

# 长江下游典型地区农田土壤肥力变化\*

## ——以常熟市为例

胡建利<sup>1,2</sup> 王德建<sup>1†</sup> 孙瑞娟<sup>1</sup> 王 灿<sup>1</sup> 刘 勤<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所常熟农业生态国家野外研究站, 南京 210008)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要** 根据 2000 年和 2006 年两次在常熟市农田土壤 GPS 定位采样获得的土壤肥力属性数据, 分析该地区在经济高速发展背景下土壤属性的变化情况, 并用综合指数法进行了土壤肥力评价。结果表明, 土壤 pH 整体有所下降, 土壤有酸化的趋势, 有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾含量以及阳离子交换量 (CEC) 经过 6 a 的耕种后均有增加, 其中全氮、全钾和有效磷含量增加达到显著水平。在本次调查取样研究中, 全氮增量主要集中在  $0 \sim 0.4 \text{ g kg}^{-1}$ , 全钾增量主要集中在  $1 \sim 2 \text{ g kg}^{-1}$ , 有效磷增量主要集中在  $0 \sim 5 \text{ mg kg}^{-1}$ 。两次调查的土壤综合肥力指标 (FI) 均主要分布在优和良好两个等级, 2006 年土壤综合肥力指标相对于 2000 年有所增加, 土壤整体肥力状况有了一定程度的提高。

**关键词** 长江三角洲; 水稻土; 肥力综合评价; 土壤酸化

**中图分类号** S158 **文献标识码** A

长江下游地区属于我国经济较发达的区域之一, 人口密度大, 是我国重要的工业生产基地, 同时也是我国重要的农业生产区域。近年来, 随着我国经济高速发展, 使得粮食、人口、资源和环境之间的矛盾更加突出, 粮食安全问题再次成为大众关注的焦点。经济的高速发展降低了农业生产在该地区国民生产总值中的地位, 同时也改变了传统的农业生产方式。该地区的农业生产具有高投入、高产出、垦殖指数高、机械化水平高的特点<sup>[1]</sup>, 农田投入的增加会强烈影响该地区的土壤肥力状况, 同时也会产生环境问题<sup>[2,3]</sup>。

有关县域尺度上的土壤肥力评价, 前人已经作过许多研究工作<sup>[4,5]</sup>, 主要评价方法有综合指数法、层次分析法、灰色关联度法等<sup>[6]</sup>, 但是这些研究多是在某一个时间点采样分析空间范围的土壤肥力变化情况, 也有少数研究者以第二次土壤普查的数据为背景, 利用之后获得的一些数据对同一地区的土壤肥力变化进行了时间尺度上的分析, 可是这些研究局限于当时的研究条件和数据积累情况, 很难保证不同时期研究的采样点在同一地理位置, 不能做到前后研究采样获得的土壤数据的背景“一一对应”, 这样就无法克服

田块尺度上土壤化学性质的空间变异问题<sup>[7]</sup>, 时间尺度上土壤肥力变化比较时存在的因素较复杂, 研究结果就不具有很强的说服力。后来随着全球卫星定位系统 (GPS) 在土壤研究中的应用, 可以在一定精度范围内记录采样点的地理位置坐标, 使得在同一地理坐标上进行重复采样成为可能。

本文通过分析比较苏州地区常熟市 2000 年与 2006 年对应 GPS 定位点的农田土壤肥力属性数据, 了解该市自 2000 年以来农田土壤肥力状况及其变化状况, 为协调农业生产与环境保护之间的矛盾提供科学数据, 同时也为经济欠发达地区土壤肥力管理提供借鉴和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于苏州地区常熟市, 其全境属长江三角洲的一部分。该区域地处我国北亚热带的沿海, 处于东经  $120^{\circ}33' \sim 121^{\circ}03'$ , 北纬  $31^{\circ}31' \sim 31^{\circ}50'$ , 2005 年末拥有耕地面积  $58\,561 \text{ hm}^2$ , 境内地势平

\* 国家重点基础研究发展规划项目 (No. 2005CB121107) 中国科学院知识创新工程项目 (KSCX2-YW-N-038) 和江苏省太湖专项 (BS2007164) 资助

† 通讯作者, E-mail: djwang@issas.ac.cn

作者简介: 胡建利 (1982~), 男, 硕士研究生, 从事农田生态系统生产力方面的研究。E-mail: huj@163.com

收稿日期: 2007-07-17 收到修改稿日期: 2007-10-28

坦,水网密布,海拔大都在 3~7 m,少数低洼区域在 2.5 m 左右,是江苏省稻田的集中分布区域,水稻土壤类型多样,按亚类可以分为渗育型、潴育型、潜育型、脱潜型及漂洗型。全市主要农作物为小麦和水稻,大部分农田均为稻麦轮作制。

## 1.2 布点采样

采样点均匀分布在常熟市乡镇的基本农田内,共 52 个采样点(图 1)。2006 年采样时间为 5 月 26 日~27 日,2000 年的采样时间为 4 月 22 日~29 日。根据 2000 年采样记录的样点地理坐标,利用手持 GPS 定



图 1 常熟市土壤肥力调查采样点示意图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the investigation of soil fertility in Changshu County

位,用土钻采取耕层(0~15 cm)多点混合土样,风干,过 2 mm 和 0.149 mm 筛,制好土样备用。

## 1.3 分析项目与分析方法

分析项目: pH、全氮、有机质、CEC、有效磷、速效钾。pH 用水浸提法(水:土 = 2.5:1),全氮用凯氏半微量蒸馏法,有机质用重铬酸钾外热氧化法,全磷、全钾用高氯酸-氢氟酸消化后,分别用钼锑抗比色法和火焰光度法测定,有效磷用碳酸氢钠浸提比色法,速效钾用醋酸铵浸提火焰光度法,CEC 采用醋酸铵-EDTA(pH = 7.0)交换法测定,具体方法参见文献[8]。

## 1.4 数据处理方法

试验数据用 SPSS 13.0 进行分析处理。由于本次调查采样是利用 2000 年采样点坐标采样,前后两次采样点的土壤属性之间具有“一一对应”关系,因此可以对各土壤属性数据进行配对 t 检验(Paired-Samples T test),同时给出了各个属性的总体平均值和标准差(表 1)。

为了讨论土壤各个属性值在 6 a 内的变化程度,用 2006 年土壤属性数据减去对应采样点 2000 年的数据,得到各采样点的土壤属性变化量(数据未列出),然后分别绘制 pH、全氮、全磷、全钾、有机质、CEC、速效钾、有效磷变化量在不同变化范围内的频数分布图。

表 1 不同时期土壤肥力属性数据统计值<sup>1)</sup>

Table 1 Statistic of attribute data of soil fertility in different time periods

采样时间 Sampling time	pH <sup>2)</sup>	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	全磷 <sup>3)</sup> Total P (g kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total K (g kg <sup>-1</sup> )	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	阳离子交换量 CEC (mol kg <sup>-1</sup> )	有效磷 <sup>3)</sup> Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 <sup>3)</sup> Available K (mg kg <sup>-1</sup> )
2000年 In 2000	6.45 ± 0.93 a	1.72 ± 0.39 a	0.74 ± 0.17 a	17.17 ± 2.10 a	31.12 ± 8.28 a	16.98 ± 3.77 a	6.52 ± 3.36 a	81.14 ± 19.57 a
2006年 In 2006	6.26 ± 1.05 a	1.92 ± 0.48 b	0.77 ± 0.19 a	18.26 ± 1.65 b	32.61 ± 9.57 a	17.30 ± 3.69 a	8.74 ± 3.32 b	87.82 ± 22.91 a

1)同一列内带有相同字母的平均值之间没有显著差异( $p < 0.05$ ) No significance difference between the mean values affixed with the same letter in the same column ( $p < 0.05$ ); 2) 水土比 2.5:1  $W_{\text{water}}:W_{\text{soil}} = 2.5:1$  3) 为了保证数据分布的正态性,去掉部分极端值,全磷、速效钾 2000 年和 2006 年样本数均为 51 有效磷 2000 年和 2006 年的样本数分别为 52 和 42 Extreme values were excluded to assure the data's normality

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤 pH

不同采样点之间的 pH 的变化幅度存在差异。从图 2 可以看出,土壤 pH 变化范围介于 -0.25~0.25 个 pH 单位的采样点个数占总数的 34.6%,这些点所代表的土壤 pH 比较稳定。在其他采样点中

pH 降低大于 0.25 个 pH 单位的样点数占样点总数的 40.4%,其中 pH 降低大于 0.75 个 pH 单位的样点数占 17.3%,这说明常熟地区部分土壤的 pH 降低明显,有较强酸化趋势。同时部分样点的 pH 升高大于 0.25 个单位,占样点总数的 25%。

铵态氮肥的大量施用以及硝态氮的淋失等均会导致土壤酸化<sup>[9]</sup>。徐仁扣等<sup>[10]</sup>的研究表明:硝铵( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )施用量为  $\text{N } 80 \text{ kg hm}^{-2}$  的小麦-小麦轮作

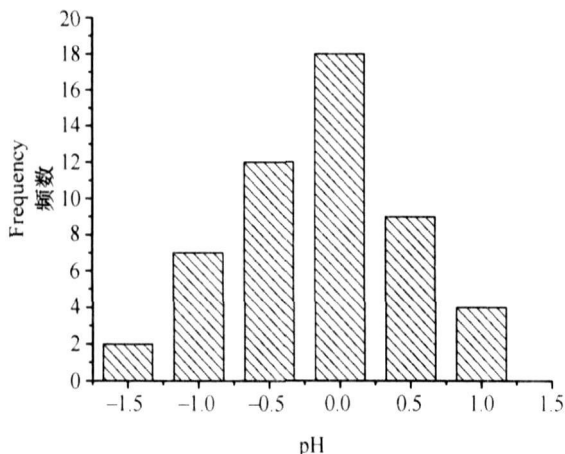


图 2 土壤 pH 变化量频数分布图

Fig. 2 Frequency distribution of the variance of soil pH

处理, 经过 15 a 种植以后, 土壤 pH 下降了 1.32 个单位。Mahi 等<sup>[9]</sup>通过长期定位研究发现, 当硝酸铵 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) 的施用量分别为  $\text{N} 0, 56, 112, 168, 224, 336 \text{ kg hm}^{-2}$  时, 27a 后表层土壤 pH 分别为 6.85, 6.00, 4.92, 4.10, 4.01, 3.82, 并且随着施用年限的延长, 下层土壤也有酸化的趋势。根据常熟统计年鉴数据计算得出, 常熟地区 2000 年至 2005 年氮肥施用水平为纯氮  $261 \sim 310 \text{ kg hm}^{-2}$ , 过量的施用氮肥可能是导致土壤酸化的原因之一。施用石灰和秸秆还田在一定程度上可以缓解土壤酸化的情况<sup>[9, 11]</sup>, 提高土壤生产能力。个别样点 pH 升高可能是由于农田管理措施的改善, 比如复合肥施用数量增加改善养分平衡状况、机械收割导致大量秸秆还田等。

## 2.2 土壤全氮

由表 1 可见, 2006 年土壤全氮平均含量达到了  $1.92 \text{ g kg}^{-1}$ , 较 2000 年显著增加 ( $p < 0.01$ )。通过频数分布图 (图 3) 可以看出, 全氮含量增加的样点数占总样点数的 78.8%, 增加的幅度多集中在  $0 \sim 0.4 \text{ g kg}^{-1}$  的范围内, 但也有部分采样点增加幅度高于  $0.4 \text{ g kg}^{-1}$ 。

吴新民等<sup>[12]</sup>对长江三角洲地区 1981 年至 2000 年的土壤养分数据的分析表明, 该地区土壤全氮含量呈 S 型增加。说明长江三角洲地区土壤全氮含量自第二次土壤普查以来均一直保持增加的趋势。这与当地化肥施用量增加有一定的关系。土壤中的碳氮比在前后两次采样之间也发生了明显的变化 (数据未列出), 多数采样点 2006 年的碳氮比在

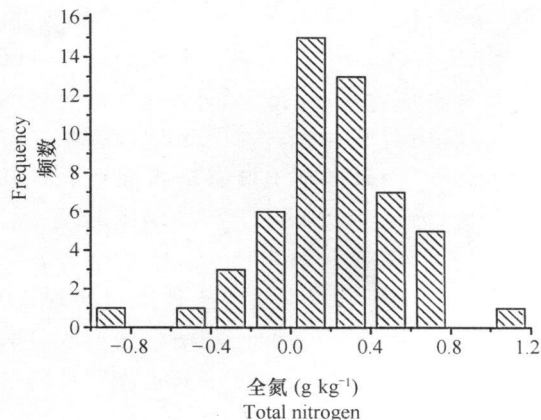


图 3 土壤全氮变化量频数分布图

Fig. 3 Frequency distribution of the variance of soil total nitrogen

2000 年的基础上有所下降, 配对 t 检验达到极显著水平 ( $p < 0.01$ )。这可能是由于化学氮肥大量施用而有机肥施入不足导致。从环境压力方面来分析, 土壤碳氮比下降, 土壤对外源氮的固定潜力也降低, 这将增加土壤中的氮进入水体和大气中的风险, 造成环境污染, 所以在该地区应该适量减少氮肥使用, 推广适宜氮肥使用量显得极为重要<sup>[13]</sup>。

## 2.3 土壤有机质

对比两次采样得到的有机质测定结果 (表 1), 常熟地区 2006 年土壤平均有机质含量整体上较 2000 年有所增加, 增加的幅度多在  $0 \sim 7.5 \text{ g kg}^{-1}$  的范围内 (图 4)。这可能是因为该地区的土地利用方式主要是水田, 水田有机质积累要较旱地明显<sup>[14]</sup>。而且近年来机械收割面积迅速增加, 机械收割时将秸秆粉碎还田, 这些均有利于农田中有机质含量增加。图 4 同时也显示部分采样点的有机质含量下降, 下降的幅度主要集中在  $-2.5 \sim -7.5 \text{ g kg}^{-1}$  范围内。采样调查中发现有些采样点的田块虽然种

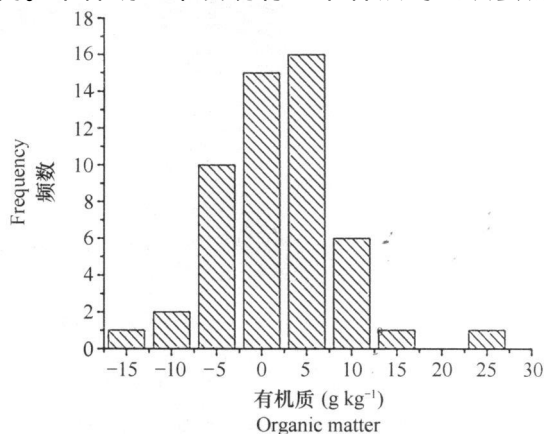


图 4 土壤有机质变化量频数分布图

Fig. 4 Frequency distribution of the variance of SOM

植了小麦,但长势明显较相邻田块差,杂草丛生,几乎处于荒芜的状态,这些田块上投入的管理可能较少,导致有机质含量下降。另外,当地城市基础设施建设过程中对基本农田表层土壤的破坏作用也可能是导致个别采样点土壤有机质剧烈下降以及其他肥力指标突变的原因。可见,经济的发展对农田土壤肥力的影响有利有弊。因此在经济发达的地区,政府应该探索更合适的土地承包管理模式,逐步形成一个社会分工明确、集中化程度较高的土地管理体制,从而提高农田土壤的整体管理水平和肥力水平。

## 2.4 土壤阳离子交换量

从表 1 可以看出,常熟地区土壤 CEC 经过 6 a 的耕作后整体上得到提高,达到了  $17.30 \text{ mol kg}^{-1}$ , 提高 1.9%。CEC 变化的幅度较小(图 5),主要集中在  $-1 \sim 2$  个单位之间,整体上有增加的趋势。阳离子交换量大小决定于土壤的矿物类型、黏粒含量<sup>[15]</sup>以及有机质含量。由于本研究采样是利用 GPS 定位,与前次研究的采样点在同一农户田块,同一采样点土壤的矿物类型是基本一致,因此 CEC 的增加可能主要是由于有机质增加引起。对 CEC 变化量和 SOM 变化量作统计分析发现,两者之间极显著相关( $r = 0.37, n = 52, p < 0.01$ ),说明土壤中有机质含量的增加,显著提高了土壤的阳离子交换能力。

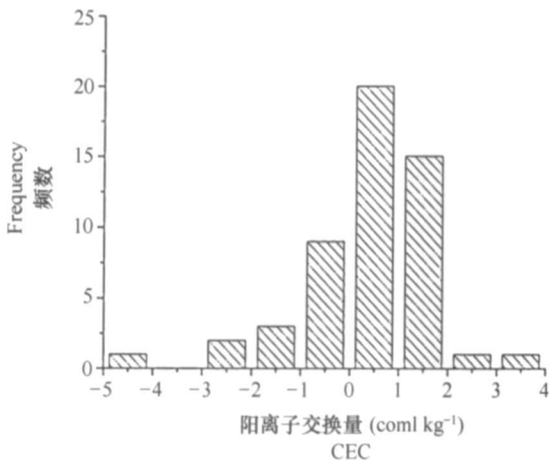


图 5 土壤阳离子交换量变化量频数分布图

Fig 5 Frequency distribution of the variance of CEC

## 2.5 土壤全磷和全钾

2000~2006 年土壤全磷的变化量分布在  $-0.1 \sim 0, 0 \sim 0.1$  和  $0.1 \sim 0.2 \text{ g kg}^{-1}$  范围的样点数分别占样点总数的 23.1%, 46.2% 和 13.5% (图

6), 处于这三个范围的样点变化量的均值分别为  $-0.05, 0.04$  和  $0.15 \text{ g kg}^{-1}$ , 可见, 2006 采样时大部分采样点所代表的田块全磷含量变化很小, 但有 13.5% 田块全磷含量增量在  $0.15 \text{ g kg}^{-1}$  左右。

从图 7 可以看到, 大部分采样点 2006 年土壤全钾含量都有所增加, 变化量在  $0 \sim 1 \text{ g kg}^{-1}, 1 \sim 2 \text{ g kg}^{-1}, 2 \sim 3 \text{ g kg}^{-1}$  范围的样点数分别占样点总数的 17.3%, 50.0% 和 13.5%, 分布在这三个范围样点变化量的均值分别为  $0.61 \text{ g kg}^{-1}, 1.49 \text{ g kg}^{-1}$  和  $2.30 \text{ g kg}^{-1}$ 。

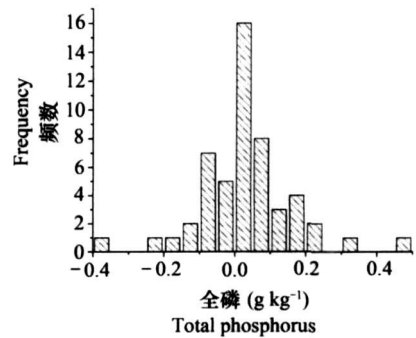


图 6 土壤全磷变化量频数分布图

Fig. 6 Frequency distribution of the variance of total phosphorus

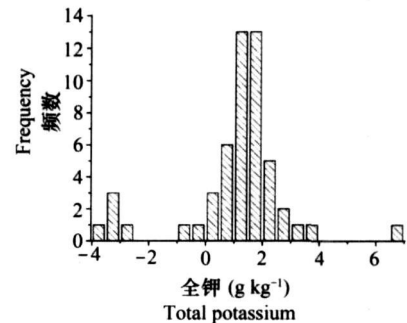


图 7 土壤全钾变化量频数分布图

Fig. 7 Frequency distribution of the variance of total potassium

## 2.6 土壤有效磷和速效钾

总体上来看, 2006 年土壤有效磷含量较 2000 年要显著增加 ( $p = 0.05$ ), 从 2000 年的  $6.52 \text{ mg kg}^{-1}$  增加至 2006 年的  $8.74 \text{ mg kg}^{-1}$  (表 1)。从频数分布来看(图 6), 增加的点数占样点总数的 88.5%, 增加的幅度主要集中在  $0 \sim 5 \text{ mg kg}^{-1}$  的范围内, 分布在这个范围的样点变化量均值为  $2.39 \text{ mg kg}^{-1}$ , 和整体平均浓度变化量 ( $2.22 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 接近, 另有 19.2% 的采样点的变化量在  $7.11 \text{ mg kg}^{-1}$  左右。速效钾的平均含量也有所升高, 但统计上并未达到显著差异 ( $p = 0.21$ )。有效磷和速效钾的增加与农民近年来复合肥料用量增加有很大关系。

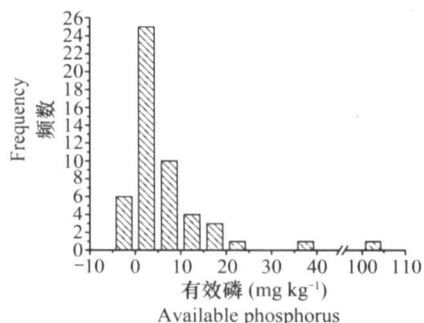


图8 土壤有效磷变化量频数分布图

Fig. 8 Frequency distribution of the variance of available phosphorus

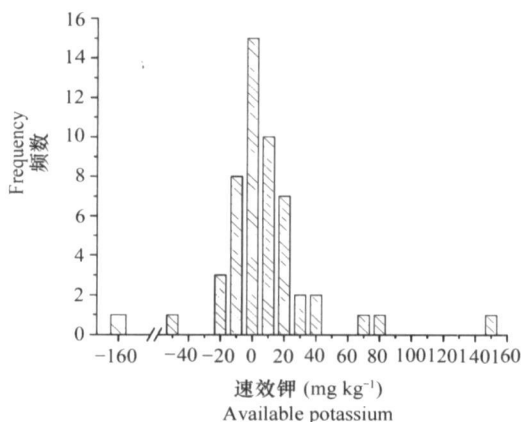


图9 土壤速效钾变化量频数分布图

Fig. 9 Frequency distribution of the variance of available potassium

2006年采样的时期处于小麦成熟期, 2000年采样时间处于小麦灌浆中期。在同一小麦生长季, 成熟期土壤中速效养分含量较灌浆期略低<sup>[16]</sup>。因此, 如果考虑到小麦生育期的影响, 2006年小麦灌浆期土壤中有效磷和速效钾的含量可能较本研究测定的结果会更高一些。

## 2.7 土壤肥力综合评价

为了更好地反映前后两次采样期间土壤肥力变化情况, 利用土壤肥力综合指标法 (IFI) 对 2000 年和 2006 年的土壤肥力状况进行了评价。在评价过程中, 参照文献 [17] 的研究方法选取评价指标和数据标准化。选择评价指标时, 综合考虑数据的可比性及指标的代表性, 选择有机质、全氮、全磷、全钾、速效钾和有效磷作为养分状况指标, CEC 和 pH 作为物理和化学环境指标。关于隶属函数折点取值, 不同的研究取值不尽相同, 因此, 本研究依照《全国第二次土壤普查技术规程》<sup>[18]</sup> 中的分级标准来确定各隶属函数折点取值, 以便不同研究之间的比较。具体取值见表 2 和表 3。

根据文献 [17] 的土壤综合肥力评价方法对 2000 年和 2006 年的土壤肥力进行综合评价, 得到所有采样点不同年份的综合肥力指标值, 具体数值见表 4。

表 2 抛物线型隶属函数曲线折点的取值

Table 2 Value of the turning point in the parabola curve of membership function

折点 Turning point	x1	x2	x3	x4
pH	4.5	5.5	6.5	8.5

表 3 S型隶属函数曲线折点的取值

Table 3 Values of the turning points in the S-shaped curve of membership function

折点 Turning point	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total K (g kg <sup>-1</sup> )	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	阳离子交换量 CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )
x1	1.0	0.5	15	15	10	60	5
x2	2.0	1.0	20	40	20	100	15

将计算出的各采样点所代表田块的综合肥力指标划分成肥力优 (> 0.60)、良好 (0.45 ~ 0.60)、中等 (0.30 ~ 0.45)、较差 (0.15 ~ 0.30)、极差 (< 0.15) 五个不同的肥力等级, 以便描述土壤肥力整体分布情况。2000 年和 2006 年各采样点代表的田块的综合肥力指标分级分布见表 5。

对比 2000 年和 2006 年土壤综合肥力指标 (表 4), 采样点的综合肥力指标在 2000 年和 2006 年变化的方向和程度都不一样, 大部分采样点所在田块

2006 年的综合肥力指数升高, 对两个年份的数据进行配对 t 检验, 2006 年综合肥力指标平均升高 0.05 达到显著水平 ( $p < 0.05$ )。

2000 年、2006 年的采样点在前三个等级的分布数量分别占总数的 17.3%、26.9%、30.8% 和 32.7%、17.3%、32.7%。2006 年分布在优这一等级的采样点数量相对于 2000 年大幅增加, 分布在较差这个等级的数量有所减少, 说明自 2000 年以来, 常熟地区农田土壤综合肥力状况有了一定程度的提高。

表 4 土壤综合肥力数值表

Table 4 Values of integrated soil fertility indexes (IFI)

田块 编号 Sampled field code	2000年综合肥力 指标 Integrated fertility index of 2000	2006年综合肥力 指标 Integrated fertility index of 2006	田块 编号 Sampled field code	2000年综合肥力 指标 Integrated fertility index of 2000	2006年综合肥力 指标 Integrated fertility index of 2006
c01	0.57	0.51	c27	0.52	0.69
c02	0.43	0.51	c28	0.67	0.77
c03	0.40	0.54	c29	0.50	0.68
c04	0.40	0.69	c30	0.33	0.30
c05	0.18	0.11	c31	0.66	0.63
c06	0.34	0.37	c32	0.36	0.61
c07	0.34	0.12	c33	0.75	0.88
c08	0.17	0.15	c34	0.70	0.44
c09	0.73	0.72	c35	0.45	0.34
c10	0.52	0.62	c36	0.49	0.61
c11	0.64	0.77	c37	0.14	0.11
c12	0.68	0.37	c38	0.18	0.20
c13	0.64	0.55	c39	0.17	0.33
c14	0.51	0.69	c40	0.08	0.11
c15	0.42	0.40	c41	0.25	0.51
c16	0.41	0.34	c42	0.12	0.13
c17	0.32	0.38	c43	0.30	0.38
c18	0.30	0.41	c44	0.47	0.70
c19	0.34	0.42	c45	0.51	0.69
c20	0.28	0.33	c46	0.44	0.53
c21	0.45	0.33	c47	0.19	0.42
c22	0.17	0.40	c48	0.17	0.35
c23	0.43	0.29	c49	0.51	0.70
c24	0.57	0.67	c50	0.30	0.35
c25	0.56	0.49	c51	0.58	0.57
c26	0.60	0.61	c52	0.55	0.59

表 5 综合肥力指数分级分布 (以采样田块数计)

Table 5 Grade distribution of integrated soil fertility (Number of sampled field)

年份 Year	等级 Grade				
	优 Top	良好 Better	中等 Middle	较差 Worse	极差 Worst
2000	9	14	16	10	3
2006	17	9	17	4	5

### 3 结论

2006年土壤的 pH 有所降低, 40.4% 的样点 pH

较 2000 年降低 0.25 个 pH 单位以上, 而全氮、全钾和有效磷含量相对于 2000 年显著增加, 该地区氮肥的使用量已经处于较高的水平, 过多的施用氮肥会增加环境压力, 因此需要推广生态经济的合理氮肥

施用量。

土壤综合肥力评价结果表明, 2006年常熟地区农田土壤肥力指数较 2000年显著增加, 大部分田块都处于较高的肥力等级。经过 6 a 的耕作, 常熟地区农田土壤综合肥力状况有了一定程度的提高。

## 参考文献

- [ 1 ] 陈浮, 濮励杰, 曹慧, 等. 近 20 年太湖流域典型区土壤养分时空变化及驱动机理. 土壤学报, 2002, 39( 2): 236~ 245. Chen F, Pu L J, Cao H, *et al* Spatial and temporal changes of soil nutrients and their mechanism in typical area of Taihu Lake valley during the past two decades ( In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 2002 39( 2): 236~ 245
- [ 2 ] 王鹏, 高超, 姚琪, 等. 太湖丘陵地区农田氮素迁移的时空分布特征. 环境科学, 2006, 27( 8): 1 671~ 1 675. Wang P, Gao C, Yao Q, *et al* Temporal and spatial distribution characteristics of nitrogen losses in hilly area of Tai Lake ( In Chinese). *Chinese Journal of Environmental Science* 2006 27( 8): 1 671~ 1 675
- [ 3 ] 王鹏, 高超, 姚琪, 等. 环太湖丘陵地区农田磷素随地表径流输出特征. 农业环境科学学报, 2006 25( 1): 165~ 169. Wang P, Gao C, Yao Q, *et al* Agricultural phosphorus losses with overland runoff in hilly area around Tai Lake ( In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science* 2006, 25( 1): 165~ 169
- [ 4 ] 张庆利, 潘贤章, 王洪杰, 等. 中等尺度上土壤肥力质量的空分布研究及定量评价. 土壤通报, 2003 34( 6): 493~ 497. Zhang Q L, Pan X Z, Wang H J *et al* Study on spatial distribution of soil quality and quantitative evaluation of soil fertility quantity under middle spatial scale ( In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science* 2003, 34( 6): 493~ 497
- [ 5 ] 周勇, 张海涛, 汪善勤, 等. 江汉平原后湖地区土壤肥力综合评价方法及其应用. 水土保持学报, 2001, 15( 4): 70~ 74. Zhou Y, Zhang H T, Wang S Q, *et al* Study on comprehensive evaluation method of soil fertility in Houhu Farm enterprise of Jiangnan Plain ( In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation* 2001, 15( 4): 70~ 74
- [ 6 ] 刘世梁, 傅伯杰, 刘国华, 等. 我国土壤质量及其评价研究进展. 土壤通报, 2006, 37( 1): 137~ 143. Liu S L, Fu B J, Liu G H, *et al* Research review of quantitative evaluation of soil quality in China ( In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science* 2006, 37( 1): 137~ 143
- [ 7 ] Alfred E. Hartemink. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. *Advances in Agronomy*, 2006 89: 179~ 225
- [ 8 ] 中国土壤学会编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000 22. Soil Science Society of China ed. *Analytical Methods of Soil and Agricultural Chemistry* ( In Chinese). Beijing China Agricultural Science and Technology Press, 2000 22
- [ 9 ] Mahi S Nyborg M, Harapak JT. Effects of long-term N fertilizer induced acidification and liming on micronutrients in soil and in brume grass hay. *Soil and Tillage Research*, 1998, 48: 91~ 101
- [ 10 ] 徐仁扣, Coventry D R. 某些农业措施对土壤酸化的影响. 农业环境保护, 2002 21( 5): 385~ 388. Xu R K, Coventry D R. Soil acidification as influenced by some agricultural practices ( In Chinese). *Agro-Environment Protection* 2002 21( 5): 385~ 388
- [ 11 ] Xu J M, Tang C, Chen Z L. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. *Soil Biology and Biochemistry* 2006 38: 709~ 719
- [ 12 ] 吴新民, 潘根兴, 李恋卿. 长江三角洲土壤质量演变趋势分析. 地理与地理信息科学, 2006 22( 3): 87~ 91. Wu X M, Pan G X, Li L Q. Study on soil quality change in the Yangtze River Delta ( In Chinese). *Geography and Geo-Information Science* 2006, 22( 3): 87~ 91
- [ 13 ] 王德建, 林静慧, 孙瑞娟, 等. 太湖地区高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响. 土壤学报, 2003 40( 3): 426~ 432. Wang D J, Lin J H, Sun R J *et al* Optimum nitrogen rate for a high productive rice-wheat system and its impact on the groundwater in the Taihu Lake Area ( In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 2003 40( 3): 426~ 432
- [ 14 ] 许泉, 芮雯奕, 刘家龙, 等. 我国农田土壤碳氮耦合特征的区域差异. 生态和农村环境学报, 2006 22( 3): 57~ 60. Xu Q, Rui W Y, Liu J L, *et al* Spatial variation of coupling characteristics of soil carbon and nitrogen in farmland of China ( In Chinese). *Journal of Ecology and Rural Environment* 2006 22( 3): 57~ 60
- [ 15 ] 马毅杰. 长江下游土壤矿物组成与其土壤肥力. 长江流域资源与环境, 1994 3( 1): 1~ 8. Ma Y J. Mineral compositions and fertility of soils in middle and lower reaches of the Yangtze River ( In Chinese). *Resource and Environment in the Yangtze Basin* 1994, 3( 1): 1~ 8
- [ 16 ] 胡田田, 李岗, 韩思明, 等. 冬小麦氮磷营养特征及其与土壤养分动态变化的关系. 麦类作物学报, 2000, 20( 4): 47~ 50. Hu T T, Li G, Han S M, *et al* Characteristics of nitrogen and phosphorus absorption by winter wheat and its relation with dynamic change of soil nutrition ( In Chinese). *Journal of Triticeae Crops* 2000 20( 4): 47~ 50
- [ 17 ] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价. 土壤学报, 1995 32( 4): 362~ 369. Sun B, Zhang T L, Zhao Q G. Comprehensive evaluation of soil fertility in the hilly and mountainous region of southeastern China ( In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 1995, 32( 4): 362~ 369
- [ 18 ] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术. 北京: 农业出版社, 1992 213. The National Soil Survey Office. *Chinese Soil Survey Technology* ( In Chinese). Beijing Agriculture Press, 1992 213

VARIATION OF SOIL FERTILITY OF FARMLANDS IN TYPICAL REGIONS IN THE  
LOWER-REACHES OF THE YANGTZE RIVER  
— A CASE STUDY OF CHANGSHU COUNTY

Hu Jianli<sup>1,2</sup> Wang Dejian<sup>1†</sup> Sun Rujuan<sup>1</sup> Wang Can<sup>1</sup> Liu Qin<sup>1</sup>

(1 Changshu National Agroecological Experiment Station, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Changshu County in Jiangsu Province was chosen as a typical region in investigating variation of soil fertility between 2000 and 2006 in the Yangtze River Delta. Two sets of soil chemical property data were compared and the integrated soil fertility index (IFI) method was also used to evaluate soil fertility as a whole. Results show that soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK), CEC, available phosphorus (AP), available potassium (AK) all increased in the fields after 6 years of cultivation, while pH decreased. Among all the charges, TN, TK and AP increased most significantly. In this study, the increment of TN, TK and AP varied in the range of 0~4 g kg<sup>-1</sup>, 1~2 g kg<sup>-1</sup> and 0~5 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. The IFIs obtained in soil surveys of both 2006 and 2000 were mainly scattered in the 2 top grades, excellent and good, and the integrated soil fertility in 2006 displayed an increasing trend as compared to that in 2000, indicating that the soil fertility was improved during the cultivation.

**Key Words** Yangtze River Delta, Paddy soil, Soil fertility evaluation, Soil acidification