

DOI: 10.5846/stxb201801220169

董悦,张永清,刘彩彩.晋中市土壤养分空间分布与影响因子的相关性.生态学报,2018,38(23): - .

Dong Y, Zhang Y Q, Liu C C. Study on soil nutrient spatial patterns and their driving factors in Jinzhong. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23): - .

晋中市土壤养分空间分布与影响因子的相关性

董悦,张永清*,刘彩彩

山西师范大学地理科学学院,临汾 041000

摘要:土壤养分是土壤肥力的基础,掌握其含量及分布特征对科学施肥具有重要意义。为此,运用 ArcGIS 技术与相关分析,研究了山西省晋中市主要土壤养分的空间分布规律,及其与海拔、用地类型间的关系。结果表明:(1)晋中市 pH 值平均为 7.97,土壤整体呈碱性;土壤养分含量在不同的区县中差异较大。(2)研究区表层土壤 SOM、TN、TP 和 TK 平均含量分别是 1.42%、0.08%、0.07%、1.97%,依据国家土壤第二次普查的养分分级标准,晋中市的表层土壤 SOM、TN、TP 含量偏低,平均水平分别为四级、四级、五级,而 TK 含量较高,平均水平为三级。(3)随着海拔的增高,土壤 SOM 平均含量呈先增加后减少的趋势,TN 平均含量明显增加,而土壤 TP 和 TK 的平均含量变化趋势不明显。(4)用地类型与土壤养分的相关性分析表明,海拔 733—1500 m 范围内,耕地的 SOM、TN、TP 平均含量均明显高于林地、未利用地和自然保护区,而 TK 平均含量明显低于其他用地类型;在海拔高于 1500 m 的耕地中 SOM、TN、TP 平均含量均低于其他用地类型。在样点全部覆盖的海拔范围内,海拔与 TN 含量呈极显著正相关,与 SOM、TP 和 TK 的相关性未达显著水平。

关键词:晋中市;土壤养分;空间分布;海拔和用地类型

Study on soil nutrient spatial patterns and their driving factors in Jinzhong

DONG Yue, ZHANG Yongqing*, LIU Caicai

School of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China

Abstract: Soil nutrients are the foundation of soil fertility, and it is of great significance in the science of fertilization to master soil nutrient content and distribution characteristics. Therefore, we used ArcGIS technology and correlation analysis to evaluate the spatial distribution rule of the primary soil nutrients in Jinzhong city, Shanxi Province, and its relationship with the type of land. The results showed the following: (1) The mean pH of Jinzhong city soil was 7.97, and all of the soil was alkaline; the nutrient contents of soil varied greatly across counties. (2) The average contents of SOM, TN, TP, and TK in the study area were 1.42%, 0.08%, 0.07%, and 1.97%, respectively. According to the second national soil survey of nutrient classification standards, the surface soil SOM, TN, and TP contents in Jinzhong were low, and the average levels were level four, level four, and level five respectively; however, the TK content was high with an average of level three. (3) With an increase in altitude, the average content of soil SOM increased first and then decreased, the average content of TN significantly increased, and there were no obvious trends in the changes of soil TP or TK. (4) Land-use type and soil nutrient correlation analysis showed that at altitudes of 733—1500 m, SOM, TN, and TP contents were significantly higher than their averages in unused cultivated land and nature reserves, and average TK content was significantly lower than that in other land-use types; the average contents of SOM, TN, and TP in the cultivated land above 1500m were lower than those of other land types. Within the elevation range covered by the sample points, elevation was significantly correlated with TN content, but the correlations between elevation and SOM, TP, and TK were not significant.

基金项目:

收稿日期:2018-01-22; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yqzhang208@126.com

Key Words: Jinzhong city; soil nutrients; spatial pattern; altitude and type of land

土壤养分指的是主要靠土壤提供的植物生长发育所必需的营养元素,是土壤肥力的物质基础^[1]。氮、磷、钾三种元素是植物需要量多而土壤中含量较少的元素,往往被认为是土壤养分的三要素^[2]。土壤属性具有复杂的空间变异性和非平稳性^[3],土壤养分空间变异特性直接影响着土壤生产力的高低以及生态恢复的途径和方向,充分了解土壤养分、尤其是三要素的空间变异规律是土壤养分管理、合理施肥乃至调整种植制度的基础。众多的研究表明,土壤在形成和演化过程中受多种时空尺度环境因素(气候、土地利用、海拔、地貌地形等)的控制,因此土壤养分的空间变异特征十分复杂^[4]。随着 GIS 的发展,将其与地统计学相结合的方法已经成为热点^[5]。郭旭东等^[6]、谢花林等^[7]、余新晓等^[8]均对土壤养分空间变异进行了相应的研究,张伟等^[9]、王宗明等^[10]对土壤养分空间分布的影响因素进行了分析。但是综观前人已有的研究,有关山西省土壤养分空间分布规律的研究尚不多见。山西省不仅农耕历史悠久,而且土壤所处的地形及其利用方式复杂多样,研究土壤养分的时空分布更有利于揭示其影响因素。为此,以农业产业化居山西省领先位置的晋中市土壤为研究对象,运用 GIS 技术,探讨晋中市表层土壤(0—20 cm)有机质(Soil Organic Matter, SOM)、全氮(Total N, TN)、全磷(Total P, TP)和全钾(Total K, TK)的空间分布特征及其影响因子,旨在进一步充实晋中市土壤研究的相关内容,并最终为当地农业生产服务。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

晋中市地理坐标为 111°25′—114°05′E, 36°40′—38°06′N^[11],地处太行山脉中段与汾河之间,属暖温带大陆性半干旱季风气候,土壤类型主要有淋溶褐土、褐土性土、石灰性褐土、潮土、盐化潮土、中性石质土、钙质石质土、中性粗骨土等^[12]。晋中地区是山西省粮食、蔬菜、水果、畜牧业等的重要产区之一,农业居山西省领先地位,生产条件十分优越,农业科技含量较高,农业综合生产能力较强,农业优势突出^[13]。

1.2 土壤养分的测试方法与研究数据的处理

为了更好地探讨晋中市不同利用类型土壤 SOM 及主要营养元素的空间分布特征,应用 ArcGIS 网格布点方法,在研究区 1:25 万电子地图上统一划分网格,不同土地利用类型采用不同的网格密度,每点以 S 型采取 5 个样点 0—20 cm 的土壤样品并进行混合,土壤样品带回实验室自然风干,弃除动植物残体、石块等,风干样品磨细过 100 目筛装入密封袋备用,最终得到土壤样品 149 个(具体布点位置图 1)。SOM 含量测定采用重铬酸钾容量法, TN 含量测定采用凯氏定氮法, TP 含量测定采用纳氏比色分光光度法, TK 含量测定采用 NaOH 熔融火焰光度法。土壤 SOM、TN、TP、TK 的空间分布图通过 GIS 空间插值的反距离权重分析功能获得。数据分析运用 IBM SPSS Statistics 22.0 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 土壤 SOM 及养分含量空间分布状况

土壤 SOM 是土壤肥力的重要组成部分,如图 2 所示,晋中市土壤 SOM 含量比较高(大于 2%)的地方主要是东部的和顺县、昔阳县,寿阳县北部以及西南的祁县,另外灵石县也有少部分 SOM 高含量区。全市 SOM 含量大部分处于 1%—2%之间, SOM 含量大于 2.5%的采样点仅占全体的 5.4%,而含量小于 1.5%的占全部采样点比例的 63.5%。可以看出晋中市土壤 SOM 的含量水平处于整体偏低的状况。

土壤中的氮绝大多数是以有机态的形式存在的,由图 3 可以看出,晋中市土壤 TN 含量在空间分布上基本与土壤 SOM 含量的分布吻合, TN 含量高于 0.12%的高值区多分布在东部的和顺县和西南的祁县;低值区主要在西北部连片分布,西部的 TN 分布也相对较低。

作为农作物生长所必需的大量养分元素之一,土壤中磷的供给状况直接影响着农作物的生长^[14]。有研

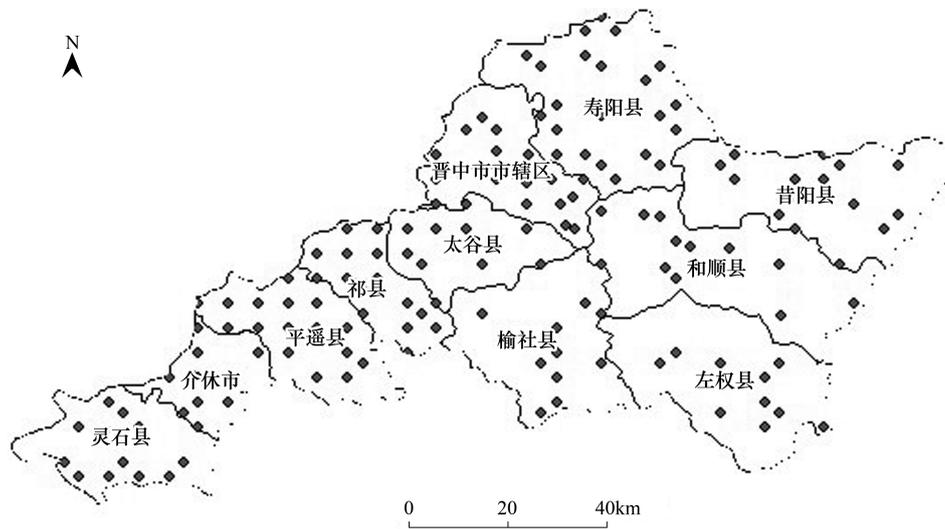


图1 采样点分布图

Fig.1 Distribution of sampling points

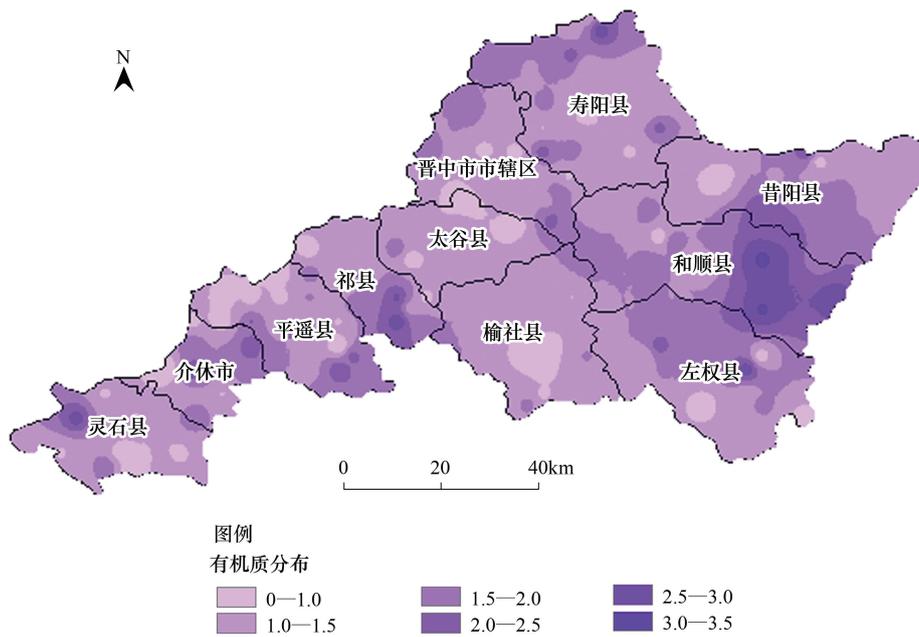


图2 晋中市土壤有机质分布

Fig.2 Soil Organic Matter distribution in Jinzhong

究表明,土壤磷素才是黄土高原地区土壤肥力的起动力因子^[15],只有当土壤中磷素含量达到一定的水平时,施用其他肥料才能实现增产的作用。由图4可以看出,晋中市 TP 含量高于 0.11% 的地区集中出现在太谷县西部、祁县以及寿阳县西南部,其他约占全部采样点 96.6% 的地区 TP 含量均低于 0.11%。前人的研究表明,土壤有效磷比全磷受人为影响更显著^[16],全磷含量高的土壤,有效磷不一定高,但全磷含量低的土壤,一般有效磷含量也不高。

虽然在黄土高原地区土壤有“缺氮、少磷、钾充足”之说,但随着作物产量的提高及喜钾类作物种植面积的增大,尤其是近年来人们对农产品品质的重视,钾作为影响品质的重要因素而日益受到重视^[17-18]。图5结果表明,晋中市 TK 含量高的地区较少且分布非常集中,TK 含量大于 2.6% 的地区主要集中在左权县中部和太谷县东北部地区,仅占全部采样点的 1.34%,其余地区的 TK 含量均低于 2.6%。

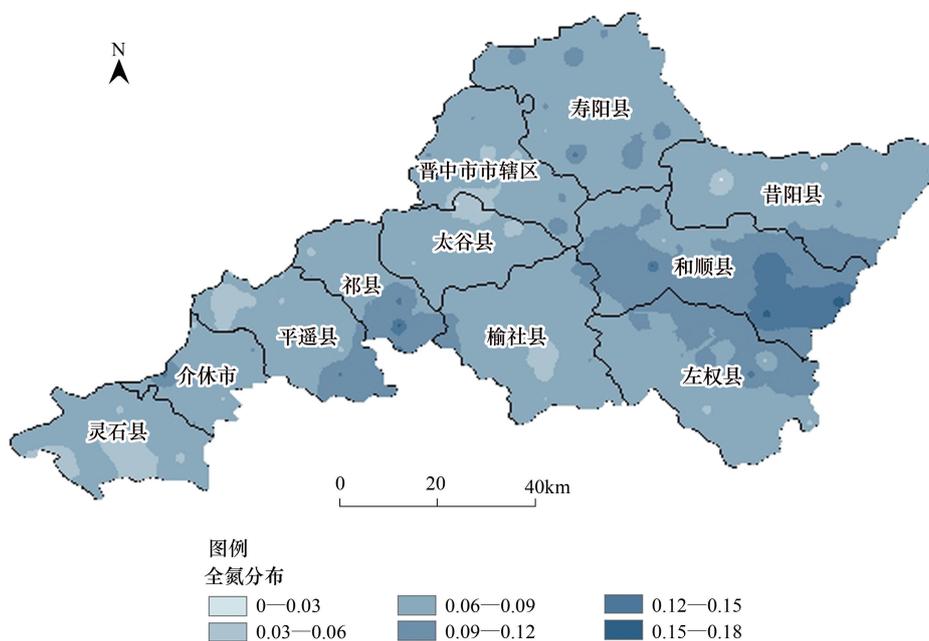


图3 晋中市土壤全氮分布

Fig.3 Total N distribution of soil in Jinzhong

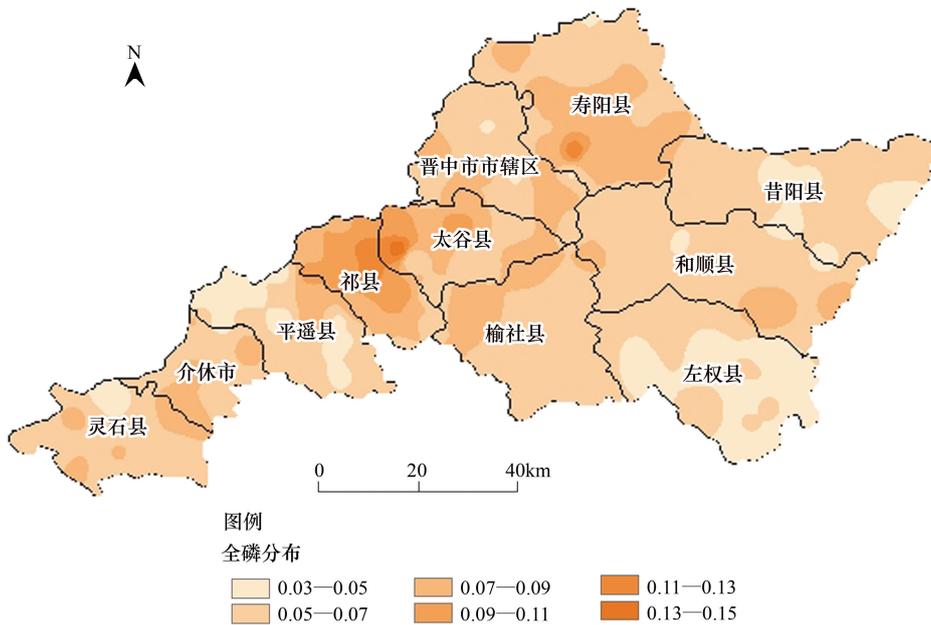


图4 晋中市土壤全磷分布

Fig.4 Total P distribution of soil in Jinzhong

2.2 不同县域土壤 pH 值及养分含量的描述性统计分析

晋中市土壤 pH 值在各区县的差异不大,表现为介休市<左权县<榆社县<和顺县<榆次县<祁县<太谷县<寿阳县<平遥县<昔阳县<灵石县(表1),土壤整体呈碱性,pH 值平均为 7.97,变化范围为 7.22—8.69。进一步分析结果表明,同一行政区域内不同利用方式的土壤 pH 及养分也有差异。

表1结果显示,晋中市土壤 SOM 含量在各区县中表现为太谷县<榆社县<灵石县<平遥县<昔阳县=左权县<榆次县<寿阳县<祁县<介休市<和顺县,平均为 1.42%,变化范围是 0.19%—3.94%;各区县的 TN 含量表现

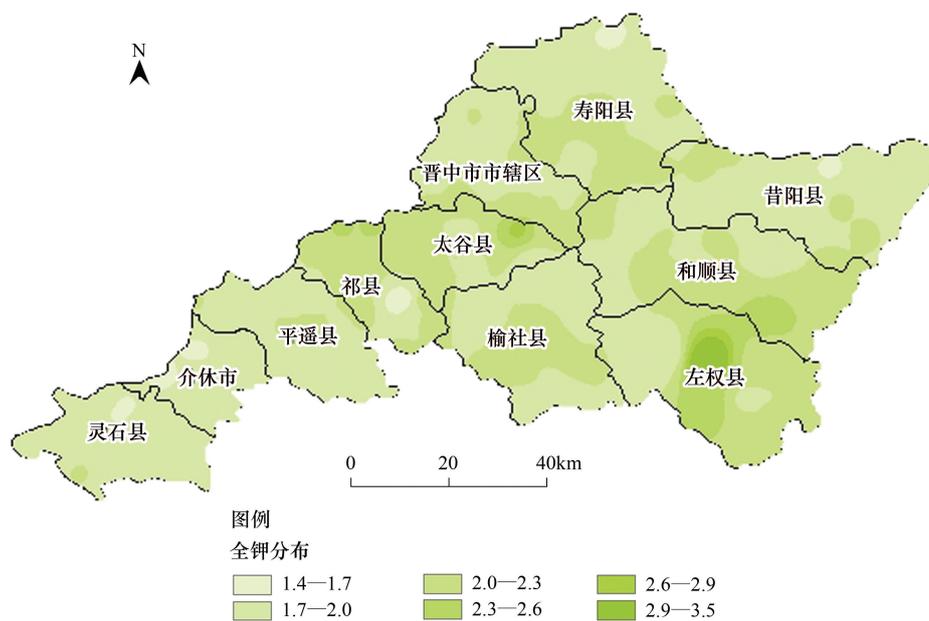


图 5 晋中市土壤全钾分布

Fig.5 Total K distribution of soil in Jinzhong

为太谷县=灵石县<榆社县=左权县=昔阳县=平遥县<榆次县<寿阳县=祁县=介休市<和顺县,平均含量为 1.42%,变化范围是 0.01%—0.19%;土壤 TP 含量则是左权县=昔阳县=平遥县<榆社县=和顺县=灵石县<榆次县=寿阳县=介休市<太谷县<祁县,平均含量 0.07%,测量范围 0.03%—0.14%;土壤 TK 含量的变化趋势为介休市<灵石县<平遥县<昔阳县<寿阳县<榆次县<榆社县<和顺县<祁县<太谷县<左权县,平均含量为 1.97%,变化范围是 1.43%—3.44%。

表 1 晋中市土壤性质描述性分析表

Table 1 Statistical features of the properties of soil in Jinzhong

区县 County	样品数 Quantity	pH 值 pH			有机质/% Soil Organic Matter			全氮/% Total N			全磷/% Total P			全钾/% Total K		
		最小 Min	平均 Avg	最大 Max	最小 Min	平均 Avg	最大 Max	最小 Min	平均 Avg	最大 Max	最小 Min	平均 Avg	最大 Max	最小 Min	平均 Avg	最大 Max
榆次县	16	7.73	7.94	8.24	0.82	1.42	2.38	0.04	0.08	0.12	0.05	0.07	0.08	1.82	1.95	2.05
榆社县	10	7.81	7.87	7.99	0.41	1.15	1.61	0.03	0.07	0.10	0.05	0.06	0.08	1.80	1.97	2.26
左权县	10	7.67	7.84	7.98	0.62	1.41	2.88	0.04	0.07	0.15	0.03	0.05	0.06	1.73	2.19	3.44
和顺县	16	7.22	7.93	8.46	0.41	1.86	3.94	0.03	0.11	0.19	0.04	0.06	0.08	1.74	2.02	2.48
昔阳县	13	7.89	8.08	8.36	0.24	1.41	2.44	0.01	0.07	0.10	0.04	0.05	0.07	1.62	1.91	2.04
寿阳县	23	7.87	8.02	8.18	0.75	1.44	2.83	0.05	0.09	0.17	0.04	0.07	0.12	1.62	1.93	2.23
太谷县	11	7.90	7.99	8.24	0.19	1.02	1.76	0.01	0.06	0.09	0.05	0.08	0.14	1.85	2.11	2.65
祁县	14	7.82	7.97	8.22	0.73	1.6	3	0.04	0.09	0.18	0.06	0.09	0.12	1.43	2.04	2.34
平遥县	16	7.76	8.07	8.69	0.35	1.24	2.38	0.02	0.07	0.14	0.04	0.05	0.09	1.74	1.89	2.20
灵石县	11	7.83	8.7	8.22	0.33	1.21	2.76	0.02	0.06	0.09	0.04	0.06	0.08	1.62	1.85	2.02
介休市	9	7.71	7.79	7.88	0.85	1.68	2.48	0.05	0.09	0.16	0.05	0.07	0.08	1.63	1.82	1.92
总体 Totality	149	7.22	7.97	8.69	0.19	1.42	3.94	0.01	0.08	0.19	0.03	0.07	0.14	1.43	1.97	3.44

根据国家土壤第二次普查的养分分级标准(表 2),晋中市的表层土壤 SOM、TN、TP 含量平均水平分别为四级、四级、五级,SOM 含量变化跨度为 2—6 级,TN 含量变化跨度为 2—6 级,TP 含量变化跨度为 3—6 级。

晋中市表层土壤 SOM、TN 和 TP 含量属于中等偏低水平。TK 含量平均水平为三级,含量变化跨度为 1—4 级,因此,晋中市的表层土壤 TK 含量属于较高水平。

表 2 土壤养分分级表
Table 2 Soil nutrient classification table

土壤养分/% Soil Nutrient	分级级别 Level					
	一级 First Level	二级 Second Level	三级 Third Level	四级 Fourth Level	五级 Fifth Level	六级 Six Level
有机质 Soil organic matter	>4.00	3.01—4.00	2.01—3.00	1.01—2.00	0.6—1.00	<0.60
全氮 Total N	>0.200	0.151—0.200	0.100—0.150	0.076—0.1000	0.050—0.075	<0.050
全磷 Total P	>0.200	0.161—0.200	0.121—0.160	0.081—0.120	0.040—0.080	<0.040
全钾 Total K	>3.00	2.41—3.00	1.18—2.40	1.21—1.80	0.60—1.20	<0.60

引自第二次全国土壤普查分级标准^[19]

2.3 土壤养分含量与海拔、用地类型的相关性分析

2.3.1 土壤养分含量与海拔相关分析

地形是影响土壤发育的重要因素之一,海拔的不同会引起气温、降雨量、湿度等不同,进而导致动植物种类和微生物活动状况存在差异,这些条件又会反过来影响表层土壤中各种化学元素的变化,使土壤养分含量出现差异性。本研究借助 ArcGIS 软件空间分析区域统计模块的重分类功能,将海拔因子进行分级,计算不同海拔高度等级条件下的 3 种土壤养分及 SOM 含量的平均值,并利用 SPSS 软件进行相关性分析,探究研究区内土壤养分与海拔的相关性。

由表 3 可以看出,研究区的海拔高度范围为 733—1742 m,大部分的采样点集中在 733—1500 m 的高度内,海拔增高,SOM 的平均含量呈现先增多后减少的趋势,TN 平均含量明显增多,与 SOM 和 TN 的含量相比,随着海拔高度的增加,TP 和 TK 的平均含量变化趋势不明显。

表 3 不同海拔的土壤养分平均值
Table 3 Average soil nutrients at different elevations

项目 Item	分级 Level	样品数 Quantity	有机质/% Soil organic matter	全氮/% Total N	全磷/% Total P	全钾/% Total K
海拔 Altitude	一级(733—900 m)	44	1.268	0.070	0.071	1.941
	二级(901—1100 m)	36	1.315	0.070	0.061	1.949
	三级(1101—1300 m)	35	1.604	0.090	0.066	1.998
	四级(1301—1500 m)	22	1.472	0.089	0.061	2.010
	五级(1501—1742 m)	12	1.553	0.089	0.064	1.957

因为表 3 显示的是某一海拔范围土壤养分含量的平均值,对养分含量随海拔变化而变化的趋势有一定的掩蔽作用,为了进一步探明其变化趋势,将不同海拔范围内各样点的养分含量实测值与样点所处的海拔高程进行相关分析,结果表明(图 6),在 1300—1500 m 范围内,海拔与 SOM 间呈很好的线性关系,相关系数为 0.46 ($r_{0.05} = 0.404$);在 733—900 m 范围内海拔与 TP 间呈很好的二次曲线关系,相关系数为 0.459 ($r_{0.01} = 0.372$);在 733—900 m 范围内海拔与 TK 间同样是呈明显的二次曲线关系,相关系数为 0.4 ($r_{0.01} = 0.372$),达到了极显著相关水平;900—1100 m 范围内海拔与 TK 间呈较好的线性关系,相关系数为 0.332 ($r_{0.05} = 0.325$),达到了显著相关水平。其余海拔范围内养分与海拔间相关性未达显著水平。

运用 SPSS 的相关性分析结果可以看出,在采样点全部覆盖的海拔范围(733—1742 m)内,海拔与 TN 含量呈极显著正相关(表 4),海拔越高,TN 含量越高;而 SOM、TP 和 TK 与海拔的相关性不显著。

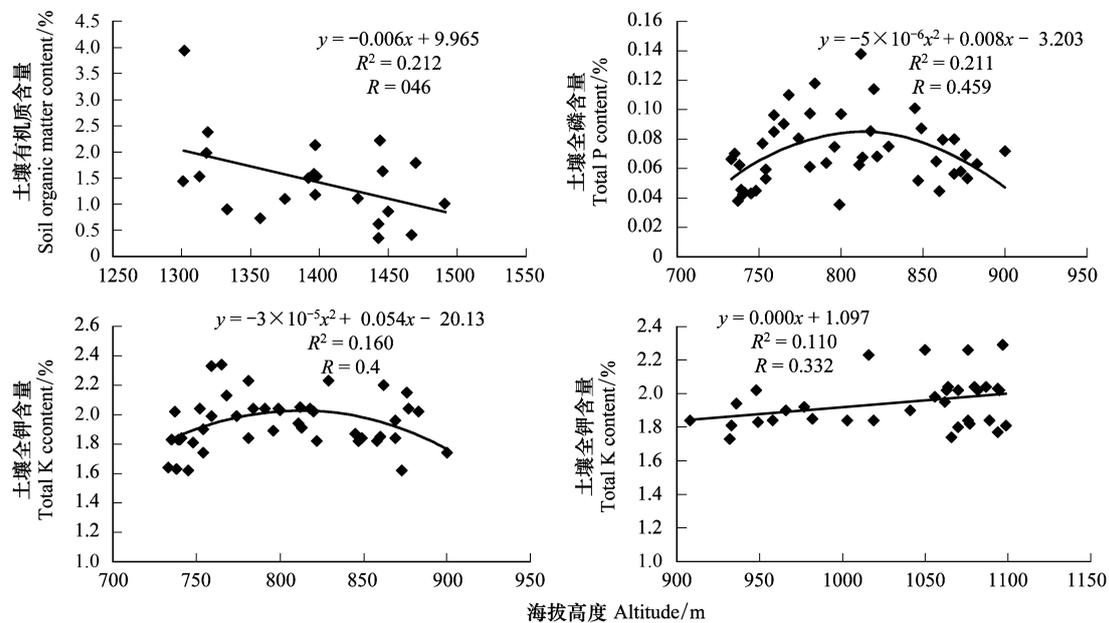


图 6 土壤养分与海拔的关系

Fig.6 Relationship between soil nutrients and altitudes

表 4 土壤养分与海拔相关系数

Table 4 Soil nutrient and elevation correlation coefficient

	土壤有机质 SOM Soil organic matter	总氮 TN Total N	总磷 TP Total P	总钾 TK Total K
海拔 Altitude	0.147	0.255 **	-0.118	0.088

“*”表示 $P < 0.05$, “**”表示 $P < 0.01$.

2.3.2 土壤养分含量与用地类型相关分析

在 149 个采样点中,耕地类型最多,有 113 个,林地 15 个,未利用地 19 个,自然保护区 2 个,如表 5 所示,在前 4 个等级的高程中,耕地的 SOM、TN、TP 平均含量均明显高于林地、未利用地和自然保护区,其中 TN 平均含量差距尤其明显,主要是由于在耕地中人们重视氮肥的施用,而林地、未利用地和自然保护区一般不施用氮肥,所以长期以来耕地的 TN 含量明显高于其他用地类型;而耕地中 TK 平均含量明显低于其他用地类型,则与土地的利用有关,山下的土地开发早,山上开发的比较迟,但当地对钾的施用重视不够,使得钾出现了短缺,再加上近年来当地农民信守“缺氮、少磷、钾充足”的观念,但随着产量水平的不断提高、秸秆还田数量的不断减少,以及喜钾类作物如果树类、块根类、叶菜类等作物的种植面积加大,土壤中的钾在不施钾肥的情况下已造成明显的亏缺,这不仅是晋中市的问题,也是全山西省乃至整个黄土高原地区土壤施肥过程中应该关注的问题。在 1500—1742 m 的海拔中耕地的 SOM、TN、TP 平均含量低于其他用地类型,TK 平均含量则与其他用地类型相差不大。海拔高的地方耕地土壤养分含量较低与农民的施肥管理也有一定的相关性,人们对这部分土地可能重视程度不够,各种肥料的施用量均比较少,甚至还存在“只用不养”的现象。

3 讨论与结论

3.1 关于海拔高度与不同土壤养分含量间相关性研究

众多研究表明,土壤 SOM 与 TN 的含量变化会呈现相同的趋势^[20-24],与海拔的关系中会随海拔升高而增多^[20-23],在本研究中,随海拔高度的增加,不同海拔等级的土壤 SOM 平均含量呈先增多后减少的趋势,TN 平均含量明显增多,这与前人研究有所不同,这可能与研究区本身所处的地理位置及海拔高度的变化范围有关,有待进一步研究。杨秋香等^[25]研究了祁连山东段哈溪林区青海云杉林土壤,发现 TP 和 TK 含量均随海拔升

高而降低,但本研究结果显示,不同海拔等级的土壤 TP 和 TK 的平均含量变化趋势不明显,与样点覆盖海拔范围内受人为干扰比较大,使土壤自然状态下营养元素含量发生变化有关。

表 5 高程与土地利用方式影响下土壤养分分布情况

Table 5 The distribution of soil nutrients under the influence of elevation and land use

海拔范围/m Range of altitude	土地利用 Land-use	样点数 Quantity	有机质/% Soil Organic Matter	全氮/% Total N	全磷/% Total P	全钾/% Total K
733—900	耕地	41	1.334	0.073	0.072	1.931
	林地	0	—	—	—	—
	未利用地	3	0.447	0.028	0.062	2.077
	自然保护区	0	—	—	—	—
901—1100	耕地	30	3.144	0.170	0.168	1.945
	林地	2	2.250	0.123	0.053	2.155
	未利用地	3	1.033	0.059	0.057	1.913
	自然保护区	1	1.080	0.064	0.032	1.740
1101—1300	耕地	26	1.668	0.309	0.274	1.428
	林地	3	1.600	0.089	0.047	2.403
	未利用地	5	1.386	0.079	0.067	2.076
	自然保护区	1	1.360	0.061	0.050	2.240
1301—1500	耕地	10	1.499	0.970	0.092	2.033
	林地	7	1.377	0.079	0.057	1.989
	未利用地	5	1.458	0.091	0.062	3.176
	自然保护区	0	—	—	—	—
1501—1742	耕地	6	1.450	0.089	0.060	1.988
	林地	3	1.653	0.090	0.052	1.963
	未利用地	3	1.540	0.088	0.083	1.887
	自然保护区	0	—	—	—	—

为了进一步探明土壤 SOM、TN、TP 和 TK 的变化趋势,将不同海拔范围内各样点的养分量实测值与样点所处的海拔高程进行相关分析,结果发现,在海拔 1301—1500 m 范围内,海拔与 SOM 间呈很好的线性关系,随海拔高度的增加 SOM 含量减少,后续可通过重新调整采样点分布来进一步研究;在 733—900 m 范围内海拔与 TP、TK 间均呈极显著的二次曲线关系,TP 和 TK 含量随海拔高度的增高先增多,超过 800 m 开始慢慢减少,由于该海拔范围内耕地类型的采样点较多,所以受人为干扰较大,海拔较低时施肥量较多,而 800 m 之后人类活动逐渐减少;在其他海拔高度范围内海拔与土壤养分间相关性不大。通过相关性分析得出,海拔与 TN 含量成极显著正相关,与前人研究相吻合。

3.2 关于用地类型对土壤养分含量的影响

不同的土地利用方式决定了农业生产中有机物料和养分的投入不同^[26]。徐鹏等^[27]发现土地利用方式对土壤有机质的含量有明显的影响,王舒等^[28]发现晋西黄土区不同土地利用方式下土壤 SOM 含量差异在 0—32 cm 土层显著,李新爱等^[29]在研究喀斯特地区时发现不同土地利用类型对土壤 TN 含量造成显著差异,陈志超等^[30]发现万安流域土地利用类型之间 TP 含量具有显著差异。本研究结果表明,在不同的海拔高程范围内,土地利用方式对土壤养分含量的影响有所不同,在样点高程的前四个等级中,耕地的 SOM、TN、TP 平均含量均明显高于林地、未利用地和自然保护区,其中 TN 平均含量差距尤其明显,在 1500—1742 m 的海拔中耕地的 SOM、TN、TP 平均含量低于其他用地类型,TK 平均含量则与其他用地类型相差不大。

3.3 晋中市土壤养分含量空间分布情况

晋中市土壤 pH 值平均为 7.97,整体呈碱性;SOM 和 TN 含量较高的地区主要是东部的和顺县以及西南的祁县,SOM 在寿阳县北部、昔阳县南部有少量富集,经调查发现,寿阳县是山西省唯一的奥运蔬菜和世博蔬菜

生产基地^[31],和顺县核桃产业发展迅速^[32],所以在这两个地区可能是由于人为施肥量大,导致 SOM 和 TN 含量明显富集,而祁县南部山地大部分被灌木所覆盖^[33],大量枯枝落叶被分解或许是该地 SOM 含量明显高于周边地区的原因;TP 含量高的地区主要在太谷县西部、祁县以及寿阳县西南部;TK 含量高的地区较少且分布非常集中,主要在左权县中部和太谷县东北部地区。另外,依据国家土壤第二次普查的养分分级标准,研究区表层土壤 SOM、TN、TP 含量偏低,平均水平分别为四级、四级、五级,而 TK 含量平均水平为三级。

参考文献 (References):

- [1] 宋轩,李立东,寇长林,陈杰. 黄河小流域土壤养分分布及其与地形的关系. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3163-3168.
- [2] 关树森. 黔南土壤三要素富缺的成因. 贵州农业科学, 1985, (1): 45-48.
- [3] 张伟,刘淑娟,叶莹莹,陈洪松,王克林,韦国富. 典型喀斯特林地土壤养分空间变异的影响因素. 农业工程学报, 2013, 29(1): 93-101.
- [4] Campbell J B. Spatial variation of sand content and pH within singlecontiguous delineations of two soil mapping units. Soil Science Society of America Journal, 1978, 42(3): 460-464.
- [5] 金继运. “精准农业”及其在我国的应用前景. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 1-7.
- [6] 郭旭东,傅伯杰,马克明,陈利顶,杨福林. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究:以河北省遵化市为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557-563.
- [7] 谢花林,李波,刘黎明,张新时. 基于空间统计学和 GIS 的农牧交错带土壤养分空间特征分析——以内蒙古翁牛特旗为例. 水土保持学报, 2006, 2(2): 73-76.
- [8] 余新晓,张振明,朱建刚. 八达岭森林土壤养分空间变异性研究. 土壤学报, 2009, 46(5): 959-964.
- [9] 张伟,陈洪松,王克林,苏以荣,张继光,易爱军. 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1828-1835.
- [10] 王宗明,张柏,宋开山,刘殿伟,李建平,黄健,张慧琳. 东北平原典型农业县农田土壤养分空间分布影响因素分析. 水土保持学报, 2007, 21(2): 73-77.
- [11] 程红艳,谢英荷,冯两蕊,白中科,樊文华. 晋中市主要果品生产基地土壤环境质量评价分级. 山西农业大学学报, 2004, (2): 139-142.
- [12] 刘耀宗,张经元. 山西土壤. 北京: 科学出版社, 1992: 320-329.
- [13] 袁志杰. 基于 ATI 模型和 TVDI 模型的晋中土壤水分遥感反演研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2015.
- [14] 胡霭堂. 植物营养学. 北京: 中国农业大学出版社, 1995, 48-53.
- [15] 张永清,苗果园. 生土施肥对黍子根系生长及生理生态效应的影响. 水土保持学报, 2006, 20(3): 158-161, 169-169.
- [16] 刘建玲,张福锁,杨奋翮. 北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 179-186.
- [17] 谭德水,金继运,黄绍文,高伟. 长期施钾与秸秆还田对华北潮土和褐土区作物产量及土壤钾素的影响. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 106-112.
- [18] Kering M K, Butler T J, Biermacher J T, et al. Effect of potassium and nitrogen fertilizer on switchgrass productivity and nutrient removal rates under two harvest systems on a low potassium soil. Bioenergy Research, 2013, 6(1): 329-335.
- [19] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术. 北京: 农业出版社, 1992.
- [20] 马维伟,王辉,王跃思,王蕙,赵赫然. 甘南杂海草甸湿地不同海拔高度土壤性状研究. 草地学报, 2012, 20(6): 1044-1050.
- [21] 丁咸庆,马慧静,朱晓龙,侯红波,彭佩钦,彭红东. 大围山不同海拔森林土壤有机碳垂直分布特征. 水土保持学报, 2015, 29(2): 258-262.
- [22] 武小钢,郭晋平,田旭平,杨秀云. 芦芽山土壤有机碳和全氮沿海拔梯度变化规律. 生态环境学报, 2014, 23(1): 50-57.
- [23] 曾希柏,白玲玉,李莲芳,苏世鸣. 山东寿光不同利用方式下农田土壤有机质和氮磷钾状况及其变化. 生态学报, 2009, 29(7): 3737-3746.
- [24] 张巧明,王得祥,龚明贵,张丽楠. 秦岭火地塘林区不同海拔森林土壤理化性质. 水土保持学报, 2011, 25(5): 69-73.
- [25] 杨秋香,牛赞,敬文茂. 祁连山东段哈溪林区不同海拔高度青海云杉林土壤全磷和全钾分布特征. 防护林科技, 2015, (9): 14-17.
- [26] 唐建,赵庚星. 局地土地利用方式及坡度对土壤有机质含量的影响. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 462-465.
- [27] 徐鹏,江长胜,郝庆菊,祝滔. 缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响. 环境科学, 2013, 34(10): 4009-4016.
- [28] 王舒,马岚,高甲荣,杨帆,张栋,梁香寒. 晋西黄土区土地利用方式对土层有机质变异的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2016, 40(5): 81-86.
- [29] 李新爱,肖和艾,吴金水,苏以荣,黄道友,黄敏,刘守龙,彭洪翠. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1827-1831.
- [30] 陈志超,杨小林,刘昌华. 万安流域不同土地利用类型土壤全磷时空分异特征. 土壤通报, 2014, 45(4): 857-862.
- [31] 杨子文. 寿阳县蔬菜产业化开发的实践和探索[D]. 太原: 山西农业大学, 2014.
- [32] 李瑞鹏. 和顺县核桃产业提质增效问题探讨. 防护林科技, 2016, (12): 90-91.
- [33] 王晋敏. 祁县现代农业发展研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2015.