

# 水稻根际硝化-反硝化作用生态因子的 水平空间变异\*

李振高 俞慎 潘映华 王俊华 吴胜春

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 采用根际模拟和切片技术研究水稻根区土壤硝化-反硝化作用及其相关生态因子沿根系接触面水平空间变异的结果表明, 土壤潜在硝化作用强度和反硝化作用强度随距根系接触面距离的增加而降低; 由于硝化细菌是严格的好氧微生物, 土壤潜在硝化强度随距根系接触面水平距离急剧减弱, 而潜在反硝化强度则变弱趋势较为缓和; 土壤 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取碳及其碳氮比随距根系接触面距离增大而下降, 土壤速效氮则反之; 土壤亚硝酸细菌在距根系接触面 10—20mm 和 20—30mm 区分布较高, 在根际土壤层因受水稻根系竞争吸收影响反而分布较少。

**关键词** 水稻根际, 硝化-反硝化作用, 生态因子

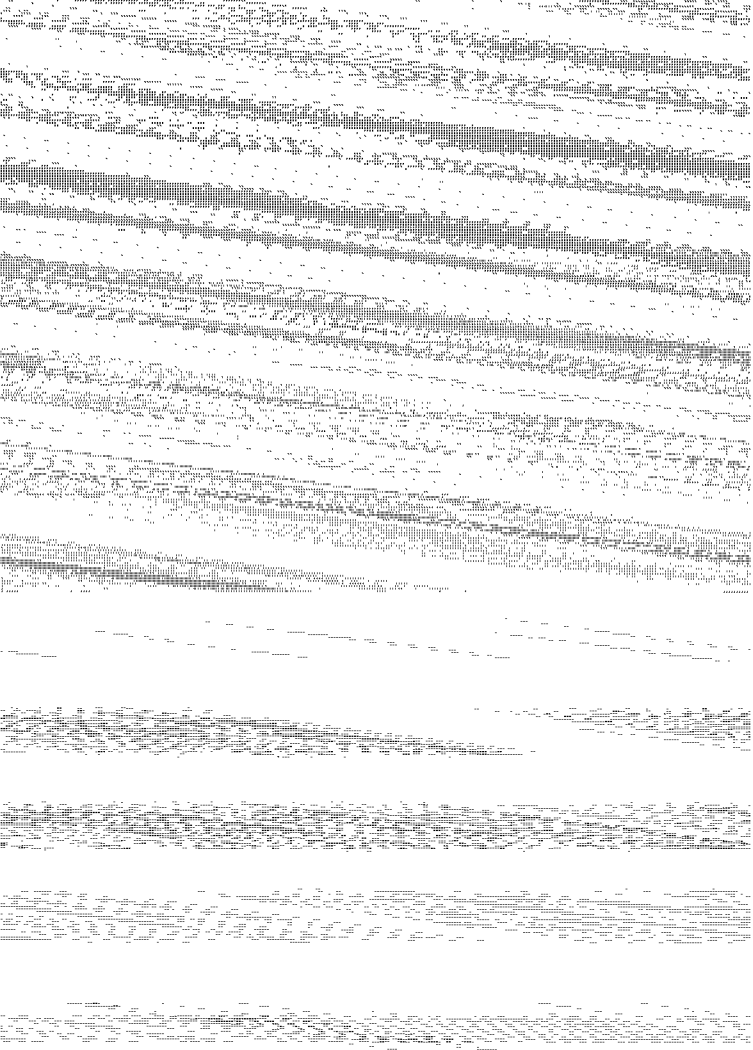
**中图分类号** S182

在稻田生态系统中, 氮肥在土壤中的去向一直受到人们的广泛的关注。如何提高稻田土壤的氮肥利用率是土壤学家和农学家迫切需要解决和热衷于研究的问题。在稻田生态系统中, 氮素的损失途径包括氨挥发、硝化-反硝化氮素损失和  $NO_3^-$  的淋失等, 其中土壤微生物参与的硝化-反硝化作用被认为是稻田生态系统氮素转化和损失的主要途径之一。分子水平的研究表明, 影响生物硝化作用和反硝化作用的主要因子分别是氧、 $NH_4^+$  和氧、 $NO_3^-$ 、土壤速效有机碳含量<sup>[1]</sup>, 而其关键因子是氧——土壤氧分压。由于水稻根系的泌氧特性和水土界面的存在, 使得植稻土壤在根际和水土界面发生氧化-还原层分异, 使硝化作用和反硝化作用在稻田土壤中同时存在并发生。在土壤生物硝化作用过程中, 土壤硝化细菌不但氧化  $NH_4^+$  生成  $NO_3^-$ , 为还原层的反硝化细菌进行反硝化作用提供了电子受体; 并且在土壤氧分压较低时, 硝化细菌同样也会产生 NO 和  $N_2O$  含氧气体, 造成系统的氮素气态损失<sup>[1-4]</sup>。因此, 土壤生物硝化作用在稻田生态系统的氮素气态损失中起着重要的作用。

本文运用根际模拟手段和切片技术<sup>[5]</sup>, 将水稻根际土壤进行人为的水平分切, 研究了水稻根际土壤硝化-反硝化作用生态因子(土壤亚硝酸细菌数量、土壤潜在硝化作用、土壤潜在反硝化作用以及土壤 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取碳、氮和 C/N 比)的水平空间变异。

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号39170028)

收稿日期: 1997-02-28; 收到修改稿日期: 1997-12-25



1.3.3 盆栽试验 称通过 10 目筛孔风干土 5000g, 拌入 200mgN/kg(硫酸铵), 用逐步稀释法拌匀。将安装好土块的根架(图 1)埋入盆钵中, 土面与根架梯形漏斗下缘齐, 加水至约 3cm 的淹水层。培养 12 天后, 取出根架, 进行切片。试验重复两次。

1.3.4 土块切片 将接触土块取出, 沿根接触面向根外进行切片, 离根接触面 0—10mm、10—20mm、20—30mm 和 30—40mm, 重复土样同层次混合后置于保鲜袋内, 冰箱冷藏备用。

#### 1.4 微生物分析

土壤亚硝酸细菌采用 MPN 法分析, 细菌总数采用琼脂平板计数法分析, 培养基和具体分析步骤详见《土壤微生物研究法》<sup>[8]</sup>。

#### 1.5 土壤潜在硝化作用强度

称取一定量的土壤样品(相当于 10—20 克的烘干土), 置于 50ml 的三角瓶中, 加入硫酸铵溶液(1mgN/瓶), 调节水分至淹水状(固定体积, 用重蒸馏水), 用聚乙烯薄膜封好瓶口, 在 30℃ 的恒温箱内培养 2 周。同时, 设置不加硫酸铵的对照处理。

培养完毕后, 以水土比 5:1 加入 2% 的  $K_2SO_4$  溶液, 在往复式振荡器上振荡 30 分钟, 用干滤纸过滤。用酚二磺酸法测定提取液中的  $NO_3^-$  含量, 计算土壤潜在硝化作用强度(以每克烘干土产生  $\mu gNO_3^- - N$  表示)。

#### 1.6 土壤潜在反硝化作用强度

称取一定量的土壤样品(相当于 5—10 克的烘干土), 置于 50ml 的血清瓶中, 加入硝酸钾溶液(1mgN/瓶), 调节水分至淹水状(固定体积, 用重蒸馏水), 用橡皮塞封好瓶口, 抽真空充入氮气(反复三次), 在 30℃ 的恒温箱内培养 40 小时。同时, 设置不加硝酸钾的对照处理。

培养完毕后, 以水土比 5:1 加入 2% 的  $K_2SO_4$  溶液, 在往复式振荡器上振荡 30 分钟, 用干滤纸过滤。用酚二磺酸法测定提取液中的  $NO_3^-$  含量, 计算土壤潜在反硝化作用强度(以每克烘干土消耗  $\mu gNO_3^- - N$  表示)。

#### 1.7 土壤 0.5mol/L $K_2SO_4$ 可提取碳和氮

用 0.5mol/L  $K_2SO_4$  提取, 干滤纸过滤。重铬酸钾容量法测定滤液中的有机碳含量作为土壤 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取碳, 混合催化剂消化-半微量蒸馏法测定滤液全氮作为土壤 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取氮。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水稻根区土壤 0.5mol/L $K_2SO_4$ 可提取碳氮以及 C/N 水平空间变异

水稻根际是受水稻根系影响最大的区域, 不但是水稻植株和土壤微生物竞争吸收各种养分的区域, 同时又是根系分泌物和脱落物直接进入土壤的区域, 能刺激土壤微生物的生长。

水稻根区土壤(接触土块)与水稻根面接触培养 12 天后, 土壤 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取碳、氮的分析结果表明, 土壤速效氮含量随距根系接触面距离增大而增加, 而土壤 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取碳的含量则反之(图 2)。土壤速效氮的递增趋势与钦绳武等(1984)的研究结果一致, 即由于水稻根系的吸收, 在根际土壤中形成了一个氮素的匮乏区域。钦绳武等的研究结果还指出作物一半以上的氮素来自于 0—10mm 这一区域的土壤。

同时,根际土壤是作物根系分泌物和脱落物的直接接受区域,土壤的  $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$  可提取碳含量高于其他层次土壤。

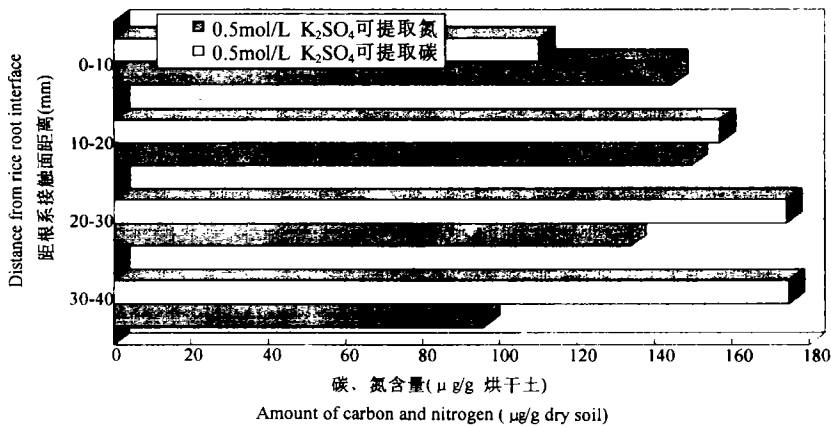


图2 水稻根区土壤 $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$ 可提取碳、氮的水平空间变异

Fig.2 Horizontal spatial variation of extractable C and N in soil of rice rhizosphere by  $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$  solution

另外,四个层次的土壤  $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$  可提取碳氮比(图3)也和土壤  $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$  可提取碳的趋势一样,随距根系接触面距离的增加而减小。

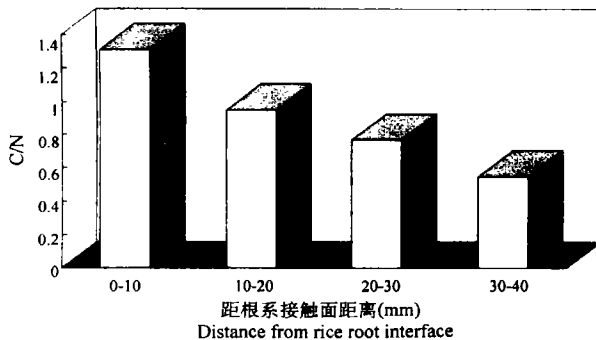


图3 水稻根区土壤 $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$ 可提取碳氮比的水平空间变异

Fig.3 Horizontal spatial variation of the ratio of extractable C to N in soil of rice rhizosphere by  $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$  solution

## 2.2 水稻根区土壤亚硝酸细菌分布的水平空间变异

水稻根系不但影响了根区土壤的  $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$  可提取碳氮的含量和 C/N 比,同时也引起了土壤亚硝酸细菌在水平空间分布上的变异。图 4 的结果表明,根际土壤(0—10mm)的亚硝酸细菌的数量明显小于距根系接触面距离 10—20mm 和 20—30mm 的土壤层。亚硝酸细菌是严格的好氧细菌,通过氧化  $\text{NH}_4^+$  成  $\text{NO}_3^-$  获得能量。根际区土壤由于水稻根系的竞争吸收,造成了土壤氮素的匮乏,使亚硝酸细菌的增殖受到影响;而距水稻根系接触面距离 10—20mm 和 20—30mm 的土壤层,由于水稻根系的泌氧作用使这两个土壤层的氧分压还能满足亚硝酸细菌的生长,土壤  $0.5\text{mol/L K}_2\text{SO}_4$  可提取氮含量较根际土壤的高,使亚硝酸细菌得以大量增殖。另外,由于水稻根系吸收  $\text{NH}_4^+$ ,释放出大量的质子,

并分泌出有机酸等酸性物质,使根际土壤局部区域的 pH 下降,也能限制土壤亚硝酸细菌的增殖。

距根系接触面距离 30—40mm 的土壤层,亚硝酸细菌明显少于 10—20mm 和 20—30mm 区域土壤,这是由于土壤氧分压造成的。

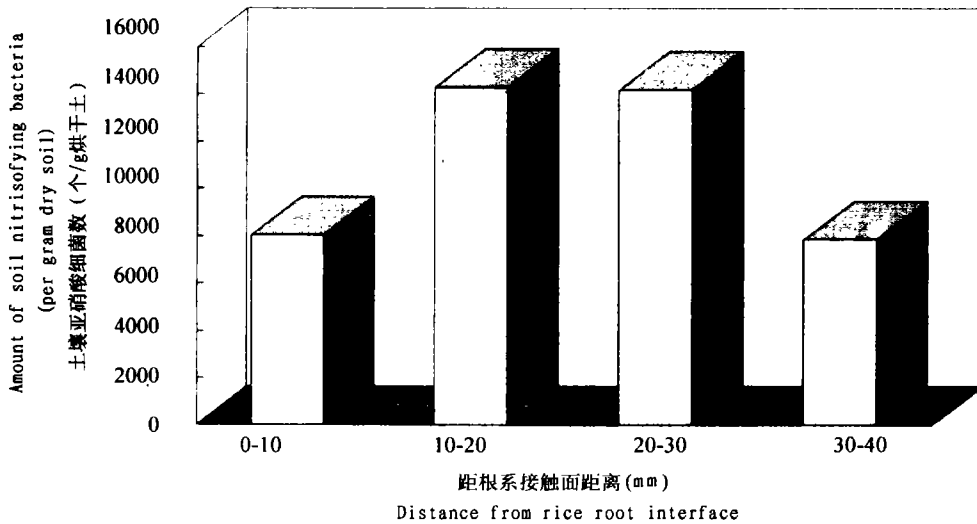


图4 水稻根区土壤亚硝酸细菌的水平空间变异

Fig.4 Horizontal spatial variation of nitrosifying bacteria in soil of rice rhizosphere

### 2.3 水稻根区土壤潜在硝化作用强度和反硝化作用强度

土壤的 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取碳、氮含量和碳氮比、亚硝酸细菌与距根系接触面距离的相关性同样也反映在土壤潜在硝化和反硝化作用强度上。土壤 0.5mol/L  $K_2SO_4$  可提取碳、氮是土壤微生物得以生存和增殖的物质基础,土壤亚硝酸细菌的分布则间接反映了土壤硝化作用强度。在分子水平上同时限制土壤硝化作用和反硝化作用的主要因素是土壤氧分压。正是由于水稻根系的泌氧功能,在与水稻根系紧密接触的土壤区域引起了氧化—还原分异,从而使土壤硝化和反硝化作用能在狭小的水稻根际区域连续发生。

土壤潜在硝化作用强度和反硝化作用强度反映了土壤最大可能的硝化作用和反硝化作用强度。水平空间分层切片的研究结果表明,水稻根区土壤潜在硝化强度和反硝化强度都以同样的趋势随距根系接触面距离增加而递减(图 5)。

水稻根系的泌氧能力并不是很强,另外土壤中其他微生物呼吸作用的消耗,使土壤氧分压在水平空间上的梯度差很大,反映在土壤潜在硝化作用强度上是随距根系接触面距离以指数曲线下降。

反硝化细菌是一类异养型兼性厌氧细菌,在土壤中进行反硝化作用主要受到土壤氧分压和硝酸根浓度的影响。图 5 结果表明,根际土壤区和距根系接触面距离 10—20mm 区土壤的潜在反硝化作用强度明显大于距根系接触面距离 20—30mm 和 30—40mm 区土壤。这是由于根际土壤区和距根系接触面距离 10—20mm 区虽然受水稻根系泌氧的影响,但由于土壤硝化作用的存在,在消耗土壤氧的同时产生了硝酸根,使根际区和距根系接触

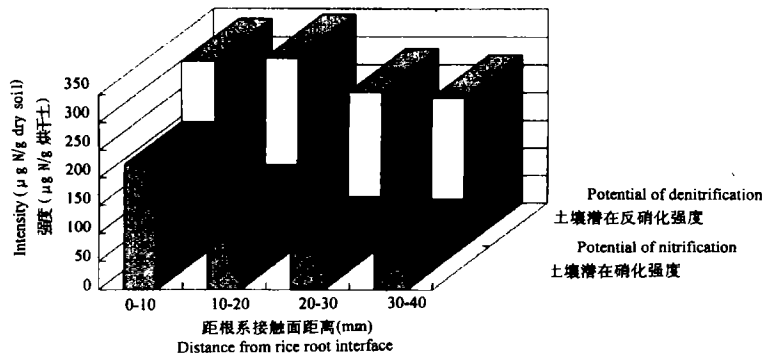


图5 水稻根区土壤潜在消化、反硝化强度水平空间变异

Fig.5 Horizontal spatial variation of potential nitrification and denitrification intensities in soil of rice rhizosphere

面距离 10—20mm 区土壤的潜在反硝化作用强度大于其他两层土壤。但土壤氧分压对土壤潜在反硝化作用还有一定的影响,根际区土壤潜在反硝化强度较距根系接触面距离 10—20mm 区略弱。

### 参 考 文 献

1. Firestone M K, Davidson E A. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil In: Andreae M O Schimel D S. ed. Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere. John Wiley & Sons Ltd., 1989. 7—21
2. 何念祖,孟赐福编著. 植物营养原理. 上海:上海科学技术出版社,1987. 82—99
3. Freney J R, Simpson J R. Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems. Martinus Nijhoff, 1983. 33—59
4. Haynes R J. Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System. Academic Press Inc., 1986. 129—158, 258—286
5. 钦绳武,刘芷宇. 土壤-根系微区养分状况的研究 III. 水稻根际氮素的变化. 土壤学报,1984,21(3):238—245
6. 中国科学院南京土壤研究所. 中国太湖地区水稻土. 上海:上海科学技术出版社,1980
7. 刘芷宇等编著. 主要作物营养失调症状图谱. 北京:农业出版社,1982
8. 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著. 土壤微生物研究法. 北京:科学出版社,1985

## HORIZONTAL SPATIAL VARIATIONS OF ECOLOGICAL FACTORS OF NITRIFICATION-DENITRIFICATION IN SOIL OF RICE RHIZOSPHERE

Li Zhen-gao Yu Shen Pan Ying-hua Wang Jun-hua Wu Sheng-chun

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

### Summary

Horizontal spatial variations of nitrification-denitrification in soil and its ecological factors in the soil of rice rhizosphere were determined by the eco-modeling technique and cutting method. Results indicated that the potential nitrification and denitrification intensities in soils decreased with increase in distance from the rice root interface. The potential nitrification intensity in soil dropped down sharply with increase in distance, but the potential denitrification intensity changed moderately, because the nitrifying bacteria are strict aerobic-autotrophic microorganisms and the denitrifying bacteria are facultative anaerobes. The amount of available carbon in soil and the ratio of that to the amount of available nitrogen reduced with increase in distance from the root interface, but the amount of available nitrogen increased. The amount of nitrosifying bacteria was larger in the zones of 10—20mm and 20—30mm from the root interface than that of 0—10mm due to the competitive absorption of nitrogen.

**Key words** Rice rhizosphere, Nitrification-denitrification, Ecological factor