

无机与有机肥配施麦田 (紫色土)铵态氮及硝态氮的时空变异*

谢红梅 朱波**

朱钟麟

(水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041) (四川省农业科学院土壤肥料研究所 成都 610066)
中国科学院

摘要 试验研究无机与有机肥配施冬小麦紫色土 NH_4^+ -N 及 NO_3^- -N 的时空变异特征结果表明,冬小麦不同生育期施肥后第 15d 和第 120d 紫色土 NH_4^+ -N 含量有两个显著的降低、升高转折点,第 15d 与 N 素的硝化作用和挥发作用有关,第 120d 受此阶段冬小麦的强烈吸收和肥料的矿化释放作用影响较大;土壤 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量在不同剖面(0~15cm、15~30cm、30~50cm 土层)的分配明显受施用有机肥的影响,有机肥对 NO_3^- -N 有一定固持作用,阻碍了 NO_3^- -N 向下迁移,各处理对 NO_3^- -N 迁移的固持作用表现为秸秆+化肥>猪粪+化肥>鸡粪+化肥>纯化肥处理;土壤 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 含量时空变异有较强的此消彼涨相关性,且施纯化肥处理最明显。

关键词 紫色土 NH_4^+ -N NO_3^- -N 时空变异 冬小麦

Temporal-spatial variations of ammonia and nitrate under application of inorganic and organic fertilizers in purple soil of winter wheat. XIE Hong-Mei, ZHU Bo(Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China), ZHU Zhong-Lin(Soil and Fertilizer Institute of Sichuan Academy of Agriculture, Chengdu 610066, China), *CJEA*, 2006, 14(1): 118 ~ 121

Abstract The temporal-spatial variations of ammonia and nitrate were studied under application of inorganic and organic fertilizers in purple soil of winter wheat. The results show that there are two obvious reduction-and-increase turns for soil ammonia and nitrate during different growth periods of winter wheat, which are 15 days and 120 days after fertilizers application. The former (15th day) is believed to be related to nitrification and volatilization. The latter (120th day) is affected by both the strong absorption of plant and mineralization release. The trends of ammonia and nitrate in purple soil at different soil profiles (0~15cm, 15~30cm, 30~50cm) are affected by organic manure, which means that the nitrate is retained to move slowly to some degree. The nitrate-retaining effect of each treatment behaves as straw + fertilizer > pig manure + fertilizer > chicken manure + fertilizer > pure fertilizer. There is significantly negative correlation between the quantity of ammonia and nitrate, and the pure fertilizer treatment is the most significant.

Key words Purple soil, NH_4^+ -N, NO_3^- -N, Temporal-spatial variations, Winter wheat

(Received Oct. 16, 2004; revised Nov. 26, 2004)

充分且合理有效利用有机肥与化肥 N 为当前农业可持续发展和生态环境保护的重要课题之一。前人对无机-有机肥配施研究主要针对产量效应和肥料利用率,且多集中于黄壤、红壤平原地区^[1~3]。紫色土土壤矿质养分丰富,有机质含量普遍偏低,N 素是紫色土作物生长的主要限制因子^[4],本研究分析了不同有机肥与 N 肥配施下冬小麦不同生育期紫色土土壤 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 的时空变化及对作物生长的影响,为 N 素迁移与合理施肥提供科学依据。

1 试验材料与方法

试验在四川盆地中北部盐亭县林山乡中国科学院盐亭紫色土农业生态站综合观测场内进行,该地位于东经 105°27',北纬 31°16',属中亚热带湿润季风气候,年均气温 17.3℃, >10℃ 年积温 5000~6000℃,年均

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-413)、中国科学院野外台站基金项目和国家“丰粮”工程项目(2004BA520A05)、稻田保护性耕作课题及国家高技术(863)发展计划项目“现代节水”资助

** 通讯作者

收稿日期:2004-10-16 改回日期:2004-11-26

降雨量 826mm 且主要集中于夏季,土壤为钙质紫色土,质地为中壤至重壤,土壤 CaCO_3 含量 $13.16(\pm 0.48)$ g/kg,有机质 $0.78(\pm 0.07)$ g/kg,全 N $0.59(\pm 0.03)$ g/kg,速效氮 $44.72(\pm 4.44)$ mg/kg,速效磷 $6.94(\pm 1.02)$ mg/kg,速效钾 $102.64(\pm 5.91)$ mg/kg。小区面积 $5\text{m} \times 8\text{m}$,试验设鸡粪+化肥、猪粪+化肥、秸秆+化肥和纯化肥共 4 个处理,每处理 3 次重复,各小区施肥量鸡粪+化肥处理施鸡粪 16.36kg, N 肥 0.32kg, P_2O_5 0.48kg, K_2O 0.16kg;猪粪+化肥处理施猪粪 35.44kg, N 肥 0.32kg, P_2O_5 0.48kg, K_2O 0.16kg;秸秆+化肥处理施秸秆 42.55kg, N 肥 0.32kg, P_2O_5 0.48kg, K_2O 0.16kg;纯化肥处理施 N 肥 0.53kg, P_2O_5 0.48kg, K_2O 0.16kg。各重复随机排列,秸秆长度 $< 10\text{cm}$,秸秆、鸡粪和猪粪全部作底肥施入土壤。于 2002 年 10 月 24 日播种小麦并施肥,2003 年 5 月 22 日收割,其间无灌溉,小区管理同大田。分别于施肥后 15d、小麦分蘖期、拔节期、施肥后 120d(拔节~抽穗期)、抽穗期和成熟期于 0~15cm、15~30cm 和 30~50cm 土层采集土样,每小区取 5 点。用 KCl 浸提-蒸馏法测定 NH_4^+ -N 含量,以 KCl 浸提- FeSO_4 -Zn 蒸馏法^[5] 自动滴定测定 NO_3^- -N 含量,均采用全自动定 N 仪进行蒸馏。

2 结果与分析

2.1 土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 的时间变异特征

由图 1 可知紫色土 0~15cm 和 15~30cm 土层土壤 NH_4^+ -N 含量在小麦不同生育期的变化趋势基本一致,即从施肥后 15d、冬小麦分蘖期、拔节期、施肥后 120d、抽穗期到成熟期,紫色土土壤 NH_4^+ -N 含量变化范围为痕量~78.45mg/kg,其中土壤 NH_4^+ -N 含量显著降低的两个转折期为施肥后 15d 到分蘖期及施肥后 120d 到抽穗期,施肥第 15d 后土壤 NH_4^+ -N 含量很快下降,这是由 N 肥水解、硝化作用、挥发作用以及土壤对 NH_4^+ -N 的净固定作用所致,施肥后

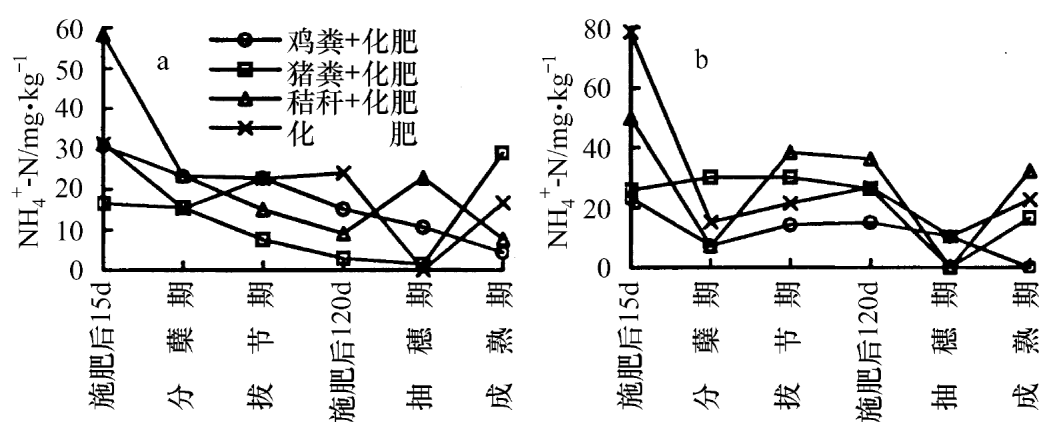


图 1 冬小麦各生育期紫色土 0~15cm(a)与 15~20cm(b) 土层土壤 NH_4^+ -N 的时间分配特征

Fig.1 Temporal distribution of NH_4^+ -N of purple soil in 0~15cm (a) and 15~30cm (b) soil layer in the growing period of winter wheat

第 120d 即拔节~抽穗期是冬小麦大量吸收利用养分时期,故土壤 NH_4^+ -N 含量明显下降^[6~8]。土壤表层纯化肥处理小麦各生育期 NH_4^+ -N 含量均较高,其次为鸡粪+化肥处理,猪粪+化肥和秸秆+化肥处理则相对较低。15~30cm 土层冬小麦生长后期以秸秆+化肥处理土壤 NH_4^+ -N 含量较高,其次为猪粪+化肥和纯化肥处理,鸡粪+化肥处理土壤 NH_4^+ -N 含量最低。纯化肥和鸡粪+化肥处理土壤剖面 NH_4^+ -N 含量整体变幅较大,其他处理则较小,这与猪粪和秸秆释放缓慢有关,这在冬小麦抽穗期和成熟期土壤各剖面 NH_4^+ -N 含量仍

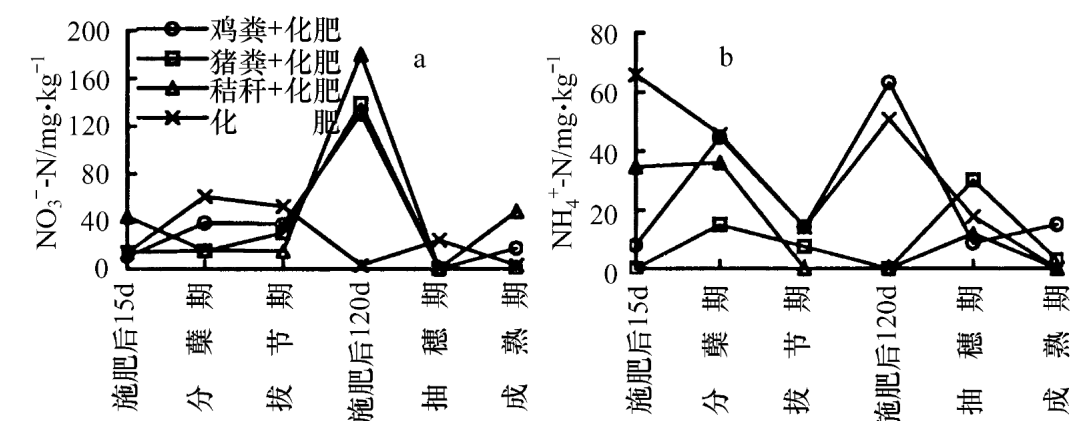


图 2 冬小麦各生育期紫色土 0~15cm(a)与 15~30cm(b) 土层土壤 NO_3^- -N 的时间分配特征

Fig.2 Temporal distribution of NO_3^- -N of purple soil in 0~15cm (a) and 15~30cm (b) soil layer in the growing period of winter wheat

较高得以体现。由图 2 可知冬小麦生育期 0~15cm 和 15~30cm 土层土壤 NO_3^- -N 含量变化差异明显,土壤表层秸秆+化肥、鸡粪+化肥和猪粪+化肥处理 NO_3^- -N 含量较一致,其中鸡粪+化肥处理土壤 NO_3^- -N 含量变化为痕量~130.34mg/kg,猪粪+化肥处理为痕量~138.53mg/kg,秸秆+化肥处理为痕量~179.73mg/kg,而纯化肥处理为 3~60.97mg/kg,后者在施肥后第 120d 土壤 NO_3^- -N 含量明显降低。施肥后第 15d 土壤 NO_3^- -N 含量升高,这与土壤硝化作用有关^[7],而第 120d 出现明显差异,这可能与前 3 个处理在此阶段矿化和硝化作用强烈,而纯化肥处理土壤 NO_3^- -N 已被冬小麦大量吸收有关。各处理 15~30cm 土层土壤 NO_3^- -N 含量差异较大,且无明显规律,整个生育期纯化肥和鸡粪+化肥处理土壤 NO_3^- -N 含量均较高,施肥后第 15d 化肥处理土壤 NO_3^- -N 含量明显高于其他处理,这与其硝化作用有关^[7],而施肥后

第 120d 以鸡粪 + 化肥和纯化肥处理 NO_3^- -N 含量居高, 分别达 63.22mg/kg 和 50.58mg/kg , 猪粪 + 化肥和秸秆 + 化肥处理均为痕量, 这与鸡粪和化肥释放快有关, 而其他处理各生育期其变化幅度均较平缓, 证明施用有机肥可减少土壤 NO_3^- -N 的淋失, 阻碍 NO_3^- -N 向下迁移, 其原因多认同于有机肥的施用增加了土壤粒径及团聚体含量, 提高了阳离子代换量, 增加对 NO_3^- -N 的固持^[9]。

2.2 土壤剖面 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 的空间变异特征

由表 1 可知, 分蘖期猪粪 + 化肥处理以 15 ~ 30cm 土层土壤 NH_4^+ -N 含量最高, 达 30.06mg/kg , 而鸡粪 + 化肥、秸秆 + 化肥和纯化肥处理土壤 NH_4^+ -N 含量均为土壤下层 > 上层 > 中层的 K 形分布, 3 者土壤 NH_4^+ -N 含量差异较小, 中层土壤 NH_4^+ -N 含量相对较低, 这是由 NH_4^+ -N 被土壤吸附固定所致; 拔节期猪粪 + 化肥和秸秆 + 化肥处理呈中层 > 上、下层的分布趋势, 而纯化肥处理以下层土壤 NH_4^+ -N 含量为高, 达 100.16mg/kg , 其原因可能是 NH_4HCO_3 分解快, 被下层土壤吸附较多, 而有机肥分解缓慢。各处理土壤表层 NH_4^+ -N 含量相对较低, 这是由拔节期冬小麦对养分吸收开始加快所致。各处理土壤 NH_4^+ -N 含量在剖面上分配较均匀, 表明土壤颗粒和土壤胶体对 NH_4^+ -N 具有很强的吸附作用, 但也因土壤中所进行的交换反应及无机态氮的有机化、硝化和反硝化等作用, 使土壤 NH_4^+ -N 难以迁移至更深层次^[6]。分蘖期各处理土壤 NO_3^- -N 含量变化趋势为土壤表层 > 下层(猪粪 + 化肥处理除外), 表明此阶段冬小麦对 NO_3^- -N 吸收少, 纯化肥处理 NO_3^- -N 含量在各剖面层次上相对较高, 其次为鸡粪 + 化肥处理, 秸秆 + 化肥和猪粪 + 化肥处理含量较低, 秸秆 + 化肥处理 30 ~ 50cm 土层土壤 NO_3^- -N 含量仅为痕量, 这与其分解释放慢有关。拔节期土壤 NO_3^- -N 含量在剖面上具有明显的 K 形分布, 即土壤 NO_3^- -N 含量上、下层 > 中层, 这是土壤 NO_3^- -N 向下明显迁移和土壤表层 NO_3^- -N 被冬小麦开始吸收的综合结果。

表 1 紫色土土壤剖面 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 的空间分配特征

Tab.1 Spatial distribution of NH_4^+ -N and NO_3^- -N in soil profile of purple soil

处 理 Treatments	NH_4^+ -N 含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ NH_4^+ -N contents						NO_3^- -N 含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ NO_3^- -N contents					
	分蘖期 Tillering stage			拔节期 Jointing stage			分蘖期 Tillering stage			拔节期 Jointing stage		
	0 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 50	0 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 50	0 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 50	0 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 50
鸡粪 + 化肥	23.25	7.45	29.50	22.75	14.41	22.70	38.75	44.70	36.88	37.92	14.41	15.13
猪粪 + 化肥	15.45	30.06	15.45	7.61	30.11	7.66	15.45	15.03	30.90	30.44	7.53	38.30
秸秆 + 化肥	23.32	7.22	43.45	15.04	38.38	7.66	15.55	36.12	0.00	15.04	0.00	38.28
化 肥	15.24	15.21	22.49	22.65	21.42	100.16	60.97	45.62	30.00	52.84	14.28	30.82

表 2 冬小麦各生育期土壤剖面 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 含量相关性分析

Tab.2 Correlation between NH_4^+ -N and NO_3^- -N in soil profile in the growth period of winter wheat

处 理 Treatments	施肥后 15d 15 days after fertilizer	分蘖期 Tillering stage	拔节期 Jointing stage	施肥后 120d 120 days after fertilizer	抽穗期 Tassel period	成熟期 Mature stage
鸡粪 + 化肥	0.986**	-0.999**	-0.5230	0.274	-0.549	-0.753*
猪粪 + 化肥	-0.831*	-0.520	-0.969**	-0.837*	-0.568	-0.004
秸秆 + 化肥	1.000**	-0.990**	-0.915**	-0.988**	-0.875*	-0.503
化 肥	0.984**	-0.867*	-0.068	-0.899*	-0.991**	-1.000**

* 为显著相关; ** 为极显著相关。

化肥处理相关系数 $R = 1.000$, 纯化肥、鸡粪 + 化肥处理分别达 0.984 和 0.986, 而猪粪 + 化肥处理负相关性较强, $R = -0.831$; 分蘖期土壤 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 含量的相关系数鸡粪 + 化肥处理为 -0.999, 猪粪 + 化肥处理为 -0.520, 秸秆 + 化肥处理为 -0.990, 纯化肥处理为 -0.867, 二者此消彼长关系达极显著水平; 拔节期猪粪 + 化肥和秸秆 + 化肥处理相关系数达 -0.969、-0.915, 其他 2 处理则相关性较差; 施肥后第 120d 秸秆 + 化肥与纯化肥处理土壤 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 含量相关性强; 抽穗期土壤 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 含量相关性则较差; 成熟期土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 相关性纯化肥处理达 -1.000, 其他处理相关性较差。从总趋势而言,

NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 含量间的消涨过程受土壤化学与其生物化学机理控制。对于化能自养硝化菌硝化作用生化过程分 2 个阶段, 第 1 阶段 $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_2\text{OH}$ (HNO) $\rightarrow \text{NO}$ $\rightarrow \text{NO}_2^-$, 第 2 阶段 $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$; 异养硝化微生物的反应式为 $\text{RNH}_2 \rightarrow \text{RNHOH} \rightarrow \text{RNO} \rightarrow \text{RNO}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ ^[6]。由表 2 可知施肥后第 15d 土壤各层次 NO_3^- -N 含量与对应处理 NH_4^+ -N 分布趋势极为相似, 其中秸秆 +

纯化肥处理冬小麦各生育期土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量相关性较强,其次为秸秆 + 化肥处理,这可能与 N 素形态,即有机肥的分解释放受多个因素的影响有关,其具体原因尚待进一步研究。

3 小结与讨论

施用有机肥减少了紫色土土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的淋失,阻碍了 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 向下迁移,纯化肥处理土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 呈明显下移趋势,秸秆 + 化肥处理最为滞后,猪粪 + 化肥、鸡粪 + 化肥处理差异明显,鸡粪 + 化肥处理矿化作用强烈且释放快,而猪粪 + 化肥处理表现为矿化释放较慢。在时空上各处理土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量呈较明显的此消彼长关系,即负相关性较强,纯化肥处理相关性达极显著水平,其次为秸秆 + 化肥处理。建议当地实施秸秆或猪粪与化肥的有机 + 无机配施制度,采用当地常规施肥量,N 肥 40% 有机 + 60% 无机为基本原则^[10],解决化肥不合理施用造成的环境和农业有机废弃物浪费问题。

致谢 本试验得到中国科学院盐亭紫色土农业生态站李恩霞、殷义高、唐永康、罗贵生和陈德树等老师的关心与支持,谨表谢意!

参 考 文 献

- 1 韦鹤平.环境系统工程.上海:同济大学出版社,1993.183
- 2 吕 耀.农业生态系统中氮素造成的非点源污染.农业环境保护,1998,17(1):35~39
- 3 张庆忠,陈 欣,沈善敏.农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展.应用生态学报,2002,13(2):233~238
- 4 中国科学院成都分院土壤研究室.中国紫色土(上篇).北京:科学出版社,1991.122,203
- 5 孙鸿烈,刘光崧.土壤理化分析与剖面描述.北京:中国标准出版社,1996.33~35
- 6 朱兆良,文启孝.中国土壤氮素.南京:江苏科学技术出版社,1992.41~44,71,94~97
- 7 王维敏.麦秸、氮肥与土壤混合培养时氮素的固定、矿化与麦秸的分解.土壤学报,1986,23(2):97~104
- 8 巨晓棠,刘学军,张福锁.尿素与 DCD 和有机物料配施条件下氮素的转化和去向.中国农业科学,2002,35(2):181~186
- 9 郭胜利,余存祖.有机肥对土壤剖面硝态氮淋失影响的模拟研究.水土保持研究,2000,7(4):123~126
- 10 商跃凤.有机无机复混肥对水稻氮素利用率的影响.西南农业大学学报,2001,23(3):262~265