



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

苏北典型葡萄种植集聚区土壤肥力特征与施肥对策——以灌南县为例

马啸驰, 黑若楠, 姚怡, 韩烽, 杨贵婷, 郭德杰, 汤茂锋, 罗佳, 马艳

引用本文:

马啸驰, 黑若楠, 姚怡, 韩烽, 杨贵婷, 郭德杰, 汤茂锋, 罗佳, 马艳. 苏北典型葡萄种植集聚区土壤肥力特征与施肥对策——以灌南县为例[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(4): 782–791.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0517>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

潮土区菜田土壤肥力现状评价

王倩姿, 王书聪, 张书贵, 张静芝, 孙志梅, 马文奇, 薛澄

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 645–653 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0233>

江西井冈山蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征

吴强建, 肖委明, 赵晓东, 谢志坚, 彭剑峰, 周春火

农业资源与环境学报. 2022, 39(5): 1025–1032 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0475>

黄淮海平原农区农用地土壤肥力评价及时空变化特征——以山东省博兴县为例

李颖慧, 姜小三

农业资源与环境学报. 2022, 39(3): 602–612 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0100>

勐海县茶园土壤养分状况及肥力质量评价

刘娟, 张乃明, 邓洪

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 79–86 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0063>

有机肥替代化肥对橘园土壤培肥及果实产量品质的影响

俞巧钢, 孙万春, 叶静, 胡妙丹, 林辉, 陈照明, 王强, 马军伟

农业资源与环境学报. 2023, 40(4): 755–762 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0631>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

马啸驰, 黑若楠, 姚怡, 等. 苏北典型葡萄种植集聚区土壤肥力特征与施肥对策——以灌南县为例[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(4): 782–791.

MA X C, HEI R N, YAO Y, et al. Soil fertility characteristics and strategy of fertilization for the typical grape-growing district in northern Jiangsu Province: a case study of Guannan County[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(4): 782–791.

苏北典型葡萄种植集聚区土壤肥力特征与施肥对策 ——以灌南县为例

马啸驰^{1,2,3}, 黑若楠^{1,2}, 姚怡^{1,2}, 韩烽^{1,3}, 杨贵婷^{1,2}, 郭德杰^{1,2}, 汤茂锋⁴, 罗佳^{1,2}, 马艳^{1,2*}

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2. 农业农村部盐碱土改良与利用(滨海盐碱地)重点实验室, 南京 210014; 3. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 4. 灌南县广盛农业科技有限公司, 江苏 灌南 222500)

摘要:了解葡萄种植集聚区土壤肥力特征是有效制定土壤与精准施肥管理措施的重要前提。本研究选取苏北灌南县为研究对象,对55家设施葡萄园非施肥区和施肥区土壤主要肥力指标进行了测定,运用主成分分析与隶属度函数相结合的模糊综合评价法,对土壤肥力特征进行了综合分析与评价。结果表明,葡萄园施肥区土壤综合肥力整体处于较高水平,其中有机质和全氮的指标权重最大,分别为18.98%和18.02%,是影响葡萄园土壤肥力的关键因子。与非施肥区土壤相比,施肥区有14.55%和10.91%的土壤分别存在有机质和全氮含量降低现象。研究区土壤pH均呈碱性,是限制土壤肥力的主要因子。葡萄园本底有效磷含量普遍偏低,均值为 $19.51\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而速效钾、交换性钙、交换性镁含量均处于较高水平,均值分别为 364.55 、 $12\ 346.52\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $816.66\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。施肥区土壤有效磷含量处于较高水平,均值为 $69.87\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,但仍有20.00%的土壤有效磷含量处于中等及以下水平。研究表明,苏北设施葡萄园应注重土壤酸碱度的调节及磷肥的适量补充,控制钾、钙、镁肥的投入,合理增施有机肥。

关键词:苏北;设施葡萄园;土壤养分;综合评价;管理措施

中图分类号:S663.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2023)04-0782-10

doi: 10.13254/j.jare.2022.0517

Soil fertility characteristics and strategy of fertilization for the typical grape-growing district in northern Jiangsu Province: a case study of Guannan County

MA Xiaochi^{1,2,3}, HEI Ruonan^{1,2}, YAO Yi^{1,2}, HAN Feng^{1,3}, YANG Guiting^{1,2}, GUO Dejie^{1,2}, TANG Maofeng⁴, LUO Jia^{1,2}, MA Yan^{1,2*}

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Key Laboratory of Saline-Alkali Soil Improvement and Utilization (Coastal Saline-Alkali Lands), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 3. College of Resource and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 4. Guannan Guangsheng Agricultural Technology Co., Ltd., Guannan 222500, China)

Abstract: Understanding the characteristics of soil fertility in the typical grape-growing district is a prerequisite for developing efficient soil and fertilization management strategies. The soil fertility characteristics in non-fertilization and fertilization areas of 55 protected vineyards in Guannan County northern Jiangsu Province were analyzed and comprehensively evaluated by using the fuzzy comprehensive evaluation method, which combined principal component analysis with membership function approach. Results revealed that the integrated soil fertility was at a good level; the soil organic matter and total nitrogen content had the highest evaluation weight with values of 18.98% and 18.02%, respectively among soil nutrient variables, which were key factors that influenced the soil fertility. However, 14.55% and

收稿日期:2022-08-02 录用日期:2022-10-15

作者简介:马啸驰(1989—),男,湖南株洲人,博士,助理研究员,主要从事果园水分和养分管理研究。E-mail: xiaochima@jaas.ac.cn

*通信作者:马艳 E-mail: myjaas@sina.com

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(21)2024);苏北科技专项(SZ-LYG202020);江苏现代农业(葡萄)产业技术体系建设项目(JATS[2022]446)

Project supported: Jiangsu Agriculture Science and Technology Innovation Fund(CX(21)2024); Earmarked Fund for Technology Innovation Project in northern Jiangsu Province(SZ-LYG202020); Earmarked Fund for Jiangsu Agricultural Industry Technology System(JATS[2022]446)

10.91% of the soil sampled in the fertilization area had decreased soil organic matter and total nitrogen content, respectively, compared with the non-fertilization area. Alkaline soil pH restricted soil fertility level in the fertilization area. The background value of soil available P content was generally low, with a mean value of $19.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; however, the content of available K, exchangeable Ca^{2+} , and exchangeable Mg^{2+} in soils were at high levels with values of 364.55, 12 346.52 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and 816.66 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. In the fertilization area, available P content was at a high level with a mean value of $69.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; however, available P content which was equal to or below the medium level was found in 20.00% of the soil samples. In conclusion, the soil pH and input of P, K, Ca, and Mg fertilizers need to be finely-tuned in protected vineyards in northern Jiangsu Province. Meanwhile, increases in the use and amount of organic fertilizer would be an efficient way to enhance the soil fertility.

Keywords: northern Jiangsu Province; protected vineyard; soil nutrient; comprehensive evaluation; management measure

我国葡萄总产量位居世界第一位,其中鲜食葡萄产量占世界总产量近50%,葡萄种植日益成为很多贫困地区脱贫攻坚、实现乡村振兴的重要支柱产业之一^[1]。江苏省葡萄产业近年来发展势头强劲,2020年种植面积与2010年相比增加56.3%,是我国设施葡萄避雨栽培最集中的优势区域之一^[2]。其中苏北地区尤以连云港市灌南县鲜食葡萄产业发展最为迅速,灌南县已形成典型葡萄种植集聚区,是江苏省最大的设施大棚优质葡萄生产基地,目前葡萄种植面积超2 000 hm^2 ,年总产量超3万t,年产值达10亿元,在江苏地区葡萄产业发展中占有重要地位。

土壤是葡萄生长的基础,良好的土壤肥力条件能有效保证葡萄高品质可持续生产^[3-5]。土壤pH值影响葡萄对养分的吸收能力,葡萄在中性土壤中吸收养分的能力较好,过酸或过碱的土壤会降低元素离子的移动性和有效性,影响葡萄根系对养分的吸收效率^[6]。此外,土壤有机质和养分含量的提高能促进葡萄根系发育,在增强根系对养分吸收能力的同时提高葡萄的抗逆能力^[7]。然而,农户在实际生产过程中为获得高产、优质的葡萄,往往会投入大量肥料,过度依赖经验施肥而忽略土壤本身的承载能力,导致土壤板结、酸化和盐渍化,同时造成不同养分元素间的拮抗作用和葡萄根系上浮等一系列问题^[8]。

对葡萄园土壤状况进行调查研究,是掌握土壤肥力水平并制定合理施肥策略的重要手段。近年来,国内学者在京津冀^[6,9]、湖南^[8]、陕西^[10-11]、广西^[12]、辽宁^[13]、广东^[14]、山东^[15]、云南^[16-17]等地开展了葡萄园土壤肥力状况的调查研究,并根据调研结果提出了针对不同地区土壤肥力提升的施肥建议。综合研究结果来看,改善土壤pH、增施有机肥、依据养分盈亏状况合理调整肥料用量是提升土壤肥力的主要途径。以往研究大多是基于各项养分指标的丰缺状况对土壤肥力进行单独评价,进而提出施肥建议。然而,土壤肥力是一

个综合性指标,受多因素共同影响,且不同养分指标对土壤肥力的影响程度存在差异。因此,仅通过对各项养分指标的丰缺变化进行单独评价很难有效评估葡萄园土壤肥力整体状况。

针对土壤主要养分指标进行定量分析与综合评价,已成为判断土壤肥力水平的重要方法^[18-19]。对土壤肥力评价指标的合理选择是准确评价土壤肥力的重要前提,所选择的评价指标须对土壤肥力的影响较大且相对稳定,以减少短期内因外界条件波动产生的干扰。另外,评价指标的权重反映各项指标对土壤肥力贡献的差异程度,也是决定土壤肥力综合评价准确性的关键^[20]。

近年来,已有研究运用相关数学方法及土壤综合评价模型对葡萄园土壤质量进行综合评价^[16-17,21],但暂无苏北典型葡萄种植集聚区土壤综合肥力水平的评价研究。为保障苏北地区葡萄园的可持续发展,提升葡萄品质,有必要对苏北设施葡萄园当前土壤养分水平进行调查研究,并基于此制定适宜的施肥策略,对葡萄园区土壤进行科学管理。

本研究运用主成分分析与隶属度函数相结合的模糊综合评价法,对灌南县55家设施葡萄园非施肥和施肥区域土壤单项肥力指标和综合肥力进行评价,了解灌南县设施葡萄园土壤肥力水平变化特征,为制定有助于苏北葡萄园土壤肥力提升的施肥管理对策提供数据支撑与科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

灌南县隶属于江苏省连云港市,位于江苏省东北部,连云港市南部($34^{\circ}05'17''\text{N}$, $119^{\circ}18'37''\text{E}$)。截至2020年6月下辖11个镇,总面积约为1 030 km^2 。土壤类型以潮土为主,耕层质地主要为黏土和黏壤土。灌南鲜食葡萄产区主要集中在新安镇、张店镇、

田楼镇、李集镇、新集镇、百禄镇、堆沟港镇等7个镇,另外在三口镇和孟兴庄镇有零星分布。前期的调研数据表明,灌南县葡萄园所施用的有机肥来源主要包括畜禽粪肥、菌菇渣肥和商品有机肥,每公顷用量范围在3.75~450 t之间。由于当地缺乏相关施肥标准,大多数农户依靠经验施肥,导致不同葡萄园之间有机肥和化肥用量差异巨大。本研究依托当地农业管理部门提供的基础数据资料,以覆盖灌南县主要葡萄种植集聚区为原则采集土壤样品,范围涵盖灌南县11个镇中的9个镇24个村,共55家设施葡萄园。园龄在1~5、6~10 a及大于10 a的葡萄园数量占比分别为52.7%、38.3%和9.0%,具体占比情况如表1所示。

表1 葡萄园园龄分布比例

Table 1 Proportion distribution of vineyard age

葡萄园园龄 Vineyard age/a	所占比例 Percentage/%	葡萄园园龄 Vineyard age/a	所占比例 Percentage/%
1	5.5	9	5.5
2	10.9	10	7.3
3	20.0	11	3.6
4	12.7	12	0
5	3.6	13	3.6
6	5.5	14	0
7	7.3	15	1.8
8	12.7		

1.2 土壤样品采集与处理

于2021年12月在设施葡萄园选定研究区域进行土壤样品采集,包括施肥区域和非施肥区域。施肥区域土壤样品采自距离葡萄种植行约60 cm处,通常为葡萄园集中施肥处。非施肥区域土壤样品采自葡萄园建棚后从未施肥的区域,以了解葡萄园土壤在未施肥条件下的本底肥力情况,评估施肥对葡萄园土壤肥力的提升效果。采样点选择在研究区域内分布均匀、园内施肥方式一致的葡萄园中。土壤采集依据多点混匀的原则,按梅花形布设五点采集0~30 cm土层范

围内土样,混匀后用四分法取约1 kg样品作为一个土壤样本,共采集有效土壤样品110份。

采集的土壤样品带回实验室,去除植物残体和其他杂物后,置于室内通风干燥处进行自然风干。风干土置于研磨仪中磨细,依次过20目和100目筛得到相应的土壤分析样品,进行土壤理化性质测定。

1.3 土壤样品测定指标及方法

测定指标:土壤样品测定指标包括pH值和有机质、全氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁含量。

测定方法:土壤pH值采用pH计测定;有机质采用重铬酸钾-外加热法测定;全氮采用凯氏消煮法测定;有效磷采用 NaHCO_3 浸提-分光光度计法测定;速效钾采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定;交换性钙和交换性镁采用乙酸铵交换-电感耦合等离子体发射光谱法测定。具体测定方法参照《土壤农化分析》(第三版)^[22]和《土壤农业化学分析方法》^[23]。

1.4 土壤肥力评价方法

1.4.1 土壤测定指标的选取

选取pH、有机质、全氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁7个指标,建立葡萄园土壤肥力质量评价指标体系。其中,葡萄最适生长的土壤pH范围为[6.5,7.5),pH值在[5.5,6.5)或[7.5,8.5)范围内葡萄生长受到一定影响,pH值<5.5或≥8.5均不利于葡萄生长。葡萄园土壤养分丰缺等级参考相关研究^[24]进行划分,具体如表2所示。

1.4.2 评价指标隶属函数构建

由于选取的肥力指标具有多样性,且各指标量纲不同,因此本研究采用模糊数学理论和隶属度函数对评价指标进行量纲归一化处理。依据土壤肥力指标与作物生长效应曲线将隶属度函数分为两种类型,分别为S型和抛物线型。将每个样本的原始统计资料分别代入相应的隶属函数公式,可以把定性或定量描述、不规则分布及有单位的原始数值转化成0.1~1.0分布的无量纲差异的隶属度值。最大值1.0表示土壤

表2 葡萄园土壤养分丰缺划分标准

Table 2 Criteria for classification of soil nutrient abundance in vineyards

养分指标 Nutrient parameter	极低 Very low	低 Low	中等 Medium	较高 Rich	高 Very rich
有机质/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~10.00	>10.00~15.00	>15.00~20.00	>20.00~25.00	>25.00
全氮/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~0.50	>0.50~0.80	>0.80~1.00	>1.00~1.50	>1.50
有效磷/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~15.00	>15.00~25.00	>25.00~45.00	>45.00~70.00	>70.00
速效钾/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~60.00	>60.00~120.00	>120.00~240.00	>240.00~400.00	>400.00
交换性钙/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~200.00	>200.00~400.00	>400.00~1 200.00	>1 200.00~3 600.00	>3 600.00
交换性镁/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0~60.00	>60.00~120.00	>120.00~250.00	>250.00~750.00	>750.00

肥力指标非常适合作物生长,最小值0.1则表示土壤肥力指标极度缺乏。

属于S型隶属度函数的土壤肥力指标包括有机质、全氮、有效磷、速效钾、交换性钙和交换性镁含量。相应的隶属度函数表达式为:

$$f(x)=\begin{cases}0.1 & x < x_1 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_2-x_1}+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 1.0 & x \geq x_2\end{cases}\quad (1)$$

属于抛物线型隶属度函数的土壤肥力指标为pH。相应的隶属度函数表达式为:

$$f(x)=\begin{cases}0.1 & x < x_1 \text{或} x \geq x_2 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_3-x_1}+0.1 & x_1 \leq x < x_3 \\ 1.0 & x_3 \leq x \leq x_4 \\ 1.0-\frac{0.9(x-x_4)}{x_2-x_4} & x_4 < x < x_2\end{cases}\quad (2)$$

由于不同作物间的单项肥力丰缺指标差异很大,因此,根据葡萄园土壤养分丰缺划分标准、葡萄生长对土壤pH的要求、灌南县土壤的实际情况及以往相关研究结果,综合确定各指标的拐点值(表3)。

1.4.3 指标权重值的确定

由于各项指标特征值对研究区域土壤肥力影响程度不同,应赋予不同的权重系数。参评指标的权重值采用主成分分析法确定。通过SPSS Statistics 25中的主成分分析法,对数据进行恰当的数学变换,使新得到的主成分成为原变量的线性组合,对肥力指标进行降维处理,依照顺序选取贡献率较大且解释总方差超过80%的主成分。依据各肥力指标的得分系数及对应的主成分特征值计算出各指标权重(表3)。主成分分析法充分利用全部数据包含的信息,运用主成分的贡献率作为计算指标权重值的标准,其得出的权重值是依据数理统计规律得到的计算结果,较为

客观。

1.4.4 土壤肥力综合评价指数的计算

将土壤各指标隶属度值和权重值带入下列公式,计算土壤综合肥力指数(*IFI*):

$$IFI=\sum_{i=1}^n F_i \times W_i \quad (3)$$

式中:*n*为参评因子数;*F_i*为第*i*个因子的隶属度值;*W_i*为第*i*个因子的权重值。

1.5 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2021对数据进行整理和分析,使用SPSS Statistics 25进行肥力指标间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力描述性统计分析

2.1.1 土壤pH值

从表4可以看出,葡萄园非施肥区域土壤pH值变化范围在7.42~8.66之间,平均值为8.29,变异系数为3.44%。其中18.18%的土壤呈强碱性,78.79%的土壤呈碱性。在葡萄园施肥区域中,土壤pH值变化范围为7.42~8.47,平均值为8.08,变异系数为2.99%。其中,98.18%的土壤呈碱性,仅有1.82%的土壤呈中性,表明当前葡萄园土壤整体偏碱性,但碱性强度较非施肥区域有所降低。变异系数(*CV*)表示变量的空间变异程度,其中*CV*<10%表示弱变异性;*CV*=10%~90%属于中等变异性;*CV*>90%表示强变异性^[18]。结果表明,非施肥区和施肥区土壤pH变异程度均较弱。

2.1.2 土壤有机质

表5和表6分别为葡萄园非施肥区域和施肥区域土壤主要养分指标含量分布情况。整体来看,灌南地区葡萄园非施肥区域土壤有机质含量平均值为17.01 g·kg⁻¹,属于中等水平,施肥区土壤有机质含量

表3 土壤肥力各评价指标的隶属度函数类型、阈值及其权重

Table 3 Types of membership function, threshold values and weight of soil fertility index

指标 Parameter	隶属度函数类型 Membership function	下限X1 Lower limit	上限X2 Upper limit	最优值下限X3 Lower bound of optimal value	最优值上限X4 Upper bound of optimal value	权重 Weight/%
有机质/(g·kg ⁻¹)	S型	10	25			18.98
全氮/(g·kg ⁻¹)	S型	0.5	1.5			18.02
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	S型	15	70			7.94
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	S型	60	400			11.93
交换性钙/(mg·kg ⁻¹)	S型	200	3 600			14.63
交换性镁/(mg·kg ⁻¹)	S型	60	750			15.73
pH	抛物线型	5.5	8.5	6.5	7.5	12.77

表4 葡萄园非施肥和施肥区域土壤pH值及其分布频率

Table 4 Soil pH values and distribution frequency in non-fertilization and fertilization areas

采样区 Sampling area	变化范围 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	分布频率 Frequency/%				
					强酸性 Strong acidic	酸性 Acidic	中性 Neutral	碱性 Alkaline	强碱性 Strong alkaline
非施肥区	7.42~8.66	8.29	0.29	3.44	<5.5	[5.5, 6.5)	[6.5, 7.5)	[7.5, 8.5)	≥8.5
施肥区	7.42~8.47	8.08	0.24	2.99	0	0	3.03	78.79	18.18
					0	0	1.82	98.18	0

平均值提升至 $25.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 达到高水平。然而, 在葡萄园施肥区采集的土壤样品中, 有机质含量最低值仅为 $9.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 38.77%, 25.93% 的葡萄园有机质含量处于中等水平, 同时仍有 3.70% 的葡萄园有机质含量处于中等以下水平。

2.1.3 土壤全氮

土壤中的全氮含量反映土壤氮素的总储量和供氮能力, 也是土壤肥力的主要指标之一。从表5中可以看出, 非施肥区域土壤全氮含量平均值为 $1.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中 18.18% 的土壤全氮含量在中等及以下水平, 而全氮含量在 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上的葡萄园仅占 15.15%。与葡萄园非施肥区域相比, 施肥区域土壤全氮含量平均值提高 $0.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化范围为 $0.66 \sim 3.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 30.88%, 整体在较高水平以上, 其中有 66.67% 的葡萄园土壤全氮含量在 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上(表6)。

2.1.4 土壤有效磷

葡萄园非施肥区域土壤有效磷平均含量为 $19.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 64.71%, 指标变异性中等, 其中有 81.82% 的土壤有效磷含量处于低水平和极低水平(表5)。施肥区域土壤有效磷平均含量为 $69.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 较非施肥区提高 $50.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 46.08%, 指标变异性中等, 处于低水平和极低水平的土壤占比减少至 7.27%(表6)。

2.1.5 土壤速效钾

葡萄园非施肥区域土壤速效钾含量范围为 $70.00 \sim 795.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为 $364.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 处于较高水平, 其中有 18.18% 的土壤速效钾含量处于中等和低水平, 未发现有土壤样品速效钾含量处于极低水平(表5)。施肥区域土壤速效钾含量范围为 $255.00 \sim 1\ 680.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为 $906.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与非施肥区域相比, 施肥后葡萄园土壤速效钾含量均

表5 葡萄园非施肥区域土壤养分含量及其分布频率

Table 5 Soil nutrient content and distribution frequency in non-fertilization area

养分指标 Nutrient parameter	含量范围 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	分布频率 Frequency/%				
					极低 Very low	低 Low	中等 Medium	较高 Rich	高 Very rich
有机质/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.06~26.85	17.01	6.53	38.37	15.62	15.62	25.00	34.38	9.38
全氮/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.23~2.75	1.30	0.44	34.15	3.03	9.09	6.06	66.67	15.15
有效磷/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	5.74~60.45	19.51	12.63	64.71	42.43	39.39	12.12	6.06	0
速效钾/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	70.00~795.00	364.55	149.06	40.89	0	9.09	9.09	42.43	39.39
交换性钙/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	6 453.56~16 329.52	12 346.52	2 536.68	20.55	0	0	0	0	100.00
交换性镁/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	306.31~1 253.90	816.66	240.95	29.50	0	0	0	45.45	54.55

表6 葡萄园施肥区域土壤养分含量及其分布频率

Table 6 Soil nutrient content and distribution frequency in fertilization area

养分指标 Nutrient parameter	含量范围 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	分布频率 Frequency/%				
					极低 Very low	低 Low	中等 Medium	较高 Rich	高 Very rich
有机质/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	9.47~57.99	25.96	10.07	38.77	1.85	1.85	25.93	25.93	44.44
全氮/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.66~3.47	1.81	0.56	30.88	0	1.85	0	31.48	66.67
有效磷/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	10.00~145.50	69.87	32.20	46.08	5.45	1.82	12.73	34.55	45.45
速效钾/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	255.00~1 680.00	906.98	356.89	39.35	0	0	0	9.09	90.91
交换性钙/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	7 110.57~17 873.03	12 754.89	2 327.99	18.25	0	0	0	0	100.00
交换性镁/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	270.23~1 653.66	937.57	290.07	30.94	0	0	0	26.92	73.08

在较高及以上水平(表6)。

2.1.6 土壤交换性钙

葡萄园非施肥区域和施肥区域土壤交换性钙含量整体均处于高水平,平均值在12 000 mg·kg⁻¹以上。非施肥区域土壤交换性钙含量范围为6 453.56~16 329.52 mg·kg⁻¹,平均值为12 346.52 mg·kg⁻¹,变异系数为20.55%,变异程度中等。施肥区域交换性钙含量平均值较非施肥区域提高408.37 mg·kg⁻¹,平均值为12 754.89 mg·kg⁻¹,变异系数为18.25%,变异程度中等。

2.1.7 土壤交换性镁

葡萄园非施肥区域和施肥区域土壤交换性镁含量均处于较高水平以上(表5、表6)。非施肥区域交换性镁含量范围为306.31~1 253.90 mg·kg⁻¹,平均值为816.66 mg·kg⁻¹,变异系数为29.50%,变异程度中等。施肥区域交换性镁含量范围为270.23~1 653.66 mg·kg⁻¹,平均值为937.57 mg·kg⁻¹,变异系数为30.94%,变异程度中等。

2.2 土壤肥力指标相关性分析

土壤肥力指标间的相关性通过皮尔逊相关系数表征,结果如表7和表8所示。在非施肥和施肥区域中,土壤有机质、全氮、速效钾3个指标之间均存在极

显著正相关关系($P<0.01$)。其中有机质与全氮的正相关性最强,在非施肥区中相关系数为0.718,施肥区中相关系数为0.893。全氮与速效钾、有机质与速效钾之间的相关性次之,相关系数在非施肥区分别为0.489和0.536,在施肥区分别为0.518和0.507。与此同时,土壤有效磷与速效钾、有机质与交换性镁、交换性钙与交换性镁在非施肥区和施肥区也均表现出显著正相关性,相关系数分别为0.529和0.561、0.435和0.285、0.686和0.517。土壤有效磷仅在施肥区中表现出与有机质、全氮的显著正相关性,相关系数分别为0.411和0.441。土壤交换性钙与有机质、全氮,以及速效钾与交换性钙、交换性镁的显著正相关性仅在非施肥区域中发现。

2.3 灌南地区葡萄园土壤肥力评价指标的隶属度

土壤各指标的平均隶属度值通过雷达图来反映(图1)。从图1可以看出,在葡萄园非施肥区域,土壤有效磷隶属度函数值最小,平均值仅为0.20,pH值次之,平均值为0.29。针对葡萄园施肥区域,土壤pH值隶属度函数值最小,平均值为0.47。土壤速效钾、交换性钙和交换性镁隶属度函数值在葡萄园非施肥和施肥区域均较高,平均值均大于0.80。通过比较不

表7 灌南县设施葡萄园非施肥区域土壤肥力指标相关性分析(皮尔逊相关系数)

Table 7 Correlation analysis of soil fertility index in non-fertilization area of vineyards, Guannan County (Pearson correlation coefficient)

指标 Index	有机质 Organic matter	全氮 Total N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	交换性钙 Exchangeable Ca	交换性镁 Exchangeable Mg
pH值	-0.289	-0.147	0.018	0.179	0.082	0.076
有机质		0.718**	0.248	0.536**	0.364*	0.435*
全氮			0.266	0.489**	0.523**	0.333
有效磷				0.529**	0.122	-0.067
速效钾					0.414*	0.401*
交换性钙						0.686**

注:*和**分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。下同。
Note:* and ** represent statistical differences at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. The same below.

表8 灌南县设施葡萄园施肥区域土壤肥力指标相关性分析(皮尔逊相关系数)

Table 8 Correlation analysis of soil fertility index in fertilization area of vineyards, Guannan County (Pearson correlation coefficient)

指标 Index	有机质 Organic matter	全氮 Total N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	交换性钙 Exchangeable Ca	交换性镁 Exchangeable Mg
pH值	-0.122	-0.172	-0.174	-0.127	0.178	0.130
有机质		0.893**	0.411**	0.507**	0.201	0.285*
全氮			0.441**	0.518**	0.225	0.261
有效磷				0.561**	-0.124	-0.154
速效钾					0.259	0.228
交换性钙						0.517**

同园龄葡萄园施肥区土壤各指标隶属度函数值发现,园龄在10 a以上的葡萄园土壤pH值隶属度函数值最小,其次为6~10 a园龄和1~5 a园龄葡萄园。土壤有机质和全氮隶属度函数平均值随着园龄的增加而提高。

2.4 土壤肥力综合评价指数

由于反映土壤肥力水平的各指标特征值的重要性不相同,因此根据其重要程度赋予不同的权重系数更能准确地计算土壤综合肥力指数。从表3可知,土壤肥力综合评价各指标权重的顺序为有机质>全氮>交换性镁>交换性钙>pH值>速效钾>有效磷。其中有机质与全氮含量在土壤肥力质量评价指标体系中权重最大,分别为18.98%和18.02%。

对于葡萄园非施肥区域,土壤综合肥力指标值范围在0.31~0.90之间,仅有15.62%的土壤综合肥力处

于优等水平,59.38%的土壤肥力良好,肥力水平中等及以下的土壤占比25.00%,其中肥力水平较差的土壤占比6.25%(表9)。

葡萄园施肥区域土壤肥力水平较非施肥区域有显著提升,土壤综合肥力指标值范围处于0.58~0.99之间,土壤综合肥力水平为优等的土壤占比达79.24%,肥力水平在中等的土壤占比减少至1.89%,无土壤处于中等以下的肥力水平(表9)。

对葡萄园园龄进行划分后比较施肥区土壤综合肥力指数差异发现,1~5 a园龄葡萄园土壤综合肥力为优等的占比为78.57%。与此相比,园龄为6~10 a的葡萄园在同等级的比例略有下降,为75.00%,但土壤肥力水平位于良好等级的葡萄园占比提高至25.00%。园龄在10 a以上的葡萄园土壤肥力均处于优等水平(表10)。

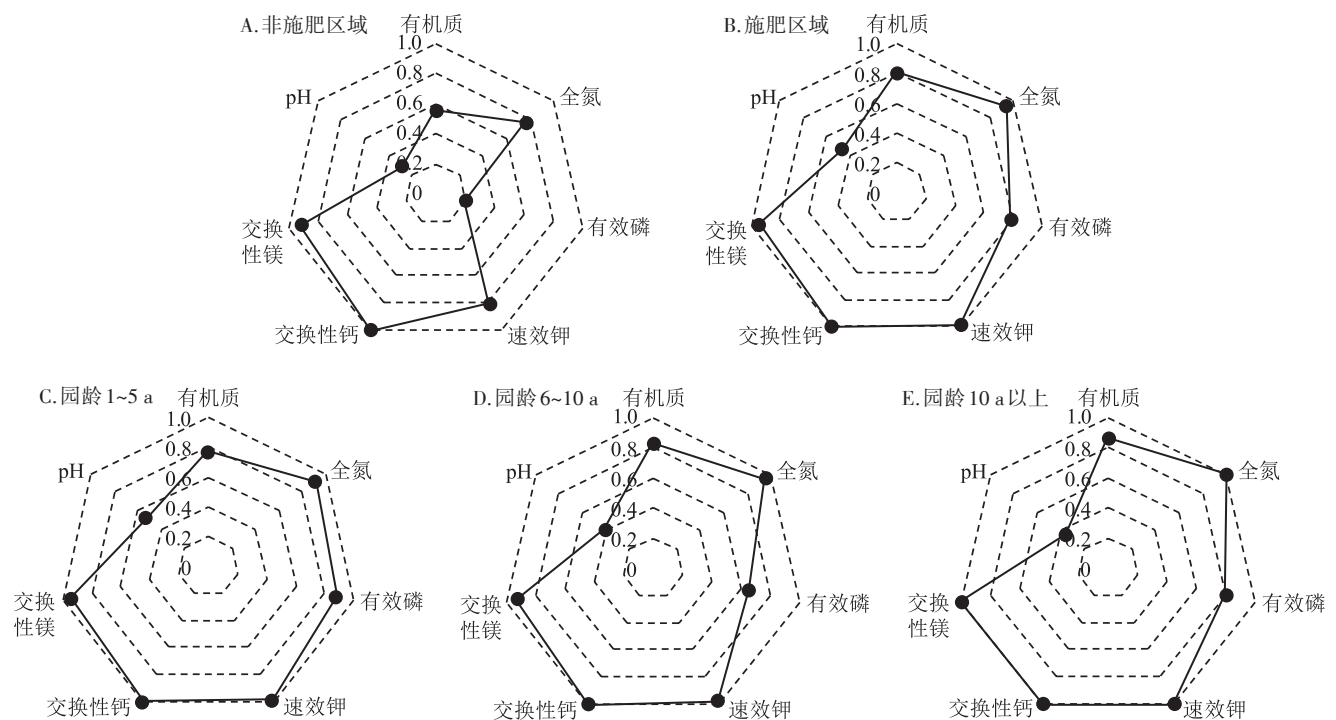


图1 土壤肥力指标隶属度值的雷达图

Figure 1 Radar graphs for membership grade of soil fertility index

表9 葡萄园非施肥区和施肥区土壤综合肥力指标值及各等级分布比例

Table 9 Soil *IFI* index and distribution frequency in non-fertilization and fertilization areas

采样区 Sampling area	土壤综合肥力指标值 <i>IFI</i>			各等级比例 Frequency/%				
	范围 Range	平均值 Mean	标准差 SD	差 Poor ($IFI < 0.2$)	较差 Fair ($0.2 \leq IFI < 0.4$)	中等 Medium ($0.4 \leq IFI < 0.6$)	良好 Good ($0.6 \leq IFI < 0.8$)	优 Excellent ($IFI \geq 0.8$)
非施肥区	0.31~0.90	0.68	0.15	0	6.25	18.75	59.38	15.62
施肥区	0.58~0.99	0.86	0.09	0	0	1.89	18.87	79.24

表 10 不同园龄葡萄园土壤综合肥力指数及各等级分布比例
Table 10 Soil *IFI* index and distribution frequency in vineyards at different ages

葡萄园园龄 Vineyard age/a	土壤综合肥力指标值 <i>IFI</i>			各等级比例 Frequency/%				
	范围 Range	平均值 Mean	标准差 <i>SD</i>	差 Poor (<i>IFI</i> <0.2)	较差 Fair (0.2≤ <i>IFI</i> <0.4)	中等 Medium (0.4≤ <i>IFI</i> <0.6)	良好 Good (0.6≤ <i>IFI</i> <0.8)	优 Excellent (<i>IFI</i> ≥0.8)
1~5	0.58~0.96	0.86	0.09	0	0	3.57	17.86	78.57
6~10	0.60~0.99	0.84	0.09	0	0	0	25.00	75.00
>10	0.82~0.94	0.88	0.04	0	0	0	0	100.00

3 讨论

3.1 土壤肥力状况分析与综合评价

土壤主要肥力因子的变化特征及养分丰缺状况是指导葡萄园进行合理施肥的重要依据。土壤pH影响葡萄对养分元素的吸收,其中中性土壤(pH值在6.5~7.5之间)最有利于葡萄的生长,而研究区域葡萄园土壤均偏碱性,这与灌南县主要土壤类型为碱性潮土有关。未施肥区和施肥区土壤pH的隶属度函数值均较小,表明土壤pH是影响葡萄园土壤肥力提升的主要限制因子。与未施肥区相比,施肥区土壤pH平均值降低0.21,这可能与当地葡萄园经常施用过磷酸钙、硫酸钾等酸性化肥有关。与非施肥区域相比,大多数葡萄园施肥区域土壤有机质含量有较大提升,但仍有14.55%的葡萄园施肥区域土壤有机质含量较非施肥区域有所降低,其中有63.64%的葡萄园园龄在7~10 a之间,36.36%的葡萄园园龄在2~5 a之间。同时发现有10.91%的葡萄园施肥区域全氮含量出现降低现象,其中园龄为2~5 a及7~10 a的葡萄园各占50.00%。葡萄园土壤有机质与全氮含量降低的原因主要是不同葡萄园间土壤本底肥力水平、施肥习惯和管理方式等存在差异^[19]。磷肥投入是提升土壤有效磷含量的主要手段,葡萄园磷肥的大量投入,加上磷肥当季利用率低的特点,使得短期内施肥区土壤有效磷含量均值较非施肥区提升2.6倍^[25]。本底土壤中速效钾含量处于较高水平,这与潮土中含有富钾矿物有关,而钾肥的投入使得土壤速效钾含量得到进一步提升,达到丰富水平^[19]。灌南地区葡萄园本底有效态钙、镁含量均达到丰富水平,而土壤中的钙、镁含量高低受土壤类型的影响^[26]。碱性土壤中的钙、镁含量较高,且主要以碳酸盐形式存在,这对控制土壤酸碱缓冲性能和有机质稳定性具有重要作用^[26]。

良好的土壤肥力是葡萄园优质高产的基础,其受土壤理化性质及养分元素变化的共同影响。与基于单一土壤养分指标的土壤肥力评价相比,在一定区域

尺度范围内通过选定土壤综合肥力指标并运用模糊数学的方法,能够更加合理地对土壤肥力水平进行综合评价^[18,27]。整体上看,葡萄园本底土壤综合肥力均值处于良好水平,其中土壤pH和有效磷含量是土壤肥力的限制因子,而施肥区土壤综合肥力得到显著提升,整体处在优等水平。通过对参评指标的权重值进行计算发现,有机质和全氮含量是影响灌南地区葡萄园土壤肥力的两个关键指标,使葡萄园土壤有机质和全氮含量维持在丰富水平,能为葡萄优质生产提供良好的土壤肥力条件。

3.2 苏北葡萄园施肥建议

葡萄园土壤养分应维持在相对充足但不过量的水平,同时推荐施肥量时应考虑一定目标产量下葡萄果实及树体生长所需的养分带走量,以实现葡萄的优质高产。若葡萄园土壤养分水平过高,应适当降低施肥水平,避免土壤养分过剩造成的环境风险,同时节省施肥成本。针对葡萄园土壤有机质含量偏低的问题,生产中可在葡萄收获期后(9—10月)增施有机肥或生物菌肥,此时间段通常为葡萄根系第二次生长高峰期,有利于树体对养分的吸收^[24]。有机肥可选择腐熟的粪肥及苏北地区易于获得的菌菇渣有机肥等,另外种植绿肥既有助于提升土壤肥力,也有利于调节碱性土壤的pH值,改善土壤孔隙结构,起到改良土壤的效果。同时葡萄园中可适量施用碱性土壤调理剂,其既能帮助降低土壤的pH值,也有助于补充土壤中的有益中微量元素。葡萄园在建园初期需增施磷肥,秋季随基肥施入,用以提高土壤有效磷含量,建园后期需依据土壤的养分变化特征及葡萄的生长规律适量补充磷肥,避免钾、钙、镁肥的过量投入。

4 结论

(1)苏北灌南设施葡萄园施肥区土壤综合肥力整体处于较高水平,优等耕地占比达79.25%。但与非施肥区土壤相比,仍有14.55%和10.91%的施肥区土壤分别存在有机质和全氮含量降低现象。

(2)灌南地区葡萄园土壤以碱性潮土为主,土壤pH是限制土壤肥力的主要因子。增施腐熟的粪肥、菌菇渣有机肥或种植绿肥能有效改良土壤,提升土壤肥力。同时适量施用碱性土壤调理剂可帮助降低土壤的碱化程度,补充土壤中有益于葡萄生长和品质提升的中微量元素。

(3)设施葡萄园本底土壤有效磷含量偏低,而速效钾、交换性钙、交换性镁含量较高。因此,葡萄园在建园初期应注重磷肥的补充,在后期管理中依据土壤养分水平变化及葡萄对养分的需求规律合理补充磷肥,控制钾、钙、镁肥的投入,降低因土壤养分过剩而带来的环境风险,节约施肥成本。

参考文献:

- [1] 刘俊,晁无疾,仝桂梅,等.蓬勃发展的中国葡萄产业[J].中外葡萄与葡萄酒,2020(1):1-8. LIU J, CHAO W J, QI G M, et al. Booming development of Chinese grape industry[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2020(1):1-8.
- [2] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020. National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook[M]. Beijing:China Statistics Press, 2020.
- [3] 袁园园,门洪文,马盼,等.不同砧木嫁接对“金手指”葡萄生长和一些生理特性的影响[J].西北农业学报,2015,24(8):110-115. YUAN Y Y, MEN H W, MA P, et al. Impacts of different rootstocks on growth and some physiological characters of “Gold Finger” grapevine[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2015, 24(8):110-115.
- [4] 李萍,张蕾,吴文强,等.北京市延庆葡萄主产区土壤养分丰缺状况评价与分析[J].中国农技推广,2018,34(9):46-49. LI P, ZHANG L, WU W Q, et al. Evaluation and analysis of soil nutrient abundance and deficiency in Yanqing grape production area in Beijing[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2018, 34(9):46-49.
- [5] 杨阳,胡文效,郭成士,等.山东蓬莱坡地葡萄园耕作层土壤养分状况调查[J].中外葡萄与葡萄酒,2015(3):24-27. YANG Y, HU W X, GUO C S, et al. Analysis of soil nutrient condition of farming layer in hillside vineyards of Penglai region in Shandong[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2015(3):24-27.
- [6] 刘佳,李兆君,龙健,等.京津冀地区葡萄园土壤肥力水平分析及施肥建议[J].中国土壤与肥料,2022(8):14-22. LIU J, LI Z J, LONG J, et al. Analysis on soil fertility level and fertilization suggestion of vineyard in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2022(8):14-22.
- [7] 王小龙,刘凤之,史祥宾,等.不同有机肥对葡萄根系生长和土壤养分状况的影响[J].华北农学报,2019,34(5):177-184. WANG X L, LIU F Z, SHI X B, et al. Effects of organic fertilizers on root growth and soil nutrition of grape[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(5):177-184.
- [8] 孙梦飞.湖南省葡萄主产园区土壤质量特征研究[D].长沙:湖南农业大学,2018. SUN M F. Soil quality characteristics of main grape producing areas in Hunan[D]. Changsha:Hunan Agricultural University, 2018.
- [9] 尹兴,吉艳芝,倪玉雪,等.河北省葡萄主产区土壤养分丰缺状况[J].中国农业科学,2013,46(10):2067-2075. YIN X, JI Y Z, NI Y X, et al. Status of soil fertility in vineyard-producing areas of Hebei Province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(10):2067-2075.
- [10] 高义民,同延安,马文娟.陕西关中葡萄园土壤养分状况分析与平衡施肥研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006(9):41-44. GAO Y M, TONG Y A, MA W J. Study on grape soil nutrients condition and balanced fertilization in Shaanxi Guanzhong area[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2006(9):41-44.
- [11] 杨珍.陕西省葡萄主产区土壤养分状况分析[D].杨凌:西北农林科技大学,2016. YANG Z. Analysis of soil nutrients in main grape producing areas in Shaanxi Province[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.
- [12] 刘淑仪,陈桂芬,刘忠,等.南宁市葡萄园营养状况调查分析[J].现代农业科技,2018(15):99-101. LIU S Y, CHEN G F, LIU Z, et al. Investigation and analysis on nutritional conditions of vineyard in Nanning City[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018(15):99-101.
- [13] 姜春荣,李学文,王秀娟,等.北宁市葡萄主产区土壤肥力分析及施肥对策[J].辽宁农业科学,2004(6):21-23. LOU C R, LI X W, WANG X J, et al. Analysis of soil fertility and fertilization countermeasures in main grape producing areas of Beining City[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2004(6):21-23.
- [14] 谢玉明,聂松青,聂俊,等.广东东莞地区阳光玫瑰葡萄园土壤养分状况分析[J].经济林研究,2021,39(3):197-204. XIE Y M, NIE S Q, NIE J, et al. Analysis of soil nutrients status in shine muscat vineyards of Dongguan, Guangdong[J]. *Non-wood Forest Research*, 2021, 39(3):197-204.
- [15] 杨阳,谭玉超,汤小宁.济南市葡萄园土壤肥力水平分析及施肥建议[J].中国果菜,2020,40(4):61-67. YANG Y, TAN Y C, TANG X N. Soil fertility status and fertilization recommendation for vineyards in Jinan City[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2020, 40(4):61-67.
- [16] 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. ZHANG X Z, SHI J, ZHANG N M, et al. Fertility characteristics and evaluation of the wine-growing region of Yunnan[J]. *Soils*, 2014, 46(1):184-187.
- [17] 赵学通,包立,史静,等.云南宾川葡萄园土壤肥力特征与评价[J].中国农学通报,2014,30(22):232-237. ZHAO X T, BAO L, SHI J, et al. The characteristics and evaluation of soil fertility in vineyard in Binchuan, Yunnan[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(22):232-237.
- [18] 王秋君,马艳,郭德杰,等.设施蔬菜土壤养分状况分析及综合评价[J].江苏农业学报,2019,35(3):624-630. WANG Q J, MA Y, GUO D J, et al. Analysis and comprehensive evaluation of soil nutrient status for greenhouse vegetable[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 35(3):624-630.
- [19] 李颖慧,姜小三.黄淮海平原农区农用地土壤肥力评价及时空变化特征:以山东省博兴县为例[J].农业资源与环境学报,2022,39

- (3):602-612. LI Y H, JIANG X S. Spatiotemporal characteristics of soil nutrients and fertility evaluation of agricultural land in the Huang-Huai-Hai Plain agricultural area: a case study of Boxing County, Shandong Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(3):602-612.
- [20] 吕新, 寇金梅, 李宏伟. 模糊评判方法在土壤肥力综合评价中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004(3):56-59. LÜ X, KOU J M, LI H W. Fuzzy integrative evaluation of soil fertility based on GIS[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004(3):56-59.
- [21] 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. FAN X H. Comprehensive evaluation of soil quality in the vineyards of Fu'an[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2020, 51(6):1297-1302.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000. BAO S D. Soil agrochemical analysis[M]. 3rd Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000. LU R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [24] 李宝鑫, 杨俐苹, 卢艳丽, 等. 我国葡萄主产区的土壤养分丰缺状况[J]. 中国农业科学, 2020, 53(17):3553-3566. LI B X, YANG L P, LU Y L, et al. Status of soil fertility in main grape producing areas of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(17):3553-3566.
- [25] 郭斗斗, 张珂珂, 王柏寒, 等. 潮土累积磷的供磷能力及其有效磷消耗特征[J]. 植物营养与肥科学报, 2021, 27(6):949-956. GUO D D, ZHANG K K, WANG B H, et al. Supply capacity and depletion characteristics of accumulated phosphorus in fluvo-aquic soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2021, 27(6):949-956.
- [26] 王擎运, 张佳宝, 赵炳梓, 等. 长期施肥对典型潮土钙、镁形态转化及其环境行为的影响[J]. 土壤, 2020, 52(3):476-481. WANG Q Y, ZHANG J B, ZHAO B Z, et al. Effects of long-term fertilization on calcium and magnesium morphological transformation and environmental behavior in typical fluvo-aquic soil[J]. *Soils*, 2020, 52(3):476-481.
- [27] 骆东奇, 白洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2):202-205. LUO D Q, BAI J, XIE D T. Research on evaluation norm and method of soil fertility[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(2):202-205.

爱护环境

美好家园



《农业资源与环境学报》公益宣传