

陕西省农田土壤速效钾时空变化及其影响因素

曹 婧^{1,2}, 陈怡平¹, 江 瑶³, 毋俊华^{1,2}, 王 洪^{1,2}

(1.中国科学院地球环境研究所,黄土与第四纪地质国家重点实验室,西安 710061;

2.中国科学院大学,北京 100049;3.西安地球环境创新研究院,西安 710061)

摘要: 分析陕西省农田土壤速效钾时空变化特征及其影响因素,旨在为实现陕西省农田土壤养分分区管理、作物优化施肥和指导陕西省农业生产实践提供科学依据。于 2016—2017 年采集陕西省农田土壤样品 705 份,测定速效钾含量,采用普通克里金插值法进行空间插值分析,探讨其影响因素,在此基础上提出科学分区施肥建议。结果表明:陕西省农田土壤速效钾含量范围为 55~301 mg/kg,不同地貌区速效钾含量排序为关中平原>陕北高原>陕南山区,各行政区速效钾含量排序为咸阳市>渭南市>西安市>宝鸡市>延安市>铜川市>安康市>汉中市>榆林市>商洛市;时间上,陕西省各市 2017 年速效钾含量均值较 1980s 均存在不同程度的涨幅,且关中平原涨幅最大;陕西全省速效钾含量均值为 181 mg/kg,整体处于极高水平,关中平原速效钾含量以 1 级、2 级水平为主,陕北高原和陕南山区速效钾含量以 2 级水平为主;空间上,陕西省速效钾含量整体自北向南呈先递增后递减的趋势,陕北高原速效钾含量自北向南呈递增趋势,延安市西南区域速效钾富集;关中平原咸阳与西安交界处、渭南东北部速效钾明显高于其他区域;陕南山区速效钾含量北部高于南部,商洛市中部速效钾含量较低。陕西省不同地貌区农田土壤速效钾含量时空变化特征差异显著($P<0.05$),与土壤 pH、土壤类型、地形、气候和人为因素有关,建议陕西省各区域结合以上影响因素因地制宜,实施钾肥分区管理,保持土壤钾素盈亏平衡。

关键词: 陕西省; 农田土壤; 速效钾; 时空变异; 影响因素; 地貌类型

中图分类号:S159.9

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2021)05-0296-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2021.05.040

Spatial and Temporal Variation of Soil Available Potassium and Its Influencing Factors in Shaanxi Province

CAO Jing^{1,2}, CHEN Yiping¹, JIANG Yao³, WU Junhua^{1,2}, WANG Hong^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3.Xi'an Institute for Innovative Earth Environment Research, Xi'an 710061)

Abstract: In order to provide scientific basis for the regional management of soil nutrients, the optimization of crop fertilization and the guidance of agricultural production in Shaanxi Province, the temporal and spatial variation of soil available potassium(AK) in Shaanxi Province and its influencing factors were analyzed. A total of 705 soil samples were collected from farmland in Shaanxi Province 2016—2017 to determine the content of available potassium. Common Kriging interpolation method was used for spatial interpolation analysis, and the influencing factors were discussed. On this basis, suggestions for scientific fertilization were put forward. The results were as follows, the AK content in farmland soil of Shaanxi province ranged from 55 mg/kg to 301 mg/kg, and the AK content in three natural geomorphic areas followed the order of Guanzhong plain (GZ)>Northern Shaanxi plateau (SB)>Southern Shaanxi mountainous area(SN), and the AK content in each administrative region followed the order of Xianyang>Weinan>Xi'an>Baoji>Yan'an>Tongchuan>Ankang>Hanzhong>Yulin>Shangluo. In terms of time, compared with 1980s, the average AK content in all cities of Shaanxi Province increased in different degrees in 2017. Among the three natural geomorphic areas, GZ had the largest increase of 82%. The average AK content in Shaanxi Province was 181 mg/kg, which

收稿日期:2021-03-29

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0800500)

第一作者:曹婧(1995—),女,在读博士研究生,主要从事土壤生态研究。E-mail:caojing@ieecas.cn

通信作者:陈怡平(1968—),男,研究员,博士生导师,主要从事土壤生态研究。E-mail:lifesci@ieecas.cn

was at a very high level, and the AK content in GZ was mainly at the first and second levels, while the AK contents in SB and SN were mainly at the second level. Spatially, the AK content in Shaanxi Province increased first and then decreased from north to south, while the AK content in SB increased from north to south, and it was enriched in southwest Yan'an. The AK contents in the junction of Xianyang and Xi'an, the northeast of Weinan in GZ were significantly higher than those in other areas. In SN, the AK content was higher in the north than that in the south, while the AK content in the central part of Shangluo city was lower. The spatial and temporal variation of AK in farmland soil in three natural geomorphic regions of Shaanxi Province were significantly different ($P<0.05$), which was related to soil pH values, soil types, topography, climate and human factors. It was suggested that all regions of Shaanxi Province should implement potassium fertilizer zoning management to maintain the profit and loss balance of soil potassium.

Keywords: Shaanxi Province; farmland; soil available potassium; spatial and temporal variation; influencing factors; geomorphologic types

钾是植物生长发育过程中必不可少的营养元素, 不仅能促进植物光合作用, 还能增强植物的抗倒伏性^[1]。土壤速效钾是植物可以直接吸收利用的元素形态, 通常被视作土壤钾素供给指示器之一^[2]。近年来, 随着化学肥料的大量使用, 我国农业生产出现了作物产量稳定性低、养分利用效率低、土壤养分过量累积等重大问题^[3-4]。土壤适量的钾素供应是作物获得高产的重要基础, 但钾素过量累积不仅会影响作物对钙、镁等阳离子的吸收, 同时还会造成面源污染等一系列环境问题。因此, 理清农田土壤速效钾含量分布现状对于科学施肥, 增效提质至关重要。

由于受到自然因素(包括气候、生物、地形、土壤类型等)和人为因素(包括施肥、耕作制度、灌溉等)的双重影响, 土壤钾素表现出强烈的空间异质性^[5]。掌握土壤养分的空间变异性, 是实现土壤养分分区管理、优化作物施肥, 提高作物产量和品质, 维护国家粮食安全的重要基础。近年来, 省域尺度农田土壤速效钾空间分布越来越被重视, 目前江苏省^[6]、浙江省^[7]及吉林省^[8]等省域农田土壤速效钾空间分布及其影响因素先后被报道。已有研究^[9-12]表明, 农田土壤速效养分含量受土壤理化性质、地形因子、成土母质、土壤类型和施肥等因素共同影响, 具有显著的空间差异。但当前研究仍存在不足之处, 针对实施退耕还林还草等管理措施的生态脆弱区县域耕地土壤养分的时空变异研究仍然较少, 对土壤养分时空变化规律仍缺乏足够了解。

陕西省具有独特的地理优势, 自南向北跨越亚热带、暖温、中温 3 个气候带及湿润、半湿润、半干旱 3 个分水区, 依据地貌类型将其划分为陕南山区、关中平原和陕北高原 3 个自然区^[13]。与第 2 次土壤普查结果相比, 在长期耕作下, 我国各地区土壤速效钾含量均出现不同程度的下降^[3], 但由于我国北方各区土壤钾素含量较为丰富^[14], 增施钾肥和日益扩大的秸秆还田也在很大程度上缓解了钾素亏缺的问题, 但

是, 陕西省农田土壤钾素是过度累积还是短缺, 这个问题尚不清楚。研究陕西省农田土壤速效钾时空变化特征及分级情况, 探讨陕西省土壤 pH、土壤类型、地形、气候和施肥等因素对速效钾时空分布的影响, 旨在为陕西省农田土壤养分分区管理、农业生产增效提质和区域粮食安全提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕西省位于中国内陆腹地(105°29′—111°15′E, 31°42′—39°35′N), 下辖 10 个地级市、30 个市辖区、7 个县级市、70 个县, 总面积为 20.56 万 km²。陕西省地势呈南北高、中间低, 北山和秦岭把陕西分为陕北高原、关中平原、陕南秦巴山区 3 大自然区, 其中黄土高原区总面积约占全省土地面积的 40%, 海拔 900~1 900 m; 关中平原区总面积 4.94 万 km², 海拔 460~850 m; 秦巴山区总面积约占全省土地面积的 36%, 海拔 1 000~3 000 m。陕西省南北气候差异较大。陕南属北亚热带气候, 关中及陕北大部分属暖温带气候, 陕北北部长城沿线属中温带气候。全省年平均气温 9~16℃, 自南向北、自东向西递减。年平均降水量 340~1 240 mm, 降水南多北少, 陕南为湿润区, 关中为半湿润区, 陕北为半干旱区。全省共划分 9 个土纲, 22 个土类, 49 个亚类, 134 个土属, 403 个土种。主要土类有栗钙土、黑垆土、棕壤、褐土、黄棕壤、黄褐土、风沙土、黄绵土、壤土、水稻土、潮土、新积土、沼泽土和盐碱土等。

1.2 样品采集与测定

样品采集工作于 2016 年 9 月至 2017 年 3 月期间展开, 采样地点为陕西省, 采样方法为 5 点布局法, 采样距离为 10 km, 采样单元面积为 10 m×10 m, 合计采集 0—20 cm 土样 705 份, 其中陕北地区 258 份, 关中地区 210 份, 陕南地区 237 份, 采样点分布见图 1。将土壤样品及时带回实验室用于后续分析, 经风

干、研磨、去杂、过筛后,于 2018 年 9—12 月采用乙酸铵浸提—原子吸收分光光度法^[15]测定速效钾。

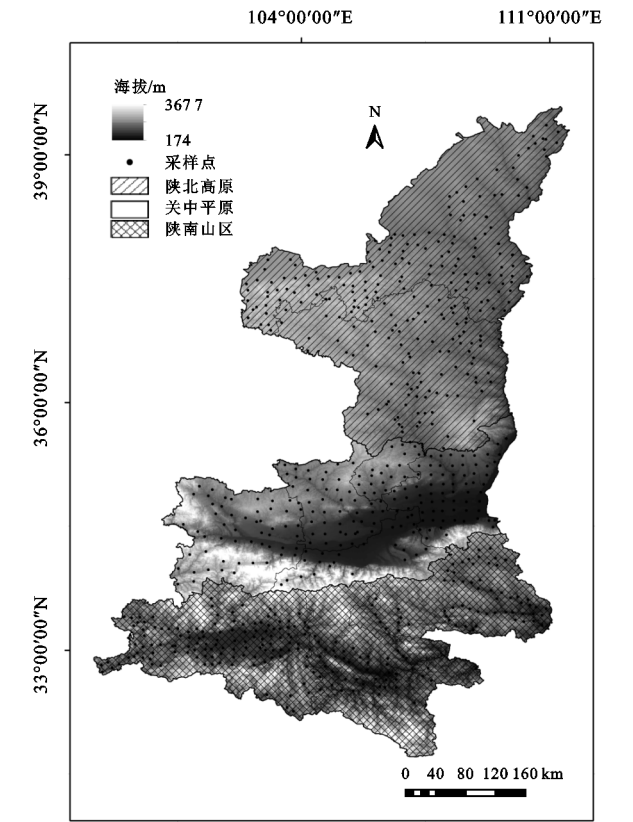


图 1 采样点地理位置

1.3 数据分析

采用 Excel 2016 软件对数据进行常规统计分析,为保证分析结果的可靠性,在 SPSS 22.0 软件中用“平均值±3 倍标准差法”剔除异常值后进行正态检验,单因素方差分析(ANOVA)和皮尔森(Pearson)相关性分析,采用 ArcGIS 10.2 软件普通克里格方法进行空间插值分析与制图,采用 Origin 9.1 软件进行作图。

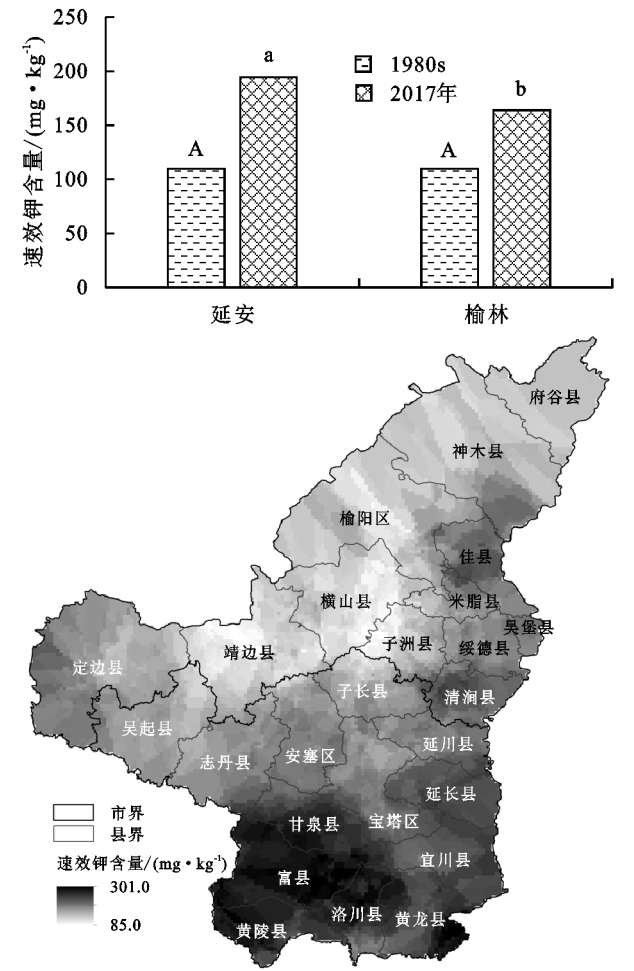
数据来源:借助 ArcGIS 10.2 从 DEM 图提取坡度、坡向、海拔等地形因子及土壤类型,DEM 数据来源于地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>),1980s 陕西省农田土壤速效钾占比比例源自《陕西土壤》^[13]。

2 结果与分析

2.1 陕西省农田土壤速效钾分布特征

2.1.1 陕北高原农田土壤速效钾分布特征 2017 年陕北高原速效钾含量范围为 85~301 mg/kg,榆林市速效钾含量显著低于延安市($P<0.05$)。与 1980s 相比,2017 年榆林市速效钾含量增加 50.1%,延安市速效钾含量增加 76.0%。陕北高原各市速效钾含量变异系数在 10%~100%,属于中等程度变异。空间上陕北高原速效钾含量自北向南呈递增趋势,延安市西南区域(富县、黄陵县、甘泉县、洛川县)的速效钾含量显著高于其他区域($P<0.05$);榆林市佳县、吴堡县、清涧县、绥德县及定边县速效钾含量显著高于其他区

域(图 2)($P<0.05$)。延安市速效钾含量可划分 3 个等级,1 级占 40.6%,2 级占 45.5%,3 级占 13.9%,延安市县域速效钾含量均值在 2 级及以上水平;榆林市速效钾含量可划分 4 个等级,1 级、2 级、3 级、4 级分别占 18.8%,44.8%,36.4%,1.9%。榆林市多数县域速效钾含量均处于 2 级水平,仅靖边县和横山县处于 3 级水平(表 1 和图 3)。



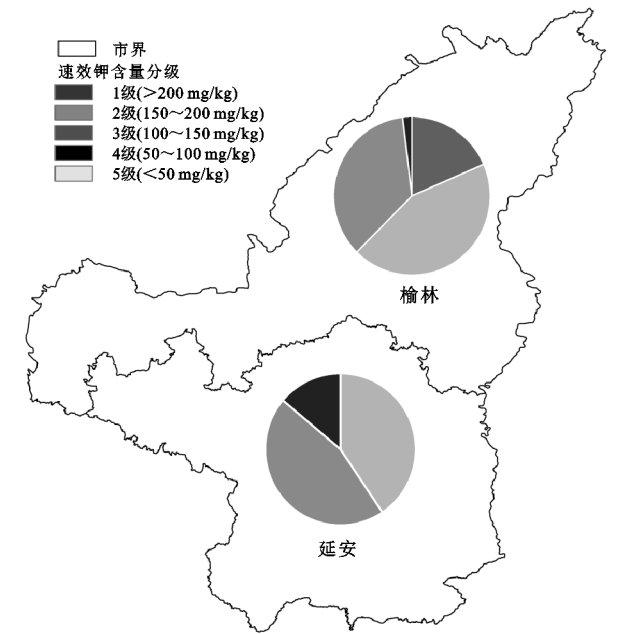
注:图柱上方不同大写字母表示 1980s 速效钾含量差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示 2017 年速效钾含量差异显著($P<0.05$)。下同。

图 2 陕北高原农田土壤速效钾含量分布

表 1 陕北高原县域农田土壤速效钾含量分级

市名	1 级 >200	2 级 150~200	3 级 100~150	4 级 50~100	5 级 <50
榆林		定边县、榆阳县、神木县、子洲县、府谷县、清涧县、米脂县、吴堡县、佳县、绥德县	靖边县、横山县		
延安		洛川县、延长县、黄龙县、甘泉县、富县、子长县	志丹县、宜川县、安塞县、宝塔区、吴起县、延川县		

注:土壤速效钾单位为 mg/kg。下同。



注:肥力等级依据第 2 次全国土壤普查养分含量分级表。下同。

图 3 陕北高原农田土壤速效钾含量分级特征

2.1.2 关中平原农田土壤速效钾分布特征 2017 年关中平原速效钾含量范围为 104~301 mg/kg,5 大行政区速效钾含量均值由大到小顺序为咸阳市>渭南市>西安市>宝鸡市>铜川市(图 4),其中咸阳市和渭南市速效钾含量显著高于宝鸡市和铜川市($P<0.05$)。与 1980s 相比,2017 年铜川市速效钾含量增加 74.6%,宝鸡市速效钾含量增加 77.9%,渭南、西安、咸阳的速效钾含量涨幅均超过 80%,分别为 85.7%,80.4%,91.3%。关中平原各市速效钾含量变异系数在 10%~100%,属于中等程度变异。空间上关中平原中部和东北部速效钾含量明显高于周边区域,宝鸡市和铜川市速效钾含量空间变异不大;除淳化县及周边区域外,咸阳市速效钾含量明显高于其他区域;渭南市的韩城、合阳速效钾含量最高;西安市的长安区和蓝田县速效钾含量明显较低。

铜川市速效钾含量可划分为 3 个等级,1 级、2 级、3 级分别占 35.0%,55.0%,10.0%,各县域速效钾含量均在 1 级、2 级水平;渭南市速效钾含量可划分为 3 个等级,1 级、2 级、3 级分别占 50.0%,45.5%,4.5%,各县域速效钾含量均在 1 级、2 级水平;西安市速效钾含量可划分为 3 个等级,1 级、2 级、3 级分别占 40.9%,45.5%,13.6%,各县域速效钾含量均在 1 级、2 级水平;咸阳市速效钾含量可划分为 3 个等级,1 级、2 级、3 级分别占 52.2%,39.1%,8.7%,各县域速效钾含量均在 1 级、2 级水平;宝鸡市速效钾含量可划分为 3 个等级,1 级、2 级、3 级分别占 40.4%,50.9%,8.8%,各县域速效钾含量均在 1 级、2 级水平(表 2 和图 5)。

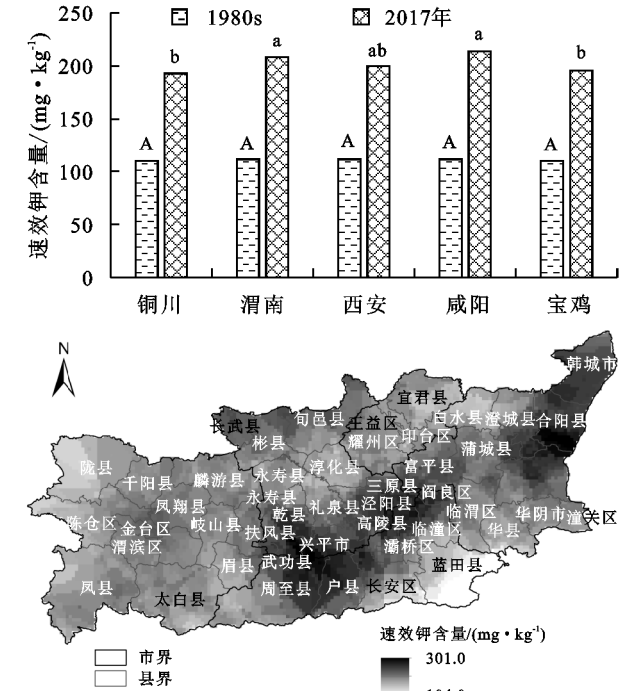


图 4 关中平原农田土壤速效钾含量分布

表 2 关中平原县域农田土壤速效钾含量分级					
市名	1 级 >200	2 级 150~200	3 级 100~150	4 级 50~100	5 级 <50
铜川	耀州区	宜君县、王益区、印台区			
渭南	合阳县、富平县、韩城县、大荔县、蒲城县、潼关县、	澄城县、林威区、华县、白水县、华阴县			
西安	高陵区、临潼区周至县、灞桥区	阎良区、长安区、蓝田县			
咸阳	秦都区、兴平县、泾阳县、乾县、彬县、三原县、武功县、旬邑县	长武县、礼泉县、永寿县、淳化县			
宝鸡	金台区、渭滨区、麟游县、凤翔县	临潼区、千阳县、岐山县、陈仓区、眉县、凤县、陇县、太白县、扶风县			

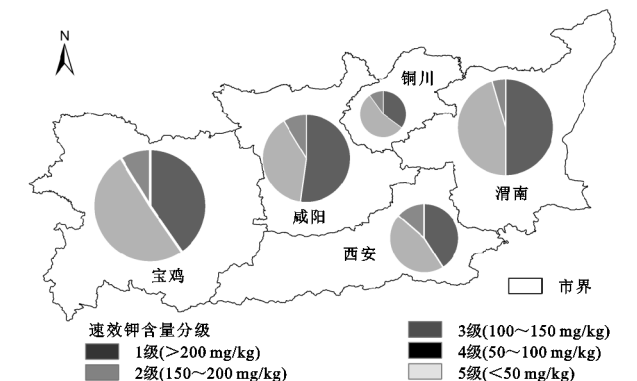


图 5 关中平原农田土壤速效钾含量分级特征

2.1.3 陕南山区农田土壤速效钾分布特征 2017 年陕南山区速效钾含量范围为 55~283 mg/kg,各行政区速效钾含量均值由大到小的顺序为安康市>汉中市>商洛市(图 6),且速效钾含量差异不显著($P<0.05$)。与 1980s 相比,汉中市、安康市、商洛市速效钾含量涨幅依

次为51.8%，56.6%，46.7%。陕南山区各市速效钾含量变异系数均为 10%~100%，属于中等变异。空间上陕南山区速效钾含量自北向南呈递减趋势，商洛市的洛南县、丹凤县和镇安县速效钾含量较高；安康市汉滨区以南的速效钾含量相对较低；汉中市速效钾含量空间差异较大，东部明显高于西部。汉中市速效钾含量可划分 4 个等级，1 级、2 级、3 级、4 级分别占 29.3%，33.6%，37.1%，9.5%，县域速效钾含量均为 3 级及以上水平；安康市速效钾含量可划分 4 个等级，1 级、2 级、3 级、4 级分别占 30.2%，46.5%，23.3%，9.3%，多数县域速效钾含量为 2 级水平，仅白河县为 1 级水平；商洛市速效钾含量可划分 4 个等级，1 级、2 级、3 级、4 级分别占 21.4%，41.1%，37.5%，10.7%，县域速效钾含量均为 2 级、3 级水平(表 3 和图 7)。

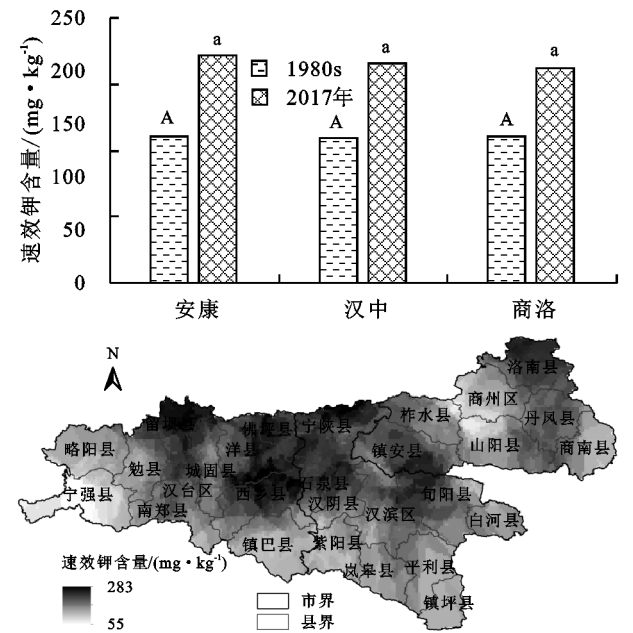


图 6 陕南山区农田土壤速效钾含量分布
表 3 陕南山区县域农田土壤速效钾含量分级

市名	1 级 >200	2 级 150~200	3 级 100~150	4 级 50~100	5 级 <50
安康	白河县	石泉县、汉阴县、旬阳县、汉滨区、紫阳县、平利县			
汉中	留坝县	汉台区、洋县、西乡县、南郑县、城固县、略阳县、勉县	佛坪县、镇巴县、宁强县		
商洛		丹凤县、洛南县、镇安县、山阳县	商州区、商南县		

2.2 基于不同地貌类型的农田土壤速效钾分布特征

2017 年陕西省速效钾含量范围为 55~301 mg/kg，各自然区速效钾含量均值由大到小的顺序为关中平原>北高原>陕南山区。陕西全省和陕北高原速效钾含量差异性不显著，其余各区均差异显著 ($P<0.05$)。与 1980s 相比，陕北高原、关中平原、陕南山区速效钾含量涨幅依次为 63.1%，82.0%，51.7%。3 大自然区变异

系数均为 10%~100%，属于中等程度变异。空间上陕西省速效钾含量中部高、两端低，自北向南呈先增后减的趋势(图 8)。陕北高原速效钾含量可划分为 4 个等级，1 级、2 级、3 级、4 级占比分别为 27.1%，44.6%，27.1%和 1.2%，各市速效钾含量均为 2 级水平；关中平原速效钾含量可划分为 3 个等级，1 级、2 级、3 级占比分别为 45.5%，46.4%，8.1%，渭南市、西安市及咸阳市速效钾含量为 1 级水平，铜川市和宝鸡市为 2 级水平；陕南山区速效钾含量可划分为 4 个等级，1 级、2 级、3 级、4 级占比分别为 25.0%，34.7%，31.4%和 8.9%，各市速效钾含量均为 2 级水平(表 4 和图 9)。

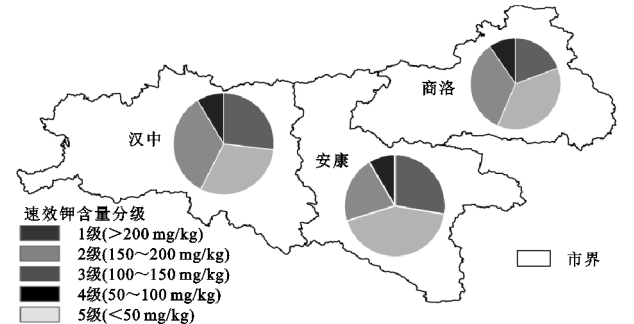


图 7 陕南山区农田土壤速效钾含量分级特征

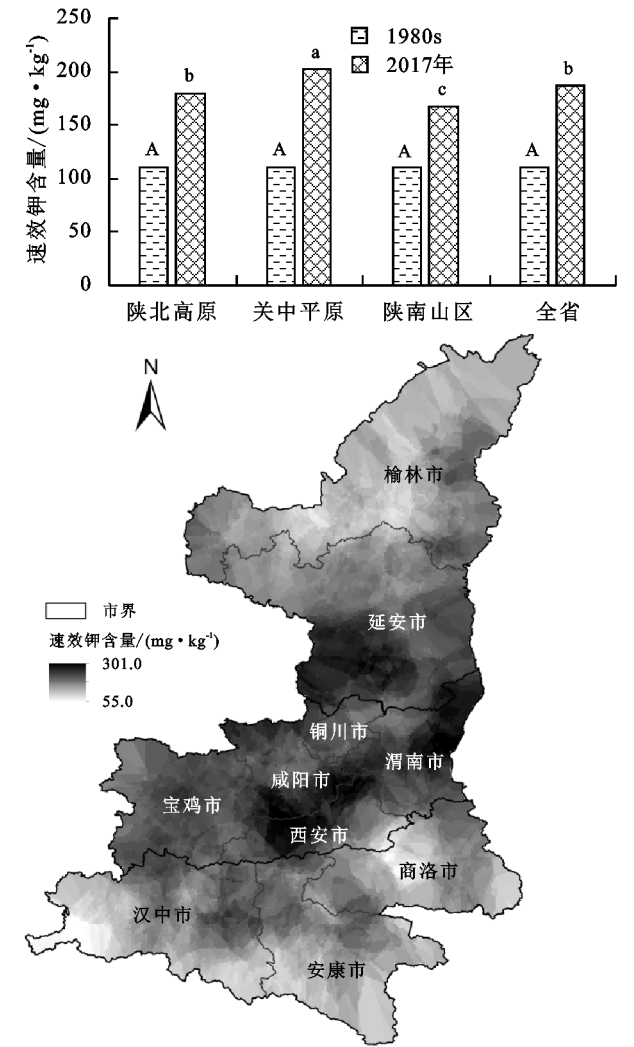


图 8 陕西省农田土壤速效钾含量分布

表 4 陕西全省市域农田土壤速效钾含量分级

区名	1 级 ≥200	2 级 150~200	3 级 100~150	4 级 50~100	5 级 ≤50
陕北	延安市、榆林市				
关中	渭南市、 咸阳市、 西安市	铜川市、宝鸡市			
陕南	商洛市、安康市、汉中市				

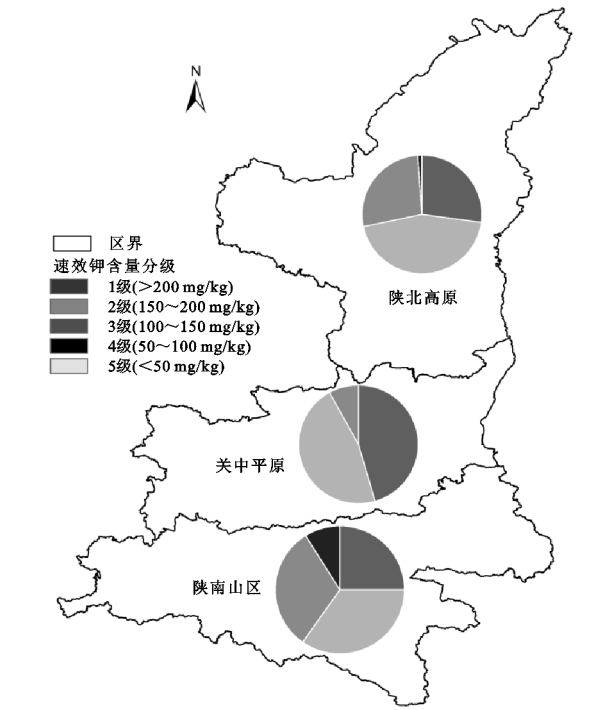


图 9 陕西省农田土壤速效钾含量分级特征

2.3 基于不同类型的土壤速效钾分布特征

2017 年陕西省 14 种典型土壤类型的速效钾含量均值由大到小的顺序为 塿土>黑垆土>珊瑚砂土>褐土>黄绵土>新积土>沼泽土>粗骨土>黄褐土>潮土>风沙土>黄棕壤。其中,黄棕壤、黄绵土、塿土和新积土的样本数较多,此外,方差分析结果表明,塿土的速效钾含量显著高于除黑垆土外的其他土壤类型,黄棕壤的速效钾含量显著低于黄绵土(表 5)($P<0.05$)。已有研究^[3]证实,地表含钾矿物主要为云母和长石类原生矿物及其风化后的次生矿物,不同矿物固钾能力的次序为蛭石>伊利石>云母>高岭石。黄棕壤的黏土矿物以云母、高岭土为主,塿土的黏土矿物以伊利石、蛭石为主,黄绵土和黑垆土的黏土矿物以水云母为主。

2.4 不同因子与土壤速效钾含量的相关性

土壤 pH 不仅能改变土壤溶液中 H^+ 浓度,还能影响土壤酶活性,进而影响土壤中钾的有效性。相关分析结果表明,陕西省农田土壤速效钾含量与土壤 pH 的相关系数为 0.176,呈显著正相关($P<0.01$),速效钾含量随土壤 pH 增加而增加。坡度、坡向和

海拔等地形因子可以通过影响水土流失、局部小气候、土壤侵蚀、矿物沉积等影响土壤速效钾的分布。陕西省农田土壤速效钾含量与坡度和海拔相关系数为-0.185 和-0.111,呈显著负相关($P<0.01$),坡度越大,海拔越高,速效钾含量越低。与坡向相关系数为 0.045,呈正相关,但相关性不显著($P<0.01$)。

表 5 陕西省不同土壤类型速效钾含量

土壤类型	样本数/ 个	最小值/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	最大值/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	平均数/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	标准偏差/ ($mg \cdot kg^{-1}$)
黄绵土	206	92.3	299.4	183.9b	43.8
风沙土	18	85.0	245.2	164.6bc	51.9
潮土	10	125.8	208.9	171.2bc	30.7
褐土	23	85.2	282.9	184.4b	44.8
黄褐土	43	60.0	271.0	171.3bc	52.3
黄棕壤	112	55.4	283.3	160.3c	49.2
珊瑚砂土	39	101.6	284.0	189.0b	32.2
粗骨土	30	59.3	269.7	173.9bc	43.2
塿土	63	110.6	301.3	210.8a	44.7
新积土	69	87.1	293.2	180.1b	44.3
黑垆土	23	131.5	301.0	204.0ab	48.1
沼泽土	18	97.7	296.2	179.5bc	43.6

3 讨论

通过分析陕西省农田土壤速效钾含量的空间分布特征可以发现,陕西全省速效钾含量整体处于极高水平,主要原因是陕西省大部分地区土壤为黄土质土壤,钾含量天然丰富。

此外,已有研究^[13]表明,陕西省农田土壤速效钾含量自北向南呈先递增后递减的趋势,这一方面与土壤类型分布有关,陕北高原榆林市北部的风沙区的土壤类型主要是风沙土,土质疏松,土壤风化侵蚀严重,土壤速效钾含量较低。陕北高原黄土区的土壤类型主要是黄绵土和黑垆土,黑垆土蓄水保墒性强,矿质养分含量丰富,而黄绵土土质疏松,钾离子易流失。塿土和褐土是关中主要的农业土壤,塿土耕种历史最久、有机肥施用最多,导致速效钾积累增加。黄褐土、黄棕壤为陕南主要土壤类型,速效钾含量低与其黏土矿物类型有关;另一方面,与土壤酸碱性有关,陕南山区土壤多呈酸性,酸性条件下,钾的选择结合位点易被 Al^{3+} 或 $Al(OH)_x$ 及其聚合物占据,土壤对钾的固定能力较弱,土壤溶液中 K^+ 增加,流失风险大,导致速效钾含量明显低于土壤多为中性或碱性的陕北及关中地区^[2]。此外,本研究发现,坡度、海拔和坡向等地形因子也与速效钾含量空间分布密切相关,与尹梅等^[16]研究结论一致。

陕南山区海拔高,气候冷湿,生物量减少,土壤酶活性下降,土壤钾素释放缓慢^[17]。陕北高原沟壑纵

横,坡耕地多,水土流失风险较大,土壤速效钾含量相对较低^[18]。关中平原地势起伏较小,速效钾含量相对较高。温度可以通过促进非交换性钾的生物有效性来提升速效钾的含量,在相似干湿区,土壤速效钾含量随着温度的增加而增加,而在相似温度带,土壤速效钾含量随着降雨量的增加而降低^[19-20]。陕南山区高温多雨,土壤钾素易风化淋失,钾离子流失风险大,所以速效钾含量相对关中及陕北地区偏低。

通过分析陕西省农田土壤速效钾含量的时间变化特征可以发现,与 1980s 相比,2017 年陕西省各市速效钾含量均存在不同程度的涨幅,主要与耕作制度、灌溉、施肥量等人为活动有关,这与已有研究^[21]结果一致。已有研究^[22]表明,钾肥能够快速提高土壤中速效钾含量,有机肥对土壤钾库和速效钾的增加效果显著。陕西省近 20 年来农用钾肥、复合肥施用量持续增长^[23],施肥是陕西省农田土壤速效钾含量大幅上涨的一个重要原因。而陕北地区实施退耕还林还草政策后,肥料集约化趋势加强,施肥量增加。刘双安等^[24]探讨延安洛川苹果园养分状况后,提出了“重钾增氮补磷补微”及增施有机肥等培肥措施,致使延安市洛川及附近区域速效钾含量高于其他区域。关中平原经济水平较高,秸秆还田、含钾复合肥的施用及小麦收获时高留茬的推广使土壤速效钾含量盈余,与张亚丽等^[25]研究结论一致。西安市及咸阳市因耕种年代久,土壤钾素输入量大,是速效钾含量明显高于其他区域的原因。

4 结论

(1)陕西全省速效钾含量整体偏高,大多处于 1 级、2 级水平,最低为 4 级水平。2017 年陕西省各市速效钾含量均值较 1980s 均存在不同程度的涨幅,涨幅范围为 47%~91%。陕西省速效钾含量整体自北向南呈先递增后递减的趋势,陕北高原速效钾含量自北向南呈递增趋势,关中平原咸阳与西安交界处、渭南东北部速效钾明显高于其他区域,陕南山区速效钾含量北部高于南部。

(2)根据陕西省速效钾时空差异及其影响因素的研究结果,建议榆林及陕南山区速效钾含量处于 4 级水平的区域可以通过秸秆还田和施加有机肥等方式,适当补充钾素;延安西南部、咸阳、西安、渭南等速效钾含量极高的区域可以选择种植需钾量大的作物,如苹果、马铃薯、烟草等;其余区域应当因地制宜,根据各地土壤 pH、气候、土壤类型、地形的差异,发挥其农业优势,种植适宜的作物,合理施肥,从而保持钾素盈亏平衡。如高海拔区域可以改进灌溉方式,采取滴

灌、漫灌等方式,防止钾素淋溶;土壤呈酸性的区域如陕南山区可以通过调节土壤酸碱度改善农田土壤钾的有效性;土壤质地偏砂、风化严重的区域,应按作物生理期需要分次施肥,重视冬春季施肥。

参考文献:

[1] 董环,娄春荣,王秀娟,等.氮、钾运筹对设施番茄产量、果实硝酸盐含量及土壤硝态氮含量的影响[J].江苏农业学报,2019,35(2):378-383.

[2] 徐晓燕,马毅杰,张瑞平.土壤中钾的转化及其与外源钾的相互关系的研究进展[J].土壤通报,2003,34(5):489-492.

[3] 张福锁,崔振岭,王激清,等.中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J].植物学通报,2007,24(6):687-694.

[4] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.

[5] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:农业出版社,1999:108-110.

[6] 全思懋,管晓进,王绪奎,等.江苏省域农田土壤速效钾含量变化及其影响因子研究[J].土壤,2019,51(2):257-262.

[7] 张丽君,麻万诸,项佳敏,等.浙江省耕地土壤速效钾状况及影响因素分析[J].浙江农业科学,2020,61(4):607-611.

[8] 李春林,陈敏旺,王寅,等.吉林省农田耕层土壤速效磷、钾养分的时空变化特征[J].中国土壤与肥料,2019(4):16-23.

[9] 余世鹏,杨劲松,刘广明,等.我国不同水热梯度带农田土壤速效钾含量的时空变异特征[J].灌溉排水学报,2011,30(2):1-4,67.

[10] Zhang S L, Huffman T, Zhang X Y, et al. patial distribution of soil nutrient at depth in black soil of Northeast China: A case study of soil available phosphorus and total phosphorus[J].Journal of Soils and Sediments,2014,14(11):1775-1789.

[11] 李龙,姚云峰,秦富仓.黄花甸子流域土壤全氮、速效磷、速效钾的空间变异[J].生态学杂志,2015,34(2):373-379.

[12] 王箬,鲁剑巍,张文君,等.田间土壤钾素有效性影响因素及其评估[J].土壤,2012,44(6):898-904.

[13] 陕西省土壤普查办公室.陕西土壤[M].北京:科学出版社,1992.

[14] 谢建昌,周健民.我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J].土壤,1999,31(5):244-254.

[15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1999.

[16] 尹梅,洪丽芳,付利波,等.曲靖市坡耕地土壤养分的空间变异性及其与利用方式的关系[J].土壤通报,2013,44(1):35-41.

[17] 张巧明,王得祥,龚明贵,等.秦岭火地塘林区不同海拔森林土壤理化性质[J].水土保持学报,2012,25(5):69-73.

[9] 苗原,吴会芳,马承恩,等.菌根真菌与吸收根功能性状的关系:研究进展与评述[J].植物生态学报,2013,37(11):1035-1042.

[10] 冯欢,蒙盼盼,豆青,等.菌根真菌与植物共生营养交换机制研究进展[J].应用生态学报,2019,30(10):3596-3604.

[11] 张德闪,李洪波,申建波.集约化互作体系植物根系高效获取土壤养分的策略与机制[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1547-1555.

[12] 鲍士旦.土壤与农业化学分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

[13] 刘洋,赵燃,黎妮,等.超级杂交水稻种子内生细菌群落结构及其多样性[J].食品与发酵工业,2016,42(1):31-36.

[14] 李雪松,Sajjad R,刘占军,等.氮肥及硝化抑制剂配合施用对石灰性土壤二氧化碳释放的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(8):1658-1663.

[15] 严正兵,金南瑛,韩廷申,等.氮磷施肥对拟南芥叶片碳氮磷化学计量特征的影响[J].植物生态学报,2013,37(6):551-557.

[16] 陈柳娟,钟全林,李宝银,等.翅荚木人工林不同径阶间细根主要功能性状与根际土壤养分的关系[J].应用生态学报,2019,30(11):3627-3634.

[17] Zhou Y, Li X, Qin J H, et al. Effects of simultaneous infections of endophytic fungi and arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of their shared host grass *Achnatherum sibiricum* under varying N and P supply[J]. Fungal Ecology,2016,20:56-65.

[18] McCormack M L, Dickie I A, Eissenstat D M, et al. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes [J].The New Phytologist,2015,207(3):505-518.

[19] 田晴,高丹美,李慧,等.小麦根系分泌物对西瓜连作土壤真菌群落结构的影响[J].中国农业科学,2020,53(5):167-177.

[20] Murad N B A, Nor N M I M, Shohaimi S, et al. Genetic diversity and pathogenicity of *Fusarium* species associated with fruit rot disease in banana across Peninsular Malaysia [J].Journal of Applied Microbiology, 2017,123(6):1553-1546.

[21] 李光宇,李田田,李洪连,等.豫皖小麦田麦根腐平脐蠕孢交配型基因检测[J].麦类作物学报,2020,40(8):1015-1021.

[22] 台佳.微结节霉属真菌 *Microdochiummajus* 引起的小麦茎基腐病流行病学研究[D].合肥:安徽农业大学.2019.

[23] Pinzari F, Reverberi M, Pinar G, et al. Metabolic profiling of *Minimedusa polyspora* (Hotson) Weresub & P.M. LeClair, a cellulolytic fungus isolated from Mediterranean maquis, in southern Italy[J].Plant Biosystems,2014,148(2):333-341.

[24] 郭伟,耿珍珍,陈朝,等.模拟氮沉降增加对长白山红松和水曲柳菌根真菌群落结构及多样性的影响[J].生态环境学报,2018,24(1):10-17.

[25] 曾欣,刘树元,李朝辉,等.10 种湿生植物根际真菌群落参数和土壤肥力的比较[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):815-822.

(上接第 302 页)

[18] Yang W D, Wang Z Q, Su G P, et al. Quantitative determination of red-soil erosion by an Eu tracer method [J].Soil and Tillage Research,2008,101(1/2):52-56.

[19] 梁俊捷.气候、地形和土壤性质对我国农田土壤有效钾分布的影响[D].成都:四川农业大学,2018.

[20] He P, Yang L P, Xu X P, et al. Temporal and spatial variation of soil available potassium in China (1990-2012)[J].Field Crops Research,2015,173:49-56.

[21] 占丽平,李小坤,鲁剑巍,等.土壤钾素运移的影响因素研究进展[J].土壤,2012,44(4):548-553.

[22] 宇万太,姜子绍,马强,等.施用有机肥对土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1057-1064.

[23] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2018.

[24] 刘双安,赵繁斌,刘竹梅,等.洛川县苹果园土壤养分状况调查及对策建议[J].陕西农业科学,2004(4):48-50.

[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.