

# 安徽省主要水稻土基本理化性质及肥力综合评价<sup>①</sup>

戴士祥<sup>1,2</sup>, 任文杰<sup>1</sup>, 滕应<sup>1,2\*</sup>, 陈未<sup>1</sup>, 马文亭<sup>1</sup>, 黄阳<sup>1</sup>

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 以安徽省不同地区水稻土为研究对象, 采集了 11 个剖面共 43 个土壤样品, 测定其基本理化性质并建模评价其肥力质量。结果表明: 根据中国土壤系统分类法, 安徽水稻土主要是铁聚水耕人为土。土壤大体呈酸性,  $\text{pH}$  5.0~6.5, 土壤有机质和氮素含量等相对较低, 表层土壤有机质、全氮、碱解氮平均含量为 23.65 g/kg、1.44 g/kg、127.29 mg/kg, 土壤质地主要是粉砂壤土。基于改进层次分析法的模糊综合评价模型结果显示, 安徽稻田表层土壤肥力质量指数 FI 普遍介于 0.7~0.8, 肥力质量大体处于良好水平, 且土壤肥力质量与土壤有机质、土壤全氮和碱解氮含量呈现显著的正相关。

**关键词:** 安徽; 水稻土; 改进层次分析法; 模糊综合评价; 肥力质量

中图分类号: X825 文献标识码: A

安徽省位于我国东南部, 总面积为 13.99 万  $\text{km}^2$ , 其中耕地 622.5 万  $\text{hm}^2$ , 占总面积的 44.5%, 是我国粮食生产大省, 水稻主产区之一, 也是我国主要的粮仓之一<sup>[1]</sup>。水稻土肥力状况对于水稻的产量和质量都起着至关重要的作用<sup>[2]</sup>, 是水稻生长过程所需养分的主要来源。因此, 开展安徽省水稻土基本理化性质和肥力状况调查研究显得尤为必要, 对充分发挥土壤生产潜力具有重要的指导意义。

土壤肥力是土壤物理、化学、生物等性质的综合表现, 在土壤母质、类型等自然条件的影响下, 不同农田土壤的肥力状况会产生较大差异, 即使自然条件相同, 农田使用状态和管理方式的不同也会造成土壤肥力的差异<sup>[3]</sup>。土壤肥力质量是土壤各组分之间相互作用的综合体现, 受多指标共同影响。对于土壤肥力质量指标的确定, 不同土壤系统差异很大, 至今没有统一的标准<sup>[4]</sup>。由于各评价指标对土壤肥力的贡献参差不齐, 同时样品实测值的量纲之间差异较大, 因此需要一种有效的多因素决策方法<sup>[5]</sup>, 而模糊综合评价法<sup>[6]</sup>正是根据模糊数学中的隶属度理论将定性评价转化为定量评价, 由此可以对多指标制约的土壤肥力做出总体的评价。目前, 研究相对较多的主要有神经网络法<sup>[7]</sup>、灰色关联度法<sup>[8]</sup>、主成分分析法<sup>[9]</sup>、层次分析法<sup>[10]</sup>等模型。

改进层次分析法是一种以一般层次分析法为基础, 在确定样本所属质量级别上加以改进的一种方法, 该方法利用最优传递矩阵时的最后的数据满足一致性要求<sup>[11]</sup>。近年来该法在环境领域中应用较为广泛, 田红和杨昉婧<sup>[12]</sup>采用改进层次分析法评价了吴淞江苏州段水环境质量, 不仅提高了结果的准确性而且更具有实用性; 周旭等<sup>[13]</sup>以改进层次分析法确定权重, 运用模糊数学理论实现了对贵州安普地区耕地土壤肥力的可视化评价。

基于此, 本研究根据安徽水稻种植区的实际情况和土壤采样位点的分布情况, 选择变异系数较大、影响土壤肥力和作物生长<sup>[14-17]</sup>的 12 项土壤理化性质(有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、铵态氮、有效磷、速效钾、全钙、全镁、 $\text{pH}$ , 以及阳离子交换量(CEC))作为评价指标, 采用基于改进层次分析法的模糊综合评价模型对安徽省水稻土肥力现状进行评价, 同时对影响土壤肥力的重要指标进行分析, 以期为提高安徽省水稻优良品质和农业开发利用提供重要的基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品采集

根据我国第二次土壤普查结果, 在安徽省不同地

基金项目: 科技基础性工作专项项目(2015FY110700)资助。

\* 通讯作者(yteng@issas.ac.cn)

作者简介: 戴士祥(1992—), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事土壤质量评价与修复方面研究。E-mail: shxdai1992@126.com

区的水稻集中种植地中选取 11 个采样点,以分别代表各城市水稻土的基本情况。采集土壤样品时,根据各采样点的土壤分层、地下水水位等实际情况对每个采样点挖取深度 0.8~1.2 m 的剖面,依据成土母质、土壤类型对剖面土壤进行分层,每个土壤剖面可大致分为 3~5 层,各采样点详细采样信息见表 1。剖面各层土壤进行土层整体混合取样,按照四分法取土壤样品 1 kg。本次土壤样品采集于安徽省水稻收割后进行,采样时间为 2015 年 10 月下旬。

## 1.2 测定指标及方法

对 11 个采样点采集的各剖面土壤的有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、pH、CEC、颗粒组成、土壤质地、全钙、全镁、硝态氮以及铵态氮等多项指标进行测定。测定方法参考《土壤农业化学分析方法》<sup>[18]</sup>。数据处理运用 Excel、R 语言、MATLAB 等软件。

## 1.3 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型

**1.3.1 建立土壤肥力质量评价的隶属度矩阵** 模糊综合评价的结果不是绝对地肯定或否定,而是以一个模糊集合来表示。模糊集合即隶属度函数,根据一定范围内各评价指标与土壤基本理化性质

表 1 安徽省水稻土采样点基本情况

Table 1 Basic information of paddy soil sampling sites in Anhui Province

采样地点	样点编号	地理坐标	剖面分层
六安金安	a314	31°38'02.00"N, 116°41'19.34"E	4
宣城郎溪	a315	31°00'24.99"N, 119°06'05.19"E	4
合肥肥东	a361	31°53'03.76"N, 117°38'58.22"E	4
安庆太湖	a362	30°28'23.12"N, 116°19'54.49"E	3
黄山祁门	a363	29°53'37.17"N, 117°29'01.91"E	5
淮南大通	a388	32°35'07.95"N, 117°08'58.08"E	4
合肥肥西	a389	31°51'22.55"N, 116°49'27.96"E	4
宣城宣州	a392	30°48'53.05"N, 118°33'18.61"E	3
安庆望江	a418	30°12'29.70"N, 116°47'16.81"E	5
铜陵天门	a422	30°50'35.03"N, 117°52'16.10"E	3
合肥长丰	a460	32°22'05.80"N, 117°05'45.88"E	4

实测值的关系计算其隶属度值。隶属度函数为:

$$f(x)=\begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_2-x_1}+0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $x_1$  和  $x_2$  分别为指标的下限值(每个指标数据中的最小值)和上限值(每个指标数据中的最大值)。表 2 为本研究评价指标  $x_1$  和  $x_2$  的对应值。

表 2 S 型隶属函数对应的上下限值  
Table 2 Upper and lower limiting values of S type subordinating degree function

指标	临界值			指标	临界值		
	$x_1$	$x_2$	参考文献		$x_1$	$x_2$	参考文献
pH	4.5、9.5	6.5~7.5	[19]	速效钾(mg/kg)	50	200	[24]
有机质(g/kg)	8	40	[20]	全钙(g/kg)	1.5	30	[25]
全氮(g/kg)	0.65	2	[21]	全镁(g/kg)	2	30	[25]
全磷(g/kg)	0.75	2.2	[23]	CEC (cmol/kg)	4.5	20	[26]
全钾(g/kg)	6	30	[22]	铵态氮(mg/kg)	0.5	40	[27]
碱解氮(mg/kg)	30	100	[23]	有效磷(mg/kg)	3	20	[23]

注:pH 在 6.5~7.5 时,赋值为 1;pH>9.5 或<4.5 时赋值 0.1;pH 介于 4.5~6.5、7.5~9.5 由公式计算。

测定结果显示,安徽稻田土壤的质地绝大多数属于粉砂壤土,只有少数样品质地为壤土或砂质壤土。因此本模型建立过程中未考虑土壤质地的差异对模型评价土壤肥力的影响。

经过土壤样品指标的实测值在隶属度函数计算后的数据处理,消除了各个评价指标之间的量纲差异,建立了土壤肥力质量评价的隶属度矩阵:

$$R_{m \times n} = \{r_{ik} | k=1 \sim m, i=1 \sim n\} \quad (2)$$

式中:  $r_{ik}$  的值均在 0.1~1.0,其大小反映了各评价指标的隶属程度。

**1.3.2 各评价指标权重的确定** 1)建立土壤肥力质量评价的判断矩阵。根据隶属度矩阵的值确定

权重,使得确定的权重值更符合研究地区的实际情况<sup>[28]</sup>。根据模糊综合评价模型的内在要求,某个评价指标的数值内部变化程度越大,则该指标传递的综合评价的信息量越大<sup>[25]</sup>。因此可以通过采用各评价指标的样本方差  $S(i) (i=1 \sim n)$  来反映各评价指标对模糊综合评价的影响程度,并用于构造判断矩阵  $B_{n \times n}$  的值  $b_{ij}$ 。

$$b = \begin{cases} \frac{S(i)-S(j)}{S_{\max}-S_{\min}} (b_{m-1})+1, S(i) \geq S(j) \\ 1 \\ \frac{1}{\frac{S(j)-S(i)}{S_{\max}-S_{\min}} (b_{m-1})+1}, S(i) < S(j) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $S_{\max}$  和  $S_{\min}$  分别为  $\{S(i) | i=1 \sim n\}$  的最大值和最小

值；相对重要性程度参数值：

$$b_m = \min \left\{ 9, \text{int} \left[ \frac{S_{\max}}{S_{\min}} + 0.5 \right] \right\} \quad (4)$$

其中：min 和 int 分别为取最小和取整函数。

本研究评价指标 1 至指标 12 的  $S(i)$  值分别为 0.76、6.20、0.38、0.16、2.90、35.43、21.08、33.53、3.94、4.38、5.96 和 4.65，相对重要程度值  $b_m=9$ ，再由式(3)即得用于确定各评价指标权重的判断矩阵  $B$ 。

2) 各评价指标的权数分配。根据判断矩阵  $B_{n \times n}$ ，求出最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量即为各评价指标的权数分配，采用方根法求解：

第一步：计算每一行元素的乘积  $M_i$ ，

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (5)$$

表 3 1~12 阶判断矩阵的 RI 值  
Table 3 RI values of 1~12 order matrix

判断矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.52	1.54

1.3.4 模糊综合评价模型 根据隶属度函数的计算得出的各评价指标的标准化值，并结合权重，建立土壤肥力质量的模糊综合评价模型。某一采样点的土壤肥力质量指数为：

$$FI = \sum_{i=1}^n a_{ik} w_i \quad (k=1,2,3,\dots,m) \quad (9)$$

式中：FI 为第  $k$  个土壤样品对应采样点的土壤肥力质量指数值； $a_{ik}$  为第  $k$  个采样点的第  $i$  个指标的隶属度， $w_i$  为第  $i$  个指标的权重值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 安徽水稻土基本理化性质

安徽省水稻土的质地按照美国制分类大部分属粉砂壤土，只有个别地方如安庆太湖地区、合肥肥东表层土壤为壤土，合肥肥东心层、底层土壤为砂质壤土。根据土壤剖面不同层次的颜色变化以及各层次土壤的有机质、全铁、游离铁的含量，按照我国土壤系统分类法分类，采样点土壤所属土壤亚类主要是铁聚水耕人为土，包括普通铁聚水耕人为土和底浅铁聚水耕人为土，并零星分布有普通简育水耕人为土。

由表 4 可知，安徽水稻土表层土壤基本呈现酸性。黄山祁门水稻土表层土壤 pH 为 4.98，显强酸性；铜陵天门水稻土表层土壤 pH 为 7.60，显碱性；其余所有地区表层土壤 pH 5.0~6.5，偏酸性。在各个土壤剖面上，随着土壤深度增加，土壤 pH 略有升高，即土壤酸性随着土壤深度增加而降低。

安徽水稻土表层土壤有机质平均含量为 23.65 g/kg，差异相对较大。合肥长丰等地土壤有机质含量仅 13

第二步：计算  $M_i$  的  $n$  次方根  $\bar{W}_i$ ，然后对向量  $\bar{W} = (\bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{W}_3 \dots \bar{W}_n)^T$ ，作归一化处理，即：

$$W_i = \bar{W}_i / [\sum_{i=1}^n \bar{W}_i] \quad (6)$$

则， $\bar{W} = (\bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{W}_3 \dots \bar{W}_n)^T$  即为所求的特征向量。

1.3.3 判断矩阵的一致性检验 判断矩阵  $B_{n \times n}$  的一致性的检验公式为：

$$CR = CI / RI \quad (7)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (8)$$

式中：CR 为一致性指标，如果  $CR < 0.1$ ，则认为判断矩阵具有合格的一致性；RI 为平均一致性指标，其取值决定于矩阵的阶数，详见表 3。式(8)中的  $\lambda_{\max}$  为最大特征根。

g/kg，安庆太湖和黄山祁门等地表层土壤有机质含量超过 30 g/kg。整体来看，安徽水稻土表层土壤有机质含量偏低，低于耕层土壤的平均水平。

安徽水稻土土壤氮磷钾含量均呈现出由表层向深层递减的趋势，其中全氮、全磷含量随深度增加降低较为显著，而全钾含量在剖面深度上变化并不显著，并有第二层全钾含量大于表层的情况。表层土壤全氮、磷、钾平均含量分别是 1.44、1.44、0.56 g/kg，且在全省范围内的采样点变化不大。

土壤交换性能在土壤肥力评价中起到重要的作用，也是土壤保肥能力的一个重要体现。安徽水稻土表层土壤阳离子交换量(CEC)除安徽宣城和安庆望江两个地区略低于 10 cmol/kg 外，其余介于 10~20 cmol/kg，属于交换性能一般的土壤，其中淮南大通水稻土 CEC 最高，高达 30 cmol/kg。在各个剖面不同层次土壤样品中，CEC 值大体上随着土壤深度的增加而降低。通观安徽全省不同地区来看，CEC 随土壤深度的变化并不显著，并且心层土、底层土的 CEC 稍大于表层土。

安徽水稻土颗粒组成以粉砂(0.002~0.05 mm)含量最高，平均约占 66%，黏粒(<0.002 mm)和砂砾(0.05~2 mm)比例大体相近，平均各占 18.5% 和 14.8%。在各个土壤剖面的不同层次上土壤颗粒组成无明显规律，但均以粉砂含量较高。

### 2.2 安徽水稻土肥力质量综合评价

建立模糊综合评价模型，根据改进层次分析法的计算程序，由式(3)得出用于确定各评价指标权重的判断矩阵  $B_{12 \times 12}$ ：

$$B = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.52 & 1.06 & 1.10 & 0.74 & 0.15 & 0.23 & 0.15 & 0.65 & 0.62 & 0.60 & 0.62 \\ 1.91 & 1.00 & 1.98 & 2.02 & 1.55 & 0.17 & 0.29 & 0.18 & 1.38 & 1.31 & 1.04 & 1.26 \\ 0.94 & 0.51 & 1.00 & 1.04 & 0.70 & 0.15 & 0.22 & 0.15 & 0.63 & 0.60 & 0.52 & 0.58 \\ 0.91 & 0.50 & 0.96 & 1.00 & 0.68 & 0.14 & 0.22 & 0.12 & 0.61 & 0.59 & 0.51 & 0.57 \\ 1.36 & 0.64 & 1.42 & 1.46 & 1.00 & 0.15 & 0.25 & 0.16 & 0.85 & 0.80 & 0.66 & 0.77 \\ 6.83 & 5.91 & 6.89 & 6.93 & 6.47 & 1.00 & 3.41 & 1.32 & 6.29 & 6.22 & 5.96 & 6.18 \\ 4.42 & 3.50 & 4.48 & 4.52 & 4.06 & 0.29 & 1.00 & 0.32 & 3.88 & 3.81 & 3.54 & 3.76 \\ 6.51 & 5.60 & 6.57 & 6.61 & 6.15 & 0.76 & 3.09 & 1.00 & 5.98 & 5.90 & 5.64 & 5.86 \\ 1.53 & 0.72 & 1.60 & 1.64 & 1.17 & 0.16 & 0.26 & 0.17 & 1.00 & 0.93 & 0.75 & 0.89 \\ 1.61 & 0.77 & 1.67 & 1.71 & 1.25 & 0.16 & 0.26 & 0.17 & 1.07 & 1.00 & 0.79 & 0.96 \\ 1.87 & 0.96 & 1.94 & 1.98 & 1.51 & 0.17 & 0.28 & 0.18 & 1.34 & 1.27 & 1.00 & 1.22 \\ 1.65 & 0.79 & 1.72 & 1.75 & 1.29 & 0.16 & 0.27 & 0.17 & 1.12 & 1.05 & 0.82 & 1.00 \end{bmatrix}$$

表 4 安徽省各采样点土壤基本理化性质  
Table 4 Soil basic physical and chemical properties of tested paddy soils in Anhui Province

指标	土样	最大值	最小值	平均值
有机质(g/kg)	剖面土壤	37.91	2.70	11.72
	表层土壤	35.78	13.29	23.65
pH	剖面土壤	7.75	4.90	6.38
	表层土壤	7.60	4.98	5.95
CEC(cmol/kg)	剖面土壤	33.79	4.93	14.00
	表层土壤	30.04	9.06	14.96
全氮(g/kg)	剖面土壤	2.23	0.21	0.74
	表层土壤	2.18	0.79	1.44
全磷(g/kg)	剖面土壤	0.89	0.11	0.43
	表层土壤	0.81	0.30	0.56
全钾(g/kg)	剖面土壤	21.58	9.43	16.53
	表层土壤	21.58	9.43	15.99
碱解氮(mg/kg)	剖面土壤	194.78	18.38	66.41
	表层土壤	194.78	80.85	127.29
有效磷(mg/kg)	剖面土壤	77.26	0.26	13.76
	表层土壤	77.26	4.49	25.21
速效钾(mg/kg)	剖面土壤	287.50	30.00	88.14
	表层土壤	165.00	47.50	94.32
铵态氮(g/kg)	剖面土壤	22.54	5.40	10.30
	表层土壤	22.54	5.68	11.63
全钙(g/kg)	剖面土壤	15.05	1.51	5.52
	表层土壤	14.14	1.75	5.96
全镁(g/kg)	剖面土壤	16.49	1.94	5.04
	表层土壤	16.49	1.95	5.68

根据判断矩阵  $B_{12 \times 12}$  , 求出最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量即为各评价因素重要性排序 , 即权数分配 , 由式(5)和式(6)求得特征向量 :

$$\bar{W} = (0.030 \ 0.052 \ 0.029 \ 0.028 \ 0.037 \ 0.267 \ 0.135 \ 0.243 \ 0.041 \ 0.043 \ 0.051 \ 0.044)^T$$

式 (8) 中的  $\lambda_{\max}$  可以由判断矩阵  $B_{12 \times 12}$  用

MATLAB 编程 , 直接求出  $\lambda_{\max} = 12.2027$  ; 将求得的  $\lambda_{\max}$  代入式(8) , 得  $CI = -0.0426$  ;  $CR = CI/RI = |-0.0426/1.54| = |-0.028| < 0.1$  , 所以判断矩阵具有满意的一致性 , 同时说明权数分配是合理的 , 满足综合评价中对各项指标权重因子的分配。各指标权重因子如表 5 所示。

表 5 安徽土壤肥力质量评价指标权重值  
Table 5 Weight values of evaluation indexes of fertility quality of paddy soils in Anhui

指标	权重
pH	0.030
有机质(g/kg)	0.052
全氮(g/kg)	0.029
全磷(g/kg)	0.028
全钾(g/kg)	0.037
碱解氮(mg/kg)	0.267
有效磷(mg/kg)	0.135
速效钾(mg/kg)	0.243
全钙(g/kg)	0.041
全镁(g/kg)	0.043
CEC(cmol/kg)	0.051
铵态氮(g/kg)	0.044

根据式(9)和表 5 , 计算安徽省稻田土壤肥力综合指数值  $FI$  , 结果如图 1 所示 , 按照五级分类法 :  $FI > 0.8$  为土壤肥力质量好 ,  $0.6 < FI < 0.8$  为较好 ,  $0.4 < FI < 0.6$  为中等 ,  $0.2 < FI < 0.4$  为较差 ,  $FI < 0.2$  为差。根据综合评价模型结果 , 采集的 11 个剖面共 43 个安徽水稻土的样本中 , 土壤肥力质量为 : 5 个质量好 , 7 个质量较好 , 7 个中等 , 14 个为较差 , 10 个为差。根据土壤样品采集时记录的各层次土壤深度 , 以及模糊综合评价模型得到的各层次土壤肥力指数  $FI$  , 利用 R 语言绘图工具对 11 个采样点不同深度的土壤肥力指数绘制堆叠柱状图 , 如图 2 所示。

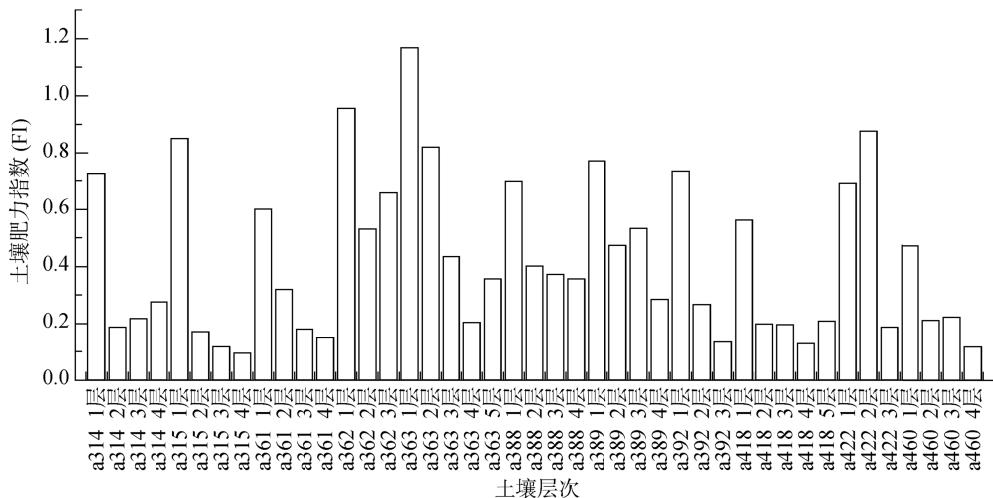


图 1 安徽省水稻土采样点剖面各层土壤肥力指数  
Fig. 1 Soil fertility index of each layer of soil profiles in Anhui

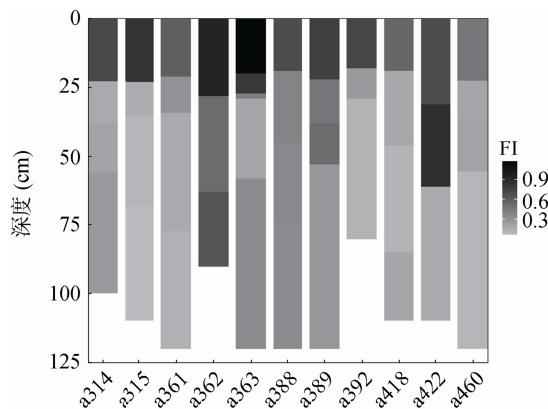


图 2 安徽省各采样点土壤肥力指数堆叠图  
Fig. 2 Stack graph of soil fertility quality index of paddy soils in Anhui

### 2.3 安徽稻田土壤肥力质量的影响因素

**2.3.1 土壤有机质** 土壤有机质是土壤肥力与土壤质量的重要指标<sup>[31]</sup>，有机质能够提供作物生长所需的养分，同时能够改善土壤结构、增加土壤缓冲性<sup>[32]</sup>，在农业可持续发展等方面起着重要作用<sup>[33]</sup>。根据综合评价模型 FI 结果与土壤有机质含量数据进行比较(图 3)发现：土壤有机质与土壤肥力呈现显著的相关性，其  $R^2$  达 0.807，土壤肥力质量指数随土壤有机质含量增加而升高，这也与 Doran 和 Safley<sup>[34]</sup>的理论相符合，同时该结论也验证了土壤有机质是土壤肥力的重要指示物，与程少敏等<sup>[35]</sup>研究相符。

**2.3.2 土壤氮素** 相关性分析显示(图 4)安徽稻田土壤全氮、碱解氮含量与土壤肥力质量指数呈正相关，其相关性系数平方( $R^2$ )均达到 0.83 以上，呈现出显著的相关性。土壤碱解氮又称土壤水解性氮，指示土壤氮素供应的强度也是作物有效氮素的主要来源<sup>[36]</sup>。氮是植物的基本营养元素之一，土壤氮素在提高作物产量、

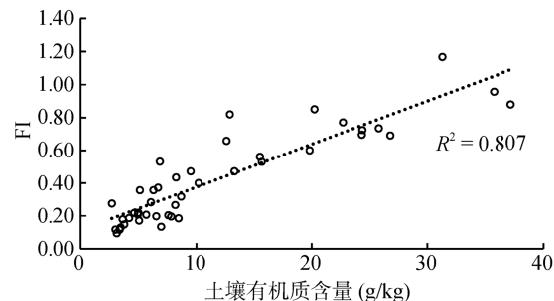


图 3 土壤有机质含量与土壤肥力质量指数的关系  
Fig. 3 Correlation between soil organic matter content and soil fertility quality index

改善作物品质等方面起到至关重要的作用。水稻生长过程中氮素的吸收对土壤氮素的依存超过一半<sup>[37]</sup>。

土壤氮含量受多重因素的影响，其含量处于动态变化的过程中，其中以水田条件下氮素损失量最少<sup>[38]</sup>。本研究发现，安徽省稻田表层土壤全氮平均含量为 1.44 g/kg，表层土壤碱解氮平均含量为 127.29 mg/kg，相比其他稻田土壤全氮、碱解氮含量均较低，这可能是与土壤的轮作方式、肥料施用量和肥料类型的差异有关。因此，该地区应在水稻种植期增加氮肥的施用量以确保氮素的供给。

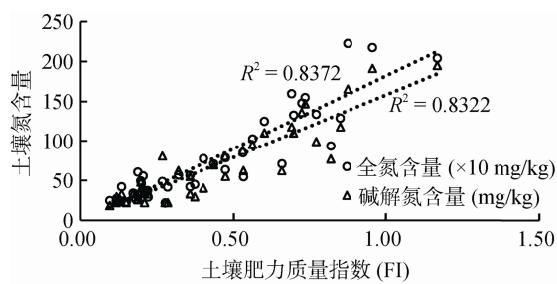


图 4 土壤氮素含量与土壤肥力质量指数之间的关系  
Fig. 4 Correlation between soil nitrogen content and soil fertility quality index

### 3 结论

安徽省水稻土类型主要是铁聚水耕人为土,土壤质地以粉砂壤土为主,表层土壤大体呈酸性,有机质含量差异较大。表层土壤肥力指数均处于中等或以上肥力水平,仅有两个土壤采样位点的土壤肥力质量为中等,其余均为好和较好,显示安徽省作为我国粮食生产大省其土壤肥力的良好状况,同时土壤肥力与土壤有机质、土壤全氮和碱解氮的含量呈显著正相关。因此在水稻种植期可以通过增加有机肥、氮肥等的施用以提高土壤肥力状况,从而保证水稻高产优质。

### 参考文献:

- [1] 张培江, 占新春, 吴文革, 李安林. 安徽省水稻生产现状及其发展对策[J]. 中国青年农业科学学术年报, 2002: 77-79
- [2] 王栋, 李辉信, 胡锋. 不同耕作方式下覆草旱作稻田土壤肥力特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(6): 1203-1209
- [3] 李梅, 张学雷. 基于 GIS 的农田土壤肥力评价及其与土体构型的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 129-136
- [4] 刘晓冰, 邢宝山. 土壤质量及其评价指标[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(2): 109-112
- [5] 李德清, 崔红梅, 李洪兴. 一种基于令人满意原则的多因素决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2003(12): 104-109
- [6] 韩晓刚, 黄廷林, 陈秀珍. 改进的模糊综合评价法及在给水厂原水水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2013, 33(5): 1513-1518
- [7] 赵艳玲, 何厅厅, 侯占东, 等. 基于 BFA-BP 神经网络的土壤肥力评价[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 340-344
- [8] 韩春建, 梁朝信, 吴克宁, 等. 基于 GIS 技术的灰色关联度法土壤肥力综合评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 53-56
- [9] 吴玉红, 田霄鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 173-180
- [10] 赵振亚, 姬宝霖, 宋小园, 等. 基于层次分析和模糊数学法的公乌素土壤质量评价[J]. 干旱区研究, 2014, 31(6): 1010-1016
- [11] 程富明. 改进层次分析法在采矿方法选择中的应用[J]. 能源与节能, 2014(8): 117-119
- [12] 田红, 杨婧婧. 改进层次分析法与模糊综合评价的耦合模型在水质评价中的应用[J]. 环境保护科学, 2011, 37(1): 70-72
- [13] 周旭, 安裕伦, 许武成, 等. 基于 GIS 和改进层次分析法的耕地土壤肥力模糊评价—以贵州省普安县为例[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 51-55
- [14] 许仙菊, 马洪波, 陈杰, 等. 基于养分丰缺诊断和主成分分析相结合的桑园土壤肥力评价[J]. 土壤, 2013, 45(3): 470-476
- [15] 章海波, 骆永明, 赵其国, 等. 香港土壤研究 . 基于改进层次分析法的土壤肥力质量综合评价[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 577-583
- [16] 颜雄, 张杨珠, 刘晶. 土壤肥力质量评价的研究进展[J]. 湖南农业科学, 2008(5): 82-85
- [17] 张贝尔, 黄标, 张晓光, 等. 近 30 年华北平原粮食主产区土壤肥力质量时空演变分析——以山东禹城市为例[J]. 土壤, 2012, 44(3): 381-388
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [19] 吴玉红, 田霄鸿, 侯永辉, 等. 基于田块尺度的土壤肥力模糊评价研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(8): 1422-1431
- [20] 李月琼, 罗子宏, 陈俊石, 等. 海南中部地区山区耕地土壤养分状况研究——以保亭县为例[J]. 热带农业科学, 2014, 34(10): 48-52
- [21] 韩磊, 李锐, 朱会利. 基于 BP 神经网络的土壤养分综合评价模型[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 109-115
- [22] 杨国栋, 王肖娟. 基于人工神经网络的土壤养分肥力等级评价方法[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 30-33
- [23] 许明祥, 刘国彬, 卜崇峰. 黄土丘陵区人工林地土壤肥力评价[J]. 西北植物学报, 2003, 23(8): 1367-1371
- [24] 王桂琴. 陇西县耕地土壤养分状况评价[J]. 甘肃农业, 2013(13): 25-27
- [25] 叶立新, 刘胜龙, 贾景丽, 等. 凤阳山不同群落土壤肥力质量评价[J]. 林业科技开发, 2009, 23(6): 17-20
- [26] 刘东海, 梁国庆, 周卫, 等. 基于神经网络的土壤肥力综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2011(5): 12-19
- [27] 王琳琳, 陈立新, 刘振花, 等. 红松阔叶混交林不同演替阶段土壤肥力与林木生长的关系[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(4): 59-65
- [28] Ying X, Zeng G, Chen G, et al. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality-A case study of Hunan Province, China[J]. Ecological Modelling, 2007, 209(2): 97-109
- [29] 马永红, 周荣喜, 李振光. 基于离差最大化的决策者权重的确定方法[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2007, 34(2): 177-180
- [30] 阳文锐, 王如松, 黄锦楼, 等. 反距离加权插值法在污染场地评价中的应用[J]. 应用生态学报, 18(9): 2013-2018
- [31] 宋春雨, 张兴义, 刘晓冰, 等. 土壤有机质对土壤肥力与作物生产力的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 357-362
- [32] 徐玲, 张杨珠, 周卫军, 等. 不同施肥结构下稻田产量及土壤有机质和氮素营养的变化[J]. 农业现代化研究, 2006, 27(2): 153-156
- [33] 芦思佳. 土壤有机碳的影响因素研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3078-3080
- [34] Doran J W, Safley M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Biological Indicators of Soil Health[M]. New York: CAB International, 1997
- [35] 程少敏, 林桂凤, 张漫龄, 等. 土壤有机质对土壤肥力的影响与调节[J]. 辽宁农业科学, 2006(1): 13-15
- [36] 张桃林, 潘剑君, 刘绍贵, 等. 集约农业利用下红壤地区土壤肥力与环境质量变化及调控——江西省南昌市郊区和余江县案例研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(4): 584-591

- [37] 张玉玲, 张玉龙, 虞娜, 等. 长期不同施肥对水稻土有机氮素矿化特性影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 272-276
- [38] 邹焱, 苏以荣, 路鹏, 等. 洞庭湖区不同耕种方式下水稻土壤有机碳、全氮和全磷含量状况[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 671-674

## Basic Physico-chemical Properties and Fertility Comprehensive Evaluation of Main Paddy Soils in Anhui Province

DAI Shixiang<sup>1,2</sup>, REN Wenjie<sup>1</sup>, TENG Ying<sup>1,2\*</sup>, CHEN Wei<sup>1</sup>, MA Wenting<sup>1</sup>, HUANG Yang<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** In total 43 horizon samples were collected from 11 paddy soil profiles in different areas in Anhui province, the basic physical and chemical properties were analyzed, and then a model was established to evaluate the fertility quality. The results showed that most paddy soils in Anhui Province are belonging to Fe-accumuli-stagnic Anthrosols according to the Chinese Soil Taxonomy. On the whole, the soils appear to be acidic, with pH value is roughly between 5.0–6.5, the contents of organic matter and nitrogen are relatively low, the average contents of organic matter, total nitrogen and available nitrogen in plough soil are 23.65 g/kg, 1.44 g/kg and 127.29 mg/kg respectively, and the textures of majority of the soils are silt loam. The fuzzy comprehensive evaluation model based on the improved analytic hierarchy process (AHP) showed that the plough soil fertility index FI is generally between 0.7–0.8, which indicate the fertility quality is in good level, and there are significant positive correlations between soil fertility and the contents of soil organic matter, total nitrogen and available nitrogen.

**Key words:** Anhui; Paddy soil; Improved analytical hierarchy process; Fuzzy comprehensive evaluation; Fertility quality