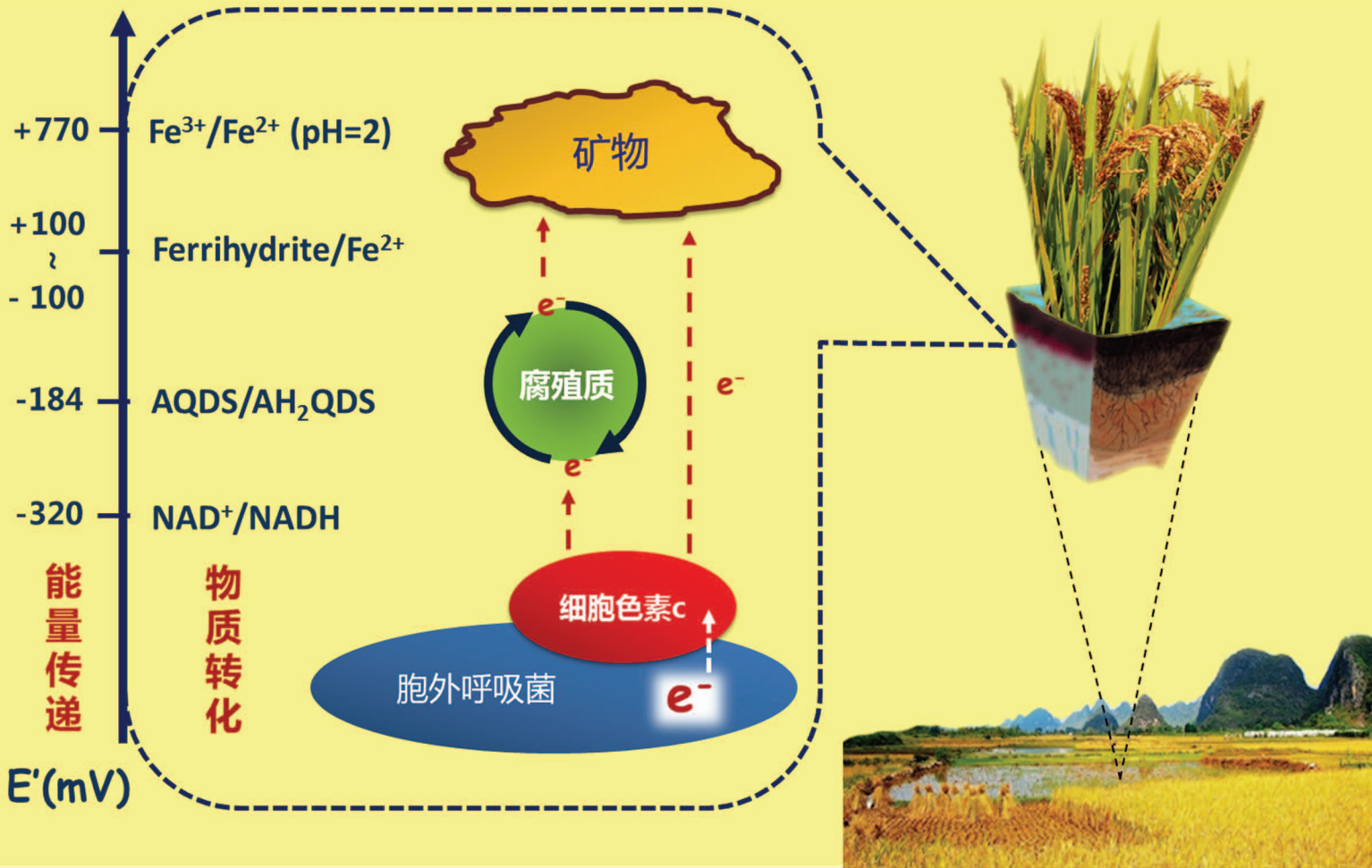


# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2016

第53卷 第2期

Vol.53 No.2



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## 目 次

### 综述与评论

- 土壤微生物—腐殖质—矿物间的胞外电子传递机制研究进展····· 吴云当 李芳柏 刘同旭 (277)
- 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响····· 王 敬 程 谊 蔡祖聪等 (292)

### 新视角与前沿

- 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究····· 蔡祖聪 黄新琦 (305)

### 研究论文

- 西安少陵塬黄土—古土壤序列S<sub>3</sub>剖面元素迁移及古气候意义····· 楚纯洁 赵景波 (311)
- 基于盲源分离的稀疏植被区土壤含盐量反演····· 刘 娅 潘贤章 石荣杰等 (322)
- 基于地类分层的土壤有机质光谱反演校正样本集的构建····· 刘艳芳 卢延年 郭 龙等 (332)
- 基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究····· 王茵茵 齐雁冰 陈 洋等 (342)
- 鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟····· 邓羽松 丁树文 蔡崇法等 (355)
- 放水冲刷对红壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征的影响····· 马美景 王军光 郭忠录等 (365)
- 汶川震区滑坡堆积体坡面土壤侵蚀率及水动力学参数研究····· 王仁新 何丙辉 李天阳等 (375)
- 咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响····· 张 越 杨劲松 姚荣江 (388)
- 基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况····· 陆晓辉 董宇博 涂成龙 (401)
- 拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征····· 巩玉玲 王兆锋 张德锂等 (411)
- 砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响····· 杨 松 吴珺华 董红艳等 (421)
- AQDS加速红壤性水稻土中DDT厌氧脱氯效应研究····· 刘翠英 王 壮 徐向华等 (427)
- 激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响····· 赵金花 张丛志 张佳宝 (438)
- 臭氧污染对麦田土壤不同活性有机碳库的影响····· 寇太记 程相涵 张东亮等 (450)
- 黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献····· 丛耀辉 张玉玲 张玉龙等 (457)
- 水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响····· 黄尚书 成艳红 钟义军等 (468)
- 祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征····· 赵维俊 刘贤德 金 铭等 (477)
- 基于核酸DNA/RNA同位素示踪技术的水稻土甲烷氧化微生物研究····· 郑 燕 贾仲君 (490)
- 适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响····· 梅新兰 闪安琪 蒋 益等 (502)
- 旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义····· 王明伟 刘雨迪 陈小云等 (510)
- 西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征····· 沙志鹏 张宇阳 王 超等 (523)
- 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响····· 康亚龙 景 峰 孙文庆等 (533)

### 研究简报

- CTMAB对BS-12修饰膨润土的复配修饰模式····· 余 璐 孟昭福 李文斌等 (543)
- 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响····· 孟庆英 张春峰 贾会彬等 (552)

### 信息

- 《土壤学报》2015年度审稿专家名录····· (560)

封面图片: 微生物胞外电子传递: 能量传递与物质转化 (由吴云当、李芳柏、刘同旭提供)

DOI: 10.11766/trxb201508220362

# 黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献\*

丛耀辉 张玉玲<sup>†</sup> 张玉龙 虞娜 邹洪涛 范庆锋 王展

(沈阳农业大学土地与环境学院, 农业部东北耕地保育重点实验室, 沈阳 110866)

**摘要** 采用Bremner法和长期淹水密闭培养法, 研究了黑土区不同有机碳水平水稻土有机氮组分及其与可矿化氮的关系。结果表明, 土壤酸解氮含量大于非酸解氮。土壤酸解各组分氮含量及其占全氮比例大小的顺序相同, 即均为未知态氮 > 氨基酸态氮 > 氨态氮 > 氨基糖态氮。土壤氮素矿化潜力 ( $N_0$ ) 为 38 ~ 175.3 mg kg<sup>-1</sup>, 矿化速率常数 ( $k_0$ ) 为 0.022 ~ 0.041 d<sup>-1</sup>。土壤有机碳、全氮含量与氮矿化潜力 ( $N_0$ ) 之间均呈显著正相关 ( $p < 0.01$  或  $p < 0.05$ ); 土壤 C/N、pH 与氮素矿化潜力 ( $N_0$ ) 之间均呈显著正相关 ( $p < 0.01$ ), 而与矿化速率常数 ( $k_0$ ) 之间则均呈显著负相关 ( $p < 0.05$  或  $p < 0.01$ ), 因此, 土壤有机碳 (氮)、C/N 和 pH 是影响土壤有机氮素矿化的重要因素。相关分析表明, 在各组分有机氮中, 酸解氨态氮、酸解氨基酸态氮和非酸解氮均与氮矿化势 ( $N_0$ ) 关系密切 ( $p < 0.01$ ), 但进一步通过多元回归分析和通径分析表明, 酸解氨态氮是对可矿化氮具有直接重要贡献的组分, 是土壤可矿化氮的主要来源。

**关键词** 黑土; 水稻土; 有机氮组分; 矿化势

**中图分类号** S158 **文献标识码** A

氮素是作物生长发育过程中必需的大量养分元素<sup>[1]</sup>。在水稻生产中, 水稻吸收的氮素约 50% ~ 80% 来自于土壤<sup>[2]</sup>, 有机态氮作为土壤氮素的主要组成部分, 仅有一些小分子有机态氮可直接被作物吸收利用<sup>[3-4]</sup>, 大部分必需经过矿化作用释放无机氮后才可被作物直接吸收利用。因此, 土壤有机氮组分及其矿化能力, 对水稻高产和氮素高效利用起着重要作用。

不同土壤的有机氮组成不同, 其矿化能力存在着明显差异<sup>[5-6]</sup>。Keeney和Bremner<sup>[7]</sup>在对26个土样进行好气培养试验中, 将参与氮矿化过程的有机氮划分为不同形态的氮。有研究表明, 长期施肥条件下的水稻土中氨基酸态氮作为土壤有机氮的主要组成部分, 在氮素矿化中起着重要作用<sup>[8]</sup>, 在长

期不同培肥的小麦—玉米轮作制度下壤土的氮素矿化势 ( $N_0$ ) 与培养前后土壤氨基酸态氮变化量间呈显著负相关关系<sup>[9]</sup>。另有研究表明, 不同肥力旱田土壤中的氨态氮和氨基酸态氮作为土壤有机氮的主要组成部分, 对氮矿化有着直接重大贡献<sup>[10]</sup>。而Bushong等<sup>[11]</sup>通过对25种农业土壤研究认为, 无论旱田还是稻田土壤, 氨基糖态氮中有更多易分解的有机氮组分具有潜在的矿化能力, 氨基糖态氮和氨态氮是对矿化氮有重要贡献的组分。Bardgett等<sup>[12]</sup>通过<sup>13</sup>C—<sup>15</sup>N双标记的研究结果显示, 未经开垦的棕壤型低生产力草地, 植物所吸收的氮主要来自土壤可溶性氮中占优势的氨基酸态氮。Mishra等<sup>[13]</sup>研究认为, 设施土壤中的微生物量碳和氨基酸态氮能更好的反映土壤的净氮矿化率。

\* 国家自然科学基金项目 (41571280, 41101276) 和国家重点基础研究发展计划 (“973”) 项目 (2011CB100500) 资助  
Supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 41571280 and 41101276) and the National Basic Research Program of China (973 Program) (No. 2011CB100500)

<sup>†</sup> 通讯作者 Corresponding author, E-mail: yuling\_zhang@163.com

作者简介: 丛耀辉 (1990—), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 硕士研究生, 从事土壤改良与土壤肥力方面相关工作。E-mail: cong\_yh@163.com

收稿日期: 2015-08-22; 收到修改稿日期: 2015-11-16



Lu等<sup>[14]</sup>研究认为,沙土区旱地农业土壤在长期淹水培养条件下,土壤氨态氮对可矿化氮具有主要贡献,而在耗氧培养中,土壤氨基酸态氮和氨态氮是对氮矿化具有重要贡献的组分。以上关于有机氮组分与可矿化氮关系的研究多集中在旱田土壤,而关于寒地稻田土壤的研究报道则较少。

目前,多数研究认为淹水培养法测定的矿化氮是评价稻田土壤供氮能力的有效指标<sup>[15-16]</sup>。土壤水热条件影响土壤有机氮的存在形态及其组成,进而会影响有机氮的矿化能力。东北黑土区气候寒冷,由黑土演变而成的水稻土年淹水时间短,仅为4~5个月,而冻结时间较长;在这种特殊气候条件下,黑土区水稻土有机氮组成特点、氮素矿化特征以及有机氮组分与可矿化氮之间的关系如何?目前尚不清楚。因此,以东北黑土区水稻土为研究对象,研究不同有机碳含量的水稻土可矿化有机氮数量和各组分有机氮含量,探讨土壤有机氮组分与可矿化有机氮的关系,以期明确黑土区水稻土的矿化能力及供氮特点,为该地区黑土的合理利用及水稻土的合理培肥提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试土壤

黑土区(122°~132°E, 43°~50°N)是中

国东北最重要的粮食生产区,由黑土演变而成的水稻土(《中国土壤系统分类检索(第三版)》命名为筒育水耕人为土),已成为中国东北地区重要的水稻土资源之一。本研究土壤样本采集区域为在黑土区内种稻历史较长、稻米品质优、种稻面积较大的绥化市庆安县。绥化市庆安县位于黑龙江省中部,地理位置为127°30'~128°35'E, 46°30'~47°35'N,属松嫩平原呼兰河流域中上游,气候温热湿润,年平均气温1.69℃,无霜期128 d,年平均降水量577 mm。在采集区域,根据水稻耕作制度(连续种植和一年一熟制)、耕作历史(种植年限大于50年)、施肥管理(不施有机肥,只施化学肥料,同一田块每年N、P和K化肥施用量大致相同,农户常规施N: 90~120 kg hm<sup>-2</sup>、施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 45~60 kg hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O: 45~75 kg hm<sup>-2</sup>)、地形(漫岗丘陵区,坡度为1°~5°,地形大致相同),以及土壤肥力(综合自然土壤肥力和水稻产量确定,但主要以自然土壤肥力为主要依据),确定5个不同的水稻生产田块(编号分别为H-1、H-2、H-3、H-4和H-5),将每个田块作为一个采样单元,用GPS记录第一个采样点的位置,再以这一点为中心向四周500 m左右的距离随机采集4个样点,4个样点均匀混合后为一个供试土壤样品。2011年10月进行土壤调查及样品采集,采样深度为0~20 cm。供试土壤基本理化性质见表1。

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Base physico-chemical properties of tested soil

土壤编号 Soil code	有机碳 Organic carbon (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen (g kg <sup>-1</sup> )	碳氮比 C/N	pH	机械组成 Mechanical composition (%)		
					<0.002 mm	0.02~0.002 mm	>0.02 mm
H-1	38.52	2.68	14.37	6.52	36.77	23.97	39.27
H-2	33.42	2.47	13.53	6.30	36.63	25.20	38.17
H-3	26.01	1.93	13.48	6.12	39.32	14.75	45.94
H-4	20.76	1.61	12.89	5.95	32.73	24.04	43.22
H-5	16.13	1.39	11.60	5.66	32.08	16.69	51.23

### 1.2 土壤有机氮组分测定

土壤有机氮组分测定采用Bremner法<sup>[17]</sup>。

(1) 土壤全氮测定:采用硫酸消煮一半自动开氏定氮(FOSS Kjeltac T M 8100, 丹麦)法。(2) 酸解液的制备:称取约含10 mg N过100目筛风干

土壤样品放入150 ml三角瓶中,加入2滴正辛醇和6 mol L<sup>-1</sup>HCl 20 ml,摇动充分混合。在120±2℃下水解回流12 h后趁热过滤,滤液用NaOH调节pH为6.5±0.3(调节pH时酸解液温度不超过20℃,以防止N素损失),定容至100 ml,放入4℃冰箱

备用。(3) 酸解氮测定：吸取酸解液 5 ml，置于 50 ml 凯氏管中，加入浓硫酸和催化剂消煮，后用 10 ml 10 mol L<sup>-1</sup> NaOH 蒸馏法测定酸解氮量。

(4) 氨态氮测定：吸取酸解液 10 ml，加入 2.5 ml 3.5% MgO 蒸馏测定。(5) 氨态氮+氨基糖态氮测定：吸取酸解液 10 ml，加入磷酸一硼砂缓冲液 (pH 11.2) 10 ml，蒸馏法测定氨态氮与氨基糖态氮的总量。(6) 氨基酸态氮测定：吸取酸解液 10 ml，放入 50 ml 小烧杯中，加入 0.5 mol L<sup>-1</sup> NaOH 2 ml，置于 100 °C 水浴下加热直至溶液体积浓缩至 2~3 ml，冷却后加入 1 g 柠檬酸盐缓冲剂和 0.2 g 水合茚三酮，摇匀后再置于 100 °C 水浴下放置 10 min 后，定容至 50 ml，吸取该溶液 20 ml 放入蒸馏管中，加入 20 ml 磷酸-硼砂缓冲溶液和 2 ml 5 mol L<sup>-1</sup> NaOH，蒸馏法测定。(7) 其他形态氮：非酸解氮=全氮-酸解氮；氨基糖态氮=(氨态氮+氨基糖态氮)-氨态氮；未知态氮=酸解氮-(氨态氮+氨基糖态氮+氨基酸态氮)。

### 1.3 土壤有机氮素矿化培养试验

土壤有机氮素矿化培养试验采用间歇淹水密闭培养法<sup>[18]</sup>。称过 2 mm 筛的风干土 15.0 g，置于 100 ml 离心管中，每管加过 2 mm 筛的石英砂 15 g 后混匀，每一土样重复 3 次。(1) 向管中加入 30 ml 蒸馏水，盖紧离心管盖，浸提土样 1 次，再向管中加入 1 mol L<sup>-1</sup> KCl 30 ml 浸提土样 2 次，最后向管中加 30 ml 蒸馏水浸提土样 2 次；每次浸提时，加入蒸馏水或浸提液后搅拌均匀，以 4000 r min<sup>-1</sup> 转速离心 10 min，每次浸提后将上清液倾入 200 ml 容量瓶，最后将浸提液定容至 200 ml (以测定初始浸提液中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)。(2) 将初始浸提后样品加入 30 ml 蒸馏水后搅拌均匀、加盖密封，置于 30 °C 恒温箱中培养，于培养的第 4、7、14、21、35、49、70、91、126 和 161 天全部取出按 (1) 步骤进行浸提，最后将浸提液定容至 200 ml；每次浸提后样品均加入 30 ml 蒸馏水后搅拌均匀、加盖密封，置于 30 °C 恒温箱中继续培养。

累积矿化氮量或可矿化有机氮量的测定：每次取样浸提液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 采用 AA3 自动分析仪 (德国) 测定，测得的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 即为该培养时段的矿化氮量或可矿化有机氮量，每次测定的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 之和即为培养时间内的累积矿化氮，也称为培养时间内的可矿化有机氮。

潜在矿化氮量 ( $N_0$ ) 和矿化速度常数 ( $k_0$ )

的计算：以 Stanford 和 Smith<sup>[19]</sup> 提出的一级反应模型，以实测的土壤矿化氮量值，采用非线性拟合建立实测矿化氮量与培养时间关系的一级反应动力学模型。一级反应动力学模型为  $N_t = N_0 (1 - e^{-k_0 t})$ ，式中， $N_t$  为累积矿化氮量 (mg kg<sup>-1</sup>)； $N_0$  为培养时间  $t$  趋于无限长时的累积矿化氮，称为氮矿化势 (mg kg<sup>-1</sup>)； $k_0$  为矿化速率常数 (d<sup>-1</sup>)； $t$  为矿化培养时间 (d)。

### 1.4 土壤基本理化性质测定

土壤有机碳测定采用元素分析仪 (Elementar III, 德国) 法，由于本研究区域黑土中不含有碳酸盐，所以所测定的土壤全碳即为土壤有机碳；土壤 pH 测定采用 pH 计法；土壤质地采用吸管法测定。

### 1.5 数据处理

数据处理采用 DPS 7.5 和 Excel 2007 专业版统计软件，LSD 法多重比较。文中数据均为 3 次重复的平均值。

## 2 结果

### 2.1 土壤有机氮组分

土壤酸解氮和非酸解氮的含量变化范围分别为 1 014 ~ 1 834 mg kg<sup>-1</sup> 和 378 ~ 851 mg kg<sup>-1</sup>，平均值分别为 1 383 mg kg<sup>-1</sup> 和 633 mg kg<sup>-1</sup> (表 2)，酸解氮占土壤全氮 64.9% ~ 72.9%，平均为 68.9%；非酸解氮占 27.1% ~ 35.1%，平均为 31.1% (图 1)，显然酸解氮含量及其占全氮比例显著高于非酸解氮。土壤酸解氮与有机碳和全氮之间均呈显著正相关 ( $p < 0.01$ )，相关系数分别为 0.985 和 0.992。土壤非酸解氮含量与有机碳和全氮之间也均呈显著正相关 ( $p < 0.01$ )，相关系数分别为 0.981 和 0.977。

土壤酸解各组分氮含量及其占全氮比例的大小顺序均为未知态氮 > 氨基酸态氮 > 氨态氮 > 氨基糖态氮 (表 2 和图 1)。氨态氮与土壤有机碳和全氮之间呈显著正相关 ( $p < 0.01$ )，相关系数分别为 0.987 和 0.973，氨基酸氮与土壤有机碳和全氮之间也呈显著正相关 ( $p < 0.01$ )，相关系数分别为 0.991 和 0.989，而未知态氮仅与全氮之间呈显著正相关 ( $p < 0.05$ )，相关系数为 0.880。

### 2.2 土壤有机氮潜在矿化势及矿化速率常数

土壤矿化氮累积量-时间曲线如图 2 所示，在淹水培养 161 d 时 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 累积量接近最大值，为

表2 5个田块土壤中各有机氮组分的含量

Table 2 Contents of organic N components (mg kg<sup>-1</sup>) in 5 field soil samples

土壤编号 Soil code	酸解氮 AHN				总和 Total	非酸解氮 NHN
	氨态氮 AN	氨基糖态氮 ASN	氨基酸态氮 AAN	未知态氮 UN		
H-1	366 ± 59a	184 ± 19a	577 ± 43a	709 ± 138ab	1834 ± 109a	851 ± 109a
H-2	316 ± 76ab	140 ± 28b	465 ± 28b	773 ± 36a	1693 ± 70b	776 ± 70ab
H-3	295 ± 33ab	98 ± 10bc	356 ± 24c	502 ± 12b	1250 ± 56c	676 ± 56b
H-4	254 ± 56b	105 ± 15c	216 ± 68d	549 ± 91bc	1124 ± 90cd	485 ± 90c
H-5	229 ± 22b	109 ± 12c	187 ± 68d	488 ± 77c	1014 ± 29d	378 ± 29c
平均值Mean	292 ± 49	127 ± 17	360 ± 46	604 ± 71	1383 ± 71	633 ± 71
变异系数CV (%)	18.2	28.0	45.8	21.2	26.1	31.3

注：同列同一因素中不同小写字母表示差异达5%显著水平；AHN：酸解氮，NHN：非酸解氮，AN：氨态氮，ASN：氨基糖态氮，AAN：氨基酸态氮，UN：未知态氮。下同。Note: Different lowercase letters mean significant difference at 5% level; AHN for Acidolyzable N; NHN for Non-acidolyzable N; AN for Amminia N; ASN for Amino suger N; AAN for Amino acid N and UN for Unkonwn N. The same below

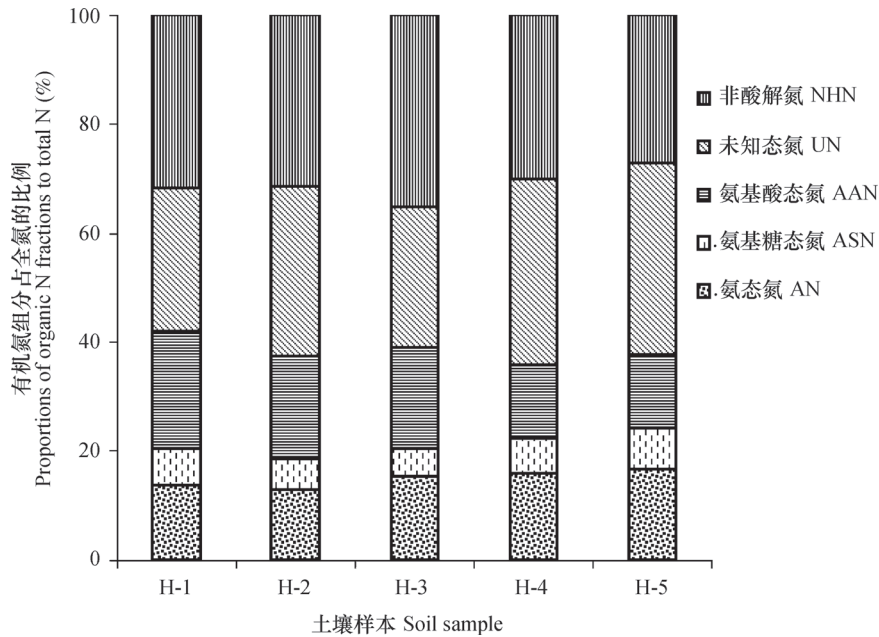


图1 供试土壤各有机氮组分占全氮的比例

Fig. 1 Proportions of organic N fractions to total N in soil samples

38.7 ~ 176.1 mg kg<sup>-1</sup>，平均为99.3 mg kg<sup>-1</sup>。不同有机碳水平土壤矿化氮累积量有明显差异，其矿化氮数量随土壤有机碳（氮）数量的增加呈现增加趋势；培养161 d时的矿化氮累积量与土壤有机碳之间呈极显著正相关（ $r = 0.975, p < 0.01$ ），与全氮之间呈显著正相关（ $r = 0.957, p < 0.05$ ）。

利用一级反应动力学模型对实测矿化氮累积量进行拟合，其拟合参数见表3。潜在矿化势（ $N_0$ ）

与培养161 d的矿化氮累积量、土壤有机碳和全氮均具有极显著的正相关（ $p < 0.01$ ），相关系数分别为0.999、0.978和0.962。 $N_0$ 和 $N_t$ （161 d）在数值上非常接近，说明一级反应动力学模型拟合所得的 $N_0$ 值可以很好反映供试土壤潜在矿化能力。矿化速率常数（ $k_0$ ）总体上随土壤有机碳（氮）含量增加呈下降趋势，说明在相同温度和淹水培养过程中，随着土壤有机碳（氮）含量的增加，其有机氮

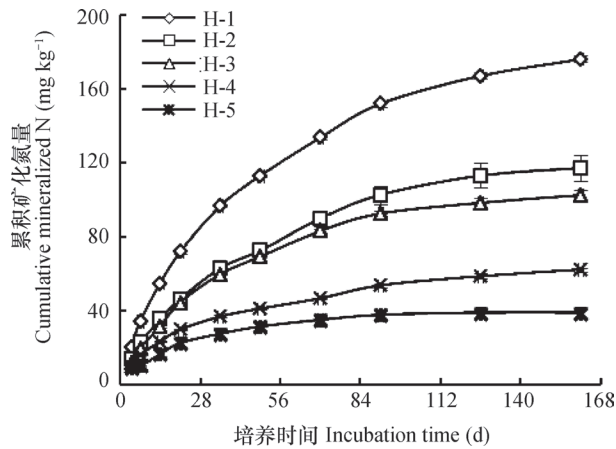


图2 161 d淹水培养土壤矿化氮累积量曲线

Fig. 2 Curves of cumulative mineralized N during the first 161 days of water-logged incubation

表3 一级反应动力学模型拟合实验数据所得的参数、决定系数 ( $R^2$ ) 和估计标准误差 ( $S_e$ )

土壤编号 Soil code	潜在矿化势 N mineralization potential $N_0$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	矿化速率常数 Mineralization rate constant $k_0$ ( $\text{d}^{-1}$ )	决定系数 Determination coefficient $R^2$	估计标准误差 Standard error of estimate $S_e$
H-1	175.3	0.023	0.991**	11.4
H-2	118.9	0.022	0.990**	5.4
H-3	102.5	0.025	0.996**	1.6
H-4	58.6	0.030	0.961**	5.0
H-5	38.0	0.041	0.982**	0.9

注: \*\*代表1%显著水平。下同 Note: \*\*indicates significantly different of 1% levels. The same below.

$$Y = -195.39 + 1.01AN$$

式中,  $Y$  为土壤氮矿化势 ( $\text{mg kg}^{-1}$ );  $AN$  为氨态氮的含量 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )。从方程中可以看出酸解氨基酸态氮和非酸解氮并未进入方程, 仅酸解氨态氮对氮矿化势具有贡献且为正值。方程及各项系数均达到 1% 显著性水平。因此, 说明酸解氨态氮是对可矿化氮具有重要贡献的组分。

氨基酸态氮和非酸解氮均与氮矿化显著相关, 但在逐步回归中并不能进入方程, 并且三者彼此显著相关 ( $p < 0.01$ ) (表4)。因此, 它们对可矿化氮的贡献需要通过途径分析找原因。途径分析的结果表明 (表5), 虽然三者与矿化氮显著相关, 但是它们的直接与间接途径系数差异却很大。其中, 氨态氮的直接途径系数最大 (1.142), 氨基酸态氮和非酸解氮的直接途径系数均很小, 甚至为负值, 而氨态氮通过氨基酸态氮和非酸解氮对氮矿化势的间接途径系数很小, 氨基酸态氮和非酸解氮通过氨态

氮矿化势的间接途径系数却很大, 分别为 1.126 和 1.103。以上结果说明酸解氨态氮对可矿化氮有显著的直接贡献意义; 酸解氨基酸态氮和非酸解氮对可矿化氮的良好关系, 不在于它们的直接贡献, 而在于它们通过氨态氮对可矿化氮的间接贡献。从三个组分对可矿化氮的总贡献来看, 酸解氨态氮的贡献远大于酸解氨基酸态氮和非酸解态氮, 这也进一步证实, 酸解氨态氮是对可矿化氮有重要贡献的组分。

### 2.3 土壤有机氮组分对矿化氮的贡献

表4显示, 酸解氨态氮、酸解氨基酸态氮和非酸解氮与氮矿化势 ( $N_0$ ) 均达显著正相关关系, 但是这并不能说明三者对可矿化氮的真实贡献及贡献的大小。因此, 采用逐步回归分析来进一步说明三者对可矿化氮的关系。建立的回归方程经  $F$  检验后达 5% 显著水平, 各回归系数的偏相关系数经  $t$  检验后达 5% 显著水平, Durbin-Watson 统计变量  $d$  接近于 2, 满足上述条件后, 建立的最优回归方程:

此外, 土壤有机碳 (氮) 量、水热气状况和 pH 等均是影响氮素矿化的因素 [20-22]。有机氮转化为无机氮, 需要经过微生物的矿化作用, C/N 值的大小影响着微生物对有机物质的分解能力 [23], 土壤 pH 则影响土壤微生物的种类及其活性。本研究结果显示, 土壤 C/N 和 pH 显著影响土壤氮素矿化势和矿化速率常数 (图3), 即随着土壤 C/N 值的增加, 土壤氮矿化势 ( $N_0$ ) 呈显著增加趋势 ( $p < 0.01$ ), 而矿化速率常数 ( $k_0$ ) 则呈显著下



表4 各组分有机氮与氮矿化势 ( $N_0$ ) 之间的线性相关系数

**Table 4** Correlation coefficients of organic N components with N mineralization potential

	氨态氮 AN	氨基酸态氮 AAN	氨基糖态氮 ASN	未知态氮 UN	非酸解氮 NHN	氮矿化势 $N_0$
氨态氮 AN	1.000	0.989**	0.842	0.757	0.975**	0.999**
氨基酸态氮 AAN	—	1.000	0.856	0.809	0.977**	0.986**
氨基糖态氮 ASN	—	—	1.000	0.786	0.739	0.847
未知态氮 UN	—	—	—	1.000	0.785	0.730
非酸解氮 NHN	—	—	—	—	1.000	0.966**
氮矿化势 $N_0$	—	—	—	—	—	1.000

表5 各有机氮组分对氮矿化势的贡献

**Table 5** Contributions of organic N components to N mineralization potential

直接途径 Direct path	直接途径系数 Direct path coefficient	间接途径系数 Indirect path coefficient			总贡献 Total contribution
		→氨态氮 →AN	→氨基酸态氮 →AAN	→非酸解氮 →NHN	
氨态氮→潜在氮矿化势 AN→ $N_0$	1.142**	—	0.024	-0.172	1.141
氨基酸态氮→潜在氮矿化势 AAN→ $N_0$	0.024	1.126	—	-0.170	0.024
非酸解氮→潜在氮矿化势 NHN→ $N_0$	-0.172	1.103	0.023	—	-0.166

降趋势 ( $p < 0.05$ )，说明土壤C/N是影响氮素矿化势及其矿化速率的重要因素。在本研究土壤pH范围内 (5.66 ~ 6.52)，土壤pH对土壤氮矿化势和

矿化速率常数的影响与土壤C/N的影响基本相同。由此可见，本研究条件下，土壤C/N和pH也是影响土壤有机氮素矿化的重要影响因素。

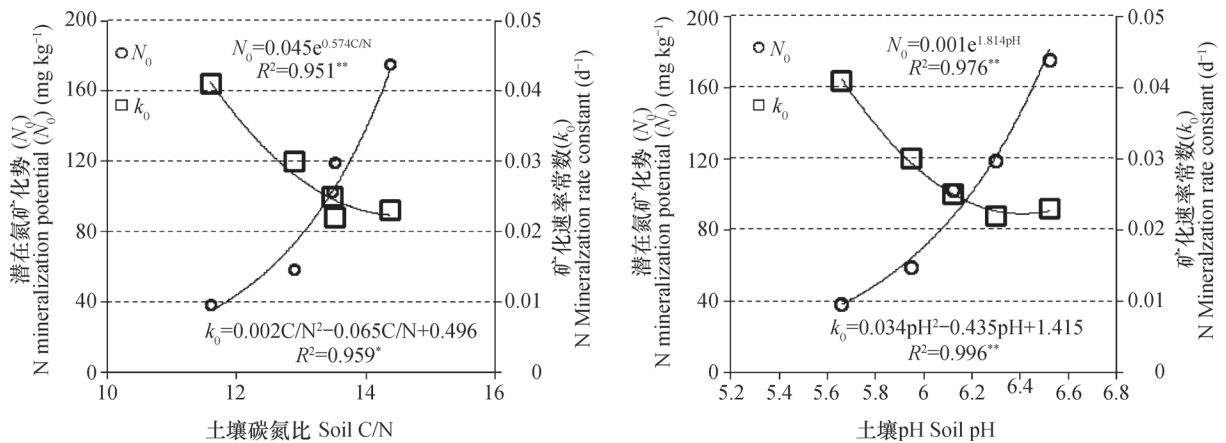


图3 土壤碳氮比、pH与矿化参数 $N_0$ 、 $k_0$ 的关系

Fig. 3 Relationships of soil C/N and pH with  $N_0$  and  $k_0$



### 3 讨 论

#### 3.1 黑土区水稻土有机氮组分特征

有机氮组分因其化学形态的不同,土壤中各有机氮组分的含量常因施肥、土壤类型和种植年限等因素的不同而有所差异<sup>[9, 24-28]</sup>。张俊清等<sup>[29]</sup>对松辽平原黑土旱田的研究表明,无论施肥与否,耕层土壤中各有机氮组分含量顺序均为非酸解氮>酸解氨基酸态氮>酸解氨态氮>酸解未知态氮>酸解氨基糖态氮。而本研究结果却与上述研究结论有所不同,造成这一差异的原因,一方面可能是由于旱田改为水田,土壤水热气条件以及田间管理措施的改变打破了旱田原有的有机氮组分的分配格局;另一方面可能是由于水稻的需氮特征和施肥措施的变化引起不同组分氮素的重新分配。彭显龙等<sup>[30]</sup>对三江平原的白浆土型水稻土研究表明,土壤有机氮含量大小顺序为非酸解氮>酸解未知态氮>酸解氨基酸态氮>酸解氨态氮>酸解氨基糖态氮,与本研究结果相一致,说明即使是不同类型的土壤,气候条件相近的情况下,稻田土壤有机氮组分的分布存在着一定的共性。

#### 3.2 黑土区水稻土有机氮矿化势

土壤有机氮组分因其分配含量、化学形态和微生物分解的难易程度不同,导致有机氮组分对可矿化氮的贡献不同。李菊梅和李生秀<sup>[10]</sup>的研究认为,西北地区不同肥力旱田土壤矿化氮总量都与酸解氮有密切线性关系,酸解氨基酸态氮与可矿化氮的决定系数最高;王媛等<sup>[9]</sup>的研究显示,不同培肥措施下,黄土高原地区塬土中酸解氨基酸态氮是土壤可矿化氮的主要贡献者;郝晓晖等<sup>[8]</sup>对亚热带地区稻田土壤的研究指出,长期不同施肥措施下,随着土壤氮矿化作用的增强,酸解氨基酸态氮和未知态氮的贡献增大;彭银燕等<sup>[26]</sup>对红壤区水稻土的研究表明,恒温淹水培养106 d后,酸解未知态氮是土壤可矿化态氮的主要贡献者。这些研究结果的差异可能与气候因素、施肥措施和土壤类型有关。本研究中各组分有机氮与可矿化氮进行逐步回归分析时发现,仅酸解氨态氮是进入逐步回归方程的变量,酸解氨态氮对可矿化氮有着重大的贡献,这与Lu等<sup>[14]</sup>在淹水培养条件下的研究结果相同,说明在淹水培养条件下,厌氧环境抑制了真菌、部分放线菌和一些硝化细菌的活性,使得土壤中累积了大量的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 并得以固定。

研究已经证明非酸解氮主要是存在于腐殖质结构成分中缩合程度较高的一部分,也不排除酸解过程中人工缩合形成的部分<sup>[31]</sup>,无论是在好气培养还是淹水培养,培养前后非酸解氮含量有所增加<sup>[5, 26]</sup>。本研究中非酸解氮与氮矿化势之间呈显著相关( $r=0.966$ ,  $p<0.01$ ),可能是由于非酸解氮的活化性较高,但这并不能说明非酸解氮是土壤可矿化氮的主要来源。土壤酸解形成的氨态氮一部分是无机态氮,包括土壤吸附性铵和固定态铵;另一部分是酸解过程中某些氨基酸的脱氨基作用<sup>[31]</sup>,土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的来源除了无机部分,另一部是微生物活动的脱氨基产物。本研究中尽管酸解氨态氮对可矿化氮有着直接贡献,但是由于氨基酸态氮的高含量,它对氮矿化的作用不可忽视。

由于土壤类型的不同,其理化性质的差异对氮素矿化具有很大的影响。王帘里和孙波<sup>[32]</sup>对东部三种主要旱地土壤的研究表明,土壤累积净矿化氮量的顺序为黑土>潮土>红壤,其中高有机质土壤大于低有机质土壤。这与本研究结果相一致,说明无论是水田,还是不同类型的旱田土壤,土壤有机质数量均是影响氮素矿化的重要因素。Sahrawat<sup>[33]</sup>发现,淹水培养条件下,热带水稻土氮素累积矿化量与土壤pH相关性不显著。而Li等<sup>[34]</sup>对太湖地区稻田土壤研究认为,土壤pH在氮素矿化反应中显著变化,与矿化氮含量显著相关。曹竞雄等<sup>[35]</sup>认为,高温范围培养的黏质和砂质水稻土,不同pH土壤氮素矿化对温度的响应有很大差异。本研究在30℃下恒温培养,土壤pH与氮矿化势关系密切,这些结果表明,不同土壤pH对氮素矿化的影响在一定程度上受到温度的限制。

### 4 结 论

黑土区5种不同有机碳含量的水稻土酸解有机氮含量均大于非酸解氮含量,土壤酸解各组分氮的含量及占全氮比例的大小顺序均为未知态氮>氨基酸态氮>氨态氮>氨基糖态氮。淹水培养161 d时,土壤矿化氮累积量与有机碳之间呈显著正相关( $p<0.01$ ),与全氮之间呈显著正相关( $p<0.05$ );土壤C/N和pH与土壤氮矿化势( $N_0$ )均呈显著正相关( $p<0.01$ ),而与矿化速率常数( $k_0$ )均呈显著相关( $p<0.05$ 或 $p<0.01$ ),土壤有机碳(氮)含量、C/N和pH是

影响土壤有机氮素矿化的重要因素。土壤有机氮组分中酸解氨态氮、酸解氨基酸态氮和非酸解氮均与氮矿化势 ( $N_0$ ) 关系密切 ( $p < 0.01$ ), 但酸解氨态氮是对可矿化氮具有重要贡献的组分。

### 参考文献

- [ 1 ] 朱兆良, 张福锁. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究. 北京: 科学出版社, 2010  
Zhu Z L, Zhang F S. Fate and efficient use of nitrogen fertilizer in main agroecosystems (In Chinese). Beijing: Science Press, 2010
- [ 2 ] 朱兆良. 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展. 土壤, 1985, 17 (1): 2—9  
Zhu Z L. Research in soil supply nitrogen and fate of fertilizer nitrogen in Chinese (In Chinese). Soils, 1985, 17 (1): 2—9
- [ 3 ] Matsumoto S, Ae N. Characteristics of extractable soil organic nitrogen determined by using various chemical solutions and its significance for nitrogen uptake by crops. Soil Science and Plant Nutrition, 2004, 50 (1): 1—9
- [ 4 ] Burton J, Chen C R, Xu Z H, et al. Gross nitrogen transformations in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39 (2): 426—433
- [ 5 ] 沈其荣, 史瑞和. 不同土壤有机氮的化学组分及其有效性的研究. 土壤通报, 1990, 20 (2): 54—57  
Shen Q R, Shi R H. The chemical composition of different soil organic nitrogen and its effectiveness (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1990, 20 (2): 54—57
- [ 6 ] 付会芳, 李生秀. 土壤氮素矿化与土壤供氮能力: 土壤有机氮组分及矿化. 西北农业大学学报, 1992, 20 (S1): 63—67  
Fu H F, Li S X. Soil nitrogen mineralization and soil N-supplying capacities: The organic N components and their mineralizations (In Chinese). Acta University Agriculture Boreali-Occidentalis, 1992, 20 (S1): 63—67
- [ 7 ] Keeney D R, Bremner J M. Characterization of mineralizable nitrogen in soils. Soil Science Society of America Proceedings, 1966, 30 (6): 714—719
- [ 8 ] 郝晓晖, 肖宏宇, 苏以荣, 等. 长期不同施肥稻田土壤的氮素形态及矿化作用特征. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2007, 33 (5): 544—550  
Hao X H, Xiao H Y, Su Y R, et al. Characteristics of nitrogen forms and mineralization in paddy soils of long-term fertilization experiment (In Chinese). Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science), 2007, 33 (5): 544—550
- [ 9 ] 王媛, 周建斌, 杨学云. 长期不同培肥处理对土壤有机氮组分及氮素矿化特性的影响. 中国农业科学, 2010, 43 (6): 1173—1180  
Wang Y, Zhou J B, Yang X Y. Effects of different long-term fertilization on the fractions of organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43 (6): 1173—1180
- [ 10 ] 李菊梅, 李生秀. 可矿化氮与各有机氮组分的关系. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 (2): 158—164  
Li J M, Li S X. Relation of mineralizable N to organic N components (In Chinese). Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2003, 9 (2): 158—164
- [ 11 ] Bushong J T, Roberts T L, Ross W J, et al. Evaluation of distillation and diffusion techniques for estimating hydrolyzable amino sugar-nitrogen as a means of predicting nitrogen mineralization. Soil Science Society of America Journal, 2008, 72 (4): 992—999
- [ 12 ] Bardgett R D, Streeter T C, Bol R. Soil microbes compete effectively with plants for organic nitrogen inputs to temperate grasslands. Ecology, 2003, 84 (5): 1277—1287
- [ 13 ] Mishra S, Di H J, Cameron K C, et al. Gross nitrogen mineralisation rates in pastoral soils and their relationships with organic nitrogen fractions, microbial biomass and protease activity under glasshouse conditions. Biology and Fertility of Soils, 2005, 42 (1): 45—53
- [ 14 ] Lu H L, Li S Q, Jin F H, et al. Contributions of organic nitrogen forms to mineralized nitrogen during incubation experiments of the soils on the Loess Plateau. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2009, 40 (21): 3399—3419
- [ 15 ] Nayyar A, Singh B, Singh Y. Nitrogen-supplying capacity of soils for rice and wheat and nitrogen availability indices in soils of Northwest India. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2006, 37 (7/8): 961—976
- [ 16 ] Russell C A, Dunn B W, Batten G D, et al. Soil tests to predict optimum fertilizer nitrogen rate for rice. Field Crops Research, 2006, 97 (2/3): 286—301
- [ 17 ] 张玉玲, 陈温福, 虞娜, 等. 长期不同土地利用方式对潮棕壤有机氮组分及剖面分布的影响. 土壤学报, 2012, 49 (4): 740—747  
Zhang Y L, Chen W F, Yu N, et al. Effect of long-term land use on fractionation and profile distribution of organic nitrogen in aquatic brown soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2012, 49 (4): 740—747

- [18] 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
- [19] Stanford G, Smith S L. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society of America Journal, 1972, 36 (3): 465—472
- [20] 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 and Plant Analysis, 2010, 41 (11): 1383—1398
- [21] Gerard H R, Marjoleine C H, Ellis H, et al. Predicting soil N mineralization: Relevance of organic matter fractions and soil properties. Soil Biology & Biochemistry, 2011, 43 (8): 1714—1722
- [22] Curtin D, Campbell C A, Jalil A. Effects of acidity on mineralization: pH-dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30 (1): 57—64
- [23] Schulten H R, Schnitzer M. The chemistry of soil organic nitrogen: A review. Biology and Fertility of Soils, 1998, 26 (1): 1—15
- [24] 党亚爱, 王立青, 张敏. 黄土高原南北主要类型土壤氮组分相关关系研究. 土壤, 2015, 47 (3): 490—495  
Dang Y A, Wang L Q, Zhang M. Relationship of components of soil nitrogen for typical soils from north to south on the Loess Plateau (In Chinese). Soils, 2015, 47 (3): 490—495
- [25] 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
- [26] 彭银燕, 黄运湘, 孙梅. 长期施肥条件下水稻土有机氮组分及矿化特性研究. 水土保持学报, 2012, 26 (5): 173—181  
Peng Y Y, Huang Y X, Sun M. Fractions of organic nitrogen and N mineralization characteristic under long term fertilization on paddy soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26 (5): 173—181
- [27] 王琛, 胡玉福, 邓良基. 不同类型水稻土氮素组成及含量分布特征. 中国农学通报, 2010, 26 (22): 87—90  
Wang C, Hu Y F, Deng L J. Composition and distribution characteristics of nitrogen in different paddy soil (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26 (22): 87—90
- [28] 王晋, 庄舜尧, 朱兆良. 不同种植年限水田与旱地土壤有机氮组分变化. 土壤学报, 2014, 51 (2): 286—294  
Wang J, Zhuang S Y, Zhu Z L. Fractions of soil organic nitrogen in paddy and upland soils relative to cropping history (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51 (2): 286—294
- [29] 张俊清, 朱平, 张夫道. 有机肥和化肥配施对黑土有机氮组成形态及分布的影响. 植物营养与肥料学报, 2004, 10 (3): 245—249  
Zhang J Q, Zhu P, Zhang F D. Effect of organic manure and chemical fertilizer combined application on the form and distribution of organic nitrogen of black soil (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10 (3): 245—249
- [30] 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
- [31] 彭令发, 郝明德, 来路. 土壤有机氮组分及其矿化模型研究. 水土保持研究, 2003, 10 (1): 46—49  
Peng L F, Hao M D, Lai L. Soil organic nitrogen compounds and the research of its mineralizable models (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10 (1): 46—49
- [32] 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
- [33] Sahrawat K L. Mineralization of soil organic nitrogen under waterlogged conditions in relation to other properties of tropical rice soils. Soil Research, 1983, 21 (2): 133—138
- [34] Li H L, Han Y, Cai Z C. Nitrogen mineralization in paddysoils of the Taihu Region of China under anaerobic conditions: Dynamics and model fitting. Geoderma, 2003, 115 (3/4): 161—175
- [35] 曹竞雄, 韦梦, 陈孟次, 等. 温度对厌氧条件下不同pH水稻土氮素矿化的影响. 中国生态农业学报,



2014, 22 ( 10 ) : 1182—1189

Cao J X, Wei M, Chen M C, et al. Effects of temperature on soil nitrogen mineralization in

different pH paddy soils under anaerobic condition

( In Chinese ) . Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22 ( 10 ) : 1182—1189

## Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region

CONG Yaohui ZHANG Yuling<sup>†</sup> ZHANG Yulong YU Na ZOU Hongtao FAN Qingfeng WANG Zhan

( College of Land and Environmental Science, Shenyang Agricultural University, Key Laboratory of Northeast Arable Land

Conservation, Ministry of Agriculture, Shenyang 110866, China )

**Abstract** The black soil region ( 122° ~ 132°E, 43° ~ 50°N ) in Northeast China is the most important grain production region of the country. The paddy soil derived from black soil after long-term rice cultivation has become an important paddy soil resource in Northeast China. As the region is cold in weather with the soil kept frozen for a long time period each year, and the paddy soil has only a short period of time in a year remaining waterlogged, it is essential to elucidate nitrogen ( N ) -mineralization capability and N supply capacity of the black soil derived paddy soil. For that end, soil investigations were carried out and soil samples collected in paddy fields in Qing'an County of Suihua, Central Heilongjiang in 2011. The soil samples were treated with the Bremner method and long-term waterlogged incubation method and analyzed for composition of soil organic ( N ) and mineralizable N in the paddy soil and relationship between the two relative to organic carbon content. Results showed that acidolysable N and non-acidolysable N in the soil varied in the range of 1 014 ~ 1 834 mg kg<sup>-1</sup> and 378 ~ 851 mg kg<sup>-1</sup>, and averaged 383 mg kg<sup>-1</sup> and 633 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. The former accounted for 64.9% ~ 72.9% or 68.9% on average of the total N; and the latter did for 27.1% ~ 35.1% or 31.1% on average. Obviously, the former was much higher than the latter in both content and proportion to the total. Soil acidolysable N was significantly and positively related to organic carbon and total N (  $p < 0.01$  ) in content, with correlation coefficient being 0.985 and 0.985, respectively, and soil non-acidolysable N (  $p < 0.01$  ) was too, with correlation coefficient being 0.981 and 0.977, respectively. In terms of content and the proportion of total N, components of the soil acidolysable organic N followed an order of unknown N > amino acid N > ammonia N > amino sugar N. The content of acidolysable ammonia N was significantly and positively related to organic carbon and total N (  $p < 0.01$  ), with correlation coefficient being 0.987 and 0.973, respectively, and acidolysable amino acid N was too, with correlation coefficient being 0.991 and 0.989, respectively, but the fraction of unknown acidolysable N was significantly positive related to total N (  $p < 0.05$  ) only, with correlation coefficient being 0.880. After 161 days of waterlogging incubation, cumulative NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in the soil reached close to the maximum, ranging between 38.7 and 176.1 mg kg<sup>-1</sup>, with an average being 99.3 mg kg<sup>-1</sup> and cumulative mineralized N content was in an extremely significant positive relationship with soil organic carbon (  $r = 0.975$ ,  $p < 0.01$  ), and a significantly positive relationship with total N (  $r = 0.957$ ,  $p < 0.05$  ), too. Nitrogen mineralization potential (  $N_0$  ) varied in the range of 38 ~ 175.3 mg kg<sup>-1</sup>, and the mineralization rate constant (  $k_0$  ) in the range of 0.022 ~ 0.041 d<sup>-1</sup>. Nitrogen mineralization potential (  $N_0$  ) was ultra-significantly and positively related to the cumulative NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N content, soil organic carbon and total N after 161 days of incubation, with correlation coefficient being 0.999, 0.978 and 0.962, respectively. Both soil C/N and pH were significantly and positively related to N mineralization potential (  $N_0$  ) (  $p < 0.01$  ), but negatively to mineralization rate constant (  $k_0$  )

( $p < 0.05$  or  $p < 0.01$ ). Obviously, soil organic carbon (N), C/N and pH are important factors that affect soil organic N mineralization. Among the components of soil organic N, acidolyzable ammonia N and acidolyzable amino N and non-acidolyzable N were significantly and positively related to N mineralization potential ( $N_0$ ) ( $p < 0.01$ ), with correlation coefficient being 0.999, 0.986 and 0.999, respectively, but stepwise multiple regressions of the three with N mineralization potential shows that acidolyzable ammonia N was the largest contributor of mineralizable N. Path analysis further indicates that acidolyzable ammonia N and mineralizable N has a very high path coefficient (1.142), but acidolyzable amino acid N and non-acidolyzable N a very low direct path coefficient, being 0.024 and 0.172, respectively. The findings suggest that acidolyzable ammonia N is a component that has important direct contribution to mineralizable N and hence the major source of soil mineralizable N.

**Key words** Black soil; Paddy soil; Organic nitrogen components; Mineralization potential

(责任编辑：陈荣府)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Mechanism of Extracellular Electron Transfer among Microbe-Humic-Mineral in Soils: A Review ..... WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu ( 290 )  
 Effects of Long-term Fertilization on Key Processes of Soil Nitrogen Cycling in Agricultural Soil: A Review ..... WANG Jing, CHENG Yi, CAI Zucong, et al. ( 303 )

**Insights and Perspectives**

- Soil-borne Pathogens Should not Be Ignored by Soil Science ..... CAI Zucong, HUANG Xinqi ( 310 )

**Research Articles**

- Element Migration in S<sub>3</sub> Profile of the Shaolingyuan Loess-Paleosol Sequence in Xi'an and Its Paleoclimatic Implication ..... CHU Chunjie, ZHAO Jingbo ( 320 )  
 Estimation of Soil Salt Content over Partially Vegetated Areas Based on Blind Source Separation ..... LIU Ya, PAN Xianzhang, SHI Rongjie, et al. ( 330 )  
 Construction of Calibration Set based on the Land Use Types in Visible and Near-Infrared ( VIS-NIR) Model for Soil Organic Matter Estimation ..... LIU Yanfang, LU Yannian, GUO Long, et al. ( 340 )  
 Prediction of Soil Organic Matter based on Multi-resolution Remote Sensing Data and Random Forest Algorithm ..... WANG Yinyin, QI Yanbing, CHEN Yang, et al. ( 353 )  
 Characteristic Curves and Model Analysis of Soil Moisture in Collapse Mound Profiles in Southeast Hubei ..... DENG Yusong, DING Shuwen, CAI Chongfa, et al. ( 363 )  
 Research on Sediment and Solute Transport on Red Soil Slope under Simultaneous Influence of Scouring Flow ..... MA Meijing, WANG Junguang, GUO Zhonglu, et al. ( 373 )  
 Research on Soil Erosion Rate and Hydrodynamic Parameters of Landslide Accumulation Slope in Wenchuan Earthquake Area ..... WANG Renxin, HE Binghui, LI Tianyang, et al. ( 386 )  
 Effects of Saline Ice Water Irrigation on Distribution of Moisture and Salt Content in Coastal Saline Soil ..... ZHANG Yue, YANG Jingsong, YAO Rongjiang ( 399 )  
 Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method ..... LU Xiaohui, DONG Yubo, TU Chenglong ( 409 )  
 Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa ..... GONG Yuling, WANG Zhaofeng, ZHANG Yili, et al. ( 419 )  
 Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size ..... YANG Song, WU Junhua, DONG Hongyan, et al. ( 426 )  
 Effect of AQDS Accelerating Anaerobic Dechlorination of DDT in Hydragric Acrisols ..... LIU Cuiying, WANG Zhuang, XU Xianghua, et al. ( 436 )  
 Effect of Straw Returning via Deep Burial Coupled with Application of Fertilizer as Primer on Soil Nutrients and Winter Wheat Yield ..... ZHAO Jinhua, ZHANG Congzhi, ZHANG Jiabao ( 448 )  
 Effects of Ozone Pollution on Different Active Organic Carbon Stocks in Wheat Farmland Soil ..... KOU Taiji, CHENG Xianghan, ZHANG Dongliang, et al. ( 455 )  
 Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region ..... CONG Yaohui, ZHANG Yuling, ZHANG Yulong, et al. ( 466 )  
 Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil ..... HUANG Shangshu, CHENG Yanhong, ZHONG Yijun, et al. ( 475 )  
 Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Leaf-Litter-Soil System of *Picea Crassifolia* Forest in the Qilian Mountains ..... ZHAO Weijun, LIU Xiande, JIN Ming, et al. ( 488 )  
 The Application of Biomarker Genes for DNA/RNA-Stable Isotope Probing of Active Methanotrophs Responsible for Aerobic Methane Oxidation in Six Paddy Soils ..... ZHENG Yan, JIA Zhongjun ( 500 )  
 Screening of Phosphate-solubilizing Bacteria Adaptable to Corn and Effects of the Bacteria on the Growth of Corn ..... MEI Xinlan, SHAN Anqi, JIANG Yi, et al. ( 508 )  
 Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator ..... WANG Mingwei, LIU Yudi, CHEN Xiaoyun, et al. ( 521 )  
 Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of "Raising Geese in Corn Fields" in Tibet ..... SHA Zhipeng, ZHANG Yuyang, WANG Chao, et al. ( 531 )  
 Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil ..... KANG Yalong, JING Feng, SUN Wenqing, et al. ( 542 )

**Research Notes**

- Mechanism of CTMAB Modifying BS-12 Modified Bentonite ..... YU Lu, MENG Zhaofu, LI Wenbin, et al. ( 550 )  
 Effects of Mechanical Soil Amelioration Method on Physical Properties of and Enzyme Activity in Planosol ..... MENG Qingying, ZHANG Chunfeng, JIA Huibin, et al. ( 559 )

**Cover Picture:** Microbial Extracellular Electron Transfer: Energy Transfer and Substance Transformation ( by WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu )



# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 卢 萍 檀满枝 陈荣府

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 53 No. 2 Mar., 2016

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Oversea distributed by China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一连续出版物号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

