

王小龙,张正文,邵学东,等.梅乐葡萄果实 3 种酚类物质 CND 法营养诊断指标的建立[J].江苏农业科学,2023,51(6):114-122.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.017

梅乐葡萄果实 3 种酚类物质 CND 法营养诊断指标的建立

王小龙¹,张正文²,邵学东²,钟晓敏²,王福成³,史祥宾¹,王志强¹,王海波¹

(1. 中国农业科学院果树研究所/农业农村部园艺作物种质资源利用重点实验室/辽宁省落叶果树矿质营养与肥料高效利用重点实验室,辽宁兴城 125100; 2. 君顶酒庄有限公司,山东蓬莱 265600; 3. 烟台市蓬莱区葡萄与葡萄酒产业发展服务中心,山东烟台 265600)

摘要:通过对蓬莱产区酿酒葡萄梅乐果园不同生育期、不同组织部位各矿质元素测定,并依据果实 3 种酚类物质的综合品质指数进行植株营养诊断,为制定梅乐葡萄优质施肥方案提供理论依据。2018—2020 年,共以 48 个具有产区代表性的梅乐葡萄园为试材,测定成熟期总酚(果实、果皮、种子)、总类黄酮、黄烷醇含量及盛花期(FBS₋)、转色期(VS₋)和成熟期(MS₋)的叶片(L₋)、叶柄(P₋)、花序/果实(F₋)中氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、硼(B)、钼(Mo)含量。利用 DPS 计算果实不同部位 3 种酚类物质的综合品质指数,结合 CND 法完成高优果园的划分和低优果园的营养诊断。根据不同生育期、不同组织部位各矿质元素含量与品质指数的相关性分析,可将 FBS_F_N、FBS_F_P、FBS_P_K、FBS_P_Ca、MS_P_Mg、VS_L_Fe、VS_P_Mn、VS_P_Zn、MS_L_Cu、FBS_L_B、VS_P_Mo 确定为 CND 法植株营养诊断因子。高优果园的品质指数划分临界值为 0.386 3,其中共有 22 个果园满足此条件,占总体样本的 45.83%。依据高优果园植株上述各诊断因子含量特征确定适宜范围分别为 N(23.53 ~ 32.06) mg/g、P(6.16 ~ 11.26) mg/g、K(14.97 ~ 43.88) mg/g、Ca(14.74 ~ 66.57) mg/g、Mg(9.33 ~ 26.51) mg/g、Fe(88.63 ~ 504.42) mg/kg、Mn(126.16 ~ 767.25) mg/kg、Zn(22.13 ~ 75.19) mg/kg、Cu(20.92 ~ 1 193.58) mg/kg、B(20.90 ~ 42.22) mg/kg、Mo(0.02 ~ 0.97) mg/kg。不同矿质元素 CND 法植株标准参比值为: $V_N^* = 3.01 \pm 0.20$, $V_P^* = 1.90 \pm 0.18$, $V_K^* = 2.98 \pm 0.26$, $V_{Ca}^* = 3.18 \pm 0.44$, $V_{Mg}^* = 2.56 \pm 0.27$, $V_{Fe}^* = -1.55 \pm 0.41$, $V_{Mn}^* = -1.37 \pm 0.68$, $V_{Zn}^* = -3.45 \pm 0.51$, $V_{Cu}^* = -1.43 \pm 1.41$, $V_B^* = -3.75 \pm 0.17$, $V_{Mo}^* = -8.60 \pm 0.91$ 。蓬莱产区梅乐葡萄低优果园需肥顺序为 Fe > P > Cu > B > Mg > Ca > K > N > Mn > Zn > Mo, 表现为 Fe、P、Cu、B、Mg、Ca、K 偏低。P、Ca、Mg 肥施用应采用少量多次的原则;加强果园肥水管理,提高树体对 K 元素吸收;通过叶面喷施,适当补充缺乏的 Fe、Cu、B 元素。

关键词:CND;梅乐葡萄;品质指数;营养诊断;营养状况

中图分类号:S663.101;S663.106

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2023)06-0114-08

由梅乐葡萄酿制的葡萄酒颜色深、乙醇度高、酒体饱满,具有红色水果的香气,深受消费者喜爱。长期以来,蓬莱产区梅乐葡萄种植户的田间管理主要凭借经验施肥,缺乏理论依据,致使生产中葡萄酒的平衡感、浓郁度、复杂度和余味等品质降低问题尤为突出。葡萄酒品质与酿酒葡萄果实的糖酸比、酚类物质含量、香气物质浓度等因素紧密相关^[1],其中酚类物质是葡萄酒最重要的风味物质之一,包括总酚、黄酮类、花色苷、单宁、黄烷醇等。研

究表明,总酚、总类黄酮、黄烷醇含量与葡萄酒抗氧化活性显著相关,是葡萄酒抗氧化活性变化的物质基础^[2]。

科学施肥是生产优质酿酒葡萄的重要技术环节,而植株营养诊断是科学施肥的理论基础和先进技术,常用的植株营养诊断方法包括适宜偏差百分数法(DOP)、充足范围法(SRA)、诊断施肥综合法(DRIS)、组分营养诊断法(CND)等^[3]。CND 叶营养诊断分析法由 Parent 等于 1992 年提出^[4],其多元分析诊断的准确性更高,可达 87.5%。目前,CND 叶营养诊断在我国主要运用于龙眼^[5]、鲜食葡萄^[6]、荔枝^[7]、柑橘^[8]、苹果^[9],在酿酒葡萄中鲜有报道。CND 作为多元营养分析法,计算量小,且能够反映元素间的协同与拮抗作用;CND 法对高产/高优群组的划分标准是基于果园调查,并通过数学统计的方法得到的,能降低人为因素的干扰,增强其结果的科学性^[10]。因此,本研究选择 CND 法对

收稿日期:2021-09-27

基金项目:国家重点研发计划(编号:2020YFD1000204);中国农业科学院创新工程项目(编号:CAAS-ASTIP-2016-RIP-04);国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:nyeytx-30-zp)。

作者简介:王小龙(1989—),男,吉林梅河口人,博士,助理研究员,主要从事果树栽培与生理研究。E-mail:wangxiaolong01@caas.cn。

通信作者:王海波,硕士,研究员,主要从事果树栽培与生理和果园机械化研究。E-mail:haibo8316@163.com。

蓬莱产区梅乐多种酚类物质进行营养诊断分析。

叶片营养诊断的结果能否科学有效判断树体营养需求,关键取决于样品的取样部位、取样时间及营养诊断方法的选择。其中,取样部位和时间的确定要与营养诊断的目标一致。因此,本研究首先测定梅乐葡萄 3 个关键生育期(盛花期、转色期、成熟期)、3 个组织部位(叶片、叶柄、花序/果实)的 11 种矿质元素(N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo)含量;其次,计算梅乐葡萄成熟期果实的果皮/种子总酚、总类黄酮、黄烷醇的综合品质指数;最后,通过不同生育期、不同组织部位各矿质元素含量与综合品质指数相关性比对,确定样品的取样部位和取样时间,即营养诊断因子。CND 法对梅乐葡萄园的叶片、叶柄、花序/果实营养状况进行诊断分析,以期为蓬莱产区的梅乐葡萄园的科学施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2018—2020 年,在山东省烟台市蓬莱区连续 3 年调查 16 个固定配方施肥条件下的酿酒葡萄梅乐果园,砧木为 SO4,树龄 10~13 年,株距为 2 m、行距为 2 m,共 48 个。上述 16 个固定配方施肥是基于梅乐葡萄 7 500 kg/hm² 的目标产量,设定非完全正交试验(5416)各肥料原料的基础用量分别为:N 124.5 kg/hm²、P₂O₅ 46.5 kg/hm²、K₂O 112.5 kg/hm²、CaO 112.5 kg/hm²、MgO 46.5 kg/hm²。5416 非完全正交试验是指 5 个因素(N、P、K、Ca、Mg)、4 个水平(单位面积各肥料原料的基础用量的倍数,即 0 倍、0.5 倍、1.0 倍、1.5 倍),共计 16 个处理(T)。依据“5416”正交处理(表 1),将表中 1、2、3、4 分别定义为单位面积各肥料原料的基础用量的 0 倍、0.5 倍、1.0 倍、1.5 倍,具体施肥方法和施肥量参照王小龙等的研究^[11]。土壤碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁含量分别为 0.078、1.097、0.139、6.511、0.644 mg/g,pH 值为 7.4。管理水平较好,树体健康,树势中庸,产量较稳定。

1.2 试验方法与项目测定

于盛花期(FBS)、转色期(VS)、成熟期(MS)进行叶片(L₋)、花序/果实(F₋)取样,去离子水冲洗干净后,105℃下杀青 20 min,然后在 85℃下烘干至恒质量,粉碎后过筛,测定叶片、花/果实矿质元素含量。结合 H₂SO₄-H₂O₂ 消解法,用流动分析仪测定植株 N,用电感耦合等离子发射光谱仪测定植

表 1 “5416”试验处理

处理	因素				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
T1	1	1	1	1	1
T2	1	2	2	2	2
T3	1	3	3	3	3
T4	1	4	4	4	4
T5	2	1	2	3	4
T6	2	2	1	4	3
T7	2	3	4	1	2
T8	2	4	3	2	1
T9	3	1	3	4	2
T10	3	2	4	3	1
T11	3	3	1	2	4
T12	3	4	2	1	3
T13	4	1	4	2	3
T14	4	2	3	1	4
T15	4	3	2	4	1
T16	4	4	1	3	2

注:表中的 1、2、3、4 水平分别对应单位面积各肥料原料基础用量的倍数,即 0 倍、0.5 倍、1.0 倍、1.5 倍。

株 P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo 全量。于 2018—2020 年成熟期采集果实,每处理随机采集果穗 30 个,然后从上述果穗的上、中、下各部位随机采集果粒 720 粒,用于测定果皮/种子总酚、总类黄酮和黄烷醇含量,其测定方法参照苏鹏飞的研究方法^[12],以上所有测定指标均进行 3 次生物学重复。

1.3 高优果园的确定

将采样园品质指数由高到低排序,根据公式(1)~公式(5)计算植株样品的营养含量参数。

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

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

$$V_n = \ln(N/G), V_p = \ln(P/G), V_k = \ln(K/G), \cdots, V_R = \ln(R/G); V_n + V_p + V_k + \cdots + V_R = 0. \tag{3}$$

式中:N、P、K、…为各元素在植株中所占百分含量,R 为添加值,n 表示研究元素的个数,V_n、V_p、V_k、…V_R 代表分析参数,以下用 V_x 表示。

根据计算所得分析参数,采用 Cate - Nelson 循环^[13]计算另 2 个分析参数 f_i(V_x)和 F_i^C(V_x)。

$$f_i(V_x) = s^2V_{xn1}/s^2V_{xn2} (n = n_1 + n_2, i = n - 3); \tag{4}$$

式中:n 为所有采样群体个数,n₁ 为每次循环中品质指数最高采样个数,n₂ 为每次循环中剩余采样个数,分子 s²V_{xn1} 为 n₁ 的参数 V_x 的方差,分母 s²V_{xn2} 为

n_2 的参数 V_x 的方差。第 1 次循环 $n_1=2, n_2=n-2$; 以后每次循环 n_1+1, n_2-1 , 直到最后 $n_2=2$, 并始终保持 $n=n_1+n_2$ 。

$$F_i^C(V_x)=\sum_{i=1}^{n_1-1}f_i(V_x)/\sum_{i=1}^{n-3}f_i(V_x)\times100。(5)$$

式中:分子表示前 n_1-1 个分析参数 $f_i(V_x)$ 的和,分母表示所有分析参数 $f_i(V_x)$ 的和。

各矿质元素累计方差函数参数 $F_i^C(V_x)$ 与品质指数(Y)之间存在公式(6)^[14]的函数关系,如下:

$$F_i^C(V_x)=AY^3+BY^2+CY+D。(6)$$

根据公式(6)求两次导数可得: $\partial^2F_i^C(V_x)/\partial^2Y^2=6AY+2B=0$,即品质指数 $Y=-B/(3A)$ 时为对应各矿质元素高优园的拐点值(inflection point value)。

1.4 低优果园的确定

以高优生产水平果园的分析参数 V_x^* 的平均值和分析参数 V_x 的标准差 SD_x^* 作为标准参比值(CND norms),计算低产组各营养元素 CND 指数 I_x 。公式如下:

$$V_x^*=(V_{x_1}+V_{x_2}+\cdots V_{x_t})/t; (7)$$

$$SD_x^*=SD(V_{x_1},V_{x_2},\cdots V_{x_t}); (8)$$

$$I_x=(V_x-V_x^*)/SD_x^*。(9)$$

式中: t 为高优组群个数,若 $I_x>0$ 表示该元素参数 V_x 高于标准参比值 V_x^* ,即充足;接近 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 $I_x<0$ 表示该元素参数 V_x 低于标准参比值 V_x^* ,即偏低。

CND 营养不平衡指数以 $CNDr^2$ 值表示,为各个矿质元素营养诊断指数的平方之和,计算公式如下:

$$CNDr^2=I_N^2+I_P^2+\cdots I_{M_o}^2+I_{R_o}^2。(10)$$

1.5 数据处理

采用 Excel2016 和 SPSS 20.0 软件对 3 年的叶片和果实矿质养分数据进行统计分析。采用 DPS 7.5 软件完成果皮/种子总酚、总类黄酮和黄烷醇的 Topsis 评价法分析,将分析结果中的指数 CI 值定义为果实品质指数(CI),CI 值越高表示综合品质越佳,即高优。同时,基于 Topsis 结果中的果实品质指数(CI),利用 SAS 软件计算土壤肥力因子对品质指数的影响力排序和理论最佳配比。

2 结果与分析

2.1 不同组织中各矿质元素含量的相关性

各生育期、各组织不同元素间相互关系存在显著差异(表 2)。其中,在盛花期,果实 N-P 显著负相关,叶片 N-K 极显著负相关,叶柄 N-Mn 极显著负相关;在转色期,果实和叶片 N-P 极显著正相关,叶柄 N-P 极显著负相关;在成熟期,果实和叶片 N-P 极显著正相关,叶柄 N-P 显著负相关。说明蓬莱产区梅乐葡萄不同生育期、不同组织各元素间存在协同与拮抗作用。各生育期、各组织不同元素间的显著关系中,除转色期叶柄外,其他生育期各组织不同元素间均以协同作用为主。

FBS_F_N、FBS_F_P、FBS_P_K、FBS_P_Ca、MS_P_Mg、VS_L_Fe、VS_P_Mn、VS_P_Zn、MS_L_Cu、FBS_L_B、VS_P_Mo 与品质指数相关性最强,且均达到显著或极显著水平,其相关系数分别为 -0.293^* 、 0.625^{**} 、 0.355^* 、 0.445^{**} 、 0.568^{**} 、 0.410^{**} 、 -0.400^{**} 、 -0.579^{**} 、 0.505^{**} 、 0.459^{**} 、 -0.500^{**} 。因此,选择上述各生育期、不同组织所对应的元素作为植株营养诊断因子。

表 2 梅乐葡萄不同组织中各矿质元素含量之间及品质指数的相关性

生育期	组织部位	元素及品质指数 (CI)	相关系数										品质指数 (CI)	
			N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B		Mo
盛花期	果实 FBS_F	N	1.000											
		P	-0.315 *	1.000										
		K	0.245	0.323 *	1.000									
		Ca	0.085	-0.158	0.112	1.000								
		Mg	0.092	0.187	0.519 **	0.727 **	1.000							
		Fe	-0.006	-0.342 *	-0.847 **	0.056	-0.358 *	1.000						
		Mn	-0.487 **	-0.131	-0.831 **	0.013	-0.414 **	0.714 **	1.000					
		Zn	0.2150	0.354 *	0.660 **	-0.062	0.260	-0.476 **	-0.580 **	1.000				
		Cu	0.434 **	0.053	0.643 **	-0.121	0.240	-0.492 **	-0.694 **	0.505 **	1.000			
		B	0.343 *	0.368 **	0.461 **	-0.166	0.175	-0.270	-0.368 **	0.458 **	0.394 **	1.000		
		Mo	0.468 **	-0.007	0.870 **	0.145	0.490 **	-0.666 **	-0.848 **	0.653 **	0.696 **	0.408 **	1.000	
		CI	-0.293 *	0.625 **	0.184	0.224	0.342 *	-0.303 *	-0.015	0.245	-0.066	0.166	-0.045	1.000

表 2(续)

生育期	组织部位	元素及品质指数 (CI)	相关系数											品质指数 (CI)
			N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	
转色期	果实 VS_F	N	1.000											
		P	0.471 **	1.000										
		K	-0.790 **	-0.130	1.000									
		Ca	0.921 **	0.556 **	-0.618 **	1.000								
		Mg	0.087	0.188	0.271	0.388 **	1.000							
		Fe	0.738 **	0.488 **	-0.493 **	0.678 **	0.024	1.000						
		Mn	0.955 **	0.517 **	-0.769 **	0.936 **	0.078	0.739 **	1.000					
		Zn	0.926 **	0.505 **	-0.760 **	0.917 **	0.061	0.715 **	0.979 **	1.000				
		Cu	0.953 **	0.511 **	-0.783 **	0.938 **	0.085	0.703 **	0.977 **	0.968 **	1.000			
		B	0.375 **	0.614 **	-0.151	0.384 **	-0.077	0.447 **	0.448 **	0.397 **	0.410 **	1.000		
		Mo	-0.292 *	-0.026	0.301 *	-0.163	0.046	-0.198	-0.232	-0.156	-0.22	-0.047	1.000	
		Cl	-0.269	0.056	0.329 *	-0.062	0.218	-0.311 *	-0.165	-0.145	-0.165	0.141	0.409 **	1.000
成熟期	果实 MS_F	N	1.000											
		P	0.728 **	1.000										
		K	-0.425 **	-0.171	1.000									
		Ca	0.909 **	0.803 **	-0.236	1.000								
		Mg	0.399 **	0.418 **	0.418 **	0.656 **	1.000							
		Fe	0.745 **	0.535 **	-0.567 **	0.686 **	0.173	1.000						
		Mn	0.935 **	0.828 **	-0.401 **	0.947 **	0.433 **	0.751 **	1.000					
		Zn	0.943 **	0.836 **	-0.410 **	0.957 **	0.453 **	0.748 **	0.979 **	1.000				
		Cu	0.938 **	0.825 **	-0.408 **	0.943 **	0.440 **	0.723 **	0.952 **	0.980 **	1.000			
		B	0.397 **	0.657 **	0.125	0.566 **	0.521 **	0.106	0.518 **	0.532 **	0.508 **	1.000		
		Mo	0.608 **	0.747 **	-0.072	0.719 **	0.468 **	0.267	0.729 **	0.709 **	0.673 **	0.695 **	1.000	
		Cl	-0.228	-0.031	0.274	-0.150	0.088	-0.392 **	-0.179	-0.164	-0.170	.305 *	0.151	1.000
盛花期	叶片 FBS_L	N	1.000											
		P	-0.077	1.000										
		K	-0.626 **	0.329 *	1.000									
		Ca	0.257	0.246	0.035	1.000								
		Mg	0.139	0.191	0.139	0.911 **	1.000							
		Fe	0.011	0.110	0.074	0.290 *	0.381 **	1.000						
		Mn	0.557 **	0.085	-0.330 *	0.844 **	0.697 **	0.261	1.000					
		Zn	0.257	0.185	-0.128	-0.332 *	-0.253	-0.250	-0.159	1.000				
		Cu	-0.813 **	0.068	0.582 **	-0.493 **	-0.370 **	0.097	-0.750 **	-0.114	1.000			
		B	0.025	-0.259	0.008	0.652 **	0.648 **	0.429 **	0.595 **	-0.625 **	-0.237	1.000		
		Mo	-0.308 *	0.135	0.239	-0.733 **	-0.563 **	-0.247	-0.724 **	0.526 **	0.493 **	-0.677 **	1.000	
		Cl	-0.131	0.162	0.098	0.358 *	0.340 *	0.197	0.341 *	-0.404 **	-0.152	0.459 **	-0.410 **	1.000
转色期	叶片 VS_L	N	1.000											
		P	0.444 **	1.000										
		K	-0.472 **	-0.142	1.000									
		Ca	0.764 **	0.148	-0.173	1.000								
		Mg	0.496 **	0.154	0.132	0.880 **	1.000							
		Fe	0.738 **	0.222	-0.289 *	0.905 **	0.802 **	1.000						
		Mn	0.935 **	0.283	-0.386 **	0.882 **	0.641 **	0.876 **	1.000					
		Zn	0.959 **	0.544 **	-0.513 **	0.664 **	0.374 **	0.657 **	0.858 **	1.000				
		Cu	0.643 **	0.143	-0.225	0.885 **	0.830 **	0.945 **	0.825 **	0.531 **	1.000			
		B	0.094	0.080	-0.141	-0.249	-0.322 *	-0.200	-0.014	0.138	-0.287 *	1.000		
		Mo	-0.195	-0.078	0.019	-0.232	-0.206	-0.227	-0.223	-0.172	-0.219	0.018	1.000	
		Cl	0.033	-0.202	-0.073	0.385 **	0.438 **	0.410 **	0.179	-0.089	0.405 **	-0.375 **	-0.010	1.000

表 2(续)

生育期	组织部位	元素及品质指数 (CI)	相关系数											品质指数 (CI)	
			N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo		
成熟期	叶片 MS_L	N	1.000												
		P	0.577 **	1.000											
		K	-0.138	-0.115	1.000										
		Ca	0.713 **	0.004	-0.018	1.000									
		Mg	0.550 **	-0.117	0.124	0.932 **	1.000								
		Fe	0.942 **	0.503 **	-0.173	0.701 **	0.569 **	1.000							
		Mn	0.901 **	0.383 **	-0.129	0.871 **	0.769 **	0.895 **	1.000						
		Zn	0.957 **	0.505 **	-0.091	0.747 **	0.638 **	0.946 **	0.923 **	1.000					
		Cu	0.498 **	-0.084	-0.035	0.872 **	0.903 **	0.568 **	0.777 **	0.608 **	1.000				
		B	0.082	0.421 **	-0.157	-0.318 *	-0.378 **	0.142	-0.043	0.056	-0.385 **	1.000			
		Mo	0.601 **	0.591 **	-0.147	-0.034	-0.182	0.570 **	0.289 *	0.539 **	-0.250	0.417 **	1.000		
		Cl	0.044	-0.133	0.103	0.351 *	0.436 **	0.017	0.287 *	0.091	0.505 **	-0.334 *	-0.390 **	1.000	
盛花期	叶柄 FBS_P	N	1.000												
		P	0.107	1.000											
		K	0.254	0.108	1.000										
		Ca	-0.273	-0.107	0.506 **	1.000									
		Mg	-0.224	-0.201	0.450 **	0.904 **	1.000								
		Fe	0.010	0.474 **	-0.136	-0.115	-0.136	1.000							
		Mn	-0.538 **	0.021	-0.116	0.408 **	0.278	-0.014	1.000						
		Zn	0.210	0.487 **	-0.396 **	-0.637 **	-0.680 **	0.235	-0.074	1.000					
		Cu	-0.491 **	0.583 **	-0.280	-0.038	-0.183	0.293 *	0.496 **	0.512 **	1.000				
		B	0.133	0.432 **	-0.172	-0.467 **	-0.482 **	0.218	0.166	0.695 **	0.474 **	1.000			
		Mo	0.621 **	0.153	-0.034	-0.723 **	-0.602 **	0.068	-0.654 **	0.520 **	-0.276	0.378 **	1.000		
		Cl	0.060	-0.192	0.355 *	0.445 **	0.302 *	-0.064	0.057	-0.521 **	-0.365 *	-0.300 *	-0.311 *	1.000	
转色期	叶柄 VS_P	N	1.000												
		P	-0.416 **	1.000											
		K	0.124	0.153	1.000										
		Ca	-0.033	-0.194	0.345 *	1.000									
		Mg	-0.194	0.021	0.175	0.797 **	1.000								
		Fe	0.493 **	-0.336 *	-0.076	-0.267	-0.400 **	1.000							
		Mn	-0.183	0.104	0.099	-0.350 *	-0.482 **	0.202	1.000						
		Zn	0.191	0.033	0.084	-0.429 **	-0.554 **	0.521 **	0.738 **	1.000					
		Cu	-0.844 **	0.386 **	-0.103	-0.055	0.111	-0.356 *	0.339 *	-0.059	1.000				
		B	-0.385 **	0.442 **	-0.015	-0.424 **	-0.381 **	0.001	0.745 **	0.596 **	0.552 **	1.000			
		Mo	0.673 **	-0.057	-0.091	-0.424 **	-0.474 **	0.683 **	0.123	0.526 **	-0.549 **	0.095	1.000		
		Cl	-0.175	-0.125	-0.142	0.215	0.206	-0.369 **	-0.400 **	-0.579 **	0.034	-0.381 **	-0.500 **	1.000	
成熟期	叶柄 MS_P	N	1.000												
		P	-0.298 *	1.000											
		K	-0.184	0.317 *	1.000										
		Ca	0.113	-0.419 **	-0.105	1.000									
		Mg	-0.200	-0.211	-0.181	0.733 **	1.000								
		Fe	-0.259	0.059	0.058	0.065	0.222	1.000							
		Mn	-0.635 **	0.120	0.117	0.050	0.119	0.229	1.000						
		Zn	-0.579 **	0.243	0.227	-0.139	-0.070	0.218	0.816 **	1.000					
		Cu	-0.612 **	0.079	-0.007	0.406 **	0.719 **	0.528 **	0.373 **	0.261	1.000				
		B	-0.852 **	0.226	0.081	0.124	0.477 **	0.354 *	0.636 **	0.569 **	0.800 **	1.000			
		Mo	0.766 **	-0.435 **	-0.320 *	0.235	-0.112	-0.114	-0.367 *	-0.313 *	-0.459 **	-0.656 **	1.000		
		Cl	-0.220	-0.283	-0.246	0.413 **	0.568 **	-0.039	0.045	-0.081	0.398 **	0.261	-0.104	1.000	

注: *、** 分别表示在 5%、1% 水平显著相关。

2.2 高优园的划分

各矿质元素累计方差函数参数 $F_i^C(V_x)$ 与品质指数(Y)之间存在函数关系(图 1),其函数关系公式见表 3。在 CND 法的理论^[15]中,选择划分高优园临界值(cutoff value)的原则是取拐点值中最高的并且在研究数据范围内的一个,本研究中品质指数的最高值为 0.805 6,最低值为 0.020 3,划分高优园临界值理论上应选择 0.805 6(表 3),则高优园仅有 1 个,占总体采样园的 2.08%,低于 CND 法中要求的高优群体比例 $\geq 12\%$ 的标准^[15]。降低品质指数划分标准,选择 0.386 3 作为划分高优果园品质指数的临界值,满足此条件的果园有 22 个,占总体采样

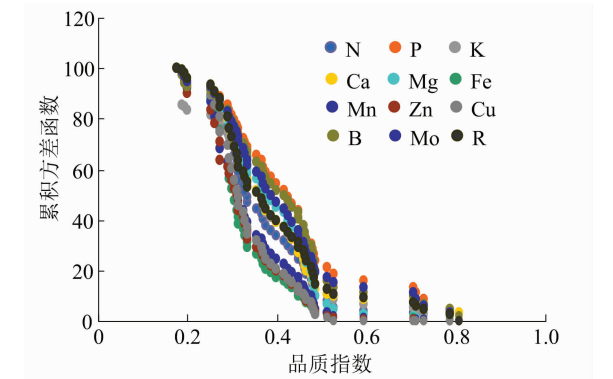


图1 植株矿质元素含量累积方差函数与品质指数之间的关系

园的 45.83%,符合 CND 方法的标准。

表 3 各矿质元素分析参数与品质指数之间的函数关系式

元素	累积方差函数 $F_i^C(V_x)$ 与品质指数(Y)的函数式	品质指数 拐点值
N	$F_i^C(V_N) = 305.69Y^3 - 18.581Y^2 - 392.76Y + 175.5(r^2 = 0.974\ 1)$	0.020 3
P	$F_i^C(V_P) = 792.27Y^3 - 907.8Y^2 + 92.859Y + 110.35(r^2 = 0.978\ 5)$	0.381 9
K	$F_i^C(V_K) = 730.76Y^3 - 735.14Y^2 - 17.292Y + 117.46(r^2 = 0.977\ 8)$	0.335 3
Ca	$F_i^C(V_{Ca}) = 572.97Y^3 - 427.26Y^2 - 201.81Y + 152.31(r^2 = 0.976\ 0)$	0.248 6
Mg	$F_i^C(V_{Mg}) = 927.63Y^3 - 990.33Y^2 + 58.002Y + 119.18(r^2 = 0.980\ 2)$	0.355 9
Fe	$F_i^C(V_{Fe}) = -566.63Y^3 + 1369.4Y^2 - 1049.3Y + 256.02(r^2 = 0.965\ 0)$	0.805 6
Mn	$F_i^C(V_{Mn}) = -225.02Y^3 + 814.31Y^2 - 779.34Y + 220.68(r^2 = 0.980\ 5)$	1.206 3
Zn	$F_i^C(V_{Zn}) = -336.72Y^3 + 1\ 004.9Y^2 - 874.39Y + 231.9(r^2 = 0.980\ 9)$	0.994 8
Cu	$F_i^C(V_{Cu}) = -113.91Y^3 + 707.14Y^2 - 767.46Y + 224.39(r^2 = 0.965\ 9)$	2.069 3
B	$F_i^C(V_B) = 894.74Y^3 - 1036.9Y^2 + 138.97Y + 104(r^2 = 0.979\ 9)$	0.386 3
Mo	$F_i^C(V_{Mo}) = 686.48Y^3 - 683.46Y^2 - 44.509Y + 130.51(r^2 = 0.978\ 2)$	0.331 9
分析参数 R	$F_i^C(V_R) = 377.36Y^3 - 172.05Y^2 - 299.57Y + 163.75(r^2 = 0.974\ 3)$	0.152 0

2.3 蓬莱产区梅乐葡萄植株矿质元素状况

根据高优果园品质指数的临界值,蓬莱产区果园采样中有 22 个高优园和 26 个低优果园,分别得到该产区高、低优果园的植株矿质元素含量状况(表 4)。由高优园确定蓬莱产区梅乐葡萄植株矿质元素含量适宜范围为 N(23.53 ~ 32.06) mg/g、P(6.16 ~ 11.26) mg/g、K(14.97 ~ 43.88) mg/g、Ca(14.74 ~ 66.57) mg/g、Mg(9.33 ~ 26.51) mg/g、Fe(88.63 ~ 504.42) mg/kg、Mn(126.16 ~ 767.25) mg/kg、Zn(22.13 ~ 75.19) mg/kg、Cu(20.92 ~ 1 193.58) mg/kg、B(20.90 ~ 42.22) mg/kg、Mo(0.02 ~ 0.97) mg/kg。同时,高优和低优果园植株矿质元素含量除 N、K 和 Ca 外均存在显著性差异($P < 0.05$)。其中,低优果园的 P、Mg、Fe、Cu、B 含量分别显著较高优果园低 16.14%、16.97%、29.82%、54.50%、13.88%,而低优果园的 Mn、Zn、

Mo 含量分别显著较高优果园高 33.17%、32.44%、102.94%。

表 4 不同果园梅乐葡萄各组织矿质元素含量

元素	高优组($n = 22$)			低优组($n = 26$)
	平均值 \pm 标准差	最小值	最大值	平均值 \pm 标准差
N(mg/g)	26.60 \pm 2.60a	23.53	32.06	27.12 \pm 2.26a
P(mg/g)	8.92 \pm 1.52a	6.16	11.26	7.48 \pm 1.14b
K(mg/g)	26.84 \pm 7.12a	14.97	43.88	24.44 \pm 5.78a
Ca(mg/g)	34.00 \pm 12.79a	14.74	66.57	28.13 \pm 9.09a
Mg(mg/g)	17.62 \pm 4.80a	9.33	26.51	14.63 \pm 2.10b
Fe(mg/kg)	313.30 \pm 126.75a	88.63	504.42	219.88 \pm 117.01b
Mn(mg/kg)	387.21 \pm 203.71b	126.16	767.25	515.65 \pm 203.98a
Zn(mg/kg)	44.85 \pm 18.18b	22.13	75.19	59.40 \pm 16.50a
Cu(mg/kg)	630.72 \pm 480.96a	20.92	1193.58	286.99 \pm 329.62b
B(mg/kg)	31.63 \pm 6.72a	20.90	42.22	27.24 \pm 4.73b
Mo(mg/kg)	0.34 \pm 0.27b	0.02	0.97	0.69 \pm 0.48a

注:不同小写字母表示不同品质指数水平组间各矿质元素差异显著($P < 0.05$)。

2.4 低优果园植株营养诊断与施肥顺序

本次研究中各矿质元素标准参比值分别为： $V_N^* = 3.01 \pm 0.20$, $V_P^* = 1.90 \pm 0.18$, $V_K^* = 2.98 \pm 0.26$, $V_{Ca}^* = 3.18 \pm 0.44$, $V_{Mg}^* = 2.56 \pm 0.27$, $V_{Fe}^* = -1.55 \pm 0.41$, $V_{Mn}^* = -1.37 \pm 0.68$, $V_{Zn}^* = -3.45 \pm 0.51$, $V_{Cu}^* = -1.43 \pm 1.41$, $V_B^* = -3.75 \pm 0.17$, $V_{Mo}^* = -8.60 \pm 0.91$, $V_R^* = 6.51 \pm 0.19$ 。

蓬莱产区整体低优梅乐果园的各矿质营养元素的诊断指数为： $I_N = 0.34$, $I_P = -0.69$, $I_K = -0.15$, $I_{Ca} = -0.27$, $I_{Mg} = -0.40$, $I_{Fe} = -0.83$, $I_{Mn} = 0.59$, $I_{Zn} = 0.72$, $I_{Cu} = -0.65$, $I_B = 0.92$, $I_{Mo} = 0.34$ 。结果表明, Fe、P、Cu、B、Mg、Ca、K 元素含量表现偏低, 其他元素含量充足。根据以上营养诊断结果得到蓬莱产区低优梅乐葡萄园的需肥顺序为 $Fe > P > Cu > B > Mg > Ca > K > N > Mn > Zn > Mo$ 。根据植株营养诊断计算出高优园的营养不平衡指数 $CNDr^2$ 为 11.45, 而低优果园的营养 $CNDr^2$ 显著高于高优园 ($P < 0.05$), 为 14.54, 因此, 依据植株营养诊断得出低优果园营养平衡状况较差。

由正交试验方差分析(表 5)可知, 各土壤肥力因子对品质指数的影响力大小排序为 $K > P > N > Mg > Ca$; 以获得最高的果实品质指数为目标, 各土壤矿质元素的最佳理论配比为 $N_2P_3K_1Ca_2Mg_3$, 即所对应的施肥量分别为 $N\ 62.51\ kg/hm^2$ 、 $P_2O_5\ 46.88\ kg/hm^2$ 、 $K_2O\ 0\ kg/hm^2$ 、 $CaO\ 56.25\ kg/hm^2$ 、 $MgO\ 46.88\ kg/hm^2$ 。

表 5 土壤肥力因子对品质指数的影响力与最佳施肥配比	
项目	参数
品质指标	CI
影响力排序	$K > P > N > Mg > Ca$
最佳理论配比	$N_2P_3K_1Ca_2Mg_3$
施肥建议	减施 N 肥、K 肥、Ca 肥; 平衡 P 肥、Mg 肥
N 肥 (kg/hm^2)	62.51
P 肥 (kg/hm^2)	46.88
K 肥 (kg/hm^2)	0.00
Ca 肥 (kg/hm^2)	56.25
Mg 肥 (kg/hm^2)	46.88

3 讨论与结论

3.1 植株营养诊断因子的确定

叶片营养诊断的结果能够科学有效判断树体营养需求, 关键取决于叶片样本的取样时间和取样部位。酿酒葡萄的植株营养诊断是判断树体营养

状况的重要方法, 对关键组织部位的营养分析可以快速准确判断树体营养水平。只有在确定合适的采样部位/时期和预分析元素的基础上, 所获得的植株营养诊断结果才更为可靠^[16]。采样时选取植株各个方向组织做多个重复, 混合后方可测定^[17]。由叶片同化物分配特点可知, 果实与距离其最近的健康叶片存在较强的“库-源”关系, 这个部位叶片矿质元素含量的变化在一定程度上表征了果实对矿质营养的需求特征^[16]。有研究表明, 葡萄叶柄内矿质元素含量能够反映树体对各矿质营养的需求状况, 可用于果树营养诊断分析^[18]。因此, 本研究选择盛花期、转色期、成熟期的叶片、叶柄、花序/果实作为营养诊断预分析因子。

果树体内的各个元素都不是单独存在的, 都是相辅相成的。元素间的拮抗作用会抑制植株对营养的吸收, 反之元素间的协同作用会促进植株的生长^[19]。相关性分析结果表明, 蓬莱产区梅乐葡萄在不同生育期、不同组织各元素间同时存在协同与拮抗作用。在各生育期、各组织不同元素间的显著关系中, 除转色期叶柄外, 其他生育期各组织不同元素间均以协同作用为主。此外, 盛花期果实 N/P、叶柄 K/Ca、叶片 B; 转色期叶柄 Mn/Zn/Mo、叶片 Fe; 成熟期叶柄 Mg、叶片 Cu 与品质指数相关性最强, 且均达到显著或极显著水平。因此, 选择上述各生育期、不同组织所对应的元素作为植株营养诊断因子。

3.2 植株营养诊断标准的制定

果树在正常生长发育过程中, 对各种矿质元素的需求量是有一定比例的, 植株体内任何一种元素的缺乏或过多, 都会引起矿质元素含量的比例失衡, 最终造成果树生长发育受阻和产量品质的严重下降^[20]。本研究中, 高优果园的品质指数划分临界值为 0.386 3, 其中共有 22 个果园满足此条件, 占总体样本的 45.83%。高优和低优果园植株矿质元素含量除 N、K 和 Ca 外均存在显著性差异。其中, 低优果园的 P、Mg、Fe、Cu、B 含量分别显著较高优果园低 16.14%、16.97%、29.82%、54.50% 和 13.88%, 而低优果园的 Mn、Zn、Mo 含量分别显著较高优果园高 33.17%、32.44% 和 102.94%。本研究为开展蓬莱产区梅乐葡萄叶片、叶柄、花序/果实矿质营养诊断提供了良好的试验材料, 研究结果将有利于诊断方法理论研究。

根据本研究结果, 蓬莱产区梅乐葡萄的植株矿质元素含量适宜值分别为 N(23.53 ~ 32.06) mg/g、

P(6.16 ~ 11.26) mg/g、K(14.97 ~ 43.88) mg/g、Ca(14.74 ~ 66.57) mg/g、Mg(9.33 ~ 26.51) mg/g、Fe(88.63 ~ 504.42) mg/kg、Mn(126.16 ~ 767.25) mg/kg、Zn(22.13 ~ 75.19) mg/kg、Cu(20.92 ~ 1193.58) mg/kg、B(20.90 ~ 42.22) mg/kg、Mo(0.02 ~ 0.97) mg/kg, 可为低优园判断树体营养状况以及指导施肥提供参考。其中 Cu 适宜范围较大, 可能是受栽培管理过程中的铜制剂杀菌剂影响较大。柑橘的 CND 法营养诊断结果表明, 低优果园营养平衡状况较差^[8]。与之相似, 本研究中高优园的营养不平衡指数 CND^{r2} 为 11.45, 而低优果园的营养不平衡指数 CND^{r2} 显著高于高优园, 为 14.54。

3.3 低优园树体营养状况及施肥建议

本研究中, 通过对蓬莱产区梅乐葡萄 48 个代表性酿酒葡萄园的植株营养诊断发现, 其需肥顺序为 Fe > P > Cu > B > Mg > Ca > K > N > Mn > Zn > Mo, Fe、P、Cu、B、Mg、Ca、K 较缺乏。研究表明, K 在促进果实成熟、提高果实品质方面的效果尤为突出^[21]。植物中 50% 的 B 和 70% 的 Ca 集中于细胞壁中, 施用 B、Ca 肥可增大果皮厚度或密度^[22]。Mg 和 Fe 在果树的光合作用中起着重要作用, 是影响果树光和效率的核心元素^[23]。梅乐葡萄缺乏 Fe、P、Cu、B、Mg、Ca、K 会显著影响果实品质, 因此在果实成熟前应针对这一问题及时采取应对措施, 以提高梅乐葡萄园的产出效益及果实商品价值。

通过 SAS 正交分析, 已获得最高果实品质指数为目标, 其土壤各矿质元素的影响力排序为 K > P > N > Mg > Ca, 各土壤矿质元素的最佳理论配比为 N₂P₃K₁Ca₂Mg₃, 所对应的施肥量分别为 N 62.51 kg/hm² (基础用量的 0.5 倍)、P₂O₅ 46.88 kg/hm² (基础用量的 1 倍)、K₂O 0 kg/hm² (基础用量的 0 倍)、CaO 56.25 kg/hm² (基础用量的 0.5 倍)、MgO 46.88 kg/hm² (基础用量的 1 倍)。由此说明, 土壤中 K 含量过量, 土壤中 P、Ca、Mg 含量不足。通过植株营养诊断和土壤养分正交分析, 元素丰缺情况并不完全一致。这可能与不同年龄自然环境以及肥水管理有关, 不同土壤的不同养分比例也会影响作物对其他养分的吸收, 这与相关研究结果^[9,19] 相似。由此可知, 本研究中梅乐植株的 P、Ca、Mg 元素缺乏可能是由肥料施用不足或土壤保肥能力较弱所致; 因此, P、Ca、Mg 肥应采用少量多次原则, 合理控制施肥生育期, 同时避开雨量较大的季节。植株的 K

元素缺乏可能是由土壤中矿质元素比例失衡或肥水配用不合理, 影响植株对 K 元素的吸收所致; 因此, 日后的果园管理中应注重肥水协调管理。在生产上, 微量元素倡议喷雾的形式施于叶面, 这种方法简单而有效。

蓬莱产区梅乐葡萄低优果园需肥顺序为 Fe > P > Cu > B > Mg > Ca > K > N > Mn > Zn > Mo, 表现为 Fe、P、Cu、B、Mg、Ca、K 偏低。P、Ca、Mg 肥施用应采用少量多次的原则; 加强果园肥水管理, 提高树体对 K 元素吸收; 通过叶面喷施, 适当补充缺乏的 Fe、Cu、B 元素。

参考文献:

- [1] 蒋宝. 果实异质性对酿酒葡萄组成及相应葡萄酒质量影响的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 284-290.
- [2] 吴迪, 吴加辉, 罗兰馨, 等. 葡萄酒醒酒过程中酚类成分与抗氧化活性的变化[J]. 沈阳药科大学学报, 2018, 35(3): 238-244.
- [3] 范志懿, 刘佳嘉. 果树叶片营养诊断方法研究进展[J]. 山西农业科学, 2020, 48(12): 2017-2022.
- [4] Parent L E, Dafir M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(2): 239-242.
- [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] 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.
- [7] 罗东林, 王伟, 朱陆伟, 等. 华南荔枝叶片营养诊断指标的建立[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(5): 859-870.
- [8] 郑永强, 王娅, 杨琼, 等. 重庆三峡库区鲍威尔脐橙花期叶片矿质营养诊断[J]. 中国农业科学, 2018, 51(12): 2378-2390.
- [9] 范元广, 李壮, 厉恩茂, 等. 辽西‘富士’苹果 CND 法营养诊断研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 485-491.
- [10] 范志懿, 刘佳嘉. 果树叶片营养诊断方法研究进展[J]. 山西农业科学, 2020, 48(12): 2017-2022.
- [11] 王小龙, 张正文, 钟晓敏, 等. 不同施肥对酿酒葡萄果实产量和品质的影响[J]. 中国南方果树, 2020, 49(2): 107-113.
- [12] 苏鹏飞. 宁夏青铜峡产区主栽红色酿酒葡萄成熟度控制指标的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [13] Khiari L, Parent L É, Tremblay N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(1): 172.
- [14] 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.
- [15] 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.

易 能,郭宇轩,朱舒悦,等. 基于农业科普教育的“自产食蔬”休闲农园设计研究[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):122-127.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.018

基于农业科普教育的“自产食蔬”休闲农园设计研究

易 能¹,郭宇轩¹,朱舒悦^{1,2},周建涛¹,顾轩竹¹,朱 玥¹,陆 川¹,彭 英³

(1. 江苏省农业科学院休闲农业研究所,江苏南京 210014; 2. 香港城市大学,香港九龙塘 999077;

3. 江苏省农业科学院国际合作处,江苏南京 210014)

摘要:党的二十大再次强调要全方位夯实粮食安全根基,牢牢守住 1.2 亿 hm^2 耕地红线。新的发展阶段,对国土资源集约利用提出了更新更高的要求,急需探索高效统筹布局生态、农业、城镇等功能空间的新思路。本研究在梳理农业科普概念内涵及发展的基础上,进一步梳理休闲农园在科普农业生产功能、生态功能及文化功能的价值逻辑。基于以上理论基础,探索利用城市边角地建设“自产食蔬”休闲农园作为农业科普教育基地的可能性,并提出农业科普类“自产食蔬”休闲农园农业主题特色化、空间布局多元化以及科普理念长效化的设计建造策略。最后,以南京市马群街道城市边角地 A 地块改造为例,围绕“科普·自产食蔬”为特色主题,突出科技引领、休闲康养、绿色发展、因地制宜等原则理念,采用曲线构图手法,将 A 地块进行整合和组织空间,整体呈现“如意”图案,根据区位、声环境、便利性及展示功能等因素将园区规划设计为园艺设施区(A1 地块)、自产食蔬区(A2)以及应时鲜果区(A3),同时根据地块功能推介相应的兼具生产与休闲功能的栽培新品种,推广示范农业科技成果,综合以上功能布局,创意设计科学合理的亲子科普、休闲康养游线,为科普农业类休闲农园设计与建设实践提供参考依据。

关键词:农业科普;休闲农业;自产食蔬;规划设计

中图分类号:F323.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)06-0122-06

农业科普教育工作的开展,不仅关系到我国现代农业科技的推广应用,也事关支撑和服务国家科技创新大局。2022 年 9 月,中共中央办公厅、国务

院办公厅印发《关于新时代进一步加强科学技术普及工作的意见》,恰逢二十大召开之际,更体现了党和国家对科普教育工作的高度重视。随着社会经济的高速发展,农业科普教育的形式多元丰富,不断向民众推广农业科技。其中,具有科普教育功能的休闲农园立足农业的科普休闲特色,集农事生产、科普示范、休闲体验为一体^[1],成为城乡居民备受青睐的农业科普教育优质载体。

休闲农业近年来得到长足发展,但休闲农园大多在城市郊区,或风景名胜周边,甚至远至乡村,鲜有在城区内开发建设农业科普型休闲农业。同时,

收稿日期:2022-11-16

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(20)3187];江苏省社科应用研究精品工程课题(编号:22SYC-107);江苏省农业科学院基本科研业务专项[编号:ZX(22)1107]。

作者简介:易 能(1984—),女,湖南邵阳人,博士,副研究员,主要从事休闲农业可持续发展、资源利用与精准设计研究。E-mail: yn2010203011@foxmail.com。

通信作者:彭 英,硕士,副研究员,主要从事农业科普与科技管理研究。E-mail: njpying@163.com。

[16]白亭玉,李华东,王艺蓉,等. 桂热杧 82 号叶片矿质营养诊断采样时间和采样部位的研究[J]. 中国南方果树,2017,46(2): 81-85.

[17]刘小勇,王发林,张 坤,等. 两个苹果品种不同枝类叶营养含量年周期变化及营养诊断方法研究[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(2):481-489.

[18]朱小平,王同坤,史晨晨,等. 不同产量、品质的赤霞珠葡萄园叶柄、土壤养分状况调查分析[J]. 中国农学通报,2010,26(11): 164-167.

[19]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.

[20]马丹丹. 养分供应比例和动态对植物相对生长速率(RGR)的影响[J]. 广东蚕业,2019,53(8):14-16.

[21]孙 骞,杨 军,张绍阳,等. 钾营养与果树光合生理及果实品质关系研究进展[J]. 广东农业科学,2006,33(12):126-129.

[22]邱 超,胡承孝,谭启玲,等. 钙、硼对常山胡柚叶片养分、果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(2): 459-467.

[23]冯大兰,魏立本,黄小辉,等. 梁平柚果实膨大期叶片矿质营养诊断研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(2): 111-116.