

DOI: 10.11766/trxb201305240257

## 不同种植年限水田与旱地土壤有机氮组分变化\*

王 晋 庄舜尧<sup>†</sup> 朱兆良

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘 要** 在浙江慈溪地区, 由于不同时期围海造田形成了具有长时间尺度序列的典型水稻土和旱地土壤, 为研究长期的土壤氮素生物地球化学循环过程提供了很好的对象。本研究运用封管水解 Bremner 法测定了不同种植年限下土壤氨基酸氮、氨基糖氮、氨态氮、未知氮等酸解性有机氮组分, 以探究不同种植年限和种植方式对土壤有机氮组分的影响。结果显示, 旱地土壤的不同氮组分含量仅为水稻土相对应氮组分含量的 50% ~ 60%, 水稻种植较早地更利于土壤氮素的保存和利用。从长时间尺度来看, 除氨基酸氮和水稻土氨基糖氮外, 有机氮各组分含量随时间呈指数变化趋势, 水稻土主要呈增加趋势, 而旱地土壤则表现为降低趋势。该地区土壤氨基酸氮占全氮比例为 23.5% ~ 29.3%, 氨基糖氮比例为 6.0% ~ 7.6%, 氨态氮为 21.0% ~ 28.8%, 未知氮为 13.0% ~ 21.1%, 不同种植方式和种植年限对土壤主要有有机氮组分所占全氮比例影响不大。

**关键词** 水稻土; 旱地土壤; 种植年限; 有机氮  
**中图分类号** S158 **文献标识码** A

在中国江南地区通常会根据田地高度和排水情况形成高田旱耕、低田种稻的不同种植方式<sup>[1]</sup>。其中稻田经过长期人为水耕熟化、淹水种稻形成具有特殊剖面形态学特征的水稻土, 而种植旱作的耕地则形成旱地土壤<sup>[2]</sup>。这两种土壤作为我国主要耕地类型具有重要的研究价值, 尤其是碳氮生物地球化学循环过程方面的研究在近年来逐渐得到重视<sup>[3-5]</sup>。氮作为植物所需的大量元素, 在土壤中主要是以多肽和氨基酸等有机物形式存在<sup>[6-7]</sup>, 此外还包括一些氨基糖、核酸和生物碱<sup>[8]</sup>。目前对有机氮的分类初步测定一般常用传统 Bremner 法和扩散法<sup>[9-10]</sup>, 但两种方法均有一定不足。本研究结合色谱分析蛋白质的封管水解法和 Bremner 法中的有机氮分级测定部分方法, 可以对土壤有机氮组分尤其是氨基酸氮进行更便捷和精确的分析<sup>[11-12]</sup>。

目前为止, 对于土壤有机氮来源和组成变化已有很多研究进展, 但大多数研究集中于相对较短时间土壤的有机氮组分含量对比, 对长时间尺度的研究较少<sup>[13-14]</sup>。浙江慈溪地区具有较早的种稻传统, 据《慈溪县志》记载: 早在东汉年间, 慈溪东部已广

栽水稻, 由于其地处杭州湾, 经过长期海涂沉积堆高形成大片滩涂, 因此当地历史上多次进行垒土筑塘, 开垦滩涂变之为耕地, 并根据不同种植方式形成了相对完整的长时间尺度序列水稻土和旱地土壤, 耕作年限可根据所处地段海塘修筑年代来推算。陈留美和张甘霖<sup>[15]</sup>的研究显示慈溪地区不同种植年限土壤具有相对均一的母质, 可作为良好的研究材料。本研究通过采用封管水解 Bremner 法对慈溪地区不同种植年限和种植方式土壤酸解性有机氮组分进行测定, 以探究种植年限和种植方式对土壤有机氮组分分布的影响, 为揭示长时间尺度耕地土壤有机氮变化规律机理和氮素生物地球化学循环提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

研究地区位于东海之滨的浙江慈溪, 年均气温 16.3 °C, 年均降水量 1 325 mm, 年日照百分率 47%。

\* 中德科学中心资助项目(GZ518)资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: syzhuang@issas.ac.cn

作者简介: 王 晋(1985—), 男, 山西平定人, 博士研究生, 主要从事土壤氮素研究。E-mail: wangjin@issas.ac.cn

收稿日期: 2013-05-24; 收到修改稿日期: 2013-08-15

样点种植年限的选择和确定是根据先前的土壤调查和史籍记录<sup>[16]</sup>。高田旱耕、低田种稻的不同种植方式和目前广泛应用的稻麦轮作耕种方式的形成时间形成于南宋和元朝年间,因此本研究采用的水稻土和旱地土壤样品种植年限上限为 700 a<sup>[17-18]</sup>。土壤样品于 2008 年 6 月在耕地施肥前进行

采集,取每个时期不同种植方式的表层土样(0~20 cm),并自 3 个不同田块取 3 个重复,田块间相距约 50 m,用 GPS 测得样品所在地的经纬度。样品经风干、挑根、研磨、过筛后密封保存于玻璃瓶中待用。在采集不同耕作年限水稻土样点的同时采集对应旱地样点。各样点具体信息见表 1。

表 1 浙江慈溪土壤采样情况  
Table 1 Soil sampling in Cixi, Zhejiang Province, China

编号 Number	种植年限 Cropping history (a)	利用方式 Cropping pattern	年代 Starting era	经纬度 Coordinates
P-50	50	水田 Paddy	现代 Modern	N 30°11'02", E 121°21'22"
NP-50	50	旱地 Upland	现代 Modern	N 30°13'09", E 121°21'23"
P-100	100	水田 Paddy	清朝末期 Late Qing Dynasty	N 30°09'50", E 121°20'58"
NP-100	100	旱地 Upland	清朝末期 Late Qing Dynasty	N 30°11'53", E 121°21'12"
P-300	300	水田 Paddy	清朝初期 Early Qing Dynasty	N 30°06'26", E 121°30'17"
NP-300	300	旱地 Upland	清朝初期 Early Qing Dynasty	N 30°06'56", E 121°30'39"
P-700	700	水田 Paddy	元朝 Yuan Dynasty	N 30°10'24", E 121°09'11"
NP-700	700	旱地 Upland	元朝 Yuan Dynasty	N 30°10'58", E 121°08'42"

## 1.2 分析方法

为确定封管水解后的样品是否适用于 Bremner 法中的有机氮分级测定方法,预实验分别采用封管水解法和传统 Bremner 法的回流水解法,对随机选取的 3 种土壤样品进行水解后,通过 Bremner 法的有机氮分级方法进行不同组分测定,结果显示虽然封管水解法测得氨基酸态氮和氨基糖态氮含量稍高,氨态氮和酸解未知氮含量稍低,但两种水解方法所得数据没有显著差异。因此封管水解法适用于土壤有机氮组分的测定。

封管水解方法如下,称 2.5 g 过 100 目筛土壤至 10 ml 水解瓶,加入 8 ml 6 mol L<sup>-1</sup> HCl 后轻轻摇匀,封口后置于烘箱中 110 °C 加热 12 h。

根据 Bremner 法<sup>[19]</sup>,酸解液经过过滤,中和、定容即可进行有机氮组分分级测定。土壤全氮和总酸解氮测定采用凯氏半微量定氮法;氨态氮采用 MgO 蒸馏法;氨态氮 + 氨基糖态氮采用磷酸盐-硼酸盐缓冲液蒸馏法;氨基酸态氮采用茚三酮氧化、磷酸盐-硼酸盐缓冲液蒸馏法;未知态氮、未酸解氮和氨基糖态氮用差减法求得。

## 1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS 20.0 软件和 Excel 软件进行计算和统计分析。采用 OriginPro 8.0 进行拟合作

图。

## 2 结果

### 2.1 水田与旱地土壤全氮、总酸解氮和酸解率

从不同种植方式来看,水稻土全氮含量在 1 977 ~ 2 373 mg kg<sup>-1</sup> 间,总酸解氮为 1 509 ~ 1 843 mg kg<sup>-1</sup>,而旱地土壤全氮含量在 1 118 ~ 1 274 mg kg<sup>-1</sup> 之间,总酸解氮为 839 ~ 1 004 mg kg<sup>-1</sup> (表 2)。结果显示,旱地土壤的氮含量普遍显著低于相应的水稻土,约为水稻土全氮含量的 56%。水稻种植 50 a 和 100 a 土壤全氮含量从 1 977 mg kg<sup>-1</sup> 大幅增长至 2 225 mg kg<sup>-1</sup>,增幅达 12.5%,而之后升势减缓,至 700 a 种植年限还略有下降。总体而言,水稻种植后土壤全氮在 100 a 内变化显著,与种植年限大致呈正相关,而 100 a 后趋于平稳。相反,旱地土壤氮各组分含量与种植年限在百年内大致呈负相关趋势,从 1 274 mg kg<sup>-1</sup> 降至 1 118 mg kg<sup>-1</sup>,降幅达 10.4%。

在酸解率方面,水稻土较为稳定,土壤氮的酸解率约为 76% ~ 78%;大部分旱地土壤酸解率水平与水稻土一致,基本处在 75% 和 79% 之间,但种植年限 300 a 的旱地土壤酸解率较低,约为 70%。

表 2 不同种植年限土壤全氮、总酸解氮和酸解率

Table 2 Total nitrogen, hydrolyzable nitrogen and acid hydrolysis rate in the soils different in cropping history

编号 Number	全氮 Total N (mg kg <sup>-1</sup> )	总酸解氮 Hydrolyzable N (mg kg <sup>-1</sup> )	未酸解氮 Acid insoluble N (mg kg <sup>-1</sup> )	酸解率 Acid hydrolysis rate (%)
P-50	1 977 ± 25a	1 509 ± 13a	468 ± 13a	76a
P-100	2 225 ± 14a	1 722 ± 24a	502 ± 29a	77a
P-300	2 373 ± 12a	1 843 ± 8a	530 ± 20a	78a
P-700	2 262 ± 34a	1 712 ± 11a	550 ± 45a	76a
NP-50	1 274 ± 8b	1 004 ± 28b	270 ± 25b	79a
NP-100	1 118 ± 14b	839 ± 27b	279 ± 30b	75a
NP-300	1 229 ± 13b	858 ± 7b	371 ± 7b	70b
NP-700	1 143 ± 34b	881 ± 8b	263 ± 28b	77a

注:同一列中不同字母代表差异显著 ( $p < 0.05$ ) Note: Different letters in the same row represent significant difference ( $p < 0.05$ )

## 2.2 不同种植年限水田与旱地土壤有机氮组分含量

从图 2 可以看到,水稻土氮素各形态组分与旱地土壤氮素各形态组分在含量水平差异巨大,水稻土各组分平均含量较旱地土壤高 50% ~ 60%,与两者总氮水平的差异相似。

水稻土氨基酸氮含量最高值为 P-300 的 667 mg kg<sup>-1</sup>,最低值为 P-700 的 531 mg kg<sup>-1</sup>,种植年限为 50 a 和 100 a 的水稻土含量处于两者之间。与土壤全氮不同,氨基酸氮在 100 a 种植年限内的差异并不大,相反在 300 a 和 700 a 之间的差异达到 20% 之多。而旱地氨基酸氮的趋势与水稻土也不相同,在 50 a、300 a 和 700 a 种植年限的土壤中含量基本相同,在 326 ~ 337 mg kg<sup>-1</sup> 之间,但 NP-100 的氨基酸氮含量却少很多,仅 282 mg kg<sup>-1</sup>。

水稻土中氨态氮含量呈逐年增加趋势,并且在种植年限为 50 a 和 100 a 的水稻土中氨态氮分别为 416 和 564 mg kg<sup>-1</sup>,两者差异最大。种植年限为 100 a 以上的水稻土氨态氮组分含量之间的差异逐渐减小。旱地土壤氨态氮则以 NP-50 含量最高,达到 305 mg kg<sup>-1</sup>,最低为 NP-700 的 257 mg kg<sup>-1</sup>,虽说在种植年限 300 a 的样品中含量略有上升,但总体上具有下降的趋势。

水稻土氨基糖氮在种植年限 50 a 和 100 a 间呈上升趋势,由 146 mg kg<sup>-1</sup> 上升至 164 mg kg<sup>-1</sup>,但在 300 a 和 700 a 样品中则较之前明显降低,甚至低于种植年限 50 a 的氨基糖氮含量,分别为 142 和 139 mg kg<sup>-1</sup>。旱地土壤氨基糖氮变化趋势则是从种植年限 50 a 的 94 mg kg<sup>-1</sup> 大幅降至 100 a 的 85 mg kg<sup>-1</sup>,之后稳定在 80 ~ 85 mg kg<sup>-1</sup> 之间。

水稻土未知氮含量在 368 ~ 419 mg kg<sup>-1</sup> 之间,各种种植年限的变化趋势与氨基酸氮相似。旱地土壤未知氮 160 ~ 268 mg kg<sup>-1</sup>,变化趋势与水稻土完全相反。

由于上述各类氮组分很多具有在 50 ~ 100 a 间变化较大,而种植年限较长的样品间差异较小的特征,呈现指数函数的趋势,因此本研究采用常规指数方程  $y = y_0 + Ae^{Bx}$  对不同种植方式各有机氮组分数据进行拟合,发现氨基酸氮和水稻土氨基糖氮的含量相对时间变化并无明显规律,在较长时间尺度保持相对稳定,而其他组分均具有一定的指数变化特征,其中总酸解氮和氨态氮在两种不同种植方式下均具有较高拟合度,全氮在水稻土中具有较高拟合度,而氨基糖氮和未知氮则与之相反,在旱地条件下具有较高拟合度(图 1;表 3)。

## 2.3 不同种植年限水田与旱地土壤有机氮组分分布比例

土壤有机氮各组分所占比例在不同土壤有不同的分布特征,结果如图 3 所示。不同种植年限水稻土氨基酸氮占全氮的比例为 23.5% ~ 29.3%,其中种植年限为 50、100、300 a 土壤中所占比例变化不大,700 a 水稻土氨基酸氮所占比例有较大幅度下降,与之相对的旱地土壤中所占比例为 25.3% ~ 29.4%,同样在种植年限 50 ~ 300 a 比例变化不大,但是在种植年限 700 a 的样品中有较大提升。

水稻土氨态氮占全氮比例则随种植年限呈上升趋势,从 50 a 的 21.0% 升至 700 a 的 28.8%,但 100 a 和 300 a 所占比例差距不大,分别为 25.4% 和 26.0%;旱地土壤中氨态氮比例则比较稳定,最低为种植年限 700 a 的 22.5%,最高为种植年限 50 a 的

23.9%, 100 a 和 300 a 种植年限中氨态氮比例均为 23.7%。

氨基糖氮所占全氮比例较少,按种植年限从低到高水稻土中的比例分别为 7.4%、7.4%、6.0% 和 6.1%;旱地土壤中则分别为 7.4%、7.6%、6.5% 和 7.3%。

酸解未知氮在水稻土中所占比例较为稳定,种植年限 50、100、300 和 700 a 的比例分别为 18.6%、17.4%、17.6% 和 17.3%。旱地土壤中种植年限 50

a 的未知氮比例为 21.1%、100 a 为 18.6%、700 a 为 17.8%,但是种植 300 a 的旱地土壤未知氮比例差异较大,为 13.0%。

与酸解未知氮比例分布类似,不同种植年限的水稻土未酸解氮占全氮的比例也同样较为稳定,约为 22.3%~24.3%。旱地土壤也是种植年限 300 a 的土壤差异较大,所占比例达 30.2%,其他种植年限中土壤比例分别为 50 a 的 21.2%、100 a 的 24.9% 以及 700 a 的 23.0%。

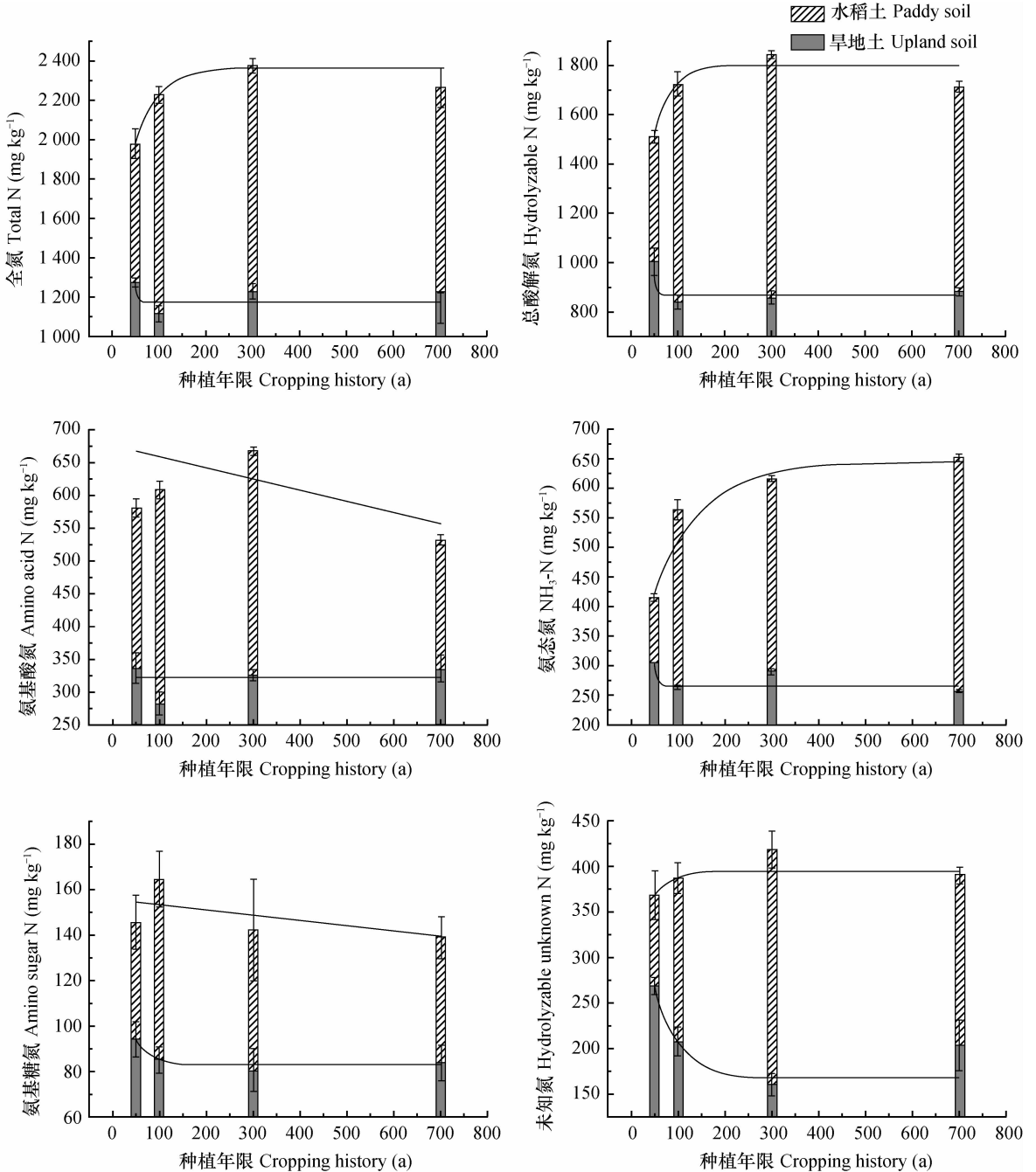


图 1 不同种植年限水稻土与旱地土壤有机氮组分含量和拟合曲线

Fig. 1 Contents and fitting curves of organic nitrogen fractions in paddy soils and upland soils different in cropping history

表 3 不同有机氮组分指数模型 ( $y = y_0 + Ae^{Bx}$ ) 的动力学参数

Table 3 Kinetic parameters of the exponential models ( $y = y_0 + Ae^{Bx}$ ) for fitting of different organic nitrogen fractions

利用方式 Cropping pattern	有机氮组分 Organic nitrogen fractions	$y_0$		A		B		$R^2$	校正 $R^2$ Adj. $R^2$
		值 Value	标准误 SE	值 Value	标准误 SE	值 Value	标准误 SE		
水田 Paddy	全氮 Total N	2 361	38.40	-1 100	590.4	-0.021	0.009	0.955	0.866
旱地 Upland	全氮 Total N	1 174	71.81	9.36E+6	9.59E+11	-0.229	2049	0.653	-0.042
水田 Paddy	总酸解氮 Hydrolyzable N	1 801	62.27	-1195	4008	-0.028	0.066	0.820	0.459
旱地 Upland	旱地总酸解氮 Hydrolyzable N	866.6	12.47	1.54E+7	8.59E+11	-0.233	1 117	0.792	0.378
水田 Paddy	水稻土氨基酸氮 Amino acid N	-4.24E+5	62.26	4.24E+5	7.60E+5	-3.95E-7	—	0.414	-0.758
旱地 Upland	旱地氨基酸氮 Amino acid N	321.9	16.83	5.47E+8	—	-7.50E+5	—	—	-2.000
水田 Paddy	水稻土氨态氮 NH <sub>3</sub> -N	644.2	24.82	-370.6	106.8	-0.001	0.006	0.982	0.945
旱地 Upland	旱地氨态氮 NH <sub>3</sub> -N	265.4	14.81	5.24E+4	4.79E+7	-0.144	18.27	0.897	0.692
水田 Paddy	氨基糖氮 Amino sugar N	-5 487	3.23E+7	5642	3.23E+7	-4.18E-6	0.024	0.474	-0.579
旱地 Upland	氨基糖氮 Amino sugar N	82.32	1.620	49.81	36.16	-0.029	0.015	0.955	0.864
水田 Paddy	未知氮 Hydrolyz- able unknown N	395.0	10.71	-98.42	387.7	-0.026	0.067	0.378	-0.870
旱地 Upland	未知氮 Hydroly- zable unknown N	166.5	17.08	263.7	170.2	-0.019	0.013	0.960	0.880

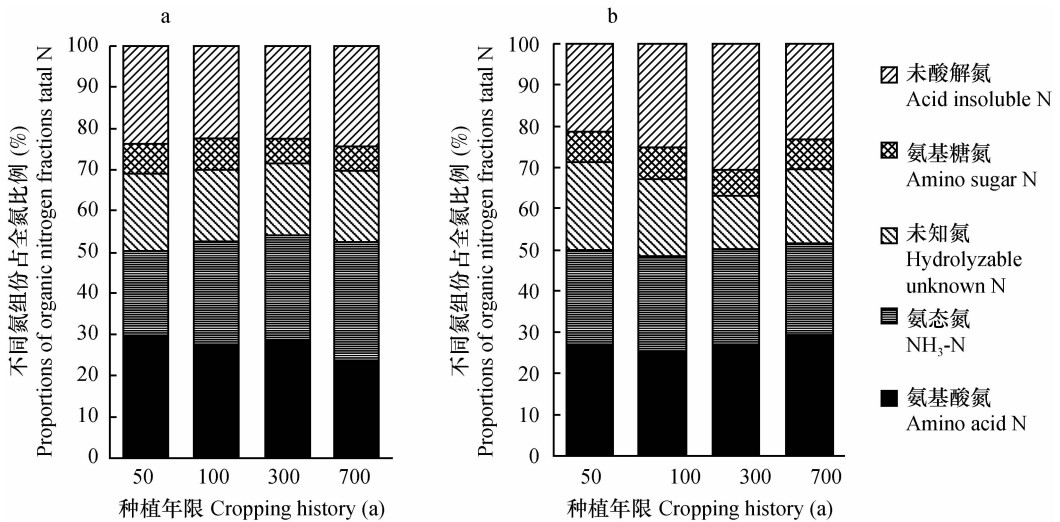


图 2 不同种植年限水稻土(a)与旱地土壤(b)有机氮组分分布比例

Fig. 2 Proportions of organic nitrogen fractions in paddy (a) and upland (b) soils different in cropping history

### 3 讨 论

#### 3.1 不同种植年限对土壤各形态氮素分布的影响

通常河流下游冲积形成的滩涂湿地具有明显的年龄序列,对于研究不同年限土壤氮库具有重要价值。从整体上来看,在自然状态下冲积成因土壤全氮会随冲积时间增加而增加, Morris 和 Stanford<sup>[20]</sup> 在研究堪察加半岛林地时发现,冲击平原刚形成时土壤含量很低,在形成后 20 a 迅速增长,在 20 ~ 80 a 间也存在缓慢增长的趋势,最终在形成 100 a 前后达到稳定。在阿拉斯加地区河流阶地年龄序列野生植被固氮情况调查结果显示,随冲积滩涂植被形成,区域生态系统演化,土壤氮库含量在 100 a 内迅速积累增加,之后升势减缓,由于该地区多为野生灌木林地,因此土壤中植物来源的有机氮含量部分会逐年累积增加<sup>[21-22]</sup>。本研究中水稻土全氮和酸解氮趋势与原始冲积土壤趋势其较为相似,而旱地土壤则呈相反趋势,可能是旱作经营方式与滩涂浸水环境的巨大差异导致旱地土壤耕层氮素缺乏自然累积的过程,在极短时间内通过人工施肥等因素使总氮含量达到峰值,之后在 50 ~ 100 a 间含量逐渐下降达到稳态。赵言文等<sup>[23]</sup> 对杭州湾下游 100 a 至 1 000 a 间不同种植年限水稻土肥力特征检测后发现有机质和氮素的规律较为复杂。在农田生态系统中,由于作物地上部收割等因素,植物对土壤氮输入的贡献较小,长期耕种土壤会对土壤微生物构成产生影响,并进一步改变土壤理化性质。慈溪地区滩涂湿地土壤中缺乏铵态氮而富含氨氧化细菌,而经过 50 ~ 100 a 的水稻种植,固氮微生物得到大量繁殖,且土壤中微生物种类多样性也得到了极大地丰富,正是这一变化有可能使得近代造田土壤中氮含量迅速增加<sup>[24]</sup>。除 300 a 旱地样品外,其他不同种植年限不同种植方式土壤酸解率均无显著差异,说明土壤酸解性氮的比例与种植年限和种植方式无关,可能与土壤成因和地区等因素相关。

土壤可酸解氮约占全氮的 70% ~ 80%,本研究中酸解氮组分虽然在 100 a 后变化不大,但在 50 ~ 100 a 间的变化较大,说明人为耕种经营在短期内能够改变土壤有机氮组分含量。不同种植年限水田和旱地土壤总酸解氮、氨态氮和酸解未知氮的含量变化趋势与全氮相同,均具有指数变化特征,可见全氮变化趋势在一定程度上能够反映部分有机氮

组分的变化趋势,这与张玉玲等<sup>[14]</sup> 的研究相似。在四种组分中氨态氮和氨基酸氮占绝大部分,因此这两种组分对土壤氮素的保持和有效性起到重要作用。不同种植年限氨基酸氮和氨基糖氮变化趋势不明显,在一定数值区间波动,这可能是由于氨基酸氮主要形态为蛋白质,其在土壤环境中分解速率是整个氮循环过程中的关键限速步骤<sup>[25]</sup>。因此,有机氮尤其是氨基酸氮对氮素的固持起到极为重要的作用。与杭州湾慈溪地区滩涂围海造田相似,崇明岛的冲积湿地农田改造,同样具有明显的时间序列构成,对该地区 500 a 内不同种植年限以及不同种植方式耕地研究发现,开垦初期的几十年对土壤微生物构成产生巨大影响,但 100 a 后呈现出逐渐稳定的特征<sup>[26]</sup>。根据以上结果我们初步推测在近代时间范围内影响土壤各氮组分含量的主要原因可能是土壤中微生物种群结构变化。

水田和旱地土壤各组分占全氮比例并没有相对统一的变化规律,研究结果显示水稻土氨态氮比例呈增加趋势,但氨基酸氮比例呈减少趋势,与旱地土壤氨基酸氮含量的增加趋势相反,这一现象可能是由于一些难于被合成的氨基酸氮在经长期淹水种植后得不到恢复,而易于被利用和重新补充的氨态氮部分的相对增量较多,从而造成氨态氮和氨基酸氮比例变化趋势相反。旱地土壤氨态氮和氨基酸氮较为稳定,说明旱地土壤环境的氮素动态过程较水田更为平衡,可能是由于旱地土壤环境较水旱交替的水田土壤环境更为稳定所造成的。旱地土壤中种植 300 a 样品的未知氮比例差异较大,而该组样品未酸解氮比例明显偏高,可能与样品中含有较多的难酸解形态氮有关。但总体而言无论水田还是旱地,大多数有机氮组分比例变化幅度较小,说明同一地区有机氮组分分布较为稳定,种植年限和种植方式均非主要影响因素<sup>[27]</sup>。

#### 3.2 不同种植方式对土壤各形态氮素分布的影响

先前已有慈溪地区土壤肥力和土壤氮素矿化速率的相关研究,结果表明当地旱地土壤总氮和有机氮含量小于水稻土<sup>[28]</sup>,本研究结果同样验证了相关结果。相同种植年限条件下,水稻土的总氮和总酸解氮含量与旱地土壤相比均具有显著差异 ( $p < 0.05$ ),具体到氨态氮、氨基酸氮、氨基糖氮和未知氮这四种组分也具有相同的水旱差异。Yoshida 和 Ancajas<sup>[29]</sup> 通过<sup>15</sup>N 标记研究表明,淹水稻田中根际土壤的氮固定活性远大于旱地土壤,证实了淹水种植水稻有利于有机氮的保存和可持续利用。郝文

英等<sup>[30]</sup>研究表明,水稻土中固氮微生物数量远大于其在同地区旱地土壤中的数量,通常水稻土由于淹水时期含氧量和温度较低,有机质较难分解,而且微生物总数较早地多,其机理可能是淹水条件下利于土壤养分的保留。在水田落干后通气增加使得微生物活跃快速繁殖,由于微生物本身就是土壤氨基酸氮和氨基糖氮的重要载体,因此本研究中水稻土中氨基酸氮和氨基糖氮的含量大于旱地土壤;此外还有数据显示,慈溪地区围海造田所形成的旱地土壤的供氮潜力和有机氮矿化速率均小于相邻地块的水稻土<sup>[31]</sup>,这些均说明淹水种植水稻条件有利于土壤有机氮的合成和周转利用。

### 3.3 封管水解方法对土壤有机氮测定的影响及优点

封管水解相对于传统回流水解条件更加温和,从而使得有机态氮保存更为完整,尤其是氨基酸氮和氨基糖氮,因此在预实验中封管水解的氨基酸氮和氨基糖氮较回流水解高,但由于两种方法的基本原理相同,各组分离氮素含量差异并不显著,从而与Bremner法中有机氮组分测定衔接无问题,可以很好地应用于后续土壤有机氮组分分析测定。此外封管水解法所用设备仪器简单,消耗样品和试剂较少,能够同时对大量样品进行水解,具有简易、经济、高效的优点。

## 4 结 论

经封管水解 Bremner 法对慈溪地区不同种植年限的水稻土和旱地土壤有机氮组分测定结果显示,从长时间尺度来看,除氨基酸氮和氨基糖氮外,有机氮各组分含量呈现出指数变化趋势,但种植方式对土壤的有机氮组分影响很大,水稻土主要呈增加趋势,而旱地土壤则表现为降低趋势。氨基酸氮的变化与种植时间没有明显相关性,如果再具体细化到不同氨基酸种类,各种氨基酸含量及比例可能会随种植年限不同而发生变化,但是这些变化规律是否存在仍需进一步的研究数据支持。从总体上来看,随种植年限有机氮各组分的所占全氮比例变化并不显著。不同种植方式对土壤氮素不同组分具有显著影响,水稻种植较早地经营更利于土壤氮素的保存和利用。

### 参 考 文 献

[ 1 ] 曾雄生. 析宋代“稻麦二熟”说. 历史研究, 2005(1): 86—

106, 191. Zeng X S. A discussion on the “crop rotation of rice and wheat” in the Song Dynasty ( In Chinese ). Historical Research, 2005(1): 86—106, 191

[ 2 ] Wissing L, Kölbl A, Vogelsang V, et al. Organic carbon accumulation in a 2000-year chronosequence of paddy soil evolution. Catena, 2011, 87(3): 376—385

[ 3 ] K gel-Knabner I, Amelung W, Cao Z H, et al. Biogeochemistry of paddy soils. Geoderma, 2010, 157(1/2): 1—14

[ 4 ] Yan X, Zhou H, Zhu Q H, et al. Carbon sequestration efficiency in paddy soil and upland soil under long-term fertilization in southern China. Soil & Tillage Research, 2013, 130: 42—51

[ 5 ] Zhao X, Xie Y X, Xiong Z Q, et al. Nitrogen fate and environmental consequence in paddy soil under rice-wheat rotation in the Taihu Lake region, China. Plant and Soil, 2009, 319(1/2): 225—234

[ 6 ] Ge T D, Yuan H Z, Roberts P, et al. Amino acid and peptide dynamics in horticultural soils under conventional and organic management strategies. Journal of Soils and Sediments, 2012, 12(3): 323—333

[ 7 ] Jones D L, Kielland K. G. Soil Biology & Biochemistry, 2012, 55: 60—69

[ 8 ] Heike K. “Black nitrogen” —An important fraction in determining the recalcitrance of charcoal. Organic Geochemistry, 2010, 41(9): 947—950

[ 9 ] Spargo J T, Cavigelli M A, Alley M M, et al. Changes in soil organic carbon and nitrogen fractions with duration of no-tillage management. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76(5): 1624—1633

[ 10 ] Wang S R, Jiao L X, Jin X L, et al. Characteristics of organic nitrogen fractions in sediments of the shallow lakes in the middle and lower reaches of the yangtze river area in china. Water and Environment Journal, 2012, 26(4): 473—481

[ 11 ] He H B, Lü H J, Zhang W, et al. A liquid chromatographic/mass spectrometric method to evaluate <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N incorporation into soil amino acids. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(5): 731—740

[ 12 ] Roth P J, Lehdorff E, Cao Z H, et al. Accumulation of nitrogen and microbial residues during 2000 years of rice paddy and non-paddy soil development in the Yangtze River Delta, China. Global Change Biology, 2011, 17(11): 3405—3417

[ 13 ] 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—176, 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—176, 181

[ 14 ] 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

[ 15 ] 陈留美, 张甘霖. 土壤时间序列的构建及其在土壤发生研究

- 中的意义. 土壤学报, 2011, 48 (2): 419—428. Chen L M, Zhang G L. Soil chronosequences and their significance in the study of pedogenesis (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48 (2): 419—428
- [16] Cheng Y Q, Yang L Z, Cao Z H, et al. Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils. Geoderma, 2009, 151 (1/2): 31—41
- [17] Fan M S, Liu X J, Jiang R F, et al. Crop yields, internal nutrient efficiency, and changes in soil properties in rice-wheat rotations under non-flooded mulching cultivation. Plant and Soil, 2005, 277 (1/2): 265—276
- [18] Fuller D Q. Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: Recent archaeobotanical insights from the old world. Annals of Botany, 2007, 100 (5): 903—924
- [19] Stevenson F J. Nitrogen—organic forms // Page A L. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison: America Society of Agronomy, 1982: 625—641
- [20] Morris M R, Stanford J A. Floodplain succession and soil nitrogen accumulation on a salmon river in southwestern kamchatka. Ecological Monographs, 2011, 81 (1): 43—61
- [21] Kaye J, Binkley D, Rhoades C. Stable soil nitrogen accumulation and flexible organic matter stoichiometry during primary floodplain succession. Biogeochemistry, 2003, 63 (1): 1—22
- [22] Rhoades C, Binkley D, Oskarsson H, et al. Soil nitrogen accretion along a floodplain terrace chronosequence in northwest alaska: Influence of the nitrogen-fixing shrub shepherdia canadensis. Ecoscience, 2008, 15 (2): 223—230
- [23] 赵言文, 刘辉, 胡正义, 等. 不同时期围海造田水稻土肥力剖面分布特征. 土壤通报, 2009, 40 (1): 56—59. Zhao Y W, Liu H, Hu Z Y, et al. Profile distribution of fertility parameters of foreshore reclamation paddy soils (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40 (1): 56—59
- [24] Bannert A, Kleinedam K, Wissing L, et al. Changes in diversity and functional gene abundances of microbial communities involved in nitrogen fixation, nitrification, and denitrification in a tidal wetland versus paddy soils cultivated for different time periods. Applied and Environmental Microbiology, 2011, 77 (17): 6109—6116
- [25] Jan M T, Roberts P, Tonheim S K, et al. Protein breakdown represents a major bottleneck in nitrogen cycling in grassland soils. Soil Biology & Biochemistry, 2009, 41 (11): 2272—2282
- [26] Cui J, Meng H, Nie M, et al. Bacterial succession during 500 years of soil development under agricultural use. Ecological Research, 2012, 27 (4): 793—807
- [27] 肖巧琳, 罗建新, 杨琼. 烟草轮作中稻草还田对土壤有机氮各组分的影响. 土壤, 2011, 43 (2): 167—173. Xiao Q L, Luo J X, Yang Q. Effects of rice-straw-returning under tobacco-rice rotation on soil organic nitrogen fractions (In Chinese). Soils, 2011, 43 (2): 167—173
- [28] 陆宏, 赵先军, 罗旭, 等. 浙江慈溪耕地土壤肥力变化研究. 土壤通报, 2006, 37 (3): 426—428. Lu H, Zhao X J, Luo H X, et al. Soil fertility changes of cultivated soil in Cixi, Zhejiang (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37 (3): 426—428
- [29] Yoshida T, Ancajas R R. Nitrogen-fixing activity in upland and flooded rice fields. Soil Science Society of America Journal, 1973, 37 (1): 42—46
- [30] 郝文英, 曹正邦, 游长芬. 水稻土的微生物学特性 (II) 水稻土微生物区系及其与土壤肥力的关系. 土壤学报, 1961, 9 (1/2): 1—8. Hao W Y, Cao Z B, You C F. The microbiological properties of paddy soils (II) The relationship between microflora and soil fertility (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1961, 9 (1/2): 1—8
- [31] 卢佳, 胡正义. 围海造田长期耕种稻田和旱地土壤氮矿化速率及供氮潜力比较. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (1): 62—70. Lu J, Hu Z Y. Comparison of mineralization rates and nitrogen potentials in foreshore reclamation long-term cultivated paddy soils and adjacent upland soils (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17 (1): 62—70

## FRACTIONS OF SOIL ORGANIC NITROGEN IN PADDY AND UPLAND SOILS RELATIVE TO CROPPING HISTORY

Wang Jin Zhuang Shun Yao<sup>†</sup> Zhu Zhaoliang

(State Key Lab of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** In Cixi of Zhejiang Province, as a result of poldering in different time periods a long time scale succession of paddy soils and upland soils formed, which could be cited as good objects for the study of long term biogeochemical cycle of soil nitrogen. In order to explore effects of cropping history and pattern on soil organic nitrogen fractions, amino acid N, amino sugar N, NH<sub>3</sub>-N and hydrolyzable unknown N in the soils were analyzed with the Bremner method through hydrolysis in sealed tubes. Results show that the content of any fraction of organic nitrogen in the upland soil was only 50% ~ 60% of that of its counterpart in the paddy soil, suggesting that rice planting is more conducive to conservation and utilization of the soil organic nitrogen. On a long-time scale, all the organic nitrogen fractions, except amino acid N and amino sugar N, var-



ied with the time exponentially, showing that organic nitrogen in the paddy soils was mainly on a rising trend, while that in the upland soils on a reverse one. In the soils of this area, amino acid N accounted for 23.5% ~ 29.3%, amino sugar N for 6.0% ~ 7.6%,  $\text{NH}_3\text{-N}$  for 21.0% ~ 28.8%, and hydrolysable unknown N for 13.0% ~ 21.1% of the total nitrogen, indicating that cropping pattern and cropping duration neither has much effect on proportions of the major soil organic nitrogen fractions to the total nitrogen in the soils.

**Key words** Paddy soil; Upland soil; Cropping history; Soil organic nitrogen

(责任编辑: 卢 萍)