

DOI: 10.11766/trxb201608170302

阶段培养法测定稻田氮素矿化量的效果评价*

宋 攀¹ 于彩莲^{1, 2} 刘智蕾¹ 刘 洋¹ 刘小慧¹ 彭显龙^{1, 3†}

(1 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

(2 哈尔滨理工大学化学与环境工程学院, 哈尔滨 150040)

(3 黑龙江粮食产能协同创新中心, 哈尔滨 150030)

摘 要 传统原位培养法测定的氮素矿化量与无氮区水稻吸氮相关性不高。为此对传统培养方法进行改进, 以期为准确测定土壤供氮提供方法。传统培养方法是在插秧前取土, 按水土比约 1:1 装入自封袋中于田间原位连续培养, 每隔约 30 d 取样测定土壤无机氮含量。改进培养方法则采取阶段培养的方法, 在插秧前取土, 同上法装入自封袋, 再将自封袋放入装满水的离心管中于田间培养, 在下次取土样 (约 30 d 后) 的同时取出上次培养的土袋, 并测定土壤无机氮含量。2013—2015 年的试验结果表明, 随着培养时间的延长, 传统培养方法测定的矿化氮先增加后降低, 与最高值相比, 矿化氮下降了 6.7%~28.6%; 而改进的阶段原位培养法测定矿化氮未出现下降情况, 因此传统方法测定的矿化氮较改进方法降低了 30.0%~67.7% ($p < 0.05$)。培养时间对矿化氮量影响显著, 土样在田间连续培养约 40 d 就有抑制氮素矿化的风险, 因此, 每次培养时间不宜过长。改进培养方法测定的矿化氮量与田间无氮区水稻吸氮量之间具有正相关关系, 决定系数 R^2 为 0.621 ($p < 0.01$)。在测定稻田土壤矿化氮时, 应采用阶段培养法, 每次培养时间不宜超过 40 d。该方法测定矿化氮量可以作为评价土壤供氮能力的指标。

关键词 土壤供氮; 原位培养法; 稻田; 矿化氮; 吸氮量

中图分类号 S131+.1; S158.2 **文献标识码** A

水稻吸收的氮 50% 以上源于土壤, 土壤供氮在稻田氮素供应中发挥着重要作用。稻田土壤供氮包括水稻种植前已经存在的矿质氮和水稻生长期间矿化出的氮。通常土壤起始矿质氮含量不高, 且其含量与水稻收获时矿质氮含量基本相当^[1]。因此, 稻田土壤供氮主要取决于有机氮的矿化。

淹水培养法是测定土壤氮素矿化的基本方法^[2], 采用该方法测定的矿化氮量与盆栽试验无氮区作物吸氮量之间有很高的相关性^[3]。虽然测定的矿化氮与田间无氮区水稻吸氮的相关也达到显著水平, 但是决定系数 R^2 较低^[4-5]。这是因为该方法的培养条件与田间实际条件差异较大, 不仅忽视了水稻生

长、铵的固定和损失对氮素矿化的影响, 还未考虑土壤结构和耕作措施等因素的影响^[6-7]。因此, 室内淹水培养法很难准确确定土壤实际的氮素矿化量。在此基础上, 朱兆良^[8]提出了原位培养法, 是目前稻田淹水期间测定土壤氮素矿化量较好的方法。但稻田中期需排水晒田, 水稻抽穗后采用间歇灌溉方式, 稻田并未一直处于淹水状态, 因而限制了该方法的广泛应用。

许多研究者发现, 长时间的连续培养后, 铵态氮大量积累会抑制矿化过程, 造成测定的矿化氮量较低^[9-11], 这可能是测定的矿化氮与无氮区水稻吸氮相关性差的原因之一, 也是传统原位培养法的

* 国家自然科学基金项目 (41101281) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.41101281)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: pxl0508@163.com

作者简介: 宋 攀 (1991—), 男, 山东曲阜人, 硕士研究生, 主要从事寒地稻田土壤供氮研究。E-mail: songzhi5263@163.com

收稿日期: 2016-08-17; 收到修改稿日期: 2016-10-08; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2016-11-14

主要缺点。室内培养试验采用间隔不同时间淋洗的方法^[11],或采用间隔不同时间离心的方法分离土壤与培养液^[12],均可移去累积的矿化氮,避免长时间培养对氮素矿化的抑制。但是在田间条件下,无论是间隔淋洗还是间隔离心的方式均难以应用。针对上述问题,本研究对传统的田间原位培养法进行了两点改进:(1)将过去1次取样一连续长时间培养改为多次间隔取样短期培养,通过采集种植过水稻的鲜土来培养,一方面可以降低培养过程中铵态氮积累的影响,还可以减少水稻生长的影响并使培养的土样更符合实际;(2)在排水晒田或者间歇灌溉条件下,稻田处于无水层状态,无法保持淹水培养条件。为此,在培养过程中将土袋放入装满水的离心管中,以保持淹水培养条件并防止土袋损坏。本研究比较了阶段培养法和连续培养法测定的

矿化量,并分析改进方法测定的矿化氮和无氮区水稻吸氮的相关性,以期改进稻田原位培养方法,为准确测定土壤供氮提供方法。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

2013年,在黑龙江省五常市(S1)和哈尔滨市阿城区(S2)进行试验,五常该地块(S1)的试验重复3年(2013—2015年);2014年,在五常市另一地点(S3)、阿城区另一地点(S4)和黑龙江农垦建三江分局两地点(S5, S6)新增四个试验地点;2015年在黑龙江农垦建三江分局另一地点(S7)进行试验。供试土壤基本理化性状见下表1。

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of tested soil

| 地点 Site | 土壤类型 Soil type | 有机质 Organic matter (g kg ⁻¹) | 全氮 Total N (g kg ⁻¹) | 有效磷 Available P (g kg ⁻¹) | 速效钾 Available K (g kg ⁻¹) | pH |
|------------|------------------------------|--|--|---|---|------|
| S1 | 草甸土型水稻土 Meadow paddy soil | 35.5 | 1.44 | 51.8 | 111 | 6.30 |
| S2 | 黑土型水稻土 Black paddy soil | 36.1 | 1.34 | 25.7 | 113 | 6.60 |
| S3 | 草甸土型水稻土 Meadow paddy soil | 39.9 | 2.03 | 33.0 | 151 | 5.70 |
| S4 | 黑土型水稻土 Black paddy soil | 42.8 | 1.55 | 33.9 | 191 | 6.08 |
| S5 | 白浆土型水稻土 Albic paddy soil | 38.5 | 1.68 | 33.9 | 178 | 6.47 |
| S6 | 白浆土型水稻土 Albic paddy soil | 53.0 | 2.14 | 66.2 | 247 | 6.59 |
| S7 | 白浆土型水稻土 Albic paddy soil | 40.6 | 1.73 | 32.6 | 129 | 6.01 |

注: S1代表五常的试验点(2013—2015年); S2代表阿城的试验地点(2013年); S3代表五常的另一地点(2014年); S4代表阿城的另一地点(2014年); S5、S6分别代表建三江分局两试验点(2014年); S7代表建三江分局另一地点(2015年),下同
Note: S1 stands for the experiment site in Wuchang (2013—2015); S2 for the one in Acheng (2013); S3 for the one in Wuchang (2014); S4 for the one in Acheng (2014); S5 for the one in Jiansanjiang (2014); S6 for the one in Jiansanjiang (2014); and S7 for the one in Jiansanjiang (2015). The same below

1.2 无氮肥区试验设计

每个试验地点均设不施氮肥只施磷钾肥处理。磷肥均为重过磷酸钙（含 P_2O_5 44%），钾肥均为氯化钾（含 K_2O 60%），全部磷肥和50%钾肥在整地前撒施，然后旋耕土壤，剩余50%钾肥在拔节期

人工撒施。详细施肥量见表2。五常和阿城试验点（S1、S2、S3和S4）均为河水灌溉，建三江试验点（S5、S6和S7）均为井水灌溉。无氮肥区面积均在 100 m^2 以上，3次重复。供试品种均是当地主栽品种，具体品种及插秧时间、密度等见表2。

表2 各试验地点基本情况

Table 2 Basic situation of each site

| 年份 Year | 地点 Site | 品种 Variety | 育秧时间 Seedling nursing date | 插秧时间 Transplant -ing date | 株行距 Spacing (cm × cm) | 磷肥 P fertilizer (P_2O_5 kg hm^{-2}) | 钾肥 K fertilizer (K_2O kg hm^{-2}) |
|------------|------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|---|
| 2013 | S1 | 五优稻4号 Wuyoudao 4 | 4月15日 April 15th | 5月23日 May 23th | 30 × 15 | 46 | 60 |
| | | 龙稻5 Longdao 5 | 4月25日 April 25th | 5月31日 May 31th | 30 × 13.2 | 35 | 60 |
| 2014 | S1 | 五优稻4号 Wuyoudao 4 | 4月12日 April 12th | 5月13日 May 13th | 30 × 15 | 46 | 60 |
| | | 五优稻4号 Wuyoudao 4 | 4月12日 April 12th | 5月13日 May 13th | 30 × 15 | 46 | 60 |
| | S4 | 五优稻4号 Wuyoudao 4 | 4月11日 April 11th | 5月17日 May 17th | 30 × 13.2 | 46 | 60 |
| | | 空育131 Kongyu 131 | 4月15日 April 15th | 5月15日 May 15th | 30 × 13.2 | 30 | 60 |
| | S6 | 松梗10 Songjing 10 | 4月15日 April 15th | 5月15日 May 15th | 30 × 13.2 | 40 | 60 |
| | | 空育131 Kongyu 131 | 4月15日 April 15th | 5月15日 May 15th | 30 × 13.2 | 40 | 75 |
| 2015 | S1 | 五优稻4号 Wuyoudao 4 | 4月15日 April 15th | 5月20日 May 20th | 30 × 15 | 46 | 60 |
| | | 空育131 Kongyu 131 | 4月15日 April 15th | 5月15日 May 15th | 30 × 13.2 | 40 | 75 |

1.3 原位培养试验

2013年S1、S2点，以及2014年S3点分别采用连续和阶段培养方法测定矿化氮量；2014—2015年，除S3点外其他试验点采用阶段培养方法测定土壤氮素矿化量。

连续培养方法^[8]：在水稻插秧前取0~20 cm土层新鲜土样，去除杂物混匀。称取约12 g鲜土放入自封袋，加10 ml蒸馏水，混匀后封口，将土袋放入另一个自封袋埋入土壤（深约5 cm）培养。每个点埋3个位置，每处理12个土袋。分别于埋后约30（分蘖期）、60（拔节前后）、90（抽穗期）和115（抽穗后25 d）d取出每个位置的3个土袋，

测定无机氮含量。

阶段培养方法：改插秧前1次取样连续培养为多次取样分段培养。分别在水稻插秧前、分蘖期（插秧后约30 d）、拔节期前后（插秧后约60 d）和抽穗期（插秧后约90 d）取样，称取约12 g鲜土，放入自封袋中，加10 ml蒸馏水，混匀后封口。为防止土袋损坏以及保持淹水状态，将土袋放入100 ml具塞塑料离心管内，并向管内注满水。同连续培养法埋入3个位置培养，并在每次培养约30 d后取出每个位置的3个土袋，测定土壤中无机氮。

因抽穗后30 d即停止灌溉，稻田很长时间处于

非淹水状态。在抽穗后25 d取样后(2013年),挑出根茬混合均匀,称取约12 g放入直径为2 cm、高10 cm的有机玻璃柱中,参照旱田的方法进行培养^[12]。2014—2015年,在抽穗后25 d取样后仍按照阶段培养法进行培养,并测定无机氮含量。

原位培养法的条件试验:2015年,在五常(S1)和建三江(S7)两地,在插秧前和拔节期分别取0~20 cm土层新鲜土样,同上述改进培养方法进行处理,每地埋入12个土袋进行原位培养。分别在培养后约30、40、50、60 d时取出,每次取3个土袋作为重复,测定无机氮含量。

1.4 样品采集与测试

将每次插秧前采集的鲜土混匀后,一部分放入田间原位培养,另一部分放入便携式冰箱,带回实验室。取约10 g土样2份,1份用于测定土壤含水量;另一份加入100 ml 2.0 mol L⁻¹的KCl溶液,震荡30 min,过滤后收集上清液,用德国Bran Luebbe AA3流动分析仪测定NH₄⁺-N和NO₃⁻-N含量。

2013年和2014年,于分蘖期、拔节期、抽穗期、抽穗后25 d和成熟期,按平均分蘖取水稻植株,将茎叶和穗分开,于105℃杀青,80℃烘干,称重。用靛酚蓝比色法测定植株全氮含量,并计算氮素积累量。2015年未分析该指标。

1.5 数据处理

氮素矿化量=培养后土壤无机氮-培养前土壤无机氮

累积矿化氮量=各阶段氮素矿化量之和

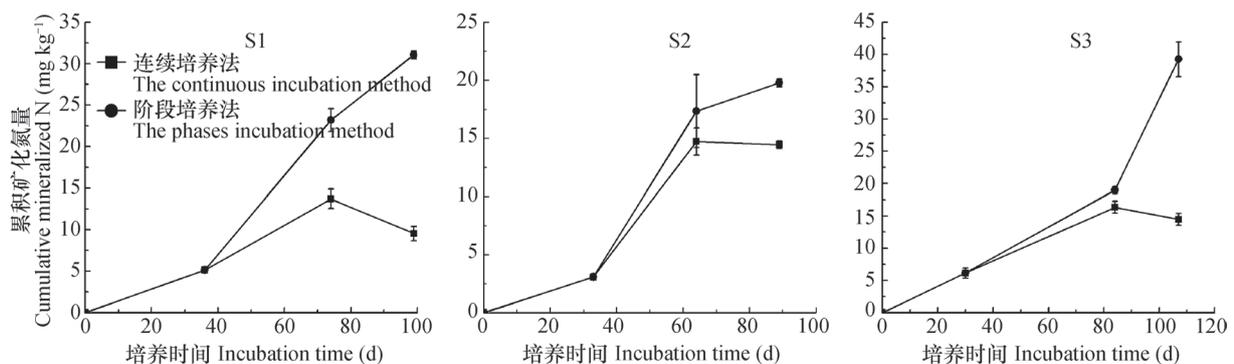
土壤供氮量=(成熟期水稻无机氮-插秧期土壤无机氮)+累积矿化氮量

数据间方差分析均采用SAS 9.0软件,图表制作以及数据间相关分析均用Excel 2010软件进行。

2 结果

2.1 不同培养方法测定的矿化氮量

随着培养时间延长,阶段培养法测定的土壤矿化氮一直增加,在培养后期连续培养法测定的矿化氮则表现出了下降趋势(图1)。在S1、S2和S3分别培养至76、64和84 d时,阶段培养法测定的矿化氮分别占总矿化氮量的74.7%(S1)、87.7%(S2)和48.3%(S3),而连续培养法测定矿化氮量均已达到最大值。与矿化最高点相比,连续培养法测定的矿化氮量下降了6.7%~28.6%;与阶段培养法比,连续培养法测定的总矿化氮量降低了30.0%~67.7%($p < 0.05$)。这说明,连续培养法抑制氮素矿化,而改进的阶段培养法则能减轻或者



注:数值为3个重复的平均值±标准差,下同 Note: Values in the figure are means ± standard errors of three replicates.

The same below

图1 连续和阶段培养法测得的土壤累积矿化氮量

Fig. 1 Cumulative mineralized N in the soil relative to measuring method

避免这种氮素矿化受抑制的问题。

2.2 培养时间对矿化氮的影响

因长时间培养会抑制氮素矿化,试验分析了培养时间与氮素矿化的关系(图2)。在插秧时取样培养,随着培养时间延长矿化氮含量增加

(图2A);在拔节期取样培养,随着培养时间的延长矿化氮有明显降低的趋势(图2B),两个地点分别在培养后35 d和42 d达到最高值。与矿化量最高值相比,培养约60 d时的矿化氮下降了4.5%~8.7%。

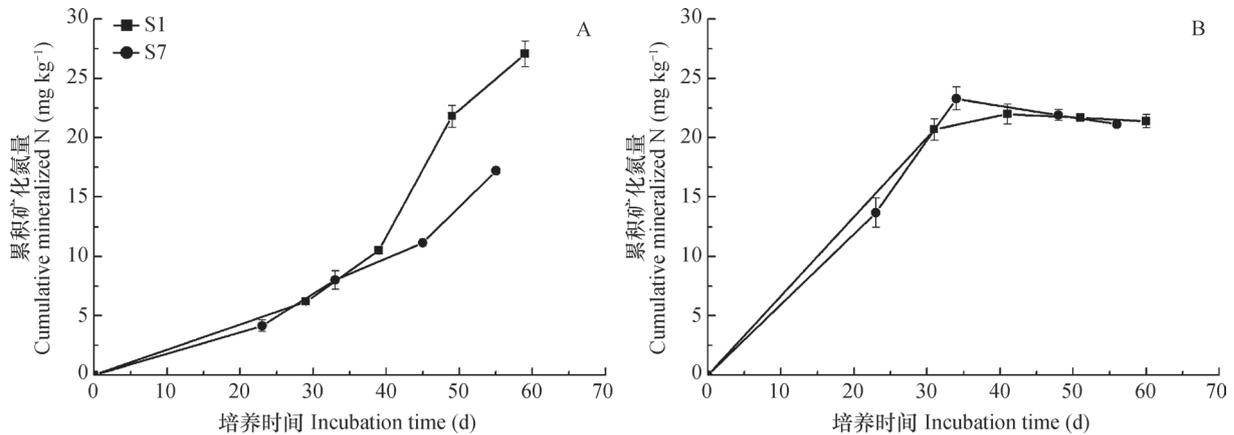


图2 插秧期 (A) 和拔节期 (B) 培养时间对土壤氮素矿化的影响

Fig. 2 Effects of duration of the incubation on N mineralization at the transplanting (A) and jointing stages (B)

2.3 无氮区水稻吸氮与矿化氮量的关系

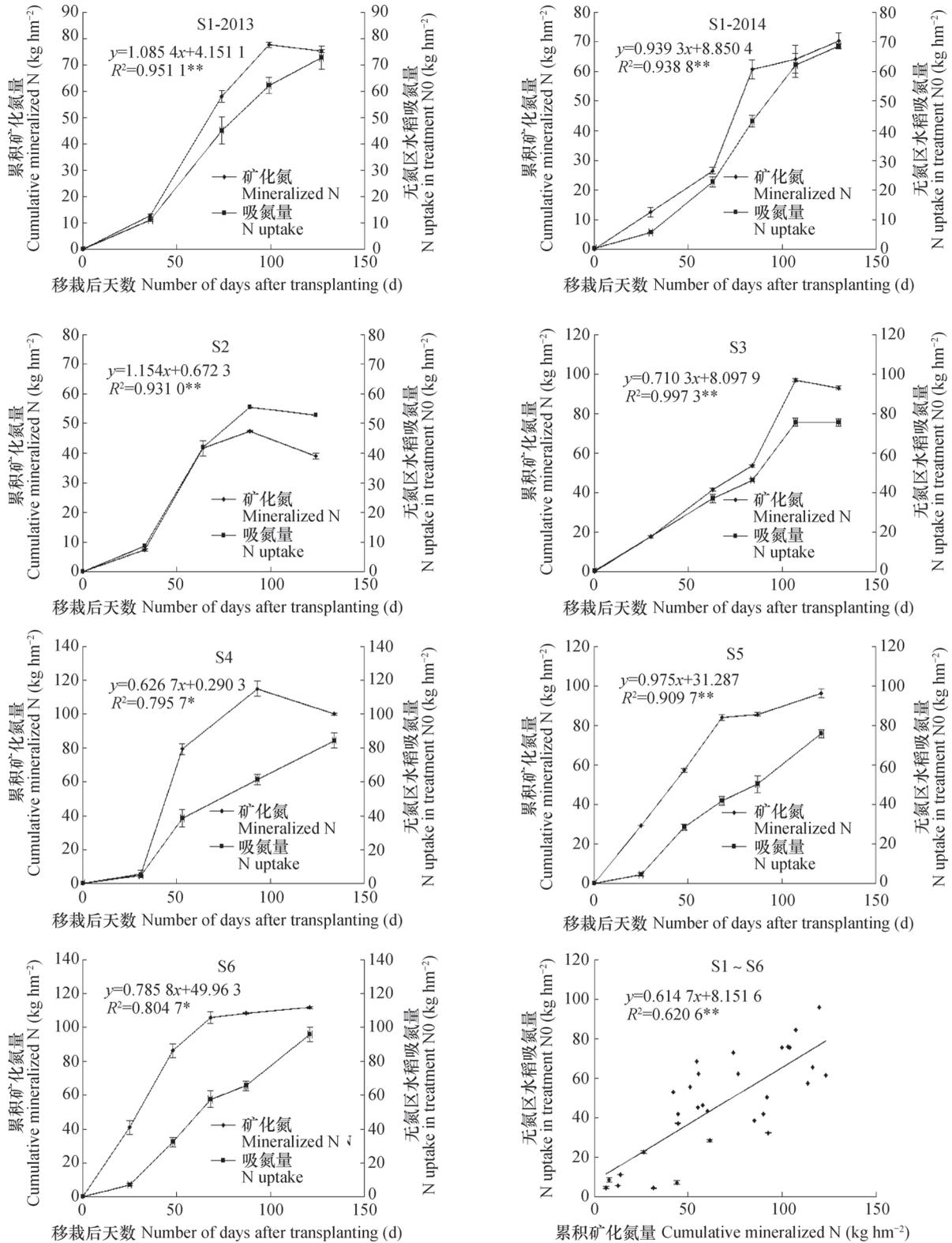
2015年没有无氮区水稻吸氮数据, 因此只对 S1 ~ S6 点的数据进行了相关分析。同一地点, 无氮区水稻吸氮曲线与土壤矿化氮曲线变化趋势相似, 不同地点间水稻吸氮量和矿化量存在较大差异 (图3)。水稻吸氮量和土壤矿化氮量均呈现出前期较慢, 中间较快, 后期又变慢的特点。2年7个地点 (S1点试验进行了2年) 无氮区水稻吸氮总量为 52.83 ~ 95.92 kg hm⁻², 平均值 75.10 kg hm⁻²; 土壤矿化氮量 39.00 ~ 111.7 kg hm⁻², 平均值 81.43 kg hm⁻²。各地点的土壤矿化氮量和水稻吸氮有较高的相关性 ($R^2=0.796 \sim 0.997$, $p < 0.05$) (图3); 所有地点数据放在一起分析, 土壤矿化氮和水稻吸氮也为显著正相关关系 ($R^2=0.621$, $p < 0.01$) (图3)。即土壤氮素矿化可以解释水稻吸氮变异的60%以上。

2.4 插秧期和成熟期土壤无机氮含量

不同年份、地点间的土壤起始无机氮 (插秧期) 和成熟期无机氮含量差异较大 (图4)。连续三年 (图4A), S1点土壤起始无机氮和收获时无机氮含量互有高低, 差异不显著。其他5个地点 (图4B) 的土壤起始无机氮和收获时无机氮含量也互有高低, 绝大多数差异不显著 (S6点除外)。如果仅分析成熟期水稻吸氮量与土壤供氮量或者与土壤矿化氮的相关性, 二者均呈显著正相关关系 (图5), 决定系数 R^2 分别为 0.857 和 0.827 ($p < 0.01$), 前者稍高于后者。

3 讨论

本研究表明, 连续培养约 60 d 后, 累积矿化氮量会出现不同程度的下降。张玉玲等^[11]也发现, 水田土壤培养一段时间后其累积矿化量会下降。其主要原因是: 连续培养法未能及时移去矿化氮, 使矿化氮不断累积, 过高的矿化氮会抑制矿化过程。氮素矿化过程主要由微生物驱动^[13], 当矿化氮累积到一定程度就会抑制氨化微生物繁殖, 导致其他微生物大量繁殖, 这些微生物以未矿化的有机物为碳源, 消耗矿化出来的铵态氮^[14], 当铵态氮的消耗量大于矿化量时, 土壤表观矿化氮量则开始降低。本试验分析了培养时间与氮素矿化的关系, 在插秧后即使培养接近 60 d, 矿化氮也不会降低 (图2A), 而拔节后培养约 40 d 就会有矿化氮降低的风险。插秧后培养约 40 d, 矿化氮只有约 10 mg kg⁻¹ (图2A), 而拔节后对应值则高于 20 mg kg⁻¹ (图2B)。插秧后 40 d 矿化量低, 因此无明显的抑制作用, 拔节后 40 d 矿化氮量高是其抑制氮素矿化的原因。此外, 长时间培养是否抑制氮素矿化可能也与气温变化有关: 水稻插秧后气温一直升高, 而拔节后气温先升高后降低, 温度一直增加矿化氮量随之提高; 但是, 温度由高变低可能会抑制氮素矿化^[10], 这可能是拔节后 40 d 矿化氮降低的原因之一。同样道理, 抽穗后 25 d 以后气温开始降低, 随着培养时间增加, 矿化氮含量也表现出降低或者增加不明显的趋势 (图3)。虽然生育前期连续培养



注：S1~S6为全部试验点数据；*和**分别代表5%和1%显著水平，下同 Note: S1~S6 stands for data collected at 6 experiment sites; * and** for significant difference at 5% and 1% levels, respectively. Treatment N0: No N fertilizer applied. The same below

图3 土壤累积矿化氮与无氮区水稻吸氮的关系

Fig. 3 Relationships between cumulative mineralized N and rice N uptake in Treatment N0

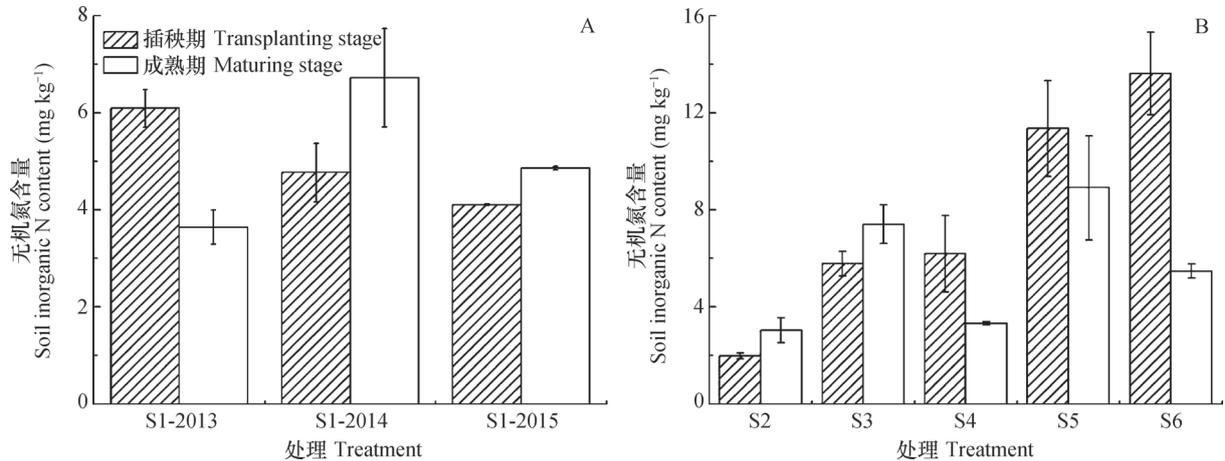


图4 插秧期和成熟期土壤无机氮含量

Fig. 4 Soil inorganic N content at the transplanting and mature stages

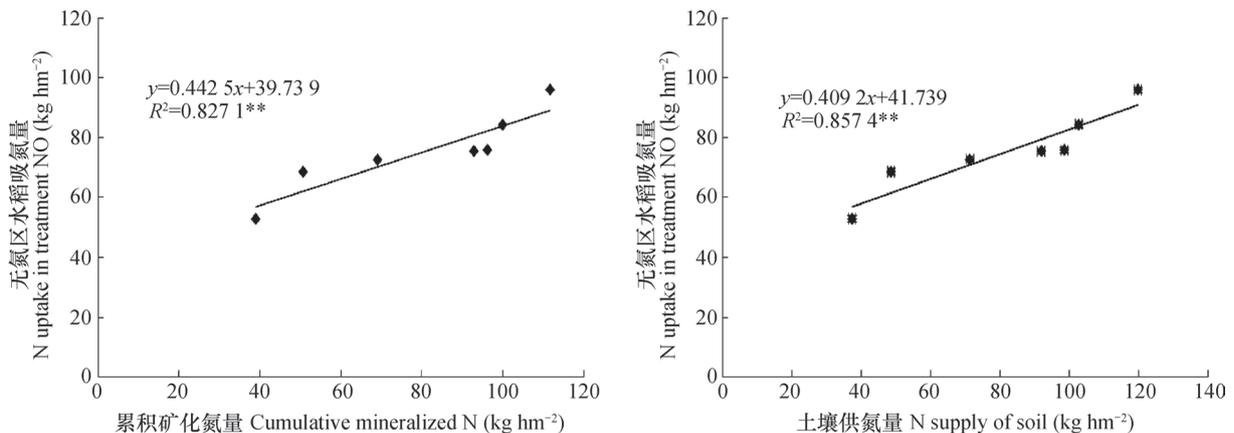


图5 成熟期无氮区水稻吸氮与累积矿化氮量和土壤供氮量的关系

Fig. 5 Relationships of rice N uptake with cumulative mineralized N and soil N supply in Treatment N0 at the maturing stage

60 d矿化氮未降低，但是其矿化量却低于阶段培养法测定的矿化氮量（图1），这说明长时间培养仍抑制了氮素矿化过程。由此可见，每次培养时间不宜超过40 d。

以往的研究中，无论是培养法测定的矿化氮量，还是各种氮素有效性的化学指标，仅与盆栽试验无氮区水稻吸氮具有较好的相关性，上述指标与田间无氮区水稻吸氮间即使达到显著相关，其决定系数也只有0.3左右^[4-5]。本研究中，改进的原位培养法测定的矿化氮与无氮区水稻吸氮显著相关，且决定系数 R^2 超过0.6（图3）。相关性明显提高的原因有：（1）培养温度与田间水稻生长温度一致。温度是影响氮素矿化最重要的因子，温度不同，氮素矿化量和矿化过程将明显不同^[15-17]。室内培养法的培养温度一般是30~40℃，这与田间

温度并不一致。因此，室内培养法测定的是土壤供氮潜力^[18]，而不是土壤实际供应的氮量^[19-21]。而改进的培养方法培养温度与无氮区水稻生长的温度一致，测定的是土壤实际的矿化量，这部分氮是水稻实际吸收的主要氮源，因此，相关性较高。（2）减少了较高铵态氮对氮素矿化的抑制作用。长时间连续培养形成的铵态氮会抑制氮素矿化过程，造成矿化氮含量降低（图1）。其他研究者也发现了类似的现象^[9-11]。为了减少这种影响，试验改连续培养为阶段培养。无氮区水稻生长过程中吸收了大部分矿化氮，当采集无氮区鲜土进行培养时，土壤铵态氮含量并不高，从而能有效减轻过高铵态氮对矿化的抑制作用。（3）稻田根层变浅，养分供应主要集中在0~20 cm土层。过去研究^[3]显示，20 cm以下土层供氮占较大比例，这是测定

的土壤氮和无氮区水稻吸氮相关性差的原因之一。小农户经营模式下,稻田耕作一直以旋耕为主,长时间旋耕后形成了障碍性层次,土壤20 cm以下土层质地坚硬,阻碍了水稻根系的下扎。因此,20 cm以下土层供氮比例变小,在无氮区水稻吸氮中所占比例降低。因此,试验测定0~20 cm土层供氮与无氮区水稻相关性较高。本研究中决定系数 R^2 也只达到0.62,这可能与非土壤来源氮较高有关。田间条件下非土壤来源氮(包括水稻的联合固氮、降雨、灌溉水及秧苗带入的氮)占稻田自然供氮量的28%~42%^[3]。如能定量非土壤来源的氮并加上矿化氮,可能会进一步提高测定指标与无氮区水稻吸氮的相关性。

4 结 论

本研究所提出的阶段原位培养方法,克服了连续培养过程中矿化氮下降的情况。测定的氮素矿化进程与无氮区水稻吸氮进程基本一致,通过本方法测定的矿化氮量与田间无氮区水稻吸氮量之间具有很好的相关性,决定系数 R^2 超过了0.6。该方法测定的矿化氮量可以作为评价稻田土壤供氮能力的指标。

参 考 文 献

- [1] 朱兆良. 关于稻田土壤供氮量的预测和平均适宜施氮量的应用. 土壤, 1988, 20 (2) : 57—61
Zhu Z L. Prediction of nitrogen supply in paddy soil and use of regional appropriate rate for nitrogen fertilization (In Chinese). Soils, 1988, 20 (2) : 57—61
- [2] Waring S A, Bremner J M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature, 1964, 201 (4922) : 951—952
- [3] 朱兆良. 中国土壤氮素研究. 土壤学报, 2008, 45 (5) : 778—783
Zhu Z L. Research on soil nitrogen in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45 (5) : 778—783
- [4] Russell C A, Angus J F, Batten G D, et al. The potential of NIR spectroscopy to predict nitrogen mineralization in rice soils. Plant and Soil, 2002, 247 (2) : 243—252
- [5] 赵晓宇. 寒地稻田土壤养分状况及供氮指标初探. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008
Zhao X Y. Nutrient situation and N supply index of paddy soils in cold area of northeast China (In Chinese). Harbin: Northeast Agricultural University, 2008
- [6] Lehrs G A, Brown B, Lentz R D, et al. Winter and growing season nitrogen mineralization from fall-applied composted or stockpiled solid dairy manure. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2016, 104 (2) : 125—142
- [7] 刘玮, 蒋先军. 耕作方式对土壤不同粒径团聚体氮素矿化的影响. 土壤, 2013, 45 (3) : 464—469
Liu W, Jiang X J. Effects of tillage on nitrogen mineralization in aggregate-size fractions of subtropical rice soil (In Chinese). Soils, 2013, 45 (3) : 464—469
- [8] 朱兆良. 我国水稻生产中土壤和肥料氮素的研究. 土壤, 1981, 13 (1) : 1—6
Zhu Z L. Study on soil nitrogen and fertilizer nitrogen in rice production in China (In Chinese). Soils, 1981, 13 (1) : 1—6
- [9] 丛耀辉, 张玉玲, 张玉龙, 等. 黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献. 土壤学报, 2016, 53 (2) : 457—467
Cong Y H, Zhang Y L, Zhang Y L, et al. Soil organic nitrogen components and their contributions to mineralizable nitrogen in paddy soil of the black soil region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2016, 53 (2) : 457—467
- [10] 彭显龙, 刘春艳, 马昕, 等. 预培养温度对稻田土壤氮素矿化影响. 东北农业大学学报, 2016, 47 (4) : 49—56
Peng X L, Liu C Y, Ma X, et al. Effect of pre-incubated temperature on soil organic nitrogen mineralization in paddy field (In Chinese). Journal of Northeast Agricultural University, 2016, 47 (4) : 49—56
- [11] 张玉玲, 陈温福, 虞娜, 等. 不同利用方式下土壤有机氮素矿化特征的研究. 土壤通报, 2013, 44 (1) : 52—56
Zhang Y L, Chen W F, Yu N, et al. Long-term effects of different land use patterns on mineralizing characteristic of soil organic nitrogen (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44 (1) : 52—56
- [12] Stanford G. Extractable organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils. Soil Science, 1968, 106 (5) : 345—351
- [13] 陈贵, 施卫明, 赵国华, 等. 太湖地区主栽高产水稻品种对土壤和肥料氮的利用特性研究. 土壤, 2016, 48 (2) : 241—247

- Chen G, Shi W M, Zhao G H, et al. Characteristics of utilization of N sources from soil and fertilizer by rice varieties with high yield in Taihu lake area (In Chinese). *Soils*, 2016, 48 (2): 241—247
- [14] 宗海英, 王凯荣, 谢小立. 长期施肥对红壤性水稻土有机氮组分的影响. *应用生态学报*, 2008, 19 (8): 1721—1726
Zong H Y, Wang K R, Xie X L. Effects of long-term fertilization on soil organic nitrogen components in paddy soil derived from red earth (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19 (8): 1721—1726
- [15] Bregliani M M, Ros G H, Temminghoff E J M, et al. Nitrogen mineralization in soils related to initial extractable organic nitrogen: Effect of temperature and time. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 2010, 41 (11): 1383—1398
- [16] Jacynthe D R, Zebarth B J, Georgallas A, et al. Temperature dependence of soil nitrogen mineralization rate: Comparison of mathematical models, reference temperatures and origin of the soils. *Geoderma*, 2010, 157 (3/4): 97—108
- [17] 李源, 祝惠, 袁星. 冻融交替对黑土氮素转化及酶活性的影响. *土壤学报*, 2014, 51 (5): 1103—1109
Li Y, Zhu H, Yuan X. Influence of freezing and thawing cycles on net nitrogen transformation and enzyme activity in black soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 (5): 1103—1109
- [18] 李强, 庄舜尧, 王晋, 等. 不同生物炭对安徽宣城旱地红壤氮矿化的影响. *土壤*, 2015, 47 (4): 641—646
Li Q, Zhuang S Y, Wang J, et al. Effects of various biochars on soil nitrogen mineralization in red soil of upland (In Chinese). *Soils*, 2015, 47 (4): 641—646
- [19] 马力, 杨林章, 颜廷梅, 等. 长期施肥水稻土氮素剖面分布及温度对土壤氮素矿化特性的影响. *土壤学报*, 2010, 47 (2): 286—294
Ma L, Yang L Z, Yan T M, et al. Profiled is tribution and mineralization characteristics of nitrogen in relation to temperature in paddy soil under long-term fertilization (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47 (2): 286—294
- [20] 彭显龙, 刘洋, 于彩莲, 等. 寒地稻田土壤氮素矿化特征的研究. *中国农业科学*, 2014, 47 (4): 702—709
Peng X L, Liu Y, Yu C L, et al. Study on the nitrogen mineralization characters of paddy soil in cold area (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47 (4): 702—709
- [21] 王帘里, 孙波. 温度和土壤类型对氮素矿化的影响. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17 (3): 583—591
Wang L L, Sun B. Effects of temperature and soil type on nitrogen mineralization (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17 (3): 583—591

Effectiveness Evaluation of the Use of Phase Incubation Method to Determine N Mineralization in Paddy Soil

SONG Zhi¹ YU Cailian^{1, 2} LIU Zhilei¹ LIU Yang¹ LIU Xiaohui¹ PENG Xianlong^{1, 3†}

(1 School of Resources and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

(2 Institute of Chemical and Environmental Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

(3 Collaborative Innovation Center of Grain Production Capacity Improvement in Heilongjiang Province, Harbin 150030, China)

Abstract As not much correlation was observed between rice N uptake in Treatment N0 (No N fertilizer applied) and N mineralization rate measured with the traditional *in situ* incubation method, modification was made of this method in an attempt to improve its accuracy in measuring soil N supplying capacity. The traditional one is a continuous incubation method, which goes like this: collect some soil from a paddy field before seedling transplanting, mix it with water at 1 : 1 in volume, pack the mixture in ziplock bags, put the bags back into the field for *in situ* incubation, and then sample the soil in the bag once every 30 days for measurement of inorganic N. The modified one adopts phase incubation and goes almost the same as the traditional one in preparation for incubation, and then put the bags in centrifuge tubes full of water and the tubes back into the field for incubation *in situ* and sample the soil in the bag for analysis of inorganic N

once every 30 days, while removing the ziglock bags of the last phase of incubation. Results of the 2013–2015 experiment show that with the incubation going on, mineralized N content rose first and fell as was measured with the traditional method. Compared with the maximum value, cumulative mineralized N dropped by 6.7% ~ 28.6%. However, the modified one did not see any decline. So the measurement using the traditional method was 30.0% ~ 67.7% ($p < 0.05$) lower than that using the modified one. Duration of the incubation is a major factor affecting the content of mineralized N. When incubation went on continuously over 40 days, it might pose a risk of inhibiting N mineralization. So, each incubation should not last too long or over 40 days. The content of mineralized N measured with the modified method was found to be closely and positively related to rice N uptake measured in Treatment N0, with R^2 being 0.621 ($p < 0.01$). Therefore, it is suggested that when measuring soil mineralized N in paddy field, measurements using the modified one be cited as an indicator to evaluate soil N supplying capacity.

Key words Soil N supply; *In situ* incubation method; Paddy; Mineralized N; N uptake

(责任编辑: 陈荣府)