

## 西番莲叶片矿质元素含量适宜值研究

施清<sup>1</sup>, 谢钟琛<sup>1</sup>, 王贤达<sup>2</sup>, 许家辉<sup>2</sup>, 李健<sup>1\*</sup><sup>1</sup>福建省种植业技术推广总站, 福州 350003; <sup>2</sup>福建省农业科学院果树研究所, 福州 350013

**摘要:**【目的】分析制定一年生西番莲生长季叶片的矿质元素适宜值标准与构建主要矿质元素BDRIS诊断体系。【方法】2021年于福建西番莲产区选择紫果(*Passiflora edulis*)、黄果(*P. edulis* f. *flavicarpa* Deg.)的代表性果园81个,调查每平方米着果数与产量等级记录810条,统计分析丰产园界定标准;并据此选择丰产果园63个,分别采集夏、秋两季的叶片与果实样品126份,测试叶片矿质营养元素和果实品质,据此开展西番莲叶片矿质元素含量适宜值研究。【结果】①推荐黄果 $\geq 16$ 果 $\cdot m^{-2}$ 、紫果 $\geq 20$ 果 $\cdot m^{-2}$ 为丰产园界定阈值,基本与2个品种在相同栽培管理条件下产量基本相符;②夏果品质极显著优于秋果,夏果表现果大、高糖、低酸和高固酸比;果实品质的品种间方差大于季节性方差,即品种间的品质差异较季节性差异更显著;③品种间N、K、Fe、Cl含量存在极显著差异(黄果>紫果);季节间N、Mg、Fe含量存在极显著差异,其中除Fe为非移动性元素外,N、Mg等可移动性元素含量均夏季高于秋季,这或与秋果产量高于夏果产量有关(夏果:秋果 $\approx 4.5:5.5$ );④推荐夏季绿果期第10叶位的带柄标准叶的矿质元素临界值诊断标准“元素(<缺乏;适宜下限~适宜上限;>过量)”:N(黄果:3.90%~5.40%;紫果:3.35%~4.90%)、P(0.19%~0.31%)、K(黄果:2.10%~4.25%;紫果:2.10%~3.50%)、Ca(<1.50%;1.90%~3.41%;>3.81%)、Mg(<0.15%;0.20%~0.40%;>0.45%)、Cu(3.0~20.0 mg $\cdot kg^{-1}$ )、Zn(24~80 mg $\cdot kg^{-1}$ )、Fe(<70 mg $\cdot kg^{-1}$ ;90~160 mg $\cdot kg^{-1}$ ; >240 mg $\cdot kg^{-1}$ )、Mn(<40 mg $\cdot kg^{-1}$ ;80~550 mg $\cdot kg^{-1}$ )、B(<16 mg $\cdot kg^{-1}$ ;25~70 mg $\cdot kg^{-1}$ ; >85 mg $\cdot kg^{-1}$ )、Mo(0.15~1.5 mg $\cdot kg^{-1}$ )、Cl(<2.0%)、S(0.32%~0.48%;>0.52%);⑤研究样例叶片主要矿质营养N、P、K、Ca、Mg元素数据分布均满足正态假设 $p(normal)\geq 0.15$ ,符合BDRIS建模条件,并构建诊断体系。【结论】推荐夏季绿果期为一年生栽培西番莲叶片矿质营养元素诊断的适宜采样期,确定了叶片矿质元素的适宜临界值和BDRIS诊断标准。

关键词:西番莲;叶片矿质营养;适宜标准;平衡态综合诊断施肥法

中图分类号:S667.9

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2023)06-1190-12

Study on the optimum contents of mineral elements in the leaves of passion fruit (*Passiflora edulis*)SHI Qing<sup>1</sup>, XIE Zhongchen<sup>1</sup>, WANG Xianda<sup>2</sup>, XU Jiahui<sup>2</sup>, LI Jian<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Planting Technology Promotion Center of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China; <sup>2</sup>Fruit Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, Fujian, China

**Abstract:** 【Objective】The present experiment was undertaken to analyze and formulate the suitable value standard of mineral elements in the leaves of annual passion fruit in growing season, so as to establish the BDRIS diagnostic system of main mineral elements. 【Methods】In 2021, 81 representative orchards of purple passion fruit (*P. edulis*) and yellow passion fruit (*P. edulis* f. *flavicarpa*) were selected in the passion fruit production area of Fujian province. The number of fruits per  $m^2$  and the yield grade were investigated, and the high yield was statistically analyzed, which was based on 810 records. According to the standard, 63 high-yield orchards were selected, and 5 high-yield plants were selected according to the quincunx sampling method, numbered and marked. In the mid-June and late September, 10 leaves at the 10th leaf position were collected from each plant, and 50 leaves were mixed into one leaf sample, which were cleaned for standby; at the fruit maturity stage, according to the number

收稿日期:2022-11-21 接受日期:2023-01-03

基金项目:福建省现代农业(水果)产业技术体系

作者简介:施清,女,研究员,主要从事果树栽培研究。Tel:13600813327, E-mail:Fjsqing@126.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel:18259005799, E-mail:Fujianlijian@126.com

marked above, 4 mature fruits were randomly collected from each plant, 20 fruits were taken as one fruit sample, and 10 normal and non-destructive fruits were randomly taken from each fruit sample for testing. The single fruit weight, fruit longitudinal diameter, fruit transverse diameter, total soluble solid and titratable acid contents of the fruit were tested. Finally, according to the data of leaves and fruits, the suitable value of mineral element content in passion fruit leaves was studied. 【Results】①According to the best regression simulation between the yield grade and the number of fruit bearing per Square meter, and taking into account the actual production and the operability of the evaluation, it is suggested that the average number of fruit bearing varieties should be taken as the defining standard for high-yield orchards: yellow passion fruit  $\geq 16$  fruit  $\cdot$  m<sup>2</sup>, and purple passion fruit  $\geq 20$  fruit  $\cdot$  m<sup>2</sup>, which is basically consistent with the production practice of the two varieties under the same cultivation and management conditions. ②The results of covariance analysis on fruit quality showed that the quality of summer fruits was significantly better than that of autumn fruits, which were characterized by large fruit, high total soluble solid content, low titratable acid content and high solid/acid ratio; The variance of fruit quality among varieties was greater than that of seasonal variation, that is, the quality difference caused by varieties was more significant than seasonal difference. ③The covariance analysis of 126 leaf samples in different collection seasons (variety and season are mutually covariates) showed that there were significant differences in N, K, Fe, Cl contents among varieties (yellow passion fruit > purple passion fruit); there were extremely significant seasonal differences in N, Mg and Fe contents between seasons; except Fe, the content in summer was greater than that in autumn; The content of movable elements like N and Mg in summer was higher than that in autumn, which may be related to the yield of autumn fruits being higher than that of summer fruits (the yield of summer fruits: the yield of autumn fruits  $\approx$  4.5: 5.5). ④The critical value diagnostic criteria for mineral elements of standard leaves with petioles at the 10th leaf position in the summer green fruit stage were recommended as “elements (<deficiency; optimal lower limit-optimal upper limit; >excess)”: N (yellow passion fruit: 3.90%–5.40%; purple passion fruit: 3.35%–4.90%), P (0.19%–0.31%), K (yellow passion fruit: 2.10%–4.25%; purple passion fruit: 2.10%–3.50%), Ca (< 1.50%; 1.90%–3.41%; > 3.81%), Mg (< 0.15%; 0.20%–0.40%; > 0.45%), Cu (3.0–20.0 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>), Zn (24–80 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>), Fe (< 70 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; 90–160 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; > 240 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>), Mn (< 40 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; 80–550 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>), B (< 16 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; 25–70 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; > 85 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>), Mo (0.15–1.5 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>), Cl (< 2.0%), S (0.32%–0.48%; > 0.52%). ⑤The data distribution of the main mineral nutrients including N, P, K, Ca and Mg in the study sample leaves meets the normal assumption that  $p$  (normal)  $\geq 0.15$ , which conforms to the BDRIS modeling conditions, and thus a diagnostic system is established. 【Conclusion】According to the relative physiological stability of mineral nutrition in leaves of fruit trees in different growth regions or under different environmental conditions, the critical value standard and BDRIS recommended in this study for mineral nutrition in leaves of annual passion fruit in growing season are also applicable to the diagnosis of mineral nutrition in growing season of perennial passion fruit in the south subtropical and tropical regions, which broadens the regional limitations of the diagnostic standard in non growing season in winter before.

**Key words:** Passion fruit (*Passiflora edulis*); Leaf mineral nutrients; Appropriate standard; BDRIS

西番莲(*Passiflora edulis*)为西番莲科(Passifloraceae)西番莲属(*Passiflora*)多年生热带常绿藤本,原产南美洲,俗称“百香果”,果汁丰富香气浓郁,亦被誉为“果汁之王”。目前,商业主栽品种为紫果原

变种(*P. edulis*)、黄果变种(*P. edulis* f. *flavicapa* Deg.)及其杂种<sup>[1]</sup>。西番莲速生、早产、适应性强,属汁用的鲜食、加工皆宜果类。在福建通过纬度与海拔差异调节,鲜果销售期可达半年,市场前景广阔。

目前,随着福建中亚热带区西番莲一年生栽培模式[《百香果(西番莲)栽培技术规范 DB35/T 1858—2019》]的推广,急需研究制定西番莲的生长季叶片矿质营养适宜值标准。

1993年 Menzel 等<sup>[2]</sup>在研究巴西、印度、科特迪瓦、马提尼克岛(Martinique)等热带地区,以及澳大利亚地区的8项西番莲叶片矿质营养标准基础上,于澳大利亚昆士兰州 Nambour 亚热带地区(S 26°39',年平均气温 19.6 °C,年降水量 1150 mm,最冷月7月平均气温 14 °C)4个西番莲丰产果园,采集冬季(5—8月)成熟新叶,制定适用西番莲紫果和黄果品种的叶片矿质营养适宜值最新标准。然而,因其制标地为南半球亚热带多年生栽培区,叶样采集时间为冬季非生长季,无法应用于一年生栽培。为此,一年生栽培西番莲叶片矿质营养诊断需限制在生长季。再据西番莲在平均最高气温 $\geq 35$  °C时将抑制二、三级主要花蔓的花芽形成<sup>[3]</sup>,造成盛夏季西番莲常有一时段的空果期,在生产上形成明显的夏、秋两个主要采收季。鉴于这一生物学特性,制标研究需考虑夏、秋果产季的叶片矿质元素的季节差异。据报道<sup>[4]</sup>,西番莲枝蔓顶端下延第10叶位叶片矿质营养含量最稳定,叶片营养含量在花期显著降低,应避免采样,坐果期影响不显著,为此推荐第10叶作为生长季采样叶位。

迄今西番莲叶片矿质营养适宜值标准,均未见针对果实品质影响的研究。根据西番莲不同品种品质具有显著差异<sup>[5]</sup>,与果实于初夏、秋末2季成熟的特点,笔者在本研究中拟分品种、季节在绿果期采集叶样与成熟期果样,在继承丰产果园群体制标的基础上,增设果实品质影响矫正分析,并在制定西番莲单位面积(m<sup>2</sup>)平均着果数的丰产性评价范式与参照阈值基础上,研究西番莲生长季叶片矿质营养适宜值,为一年生西番莲叶片矿质营养诊断、优质丰产西番莲施肥及相关研究提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

2021年由福建省现代农业(水果)产业技术体系10个试验站承担叶、果样采集,取样范围N 23°55'58"—N 27°16'04"、海拔10~720 m、土质红壤。域内县级站台年平均气温 18.8~21.7 °C,年降水量 1610~1750 mm,1月平均气温 11.4 °C,极端最低气

温-5.2 °C(中国地面气候标准年值 1981—2010)。

1.1.1 产量等级评估数据采集 选择代表性西番莲果园81个(紫果42个、黄果39个),于夏果果实膨大期(亦为绿果期,约在5月上旬立夏前后),用1 m<sup>2</sup>方框在棚架下框选,并计算框内果实和花苞数量,每果园在不同区位重复计数 $\geq 10$ 次;并现场对果园产量等级(yield grade, YG)进行经验评估(1低产、2中低产、3中等产、4中高产、5高产),据此统计推断丰产果园每平方米着果数阈值。

1.1.2 叶样与果样采集 根据1.1.1丰产园判定阈值,选择果园面积 $\geq 1$  hm<sup>2</sup>的丰产果园63个(黄果32个、紫果31个)。品系分类,将所有黄果变种(*P. edulis* f. *flavicarpa*)归为黄果品系,所有紫果(*P. edulis*)与台农1号等紫果杂交种(紫果*P. edulis*×黄果*P. edulis* f. *flavicarpa*)归紫果品系。

叶样采集:每果园按梅花五点法选定5株丰产株,编号标记。在6月中旬夏至前与9月下旬秋分前,于绿果期(约乒乓球大小)采集叶片,每株每季采集10枚第10叶位、由先端已木质化叶位算起的带柄叶片<sup>[6]</sup>,每季5株50枚叶混合成一个叶样,即每园2季2个叶样。叶样预处理据《亚热带果树营养诊断样品采集技术规范 DB35/T 742—2007》清洗叶样,其中酸液洗涤环节改用超声波果蔬清洗机(莱科德 SU-785A)洗涤30 s。

果样采集:采集植株与叶样相同。每株每季随机采4个着色成熟果实,每园5株20果为1个混合果样,每果样随机取10个正常无损伤果检测。其中,夏果8月上旬前(立秋前)采集,秋果11月上旬前(立冬前)采集。

### 1.2 测试项目

果实品质:单果质量(SFW)、果实纵径(LD)、果实横径(TD)、可溶性固形物含量(TSS)、可滴定酸含量(TA)。

叶片矿质元素:N含量用凯氏定氮法测定,P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn、B、Mo含量采用等离子光谱法(ICP)测定,S和Cl含量用X射线荧光法测定(CMA认证)。

### 1.3 研究方法

1.3.1 偏态分析 由于分析样品的品种和采收季节不同,且地域和海拔分布差异显著,应用偏态分析更能充分利用原始数据信息,准确解析叶片矿质营养与果实品质、产量等级的关系,为制标提供证据。若



无特别指定,所涉及偏态因素与量化:生态(纬度、海拔)、品种(紫果=1、黄果=3)、采收季节(夏季=1、秋季=2)。

**1.3.2 制标根据** 直接证据:由叶片矿质元素自变量分析获得,特别是过量、缺乏值的确定;间接证据:由果实品质因变量分析获得,其自变量适宜值取80%置信范围,或视数据分布偏度(Skewness)取10%~90%分位数范围。引用证据:对缺乏制标依据的元素引用文献报道。

若品种、季节间高产群体叶片矿质元素差异不显著,则采用统一标准,否则分品种与采季二选一。制标本着实用从简原则,对嵌套问题决策优先序(理由):品种差异(遗传差异)>季节差异(生育时差);品质差异(充分条件)>产量差异(必要条件)。

**1.3.3 BDRIS 建立** 参照文献[6-7],当主要矿质营养元素分布均呈正态时 $p(\text{Normal}) \geq 0.15$ ,满足“平衡诊断施肥综合法”(balance diagnosis and recommendation integrated system, BDRIS)建模条件, BDRIS 亦称“矿质营养平衡指数”,据等概率平衡 BDRIS 诊断:平衡 $\leq 80\% <$ 亚平衡 $< 95\% \leq$ 非平衡。

鉴于丰产果园群体可能存在偏施肥倾向,在建模时需要对平均值进行校正。通常由果实品质与产量等级数据分析获得元素缺乏下限或过量上限,据正态分布理论过量上限 $X_{UL}$ 概率 $p(X \leq X_{UL}) = 0.975$ ,修正平均值为 $\text{Mean} = X_{UL} - 1.96 \times \text{Std}$ ;反之,缺乏下限 $X_{LL}$ 概率为 $p(X \leq X_{LL}) = 0.025$ ,修正平均值为 $\text{Mean} = X_{UL} + 1.96 \times \text{Std}$ 。主要营养元素临界值诊断:适宜值80%置信范围 $X_{SR} = \text{Mean} \pm 1.28 \times \text{Std}$ ,过量 $X_{Over} \geq \text{Mean} + 1.96 \times \text{Std}$ ,缺乏 $X_{Lack} \leq \text{Mean} - 1.96 \times \text{Std}$ 。相对临界值诊断标准 $X_{Std} = (X - \text{Mean}) / \text{Std}$ ,适宜 $\leq |\pm 1.28|$ ,过量与缺乏 $\geq |\pm 1.96|$ 。

统计分析采用 SAS8.1 进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 丰产果园阈值界定

据采集81个果园810条记录分析,黄、紫果产量等级(YG)与每平方米着果数(FN)最佳回归模拟为:

$$\text{黄果 } FN_{\text{yellow}} = 4.26 \times YG, F=337.0, p<0.000 1 \quad (1)$$

( $FN_{\text{mean}}=16.28$ );

$$\text{紫果 } FN_{\text{purple}} = 6.13 \times YG, F=700.6, p<0.000 1 \quad (2)$$

( $FN_{\text{mean}}=20.12$ )。

回归表明产量等级 YG 与着果数 FN 均呈极显

著线性关系,相同产量等级 $FN_{\text{yellow}}$ 为 $FN_{\text{purple}}$ 的0.695倍 $\approx 0.7$ 倍,与2个品种平均单果质量的反比相当<sup>[5]</sup>,基本吻合2个品种在相同栽培管理条件下产量基本相符的生产实际。为提供制标所需丰产样本群体判别阈值,兼顾生产实际与评估可操作性,建议以品种平均着果数为丰产果园界定标准:黄果 $\geq 16 \text{果} \cdot \text{m}^{-2}$ 、紫果 $\geq 20 \text{果} \cdot \text{m}^{-2}$ ;根据(式1,式2)2个品种丰产园界定标准阈值对应产量等级分别为3.8和3.3,介于中等产与中高产之间,符合丰产下限要求。在调查中还发现产量等级与花蕾数也呈极显著正相关 $[r=0.287$ (紫果)、 $0.206$ (黄果), $p<0.01$ ];但相关系数均远低于 YG 与着果数 $[r=0.354$ (紫果)、 $0.610$ (黄果), $p<0.000 1$ ],且着果数与花蕾数相关不显著( $p>0.50$ ),为简化问题,选“每平方米着果数(FN)”为代表因子。

### 2.2 果实品质季节差异与指标筛选

对2个品种63个果园2季1260粒果实品质进行协方差分析,结果如表1所示,夏果品质极显著优于秋果,具体表现果大、高糖、低酸和高固酸比,符合热带水果特性;并且协变量品种间方差 $F_2 >$ 目标变量的季节性方差 $F_1$ ,即品种差异>季节差异,这与鲜果制标逻辑吻合<sup>[5]</sup>。鉴于西番莲品种与采收季间(夏果、秋果)的果实品质均存在显著差异,为简化分析,将品种与采收季因素设为偏态因子做主成分分析,结果5项品质指标的前3个主成分Q1~Q3累计贡献率为79.9%。据各主成分互不相关原理,选择主成分中贡献负荷相对较大,及其对果实商品性选择控制能力强的指标为代表因子简化品质因素。例如,Q1主要表达果实固酸比(TSS/TA)和可滴定酸含量(TA),贡献率互反,由此TSS/TA可由TA代为表达,且TA变异系数( $CV_{TA}=29.31\%$ )>TSS变异系数( $CV_{TSS}=6.89\%$ ),以此从商品可操作性选择TA为Q1代表。Q2主要表达可溶性固形物含量(TSS)、果形指数(FSI)和单果质量(SFW),Q2可解读为高果形指数的大果倾向低糖,这符合果实品质变化一般规律<sup>[8]</sup>,据商品属性选TSS为Q2代表。Q3主要表达为单果质量(SFW),即为代表。另外,在Q2、Q3主成分中SFW、果形指数(FSI)存在贡献互反矛盾,将作为分析技巧在讨论中予以阐释。据此选定SFW、TSS、TA为果实品质代表指标,因变量由5项简化为3项。

为排除环境因素影响,将环境因子与3项品质代表指标做偏复相关分析筛选,偏因子为品种、采

表 1 果实品质的协方差分析与主成分偏态分析

Table 1 Covariance analysis and principal component partial analysis of fruit quality

品质指标 Quality factor	偏态主成分分析 Principal component partial analysis			协方差分析 Co-ANOVA					协变量 Co-factor	
	特征向量 Eigenvector			夏季平均 Summer mean	秋季平均 Autumn mean	差值 D	F <sub>1</sub>	p	F <sub>2</sub>	p
	Q1	Q2	Q3							
单果质量 SFW	0.097	0.412	0.866	77.00	70.40	6.60	55.6	<0.000 1	82.6	<0.000 1
果形指数 FSI	-0.126	0.561	-0.461	1.04	1.06	-0.02	43.4	<0.000 1	877.6	<0.000 1
可溶性固形物含量 TSS	0.103	-0.704	0.111	17.80	17.40	0.40	47.4	<0.000 1	413.8	<0.000 1
可滴定酸含量 TA	-0.688	-0.145	0.129	2.13	2.43	-0.30	98.2	<0.000 1	610.1	<0.000 1
固酸比 TSS/TA	0.701	0.006	-0.093	9.16	7.85	1.31	105.1	<0.000 1	729.3	<0.000 1
贡献 Proportion	0.377	0.228	0.194							
累积贡献 Cumulative	0.377	0.605	0.799							

注:协变量=品种;偏态因子=品种、季节,n=1260。

Note: Co-factor=Variety; partial=Variety, Season. n=1260.

季,筛选阈值 $p < 0.1$ ,结果纬度( $r = 0.379, p = 0.000 5$ )、海拔( $r = 0.378, p = 0.001 0$ )、树龄( $r = 0.247, p = 0.057 4$ )简化选纬度、海拔为环境影响因子。

### 2.3 品种与季节间叶片矿质营养差异

表2为2个品种类别63个果园2季126份叶样矿质元素的协方差分析结果(品种与季节互为协变量)。为甄别显著性差异与简化适宜值指标,排除数据极值尤其极大值干扰,为防范第II类(取伪)概率识别错误,增设阈值进行试错排查。预设品种与季节间矿质营养适宜水平等同,遇到不同类别数据集呈显著

差异 $p < 0.05$ 时,增设95%、90%置信阈值再进行分析,若差异不显著则接受适宜值无显著差异,例如 $S \leq 99\%$ 分位数( $0.57\%$ ), $B \leq 95\%$ 分位数( $120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) and  $B \geq 5\%$ 分位数( $13.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),可视品种间无显著差异;再例如, $K \leq 95\%$ 分位数( $4.81\%$ ), $P \leq 95\%$ 分位数( $0.328\%$ ) and  $P \geq 5\%$ 分位数( $0.167\%$ ),可视季节间无显著差异( $p > 0.05$ ),与文献报道P、K叶片含量季节间差异不显著相符<sup>[2]</sup>;否则认为不同类别数据集间呈显著差异。表2分析结果为品种间N、K、Fe、Cl存在极显著差异(黄果>紫果);季节间N、Mg、Cu、Fe存在极显著差异,且除Fe

表 2 西番莲叶片矿质元素品种与季节差异的协方差分析及其与果实品质偏复相关

Table 2 Covariance analysis of varieties and seasonal differences of mineral elements in *Passiflora* leaves and their partial complex correlation with fruit quality

元素 Elements	品种平均 Variety mean				季节平均 Season mean				果实品质 Fruit quality	
	黄果 Golden	紫果 Purple	协方差 Co-ANOVA		夏季 Summer	秋季 Autumn	协方差 Co-ANOVA		偏复相关系数 Partial complex, r	P
			F	p			F	p		
w(N)/%	4.42	3.89	25.5	<0.000 1	4.445	3.881	28.8	<0.000 1	0.119	0.642 6
w(P)/%	0.251	0.236	3.1	0.081 5	0.248	0.237	2.2	0.143 8	0.186	0.248 5
w(K)/%	3.56	3.01	16.6	<0.000 1	3.29	3.08	3.3	0.071 3	0.160	0.382 8
w(Ca)/%	2.13	2.27	1.0	0.314 2	2.132	2.257	0.8	0.366 7	0.098	0.767 6
w(Mg)/%	0.257	0.251	0.1	0.711 6	0.279	0.229	13.4	0.000 4	0.113	0.678 4
w(Cu)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	4.75	5.22	0.4	0.540 9	5.973	3.983	6.9	0.009 8	0.147	0.464 0
w(Zn)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	40.4	37.3	0.6	0.437 0	40.05	37.75	0.4	0.546 0	0.115	0.665 7
w(Fe)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	135	104	20.5	<0.000 1	110.7	129.0	7.4	0.007 6	0.316	0.006 2
w(Mn)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	269	238	0.8	0.374 7	224.5	283.4	3.0	0.088 0	0.202	0.178 1
w(B)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	44.8	38.0	2.4	0.123 9	44.25	40.39	0.5	0.496 7	0.250	0.056 1
w(Mo)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.512	0.456	0.4	0.514 6	0.538	0.432	1.5	0.216 7	0.153	0.424 5
w(Cl)/%	1.15	0.92	13.9	0.000 3	1.018	1.060	0.5	0.494 6	0.179	0.281 3
w(S)/%	0.470	0.448	3.9	0.050 7	0.449	0.469	3.3	0.070 8	0.342	0.002 1

注:品种与季节协方差互为彼此协变量方差。果实品质(单果质量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量);复相关偏因子:品种、季节、纬度、海拔。

Note: Variety and season covariance are covariate variances of each other. Fruit quality (SFW, TSS, TA); Correlation partial=Variety, Season, Latitude, Altitude.

以外,均夏季含量大于秋季含量。

### 2.4 叶片矿质元素经济指标关系及其适宜范围分析

作物叶片矿质营养适宜值分析需考虑元素间拮抗关系与兼顾施肥因素的协同影响。根据主成分不相关原理,应用主成分分析替代相关分析可简化分辨营养施肥与元素拮抗的复合效应,表3列出占叶片元素变化贡献69.19%的Z1~Z5主成分,下面按贡献顺序分析阐述。

Z1主成分占元素变量贡献的23.24%,主要表达同向贡献N、P、S、K,专业判别为N、P、K施肥主成分,它符合生产惯用主导施肥元素;S与K的特征向量分别为0.396和0.377,差异不大,或与西番莲大田硫酸钾肥施用比率较高有关;同理N、P协同施肥比率也较高。4元素分布正态检验 $p(\text{normal}) \geq 0.1047$ (表4)。

叶片N在品种与季节间均存在极显著差异(表2),表现为黄果>紫果、夏季>秋季。根据80%置信范围即10%~90%分位数(表4),黄果夏季3.91%~5.39%、黄果秋季与紫果夏季3.35%~4.90%、紫果秋季3.01%~4.29%。它相对于Menzel等<sup>[2]</sup>制定的N含量标准(4.25%~5.25%)显著偏低,这或与生长季植株开花、坐果对N素消耗较大有关;同理福建中亚热

带气候区一年生栽培西番莲产量的夏果:秋果 $\approx 4.5:5.5$ ,秋季产量高于夏季使秋季叶片N低于夏季。因而夏果采后应及时追肥。鉴于果园叶片N夏季与秋季含量呈极显著正相关( $r=0.367, p=0.0031$ ),遵循实用从简原则,推荐夏季绿果期为叶片矿质营养诊断季,叶片N适宜值黄果3.90%~5.40%,紫果3.35%~4.90%(表4)。如此,以夏季绿果期叶片为诊断依据,可指导当季追肥,亦可针对秋季调整N素用量。

叶片P的80%置信范围为0.186%~0.310%,较Menzel等<sup>[2]</sup>在非生长季(冬季)标准(0.15%~0.25%)的上下限均偏高。根据Menzel等<sup>[2]</sup>报道西番莲叶片P的周年变化示图表明生长季明显高于非生长季,因而推荐生长季叶片P适宜值为0.19%~0.31%。

叶片K品种间存在极显著差异,表现为黄果>紫果,80%置信范围分别为黄果2.18%~4.30%、紫果2.35%~3.66%,上下限均显著高于Menzel等<sup>[2]</sup>在非生长季标准(2.0%~3.0%)。根据福建果园土壤pH偏低与缺Ca缺Mg现象普遍<sup>[9-11]</sup>,样例K与Ca呈极显著负相关( $r=-0.450, p=1.6E-7, n=126$ ),且田间常见有缺Mg症状,因而疑似叶片K可能因元素拮抗或过量施用而偏高(见下述Ca、Mg分析),建议适宜值下限参考黄果与紫果5%分位数的平均值2.10%,上

表3 西番莲叶片矿质营养偏态主成分及其与产量等级果实品质偏相关分析

Table 3 Partial principal components of mineral nutrition in *Passiflora* leaves and their partial correlation with yield grade and fruit quality

元素 Elements	主成分特征向量 Principal eigenvector					偏相关系数 Partial, r			
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	产量等级 YG	单果质量 SFW	可溶性固 形物含量TSS	可滴定酸含 量TA
N	0.453	-0.023	-0.094	-0.382	0.041	0.042	-0.016	-0.047	-0.096
P	0.423	0.117	-0.240	0.061	-0.198	-0.017	-0.068	-0.148	-0.082
K	0.377	-0.223	-0.352	0.093	-0.263	-0.016	0.056	0.023	0.147
Ca	-0.147	0.561	0.131	0.027	-0.116	0.290	0.005	-0.030	0.089
Mg	0.148	0.474	0.224	-0.302	0.215	0.192	-0.035	-0.100	0.010
Cu	0.069	0.369	-0.110	0.391	-0.043	0.116	0.103	-0.084	-0.090
Zn	0.268	0.058	-0.046	0.400	0.625	-0.022	-0.083	-0.027	-0.069
Fe	0.203	0.016	0.418	0.188	-0.367	0.039	-0.223	0.241	-0.040
Mn	0.260	-0.192	0.430	0.155	0.410	-0.032	-0.063	0.023	-0.186
B	0.221	0.219	-0.269	0.347	-0.069	0.296	-0.213	-0.098	0.011
Mo	-0.073	0.388	-0.306	-0.218	0.138	0.108	0.002	-0.108	-0.120
Cl	0.183	0.137	0.438	0.148	-0.333	-0.015	-0.117	-0.104	0.050
S	0.396	0.044	0.108	-0.433	0.012	0.126	-0.247	-0.079	-0.208
贡献率 Proportion/%	23.24	14.59	13.46	9.98	7.91	$r_{0.01}=0.2315; r_{0.05}=0.1771; n=125;$			
累积贡献率 Cumulative/%	23.24	37.83	51.29	61.27	69.19				

注:主成分偏因子=品种、季节;相关偏因子=品种、季节、纬度、海拔。

Note: Principal partial=Variety, Season; correlation partial=Variety, Season, Latitude, Altitude.

表 4 西番莲丰产园叶片矿质营养数据分布与推荐诊断标准  
Table 4 Distribution of leaf mineral nutrition data and recommended diagnostic criteria in passion fruit high yield garden

元素 Elements	品种 Variety	季节 Season	数值范围 Date range	平均值 Mean	分位数 Quantile					标准差			正态检验 <i>p</i> (Normal)	澳昆士兰标准 Queensland Std 1993
					1%	5%	10%	90%	95%	99%	S	Skewness		
w(N)/%	黄果 Golden	夏 Summer	3.90~5.40	4.69 A	3.14	3.44	3.91	5.39	5.52	5.84	0.64	-0.60	0.385 8	4.25~5.25
		秋 Autumn	3.35~4.90	4.12 B	3.11	3.18	3.30	4.92	5.17	5.26	0.61	0.10	0.446 6	
	紫果 Purple	夏 Summer	3.35~4.90	4.19 B	2.68	3.29	3.40	4.85	5.10	5.36	0.59	-0.36	0.951 3	
		秋 Autumn	3.10~4.30	3.64 C	2.88	2.93	3.06	4.29	4.85	4.90	0.55	0.72	0.150 1	
w(P)/%	-	-	0.19~0.31	0.244	0.155	0.167	0.186	0.310	0.328	0.351	0.05	0.36	0.146 2	0.15~0.25
w(K)/%	黄果 Golden	-	2.10~4.25	3.56 A	1.94	2.17	2.34	4.81	5.13	6.01	0.92	0.19	0.340 6	2.0~3.0
	紫果 Purple	-	2.10~3.50	3.02 B	1.38	2.22	2.35	3.66	3.71	4.55	0.55	0.05	0.567 9	
w(Ca)/%	-	-	<1.50; 1.90~3.41; >3.81	2.09	0.88	1.20	1.30	2.96	3.17	3.74	0.79	0.37	0.246 5	1.75~2.75
w(Mg)/%	-	夏 Summer	<0.15; 0.20~0.40; >0.45	0.279 A	0.078	0.183	0.197	0.385	0.396	0.501	0.08	0.21	0.747 0	0.30~0.40
		秋 Autumn	(0.15~0.36)	0.229 B	0.101	0.112	0.133	0.360	0.383	0.420	0.08	0.57	0.132 6	
w(Cu)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	-	-	3.0~20.0*	5.0	1.6	2.3	2.7	6.9	11.2	25.2	4.33	4.53	<0.000 1	5~20
w(Zn)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	-	-	24~80*	39	14	16	18	75	86	121	21.69	1.57	<0.000 1	50~80
w(Fe)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	-	夏 Summer	<70; 90~160; >240	110.5 B	69.0	80.9	87.9	140.0	155.0	184.0	23.21	0.96	0.005 2	100~200
		秋 Autumn		129.2 A	54.4	69.3	74.3	221.0	234.0	326.0	52.54	1.49	<0.000 1	
w(Mn)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	-	-	<40; 80~550	254	36	59	70	548	664	976	192.1	1.61	<0.000 1	100~500
w(B)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	-	-	<16; 25~70; >85	42	11	13	15	77	120	186	34.94	2.48	<0.000 1	40~60
w(Mo)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	-	-	0.15~1.50	0.48	0.06	0.09	0.12	1.17	1.54	2.08	0.48	2.13	<0.000 1	-
w(Cl)/%	黄果 Golden	-	<2.0%*	1.14 A	0.36	0.51	0.60	1.55	1.74	2.05	0.33	0.344	0.143 8	<2.0
	紫果 Purple	-		0.93 B										
w(S)/%	-	-	0.32~0.48; >0.52	0.459	0.335	0.351	0.378	0.536	0.553	0.570	0.07	-0.150	0.104 7	0.2~0.4

注:括号内指标仅供参考。“-”表示没有品种和季节之分。<表示缺乏;~表示适宜下限~适宜上限;>表示过量; \*表示数据引用参考文献[2];不同大写字母表示在 *p*<0.01 差异极显著。

Note: The values in brackets are for reference only. ‘-’ There is no division of variety or season. < indicate deficiency; ~ indicate optimal lower limit - optimal upper limit; > indicate excess; \* indicate the date come from reference [2]; Different capital letters indicate extremely significant difference at *p*<0.01.



限则根据85%分位数黄果4.25%、紫果3.52%≈3.50%,其黄果适宜值上限显著的宽于紫果。

叶片S与果实品质呈显著相关,疑似存在过量症(表3),经筛查 $S \leq 0.525\%$ 与SFW的 $r = -0.166$ 、 $p = 0.1035$ ,与TA的 $r = -0.109$ 、 $p = 0.2881$ 。为此推荐S的过量上限为0.52%(与SFW的 $r = -0.148$ 、 $p = 0.1557$ ;与TA的 $r = -0.134$ 、 $p = 0.1965$ ),并据正态分布理论导出适宜值0.32%~0.48%。有关S过量对西番莲品质的影响罕见报道,仅见文献[1]给出的叶片S适宜值0.2%~0.4%,据此标准上限,本研究样例的适宜率仅17.5%,显然与实际不符。有关叶片S过量对西番莲SFW的影响未见报道,有待验证。

Z2主成分贡献率为14.59%,主要表达同向贡献Ca、Mg、Mo、Cu,专业判识为Ca、Mg碱性肥施肥主成分,且Ca、Mg分布满足正态检验 $p(\text{normal}) \geq 0.2465$ 。若生产中N、P、K施肥到位率为100%,依Q1与Q2贡献比推断,Ca、Mg施肥到位率为62.8%,它反映生产中Ca、Mg施肥不及N、P、K肥重视。一般Ca、Mg缓释型肥料,尤其Ca肥对酸性红壤pH具有显著改良作用,且土壤pH每提高1个单位,Mo有效性提高近百倍<sup>[12]</sup>。有报道柑橘园土壤pH与有效Mo、有效Cu分别呈显著正相关、负相关<sup>[9]</sup>,因而叶片Ca、Mg与Mo符合一般规律,而叶片Cu与Ca的协同关系或与生产中常施用Cu、Ca杀菌剂有关。

叶片Ca与产量等级(YG)呈显著正相关,表达样例存在缺Ca状况,这与福建红壤果园普遍存在pH偏低与缺Ca、缺Mg状况吻合<sup>[9-11]</sup>。经筛查 $Ca \geq 1.5\%$ 与YG的 $r = 0.184$ 、 $p = 0.0730$ ,当 $Ca \geq 1.9\%$ 时, $r = 0.167$ 、 $p = 0.1574$ ,建议其分别为Ca缺乏下限与适宜值下限。据此由正态分布理论导出适宜值上限(3.41%)与过量上限(3.81%)。本研究样例约38.10%(略大于1/3)低Ca、16.67%(约为1/6)缺Ca。相较Menzel等<sup>[2]</sup>的Ca含量适宜标准(1.75%~2.75%),本文推荐的适宜标准(1.90%~3.41%)下限略高,上限增幅显著,但本研究样例Ca的99%分位数达3.74%。

叶片Mg与YG呈显著正相关,且季节间存在显著差异(表2、表3)。经筛查 $Mg \geq 0.15\%$ 与YG的 $r = 0.162$ 、 $p = 0.0930$ ,建议为缺Mg下限。同时叶片Mg夏季与秋季含量呈极显著正相关( $r = 0.438$ 、 $p = 0.0003$ ),与N元素制标同理遵循实用从简原则,推荐夏季绿果期为叶片矿质营养诊断季。根据正态分布理论由缺乏上限导出Mg适宜值0.2%~0.4%,过量上限

0.45%。相较Menzel等<sup>[2]</sup>的标准(0.3%~0.4%)仅下限有所放宽,样本适宜率为73.0%。本研究样例叶片Mg与Ca的偏相关( $r = 0.356$ 、 $p = 4.9 \cdot E$ )呈极显著协同现象,这有违Mg与Ca间互为拮抗关系的植物生理常识,可能唯一合理的解释为同步施肥导致,例如闽南沿海常施用钙镁磷、牡蛎壳灰等。

叶片Mo含量10%~90%的分位数为0.12~1.17  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。鉴于未见西番莲叶片Mo适宜值报道,考虑福建红壤pH偏酸状况可能影响Mo吸收,建议Mo适宜值取15%~95%分位数为0.15~1.5  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。Mo与其他微量元素Cu、Zn、Fe、Mn、B的数据分布均呈显著正偏态,与柑橘属(*Citrus* spp.)品种丰产园群体叶片微量元素分布类似<sup>[6,10-11]</sup>,这或与根外追肥及其他原因有关。

叶片Cu存在季节间显著差异,夏、秋季叶片Cu含量的1%~99%分位数差异 $D$ 由0.71  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 迅速扩展至24.0  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,差值 $D = 1.5E-3 \times QP^2$ (QP为1%~99%分位数数值, $F = 20.4$ 、 $p = 0.004$ )呈指数增长,与一般元素线性增长规律不同,有悖常理。因而叶片Cu变化在Z2主成分之外还应另有原因,见下Z4主成分。福建属亚热带季风气候,年降水春季>60%、夏秋季<30%<sup>[13]</sup>,田间施用Cu杀菌剂主要于上半年,同时西番莲属无限生长型,夏、秋的新蔓受施药污染程度不同,因而叶片Cu季节差异并非西番莲生理需求,属非制标依据。据叶片Cu的10%分位数2.7  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,建议适宜下限取3.0  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;且90%分位数6.9  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,远低于Menzel等<sup>[2]</sup>在非生长季适宜上限(20  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),推荐引用。

Z3主成分贡献率(13.46%)略低于Z2,主要表达同向贡献Cl、Mn、Fe,次要逆向贡献K、Mo。若视Z3为土壤pH主成分,则结果符合一般规律。因福建果园土壤主要类型为丘陵红壤,土壤pH与有效态Mn、Fe含量呈极显著负相关,与有效态K、Mo含量呈正相关<sup>[9]</sup>,Cl表达土壤酸化因素。Z2、Z3主成分似均与土壤pH有关,但Z2主要表达Ca、Mg碱性施肥使pH改变,而Z3主要为酸性施肥,特别是含Cl肥料使土壤酸化,Mo在Z2、Z3特征贡献亦佐证作者推理逻辑,碱性施肥和酸性施肥二类事件相对独立,符合农户的施肥习惯。

叶片Cl品种间差异显著(表2),黄果显著高于紫果。Cl来源广泛,一般大田生产不发生缺Cl<sup>[14]</sup>,反而常见过量危害,以控制上限为宜。本文Cl 95%分



位数 1.74% < 2.0% (Menzel 等<sup>[2]</sup>的标准), 建议引用。作物成熟期茎叶 Cl 含量 0.1%~1.0%<sup>[15]</sup>, 由此判断西番莲属富 Cl 作物。

叶片 Mn 含量与 TA 呈显著负相关(表 3), 表示有缺 Mn 状况。经筛查,  $Mn \geq 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 与 TA 的  $r = -0.141$ ,  $p = 0.1301$ , 据此建议  $Mn \leq 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  为缺乏下限。适宜范围取 15%~90%分位数 80~550  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 较澳洲的标准(100~500  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[2]</sup>稍宽, 由于 2 个标准的制标地均为酸性土壤( $\text{pH} < 6.0$ )<sup>[2, 16]</sup>, 而酸性土壤中有效态 Mn 含量相对较高, 故可适当放宽适宜含量标准。

叶片 Fe 不仅品种间、季节间存在显著差异, 且与果实品质 SFW、TSS 显著相关(表 2、3), 似缺乏与过量症并存。遵照品质优先原则, 经筛查  $Fe \leq 70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $\geq 240 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  范围, 与 SFW、TSS 的偏  $r = -0.156$ ,  $0.141$ ,  $p = 0.0996$ ,  $0.1374$ , 建议为缺乏下限与过量上限。进一步分析, 品种间显著差异仅限于秋季, 夏季差异不显著; 夏、秋季间叶片 Fe 含量呈极显著相关  $r = 0.539$ ,  $p = 7.3E-6$ , 参考福建红壤富 Fe 与夏季(旺长季)叶片 Fe 10%~95%分位数 87.9~155  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 建议 Fe 适宜值 90~160  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。相较澳洲西番莲非生长季标准(100~200  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )明显偏低, 但符合 Fe 难移动与随叶龄增高的一般规律。需要指出叶片 Fe 含量季节差异与大多数元素相反, 为秋季高于夏季, 类似元素还有 Mn、S ( $p < 0.1$ ), 原因是否与土温有关有待研究。

Z4 主成分贡献率 9.98%  $\leq 10\%$ , 正向贡献主要表达 Zn、Cu、B 微量元素, 逆向贡献主要为 S、N, 专业解读倾向为叶面施药(Cu、Zn)与叶面施肥(Zn、B)主成分, 根据植物矿质元素拮抗规律, Cu 与 Zn 拮抗<sup>[2]</sup>, 而在本研究互为协同现象的唯一合理解释为叶面施药(肥); 再则, 福建 98.7%土壤缺 B(土壤有效  $B < 0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )与花期叶面喷 B 为常规操作; 另外, N 与 B 亦为拮抗关系。

叶片 Zn 10%~90%分位数 17.8~74.9  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 其上限与 Menzel 等<sup>[2]</sup>的标准(40~80  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )相当, 而下限明显偏低。这或与福建 20%土壤样例缺 Zn(土壤有效  $Zn < 0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )和果树生产中缺 Zn 为常见症<sup>[7]</sup>有关, 而澳洲西番莲制标果园有效 Zn 2~10  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 土壤不缺 Zn 甚至高量<sup>[2]</sup>, 因而建议 Zn 适宜值下限取 25%分位数 24  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 上限引用昆士兰标准 80  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

叶片 B 与 YG、SFW 呈显著正、负相关(表 3), 由 YG 与 SFW 的偏  $r = -0.280$ ,  $p = 0.0017$ , 即缺 B 致受精障碍导致低产大果。经 B 与 YG、SFW、TSS、TA 偏相关概率筛查, 当  $B \geq 16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $\leq 85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 4 项因变量中显著性检验概率最低  $p(B \& YG) = 0.0903$ ; 当  $B \geq 24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $\leq 72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 显著性检验概率最低  $p(B \& TA) = 0.2291$ 。为此, 建议 B 适宜值为 25~70  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 样本适宜率 51.2%; 缺乏下限 16  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  与过量上限 85  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 样本适宜与次适宜率 76.2%。参照 Menzel 等<sup>[2]</sup>的标准( $B 40 \sim 60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 本研究样例适宜率仅 16.7%, 显然不符合实际。

Z5 主成分贡献率 7.91%  $\leq 8\%$ , 正向贡献主要元素 Zn、Mn, 逆向次要贡献为 Fe、Cl, 与 Z4 专业解读基本相同, 为叶面喷施 Zn、Mn 杀菌剂, 故 Zn、Mn 虽为拮抗关系, 却出现协同现象。上述 Z1~Z3 基本可归类为土壤矿质营养影响主成分, 变量相对累积贡献比 74.13%(约 3/4); 而 Z4、Z5 归类为根外施肥与施药主成分, 相对贡献比 25.87%(约 1/4)。

## 2.5 主要矿质元素综合 BDRIS 建立

鉴于研究样例主要矿质营养 N、P、K、Ca、Mg 元素数据分布均满足正态假设  $p(\text{normal}) \geq 0.15$ (表 4), 符合 BDRIS 建模条件, 但据本研究 2.4 分析 N、K 元素品种间存在显著差异, 为便于生产应用拟建立 BDRIS 统一诊断模型(表 5), 其诊断参数, 包括 r 相关矩阵、平均值(Mean)与标准差(Std)矩阵, 由 2 个品种夏季叶样数据共同建立。BDRIS 临界值标准: N 适宜下限 3.32%抵近紫果适宜下限 3.35%, 适宜上限 5.12%则与 2 个品种适宜上限平均值 5.15%相当(表 4); K 适宜标准 2.13%~3.88%, 与分品种适宜下限 2.10%基本吻合, 与分品种适宜上限均值 3.88%相等, 2 个元素综合结果均为下限取低值与上限取平均值。专业解读为 2 个品种对 N、K 元素生理需求下限基本相同, 与上限的耐肥能力似不相同, 从营养平衡角度即可确保生理需求, 亦可兼顾节本增效, 且基本涵盖适宜值范围。其他 P、Ca、Mg 元素无品种差异。N、K 元素的分品种与综合标准的应用无原则区别, 一般应用综合标准更方便, 仅当特殊应用时需分品种, 如特例品种的上限是否适宜。

关于 BDRIS 平衡指数与果实品质、产量等级的分析如表 6 所示, BDRIS 与叶片 K 平衡指数呈显著正相关, 与叶片 Ca、Mg 平衡指数呈极显著负相关, 与 SFW 呈显著负相关; 叶片 Ca 平衡指数与 YG、

表5 西番莲主要矿质营养元素临界值诊断标准与BDRIS诊断参数  
Table 5 The critical value diagnostic criteria and BDRIS diagnostic parameters of the main mineral nutrients in *Passiflora* leaves

元素 Elements	临界标准 Critical std				BDRIS 诊断参数 Diagnostic parameter (n=63)							
	缺乏 Lack	适宜 Suitable	过量 Over		平均 Mean	标准差 S	指标 Index	N	P	K	Ca	Mg
w(N)/%	2.85	3.32	5.12	5.59	4.220 0	0.700 0	N	1.000 0				
w(P)/%	0.17	0.20	0.31	0.34	0.254 0	0.043 3	P	0.525 8	1.000 0			
w(K)/%	1.66	2.13	3.88	4.34	3.002 4	0.684 0	K	0.707 9	0.605 5	1.000 0		
w(Ca)/%	1.50	1.90	3.41	3.81	2.655 3	0.588 2	Ca	-0.3576	-0.287 1	-0.415 8	1.000 0	
w(Mg)/%	0.15	0.20	0.40	0.45	0.300 0	0.077 5	Mg	0.134 6	0.061 4	-0.078 9	0.227 8	1.000 0
相对标准偏差 Relative std	-1.96	-1.28	1.28	1.96								

SFW 分别呈极显著正、负相关; YG 与 SFW 呈极显著负相关。归纳阐释:①BDRIS 矿质营养非平衡贡献主要源于富 K 与缺 Ca、缺 Mg, 专业解读为研究样本群体为缺 Ca、Mg 与富 K 营养症群, 根据相关系数诊断缺 Ca、缺 Mg 为主因, 而富 K 由元素拮抗作用导致, 这与本研究 2.4 主成分分析相符, 施肥改良重点为增施 Ca、Mg 肥, 尤其缺 Ca 可引起减产;②SFW 与 BDRIS 呈显著负相关, 表明矿质营养平衡有利于提高 SFW, 生产优质大果;③SFW 与 YG 呈极显著负相关, 不仅符合果树生产一般规律, 也佐证了本研究采集数据的可信度。

表6 BDRIS 及元素平衡指数与产量等级  
及果实品质的偏相关分析

Table 6 Partial correlation analysis of BDRIS and element balance index with yield grade and fruit quality

指标 Index	BDRIS	产量等级 YG	单果质量 SFW	可溶性固形物含量 TSS	可滴定酸含量 TA
N	-0.111	0.165	-0.001	0.075	-0.174
P	-0.061	0.063	-0.054	-0.111	-0.130
K	0.197	0.100	0.018	0.100	0.140
Ca	-0.231	0.378	-0.056	-0.076	0.116
Mg	-0.236	0.099	-0.026	0.002	-0.058
产量等级 YG	0.072	1			
单果质量 SFW	-0.177	-0.269	1		
可溶性固形物含量 TSS	-0.055	-0.029	-0.049	1	
可滴定酸含量 TA	0.157	0.054	-0.157	0.024	1

注:  $r_{0.01}=0.231$ ;  $r_{0.05}=0.176$ ,  $n=125$ , 偏因子=品种。

Note:  $r_{0.01}=0.231$ ;  $r_{0.05}=0.176$ ,  $n=125$ , Partial=Variety.

## 2.6 Mg、Zn 缺素症与矫治

据本文调查田间叶片缺 Mg ( $<0.20\%$ ) 的样例约占 32%, 属普遍现象。缺 Mg 叶片症状多表现在主蔓老叶上, 症状与一般常绿阔叶植物相同, 呈倒 V 形黄化。经测试叶片含 Mg  $<0.2\%$  开始显现症状,

当 Mg  $<0.10\%$  表现典型症状, 与缺 Mg 诊断标准吻合。采用  $10\% \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  叶面喷施 1 次矫治 8 例, 叶色在 10 d 后基本复绿, 60 d 后测试含 Mg 由  $0.055\% \sim 0.197\%$  显著提升至  $0.215\% \sim 0.275\%$  ( $p=0.000 4$ ) 适宜水平, 矫治后叶片镁增量  $\Delta \text{Mg}$  与初始值  $\text{Mg}_0$  的回归模拟:  $\Delta \text{Mg}=0.227 \sim 0.808 \text{Mg}_0$ ,  $p=0.001 0$ , 即矫治效果与 Mg 饥饿程度呈正比。在夏季采用饱和硫酸镁 (浓度  $>40\%$ ) 喷施西番莲叶片, 目视未见肥害症状, 表明在西番莲生产上应用硫酸镁叶面矫治缺 Mg 是安全的。

田间叶片缺 Zn ( $<24 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的样例约占 25%, 亦为普遍现象。缺 Zn 症状表现部位与缺 Mg 相反, 主要表现在枝蔓顶部, 符合 Mg、Zn 元素在植物体内再利用能力相反的一般规律。缺 Zn 症叶片较正常叶显著偏小、叶肉呈黄绿色, 其中黄果品种的叶脉呈深褐色明显网状, 叶片含 Zn  $<22 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。据观察, 田间缺 Zn 现象不及缺 Mg 普遍。采用 70% 代森联 WG (含 Zn 14.5%) 杀菌剂 500 倍液喷施叶面矫治 4 例, 60 d 后, 叶片平均含 Zn 由  $21.2 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  显著提升至  $42.6 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $p=0.014 8$ ), Zn 含量达适宜水平, 叶色复绿。

## 3 讨论

一般木本果树叶片矿质营养元素制标样本采集需重复 2 a (年) 以上, 避免大小年与年际气候差异对植株叶片矿质营养的影响, 而一年生栽培西番莲显然无法满足其基本要求。为解决该制标难点, 在研究中根据西番莲在盛夏高温季具有空果期特性, 设计在夏果与秋果的绿果期分两季采集叶样, 并再于夏果与秋果成熟季跟踪采集果样, 由此以 2 季重复采样替代 2 a 重复采样基本要求; 同时采取大范围跨地域采样, 制标果园样本群跨纬度  $3.335^\circ$ 、海拔 710 m,

及其63个分属不同栽培管理的代表性高产果园,借以生态地域与栽培管理差异,弥补年际间气候差异效应的重复要求。相较澳洲Menzel等<sup>[2]</sup>的制标采样仅局限于昆士兰州Nambour地区4个果园,本研究采集样品的生态与栽培差异更为广泛丰富。本文生长季叶片矿质元素适宜范围除P元素外,均相较澳洲西番莲非生长季标准<sup>[2]</sup>更宽泛,或许与制标样本群体代表生态地域更宽泛有关。

西番莲遗传特性基本无童期,因而一年生西番莲栽培与多年生西番莲栽培就童期意义上无实质区别。根据“遗传类型一致的、正常生长结实的果树,叶片内的矿质营养成分,具有生理上的相对稳定性”<sup>[17]</sup>、“果树在不同生长地域或不同环境条件下,其叶片矿质营养标准值表现一致”<sup>[18]</sup>的论述,本文研究的西番莲叶片矿质营养生长季适宜标准,不仅适用于中亚热带一年生栽培,同样亦可供南亚热带、热带的多年生西番莲的生长季的叶片矿质营养诊断借鉴,因此标准适用地域范围更广。再则,中国南亚热带地区西番莲多年生经济栽培受病毒、茎基腐病(*Nectria haematococca*)、疫病(*Phytophthora nicotianae* var. *parasitica*)危害,一般2~3 a即需复垦再植<sup>[1]</sup>,因而研究制定一年生栽培叶片矿质元素诊断标准相较多年生非生长季诊断标准,更适用于中国西番莲生产的实际。

关于西番莲品系分类理由:黄果品种基本属黄果*P. edulis* f. *flavicapa*的无性系,为此将其归属黄果品系;而紫果杂交种因其与母本紫果*P. edulis*的果实品质与除抗性以外的栽培性状均相近,而归属紫果品系。

西番莲枝蔓顶端下延第10叶位叶营养含量最稳定,被推荐作为生长季待采叶位<sup>[4]</sup>。然而,因西番莲枝蔓属无限生长型,在叶样采集实操过程中因当季气温与降水差异,使得枝蔓顶端生长势不同,常难以断定第1叶位。对此,作者认为叶位起点应当指叶片已基本发育完备即枝蔓开始木质化的节位,因而更正定义:“叶位自顶端木质化节位起向基部次第增加”。

由本研究分析的高果形指数的大果倾向低糖,其不仅可引导消费选择扁形果风味更浓,还可作为选育种目标之一。数据显示,紫果果形指数(FSI=1.10)极显著( $p < 0.0001$ )高于黄果(FSI=1.01),且紫果可溶性固形物含量(TSS=17.0%)极显著( $p < 0.0001$ )低于黄果(TSS=18.2%)。

在表1果实品质分析显示Q2、Q3主成分中单果质量SFW、果形指数FSI存在贡献互反矛盾,此类逆例在多元统计分析较为常见。对此,首先应据主成分贡献优先序对Q2做主导专业解读,即SFW与FSI相关成分以正相关 $r > 0$ 主导,而Q3负相关贡献 $r < 0$ 成分居次。本文中SFW、FSI存在贡献互反矛盾,这是SFW与FSI间存在非线性关系导致的,其中Q3的逆向表达实质上是Q2的非线性成分的补偿,表明果实品质变化复杂。

鉴于本研究分析样例存在B、S过量症,有待后续设计过量症试验,以核验过量症指标与受害症状。

有关BDRIS便捷应用可参照文献[6]SAS语言的应用诊断程序。本研究样本量虽然有限( $n=126$ ),但文献[7]附录“BDRIS诊断参数优化拓展公式”,对BDRIS诊断参数的可持续优化提供了算法支持。

## 4 结 论

推荐夏季绿果期为一年生栽培西番莲叶片矿质营养元素诊断的适宜采样期;叶片的矿质元素临界值诊断标准(<缺乏;适宜下限~适宜上限;>过量)为N(黄果:3.90%~5.40%;紫果:3.35%~4.90%)、P(0.19%~0.31%)、K(黄果:2.10%~4.25%;紫果:2.10%~3.50%)、Ca(<1.50%;1.90%~3.41%;>3.81%)、Mg(<0.15%;0.20%~0.40%;>0.45%)、Cu(3.0~20.0 mg·kg<sup>-1</sup>)、Zn(24~80 mg·kg<sup>-1</sup>)、Fe(<70 mg·kg<sup>-1</sup>;90~160 mg·kg<sup>-1</sup>;>240 mg·kg<sup>-1</sup>)、Mn(<40 mg·kg<sup>-1</sup>;80~550 mg·kg<sup>-1</sup>)、B(<16 mg·kg<sup>-1</sup>;25~70 mg·kg<sup>-1</sup>;>85 mg·kg<sup>-1</sup>)、Mo(0.15~1.5 mg·kg<sup>-1</sup>)、Cl(<2.0%)、S(0.32%~0.48%;>0.52%);本标准可供多年生栽培西番莲生长季叶片矿质元素营养诊断借鉴。

## 参考文献 References:

- [1] 农业部发展南亚热带作物办公室. 中国热带南亚热带果树[M]. 北京:中国农业出版社,1998:164-170.  
The Department of the South Subtropical Crops Office, Ministry of Agriculture. Tropical and subtropical fruit trees in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 164-170.
- [2] MENZEL C M, HAYDON G F, DOOGAN V J, SIMPSON D R. New standard leaf nutrient concentrations for passionfruit based on seasonal phenology and leaf composition[J]. Journal of Horticultural Science, 1993, 68(2): 215-229.
- [3] 田青兰, 吴艳艳, 黄伟华, 刘洁云, 韦绍龙, 牟海飞, 韦弟, 黄永才, 熊晓兰, 张英俊. ‘台农1号’西番莲的成花坐果特性及与气象因子的关系[J]. 果树学报, 2020, 37(9): 1358-1370.



- TIAN Qinglan, WU Yanyan, HUANG Weihua, LIU Jieyun, WEI Shaolong, MOU Haifei, WEI Di, HUANG Yongcai, XIONG Xiaolan, ZHANG Yingjun. Flower formation and fruit setting in 'Tainong No. 1' passion fruit and its relationship with meteorological factors[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(9): 1358-1370.
- [4] 冯奇瑞,姚青,陈乃荣,倪耀源. 影响西番莲叶片养分含量相关因子的研究[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 5-7.
- FENG Qirui, YAO Qing, CHEN Nairong, NI Yaoyuan. The factors affecting the mineral nutrient contents in leaves of passion fruits[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(3): 5-7.
- [5] 詹兴堆. 西番莲果实品质研究与鲜果标准修订建议[J]. 中国南方果树, 2020, 49(3): 67-71.
- ZHAN Xingdui. Study on fruit quality of passion fruit and suggestions on revision of fresh fruit standard[J]. South China Fruits, 2020, 49(3): 67-71.
- [6] 李健,李美桂. DRIS 理论缺陷与方法重建[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1000-1007.
- LI Jian, LI Meigui. The theoretical defects in DRIS and the reconstruction of a new approach[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1000-1007.
- [7] 王贤达,范国成,李健. 4种含锌杀菌剂对柑橘缺锌的矫治效果[J]. 中国南方果树, 2021, 50(2): 15-18.
- WANG Xianda, FAN Guocheng, LI Jian. Effect of 4 zinc-containing fungicides on treatment of zinc deficiency in *Citrus*[J]. South China Fruits, 2021, 50(2): 15-18.
- [8] 束怀瑞. 果树栽培生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 181.
- SHU Huairui. Fruit tree cultivation physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993: 181.
- [9] 谢志南,庄伊美,王仁玠,许文宝. 福建亚热带果园土壤 pH 值与有效态养分含量的相关性[J]. 园艺学报, 1997, 24(3): 209-214.
- XIE Zhinan, ZHUANG Yimei, WANG Renji, XU Wenbao. Correlation between soil pH and the contents of available nutrients in selected soils from three kinds of orchards at subtropical zone in Fujian[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1997, 24(3): 209-214.
- [10] 谢文龙,李健,施清,李美桂,谢钟琛. 纽荷尔脐橙叶片矿质元素含量适宜值的研究[J]. 园艺学报, 2014, 41(6): 1069-1079.
- XIE Wenlong, LI Jian, SHI Qing, LI Meigui, XIE Zhongchen. Studies on the optimum parameters for mineral nutrition in Niewhall navel orange leaves[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(6): 1069-1079.
- [11] 王贤达,范国成,李健. 度尾文旦柚叶片矿质元素含量的适宜值[J]. 中国农业科学, 2020, 53(17): 3576-3586.
- WANG Xianda, FAN Guocheng, LI Jian. Optimum content of mineral elements in the leaves of Duweiwendan pomelo [*Citrus grandis* (L.) Osbeck. cv. Duweiwendan][J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(17): 3576-3586.
- [12] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 225-226.
- LU Rukun. Principles of soil-plant nutrition and fertilization[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998: 225-226.
- [13] 鹿世瑾. 福建气候[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 45-46.
- LU Shijin. The climate of Fujian province[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 45-46.
- [14] 张道勇,王鹤平. 中国实用肥料学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997: 320.
- ZHANG Daoyong, WANG Heping. Practical fertilizer science in China[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1997: 320.
- [15] 毛知耘,周则芳,石孝均,刘洪斌. 植物氯素营养与含氯化肥科学施用[J]. 中国工程科学, 2000, 2(6): 64-66.
- MAO Zhiyun, ZHOU Zefang, SHI Xiaojun, LIU Hongbin. Chlorine nutrition of plant and application of chlorine-containing fertilizers[J]. Engineering Science, 2000, 2(6): 64-66.
- [16] 福建省土壤普查办公室. 福建土壤[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1991: 242-244.
- Fujian Provincial Soil Survey Office. Fujian soil[M]. Fuzhou: Fujian Science & Technology Publishing House, 1991: 242-244.
- [17] 李港丽,苏润宇,沈隽,吴金媛. 建立果树标准叶样的研究[J]. 园艺学报, 1985, 12(4): 217-222.
- LI Gangli, SU Runyu, SHEN Tsuin, WU Jinsui. Studies on the preparation of standard reference material of orchard leaves[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1985, 12(4): 217-222.
- [18] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 420.
- Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. China fertilizer[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1994: 420.