

甘肃省武山县土壤养分特征及综合肥力评价

吴科生^{1, 2}, 车宗贤^{1, 2*}, 包兴国^{1, 2}, 张久东^{1, 2}, 卢秉林^{1, 2}, 杨蕊菊^{1, 2}

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070;

2. 农业农村部甘肃耕地保育与农业环境科学观测实验站, 甘肃 武威 733017)

摘要: 针对甘肃省武山县施肥管理粗放、土壤养分不均、土壤肥力下降、作物产量不稳等问题, 研究评价其土壤养分和土壤肥力状况, 为科学施肥及土壤养分诊断提供依据。通过采集和检验分析典型土壤样品, 对武山县 62 个耕层 (0 ~ 20 cm) 土样进行取样监测, 用频数分布分析了土壤养分特征, 从土壤养分盈缺入手, 采用改进的内梅罗综合指数法评价了土壤综合肥力状况。结果表明: 武山县土壤 pH 在 7.81 ~ 8.67 之间, 平均值为 8.35, 属弱碱性。有机质含量在 10.55 ~ 23.38 g · kg⁻¹ 之间, 平均值为 14.82 g · kg⁻¹, 处于缺乏范围。全氮含量在 0.67 ~ 1.69 g · kg⁻¹ 之间, 平均值为 1.04 g · kg⁻¹, 处于中等范围。碱解氮在 44.4 ~ 166.3 mg · kg⁻¹ 之间, 平均值为 85.41 mg · kg⁻¹, 处于缺乏范围。全磷含量在 0.69 ~ 3.17 g · kg⁻¹ 之间, 平均值为 1.01 g · kg⁻¹, 处于丰富范围。有效磷含量在 13.1 ~ 248.2 mg · kg⁻¹ 之间, 平均值为 45.07 mg · kg⁻¹, 处于丰富范围。全钾含量在 23.0 ~ 28.0 g · kg⁻¹ 之间, 平均值为 25.04 g · kg⁻¹, 处于丰富范围。速效钾含量在 111.0 ~ 510 mg · kg⁻¹ 之间, 平均值为 248.77 mg · kg⁻¹, 处于丰富范围。综合肥力评价的结果是大量元素综合肥力指数为 2.28, 肥力评价状况处于一般等级。可见, 该地区土壤综合肥力处于中等偏上, 具体表现为有机质和氮素含量缺乏、磷素和钾素丰富。建议采取增加有机肥投入, 适当增氮降磷限钾的化肥施用原则, 这一研究结果可为武山县农业生产中科学平衡施肥提供依据。

关键词: 武山县; 土壤养分特征; 调查评价; 养分盈亏

土壤作为植物生长的重要介质环境, 农业的基本生产资料, 与社会经济紧密联系, 其主要功能就是土壤供肥能力。土壤肥力的高低直接关系到作物产量、农产品品质、农业生产布局和效益以及农业可持续发展等^[1-3]。全面客观地评价土壤肥力对科学合理制定区域农田施肥制度, 提高化肥利用率, 减少过量施肥造成的浪费和污染, 指导农业生产意义重大。土壤肥力评价指标往往因评价对象和目的不同而存在差异。如选取土壤密度和含水率^[4]、土壤物理性质指标^[5]、土壤化学性质指标^[6]、生物性质指标^[7]和土壤养分指标等^[8]。目前, 国内外在评价土壤肥力时采用的方法主要有模糊数学法^[9]、灰色关联度法^[10]、因子分析法^[11]、聚类分析法^[12]、主成分分析法等^[13], 内梅罗指数法多用于土壤污

染和水质评价^[14]。石常蕴等^[15]通过建立评价指标与土壤功能间的关系模型, 确定指标权重得到土壤肥力综合指数。Abbott 等^[16]认为土壤肥力由土壤物理肥力、化学肥力和生物肥力 3 个方面构成, 物理肥力为作物提供生长环境, 化学肥力为作物生长提供营养元素, 生物肥力则是微生物群落对土壤物理、化学肥力以及矿物质营养供应的有力保障。本文以土壤化学肥力为主要评价对象, 通过对武山县代表性典型土壤进行取样和测试分析, 用频数分布方法分析了单肥力指标土壤养分特征, 各种养分指标的变幅区间, 以及对各项单肥力指标进行了评判和界定。从土壤养分盈缺入手, 采用改进的内梅罗综合指数法评价了土壤综合肥力等级, 旨在摸清武山县土壤肥力状况、施肥制度和当地农业生产习惯施肥中存在的问题, 为武山县平衡施肥决策和土壤科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区隶属甘肃省天水市武山县 (104° 34' ~ 108° 08' E, 34° 25' ~ 34° 57' N), 地处渭河上

收稿日期: 2020-03-19; 录用日期: 2020-04-20

基金项目: 国家重点研发计划 (项目编号: 2018YFC1903700)。

作者简介: 吴科生 (1978-), 男, 甘肃武威人, 高级农艺师, 博士, 主要从事土壤肥料及作物栽培方面的研究。E-mail: wukesheng218@163.com。

通讯作者: 车宗贤, E-mail: chezongxian@163.com。

游, 属秦岭西北坡与陇中黄土高原西南边缘复合地带。地势西高东低, 南高北低, 均向河谷川区倾斜。县内海拔在 1340 ~ 3120 m 之间, 属温带大陆性半湿润季风气候, 年平均气温 10.3℃, 年均日照 2331 h, 年降水量 500 mm 左右, 无霜期 240 d, 全县森林覆盖率 19.6%, 夏无酷暑, 冬无严寒, 四季分明, 环境宜居。截止到 2014 年末, 武山县耕地面积共 740.13 km², 其中水浇地 56.88 km², 旱地 683.25 km²。土壤类型有黑垆土、黄绵土、新积土, 土壤质地属少砾质粘壤土, 农化性状优良, 土壤肥沃, 灌溉体系完善。主要种植的粮食作物有小麦、玉米、马铃薯、豆类等, 经济作物有辣椒、番茄、韭菜、胡萝卜、洋葱、蒜苗、莴笋、菜瓜、甘蓝等一年两熟或三熟制蔬菜。

1.2 土壤采集

采集土壤样品前, 对当地肥力等级、种植制度、种植作物种类等因素进行调查和综合分析, 确定以村为单位的土壤采集点, 每村选取以小麦、玉米田为代表性地块, 分别在武山县小麦、玉米、温室大棚的土壤上, 用 GPS 定位每个检验点, 记录每个取样点的经纬度、海拔、前茬作物、采样深度、采样地点、采样时间、采样名称、采样人等信息。每个采样地块在“S”形路线上依次取 5 个点土壤

(0 ~ 20 cm) 组成代表该点的混合土样, 并将同一地块 5 个点上采集的土壤样品混合均匀后, 用“四分法”逐次减少土壤数量, 最终保留约重 1 kg 土壤样品, 装于土壤样品袋, 写好内外 2 个标签, 带回实验室作为分析测试样品待用, 共采集土壤样品 62 个。

1.3 测定项目及方法

土壤养分的测定均采用常规的方法^[17-19]。其中, pH 土水比为 1:2.5 采用 PHS-25 数显 pH 计测定, 土壤有机质的测定采用重铬酸钾氧化-油浴加热法, 土壤全氮的测定采用凯氏定氮法, 碱解氮的测定采用碱解扩散法; 全磷采用氢氧化钠熔融法, 721 型紫外分光光度计测定; 有效磷采用碳酸钠提取-钼锑抗比色, 紫外分光光度法 TU-1901 测定; 全钾采用氢氧化钠熔融, M410 型火焰光度计测定; 速效钾采用乙酸铵提取, M410 型火焰光度法测定。

1.4 数据分析及评价方法

试验数据采用 Excel 2016 软件对数据进行处理, 土壤养分频数分布采用 SPSS 20.0 软件作图并进行统计分析, 依据全国第二次土壤普查技术规程规定的养分分级标准^[20](表 1), 土壤综合肥力评价方法采用修正后的内梅罗指数评价法, 对武山县土壤肥力综合评价。

表 1 土壤养分含量分级标准

级别	有机质 (g · kg ⁻¹)	全氮 (g · kg ⁻¹)	全磷 (g · kg ⁻¹)	全钾 (g · kg ⁻¹)	碱解氮 (mg · kg ⁻¹)	有效磷 (mg · kg ⁻¹)	速效钾 (mg · kg ⁻¹)
丰富	>40	>2.0	>1.0	>25.0	≥ 150.0	>40.0	>200.0
较丰富	30 ~ 40	1.5 ~ 2.0	0.8 ~ 1.0	20.0 ~ 25.0	120.0 ~ 150.0	20.0 ~ 40.0	150.0 ~ 200.0
中等	20 ~ 30	1.0 ~ 1.5	0.6 ~ 0.8	15.0 ~ 20.0	90.0 ~ 120.0	10.0 ~ 20.0	100.0 ~ 150.0
较缺	10 ~ 20	0.75 ~ 1.0	0.4 ~ 0.6	10.0 ~ 15.0	60.0 ~ 90.0	5.0 ~ 10.0	50.0 ~ 100.0
缺乏	6 ~ 10	0.50 ~ 0.75	0.2 ~ 0.4	5.0 ~ 10.0	30.0 ~ 6.0	3.0 ~ 5.0	30.0 ~ 50.0
极缺	<6	<0.50	<0.2	<5.0	≤ 30.0	<3.0	<30.0

表 2 为标准化处理分级标准。选择评价的土壤肥力主要因子: 有机质、pH、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾 8 项指标。按照全国第二次土壤普查的土壤养分分级标准, 对大量元素分为 6 级。其中, 土壤 pH < 4.5 为强酸性, 4.5 ~ 5.5 之间为酸性, 5.5 ~ 6.5 之间为弱酸性, 6.5 ~ 7.5 之间为中性, 7.5 ~ 8.5 之间为弱碱性, 8.5 ~ 9.5 之间为碱性。大量元素的参数分别进行标

表 2 土壤大量元素各属性分级标准

土壤属性	Xa	Xb	Xc	Xd	Xe
有机质 (g · kg ⁻¹)	6	10	20	30	40
全氮 (g · kg ⁻¹)	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
全磷 (g · kg ⁻¹)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
全钾 (g · kg ⁻¹)	5	10	15	20	25
碱解氮 (mg · kg ⁻¹)	30	60	90	120	150
有效磷 (mg · kg ⁻¹)	3	5	10	20	40
速效钾 (mg · kg ⁻¹)	30	50	100	150	200

准化消除各参数之间的量纲差别, 标准化处理方法如下:

当属性值属于差一级时, 即 $C_i \leq X_a$ 时: $P_i = C_i / X_a$, ($P_i \leq 1$);

当属性值属于中等一级时, 即 $X_a < C_i \leq X_b$, $P_i = 1 + (C_i - X_a) / (X_b - X_a)$, ($1 < P_i \leq 2$);

当属性值属于较好一级时, 即 $X_b < C_i \leq X_c$, $P_i = 2 + (C_i - X_b) / (X_c - X_b)$, ($2 < P_i \leq 3$);

当属性值属于好一级时, 即 $X_c < C_i \leq X_d$, $P_i = 3 + (C_i - X_c) / (X_d - X_c)$, ($3 < P_i \leq 4$);

当属性值属于优一级时, 即 $X_d < C_i < X_e$, $P_i = 4 + (C_i - X_d) / (X_e - X_d)$, ($4 < P_i < 5$);

当属性值属于丰富一级时, 即 $C_i > X_e$, $P_i = 5$ 。

以上各式中, P_i 为分肥力系数, C_i 为该属性测定值, X_i 为分级指标 (表 2)。通过标准化后, 同一级别的各属性分肥力系数比较接近, 便于对比分析, 当某属性测定值超过优一级的标准时, 分肥力系数不再提高, 真实反映出植物对某属性的要求并不是越高越好, 与生产实践相符, 如某养分达到丰富级别后, 继续施肥提高其含量对植物的生长并没有好处。

修正的内梅罗公式计算综合肥力系数: $P_{\text{综}} = (n-1) / n \times \{ [(P_{i\text{平均}})^2 + (P_{i\text{最小}})^2] / 2 \}^{1/2}$

式中: $P_{\text{综}}$ 为土壤综合肥力系数, $P_{i\text{平均}}$ 为土壤各属性分肥力系数的平均值, $P_{i\text{最小}}$ 为各分肥力系

数中最小值。采用 $P_{i\text{最小}}$ 代替原内梅罗公式中的 $P_{i\text{最大}}$ 是为了突出土壤属性中最差一项指标对肥力的影响, 即突出限制性因子; 增加修正项 $(n-1) / n$ 是为了反映可信度, 即参评土壤属性项目 n 越多, 可信度越高。本项目采用有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾 7 项指标进行评价, 故而 $n=7$ 。根据计算的大量元素的综合肥力系数给出土壤的肥力评价。土壤综合肥力系数 $P_{\text{综}}$ 在 3.2 ~ 4.0 之间为土壤很肥沃, 在 2.4 ~ 3.2 之间为肥沃, 在 1.6 ~ 2.4 之间为一般, 在 0.80 ~ 1.6 之间为贫瘠, < 0.80 为非常贫瘠。

2 结果与分析

2.1 武山县土壤养分描述性统计

频数分布图可以直观反映样本在总体中的分布情况。对武山县土壤养分进行统计分析 (图 1) 可以看出, 不同养分指标的频数分布不同。8 项养分指标的大多指标都呈现对称或不对称单峰分布。其中, 全钾和碱解氮含量近乎正态分布, 土壤 pH 呈现负偏 (左偏), 其它养分指标含量呈正偏 (不对称, 右偏), 且具有比正态分布曲线更尖峭的峰态。土壤 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾含量的平均值分别为 8.35、14.86 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1.04 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1.01 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、25.07 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、85.59 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、44.64 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 247.50

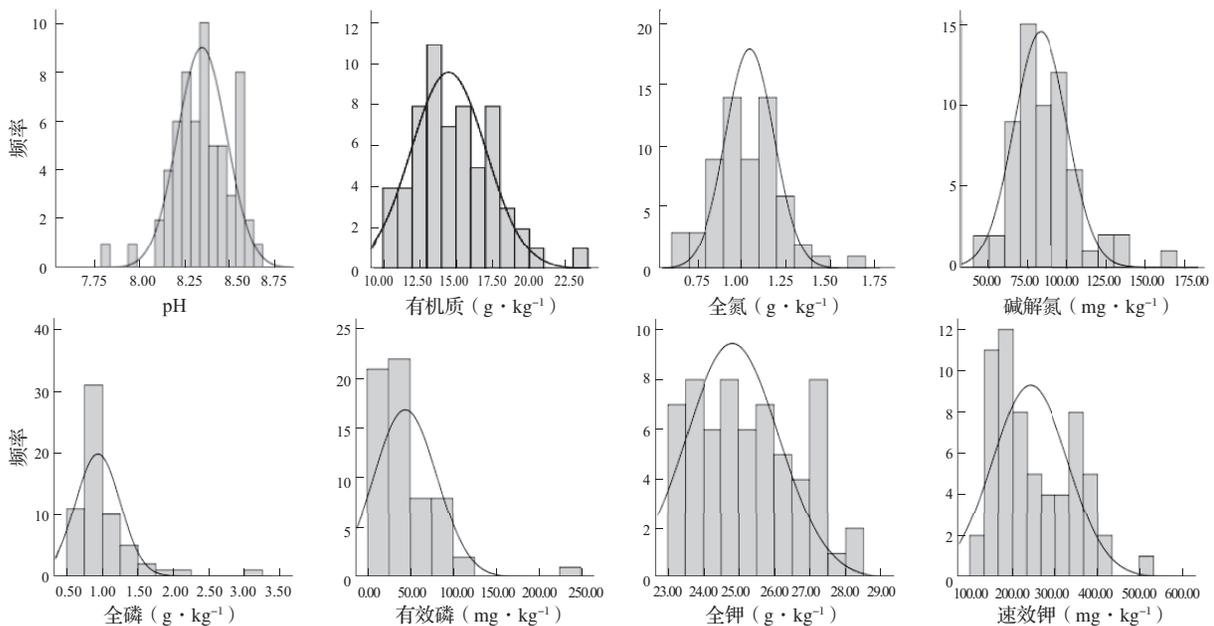


图 1 研究区土壤养分频数分布

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 且从变异系数来看, 除 pH 和全钾含量的变异系数小于 10%, 属于弱变异, 其余 6 项指标变异系数在 10% ~ 100%, 均属于中等变异。

根据土壤养分分级标准 (表 1), 对 8 项指标的频数分布进行分析。土壤 pH 在 7.5 ~ 8.0 之间的样点占 3.2% (弱碱性), 在 8.0 ~ 8.5 之间的占 79.0% (弱碱性), 在 8.5 ~ 9.0 之间的占 17.8% (碱性)。有机质含量在 10 ~ 20 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的样点占 96.8% (缺乏), 在 20 ~ 30 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的仅占 3.2% (中等)。全氮含量在 0.5 ~ 0.75 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的样点占 9.7% (较缺), 0.75 ~ 1.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 37.1% (缺乏), 1.0 ~ 1.5 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 51.6% (中等), 1.5 ~ 2.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的仅占 1.6% (较丰富)。碱解氮含量在 40 ~ 60 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的样点占 6.5% (较缺), 在 60.0 ~ 90.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 54.8% (缺乏), 90 ~ 120.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 30.6% (中等), 在 120 ~ 150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 6.5% (较丰富), 大于 150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的仅占 1.6% (丰富)。全磷含量在 0.4 ~ 0.6 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 9.8%

(缺乏), 在 0.6 ~ 0.8 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 45.2% (中等), 在 0.8 ~ 1.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 21.0% (较丰富), 大于 1.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的占 24.0% (丰富)。有效磷含量在 10 ~ 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的样点占 16.1% (中等), 20 ~ 40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的占 46.8% (较丰富), 大于 40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的占 37.1% (丰富)。全钾含量在 20 ~ 25 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的样点占 46.8% (较丰富), 其余全部大于 25 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的占 53.2%。速效钾含量在 100 ~ 150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的样点占 12.9% (中等), 150 ~ 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的样点占 25.8% (较丰富), 其余全部大于 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的占 61.3% (丰富)。

2.2 土壤肥力综合评价

通过标准化计算处理后, 同一级别的各属性养分肥力系数比较接近, 便于对比分析。从表 3 可以看出, 标准化后各养分指标的变异系数较小, 变幅在 0.03 ~ 0.25 之间。其中土壤全磷含量的变异系数最小, 为 0.03, 土壤有效磷含量的变异系数最大, 为 0.25。其它养分的变异系数都集中在 0.10 ~ 0.18 之间。

表 3 大量元素标准化处理指数

肥力指标	测定值均值	最大值	最小值	标准化均值	标准差	变异系数	综合评价
有机质	14.82	3.34	2.06	2.49	0.27	0.11	缺乏
全氮	1.04	4.38	1.68	2.97	0.53	0.18	中等
碱解氮	85.41	5.00	3.45	4.41	0.55	0.13	缺乏
全磷	1.01	5.00	4.60	4.89	0.15	0.03	丰富
有效磷	45.07	5.00	1.48	2.85	0.72	0.25	丰富
全钾	25.04	5.00	3.39	4.56	0.48	0.11	丰富
速效钾	248.77	5.00	3.22	4.69	0.47	0.10	丰富
综合指数				2.28			肥沃

土壤有机质含有植物生长发育所需要的各种营养元素, 是土壤肥力最为重要的指标。研究区耕层土壤有机质含量测定值变幅为 10.55 ~ 23.38 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 14.82 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据全国第二次土壤普查技术规程规定的养分分级标准评价结果表明该区土壤有机质状况处于较缺等级。土壤全氮含量是土壤氮素养分的储备指标, 在一定程度上能够说明土壤氮的供应能力。研究区的耕层土壤全氮含量测定值变幅为 0.67 ~ 1.69 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 1.04 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据养分分级标准评价

结果表明该区土壤全氮含量状况处于中等。土壤全磷含量是土壤磷素养分的储备指标, 在一定程度上能说明土壤磷的供应能力。研究区的耕层土壤全磷含量测定值变幅为 0.69 ~ 3.17 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 1.01 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据养分分级标准评价结果表明该区土壤全磷含量状况均处于丰富等级。土壤全钾是土壤钾素养分的储备指标, 在一定程度上说明土壤钾的供应能力。研究区的耕层土壤全钾含量测定值变幅为 23.0 ~ 28.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 25.04 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据养分分级标准评价结果表

明该区土壤全钾含量状况均处于丰富等级。土壤中的碱解氮直接能被植物吸收利用,其含量的高低决定了土壤的供氮能力。研究区的耕层土壤碱解氮含量测定值变幅为 $44.4 \sim 166.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $85.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据全国养分分级标准评价结果表明该区土壤碱解氮含量状况处于缺乏等级。土壤有效磷能或易被植物吸收利用,可用以表示近期内(1个生长季)植物可利用磷的多少。研究区的耕层土壤有效磷含量测定值变幅为 $13.1 \sim 248.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $45.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据全国养分分级标准评价结果表明该区土壤有效磷含量状况处于丰富等级。土壤速效钾可以判断土壤钾供应情况以及确定是否需要钾肥及其施用量的重要指标。研究区的耕层土壤速效钾含量测定值变幅为 $111.0 \sim 510.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $248.77 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据全国养分分级标准评价结果表明该区土壤速效钾含量状况均处于丰富等级。土壤 pH 是土壤酸度和碱度的总称,用以衡量土壤酸碱反应的强弱,主要有氢离子和氢氧根离子在土壤溶液中的浓度决定,其值一般都较为稳定。研究区的耕层土壤 pH 的变幅在 $7.81 \sim 8.67$ 之间,平均值为 8.35 。根据全国养分分级标准评价结果表明该区土壤状况为弱碱性等级。通过对各单项指标进行标准化处理,采用改进的内梅罗综合指数法对研究区土壤养分状况进行综合计算,评价结果是研究区的大量元素综合肥力指数为 2.28 , 对照肥力评价等级状况处于肥沃等级。

3 讨论

土壤养分是指氮磷钾等植物需要的营养元素在土壤中的不同存在形态及数量,并能够被作物生长发育吸收利用。土壤肥力是土壤各方面性质的综合反映,包括土壤养分、土壤物理性质、生物化学性质及环境条件等综合性指标,不同的研究者对土壤肥力有不同的理解^[13]。土壤肥力是在适宜的光照、温度、湿度、土壤物理性状条件下,土壤向植物以一定量和比例供应养分的性能^[21]。陈恩凤^[22]认为土壤肥力是土壤的自动调节能力,是对水、肥、气、热等因素的储存和供应能力,肥沃的土壤其吸收容量大、转化释放供应量也大,能较大程度适应植物生长需要和抵抗不良生长条件。侯光炯等^[23]把土壤肥力分为母质肥力、层次

肥力、田块肥力、耕作肥力、气候肥力、地貌肥力、水文肥力和植被肥力。章家恩等^[24]认为土壤肥力是与生物群落(包括动物和微生物)之间长期协同进化、相互适应、相互作用的一种供需平衡状态。熊毅^[25]认为土壤肥力是土壤为植物供应养分和协调营养条件和环境条件的能力,评价土壤肥力要考虑土壤整体的综合因素。随着人们对土壤研究水平和科学手段的不断提高,土壤肥力概念的外延在不断扩大,内涵不断缩小,学者们还倾向于将地貌、水文、气候、植物等环境因子,以及人类活动等社会因子作为土壤肥力系统的组成部分。

土壤肥力综合评价是土壤肥力高低的评判和鉴定,因此不能通过单一的土壤养分氮、磷、钾、有机质等指标进行评价^[26]。目前,通常采用的土壤评价方法有聚类分析法、因子分析法、主分量分析法(主成分分析法、主因素分析法)、判别分析法、因子加权综合法等。本研究应用修正的内梅罗指数法评价土壤综合肥力发现,武山县的土壤有机质含量在 $10.55 \sim 23.38 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $14.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 处于缺乏等级;全氮含量在 $0.67 \sim 1.69 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $1.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 处于中等等级。可见,研究区的土壤有机质含量较低,主要原因是有机肥料投入过少,建议进一步增加有机肥、秸秆等有机物质的投入,为提高土壤综合肥力提供有力保障。土壤全磷、全钾、有效磷、速效钾平均含量分别为 $1.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $25.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $45.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $248.77 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均处于丰富等级,说明土壤供磷和供钾能力较强,土壤磷素和钾素投入有盈余,造成磷钾素在土壤中累积残留量较多,在今后的施肥过程中应该增氮控磷限钾,甚至可以少施或不施用钾肥。通过改进的内梅罗综合指数法对武山县区土壤肥力综合计算的评价结果是大量元素综合肥力指数为 2.28 , 对照肥力评价等级状况处于一般等级,主要原因是虽然土壤有机质和全氮含量缺乏,但全磷、全钾、有效磷和速效钾含量处于丰富范畴,所以综合肥力系数处于一般偏上范围。

4 结论

甘肃省武山县土壤碱解氮和全钾含量接近正态分布,土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、速

效钾含量是正偏(不对称,右偏),而pH呈现负偏(左偏)。土壤有机质含量有96.8%的样点处于缺乏范围。全氮和碱解氮含量有46.8%和61.3%在缺乏以下,51.6%和30.6%处于中等范围,全磷和有效磷含量在中等及丰富以上的样点分别达到45.2%、45.0%和16.1%、83.9%。全钾和速效钾含量在较丰富以上范围的样点分别达到100%和87.1%。

通过改进的内梅罗综合指数法对武山县区土壤肥力综合计算评价结果是大量元素综合肥力指数为2.28,对照综合肥力评价等级标准处于一般等级。建议武山县未来施肥应坚持增加有机肥施用量,并在作物生长关键生育期适当增加氮肥用量,减少施磷量,少施或不施钾肥的施肥策略。

参考文献:

- [1] Yang H S. Resource management, soil fertility and sustainable crop production: experiences of china [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2006, 116 (1-2): 27-33.
- [2] Altieri M A, Nicholls C I. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems [J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 72 (2): 203-211.
- [3] Mader P. Soil fertility and biodiversity in organic farming [J]. *Science*. 2002, 296: 1694-1697.
- [4] 王璐,王海燕,何丽鸿,等. 基于GIS的土壤肥力质量综合评价-以天然云冷杉针阔混交林为例[J]. *土壤通报*, 2016, 47 (5): 1223-1230.
- [5] 高强伟,罗承德,代斌,等. “蜀南竹海”毛竹林土壤物理性质及其影响因子[J]. *林业工程学报*, 2014, 28 (3): 52-55.
- [6] 陈颖,代斌,高强伟,等. 蜀南竹海毛竹林土壤化学肥力质量及其评价[J]. *土壤*, 2015, 46 (6): 1054-1060.
- [7] 刘丽. 蜀南竹海毛竹林土壤生物肥力质量指标与评价[D]. 雅安:四川农业大学, 2014.
- [8] 吴玉红,田霄鸿,侯永辉,等. 基于田块尺度的土壤肥力模糊评价研究[J]. *自然资源学报*, 2009, 24 (8): 1422-1431.
- [9] 董文涛,路明浩,韦大山,等. 基于模糊数学方法的土壤肥力综合评价及应用[J]. *资源开发与市场*, 2011, 27 (6): 511-513.
- [10] 杨奇勇,杨劲松,姚荣江,等. 基于GIS和改进灰色关联模型的土壤肥力评价[J]. *农业工程学报*, 2010, 26 (4): 100-105.
- [11] 段必挺,杨锡永,李发平,等. 基于因子分析的土壤肥力综合评价[J]. *现代农业科技*, 2016 (7): 228-230.
- [12] 王小艳,冯跃华,李云,等. 基于主成分和聚类分析的村域稻田土壤肥力评价[J]. *中国农学通报*, 2014, 30 (33): 46-50.
- [13] 骆东奇,白洁,谢德体,等. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. *土壤与环境*, 2002, 11 (2): 202-205.
- [14] 张金婷,孙华. 内梅罗指数法和模糊综合评价法在土壤重金属污染评价应用中的差异分析[J]. *环境监测管理与技术*, 2016 (4): 27-31.
- [15] 石常蕴,周慧珍. GIS技术在土地质量评价中的应用-以苏州市水田为例[J]. *土壤学报*, 2001, 38 (3): 248-255.
- [16] Abbott L k, Murphy D V. *Soil biological fertility* [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [17] 鲍士旦. *土壤农化分析(第3版)*[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [18] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [19] 鲁剑巍,曹卫东. *测土配方与作物配方施肥技术*[M]. 北京:金盾出版社, 2010.
- [20] 中国土壤调查办公室. *全国第二次土壤普查养分分级标准*[M]. 北京:中国农业出版社, 1979.
- [21] 黎孟波,张先婉. 土壤肥力概念与模式:土壤肥力研究之一[C]//张先婉. *土壤肥力研究进展*. 北京:中国科学技术出版社, 1991.208-213.
- [22] 陈恩凤. 黑土肥力的基础物质和土体构型的某些性质及其相互关系[C]//中国科学院林业土壤研究所. *土壤肥力研究论文集*. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 1984. 1-16.
- [23] 侯光炯,谢德体. 土壤肥力学概要[C]//闻光源. *农业土壤学-侯光炯在宜宾应用研究17年论文集*. 成都:四川科学技术出版社, 2001. 103-137.
- [24] 章家恩,廖宗文. 试论土壤的生态肥力及其培育[J]. *土壤与环境*, 2000, 9 (3): 253-256.
- [25] 熊毅. 我国土壤科学研究的回顾[J]. *土壤*, 1984, 16 (2): 41-45.
- [26] 杨金,马振江,张增旺. 复混肥对秋白菜产量及土壤肥力的影响[J]. *土壤通报*, 1996, 27 (5): 236-238.

Distribution characteristics of soil nutrients in Wushan district in Gansu Province

WU Ke-sheng^{1, 2}, CHE Zong-xian^{1, 2*}, BAO Xing-guo^{1, 2}, ZHANG Jiu-dong^{1, 2}, LU Bing-lin^{1, 2}, YANG Rui-ju^{1, 2} (1. Soil and Fertilizer and Water-saving Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070; 2. The Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the people's Republic of China in Gansu Province Cultivated Land Conservation and Agricultural Environmental Science Observation Experiment Stations, Wuwei Gansu 733017)

Abstract: Aiming at the problems of extensive fertilization management, uneven soil nutrients, soil fertility decline and crop yield instability in Wushan county, Gansu province, this paper studied and evaluated the soil nutrients and soil fertility in order to provide a basis for scientific fertilization and soil nutrient diagnosis. 62 topsoil samples (0 ~ 20 cm) in Wushan county were collected and measured, and the characteristics of soil nutrients were analyzed by frequency distribution. Considering the surplus and deficiency of soil nutrients, the improved Nemeiro comprehensive index method was used to evaluate the comprehensive soil fertility status. The results showed that the soil pH ranged from 7.81 to 8.67, and the average value was 8.35. The contents of organic matter ranged from 10.55 to 23.38 g · kg⁻¹, with an average of 14.82 g · kg⁻¹ which was in the deficient range. The total nitrogen content ranged from 0.67 to 1.69 g · kg⁻¹, with an average value of 1.04 g · kg⁻¹ which was in the medium range. The alkali-hydrolyzed nitrogen ranged from 44.4 to 166.3 mg · kg⁻¹, with an average value of 85.41 mg · kg⁻¹ which was in the deficient range. Total phosphorus content ranged from 0.69 to 3.17 g · kg⁻¹, with an average value of 1.01 g · kg⁻¹ which was in the rich range. The available phosphorus content ranged from 13.1 to 248.2 mg · kg⁻¹, with an average value of 45.07 mg · kg⁻¹ which was in the rich range. The total potassium content ranged from 23.0 to 28.0 g · kg⁻¹, with an average value of 25.04 g · kg⁻¹ which was in the rich range. The available potassium content ranged from 111.0 to 510 mg · kg⁻¹, and the average value was 248.77 mg · kg⁻¹, which was in the rich range. The result of comprehensive fertility evaluation is that the comprehensive fertility index of macronutrients is 2.28, and the fertility evaluation status is at a general level. It can be seen that the comprehensive soil fertility in this area is above average, it is deficient in organic matter and nitrogen, and rich in phosphorus and potassium. It is suggested that the principle of fertilizer application should be adopted to increase the input of organic fertilizer and nitrogen and decrease phosphorus and potassium appropriately.

Key words: Wushan county; characteristics of soil nutrients; variation coefficients; nutrient imbalance