

# 盐碱地土壤有机质和全氮的空间变异特征及相关性分析——以黄河岛为例

于欢, 陈雪, 钟天颖, 刘健, 王瑗玲\*

山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安  
Email: 2735666390@qq.com, \*ailingwang@sdau.edu.cn

收稿日期: 2021年3月22日; 录用日期: 2021年4月16日; 发布日期: 2021年4月23日

## 摘要

以黄河三角洲地区典型的盐碱地分布地——黄河岛为研究区, 结合传统统计学、地统计学及GIS技术, 研究盐碱地不同土层土壤有机质和全氮的空间变异特征, 并探讨两者的相关性。结果表明: 1) 盐碱地不同土层土壤有机质和全氮含量总体偏低, 具有中等空间变异性; 2) 不同土层土壤有机质含量及0~20 cm土层土壤全氮含量具有一定的空间相关性, 变异受结构性因素和随机性因素影响, 20~40 cm土层土壤全氮含量空间相关性较弱, 变异受随机性因素影响大; 3) 不同土层土壤有机质和全氮含量分布状况相似, 片状相间分布, 东西方向呈先增加后减少趋势, 南北方向呈减少趋势; 4) 不同土层土壤有机质和全氮含量具有强正相关性, 0~20 cm和20~40 cm土层土壤有机质含量估算全氮含量的最佳模型分别为S型模型和幂函数模型, 回归方程分别为 $Y = e^{0.099-7.338/X}$ 、 $Y = 0.064 * X^{0.849}$ 。

## 关键词

盐碱地, 有机质, 全氮, 空间特征, 相关性

## Analysis of Spatial Variability Characteristics and Correlation of Soil Organic Matter and Total Nitrogen in Saline-Alkali Land—The Case Study of the Yellow River Island

Huan Yu, Xue Chen, Tianying Zhong, Jian Liu, Ailing Wang\*

College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

\*通讯作者。

文章引用: 于欢, 陈雪, 钟天颖, 刘健, 王瑗玲. 盐碱地土壤有机质和全氮的空间变异特征及相关性分析——以黄河岛为例[J]. 农业科学, 2021, 11(4): 332-340. DOI: 10.12677/hjas.2021.114048

Email: 2735666390@qq.com, \*ailingwang@sdau.edu.cn

Received: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2021; accepted: Apr. 16<sup>th</sup>, 2021; published: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2021

## Abstract

Taking typical distribution of saline-alkali land in the Yellow River Delta-the Yellow River Island as research area, applying traditional statistics, Geostatistics and GIS technology, the research analyzed the spatial variability characteristics of soil organic matter and total nitrogen in different soil layers in saline-alkali land and explored the correlation between them. The results showed that: 1) The contents of soil organic matter and total nitrogen in different soil layers were generally low and with moderate spatial variability; 2) Soil organic matter in different soil layers and soil total nitrogen in the soil layers of the depth in 0~20 cm had a certain spatial correlation, and the variation was affected by structure factors and random factors, and the spatial correlation of soil total nitrogen in the 20~40 cm soil layer was relatively weak, and the variation is greatly affected by random factors; 3) The distributions of soil organic matter and total nitrogen in different soil layers are similar. They were distributed in patches, the overall trend was increased and then decreased in the direction of east-west, and decreased in the direction of north-south; 4) There was a strong positive correlation between soil organic matter and total nitrogen content in different soil layers. The best models used for estimating total nitrogen content by soil organic matter content were the S-type model and the power function model respectively in the depth of 0~20 cm and 20~40 cm soil layers, the regression equations were  $Y = e^{0.099-7.338/X}$ ,  $Y = 0.064 * X^{0.849}$ .

## Keywords

Saline-Alkali Land, Organic Matter, Total Nitrogen, Spatial Characteristics, Correlation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

土壤有机质是存在于土壤中所含碳的有机物,能改善土壤的物理性质及土壤养分供应能力。土壤全氮是土壤中各种形态氮素含量的总和,反映土壤供氮潜力。两者在土壤养分及植物生长发育过程中占据着重要地位,是土壤质量和土壤肥力的评价指标,因此了解区域土壤有机质和全氮含量的变化,探究其分布状况及空间变异特征对土壤碳氮库的调控和管理以及科学指导农业生产、合理利用土地等具有重要作用。实验室化验分析过程中,全氮的测定步骤繁杂,预处理麻烦,误差较大;而有机质的测定步骤较为简单,耗时短,结果也十分稳定。众多研究已表明土壤有机质与全氮关系密切,因此以简单易测的土壤有机质含量估算全氮含量具有重要意义。多年来,各界学者对不同区域、不同植被类型、不同深度等的土壤有机质和全氮进行了大量空间变异特征及相关性的研究:郑然等对农牧交错带冀北栗钙土的耕层土壤有机质和全氮的空间变异特征进行了研究[1];张一扬等以靖西市植烟区土壤为研究对象进行有机质含量时空变异特征的研究[2];张雅馥等以山西省朔州市平鲁区安家岭3号井工矿塌陷稳沉区为研究对象,对土壤有机质和全氮的垂直变异性和水平变异性进行研究[3];杨海明等对丰镇市2007~2013年测定的农田土壤有机质和全氮含量进行了相关性分析并求得线性拟合模型[4];巩万合等发现农业区不同、土壤类

型不同, 有机质和全氮的相关系数及回归方程各不相同[5]。

长期以来盐碱地作为耕地补给的重要来源, 在缓和人地矛盾, 促进农业高效稳定发展和保障国家粮食安全等方面发挥着重要作用[6], 但是针对盐碱地土壤有机质和全氮的分布状况、空间变异特征及相关性的研究较少。因此, 本文以黄河三角洲地区典型的盐碱地分布地——黄河岛为研究区, 通过野外采样、实验室测定, 分析该区域不同土层土壤有机质和全氮含量分布状况及空间变异特征, 以期为黄河岛合理利用土地资源和科学管理农业生产提供依据, 同时进行不同土层土壤有机质和全氮含量的相关性分析, 确定最佳估算模型, 以期通过有机质含量能够准确地估算出全氮含量, 减少之后相关分析的工作量, 并为其他盐碱地区域提供参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

黄河岛(37°57'N, 118°4'E)位于山东省滨州市无棣县东北部, 距无棣县城、滨州市区均六十公里左右, 与滨州港隔河相望, 东北濒临渤海, 南倚黄河, 四面环水, 总面积 25.9 km<sup>2</sup>。由于河流淤积及海潮溢流的影响, 黄河岛在南北方向形成了独特的条状地形, 地势南高北低, 造型独特, 土壤类型多为滨海盐化潮土, 土壤贫瘠, 含盐量高, 以芦苇、柽柳、苜蓿、碱蓬等耐盐碱植物居多。属温带海洋性气候, 气温起伏较小, 冬无严寒, 夏无酷暑, 气候适宜, 野生动物种类繁多。近年来, 黄河岛积极进行盐碱地改良和产业开发, 涉及林草间作、生态林场、现代渔业、休闲旅游等领域, 各产业互惠互养, 协调发展。

### 2.2. 土壤样品采集和测定

2018年10月外出取样, 参考遥感影像, 持GPS定位仪, 记录采样点的经纬度和海拔高度, 考虑研究区地形地貌、土地利用状况、植被分布情况等, 分地类用途按照全面性、均匀性、有代表性的原则划定1 m×1 m、5 m×5 m、10 m×10 m的样方后采用五点取样法取土, 共取0~20 cm、20~40 cm两深度的土壤样品各51个。将样品带回实验室, 经过自然风干、剔除杂质、研钵研磨过100目标准筛后装袋封存, 用于土壤有机质和全氮含量的测定。其中有机质含量的测定利用改良版重铬酸钾-硫酸溶液油浴法[7], 全氮含量的测定利用全自动凯氏定氮法[8]。

### 2.3. 数据处理

1) 将野外采样时GPS定位仪记录的采样点经纬度坐标、测定的有机质和全氮含量导入arcgis10.3中, 然后将采样点转化为以米为单位的平面坐标系, 叠加研究区边界线, 形成黄河岛采样点分布图(图1), 本文的研究只包含有样点分布的陆地区域, 水域不涉及。

2) arcgis10.3用于土壤有机质和全氮含量的趋势分析、半方差函数分析、空间变异特征分析等; spss23用于土壤有机质和全氮含量的统计指标(最大值、最小值、标准差、平均值、变异系数等)的分析、相关性分析、回归分析等。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 土壤有机质和全氮的描述性统计特征

通过对51个采样点不同土层土壤有机质和全氮含量进行非参数检验(K-S检验), 发现其渐进显著性概率P均大于显著性水平0.05, 说明不同土层土壤有机质和全氮含量均服从正态分布, 具有良好的统计学意义。

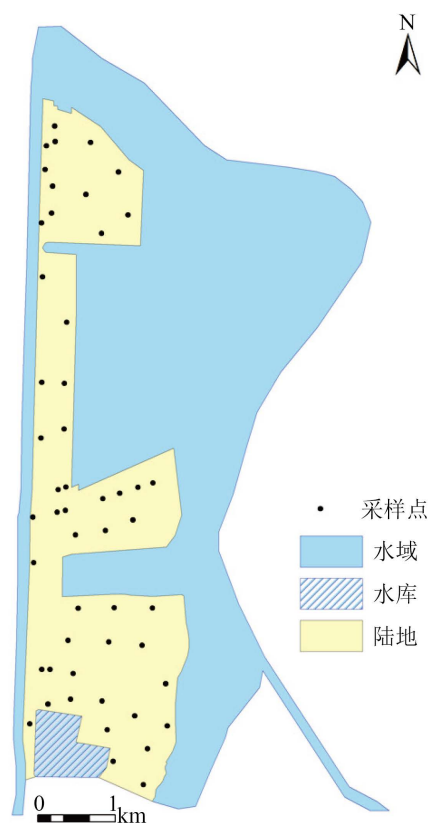


Figure 1. Soil sampling point distribution map in the Yellow River Island

图 1. 黄河岛土壤采样点分布图

Table 1. Descriptive statistical analysis of soil organic matter and total nitrogen content in different soil layers  
表 1. 不同土层土壤有机质和全氮含量的描述性统计分析

土壤指标	土层深度(cm)	最大值(g/kg)	最小值(g/kg)	平均值(g/kg)	标准差(g/kg)	变异系数(%)	$P_{k-s}$
有机质	0~20	18.85	4.31	11.05	4.15	37.56	0.152
	20~40	14.25	2.51	7.23	3.65	50.48	0.204
全氮	0~20	0.92	0.24	0.54	0.19	35.19	0.103
	20~40	0.82	0.11	0.35	0.17	48.57	0.121

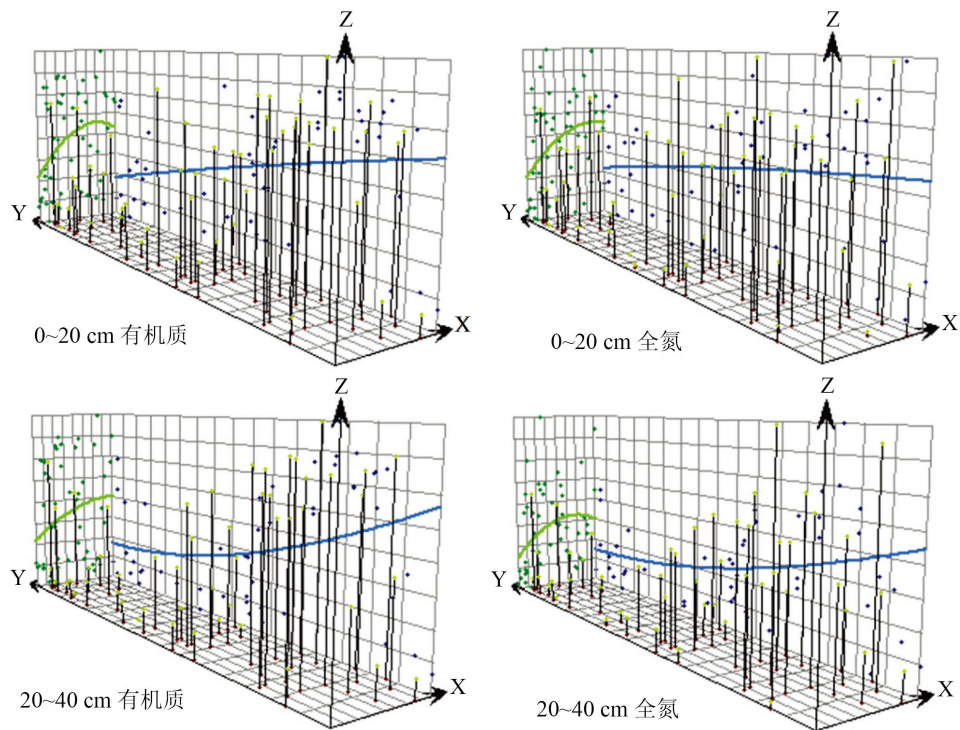
由表 1, 研究区 0~20 cm 土层土壤有机质含量变化范围为 4.31~18.85 g/kg, 均值为 11.05 g/kg, 标准差为 4.15 g/kg, 离散程度一般, 全氮含量变化范围为 0.24~0.92 g/kg, 均值为 0.54 g/kg, 标准差为 0.19 g/kg, 离散程度较小; 20~40 cm 土层土壤有机质含量变化范围为 2.51~14.25 g/kg, 均值为 7.23 g/kg, 标准差为 3.65 g/kg, 离散程度一般, 全氮含量变化范围为 0.11~0.82 g/kg, 均值为 0.35 g/kg, 标准差为 0.17 g/kg, 离散程度较小。

根据全国第二次土壤普查养分分级标准[9], 研究区不同土层土壤有机质和全氮含量总体偏低, 随土层深度的加深, 有机质和全氮含量不断减少。变异系数[10]能够反映土壤空间变异的基本情况, 研究区 0~20 cm 土层土壤有机质和全氮含量的变异系数分别为 37.56%和 35.19%, 20~40 cm 土层土壤有机质和全氮含量的变异系数分别为 50.48%和 48.57%, 在空间上均表现为中等变异性, 且随土层深度加深, 有机质和全氮含量的变异系数不断增大。

## 3.2. 土壤有机质和全氮的空间变异特征

### 3.2.1. 趋势分析

趋势分析是用三维视图进行数据拟合,以反映数据总体变化趋势及空间分布情况[11],可为变异函数模型的获取和插值图的绘制提供基础。本文对研究区土壤样点建立 X、Y、Z(经度、纬度、有机质(全氮)含量)空间坐标系,将不同土层土壤样点有机质(全氮)含量投影到东西方向和南北方向的平面上,通过投影点拟合出最优趋势线,最终得到不同土层土壤有机质和全氮含量趋势图(图 2),其中 X 轴代表东西方向, Y 轴代表南北方向,即绿线与蓝线分别表示土壤样点有机质(全氮)含量东西方向与南北方向的变化趋势。由图 2,研究区 0~20 cm 土层土壤有机质含量和全氮含量在东西方向为凸线,呈现先增加后减少的趋势,在南北方向为直线,呈现持续减少的趋势; 20~40 cm 土层土壤有机质含量和全氮含量在东西方向为凸线,呈现先增加后减少的趋势,在南北方向为凹线,呈现缓慢减少的趋势。分析发现,研究区不同土层土壤有机质含量和全氮含量的变化趋势相似:东西方向呈先增加后减少趋势,南北方向呈减少趋势,但是变化幅度存在差异。



**Figure 2.** Change trend graph of soil organic matter and total nitrogen content in different soil layers  
**图 2.** 不同土层土壤有机质和全氮含量的变化趋势图

### 3.2.2. 半方差函数分析

半方差函数[12]是研究土壤养分空间变异性常用的函数,它不仅能反映土壤养分的空间变异规律,而且是克里金插值成图的基础前提。本文利用 arcgis10.3 的平均最邻近分析和欧式距离分析确定半方差函数的最佳步长和步数,在地统计分析模块中选择不同模型分别对土壤有机质和全氮含量进行拟合,以标准均方根误差越接近于 1,标准平均误差、均方根误差和平均误差值越小作为选择最佳拟合模型的判定依据[13],最终确定指数函数和高斯函数分别为 0~20 cm 土层土壤有机质和全氮含量的最佳拟合模型,球面函数和高斯函数分别为 20~40 cm 土层土壤有机质和全氮含量的最佳拟合模型,由半方差函数模型相关参

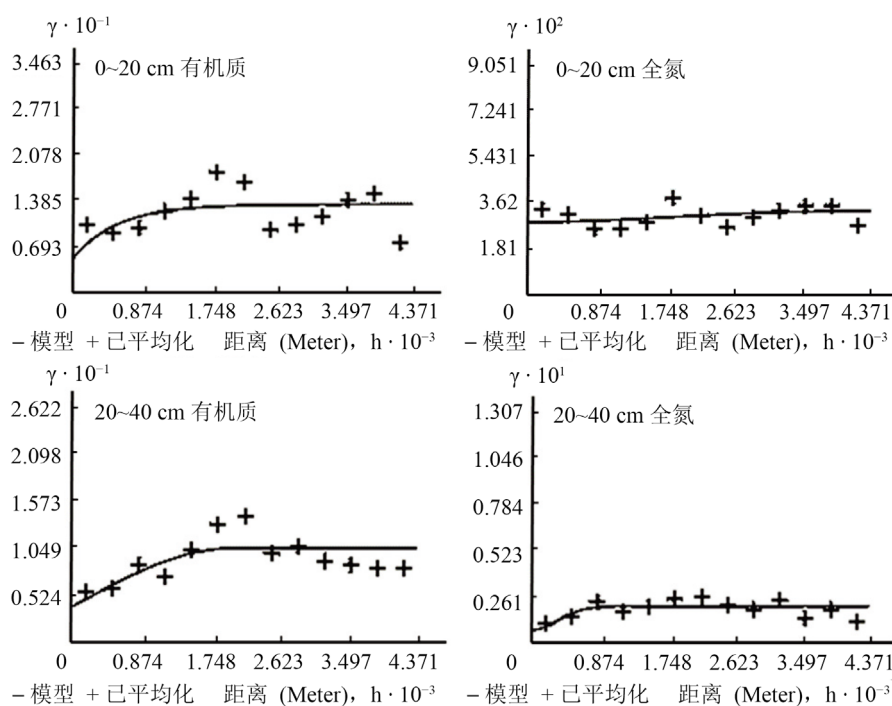


数(表 2)绘制出不同土层半方差函数图(图 3)。据表 2 和图 3 分析知, 研究区不同土层土壤有机质和全氮含量均存在块金值, 这说明在野外采样和实验处理过程中有所误差[14]; 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤有机质含量的块金系数[15]均为 0.414, 介于 25%~75%之间, 说明不同土层土壤有机质含量具有一定的空间相关性, 变异是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果, 0~20 cm 土层土壤全氮含量的块金系数为 0.853, 大于 75%, 说明其空间相关性较弱, 变异受随机性因素影响较大, 20~40 cm 土层土壤全氮含量的块金系数为 0.458, 介于 25%~75%之间, 说明其具有一定的空间相关性, 变异受结构性因素和随机性因素共同影响。

**Table 2.** Semi-variance function model parameters

**表 2.** 半方差函数模型参数

土壤指标	土层深度/cm	函数模型	块金值	基台值	块金系数/%	变程/m
有机质	0~20	指数模型	5.661	13.676	0.414	1710.22
	20~40	球面函数	4.555	10.997	0.414	2018.21
全氮	0~20	高斯模型	0.029	0.034	0.853	4370.86
	20~40	高斯模型	0.011	0.024	0.458	814.983



**Figure 3.** Semi-variance function  $\gamma$ - $h$  diagram of soil organic matter and total nitrogen content in different soil layers

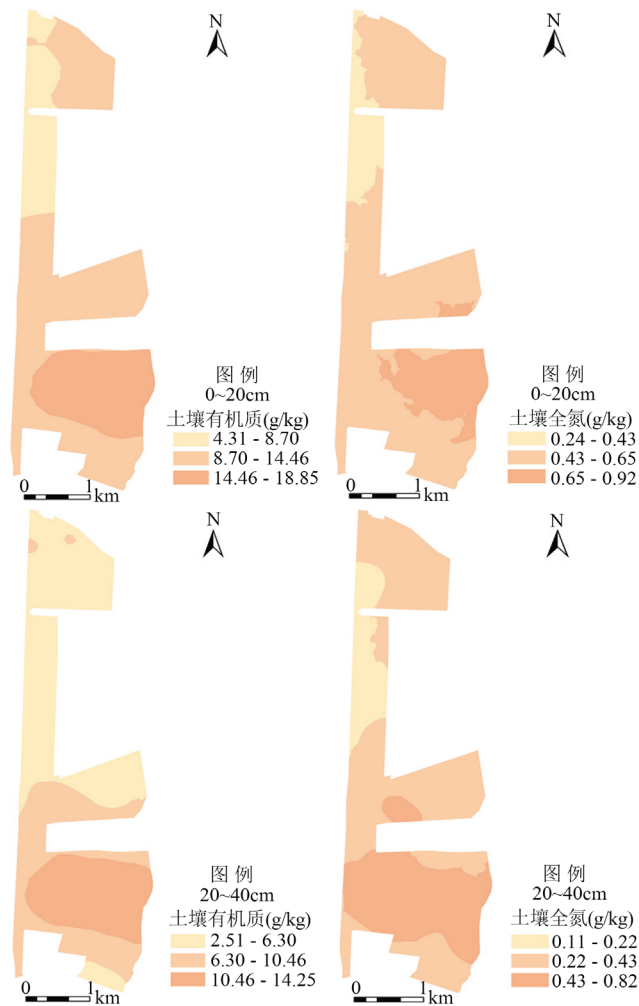
**图 3.** 不同土层土壤有机质和全氮含量的半方差函数  $\gamma$ - $h$  图

### 3.2.3. 空间分布特征分析

结合不同土层土壤有机质和全氮含量趋势分析和半方差函数分析的结果选择最佳拟合模型, 使用普通克立金法[16]未采样点的土壤有机质和全氮含量进行插值, 以点推面, 采用自然断点法分类, 得到研究区不同土层土壤有机质和全氮含量的空间分布图(图 4)。

由图 4, 研究区不同土层土壤有机质呈片状相间分布, 含量较高的区域集中于东南部, 含量较低的

区域集中于北部，通过两土层对比分析，20~40 cm 土层的低含量区较 0~20 cm 土层的低含量区大，集中于整个中北部，而 0~20 cm 土层在中北部区域既有低含量区也包含中含量区，两土层高含量分布区基本相似，原因在于该区域积极探索中度盐碱区的改良措施，引进了耐盐碱作物苜蓿品种，长时间的苜蓿种植使得该区域土体质地和构型明显改善，土壤质量也得到显著提升。研究区不同土层土壤全氮的空间分布情况相似，含量较高的区域集中于南部，含量较低的区域集中于中北部，通过两土层对比分析，0~20 cm 土层高含量区分布于东南部，而 20~40 cm 土层主要分布于南部且面积较 0~20 cm 土层大，两土层中、低含量区的分布基本相似。土壤全氮的空间分布与有机质空间分布呈现出一定的相关性，即有机质含量高的区域全氮含量也相对较高，原因在于，一方面土壤中氮素的主要源头有两个，一是外在因素，即人为施入氮肥，二是内在因素，即土壤有机质进行分解提高，另一方面是因为土壤有机质中含有有机胶体，其具有强大的吸附能力，可以提高土壤的保肥能力。该分析结果与趋势分析结果基本一致，不同土层土壤有机质和全氮含量自东向西先增加后减少，自南向北不断减少，空间分布规律性较强，该区域可以根据有机质和全氮的含量状况及空间分布情况针对性的进行分区管理，提高土地利用率，充分发挥土地生产潜力。



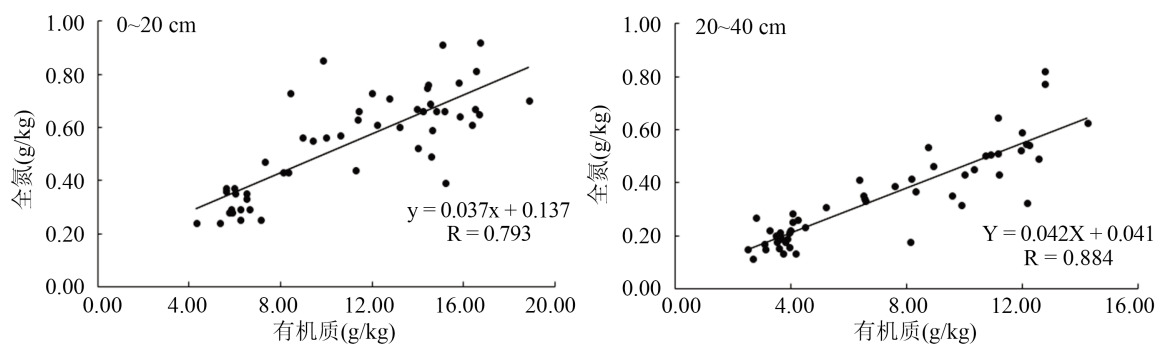
**Figure 4.** Spatial distribution map of soil organic matter and total nitrogen content in different soil layers

**图 4.** 不同土层土壤有机质和全氮含量空间分布图

### 3.3. 土壤有机质和全氮的相关性分析

#### 3.3.1. 相关性分析

本文建立 0~20 cm、20~40 cm 两土层因变量(Y)土壤全氮含量关于自变量(X)土壤有机质含量的散点图(图 5)。图 5 显示 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的相关系数分别为 0.793\*\*、0.884\*\*，呈显著正相关且随着土层深度加深，相关性不断提高。



备注: \*\*表示在 0.01 级别, 相关性显著。

Figure 5. Scatter plot of different soil layers

图 5. 不同土层的散点图

#### 3.3.2. 最佳估算模型分析

本文利用不同土层土壤有机质含量选取线性、对数、幂、S 型和指数 5 种模型分别对全氮含量进行估算(表 3)。根据“相关性越大, 精度越高, 模型越优, Sig 值越小, 显著性越强”的基本原理, 确定 0~20 cm、20~40 cm 土层土壤有机质含量估算全氮含量的最佳模型分别为 S 型模型和幂函数模型, 回归方程分别为  $Y = e^{0.099-7.338/X}$ 、 $Y = 0.064 * X^{0.849}$ 。

Table 3. Accuracy of different models for estimating total nitrogen content of soil organic matter content

表 3. 土壤有机质含量估算全氮含量的不同模型建模精度

模型	0~20 cm		20~40 cm	
	回归方程	R <sup>2</sup>	回归方程	R <sup>2</sup>
线性	$Y = 0.037X + 0.137$	0.629	$Y = 0.041X + 0.042$	0.782
对数	$Y = -0.339 + 0.379 * \ln(X)$	0.672	$Y = -0.167 + 0.279 * \ln(X)$	0.751
幂	$Y = 0.078 * X^{0.804}$	0.717	$Y = 0.064 * X^{0.849}$	0.792
S	$Y = e^{0.099-7.338/X}$	0.743	$Y = e^{-0.325-4.715/X}$	0.755
指数	$Y = 0.216 * e^{0.077 * X}$	0.657	$Y = 0.124 * e^{0.125 * X}$	0.781

备注: X: 有机质, Y: 全氮

## 4. 讨论与结论

1) 描述性统计分析表明, 黄河岛 0~20 cm 土层土壤有机质含量和全氮含量的均值分别为 11.05 g/kg、0.54 g/kg, 变异系数分别为 37.56%、35.19%, 20~40 cm 土层土壤有机质含量和全氮含量的均值分别为 7.23 g/kg、0.35 g/kg, 变异系数分别为 50.48%、48.57%。两土层土壤有机质和全氮含量总体偏低, 在空间上均表现为中等变异性。

2) 地统计分析表明, 黄河岛不同土层土壤有机质含量和全氮含量的变化趋势相近, 东西方向呈先增



加后减少趋势, 南北方向呈减少趋势, 但是变化幅度存在差异。在 0~20 cm 土层, 指数函数和高斯函数分别为土壤有机质和全氮含量的最佳拟合模型, 该土层中土壤有机质含量具有一定的空间相关性, 变异由结构性因素和随机性因素共同影响, 土壤全氮含量空间相关性较弱, 变异受随机性因素影响较大; 在 20~40 cm 土层, 球面函数和高斯函数分别为土壤有机质和全氮含量的最佳拟合模型, 该土层土壤有机质和全氮含量均具有一定的空间相关性, 变异由结构性因素和随机性因素共同影响。

3) 普通克里金空间插值结果表明, 黄河岛不同土层土壤有机质和全氮的空间分布情况具有相似性, 均呈片状相间分布, 含量较高的区域集中于东南部和南部, 含量较低的区域集中于北部。其中 20~40 cm 土层有机质低含量区较 0~20 cm 低含量区大, 分布于整个中北部, 而 0~20 cm 土层在中北部区域既有低含量区也包含中含量区; 20~40 cm 土层全氮高含量区较 0~20 cm 土层高含量区大, 两土层中、低含量区的分布基本相似。该分析结果与趋势分析结果基本一致。

4) 相关性分析表明, 黄河岛 0~20 cm、20~40 cm 土层土壤有机质含量与全氮含量的相关系数分别为 0.793、0.884, 呈显著正相关, 且随土层深度加深, 相关性增强, 多种模型比较分析, 确定 0~20 cm、20~40 cm 土层土壤有机质含量估算全氮含量的最佳模型分别为 S 型模型与幂函数模型, 回归方程分别为  $Y = e^{0.099-7.338/X}$ 、 $Y = 0.064 * X^{0.849}$ 。

## 基金项目

山东省自然科学基金(ZR2019MD014); 山东省重点研发项目(2017CXGC0308)。

## 参考文献

- [1] 郑然, 郑宝林. 冀北栗钙土区耕层土壤有机质和全氮的空间变异特征[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(5): 123-129.
- [2] 张一扬, 粟深河, 林北森, 陆亚春, 韦忠. 靖西市植烟土壤有机质含量的时空变异特征[J]. 土壤, 2020, 52(1): 202-206.
- [3] 张雅馥, 王金满, 祝宇成. 黄土区采煤塌陷对土壤全氮和有机质含量空间变异性的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(6): 1676-1684.
- [4] 杨海明. 丰镇市农田土壤有机质与全氮含量关系分析[J]. 现代农业, 2016(3): 57.
- [5] 巩万合, 刘蓉蓉, 郁伟, 王志强. 南通市农田土壤有机质与全氮含量关系研究[J]. 现代农业科技, 2014(4): 222-223.
- [6] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 158-159.
- [7] 王纪忠, 姚海燕. 盐碱地土壤有机质测定方法改进研究[J]. 农业工程技术, 2017, 37(11): 21.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [9] 全国第二次土壤普查养分分级标准[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/1242f6ef856a561252d36f6e.html>, 2012-05-10.
- [10] 李启权, 王昌全, 张文江, 余勇, 李冰, 杨娟, 等. 基于神经网络模型和地统计学方法的土壤养分空间分布预测[J]. 生态学报, 2013, 24(2): 459-466.
- [11] 刘爱利, 王培法, 丁圆圆. 地统计学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [12] 尚白军, 郑博文, 周智彬, 王利界. 克拉玛依市玛依湖区土壤有机质空间异质性分析[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(1): 72-81.
- [13] 李超, 李文峰. 高原耕地土壤养分空间分布与影响因子相关性研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(5): 1113-1118.
- [14] 杨之江, 陈效民, 景峰, 郭碧林, 林高哲. 基于 GIS 和地统计学的稻田土壤养分与重金属空间变异[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1893-1901.
- [15] 陈思明, 王宁, 秦艳芳, 邹小兴. 河口湿地不同土层有机质的水平异质性与自相关性[J]. 生态学杂志, 2019, 38(9): 2805-2812.
- [16] 赖壮杰, 刘健, 余坤勇, 俞欣妍, 陈樟昊. 南方典型毛竹经营区土壤养分空间变异特征——以福建省南平市顺昌县毛竹林经营区为例[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(3): 63-68.