

泽尔拉都, 邱雪嫣, 张乃明, 等. 云南典型果蔬种植区土壤养分分布特征及影响因子分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(21): 232–239.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.21.035

# 云南典型果蔬种植区土壤养分分布特征及影响因子分析

泽尔拉都<sup>1,2</sup>, 邱雪嫣<sup>1,2</sup>, 张乃明<sup>1,2</sup>, 苏友波<sup>1,2</sup>, 蒋 明<sup>1</sup>, 张继来<sup>1,2</sup>, 陈文华<sup>1,2,3</sup>, 马 珣<sup>1,2</sup>, 胡承磊<sup>1,2</sup>

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省土壤培肥与污染修复工程研究中心, 云南昆明 650201;

3. 保山学院资源环境学院, 云南保山 678000)

**摘要:**为了解云南典型果蔬种植区土壤养分状况, 为果蔬种植区土壤施肥管控及促进农业生态环境保护提供一定的科学依据, 使用地统计学方法对云南省大理州宾川县主要葡萄园以及祥云县主要蔬菜地土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾等土壤养分的分布及影响因子进行分析与探究。结果表明, 2 个研究区土壤养分均为中等变异, 葡萄园变异系数由大到小为速效钾(57.52%)、有机质(49.82%)、速效磷(46.08%)、碱解氮(39.03%), 蔬菜地变异系数由大到小为速效磷(38.3%)、速效钾(38.15%)、碱解氮(21.8%)、有机质(19.6%), 其中蔬菜地有机质变异系数最低。根据单样本 K-S 检验, 得出 2 个研究区 4 种土壤养分双侧渐进显著性值大于 0.05, 均服从正态分布; 根据反距离权重方法插值绘制的土壤质量综合评价图分析, 葡萄园 SQI 在 0.36~0.96 之间, 蔬菜地 SQI 在 0.74~1.00 之间, 2 个研究区均存在土壤养分过剩现象; 冗余分析(RDA)方法表明, 2 个研究区 4 种土壤养分含量与海拔、土壤 pH 值相关性均较强, 但相关程度存在差异; 运用相关分析确定土壤养分含量之间的相关关系, 2 个研究区 4 种养分含量之间均呈显著正相关, 且有机质含量是氮、磷、钾元素积累的主要影响因子。综上所述, 云南典型果蔬区土壤整体养分含量均处于较丰富的状态, 且部分地区已存在养分过剩现象。在施肥过程中, 应做到精准施肥, 达到提高肥料利用率、减少肥料损耗以及对环境污染的目的。

**关键词:**地统计学; 土壤养分; 土壤有机质; 果蔬种植区; 大理

**中图分类号:**S158.3      **文献标志码:**A      **文章编号:**1002-1302(2023)21-0232-07

土壤是人类生活之本, 与人们的生产生活休戚相关<sup>[1]</sup>, 是保障国家粮食安全与生态环境安全的重要物质基础。另外, 土壤是植株养分的主要来源之一, 其养分状况直接影响到植株的生长和发育, 土壤有机质、氮、磷、钾等主要土壤参数的空间异质性对植株的分布和空间格局具有重要影响<sup>[2]</sup>。随着现代农业经济的快速发展, 许多地区土壤有机质含量与其他土壤养分含量也都发生了明显变化<sup>[3-6]</sup>。土壤养分研究片面化且施肥管控方面研究相对落后, 成为影响现代农业经济可持续发展的重要问题。云南省一直都是我国的农业大省, 同时也是最

重要的经济作物种植区域, 因其自然水文条件复杂多样且各相邻地区差异明显, 导致土地养分变异特征可能存在较大误差, 因此对云南土壤养分状况进行了解是非常有必要的。近年来很多学者对云南省不同地区土壤养分分布情况进行了研究, 王秀华等对云南省西双版纳州 2 县 1 市耕地土壤养分状况及时空变化情况进行了分析, 研究结果发现西双版纳耕地土壤有机质含量中等偏上, 整体上土壤肥力也处于中等偏上水平<sup>[7]</sup>; 郝连奇等对云南勐海县主要古茶园土壤养分状况进行分析发现, 整体上茶园土壤有机质和碱解氮含量较丰富, 而速效磷和速效钾较缺乏<sup>[8]</sup>; 李有芳等对云南玉溪柑橘园土壤养分状况差异与分布规律进行了研究, 发现 4 个柑橘生态区存在土壤有机质含量极低, 碱解氮含量缺乏, 速效钾含量过量等现象<sup>[9]</sup>; 马关润等对云南咖啡种植区土壤养分状况及影响咖啡品质的主要因素研究发现, 云南主要咖啡产区的土壤综合肥力处于中等水平, 但总体上适宜咖啡生长<sup>[10]</sup>。土壤结构具有自然复杂性, 受多种自然因素和人为因素的共同影响<sup>[11]</sup>。即使在同一种土壤类型内, 同一时间、不同区域土壤养分也会存在明显的差异和多样性<sup>[12]</sup>, 为此, 对特定区域土壤养分状况调查

收稿日期: 2023-01-20

基金项目: 云南农业大学科研启动基金(编号: KY2019-21); 云南省基础研究专项(编号: 202101AU070100); 云南省重大科技专项计划(编号: 202002AE320005); NSFC-云南联合基金地质高背景及人为污染土壤重金属迁移转化规律与阻控机理研究(编号: U200220167)。

作者简介: 泽尔拉都(1996—), 女, 云南丽江人, 硕士研究生, 研究方向为土壤重金属污染与修复。E-mail: ZELD196725@163.com。

通信作者: 张继来, 博士, 讲师, 主要从事环境地学研究。E-mail: zhangjilai@ynau.edu.cn。

研究具有重要的指导意义与不可替代性。

大理白族自治州宾川县和祥云县作为云南省典型的 2 个果蔬种植区,其主要的经济作物为水果和蔬菜,其中水果以葡萄最为著名,近年来由于大量化肥农药的滥用,以及农户缺乏对果蔬区土壤养分状况的了解,导致该区域内存在化肥利用率低、耕地污染等问题,所造成的资源浪费和环境污染风险不容忽视<sup>[13]</sup>。因此,通过开展云南果蔬区土壤质量调查与综合评价研究,明确土壤养分的分布状况及规律,将对保护耕地和提升土壤质量起到至关重要的作用<sup>[14-15]</sup>。

本研究以宾川县主要葡萄园和祥云县主要蔬菜地为例,利用现代地统计学原理,选择样品测定土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量并对其进行探究。结合当地主栽作物,解析当地 4 种土壤养分空间变异规律,探明该区域内土壤养分分布情况及影响因素,分析土壤质量并作出评价,以期能为当地提高肥料利用率、合理管控土壤养分提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

宾川县(25°23′~34°44′ N, 100°16′~100°59′ E)位于云南省西部、金沙江南岸干热河谷地区。年平均气温 17.9℃,年均日照时数 2 719.4 h,年均降水量 559.4 mm,为省内最少。年均风速 1.8 m/s,气候极其适宜农作物生长。境内独特的气候和地理位置,是全国闻名的水果之乡。目前,水果产业已经基本成为宾川农业的一项支柱产业,截至 2021 年,全县水果总产值达 70.58 亿元,占该县农业总产值的 68.52%,其中以葡萄种植为主,占农业总产值的 41.86%。

祥云县(25°12′~25°52′ N, 100°25′~101°02′ E)位于云南省中部偏西。四季变化不明显,常年月平均气温仅 14.7℃,冬春两季恒温,夏秋多雨,干湿季分明;年降水量较少,年均降水量 810.8 mm,气候垂直分布明显,水平分布复杂。祥云县蔬菜大棚种植面积达 10 万余亩(1 亩=667 m<sup>2</sup>),综合预计产值达 5 亿元,蔬菜种植业已成为推动当地农民经济增收富民的四大骨干产业之一。

### 1.2 样品采集与分析

土壤样点数据来源于 2020 年野外采样,在宾川县主要葡萄产区与祥云县主要蔬菜产区选取具有代表性的地方进行采样。采集表层 0~20 cm 部位土壤样点葡萄园 54 个、蔬菜地 57 个,共计 111 个。每个采样点详细记录其经纬度坐标、高程、作物类

型等信息,用 ArcGIS 10.0 绘制样品采集示意图(图 1)。土壤经自然风干后进行研磨,分别过 0.149、1、2 mm 尼龙筛备用。

土壤测定项目:pH 值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量。pH 值:蒸馏水浸提-电位法(水土比为 2.5:1);有机质含量:重铬酸钾氧化容量法(NY/T 1121.6—2006);碱解氮含量:碱解扩散法(DB51/T 1875—2014);速效磷含量:NaHCO<sub>3</sub> 法(NY/T 1121.7—2014);速效钾含量:乙酸铵浸提,火焰分光光度法<sup>[16]</sup>。

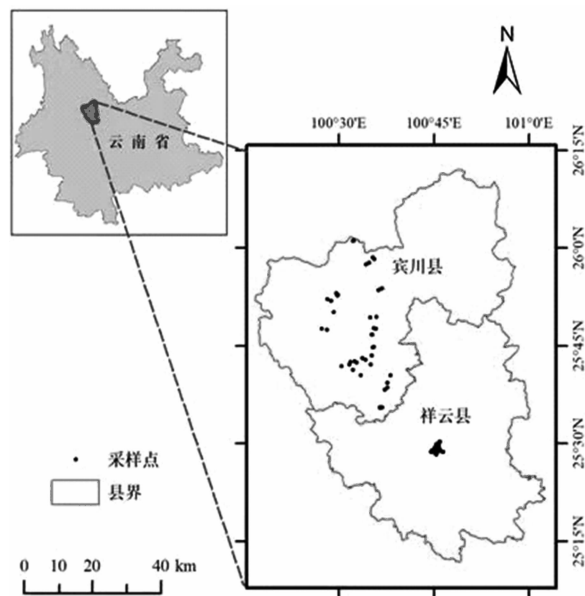


图1 宾川县主要葡萄园和祥云县主要蔬菜地土壤采样点分布

### 1.3 土壤质量评价方法

本研究选取宾川县与祥云县 2 个主要果蔬区土壤 pH 值、有机质、碱解氮、速效磷及速效钾含量等 5 项土壤养分指标,采用隶属度函数来进行土壤质量评价,其中,有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量均属于 S 型函数,pH 值属于抛物线型函数。

S 型函数:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x \leq x_1 \end{cases}$$

抛物线型函数:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1.0 - 0.9(x - x_4)}{x_2 - x_4} & x_4 \leq x \leq x_2 \\ 1.0 & x_3 \leq x < x_4 \\ \frac{0.9(x - x_1)}{x_3 - x_1} & x_1 \leq x < x_3 \\ 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x > x_2 \end{cases}$$

式中: $f(x)$  为该分级指标隶属度函数; $x$  为测定值; $x_1$  与  $x_2$  为该分级标准最小值和最大值; $x_3$ 、 $x_4$  介于分级标准的最小值和最大值之间;根据已有的相关研究成果以及研究区蔬菜、葡萄土壤环境的实际情况,5 个指标的隶属度函数曲线中转折点的相应取值如表 1 所示。

表 1 隶属度曲线转折点的取值

pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
4	6	30	5	30
9	40	150	40	200
6.5				
7.5				

本研究中各指标的权重取值( $w_i$ )通过变异系数( $v_i$ )分析得到, $w_i$  表示为:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}。$$

SQI 为土壤质量指数,主要是根据土壤养分分级标准,确定各养分指标的权重和单项养分指标的隶属度函数,得到土壤质量指数(SQI)。计算公式如下:

$$SQI = \sum_{i=1}^n w_i f(x)。$$

通过计算出的研究区实际土壤质量指数及参考相关文献,本研究将 SQI 划分为 5 个等级:SQI $\geq 0.8$  为 I 级,0.6 $\leq$ SQI $<0.8$  为 II 级,0.4 $\leq$ SQI $<0.6$  为 III 级,0.2 $\leq$ SQI $<0.4$  为 IV 级,SQI $<0.2$  为 V 级,数值越大表明土壤质量越高。

1.4 数据处理与分析方法

本研究采用域值法<sup>[17]</sup>对离群值进行剔除,剔除后总样点为 99 个。根据 Minitab 18 软件对数据进行统计分析。采用 K-S 方法检验正态分布特性;采用 ArcGIS 10.0 软件空间分析模块中的反距离权重方法插值绘制土壤质量综合评价图;采用 R 语言软件对土壤环境因子与土壤养分进行 RDA 分析;运用相关分析确定土壤养分含量之间的相关关系( $\alpha=0.01$ ),并用 Graphpad prism 8.4.3 软件作图。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的统计特征分析

根据第二次全国土壤普查土壤养分分级标准,由图 2 可以看出,葡萄园有机质含量处于 3 级(20~30)中等水平,均值为 22.06 g/kg,碱解氮含量处于

2 级(120~150 mg/kg)丰富水平,均值为 122.79 mg/kg,速效磷、速效钾含量处于 1 级(>40 mg/kg、>200 mg/kg)极高水平,均值分别为 129.22 mg/kg、768.7 mg/kg。蔬菜地有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量均处于 1 级(>40 g/kg、>150 mg/kg、>40 mg/kg、>200 mg/kg)极高水平,均值分别为 43.97g/kg、202.31 mg/kg、111.25 mg/kg、790.0 mg/kg。

变异系数表示各项指标变异性的 大小, CV < 10% 表示弱变异性,10% < CV < 100% 表示中等变异性, CV > 100% 表示强变异性,由表 2 可以看出,2 个研究区土壤养分均为中等变异,葡萄园变异系数由大到小为速效钾(57.52%)、有机质(49.82%)、速效磷(46.08%)、碱解氮(39.03%),蔬菜地变异系数由大到小为速效磷(38.3%)、速效钾(38.15%)、碱解氮(21.8%)、有机质(19.6%),其中,葡萄园各养分变异系数均大于蔬菜地,表明葡萄地变异程度相对较大。2 个研究区速效磷、速效钾变异系数均较大,这可能因为 2 个指标属于速效态养分,速效态养分迁移性强且稳定性较差,导致其变异程度较大。从分布类型看葡萄园各养分检验正态分布的 P 值分别为 0.092、0.168、0.056、0.417,蔬菜地各养分检验正态分布的 P 值分别为 0.305、0.381、0.090、0.402,2 个研究区各指标均符合正态分布,满足地统计学研究要求。

2.2 土壤质量综合评价

宾川县主要产区葡萄园(图 3-A)土壤 SQI 整体上由北向南逐渐升高,较高的区域多集中在西南侧,SQI 在 0.36~0.96 之间,大部分葡萄园土壤均处于 I 级和 II 级水平,分别占 54.90% 和 35.29%,土壤养分状况总体相对良好,仅有 7.84% 的土壤样本 SQI 土壤综合质量指数较差,这一小部分葡萄园需要继续改善土壤肥力水平和改进配方施肥策略。祥云县主要蔬菜地(图 3-B)土壤 SQI 整体上由南向北逐渐升高,SQI 在 0.74~1.00 之间,绝大部分蔬菜地土壤养分远高于 I 级水平,占 92.68%,存在养分过量现象,总体上蔬菜地土壤养分高于葡萄园。

2.3 环境因子对土壤养分的影响

本研究采用冗余分析(RDA)方法,将各点土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量作为响应变量,pH 值、海拔 2 个环境因子作为解释变量,通过分析得到两者相关的双序图(图 4)。葡萄园与蔬菜地中 RDA 第 1 排序轴的解释变量都明显高于第 2 排

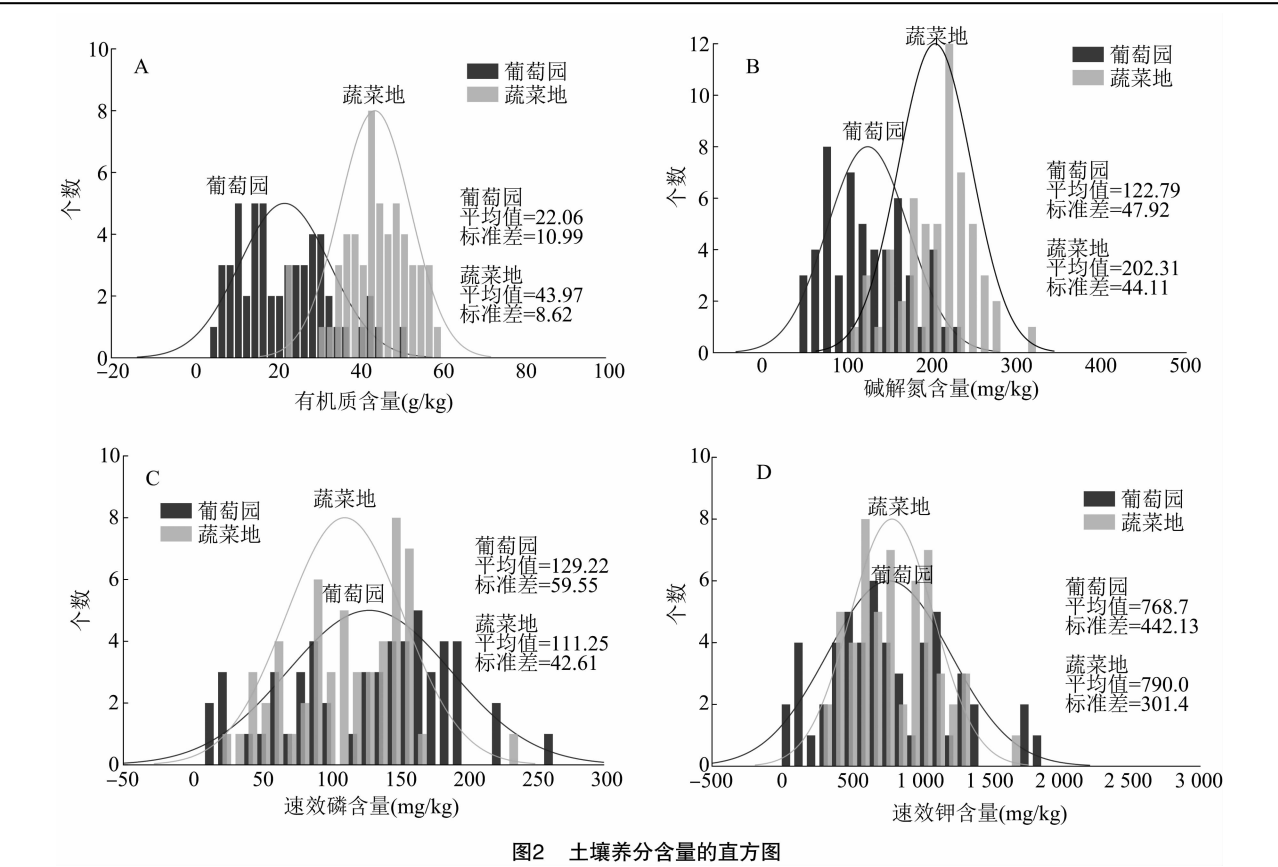
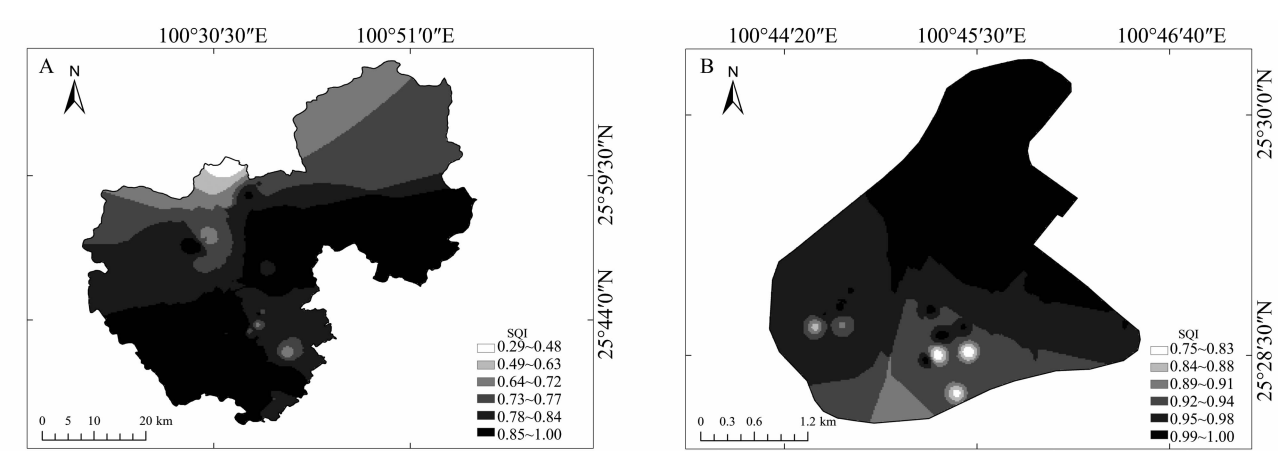


图2 土壤养分含量的直方图

表 2 宾川县主要葡萄园与祥云县主要蔬菜地土壤养分描述性统计特征表

土壤养分	位置	样点数	变异系数(%)	偏度	峰度	P 值
有机质含量	宾川县主要葡萄园	54	49.82	0.57	-0.26	0.092
	祥云县主要蔬菜地	55	19.6	-0.59	0.29	0.305
碱解氮含量	宾川县主要葡萄园	54	39.03	0.25	-0.93	0.168
	祥云县主要蔬菜地	55	21.8	-0.20	0.08	0.381
速效磷含量	宾川县主要葡萄园	54	46.08	-0.29	-0.64	0.056
	祥云县主要蔬菜地	55	38.3	0.00	-0.15	0.090
速效钾含量	宾川县主要葡萄园	54	57.52	0.42	-0.25	0.417
	祥云县主要蔬菜地	55	38.15	0.42	-0.21	0.402



A—葡萄园; B—蔬菜地

图3 土壤质量指数(SQI)空间分布

序轴的解释变量,可见在本研究中第 1 排序轴是解释土壤养分含量的主体。葡萄园中海拔与 RDA 第 1 排序轴之间的相关性较高,而 pH 值与 RDA 第 2 排序轴之间的相关性较高,蔬菜地中 pH 值与 RDA 第 1 排序轴之间的相关性较高,海拔与 RDA 第 2 排序轴之间的相关性较高。其次,葡萄园海拔与有机

质、速效磷、速效钾含量呈正相关关系,与碱解氮含量呈负相关关系,pH 值与速效钾含量呈正相关关系,与速效磷、碱解氮含量呈负相关关系。蔬菜地海拔与有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量呈负相关关系,pH 值与速效磷含量呈正相关关系,与有机质、速效钾、碱解氮含量呈负相关关系。

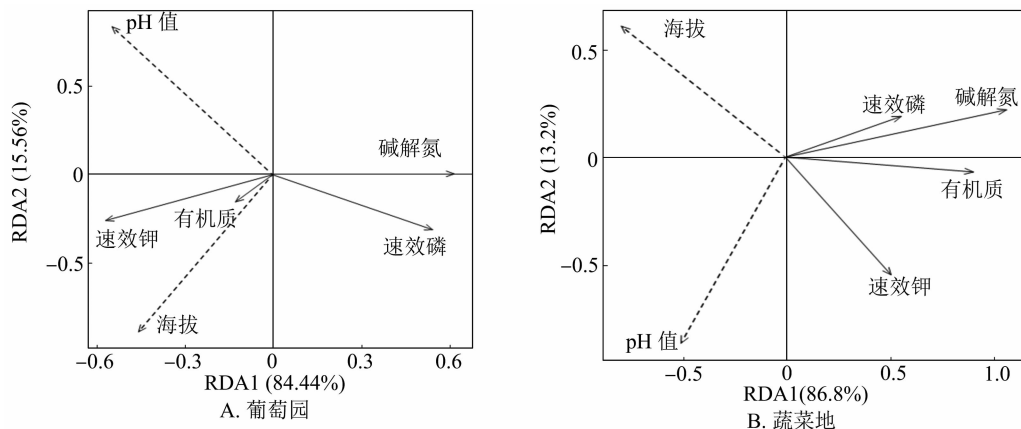


图4 环境因子与土壤养分的 RDA 分析

## 2.4 土壤养分含量之间的相关分析

2 个研究区土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量之间均为极显著相关关系 ( $P < 0.01$ ) (图 5)。其中,宾川县主要葡萄园有机质与碱解氮含量的相关系数最高,达到 0.824。其次为速效磷与速效钾含量,祥云县主要蔬菜地速效磷与速效钾含量相关系数为 0.535,宾川县主要葡萄园速效磷与速效钾含量的相关系数为 0.728。最低的为有机质与速效磷含量,祥云县主要蔬菜地有机质与速效磷含量的相关系数仅为 0.375。总体上,宾川县主要葡萄园的有机质与碱解氮、速效磷、速效钾含量,碱解氮与速效磷、速效钾含量,速效磷与速效钾含量的相关性均要比祥云县主要蔬菜地的更好。

## 3 讨论

### 3.1 土壤质量状况综合评价

不同地区土壤系统差异很大,土壤肥力质量好坏受土壤各成分因素的共同影响,如何评价土壤质量的好坏,至今仍没有一种比较严格统一且有效可靠的标准<sup>[18]</sup>。而模糊综合评价法实际上是基于根据在模糊综合数学过程研究基础中所提出来的隶属度理论模型来逐步将土壤定性分析综合评价的过程模型转化为模糊综合定量评价,对土壤做出一个总体的评价,在土壤质量分析评价中应用较为广泛<sup>[19]</sup>,范晓辉等使用土壤综合评价模型对福建省福

安市 22 个葡萄园的土壤样品进行综合评价,结果发现福安市葡萄园土壤质量整体偏低<sup>[20]</sup>。张楚楚等通过建立蔬菜质量评价层次模型及隶属函数模型,对合肥市肥东县蔬菜地质量进行调查并做了一次全面分析评价,发现肥东县蔬菜地整体土壤养分处于中等水平<sup>[21]</sup>。本研究选取土壤 pH 值、有机质、碱解氮、速效磷及速效钾含量 5 项土壤常规养分指标进行土壤质量评价,结果发现,研究区葡萄园与蔬菜地整体上养分含量较高。结合前人的调查研究与本研究的成果,表明采用土壤主要养分指标,通过模糊数学模型和隶属度函数计算土壤质量综合指数(SQI)对果蔬区土壤肥力质量做出评价显然是科学可行的。

### 3.2 环境因子对土壤养分空间分布的影响

海拔是一个重要的地形因子,其变化通常会引起气候、植被和土壤养分等要素发生显著变化<sup>[22]</sup>。类似的许多研究发现,土壤肥力会受海拔变化的影响,出现波动且有异化的分布范围<sup>[23-24]</sup>,如:赵超在江西省大岗山选取了 5 个不同海拔的毛竹林样地,研究发现不同海拔毛竹林土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量随海拔的升高而增加<sup>[25]</sup>。林建平等研究发现,有机质含量随海拔高度的逐步升高而明显增加,速效磷含量随海拔的升高而减少,但速效钾含量随海拔的变化无明显规律性<sup>[24]</sup>。在本研究中土壤各养分未随海拔升降呈相同趋势的变化,

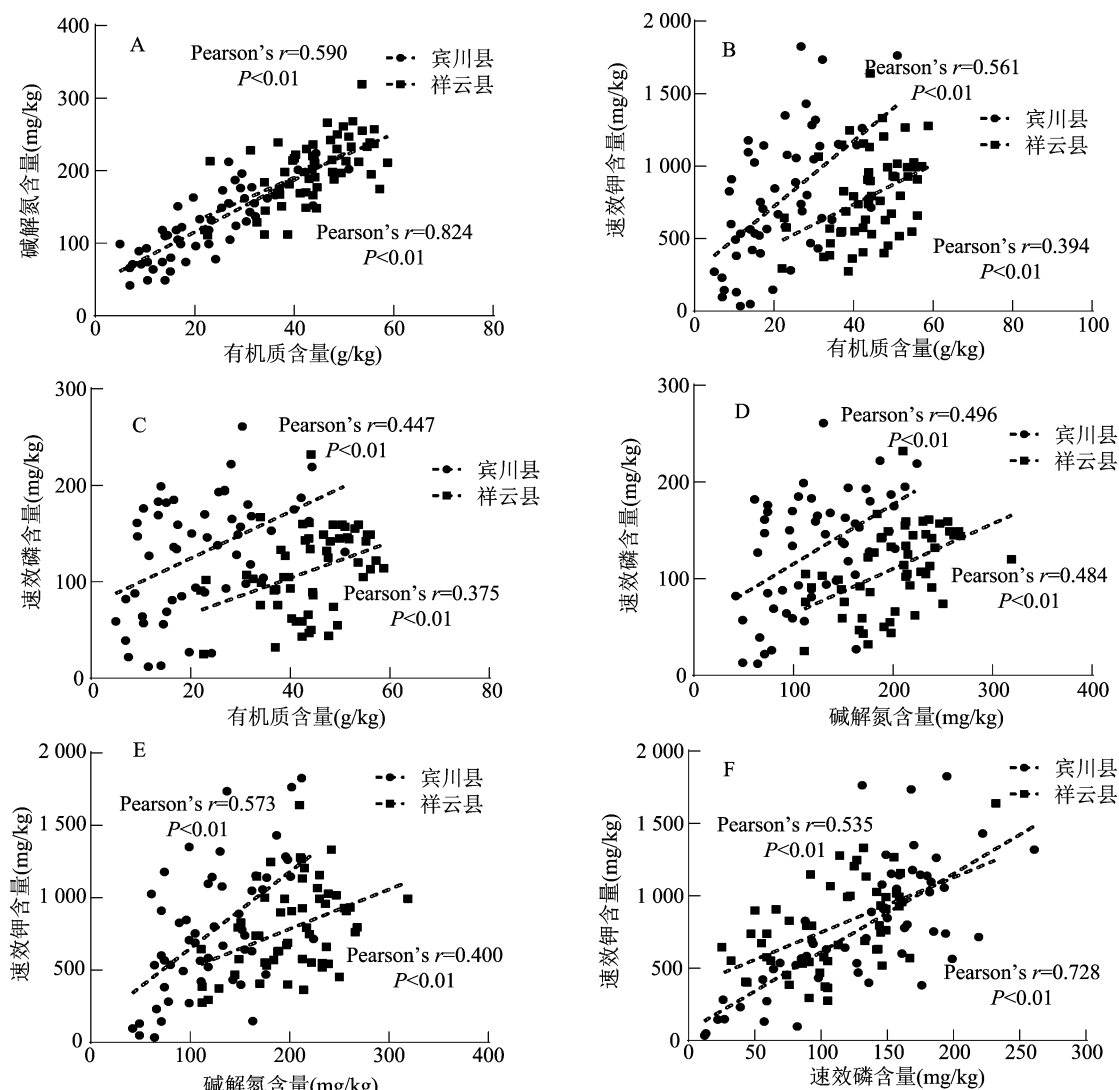


图5 土壤养分相关分析散点图

其中葡萄地中土壤有机质、速效磷、速效钾含量随海拔的升高而增加,碱解氮含量随着海拔的升高而减少。蔬菜地中有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量随海拔的升高而减少。目前各地有关海拔对土壤养分含量影响机制的对比研究结论不一,进一步表明当地耕作制度、耕作方式及施肥管理方式等的不同也很可能是造成土壤养分含量差异变化的原因<sup>[26-27]</sup>。其次,土壤 pH 值作为衡量土壤酸碱性的重要指标,过高或过低的土壤 pH 值都会不同程度地降低土壤养分的有效性,同时导致植物生长所需养分的有效性发生改变。因此,了解土壤 pH 值与土壤养分的关系,对高效合理施肥具有一定的指导意义<sup>[28-29]</sup>。

### 3.3 有机质对土壤养分含量的影响

研究区耕地土壤的有机质与土壤碱解氮、速效磷、速效钾之间具有极显著的正相关关系 ( $P <$

0.01)(图 5),这可能是由于土壤中富含有机质,而有机质是土壤中重要的组成部分,其含量和迁移影响着土壤的其他理化性质,同时也是植物汲取营养的主要来源<sup>[30]</sup>。高莹等、阿丽娅·阿力木等的研究发现土壤有机质含量是影响氮素供应的主导因素<sup>[31-32]</sup>。有机质的矿化是提供氮素的主要来源之一,土壤有机质含量的增加可能会促进氮素供应水平<sup>[33]</sup>;同时,许多试验研究亦表明,在不添加外源肥料时,土壤养分中所有的氮以及接近一半的磷都是由土壤有机质来提供,并且有机质中所含有的水溶性的养分和小分子的氮磷还可被作物根系直接吸收利用<sup>[34-35]</sup>;此外,大量相关研究也发现,提高土壤有机质含量可能同时提升土壤其他养分含量,土壤有机质还可以储存一定的矿质元素以及少部分速效养分,土壤有机质分解可明显促进氮、磷、钾等

养分元素的释放,有利于土壤肥力的显著增加<sup>[36-37]</sup>。从上述研究结果可知,土壤有机质对土壤碱解氮、速效磷、速效钾具有一定的调控功能。

## 4 结论

研究果蔬区土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量均远高于一级标准,存在化肥施用量超标现象。大部分葡萄园与蔬菜地土壤质量指数(SQI)达到Ⅰ级和Ⅱ级标准,存在土壤养分过剩现象。其次,自然环境因子与4种养分含量均存在相关性,且每种土壤养分不受单一环境因子的影响。土壤有机质通过有效利用能提高对土壤氮、磷、钾离子的养分固存,还能为作物生长提供丰富的营养,节约化肥用量。但若长期过量施用化肥,未被吸收的氮磷钾等养分长期保存在农田土壤中,可能会造成地表水富营养化和地下水的污染、土壤板结、酸化、土壤质量下降、降低农产品产量及健康等一系列问题。因此,在该研究区域应该合理减少水溶肥、复合肥等的施用或用适量的有机肥代替水溶肥及复合肥,提高有机质含量的同时控制氮、磷、钾含量。另外,合理减量施肥还能够帮助减少养分过量累积、维持地表土壤养分稳定、减少肥料损耗以及对环境的污染。

## 参考文献:

- [1] 宋发军. 基于 GIS 和 RDA 的丘陵区土壤养分空间变异及其与地形因子的关系[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(17): 31-35, 53.
- [2] Yan P, Peng H A, Yan L B, et al. Spatial variability in soil pH and land use as the main influential factor in the red beds of the Nanxiong Basin, China[J]. PeerJ, 2019, 7: e6342.
- [3] Yao Z Y, Wang Z, Li J, et al. Screen for sustainable cropping systems in the rain-fed area on the Loess Plateau of China[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 176: 26-35.
- [4] Jiang G Y, Xu M G, He X H, et al. Soil organic carbon sequestration in upland soils of Northern China under variable fertilizer management and climate change scenarios[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2014, 28(3): 319-333.
- [5] 李超, 李文峰. 高原耕地土壤养分空间分布与影响因子相关性研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(5): 1113-1118.
- [6] 杨静涵, 刘梦云, 张杰, 等. 黄土高原沟壑区小流域土壤养分空间变异特征及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2020, 35(3): 743-754.
- [7] 王秀华, 谢志英, 黄立文, 等. 基于 GIS 的西双版纳州耕地土壤养分时空变化分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2014, 29(5): 727-733.
- [8] 郝连奇, 浦绍柳, 范承胜, 等. 云南勐海县主要古茶园土壤养分状况分析[J]. 西南农业学报, 2019, 32(7): 1621-1625.
- [9] 李有芳, 张超博, 易晓瞳, 等. 云南玉溪柑桔园土壤养分状况与分布特征[J]. 土壤, 2020, 52(3): 487-493.
- [10] 马关润, 刘汗青, 田素梅, 等. 云南咖啡种植区土壤养分状况及影响咖啡豆品质的主要因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(7): 1222-1229.
- [11] Zhao Z H, Liu G H, Liu Q S, et al. Distribution characteristics and seasonal variation of soil nutrients in the Mun River Basin, Thailand[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(9): 1818.
- [12] Li C Y, Wang X H, Qin M Z. Spatial variability of soil nutrients in seasonal rivers; a case study from the Guo River Basin, China[J]. PLoS One, 2021, 16(3): e0248655.
- [13] Sun G J, Liu H J, Cui D, et al. Spatial heterogeneity of soil nutrients in Yili River Valley[J]. PeerJ, 2022, 10: e13311.
- [14] 李春雨, 加鹏华, 王树涛, 等. 阜平县不同海拔梯度下耕地土壤养分现状与分布特征[J]. 水土保持研究, 2022, 29(1): 197-204.
- [15] 王晶, 杨联安, 杨煜岑, 等. 西安市蔬菜种植区土壤属性的空间变异与肥力适宜性[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 204-209.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 张志霞, 许明祥, 师晨迪, 等. 黄土丘陵区不同地貌单元土壤有机碳空间变异的尺度效应[J]. 自然资源学报, 2014, 29(7): 1173-1184.
- [18] 刘晓冰, 邢宝山, Herbert S J. 土壤质量及其评价指标[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(2): 109-112.
- [19] 戴士祥, 任文杰, 滕应, 等. 安徽省主要水稻土基本理化性质及肥力综合评价[J]. 土壤, 2018, 50(1): 66-72.
- [20] 范晓晖. 福安市葡萄园土壤质量综合评价[J]. 土壤通报, 2020, 51(6): 1297-1302.
- [21] 张楚楚, 李子杰, 郭梓锦, 等. 蔬菜地土壤养分空间变异及其质量评价研究: 以合肥市肥东县为例[J]. 土壤通报, 2020, 51(5): 1033-1041.
- [22] 刘月华, 位晓婷, 钟梦莹, 等. 甘南高寒草甸草原不同海拔土壤理化性质分析[J]. 草原与草坪, 2014, 34(3): 1-7.
- [23] Saurabh K, Chandra S D, Amit Y, et al. Microbial diversity and soil physiochemical characteristic of higher altitude[J]. PLoS One, 2019, 14(3): e0213844.
- [24] 林建平, 邓爱珍, 赵小敏, 等. 南方典型丘陵山区不同高程耕地土壤养分变化特征分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(5): 300-309.
- [25] 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.
- [26] Sun J B, Li W B, Li C Q, et al. Effect of different rates of nitrogen fertilization on crop yield, soil properties and leaf physiological attributes in banana under subtropical regions of China[J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 613760.
- [27] Wang X, Jiao J, Cao X, et al. Distribution and enrichment characteristics of soil nutrients in the nekhas profile of *Nitraria tangutorum* in Gahai Lake Area, Qaidam Basin[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(3): 765-774.
- [28] 荀照君. 黄河上游高寒草地土壤碳、氮、磷、pH 值分布特征及影响因素[D]. 西宁: 青海师范大学, 2019.

王 政,刘 威,王 阁,等. 土壤含水量对滇中植烟土壤氮素矿化及微生物功能多样性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(21):239-248.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.21.036

# 土壤含水量对滇中植烟土壤氮素矿化及微生物功能多样性的影响

王 政<sup>2</sup>, 刘 威<sup>1</sup>, 王 阁<sup>1</sup>, 韦建玉<sup>2</sup>, 赵园园<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学烟草学院烟草农业减害研究中心/烟草行业烟草栽培重点实验室,河南郑州 450002;

2. 广西中烟工业有限责任公司,广西南宁 530001)

**摘要:**为揭示土壤含水率对滇中典型清香型烤烟产区植烟土壤氮素矿化及土壤微生物功能多样性的影响,通过室内培养法研究不同水分条件[50% (Y-50%)、65% (Y-65%)、80% (Y-80%)]培养下,云南大理植烟土壤细菌和真菌群落功能多样性的差异。结果表明:(1)培养结束时,Y-50%、Y-65%、Y-80%处理土壤硝态氮含量分别为92.15、94.59、89.30 mg/kg;铵态氮含量分别为14.04、14.81、13.40 mg/kg,均表现为Y-65% > Y-50% > Y-80%。(2)细菌中6个优势菌门的相对丰度在各处理间有显著差异,Y-50%处理放线菌门相对丰度显著高于其他处理,Y-65%、Y-80%处理土壤变形菌门、厚壁菌门、浮霉菌门相对丰度差异不显著,但显著高于Y-50%处理;子囊菌门占土壤真菌总 OTU 数的90%以上,Y-80%处理相对丰度明显大于其他处理。(3)冗余分析结果表明硝态氮、铵态氮对不同土壤含水率处理样本细菌群落结构组成的影响强度为Y-65% > Y-80% > Y-50% > CK,而对不同土壤含水率处理样本真菌群落结构组成的影响强度大致相同,但均大于CK处理。(4)KEGG 代谢通路分析结果表明,各处理细菌预测功能种类差异较小,丰度差异较大,一级功能层以代谢最为活跃,各处理2级功能层子功能基因相对丰度变化明显;与固氮过程相关的 *nifK*、*nifD*、*nifH*、*anfH* 固氮酶基因相对丰度表现为Y-65%处理最高。综上,通过土壤含水率控制可以有效调节土壤氮素矿化动态以及氮循环相关功能基因、微生物群落功能多样性的变化,Y-65%处理土壤矿质氮含量以及与氮矿化相关功能微生物的相对丰度均高于其他处理。

**关键词:**土壤含水率;氮素矿化;功能基因;微生物群落结构;功能多样性

**中图分类号:**S572.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)21-0239-10

氮素是烟草生长发育过程中的必需元素之一,

烟株生长发育所需要的氮素大量来源于土壤有效氮<sup>[1-2]</sup>,土壤微生物在土壤氮矿化中起着非常重要的作用,它们是有机质转化的处理者和植物养分的活性库,通过其生物活动将有机态氮矿化分解成无机态氮,从而被植物根系所吸收<sup>[3-4]</sup>。在全球变暖背景下,土壤的水热环境发生极大变化,而土壤湿度作为影响土壤氮矿化的重要外部因子,其变化势

收稿日期:2023-01-02

基金项目:广西中烟工业有限责任公司项目(编号:2021450000340021)。

作者简介:王 政(1979—),男,硕士,高级农艺师,主要从事优质烟叶生产技术研究及管理工作。E-mail:16627843@qq.com。

通信作者:赵园园,博士,讲师,主要从事烟草栽培生理研究。  
E-mail:zhaoyy2019@henau.edu.cn。

[29]张静静. 土壤酸碱度调控对内蒙古草原植被群落及养分特征的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020.

[30]曹晓晖,蒋红丽,何 婧,等. 陇县某果园土壤养分分析[J]. 绿色科技,2021,23(7):55-57.

[31]高 莹,孙喜军,吕 爽,等. 西安市设施菜地土壤养分状况分析[J]. 陕西农业科学,2021,67(6):50-56.

[32]阿丽娅·阿力木,丛小涵,夏晓莹,等. 不同土地利用方式下土壤养分特征变化分析[J]. 新疆农业科学,2022,59(4):925-933.

[33]高丽娟,吕光辉,王 芸,等. 艾比湖地区盐生植物群落土壤氮素的垂直分布特征[J]. 干旱区研究,2014,31(1):51-56.

[34]Lee S B, Lee C H, Jung K Y, et al. Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long -

term fertilized paddy [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104 (2):227-232.

[35]Galantini J, Rosell R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87 (1):72-79.

[36]Wickland K P, Neff J C. Decomposition of soil organic matter from boreal black spruce forest: environmental and chemical controls [J]. Biogeochemistry, 2008, 87(1):29-47.

[37]于文睿南,潘 畅,郭佳欢,等. 杉木人工林表土有机质含量及其对土壤养分的影响[J]. 中国生态农业学报,2021,29(11):1931-1939.