



移动扫码阅读

贾聪慧,王燕,曹颖嘉,等. 淮海经济区采煤塌陷复垦土壤化学计量特征 Meta 分析[J]. 能源环境保护, 2022, 36(1): 89-97.

JIA Conghui, WANG Yan, Cao Yingjia, et al. Meta analysis of stoichiometric characteristics of reclaimed soil in coal mining subsidence area of Huaihai Economic Zone [J]. Energy Environmental Protection, 2022, 36(1): 89-97.

# 淮海经济区采煤塌陷复垦土壤化学计量特征 Meta 分析

贾聪慧, 王 燕, 曹颖嘉, 王进欣, 李 贺\*

(江苏师范大学 地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 利用 Meta 分析方法定量研究了淮海经济区采煤塌陷土壤在复垦时间、复垦方式等因素的影响下的化学计量特征, 并对采煤塌陷区复垦土壤以及邻近标准农田土壤中的 pH、有机质(SOM)、总氮(TN)、速效磷(AP)、速效钾(AK)含量进行对比。结果表明: 复垦土壤 SOM 和 AP 含量总体上显著低于标准农田( $P < 0.05$ ); 与标准农田相比, 复垦土壤 pH、总氮和速效钾无显著差异( $P > 0.05$ ); 复垦土壤 pH 和 AK 效应值为正, 总氮效应值为负; 在 0~20 cm 土壤深度(耕作层), 除土壤 SOM 和 AP 外其余土壤养分含量均与标准农田无显著差异( $P > 0.05$ ); 随着复垦时间的积累, 在复垦后 10~13 a 基本可以恢复至标准农田水平; 采煤塌陷区土壤复垦效果受复垦方式和复垦年限影响, 不同土壤层次和区域存在差异; 为达到最佳复垦效果, 需要因地制宜, 综合考量并采取适当的复垦方式。

**关键词:** 淮海经济区; 采煤塌陷; 土壤; Meta 分析

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2022)01-0089-09

## Meta analysis of stoichiometric characteristics of reclaimed soil in coal mining subsidence area of Huaihai Economic Zone

JIA Conghui, WANG Yan, Cao Yingjia, WANG Jinxin, LI He\*

(School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** The stoichiometric characteristics of coal mining subsidence soil in Huaihai Economic Zone influenced by reclamation time, reclamation methods and other factors were analyzed using Meta analysis method. The pH, soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), available phosphorus (AP) and available potassium (AK) of the reclaimed soil in the coal mining subsidence area and the surrounding standard farmland soil were compared. The results showed that the contents of SOM and AP of reclaimed soil were significantly lower than those of standard farmland ( $P < 0.05$ ). Compared with standard farmland, the pH, TN and AK of reclaimed soil were not significantly different ( $P > 0.05$ ). The pH and AK effect values of reclaimed soil was positive, and the TN effect values was negative. At the soil depth of 0~20 cm (cultivation layer), the contents of soil nutrient except SOM and AP were not significantly different from those of standard farmland ( $P > 0.05$ ). The soil nutrient contents could almost return to the standard farmland level after 10~13 years of reclamation. The effect of soil reclamation in coal mining subsidence area was affected by the reclamation methods and reclamation time, and varied in different soil levels and regions. In order to achieve the best recovery effect, it is necessary to adjust measures to local conditions, and adopt appropriate reclamation methods after comprehensive consideration.

**Key Words:** Huaihai Economic Zone; Coal mining subsidence; Soil; Meta analysis

收稿日期: 2021-10-16; 责任编辑: 蒋雯婷

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31870455); 江苏师范大学研究生科研创新计划项目(201XT0061); 江苏高校优势学科建设工程项目

第一作者简介: 贾聪慧(1998-), 女, 河南平顶山人, 硕士在读, 主要从事自然地理研究。E-mail: 3230445397@qq.com

通讯作者简介: 李贺(1985-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 讲师, 博士, 主要研究方向为植被生态学、生物地理学和全球变化生态学。E-mail: lihe@jnsu.edu.cn

## 0 引言

在以江苏、山东、河南、安徽四省为代表的煤粮空间高度重合的东部高潜水位采煤塌陷区,采煤沉陷土地已经成为重要的后备土地资源<sup>[1]</sup>。通过复垦塌陷土壤来保护耕地红线、进行生态修复已经逐渐成为广大学者研究的热点问题。早期复垦的土地因复垦经验不足等原因会出现土壤养分不足,作物产量偏低等问题,加之复垦设备、材料以及复垦工艺等方面的因素,都直接影响着复垦

后土壤理化性质的优劣<sup>[2]</sup>。目前,采煤塌陷区复垦研究主要集中在单一复垦方式不同年限对土壤理化性质的影响,对多种复垦方式进行效果对比的研究较少<sup>[3]</sup>。为了探究不同复垦方式、时间对于不同地区、不同土层深度土壤养分特征修复的影响,本文以淮海经济区内主要采煤塌陷区为研究对象(图1),采用 Meta 分析方法比较各复垦区内不同复垦方式、不同时间、不同土层深度下的土壤质量差异,探讨了塌陷区复垦地的肥力状况,为复垦区土地利用提供了技术参考和理论依据。



图1 淮海经济区内主要采煤塌陷区

Fig.1 Main coal mining subsidence areas in Huaihai Economic Zone

## 1 材料与方法

Meta 分析是一种综合分析同一主题下多个独立研究结果的统计方法。这种思想起源于20世纪初,常用于心理学和医学等社会科学领域,90年代被引入国内生态学领域<sup>[4]</sup>。与以往的统计学方法相比,Meta 分析可以较客观地进行定性和定量的综合分析,改进样本量大小对统计效能的影响,并可以进一步提高各研究结果不一致时的可靠性。

### 1.1 文献数据筛选与提取

本文中用于 Meta 分析的中文文献来源于中国知网、万方、维普等数据库,以采煤塌陷区土壤、化学性质、化学计量特征、养分特征(pH、有机质、碳、氮、磷、钾、钙、镁)为主题进行检索;为了减少文献检索所带来的偏差,按照以下标准对所收集到的文献资料进行筛选,符合以下要求视为有效

文献:(1)文献中的研究区是淮海经济区内采煤塌陷地;(2)文献使用研究方法均为采样实验法,数据分为复垦组和对照组,即文献中有采煤塌陷复垦区和邻近未塌陷区的土壤化学性质对比;(3)复垦组数据包含复垦方式、复垦时间、采样深度等;(4)文献的数据资料是具体的数值或以图片形式展示,包含样本量、平均值、标准差或标准误等;(5)如果一篇文献中有多个独立的实验组或对照组,将每个实验组或对照组视为一个独立的样本进行相关数据提取。最终,通过对文献资料数据的分析、筛选、提取和转换,筛选出11篇有效文献(表1),提取了219个独立样本。同时根据样本量,本研究最终对pH值、土壤有机质(SOM, Soil organic matter)、土壤总氮(TN, Total nitrogen)、速效磷(AP, Available phosphorus)、速效钾(AK, Available potassium)5个土壤化学指标进行分析。

表 1 Meta 分析所用的参考文献  
Table 1 References used in Meta-analysis

序号	文献名称	研究区域	复垦方式	贡献样本量/个	土壤类型	提取指标
1	徐州采煤塌陷区复垦土壤的细菌群落多样性	江苏徐州柳新镇	泥浆复垦	4	/	pH、SOM、TN、AK
2	矿区泥浆泵复垦土壤化学特性的时空演化规律	江苏徐州矿区	泥浆复垦	105	棕潮土	pH、SOM、TN、AP、AK
3	煤矸石充填复垦土壤细菌群落的变化	山东济宁东滩矿区	煤矸石复垦	9	湿润淋溶土	pH、AP、AK
4	邹城市采煤塌陷区复垦土壤质量变化研究	山东济宁邹城市	煤矸石复垦、 粉煤灰充填复垦	20	/	pH、SOM、AP、AK
5	采煤塌陷地泥浆泵复垦土壤生物多样性及土壤酶活性研究	江苏徐州柳新镇	泥浆复垦	15	潮土	pH、SOM、TN、AP、AK
6	采煤塌陷区复垦土壤质量变化研究—以徐州市贾汪区粉煤灰充填复垦区为例	江苏徐州市贾汪区	粉煤灰复垦	75	/	pH、SOM、TN、AP、AK
7	高潜水位采煤塌陷区充填复垦土壤碳动态研究	山东省邹城市	煤矸石复垦	80	潮土	TN、AP
8	高潜水位平原区采煤塌陷地复垦土壤特征与分类研究	济宁、徐州、淮北、 宿州、商丘	挖深垫浅、 粉煤灰、 煤矸石、 外源土复垦	52	/	pH、TN、AP、AK
9	济宁引黄复垦区不同年限土壤养分变化预测	山东济宁市梁山县	引黄复垦	18	/	SOM、AK
10	不同复垦方式对煤矿复垦区土壤养分状况的影响	山东省济宁邹城市	粉煤灰、煤矸石、 引湖充填、引黄充填、 预复垦	60	/	SOM、AP、AK
11	煤矿塌陷区不同复垦年限土壤颗粒组成形特征	山东省济宁邹城市	煤矸石复垦	48	/	SOM、AP、AK

注:贡献样本量为文献提取数据组数×文献提取元素数量

## 1.2 Meta 分析

本研究利用  $R$  中的 Meta 软件包进行分析,由于入选研究中大多没有报道试验数据的标准差或标准误,所以不能采用传统的参数式权重 Meta 分析方法。本研究以相对变化速率为效应值,来度量复垦土壤相对于正常农田的土壤恢复情况,分为复垦组和对照组,基于对照组的平均百分比变化率来表示,详见式(1)。

$$\ln R = \ln \left( \frac{X_e}{X_c} \right) = \ln X_e - \ln X_c \quad \text{式(1)}$$

式中: $R$  为响应比; $X_e$  为复垦组的土壤养分含量, $X_c$  为对照组土壤养分含量。

得到不同处理的效应值及其 95% 置信区间 CI (Confident Interval, 置信区间)。若置信区间包含 0, 则说明复垦土壤化学性质与对照相比无显著差异;若置信区间全部 > 0, 说明复垦土壤化学性质显

著高于对照,反之复垦土壤化学性质显著低于对照<sup>[5]</sup>。

Meta 分析过程需要分析多项研究结果的异质性,以尽可能消除异质性,以达到同质性。在  $Q$  统计检验中,主要使用  $P$  值进行判断,如果  $P > 0.1$ , 则不存在异质性或异质性较小,应采用固定效应模型 (Fixed-Effects Model)。如果  $P < 0.1$ , 则存在异质性,可以选择随机效应模型 (Random-Effects Model)<sup>[6]</sup>。通过  $Q$  检验发现  $P > 0.1$ , 可以认为经过处理得到的各组土壤化学计量特征数据异质性较小,因此选用固定效应模型 (Fixed-Effect Model) 进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同复垦方式对土壤化学性质的影响

不同复垦方式下土壤化学性质相对变化详见

图2。图2的Meta分析显示,复垦土壤中SOM和AP总体效应值分别为-0.09(95%CI, -0.13~-0.04)和-0.10(95%CI, -0.14~-0.05),复垦土壤SOM和AP含量显著低于标准农田( $P<0.05$ )。复垦土壤pH、TN和AK合并效应值分别为0.01(95%CI, -0.08~0.09)、-0.34(95%CI, -0.78~0.09)、0.0019(95%CI, -0.01~0.01),置信区间与无效线相交,说明复垦土壤pH、总氮和速效钾与标准农田相比无显著差异( $P>0.05$ ),表明这三个化学性质的复垦效果基本达到标准农田水平。

但是,不同复垦方式对复垦效果存在一定影响,研究结果表明:粉煤灰与煤矸石复垦土壤pH均与标准农田无显著差异( $P>0.05$ ),但效应值略高于0,说明这两种复垦方式可导致土壤碱性增

强,这是由于高潜水位特有的水土条件导致土壤存在盐渍化风险,并且由于煤矸石中含有大量的碳酸盐矿物,碳酸盐矿物溶解后溶液导致土壤呈弱碱性<sup>[7]</sup>;而泥浆复垦土壤pH、SOM、TN、AP与标准农田相比也无显著差异( $P>0.05$ ),但效应值为负,这可能是水分冲刷导致pH和养分含量降低,泥浆复垦在高压水枪切割、土壤颗粒沉淀分选、土壤压实过程中会破坏土壤结构,导致上下层土壤混合,造成土壤养分含量下降;此外,重构土壤表层易板结,粘粒含量高、含水量大造成土壤通气透水性差,导致微生物活动及养分释放受到严重阻碍,土壤排水过程和入渗速度慢引发的地表径流也会导致大量可溶性养分流失<sup>[8]</sup>。

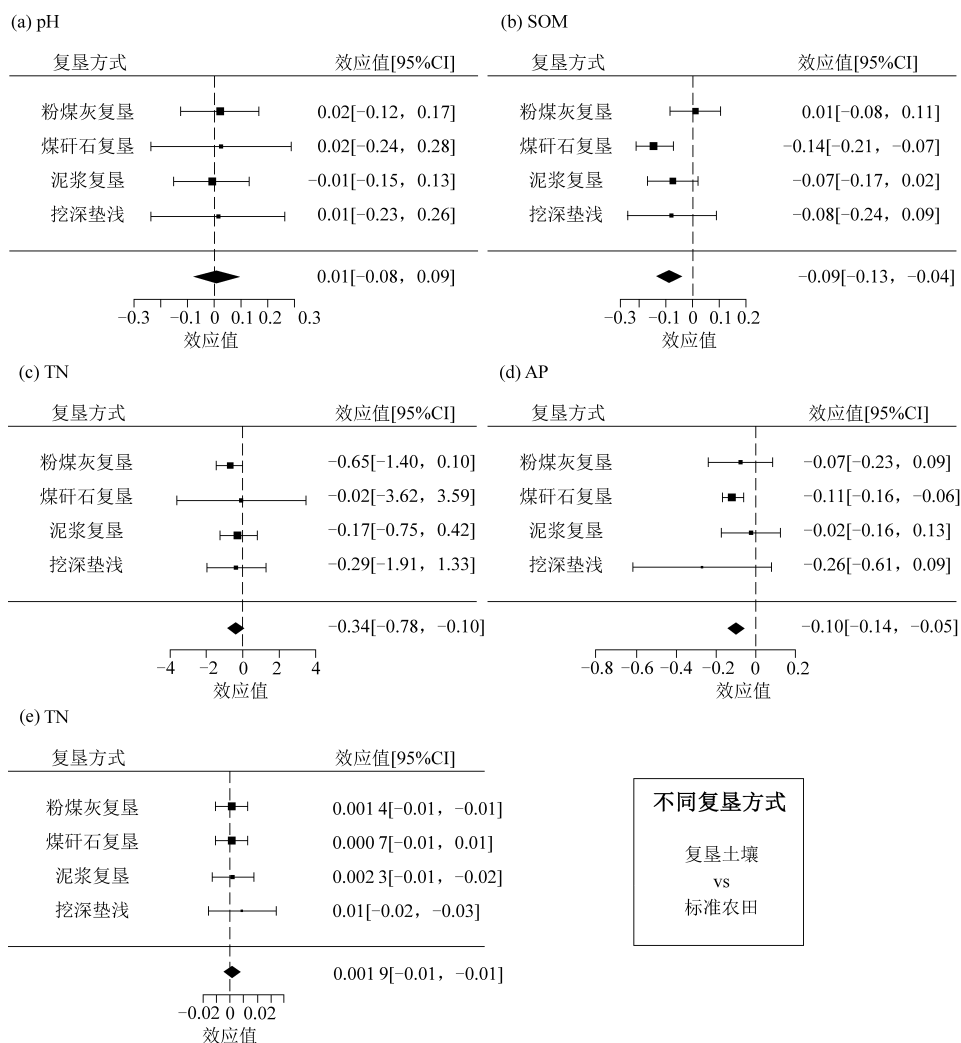


图2 不同复垦方式下土壤化学性质相对变化

Fig.2 Relative changes of soil chemical properties with different reclamation methods

根据图2(c)、2(d)和2(e),与标准农田相比,粉煤灰复垦TN、AP和AK含量与标准农田无显著差异( $P>0.05$ ),说明该复垦方式下可以有效

恢复这三种土壤养分,但TN和AP的效应值略低于零,这与胡振琪等(2002)的研究结果一致<sup>[9]</sup>。由于粉煤灰复垦土壤入渗率小于农业土壤,具有

碱性强、土壤容重大、保水能力强等特点,粉煤灰中所含的钾可为土壤提供丰富的 K 元素,有效恢复土壤 K 元素<sup>[10]</sup>。据王长全等人(2019)的研究,复垦土壤的 TN 和 pH 具有负相关关系,随着复垦土壤 pH 值增大,总氮呈减小趋势<sup>[11]</sup>。此外,AP 含量低于标准农田可能是由于粉煤灰复垦方式下土壤保水能力强,土层含水率升高,会降低有效磷含量<sup>[11]</sup>。

根据图 2(b)和 2(d),煤矸石复垦土壤 SOM、AP 含量均显著低于标准农田,恢复效果较差,这是由于煤矸石高灰分、含碳量与养分含量低、质地坚硬<sup>[12]</sup>,充填时难以完全粉碎,导致营养物质的转化和释放需要时间,也造成土壤养分下渗速率变低。此外,土壤 pH 过高也会破坏土壤结构,导致土壤通气状况变差,间接影响土壤养分转化及其有效性。

挖深垫浅(挖掘机、铲运车)等复垦方式下土壤 SOM、TN、AP 均与标准农田无显著差异,但效应值小于 0,这可能是由于机械施工过程中对土壤造成的压实较为严重,造成土壤孔隙度降低、容重增大、水分入渗率小于农业土壤,土壤含水率大于农业土壤,通透性差、土壤保墒、保肥能力下降,不利于作物对养分的吸收,还需通过深翻耕、农业种植和培肥等进一步改善土壤质量<sup>[13]</sup>。

总体来看,复垦方式对于土壤复垦效果有着较大影响。粉煤灰、煤矸石等充填复垦对于土壤层次扰动较大,土壤化学性质易受到充填物质影响,对于充填物质的选择应考虑到不同区域土壤特征的异质性;泥浆复垦高压冲刷洗盐和(挖掘机、铲运车)挖深垫浅复垦压实均会破坏土壤结构,导致土壤养分含量降低。因此,针对不同的复垦方式应采取不同的土壤维护措施。

## 2.2 不同复垦时间对土壤化学性质的影响

由图 3(a)可知,随着复垦后时间的推移,虽然土壤 pH 均与标准农田无显著差异( $P>0.05$ ),但是效应值逐渐减小,说明 pH 值有下降趋势。而由图 3(b)~3(e)可知,土壤 TN、AP、AK 效应值呈现逐渐增加趋势,SOM 呈现先减少后增加现象。土壤 TN、SOM、AK 在复垦 1~3 a 后,即可达到与标准农田无显著差异( $P>0.05$ ),而 AP 含量在复垦第 10~13 a 后才能恢复到标准农田水平,这与 Wick 等人(2008)<sup>[14]</sup>的研究结论相符,其研究发现经过 10~15 a 的复垦管理之后,土壤有机物的含量基本可以达到原状土壤有机质含量的

水平。

## 2.3 不同土层深度复垦效果差异

图 4(a)表明,不同土层深度土壤 pH 对复垦效果无显著影响,土壤 pH 与标准农田无显著差异( $P>0.05$ )。TN 和 AK 虽然在不同土壤层次也与标准农田无显著差异( $P>0.05$ ),但是效应值的大小在不同层次有一定的差异,TN 在 20~40 cm 土层的效应值较大,AK 在 0~20 cm 土层效应值较大且为正效应。而复垦土壤中 SOM 和 AP 的恢复效果则受土层的影响较大,0~20 cm、20~40 cm 土层中 SOM 的效应值显著低于标准农田( $P<0.05$ ),40~60 cm 土层 SOM 含量与标准农田相比无显著差异。这可能是由于泥浆复垦与挖深垫浅等复垦方式在复垦过程中会打乱原有土层,出现不同深度土壤混置的情况<sup>[15]</sup>,也有可能与土壤物理性质的变化有关,如采煤塌陷破坏了土壤结构,降低了土壤通气保水性,加速了土壤淋溶侵蚀,使土壤发生淋溶作用、养分向下运移<sup>[16]</sup>。因此,挖深垫浅和泥浆复垦区应注意后续的土壤深翻耕作来恢复土壤结构,此外也要注意复垦后氮磷肥以及有机质的补充<sup>[17]</sup>。

## 2.4 不同复垦地区复垦效果差异

土壤是生物、气候对母质在时间序列上作用而形成的自然界综合体,具有传递、转化物质与能量的作用,采煤塌陷区土壤的理化性质直接影响着该区域生态恢复的方向和途径。本文研究区域均位于淮海平原内,经纬度位置接近,气温降水差异不大,因此自然因素对于土壤复垦效果的影响不作为讨论重点,主要考虑复垦方式对复垦效果的影响。由图 5 可知,杜集区 SOM、TN 和 AP 含量与标准农田相比无显著差异( $P>0.05$ ),但 SOM 和 TN 效应值小于 0,AP 效应值大于 0,杜集区土壤主要为肥力中上等的两合土,由半砂半泥的河流淤积物形成,对 AP 恢复有利<sup>[18]</sup>;贾汪区复垦土壤各化学性质均与标准农田相比无显著差异( $P>0.05$ ),但 TN 恢复明显不如其它养分,这可能是由于粉煤灰在燃烧过程中氮被挥发,充填至土壤后,靠本地土壤供给,导致氮素的再分布导致<sup>[19]</sup>;商丘永城复垦方式以挖深垫浅为主,对土壤压实较为严重,影响土壤肥力的恢复,AP 含量显著低于标准农田( $P<0.05$ );邹城市复垦方式以煤矸石、粉煤灰充填为主,SO 和 AP 含量显著低于标准农田( $P<0.05$ ),这可能与充填复垦对于土壤层次扰动大,破坏土壤结构有关<sup>[20]</sup>。

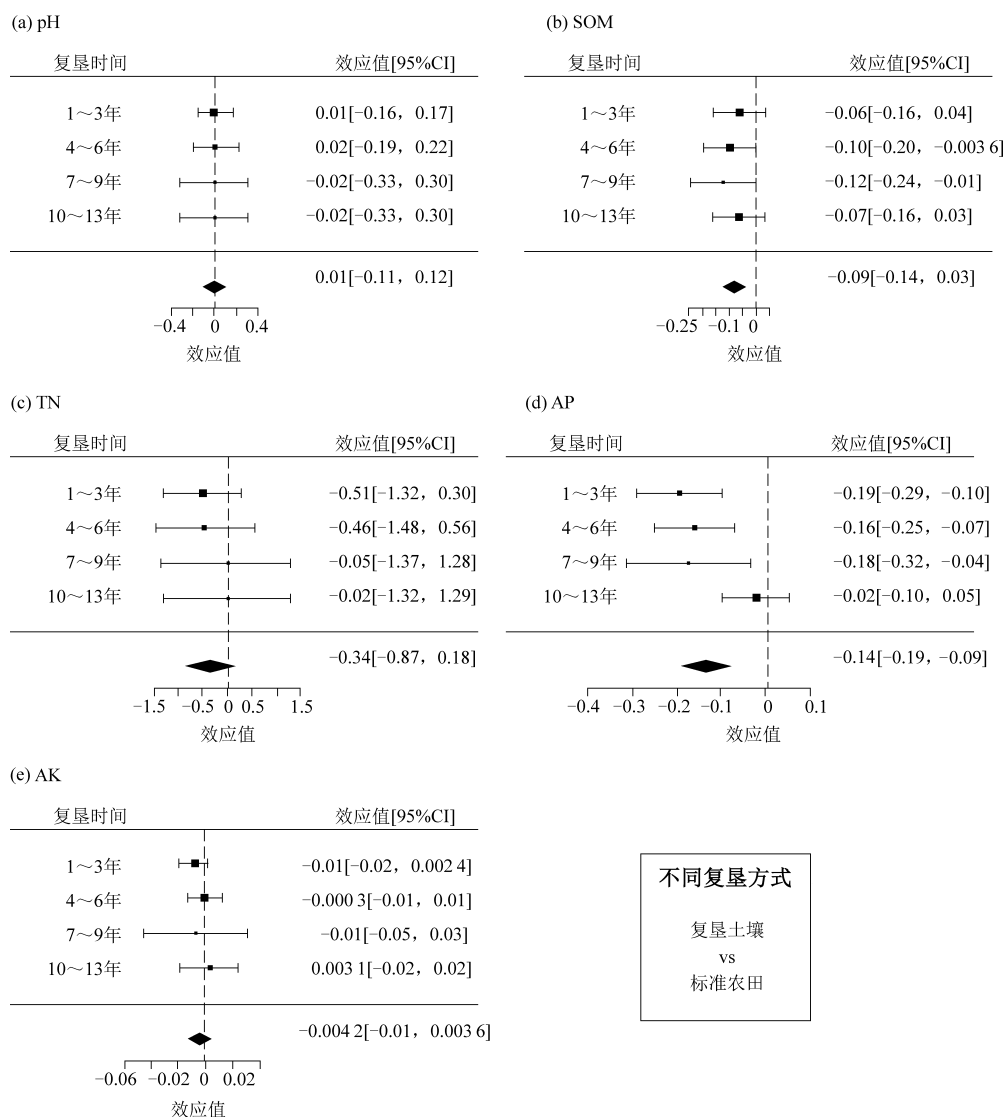


图3 不同复垦时间土壤化学性质相对变化

Fig.3 Relative changes of soil chemical properties with different reclamation time

此外,虽然各地区土壤 pH 值均与标准农田无显著差异 ( $P>0.05$ ),但均有增加趋势,高潜水位的淮海平原土壤多以潮土为主,腐殖质含量低,普遍缺磷,钾元素丰富,发育在黄河沉积母质上的潮土碳酸钙含量高,土壤呈中性—微碱性反应<sup>[18]</sup>,因此应谨慎选用易导致土壤碱性增大的煤矸石、粉煤灰等复垦方式。

## 2.5 发表偏倚评估和敏感性分析

在 Meta 分析中通过漏斗图判断所纳入文献是否存在发表偏倚<sup>[21]</sup>。漏斗图中,以效应值为横坐标,以标准误(Standard Error)为纵坐标,黑色的点为纳入的研究。一般来说,小样本研究通常分

布在图的底部(SE 较大),而大样本研究则分布在图的顶部(SE 较小)。若漏斗图出现对称情况则文献的发表偏倚性较小;若漏斗图出现不对称情况则文献存在一定的发表偏倚性。从图 6 中可以看出漏斗图中效应点呈不对称分布,说明可能存在一定程度的发表偏倚。为了评价发表偏倚对于结果的影响进行剪补分析,剪补法丢弃低权重、极端的研究<sup>[22]</sup>,并根据完整数据重新计算,经过剪补分析后发现漏斗图对称性得到改善,除 SOM 与 AP 外合并效应量估计值变化不明显,说明发表偏倚对本研究结果影响不大。

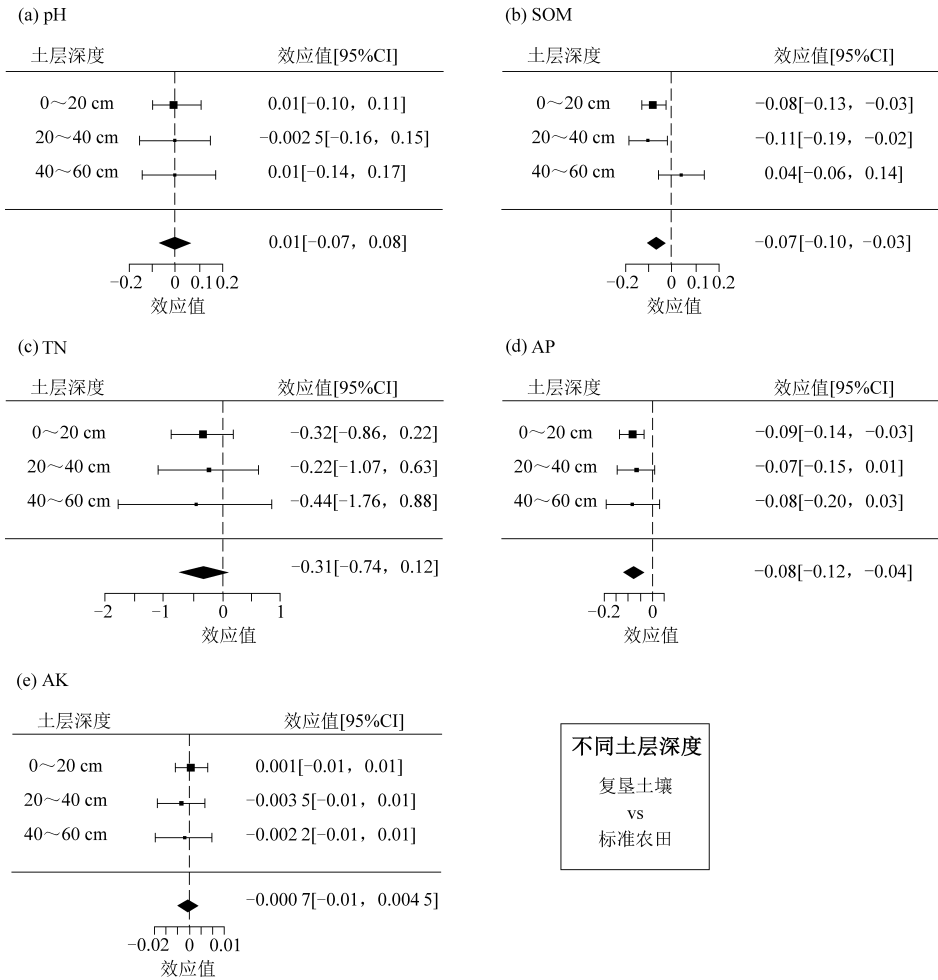
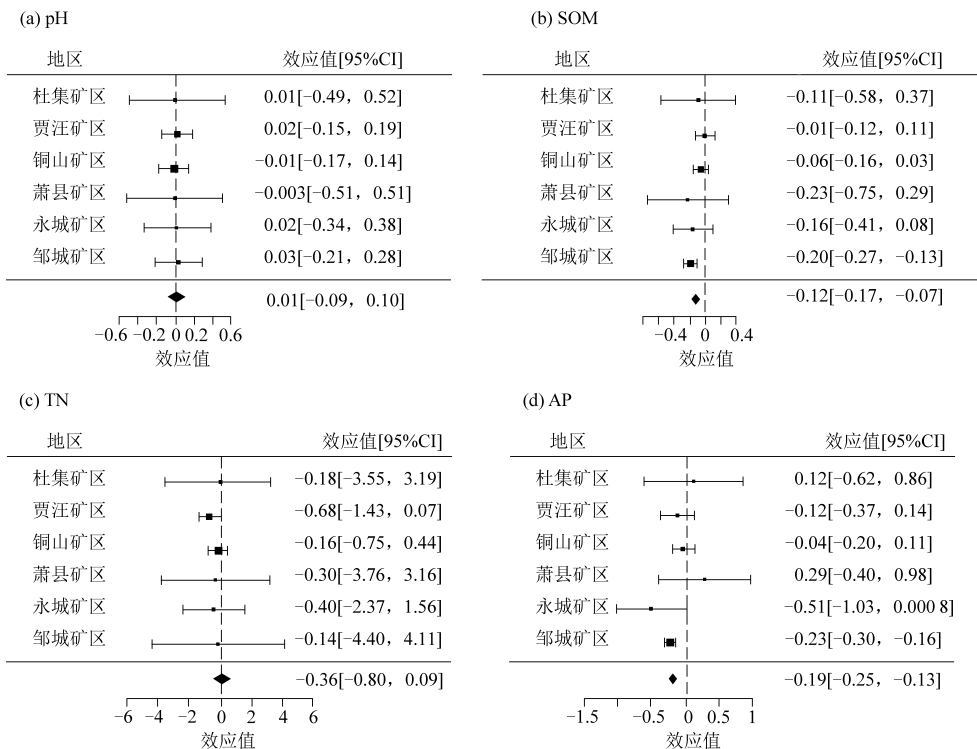


图 4 不同深度土壤化学性质相对变化

Fig.4 Relative changes of soil chemical properties at different soil depths



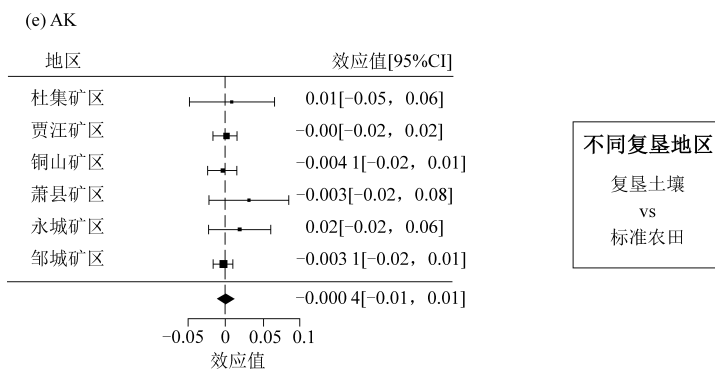


图5 不同区域土壤化学性质相对变化速率

Fig.5 Relative change rate of soil chemical properties in different regions

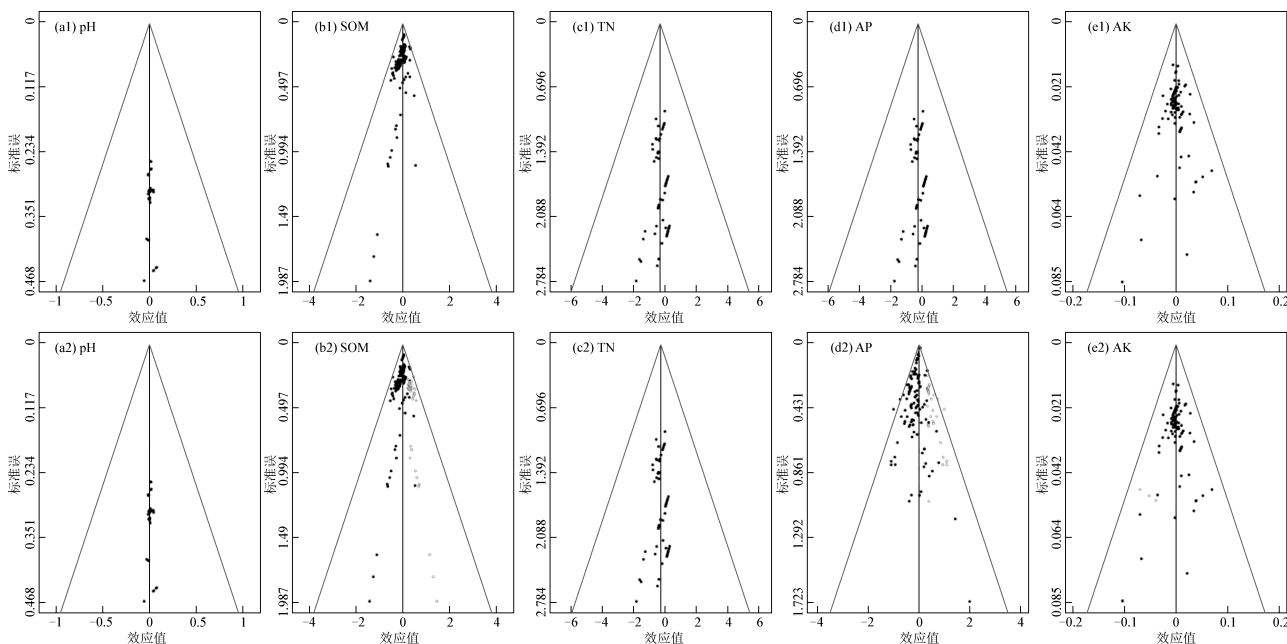


图6 发表偏倚(a1-e1)和对应剪补分析(a2-e2)漏斗图

Fig.6 Funnel plot of publication bias(a1-e1) and corresponding shear compensation analysis(a2-e2)

### 3 结论与展望

#### 3.1 结论

(1) Meta 分析结果表明,总体上复垦土壤有机质和速效磷含量显著低于标准农田,pH、总氮和速效钾与标准农田相比无显著差异,达到标准农田水平,说明复垦是恢复土壤肥力的有效方式。

(2)复垦土壤的恢复效果与复垦方式和复垦时间有关,土壤有机质和速效磷在煤矸石复垦方式下不能达到标准农田水平,并且需要复垦较长时间,在复垦后 10~13 a 后基本可以恢复正常农田水平。

(3)复垦土壤的恢复效果在不同土层和地区具有一定差异。0~20 cm 表层土壤 SOM 和 AP 恢复效果不如 20~60 cm 土壤效果,并且表现出在邹

城和永城地区恢复效果不佳。因此,煤炭塌陷区复垦土壤在恢复时需考虑地区差异,采取不同的恢复手段,并注意后期维护。

#### 3.2 展望

塌陷地作为重要的后备土地资源,对塌陷地的复垦在土壤养分的恢复与土地再利用方面具有重要意义,但复垦土壤养分能否恢复到标准农田水平仍需要长期观测。不同的复垦方式对土壤养分含量影响大,未来的修复工程应因地制宜,针对不同地区土壤性质的差异,选择最优复垦方式并密切关注不同土层的养分含量变化。但是,目前的研究相对较少且主要集中在部分地区,并且重点关注特定复垦方式的技术和资金成本,可行性分析以及复垦效果评价上还有待提高,特别是在气候、土壤等自然特征差异的基础上针对不同地



区如何选择适宜的复垦方式做出定量探究、全面总结的相对较少,因此,未来期望能够综合考量各类影响复垦效果的因素,有效恢复塌陷地土壤,补充耕地资源,保障用地安全。

## 参考文献

- [1] 李玲. 高潜水位平原区采煤塌陷地复垦土壤特征与分类研究 [D]. 北京: 中国矿业大学 (北京), 2011: 1.
- [2] 张明. 采煤塌陷区复垦土壤质量变化研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 3.
- [3] 李俊颖, 李新举, 吴克宁, 等. 济宁引黄复垦区不同年限土壤养分变化预测 [J]. 土壤学报, 2018, 55 (6): 1358-1366.
- [4] 段晨松, 韩燕, 张远彬. 不同恢复方式地震受损区的土壤理化性质的 Meta 分析 [J]. 山地学报, 2018, 36 (6): 857-866.
- [5] 王旭东, 庄俊杰, 刘冰洋, 等. 秸秆还田条件下中国农田土壤有机碳含量变化及其影响因素的 Meta 分析 [J]. 中国农业大学学报, 2020, 25 (8): 12-24.
- [6] 李寒冰, 金晓斌, 杨绪红, 等. 不同农田管理措施对土壤碳排放强度影响的 Meta 分析 [J]. 资源科学, 2019, 41 (9): 1630-1640.
- [7] 焦赫, 李新举. 煤矸石充填复垦土壤细菌群落的变化 [J/OL]. 煤炭学报: 1-16 [2021-05-06]. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2020.1104>.
- [8] 胡振琪, 张国良. 煤矿沉陷区泥浆泵复田技术研究 [J]. 中国矿业大学学报, 1994 (1): 60-65.
- [9] 胡振琪, 戚家忠, 司继涛. 粉煤灰充填复垦土壤理化性状研究 [J]. 煤炭学报, 2002 (6): 639-643.
- [10] 徐金芳, 杨洋, 常智慧, 等. 粉煤灰农业利用的研究进展 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50 (23): 4771-4774.
- [11] 王长奎. 粉煤灰场复垦土壤养分含量及其与土壤理化性质的响应研究 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47 (9): 64-67.
- [12] 姚逸, 邓秋婷, 李艺, 等. 煤矸石的综合治理及其开发利用现状 [J]. 中国资源综合利用, 2019, 37 (12): 83-85.
- [13] 韩明正. 采煤塌陷矿区土地整理模式研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 16.
- [14] Abbey F Wick, Lachlan J Ingram, Peter D Stahl. Aggregate and organic matter dynamics in reclaimed soils as indicated by stable carbon isotopes [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 41 (2): 201-209.
- [15] 张蕾娜, 冯永军. 采煤塌陷区复垦土地的肥力状况研究 [J]. 福建水土保持, 2001 (1): 57-60.
- [16] 孙文博, 廖小锋, 田凡, 等. 贵州百里杜鹃林区不同采煤塌陷年限土壤化学性质对比研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34 (9): 55-59.
- [17] 焦晓燕, 王立革, 卢朝东, 等. 采煤塌陷地复垦方式对土壤理化特性影响研究 [J]. 水土保持学报, 2009, 23 (4): 123-125+145.
- [18] GB/T 17296—2009, 中国土壤分类与代码 [S].
- [19] 汪海珍, 徐建民, 谢正苗, 等. 粉煤灰对土壤和作物生长的影响 [J]. 土壤与环境, 1999 (4): 305-308.
- [20] 郑永红, 张治国, 姚多喜, 等. 煤矸石充填复垦对土壤特性影响研究 [J]. 安徽理工大学学报 (自然科学版), 2013, 33 (4): 7-11.
- [21] 唐娜, 董洋洋, 马建, 等. 气象因素与登革热发病相关关系的 Meta 分析 [J/OL]. 中国媒介生物学及控制杂志: 1-7 [2021-11-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1522.r.20211102.1102.016.html>.
- [22] 张天嵩, 钟文昭. 非参数剪补法在 Stata 中的实现 [J]. 循证医学, 2009, 9 (4): 240-242.