sup>2</sup> )	总吸氮量 Total N uptake (kg/hm <sup>2</sup> )		氮肥利用率 N use efficiency (%)	
	不覆盖 No mulch	覆盖 Mulch	不覆盖 No mulch	覆盖 Mulch
2004~2005 年				
0	72.6ef	55.7f	—	—
75	91.5de	90.1de	25.1c	45.8a
150	110.0cd	107.8cd	24.9e	34.8abc
225	122.8bc	144.6ab	22.3c	39.5ab
300	144.1ab	149.8a	23.8c	31.4bc
2005~2006 年				
0	89.4e	103.8de	—	—
75	150.5ab	126.2cd	49.5a	29.9abc
150	157.9ab	153.2ab	44.6ab	32.9abc
225	141.9bc	155.8ab	23.4bc	23.1bc
300	171.3a	166.8a	27.3bc	21.0c
2006~2007 年				
0	131.6d	131.6d	—	—
75	143.7cd	156.1bcd	19.7b	32.7ab
150	172.8abcd	183.4abc	38.0ab	46.1a
225	184.2abc	186.4ab	28.1ab	27.2ab
300	201.1a	189.3ab	23.1ab	27.5ab

注:相同字母表示差异不显著(DUCAN 法)。Note: The same letter means that the difference was not significant (DUCAN method).

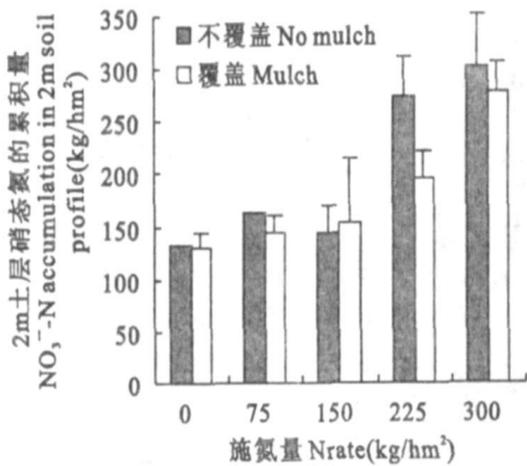


图 1 秸秆覆盖条件下施氮量对 0~200 cm 土壤硝态氮累积量的影响

Fig. 1 Effect of N rate on NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N accumulation in the depth of 0~200 cm of soil under straw mulch

### 2.3 秸秆覆盖条件下施氮量对土壤剖面残留硝态氮分布的影响

由图 2(硝态氮的分布图为第三年的数据)可以看出,不论有无秸秆覆盖,施氮量不高于 150 kg/hm<sup>2</sup>时,除表层土壤硝态氮累积量稍高一些外,其它深度均没有明显的累积峰;施氮量高于 150 kg/hm<sup>2</sup>时,覆盖和不覆盖土壤剖面均出现明显的硝

态氮累积峰;无覆盖土壤累积峰在 60~80 cm,覆盖土壤累积峰则较深,在 100~120 cm 深度附近。因此,无覆盖条件下,高氮处理土壤硝态氮累积量与低氮处理的差异主要在土壤剖面的较浅层,而覆盖条件下,两者的差异主要在土壤剖面的深层。

施氮量为 0、75、150 kg/hm<sup>2</sup>时,覆盖与不覆盖土壤 0~200 cm 硝态氮累积量无明显差异,而且在剖面的不同深度也无明显差异(图 3);施氮量为 225 kg/hm<sup>2</sup>时,不覆盖处理硝态氮在 40~100 cm 和 140 cm 以下均明显高于覆盖处理,不覆盖处理的硝态氮累积峰值也高于覆盖处理;施氮量为 300 kg/hm<sup>2</sup>时,不覆盖处理在 100 cm 以上土层中硝态氮含量明显高于覆盖处理,在其以下深度则差异不甚明显,不覆盖处理的硝态氮累积峰值同样高于覆盖处理。

### 3 讨论和结论

本研究结果表明,不论施氮量高低,3 年秸秆覆盖对冬小麦地上部吸氮量没有显著影响,这主要与覆盖与不覆盖处理小麦生物量没有显著差异有关(张月霞等未发表资料)。高亚军<sup>[13]</sup>在渭北旱塬地区彬县的研究结果表明,秸秆覆盖第 3 年小麦吸氮量显著高于不覆盖;张树兰等<sup>[14]</sup>在渭北旱塬地区合

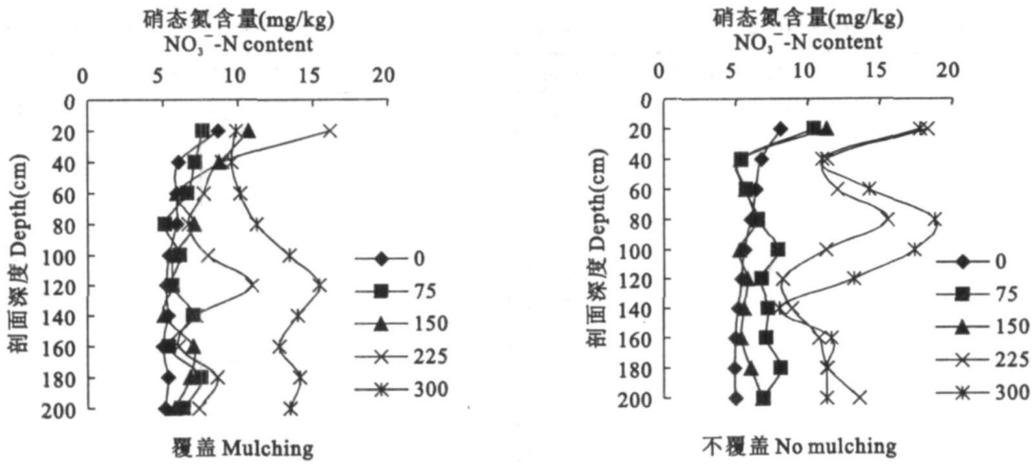


图 2 施氮量对土壤剖面硝态氮含量的影响

Fig.2 Effect of N rate on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N content throughout the soil profile

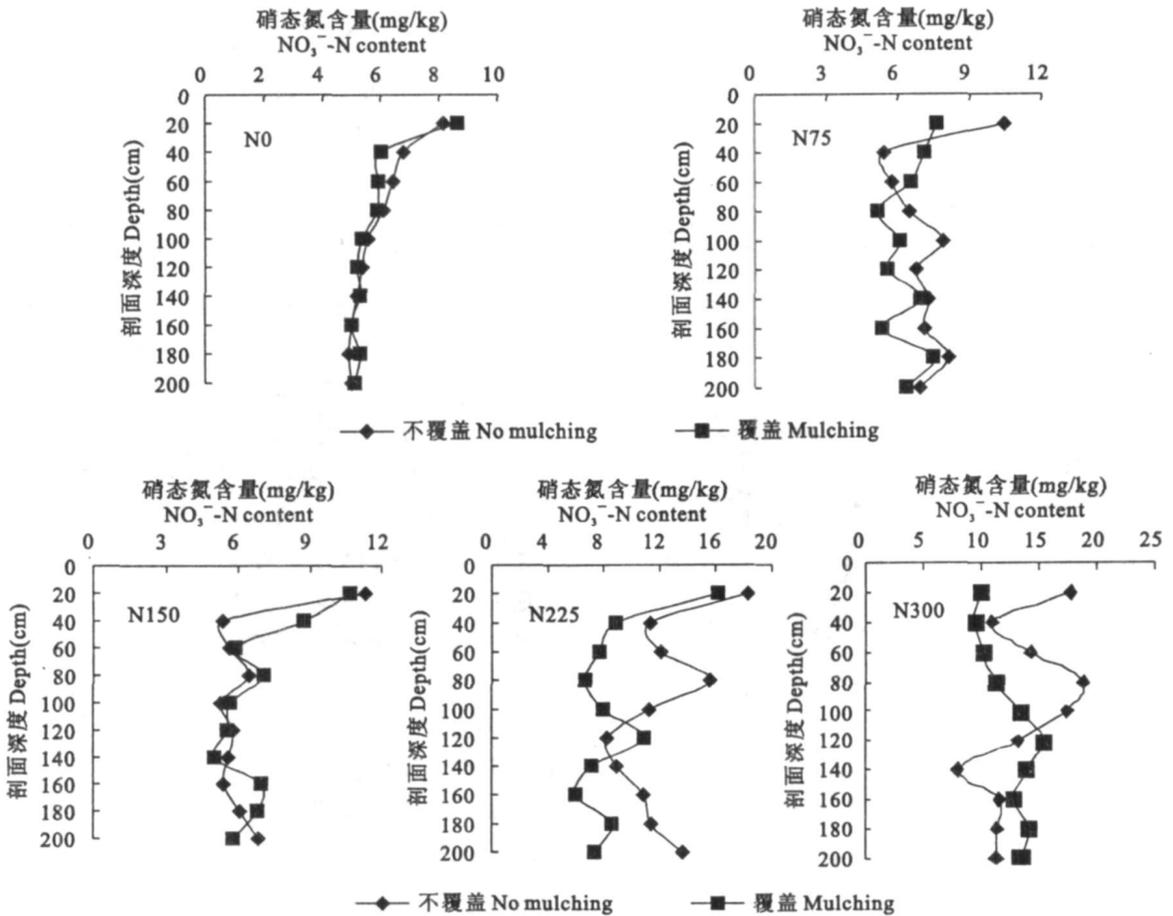


图 3 秸秆覆盖对土壤剖面硝态氮含量的影响

Fig.3 Effect of straw mulch on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N content throughout the soil profile

阳县的研究结果也发现秸秆覆盖能显著增产。而张正茂等<sup>[15]</sup>在渭北旱塬地区澄城县的研究与本研究结果一致,即秸秆覆盖后小麦产量没有显著增加。由此可见,即使在自然条件非常接近的地区,秸秆覆盖的效果仍不相同,因此,有必要对影响秸秆覆盖效果的其他因素作深入研究。

不论秸秆覆盖还是不覆盖,冬小麦吸氮量和土壤硝态氮残留量均随施氮量增加而增加,但变化规律略有不同:施氮量由 0 提高到 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,冬小麦吸氮量增加幅度较大,施氮量继续增加时吸氮量增幅则减小;施氮量由 0 提高到 150 kg/hm<sup>2</sup> 时,土壤硝态氮残留量增加幅度较小,施氮量继续增加

时吸氮量增幅则显著提高。由此可见,施氮量高于  $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$  时小麦吸收的氮素相对减少而残留于土壤中的显著增加,因此,对于当地一年一熟的冬小麦来说,不论秸秆覆盖还是不覆盖,施氮量均不宜高于  $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

本研究发现,施氮量高于  $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$  时,土壤  $0\sim 200 \text{ cm}$  剖面出现明显的硝态氮量累积峰,秸秆覆盖土壤的累积峰较不覆盖处理深。秸秆覆盖土壤往往保持较好的水分状况<sup>[16]</sup>,这可能是硝态氮累积峰较深的主要原因。土壤深层累积的大量硝态氮在雨季有较强的淋溶潜势,因此秸秆覆盖条件下更应该注意防止过量施用氮肥。

### 参考文献:

- [1] 陈红卫. 我国化肥施用过程中非持续化现象研究[J]. 洛阳农业专科学报, 2002, 22(3): 175—176.
- [2] 杨新泉, 冯 锋, 宋长青, 等. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J]. 植物营养与肥科学报, 2003, 9(3): 373—376.
- [3] 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 Agro ecosystems, 2002, 63: 117—127.
- [4] 巨晓棠, 张福锁. 关于氮肥利用率的思考[J]. 生态环境, 2003,

12(2): 192—197.

- [5] 李 军, 黄敬峰, 程家安. 我国化肥施用量及其可能污染的空间分布特征[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 145—149.
- [6] 范仲学, 王 璞, 梁振兴. 谷类作物的氮肥利用效率及其提高途径研究进展[J]. 山东农业科学, 2001, (4): 47—50.
- [7] 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.
- [8] 陈奇恩. 中国塑料薄膜覆盖农业[J]. 中国工程科学, 2002, 4(4): 12—17.
- [9] 沈振荣, 汪 林, 于福亮, 等. 用好土壤水[J]. 当代生态农业, 2001, (1): 81—88, 105—106, 14.
- [10] 王甲辰, 刘学军, 张福锁, 等. 不同土壤覆盖物对旱作水稻生长和产量的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(6): 922—929.
- [11] 逢焕成. 秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量状况的影响[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 174—175.
- [12] Cheshire M V, Bedrock C N, Williams B L, et al. The immobilization of nitrogen by straw decomposition in soil[J]. Eur. J. Soil Sci., 1999, 50: 320—341.
- [13] 高亚军. 旱地不同栽培制度下的氮素管理[J]. 李生秀, 等. 国旱地土壤植物氮素[J]. 北京: 科学出版社, 2008: 769—821.
- [14] 张树兰, Lars Lovdahl, 同延安. 渭北旱塬不同田间管理措施下冬小麦产量及水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 20—24.
- [15] 张正茂, 任广鑫, 闵安成. 渭北旱塬冬小麦不同栽培方式初探[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(4): 36—40.
- [16] 胡 芬, 姜雁北. 半湿润易旱区农业节水技术研究[J]. 农业工程学报, 1998, (1): 76—80.

## Effects of nitrogen rate on nitrogen uptake and utilization of winter wheat and residual nitrate in soil under straw mulch

ZHANG Yue-xia<sup>1</sup>, YANG Jun-ling<sup>2</sup>, LIU Wei<sup>3</sup>, LI Long<sup>4</sup>, GAO Ya-jun<sup>1</sup>,  
XIAO Ling-ling<sup>1</sup>, MAO Ning<sup>1</sup>, TIAN Lian-gui<sup>1</sup>

(1. College of Resources & Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou,

Gansu 730070; 3. Soil-Fertilizer Station, Agricultural Bureau of Baoji, Baoji, Shaanxi 721000;

4. Agricultural Institute of Yan'an, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

**Abstract:** A 3-year-long field experiment was carried out to investigate the effects of nitrogen rate on nitrogen uptake and utilization of winter wheat and residual nitrate in soil under straw mulch. The experiment, including mulch (no mulch and straw mulch  $4\ 500 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ) and N rate ( $0, 75, 150, 225$  and  $300 \text{ kg N}/\text{hm}^2$ ), had 10 treatments with 3 replicates. The results showed that there was no significant difference of N uptake by winter wheat between straw mulch and no mulch treatments. However, in the drier year, straw mulch could improve N use efficiency. No matter with straw mulch or no mulch, N uptake by winter wheat increased during 3 years. For both straw mulch and no mulch treatments, accumulated nitrate in soil didn't increase significantly when N rate increased from 0 to  $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , while accumulated nitrate peak was found throughout the soil profile when more than  $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$  nitrogen fertilizer was applied. The accumulated nitrate peak of straw mulch treatment appeared at the soil depth  $40\text{cm}$  deeper than that of no mulch.

**Key words:** straw mulch; N rate; soil nitrate nitrogen; N use efficiency; winter wheat