

湟水流域农田土壤全氮空间分布特征及其影响因素分析

代子俊¹, 赵霞¹, 石平超^{1,2}

(1. 青海师范大学 青海省自然地理与环境地表过程重点实验室, 青海 西宁 810008;

2. 贵州省松桃苗族自治县农牧科技局, 贵州 松桃 554100)

摘要:利用湟水流域已有文献中 38 个农田耕层(0~20 cm)土壤全氮数据,采用传统统计学与地统计学相结合的方法,分析了该流域农田土壤全氮空间分布及影响因素。结果表明:土壤全氮均值为 $1.33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 47.37%, 属中等变异。流域农田土壤全氮呈自北向南逐渐递减,由东向西先增加后减少的空间分布格局。按全国土壤全氮分级标准,高值区($>1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)集中在海拔较高的大通县、海晏县,低值区($<1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)集中于海拔稍低的民和县、湟中县,65.5%的区域达全国平均水平($1.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。影响因子定量分析表明,不同的气候因子、土壤类型、海拔、施肥量都会影响该流域土壤全氮的空间分布,其中气温、海拔、降水为主要影响因子,对全氮变异的独立解释能力分别为 35.7%、29.0%、21.3%。该研究初步揭示了湟水流域农田土壤全氮的空间分布特征,可为流域尺度农田的科学管理提供有益参考,并为合理开展施肥工作提供参考依据。

关键词:土壤全氮;农田土壤;地统计;空间分布;影响因素

中图分类号:S 155.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)16-0131-08

土壤全氮是反映土壤质量的重要指标之一,其作为陆地生态系统不可或缺的部分不仅是影响农田生态系统环境质量的重要因子,同时也是全

球氮循环中重要的源和汇^[1-2]。全氮在土壤中的分布具有高度的空间变异性^[3],其变异性受到地形、气候、植被、成土母质、土壤类型等自然因素和施肥、耕作等人为因素的共同影响。农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,与人类活动关系最为密切^[4]。

近几年随着地统计学和 GIS 技术的不断发展,以及基于土壤属性时空变异理论的精准农业的成功实施,国内外学者结合地理信息系统技术,从不同时间和空间尺度对土壤全氮的空间变异特征进行了分析研究,并取得了一定成果^[5-7]。基于

第一作者简介:代子俊(1989-),女,硕士研究生,研究方向为资源环境与生态评估。E-mail:975009739@qq.com

责任作者:赵霞(1975-),女,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事水土资源等研究工作。E-mail:zhaoxia-qh@163.com

基金项目:国家自然科学基金青年资助项目(41301230);国家科技基础工作专项资助项目(2014FY110200A04)。

收稿日期:2017-04-11

before harvest) were studied. The results showed that the contents of nitrate and nitrite increased significantly when earthworm fertilizer was used alone. However the combining of 2 000 kg earthworm fertilizer and 6.25 kg bamboo organic fertilizer per 667 m² could reduce the contents of nitrate and nitrite by at least 40%, which was much better than the national standard.

Keywords:rape; bamboo charcoal organic fertilizer; earthworm fat; nitrate; nitrite

田块尺度的土壤养分空间分布特征的研究,相对大尺度研究更适合为一个地区精准农业发展、田间管理及测土配方施肥项目的推进提供科学依据和实践指导^[8-9],而对于流域、地域等中大尺度上农田土壤养分空间变异规律及其影响因子的分析则比较难把控。以往研究^[10-12]总结了县域和小流域耕地土壤全氮空间分布特征,同时探讨了影响其空间变异的自然、人为因素;也有研究^[13-15]对农田土壤全氮的时空演变及其影响因子进行了分析,发现成土母质、地形、质地、土壤类型、土地利用方式、施肥量均对土壤全氮空间分布有不同程度影响;赵业婷等^[16]、陈涛等^[15]研究了耕地土壤全氮空间特征及优化采样数量,并分析了不同采样条件下土壤属性的空间变化规律。以上研究大部分集中于我国华北、华中、东北地区的农业大省以及长江流域的农业主产区,针对青海省湟水流域、黄河流域农业土壤养分空间分布的研究也鲜有报道。鉴于此,湟水流域是青海省主要的粮食产地,目前关于青海省湟水流域的土壤研究主要集中在农田土壤养分的评价分析^[17-18]、退耕还林地土壤效应及其可蚀性研究^[19-20]、土壤微生物动态分布研究^[21-22]等方面,湟水流域农田土壤全氮空间分布及其影响因素的研究鲜见报道。该研究通过对已有文献数据的二次提取和空间分析,对湟水流域农田主要土壤类型的全氮空间变异规律及其影响因素进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

湟水流域位于青海省东北部,地处东经 $36^{\circ}02' \sim 37^{\circ}28'$,北纬 $100^{\circ}42' \sim 103^{\circ}04'$,流域面积约 160.76 万 km^2 ,海拔介于 $1\,656 \sim 4\,855 \text{ m}$,地处青藏高原与黄土高原过渡地带,北邻祁连山系达坂山,南至拉脊山,西抵日月山,东部与甘肃省庄浪河流域接壤。流域行政范围包括:海晏县、湟源县、湟中县、西宁市区、大通回族土族自治县、互助土族自治县、平安县、乐都县和民和回族土族自治县。湟水河发源于青海省海晏县境内的达坂山南麓包呼图山,是黄河上游一级支流中较大的一条河流,其干流长达 374 km ,在青海省境内的长度为 336 km ,自西北向东南流经除大通县以外的

所有县市,在甘肃省永靖县傅子村汇入黄河^[18]。流域地势西北高东南低,地貌类型复杂多变,以黄土地貌发育最典型,沟壑纵横。气候属于高原干旱、半干旱大陆性气候,湟水流域年均温为 $2.5 \sim 7.5^{\circ}\text{C}$,年均降水量为 486.6 mm ,流域多年平均蒸发量为 $80 \sim 1\,000 \text{ mm}$,年日照时数为 $2\,580 \sim 2\,780 \text{ h}$ 。

湟水流域是青海省境内主要的农业区,其中农田主要位于流域的中部以及东南部的谷地,北、东、西三面环绕着高山,东南角与黄河流域接壤地势平坦。流域农田面积约占整个流域面积的 30% ,分布在 $1\,656 \sim 3\,848 \text{ m}$ 海拔范围内。根据《青海土壤》及 $1:100 \text{ 万}$ 全国土壤类型图统计得^[23],流域包括 15 种土类,其中面积在 6 万 km^2 以上的有栗钙土、亚高山草甸土、黑钙土、灰钙土、高山草甸土,这 5 种土类面积约占流域总面积的 90% 。流域农田主要分布在栗钙土、黑钙土、亚高山草甸土以及灰钙土上,约占流域农田总面积的 90% 。

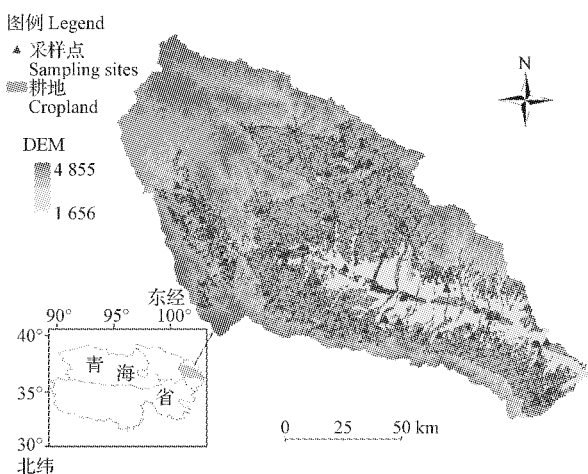


图1 湟水流域农田地理位置及采样点空间分布

Fig. 1 Huangshui River Basin geographic location and spatial distribution of sampling point

1.2 数据来源

该研究分析的耕层($0 \sim 20 \text{ cm}$)土壤全氮数据来源于文献^[17,21-22],通过对文献数据的重新整理、归类及空间化,考虑所收集数据空间化操作的可行性等因素筛选所需数据,并基于筛选所得全氮数据运用阈值法剔除极端值^[24],最终获得用于该研究的 38 个数据。文献中样点的布设原则是结

合土壤类型的分布及耕作制度选取采样点,再依据田块上的地块大小确定 3~5 个取样点。表 1 为基于土壤类型整理所得的 38 个文献数据信息表。

1.3 项目测定

土壤全氮含量采用凯氏定氮法(GB7848-87)测定。

1.4 数据分析

由于所收集到的样点没有经纬度信息,在 GIS 的支持下,结合地形图和行政区划信息等资料对每个样点位置空间化。坡度数据提取自 30 m 分辨率的 DEM 数字地形图,气象数据源于对全国气象数据栅格图的提取,农田插值底图是在 GIS 空间分析模块中,用湟水流域矢量边界对

2000 年青海省 LUCC 数据进行掩膜提取,然后按属性提取 LUCC 中的农用地所得。利用 SPSS 20 软件对数据进行描述性分析、相关分析、回归分析和方差分析,方差分析时将年均温分为<4、4~5、5~6、6~7、>7℃等 5 个温度带;年降雨量分为 200~250、250~300、300~350、350~400 mm 等 4 个降雨带;海拔分为 1 650~2 200(川水区)、2 200~2 800(浅山区)、2 800~3 200 m(脑山区)^[25]等 3 个等级。坡度分为<5.5°、10°~15°、15°~20°、>20°共 5 个等级。土壤类型为分类变量,采用哑变量为其赋值^[26]。空间插值所得的土壤全氮空间分布图及流域内各县农田全氮均值的提取均采用 Arc GIS 10.1 软件完成。

表 1
Table 1
Based on soil types of literature data information

土壤类型 Soil type	采样点个数 Sample numbers	海拔范围 Altitude range/m	全氮值范围 TN range/(g·kg ⁻¹)	pH
黑钙土 Chernozem	9	1 656~2 910	0.89~3.05	8.04~8.52
栗钙土 Kastanozems	17	1 760~3 075	0.50~2.45	8.00~8.68
灰钙土 Sierozem	8	1 760~2 480	0.90~1.96	8.14~8.76
新积土 Alluvial soil	2	2 203~2 851	0.63~1.23	7.96~8.42
灌淤土 Irrigation-warping soil	1	2 280	1.33	8.34
潮土 Alluvial soil	1	2 000	0.89	8.04

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

由表 2 可知,该区域耕层农田土壤全氮为 0.50~3.05 g·kg⁻¹,平均值为 1.33 g·kg⁻¹,极差为 3 g·kg⁻¹,表明全氮在土壤中的含量存在明显的差异。变异系数(CV)通常用来衡量随机

变量的变异程度,一般认为 CV≤10%为弱变异;10%<CV<100%为中等变异;CV≥100%为强变异^[4],该流域农田土壤全氮变异系数为 47.37%,属于中等变异。偏度和峰度分别为 1.41 和 1.07,属于偏态分布,采用 SPSS 20 软件对采样点数据经对数转换后进行 Shapiro-Wilk 检验,表明数据符合对数正态分布,满足地统计的假设前提。

表 2
Table 2
Descriptive statistical results of the cropland soil total nitrogen in Huangshui River Basin

数据处理 Data processing	平均值 Mean /(g·kg ⁻¹)	最大值 Max /(g·kg ⁻¹)	最小值 Min /(g·kg ⁻¹)	标准差 SD	变异系数 CV/%	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	分布类型 Type of distribution	S-W 检验 S-W test
原始数据 Original data	1.33	3.05	0.50	0.63	47.37	1.41	1.07	NN	0.007
对数转换 Logarithmic transformation	0.20	1.12	-0.69	0.42	210.00	0.60	0.19	ND	0.106

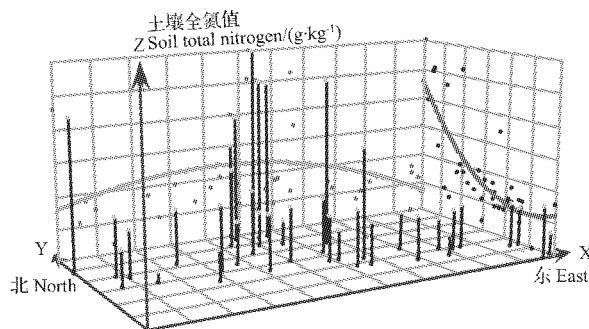
注:NN 表示非正态分布;ND 表示正态分布。
Note:NN means non-normal distribution;ND means normal distribution.

2.2 农田土壤全氮空间分布特征

采用 ArcGIS 10.1 软件的地统计模块对农田土壤全氮数据进行全局趋势分析,全局趋势主要用以反映空间物体在区域上变化的主体特征。由图 2 可知,在东西方向上土壤全氮为明显的倒‘U’,呈现出由西向东先增加后减少的二阶趋势,而在南北方向上则呈现出由北向南逐渐递减的一阶趋势,且变化程度较大。所以在克里金插值时要移除这种趋势,即进行插值时趋势的移除参数

选择 2,以提高预测的精度。

进行空间插值前,分别用球面模型、指数模型、高斯模型常用的 3 种模型对土壤全氮空间分布的半方差函数模型进行拟合,通常情况下,交叉验证结果符合以下标准为最优模型:标准平均值预测误差接近 0、均方根误差最小、平均标准化误差接近均方根误差、标准均方根误差最接近于 1^[27]。对比表 2 结果,指数模型符合最优拟合模型标准。



注:Z轴表示全氮值,X轴表示东西方向,Y轴表示南北方向,2条曲线分别为全氮在东西、南北方向上的投影。

Note:Z axis represents the value of total nitrogen,X axis represents the value of east-west direction,Y axis represents the value of north-south direction,two curves were the total nitrogen in the east-west,north-south projection.

图 2 湟水流域农田土壤全氮趋势面分析

Fig. 2 Trend surface analysis of the cropland soil total nitrogen in Huangshui River Basin

表 3 湟水流域农田土壤全氮普通克里金插值交叉检验结果

Table 3 Ordinary Kriging interpolation cross test results of the cropland soil total nitrogen in Huangshui River Basin

理论模型 Theoretical model	平均值预测误差 MFE	标准平均值预测误差 MEAN	平均标准误差 Average standard error	均方根误差 RMSE	标准化均方根误差 RMSDE
球面模型 Sphere	-0.032	-0.113	0.435	0.473	1.086
高斯模型 Gaussian	-0.035	-0.122	0.423	0.472	1.114
指数模型 Exponent	-0.036	-0.107	0.448	0.485	1.063

由图 3 可知,从整体上看,该流域农田土壤全氮空间分布具有明显的差异性,总趋势为自北向南逐渐递减,从东向西先增加后减少。依据全国土壤全氮分级标准:一级 $>2.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、二级 $1.51 \sim 2.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、三级 $1.00 \sim 1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、四级 $0.76 \sim 1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、五级 $0.50 \sim 0.75 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、六级 $<0.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,湟水流域农田土壤全氮没有六级。一级面积占流域农田面积的 13.1%,集中分布在流域内大通县中部和海晏县南部,二级区面积占流域农田面积的 10.5%,集中分布于流域中大通县南、互助县中部,三级面

积最大占流域农田面积的 53.6%,分布于流域中部的大通县南部、湟中县大部分、互助县西南、乐都县中部。四、五级面积占流域农田面积的 22.8%,分布在湟源县南、湟中县东部以及民和县的大部分。与全国农田土壤全氮均值 $1.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 相比^[28],流域农田土壤有一半以上(65.5%)全氮达全国平均水平。

2.3 农田土壤全氮空间分布影响因素

土壤全氮空间变异受自然因素和人为因素综合影响。结合前人研究成果及研究区实际情况,该研究选取土壤类型、气温、降水、海拔、施肥量

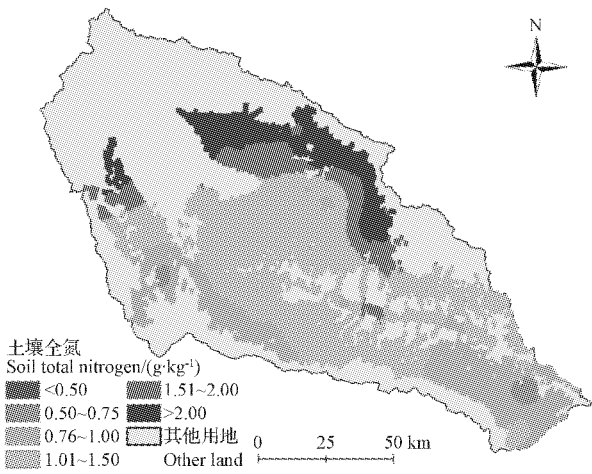


图 3 湟水流域农田土壤全氮的空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of the cropland soil total nitrogen in Huangshui River Basin

表 4 湟水流域各影响因子与土壤全氮的方差分析
Table 4 Analysis of variance for soil total nitrogen by factors in Huangshui River Basin

影响因子 Impact factor	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
年均气温 Mean annual temperature	8.89	4	2.22	12.48	0.00
年均降雨量 Mean annual precipitation	3.21	3	1.07	3.14	0.04
海拔 Altitude	4.65	2	2.32	8.04	0.01
土壤类型 Soil type	2.73	2	1.36	3.75	0.03

该研究通过对各因子进行回归分析并调整 R^2 ，从而得到每个因子对全氮变异的独立解释能力。表 5 表明，年均温对全氮变异的独立解释能力最强，可以解释其变异的 35.7%，其次是海拔，海拔能解释其变异的 29.0%，解释能力最低的是土壤类型只有 12.4%。综上所述，年均温、年均降雨量、海拔应为全氮空间变异的主要影响因子。

表 5 各影响因子对土壤全氮变异的独立解释能力
Table 5 Fraction of soil total nitrogen content variability by individual variables %

土壤属性 Soil property	年均温 MAT/℃	年均降水量 MAP/mm	海拔 Altitude/m	土壤类型 Soil type
土壤全氮 TN	35.7 *	21.3 *	29.0 *	12.4 *

注：* 表示 $P<0.05$ 。
Note: * means $P<0.05$.

3 讨论

3.1 气候因子对土壤全氮空间分布影响

通常情况在年均温度范围内气温每升高

5 种因子分析其对农田土壤全氮空间分布的影响。

2.3.1 各因子影响农田土壤全氮空间分布的差异性

由表 4 可知，不同土壤类型、气温、降水、海拔间的全氮均存在显著差异 ($P<0.05$)，说明土壤类型、气温、降水、海拔对土壤全氮空间变异均有显著影响。F 值代表了不同分组间样本均数的差别，其值越大说明不同分组间差异越显著^[25]。表 4 中各因子 F 值差异较大，最大值为 12.48，最小值为 3.14，表明所选各因子对全氮空间分布具有差异性。

2.3.2 各影响因子对农田土壤全氮空间分布影响程度

方差分析只能定性描述各因子对全氮影响的差异性，却不能进一步了解他们之间的定量关系。

10℃，土壤氮素的含量降低 2~3 倍^[28]。对气温和降水进行相关分析表明，气温与全氮呈负相关，降水与全氮呈正相关，这与曹祥会等^[4]、张鹏等^[29]在碳氮分布特征及影响因素研究结果一致（表 6）。由于研究区尺度较大，气候因子的地带性得以体现，气候直接影响土壤物质的迁移转化过程，且决定着母质分化及成土过程的方向和强度，同时通过影响农作物的物候、生长状况及土壤氮素的合成、分解，温度高且土壤潮湿利于氮素的固定。流域西北海晏县、大通县由于地势、地貌等

表 6 土壤全氮与气候因子的相关分析
Table 6 Correlation analysis of soil total nitrogen and climate factor

土壤属性 Soil property	相关系数 Correlation index	
	年均温 MAT	年均降水量 MAP
土壤全氮 TN	-0.61 **	0.48 **

注：** 表示 $P<0.01$ 。
Note: ** means $P<0.01$.

原因温度低、降雨量多以致全氮含量最高,乐都县南部和民和县纬度低、地形平坦、温度高、降水较少,土壤全氮矿化分解速度快、积累量少。

3.2 海拔对土壤全氮空间分布影响

湟水流域地处青藏高原与黄土高原过渡地带,地势起伏多变,土壤养分随地势起伏流失现象严重。所收集样点海拔范围在 1 656~3 075 m,高差比较大,因此海拔的变化会一定程度上影响土壤全氮的空间分布。

根据 Person 相关分析结果可得,海拔与土壤全氮含量具有显著正相关,相关系数为 0.56($P < 0.01$),与以往研究结果相似^[10,29]。该研究与程先富等^[10]和张鹏等^[29]研究相同点在于研究区海拔范围较大,土壤养分及植被类型等环境因子的垂直地带性得以体现。具体有两方面原因:一是地形对水热条件、土壤物质进行了再分配,青藏高原上海拔越高的地方温度越低降雨量反而多,这种独特的气候条件下土壤微生物活动受到限制,利于土壤养分中有机质、氮素等的积累。二是由于研究区海拔在 1 650~2 200 m($1.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)及 2 200~2 800 m($1.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)的地区分布主要是栗钙土、灰钙土等土壤肥力较低的土壤类型,缺少微量元素氮、磷等,而 2 800~3 200 m($2.11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)地区的土壤类型以高山草甸土、黑钙土为主,腐殖质层厚、排水不畅,不利于土壤养分的分解,所以该海拔范围全氮含量最高。

3.3 土壤类型对土壤全氮空间分布影响

湟水流域农田主要土壤类型有黑钙土、栗钙土和灰钙土 3 种。新积土、灌淤土和潮土面积都很小,选取具代表性的土壤类型分析其对土壤全氮分布的影响。表 4 方差分析结果表明,不同土壤类型组间的土壤含量差异显著($P < 0.05$),这与赵燕婷等^[12]、刑喆等^[14]研究结果一致。表 7 表明,3 种主要土壤类型中黑钙土的全氮均值最高为 $1.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,且黑钙土与栗钙土、灰钙土对全氮含量的影响均差异显著($P < 0.05$),这是由于黑钙土有厚且松软的腐殖质表层,且土体湿润、质地适中、耕性好,具有潜在肥力,富积大量土壤养分,而栗钙土和灰钙土体干旱,腐殖质层薄,较黑钙土均有强的微生物分解作用使全氮积累量不如黑钙土。

表 7 不同土壤类型土壤全氮含量
描述统计及方差分析

Table 7 Description statistics and analysis of variance results of different soil total nitrogen of soil types

土壤类型 Soil type	样本数 Sample numbers	土壤全氮均值 TN mean /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准差 Standard deviation
黑钙土 Chernozem	9	1.85a	0.82
栗钙土 Kastanozems	17	1.21b	0.57
灰钙土 Sierozem	8	1.19b	0.33

注:不同小写字母表示不同土壤类型间土壤全氮在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate that the soil total nitrogen in different soil types varies significantly at $P < 0.05$.

3.4 施肥量对土壤全氮空间分布影响

农田土壤养分一方面来源于自然土壤原有的有机质、氮素等,另一方面则来自施用的各种有机肥^[30]。运用 ArcGIS 10.1 软件的空间分析模块,在湟水流域农田土壤全氮空间插值的基础上计算各行政区农田全氮均值,并将全氮均值标注于各县单位面积施肥量分布图中,图 4 结果显示,各县农田土壤全氮并未随各县施肥量的不同而出现明显的变化。而庞凤等^[11]、刑喆等^[14]的研究显示施肥量与全氮呈正相关,是由于所选研究区为平原地区且均为小尺度地区,这些地区人为因素占主导作用。青海省土壤 pH 大部分在 7.1~9.0^[23],土壤偏碱性不利于肥效的正常发挥。由

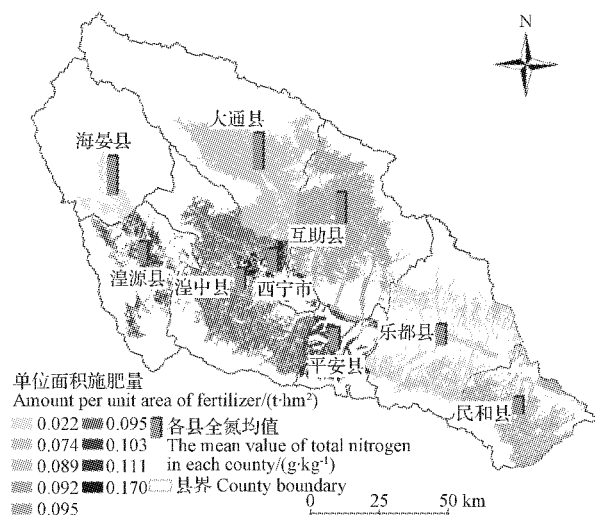


图 4 2000 年湟水流域各县农田单位面积施肥量及全氮均值

Fig. 4 Fertilizer rate per unit area and the average of soil total nitrogen of Huangshui River Basin in 2000

各县单位面积施肥量及全氮均值(图 4)可见,海晏、大通、互助县农田单位面积施肥量和全氮的关系明显异与其他各县,这些地区属于整个流域的全氮高值区,然而其施肥量却相对较少。主要原因是自然因素的影响覆盖了人为因素,海晏、大通、互助县的农田土壤以黑钙土为主,土体潮湿、土壤肥沃、保肥保水能力强,加之这里海拔高、气温低降水多,抑制了全氮等土壤养分的矿化与分解过程进而使大量氮素积累下来。

4 结论

湟水流域农田土壤全氮描述性统计结果显示,该流域农田土壤全氮的变化范围为 $0.50 \sim 3.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,偏度和峰度分别为 1.41 和 1.07,服从对数正态分布,变异系数为 47.37%,属中等变异水平。普通克里金插值结果表明,湟水流域农田土壤全氮最优半方差理论模型为指数模型,土壤全氮的空间分布特征为自北向南逐渐递减,从东向西先增加后减少。流域内 65.5% 的农田全氮达全国平均水平。相关分析、方差分析和回归分析表明,不同的气候因子、土壤类型、海拔、施肥量都会影响该流域土壤全氮的空间分布,其中气温、海拔、降水为主要影响因素,对全氮变异的独立解释能力分别为 35.7%、29.0%、21.3%。该研究通过普通克里金插值所得空间分布图展示了湟水流域农田土壤全氮的分布特征及丰缺情况,加之对其影响因素的分析为该流域土壤全氮的管理及合理施肥提供有益参考。农田土壤全氮不仅在空间上具有变异性,在时序上亦有一定的变异性,今后应侧重对时空变异规律的研究。土壤全氮时空变异的影响因素复杂多样,后期研究中还需进一步探讨与全氮相关的其它土壤性质、成土母质、地貌类型等因素的影响。另外,由于该研究收集数据较少一定程度影响空间插值精度,今后研究中应适当增加采样点数量使空间插值效果更佳。

参考文献

- [1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 32-49.
- [2] KUCHARIK C J, BRYE K R, NORMAN J M, et al. Measurements and modeling of carbon and nitrogen cycling in agroecosystems of southern Wisconsin; Potential for SOC sequestration during the next 50 years[J]. *Ecosystems*, 2001(4): 237-258.
- [3] 王淑英, 路苹, 王建立, 等. 不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间变异特征: 以北京市平谷区为例[J]. *生态学报*, 2008, 28(10): 4957-4964.
- [4] 曹祥会, 龙怀玉, 周脚根, 等. 河北省表层土壤有机碳和全氮空间变异特征性及影响因子分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(4): 937-948.
- [5] YEMEFACK M, ROSSITER D G, NJOMGANG R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon[J]. *Geoderma*, 2005, 125(1/2): 117-143.
- [6] 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): 723-730.
- [7] 周稀, 邓欧平, 潘洪旭, 等. 基于 GIS 的西河流域土壤氮素空间变异特征及其影响因素研究[J]. *西北农业学报*, 2016, 29(4): 896-902.
- [8] 潘成忠, 上官周平. 土壤空间变异性研究评述[J]. *生态环境*, 2003, 12(3): 371-375.
- [9] 徐剑波, 宋立生, 彭磊, 等. 土壤养分空间估测方法研究综述[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(8): 1379-1386.
- [10] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 基于 GIS 的土壤全氮空间分布估算: 以江西省兴国县为例[J]. *应用与环境生物学报*, 2007, 26(1): 110-116.
- [11] 庞凤, 李廷轩, 王永东, 等. 县域农田土壤氮素空间分布特征及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1497-1503.
- [12] 赵燕婷, 常庆瑞, 李志鹏, 等. 渭北台塬区耕地土壤有机质与全氮空间特征[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(8): 140-148.
- [13] DARILEK J L, HUANG B, WANG Z G, et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region of China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 129: 286-292.
- [14] 邢喆, 黄标, 董成森, 等. 江苏省沭阳县农田土壤有机质和全氮的时空变异及其影响因素[J]. *土壤*, 2013, 45(3): 405-411.
- [15] 陈涛, 常庆瑞, 刘钊, 等. 耕地土壤有机质与全氮空间变异性对粒度的响应研究[J]. *农业机械*, 2013, 44(10): 122-129.
- [16] 赵业婷, 常庆瑞, 李志鹏, 等. 基于 Cokriging 的耕层土壤全氮空间特征及采样数量优化研究[J]. *土壤学报*, 2014(2): 415-422.
- [17] 陈占全, 薛泉宏, 张荣. 湟水流域农田土壤养分及肥力评价分析[J]. *青海科技*, 2003(2): 29-32.
- [18] 周宏伟, 梁建芳. 湟中县域土壤养分变化分析[J]. *青海林业技术*, 2014(3): 4-7.
- [19] 赵串串, 王湜, 孙根行, 等. 青海省湟水河流域退耕还林地土壤侵蚀性研究[J]. *林业资源管理*, 2010(2): 73-77.
- [20] 陶炳德, 沙占江, 郭丽霞, 等. ^{137}Cs 示踪法研究湟水上游和布哈河下游区域土壤侵蚀强度[J]. *干旱区地理*, 2013, 36(6): 997-1005.
- [21] 孙小凤, 阿继军. 青海湟水流域农田典型土壤微生物动态变化定位研究[J]. *甘肃农业科技*, 2003(9): 30-34.
- [22] 张荣, 陈占全, 李松龄. 湟水流域农田土壤真菌数量分布研

究[J]. 青海农业科学, 2003(2): 4-6.

[23] 青海省农业资源区划办公室. 青海土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 294.

[24] 赵明松, 张甘霖, 李德成, 等. 江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 5058-5066.

[25] 熊有平. 湟水流域川水区、浅山区、脑山区和石山林区划分及特点[J]. 水利科学与经济, 2012, 18(2): 14-15.

[26] 李丽霞, 郜艳军, 张瑛. 哑变量在统计分析中的应用[J]. 数理医学杂志, 2006, 19(1): 51-53.

[27] 汤国安, 杨昕. 地理信息系统空间分析实验教程(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 452.

[28] 刘好. 甘肃省土壤全氮含量空间分布及与土壤利用的关系[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.

[29] 张鹏, 张涛, 陈年来. 祁连山北麓山体垂直带土壤碳氮分布特征及影响因素[J]. 应用生态学, 2009, 20(3): 518-524.

[30] 周俊国, 杨鹏鸣. 不同肥料对菜地土壤有机质和全氮含量的影响[J]. 北方园艺, 2012(8): 152-154.

Spatial Distribution and Influencing Factors Analysis of Cropland Soil Total Nitrogen in Huangshui River Basin

DAI Zijun¹, ZHAO Xia¹, SHI Pingchao^{1,2}

(1. Physical Geography and Environmental Process Key Laboratory of Qinghai Province, Qinghai Normal University, Xining, Qinghai 810008; 2. Agriculture and Animal Husbandry Science and Technology Bureau of Songtao Miao Autonomous County, Songtao, Guizhou 554100)

Abstract: Soil total nitrogen (TN) is one of the important indicators reflecting soil quality. Huangshui River Basin is the main grain producing area in Qinghai Province. At present, the soil research on Huangshui River Basin was mainly concentrated in the evaluation of soil nutrient in cropland, soil microbial dynamic distribution research. Studying for spatial distribution and influencing factors of cropland TN content was rarely reported in this Basin. Therefore, based on the 38 topsoil (0—20 cm) TN data of existing literatures on cropland in Huangshui River Basin, combined traditional statistics and geostatistics, analyzed spatial distribution and influencing factors of cropland topsoil TN in Huangshui River Basin. The result indicated that the mean TN content was about $1.33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, the coefficient of variation was 47.37%, belonged to a moderate variation. And TN content of spatial distribution decreased from north to south while an alternative trends of first increasing and then decreasing from east to west, regarding to Ordinary Kriging analysis. As for the distribution trends of TN content regarding to national standard, high-level value ($>1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) was mainly distributed in the high-altitude of Datong county and Haiyan county, low-level value ($<1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) was mainly distributed in the low-altitude of Minhe county and Huangzhong county. Among which, about 65.5% area of the basin reached beyond the average level ($1.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). Temperature, altitude and precipitation were three main influencing factors of TN content distribution in this basin, according to correlation analysis, variance analysis and regression analysis, which accounts for 35.7%, 29.0% and 21.3% of TN variability, respectively, soil type and fertilization showed certain amount of correlation with TN while very low impacts value due to data lacking. The results showed that the spatial distribution of cropland topsoil TN in Huangshui River Basin, provided useful reference for the scientific management of cropland, and provided a basis for rational fertilization work.

Keywords: soil total nitrogen; cropland soil; Geo-statistics; spatial distribution; influencing factors