

## 干土效应对土壤生物组成及矿化与硝化作用的影响\*

林江辉 李辉信<sup>†</sup> 胡 锋 赵海燕

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘 要** 将经过风干、过筛后的 2 种旱地红壤加水培养, 并和新鲜土培养条件相比较, 研究干土效应对土壤生物组成及矿化与硝化作用的影响。试验共 4 个处理: (1) 农田旱地风干土加水培养(RU); (2) 农田旱地新鲜土培养(FU); (3) 苗圃旱地风干土加水培养(RN); (4) 苗圃旱地新鲜土培养(FN)。结果表明: 红壤风干土加水预培养 5 d 后, 细菌、放线菌、真菌数量比新鲜土显著增加( $p < 0.01$ ), 细菌数量增加最为明显, 农田旱地和苗圃旱地风干土处理分别是新鲜土的 6.26 倍和 6.84 倍, 红壤风干土加水培养处理的微生物量碳、氮也随之增加。培养 28 d 后土壤中微生物数量趋于稳定, 与预培养 5 d 时的数量相当或稍有下降, 但风干后加水培养处理的微生物数量仍保持大于新鲜土的趋势(农田旱地的放线菌除外), 微生物量碳、氮也存在同样的趋势。风干土加水培养后微生物数量的迅速增加, 使得氮素矿化速度加快, 由此导致  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  量显著增加( $p < 0.01$ ), 培养 28 d 后,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  量较预培养 5 d 时有所增加, 且明显高于新鲜土培养处理;  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量也增加, 但新鲜土处理显著高于风干土处理。土壤风干处理对土壤自由生活线虫的影响比较大, 农田旱地和苗圃旱地风干土加水培养 28 d 后, 其自由生活线虫数量仅为新鲜土的 16.0% 和 30.1%, 显示风干土加水培养难以恢复土壤微型动物的数量。28 d 的矿化和硝化培养试验结果显示, 风干土加水培养处理的净矿化量和矿化率均高于新鲜土处理, 苗圃旱地风干土处理的增量达到了显著水平( $p < 0.05$ ), 但是硝化作用却刚好相反, 农田旱地和苗圃旱地的净硝化量及硝化率均是新鲜土处理显著高于风干土处理( $p < 0.05$ ), 其原因是对硝化作用起重要作用的硝化菌(氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌)数量在经历了风干过程后很难恢复到新鲜土水平。

**关键词** 干土效应; 矿化作用; 硝化作用; 土壤生物

中图分类号 S154.1 文献标识码 A

在土壤样品的分析测试过程中, 常常要进行样品的风干、磨碎、过筛等处理。土壤样品经过风干后, 往往会引起土壤理化性质的变化<sup>[1]</sup>。这一现象常被称为干土效应或 Birch 效应<sup>[2-4]</sup>。Russell<sup>[5]</sup>指出干土效应最显著的特点就是土壤有机物分解加速、速效氮的供应量增加。因此, 为了更符合田间的实际情况, 我们总是希望尽量采用新鲜土来分析。但是, 在大多数情况下, 由于大量土样的采集并保持在田间新鲜土的水分状况是十分困难的, 因此不得不采用经风干磨碎的土样。在这种情况下获得的结果能否正确地反映新鲜土实际的田间状况就成为一个需要研究的问题。关于风干处理对土壤矿化的影响已有不少报道<sup>[1,6]</sup>, 但关于风干处理对土壤硝化的影响还很少见报道, 尤其是风干处理后对土壤中的生物如微生物三大菌、线虫及硝化菌的影响尚不明了。

而土壤中的生物(包括土壤微生物和土壤动物)对有机质分解、养分循环和能量转化等生态学过程起着重要作用, 是土壤肥力形成和保持的活跃因子<sup>[7]</sup>。本文研究了风干土加水以及新鲜土在培养条件下土壤生物(微生物和自由生活线虫)的群落结构和生物量的变化以及相应的矿化、硝化强度, 试图明确风干土和新鲜土培养条件下, 土壤生物组成的变化及其对红壤氮素矿化和硝化作用的影响程度和机理, 最终为通过生物措施来调控红壤的矿化和硝化作用, 达到提高氮素利用率、减少氮素损失提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土样采自江西鹰潭中国科学院红壤生态实

\* 中国科学院红壤生态开放实验站基金(2001-K-03)资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: huixinli@njau.edu.cn

作者简介: 林江辉(1979~), 男, 浙江温岭人, 硕士生, 主要从事土壤生态学方面研究

收稿日期: 2003-11-07; 收到修改稿日期: 2004-06-22

验站的农田旱地和苗圃旱地。新鲜土采回来后剔除杂物及残留根系, 将土样均分为二, 一份摊开风干,

过 20 目筛, 装塑料袋备用, 另一份置于 4℃ 冰箱中保存。土样基本性状见表 1。

表 1 供试土样基本性状  
Table 1 Basic properties of the soils used

土壤样品 Soil samples	pH <sup>1)</sup>	有机质 O. M. (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )
农田旱地土壤 Upland soil	5.15	13.72	0.66	0.45	20.18	153.3
苗圃旱地土壤 Nursery garden soil	4.91	16.02	0.88	0.54	125.6	168.0

1) 水土比 2.5:1  $W_{\text{water}}:W_{\text{soil}}=2.5:1$

## 1.2 试验设计与培养方法

将过 20 目筛的风干土样加水到田间持水量的 65%, 室温下预培养 5 d (恢复土壤中的生物活性), 之后与新鲜土 (同样补水到田间持水量的 65%) 一起进行矿化、硝化培养试验 (培养 4 周)。试验包括 4 个处理: (1) 农田旱地风干土加水培养 (RU); (2) 农田旱地新鲜土培养 (FU); (3) 苗圃旱地风干土加水培养 (RN); (4) 苗圃旱地新鲜土培养 (FN)。

**1.2.1 矿化试验<sup>[8]</sup>** 称 10 g 过 2 mm 筛的风干土和相当于 10g 风干土的新鲜土于 100 ml 离心管中, 按 65% 田间持水量加水后, 管口盖上塑料薄膜以保持土壤水分, 置于 28℃ 培养箱中培育。隔三天补水一次。在培养后的第 28 天取样测定, 加入 50 ml 2 mol L<sup>-1</sup> KCl 溶液, 振荡 1 h 后过滤。之后取滤液测定铵态氮和硝态氮。

土壤氮素矿化量: 土壤培育后与培育前的矿质氮量 (铵态氮与硝态氮之和) 之差。土壤氮素矿化率 = 土壤氮素矿化量 / 土壤全氮量 × 100%。

**1.2.2 硝化试验<sup>[8]</sup>** 方法同矿化试验, 但每管加入含 2.5 mg N 的硫酸铵溶液。

土壤硝化率: 土壤加肥料培育后, 其硝态氮量与矿质氮总量之比, 即:  $\text{NO}_3^- \text{-N} / (\text{NH}_4^+ \text{-N} + \text{NO}_3^- \text{-N}) \times 100\%$ 。

## 1.3 分析方法

土壤 pH 采用 pH 计法测定 (水土比 2.5:1);  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  用 2 mol L<sup>-1</sup> KCl 溶液浸提、靛酚蓝比色法;  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  用镀铜镉还原-重氮化偶合比色法; 全氮用半微量开氏法; 有机碳用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  氧化法; 微生物量 C、N 用氯仿熏蒸直接浸提法测定; 微生物三大菌采用涂布平板法; 线虫记数采用离心浮选直接镜检法; 硝化菌记数采用“最大或然数 (Most probable number,

MPN)”法<sup>[9-12]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 干土效应对红壤微生物数量和微生物量碳、氮的影响

土壤微生物作为土壤有机质转化的执行者和植物营养元素的活性库, 在土壤氮素循环中起着非常重要的作用<sup>[13, 14]</sup>。姚槐应等<sup>[15]</sup>认为每年通过微生物周转的氮素可达到红壤微生物量氮的 1.5 倍以上。本试验数据表明 (表 2), 风干红壤加水预培养 5 d 后, 细菌、放线菌、真菌数量迅速恢复并显著高于相应的新鲜土。对于农田旱地红壤, 干土加水培养后细菌、放线菌、真菌的数量分别是新鲜土的 6.26 倍、1.52 倍、1.43 倍; 苗圃旱地则分别是新鲜土的 6.84 倍、1.54 倍、1.67 倍, 细菌数量的增加最为明显。土壤微生物数量的增加导致了土壤微生物量碳 (Soil microbial biomass C, SMB C) 和微生物量氮 (Soil microbial biomass N, SMB N) 的增加 (见表 3), 其中苗圃旱地土壤加水培养后, 微生物量碳显著高于新鲜土, 差异达显著水平 ( $p < 0.05$ )。关于风干土壤加水培养后微生物数量增加的原因, 可能包括: (1) 土壤经过风干磨碎、过筛等操作, 得到了充分混匀, 土壤的理化性质也得到了改善, 为微生物的生长提供了更好的条件; (2) 很多菌在磨碎、过筛的过程中得到了重新分布并与其他菌接触, 而这可能会利于其生长; (3) 干土的部分灭菌作用<sup>[16]</sup>, 也即风干过程中导致部分微生物死亡, 其体内的养分也随即释放出来, 使得土壤中能被微生物利用的养分增加, 由此导致风干土加水培养后微生物的大量繁殖增长, 同时风

干过程中部分微生物死亡可能使得另外的一些原先被这些微生物所抑制生长的微生物大量繁殖, 同样能导致微生物数量的增加。

培养 28 d 后的测定结果显示, 土壤中细菌、放线菌、真菌数量趋于稳定, 与预培养 5 d 时的数量相当或稍有下降。培养 28 d 后, 风干后加水培养处理的微生物数量仍保持大于新鲜土的趋势( 农田旱地

的放线菌除外), 其中农田旱地风干土加水培养处理的真菌、苗圃旱地风干土加水培养处理的细菌和放线菌的数量高于相应新鲜土的微生物数量, 差异达显著水平( 表 2)。培养 28 d 后, 风干后加水培养处理的微生物量碳、氮也存在大于新鲜土的趋势, 其中苗圃旱地的微生物量碳达显著差异( 表 3)。

表 2 风干土加水和新鲜土培养后微生物数量比较<sup>1)</sup>

Table 2 Populations of microbes in rewetted and fresh soil after incubation

处理 <sup>2)</sup> Treatments	细菌 Bacteria ( $\times 10^4 g^{-1}$ )		放线菌 Actinomycetes ( $\times 10^4 g^{-1}$ )		真菌 Fungi ( $\times 10^3 g^{-1}$ )	
	预培养 5 d <sup>3)</sup>	培养 28 d	预培养 5 d <sup>3)</sup>	培养 28 d	预培养 5 d <sup>3)</sup>	培养 28 d
	Incubation for 5 days	Incubation for 28 days	Incubation for 5 days	Incubation for 28 days	Incubation for 5 days	Incubation for 28 days
RU	7.85**	6.97	8.48**	5.05	1.24*	1.32*
FU	1.21	1.09	5.57	7.69	0.87	0.79
RN	39.7**	37.6**	38.8**	36.7**	2.47**	2.34
FN	5.81	5.50	23.3	10.0	1.60	1.51

1) \* 和\*\* 分别表示风干土加水培养处理与新鲜土比较存在显著性差异( $p < 0.05$ )和极显著性差异( $p < 0.01$ ) Means significant difference at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  between rewetted air-dried soil and fresh soil, respectively; 2) RU: 农田旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried upland soil; FU: 农田旱地新鲜土 Fresh upland soil; RN: 苗圃旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried nursery soil; FN: 苗圃旱地新鲜土 Fresh nursery soil; 3) 仅风干土处理预培养 5 d, 新鲜土处理未进行预培养 Only air-dried soil rewetted and incubated for 5 days as preparation

表 3 风干土加水和新鲜土培养后微生物量碳和微生物量氮比较<sup>1)</sup>

Table 3 SMBC and SMBN of rewetted and fresh soil after incubation

处理 <sup>2)</sup> Treatments	微生物量碳 SMBC( $\mu g g^{-1}$ )		微生物量氮 SMBN( $\mu g g^{-1}$ )	
	预培养 5 d <sup>3)</sup>	培养 28 d	预培养 5 d <sup>3)</sup>	培养 28 d
	Incubation for 5 days	Incubation for 28 days	Incubation for 5 days	Incubation for 28 days
RU	134.6	121.4	31.34	27.98
FU	85.78	81.64	23.17	22.10
RN	391.4*	363.4*	51.10	45.40
FN	190.3	180.2	37.82	34.63

1) \* 和\*\* 分别表示风干土加水培养处理与新鲜土比较存在显著性差异( $p < 0.05$ )和极显著性差异( $p < 0.01$ ) Means significant difference at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  between rewetted air-dried soil and fresh soil, respectively; 2) RU: 农田旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried upland soil; FU: 农田旱地新鲜土 Fresh upland soil; RN: 苗圃旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried nursery soil; FN: 苗圃旱地新鲜土 Fresh nursery soil; 3) 仅风干土处理预培养 5 d, 新鲜土处理未进行预培养 Only air-dried soil rewetted and incubated for 5 days as preparation

## 2.2 干土效应对红壤自由生活线虫数量的影响

土壤线虫是土壤动物的主要功能类群, 其数量丰富、营养类群多样, 对维持土壤生态系统的稳定、促进物质循环和能量流动起着重要作用<sup>[17]</sup>。土壤中栖居的线虫以自由生活线虫(Free-living nematodes)为主, 占总数的 60% ~ 80% 左右<sup>[18]</sup>。土壤微生物活性和数量能够在风干土加水培养后很快地得到恢复并提高, 那么土壤动物是否也如此呢? 由表

4 可以看出, 风干土加水培养后自由生活线虫数量远未达到新鲜土的水平, 农田旱地和苗圃旱地风干土加水培养 28 d 后线虫数量分别只有新鲜土的 16.0% 和 30.1%。由此可见, 土壤线虫不同于土壤微生物, 它在土壤风干过程中大部分已经死亡, 少部分以卵的形式保存下来、在加水后得以恢复。由于自由生活线虫通过与土壤微生物的竞争、牧食等相互作用对土壤有机质的分解、养分循环和能量转

化起着重要作用<sup>[7]</sup>, 风干土壤加水后, 由于土壤自由生活线虫数量很难恢复, 因此, 由土壤线虫参与的各种养分转化过程在采用风干土和新鲜土进行的培养试验中必然存在差异, 关于这方面的研究, 有待进一步加强。

表 4 风干土加水和新鲜土培养 28 d 后的自由生活线虫数量变化<sup>1)</sup>

Table 4 Population of free-living nematodes in rewetted and fresh soil after 28 days' s incubation

处理 <sup>2)</sup> Treatments	培养前线虫数量 Free-living numbers before incubation(g <sup>-1</sup> )	培养 28 d 后数量 Free living numbers after 28 days incubation (g <sup>-1</sup> )
	RU	0
FU	9.5	10.0*
RN	0	4.6
FN	15.9	15.3**

1) \*\* 表示风干土加水培养处理与新鲜土比较存在极显著性差异( $p < 0.01$ ) Means significant difference at  $p < 0.01$  between rewetted air-dried soil and fresh soil; 2) RU: 农田旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried upland soil; FU: 农田旱地新鲜土 Fresh upland soil; RN: 苗圃旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried nursery soil; FN: 苗圃旱地新鲜土 Fresh nursery soil

## 2.3 干土效应对红壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的影响

从表 5 可以看出, 农田旱地和苗圃旱地的风干

土加水预培养 5 d 后的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  量均远高于新鲜土, 与新鲜土相比均存在极显著差异( $p < 0.01$ )。这表明风干土壤加水后能够迅速显著地增加  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量, 这与许多报道的结果相同<sup>[2~4, 19]</sup>。这主要是由于土壤风干加水培养后, 土壤微生物数量大量增加, 迅速降解干土效应导致死亡的微生物并促进氮素的矿化。对于  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , 表 5 数据显示, 风干土加水预培养 5 d 后变化不大, 统计分析表明无论是农田旱地还是苗圃旱地, 风干土加水培养处理与新鲜土差异均不明显( $p > 0.05$ )。有关研究也表明, 风干处理对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量的影响尚没有一致的结论<sup>[1]</sup>。农田旱地和苗圃旱地风干土加水培养 28 d 后,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量较预培养 5 d 时均明显增加; 而农田旱地和苗圃旱地新鲜土培养 28 d 后,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量没有明显变化。培养 28 d 后, 风干土加水处理的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量仍然显著高于新鲜土处理。再看  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的浓度变化, 培养 28 d 以后, 4 个处理的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度均显著增加, 其原因是在培养过程中有大量的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  通过硝化作用而形成  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , 从而使得  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度显著增加。对于风干土处理和新鲜土处理,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度的增加量是不同的, 新鲜土处理均要显著高于风干土处理, 其原因主要与参与硝化作用的硝化细菌数量存在差异有关, 详见 2.4 的分析。

表 5 风干土加水和新鲜土培养后的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度<sup>1)</sup>

Table 5  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  content in rewetted and fresh soil after incubation

处理 <sup>2)</sup> Treatments	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg kg <sup>-1</sup> )		$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg kg <sup>-1</sup> )	
	预培养 5 d <sup>3)</sup>	培养 28 d	预培养 5 d <sup>3)</sup>	培养 28 d
	Incubation for 5 days	Incubation for 28 days	Incubation for 5 days	Incubation for 28 days
RU	10.3**	25.7**	0.79	16.6
FU	3.83	4.87	1.04	30.0*
RN	13.5**	29.9**	6.54	30.5
FN	7.87	6.82	6.74	40.6**

1) \* 和 \*\* 分别表示风干土加水培养处理与新鲜土比较存在显著性差异( $p < 0.05$ )和极显著性差异( $p < 0.01$ ) Means significant difference at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  between rewetted air-dried soil and fresh soil, respectively; 2) RU: 农田旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried upland soil; FU: 农田旱地新鲜土 Fresh upland soil; RN: 苗圃旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried nursery soil; FN: 苗圃旱地新鲜土 Fresh nursery soil; 3) 仅风干土处理预培养 5 d, 新鲜土处理未进行预培养 Only air-dried soil rewetted and incubated for 5 days as preparation

## 2.4 干土效应对红壤矿化率、硝化率及硝化菌数量的影响

土壤氮素矿化和硝化作用是氮素内循环的两个重要过程。从表 6 可以看出, 无论是农田旱地土壤还是苗圃旱地土壤, 经过风干加水培养 28 d 后得到的净矿化量和矿化率均大于新鲜土的净矿化量和矿化

率, 苗圃旱地风干土处理(RN)达到了显著差异( $p < 0.05$ )。这与前人的结果是一致的<sup>[3, 4]</sup>。表 2 中风干土回湿后微生物数量迅速增加, 可解释这一现象。从前面的分析可知, 风干土加水培养后其三大菌数量大量增加, 导致了在培养过程中较之新鲜土处理, 风干土处理有更多的有机氮被矿化出来, 因此无论是矿化

量还是矿化率风干土处理均高于新鲜土处理。

农田旱地和苗圃旱地的净硝化量及硝化率却均是新鲜土处理高于风干土处理(均达到了显著差异,  $p < 0.05$ )。硝化作用主要是由硝化细菌主导的,其过程分为两个阶段:第一阶段是由氨氧化细菌(Ammonium oxidizers)将氨氧化为  $\text{NO}_2^-$ -N; 第二阶段是由亚硝酸氧化细菌(Nitrite oxidizers)将  $\text{NO}_2^-$ -N 氧化为  $\text{NO}_3^-$ -N<sup>[16]</sup>。运用“最大或然数(Most probable number, MPN)”法测出的氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌数量列于表 7。从表中可以看出,风干土加水培养后,无论是 5 d 后还是 28 d 后,硝化细菌(氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌)的数量均远未达到新鲜土的水平,农田旱地和苗圃旱地的氨氧化细菌平均只恢复到新鲜土的 13.3% 和 6.6%,亚硝酸氧化细菌为 6.7% 和 5.1%,这说明红壤经过风干、过筛等过程,硝化菌数量和活性已经很难恢复到原先新鲜土的水平。Allison 等<sup>[20]</sup>指出,硝化细菌能够在干土中存活 3 个月以上,但是要恢复其活性则至少要培

养 10 周以上。正是由于风干土加水培养后硝化细菌(氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌)数量和活性远不能恢复到新鲜土的水平,才导致了经过 28 d 培养后风干土处理的净硝化量和硝化率均显著低于新鲜土处理( $p < 0.05$ )。相关分析表明,培养 28 d 后红壤的硝化率与氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌数量的相关系数  $r$  分别为 0.39 和 0.67,也存在一定的相关。但也有资料显示,硝化率有时和其中的硝化细菌数量并不成相关关系<sup>[21]</sup>,原因尚不明了,可能是由于硝化细菌和其他微生物一起固定了相当数量的  $\text{NH}_4^+$ -N 而导致硝化率的降低<sup>[22]</sup>。此外,由表 6 可以看出,农田旱地的净硝化量和硝化率都要高于苗圃旱地,这可能是由于其 pH 相对较高所致(表 1),因为土壤 pH 是影响硝化作用的主要因素之一<sup>[23]</sup>。Saharawat 的资料表明,在 pH3.4~8.6 范围内,硝化作用与 pH 呈正相关<sup>[24]</sup>。另外从表 7 也可以看出,农田旱地的硝化细菌数量(氨氧化细菌+亚硝酸氧化细菌)要大于苗圃旱地的硝化细菌数量。

表 6 风干土加水及新鲜土培养 28 d 后的矿化率和硝化率<sup>1)</sup>

Table 6 Rates of mineralization and nitrification in rewetted and fresh soil after 28 days' incubation

处理 <sup>2)</sup> Treatments	净矿化量 Net mineralization ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	矿化率 Mineralization rate (%)	净硝化量 Net nitrification ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	硝化率 Nitrification rate (%)
RU	31.1	4.74	36.6	16.2
FU	26.0	3.96	57.1**	30.1**
RN	40.4*	4.59*	12.0	6.55
FN	32.8	3.73	25.7*	13.1**

1) \* 和\*\* 分别表示风干土加水培养处理与新鲜土比较存在显著性差异( $p < 0.05$ )和极显著性差异( $p < 0.01$ ) Means significant difference at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  between rewetted air-dried soil and fresh soil, respectively; 2) RU: 农田旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried upland soil; FU: 农田旱地新鲜土 Fresh upland soil; RN: 苗圃旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried nursery soil; FN: 苗圃旱地新鲜土 Fresh nursery soil

表 7 风干土加水及新鲜土培养后的氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌数量

Table 7 Population of ammonium oxidizers and nitrite oxidizers in rewetted and fresh soil after incubation

处理 <sup>2)</sup> Treatments	氨氧化细菌 Ammonium oxidizers ( $\times 10^3 \text{ g}^{-1}$ )		亚硝酸氧化细菌 Nitrite oxidizers ( $\times 10^3 \text{ g}^{-1}$ )	
	预培养 5 d <sup>2)</sup> Incubation for 5 days	培养 28 d Incubation for 28 days	预培养 5 d <sup>2)</sup> Incubation for 5 days	培养 28 d Incubation for 28 days
	RU	2.47	3.20	1.37
FU	31.0	24.0	31.0	24.0
RN	1.89	2.03	0.71	0.92
FN	39.0	30.7	18.1	18.1

1) RU: 农田旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried upland soil; FU: 农田旱地新鲜土 Fresh upland soil; RN: 苗圃旱地风干土加水培养 Rewetting of air-dried nursery soil; FN: 苗圃旱地新鲜土 Fresh nursery soil; 2) 仅风干土处理预培养 5 d, 新鲜土处理未进行预培养 Only air-dried soil rewetted and incubated for 5 days as preparation

### 3 结 论

1) 红壤风干土加水预培养 5 d 后, 微生物三大菌数量较新鲜土显著增加, 其中细菌数量增加最为明显, 农田旱地和苗圃旱地分别是新鲜土的 6.26 倍和 6.84 倍, 土壤微生物量碳、氮也随之增加。培养 28 d 后土壤中微生物数量趋于稳定, 与培养 5 d 时的数量相当或稍有下降, 但风干土加水培养处理的微生物数量仍保持大于新鲜土的趋势(农田旱地的放线菌除外), 微生物量碳、氮也存在同样的趋势。

2) 风干土加水预培养 5 d 后,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  量显著高于新鲜土处理,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  无明显差异。培养 28 d 后, 风干土加水培养处理的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  量仍然明显高于新鲜土处理, 但新鲜土处理的  $\text{NO}_3^--\text{N}$  却显著高于风干土加水处理。

3) 风干土加水培养 28 d 后, 农田旱地和苗圃旱地的自由生活线虫数量分别仅为新鲜土的 16.0% 和 30.1%, 显示风干土加水培养后土壤线虫数量很难在短时间内恢复到新鲜土的水平。

4) 28 d 的矿化和硝化培养试验显示, 风干土加水培养后的矿化率显著高于新鲜土培养处理, 但硝化率却刚好相反。其原因主要是对硝化作用起主导作用的硝化菌(氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌)数量在经历了风干后很难恢复到新鲜土水平, 培养 28 d 后农田旱地只恢复到新鲜土的 10.0%, 苗圃旱地恢复为新鲜土的 6.0%。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Bartlett R J, James B R. Studying dried, stored, soil samples—some pitfalls. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1980, 44: 721~ 724
- [ 2 ] 沈梓培, 黄东迈, 白纲毅, 等. 水稻田晒干措施的增产效果及其与土壤性质的关系. *土壤学报*, 1959, 7: 124~ 135. Shen Z P, Huang D M, Bai G Y, *et al.* Effect of insolation on increasing yield of rice and its relationship with soil properties (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1959, 7: 124~ 135
- [ 3 ] 黄东迈, 张伯森. 水稻田干耕及湿耕对土壤中氮素转化及水稻产量的影响. *土壤学报*, 1957, 5: 223~ 233. Huang D M, Zhang B S. Transformation of nitrogen in paddy soils and yield of rice as effected by ploughing under dry and water-logged conditions (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1957, 5: 223~ 233
- [ 4 ] Birch H F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil*, 1958, 10: 9~ 31
- [ 5 ] Russell 著. 土壤条件与作物生长. 北京: 科学出版社, 1979. 138. Russell. *Soil Conditions and Plant Growth* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1979. 138
- [ 6 ] 李鸿恩, 杨运莲. 夏耕晒垡的增产作用. *土壤学报*, 1965, 13(4): 404~ 409. Li H E, Yang Y L. Effect of summer plowing on the winter wheat (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1965, 13(4): 404~ 409
- [ 7 ] Ferris H, Venette R, van der Meulen H R, *et al.* Nitrogen mineralization by bacteria-feeding nematode: Verification and measurement. *Plant and Soil*, 1998, 203: 159~ 171
- [ 8 ] 李辉信, 胡锋, 刘满强, 等. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征. *土壤*, 2000, 32(4): 194~ 197. Li H X, Hu F, Liu M Q, *et al.* Characteristics of nitrogen mineralization and nitrification in red soils (In Chinese). *Soils*, 2000, 32(4): 194~ 197
- [ 9 ] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 146~ 259. Lu R K. *Method of Analysis in Soil and Agrochemistry* (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Science & Technology Press, 1999. 146~ 259
- [ 10 ] 土壤微生物研究会(日)编. 叶维青, 张维谦, 周鹏里, 等译. 土壤微生物实验法. 北京: 科学出版社, 1983. 215~ 220. Soil Microbe Research Association (Japan). ed. Ye W Q, Zhang W Q, Zhou P L, *et al.* trans. *Analysis Method of Soil Microorganism* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983. 215~ 220
- [ 11 ] 中国科学院南京土壤研究所微生物室编. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985. 42~ 57. Soil Microbe Research Group, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. *Analysis Method of Soil Microorganism* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985. 42~ 57
- [ 12 ] Chen G C, He Z L, Zhun J, *et al.* Fumigation-extraction method for measurement of microbial biomass-N in red soils. *Pedosphere*, 1997, 7(1): 87~ 91
- [ 13 ] Zhou J B, Li S X, Chen Z J. Soil microbial biomass nitrogen and its relationship to uptake of nitrogen by plants. *Pedosphere*, 2002, 12(3): 251~ 256
- [ 14 ] 沈其荣, 王岩, 史瑞和. 土壤微生物量氮和土壤固定态铵的变化及水稻对残留 N 的利用. *土壤学报*, 2000, 37(3): 330~ 338. Shen Q R, Wang Y, Shi R H. Changes of soil microbial biomass N and soil fixed ammonium during rice growth and use efficiency of residual N by rice (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(3): 330~ 338
- [ 15 ] 姚槐应, 何振立, 黄昌勇. 红壤微生物量氮的周转期及研究意义. *土壤学报*, 1999, 36(3): 387~ 394. Yao H Y, He Z L, Huang C Y. Turnover period of microbial biomass nitrogen in red soil and its significance in soil fertility evaluation (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(3): 387~ 394
- [ 16 ] 朱兆良. 土壤氮素的矿化和土壤氮素有效性指标的评价. 见: 朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 37~ 59. Zhu Z L. The evaluation of soil nitrogen mineralization and index of availability of soil nitrogen. In: Zhu Z L, Wen Q X. eds. *Nitrogen in Soil of China* (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science & Technology Press, 1992. 37~ 59
- [ 17 ] 尹文英, 张容祖, 王世彰, 等. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 1999. 149~ 151. Yin W Y, Zhang R Z, Wang S Z, *et al.* *Soil Animals of China* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 149~ 151

- [18] Griffiths B S. The role of bacterial-feeding nematodes and protozoa in rhizosphere nutrient cycling. *Aspect of Applied Biology*, 1989, 22: 141~ 145
- [19] Sims J L, Wells J P, Tackett D L. Predicting nitrogen availability to rice: Comparison of methods for determining available nitrogen to rice from field and reservoir soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1967, 31: 672~ 675
- [20] Allison S M, Prosser J L. Survival of ammonia oxidizing bacteria in air-dried soil. *FEMS Microbiology Letters*, 1991, 79(1): 65~ 68
- [21] Bodelier P L E, Duyts J. Interactions between nitrifying and denitrifying bacteria in gnotobiotic microcosms planted with the emergent macrophyte *Glyceria maxima*. *FEMS Microbiology Ecology*, 1998, 25(1): 63~ 78
- [22] Shi W, Norton J M. Microbial control of nitrate concentrations in an agricultural soil treated with dairy waste compost or ammonium fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32: 1 453~ 1 457
- [23] Dancer W S, Peterson L A. Ammonification and nitrification of nitrogen as influenced by soil pH and previous treatments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1973, 37: 67~ 69
- [24] Saharawat K L. Nitrification in some tropic oxide soils. *Plant and Soil*, 1982, 65: 281~ 286

## EFFECTS OF REWETTING ON SOIL BIOTA STRUCTURE AND NITROGEN MINERALIZATION, NITRIFICATION IN AIR-DRIED RED SOIL

Lin Jianghai Li Huixin Hu Feng Zhao Haiyan

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** Effects of rewetting of air-dried red soil on soil biota composition, nitrogen mineralization and nitrification were studied in the laboratory. Four treatments were designed: (1) rewetting of air-dried upland red soil (RU); (2) fresh upland red soil (FU); (3) rewetting of air-dried nursery red soil (RN); (4) fresh nursery red soil (FN). The results indicate: the populations of soil microorganisms including bacteria, fungi, actinomycetes in the rewetted red soil increased obviously after 5 days incubation when compared with those in the fresh red soil, especially the population of bacteria, which were 6.26 and 6.84 times as large as that in the fresh of upland and nursery soil, respectively. As a result of the increase in soil microbes, the soil microbial biomass C (SMBC) and soil microbial biomass N (SMBN) increased in the rewetted air-dried red soil treatments. The increasing population of soil microbes after 28 days' incubation leveled off and was still somewhat equal to or a bit smaller than that after 5 days' s pre-incubation of all the treatments. However, the population of microbes in the rewetted air-dried red soil was still larger than that in the fresh red soil after 28 days' incubation. With the increase in microbe population and biomass, nitrogen mineralization was sped up, which led to increase in  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration. After 28 days' incubation, the  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentrations in the rewetted air-dried soils increased in comparison with those after 5 days' pre-incubation and obviously higher than in the fresh soils. At the same time,  $\text{NO}_3^+\text{-N}$  concentrations also increased, but they were significantly higher in the fresh soils than in the rewetted red soil. The experiment also shows that after 28 days' incubation, the population of free-living nematodes in the treatments of rewetting air-dried upland and nursery red soil of could hardly recover, being 16.0% and 30.1% of that in the fresh red soil, respectively. After 28 days' incubation of the rewetted air-dried red soil, the net mineralization and mineralization rate increased significantly ( $p < 0.05$ ), but the net nitrification and the net nitrification rate decreased significantly ( $p < 0.05$ ), when compared with that in the fresh red soil. The possible reason was that the populations of ammonium oxidizers and nitrite oxidizers, which play a key role in the process of nitrification, could hardly get recovered from the damage of air-drying.

**Key words** Drying effect; N-mineralization; N-nitrification; Soil organism