

# 1980—2010 年安徽省耕地表层土壤养分变化特征<sup>①</sup>

赵明松<sup>1,2</sup>, 李德成<sup>2\*</sup>, 张甘霖<sup>2</sup>, 王世航<sup>1</sup>

(1 安徽理工大学测绘学院, 安徽淮南 232001; 2 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:**本研究利用安徽省第二次土壤普查数据和 2010—2011 年土壤调查数据, 运用统计方法从省级和县级两个尺度研究 1980—2010 年安徽省耕地表层(0~20 cm)土壤有机质(SOM)、全氮(TN)、全磷(TP)和全钾(TK)等养分含量的变化特征。结果表明:1980—2010 年全省耕地土壤养分变化趋势不同, SOM 平均含量由 20.65 g/kg 增加到 23.30 g/kg, TP 平均含量由 0.58 g/kg 增加到 0.71 g/kg, TN 含量总体保持不变, TK 平均含量由 19.00 g/kg 减少到 14.28 g/kg, 4 种养分含量的变异程度均降低。从养分含量的等级分布来看, 全省耕地肥力总体上提高, SOM、TP 和 TN 的高值比例均有不同程度的增加, TP 含量的等级提升较大。在空间上, 淮北平原和沿江平原的 SOM 和 TN 含量增加较多, 淮北平原和皖南丘陵区 TP 含量增加较多, 各地理区域 TK 含量减少程度相似。3 个典型县土壤养分变化趋势与全省变化趋势一致, 除 TK 含量减少外其余养分含量均有不同程度的增加。典型县耕地土壤养分变化与相应的地理区域养分变化趋势基本一致。

**关键词:** 土壤养分; 变化特征; 耕地; 安徽省

中图分类号: S159 文献标识码: A

耕地土壤的养分含量直接影响农作物生长和产量, 同时对改善土壤理化性质、农业可持续发展等有着重要的意义。揭示耕地土壤养分的变化规律是评估区域耕地土壤肥力演变趋势、改善土壤质量、提高农业生产的基础。国内学者主要以 20 世纪 80 年代全国第二次土壤普查为参考, 结合全国或重点区域耕地土壤肥力调查数据、收集公开发表的文献数据、测土配方施肥数据、现阶段研究者自主采样调查数据等, 研究不同区域不同时期内的土壤养分含量的时空变化。

在全国尺度上, 一般采用经典统计方法研究土壤养分变化。如俞海等<sup>[1]</sup>利用全国第二次土壤普查和 2000 年中科院南京土壤研究所土壤质量演变调查数据, 分析了我国东部耕地土壤肥力的变化趋势。黄耀和孙文娟<sup>[2]</sup>、于严严等<sup>[3]</sup>通过收集已发表文献的数据研究了我国大陆农田表层有机碳含量变化。省级尺度上, 根据土壤样点覆盖程度, 多采用经典统计学或经典统计学与空间插值方法相结合。刘建玲等<sup>[4]</sup>、罗由林等<sup>[5]</sup>利用经典统计方法研究了太行山麓平原、四川

省中部丘陵土壤养分变化特征。张春华等<sup>[6]</sup>、Zhao 等<sup>[7]</sup>利用统计学和 Kriging 插值分别研究了松嫩平原、江苏省土壤有机质含量时空变化。赵小敏等<sup>[8]</sup>利用反距离权重插值研究了江西省耕地土壤全氮含量的变化。县级尺度上, 孔祥斌等<sup>[9]</sup>、胡克林等<sup>[10]</sup>利用 Kriging 插值方法, 研究了 1980—2000 年北京市大兴区等地土壤养分含量的时空变化。

根据第二次土壤普查统计, 安徽省中低产土壤面积较大。全省约有 31.1% 的耕地土壤的有机质含量低于 15 g/kg; 全氮含量在 0.75~1.00 g/kg; 51.4% 的耕地缺磷素, 12.9% 的耕地缺钾素, 12.2% 的耕地同时缺磷素和钾素<sup>[11]</sup>。土壤养分元素的大量缺乏, 加之用养失调, 制约了农业生产的发展。本研究利用安徽省 2010—2011 年土壤调查数据和第二次土壤普查数据, 运用经典统计方法从省级和县级两个尺度研究 1980—2010 年安徽省耕地土壤有机质、氮磷钾等养分含量的变化特征, 以探讨农业管理措施等因素对其变化的影响, 为改善区域土壤肥力、提高农业生产等提供科学依据。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41501226)、安徽省高校自然科学基金项目(KJ2015A034)、国家科技基础性工作专项(2008FY110600)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金(Y412201431)和安徽理工大学人才引进项目(ZY020)资助。

\* 通讯作者(dcli@issas.ac.cn)

作者简介: 赵明松(1983—), 男, 安徽淮南人, 博士, 副教授, 主要从事数字土壤制图和土壤空间变异研究。E-mail: zhaomingsonggis@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

安徽省位于长江、淮河中下游,介于  $114^{\circ}54' \sim 119^{\circ}37' E$   $29^{\circ}41' \sim 34^{\circ}38' N$ ,总面积为  $13.96 \text{ 万 km}^2$ 。全省地处亚热带与暖温带的过渡地区,年均气温  $14 \sim 16^{\circ}C$ ,年均降水量  $800 \sim 1\,800 \text{ mm}$ ,年均日照  $1\,800 \sim 2\,500 \text{ h}$ 。全省地势西南高、东北低,海拔  $6 \sim 1\,865 \text{ m}$ ,由北至南分为淮北平原、江淮丘陵岗地、皖西大别山区、沿江平原区和皖南丘陵山区 5 个地理区域(图 1)。省内主要分布着潮土(潮湿锥形土)、水稻

土(水耕人为土)、黄棕壤与黄褐土(湿润淋溶土)、粗骨土(正常新成土)、草甸土(正常有机土)等土壤。全省淮河以北以小麦-玉米(大豆)轮作为主,长江、淮河流域以小麦(油菜)-晚稻轮作为主,皖西和皖南山区以林、茶为主。根据不同地理区域的农业耕作特点,从淮北平原、江淮丘陵岗地和皖南低山丘陵区选取蒙城县、定远县和宣州区 3 个典型县,进一步研究分析不同地理区耕地土壤养分变化的特征。蒙城县以旱作、麦-豆(玉米、棉花)轮作为主;定远县以水旱轮作、小麦(油菜)-水稻轮作为主;宣州区以水田、双季稻(油菜-晚稻)为主。

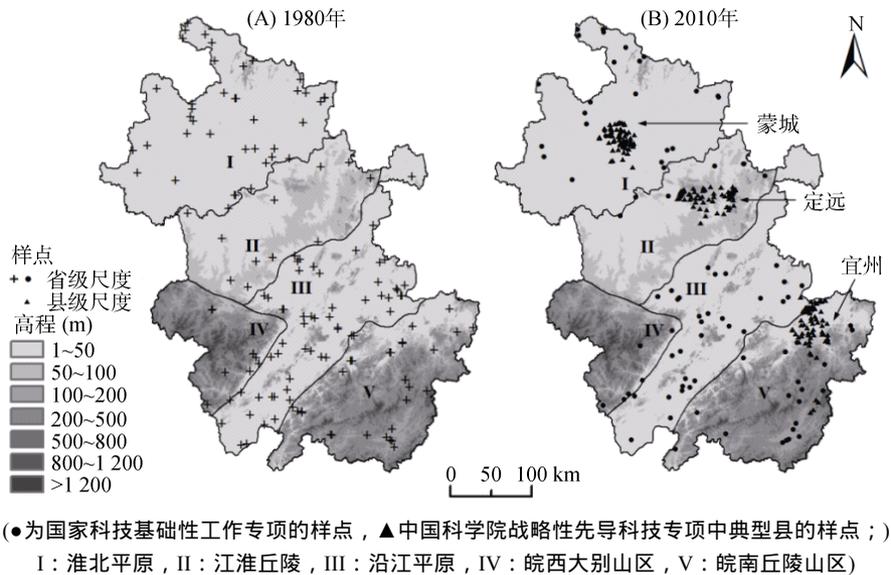


图 1 安徽省典型土壤剖面空间分布

Fig.1 Spatial distribution of typical soil profiles in Anhui Province

### 1.2 研究方法

**1.2.1 土壤样品采集** 安徽省第二次土壤普查采样时间在 1980 年前后,本文将时间定为 1980 年。该时期的土壤数据来源于《安徽土种》<sup>[12]</sup>、蒙城县、定远县和宣州市(今宣城市宣州区)土种志 中典型土壤剖面。2010 年土壤数据来源于国家科技基础性工作专项“我国土系调查与《中国土系志》编制”(2008FY 110600)、中国科学院战略性先导科技专项子课题“华东农田固碳潜力与速率研究”(XDA05050503)中安徽省土壤数据集,采样时间为 2010—2011 年。

2010—2011 年采样均在全省第二次土壤普查时期的典型剖面附近进行。采样包括两种尺度: 全省尺度。在全省范围内基于地形-母质-土地利用等景观要素组合采集的典型耕地土壤剖面,1980 年 158 个,2010 年 161 个(图 1A)。 县级尺度。在蒙城、定远

和宣城 3 个典型县,采集耕作土壤剖面 and 双层样点。1980 年蒙城县 46 个、定远县 30 个、宣州区 41 个; 2010 年蒙城县 70 个(其中 23 个为省级尺度样品)、定远县 69 个(其中 23 个为省级尺度样品)、宣州区 69 个(其中 22 个为省级尺度样品)(图 1B)。本研究以表层(0~20 cm)土壤养分含量为研究对象。典型土壤剖面按照发生层取样,对于表层深度大于 20 cm 的数据,不做处理;对于表层小于 20 cm 的数据,以深度为权重取 0~20 cm 内所有土层的加权平均值。

**1.2.2 样品分析** 土壤有机质(SOM)采用重铬酸钾氧化-滴定法测定,土壤全氮(TN)采用重铬酸钾、硫酸硝化-蒸馏法(凯氏蒸馏法)测定,全磷(TP)采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定,全钾(TK)采用氢氧化钠碱熔-火焰光度法测定<sup>[13]</sup>。

**1.2.3 数据处理** 利用 SPSS 13.0 for Windows 对土

安徽省蒙城县土壤普查办公室. 蒙城土壤, 1985; 安徽省定远县土壤普查办公室. 定远土壤, 1985; 安徽省宣州市土壤普查办公室, 宣城土壤, 1987

壤养分含量进行描述性统计、方差分析等。利用 SigmaPlot 10.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 全省土壤有机质含量变化

表 1 为安徽省 1980 年和 2010 年耕地 SOM 含量及其变化结果。1980—2010 年, 全省耕地 SOM 平均值增加了 2.65 g/kg, SOM 含量极差和标准差均减小。1980 年和 2010 年 SOM 变异系数分别为 57.05% 和 37.81%, 均属于中等变异强度, 与 1980 年相比, 2010 年 SOM 的变异程度降低。1980—2010 年, 不同土地利用和地理区域的 SOM 含量变化差异较大。旱地的 SOM 含量增加较多, 平均增加了 5.17 g/kg, 水田 SOM 含量增加 1.36 g/kg。不同地理区域内, 淮

北平原 SOM 增加最多, 平均增加了 7.80 g/kg; 其次是沿江平原, 平均增加 3.99 g/kg; 皖南丘陵山区和江淮丘陵地区的耕地 SOM 含量基本不变。从空间上看, 全省有机质含量增加幅度总体由北向南依次减少。比较 SOM 变化幅度与 SOM 初始含量的关系发现: 不同地理区域(除江淮丘陵)和土地利用呈现相似的规律, 即初始 SOM 含量高的区域, 有机质含量增加较少; 初始含量低的区域, 有机质含量增加较快。这与 Zhao 等<sup>[7]</sup>、程先富等<sup>[14]</sup>和张春华等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。这可能与土壤贫瘠地区往往需要投入更多的肥料和更加精细的管理以提高产量有关, 而初始值高的地区人们更依赖于土壤原始较高的地力而忽视了投资与投入, 致使土壤养分消耗。在农业生产中要注意“用”、“养”相结合, 保证土壤肥力的稳定及提升。

表 1 1980—2010 年安徽省土壤 SOM 含量的统计值(g/kg)  
Table 1 Statistics of SOM contents of Anhui Province in 1980 and 2010

统计单元	1980 年			2010 年			1980—2010 年 SOM 变化量
	样本数	均值 ± 标准差	范围	样本数	均值 ± 标准差	范围	
总体	158	20.65 ± 11.78	1.40 ~ 57.90	161	23.30 ± 8.81	7.63 ~ 45.05	2.65
水田	83	27.05 ± 0.54	6.00 ~ 57.90	76	28.41 ± 8.46	11.14 ~ 45.05	1.36
旱地	75	13.56 ± 8.62	1.40 ~ 50.00	85	18.73 ± 6.25	7.63 ~ 44.88	5.17
淮北平原	42	10.46 ± 4.10 b	1.40 ~ 24.90	49	18.26 ± 4.47 b	8.15 ~ 26.82	7.80
江淮丘陵	12	20.32 ± 10.03 a	6.00 ~ 44.00	30	20.33 ± 7.63 b	7.63 ~ 36.58	0.01
沿江平原	62	23.69 ± 11.71 a	3.40 ~ 57.90	31	27.68 ± 10.62 a	12.10 ~ 44.88	3.99
皖西大别山区	9	23.96 ± 11.05 a	9.30 ~ 50.00	9	25.07 ± 7.50 a	16.21 ~ 39.94	1.11
皖南丘陵山区	33	27.12 ± 11.50 a	9.50 ~ 48.50	42	27.69 ± 8.53 a	11.14 ~ 45.05	0.57

注: 同列数值后不同小写字母表示不同地理区域间差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

图 2A 为 1980 年和 2010 年 SOM 含量等级变化情况。根据第二次土壤普查标准, 1980—2010 年间全省属于二级(30 ~ 40 g/kg)水平的样点比例由 9.49% 增加到 16.15%, 三级(20 ~ 30 g/kg)水平的样点比例由 29.11% 增加到 38.51%。一级(> 40 g/kg)、四级(10 ~ 20 g/kg)、五级(6 ~ 10 g/kg)和六级(≤ 6 g/kg)水平的样点比例均有不同幅度的下降, 其中五级水平样点比例下降最多, 为 8.92%。结果表明, 全省 SOM 含量高值比例增加, 低值比例下降, 总体上土壤肥力升高。

### 2.2 全省土壤全氮含量变化

全省 1980 年和 2010 年耕地 TN 含量及其变化结果见表 2。1980—2010 年全省耕地 TN 含量总体保持不变, 极差和标准差均有不同程度的减少。与 1980 年相比, 2010 年 TN 变异程度降低, 但任属中等变异程度。1980—2010 年, 水田的 TN 含量略有增加, 平均含量增加 0.06 g/kg; 旱地的 TN 含量略有下降, 降低 0.02 g/kg。不同地理区域内,

沿江平原 TN 含量增加较多, 平均增加 0.22 g/kg, 淮北平原增加了 0.12 g/kg; 皖西大别山区和江淮丘陵含量减少, 皖西地区 TN 含量下降达 0.96 g/kg。

图 2B 为 1980 年和 2010 年 TN 含量等级变化情况。1980—2010 年间全省属于一级(> 2.00 g/kg)、二级(1.50 ~ 2.00 g/kg)和三级(1.00 ~ 1.50 g/kg)水平的样点比例有不同程度的增加, 其中三级水平增加最多, 为 13.81%。四级(0.75 ~ 1.00 g/kg)、五级(0.50 ~ 0.75 g/kg)和六级(0.50 g/kg)水平的样点比例明显下降。结果表明, 近 30 年来全省 TN 含量分布趋于集中, 含量等级有所增加。

### 2.3 全省土壤全磷含量变化

全省 1980 年和 2010 年 TP 含量及其变化结果见表 3。1980—2010 年, 全省耕地 TP 含量平均值增加了 0.13 g/kg, 极差和标准差略有减小。1980 年和 2010 年 TP 变异系数分别为 74.14% 和 40.85%, 变异程度降低, 仍均属中等强度变异。

1980—2010年,水田和旱地的平均含量均增加0.12 g/kg。不同地理区域,除皖西大别山区的TP含量下降0.18 g/kg外,其他区域TP含量均有不同程度

的增加。皖南丘陵山区和淮北平原增加最多,增幅达0.17 g/kg和0.15 g/kg,沿江平原TP含量基本保持不变。

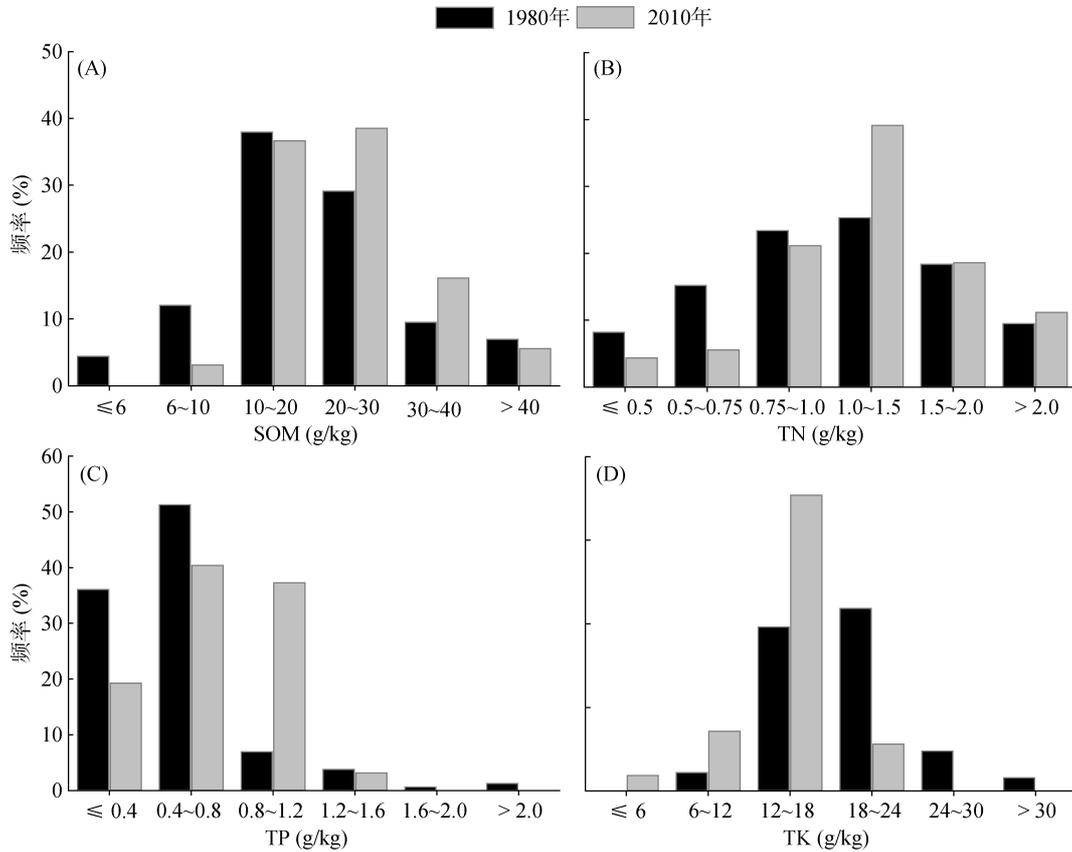


图2 安徽省土壤养分含量等级变化图

Fig.2 Grade changes of soil nutrient contents in Anhui Province

表2 1980—2010年安徽省土壤TN含量的统计值(g/kg)

Table 2 Statistics of soil TN contents of Anhui Province in 1980 and 2010

统计单元	1980年			2010年			1980—2010年 TN变化量
	样本数	均值 ± 标准差	范围	样本数	均值 ± 标准差	范围	
总体	158	1.30 ± 1.21	0.12 ~ 12.60	161	1.30 ± 0.52	0.13 ~ 2.77	0
水田	83	1.51 ± 0.56	0.13 ~ 3.60	76	1.57 ± 0.51	0.49 ~ 2.77	0.06
旱地	75	1.08 ± 1.63	0.12 ~ 12.60	85	1.06 ± 0.39	0.13 ~ 2.66	-0.02
淮北平原	42	0.86 ± 1.13 b	0.12 ~ 7.80	49	0.98 ± 0.30 b	0.13 ~ 1.53	0.12
江淮丘陵	12	1.16 ± 0.57 b	0.13 ~ 2.37	30	1.05 ± 0.35 b	0.31 ~ 1.74	-0.11
沿江平原	62	1.34 ± 0.60 b	0.33 ~ 3.60	31	1.56 ± 0.53 a	0.61 ~ 2.66	0.22
皖西大别山区	9	2.39 ± 3.84 a	0.47 ~ 12.60	9	1.43 ± 0.30 a	1.08 ~ 1.92	-0.96
皖南丘陵山区	33	1.55 ± 0.65 b	0.61 ~ 2.83	42	1.64 ± 0.54 a	0.49 ~ 2.77	0.09

图2C为1980年和2010年TP含量等级变化情况。1980年全省耕地TP含量较低,集中分布在五级(0.40~0.80 g/kg)和六级(0.40 g/kg)水平,占总样点比例的80%以上;2010年全省耕地TP含量有所增加,集中分布在四级(0.80~1.20 g/kg)和五级水平,占样点比例的

77.64%。1980—2010年间全省TP含量属于一级(>2.00 g/kg)、二级(1.60~2.00 g/kg)和三级(1.20~1.60 g/kg)水平的样点比例略有下降;六级水平的样点比例由36.08%减少到19.25%,下降明显。从TP含量的等级分布来看,全省TP含量总体上呈增加趋势。

表 3 1980—2010 年安徽省土壤 TP 含量的统计值(g/kg)  
Table 3 Statistics of soil TP contents of Anhui Province in 1980 and 2010

统计单元	1980 年			2010 年			1980—2010 年 TP 变化量
	样本数	均值 ± 标准差	范围	样本数	均值 ± 标准差	范围	
总体	158	0.58 ± 0.43	0.15 ~ 3.80	161	0.71 ± 0.29	0.14 ~ 1.31	0.13
水田	83	0.50 ± 0.31	0.20 ~ 1.91	76	0.62 ± 0.30	0.14 ~ 1.29	0.12
旱地	75	0.68 ± 0.52	0.15 ~ 3.80	85	0.80 ± 0.26	0.28 ~ 1.31	0.12
淮北平原	42	0.69 ± 0.53	0.24 ~ 3.80	49	0.84 ± 0.28 a	0.20 ~ 1.31	0.15
江淮丘陵	12	0.71 ± 0.79	0.23 ~ 2.94	30	0.81 ± 0.17 ab	0.54 ~ 1.29	0.10
沿江平原	62	0.51 ± 0.31	0.15 ~ 1.54	31	0.53 ± 0.27 cd	0.14 ~ 1.24	0.02
皖西大别山区	9	0.66 ± 0.56	0.20 ~ 1.91	9	0.48 ± 0.12 d	0.29 ~ 0.66	-0.18
皖南丘陵山区	33	0.50 ± 0.20	0.24 ~ 0.99	42	0.67 ± 0.32 bc	0.14 ~ 1.21	0.17

## 2.4 全省土壤全钾含量变化

表 4 为 1980 年和 2010 年 TK 含量及其变化结果。1980—2010 年, 全省耕地 TK 含量平均减少了 4.72 g/kg, 极差和标准差均减小。与 1980 年相比, 2010 年 TK 变异程度略有减小, 变异系数由原来的 28.05% 减少到 22.90%。1980—2010 年, 旱地的 TK 含量下降稍多, 达 5.51 g/kg, 水田的含量下降 3.98 g/kg。不同地理区域内, 皖西大别山区的 TK 含量下降最多, 达 7.05 g/kg; 其余地理区域的耕地的 TK 含量变化相似, 下降幅度介于 4.03 ~ 4.63 g/kg。

图 2D 为安徽省土壤第二次普查时期和 2010 年 TK 含量等级变化情况。1980 年, 全省耕地的 TK 含量集中分布在三级(18 ~ 24 g/kg)和四级(12 ~ 18 g/kg)水平, 占总样点比例的 80% 以上; 2010 年, 全省 TK 含量有所降低, 集中分布在四级水平, 占样点比例的 70.81%。1980—2010 年, 全省属于一级(>30 g/kg)、二级(24 ~ 30 g/kg)和三级水平的样点比例均有不同程度的下降, 其中属于三级水平的样点比例变化最大, 下降 32.49%。结果表明, 近 30 年来全省耕地的土壤 TK 含量呈下降趋势。

表 4 1980—2010 年安徽省土壤 TK 含量的统计值(g/kg)  
Table 4 Statistics of soil TK contents of Anhui Province in 1980 and 2010

统计单元	1980 年			2010 年			1980—2010 年 TK 变化量
	样本数	均值 ± 标准差	范围	样本数	均值 ± 标准差	范围	
总体	158	19.00 ± 5.33	9.40 ~ 50.40	161	14.28 ± 3.27	4.31 ~ 22.41	-4.72
水田	83	18.42 ± 5.16	9.40 ~ 33.50	76	14.44 ± 3.79	4.91 ~ 22.41	-3.98
旱地	75	19.65 ± 5.47	12.80 ~ 50.40	85	14.14 ± 2.74	4.31 ~ 21.09	-5.51
淮北平原	42	18.93 ± 2.97 b	12.80 ~ 25.60	49	14.50 ± 1.75 b	11.65 ~ 19.70	-4.43
江淮丘陵	12	17.43 ± 2.85 b	12.90 ~ 24.70	30	13.03 ± 2.16 b	9.53 ~ 17.49	-4.40
沿江平原	62	18.89 ± 6.59 b	10.20 ~ 50.40	31	14.86 ± 3.52 b	4.31 ~ 21.09	-4.03
皖西大别山区	9	23.91 ± 5.55 a	17.60 ~ 33.50	9	16.86 ± 2.26 a	12.90 ~ 19.95	-7.05
皖南丘陵山区	33	18.56 ± 5.17 b	9.40 ~ 27.40	42	13.93 ± 4.66 b	4.64 ~ 22.41	-4.63

## 2.5 典型县土壤养分含量变化

表 5 为 3 个典型县 1980 年和 2010 年耕地土壤养分含量及变化结果。1980—2010 年, 蒙城县耕地 SOM 和 TP 含量总体呈增加趋势, TK 和 TN 总体上呈降低趋势, 减幅达 5.77 g/kg 和 0.05 g/kg。4 种土壤养分含量的极差和标准差均减小。与 1980 年相比, 2010 年 4 种土壤养分的变异程度均有不同程度的降低。1980—2010 年, 定远县耕地 SOM、TN 和 TP 含量呈增加趋势, TK 含量总体上减少了 1.13 g/kg。TN、TP 和 TK 含量的标准差均减小。与 1980 年相比, 2010

年 4 种土壤养分的变异程度均有不同程度的降低。1980—2010 年, 宣州区耕地 SOM、TN 和 TP 含量总体呈增加趋势, TK 含量总体上减少了 2.04 g/kg。与 1980 年相比, 2010 年 SOM 和 TN 含量的极差和标准差增加, TP 和 TK 含量的极差和标准差减小。2010 年宣州区 SOM 和 TN 含量的变异程度增大, TP 和 TK 含量的变异程度降低。结果表明, 自第二次土壤普查以来 3 个典型县的耕地土壤肥力(除 TK)总体增加。

与上文全省尺度上的耕地土壤养分变化结果对比发现, 典型县耕地土壤养分变化与不同地理区域养

分变化趋势基本一致。例如,蒙城县和定远县的土壤养分的变化趋势与淮北平原和江淮丘陵地区的耕地土壤养分变化趋势基本一致(除 TN),宣州区耕地土

壤变化与皖南丘陵山区耕地土壤养分变化趋势一致。这些结果表明,所选的典型县能够反映所代表的地理区域的耕地土壤养分的变化情况。

表 5 1980—2010 年典型县土壤养分含量的统计值(g/kg)  
Table 5 Statistics of soil nutrient contents of typical counties in 1980 and 2010

典型县	土壤属性	1980 年				2010 年				1980—2010 年变化量
		样本数	均值 ± 标准差	范围	样本数	均值 ± 标准差	范围			
蒙城县	SOM	46	12.78 ± 4.67	4.30 ~ 34.40	70	18.89 ± 5.01	6.96 ~ 30.60	6.11		
	TN	46	1.09 ± 1.38	0.34 ~ 10.00	70	1.04 ± 0.25	0.13 ~ 1.50	-0.05		
	TP	46	0.61 ± 0.40	0.13 ~ 2.50	70	0.95 ± 0.16	0.44 ~ 1.31	0.34		
	TK	46	19.46 ± 2.91	14.50 ~ 25.60	70	13.69 ± 1.22	11.65 ~ 17.82	-5.77		
定远县	SOM	30	13.69 ± 4.92	7.00 ~ 28.60	69	19.46 ± 5.80	7.08 ~ 36.58	5.77		
	TN	30	0.90 ± 0.30	0.42 ~ 1.88	69	1.08 ± 0.30	0.31 ~ 1.72	0.18		
	TP	30	0.40 ± 0.17	0.21 ~ 0.74	69	0.84 ± 0.14	0.58 ~ 1.21	0.44		
	TK	30	14.79 ± 2.72	9.90 ~ 24.50	69	13.66 ± 2.16	9.53 ~ 19.34	-1.13		
宣州区	SOM	41	22.91 ± 5.49	11.80 ~ 34.50	69	24.52 ± 8.06	8.66 ~ 45.84	1.61		
	TN	41	1.32 ± 0.33	0.49 ~ 1.97	69	1.56 ± 0.55	0.49 ~ 3.37	0.24		
	TP	41	0.41 ± 0.16	0.23 ~ 0.92	69	0.94 ± 0.13	0.65 ~ 1.21	0.53		
	TK	41	15.69 ± 4.62	4.00 ~ 22.40	69	13.65 ± 3.25	8.07 ~ 20.11	-2.04		

### 3 讨论

1980—2010 年,安徽省耕地 SOM、TN 和 TP 含量总体上呈增加态势,但在不同地理区域这些养分的变化特征有所异同。全省 SOM 平均含量增加了 2.65 g/kg,其中淮北平原和沿江平原的增幅高于全省的平均水平;其他 3 个地理区域增幅低于全省(表 1)。在空间上,SOM 的增幅由北向南降低。全省 TN 平均含量不变,淮北平原、沿江平原和皖南丘陵山区有不同幅度的增加,江淮丘陵和皖西大别山区减少(表 2)。SOM 和 TN 含量的变化在空间上基本相似,淮北和沿江平原的变化幅度均高于全省平均水平,江淮丘陵山区和皖西大别山区均低于全省平均水平。这主要与 SOM 和 TN 含量之间较强的相关性决定的。全省 TP 平均含量增加了 0.13 g/kg,淮北平原和皖南丘陵山地的增幅高于全省平均水平,江淮丘陵、沿江平原和皖西大别山区的增幅低于全省平均水平,其中皖西大别山区 TP 含量减少(表 3)。除皖南丘陵山区外,总体上 TP 含量增幅由北向南降低,与 SOM 含量变化的空间趋势较相似。总体来说,淮北平原和沿江平原 3 种养分含量的增幅较高,其他地理区域 3 种养分变化幅度高低不一。全省 TK 平均含量减少 4.72 g/kg,其中皖西大别山区降幅高于全省平均水平,其他区域均减少且略低于全省平均水平。总体来说,TK 含量变化的空间趋势与其他 3 种养分相异,除皖西大别山区

外,其他区域 TK 含量的降幅基本相似。

大量使用肥料实现农业增产的同时,增加了作物的残茬和根系的生物量,使得进入土壤的生物量不断增加,促进了 SOM 和 TN 等养分的累积<sup>[16-20]</sup>。根据安徽省统计年鉴数据<sup>[21]</sup>,1980—2010 年安徽省化肥使用总量(N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O)由 55 万 t 增加至 320 万 t,平均用量由 123.48 kg/hm<sup>2</sup> 增加至 763.83 kg/hm<sup>2</sup>,其中氮肥、磷肥、钾肥和复合肥的使用总量和平均量均有不同程度的增加。1980—2010 年间,全省复合肥用量增加幅度最大,平均量由 3.82 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 334.59 kg/hm<sup>2</sup>;钾肥用量增加了约 25 倍,平均量由 2.86 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 76.05 kg/hm<sup>2</sup>;氮肥和磷肥的用量增加相对平稳,平均量由 90.17、26.63 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 268.10、85.86 kg/hm<sup>2</sup>。肥料的大量使用,使得 1980—2010 年间,安徽省粮食(稻、麦、豆、薯类)总产量总体呈增加趋势,由 1980 年的 1 453.90 万 t 增加到 3 080.50 万 t,相应的平均产量由 3.27 t/hm<sup>2</sup> 增加至 7.37 t/hm<sup>2</sup>。在此期间,全省耕地的复种指数由 1.26 增加至 1.58。根据 Huang 等<sup>[16]</sup>的估算方法,1980—2010 年间,全省粮食作物根系的生物量由 338.31 kg/hm<sup>2</sup> 增加至 762.21 kg/hm<sup>2</sup>,全部进入土壤中,秸秆的生物量由 1 930.64 kg/hm<sup>2</sup> 增加至 4 349.75 kg/hm<sup>2</sup>,有利于 SOM 等养分的累积。

根据 2010—2011 年秸秆还田路线调查数据,全省小麦和水稻以机械收割为主,留茬较高。小麦平均留茬高度在 20.2 cm,机械收割比例占 95.2%;早、

中、晚稻平均留茬高度在 18.2、23.1、18.5 cm，机械收割比例 45.3%、78.1%、52.4%；大豆留茬高度 7.8 cm，机械收割比例 85.3%；油菜和玉米机械收割比例较低，分别为 21.3% 和 4.9%，留茬高度在 20.1 cm 和 11.3 cm。基本上高于安徽省农机作业质量标准中的 15 cm 留茬高度。全省严禁焚烧秸秆、积极推行秸秆还田，大部分作物留茬在机械耕作过程中被碾碎还田，增加了进入土壤的生物量，有利于耕地养分的累积。

#### 4 结论

1) 1980—2010 年，安徽省耕地土壤养分有不同程度的变化，SOM 和 TP 含量呈增加趋势，平均增加了 2.65 g/kg 和 0.13 g/kg；TN 含量总体保持不变，TK 含量平均减少了 4.72 g/kg。近 30 年来全省耕地肥力总体上提高，除 TK 外，SOM、TN 和 TP 的高值比例均有不同程度的增加，其中 TP 含量的等级提升较大。

2) 各地理区域土壤养分变化程度差异较大，淮北平原和沿江平原的 SOM 和 TN 含量增加较多，淮北平原和皖南丘陵区 TP 含量增加较多，各地理区域 TK 含量减少程度相似。3 个典型县耕地土壤养分总体变化趋势与全省变化趋势一致，除 TK 含量减少外其余养分含量均有不同程度的增加。典型县耕地土壤养分变化与不同地理区域养分变化趋势基本一致。

3) 为提升区域耕地土壤肥力，安徽省应该平衡耕地土壤养分，增施有机肥和钾肥，提高土壤供钾能力，继续推行秸秆还田。

#### 参考文献：

- [1] 俞海, 黄季焜, Rozelle S, 等. 中国东部地区耕地土壤肥力变化趋势研究[J]. 地理研究, 2003, 22(3): 380–388
- [2] 黄耀, 孙文娟. 近 20 年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势[J]. 科学通报, 2006, 51(7): 750–763
- [3] 于严严, 郭正堂, 吴海斌. 1980—2000 年中国耕作土壤有机碳的动态变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(6): 123–130
- [4] 刘建玲, 贾可, 廖文华, 等. 太行山山鹿平原 30 年间土壤养分与供肥能力变化[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1325–1335
- [5] 罗由林, 李启权, 王昌全, 等. 近 30 年川中丘陵不同土地利用方式土壤碳氮磷生态化学计量特征变化[J]. 土壤, 2016, 48(4): 726–733
- [6] 张春华, 王宗明, 任春颖, 等. 松嫩平原玉米带土壤有机质和全氮的时空变异[J]. 地理研究, 2011, 30(1): 256–268
- [7] Zhao M S, Zhang G L, Wu Y J, et al. Driving forces of soil organic matter change in Jiangsu Province of China[J]. Soil Use and Management, 2015, 31(12): 440–449
- [8] 赵小敏, 邵华, 石庆华, 等. 近 30 年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 11–18
- [9] 孔祥斌, 张凤荣, 王茹. 近 20 年城乡交错带土壤养分时间空间变异特征分析—以北京市大兴区为例[J]. 土壤, 2004, 36(6): 636–643
- [10] 胡克林, 余艳, 张凤荣, 等. 北京郊区土壤有机质含量的时空变异及其影响因素[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 764–771
- [11] 安徽省土壤普查办公室. 安徽土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 51–60
- [12] 安徽省土壤普查办公室. 安徽土种志[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 10–300
- [13] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 47–80
- [14] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 江西兴国县农田土壤固碳潜力 20a 变化研究[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(1): 37–40
- [15] 张春华, 王宗明, 任春颖, 等. 松嫩平原玉米带农田土壤有机碳时空格局[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊): 300–307
- [16] Huang Y, Zhang W, Sun W J, et al. Net primary production of Chinese croplands from 1950 to 1999[J]. Ecological Applications, 2007, 17(3): 692–701
- [17] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change[J]. Geoderma, 2004, 123(1/2): 1–22
- [18] Pan G X, Smith P, Pan W N. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2009, 129(1/2/3): 344–348
- [19] Pan G X, Li L Q, Wu L S, et al. Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils[J]. Global Change Biology, 2003, 10(1): 79–92
- [20] Huang B, Sun W X, Zhao Y C, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices[J]. Geoderma, 2007, 139(3–4): 336–345
- [21] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴(1999—2011 年)电子版[OL]. [http://www.ahtjj.gov.cn/tjj/web/tjnj\\_view.jsp?\\_index=1](http://www.ahtjj.gov.cn/tjj/web/tjnj_view.jsp?_index=1)

## Changes of Soil Nutrient Contents of Cultivated Lands in Anhui Province from 1980 to 2010

ZHAO Mingsong<sup>1,2</sup>, LI Decheng<sup>2\*</sup>, ZHANG Ganlin<sup>2</sup>, WANG Shihang<sup>1</sup>

(1 *School of Geodesy and Geomatics, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China*; 2 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

**Abstract:** Anhui Province located in East China was selected and comparative study was done based on the data of soil nutrient contents obtained in the Second National Soil Survey and in 2010 and 2011 in order to explore change characteristics of soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and total potassium (TK) in the surface layer (0–20 cm) of cultivated land in the province and county scales during the period (1980–2010). Results showed that soil nutrients presented different change trends in the whole province from 1980 to 2010. The mean SOM and TP contents increased from 20.65 g/kg to 23.30 g/kg and from 0.58 g/kg to 0.71 g/kg, respectively, TN contents remained almost unchanged, while TK content decreased from 19.00 g/kg to 14.28 g/kg. Variation coefficient of all soil nutrients decreased with different degrees from 1980 to 2010. The distribution of nutrient content levels indicated an overall improvement of cultivated land fertility in the whole province, the proportion of high contents in SOM, TP and TN increased with different degrees. Spatially, the changes of soil nutrients varied in different land use types and geographic areas with different degrees, SOM and TN contents increased considerably in Huaibei plain and Yangtze plain, TP contents increased considerably in Huaibei plain and Southern hilly mountains, TK contents presented the similar change trend in all geographic areas. The change trends of soil nutrients in three typical counties were consistent with the change trend in the province scale, but soil nutrient contents increased with different degrees except TK in typical counties.

**Key words:** Soil nutrient; Characteristic of change; Cultivated land; Anhui Province