

# 稻草覆盖措施对红壤氮素矿化的影响

徐法伟 姜春霞 陈家宙

华中农业大学资环与环境学院/农业部亚热带农业资源与环境重点开放实验室, 武汉 430070

**摘要** 采用室内模拟覆盖和好气培养的方式,测定不同培养时间土壤中硝态氮和铵态氮的含量,研究不同土壤条件下稻草覆盖对红壤氮素矿化的影响。在不同水分和不同施氮条件下,20和30℃时稻草覆盖均使土壤中氮素净矿化量减少;40℃时短期覆盖使土壤中氮素净矿化量低于不覆盖,长期覆盖后土壤中氮素净矿化量大于不覆盖。随着温度的升高,覆盖处理氮素净矿化量与不覆盖差异减小甚至消失。土壤含水量升高,覆盖处理土壤中氮素净矿化量较不覆盖更低。结果表明:稻草覆盖减少了土壤中无机态氮含量,减缓了土壤有机态氮向无机态氮的转化速率,从而减少了水土流失造成的养分损失,但在作物生长旺盛期,稻草覆盖应与氮肥配合使用,以满足作物需求。

**关键词** 红壤; 稻草覆盖; 氮素矿化; 硝态氮; 铵态氮

**中图分类号** S 158.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)06-0717-05

氮是植物生长发育所必须的大量元素之一,土壤中有氮经矿化转化为植物易吸收的无机氮,即使在大量施用氮肥的情况下,农作物中积累的氮素约有50%来自土壤,在某些土壤中甚至可达70%以上<sup>[1]</sup>。因此,土壤氮的矿化对作物供氮起着非常重要的作用。在农田土壤系统中,土壤氮矿化受土壤结构<sup>[2-3]</sup>、有机质组成<sup>[4]</sup>、温度<sup>[4-6]</sup>、湿度<sup>[7-8]</sup>、pH值<sup>[4]</sup>、通气状况、土壤微生物和农业管理方式<sup>[9-11]</sup>等因素的综合影响而存在很大的空间和时间差异。多年来各国学者针对土壤温度和水分含量对土壤氮矿化的影响进行了很多研究<sup>[5,7-8]</sup>,王常慧等<sup>[5]</sup>对内蒙古地区草原土壤氮矿化的研究发现,低温(-10~5℃)时,氮素矿化速率很低;当温度升高到15℃时,矿化速率迅速升高。温度与湿度对土壤氮的矿化作用存在强烈的交互作用,在5~25℃的温度范围内,土壤氮净矿化速率均随温度和湿度的升高而增加,温度超过25℃、含水量超过0.2 kg/kg时净矿化速率反而下降<sup>[8]</sup>。

我国南方红壤丘陵坡耕地春夏季存在严重的坡面侵蚀,夏秋季节往往干旱,实际中常将稻草等秸秆覆盖作为保持水土和减缓季节性干旱的措施。稻草覆盖于地表,可使土壤免受雨滴的直接冲击,径流时

间推迟、径流量降低,减少了土壤养分随水分的流失;稻草覆盖有效抑制了土壤表面蒸发,使更多的水分保蓄于土壤中<sup>[6,12]</sup>;同时稻草覆盖可以调节土壤温度,有低温时的“增温”和高温时的“降温”双重效应<sup>[13-14]</sup>。稻草覆盖改变了土壤温度和水分,影响土壤中氮的矿化和作物生长期间的氮素供应,进而影响到作物的生长发育。本研究以亚热带红壤为研究对象,探讨在室内控制温度和水分条件下稻草覆盖对土壤氮的矿化过程和特征的影响,以为红壤丘陵坡耕地稻草覆盖措施的合理应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

土样采自华中农业大学红壤综合试验站(114°21'E,30°1'N),该站位于湖北省咸宁市,四周为丘岗地形,地带性土壤为红壤,土壤母质以第四纪红色粘土为主。采样点为具有代表性的坡耕地,该地的海拔为32 m,坡度为8°。土样采回后自然风干,过5 mm筛后备用。供试土样质地为粘土(美制),容重为1.26 g/cm<sup>3</sup>,田间持水量为0.338 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,萎蔫含水量为0.18 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,有机碳8.75 g/kg,全氮0.70 g/kg,硝态氮18.26 mg/kg,

收稿日期: 2010-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871139)和国家“十一五”科技支撑计划项目(2009BAD6B01)

徐法伟,硕士研究生,研究方向: 水土资源利用。E-mail: xufawei@126.com

通讯作者: 陈家宙,博士,教授,研究方向: 水土资源利用。E-mail: jzchen@mail.hzau.edu.cn

铵态氮 33.69 mg/kg,速效磷 1.98 mg/kg,速效钾 80.01 mg/kg,pH 6.50。覆盖处理使用的材料是中稻秸秆,秸秆的全氮含量为 11.80 g/kg,C/N 为 58.70,将水稻秸秆剪成 0.50 cm 长度备用。氮肥使用的是尿素。

## 1.2 氮素矿化培养试验

将过 5 mm 筛的风干土样称取 104 g(容重为  $1.04 \text{ g/cm}^3$ ) 填充到烧杯中,以每公顷耕层土壤  $2.25 \times 10^6 \text{ kg}$  为基准,设置 3 个施氮水平处理:0、140、280 kg/hm<sup>2</sup>,每个施氮量条件下设 3 个水分处理 0.15、0.20、0.25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>,氮肥溶于蒸馏水加入到土壤中。上述土壤样品进行稻草覆盖处理,将切成 0.50 cm 长的水稻秸秆覆盖于土壤表面,设 0.00、0.50 kg/m<sup>2</sup> 两个覆盖量,每个处理重复 9 次,置入 20、30、40 °C 的培养箱中好气培养。采用称重法补充水分,为减少水分蒸发,用塑料薄膜密封容器口,并在薄膜上扎 2 个小孔,用于通气。分别于培养后 20、40、60 d 取 3 个重复分析培养土样的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的含量,以二者之和作为土壤总矿化氮量。试验共 18 个处理,486 个土样。

## 1.3 测定方法

土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定;全氮采用半微量开氏法测定;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 采用 2 mol/L KCl 浸提-靛酚蓝比色法,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 采用 2 mol/L KCl 浸提-紫外分光光度法测定;土壤含水量采用烘干称重法测定。

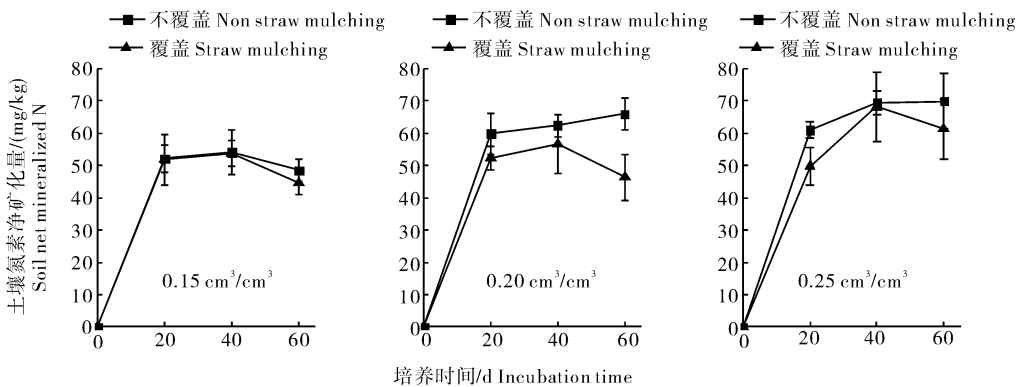


图 1 30 °C 时覆盖对不同含水量土壤矿化的影响(施氮 140 kg/hm<sup>2</sup>)

Fig. 1 The effects of straw mulching on soil N mineralization at different soil moisture(N application: 140 kg/hm<sup>2</sup>)

## 2.2 不同温度条件下稻草覆盖对土壤氮素矿化的影响

图 2 是不同温度下稻草覆盖处理对土壤中氮素净矿化量影响的结果。20 °C 时,覆盖处理土壤氮素净矿化量要显著低于不覆盖处理,培养前 40 d 覆盖和不覆盖处理的氮素净矿化量都呈增大趋势,40 d

## 2 结果与分析

### 2.1 稻草覆盖对不同含水量土壤氮素矿化的影响

稻草覆盖对土壤氮素矿化作用的影响因土壤含水量不同而异。图 1 为不同含水量土壤下,覆盖与不覆盖处理培养 0~60 d 过程中土壤氮素净矿化量的变化情况。结果显示,当土壤含水量为 0.15 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> 时,覆盖与不覆盖处理在前 40 d 的氮素净矿化量无明显差异,40 d 后覆盖的氮素净矿化量略低于不覆盖;土壤含水量为 0.20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> 时,培养期间覆盖处理的氮素净矿化量均低于不覆盖处理;土壤含水量为 0.25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> 时,培养 40 d 时两者的氮素净矿化量无显著差异,培养 60 d 覆盖处理的氮素净矿化量明显低于不覆盖处理。结果表明:覆盖处理总体上削弱了土壤的矿化作用,但不同土壤含水量条件下覆盖处理对土壤氮素矿化影响不同。含水量较低时,覆盖与不覆盖处理土壤中氮素净矿化量差异较小;含水量升高时,覆盖与不覆盖处理的差异增大。红壤雨季时土壤含水量较高,大田作物覆盖度不高,稻草覆盖能起到保水保土作用,同时减少了土壤中氮素的矿化量,从而减少了土壤氮素的流失。但是,覆盖引起的土壤中氮素矿化量的减少也可能影响土壤对作物的氮素供应,因此覆盖的同时,可以考虑施入一定量的氮肥来补充作物所需要的氮素。

后呈下降趋势;30 °C 时,覆盖处理土壤氮素净矿化量低于不覆盖,不覆盖处理氮素净矿化量在培养期间一直呈增加趋势,覆盖处理前 40 d 氮素净矿化量增加,培养 60 d 氮素净矿化量减少;40 °C 时,覆盖处理的氮素净矿化量低于不覆盖处理,并随着时间的推移两者的差异逐渐减小。结果表明:20、30 °C 时

覆盖处理都减缓了土壤中氮素的矿化作用,氮素净矿化量均为覆盖小于不覆盖。20℃时覆盖与不覆盖之间有明显差异,30℃时两者的差异较20℃时

缩小。而40℃时培养前期(40d前),土壤中氮素净矿化量覆盖低于不覆盖,培养60d覆盖处理氮素净矿化量持续增加。

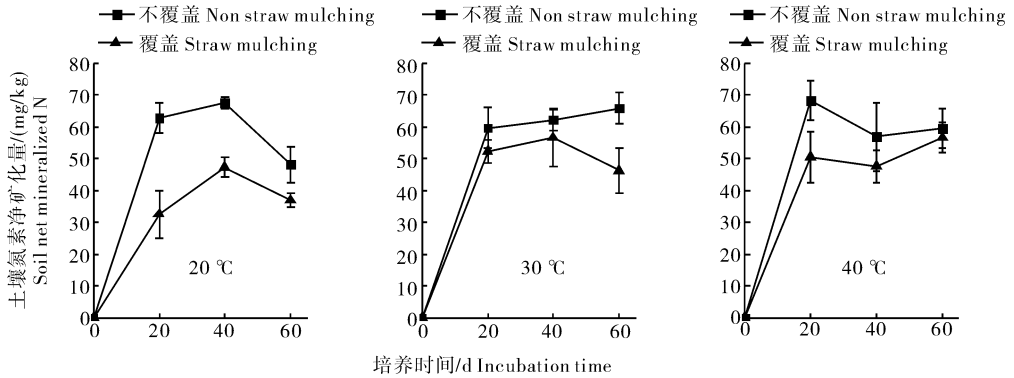


图 2 覆盖对不同温度条件下土壤氮素矿化的影响(施氮 140 kg/hm<sup>2</sup>、土壤含水量 0.20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

Fig. 2 The effects of straw mulching on soil N mineralization at different temperature (N application: 140 kg/hm<sup>2</sup>, soil moisture: 0.20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

2.3 稻草覆盖对不同施氮水平土壤氮素矿化的影响

图 3 为 3 个施氮水平条件下覆盖与不覆盖处理土壤中氮素净矿化量的变化趋势。在 3 个施氮水平下,覆盖处理土壤中氮素净矿化量仍然低于不覆盖。不覆盖条件下,培养 20 d 土壤中氮素净矿化量显著增加,培养后期(40、60 d)呈稳定趋势。在施中量氮和不施氮覆盖条件下,土壤中氮素净矿化量在培养 40 d 时达到最大值,之后呈下降趋势,在施氮 0 kg/hm<sup>2</sup>时土壤中氮素净矿化量甚至出现负值,与

培养 40 d 相比,培养 60 d 土壤中氮素净矿化量分别下降 116.6%、18.1%。培养期间温度、土壤含水量相同时,覆盖与不覆盖处理之间有明显的差异,这一差异受到覆盖和施氮的共同影响。无论是否施氮,覆盖都会使土壤的氮素净矿化量减少。因此,施氮配合稻草覆盖,可以减少肥料氮释放过快而损失,对提高氮肥利用率有一定作用,而对于水土流失严重、氮肥力水平低下的红壤,在采取稻草覆盖保持水土的同时也应当配合施用氮肥。

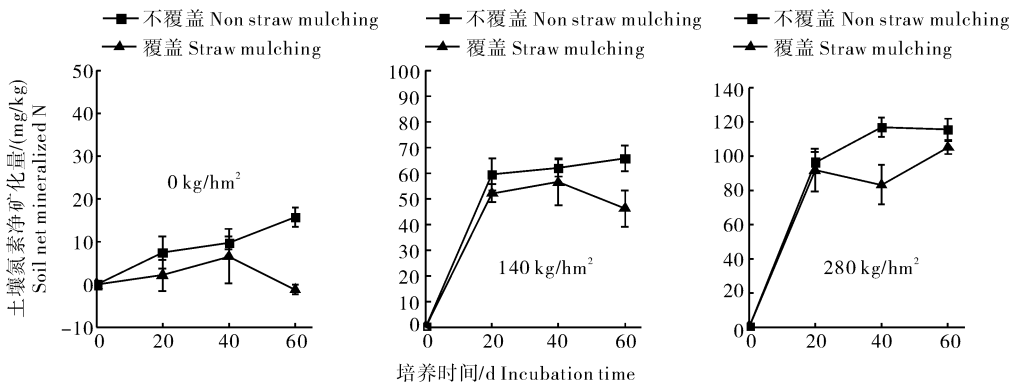


图 3 30℃时覆盖处理对不同施氮水平土壤矿化的影响(土壤含水量 0.20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

Fig. 3 The effects of straw mulching on soil N mineralization under different N fertilization (soil moisture: 0.20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

2.4 稻草覆盖对土壤矿化中硝态氮与铵态氮含量的影响

覆盖不仅影响了土壤中氮素净矿化量,同时对氮矿化中硝态氮和铵态氮的含量也有影响。由表 1 可看出,20℃时覆盖硝态氮含量显著低于不覆盖,铵态氮含量高于不覆盖,但差异不显著;30℃时覆盖处理硝态氮含量、铵态氮含量均小于不覆盖,但差

异不显著;40℃时覆盖处理硝态氮含量显著高于不覆盖,铵态氮含量略高于不覆盖,差异不显著。由表 1 还可以看出,20℃条件下覆盖硝态氮含量显著低于不覆盖,铵态氮含量显著高于不覆盖;30℃条件下覆盖处理硝态氮含量、铵态氮含量均小于不覆盖,且铵态氮含量显著低于其他处理;40℃条件下覆盖处理硝态氮含量略高于不覆盖,铵态氮含量显著低

于不覆盖。以上结果表明,覆盖对土壤中硝态氮、铵态氮含量的影响因土壤含水量和土壤温度的不同而发生变化。无论土壤含水量高低,低温(20℃)时覆盖减少土壤中硝态氮含量而增加铵态氮含量;土壤

含水量较低( $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ )时,高温(30、40℃)条件下覆盖对土壤中硝态氮、铵态氮影响较小;土壤含水量高时( $0.25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ),高温(40℃)条件下时覆盖增加土壤硝态氮含量,减少铵态氮。

表 1 不同含水量条件下覆盖对土壤中硝态氮和铵态氮含量的影响(施氮  $140 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )

Table 1 Effects of straw mulching on soil N nitrification and ammonification at different soil water(N application:  $140 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )

土壤含水量/ $(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$ Soil moisture content	温度/ $^{\circ}\text{C}$ Temperature	不覆盖 Non straw mulching		覆盖 Straw mulching	
		硝态氮 $\text{NO}_3^- \text{-N}$	铵态氮 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$	硝态氮 $\text{NO}_3^- \text{-N}$	铵态氮 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$
0.15	20	36.16 a	59.87 b	16.74 c	62.53 b
	30	40.85 a	60.46 b	40.41 a	57.06 b
	40	24.18 b	77.12 a	26.72 b	83.79 a
0.25	20	104.16 b	5.73 b	75.53 b	18.15 b
	30	120.67 a	2.06 c	113.65 a	0.53 c
	40	73.38 c	41.2 a	83.80 b	33.97 a

### 3 讨论

氮素养分是作物产量的主要限制因子之一,其肥效很大程度上受到土壤水分和施氮量的影响,因此如何选择农田管理措施显得十分重要。秸秆覆盖可以改善农田生态环境,培肥地力,提高资源利用率,在南方红壤区也得到了广泛的应用<sup>[12-13]</sup>。南方红壤丘陵区降雨主要集中在3—6月,降雨次数多,降雨量大,土壤含水量较高,覆盖可以防止雨滴对地面的打击和对土壤结构的破坏,减少地表径流,起到良好的保水保土作用。但稻草覆盖对红壤氮肥力的影响也不容忽视。本研究结果显示,在20和30℃时覆盖使土壤中氮素矿化量减少,随着含水量的升高,覆盖与不覆盖之间的差异增大(图1)。土壤中无机态氮含量减少,可能流失的无机态氮也减少,因此稻草覆盖起到了保肥的作用,但这也可能导致土壤对作物供氮能力降低。在不施氮时,覆盖使土壤氮素净矿化量减少,甚至出现负值,随着施氮量的增多,土壤硝态氮和铵态氮累积量也升高(图3)。因此在采用覆盖措施的同时,应考虑在农田中施适量氮肥,以满足作物生长对氮素的需求。本研究还显示,40℃施中量氮时,覆盖减缓了土壤氮素的矿化速率,但培养60d后土壤硝态氮和铵态氮累积量并没有明显减少,说明在高温施氮情况下,长期覆盖处理氮素矿化优于不覆盖,在作物生长前期对氮素的需求较小,覆盖既可以满足作物的生长需求,还可以减少因氮素释放快而造成的损失,随着作物对氮素需求的增加,相比不覆盖,覆盖条件下还可以提供更多的氮素。稻草覆盖不仅直接影响土壤氮素矿化,还通过改变土壤温度,间接影响土壤中氮素矿化,进而影响土壤对作物的氮素供应能力。因此,在气温

较低时,覆盖增加地温,利于土壤氮素矿化,可以提高土壤对作物的供氮能力。

秸秆覆盖通过改善农田生态环境,提高作物产量<sup>[14]</sup>,但也有研究表明秸秆覆盖会有减产现象发生<sup>[15]</sup>。一些研究者认为秸秆覆盖减产可能是土壤温度改变造成的,而本研究显示秸秆覆盖导致土壤中氮素矿化量的减少也可能是秸秆覆盖后作物减产的原因之一。因此在采用秸秆覆盖改善土壤生态环境的过程中,应综合考虑土壤含水量、温度、施氮等因素。

南方红壤区7—10月间发生季节性干旱,概率高达85.7%<sup>[16-17]</sup>,因高温少雨叠加,严重影响了作物的生长。现已证实秸秆覆盖能显著降低高温时段10cm以内土层的温度,降幅可达1.6~4.1℃,同时明显提高0~5cm表土层的水分保持能力,提高幅度为3.3%~6.1%<sup>[14]</sup>。因此,在旱地农田采用覆盖措施对于减少干旱对作物生长的影响具有重要意义。本研究结果显示,不同水分和温度条件下,覆盖使土壤中硝态氮和铵态氮含量不同;而土壤硝态氮和铵态氮的含量及比例会影响作物的生长<sup>[18]</sup>,因此可以根据作物的养分需求及土壤条件,对覆盖的时间进行控制,更好地促进作物的生长。另外,高温、低含水量时覆盖土壤中氮素净矿化量虽然减少,但与不覆盖差异不显著,同时土壤中50%以上的无机态氮以铵态氮形式存在,铵态氮被土壤胶体吸附保存,可以满足作物后期生长的需求。因此,红壤夏秋高温干旱期间稻草覆盖有利无害。在秋冬低温少雨季节,土壤温度低含水量低,覆盖会使土壤温度略有升高,使土壤氮素矿化量增加(图2),且在组成无机态氮的成分中硝态氮含量增加,铵态氮含量减少,使土壤供氮能力提高。



## 参 考 文 献

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783.
- [2] GORDILLO R M, CABRERA M L. Mineralization nitrogen in broilerlitter: II. Effect of selected soil characteristics[J]. J Environ, 1997, 26: 1679-1686.
- [3] THOMSEN I K. Net mineralization of soil N and  $^{15}\text{N}$ -ryegrass residues in differently textured soils of similar mineralogical composition[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2001, 33(3): 277-285.
- [4] FIORETTO A. Decomposition dynamics of litters of various pine species in a corsican pine forest[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30(6): 721-727.
- [5] 王常慧, 邢雪荣, 韩兴国. 温度和湿度对我国内蒙古羊草草原土壤净氮矿化的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2472-2476.
- [6] 李忠佩, 唐永良, 石华. 秸秆覆盖对旱地红壤水分动态变化的影响[J]. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7(3): 188-193.
- [7] 巨晓棠, 李生秀. 土壤氮素矿化的温度水分效应[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 37-42.
- [8] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响[J]. 植物生态学报, 2001, 25(2): 204-209.
- [9] 吕殿青, 张树兰, 杨学云. 外加碳、氮对土壤氮矿化、固定与激发效应的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 223-229.
- [10] 袁新民, 杨学云, 张福锁, 等. 不同施氮量对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 333-339.
- [11] HUANGZ Q, XU Z H, TIMOTHY J B, et al. Soil nitrogen mineralization and fate of  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  in field-incubated soil in a hardwood plantation of subtropical Australia: the effect of mulching[J]. J Soils Sediments, 2008, 8: 389-397.
- [12] 林丽蓉, 陈家宙, 夏冰, 等. 几种水蚀阻断措施对坡地红壤干旱的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 108-115.
- [13] 苏衍涛, 王凯荣, 刘迎新, 等. 稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和水分调控效应[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 670-676.
- [14] 袁家富. 麦田秸秆覆盖效应及增产作用[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 61-65.
- [15] 孙进, 王义炳. 稻草覆盖对旱地小麦产量与土壤环境的影响[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 53-55.
- [16] 刘可群, 陈正洪, 周金莲, 等. 湖北省近 50 年旱涝灾害变化及其驱动因素分析[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(3): 326-332.
- [17] 黄道友, 彭廷柏, 陈桂秋, 等. 亚热带红壤丘陵区季节性干旱成因及其发生规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 124-126.
- [18] 张树清, 魏小平. 蔬菜作物对硝铵态氮吸收能力比较研究[J]. 兰州大学学报, 2002, 38(4): 77-84.

## Effects of straw mulching on nitrogen mineralization in red soil

XU Fa-wei JIANG Chun-xia CHEN Jia-zhou

*Key Laboratory of Subtropical Agriculture and Environment, Ministry of Agriculture / College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** The effects of straw mulching on red soil N mineralization at different temperature, soil moisture, N fertilization were investigated through laboratory aerobic incubation. The results showed that if the soil was mulched by straw, its net N mineralization was lower than that of the non-mulched soil during the incubation time at 20, 30 °C. At 40 °C the net N mineralization of soil in mulching was lower than that of non-mulching during the first 40-day but higher than that of non-mulching after incubating 60 days. When the soil moisture was at 0.20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  or 0.25  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , the difference between the mulching and non-mulching was more remarkable than that at 0.15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ . When the temperature was raised, the difference was narrowed and even disappeared. The straw mulching also had effects on soil N nitrification and N ammonification. When the temperature was 20 °C and soil moisture was 0.15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , N nitrification was lower and N ammonification was higher in the mulching treatment. When the temperature was 40 °C and soil moisture was 0.25  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , N nitrification was higher and N ammonification was lower in mulching treatment than that of non-mulching treatment. These results suggest that it is essential to adjust the application of straw mulching in red soil fields according to the soil moisture and N fertility.

**Key words** red soil; straw mulching; N mineralization;  $\text{NO}_3^-$ -N;  $\text{NH}_4^+$ -N

(责任编辑: 张志钰)