

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.21704

云南葡萄产地土壤酸度分布特征及关键影响因素研究

周洪印^{1, 2, 3}, 李佳蓉^{2, 3}, 龙际柏^{2, 3}, 邓毅书^{3, 4}, 张乃明^{2, 3}, 苏友波^{2, 3},
王 静^{3, 4}, 杨艳清^{3, 4}, 包 立^{2, 3}, 夏运生^{2, 3*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201; 3. 云南省土壤培肥与污染修复工程研究中心, 云南 昆明 650201; 4. 云南农业大学建筑工程学院, 云南 昆明 650201)

摘 要: 为了解云南省葡萄产地的土壤 pH 值状况, 研究葡萄产地不同区域土壤 pH 值的空间分布特征及关键影响因素, 基于调查采样结合 ArcGIS 空间分析方法绘制云南省采样点和不同产地区域土壤 pH 值空间分布图, 并分析了云南省主要葡萄产地区域(建水县、元谋县、宾川县、弥勒市)、不同种植模式(设施栽培、露地栽培)、不同种植年限(0~5、5~10、10~20、20年及以上)土壤 pH 值的分布特征。结果表明: ①云南葡萄土壤 pH 值变化于 4.29~8.30 之间, 强酸性土壤基本分布于弥勒市和元谋县 2 个地区, 微碱性土壤区域主要分布在宾川县, 而建水县的葡萄土壤主要呈现在微酸性和中性之间, 4 个主产区变异系数为元谋县>宾川县>弥勒市>建水县。②不同种植模式能明显影响葡萄产地土壤的 pH 值, 如设施葡萄种植(包括大棚种植和半棚种植)土壤 pH 值较露地葡萄种植明显偏低。③土壤 pH 值随设施葡萄种植年限的增加呈下降的趋势。其中弥勒市葡萄产区土壤酸化情况比较严重, 其地理气候条件(气候湿润多雨、土壤类型为红壤、黄壤及成土母质为砂页岩、花岗岩)、设施栽培时间较长以及长期大量施用酸性或生理酸性肥料等可能是导致土壤酸化的主要原因。总之, 调查研究结果可为云南葡萄主产区酸化土壤的科学管理及分区改良提供理论基础。

关键词: 云南省; 葡萄产地; 土壤酸度; 分布特征; 影响因素

云南省地处中国西南边陲, 最低海拔 76.4 m, 最高海拔 6740 m, 气候条件优越, 自然资源丰富, 为葡萄的种植提供了得天独厚的条件。随着中国葡萄种植区的南移, 云南省成为中国葡萄的主要种植区之一。截至 2015 年底, 全省葡萄栽培总面积约 3.63 万 hm^2 , 其中鲜食葡萄超过 3.17 万 hm^2 , 酿酒葡萄约 0.47 万 hm^2 ^[1], 栽培面积为全国第 7 位, 产量为第 5 位。随着我国鲜食葡萄需求量的不断增加, 葡萄的种植面积也逐年提高, 由于我国土壤具有典型的“南酸北碱”特征, 在设施栽培过程中都明显出现不同程度的土壤酸化现象, 且随着连作年限的增长具有显著加重的趋势^[2-3], 从而造成葡萄产量和品质的下降。因此, 准确揭示区域设施土壤酸化程度及其原因、科学防治和减缓土壤酸化进程

是实现区域农业可持续发展亟待解决的重要问题, 研究该省土壤 pH 值及其变化具有十分重要的意义。Lesturgez 等^[4]的研究表明, 土壤酸度会受到气候、作物类型、土壤类型以及施肥等因素的影响。由于成土母质、气候等原因, 设施环境下, 受棚内高温的影响, 有机质加速分解过程中会产生有机酸和腐殖酸, 超出作物适宜 pH 值范围则会限制作物生长发育。据王朔等^[5]研究结果表明, 西藏自治区拉萨、林芝、山南地区典型葡萄产地设施栽培表层土壤(0~20 cm) pH 值显著低于当地的裸地, 且种植 9 年的设施表层土壤相比裸地土壤 pH 值显著下降 41.21%。李志勇等^[6]、王富国等^[7]、吴士文等^[8]研究发现, 中国部分林地土壤以及菜地、果园、茶园等土壤酸化趋势与日剧增。张小卓等^[9]讨论了云南省主要葡萄种植区土壤肥力特征并进行评价, 结果表明全省碱解氮、pH 值和有机质处于所有肥力指数较低水平。这些研究主要集中在高海拔地区, 而且对云南省仅研究了葡萄种植区土壤肥力的特征, 目前国内外对山地多年生果树设施土壤环境尚未有全面系统的研究, 对于云南设施葡萄产地土壤

收稿日期: 2021-12-26; 录用日期: 2022-05-20

基金项目: 云南省重大科技专项计划项目(202002AE320005)。

作者简介: 周洪印(1995-), 博士研究生, 主要研究方向为设施农业土壤改良。E-mail: 1605202632@qq.com。

通讯作者: 夏运生, E-mail: yshengxia@163.com。

酸化特征及影响因素的系统研究也少见报道。本文以云南省葡萄主产区为研究对象,通过实地调查和土壤采集分析,结合地统计学方法探究了葡萄耕层土壤 pH 值的空间变异特征和区域分布格局,结合相关土壤 pH 值分级标准评价了土壤酸度分布现状,并解析了土壤 pH 值的空间变异与葡萄种植方式、种植年限、土壤气候条件和肥料施用等影响因素的关系,可为设施葡萄种植区土壤的科学管理、合理施肥以及云南葡萄产业的健康发展提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

葡萄产地土壤采样点分别位于云南省大理市宾川县、楚雄州元谋县、红河州建水县和弥勒市

4 个主要葡萄产地地区,其产区基本情况见表 1。云南省位于中国西南边陲,97° 31' ~ 106° 12' E、21° 08' ~ 29° 15' N。东西宽 865 km,南北长 990 km,面积 38.32 万 km²。云南地势呈现西北高东南低的特征,海拔高差较为悬殊,相对平缓的山区只占总面积的 10%,大面积土地高低差参,纵横起伏。由于其地势的特殊性,气候类型复杂多样,兼具低纬气候、季风气候、山原气候的特点,年温差小,日温差大,干湿季节分明,大部分地区年降雨量在 1000 mm 以上,但地域分配极不均匀。土壤类型主要以红壤、赤红壤、砖红壤、紫色土、黄壤、水稻土等为主,土壤成土母质类型多样,主要为酸性结晶岩类的花岗岩等、基性结晶岩类的玄武岩等、紫色岩类和碳酸盐岩类等^[10]。

表 1 云南省葡萄产区基本情况

产区	县/市	年平均降雨量 (mm)	年平均气温 (°C)	年平均日照时数 (h)	≥ 10°C 有效积温 (°C)	无霜期天数 (d)	主栽品种	土壤类型	成土母质
红河流域	建水县	805	19.8	2322.0	6270.4	324	‘夏黑’	砖红壤	花岗岩
	弥勒市	988	17.3	2176.4	5600.0	349	‘玫瑰蜜’ ‘水晶’	红壤、黄壤	砂页岩、花岗岩
干热河谷区域	元谋县	634	21.9	2670.4	7996.1	365	‘夏黑’ ‘红提’	赤红壤	碳酸盐岩、 紫色岩类
	宾川县	559.4	17.9	2736.0	5919.7	298	‘红提’ ‘克伦生’	紫色土、赤红壤	碳酸盐岩

1.2 土壤样品采集与分析测试

2019 年 9 月在云南葡萄主要产地中选择不同种植模式 (设施栽培、露地栽培) 以及不同设施种植年限 (0 ~ 5、5 ~ 10、10 ~ 20、20 年及以上) 的表层土壤,宾川县设施葡萄产地主要以半棚种植为主,故宾川县仅采集半棚葡萄和露天葡萄土壤样品。每个采样县区选择 21 ~ 31 个具代表性的葡萄种植土壤采样点,共计 4 个采样县市区,106 个采样点。每个采样点用梅花形五点法采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤,混合均匀后以四分法取约 1 kg 的土样,自然风干混匀后分别过 0.85、0.25 mm 筛待测,采样期间用 GPS 定位来记录采样区的地理位置。样点分布情况如图 1 所示。

土壤样品分析测试在云南省土壤培肥与污染修复工程实验室完成。pH 值采用蒸馏水以水土比为 5 : 1 浸提后,采用 EZ-9909 五合一水质测试仪

(YierYi, 中国) 测定;有效磷的测定参照《土壤农化分析》^[11];交换性钙的测定选用 NY/T 1121.13-2006《土壤交换性钙的测定》。

1.3 研究方法

统计土壤样点各等级 pH 值的数量与比例,分析云南省葡萄产地土壤酸化总体状况以及不同产地区域土壤酸化状况;利用 ArcGIS 空间分析模块的反距离加权方法进行 pH 值空间插值处理,获得土壤 pH 值的空间分布图,分析 pH 值的空间分布特征;按不同区域对表层土壤的变化情况进行统计分析。土壤 pH 值分级和 pH 值变化分级^[12]如表 2 所示。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 对数据进行统计分析, ArcGIS 作空间分布图, SPSS 20.0 进行 Pearson 相关分析及作图。

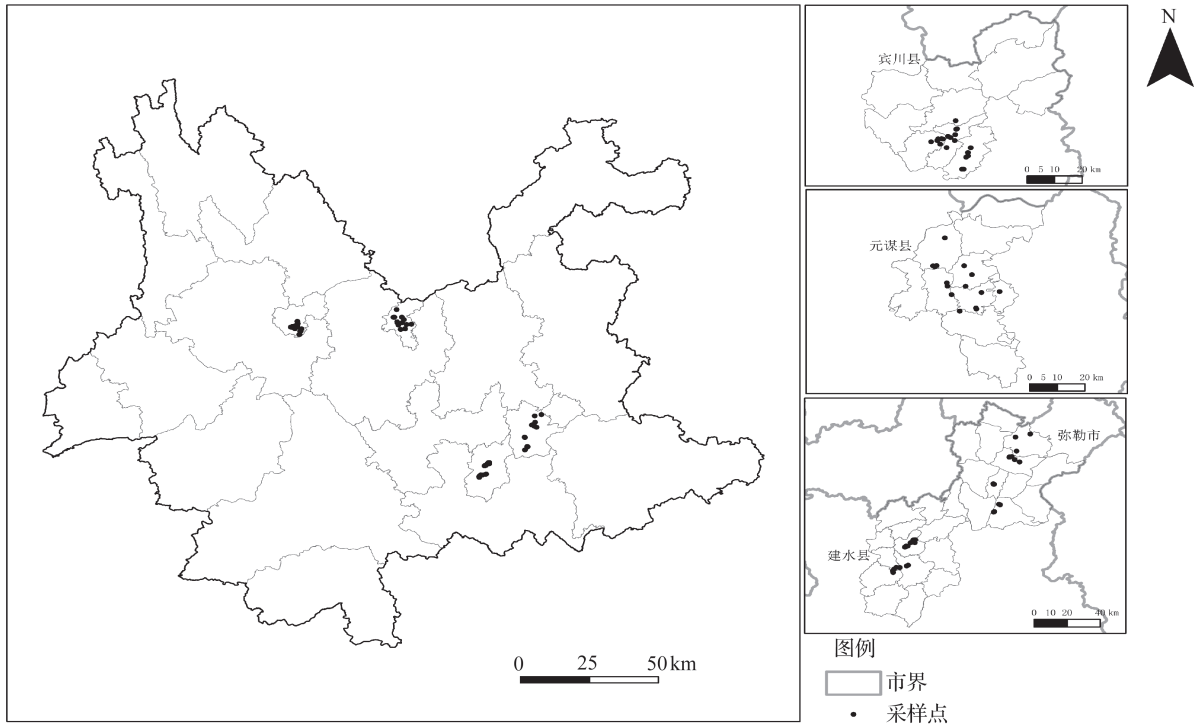


图1 云南省葡萄产地土壤采样点分布情况

表2 土壤 pH 值分级与 pH 值变化分级标准

等级	pH 值分级		pH 值变化分级	
	水平	范围	范围	分级
一	强酸性	<4.5	<-1.0	明显酸化
二	酸性	4.5 ~ 5.5	-1.0 ~ -0.3	弱酸化
三	微酸性	5.5 ~ 6.5	-0.3 ~ 0.3	基本不变
四	中性	6.5 ~ 7.5	0.3 ~ 1.0	弱碱化
五	微碱性	7.5 ~ 8.5	≥ 1.0	明显碱化

2 结果与分析

2.1 云南葡萄主产地土壤酸度的空间分布

根据葡萄土壤 pH 值统计结果 (表 3), 云南省

主要葡萄产地土壤 pH 值范围在 4.29 ~ 8.33 之间, 平均值为 6.30, 变异系数为 0.16, 变异系数反映了 pH 值在区域内的变异程度^[13-14], 说明云南葡萄主产地的土壤酸碱度空间变异较大。

表3 云南省主要葡萄产地土壤 pH 值统计特征

研究区	样品数 (个)	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
云南主要葡萄产地	106	4.29	8.33	6.30	1.02	0.16

图 2 (a、b、c) 反映了云南省葡萄 4 个主产地土壤 pH 值的空间分布情况, 由图 2 可以明显看出 pH 值 <4.5 的强酸性土壤基本分布于弥勒市和元谋县, 说明弥勒市和元谋县需要重视酸化产地土壤的

改良, pH 值 >7.5 微碱性土壤区域主要分布在宾川县, 而建水县的葡萄土壤呈现微酸性和中性, 适宜葡萄的生长。

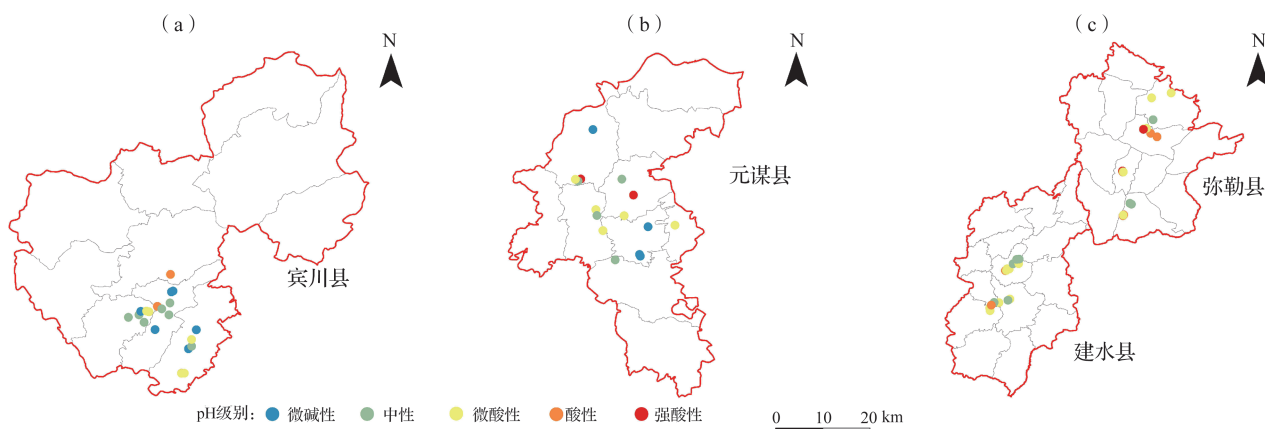


图2 云南省葡萄主产区土壤 pH 值的空间分布

2.2 不同葡萄产地土壤酸度的分区和分级特征

根据4个不同产地土壤 pH 值统计结果(表4), 研究区内 pH 最小值 4.29 分布在弥勒市, 最大值 8.33 分布在宾川县; 建水县和元谋县的 pH 平均值差异不大, 分别为 6.25 和 6.39; 弥勒市的 pH

平均值较低, 为 5.65。元谋县的变异系数为 0.18, 宾川县的变异系数为 0.16, 弥勒市的变异系数为 0.13、建水县的变异系数为 0.11, 结果表明4个主产区葡萄土壤 pH 值的空间差异由大到小为: 元谋县 > 宾川县 > 弥勒市 > 建水县。

表4 云南省不同区域葡萄产地土壤 pH 值统计特征

产地	样品数(个)	pH 值		平均值	标准差	变异系数
		最小值	最大值			
建水县	30	5.04	7.28	6.25	0.70	0.11
元谋县	22	4.32	8.09	6.39	1.17	0.18
弥勒市	30	4.29	6.69	5.65	0.75	0.13
宾川县	24	4.62	8.33	6.66	1.07	0.16

根据表2中土壤 pH 值分级标准, 由各等级样品数分别占总样品数的百分数求得研究区不同 pH 值等级的占比, 结果如图3所示。云南省葡萄产地土壤 pH 值各等级整体呈现一个正态分布的趋势。pH 值在 5.5 ~ 6.5 的弱酸性土壤中占比达到最大, 为 36%, 在所有 pH 等级中, pH 值 <4.5 的强酸性土壤占比最小, 只有 6%, 由此说明研究区内葡萄产地土壤酸碱度总体较为适宜。

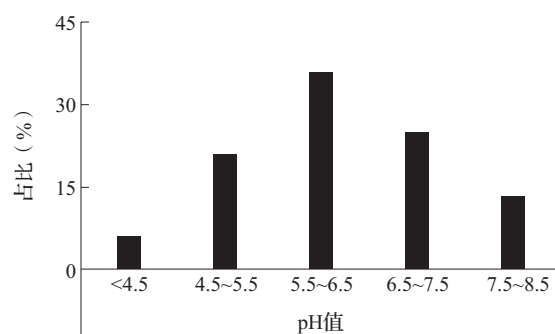


图3 云南省葡萄产地土壤 pH 值各等级占比

图4反映了不同产地土壤 pH 值的分布情况。由图4可见建水县土壤 pH 值集中在 5.5 ~ 6.5, 样品分布频率为 40%, 说明建水县土壤以微酸性为主, 酸性和中性土壤样品分布频率为 23.3%, 强酸性土壤只有个别样品存在, 微碱性土壤样品分布频率为 10%; 元谋县土壤 pH 值分布较极端, 集中在 5.5 ~ 8.5, 样品分布频率为 86.4%, 中性和微碱性土壤分布频率分别为 27.3% 和 22.7%, 酸性和强酸性土壤样品分布频率分别为 4.5% 和 9.0%; 宾川县

土壤以中性为主, 样品分布频率为 33.3%, 微酸性和微碱性土壤样品分布频率为 25%, 酸性土壤分布频率为 16.7%; 弥勒市土壤 pH 值集中在 4.5 ~ 6.5, 酸性和微酸性样品分布频率分别为 33.3% 和 40.0%, 强酸性和中性土壤样品分布频率分别为 10.0% 和 16.7%。由图4还可得, 4个葡萄主产地 pH 值 <4.5 的强酸性土壤的分布频率由高到低为: 弥勒市 > 元

谋县 > 建水县 > 宾川县; pH 值在 4.5 ~ 5.5 的酸性土壤的分布频率由高到低为: 弥勒市 > 建水县 > 宾川县 > 元谋县; pH 值在 5.5 ~ 6.5 的微酸性土壤的分布频率由高到低为: 弥勒市 = 建水县 > 元谋县 > 宾川县;

pH 值在 6.5 ~ 7.5 的中性土壤的分布频率由高到低为: 宾川县 > 建水县 > 元谋县 > 弥勒市; pH 值在 7.5 ~ 8.5 的微碱性土壤的分布频率由高到低为: 宾川县 > 元谋县 > 建水县 > 弥勒市。

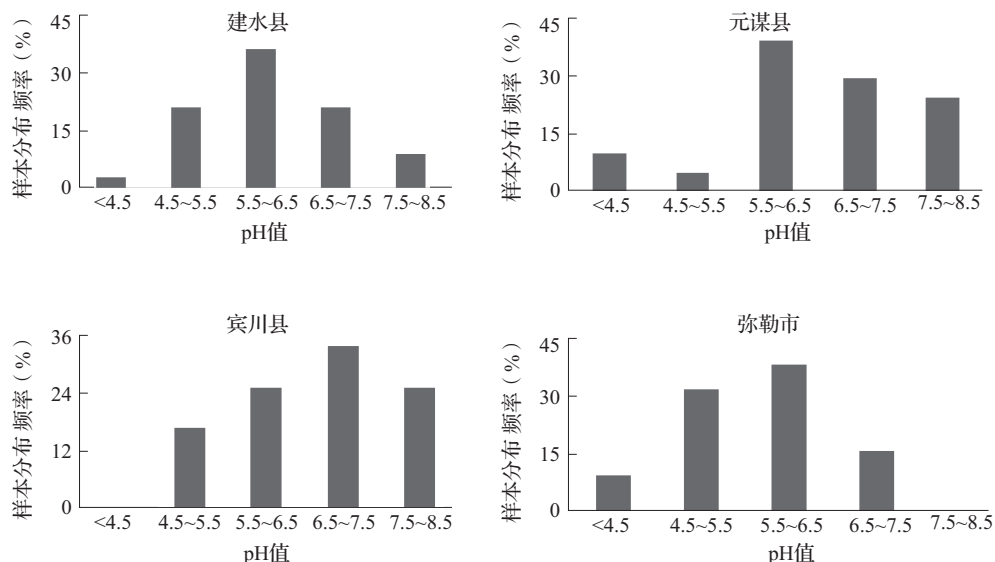


图 4 不同葡萄产地区域土壤 pH 值各等级统计直方图

2.3 葡萄不同产地土壤 pH 值对不同种植模式的响应

如图 5 所示, 宾川县设施半棚葡萄种植土壤 pH 的中位值为 6.35, 置信区间为 6.23 ~ 7.12, 露天葡萄种植土壤 pH 的中位值为 7.17, 置信区间为 6.84 ~ 7.34, 对宾川县葡萄不同种植模式下土壤 pH 的中位值进行差异性比较可以看出, 露天种植土壤 pH 显著高于设施半棚种植, 宾川县葡萄土壤的 pH 对种植模式的响应强弱为露天种植 > 设施半棚种植; 建水县设施大棚葡萄种植土壤 pH 的中位值为 6.08, 置信区间为 5.85 ~ 6.38, 设施半棚葡萄种植土壤 pH 的中位值为 6.32, 置信区间为 5.86 ~ 6.62, 露天葡萄种植土壤 pH 的中位值为 6.62, 置信区间为 6.56 ~ 6.70, 对建水县葡萄不同种植模式下土壤 pH 的中位值进行差异性比较可以得出, 建水县葡萄土壤 pH 值对种植模式的响应强弱为露天种植 > 设施半棚种植 > 设施大棚种植; 弥勒市设施大棚葡萄种植土壤 pH 的中位值为 5.30, 置信区间为 5.06 ~ 6.59, 设施半棚葡萄种植土壤 pH 的中位值为 5.99, 置信区间为 5.45 ~ 6.13, 露天葡萄种植土壤 pH 的中位值为 6.24, 置信区间为 5.88 ~ 6.24, 对弥勒市葡萄不同种植模式下土壤 pH 的中位值进行差异性比较可以得出, 弥勒市葡萄土壤 pH 值对种植模式

的响应强弱为露天种植 > 设施半棚种植 > 设施大棚种植; 元谋县设施大棚葡萄种植土壤 pH 的中位值为 6.09, 置信区间为 5.71 ~ 6.41, 设施半棚葡萄种植土壤 pH 的中位值为 7.12, 置信区间为 5.94 ~ 7.33, 露天葡萄种植土壤 pH 的中位值为 7.20, 置信区间为 6.45 ~ 7.21, 对元谋县葡萄不同种植模式下土壤 pH 的中位值进行差异性比较可以得出, 元谋县葡萄土壤 pH 对种植模式的响应强弱为露天种植 > 设施半棚种植 > 设施大棚种植, 因此可以得出云南省 4 个葡萄种植主产地的土壤 pH 值对种植模式的响应强弱都为露天种植 > 设施半棚种植 > 设施大棚种植。每个地区设施 (包括大棚种植和半棚种植) 葡萄种植土壤 pH 值较露天葡萄种植土壤 pH 值明显偏低, 说明不同的种植模式能明显影响葡萄产地土壤的 pH 值。由图 5 所示, 对 4 个县葡萄各种种植模式 (设施大棚、设施半棚、露天) 下土壤 pH 值的中位值进行差异显著分析得出, 设施大棚种植土壤 pH 值由低到高依次为弥勒市 < 建水县 < 元谋县; 设施半棚葡萄种植的土壤 pH 值由低到高依次为宾川县 < 弥勒市 < 建水县 < 元谋县; 露地葡萄种植的土壤 pH 值由低到高依次为弥勒市 < 建水县 < 元谋县 < 宾川县。

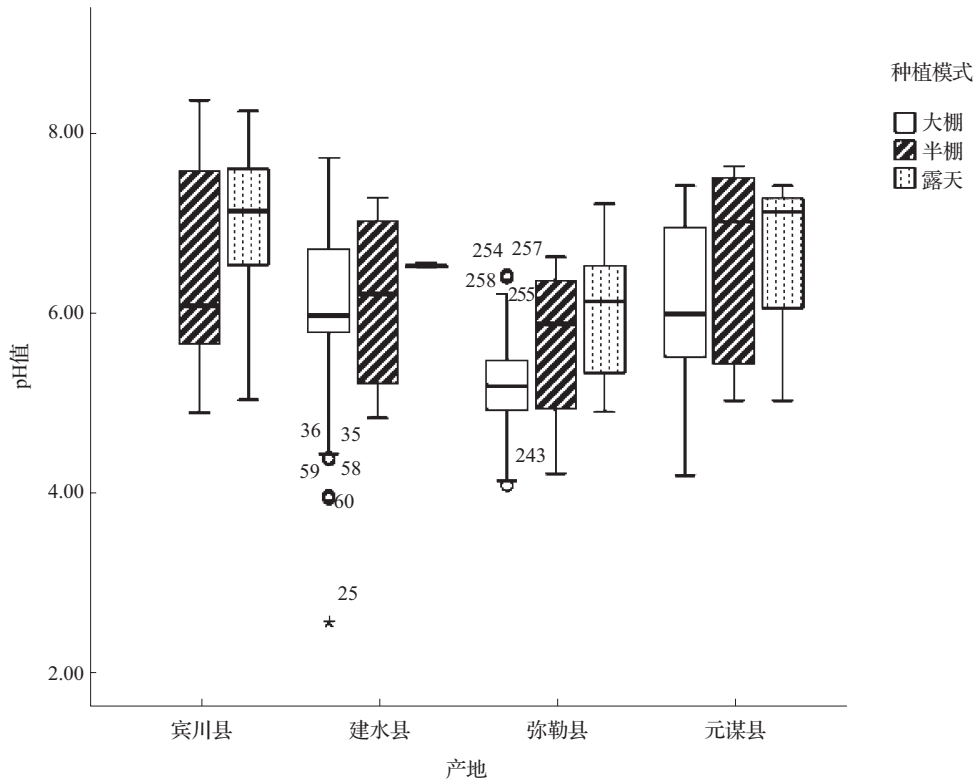


图5 在不同种植模式下云南葡萄主产地土壤 pH 值箱式图

2.4 不同葡萄种植年限土壤 pH 值对不同种植模式的响应

由图6可知，云南葡萄设施种植年限为0~5年土壤pH的均值为6.18，中位值为6.12，置信区间为6.00~6.57；设施种植年限为5~10年土壤pH的均值为6.00，中位值为6.04，置信区间为5.78~6.24；种植年限为10~15年土壤pH的均

值为5.80，中位值为5.29，置信区间为5.54~6.11；云南葡萄露天种植土壤pH的均值为6.72，中位值为6.78，置信区间为6.55~6.88。由图6所示，对云南省葡萄设施种植年限土壤pH的中位值进行显著性分析得知，云南葡萄土壤pH值随着设施种植年限的增加呈下降趋势，设施种植年限在10~15年的土壤pH值相对较低，变化范围最大，设施种植

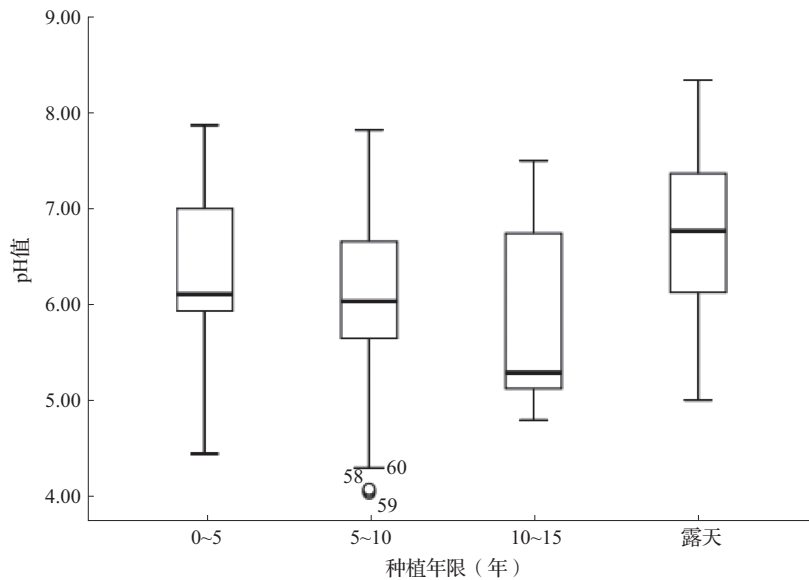


图6 云南葡萄产地不同种植年限土壤 pH 值箱式图

与露天种植相比,露天种植的土壤 pH 值最大,分布较稳定,说明葡萄不同种植模式能影响土壤酸碱度的变化。且云南葡萄种植土壤的酸化程度随设施种植年限的增加而加重。

2.5 土壤 pH 值与主要土壤肥力指标的相关性分析

通过土壤 pH 值与主要土壤肥力指标的相关性分析结果显示(表 5),土壤 pH 值与土壤全盐量、有效磷呈极显著($P<0.01$)负相关,与土壤交换性钙呈显著($P<0.05$)正相关。土壤 pH 值与土壤内在成分关系复杂,与土壤盐基离子和阴离子含量等均有相关性,但已有研究结果不尽相同,阿斯古丽·木萨等^[15]研究表明土壤 pH 值与土壤含盐量

及盐基离子含量相关性不显著;而也有研究表明土壤 pH 值与交换性钙、交换性镁含量间呈极显著正相关^[16];土壤 pH 值与 CaCO_3 相当物含量之间存在显著的非线性正相关^[17];王晓春^[18]的研究也表明阳离子交换量(K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 H^+ 、 Al^{3+} 等)与土壤 pH 值之间呈负相关性,认为阳离子交换量的升高会导致土壤 pH 值的下降。另外土壤 pH 值与速效养分含量密切相关,沈玉叶等^[19]研究表明土壤 pH 值与有效磷含量呈极显著负相关,随着土壤 pH 值的增大,土壤有效磷含量呈下降的趋势,是因为高 pH 值土壤中磷素的矿化速率较快,使得土壤中磷的含量降低。

表 5 土壤 pH 值与主要土壤肥力指标的相关性分析

	pH 值	全盐量	有机质	速效钾	有效磷	硝态氮	交换性钙	交换性镁	有效铜	有效硼
pH 值	1									
全盐量	-0.274**	1								
有机质	-0.173	0.109	1							
速效钾	-0.051	0.409**	0.031	1						
有效磷	-0.350**	0.100	0.034	0.035	1					
硝态氮	-0.035	0.429**	-0.065	0.358**	-0.119	1				
交换性钙	0.233*	0.025	0.322**	-0.029	-0.256**	-0.074	1			
交换性镁	0.074	0.273**	0.157	0.223*	0.010	0.082	0.357**	1		
有效铜	0.031	0.175	0.115	0.219*	-0.011	0.357**	0.021	0.144	1	
有效硼	-0.179	0.144	-0.193*	0.158	0.250**	-0.142	-0.023	0.217*	0.217*	1

注:数据为不同指标间的相关性系数。*表示 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$ 。

3 讨论

土壤 pH 值的高低是土壤许多化学性质的综合反映,本研究中,整体设施(包括大棚种植和半棚种植)葡萄土壤 pH 值为 5.98,露地葡萄土壤 pH 值为 6.72,设施葡萄 pH 值较露地葡萄明显偏低(图 5)。而葡萄适宜的土壤 pH 值在 6.0 ~ 6.5 之间^[20],因此云南地区的设施葡萄土壤酸化情况已经限制葡萄的正常生长发育,且设施和露地葡萄土壤 pH 值有明显差异,说明设施栽培会导致葡萄产地土壤 pH 值明显降低,这与余海英等^[21]、黄绍文等^[22]的研究结果一致,葡萄种植模式会影响土壤 pH 值。本研究也表明土壤 pH 值随葡萄设施种植年限的增加呈下降的趋势,设施种植年限在 10 ~ 15 年时较 0 ~ 5 和 5 ~ 10 年时种植的土壤 pH 值明显降低,随着设施种植年限的增加云南设施葡萄种植土壤的

酸化程度越大。在对主产区土壤 pH 值与土壤主要肥力指标相关性的分析(表 5)中得知,土壤 pH 值与土壤全盐量、有效磷呈极显著($P<0.01$)负相关,与土壤有效钙呈显著($P<0.05$)正相关;王晓春^[18]等研究表明阳离子交换量(K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 H^+ 、 Al^{3+} 等)与土壤 pH 值之间呈负相关,认为阳离子交换量的升高,会导致土壤 pH 值的下降。另外有研究表明土壤 pH 值与速效养分含量密切相关,沈玉叶等^[19]研究也证实了土壤 pH 值与有效磷含量呈极显著负相关,随着土壤 pH 值的增大,土壤有效磷的含量呈下降趋势,是因为高 pH 值土壤中磷素的矿化速率较快,使得土壤中磷的含量降低。但本研究结果与阿斯古丽·木萨等^[15]、邓小华等^[23]、刘琳等^[24]的研究结果各有异同。相关分析能够说明各因素与土壤 pH 值的相关性,但不能定量解析各因子对 pH 值的影响效应大小。本研究

从分布看,酸化土壤主要集中在弥勒县产地,该产地气候湿润多雨,年平均降雨量最大,土壤酸化倾向严重^[25]。另外,该地区土壤的成土母质主要是花岗岩和砂页岩2种母质,其有机质和交换性盐基离子含量都较低,阳离子交换量较小,缓冲能力弱,易受外界环境影响而发生酸化。土壤类型也是影响土壤酸化的重要因素^[26],云南省土壤类型主要以红壤、赤红壤、砖红壤、紫色土、黄壤、水稻土等为主,紫色土和风砂土等土壤类型酸化最为严重,研究认为是紫色土母质多为紫色砂砾岩和紫色凝灰熔岩,砂粒含量较高,有机质贫乏^[27],对酸化的缓冲能力弱。

云南四季不分而干湿明显的独特高原季风型气候,为适宜的葡萄栽培地区,建立有大面积早熟鲜食、酿酒葡萄栽培基地。为应对高温多雨、空气湿度大等不利环境因素,云南葡萄栽培多采用避雨等设施栽培^[28],由于设施葡萄保护地集约化栽培,复种指数高、大量施用化肥,加上缺少雨水淋洗、温度高等特殊设施环境条件,常年栽培后酸化、养分不平衡等诸多土壤退化问题随之产生,特别是长期大量施用酸性或生理酸性肥料是引起土壤酸化的重要原因^[29],如在弥勒市葡萄种植过程中大量氮肥和硫酸钾肥的施用,导致 SO_4^{2-} 等强酸性阴离子大量残留在土壤中,从而使土壤逐渐酸化^[30]。

4 结论

云南省葡萄主产地土壤pH值的范围在4.29~8.33之间,其中酸性和强酸性土壤主要分布在弥勒市和元谋县2个产区,微碱性土壤主要分布在宾川县,而建水县的葡萄土壤呈现在微酸性和中性之间。4个不同产区宾川县、元谋县、建水县、弥勒市的酸化程度依次增加,其中弥勒市葡萄土壤酸化状况尤为严重。在不同种植模式中,设施栽培会导致葡萄产地土壤pH值明显降低,而设施种植年限的增加也会导致土壤呈现酸化趋势。因此,建议云南各葡萄产区根据产地土壤现状测土按需施肥、减少酸性肥料的施用,或采用葡萄与其它作物套作来优化葡萄种植土壤性状,以扭转葡萄产地土壤酸化的趋势。

致谢:感谢云南农业大学张继来、唐秀英等老师和尹娇、于泓、李嘉琦、吴思睿、张智浩、陈芙蓉、吴志浩、于畅、朱倩、刘奇等同学在参与采样过程中付出的辛勤劳动!感谢刘士鑫同学在制图过

程提供的帮助!

参考文献:

- [1] 杨顺林,郭淑萍,陈艳林.对云南早熟葡萄产业发展的认识与思考[J].中外葡萄与葡萄酒,2016(5):152-155.
- [2] 马艳春,姚玉新,杜远鹏,等.葡萄设施栽培不同种植年限土壤理化性质的变化[J].果树学报,2015,32(2):225-231.
- [3] 卢维宏,张乃明,包立,等.我国设施栽培连作障碍特征与成因及防治措施的研究进展[J].土壤,2020,52(4):3-10.
- [4] Lesturgez G, Poss R, Noble A, et al. Soil acidification without pH drop under intensive cropping systems in Northeast Thailand [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2006, 114(2): 239-248.
- [5] 王朔,李帅霖,曾秀丽,等.西藏设施葡萄土壤酸化、盐渍化和养分特征[J].果树学报,2018,35(8):957-966.
- [6] 李志勇,王彦辉,于澎涛,等.重庆酸雨区马尾松香樟混交林的土壤化学性质和林木生长特征[J].植物生态学报,2010,34(4):387-395.
- [7] 王富国,宋琳,冯艳,等.不同种植年限酸化果园土壤微生物学性状的研究[J].土壤通报,2011,42(1):46-50.
- [8] 吴士文,索炎炎,张嵘嵘,等.南方茶园土壤酸化特征及交换性酸在水稳性团聚体中的分布[J].水土保持学报,2012,26(1):195-199.
- [9] 张小卓,史静,张乃明,等.云南主要葡萄种植区土壤肥力特征与评价[J].土壤,2014,46(1):184-187.
- [10] 张丽,张乃明,张玉娟,等.云南耕地土壤硒含量空间分布及其影响因素研究[J].土壤,2021,53(3):578-584.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 潘永敏,华明,廖启林,等.宜兴地区土壤pH值的分布特征及时空变化[J].物探与化探,2018,42(4):825-832.
- [13] 吴正祥,周勇,木合塔尔·艾买提,等.鄂西北山区耕层土壤pH值空间变异特征及其影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2020,29(2):488-498.
- [14] 赵晴月,许世杰,张务帅,等.中国玉米主产区土壤养分的空间变异及影响因素分析[J].中国农业科学,2020,53(15):3120-3133.
- [15] 阿斯古丽·木萨,阿不都拉·阿不力孜,瓦哈甫·哈力克,等.新疆克里雅绿洲土壤盐分、pH和盐基离子空间异质性分析[J].土壤,2017,49(5):1007-1014.
- [16] 李强,闫晨兵,刘勇军,等.郴州植烟土壤pH空间分布及影响因素初探[J].中国烟草学报,2019,25(4):50-58.
- [17] 林卡,李德成,张甘霖.西北黑河流域土壤pH与 CaCO_3 相当物含量关系研究[J].土壤学报,2017,54(2):344-353.
- [18] 王晓春.太原市代表性区域内土壤阳离子交换量的测定及分析[J].山西科技,2016,31(3):58-60.
- [19] 沈玉叶,张忠启,王美艳,等.毕节植烟区土壤pH的分布

- 特征及其与主要养分的相关性 [J]. 贵州农业科学, 2020, 48 (10): 44-49.
- [20] 李秋红, 郑素莲, 王家祥, 等. 蓬莱市葡萄园土壤酸化及改良技术 [J]. 土壤与作物, 2014, 3 (2): 63-67.
- [21] 余海英, 李廷轩, 周健民. 设施土壤盐分的累积、迁移及离子组成变化特征 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (4): 642-650.
- [22] 黄绍文, 王玉军, 金继运, 等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性 and 肥力状况 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (4): 906-918.
- [23] 邓小华, 蔡兴, 张明发, 等. 喀斯特地区湘西州植烟土壤 pH 分布特征及其影响因素 [J]. 水土保持学报, 2016, 30 (6): 308-313.
- [24] 刘琳, 李伟, 张吴平, 等. 钙镁泥对不同土壤 pH 及部分元素有效性的影响 [J]. 水土保持学报, 2015, 29 (6): 287-291.
- [25] von Uexkuli H R, Mutert E. Global extent, development and economic impact of acid soils [J]. Plant and Soil, 1995, 171 (1): 1-15.
- [26] 张秀, 张黎明, 龙军, 等. 亚热带耕地土壤酸化程度差异及影响因素 [J]. 中国生态农业学报, 2017, 25 (3): 441-450.
- [27] Gudmundsson T, Björnsson H, Thorvaldsson G. Organic carbon accumulation and pH changes in an Andic Gleysol under a long-term fertilizer experiment in Iceland [J]. Catena, 2004, 56 (1/3): 213-224.
- [28] 苏玲, 杨阳, 于向荣, 等. 济南地区鲜食葡萄的栽培问题及对策研究 [J]. 中国农业信息, 2017 (20): 75-77.
- [29] Jaiveoba I A. Changes in soil properties due to continuous cultivation in Nigerian semiarid Savannah [J]. Soil & Tillage Research, 2003, 70 (1): 91-98.
- [30] 翟衡, 马艳春. 设施葡萄土壤酸化及盐渍化的形成机理与防治技术 [J]. 落叶果树, 2015, 47 (6): 1-5.

Distribution characteristics and key influencing factors of soil acidity in grape producing areas in Yunnan province

ZHOU Hong-yin^{1, 2, 3}, LI Jia-rong^{2, 3}, LONG Ji-bai^{2, 3}, DENG Yi-shu^{3, 4}, ZHANG Nai-ming^{2, 3}, SU You-bo^{2, 3}, WANG Jing^{3, 4}, YANG Yan-qing^{3, 4}, BAO Li^{2, 3}, XIA Yun-sheng^{2, 3*} (1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming Yunnan 650201; 2. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming Yunnan 650201; 3. Yunnan Soil Fertility and Pollution Remediation Engineering Research Center, Kunming Yunnan 650201; 4. College of Architectural Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming Yunnan 650201)

Abstract: In order to understand the soil pH value status of grape producing areas in Yunnan province, the spatial distribution characteristics and key influencing factors of soil pH value in different areas of grape producing areas were studied. Based on survey sampling and ArcGIS spatial analysis method, the spatial distribution map of soil pH at sampling points for different producing areas in Yunnan province was drew, and the distribution differences of soil pH values in the main grape producing areas (Jianshui county, Yuanmou county, Binchuan county and Mile city), different planting modes (protected cultivation, open field cultivation) and different planting years (0 ~ 5, 5 ~ 10, 10 ~ 20, 20 years and above) were analyzed. The results showed that: ① the pH value in grape soils of Yunnan province varied from 4.29 to 8.30. The strongly acidic soils were basically distributed in Maitreya city and Yuanmou county. The slightly alkaline soils were mainly distributed in Binchuan county, while the grape soils in Jianshui county were mainly between slightly acidic and neutral. The coefficient of variation of the four main production areas was Yuanmou county>Binchuan county>Mile city>Jianshui county. ② Different planting patterns significantly affected the pH value change of soil in grape producing areas. For example, the pH value in soils for protected grape planting treatments (including greenhouse planting and semi-greenhouse planting) was significantly lower than that for open grape planting. ③ The soil pH values showed a downward trend with the increase of protected grape planting years. Among them, the soil acidification in Mile grape producing area was relatively serious. It suggested that geographical and climatic conditions (humid and rainy climate, soil types of, red soil and yellow soil and parent materials of sand shale and granite soil), long-term protected cultivation and large-scale application of acidic or physiological acidic fertilizers would be the main reasons for soil acidification. In conclusion, the investigation results can provide a theoretical basis for the scientific management and regional improvement of acidified soil in the main grape producing areas in Yunnan province.

Key words: Yunnan province; grape producing area; soil acidity; distribution characteristics; influencing factors