

大荔枣园土壤养分空间分布及土壤肥力综合评价

郭 瑞¹,李静怡¹,郑险峰^{1*},宋晓斌²,李新岗²,张学武²,高文海²

(1.西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨陵 712100;2.西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100)

摘 要:为探究大荔县冬枣产区土壤肥力状况,采集了 303 个有代表性枣园土壤样品,测定了土壤 pH、有机质、硝态 N、铵态 N、碱解 N、有效 P、速效 K、有效 Fe、有效 Mn、有效 Zn、有效 Cu 等指标,用 ArcGIS 软件绘制了土壤有机质和速效 N、P、K 的空间分布图,并应用主成分分析方法对枣园土壤肥力状况进行了综合评价。结果表明,pH 值在各个采样点间的变异性较小,其余土壤肥力指标都存在着较大的变异,并且偏度和峰度>0,属于右偏态尖峰型;整体来看,大荔枣园土壤 pH 偏碱性,碱解 N 含量较为丰富,有效 P 含量中等偏低,速效 K 含量极其丰富,有机质含量较为缺乏。空间分布规律表现为土壤碱解 N、有机质规律一致,东北区域低、其他区域高;有效 P 含量北部高南部低;除东北部少数区域外,土壤速效 K 含量普遍达到丰富或极丰富水平。主成分分析显示,有机质、速效 K、有效 Fe 和有效 P 是影响冬枣园土壤肥力最主要的因素,通过对各乡镇的综合得分均值进行比较,发现各乡镇土壤得分高低与土壤养分空间分布结果相吻合。

关键词:冬枣;养分空间分布;主成分分析;肥力评价

中图分类号:S158.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2021)03-0121-07

Spatial Distribution of the Soil Nutrients and Comprehensive Evaluation of Soil Fertility in Jujube Orchards in Dali

GUO Rui¹, LI Jing-yi¹, ZHENG Xian-feng^{1*}, SONG Xiao-bin², LI Xin-gang², ZHANG Xue-wu²,
GAO Wen-hai²

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: In order to understand the soil fertility status of the winter jujube production in Dali County, Shaanxi Province, 303 soil samples were collected from the jujube orchards and soil pH, organic matter and some nutrient contents were measured. The spatial distribution maps of soil organic matter and available N, P, K were drawn by ArcGIS software, and the method of principal component analysis was adopted to comprehensively evaluate the soil fertility situation of jujube orchards occurring in Dali. The results showed that soil pH had small variations while soil nutrient contents had significant variations with the over zero skewness and kurtosis, belonging to right skewness peak type. In general, the soil was alkaline, the alkali-hydrolyzable nitrogen was rich, the content of available phosphorus was low to the intermediate level eve, the available potassium was extremely rich, and the content of organic matter was insufficient. Both the soil alkali-hydrolyzable nitrogen and organic matter content were low in northeast area and high in other areas. The available phosphorus content was high in north and low in south. The soil available potassium was generally in rich or extremely rich level except for a few areas in northeast. The principal composition analysis showed that organic matter, available potassium, available iron and available phosphorous were the

收稿日期:2020-05-14 修回日期:2020-07-10

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD1000607);西北农林科技大学试验示范站(基地)科技创新与成果转化项目。

作者简介:郭 瑞。研究方向:植物营养与调控。E-mail:1600253556@qq.com

* 通信作者:郑险峰,博士,副教授。研究方向:植物营养与调控。E-mail:zxf260@sohu.com

main factors contributing to soil fertility in winter jujube orchard. The soil fertility scores of each township were consistent with the spatial distribution of soil nutrients content.

Key words: *Ziziphus jujuba* cv. Dongzao; soil nutrient spatial distribution; principal component analysis; soil fertility evaluation

冬枣(*Ziziphus jujuba* cv. Dongzao)为鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Ziziphus*)果树,别名冻枣、雁过红、苹果枣、冰糖枣等,因果实皮薄肉脆、细嫩多汁、品质极佳,而成为我国最著名的鲜食枣品种,栽培面积也最大^[1]。冬枣原产山东、河北、天津等渤海湾一带,有几百年的栽培历史,特别是山东沾化、河北黄骅、天津静海等产区。原产地主要是矮化密植露地栽培,而陕西大荔、山西运城则主要是设施栽培^[2]。以冬枣为代表的鲜食枣,其成熟期含糖量23%~26%,高者可达30%以上;其最大特点是维生素C含量极其丰富,每100 g果肉中维生素C含量高达300~800 mg,比山楂高6~8倍,比桃、苹果、柑橘、葡萄等果品高几十甚至上百倍,比猕猴桃也高数倍^[3-4]。鲜枣营养丰富、甜脆可口,同时还含有多种功能成分^[5-6]。

土壤肥力是土壤的本质属性^[7],能直接影响作物生长和农业生产效益等^[8]。研究表明,果园土壤的养分状况对于果树产量及品质具有重要影响,同时也是果园科学施肥的重要依据^[9-11]。因此,客观科学认识土壤肥力才能更好地利用土壤资源^[12]。大尺度研究土壤养分的空间分布,对于实现区域平衡施肥和精准化农业意义重大,目前大批量的土壤养分室内分析耗费大量的资金并且比较费时费力,地统计及GIS插值技术可以有效解决这一问题^[13]。近年来,主成分分析法(PCA)等数学方法被广泛应用到土壤肥力评价中,土壤肥力评价中指标的选择非常重要,每个理化性状、生物属性都能成为影响土壤肥力状况的最终评价指标,但考虑到获取数据的成本及土壤本身的时空变异性等因素,最好的方法就是从所有的候选指标集中选出一个能最大限度地代表所有候选指标的最小数据集(MDS)^[14]。

大荔具有悠久的红枣栽培历史,20世纪90年代后引种了冬枣,并于2006年转型发展设施冬枣,是我国设施冬枣的集中产区,2019年大荔冬枣设施面积42万亩,年产值约50亿元,2019中国果品区域公用品牌价值榜位列11名,品牌价值44.94亿元,枣类全国排名第一,其管理水平高、经济效益好^[2-3],但目前关于陕西大荔地区冬枣园养分状况的报道还较少。本研究通过采样测定,用ArcGIS软件绘制主要养分的空间分布图,并借助主成分分析方法对土壤肥力状况进行了综合评价,旨在为大荔

冬枣产区合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大荔县位于关中平原东部(109°43′—110°19′E, 34°36′—35°02′N),东临黄河、南依渭河,洛河从境内穿过,三河在境内交汇,为暖温带半湿润半干旱季风气候,年均降水量514 mm,年均气温14℃,光照充足,具有良好的灌溉条件^[15]。土壤质地主要为黏土、石质砂砾土、沙土和壤土,土壤较肥沃,气热状况好,为冬枣生长生产提供了优良的环境。

1.2 样品的采集、处理及测定方法

2018年11月进行了土壤样品的采集,以枣园为采样单元,在大荔县许庄、赵渡、朝邑、安仁、范家、两宜、双泉、羌白、冯村等9个乡镇采集了303个枣园土壤。采样选点时,避开施肥区域,于距离树干1 m处采样,在枣园内按S形布点,多点混合采样。参照测土配方施肥技术规范(2011年修订版),采集每个样点0~30 cm的土壤样品,将其编号入袋,带回实验室,置于阴凉处风干、剔除杂质,制备土样。

有机质采用重铬酸钾外加热法测定;pH值采用电位法测定(水土比为2.5:1);碱解N采用碱解扩散法测定;硝铵态氮采用氯化钾浸提-流动分析仪测定;速效P采用Olsen法测定;速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定;有效Fe、Mn、Cu、Zn采用DTPA浸提-原子吸收分光光度法测定^[16]。

1.3 研究方法

地统计学是一种以区域化变量理论为基础,以半方差函数为主要工具,揭示属性变量在空间上的分布、变异和相关特征的空间分析方法^[17]。主成分分析是将多个指标化为少数几个指标,实现降维的一种统计方法,且可以很好地处理变量间的多重相关性,使彼此之间具有相互独立性^[18]。Kriging插值方法,又称空间局部估计或空间局部插值法,是建立在变异函数理论及其结构分析基础上的,在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏最优估计的一种方法^[19]。

1.4 数据处理

数据经Excel 2016整理后,利用SPSS 19.0软件的描述统计进行平均值、标准差、变异系数、偏度、峰度分析,并且利用SPSS 19.0软件的因子分析进

行主成分分析,使用 ArcGIS 10.5 软件实现土壤养分 Kriging 空间插值分析。

2 结果与分析

2.1 土壤养分描述性统计分析

对 0~30 cm 的土壤进行统计学特征分析,得出土壤养分描述性统计特征(表 1),并参照高义民等^[20]的果园养分分级标准,得出大荔冬枣产区土壤肥力指标等级频率分布(表 1)。

由表 2 可知,大荔冬枣产区土壤养分极小值和极大值之间差异较大,土壤特性空间变异性的大小通常用变异系数(CV)来表示, $CV\leq 10\%$ 为变异性小, $10\%<CV<100\%$ 为变异性中等, $CV\geq 100\%$ 为变异性大^[21]。其中,pH 值的变异性较小,表明在该区域内变化不大,受农业生产的影响较小;有机质、铵态 N、碱解 N、有效 P、速效 K、有效 Fe、有效 Mn、有效 Cu、有效 Zn 的变异性均属于中等变异,硝态氮的变异性较大。全部 11 个土壤属性指标含量的中

位数均低于其均值,说明各土壤属性指标含量主要集中在均值左侧。偏度和峰度分别表示数据的偏斜和陡峭程度,从表中可以看出,pH 的偏度 <0 ,除 pH 外,其他土壤指标的偏度和峰度均 >0 ,属于右偏态尖峰型,其中,有机质的偏度较小,且峰度较低,有效 Mn 和铵态 N 的右偏幅度较大,峰度较高。大荔冬枣产区枣园土壤受自然因素(地形、土质、河流等)和人为因素(枣园管理、施肥等)的影响,总体变异较大,且分布不均匀。

表 1 土壤肥力指标等级频率分布

Table 1 Frequency distribution of soil fertility index grades %					
指标	缺乏	较缺乏	中等	较丰富	丰富
有机质	2.3	50.2	41.3	5.9	0.3
碱解 N	12.5	17.2	20.8	11.9	37.6
有效 P	11.9	31.4	19.1	17.5	20.1
速效 K	0.7	7.6	11.9	14.2	65.7
pH	强酸性	酸性	中性	碱性	强碱性
	0	0	6.3	68.0	25.7

表 2 土壤属性描述统计

Table 2 Descriptive statistics of soil properties

土壤属性	描述统计量								
	N	极小值	中位数	极大值	均值	标准差	变异系数%	偏度	峰度
pH	303	6.64	8.19	9.19	8.20	0.42	5.14	-0.46	0.42
有机质/(g·kg ⁻¹)	303	3.63	9.75	20.16	10.04	2.95	29.39	0.54	0.22
硝态 N/(mg·kg ⁻¹)	303	1.50	40.65	152.11	87.18	127.04	145.72	3.50	18.93
铵态 N/(mg·kg ⁻¹)	303	3.54	6.60	35.40	6.96	3.16	45.33	5.42	41.74
碱解 N/(mg·kg ⁻¹)	303	15.75	78.75	685.76	121.55	111.41	91.66	2.19	5.22
有效 P/(mg·kg ⁻¹)	303	2.89	22.70	181.50	30.48	25.20	82.67	2.43	8.46
速效 K/(mg·kg ⁻¹)	303	83.25	307.15	960.66	335.64	168.22	50.12	1.95	6.73
有效 Fe/(mg·kg ⁻¹)	303	2.23	6.15	26.92	6.86	2.98	43.38	2.05	7.96
有效 Mn/(mg·kg ⁻¹)	303	3.55	12.09	126.82	13.98	11.05	79.00	7.05	59.14
有效 Cu/(mg·kg ⁻¹)	303	0.32	1.34	4.27	1.41	0.52	36.94	1.81	7.26
有效 Zn/(mg·kg ⁻¹)	303	0.18	1.46	8.49	1.83	1.33	72.87	2.28	6.45

由表 2 可知,大荔冬枣产区有 1/2 以上枣园有机质含量较为缺乏,含量达到丰富水平的仅有 6.2%;有接近 1/2 的枣园碱解 N 含量达到丰富水平,29.7%的枣园碱解 N 含量缺乏;有 43.3%的枣园有效 P 含量缺乏,达到丰富水平的占 37.6%;有 79.9%的枣园有效 K 含量达到丰富水平,有 8.3%的枣园含量缺乏;大荔冬枣产区有 93.7%的枣园土壤是碱性,其中,有 25.7%的土壤是强碱性。

2.2 土壤养分空间分布状况

采用 Arcgis10.5 软件,将大荔县冬枣产区 9 个乡镇 303 个采样点枣园的土壤数据进行了整理(部分乡镇没有采样,如下寨镇、苏村镇等,此处不做讨论),剔除了采样点中的异常值,并绘制了大荔枣园 4 种指标的空间分布图(图 1)。

从图 1 可知,大荔县冬枣主产区土壤碱解氮的空间分布格局为东北部分区域含量低、其他地区含量高,其中含量高的乡镇包含冯村镇、许庄镇、安仁镇和赵渡镇,安仁镇大部分地区碱解 N 含量 $>100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;朝邑镇以及大荔东北部范家、两宜、双泉等镇碱解氮含量较低,为 $60\sim 80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;羌白镇北部区域碱解 N 含量较高,为 $80\sim 100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而南部区域含量较低。大荔县冬枣主产区土壤有效 P 含量分布格局为北高南低,其中,冯村镇、范家镇以及许庄镇、双泉镇、两宜镇、安仁镇的部分区域含量 $>40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,含量较为丰富;羌白镇、朝邑镇、赵渡镇以及安仁镇和许庄镇部分区域含量相对较低,为 $10\sim 30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。整体来看,大荔县中南部有效 P 含量适中,西北和东北区域有效 P 含量达到

丰富水平。大荔县冬枣主产区土壤速效 K 含量整体很高,尤其是西北部一带养分含量 $>250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,朝邑镇、赵渡镇、羌白镇和两宜镇的部分区域速效钾含量为 $100\sim250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。整体来看,大荔县速效 K 含量在极其丰富水平,含量低于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的很少。大荔县冬枣主产区土壤有机质

含量分布格局为大荔县东北部含量较低,其中包括范家镇、两宜镇、安仁镇东南部以及赵渡镇北部,养分含量为 $5\sim10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;其他地区有机质含量适中,主要包括许庄镇、冯村镇、双泉镇、朝邑镇、安仁镇西北部以及赵渡镇南部,养分含量为 $10\sim15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

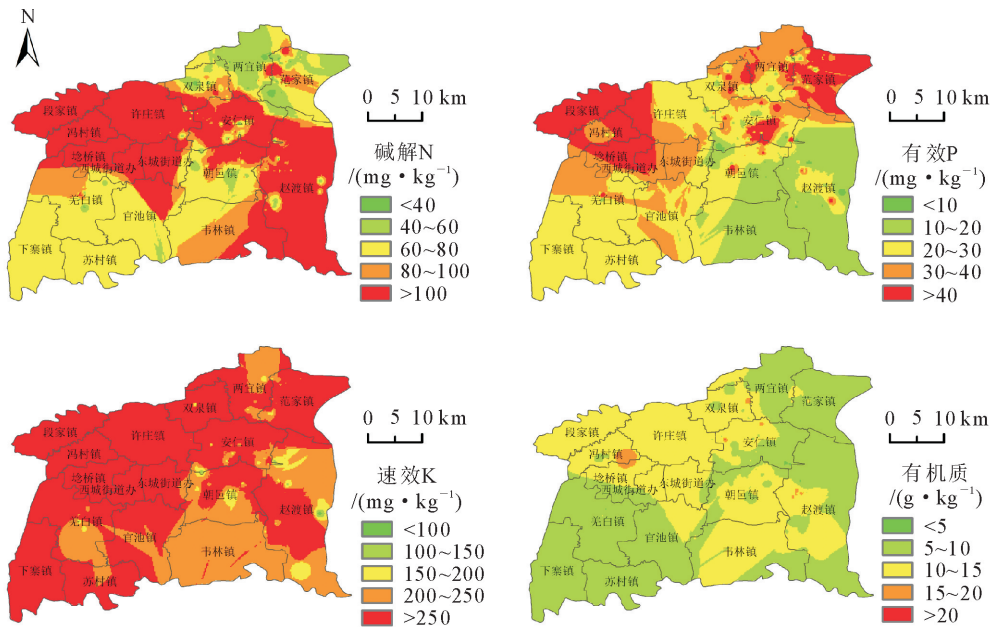


图 1 大荔枣园土壤碱解 N、有效 P、速效 K 和有机质空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of alkali-hydrolyzable nitrogen,available phosphorus,available potassium and organic matter of the soils in Dali jujube orchard

2.3 基于主成分分析的土壤肥力评价

应用 SPSS 19.0 标准化处理 11 项养分指标测定结果,并利用主成分分析计算出各主成分的特征值和贡献率(表 3、表 4)。

表 3 总方差分解

Table 3 Total variance explained

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
1	3.527	32.067	32.067	3.527	32.067	32.067
2	2.129	19.356	51.423	2.129	19.356	51.423
3	1.409	12.809	64.232	1.409	12.809	64.232
4	0.915	8.322	72.554			
5	0.690	6.271	78.825			
6	0.631	5.740	84.564			
7	0.551	5.005	89.569			
8	0.434	3.943	93.513			
9	0.363	3.302	96.814			
10	0.272	2.477	99.292			
11	0.078	0.708	100.000			

由表 3 可知,第 1 主成分(PC1)特征值为 3.527,第 2 主成分(PC2)特征值为 2.129,第 3 主成分(PC3)特征值为 1.409,第 1 主成分影响力度最

大。前 3 个主成分的方差贡献率分别为 32.067%、19.356%和 12.809%,累积贡献率达到 64.232%,表明前 3 个主成分涵盖了原始数据信息总量的 64.232%,3 个主成分信息足以代替原始数据信息。因此,将 3 个主成分作为综合变量来评价大荔冬枣产区的土壤养分状况。

表 4 是前 3 个主成分的载荷矩阵,载荷值越大,该指标与相应主成分的相关性就越大。由表 4 可知,第 1 主成分中有机质和速效 K 有较大的正向载荷,主成分载荷分别为 0.738 和 0.733,说明第 1 主成分是有有机质和速效 K 的综合反映;第 2 主成分中有效 Fe 有较大的正向载荷,载荷值为 0.672,说明第 2 主成分反映了有效 Fe 含量对土壤养分的供给状况;第 3 主成分中速效 P 正向载荷最高,为 0.580,说明第 3 主成分是对土壤速效 P 供给的描述。

主成分是原各指标的线性组合,各指标的权数为特征向量,表示各单项指标对于主成分的重要程度并决定了该主成分的实际意义^[22]。通过计算得到了前 3 个主成分的特征向量矩阵(表 5),根据主成分计算公式,可得到 3 个主成分与原 11 项指标的线性组合函数表达式:

表 4 初始因子载荷矩阵
Table 4 Initial factor loading matrix

指标	主成分		
	1	2	3
pH	−0.437	0.414	0.387
有机质/(g·kg ^{−1})	0.738	0.101	−0.124
硝态 N/(mg·kg ^{−1})	0.628	−0.667	−0.003
铵态 N/(mg·kg ^{−1})	0.364	−0.292	−0.063
碱解 N/(mg·kg ^{−1})	0.662	−0.664	0.011
有效 P/(mg·kg ^{−1})	0.471	0.390	0.580
速效 K/(mg·kg ^{−1})	0.733	0.063	0.362
有效 Fe/(mg·kg ^{−1})	0.505	0.672	−0.267
有效 Mn/(mg·kg ^{−1})	0.265	0.395	−0.719
有效 Cu/(mg·kg ^{−1})	0.610	0.294	−0.245
有效 Zn/(mg·kg ^{−1})	0.611	0.356	0.352

表 5 初始因子特征向量
Table 5 Initial factor feature vector

指标	特征向量		
	1	2	3
pH	−0.233	0.284	0.326
有机质/(g·kg ^{−1})	0.393	0.069	−0.104
硝态 N/(mg·kg ^{−1})	0.334	−0.457	−0.003
铵态 N/(mg·kg ^{−1})	0.194	−0.200	−0.053
碱解 N/(mg·kg ^{−1})	0.353	−0.455	0.009
有效 P/(mg·kg ^{−1})	0.251	0.267	0.489
速效 K/(mg·kg ^{−1})	0.390	0.043	0.305
有效 Fe/(mg·kg ^{−1})	0.269	0.461	−0.225
有效 Mn/(mg·kg ^{−1})	0.141	0.271	−0.605
有效 Cu/(mg·kg ^{−1})	0.325	0.201	−0.206
有效 Zn/(mg·kg ^{−1})	0.325	0.244	0.297

$$F_1 = -0.233X_1 + 0.393X_2 + 0.334X_3 + 0.194X_4 + 0.353X_5 + 0.251X_6 + 0.390X_7 + 0.269X_8 + 0.141X_9 + 0.325X_{10} + 0.325X_{11} \quad (1)$$

$$F_2 = 0.284X_1 + 0.069X_2 - 0.457X_3 - 0.200X_4 - 0.455X_5 + 0.267X_6 + 0.043X_7 + 0.461X_8 + 0.271X_9 + 0.201X_{10} + 0.244X_{11} \quad (2)$$

$$F_3 = 0.326X_1 - 0.104X_2 - 0.003X_3 - 0.053X_4 + 0.009X_5 + 0.489X_6 + 0.305X_7 - 0.225X_8 - 0.605X_9 - 0.206X_{10} + 0.297X_{11} \quad (3)$$

将标准化处理的 11 项养分指标数据代入(1)－(3)式,可得到全部枣园在 3 个主成分上的得分。再根据 $F = \sum b_i F_i = b_1 F_1 + b_2 F_2 + \cdots + b_i F_i$ (b 为方差贡献率),获得函数表达式:

$F_{综} = 0.320\ 67F_1 + 0.193\ 56F_2 + 0.128\ 09F_3$,求得综合主成分表达式后,进而可以求得各个枣园的综合得分 $F_{综}$ 。结果表明,综合得分范围为 −1.31~2.79,图 2 是各乡镇综合得分均值情况,其中,得分最高的是冯村镇,综合得分均值为 0.47,其

次是双泉、范家、许庄、安仁 等镇,而两宜、羌白、赵渡等镇综合得分均值较低,这也与图 1 几种主要土壤养分空间分布的结果基本相近。

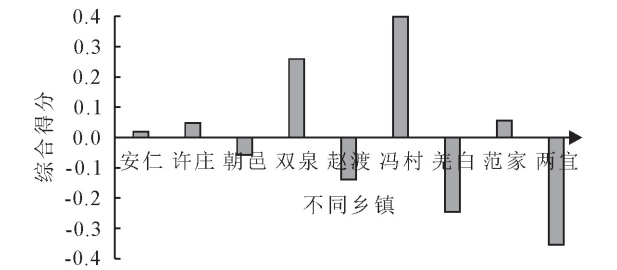


图 2 大荔冬枣产区各乡镇综合得分
Fig. 2 Comprehensive scores of each township in Dali winter jujube production area

3 结论与讨论

土壤肥力的高低能直接对冬枣生长发育以及果实产量和品质造成影响,并且可以作为农户施肥的重要依据。王康振等^[23]研究了 2009 年大荔县农田土壤的养分状况,通过分析 490 个有代表性的农田土壤发现,大荔县土壤以碱性土壤为主,土壤有机质、碱解 N 含量较为缺乏,有效 P 含量达到中等偏低水平,速效 K 含量中等偏上,较为丰富。赵岳等^[24]研究了 2016 年大荔县冬枣园的养分投入状况,认为大荔枣园有机肥施用不足,化肥施用过量,枣农重施养分固定的高浓度复合肥导致的养分投入比例不合理等问题较为突出。

本研究发现 2018 年大荔冬枣产区土壤偏碱性,土壤 pH 受自然环境和人为因素的影响,一些乡镇灌溉水中含有大量的盐分,直接漫灌造成土壤碱性提高。枣树在土壤 pH 值为 5.5~8.5 时都能正常生长发育,具有较高的抗旱、耐盐碱性^[25]。大荔冬枣产区土壤有机质含量整体较为缺乏,尤其是范家、两宜等镇设施栽培以温棚为主,温棚在建棚时要下挖 1 m 以上深度,导致温棚土壤中有机质含量大幅度降低。有研究表明,果园施用有机肥能显著提高土壤中速效养分含量,改善土壤盐碱化状况,提高土壤酶活性^[26]。在化肥中配施有机肥,随着有机肥比例的上升,土壤中的菌群和微生物含量呈现上升的趋势,土壤中的有机质含量增加,果实中的维生素等品质指标的含量也得到提高^[27]。由此可见,施用有机肥对于枣树生长生产以及改善枣园土壤环境具有非常重要的作用。目前大荔设施冬枣存在 4 种棚型,即日光温棚、普通冷棚、钢架双膜冷棚、钢架棉被冷棚^[8],不同棚型枣果成熟期不同,导致经济效益存在较大差距,这也影响了农户对不同棚型结构枣园肥料的投入。碱解 N 整体水平中等偏上,其中范家

镇、两宜镇等地碱解 N 含量较低与人工控 N 促熟有关;有效 P 整体水平中等偏低,其中范家镇、两宜镇等地含量较高,赵渡镇、朝邑镇等地含量较低,这是由于范家、两宜等镇以温棚、钢架棉被棚为主,赵渡、朝邑等镇以普通冷棚为主,不同棚型施肥量上存在差距。速效 K 整体达到了极其丰富水平,这是由于目前有很多农户施基肥选择固定养分配比的复合型肥料,后期追肥选择高 K 水溶肥且投入量很大造成的。值得注意的是土壤速效 K 超过 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的有 36 户,最高值达到 $960.66\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,尽管主成分分析结果认为土壤速效 K 是影响大荔冬枣产区土壤肥力最主要的因素之一,但也应控制 K 肥用量,合理施肥。

大荔冬枣产区土壤有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量大部分为中等或丰富水平。微量元素对于枣树的作用是巨大的,缺乏任何一种元素都有可能影响果树正常的生长发育,引发果树的缺素症,含量过高又会产生毒害。因此,需要在进一步研究冬枣各个生育期对各微量元素需求规律以及不同营养元素之间相互关系(相助与拮抗)的基础上,加强冬枣园微量元素调控,因缺补缺。

大荔县冬枣产区土壤有机质含量较为缺乏,其他土壤指标都在中等或丰富水平,特别是土壤速效 K 含量达到了极其丰富水平。从空间分布来看,总体表现为,土壤碱解 N、有机质东北地区含量较低,其他地区含量较高;土壤有效 P 北高南低;除东北部少数区域外,土壤速效 K 含量普遍达到丰富或极丰富水平。通过主成分分析发现有机质、速效 K、有效 Fe、有效 P 是影响土壤肥力最主要的因素,综合得分较高的有冯村、双泉、范家、安仁等镇,得分较低的包括两宜、羌白、赵渡等镇,这也与几种主要土壤养分空间分布的结果高度吻合。

参考文献:

[1] 曲泽州,王永慧. 中国果树志·枣卷[M]. 北京:中国林业出版社,1993:200-229.

[2] 李新岗. 中国枣产业[M]. 北京:中国林业出版社,2015:105-143.

[3] 康晨煊,苏娟娟,张钟,等. 设施栽培下‘冬枣’果实品质特性研究[J]. 中国果树,2019(3):67-71,119.

[4] 樊保国,李月梅,李登科. 鲜食枣品质性状的综合评价[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):79-82,87.

FAN B G, LI Y M, LI D K. Comprehensive assessment of the quality characters of fresh-jujube cultivars[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 79-82, 87. (in Chinese)

[5] 鲁周民,刘坤,闫忠心,等. 枣果实营养成分及保健作用研究进展[J]. 园艺学报,2010,37(12):2017-2024.

LU Z M, LIU K, YAN Z X, *et al.* Research status of nutrient

component and health functions of *Ziziphus jujuba* Mill. [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37 (12): 2017-2024. (in Chinese)

[6] 薛晓芳,赵爱玲,王永康,等. 不同枣品种果实品质分析及综合评价[J]. 中国果树,2016(3):11-15.

[7] 吴玉红,田霄鸿,同延安,等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志,2010,29(1):173-180.

WU Y H, TIAN X H, TONG Y A, *et al.* Assessment of integrated soil fertility index based on principal components analysis[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(1): 173-180. (in Chinese)

[8] 黄婷,岳西杰,葛玺祖,等. 基于主成分分析的黄土沟壑区土壤肥力质量评价——以长武县耕地土壤为例[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(3):141-147,187.

[9] 哈地尔·依沙克,马合木提·阿不来提,木合塔尔·扎热,等. 骏枣果园土壤养分对果实品质的影响[J]. 西北林学院学报,2017,32(6):140-144.

KADIR E, MAHMUT A, MUHTAR Z, *et al.* Correlation analysis of soil nutrient status and fruit quality of *Zizyphus jujuba* cv. Junzao [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(6): 140-144. (in Chinese)

[10] 窦云萍,牛锐敏,王春良,等. 苹果园土壤养分状况对“红富士”苹果果实品质的影响[J]. 北方园艺,2012(22):162-164.

[11] 张强,魏钦平,蒋瑞山,等. 北京苹果主产区果园土壤理化性状和果实品质评价分析[J]. 园艺学报,2011,38(11):2180-2186.

[12] WIENHOLD B J, ANDREWS S S, KARLEN D L. Soil quality: a review of the science and experiences in the USA[J]. Environmental Geochemistry and Health. 2004, 26(2): 89-95

[13] 吕真真,刘广明,杨劲松,等. 环渤海沿海区域土壤养分空间变异及分布格局[J]. 土壤学报,2014,51(5):944-952.

LÜ Z Z, LIU G M, YANG J S, *et al.* Spatial variability and distribution pattern of soil nutrients in Bohai coastal area[J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(5): 944-952. (in Chinese)

[14] ANDREWS S S, KARLEN D L, MITCHELL J P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in northern California[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 90: 25-45.

[15] 卢婷,王明霞,任蕊,等. 陕西关中地区土地质量地球化学评估[J]. 现代地质,2013,27(4):986-992.

[16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:33-179.

[17] 张金池,李海东,林杰,等. 基于小流域尺度的土壤可蚀性 K 值空间变异[J]. 生态学报,2008,28(5):2199-2206.

[18] 张润楚. 多元统计分析[M]. 北京:科学出版社. 2006.

[19] 刘靖朝,熊黑钢,何旦旦,等. 基于不同人为干扰的土壤全量氮磷钾空间变异性研究[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(1):116-122,159.

LIU J C, XIONG H G, HE D D, *et al.* Spatial variability of total nitrogen, phosphorus, and potassium in soil under different human disturbances[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(1): 116-122, 159. (in Chinese)

[20] 高义民,同延安,路永莉,等. 陕西渭北红富士苹果园土壤有效养分及长期施肥对产量的影响[J]. 园艺学报,2013,40(4):613-622.

GAO Y M, TONG Y A, LU Y L, *et al.* Effects of soil availa-

ble nutrients and long-term fertilization on yield of Fuji apple orchard of Weibei area in Shaanxi,China[J]. *Acta Horticulturae Sinica*,2013,40(4):613-622. (in Chinese)

[21] 宋莎,李廷轩,王永东,等. 县域农田土壤有机质空间变异及其影响因素分析[J]. *土壤*,2011,43(1):44-49.

[22] 张亚鸽,史彦江,吴正保,等. 基于主成分分析的枣园土壤肥力综合评价[J]. *西南农业学报*,2016,29(5):1156-1160.
ZHANG Y G,SHI Y J,WU Z B,*et al.* Assessment on soil fertility status of jujube orchards based on principal component analysis[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*,2016,29(5):1156-1160. (in Chinese)

[23] 王康振,胡明,范逸飞,等. 大荔县农业土壤养分丰缺评价与分析[J]. *中国农学通报*,2018,34(29):64-68.
WANG K Z,HU M,FAN Y F,*et al.* Agricultural soil nutrients evaluation and analysis:Dali County[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2018,34(29):64-68. (in Chinese)

[24] 赵岳,郭瑞,郑险峰,等. 大荔冬枣园土壤肥力检测与评价[J]. *西北农业学报*,2019,28(4):649-656.
ZHAO Y,GUO R,ZHENG X F,*et al.* Soil fertility analysis and evaluation in *Ziziphus jujube* orchards in Dali[J]. *Acta*

Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2019, 28 (4): 649-656. (in Chinese)

[25] 曹尚银,沈程清,张玲,等. 枣不同品种的耐盐性[J]. *经济林研究*,2008(3):29-33.

[26] 刘永青,李玉才,李明军. 土壤局部施加不同种类有机肥对苹果园土壤理化性质和果树养分利用率的改善[J]. *西北林学院学报*,2020,35(1):112-117.
LIU Y Q,LI Y C,LI M J. Improvement of soil physical and chemical properties and nutrient utilization rate of apple trees by localized application of different organic fertilizers[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2020, 35(1): 112-117. (in Chinese)

[27] 木合塔尔·扎热,哈地尔·依沙克,赵蕾,等. 有机肥与化肥配施对土壤微生物、土质及骏枣果实品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*,2017,35(5):182-188.
MUHTAR Z,ABDUKADIR I,ZHAO L. Effects of different application proportion of organic manure and chemical fertilizer on fruit quality of Jun jujube soil microorganism and properties[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2017,35(5):182-188. (in Chinese)

(上接第 87 页)

[31] 王会霞,石辉,张雅静,等. 大叶女贞叶面结构对滞留颗粒粒径的影响 [J]. *安全与环境学报*,2015,15(1):258-262.
WANG H X,SHI H,ZHANG Y J,*et al.* Influence of surface structure on the particle size distribution captured by *Ligustrum lucidum*[J]. *Journal of Safety and Environment*,2015,15(1):258-262. (in Chinese)

[32] 孙晓丹,李海梅,孙 丽,等. 8 种灌木滞尘能力及叶表面结构研究[J]. *环境化学*,2016,35(9):1815-1822.
SUN X D,LI H M,SUN L,*et al.* Study on the dust-retaining capability of eight shrubs and leaf surface structure[J]. *Environmental Chemistry*,2016,35(9):1815-1822. (in Chinese)

[33] 张桐,洪秀玲,孙立炜,等. 6 种植物叶片的滞尘能力与其叶面结构的关系[J]. *北京林业大学学报*,2017,39(6):70-77.

ZHANG T,HONG X L,SUN L W,*et al.* Particle-retaining characteristics of six tree species and their relations with micro-configurations of leaf epidermis. [J]. *Journal of Beijing Forestry University*,2017,39(6):70-77. (in Chinese)

[34] BURKHARDT J,PETERS K,CROSSLEY A. The presence of structural surface waxes on coniferous needles affects the pattern of dry deposition of fine particles [J]. *Journal of Experimental Botany*,1995,46(7):823-831.

[35] 余曼,汪正祥,雷耘,等. 武汉市主要绿化树种滞尘效应研究 [J]. *环境工程学报*,2009,3(7):1333-1339.
YU M,WANG Z X,LEI Y,*et al.* Study on dust detaining effect of major species of greening trees in Wuhan[J]. *Journal of Environmental Engineering*,2009,3(7):1333-1339. (in Chinese)

(上接第 101 页)

[20] 龚垒. 杉木幼树冠层结构与生物量关系的初步研究[J]. *生态学报*,1984,4(3):248-258.
GONG L. A preliminary study on the relationship between canopy structures and biomass of young Chinese firs[J]. *ActaEcologica Sinica*,1984,4(3):248-258. (in Chinese)

[21] 刘兆刚,刘继明,李凤日,等. 樟子松人工林树冠结构的分形分析[J]. *植物研究*,2005,25(4):465-470.
LIU Z G,LIU J M,LI F R,*et al.* Fractal analysis of crown structure in *Pinussylvestrismongolica* plantation[J]. *Bulletin of Botanical Research*,2005,25(4):465-470. (in Chinese)

[22] 徐程扬. 不同光环境下紫椴幼树树冠结构的可塑性响应[J]. *应用生态学报*,2001,12(3):339-343.
XU C Y. Response of structural plasticity of *Tilia amurensis* sapling crowns to different light conditions[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,12(3):339-343. (in Chinese)

[23] 朱春全,雷静品,刘晓东,等. 集约与粗放经营杨树人工林树冠

结构的研究[J]. *林业科学*,2000,36(2):60-68.

ZHU C Q,LEI J P,LIU X D,*et al.* Crown structure of poplar trees in intensive and extensive management plantations[J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2000,36(2):60-68. (in Chinese)

[24] 方升佐,徐锡增,唐罗忠. 水杉人工林树冠结构及生物生产力的研究[J]. *应用生态学报*,1995,6(3):225-230.
FANG S Z,XU X Z,TANG L Z. Studies on the crown structure and biomass production of *Metasequoia glyptostroboides* plantations[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,1995,6(3):225-230. (in Chinese)

[25] 郭诚,汪季,党晓宏,等. 吉兰泰盐湖不同造林方式下梭梭枝系构型特征分析[J]. *西北林学院学报*,2020,35(3):36-42.
GUO Y,WAGN J,DAGN X H,*et al.* Branching architecture analysis of *Haloxylon ammodendron* under different afforestation methods in Jilantai salt lake[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2020,35(3):36-42. (in Chinese)