

阜平县不同海拔梯度下耕地土壤养分现状与分布特征

李春雨¹, 加鹏华¹, 王树涛¹, 李金鹿², 陈亚恒¹, 许 皞^{1,3}

(1.河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2.河北省自然资源规划院, 石家庄 050000; 3.河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

摘 要:为在太行山区阜平县对耕地土壤提出科学合理的施肥理论依据,利用 2018 年阜平县耕地测土配方施肥调查数据,运用统计学和克里金插值方法研究了阜平县耕层土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾及 pH 等养分含量现状及分布特征。结果表明:当前阜平县耕地土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的均值含量分别为 7.08, 21.84 g/kg, 70.53 mg/kg, 22.43 mg/kg, 75.43 mg/kg, 土壤 pH 值主要为中性水平,占比 65.42%;土壤有机质含量、碱解氮含量和速效钾含量均表现为以中等含量水平为主,占比分别为 45.55%, 43.19% 和 59.86%, 处于中等及以上的占比分别为 98.76%, 64.42% 和 75.96%;土壤有效磷含量主要处于高等含量水平,占比 29.99%, 而高等及以上水平占比 74.15%。从空间分布上耕地土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾大体均呈现由东南向西北逐渐增长的趋势,而从海拔梯度分区下有机质和有效磷呈现丘陵区(21.85 g/kg) < 低山区(21.92 g/kg) < 中山区(22.70 g/kg) 趋势,碱解氮呈现中山区(64.72 mg/kg) < 丘陵区(70.53 mg/kg) < 低山区(70.71 mg/kg), 速效钾呈现低山区(74.75 mg/kg) < 丘陵区(75.21 mg/kg) < 中山区(83.78 mg/kg) 趋势,土壤 pH 均不呈现明显规律。土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾与海拔地形要素均呈现极正相关关系。结果可为阜平县耕地科学合理施肥提供理论依据,并推动精准农业发展,促进乡村振兴。

关键词:土壤学; 土壤养分分布; 克里金插值; 阜平县耕地

中图分类号: S158

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)01-0197-08

Soil Nutrient Status and Distribution Characteristics of Cultivated Land Under Different Altitude Gradients in Fuping County

LI Chunyu¹, JIA Penghua¹, WANG Shutao¹, LI Jinlu², CHEN Yaheng¹, XU Hao^{1,3}

(1.College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2.Hebei Institute for Natural Resources Planning, Shijiazhuang, Hebei 050000, China; 3.College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: The purpose of this study is to provide theoretical basis for scientific and reasonable fertilization of cultivated soil in Taihang Mountain area. Based on the survey data of soil testing and formulated fertilization in Fuping County in 2018, the current situation and distribution characteristics of soil organic matter, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, available potassium and pH in Fuping County was examined by using statistics and Kriging interpolation method. The results showed that the pH and average contents of organic matter, alkali-hydrolyzated nitrogen, available phosphorus and available potassium in cultivated soil were 7.08, 21.84 g/kg, 70.53 mg/kg, 22.43 mg/kg and 75.43 mg/kg, respectively, and the soil pH value was mainly neutral, accounting for 65.42%; the contents of soil organic matter, alkali hydrolyzable nitrogen and available potassium were mainly in the medium level, accounting for 45.55%, 43.19% and 59.86% of the total, respectively, while those in the medium level and above accounted for 98.76%, 64.42% and 75.96% of the total, respectively; the content of available phosphorus in soil was mainly at the high level, accounting for 29.99%, and 74.15% at the high or above level; in terms of spatial distribution, soil organic matter, alkali-hydro nitrogen, available phosphorus and available potassium increased gradually from southeast to

收稿日期: 2020-12-29

修回日期: 2021-01-17

资助项目: 河北省重点研发计划项目(18227511D); 河北省社会科学资助项目(HB16YJ060)

第一作者: 李春雨(1996—), 男, 河北石家庄人, 硕士, 主要从事土壤与土地资源可持续利用研究。E-mail: 3057413626@qq.com

通信作者: 许皞(1963—), 男, 河北定兴人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤与土地资源持续利用研究。E-mail: xuhao22003@126.com

northwest; however, in terms of altitude gradient, the contents of organic matter and available phosphorus increased in the order: hilly area (21.85 g/kg) < low mountain area (21.92 g/kg) < middle mountain area (22.70 g/kg), the contents of alkaline nitrogen increased in the order: middle mountain area (64.72 mg/kg) < hilly area (70.53 mg/kg) < low mountain area (70.71 mg/kg), and the contents of available potassium increased in the order: low mountain area (74.75 mg/kg) < hilly area (75.21 mg/kg) < middle mountain area (83.78 mg/kg); soil pH did not show obvious regularity; there were the very positive correlations between soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus, available potassium and altitude terrain factors. These results can provide a theoretical basis for scientific and rational fertilization of cultivated land in Fuping County, and promote the development of precision agriculture and rural revitalization.

Keywords: soil science; soil nutrient distribution; Kriging interpolation; Fuping County arable land

土壤是具有一定肥力的疏松层,供陆地植物生长,受气候、地形、人为活动、时间等因素共同作用形成的空间连续体^[1],其中土壤养分是土壤最为精华的一部分,包含土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾等植物生长必须的元素,是组成土壤肥力的重要部分,还在一定程度上体现了土壤肥力水平的高低^[2],而土壤肥力的高低决定土壤生产能力的高低。耕地作为半人工半自然性质的系统,人类活动干扰以及农事活动在一定程度上影响着土壤养分的空间变异^[3-4]。尤其在山地地区,由于山区垂直地带性的缘故,局域小气候所形成的土壤环境的差异,土壤养分的空间变异差异明显,土壤理化性质随着山地高度上升呈现一定的变化规律:海拔增加,土壤温度降低,土壤水分状况变为常湿润,风化程度下降,土壤中黏粒含量减少,土壤发育程度有较大的差异^[5-6]。因此,在研究了解了耕地土壤养分的分布规律,才可以更好地保护耕地和提升耕地质量。随着农业现代化的发展,空间信息技术在农业领域广泛应用^[7-9],在国内学者研究中,严玉梅等^[10]在对陕西省土壤养分分布特征研究中,在 ArcGIS 中运用到克里金插值法,绘制出了陕西省全域耕地养分的分布图,为陕西省耕地有效合理施肥提供依据。胡明等^[11]在研究渭南市潼关县耕地养分分布特征中,利用 Arc GIS 9.3 地统计分析模块中的克里格插值法绘制土壤的养分空间分布变化图,为当地合理施肥、提高粮食产量提供理论依据。刘合满等^[12]在探究西藏东南部色季拉山土壤氮素的空间分布中,采用地统计学软件 GS⁺ 9.0 进行空间变异模型及局部克里金插值分析,探明了土壤氮素的空间分布,为其地区生态建设提供依据。以上文献中都运用到了空间信息技术,此技术的应用可以直观明了的了解土壤发育状况和土壤养分分布及空间变异情况。这可以推动精准农业的发展,提供精准施肥是精准农业的核心,根据耕地养分的分布状况、作物需肥量以及产量,从而调节施肥量、施肥时间等,保证化肥利用

的高效率,从而达到以合理的资源获得最大产量和经济效益,保护农业生态环境和自然资源。这在现代化农业耕地保护和管理中起到至关重要的作用。

阜平县在其独特的地理位置上,全域为山区,垂直差异突出,有着“九山半水半分田”的称谓,耕地资源稀少,耕地土壤养分含量的高低影响作物的产量和品质^[13],进而影响农民最基本的收入,关乎农民最基本的生计问题,并且长期以来农民对于耕地土壤养分状况认知缺乏,从而盲目施肥,没有一定的标准进行精准施肥,不仅浪费资源而且还引起农业环境的污染问题。因此,更好地了解和管理耕地成为阜平县乡村振兴与扶贫攻坚的重大任务。本研究利用 2018 年阜平县农业局耕地配方施肥项目土壤养分以及调查数据,运用统计学和克里金插值方法研究阜平县不同海拔梯度及各个乡镇耕层土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾养分含量现状及分布特征,为阜平县耕地的管理保护以及科学合理施肥推动精准农业发展提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区域

阜平县隶属于河北省保定市,阜平县全域面积 249 396.95 hm²,隶属河北保定市,位于北纬 38°9′—39°7′,东经 113°45′—114°31′,地处河北省保定市西部,太行山中北部东麓,大清河水系沙河上游,是两省四市九县交汇处,北距首都北京 275 km,南距省会石家庄 110 km,西距山西佛教圣地五台山 78 km,东距古城保定 140 km,域内全为山区,属太行山山系,境内地形复杂,山峦绵亘,沟壑纵横,地势由东南(王快水库,海拔 200 m)向西北(歪头山,海拔 2 286 m)逐渐升高。主峰海拔在 824.9 m 以上的山峰有 42 座,其中歪头山海拔 2 286.2 m,为保定市最高峰。全县耕地面积为 16 451.23 hm²,根据阜平县全域山区特点,以海拔高度划分 3 个海拔分区即丘陵区(耕地占

比为 63.96%)、低山区(耕地占比为 27.85%)和中山区(耕地占比为 8.19%),其中包含的乡镇及耕地面积见表 1。

表 1 阜平县不同海拔梯度所包含乡镇

区域	全县	丘陵区	低山区	中山区
		<500 m	500~1000 m	1000~3500 m
包含乡镇	阜平县	阜平镇	台峪乡	
		王林口镇	大台乡	
		平阳镇	史家寨乡	龙泉关镇
		北果元乡	砂窝乡	吴王口乡
		城南庄镇	天生桥镇	
			夏庄乡	
耕地面积/hm ²	16451.22	10523.01	4581.16 hm	1347.05
耕地面积比例/%	100	63.96	27.85	8.19

1.2 样品采集

以《耕地质量监测技术规程(NY/T1119-2012)》为标准,以阜平县农业局发表文献《2012 年阜平县 13 个乡镇主要农作物配方施肥建议》为参考,因 2012 年农作物配方施肥的采样点坐标位置点进行了记录,在原有点位进行样品采集,为保证两期数据的可比性,此次采集也同上次采集时间、方法相对应。于 2018 年 10 月份,在作物收获后、施肥前进行采集,按照阜平县耕地分布、地形地貌以及土壤类型等特点,遵循

表 2 土壤养分等级划分标准

等级	极高	很高(强碱性)	高(碱性)	中(中性)	低(酸性)	极低(强酸性)
pH		>8.5	7.5~8.5	6.5~7.5	5.5~6.5	<6.5
有机质/(g·kg ⁻¹)	>40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	>150	120~150	90~120	60~90	30~60	<30
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	>40	20~40	10~20	5~10	3~5	<3
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	>200	150~200	100~150	50~100	30~50	<30

注:该等级为全国第二次土壤普查土壤养分含量等级划分标准。

2 结果与分析

2.1 阜平县耕地土壤不同养分含量现状评价

阜平县全域耕地土壤酸碱度平均值在 7.08,其变化范围在 5.50~8.20,且变异系数为 6.50%,处于 10%以内属于弱变异。阜平县全域土壤酸碱度主要集中在 6.5~7.5,耕地土壤酸碱度属于中性水平,占比 65.42%;而不同海拔梯度下的酸碱性平均值也为 7.08,全部属于中性土壤水平,其中丘陵区、低山区以及中山区的变化范围分别为 5.8~8.0,5.5~8.1,6.5~8.2,变异系数除中山区(6.78%)其余均为 6.50%,均属于弱变异;丘陵区耕地土壤酸碱度大多集中在 6.5~7.5,占比 74.13%;低山区集中在 6.5~7.5,占比 68.02%;而中山区主要集中在 6.5~7.5 区间,占比为 61.11%(表 3—4)。

全面性、客观性、科学性原则均匀取样;以田块为单位,采取蛇形取样法多点取样,采样田块小于 666.7 m²,取样 10 份,666.7~2 666.4 m²取样 15 份,大于 2 666.4 m²取样 20 份;样点采取深度为耕层深度 0—20 cm,并利用差分 GPS 仪确定样点空间地理位置及海拔高度,将土壤样品进行四分法留取 1.5 kg 装袋进行测验。

1.3 分析方法

采用李兴民^[14]文献中土壤养分测定方法:土壤 pH 的测定采取电位法;土壤有机质采取油浴加热重铬酸氧化——容量法测定;土壤碱解氮的测定为碱解扩散法;有效磷的测定采用钼锑抗比色法;土壤速效钾测定采用乙酸铵浸提——火焰光度法。阜平县土壤测土配方施肥数据经 Excel 进行汇总;以 IBM SPSS Statistics 20 软件进行数据的统计性描述分析以及相关性分析;采样点数据以 ArcGIS 10 中的地统计分析工具进行克里金插值,绘制土壤养分分布图。

1.4 耕地土壤养分含量等级划分

在土壤养分状况综合评价过程中,以 2018 年测定的各指标平均数作为依据,同时参照全国第二次土壤普查养分分级标准以及结合区域实际土壤质地情况,对土壤养分含量的等级进行划分,具体见表 2。

阜平县耕地土壤酸碱度整体处于中性土壤水平,适宜作物的生长,耕地土壤酸碱度对农业生产影响不明显。但是部分区域出现碱性土壤和酸性土壤,酸性土壤出现的原因可能是其在人类活动频繁区,受人为干扰导致的水土流失严重,使土壤发生盐基溶脱现象,以及有机肥的施用量减少和化肥施用量的增多导致耕地土壤酸化^[15];而碱性土壤出现的原因可能是由于其海拔较高,腐殖质积累较多形成的腐叶土,呈现出碱性耕地土壤,耕地土壤中并未出现强酸性和强碱性耕地土壤。

阜平县全域耕地土壤有机质的平均含量为 21.84 g/kg,变化范围为 1.10~77.70 g/kg,变异系数为 33.06%,处于 10%~90%内,属于中等变异,阜平全域有机质含量主要集中在中等含量 10~20 g/kg 和高等含量 20~30 g/kg,分别占比为 45.55%,42.34%。

在不同海拔梯度分区的耕地土壤有机质含量中丘陵区、低山区和中山区有机质均值分别为 21.85 g/kg, 21.92 g/kg, 22.70 g/kg, 变化范围分别为 1.10~77.70 g/kg, 5.00~62.50 g/kg, 12.70~52.60 g/kg, 而变异系数分比为 33.09%, 33.12%, 35.68%, 均属于中等变异。各海拔梯度耕地土壤有机质含量均值中, 丘陵区集中在中等含量水平 10~20 g/kg 和高等含量水平 20~30 g/kg, 占比分别 48.50%, 42.05%, 低山区集中在中等含量水平 10~20 g/kg 和高等含量水平 20~30 g/kg, 占比分别为 38.92%, 43.11%, 中山区集中在高等含量水平 20~30 g/kg, 占比为 43.06%。

阜平县全域耕地碱解氮含量均值为 70.53 mg/kg, 变化范围为 4.10~266 mg/kg, 变异系数为 39.36%, 属于中等变异水平, 其中碱解氮含量主要集中在中等含量水平 60~90 mg/kg, 占比为 43.19%。在不同海拔梯度分区下, 丘陵区、低山区与中山区耕地碱解氮均值含量分别为 70.53 mg/kg, 70.71 mg/kg, 64.72 mg/kg, 变化幅度分别为 4.10~210 mg/kg, 8.10~266 mg/kg, 35.00~175.00 mg/kg, 而变异系数分别为 39.42%, 39.44%, 47.79%, 均属于中等变异水平。其中丘陵区耕地碱解氮主要集中在中等含量水平 60~90 mg/kg, 占比 44.68%; 低山区主要在中等含量水平 60~90 mg/kg, 占比 40.00%; 中山区集中在高等含量水平 90~120 mg/kg 与中等含量水平 60~90 mg/kg, 分别占比为 31.94%, 30.56%。

阜平县耕地有效磷养分均值含量为 22.43 mg/kg, 变化幅度在 1.30~135.80 mg/kg, 变异系数为 74.63%, 属于中等变异水平, 其耕地有效磷含量主要集中在很高级别水平 20~40 mg/kg 和高等水平 10~20 mg/kg, 占比分别为 29.63%, 29.99%。在不同海拔梯度分区下, 丘陵区、低山区与中山区耕地有效磷均值含量分别为 22.38 mg/kg, 22.41 mg/kg, 26.41 mg/kg, 变化范围分别为 1.30~135.80 mg/kg, 2.40~112.40 mg/kg, 4.10~88.10 mg/kg, 而变异系数分别为 74.71%, 75.01%, 68.27%, 均为中等变异水平。其中丘陵区有效磷含量集中水平在高等含量水平 10~20 mg/kg, 占比为 34.29%, 低山区集中在很高等别水平 20~40 mg/kg 和极高水平 >40 mg/kg, 分别占比为 38.92%, 31.02%, 而中山区集中在很高水平 20~40 mg/kg 和极高水平 >40 mg/kg, 分别占比 34.72%, 33.33%。

阜平县全域耕地速效钾养分含量均值为 75.43 mg/kg, 变化范围在 16.00~472.00 mg/kg, 变异系数为 52.09%, 属于中等变异水平, 在阜平县全域下的耕地速效钾含量主要集中在中等含量水平 50~100

mg/kg, 占比为 59.86%。而在不同海拔分区下的速效钾含量情况有所不同, 丘陵区、低山区和中山区耕地速效钾含量平均值分别为 75.21 mg/kg, 74.75 mg/kg, 83.73 mg/kg, 变化幅度分别为 16.00~360 mg/kg, 21~472 mg/kg, 46~367 mg/kg, 而变异幅度分别为 51.87%, 52.66%, 54.51%, 均属于中等变异。其中丘陵区耕地速效钾含量主要集中在中等含量水平 50~100 mg/kg, 占比为 62.45%, 低山区主要集中范围在中等含量水平 50~100 mg/kg, 占比为 54.91%, 而中山区集中在中等含量水平 50~100 mg/kg, 占比为 44.44%。

由上述可知, 土壤养分作为耕地土壤肥力的重要部分, 能体现出耕地生产能力的强弱, 或通俗的表达为土壤上作物生长的好坏以及作物果实产量的高低和品质的优劣^[16], 土壤养分是土壤肥力高低的内部标志指标, 是植物生长过程中所需营养物质的主要来源, 它与土壤的质量密切相关, 能够综合反映土壤理化性质^[17]。当前阜平县耕地土壤有机质、碱解氮、有效磷以及速效钾含量均值分别为 21.84 g/kg, 70.53 mg/kg, 22.43 mg/kg, 75.43 mg/kg, 在全国第二次土壤普查土壤养分含量等级划分标准中分别处于高等级、中等级、很高等级以及中等级含量水平, 由此可以了解到阜平县耕地土壤养分达到中等偏上的水平, 耕地土壤养分含量水平较高。

表 3 农田土壤养分含量描述性统计

测定项目	区域	最大值	最小值	平均数	标准差
pH	阜平县全域	8.20	5.50	7.08	0.46
	丘陵区<500 m	8.00	5.80	7.08	0.46
	低山区 500~1000 m	8.10	5.50	7.08	0.46
	中山区 1000~3500 m	8.20	6.50	7.08	0.48
有机质/ (g·kg ⁻¹)	阜平县全域	77.70	1.10	21.84	7.22
	丘陵区<500 m	77.70	1.10	21.85	7.23
	低山区 500~1000 m	62.50	5.00	21.92	7.26
	中山区 1000~3500 m	52.60	12.70	22.70	8.10
碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	阜平县全域	266.00	4.10	70.53	27.76
	丘陵区<500 m	210.00	4.10	70.53	27.80
	低山区 500~1000 m	266.00	8.10	70.71	27.89
	中山区 1000~3500 m	175.00	35.00	64.72	30.93
有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	阜平县全域	135.80	1.30	22.43	16.74
	丘陵区<500 m	135.80	1.30	22.38	16.72
	低山区 500~1000 m	112.40	2.40	22.41	16.81
	中山区 1000~3500 m	88.10	4.10	26.41	18.03
速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	阜平县全域	472.00	16.00	75.43	39.29
	丘陵区<500 m	360.00	16.00	75.21	39.01
	低山区 500~1000 m	472.00	21.00	74.75	39.36
	中山区 1000~3500 m	367.00	46.00	83.78	45.67

表 4 不同海拔梯度养分分布占比 %

测定项目	区域	极高	很高(强碱性)	高(碱性)	中(中性)	低(酸性)	极低(强酸性)
pH	阜平县全域		0.00	22.83	65.42	11.75	0.00
	丘陵区		0.00	14.98	74.13	10.90	0.00
	低山区		0.00	17.13	68.02	14.85	0.00
	中山区		0.00	34.72	61.11	4.17	0.00
有机质	阜平县全域	2.42	8.46	42.34	45.55	1.03	0.21
	丘陵区	1.83	6.24	42.05	48.50	1.12	0.25
	低山区	3.35	13.65	43.11	38.92	0.84	0.12
	中山区	11.11	22.22	43.06	23.61	0.00	0.00
碱解氮	阜平县全域	1.15	3.53	16.55	43.19	29.75	5.83
	丘陵区	0.79	3.00	15.89	44.68	29.66	5.99
	低山区	1.56	4.07	17.13	40.00	31.38	5.87
	中山区	8.33	15.28	31.94	30.56	13.89	0.00
有效磷	阜平县全域	14.53	29.63	29.99	18.42	6.01	1.42
	丘陵区	8.27	26.36	34.29	22.01	7.64	1.42
	低山区	31.02	38.92	18.80	9.10	1.80	0.36
	中山区	33.33	34.72	20.83	9.72	1.39	0.00
速效钾	阜平县全域	1.57	2.84	11.69	59.86	21.14	2.90
	丘陵区	0.54	1.34	9.55	62.45	23.82	2.29
	低山区	3.76	6.30	16.61	54.91	15.52	2.91
	中山区	11.11	13.89	29.17	44.44	1.39	0.00

2.2 不同海拔梯度土壤养分空间分布特征

由图 1 可以看出,阜平县耕地土壤酸碱度从空间分布上呈现出不规则分布,全域大部分耕地土壤呈现中性,局部呈现出酸性或碱性土壤,其中大片的酸性土壤出现在吴王口乡中部以及砂窝乡中部,而碱性土壤分布在砂窝乡西南部。从数据分析中可以从不同海拔梯度分区中寻找出一定规律性,随海拔的升高碱性土壤、中性土壤和酸性土壤的占比有所改变,中性土壤的占比丘陵区(74.13%)>低山区(68.02%)>中山区(61.11%),碱性土壤占比丘陵区(14.98%)<低山区(17.13%)<中山区(34.72%),酸性土壤占比低山区(14.85%)>丘陵区(10.90%)>中山区(4.17%)。在海拔分区中可以看出中性土壤的占比随着海拔的升高而逐渐降低,碱性土壤占比随海拔的升高而增加,酸性土壤的占比随海拔的升高呈现出先升高后降低的趋势,表明海拔高度提升对阜平县耕地土壤酸碱度有一定影响,需要根据其变化进行土壤酸碱平衡处理,以保证耕地的良好性质^[18]。

阜平县耕地土壤有机质含量从空间分布上呈现出从东南向东北、西北以及西南方向辐射状分布,其含量随辐射方向呈现逐渐递增的趋势。其中耕地有机质含量极高值区分布在吴王口乡西南部、夏庄乡西部以及大台乡北部,而有机质含量较低区域位于史家寨乡南部、王林口镇北部、平阳镇南部以及北果元乡东北部。从海拔梯度分区数据角度来看,呈现出随海

拔的增加有机质均值含量逐渐增加的趋势,即丘陵区(21.85 g/kg)<低山区(21.92 g/kg)<中山区(22.70 g/kg)。结果表明,阜平县耕地土壤有机质含量高海拔大部分地区不缺乏,但在低海拔和部分高海拔的区域需要注重结合配方施肥建议进行有机肥的施用。

阜平县耕地碱解氮含量从空间分布上呈现从东南到西北逐渐升高的趋势,与海拔趋势表现一致。其中碱解氮含量极高值区处于吴王口乡南部、龙泉关镇南部、砂窝乡西南部以及大台乡北部;而低值区分布在夏庄乡中东部、城南庄镇东部、北果元乡大部分区域以及天生桥镇部分地区。从海拔梯度分区数据角度来看,耕地碱解氮的均值含量随着海拔的增加呈现先增加后降低的趋势,即中山区(64.72 mg/kg)<丘陵区(70.53 mg/kg)<低山区(70.71 mg/kg)。该结果表明阜平县东南部的耕地碱解氮含量偏低,需要适量施加氮肥。

阜平县耕地有效磷含量在空间分布上呈现出东南低,向西北逐渐升高的趋势。其中有效磷的极高值区出现在吴王口南部、砂窝乡西南部、天生桥镇南部、夏庄乡南部、城南庄镇西部以及台峪乡北部,而极低值区分布在王林口镇的西南部。从海拔梯度分区可知,耕地有效磷含量的均值随着海拔的升高呈现逐渐增长的趋势,即丘陵区(22.38 mg/kg)<低山区

(22.41 mg/kg) < 中山区 (26.41 mg/kg)。该结果说明丘陵区,尤其是王林口镇缺乏磷素,今后需重视磷肥的施用。

阜平县耕地速效钾含量的空间分布呈现出从东至西逐渐递增的趋势。其中速效钾的极高值区出现在龙泉关镇的西部以及夏庄乡的西部,极低值区域出现在王林口镇中部和大台乡南部。从海拔分区角度,耕地速效钾含量的均值呈现出随着海拔升高先下降后升高的趋势,即低山区 (74.75 mg/kg) < 丘陵区 (75.21 mg/kg) < 中山区 (83.78 mg/kg)。表明阜平县中山区部分地区速效钾含量比较缺乏,需要结合精准配方施肥措施来提高耕地土壤质量。

综上,可以看出阜平县丘陵区和部分低山区、中山区存在土壤养分缺乏状况,其可能由于阜平县全域为山地,耕地分布较为零散,难以管理,施肥量无法跟进以及耕地大多处于河流阶地,土壤多为洪冲积土壤,沙粒较多,结构性差、根系少及疏松多孔,受到雨水冲蚀严重,土壤中大多数有效养分易溶于水,可随水土流失等^[19],影响耕地土壤养分含量。

2.3 土壤各养分与海拔的相关性

由表 5 可知,阜平县耕地有机质、碱解氮、有效磷以及速效钾均与海拔呈极显著正相关关系,表明海拔要素对耕地土壤养分影响极为显著,而土壤 pH 与海拔并没有表现出显著相关性,表明海拔的变化对土壤 pH 影响较小或无影响。

从土壤各个养分与海拔的相关性分析中可以看出,阜平县耕地土壤养分含量的空间分布特征主要是由于海拔的变化而导致的土壤环境发生变化而导致的。其原因可能为随着海拔的升高,土壤的水热环境发生变化,高海拔的降水量增加,温度下降,并且阜平县的中山区拥有着省级自然保护区——银河山自然保护区。随着海拔的升高腐殖质的分解主要受到温度的限制,低温导致的腐殖质分解较为缓慢,以及自然保护区大量的枯枝落叶的累积,以致有机质的积累量高,而有机质作为其他土壤养分的主要来源,碱解氮、有效磷和速效钾的含量也随之会增加,从而在阜平县耕地土壤表现出有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量随海拔的升高而增加,结果与赵超^[20]一致。

2.4 土壤养分变化趋势分析

由表 6 可知,当前阜平县耕地土壤养分与 2012 年测土配方施肥土壤养分相比,全县域耕地有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量分别提升了 1.11%, 3.42%, 0.13%, 6.39%, 其中速效钾含量提升最为显著,而有效磷含量提升不明显,并且土壤养分等级均无变化。

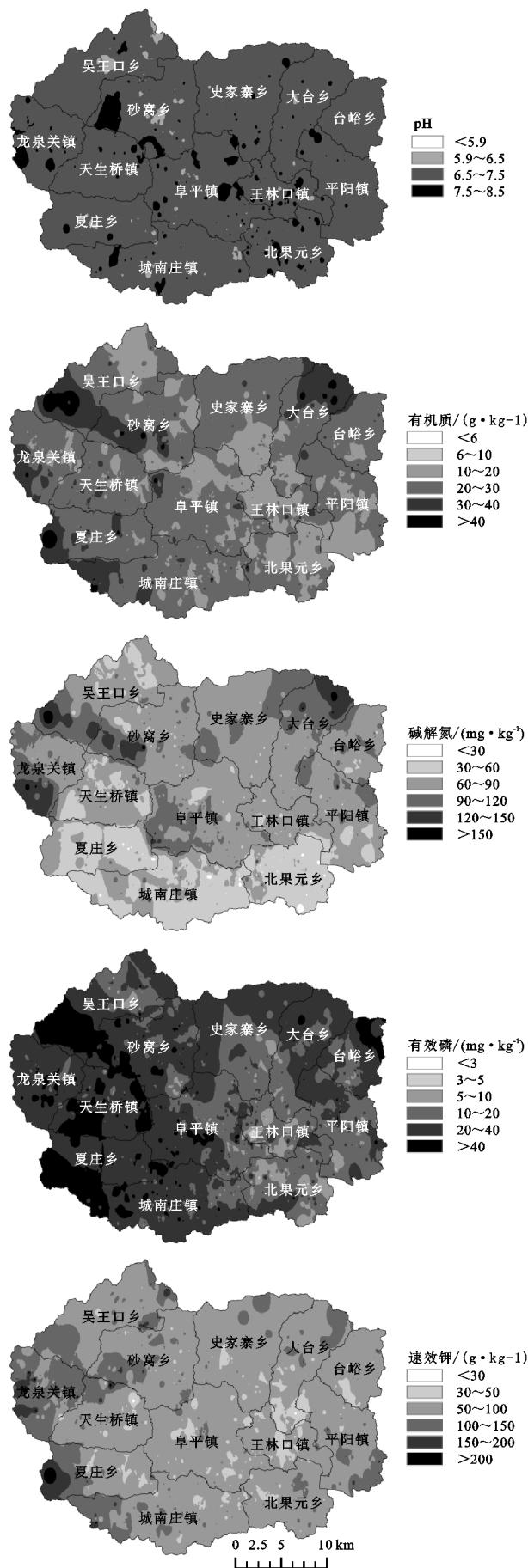


图 1 阜平县各养分空间分布

表 5 土壤各养分与海拔相关性

pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	海拔
0.019	0.196 **	0.145 **	0.385 **	0.317 **	1

注：* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关；* * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

在各个乡域下的土壤养分对比中,土壤有机质含量提高最显著的是北果元乡,提升 17.29%,下降最显著的为夏庄乡,下降幅度为 15.96%,养分等级变化的乡镇为北果元乡,从中等含量提升到高等含量;土壤碱解氮含量提升显著的是北果元乡、夏庄乡和城南庄镇,提升幅度分别为 86.96%,47.80%,25.04%,下降最为显著的为砂窝乡,下降百分比为 8.95%,养分等级变化的有北果元乡、城南庄镇和夏庄乡,由低等含量上升到中等含量等级;土壤有效磷含量提升最为显著的乡镇有北果园乡、史家寨乡以及吴王口乡,提升幅度分别为 70.80%,40.18%,29.20%,下降幅度最为明显的乡镇有天生桥镇和台峪乡,下降率分别为 35.26%,20.04%,养分等级变化的乡镇有阜平镇、台峪乡两者由很高等级降为高等级,而史家寨乡、北果

元乡由高等级提升为很高等级;土壤速效钾含量提升速率明显的乡镇有史家寨乡和天生桥镇,提升幅度分别为 26.18%,21.85%,下降幅度明显的乡镇为平阳镇,下降幅度为 17.47%,并无养分等级变化的乡镇。

在 2012—2018 年这六年中,耕地土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾等养分均有所增加,可能由于阜平县农民这六年中重视把握精准农业,推崇耕地土壤的精准配方施肥以及秸秆还田等措施。且当地农民主要种植玉米、谷子等秸秆作物,秸秆来源充足,秸秆经过人工粉碎,粉碎物经过微生物矿化和腐殖化,产生丰富的有机质和腐殖质为农作物提供大量的有机物料和养分,同时还可以提供作物需要的各种中、微量元素,有利于作物和土壤间养分的供需平衡,并且还具有一定的固氮功能^[21-23]。秸秆还田还可以增加有机物料投入的同时还可以减少土壤水分的流失和减缓土壤的沙化和盐渍化^[24]。在国内外文献中可了解到,同时在秸秆还田的过程中施加各种复合肥可以明显增加土壤速效钾含量和作物产量^[25-26],以上必然引起阜平耕地有机质、氮、磷、钾等养分的增加。

表 6 阜平县 2012—2018 年土壤各养分变化趋势

乡镇	2012 年	2018 年	2012 年	2018 年	2012 年	2018 年	2012 年	2018 年
	有机质/ (g·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
阜平县	21.6	21.84	68.2	70.53	22.4	22.43	70.9	75.43
阜平镇	21.6	21.69	80.2	79.11	21.6	19.84	63.4	65.15
王林口镇	20.7	20.12	72.1	71.95	13.1	13.77	57	59.24
平阳镇	20.2	21.09	75	76.85	17.4	18.52	81.4	67.18
天生桥镇	23.1	21.91	61	68.1	35.2	22.79	62.3	75.91
龙泉关镇	22.9	22.01	86.1	82.28	29.2	31.9	101.1	117.21
台峪乡	21.7	20.44	72.8	73.8	20.7	16.55	59.6	69.16
大台乡	23.5	21.06	82.5	76.91	16.1	18.33	59	66.54
史家寨乡	20.8	21.85	60.8	70.58	16	22.43	59.7	75.33
砂窝乡	23	21.85	77.5	70.56	25.8	22.44	79.2	75.32
吴王口乡	22.2	22.72	69.6	64.7	20.4	26.36	87.5	83.49
北果元乡	18.5	21.7	37.4	69.92	11.9	20.33	71.2	71.94
城南庄镇	22.7	23.53	43.5	54.39	27.8	27.55	73.9	74.21
夏庄乡	26.9	22.61	41.6	61.48	33.1	26.89	61.1	82.56

注:2018 年数据来自阜平县农业局测土配方施肥数据库;2012 年数据来自于文献《2012 年阜平县 13 个乡镇主要农作物配方施肥建议》。

4 结论

当前阜平县耕地土壤养分中有机质、碱解氮、有效磷以及速效钾含量均值分别为 21.84 g/kg,70.53 mg/kg,22.43 mg/kg,75.43 mg/kg,土壤 pH 均值为 7.08。土壤 pH 值主要为中性水平,占比 65.42%;土壤有机质含量、碱解氮含量和速效钾含量均表现为以中等含量水平为主,占比分别为 45.55%,43.19%和

59.86%,处于中等及以上的占比分别为 98.76%,64.42%和 75.96%;土壤有效磷含量主要处于高等含量水平,占比 29.99%,而高等及以上水平占比 74.15%,总体来看阜平县耕地土壤养分状况较为良好。

阜平县耕地养分中有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量在 2012—2018 年变化中增长幅度分别为 1.11%,3.42%,0.13%,6.39%,耕地土壤养分均有增加。并且耕地养分在空间分布上大体从东南向西北

逐渐升高趋势,在不同海拔分区的下的土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量体现出的大致规律为随海拔的升高而升高的趋势。

阜平县全域为山区,海拔落差较大,不同海拔分区的耕地环境条件不同,因此需因地制宜的进行合理配方施肥,其中丘陵区以及史家寨乡南部和吴王口乡北部需要注重有机肥的施用;北果园乡、城南庄镇、夏庄乡以及天生桥镇部分地区需要注重氮肥的施用;王林口镇的有效磷低值区则需要注重磷肥的施用;王林口镇中部和大台乡南部出现速效钾低值区,其需注重钾肥的施用;吴王口乡中部以及砂窝乡中部需要注重酸化土壤的治理,例如施加石灰、有机肥等措施,而砂窝乡西南部则需要施用石膏、硫酸亚铁等。

研究内容更新了阜平县耕地土壤养分状况,其中不足主要为耕地养分指标选取不全面,缺少微量元素,不能准确指导更加细化的作物需要养分的量。

参考文献:

- [1] 赵伟文,梁文俊,魏曦.关帝山不同海拔华北落叶松人工林土壤养分特征[J].江西农业大学学报,2019,41(6):1103-1112.
- [2] 宋轩,李立东,寇长林,等.黄水河小流域土壤养分分布及其与地形的关系[J].应用生态学报,2011,22(12):3163-3168.
- [3] 张彬,杨联安,杨粉莉,等.礼泉县苹果园土壤养分空间变异特征及综合评价[J].土壤通报,2016,47(4):860-867.
- [4] Walker L R, Wardle D A, Bardgett R D, et al. The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development[J]. Journal of Ecology, 2010,98(4):725-736.
- [5] 张友辉.江西山地土壤系统分类和垂直地带性研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [6] 张慧东,尤文忠,魏文俊,等.辽东山区原始红松林土壤理化性质及其与土壤有机碳的相关性分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2018,45(1):76-82.
- [7] Chatterjee S, Santra P, Majumdar K, et al. Geostatistical approach for management of soil nutrients with special emphasis on different forms of potassium considering their spatial variation in intensive cropping system of West Bengal, India[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015,187(4):1-17.
- [8] Orton T G, Rawlins B G, Lark R M. Using measurements close to a detection limit in a geostatistical case study to predict selenium concentration in topsoil[J]. Geoderma, 2009,152(3):269-282.
- [9] Buttafuoco G, Castrignanò A, Colecchia A S, et al. Delineation of management zones using soil properties and a multivariate geostatistical approach[J]. Italian Journal of Agronomy, 2010,5(4):323-332.
- [10] 严玉梅,李水利,李茹,等.陕西省耕地土壤养分现状与分布特征[J].土壤通报,2019,50(6):1298-1305.
- [11] 胡明,韩晨,杨秀英,等.潼关县土壤养分含量及分布特征[J].河南农业科学,2016,45(1):61-64,70.
- [12] 刘合满,曹丽花,曾加芹.藏东南色季拉山沟壑区土壤氮素空间分布特征[J].生态学报,2016,36(1):127-133.
- [13] 钟林忆,徐剑波,蔡德楠,等.粤北山区耕地土壤肥力空间分布及综合评价研究[J].广东农业科学,2015,42(16):37-43,2.
- [14] 李兴民.白龙江林区典型森林植被土壤养分特征[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [15] 吴政,张富春,刘绍贵,等.1984—2014 年仪征市农田土壤酸化驱动因素分析[J].安徽农业科学,2019,47(20):68-72.
- [16] 郑立臣,字万太,马强,等.农田土壤肥力综合评价研究进展[J].生态学杂志,2004,23(5):156-161.
- [17] 黄思远.广西都安县核桃林土壤养分状况及其评价[D].南宁:广西大学,2019.
- [18] 周莉,蒋瑜,苏仕龙,等.罗城县耕地土壤肥力现状与改良措施[J].广西农业科学,2010,41(5):463-466.
- [19] 王全九,杨婷,刘艳丽,等.土壤养分随地表径流流失机理与控制措施研究进展[J].农业机械学报,2016,47(6):67-82.
- [20] 赵超.不同海拔毛竹林土壤特征及肥力评价的研究[D].北京:北京林业大学,2011.
- [21] 张俊华,常庆瑞,贾科利,等.黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J].水土保持学报,2003,17(4):38-41.
- [22] 慕平,张恩和,王汉宁,等.连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J].水土保持学报,2011,25(5):81-85.
- [23] 张聪,慕平,尚建明.长期持续秸秆还田对土壤理化特性、酶活性和产量性状的影响[J].水土保持研究,2018,25(1):92-98.
- [24] 陈浩,张秀英,郝兴顺,等.秸秆还田对农田环境多重影响研究进展[J].江苏农业科学,2018,46(5):21-24.
- [25] 张亚丽,吕家珑,金继运,等.施肥和秸秆还田对土壤肥力质量及春小麦品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(2):307-314.
- [26] Eagle A J, Bird J A, Horwath W R, et al. Rice yield and nitrogen utilization efficiency under alternative straw management practices[J]. Agronomy Journal, 2000,92(6):1096-1103.