

李玉梅,王小龙,马玉全,等. 基于果实品质的夏黑葡萄园土壤营养诊断研究[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):211-218.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.01.031

基于果实品质的夏黑葡萄园土壤营养诊断研究

李玉梅,王小龙,马玉全,张艺灿,王海波

(中国农业科学院果树研究所/农业部园艺作物种质资源利用重点实验室/

辽宁省落叶果树常量营养与肥料高效利用重点实验室,辽宁兴城 125100)

摘要:以湖北和河南 2 个产区主栽的 4~5 年生夏黑葡萄为试材,测定成熟期的果实品质以及初花期、末花期、转色期和成熟期的土壤氮、磷、钾、钙、镁、铁等矿质养分有效含量,通过分析果实品质与土壤矿质元素间的相关性确定营养诊断因子,并利用组分营养诊断法(CND)建立果实品质与土壤矿质养分的函数模型进行土壤营养诊断。土壤养分测定发现,2 个产区土壤大量元素中钙元素含量均较低,处于中等甚至缺乏水平,氮、磷、钾和镁元素的含量则相对较高;微量元素中,铁、锰、铜和锌元素含量也较高,均在丰富水平以上,甚至湖北产区已经超过了极丰富水平,但是 2 个产区的硼和钼元素含量相对较,硼元素含量在中等水平上下浮动,钼元素则处于极缺乏水平。各养分进行营养诊断时葡萄所处的生育期及土壤的土层:氮,转色期(40~60 cm);磷,初花期(20~40 cm);钾、钙、镁、铜、锌,末花期(40~60 cm);硼,成熟期(40~60 cm);铁,转色期(0~20 cm);锰,转色期(20~40 cm);钼,转色期(40~60 cm)。最适宜养分范围如下:氮 27.16~157.24 mg/kg,磷 0.81~5.77 mg/kg,钾 106.80~131.50 mg/kg,钙 6 492.00~14 260.00 mg/kg,镁 517.15~708.75 mg/kg,硼 0.90~1.20 mg/kg,铜 0.86~2.40 mg/kg,铁 58.93~100.24 mg/kg,锰 81.77~88.05 mg/kg,钼 0.01~0.03 mg/kg 以及锌 0.94~1.33 mg/kg。对低优园土壤进行进一步诊断发现,低优园土壤中有效氮、钾、钙、镁、硼、钼含量偏低,有效磷、铜、铁、锰、锌含量相对充足。因此对于低优园在后续管理中应重点关注对含量偏低元素的补充,尤其注意补充钙镁肥和硼肥,但补充的量应在参照最适宜养分的基础上根据实际情况而定,以免补充过量引起矿质元素的互相拮抗,加重土壤中养分的不平衡。

关键词:夏黑葡萄;土壤;果实品质;营养诊断;养分分级

中图分类号:S663.101

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2023)01-0211-07

土壤作为陆生植物生活的基质,不仅为植物的生存提供必需的营养和水分,更是影响植物的生长发育和高产优质。因此,对土壤养分进行全面客观的评价是制定科学合理的土壤施肥制度的基础^[1],对于提高肥料利用率、减少盲目施肥与过量施肥造成的农业污染和资源浪费以及农业生产具有重大的指导意义。对于营养诊断的研究很早就已经开始,且诊断方法与技术也已经非常成熟。目前,常用的营养诊断方法主要有 Beaufils 提出的营养诊断与施肥建议综合法(DRIS)^[2]和 Parent 提出的成分

营养诊断法(CND)^[3],而 CND 是通过数据分析将二元分析方法 DRIS 拓展得到的一种多元分析方法,因该方法可以同时明确所有分析元素间的互作关系,所以是农业生产中较常用的一种营养诊断方法。而营养诊断对象的选择目前的研究主要集中于对农作物本身的诊断研究^[4-6],对于土壤的营养诊断较少,且主要基于对某单一或少数元素^[7-11]或基于建立产量与土壤营养诊断之间关系的研究^[10,12-14]。所以,在此基础上本研究致力于建立全面可靠的葡萄果实品质与土壤营养诊断的关系,通过利用 CND 法构建土壤矿质养分与果实品质指数关系模型,明确针对获得优质葡萄果品的适宜土壤矿质养分含量范围,初步明确限制葡萄果实品质发展的土壤矿质养分因子,明确葡萄园土壤中有效态矿质元素的丰缺情况并制定基于获得优质果品时的各矿质元素对应的精确采样时期和土层指标,能很大程度上减少成本和工作量,并尽可能地减少全范围取土对土壤结构的破坏,以期葡萄栽培生产中获得优质果品提供理论指导和因地制宜施肥提

收稿日期:2022-02-28

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-29);

中国农业科学院基本科研业务费专项院级统筹项目(编号:Y2019XK16-02);中国农业科学院创新工程项目(编号:CAAS-ASTIP-2016-RIP-04)。

作者简介:李玉梅(1995—),女,甘肃庆阳人,硕士,研究方向为葡萄栽培生理。E-mail:2365382586@qq.com。

通信作者:王海波,硕士,研究员,研究方向为果树栽培与育种。

E-mail:haibo8316@163.com。

供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究于 2018 年 5—9 月底分别于河南省农业科学院豫东试验基地 (113.69°E, 34.76°N) 采集 16 个试验园的土壤样品 192 份和湖北省农业科学院果树茶叶研究所基地 (114.34°E, 30.50°N) 采集 16 个试验园的土壤样品 192 份。河南省 (豫东) 葡萄园土壤类型为轻质潮土, 土壤 pH 值为 6.9, 有机质含量为 12.9 g/kg, 中等肥力水平^[15]; 栽植行距 × 株距为 3 m × 1 m, 南北行向, 高宽垂架势, 树龄 4 年, 施肥灌水按常规管理进行。湖北省 (武汉) 葡萄园为红壤土、低洼地垄田, 土壤 pH 值为 7.0 ~ 7.5、有机质含量为 13.6 g/kg, 肥力中等, 栽植行距 × 株距为 3 m × 1.7 m, 高于“Y”树形; 树龄 5 年, 肥水常规管理。

土壤样品采集方式: 以树体主干为圆心, 30 cm 为半径的圆周采集 8 ~ 10 处 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 的土样, 然后分层混合均匀获得 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 的土样各 1 份, 共 3 份, 每份 500 g, 采样时期选择初花期、末花期、转色期和成熟期 4 个生育期。32 个试验园共计采样 384 份。

果实采集方式: 于果实成熟期采集果粒, 每试验园选择长势中庸且健康的树体 3 棵, 每棵树采集 2 串果穗, 32 个试验区共采集 (3 × 2 × 32) 串果穗用于测定品质指标。

1.2 试验方法与测定指标

土壤样品采集后置于室内阴凉通风处自然风干, 风干后研磨去除杂质并过 2 mm 筛, 保存待测。土壤样品测定有效态矿质元素氮 (速效氮)、磷 (速效磷)、钾 (速效钾)、钙 (交换性钙)、镁 (交换性镁)、铁、锰、铜、锌、硼、钼 (下文提及的各矿质元素均为有效态的元素) 的含量。其中, 速效氮和速效磷含量的测定使用流动分析仪^[16-17]; 有效态钾、钙、镁等其他矿质元素的测定使用电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP)^[18]。

果实品质测定的指标参照王海波等的方法^[19]确定为单粒质量和可溶性固形物含量 2 个指标, 单粒质量通过电子天平测量, 而可溶性固形物含量利用手持式折光仪测定。所有测定指标均进行 3 次重复。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 对土壤矿质养分数据进行统计

分析, 采用 SPSS 20.0 软件, 通过单因素 (One - Way ANOVA) 和 Duncan's 法进行方差分析和多重比较 ($\alpha = 0.05$); 利用 Pearson's 法对土壤各矿质元素间以及矿质元素与果实综合品质指数进行相关性分析 ($\alpha = 0.01$); 综合品质指数是采用 DPS 7.5 数据处理系统中的 Topsis 综合评价法对品质指标赋予固定权重后计算而得, 而各品质指标所占权重采用李思佳研究提供的经过国家葡萄产业体系通过对消费者和零售商的调研, 然后利用层次分析法确定的值, 即代表外观品质的单粒质量的权重是 0.236, 代表口感的可溶性固形物权重是 0.573^[20]。

2 结果与分析

2.1 土壤中各矿质养分含量

对照第 2 次全国土壤普查的养分分级标准^[15], 由表 1 知, 在河南地区的葡萄园土壤中, 速效氮含量在果实成熟期较高, 处于很丰富甚至极丰富的水平; 有效磷含量则在末花期相对较高, 超过分级表的极丰富 (>40 mg/kg) 水平; 速效钾含量在 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 等 3 个土层中都表现为在果实转色至成熟阶段较高, 且均超出极丰富 (>200 mg/kg) 水平; 土壤可交换性钙含量在各时期的不同土层中均处于中等水平; 可交换性镁含量在不同土层中则呈现出随土层深度增加而递增的趋势。微量元素中, 铁、锰、铜和锌元素的含量较高, 铁和锰元素均超出了很丰富水平, 铜和锌元素则都在丰富水平以上, 硼元素处于中等至丰富水平, 而钼元素则处于极缺乏水平。在湖北地区的葡萄园土壤中, 3 个土层的速效氮含量都在末花期相对较高, 而转色至成熟阶段则相对较低, 处于中等甚至以下水平; 有效磷含量在 3 个土层中均集中在转色期较高, 远超出极丰富水平, 而速效钾含量在 0 ~ 20 cm 土层中表现为初花期较高, 但在 20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层中均表现为果实转色期含量高, 土壤可交换性钙含量在 3 个土层中均较低, 呈缺乏水平。土壤可交换性镁含量也表现为 0 ~ 20 cm 土层中初花期较高, 而 20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层中则集中在果实转色至成熟期相对较高。而微量元素中, 铁、锰、铜和锌元素含量较高, 均超出了分级表上各自的最高水平; 硼元素含量则位于中等甚至缺乏水平, 钼元素含量较低, 处于极缺乏 (<0.1 mg/kg) 水平。

2.2 土壤各矿质养分诊断因子确定

由表 2 知, 不同生育期的各矿质元素与果实品

表 1 各土层在不同时期的土壤矿物质养分含量

地区	矿物质元素	有效态元素含量(mg/kg)											
		0 ~20 cm				20 ~40 cm				40 ~60 cm			
		初花期	末花期	转色期	成熟期	初花期	末花期	转色期	成熟期	初花期	末花期	转色期	成熟期
河南	氮	151.56 ± 34.91	51.18 ± 6.31	88.55 ± 22.41	177.51 ± 30.87	84.31 ± 15.75	51.91 ± 4.93	156.29 ± 53.64	142.42 ± 19.34	91.08 ± 14.23	84.00 ± 5.92	86.00 ± 11.71	105.36 ± 15.77
	磷	35.58 ± 6.80	83.57 ± 30.91	40.03 ± 9.03	47.87 ± 10.77	12.09 ± 0.78	98.18 ± 34.34	5.22 ± 1.36	19.70 ± 3.39	10.71 ± 0.79	110.87 ± 35.30	4.58 ± 0.77	11.49 ± 2.87
	钾	514.41 ± 81.01	334.13 ± 60.73	748.37 ± 121.97	725.67 ± 124.22	265.60 ± 34.21	201.07 ± 26.49	359.21 ± 44.31	383.15 ± 51.77	153.74 ± 22.93	99.79 ± 10.75	449.36 ± 202.48	295.32 ± 81.51
	钙	9 203.91 ± 795.06	10 924.25 ± 741.67	8 852.84 ± 823.29	8 065.81 ± 604.47	9 794.19 ± 847.27	9 403.63 ± 752.32	8 703.16 ± 901.51	7 330.94 ± 528.86	7 639.97 ± 451.22	8 109.59 ± 474.44	7 331.50 ± 588.03	8 250.90 ± 808.09
	镁	474.91 ± 29.65	445.20 ± 17.27	482.66 ± 24.70	429.58 ± 17.25	571.02 ± 23.39	518.43 ± 29.48	515.13 ± 27.63	510.73 ± 36.65	593.77 ± 19.01	666.89 ± 36.71	668.47 ± 20.17	584.79 ± 25.09
	硼	0.89 ± 0.02	0.87 ± 0.05	0.86 ± 0.04	1.07 ± 0.13	0.81 ± 0.03	0.91 ± 0.04	0.79 ± 0.04	1.02 ± 0.20	0.85 ± 0.04	1.11 ± 0.09	0.90 ± 0.05	0.81 ± 0.08
	铜	2.39 ± 0.13	2.66 ± 0.15	2.29 ± 0.15	3.85 ± 1.08	1.70 ± 0.15	2.04 ± 0.15	1.72 ± 0.21	3.80 ± 1.36	1.84 ± 0.16	2.36 ± 0.17	2.28 ± 0.21	2.44 ± 0.16
	铁	78.99 ± 3.61	91.12 ± 6.20	99.85 ± 8.85	125.11 ± 14.59	72.34 ± 2.10	94.08 ± 4.76	91.56 ± 7.79	125.12 ± 15.53	79.62 ± 2.79	97.61 ± 3.09	105.62 ± 7.93	101.55 ± 5.27
	锰	91.37 ± 2.33	104.69 ± 2.09	99.04 ± 2.94	102.81 ± 1.92	92.12 ± 2.97	111.57 ± 2.83	94.68 ± 3.20	99.43 ± 3.06	95.47 ± 2.52	117.71 ± 3.47	110.15 ± 3.89	102.43 ± 3.67
	钼	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
湖北	锌	2.56 ± 0.18	2.72 ± 0.16	3.39 ± 0.28	3.87 ± 0.72	1.02 ± 0.06	1.17 ± 0.07	1.60 ± 0.24	3.06 ± 1.33	1.06 ± 0.04	1.84 ± 0.67	2.59 ± 0.46	2.05 ± 0.22
	氮	90.07 ± 19.52	80.21 ± 16.33	61.24 ± 12.42	73.21 ± 13.11	44.76 ± 3.91	83.98 ± 13.30	36.64 ± 2.96	57.41 ± 6.88	47.28 ± 4.55	61.60 ± 9.11	36.49 ± 3.59	44.69 ± 8.19
	磷	59.48 ± 8.79	34.32 ± 6.29	91.91 ± 23.58	38.02 ± 4.23	46.38 ± 8.30	44.48 ± 10.01	139.77 ± 34.36	23.74 ± 2.52	17.83 ± 2.01	66.61 ± 32.40	179.97 ± 33.75	18.48 ± 3.08
	钾	498.16 ± 145.20	324.95 ± 49.06	409.05 ± 76.70	315.97 ± 60.56	333.95 ± 44.44	331.58 ± 50.38	379.36 ± 113.91	201.20 ± 41.51	247.77 ± 29.22	228.20 ± 28.38	379.42 ± 164.57	149.26 ± 17.98
	钙	2 287.00 ± 293.41	2 089.70 ± 98.54	2 103.40 ± 222.15	1 991.88 ± 214.34	1 738.20 ± 77.23	2 158.38 ± 363.91	1 590.56 ± 106.09	1 618.33 ± 92.24	1 688.80 ± 172.74	1 912.03 ± 166.14	1 953.03 ± 155.32	2 008.67 ± 151.60
	镁	459.62 ± 49.79	352.14 ± 30.07	395.48 ± 38.91	374.98 ± 43.46	344.00 ± 22.02	341.81 ± 32.56	373.49 ± 31.56	324.87 ± 21.94	372.34 ± 67.64	336.10 ± 14.23	390.09 ± 33.37	401.14 ± 27.06
	硼	0.89 ± 0.09	0.73 ± 0.08	0.68 ± 0.11	0.58 ± 0.06	0.85 ± 0.08	0.79 ± 0.11	0.54 ± 0.09	0.43 ± 0.07	0.60 ± 0.05	0.43 ± 0.06	0.54 ± 0.08	0.34 ± 0.07
	铜	6.37 ± 0.28	5.37 ± 0.30	6.32 ± 0.49	6.38 ± 0.55	5.35 ± 0.28	5.17 ± 0.25	5.04 ± 0.46	5.08 ± 0.48	4.26 ± 0.18	4.73 ± 0.46	4.78 ± 0.37	5.25 ± 0.77
	铁	261.44 ± 10.98	232.28 ± 13.81	236.58 ± 7.38	273.02 ± 12.14	250.66 ± 9.72	270.75 ± 19.71	236.71 ± 14.13	225.13 ± 12.70	201.04 ± 6.72	202.69 ± 13.95	207.33 ± 12.89	201.72 ± 16.06
	锰	226.76 ± 10.64	246.78 ± 11.18	172.72 ± 7.44	192.53 ± 8.21	263.39 ± 12.31	224.39 ± 14.93	172.60 ± 11.62	197.37 ± 15.02	275.72 ± 15.41	252.58 ± 18.21	168.39 ± 8.62	229.04 ± 15.34
	钼	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00
	锌	14.18 ± 1.05	10.63 ± 1.26	11.13 ± 1.19	10.86 ± 1.45	9.34 ± 0.84	7.33 ± 0.81	6.17 ± 0.89	5.93 ± 0.60	5.37 ± 0.35	5.29 ± 0.79	5.57 ± 0.87	5.78 ± 0.83

质存在不同程度的相关性,尤其表现在钙、铁、锰、铜和锌元素与果实品质相关性较强。钙元素和铁元素在各时期与果实品质均呈极显著相关;锰元素除在 0~20 cm 土层中的转色期和成熟期与果实品质无显著相关性以及在 20~40 cm 土层的末花期、40~60 cm 土层的转色期与果实品质呈显著相关外,其他时期与果实品质均呈极显著相关;3 个土层的铜元素除了在成熟期与果实品质的显著性较弱外,其他时期与果实品质均呈极显著相关;而锌元素仅在 20~40 cm 土层中成熟期时与果实品质呈显著相关,其他时期也均呈极显著相关。根据 CND 理论,应按照土壤中各矿质元素与果实品质最相关且相关系数最大的原则确定各矿质元素诊断的最佳

取样时期和取样部位。因此确定的土壤各矿质元素的最佳取样时期和取样部位分别为:选择转色期 40~60 cm 土层中的速效氮含量进行土壤氮素营养诊断;选择初花期 20~40 cm 土层的有效磷含量进行土壤磷营养诊断;选择末花期 40~60 cm 土层的有效钾、钙、镁、铜和锌元素,成熟期 40~60 cm 土层的有效硼,转色期 0~20 cm 土层的有效铁和转色期 20~40 cm 土层的有效锰以及转色期 40~60 cm 的有效钼元素含量分别进行钾、钙、镁、铜、锌、硼、铁、锰、钼的土壤营养诊断,且各元素的相关性及相关系数分别为 -0.569**、0.830**、0.649**、0.503**、-0.585**、-0.567**、-0.572**、0.474**、-0.477**。

表 2 土壤中各矿质元素含量与品质指数相关性分析

土层深度 (cm)	生育期	相关系数										
		氮	磷	钾	钙	镁	硼	铜	铁	锰	钼	锌
0~20	初花期	0.171	-0.411*	0.071	0.573**	0.068	0.094	-0.680**	-0.658**	-0.632**	0.020	-0.644**
	末花期	-0.250	0.276	0.062	0.693**	0.327	0.187	-0.638**	-0.684**	-0.464**	0.093	-0.590**
	转色期	0.012	-0.356*	0.414*	0.565**	0.229	0.298	-0.604**	-0.567**	-0.254	0.267	-0.574**
	成熟期	0.252	-0.052	0.380*	0.640**	0.189	0.437*	-0.278	-0.647**	-0.326	-0.028	-0.484**
20~40	初花期	0.288	-0.569**	-0.302	0.665**	0.554**	-0.117	-0.764**	-0.796**	-0.744**	0.336	-0.780**
	末花期	-0.407*	0.332	-0.292	0.683**	0.488**	0.168	-0.625**	-0.686**	-0.460*	0.309	-0.584**
	转色期	0.247	-0.433*	0.023	0.577**	0.423*	0.390*	-0.639**	-0.641**	-0.572**	0.351*	-0.600**
	成熟期	0.356*	-0.311	0.304	0.822**	0.541**	0.239	-0.194	-0.640**	-0.685**	0.127	-0.372*
40~60	初花期	0.403*	-0.235	-0.321	0.794**	0.454*	0.478**	-0.748**	-0.835**	-0.653**	0.467**	-0.829**
	末花期	0.188	-0.040	-0.569**	0.830**	0.649**	0.541**	-0.585**	-0.681**	-0.622**	0.216	-0.477**
	转色期	0.452**	-0.612**	0.072	0.689**	0.630**	0.431*	-0.638**	-0.698**	-0.397*	0.474**	-0.491**
	成熟期	0.441*	-0.166	0.354	0.671**	0.592**	0.503**	-0.434*	-0.696**	-0.712**	-0.079	-0.586**

注: *、** 分别表示显著相关($P<0.05$)、极显著相关($P<0.01$)。

2.3 高优园的划分

将 32 个采样园的果实品质指数由高到低排序,并根据公式(1)~(5)计算土壤样品中的矿质元素含量参数。

$$R=100\%-(N+P+K+\cdots); \tag{1}$$

$$G=(N\times P\times K\times\cdots\times R)^{1/(n+1)}; \tag{2}$$

$$V_N=\ln(N/G), V_P=\ln(P/G), V_K=\ln(K/G), \cdots, V_R=\ln(R/G); V_N+V_P+V_K+\cdots+V_R=0。 \tag{3}$$

式中: $N、P、K、\cdots$ 为各元素在土壤样品中的百分含量; R 为添加值; n 表示研究元素的总个数; $V_N、V_P、V_K、\cdots、V_R$ 代表分析参数,以下公式中用 V_x 表示。

根据所得参数,采用 Cate - Nelson 循环^[21]计算另一个分析参数 $f_i(V_x)$ 和累计方差函数参数 $F_i^C(V_x)$ 。

$$f_i(V_x)=s^2V_{x_{n_1}}/s^2V_{x_{n_2}}(n=n_1+n_2,i=n-3)。 \tag{4}$$

式中: n 为所有采样园个数; n_1 为每次循环中品质指数最高的采样园数; n_2 为循环中剩余采样园数;分子 $s^2V_{x_{n_1}}$ 为 n_1 的参数 V_x 的方差;分母 $s^2V_{x_{n_1}}$ 为 n_2 的参数 V_x 的方差。第 1 次循环中 $n_1=2,n_2=n-n_1$;以后每次循环中总是 n_1+1,n_2-1 ,循环直到最后 $n_2=2$ 时结束,并始终保持 $n=n_1+n_2$ 。

$$F_i^C(V_x)=\frac{\sum_{i=1}^{n_1-1}f_i(V_x)}{\sum_{i=1}^{n-3}f_i(V_x)}\times 100。 \tag{5}$$

式中:分子项表示前 (n_1-1) 个分析参数 $f_i(V_x)$ 的和;分母项表示全部分析参数 $f_i(V_x)$ 的和。最终计算得到各矿质元素累计方差函数参数 $F_i^C(V_x)$ 与品质指数(Y)之间的函数关系^[22](表 3)。

$$F_i^C(V_x) = AY^3 + BY^2 + CY + D。$$
 (6)

对公式(6)进行 2 次求导,得: $\partial^2 F_i^C(V_x)/\partial^2 Y^2 = 6AY + 2B = 0$,则品质指数 $Y = -B/(3A)$ 即为依据函数模型求得各矿质元素对应的拐点值(表 3),即 $Y_N = 0.633\ 7$ 、 $Y_P = 0.612\ 2$ 、 $Y_K = 0.477\ 8$ 、 $Y_{Ca} = 0.602\ 6$ 、 $Y_{Mg} = 0.605\ 6$ 、 $Y_{Fe} = 0.674\ 0$ 、 $Y_{Mn} = 0.621\ 2$ 、 $Y_{Cu} = 0.665\ 3$ 、 $Y_{Zn} = 0.627\ 2$ 、 $Y_B = 0.638\ 8$ 、 $Y_{Mo} = 0.594\ 7$,以及分析参数拐点值 $Y_R = 0.585\ 6$,因此最

高和最低拐点值分别为 $Y_{max} = 0.674\ 0$ 、 $Y_{min} = 0.477\ 8$ 。根据 CND 营养诊断理论要求的选取研究范围内的最大拐点值作为划分高优园和低优园的临界值^[3,23],因此 0.674 0 即作为划分高优园、低优园的理论临界值,获得 4 个高优园和 28 个低优园,高优园数量占采样全体的 12.5%,符合 CND 要求的高优群体比例占采样全体 12% 以上的标准^[23],即高优园的划分合理。

表 3 土壤矿质元素分析参数与品质指数的函数模型

有效态矿质元素	累积方差函数 $F_i^C(V_x)$ 与品质指数(Y) 的函数关系式	品质指数拐点值
氮	$F_i^C(V_N) = -2\ 186.2Y^3 + 4\ 156.3Y^2 - 2\ 61\ 2Y + 550.04(r^2 = 0.938\ 8)$	0.633 7
磷	$F_i^C(V_P) = -4\ 065.2Y^3 + 7\ 466.4Y^2 - 4\ 460.1Y + 872.11(r^2 = 0.932\ 9)$	0.612 2
钾	$F_i^C(V_K) = 487.71Y^3 - 699.13Y^2 + 110.75Y + 109.09(r^2 = 0.971\ 1)$	0.477 8
钙	$F_i^C(V_{Ca}) = -4\ 831.6Y^3 + 8\ 735.2Y^2 - 5\ 095.2Y + 960.27(r^2 = 0.887\ 8)$	0.602 6
镁	$F_i^C(V_{Mg}) = -5\ 005.9Y^3 + 9\ 108.1Y^2 - 5\ 358.2Y + 1021.4(r^2 = 0.909\ 5)$	0.606 5
铁	$F_i^C(V_{Fe}) = -2\ 248.4Y^3 + 4\ 546.4Y^2 - 3\ 045.8Y + 680.29(r^2 = 0.980\ 5)$	0.674 0
锰	$F_i^C(V_{Mn}) = -3\ 788.9Y^3 + 7\ 060.7Y^2 - 4\ 289.9Y + 853.88(r^2 = 0.954\ 9)$	0.621 2
铜	$F_i^C(V_{Cu}) = -1\ 973.1Y^3 + 3\ 938.4Y^2 - 2\ 623.2Y + 590.37(r^2 = 0.983\ 1)$	0.665 3
锌	$F_i^C(V_{Zn}) = -3\ 781.5Y^3 + 7\ 115.4Y^2 - 4\ 369.2Y + 878.56(r^2 = 0.967\ 2)$	0.627 2
硼	$F_i^C(V_B) = -3\ 388.4Y^3 + 6\ 493.8Y^2 - 4\ 076.8Y + 841.31(r^2 = 0.973\ 4)$	0.638 8
钼	$F_i^C(V_{Mo}) = -4\ 276.1Y^3 + 7\ 629.5Y^2 - 4\ 380Y + 811.48(r^2 = 0.717\ 5)$	0.594 7
分析参数	$F_i^C(V_R) = -3\ 343.4Y^3 + 5\ 873.8Y^2 - 3\ 298Y + 591.2(r^2 = 0.387\ 5)$	0.585 6

2.4 低优园土壤营养进一步分析诊断

以高优园各元素分析参数 V_x 的均值 V_x^* [公式(7)]和其标准差 SD_x^* [公式(8)]作为标准参比条件^[24](CND norms),利用公式(9)计算低优园土壤各矿质元素 CND 指数 I_x 。公式如下:

$$V_x^* = (V_{x1} + V_{x2} + \cdots V_{xd})/d;$$
 (7)

$$SD_x^* = SD(V_{x1}, V_{x2}, \cdots, V_{xd});$$
 (8)

$$I_x = (V_x - V_x^*)/SD_x^*。$$
 (9)

式中: d 表示高优园群体个数;若指数 $I_x > 0$ 则表示低优园土壤中该矿质元素的分析参数 V_x 高于标准参比值 V_x^* ,即该元素含量充足(不代表过量);若 I_x 越趋近于 0,表示这种元素参数 V_x 越接近标准参比值 V_x^* ,即越接近适宜值;若 $I_x < 0$ 表示该元素分析参数 V_x 低于标准参比值 V_x^* ,即偏低(不代表缺乏)。

经计算得本研究中夏黑葡萄低优园土壤中各矿质元素的 CND 诊断指数分别为: $I_N = -0.70$ 、 $I_P = 2.60$ 、 $I_K = -0.67$ 、 $I_{Ca} = -2.89$ 、 $I_{Mg} = -2.60$ 、 $I_B = -6.97$ 、 $I_{Cu} = 1.19$ 、 $I_{Fe} = 1.41$ 、 $I_{Mn} = 3.14$ 、 $I_{Mo} = -2.13$ 、 $I_{Zn} = 3.38$ 、 $I_R = -1.86$ 。即表明低优葡萄园土壤中有效态氮、钾、钙、镁、硼、钼含量偏低,有效磷、铜、铁、锰、锌含量相对充足,所以对于低优葡萄

园的土壤管理应更侧重于对氮、钾、钙、镁、硼、钼等含量偏低元素的检测应适时补施,以提升土壤矿质养分总体含量,从而促进树体发育,提升果实品质。

2.5 适宜养分范围以及分级

依据 CND 法原理,高优园土壤中各矿质元素的含量即作为获得优质果品的适宜养分范围:速效氮为 27.16 ~ 157.24 mg/kg,有效磷为 0.81 ~ 5.77 mg/kg,速效钾为 106.80 ~ 131.50 mg/kg,可交换性钙为 6 492.00 ~ 14 260.00 mg/kg,可交换性镁为 517.15 ~ 708.75 mg/kg,有效硼为 0.90 ~ 1.20 mg/kg,有效铜为 0.86 ~ 2.40 mg/kg,有效铁为 58.93 ~ 100.24 mg/kg,有效锰为 81.77 ~ 88.05 mg/kg,有效钼为 0.01 ~ 0.03 mg/kg,有效锌为 0.94 ~ 1.33 mg/kg。

对依据 CND 营养诊断划分的高优、低优葡萄园土壤中各矿质养分含量进行分级,镁元素含量分级参照李宝鑫等的研究^[25],其他元素分级标准依据全国第 2 次土壤普查结果^[15]。该分级结果与 CND 营养诊断结果对比发现,CND 营养诊断划分的低优园土壤中含量偏低的元素氮、钾、钙、镁、硼、钼在该分级标准下并不都处于较低水平,钾、镁和硼元素含量甚至处于中等至丰富水平。且仅有效铜、铁、锰

和交换性钙含量在高优园、低优园土壤中差异显著外,其余元素含量在高优园和低优园土壤中差异并不显著。说明低优园土壤中养分总含量并不低,则引起高优园和低优园果实品质差异的原因可能是低优园土壤中矿质养分间的拮抗作用较严重。除速效氮外,低优葡萄园土壤中的有效磷、钾、交换性

钙、镁等矿质元素含量的变异系数均明显大于高优葡萄园。说明 28 个低优园之间土壤矿质元素含量差异大、矿质养分分布不均衡以及元素间互作关系相对较严重,从而影响了树体对养分的吸收,从而进一步导致葡萄果实品质不佳。

表 4 高优、低优园土壤矿质养分含量及养分分级

有效态 矿质元素	高优园(<i>n</i> = 4)			低优园(<i>n</i> = 28)		
	均值(mg/kg)	变异系数(%)	养分等级	均值(mg/kg)	变异系数(%)	养分等级
氮	82.62 ± 32.0a	77.58	四	58.19 ± 7.4a	67.12	五
磷	3.03 ± 1.3a	82.78	五	105.03 ± 25.3a	127.37	—
钾	118.79 ± 6.0a	10.11	三	168.67 ± 20.8a	65.24	二
钙	9 322.75 ± 1 698.6a	36.44	四	4 382.68 ± 574.6b	69.38	五
镁	632.56 ± 40.8a	12.91	三	484.78 ± 38.7a	42.24	三
硼	1.02 ± 0.1a	13.25	二	0.73 ± 0.1a	66.59	三
铜	1.40 ± 0.3b	48.80	二	3.83 ± 0.4a	52.33	—
铁	78.34 ± 9.1b	23.36	—	153.47 ± 12.0a	41.38	—
锰	84.74 ± 1.3b	3.15	—	187.67 ± 17.3a	48.76	—
钼	0.02 ± 0.0a	37.54	五	0.01 ± 0.0a	59.25	五
锌	1.18 ± 0.1a	14.50	二	3.59 ± 0.4a	65.74	—

注:同行数据后不同小写字母表示高优园、低优园间各矿质元素在 0.05 水平上差异显著($P < 0.05$);养分等级一、二、三、四、五分别表示很丰富、丰富、中等、缺乏、极缺乏 5 个土壤养分水平。

3 讨论

目前,通过营养诊断技术科学高效掌握土壤养分含量状况以及明确影响果实品质提升的土壤养分限制因子,对于指导农业生产精准施肥、获得优质果品都有重要意义。前人虽然已对不少农作物根际土壤中的部分养分进行了诊断研究,并提出了相应的施肥策略,例如,孙德生等针对黑土区玉米土壤的氮磷钾等进行了营养诊断^[8];佟鑫等对于河北产区赤霞珠葡萄园 0 ~ 30 cm 土层的矿质元素进行了营养诊断,并提出了施肥指导^[26];王莉等对江苏省高产、中产和低产梨园的土壤养分进行了诊断研究^[27];田雪利等测定分析了天津玫瑰香葡萄园土壤养分与葡萄产量的关系^[12]。但是,这些研究的不足在于所分析的元素数量少、植物生育期单一、涉及土层单一以及诊断模型主要建立在产量与土壤养分之间的关系上等。而本研究则是选择夏黑葡萄的 4 个关键生育期,且包含 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 等 3 个土层的 11 种矿质养分进行营养诊断研究,最终构建了关于夏黑果实品质与土壤矿质养分的关系模型。因此相对来讲诊断结果更全面可靠,对葡萄甚至其他果树栽培生产的实践指导意义也更强。

本研究中对于各矿质养分诊断的具体采样时

期和土层,以及对于土壤各元素适宜养分范围的确定与庞国成的研究结果^[28]不一致。本研究认为对于氮、钾、钙、镁的营养诊断主要应在 40 ~ 60 cm 土层取样,而庞国成认为主要应在 0 ~ 20 cm 土层取样,主要可能是因为庞国成的研究中采样深度并未涉及到 40 ~ 60 cm 土层;另外本研究的试验材料是在露地条件下栽培管理,庞国成的试验材料是在设施盆栽中栽培管理,因此土壤结构、葡萄品种和砧木年限以及树体主根系分布规律等都可能会导致研究结果的差异。并且庞国成的研究中在选取各元素的营养诊断因子时其与果实品质的相关性均未达极显著,而本研究则全部选择与果实品质呈极显著相关的因子进行分析。鉴于与以上的不同研究结果,且为了试验结果的准确性和对实践指导的可靠性考虑,对于葡萄园土壤诊断时确切的取土时期和土层还有待进一步深入研究,以便更好地指导我国葡萄生产栽培,从而获得优质果品。

本研究中高优园土壤中各矿质养分的含量即获得优质果品的适宜土壤养分含量范围的确定是依据 CND 的诊断原理^[3]进行的,同时也有前人大量的试验研究^[29-31]加以佐证,因此其结果理应是符合理论原理和客观实际的,但是本研究中有效磷含量的适宜范围是 0.81 ~ 5.77 mg/kg,明显低于低优园

的土壤有效磷含量,且与庞国成提出的适宜范围^[28,32]相差很大,可能是由本研究样本数和高优园数相对较少而使数据代表性不强导致的,所以有效磷含量的适宜范围也需进一步研究确定。而本研究对低优园进一步营养诊断的结果表明夏黑低优葡萄园土壤中有效态氮、钾、钙、镁、硼、钼含量偏低,有效磷、铜、铁、锰、锌含量相对充足。但将含量偏低的元素与第 2 次全国土壤普查的养分分级标准^[15]对比发现,钾、镁、硼元素的含量处于中等或丰富水平,由此说明全国性的且以大田作物为试材的土壤普查分级结果可能并不一定适用于果树,而目前针对葡萄的土壤养分分级标准^[25,33-34]已有不少,但各方法的划分标准并不一致,所以在以获得优质果品为目标的基础上制定一个科学合理、可信度高的葡萄园土壤养分分级标准,用以指导生产栽培是非常有理论意义和实践需求的。

4 结论

河南和湖北 2 地夏黑葡萄园土壤中钙含量在高优园和低优园中普遍处于中等甚至缺乏水平,而微量元素基本处于中等至丰富水平,所以在保证不影响植株正常生长发育的情况下,应减少微量元素的施用,并适量补充钙肥。除了钙、铜、铁和锰元素之外,其他元素含量在高优园和低优园土壤中差异并不显著,可见导致低优葡萄园果实品质劣势的原因可能是土壤养分不均衡以及土壤养分利用率低。因此,对于低优园的土壤管理除了对含量较低的氮、钾、钙、镁、硼、钼等矿质养分进行补充外,更多地应注意土壤养分的平衡关系,提升养分利用率,进一步提升果实品质。

参考文献:

- [1] 吴科生,车宗贤,包兴国,等. 甘肃省武山县土壤养分特征及综合肥力评价[J]. 中国土壤与肥料,2021(3):347-353.
- [2] Beaufils E R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)[J]. Soil Science Bulletin,1973(1):132
- [3] Parent L E, Karam A, Visser S A. Compositional nutrient diagnosis of the greenhouse tomato[J]. HortScience,1993,28(10):1041-1042.
- [4] 陈启亮,范 净,杨晓平,等. 梨树叶片营养状况的诊断与评价[J]. 中国农学通报,2021,37(19):52-57.
- [5] 朱永聪,王 伟,周昌敏,等. 华南龙眼叶片营养诊断指标的建立[J]. 热带作物学报,2021,42(2):393-404.
- [6] 徐光焕,陈元磊,王南南. 陕西省周至县‘翠香’猕猴桃叶片营养诊断研究[J]. 陕西农业科学,2021,67(2):23-29.
- [7] 殷 星,侯振安,冶 军,等. 应用多酚-叶绿素仪监测棉花氮素营养状况研究[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(7):1198-1212.
- [8] 孙德生,张 越. 黑土耕作区玉米土壤氮磷钾养分丰缺指标试验分析[J]. 农业与技术,2021,41(13):91-93.
- [9] 孙洪仁,张吉萍,江丽华,等. 中国小麦土壤速效钾丰缺指标与适宜施钾量研究[J]. 土壤,2019,51(5):895-902.
- [10] 高忠浩,王 葳,杨静慧,等. 某冬枣园土壤氮、磷、钾年周期变化与产量的关系[J]. 天津农学院学报,2020,27(2):23-27.
- [11] 郭建华,赵春江,王 秀,等. 作物氮素营养诊断方法的研究现状及进展[J]. 中国土壤与肥料,2008(4):10-14.
- [12] 田雪利,张 琦,黄俊轩,等. 天津玫瑰香葡萄产地土壤营养诊断与产量的关系[J]. 天津农业科学,2020,26(9):61-63.
- [13] 李师阳,李萃昇. 油茶高产植株营养诊断指标的研究[J]. 江西林业科技,2011,39(5):35-37.
- [14] 张正斌,王德轩. 土壤营养物质和小麦产量关系研究[J]. 水土保持通报,1990,10(2):58-65.
- [15] 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.
- [16] 王小龙,刘凤之,史祥宾,等. 行内生草对葡萄根系生长和土壤营养状况的影响[J]. 华北农学报,2018,33(S1):230-237.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 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.
- [19] 王海波,王孝娣,史祥宾,等. 果树“5416”测土配方施肥技术[J]. 落叶果树,2021,53(5):5-8.
- [20] 李思佳. 鲜食葡萄流通信息监测系统研究[D]. 北京:中国农业大学,2017.
- [21] Khiari L, Parent L É, Tremblay N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops[J]. Agronomy Journal,2001,93(4):802-808.
- [22] Ndabamenye T, van Asten P J A, Blomme G, et al. Nutrient imbalance and yield limiting factors of low input East African highland banana (*Musa* spp. AAA-EA) cropping systems[J]. Field Crops Research,2013,147:68-78.
- [23] García-Hernández J L, Valdez-Cepeda R D, Murillo-Amador B, et al. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms in *Aloe vera* L. grown on calcareous soil in an arid environment[J]. Environmental and Experimental Botany,2006,58(1/2/3):244-252.
- [24] Reyhanitabar A, Najafi N. Critical indexes of compositional nutrient diagnosis (CND) and its validation in wheat fields[J]. Revista De La Facultad De Agronomía, Universidad Del Zulia,2021,38(3):480-504.
- [25] 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.
- [26] 佟 鑫,马振朝,张子涛,等. 河北省赤霞珠葡萄土壤养分情况与叶片营养诊断分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(13):146-151.
- [27] 王 莉,叶小梅,张应鹏,等. 江苏省‘苏翠 1 号’高产及中低产梨园土壤与叶片养分的差异研究[J]. 土壤,2020,52(6):1179-1186.

决 超. 微生物菌肥与土壤改良基质对连作马铃薯土壤性质及微生物群落的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1): 218–224.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.01.032

微生物菌肥与土壤改良基质对连作马铃薯土壤性质及微生物群落的影响

决 超

(商丘职业技术学院, 河南商丘 476000)

摘要:为探讨微生物菌肥与土壤改良基质对连作马铃薯土壤性质及微生物群落的影响以及它们之间的关联性,通过田间定位试验,设置单施化肥(CK)、单施微生物菌肥(T1)、化肥+土壤改良基质(T2)、微生物菌肥+土壤改良基质(T3)、50%化肥+50%微生物菌肥(T4)、50%化肥+50%微生物菌肥+土壤改良基质(T5)6个处理,利用磷脂脂肪酸、生理生化分析手段研究不同施肥措施对土壤结构、养分、酶活性与微生物群落结构变化的影响。研究表明,与CK相比,不同施肥处理降低了土壤容重,提高了土壤孔隙度,且提高了土壤养分含量、酶活性,改变了土壤微生物结构。其中,T3处理的土壤容重最低,孔隙度最高。连续2年不同施肥处理后,T5处理土壤碱解氮含量较其他处理显著提高3.19%~9.28% ($P < 0.05$),速效磷、速效钾、有机质的含量较其他处理分别提高2.68%~14.76%、2.25%~17.81%、1.02%~9.04%,显著高于除T4处理外的其他处理;T5处理脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶的活性较其他处理分别提高8.77%~37.78%、9.88%~161.76%、20.83%~81.25%、9.30%~118.60%;T5处理的细菌、革兰氏阴性菌生物量以及细菌生物量/真菌生物量最高,真菌生物量最低,T3处理放线菌生物量最高,但与T5处理无显著性差异。相关性分析表明,土壤各因子水平联系紧密,土壤微生物群落、酶活性受外源养分因素的影响较大。综上所述,50%化肥+50%微生物菌肥+土壤改良基质配施处理在改善土壤结构及微生态环境、提高土壤养分含量及酶活性方面表现最优。

关键词:施肥;马铃薯;连作;理化性质;酶活性;微生物

中图分类号:S154.2;S154.3;S532.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)01-0218-07

马铃薯是我国重要的粮食与蔬菜作物,因营养丰富、产量高、适应性强等特点被人们所喜爱^[1-3]。近年来随着人们对马铃薯产品需求量的增加,马铃薯种植面积逐年递增,不少地区受自然因素及耕地

面积的限制,常年连作种植马铃薯,造成马铃薯产量下降、品质降低、病虫害频发、土壤根际微生物环境发生改变等诸多连作障碍问题^[4-7]。为此,不少种植户选择大量施用化肥,而乱施、滥施化肥不仅会使化肥利用率降低^[8],增产报酬率显著下降^[9],还会导致土壤结构退化^[10]、有机质含量下降以及土壤肥力降低等问题^[11]。而宋震震等的研究表明,合理的施肥措施不仅能够提高作物产量,还能够有效改善土壤生物学以及微生物活性,提高土壤物理与化学性质^[12-14]。

收稿日期:2022-04-15

基金项目:高职高专国家级示范专业基金项目;河南省科技攻关项目(编号:182102110371)。

作者简介:决 超(1981—),男,河南周口人,硕士,讲师,主要从事园艺专业教学、微生物科研及技术服务工作。E-mail: juechao2000@126.com。

[28] 庞国成. 葡萄在设施栽培中的肥水需求特性与高效利用技术研究[D]. 北京:中国农业科学院,2019.

[29] 王小龙,张正文,钟晓敏,等. 不同组织和土壤矿质营养与美乐葡萄果实品质的多元分析[J]. 果树学报,2021,38(12): 2108–2118.

[30] 范元广. 辽西地区‘富士’苹果叶矿质元素含量适宜值及叶营养诊断初步研究[D]. 北京:中国农业科学院,2014.

[31] da Silva L C, Freire F J, Filho G M, et al. Nutrient balance in sugarcane in Brazil: diagnosis, use and application in modern

agriculture[J]. Journal of Plant Nutrition, 2021, 44(14): 2167–2189.

[32] Rozane D E, Vahl de Paula B, Wellington Bastos de Melo G, et al. Compositional nutrient diagnosis (CND) applied to grapevines grown in subtropical climate region[J]. Horticulturae, 2020, 6(3): 56.

[33] 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.

[34] 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.