

油橄榄叶片营养诊断研究

姜成英,赵梦炯,吴文俊,陈炜青,戚建莉

(甘肃省林业科学研究院·国家林业局油橄榄工程技术研究中心,兰州 730020)

摘要:【目的】针对目前国内油橄榄产区施肥带有盲目性、树体营养容易失衡问题,研究建立叶片营养诊断标准,旨在为油橄榄营养诊断和平衡施肥提供参考依据。【方法】以白龙江干热河谷区66个盛果期(15~18 a)代表性油橄榄园为研究对象,应用诊断施肥综合法(DRIS),建立油橄榄叶片诊断标准,并应用其对供试果园营养进行诊断。【结果】油橄榄叶片最适宜值:N为1.6%~1.9%,P为0.10%~0.14%,K为0.6%~0.8%,Ca为1.1%~1.22%,Mg为0.08%~0.10%。高产组和低产组P/N、K/N、Ca/N、Mg/N、Ca/p、k/Ca、Mg/k和Mg/Ca差异显著,确定为油橄榄叶片指数计算的DRIS参数。营养平衡指数(NBI)低产组大于高产组。【结论】两组橄榄园都存在养分过量和不足并存现象,高产组油橄榄园树体的养分状况比低产组果园平衡,营养失衡是低产的主要因素。高产组大多数果园需补充P和Mg,而低产组则需补充N肥。

关键词:油橄榄;DRIS;叶片营养诊断

中图分类号:S565.7

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2022)02-0232-11

A study on leaf nutritional diagnosis of olive

JIANG Chengying, ZHAO Mengjiong, WU Wenjun, CHEN Weiqing, QI Jianli

(Gansu Academy of Forestry/Olive Engineering Technology Research Center of State Forestry Administration, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract:【Objective】In view of the fact that fertilization in domestic olive production areas is in a casual way and that tree nutrition is prone to nutrient imbalance, it is necessary to establish leaf nutrition diagnosis standards so as to provide reference for balanced fertilization of olive.【Methods】A total of 66 representative olive orchards in fruiting period (15-18 a) in Longnan Wudu District, China's main olive production area, were selected as the sampling sites for the experiment. Mid and upper mature leaves of the current season branches of Leccino were collected from November to December. Optimum ratio range of diagnostic parameters of various nutrient elements in olive leaves was obtained by determining the contents of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), copper (Cu), zinc (Zn) and iron (Fe) in leaves of mature shoots. With the DRIS method, the samples were divided into the high-yield group and the low-yield group according to yield. Comprehensive method of diagnostic fertilization (DRIS) was used to establish the nutrient diagnostic criteria for olive leaf, which was then used to diagnose the nutrition of the tested orchards and provide fertilization recommendations.【Results】The contents of nutrient elements in olive leaves with different yield levels were different. The mean leaf contents in the high-yield group were $(17.23 \pm 1.756) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for N, $(1.20 \pm 0.214) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for P, $(6.93 \pm 0.92) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for K, $(11.49 \pm 0.673) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Ca, $(0.91 \pm 0.084) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Ca, $(0.0106 \pm 0.002) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Zn, $(0.121 \pm 0.055) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Fe, $(0.0300 \pm 0.0075) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Mn, $(0.0206 \pm 0.0069) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for B and $(0.0058 \pm 0.0053) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Cu. The coefficient of variation ranged from 5.86% to 91.34%. The mean leaf contents in the low-yield group were $(13.30 \pm 2.239) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for N, $(1.14 \pm 0.235) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for P, $(6.29 \pm 0.82) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for K, $(10.64 \pm 1.289) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Ca, $(0.94 \pm 0.098) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Mg, $(0.0104 \pm 0.006) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Zn, $(0.123 \pm 0.065) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Fe, $(0.033 \pm 0.0098) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for Mn, $(0.0209 \pm 0.0061) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for

收稿日期:2021-06-07

接受日期:2021-11-01

基金项目:甘肃省科技重大专项计划(18ZD2NA006-6、143NKD025)

作者简介:姜成英,女,研究员,从事经济林研究。Tel:13893260293,E-mail:jcytxb@126.com

B and $(0.004\ 0\pm 0.002\ 8)\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ for Cu. The coefficient of variation ranged from 10.38% to 73.58%. Except for Fe, the difference in nutrients between the two groups was significant. The coefficient of variation of each element was different in different groups. The coefficient of variation of N, P, K, Ca and Mg was between 12.06%–20.59%; that of Mn and B was 30%; and that of Zn, Fe and Cu was higher than 50%. N, P, K, Ca, and Mg were selected as the main elements for olive leaf nutrition diagnosis. *F* test was used to determine the difference between the two groups in ratios among 5 nutrient elements and 30 nutrient indicators. The results found that P/N, K/N, Ca/N, Mg/N, Ca/P, K/Ca, Mg/K and Mg/Ca, were significantly different, and they were determined as the DRIS parameter calculated for the olive leaf index, and the DRIS index of each element was calculated as follows: N index= $1/4[-f(P/N)-f(K/N)-f(Ca/N)-f(Mg/N)]$, P index= $1/2[f(P/N)-f(Ca/P)]$, K index= $1/3[f(K/N)+f(K/Ca)-f(Mg/K)]$, Ca index= $1/4[f(Ca/N)+f(Ca/P)-f(K/Ca)-f(Mg/Ca)]$ and Mg index= $1/3[f(Mg/N)+f(Mg/K)+f(Mg/Ca)]$. The DRIS index was used to judge the profit and loss of nutrients and order in which olives need fertilizer in the 66 orchards tested. Both groups of olive orchards had coexistence of excessive and insufficient nutrients. The nutritional balance index (NBI) of the low-yield group was larger than that of the high-yield group; the high-yield group needed be supplemented with Mn, while the low-yield group with N.【Conclusion】The results showed that the optimum concentrations of nutrients in leaves of olive trees were 1.6%–1.9% for N, 0.10%–0.14% for P, 0.6%–0.8% for K, 1.1%–1.22% for Ca, and 0.08%–0.10% for Mg. Both groups of olive orchards had cases of excessive and insufficient nutrients. Nutrient imbalance was the main factor for low yield. P and Mg were needed for most of the orchards in the high-yield group, while N fertilizer was needed for the low-yield group. DRIS method only provides the relative balance of elements, but does not reflect the specific index of the demand for an element, so it should be combined with other methods for evaluation of nutrients and for guidance of fertilization.

Key words: Olive; DRIS; Leaf nutrition diagnosis

油橄榄(*Olea europaea* L.)又名齐墩果,属木樨科(Oleaceae)木樨榄属(*Olea*),常绿乔木,是世界著名的优质木本油料兼果用树种,也是人类最早认识、驯化、种植的油料作物之一^[1],是地中海半干旱地区的主要经济树种之一。我国引种始于1964年,经过50多年发展,据不完全统计,全国栽培面积已达到10万hm²,已成为中西部亚热带干热区特色产业,在促进山区区域经济发展、促进农民脱贫致富方面发挥着越来越重要的作用。但当前油橄榄生产仍普遍存在低产、不稳产甚至持续数年低产的问题,其原因除品种因素外,树体营养失调亦是油橄榄低产的重要原因之一。营养是果树生长发育、产量和品质提高的基础,矿质营养元素是构成果实的重要成分,也是影响果实产量和质量的重要因素之一^[2]。叶片营养分析与诊断是植物营养状况评价的重要手段之一。

诊断施肥综合法(Diagnosis and Recommendation Integrated System,简称DRIS,下同)是基于叶片矿质营养分析的诊断方法,可对多种营养元素的需

肥顺序进行判定,并且判定结果不受植株树龄、生育期、品种和采样部位的影响,因此在果树上得到广泛应用^[3-4],目前国内已在柑橘^[5-6]、杧果^[7-8]、香蕉^[9]、油茶^[10]、苹果^[11]、梨^[12]、猕猴桃^[13]、板栗^[14]、枣^[15]、核桃^[16]、银杏^[17]和柚^[18]等树种上建立了DRIS标准。但对于油橄榄,目前国内尚没有叶片营养诊断标准。笔者在本研究中在2015—2019年油橄榄树体养分状况、产量调查数据资料的基础上,通过大样本采样分析,采用诊断施肥综合法(DRIS)对油橄榄叶片营养诊断标准进行研究,以期为油橄榄养分诊断,矫正缺素和平衡施肥提供新的参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验区为甘肃油橄榄主产区陇南市武都区白龙江河谷。年平均气温14.9℃,年均相对湿度为61%,最冷月(1月)平均气温4.1℃,平均年降水量483 mm,降水量主要集中在夏季6—8月(降水占全年的51%左右),年降水日数平均为105 d,年蒸发量

1900 mm, 年日照时数 1923 h, 约占可照时数的 25%, 无霜期在 280 d 以上。土壤属侵蚀性褐土类, 成土母质多为页岩、千枚岩、石灰岩、石砾岩的分化物。

1.2 样品采集

在武都区沿白龙江油橄榄适生带从东到西, 选择种植面积大的、有代表性的汉王、两水、石门、城郊、城关、桔柑、三河、角弓和外纳等 9 个乡镇作为调查点, 根据前期走访调查和产量预估, 确定了当地常规管理条件下的 66 个橄榄园作为取样单位, 并根据油橄榄树势、施肥水平和常年产量, 将其划分为高产园和低产园两个组。

各个取样单位随机选择 10 株树, 品种为莱星 (Leccino), 于 11—12 月^[19]在每株树的东、南、西、北方向采集叶片, 采集当年生枝条中上部成熟叶片^[20]。每个样本采集 200~300 枚叶片, 叶片样本经洗涤、烘干、制样待用。

按目前甘肃陇南油橄榄栽培的产量水平, 以鲜果产量>7500 kg·hm⁻² 为高产园, 以鲜果产量<7500 kg·hm⁻² 为低产园的标准。

1.3 测试分析方法

叶片粉碎后, 用元素分析仪进行 N 元素分析检测; 另取叶片粉碎样用王水溶液(浓盐酸:浓硝酸=1:3)冷消解 24 h 后。将冷消解后的样品溶液电热板加热消解, 消解过程为: 150 ℃ 加热 1 h, 之后升温至 220 ℃ 加热 3 h, 待样品完全被消解后, 用 ICP-OES 进行 P、K、Ca、Mg、Fe、B、Cu、Zn、Mn 等元素的含量测定。

元素分析仪: 德国 Elementar Vario II; ICP-OES: PerkinElmer Optima 2100DV。

数据处理: 采用 Excel 2007 和 SPSS17.0 进行。

1.4 DRIS 参数筛选

Beaufils^[21]认为: 一种元素与其他各种元素间的比值存在一最适值, 最适值来自高产群体叶分析元素。

根据 DRIS 参数筛选的方法, 分别计算高产园和低产园养分比和养分积(如 N/P, P/N 等和养分积 N·P, N·K 等)的平均值、标准差和变异系数, 采用 F 检验比较两组方差的差异显著性, 选择两元素含量比或含量积 F 值较高的参数(每对形式如 N/P 和 P/N, 只选择差异最显著的一个作为重要参数), 并以高产园该参数的平均值、标准差和变异系数作 DRIS 参

数。

1.5 养分指数计算方法

某一养分元素的平衡状况是个具体的数值, 即 DRIS 指数。它是用该养分元素与其他养分元素比值的偏函数的平均值表示。

1.5.1 偏函数计算方法 DRIS 以待诊样本养分比值偏离参数平均值的程度函数表示养分间的平衡状况。

若用 A/B 表示待测样本 A、B 两元素的含量比, a/b 表示 A、B 两元素最适含量比(即 DRIS 参数平均值), 则 A/B 偏离 a/b 的程度函数 f(A/B) 按下式计算:

若 $A/B > a/b$, 则 $f(A/B) = \left(\frac{A/B}{a/b} - 1\right) \times \frac{1000}{cv}$, 若 $A/B < a/b$, 则 $f(A/B) = \left(1 - \frac{a/b}{A/B}\right) \times \frac{1000}{cv}$, 若 $A/B = a/b$, 则 $f(A/B) = 0$ 。式中: cv 为 DRIS 标准 A/B 参项的变异系数。

1.5.2 养分指数计算方法 在 DRIS 诊断参数确定的基础上, 按照下式可计算元素的养分指数为:

$$\text{A 元素指数} = [f(A/B) + f(A/C) + \dots + f(A/N)]/n$$

其中: n 是研究中 A 元素物质出现的比例次数。当 A 元素在分母中时, 使用负号; 当营养素在分子中时, 使用正号。

1.5.3 营养平衡指数的计算 所有元素 DRIS 指数的绝对值之和称为营养平衡指数(NBI), 可全面反映树体的营养状况, NBI 值越大, 表明树体内矿质营养越不平衡, NBI 值越小则越接近平衡。

2 结果与分析

2.1 叶片主要养分含量比较

根据当年鲜果产量, 供试的 66 个橄榄园分为两组, 其中高产树组的样本数为 30 个, 平均产量为 7755 kg·hm⁻²; 低产树组的样本数为 36 个, 平均产量为 4459 kg·hm⁻², 两组产量经 t 测验差异达极显著水平。

从表 1 可以看出不同产量水平的油橄榄叶片营养元素含量存在差异, 高产园叶片 N、P、K、Ca、Mg、Zn、Fe、Mn、B 和 Cu 的平均含量分别为 $(17.23 \pm 1.756) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(1.20 \pm 0.214) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(6.93 \pm 0.92) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(11.49 \pm 0.673) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(0.91 \pm 0.084) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(0.0106 \pm 0.002) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(0.121 \pm 0.055) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(0.030 \pm 0.0075) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(0.0206 \pm 0.0069) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(0.0058 \pm 0.0053) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数范围 5.86%~91.34%。低产园叶

表1 油橄榄高产树与低产树的叶片主要养分含量

Table 1 Main nutrient contents in leaves of high-yield and low-yield olive trees

营养元素 Nutrient element	高产园(n=30) High-yield orchard (n=30)/%			低产园(n=36) Low-yield orchard (n=36)/%			<i>t</i> 值 <i>t</i> value
	平均值 Average value/(g·kg ⁻¹)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均值 Average value/(g·kg ⁻¹)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	
N	17.23	1.756	10.2	13.30	2.239	16.83	-3.71**
P	1.20	0.214	17.85	1.14	0.235	20.59	-4.45**
K	6.93	0.92	13.17	6.29	0.82	13.02	-3.44**
Ca	11.49	0.673	5.86	10.64	1.289	12.06	-2.72*
Mg	0.91	0.084	9.24	0.94	0.098	10.38	14.04**
Zn	0.010 6	0.002	20.96	0.010 4	0.006	58.45	-30.89**
Fe	0.121	0.055	45.08	0.123	0.065	53.29	1.94
Mn	0.030	0.007 5	24.96	0.033	0.009 8	29.63	158.63**
B	0.020 6	0.006 9	33.31	0.020 9	0.006 1	29.10	33.63**
Cu	0.005 8	0.005 3	91.34	0.004 0	0.002 8	71.58	-373.20**

注:(*n*=66, *t*_{0.05}=1.996, *t*_{0.01}=2.297)。*表示差异显著,**表示差异极显著。下同。

Note: (*n*=66, *t*_{0.05}=1.996, *t*_{0.01}=2.297). * Indicates that the difference is significant at *p* < 0.05, ** indicates that the difference is extremely significant at *p* < 0.01. The same below.

片叶片N、P、K、Ca、Mg、Zn、Fe、Mn、B和Cu的平均含量分别为(13.30±2.239) g·kg⁻¹、(1.14±0.235) g·kg⁻¹、(6.29±0.82) g·kg⁻¹、(10.64±1.289) g·kg⁻¹、(0.94±0.098) g·kg⁻¹、(0.010 4±0.006) g·kg⁻¹、(0.123±0.065) g·kg⁻¹、(0.033±0.009 8) g·kg⁻¹、(0.020 9±0.006 1) g·kg⁻¹和(0.004 0±0.002 8) g·kg⁻¹, 变异系数范围为10.38%~73.58%。主要营养元素中除了Mg外, 其余N、P、K和Ca的含量均是高产园显著高于低产园, 微量元素Zn、Cu高产园的显著高于低产园的, Fe、Mn和B高产园低于低产园。

*T*检验结果表明:两组间Fe元素差异不显著, Ca含量差异达显著水平, 其余元素含量组间差异均达极显著水平, 说明高产园和低产园营养水平上存在显著差异。

作物必需元素可达10多种, 每种元素与另外十几种元素均有各自的平衡问题, 但是, DRIS并不强调把所有元素都拿来考察^[22]。从表1看出, 两组大、中量元素变异系数相对小, 而微量元素Zn、Fe、Mn、B和Cu, 变异系数较大, Cu元素高达到91.34%以上, 说明不论是高产园还是低产园, 在生产中因使用大中量元素肥使得园地肥力相对趋于同质, 而微量元素有可能是造成营养失衡的重要原因。通过变异系数可以看出, 大、中量元素在两组内的养分值分布相对集中, 比较均衡, 且两组间存在显著性差异, 因此研究中根据产量划分的高、低产量组数据作为DRIS参数筛选的标准是可靠的。根据表1分析结

果并结合生产实际, 选择N、P、K、Ca和Mg元素为油橄榄叶片诊断元素。

2.2 DRIS参数的筛选

分别计算高产园和低产园养分比和养分积的平均值、标准差和变异系数, 采用*F*检验差异显著性。5个元素组成的30个参数项中, 有12个达到显著性差异(表2)。

根据66个样本统计结果(表2)和DRIS参数筛选方法, 选择*F*检验差异性显著的参数项为参数项, 因此本试验确定P/N、K/N、Ca/N、Mg/N、Ca/P、K/Ca、Mg/K和Mg/Ca为参数项(两个相同元素相比或乘积, 取*F*值大者), 以高产园养分养分比的平均值、标准差和变异系数作为DRIS参数(表3)。

2.3 养分指数计算公式确定

根据油橄榄叶片N、P、K、Ca、Mg的DRIS参数(表3), 按照指数计算方法, 得出油橄榄叶片各元素养分指数公式如下:

$$\text{N指数} = 1/4[-f(P/N)-f(K/N)-f(Ca/N)-f(Mg/N)],$$

$$\text{P指数} = 1/2[f(P/N)-f(Ca/P)],$$

$$\text{K指数} = 1/3[f(K/N)+f(K/Ca)-f(Mg/K)],$$

$$\text{Ca指数} = 1/4[f(Ca/N)+f(Ca/P)-f(K/Ca)-f(Mg/Ca)],$$

$$\text{Mg指数} = 1/3[f(Mg/N)+f(Mg/K)+f(Mg/Ca)].$$

养分指数按四舍五入法取整数, 结果负值越大, 表示该元素在养分平衡体系中处于越缺乏的水平; 正值越大, 该元素越显得过剩; 养分指数为0, 表明

表 2 油橄榄叶片营养元素含量的不同表示形式

Table 2 Different representations of the relative contents of nutrient elements in olive leaves

参数 Parameter	高产园(n=30) High-yield orchard (n=30)			低产园(n=36) Low-yield orchard (n=36)			F 值 (SD^2_L/SD^2_H) F value (SD^2_L/SD^2_H)
	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	
N/P	14.76	2.58	18.38	11.97	2.58	21.54	0.90
P/N	0.07	0.02	18.43	0.09	0.02	22.87	2.41**
N/K	2.52	0.47	13.04	2.15	0.47	21.72	2.02*
K/N	0.40	0.12	12.38	0.49	0.12	24.38	5.70**
N/Ca	1.50	0.28	9.48	1.27	0.28	21.81	3.81**
Ca/N	0.67	0.26	8.44	0.84	0.26	31.07	21.00**
N/Mg	19.04	2.79	12.09	14.26	2.79	19.53	1.46
Mg/N	0.05	0.02	11.88	0.07	0.02	22.36	6.68**
P/K	0.18	0.04	19.72	0.18	0.04	20.80	1.22
K/P	5.92	1.19	19.26	5.69	1.19	20.97	1.10
P/Ca	0.10	0.03	19.77	0.11	0.03	26.77	2.01*
Ca/P	9.89	2.75	19.23	9.79	2.75	28.09	2.09*
P/Mg	1.34	0.30	22.80	1.23	0.30	23.99	0.94
Mg/P	0.79	0.25	24.58	0.87	0.25	28.32	1.60
K/Ca	0.60	0.11	13.17	0.60	0.11	19.03	2.06*
Ca/K	1.69	0.31	13.71	1.72	0.31	18.16	1.83
K/Mg	7.66	1.28	15.77	6.78	1.28	18.93	1.13
Mg/K	0.13	0.03	16.20	0.15	0.03	20.81	2.16*
Ca/Mg	12.69	1.88	9.15	11.44	1.88	16.47	2.63**
Mg/Ca	0.08	0.02	9.25	0.09	0.02	17.97	4.84**
N·P	20.74	4.68	21.99	15.43	4.68	30.35	1.05
N·K	120.05	18.88	20.80	83.84	18.88	22.52	0.57
N·CA	198.35	28.11	13.82	141.06	28.11	19.93	1.05
N·Mg	15.72	2.43	15.42	12.53	2.43	19.43	1.01
P·K	8.37	2.07	25.65	7.26	2.07	28.58	0.93
P·Ca	13.77	2.76	18.13	12.10	2.76	22.81	1.22
P·Mg	1.09	0.24	16.98	1.07	0.24	22.15	1.65
K·Ca	79.74	11.51	15.33	66.89	11.51	17.22	0.89
K·Mg	6.32	0.78	16.26	5.89	0.78	13.23	0.57
Ca·Mg	10.49	1.53	12.28	10.00	1.53	15.31	1.41

Note: $F_{0.05}=1.87$, $F_{0.01}=2.32$.

表 3 油橄榄叶片 DRIS 参数

Table 3 DRIS parameters of olive leaf

参数项 Parameter item	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
P/N	0.070	0.02	18.43
K/N	0.404	0.12	12.38
Ca/N	0.671	0.26	8.44
Mg/N	0.053	0.02	11.88
Ca/P	9.889	2.75	19.23
K/Ca	0.604	0.11	13.17
Mg/K	0.134	0.03	16.20
Mg/Ca	0.079	0.02	9.25

该元素处于平衡状态。根据养分指数计算结果可判别养分元素的缺乏顺序和养分过剩,从而判别养分障碍因素。

2.4 诊断应用

对采样的 66 个果园按上述养分指数方程分别计算各元素养分指数,按照养分指数的正负,对各园养分盈亏情况和施肥顺序进行判断,并计算平衡指数。从表 4、图 1 和表 5 可以看出,不论是高产园还是低产园,各油橄榄园不同元素指数正值和负值均出现,说明供试油橄榄园养分过剩与缺乏现象同时并存,这也从一方面说明,当地油橄榄种植户缺乏可

表4 高产组诊断结果

Table 4 Diagnosis results of high-yield group

样地编号 Plot number	N指数 N index	P指数 P index	K指数 K index	Ca指数 Ca index	Mg指数 Mg index	需肥顺序 Fertilizer order	平衡指数(NBI) Nutritional Balance Index
1	4	-6	-5	6	0	P>K>Mg>N>Ca	21
2	5	-18	-1	8	-2	P>Mg>K>N>Ca	34
3	12	3	0	2	-21	Mg>K>Ca>P>N	37
8	7	-8	-8	7	1	P=K>Mg>Ca=N	30
10	-1	-2	-8	11	3	K>P>N>Mg>Ca	25
11	-9	24	6	-13	4	Ca>N>Mg>K>P	54
12	-5	18	8	-6	-8	Mg>Ca>N>K>P	45
13	3	5	-2	-1	-3	Mg>K>Ca>N>P	14
14	-3	11	1	1	-5	Mg>N>K=Ca>P	22
18	-6	0	-5	5	10	N>K>P>Ca>Mg	26
20	-8	9	6	4	-7	N>Mg>Ca>K>P	33
21	-8	31	7	-17	0	Ca>N>Mg>K>P	63
23	-4	-9	6	3	-1	P>N>Mg>Ca>K	22
24	0	-6	3	-6	6	P=Ca>N>K>Mg	21
25	8	-6	-13	3	4	K>P>Ca>Mg>N	35
27	-4	-8	-5	3	14	P>K>N>Ca>Mg	33
28	6	-18	-11	7	11	P>K>N>Ca>Mg	52
30	-1	-19	-3	-2	19	P>K>Ca>N>Mg	45
33	1	-4	5	-2	-3	P>Mg>Ca>N>K	16
34	-5	0	3	6	-3	N>Mg>P>K>Ca	17
44	-6	10	9	-1	-8	Mg>N>Ca>K>P	35
46	14	23	-10	-9	-8	K>Ca>Mg>N>P	65
52	-3	8	11	-5	-9	Mg>Ca>N>P>K	38
53	-3	-15	2	1	9	P>N>Ca>K>Mg	31
54	-1	-4	8	-4	-4	P=Ca=Mg>N>K	20
56	1	22	-2	-12	2	Ca>K>N>Mg>P	40
57	7	9	-7	-2	-2	K>Ca=Mg>N>P	28
59	19	-8	-5	-8	-6	P=Ca>Mg>K>N	45
62	25	-5	1	-17	-14	Ca>Mg>P>K>N	62
63	4	12	6	-7	-12	Mg>Ca>N>K<P	41
平均 Average							35

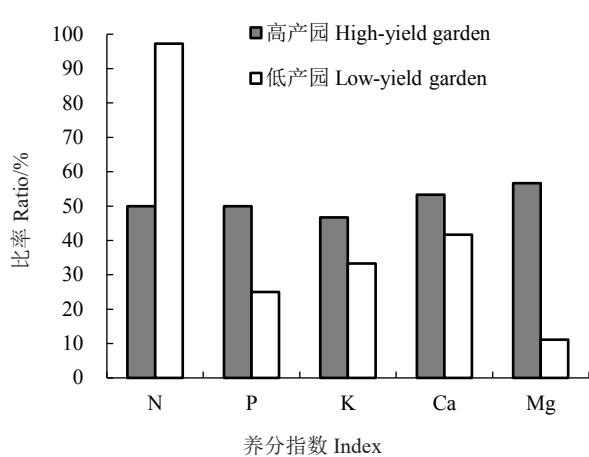


图1 不同产量水平果园叶片各元素DRIS诊断指数负值比率

Fig. 1 The proportion of negative values of DRIS diagnostic index of various elements in leaves from orchards of different yield levels

用的标准,依靠经验施肥,肥料投入差异较大,很不均衡。

高产园 Mg 指数的负值所占比率最大,出现比率为 63.33%,其次是 Ca 指数,出现比率为 53.33%,大量元素 N、P、K 指数的负值比例一样,出现比率为 50%,说明高产园多数油橄榄园缺乏 Mg 元素。在需肥顺序上,P 排在首位的果园最多,占全部果园的 33.3%,其次为 Mg 元素,占 26.7%,N 元素次数最少,仅为 10%。从各元素的指数的绝对值来看,在高产园,N、K 指数的绝对值相对小且均衡,说明高产园各果园 N、K 相对平衡,基本能满足果树对 N 的需求;P、Ca 和 Mg 元素绝对值相对较大且变异大,说明这 3 种元素过量和不足现象并存,是影响各园间产量差异的主要因素。

营养平衡指数(NBI),可全面反映树体的营养状

表 5 低产组诊断结果
Table 5 Diagnosis results of low-yield group

样地编号 Plot number	N指数 N index	P指数 P index	K指数 K index	Ca指数 Ca index	Mg指数 Mg index	需肥顺序 Fertilizer order	平衡指数 Nutritional balance index
4	-46	42	4	4	27	N>K=Ca>Mg>P	123
5	-7	11	-30	-9	44	K>Ca>N>P>Mg	101
6	-4	-7	-1	-5	17	P>Ca>N>K>Mg	34
7	-18	-12	0	6	26	N>P>K>Ca>Mg	62
9	-56	-6	8	25	41	N>P>K>Ca>Mg	136
15	-32	-13	9	19	18	N>P>K>Mg>Ca	92
16	3	43	-15	-55	51	Ca>K>N>P>Mg	167
17	-40	17	0	2	41	N>K>Ca>P>Mg	100
19	-16	22	8	0	-1	N>Mg>Ca>K>P	47
22	-9	23	3	-10	5	Ca>N>K>Mg>P	50
26	-16	6	4	2	11	N>Ca>K>P>Mg	38
29	-6	25	10	-16	-2	Ca>N>Mg>K>P	60
31	-6	-19	-13	7	31	P>K>N>Ca>Mg	76
32	-25	19	4	-13	33	N>Ca>K>P>Mg	93
35	-35	9	6	2	31	N>Ca>K>P>Mg	83
36	-28	37	23	-33	19	Ca>N>Mg>K>P	140
37	-15	31	-2	-32	40	Ca>N>K>P>Mg	121
38	-15	16	1	-14	25	N>Ca>K>P>Mg	71
39	-7	-1	-1	2	10	N>K=P>Ca>Mg	20
40	-48	-5	1	29	35	N>P>K>Ca>Mg	118
41	-34	16	12	0	21	N>Ca>K>P>Mg	83
42	-9	20	4	-4	0	N>Ca>Mg>K>P	36
43	-29	41	15	-18	12	N>Ca>Mg>K>P	114
45	-14	1	7	6	3	N>P>Mg>Ca>k	32
47	-11	15	-2	-6	15	N>Ca>K>P=Mg	49
48	-4	14	0	-9	7	Ca>N>K>Mg>P	34
49	-6	-3	-4	17	1	N>P>K>Mg>Ca	31
50	-13	16	-5	-5	21	N>K=Ca>P>Mg	62
51	-6	13	-2	1	4	N>K>Ca>Mg>P	25
55	-10	0	-11	18	12	K>N>P>Mg>Ca	51
58	-19	18	10	5	-3	N>Mg>Ca>K>P	55
60	-3	-3	-10	4	16	K>N=P>Ca>Mg	37
61	-11	13	1	-5	11	N>Ca>K>Mg>P	40
64	-10	0	12	0	-3	N>Mg>P=Ca>K	26
65	-99	25	28	51	25	N>P=Mg>K>Ca	227
66	-110	24	31	59	27	N>P>K>Mg>Ca	251
平均 Average							80

况,NBI值越大,表明树体内矿质营养越不平衡,NBI值越小则越接近平衡^[22]。高产园NBI值为14~65,平均为35,通过对NBI数值较大的进行分析,影响其值的主要是P和Mg的DRIS指数,说明造成高产园营养不平衡的主要原因是P和Mg元素。

低产园N指数的负值所占比例最大,出现比率为97.22%,其次是Ca指数,出现比率为47.22%,P、K指数出现比率在30%左右,最低的为Mg指数,出

现比率仅为11.11%,说明低产园绝大多数油橄榄园缺乏N元素。在需肥顺序上,N排在首位的果园最多,占全部果园的69.4%。从各元素的指数的绝对值来看,在低产园,各元素指数的绝对值都较大且变异大,各元素不足和过量并存,说明营养失衡是低产园产量差异的主要因素。

低产园NBI值为20~251,平均为80,通过对NBI数值较大的进行分析,影响其值的主要是N的

DRIS 指数,说明造成低产园营养不平衡的主要元素。

从营养平衡指数(NBI)来看,低产园橄榄园的NBI值(均值80)明显高于高产园(均值35),说明高产园油橄榄园树体的总体养分状况比低产园果园平衡。

2.5 油橄榄叶片营养适宜值

DRIS 法的理论依据是植物正常生长发育所需养分是均衡的,一种养分与其他养分的比值存在最适值,只有矿质元素含量的比例处于最佳平衡状态下,植物才能发挥出应有的产量潜力,因此生产中叶片矿质元素含量的比值与最适值越接近,植物的养分状况越接近平衡^[3]。但实际上不同植物叶片各矿质元素含量的理想值很难获取,通常可采用高产群体叶片中各矿质元素含量的平均值作为适宜值^[21-22],因此油橄榄叶片各元素适宜值:N为1.6%~1.9%,P为0.10%~0.14%,K为0.6%~0.8%,Ca为1.1%~1.22%,Mg为0.08%~0.10%。

从表6可以看出,本次研究适宜值与希腊、西班牙和美国标准大体一致,也从另一方面说明本次研究高产组的样本具有代表性,平均产量达到了国际平均水平。因此本次研究得出的标准可作为营养诊断的初步标准。

表6 不同生产国油橄榄叶片营养元素适宜值

Table 6 The optimum concentrations of nutrients in olive leaves based for different countries

营养元素 Nutrient element	适宜值范围 The range of optimum concentrations/%			
	本研究 This work	希腊 ^[23] Greece	西班牙 ^[24] Spain	美国 ^[25] America
N	1.6~1.9	1.8~2.0	1.6~1.8	1.5~2.0
P	0.10~0.14	0.12	0.08~0.11	0.10~0.30
K	0.6~0.8	0.8~1.1	0.7~0.9	>0.80
Ca	1.1~1.22	1.0~2.0	1.3~1.6	>0.10
Mg	0.08~0.10	0.15	0.11~0.15	>0.10
取样时期 Sampling time	休眠期 Dormancy period	休眠期 Dormancy period	休眠期 Dormancy period	7月 Jul.

3 讨 论

目前,植物的营养诊断有诸多的诊断技术方法,美国从20世纪30年代就开始用叶片分析来判断果树的营养状况^[26]。国外油橄榄主产国经过多年实践证明,花芽矿物分析不能代替叶片诊断来确定橄榄果园的营养状况^[27],叶片分析是明确橄榄树营养状况的最好方法。目前油橄榄的营养诊断主要以叶分

析为主^[28]。Troncoso 等^[24]利用 Kencorthy 养分指数法建立了西班牙油橄榄叶片营养诊断标准。Freeman 等^[25]根据叶片营养与产量关系建立了美国加州的油橄榄叶片营养诊断标准。Fernández-Escobar 等^[29]连续3 a 测定油橄榄大小年叶片养分浓度,建立了不同叶片矿质元素含量的季节变化曲线,可用于指导施肥。López-Granados 等^[30]采用 Cross-validation 和 kriged 法绘制叶片养分等值线图,用于估算各养分施用量。Pascual 等^[31]通过2种灌溉处理与4种施肥处理的交叉试验,确定了超集约栽培橄榄树的氮素营养诊断标准。本次研究采用DRIS 方法得出的适宜值与希腊、西班牙和美国标准大体一致,N、P、K 和 Ca 元素 4 项指标基本都在希腊、西班牙和美国诊断标准的适宜值区间内,而 Mg 元素指标明显低于其他国家标准,这与前面得出高产组 Mg 指数的负值所占比例最大、整体样本表现 Mg 元素不足有关。在而相对应与美国标准差异来说,本次研究、希腊和西班牙都是休眠期采样,而美国是7月采样。养分的诊断与取样部位和时间有关,Freeman 等^[25]研究表明用来分析的油橄榄叶片应当采集当年嫩枝上的叶片,并且是未结果的,并从嫩枝中端到基部这一区域采集。夏季的营养生长过程结束时为采取样品的最佳时间,Fernández-Escobar 等^[32]研究 N 素在橄榄嫩枝上的移动,确定当季嫩枝上的成熟叶片能代表该树的营养状况;Arrobas 等^[33]通过分析1月与7月份叶片中的B元素,证明营养诊断7月份为取样最佳时间。营养诊断取样时间,公认的为树叶中矿物质元素较为稳定的时间。传统的油橄榄生产国希腊、西班牙等国为地中海气候,夏季炎热干燥,油橄榄会出现生长休眠现象,而油橄榄在我国主要分布在甘肃、四川和云南亚热带干热河谷,夏季雨热同季,油橄榄生长最为旺盛。对我国陇南油橄榄叶片矿物元素周年测定表明^[19],在我国油橄榄年生育周期内,11—12月元素变化相对平稳的时期,是叶片营养分析的采样适宜期。以色列 Zipori 等^[34]研究认为,灌溉水平与油橄榄某些营养素的营养状况之间的密切联系如 P 和 K,而其他营养素则没有关联如 N。但目前我国油橄榄主产区白龙江干热河谷区等地受地形和经济条件所限,绝大多数果园处于雨养阶段,因此,本次研究基于现状调查并确定的适宜值对现有条件下果园生产具有指导意义。

本研究采用 DRIS 法对油橄榄进行了叶片营养

诊断,从对66个代表性橄榄园分析结果来看,不论是高产组还是低产组,各油橄榄园不同元素指数正值和负值均出现,说明供试油橄榄园养分过剩与缺乏现象同时并存,尤其是低产园各元素指数的绝对值都较大且变异大。同时,从营养平衡指数(NBI)来看,低产组橄榄园的NBI值(均值80)明显高于高产园(均值35),说明高产组油橄榄园树体的养分状况比低产组果园平衡,说明营养失衡是低产的重要因素。另外各园数据差异大这也从一方面说明,当地油橄榄种植以农户分散经营为主,缺乏可用的标准,依靠经验施肥,肥料投入差异较大,这也是产量差异的主要原因。

从66个代表性橄榄园的养分需求顺序来看,高产园以P为首的占比较高,这主要与当地80%以上橄榄园有效磷处于亏缺状态有关,而当地土壤pH值(平均8.57)较高^[35],P肥施入后也容易被固定,肥效差,因此,在补充磷肥前要改良调节土壤酸碱度,而增施增施适量P肥,也有利降低油橄榄根际土壤pH值,提高根系活力^[36]。Mg元素整体不高,与我国引种地土壤整体缺失^[37]有关,供试的66个橄榄园中,水溶性Mg平均含量(ρ)仅为 $4.94 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,土壤中Mg元素判断为严重缺乏^[36],再加上生产中注重N、P、K肥的施用,对于中、微量肥的补充整体不足。Mg作为叶绿体的中心元素,参与了光能的捕获和电子的传递,在植物光合作用及叶绿体结构中起到不可或缺的作用,长期施肥(N-P-K)导致土壤中镁的竞争性耗竭,这些都降低了植物根对镁的可利用度^[38-39],在生产上要重视镁肥的补充。同时,P和Mg之间存在正向互作效应,因为Mg是激酶的激活剂并激活大多数涉及磷酸盐转移的反应^[40],因此增施P的也会增加Mg含量。低产园养分需求顺序以N为首的占比较高,约占70%,这与近一半低产园土壤中碱解氮处于亏缺状态有关,也与长期失管有关。同时,从总体看,低产园叶片的Mg元素含量虽然也不高,但从养分指数来看是正值,表明养分过剩,这主要是DRIS方法考虑的是营养元素之间的平衡性,只能说明在其他元素含量较低的情况下,Mg元素含量是过量的,若补充其他元素,就会打破现有的平衡关系建立新的施肥顺序。

在用DRIS法指导施肥时,应该根据实际情况来判断,如3号样园,诊断结果表明该园Mg元素是最限养分,而在该园中K指数为零,则表明K元素相对

于N、P或Ca较不丰富,是该诊断中第二缺乏的营养元素。然而,在这种情况下,由于养分可以添加,但不能从土壤中去除,至少在一般情况下,这种诊断的建议是添加Mg,并添加较低比例的K,尽管K指数等于零。

在分析的过程中,可以看出,低产组中也有一些样地平衡指数很低(如39样园、53样园),从理论上讲,应该养分供给平衡,应该高产,但实际产量较低,这主要是因为这些样地总体养分水平不高。DRIS法只表达了元素间的相对平衡情况,而这种平衡可能是适应范围的养分平衡,也可能是亏缺范围的养分平衡,这也是本法的缺陷,所以应该结合其他方法进行相互补充。

4 结 论

油橄榄叶片营养诊断最适宜值为:N 1.6%~1.9%, P 0.10%~0.14%, K 0.6%~0.8%, Ca 1.1%~1.22%, Mg 0.08%~0.10%。采用DRIS法对供试油橄榄园进行诊断,两组油橄榄园都存在养分过量和不足并存现象,高产园油橄榄树体的养分状况比低产组果园平衡,营养失衡是低产的主要因素。高产园大多数果园需补充P和Mg,而低产园则需补充N。

参考文献 References:

- [1] 徐纬英,王贺春.油橄榄及其栽培技术[M].北京:中国林业出版社,2004:21-27.
XU Weiying, WANG Hechun. Olive oil and its cultivation techniques[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004: 21-27.
- [2] 唐菁,杨承栋,康红梅.植物营养诊断方法研究进展[J].世界林业研究,2005,18(6):45-48.
TANG Jing, YANG Chengdong, KANG Hongmei. Advances in methods of nutrition diagnosis for plants[J]. World Forestry Research, 2005, 18(6):45-48.
- [3] MOURAO F D A. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops[J]. Scientia Agricola, 2004, 61(5):550-560.
- [4] HERNANDES A, DE SOUZA H A, DE AMORIM D A, NATALE W, LAVRES J, BOARETTO A E, CAMACHO M A. DRIS norms for Pêra orange[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2014, 45(22):2853-2867.
- [5] 郑家基,刘星辉,陈雪金,余德生,叶垂扬.DRIS诊断法在柑桔施肥中应用研究[J].福建省农科院学报,1996,11(4):39-42.
ZHENG Jiaji, LIU Xinghui, CHEN Xuejin, YU Desheng, YE Chuiyang. Application of DRIS on applying fertilizer to citrus[J]. Journal of Fujian Academy of Agricultural Sciences, 1996, 11

- (4):39-42.
- [6] 周龙,汤利,陈俊,曾志伟,杨德荣.褚橙龙陵基地柑橘叶片DRIS图解法和指数法综合营养诊断分析[J].南方农业学报,2020,51(10):2498-2506.
ZHOU Long, TANG Li, CHEN Jun, ZENG Zhiwei, YANG Derong. Comprehensive nutritional diagnosis and analysis of Bingtang orange leaf based on DRIS graphic method and index method in Chucheng orange Longling base[J]. Journal of Soutrthern Agrcnlture. 2020,51(10):2498-2506.
- [7] 彭志平,刘国坚,张壮塔,潘汝忠,冯明.紫花芒果N、P、K、Ca、Mg叶片诊断的DRIS标准初步研究[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(1):36-40.
PENG Zhiping, LIU Guojian, ZHANG Zhuangta, PAN Ruzhong, FENG Ming. Preliminary study on DRIS norms for mango foliar diagnosis of N, P, K, Ca and Mg[J]. Tropical and Sub-tropical Soil Science, 1998, 7(1):36-40.
- [8] 康专苗,姚智,白亭玉,焦森,王艺蓉,仇海威,林电.DRIS法在‘帕拉英达’杧果营养诊断上的应用[J].中国南方果树,2018,47(3):80-83.
KANG Zhuanmiao, YAO Zhi, BAI Tingyu, JIAO Sen, WANG Yirong, QIU Haiwei, LIN Dian. Application of DRIS on leaf nutrient diagnosis in ‘Palayinda’ mango[J]. South China Fruits, 2018,47(3):80-83.
- [9] 李国良,姚丽贤,付长营,涂仕华.香蕉营养诊断的DRIS标准的初步研究[J].中国土壤与肥料,2008(3):74-77.
LI Guoliang, YAO Lixian, FU Changying, TU Shihua. Preliminary study on DRIS norms for banana foliar diagnosis of N, P, K, Ca, Mg and S[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008 (3):74-77.
- [10] 丁晓纲,张应中,刘喻娟,陈清凤.广宁红花油茶叶片营养DRIS诊断[J].经济林研究,2012,30(4):148-150.
DING Xiaogang, ZHANG Yingzhong, LIU Yujuan, CHEN Qingfeng. Leaf nutrient diagnosis of *Camellia semiserrata* seedling with DRIS[J]. Nonwood Forest Research, 2012, 30(4): 148-150.
- [11] 马海洋,同延安,路永莉,高义民,陈黎岭,王少杰.诊断施肥综合法(DRIS)在渭北旱塬红富士苹果营养诊断中的应用[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):84-88.
MA Haiyang, TONG Yanan, LU Yongli, GAO Yimin, CHEN Liling, WANG Shaojie. Application of DRIS in foliar nutrition diagnosis of Fuji appletrees in Weibei dryland of Shaanxi province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(2): 84-88.
- [12] 柴仲平,王雪梅,陈波浪,盛建东,刘茂,沈幸,李珊珊.库尔勒香梨叶片营养诊断研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):177-185.
CHAI Zhongping, WANG Xuemei, CHEN Bolang, SHENG Jiandong, LIU Mao, SHEN Xing, LI Shanshan. Study on leaf nutrition diagnosis of Korla fragrant pear[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(2): 177-185.
- [13] 李志国,曾华,张过师,万开元,刘毅,潘俊峰,陈防.红阳猕猴桃叶片营养DRIS诊断[J].湖北农业科学,2014,53(18):4344-4348.
LI Zhiguo, ZENG Hua, ZHANG Guoshi, WAN Kaiyuan, LIU Yi, PAN Junfeng, CHEN Fang. DRIS diagnosis of leaf nutrient in *Actinidia chinensis* ‘Hongyang’ [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(18):4344-4348.
- [14] 郭素娟,李广会,熊欢,吕文君.“燕山早丰”板栗叶片DRIS营养诊断研究[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):709-717.
GUO Sujuan, LI Guanghui, XIONG Huan, LÜ Wenjun. Foliar nutrition diagnosis of *Castanea mollissima* by using diagnosis and recommendation integrated system[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2014, 20(3):709-717.
- [15] 蒋万峰,王雪花,郑新疆,张静.应用DRIS法评价哈密大枣营养状况[J].黑龙江农业科学,2014(8):109-111.
JIANG Wanfeng, WANG Xuehua, ZHENG Xinjiang, ZHANG Jing. Foliar nutrition diagnosis of Hami jujube by DRIS[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2014(8):109-111.
- [16] 叶静.新疆乌什县新温185号核桃生产园树体营养盈亏分析[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
YE Jing. Analysis on nutrition elements of abundance and less situation of *Juglans regia* ‘Xinwen185’ production garden in Wushi county, Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2014.
- [17] 欧阳健辉,吴道铭,廖丹丹,彭维新,苏思宁,曾曙光.广东地区果用银杏林的叶片营养诊断研究[J].华南农业大学学报,2020,41(3):93-101.
OUYANG Jianhui, WU Daoming, LIAO Dandan, PENG Weixin, SU Sining, ZENG Shucui. Foliar nutrient diagnosis for fruit forest of *Ginkgo biloba* in Guangdong[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(3):93-101.
- [18] 吴良泉,张世昌,朱东煌,林锋,罗丽娟,李荟星,郑明瑜,李延,陈立松.琯溪蜜柚品质综合评价及优质高产的营养诊断[J].热带作物学报,2019,40(9):1693-1699.
WU Liangquan, ZHANG Shichang, ZHU Donghuang, LIN Feng, LUO Lijuan, LI Huixing, ZHENG Mingyu, LI Yan, CHEN Lisong. Synthetical quality evaluation and nutrient diagnosis based on high-quality and high-yield for ‘Guanximiyou’ pummelo production[J]. Chinese Journal of Tropical Crops. 2019, 40(9):1693-1699.
- [19] 姜成英,赵梦炯,吴文俊,陈炜青,戚建莉,芦娟.油橄榄叶片营养诊断样品适宜采集期研究[J].甘肃林业科技,2017,42 (3):10-15.
JIANG Chengying, ZHAO Mengjiong, WU Wenjun, CHEN Weiqing, QI Jianli, LU Juan. Appropriate sampling periods for leaf nutrient diagnosis in *Olea europaea*[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 2017, 42(3):10-15.
- [20] GUCCI R, CARUSO G, SEBASTIANI L. Seasonal changes in leaf nitrogen of olive trees grown under different irrigation regimes and crop level[J]. Journal of Plant Nutrition, 2010, 33 (12):1849-1859.

- [21] BEAUFILS E R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)[J]. Bulletin, Department of Soil Science and Agro-Meteorology, Natal University, 1973(1):132.
- [22] STEWART B A. Advances in soil science[M]. New York: Springer-Verlag, 1987(6):149-188.
- [23] 邓明全,俞宁.油橄榄引种栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2011:214-217.
- DENG Mingquan, YU Ning. Introduction and cultivation technology of olive[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011:214-217.
- [24] TRONCOSO A T, SANCHEZ M C, DIAZ R R. Caracteres fisicos y Qunimicosc De los suelos ocupados por las variedades de olivar de mesa de la provincial de sevilla[M]. Sevilla, Espana: Control de la fertilizacion de las plantas cultivadas (II coloquio europeo y Meditarraneo), 1968:146-164.
- [25] FREEMAN M, URIU K, HARTMANN H T. Diagnosing and correcting nutrient problems[M]. California: University of California, 1994:77-86.
- [26] WALWORTH J L, SUMNER M E, ISAAC R A, PLANK C O. Preliminary DRIS norms for alfalfa in the Southeastern United States and a comparison with Midwestern norms[J]. Agronomy Journal, 1986, 78(6):1046-1052.
- [27] FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ A, BELTRÁN G, FERNÁNDEZ-ESCOBA R. Floral analysis cannot be considered as an alternative to the foliar diagnosis in the olive[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112(1):23-26.
- [28] SOYERGIN S, MOLTAY I, GENC C, FIDAN A E, SUTCU A R. Nutrient status of olives grown in the Marmara region[J]. Acta Horticulturae, 2002(586):375-379.
- [29] FERNÁNDEZ-ESCOBAR R, MORENO R, GARCÍA-CREUS M. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle[J]. Scientia Horticulturae, 1999, 82(1-2):25-45.
- [30] LÓPEZ-GRANADOS F, JURADO-EXPÓSITO M, ÁLAMO S, GARCÍA-TORRES L. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea* L.) orchards[J]. European Journal of Agronomy, 2003, 21(2):209-222.
- [31] PASCUAL M, VILLAR J M, ARBONES A, RUFAT J. Nitrogen nutrition diagnosis for olive trees grown in super-intensive cropping systems[J]. Journal of Plant Nutrition, 2019, 42(15): 1803-1817.
- [32] FERNÁNDEZ- ESCOBAR R, GARCÍA- NOVELO J M, RE-STREPO-DÍAZ1 H. Mobilization of nitrogen in the olive bearing shoots after foliar application of urea[J]. Scientia Horticulturae, 2011;127(3):452-454.
- [33] ARROBAS M P, LOPES J I, PAVÃO F M, CABANAS J E, RODRIGUE M Â. Comparative boron nutritional diagnosis for olive based on July and January leaf samplings[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2010, 41(6):709-720.
- [34] ZIPORI I, YERMIYAHU U, EREL R, PRESNOV E, FAIN-GOLD I, BEN-GAL A, DAG A. The influence of irrigation level on olive tree nutritional status[J]. Irrigation Science, 2015, 33 (4):277-287.
- [35] 姜成英,陈炜青,吴文俊,赵梦炯,苏瑾.甘肃油橄榄园土壤养分丰缺状况[J].经济林研究,2014,32(4):165-169.
- JIANG Chengying, CHEN Weiqing, WU Wenjun, ZHAO Mengjiong, SU Jin. Condition of abundance or deficiency of soil nutrient of olive orchard in Gansu province[J]. Nonwood Forest Research, 2014, 32(4):165-169.
- [36] 白由路,金继运,杨俐萍.我国土壤有效镁含量及分布状况与含镁肥料的应用前景研究[J].土壤肥料,2004(2):3-5.
- BAI Youlu, JIN Jiyun, YANG Liping. Study on the content and distribution of soil available magnesium and foreground of magnesium fertilizer in China[J]. Soils and fertilizers, 2004(2):3-5.
- [37] 刘鑫,王天,宋佳承,焦健,李朝周.不同磷肥施用量对油橄榄根际土壤微环境及生长发育的影响[J/OL].中国土壤与肥料:1- 13[2021- 03- 02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20210301.1617.006.html>.
- LIU Xin, WANG Tian, , SONG Jiacheng, JIAO Jian, LI Chaozhou. Effects of different application amount of phosphate fertilizer on olive growth and rhizosphere soil microenvironment[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 1-13[2021-03-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20210301.1617.006.html>.
- [38] CHOU T S, CHAO Y Y, HUANG W D, HONG C Y, KAO C H. Effect of magnesium deficiency on antioxidant status and cadmium toxicity in rice seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 2011, 168(10):1021-1030.
- [39] SUN X, KAY A D, KANG H Z, SMALL G E, LIU G F, ZHOU X, YIN S, LIU C J. Correlated biogeographic variation of magnesium across trophic levels in a terrestrial food chain[J]. PLoS One, 2013, 8(11):e78444.
- [40] FAGERIA V D. Nutrient interactions in crop plants[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(8):1269-1290.