

# 近 30 年华北平原粮食主产区土壤肥力质量时空演变分析<sup>①</sup>

## ——以山东禹城市为例

张贝尔<sup>1,2</sup>, 黄 标<sup>1\*</sup>, 张晓光<sup>1,2</sup>, 赵永存<sup>1</sup>, 孙维侠<sup>1</sup>, 胡文友<sup>1</sup>, 杨劲松<sup>1</sup>

(1 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;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 土壤肥力质量的时空演变分析有助于了解区域土壤肥力变化情况和变化规律, 对制定相应的农业管理措施, 进一步提升土壤生产力, 稳定粮食产量具有重要意义。本文以华北平原典型区禹城市为例, 进行了土壤肥力质量时空演变分析。结果表明: 自 1980 年以来, 经过近 30 年的耕作和中低产田改造, 禹城市土壤肥力质量显著提高, 尤其在土壤肥力质量较差的区域, 土壤质量提升更显著; 土壤肥力质量空间变异性减弱, 土壤肥力水平趋于一致, 且空间变异受自然因素的影响降低, 更多的受到人为管理因素的影响。

**关键词:** 土壤肥力质量综合评价; 时空演变; 华北平原

**中图分类号:** S159

粮食是关系国计民生和经济安全的重要保障, 而粮食的单位面积产量和质量很大程度上受到土壤肥力的影响。所谓土壤肥力是土壤供应植物生长必需养料的能力, 是保障粮食生产的根本<sup>[1]</sup>。土壤肥力是土壤肥力质量的简称和土壤质量概念的雏形<sup>[2]</sup>, 目前土壤学界一般将土壤质量理解为土壤肥力质量、土壤环境质量和土壤健康质量的综合表达。虽然土壤质量的概念已经远远突破了其雏形期土壤肥力质量的范畴, 但土壤肥力质量依然被认为是土壤质量的重要组成部分, 土壤肥力质量的综合评价在指导农业生产, 提供农业管理决策中具有着重要的意义。因此, 土壤肥力质量的特点及其时空演变成为当前全球资源可持续发展领域的热点问题。

目前, 国内外研究者一方面提出了各种土壤肥力质量的计算方法以定量化研究土壤肥力质量, 如土壤综合质量指数法<sup>[3-4]</sup>、土壤质量卡和质量测试箱法<sup>[5]</sup>、多变量指标克里格插值法<sup>[6]</sup>、土壤相对质量法<sup>[7]</sup>和土壤质量动态模型法<sup>[8]</sup>等, 其中, 土壤综合质量指数法由于易于操作和定量化目前得到了非常广泛的应用<sup>[9-13]</sup>。另一方面, 一些研究者从土地利用类型、耕作制度和

农业管理措施等方面揭示了土壤肥力质量的影响因子。廖晓勇等<sup>[14]</sup>通过对比不同土地利用方式条件下土壤理化性质的差异, 探讨了三峡库区小流域不同土地利用方式对土壤肥力的影响; 许明祥等<sup>[15]</sup>利用综合加权法对黄土高原丘陵区不同土地利用方式下的土壤肥力质量进行评价; 陈吉等<sup>[16]</sup>在河南封丘农业生态试验站, 利用主成分分析法探讨了长期不同施肥对土壤质量的影响。

土壤性质具有复杂的时空变异性, 特别是人类活动对土壤影响越来越深远的今天, 土壤肥力质量的时空分异性受到越来越多的重视。只有通过两个或多个时段土壤性质的差异, 才能真正阐明某种利用方式下土壤变化的真实情况<sup>[17]</sup>。通过时间尺度土壤质量的时空分异分析, 能更好地评价各种人为活动对土壤质量影响的方向和速率, 反映土壤质量变化的实质和机理。目前, 一些研究者已经展开土壤肥力质量时间序列上演化的研究。王效举和龚子同<sup>[17-18]</sup>利用相对土壤质量法研究了江西千烟洲实验站红壤小区域不同时间段上土地利用方式转变带来的土壤质量的变化; 钟继洪等<sup>[19]</sup>通过对珠江三角洲代表性区域 1980 年代第二次土

<sup>①</sup>基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02)和公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001-01)资助。

\* 通讯作者(bhuang@issas.ac.cn)

作者简介: 张贝尔(1983—), 男, 安徽舒城人, 博士研究生, 主要从事土壤质量评价、土壤空间预测和不确定性分析以及地理信息系统应用等方面研究。E-mail: bellzhang@issas.ac.cn

壤普查数据与 2003 年土壤肥力质量现状的对比研究,揭示了该地土壤肥力质量的演化特征及其原因。齐雁冰等<sup>[20]</sup>利用综合评价与功能评价相结合的土壤质量评价方法对长三角经济高速发展区的张家港市土壤肥力质量的时空演化进行了系统评价。张庆利等<sup>[21]</sup>将 GIS 与地统计学的方法相结合,在空间层面上研究了金坛市土壤 pH、有机质、氮和全磷等短期内相对稳定且能反映土壤质量状况的土壤属性的变化特点,揭示土壤肥力属性在空间层面上的演变规律。

华北平原是我国重要的粮食产区,其粮食播种面积和粮食作物总产量均占全国的 20% 左右<sup>[22]</sup>。该区域也是近 30 年来我国土壤肥力质量变化强烈的区域之一,随着大量的化肥投入、对盐碱地和中低产田治理,使得该地区土壤肥力质量变化明显<sup>[23]</sup>。本文选取的禹城市在华北平原具有一定的代表性,该市是华北平原旱涝盐碱综合治理的试点,且粮食生产情况被认为是华北平原中鲁西北地区的代表,具有粮食产量中等而不稳定的特点<sup>[22]</sup>。本文以禹城市耕地土壤质量作为研究对象,分析了 1980—2008 年 28 年来该地区土壤质量的演化情况,有助于我们了解该区域土壤肥力的现状和变化情况,掌握中低产田的改造效果,对华北平原相似区域制定相应的农业管理措施,进一步提升土地生产力,稳定粮食产量都具有重要的理论和现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区山东省禹城市(36°40'~37°12'N, 116°22'~116°45'E)位于华北平原中部,属于暖温带季风气候,年平均气温 13.1℃,年平均降雨量 593 mm,降雨多集中在 6、7、8 月,呈现春旱、夏涝、晚秋旱的规律<sup>[24]</sup>。该市位于黄河冲积平原,地势平缓,全市总面积 990 km<sup>2</sup>,其中耕地面积 53 000 hm<sup>2</sup><sup>[25]</sup>,境内引黄总干渠纵贯全市,以玉米-小麦轮作为主要种植方式。根据中国土壤系统分类检索<sup>[26]</sup>,禹城市土壤以雏形土(97.8%)为主,盐成土(2.2%)分布面积较小(图 1)。历史上该地区盐碱旱涝等灾害严重,特别是盐渍化问题,是制约该区域农业生产的主要障碍。1979 年该区域粮食作物产量平均仅为 227 kg/667m<sup>2</sup><sup>[24]</sup>。经长期的盐渍土改良、培肥,该市土壤质量得到显著提高,2008 年粮食作物平均产量达 529 kg/667m<sup>2</sup>。目前该区域是我国重要的商品粮基地,年产粮食约 67 万 t<sup>[27]</sup>。

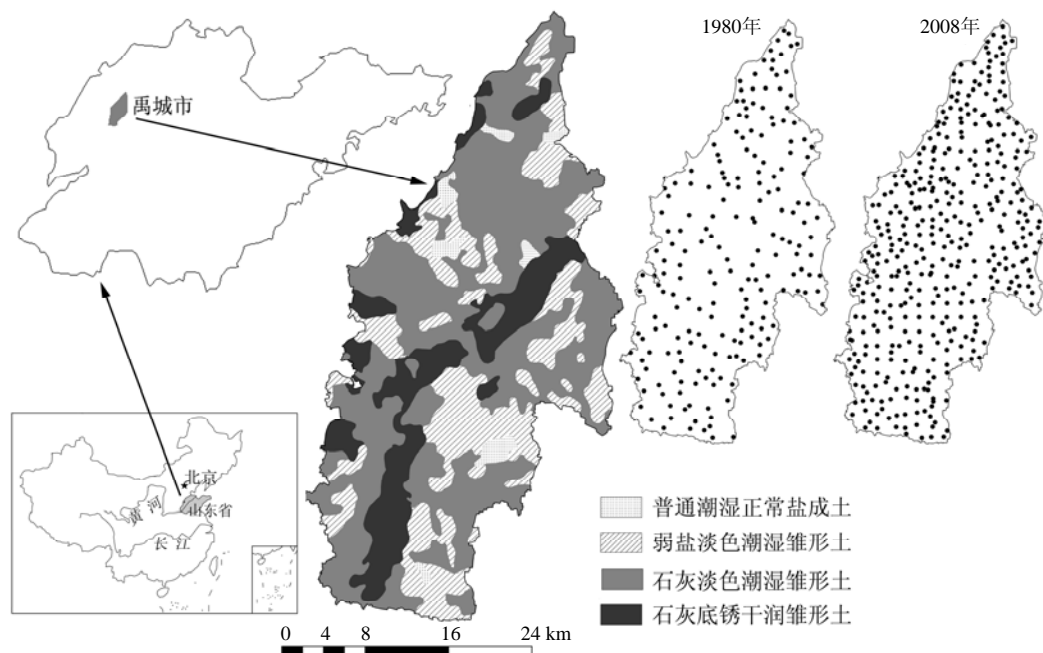


图 1 研究区土壤亚类和采样点分布

Fig. 1 Soil map and soil sampling sites of Yucheng County, China

### 1.2 样品采集与分析

本文选择了土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾、

表层土壤质地和土壤盐分状况作为评价指标。

其中 1980 年土壤属性数据来源于第二次土壤普

查资料,将《禹城土壤志》中的相应的纸质附图扫描后屏幕跟踪数字化,并利用1:5万地形图配准。其中土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾为采样点点状矢量图,表层土壤质地和土壤全盐含量为分级面状矢量图,利用点状矢量图的采样点坐标,提取相应位置上的土壤质地和土壤含盐量数据。通过上述方法共获取1980年的土壤样点198个(图1)。2008年样点采集方法如下。利用2 km×2 km的网格布点作为基准,再考虑土地利用现状和土壤类型状况进行了一定的调整,以确保采样点位于农业用地上,且每个土种都采集到一定数量的样点。共采集了研究区395个表层土壤(0~20 cm)的样品(图1)。在每个采样点位置10 m半径内,采集5~8处耕层土壤,均匀混合后缩分至1 kg装袋。为了避免作物生长期间施肥的影响,样品采集在2008年6月当季作物(小麦)收获后、下季作物(玉米)播种前进行,采样时采用GPS记录每个采样点的经纬度,并详细记载采样点的地理位置、土地利用类型、植被覆盖、土壤类型等基础信息。土壤样品采集后在室温下风干,去除草根石块,然后过2 mm尼龙筛,装袋备用。

本文分析了土壤有机质(SOM)、全氮(TN)、速效磷(AP)、速效钾(AK)、土壤电导率(EC)和土壤颗粒组成等指标。其中土壤SOM、TN、AP和AK使用与1980年相同的常规分析方法。SOM用“Walkley-Black”法测定<sup>[28]</sup>,TN利用凯氏法测定<sup>[29]</sup>,AP、AK分别用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法和乙酸铵浸提-火焰光度法测定<sup>[30]</sup>。另外,土壤颗粒组成利用吸管法测定<sup>[31]</sup>,EC用电导仪DDS-317测定<sup>[30]</sup>。

### 1.3 数据预处理

第二次土壤普查资料中土壤质地的分类标准是依据卡庆斯基制,即以0.01 mm粒径作为物理性黏粒和物理性粉、砂粒的划分界线,按照黏粒含量将禹城市表层土壤分为松砂、紧砂、砂壤、轻壤、中壤、重壤6个等级。而2008年土壤颗粒组成测定使用的是目前常

用的美国制,即以粒径<0.002 mm作为黏粒评判标准。为了计算出具有可比性的土壤肥力质量指数,必须使用同一分类标准。本文采用颗粒含量积累曲线法,将2008年土壤颗粒组成结果转化为卡庆斯基制<sup>[32]</sup>,并依据该标准进行土壤质地分类。

第二次土壤普查中土壤盐分水平使用的是全盐含量作为指标,将禹城市土壤分为无盐渍化(全盐含量<0.1 g/kg),轻度盐渍化(0.1 g/kg≤全盐含量<0.2 g/kg),中度盐渍化(0.2 g/kg≤全盐含量<0.4 g/kg)和重度盐渍化(0.4 g/kg≤全盐含量<0.6 g/kg)4个等级。2008年的数据则是测量了土壤电导率表征土壤盐分水平。为了转换为可比的数据,抽取了2008年样品中的28个样品测量其全盐含量。通过建立土壤电导率和全盐含量的线性关系发现两者在0.001水平上极显著相关。

$$S = 2.39EC + 0.277 \quad R^2 = 0.96 \quad (1)$$

式中, $S$ 为土壤全盐含量(g/kg), $EC$ 为土壤电导率(mS/cm)。利用上述公式将2008年测量的土壤电导率转化为土壤全盐含量,并依据上文中的标准进行分级。

### 1.4 土壤肥力质量评价方法

**1.4.1 肥力指标的归一化处理** 在土壤肥力质量评价时,由于不同土壤肥力指标实测值之间的量纲不同,因此需要对各属性进行归一化处理,将指标的实测值转化为分值,以利于不同属性之间的计算和综合。本文利用目前土壤肥力质量评价中最常用的隶属度函数法进行归一化处理<sup>[33]</sup>。该函数通过综合考虑评价因素与土壤肥力及作物反应之间的关系,结合专家经验和研究区实际情况加以建立。隶属度函数法将量纲不同的不同肥力指标归一化到0.1~1之间,1表示最适宜作物生长,而0.1表示极度限制了作物生长。本研究利用在禹城市实际大田测产数据确定隶属度函数类型及其转折点值,进行了SOM、TN、AP、AK等指标的归一化(表1)。

表1 禹城市数值型土壤肥力指标隶属度函数及函数参数

Table 1 Standard scoring functions and parameters for quantitative soil indicators in Yucheng County

指标	隶属度函数	隶属度函数转折点		公因子方差	权重
		$a_1$	$a_2$		
SOM (g/kg)	$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq a_1 \\ 0.9 \times \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} + 0.1 & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & x \geq a_2 \end{cases}$	10	16	0.654	0.207
TN (g/kg)		1.0	1.75	0.531	0.168
AP (mg/kg)		5	25	0.620	0.196
AK (mg/kg)		50	120	0.491	0.155
盐化程度	隶属度值: 无、轻度、中度、重度 = 1、0.3、0.2、0.1			0.076	0.024

土壤全盐含量和土壤质地 1980 年第二次土壤普查数据中为分级描述性指标,为了指标的统一,本文将 2008 年测定的数值性指标转换为描述性。此类指标的隶属度值根据前人的研究结果结合研究区实际进行赋值<sup>[34-35]</sup> (表 1)。

#### 1.4.2 指标权重确定与土壤肥力质量指数模型

研究认为,土壤综合肥力质量指数模型是一种较优的土壤肥力质量评价模型<sup>[10]</sup>,因此本研究利用土壤综合肥力质量模型进行土壤肥力质量计算,其公式如下:

$$SFQI = \sum_{i=1}^n (W_i I_i) \quad (2)$$

式中,  $SFQI$  为综合土壤肥力质量指数,  $I_i$  归一化后的土壤指标,  $W_i$  为指标权重,  $i$  为指标数量。指标权重采用因子分析法确定,根据因子分析结果中各肥力指标的公因子方差求出各项肥力的权重值 (表 1)。

参考全国耕地地力等级划分中北方平原潮土区的相关参数,结合本地的土壤肥力实际,将土壤肥力质量按照 0.05 的级差分为 4 个等级,  $SFQI > 0.62$  为一级;  $0.55 < SFQI \leq 0.62$  为二级;  $0.48 < SFQI \leq 0.55$  为三级;  $SFQI \leq 0.48$  为四级。

### 1.5 数据处理和统计方法

本研究的数据统计分析在 SPSS13.0 中进行,半方差函数计算拟合运用 Gs+7.0 软件,土壤肥力质量指数的空间插值利用普通克里格方法,空间插值以及相关的空间分析在 ArcGIS 9.2 中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 描述性统计

禹城市 1980 年和 2008 年综合肥力质量指数的描述性统计如表 2 所示。虽然由于两个时期土壤样点数量和样点位置并非完全一致,但是从描述性统计中,可以看出禹城市近 30 年间土壤肥力质量演变的大致趋势。2008 年土壤综合肥力质量指数与 1980 年相比有较显著的提高。平均值、最大值、最小值均提高超过 0.1,即超过上文中确定的 0.05 级差的 2 倍以上。在土壤综合肥力状况提高的同时,2008 年的变异系数 ( $CV$ ) 为 21.83%,小于 1980 年的 27.04%,说明禹城市土壤肥力质量的变异减小,样点间的整体差异减小。此外,通过偏度可以发现两个时期土壤肥力质量指数偏度均不大,可以近似的看作是正态分布。

表 2 禹城市 1980 年、2008 年土壤肥力质量指数 ( $SFQI$ ) 描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of soil fertility quality index ( $SFQI$ ) in 1980 and 2008 in Yucheng County

时间	样本数	平均值	最小值	最大值	标准差	变异系数	偏度	峰度
1980 年	198	0.47	0.14	0.73	0.13	27.04%	-0.04	-0.59
2008 年	395	0.58	0.25	0.89	0.13	21.83%	0.01	-0.34

### 2.2 禹城市综合肥力质量的时空演变

2.2.1 土壤肥力质量指数半方差分析 半方差分析被认为是一种有效揭示空间变异的方法。本文分别对禹城市 1980 年和 2008 年两个时期土壤肥力质量指

数进行了半方差分析,以便了解当地近 30 年来土壤肥力质量空间变异的演变状况。分析发现两个指标均没有显著的各向异性,且均显示了空间自相关关系。拟合的半方差函数图及模型参数如下所示 (图 2)。

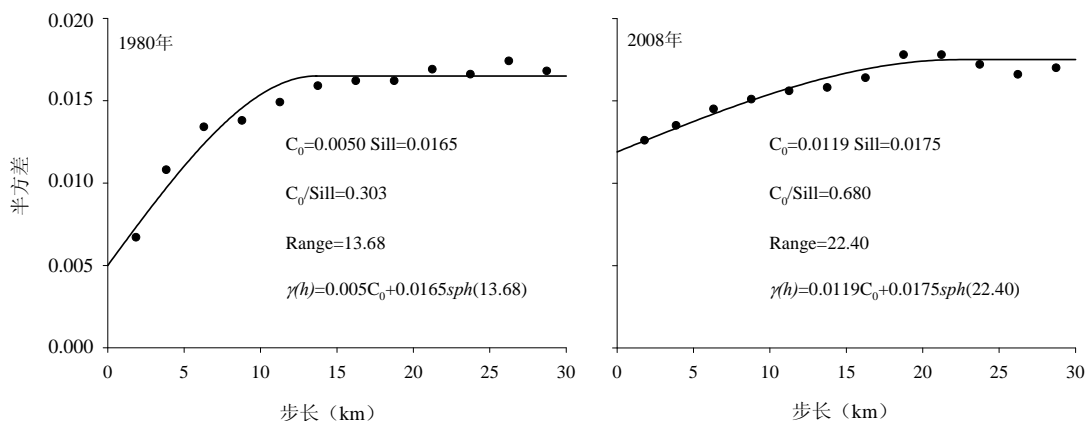


图 2 禹城市 1980、2008 年土壤肥力质量指数半方差图

Fig. 2 Semivariograms of soil fertility quality index in 1980 and 2008 in Yucheng of China

$\gamma(h)$  被称为半变异函数,它是地统计学中研究土壤变异性的关键函数,是用来描述土壤性质的空间连续变异的一个连续函数,反映土壤性质的不同距离观测值之间的变化。包括3个基本特征参数:块金值( $C_0$ )、基台值(Sill)和变程(Range)。块金值  $C_0$  是在间隔距离小于采样间距时的测量误差和空间变异,或者二者加和。变异函数  $\gamma(h)$  随着距离  $h$  的增大而增加,当  $h$  超过某一个范围时,变异函数不在增大,而是在一个极限值附近摆动,这个极限值就是基台值 Sill,而这这个范围被称作变程 Range。块金基台比( $C_0/\text{Sill}$ )和变程(Range)对半方差函数的结构具有重要的意义。块金基台比可以反映空间变异性程度<sup>[36]</sup>,如果块金基台比 $<25\%$  被认为具有强空间自相关,如果块金基台比是 $25\% \sim 75\%$  被认为具有中等的空间自相关,如果块金基台比 $>75\%$  则认为具有较低的空间自相关。一般认为,较高的空间自相关性说明空间变异受土壤母质、地形、气候等非人为的结构性因素影响强烈,而较低的空间自相关性则说明区域内空间变异更多的来自诸如施肥、管理水平、灌溉条件等非结构性随机因素。通过图2可知,1980年和2008年禹城市土壤肥力质量指数半方差函数的块金基台比分别为0.30和0.68,均呈现中等强度空间自相关,但2008年的块金基台比

相对大于1980年,反映出较弱的空间自相关程度。同时通过比较两个时期土壤肥力质量的变程可知,2008年的变程(22.4 km)大于1980年的变程(13.68 km),呈现出较弱的空间变异。

以上分析说明禹城市近30年来,土壤肥力质量的空间变异减弱,土壤肥力水平趋于一致。且随着整体土壤肥力水平的提高,土壤肥力水平的空间变异更多的受到人为管理因素的影响。

**2.2.2 土壤肥力质量空间分布的演变** 1980年和2008年禹城市土壤肥力空间分布情况,见图3a、b。总体而言,近30年来禹城市土壤质量肥力质量得到大幅度提高。1980年以四等地和三等地为主,其中四等地49 745  $\text{hm}^2$ ,占研究区面积的50.25%,三等地32 476  $\text{hm}^2$ ,占研究区面积30.82%。而土壤质量较高的二等地和一等地仅分别为14 876  $\text{hm}^2$ (15.03%)和1 902  $\text{hm}^2$ (1.92%)。而经过近30年的耕种和土壤改良,土壤肥力质量状况最差的四等地几乎消失,仅有4 621  $\text{hm}^2$ (4.67%),三等地面积下降到24 228  $\text{hm}^2$ (24.47%),土壤肥力质量状况较高的二等地和一等地面积得到大幅度提高,分别为48 101  $\text{hm}^2$ 和22 050  $\text{hm}^2$ ,占研究区的面积比分别提升到48.59%和22.27%,成为禹城市的主要土壤肥力等级。

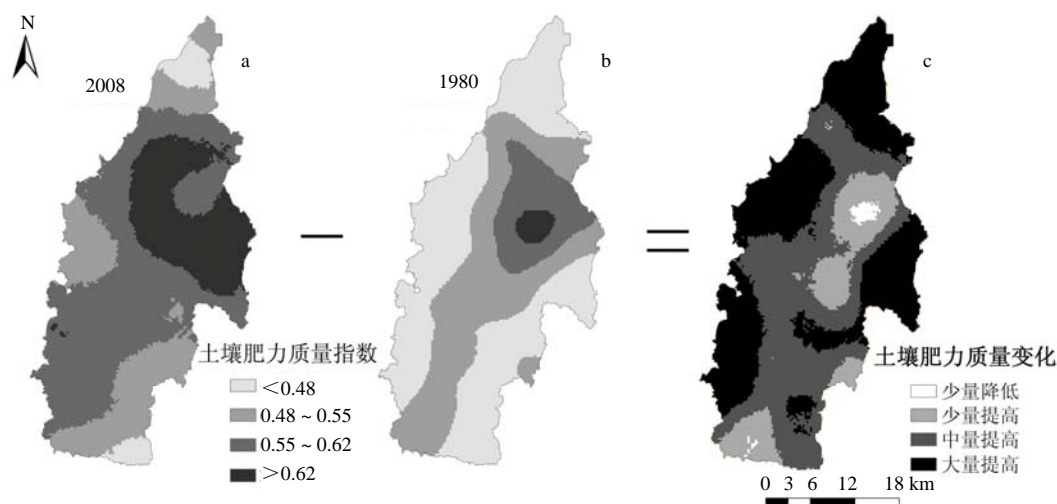


图3 1980年和2008年禹城市土壤肥力质量指数以及土壤肥力质量指数演化空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of soil fertility quality index (SFQI) and the changes of SFQI from 1980 to 2008 in Yucheng County

从土壤质量指数的空间分布特征看,两个时期土壤肥力质量空间分布的整体格局比较类似。自东北向西南方向沿石灰底锈干润锥形土分布区土壤肥力质量指数较高,该区域为徒骇河沿岸高地,据记载系古黄河漫滩沉积而成,此地地下潜水位多在2.5~3 m,无盐渍化威胁<sup>[24]</sup>。而北部、西北和东南土壤肥力质量则

较差。尽管有比较类似的土壤质量指数的空间分布特征,但是1980年土壤肥力质量较高的地区分布更加集中,土壤肥力质量较高的区域呈比较明显的带状分布,而2008年这种特征已不明显,说明土壤质量指数受河流等自然因素的影响在减弱。

将两个时期的土壤质量指数相减,得到土壤质量指

数的相对变化量 (图 3c)。根据王效举等<sup>[18]</sup>对土壤质量变化的等级划分, 禹城市近 30 年来土壤肥力质量变化按照变化量可以分为 4 个等级: 少量降低 ( $-0.05 \sim 0$ ), 少量提高 ( $0 \sim 0.05$ ), 中量提高 ( $0.05 \sim 0.1$ ), 大量提高 ( $>0.1$ )。

禹城市大部分土壤肥力质量得到中量和大量提高, 分别占研究区面积的 39.74% 和 45.12%, 此外有占研究区 14.22% 的土壤肥力质量得到少量提高。而土壤肥力质量下降的区域仅占研究区 1% 不到。土壤质量大幅提高的区域主要分布在 1980 年土壤质量水平最低的四等地, 中低产田的改造成果显著, 而 1980 年土壤肥力质量较高的区域提高相对较小 (图 3)。

### 2.2.3 不同土壤亚类间土壤肥力质量时间演化特征

将两个时期土壤肥力指数空间插值结果重采样为  $500\text{ m} \times 500\text{ m}$  栅格 (共 3 992 个栅格), 以这些栅格作为样本对两个时期不同土壤亚类的土壤肥力质量进行

统计 (表 3)。方差分析结果表明, 1980 年不同土壤类型间的土壤质量指数存在显著差异。普通正常潮湿盐成土和弱盐淡色潮湿锥形土的土壤肥力质量最低, 均值分别为 0.459 和 0.461; 石灰淡色潮湿锥形土肥力质量略高, 均值为 0.477。石灰底锈干润锥形土肥力质量水平最高, 均值为 0.505。而 2008 年 4 种亚类土壤的土壤肥力质量水平趋于一致, 仅普通正常潮湿盐成土和石灰淡色潮湿锥形土两两间存在显著性差异, 土壤肥力质量指数均值分别为 0.572 与 0.582, 弱盐淡色潮湿锥形土和石灰底锈干润锥形土两个亚类的土壤肥力质量指数平均值分别为 0.573 与 0.579。

4 种土壤亚类 1980 年和 2008 年土壤肥力质量存在显著差异。比较近 30 年来 4 种土壤亚类土壤肥力质量指数的提高值发现, 相对于其他 3 种土壤亚类, 1980 年土壤肥力状况最优的石灰底锈干润锥形土的土壤肥力提高较小。

表 3 禹城市土壤类型和时间对土壤肥力质量指数的影响

Table 3 The effects of soil and time on soil fertility quality indexes in Yucheng County

土壤亚类	1980 年土壤肥力	2008 年土壤肥力	土壤肥力提高值
普通潮湿正常盐成土	0.459 aA	0.572 aB	0.113 a
弱盐淡色潮湿锥形土	0.461 aA	0.573 abB	0.112 a
石灰淡色潮湿锥形土	0.477 bA	0.582 abB	0.105 a
石灰底锈干润锥形土	0.505 cA	0.579 bB	0.074 b

注: 同一栏内平均值后的小写字母相同表示在同一个年份这些土壤亚类间土壤肥力质量综合指数 (或者土壤肥力综合指数变化值) 未达到  $P < 0.01$  水平上的显著性差异, 同一行内平均值后的大写字母相同表示同一种土壤亚类在不同年份土壤肥力综合指数未达  $P < 0.01$  水平上的显著性差异。

## 3 结论

本文通过对华北平原典型区的禹城市 1980 年和 2008 年两个年份的土壤肥力质量特征进行研究, 得到以下结论:

(1) 经过近 30 年的耕作和中低产田改造, 禹城市土壤肥力质量得到很大的提升, 85% 以上的区域土壤肥力质量得到大量或中量提高。1980 年禹城市以四等地和三等地为主, 而 2008 年一等地二等地面积大幅度提升, 三等地面积下降, 土壤肥力质量状况最差的四等地基本消失。

(2) 通过对比两个时期土壤肥力质量的空间变异状况以及不同土壤亚类分布区的土壤肥力质量状况可知, 相比 1980 年, 2008 年禹城市土壤肥力质量空间变异性减弱, 不同土壤类型的土壤肥力质量的差异减小, 土壤肥力水平趋于一致。且空间变异受河流、母质等自然因素的影响降低, 更多的受到人为管理因素

的影响。

### 参考文献:

- [1] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华. 土壤质量与土壤质量指标及其评价. 生态学报, 2006, 26(3): 901-913
- [2] 徐茂. 基于地统计学的江苏省环太湖地区土壤肥力质量演变特征研究 (博士学位论文). 南京: 南京农业大学, 2006
- [3] Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality // Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison, WI: SSSA. Spec. Publ., 1994: 3-21
- [4] Doran JW, Jones AJ. Methods for Assessing Soil Quality. Madison, WI: SSSA. Spec. Publ., 1996
- [5] Ditzler CA, Tugel AJ. Soil quality field tools of USDANRCS soil quality institute. Agron. J., 2002, 94: 33-38
- [6] Nazzareno D, Michele C. Multivariate indicator Kriging approach using a GIS to classify soil degradation for Mediterranean

- agricultural lands. *Ecological Indicators*, 2004,4:177-187
- [7] Wang X, Gong Z. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 1998, 81: 339-355
- [8] Larson WE, Pierce FJ. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management // *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, Wisconsin, USA: SSSA. Spec. Publ., 1994: 37-52
- [9] Andrews SS, Mitchell JP, Mancinelli R, Karlen KL, Hartz TK, Horwath WR, Pettygrove GS, Scow KM, Munk DS. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agron. J.*, 2002, 94: 12-23
- [10] Qi Y, Darilek JL, Huang B, Zhao Y, Sun W, Gu Z. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 2009, 149: 325-334
- [11] 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
- [12] 孙波, 张桃林, 赵其国. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价. *土壤*, 1995, 27(3): 119-128
- [13] 蔡崇法, 丁树文, 史志华. GIS 支持下乡镇域土壤肥力评价和分析. *土壤与环境*, 2000, 9(2): 99-102
- [14] 廖晓勇, 陈治谏, 刘邵权, 王海明. 三峡库区小流域土地利用方式对土壤肥力的影响. *生态环境*, 2005, 14(1): 99-101
- [15] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区侵蚀土壤质量评价. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 285-293
- [16] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 沈林林, 王芳, 钦绳武. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用. *土壤*, 2010, 42(3): 415-420
- [17] 王效举, 龚子同. 红壤丘陵小区域不同利用方式下土壤变化的评价和预测. *土壤学报*, 1998, 35(1): 135-139
- [18] 王效举, 龚子同. 红壤丘陵小区域水平上不同时段土壤质量变化的评价和分析. *地理科学*, 1997, 19(2): 141-149
- [19] 钟继洪, 余炜敏, 骆伯胜, 林兰稳, 谭军, 张国林. 珠江三角洲耕地土壤质量演化及其机制. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1917-1922
- [20] 齐雁冰, 黄标, 赵永存, 孙维侠. 经济高速发展区土壤肥力质量演变的系统评价. *土壤通报*, 2010, 41(1): 76-80
- [21] 张庆利, 史学正, 潘贤章, 于东升, 刘付程. 江苏省金坛市土壤肥力的时空变化特征. *土壤学报*, 2004, 41(2): 315-319
- [22] 何书金, 姜德华. 华北平原粮棉生产及其发展类型. *经济地理*, 1996, 16(4): 89-93
- [23] 何书金, 姜德华. 华北平原粮棉生产发展变化与市场机制转换. *地理科学进展*, 1997, 16(2): 89-93
- [24] 禹城县土肥站. 禹城县土壤志. 山东: 山东省禹城县土壤调查办公室, 1985
- [25] 国家统计局农村社会调查总队. 中国县(市)社会经济统计年鉴(2004). 北京: 中国统计出版社, 2005
- [26] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
- [27] 德州市统计局, 德州调查队. 德州统计年鉴 2009. 北京: 中国统计出版社, 2009
- [28] Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter // Page AL, Miller RH, Keeney DR. *Methods of Soil Analysis, Part 2-Chemical and Microbiological Properties*. Madison, WI: ASA-SSSA, 1982: 539-594
- [29] Bremner JM, Mulvaney CS. Nitrogen-total // Page AL, Miller RH, Keeney DR. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Madison, WI: ASA-SSSA, 1982: 595-624
- [30] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [31] Gee GW, Bauder JW. Particle-size analysis // Klute A. *Methods of Soil Analysis. Part 1*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI: ASA-SSSA., 1986: 383-411
- [32] 胡宏祥, 马友华. 卡庆斯基制与美国制间土粒分析结果的转换. *安徽农业科学*, 2004, 32(6): 1156-1157
- [33] 曹志洪, 周建民. 中国土壤质量. 北京: 科学出版社, 2008
- [34] 张炳宁, 张月平, 张秀美, 刘宝喜, 刘林旺, 徐茂, 王绪奎, 沈其荣. 基本农田信息系统的建立及其应用: I. 耕地地力等级体系研究. *土壤学报*, 1999, 36(4): 510-521
- [35] 徐建明, 张甘霖, 谢正苗, 吕晓男. 土壤质量指标与评价. 北京: 科学出版社, 2010
- [36] Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1501-1511

## Evaluation of Soil Fertility Quality Variation During Past 30 Years in a Major Grain-producing Region of the North China Plain——A Case Study of Yucheng County

ZHANG Bei-er<sup>1,2</sup>, HUANG Biao<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-guang<sup>1,2</sup>, ZHAO Yong-cun<sup>1</sup>, SUN Wei-xia<sup>1</sup>, HU Wen-you<sup>1</sup>, YANG Jin-song<sup>1</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;*

*2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** The evaluation of soil fertility quality variation contributes to the understanding the status and laws of soil fertility change. It is very important for the improvement of soil productivity and the stabilization of the grain production. This paper systematically evaluated soil fertility quality variation in Yucheng County, a typical grain-producing region of the North China Plain. The results indicated that soil fertility has been improved continuously since 1980, especially in the area of low soil fertility quality. From 1980 to 2008, the spatial variability of the soil fertility quality become lower and soil fertility status trended to be uniform, and the management practices influenced the spatial variability more and more.

**Key words:** Soil fertility quality evaluation, Spatial and temporal evolution, North China Plain