

# 澳洲坚果生育期内叶片矿质营养元素含量及其变化

韩树全, 范建新\*, 王代谷, 雷朝云, 刘荣, 吴小波, 黄海 (贵州省亚热带作物研究所, 贵州兴义 562400)

**摘要** [目的]研究澳洲坚果生育期内叶片中矿质营养元素的含量及变化规律。[方法]以贵州主栽的3个澳洲坚果品种H2、OC、788的成年树为研究对象,测定其叶片中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu这7种矿质营养元素的含量及变化规律。[结果]3个澳洲坚果品种叶片中7种矿质元素含量在生育期内呈现规律性变化,平均含量从大到小依次为N、Ca、K、P、Mg、Fe、Cu。OC叶片中的N、P、K、Ca、Fe平均含量要大于H2和788。叶片中N和Mg含量是逐渐升高的,P含量先增后减,K含量是先减后增,Ca含量逐渐下降,Fe含量变化呈现倒“V”字型,变化幅度剧烈,而Cu含量呈“V”字型变化。P与Cu含量达极显著负相关,Mg与Ca含量达显著负相关。[结论]该试验可为贵州澳洲坚果合理施肥提供理论依据。

**关键词** 澳洲坚果;矿质元素;叶片;变化

**中图分类号** S664 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)23-008-03

## Study on Mineral Elements Content and Change in *Macadamia ternifolia* Leaves during the Development Period

HAN Shu-quan, FAN Jian-xin\*, WANG Dai-gu et al (Guizhou Institute of Subtropical Crops, Xingyi, Guizhou 562400)

**Abstract** [Objective] To investigate the contents and dynamic variation characteristic of mineral elements in *Macadamia ternifolia* leaves during the growth period. [Method] Taking H2, OC, 788 which were the main cultivated *M. ternifolia* varieties in Guizhou Province as the study object, mineral elements content and variation law were determined. [Result] The results showed that the contents of 7 kind of mineral elements indicated regular change in the leaves of three *M. ternifolia* varieties. The order of mean content of nutrient elements from large to small was N, Ca, K, P, Mg, Fe, Cu. The contents of N, P, K, Ca, Fe in OC variety were higher than that in H2 and 788 species. The contents of N and Mg in the leaves were increased gradually; the content of P firstly increased, then decreased; K contents of *M. ternifolia* leaves decreased and then increased; the quantity of Ca in leaves was decreased; Fe contents change presented inverted "V" type, and had a big change range; the contents of Cu showed the "V" type change. The contents of P and Cu change reached extremely significant negative correlation, while significant negative correlation existed between Ca and Mg contents. [Conclusion] The study can provide theoretical guidance for rational fertilization of *M. ternifolia* in Guizhou Province.

**Key words** *Macadamia ternifolia*; Mineral element; Leaf; Change

澳洲坚果(*Macadamia ternifolia*)又名昆士兰栗、夏威夷果、澳洲胡桃等,原产于澳大利亚,是山龙眼科澳洲坚果属植物<sup>[1]</sup>。澳洲坚果含油量达60%~80%,蛋白质和碳水化合物含量约为9%,含有相当丰富的钙、磷、铁、氨基酸和维生素B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、抗糙皮的烟酸等,被誉为“干果之王”<sup>[2-4]</sup>。澳洲坚果自20世纪初开始引入我国,近年在广东、广西、云南、贵州等热区飞速发展<sup>[5]</sup>。目前贵州规模化种植澳洲坚果时间短,管理技术还比较粗放,对澳洲坚果在贵州山地条件下的营养需求还没有详细的研究,在管理及施肥环节存在一定的盲目性。矿质营养是植物生长发育、产量形成的物质基础<sup>[6]</sup>,在不同生长发育期及不同的物候点植物对矿质营养的需求有一定的差异性。在生产上应根据不同品种、不同时期需肥特点制订合理的施肥方案。叶片是植物光合作用制造养分的“源”,也是根部吸收养分的贮藏“库”<sup>[7]</sup>,是植物对土壤营养状况反应最为敏感的器官,叶片矿质浓度反映了树体的营养状况<sup>[8-11]</sup>。目前关于贵州山地生态环境下澳洲坚果的营养状况未见报道,为了解在贵州山地种植的澳洲坚果的矿质营养变化规律,笔者对3个主栽品种(H2、OC、788)在生育期内叶片中的矿质元素含量变化进行了测定,以为贵州山地澳洲坚果合理施肥、高效管理提供理论依据。

**基金项目** 贵州省农业科学院项目(黔农科院院专项[2013]021号);贵州省农业科学院项目(黔农科院自主创新科研专项字[2014]001号);贵州省科研机构服务企业行动计划(黔科合服企[2015]4002号)。

**作者简介** 韩树全(1986-),男,山东临沂人,研究实习员,硕士,从事果树生物技术研究。\*通讯作者,副研究员,硕士,从事果树栽培与育种研究。

**收稿日期** 2016-06-22

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况及供试材料** 澳洲坚果叶片取自贵州省望谟县贵州省热作所澳洲坚果示范园,采集园为坡地,海拔550 m,年均降水量为1 222.5 mm,属于亚热带湿润季风气候,无霜期为339 d。果园管理水平较高,果实采摘后至抽花穗前进行修剪,在3月、5月、6月和8月份施4次复合肥。品种为H2、OC、788,均为7年生嫁接苗,果树生长正常,已经进入结果期。

**1.2 采样及测定方法** 在澳洲坚果开花前(3月份)、果实发育期(6月份)、果实成熟期(9月份)3个不同生长期,选取长势一致、无病虫害的3个品种当年生枝条的中上部刚老熟的叶片,每个品种3株为1次重复,共3次重复。将采集的叶片用冰盒带回实验室,用自来水将叶片冲洗干净,再用去离子水冲洗,用滤纸吸掉水分,风干,放于烘干箱105℃条件下杀青30 min,在80℃条件下烘干至恒重,用粉碎机将样品粉碎并分别混匀,过60目(0.25 mm)筛。用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>联合消煮液消煮待测样品;凯氏定氮法测定氮(N)含量;钼钒黄比色法测定磷(P)含量;火焰光度计法测定钾(K)含量;采用干灰化-原子吸收分光光度法测定钙(Ca)、镁(Mg)、铜(Cu)、铁(Fe)含量<sup>[12]</sup>,每种元素质量分数以所测元素的相对重量百分比表示,数据结果采用Excel和Spss19.0软件进行统计与分析。

## 2 结果与分析

**2.1 不同生育期内3个澳洲坚果品种叶片中矿质营养元素含量变化** 澳洲坚果不同生育期内叶片中矿质营养元素动态变化规律见图1。

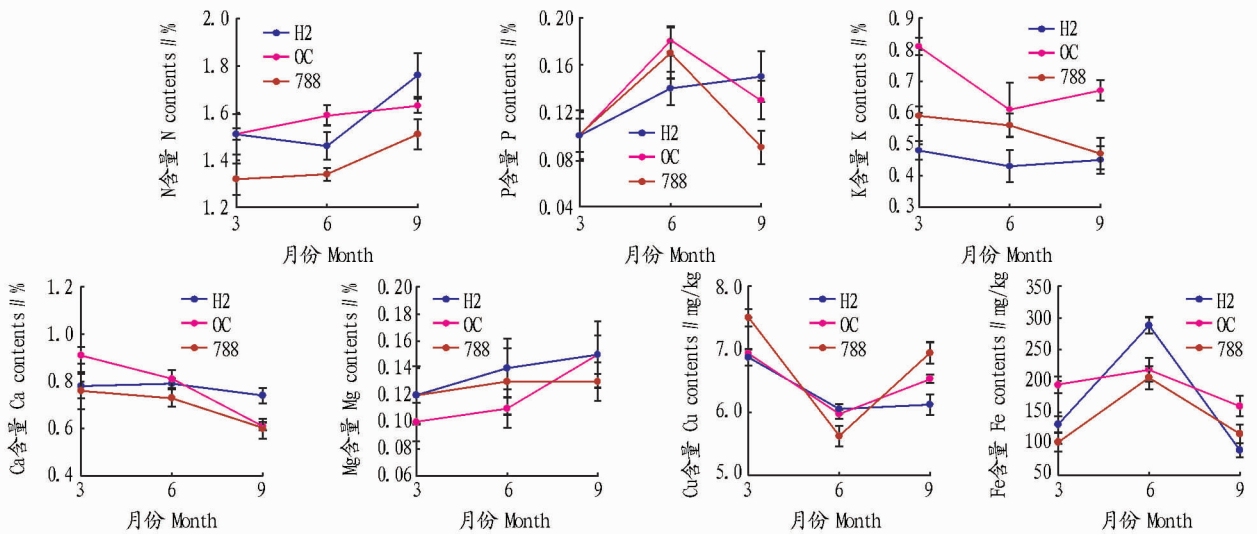


图1 3个澳洲坚果品种叶片中矿质营养元素含量变化

Fig.1 The change of the contents of mineral elements in leaves of three varieties of *M. ternifolia*

**2.1.1 N 含量。**3个澳洲坚果品种叶片中的N变化趋势大体相同,但含量差异较大。3~6月份OC、788这2个品种叶片中N含量上升了5.30%和1.51%,而H2叶片中N含量减少了0.05%,6月份OC叶片中N含量高于其他2个品种。到9月份澳洲坚果成熟时,3个品种叶片中的N含量出现明显的上升,其中H2的上升幅度最高,与3月份相比上升了3.31%,这可能是3月份的N主要来自贮藏N,随着开花结果及果实发育,吸收的N元素主要用于生殖生长,因而6月份叶片N含量没有明显的升高,等到果实成熟时的9月份,N元素才主要向营养生长转移。

**2.1.2 P 含量。**H2、OC、788这3个澳洲坚果品种在6月果实发育的前期,叶片中P含量显著上升,相对于3月分别上升了40.00%、80.00%和70.00%,可能是由于施肥,P吸收量远大于转移量,而到9月坚果成熟期,除了H2叶片中P含量微升外,另外2个品种OC、788叶片中P含量相对于6月又出现显著下降,分别下降了27.78%和47.05%,可能是P被大量地用于果实发育,所以果实发育中期是施用P肥的关键期。

**2.1.3 K 含量。**H2和OC这2个品种中叶片K含量都是表现出先降后微升的趋势,6月份为K含量最低点,其中OC的下降幅度最大(24.69%),而788叶片K含量在整个观察过程中维持下降趋势。K是多种酶的活化辅助因子,6月份后澳洲坚果进入果实膨大期,K向果仁转移能促进糖、脂肪等物质的合成及向果仁运输,致使叶片中K含量下降。

**2.1.4 Ca 含量。**在整个检测季节,3个澳洲坚果品种叶片中Ca含量变化大体相似,均呈现下降的趋势,在9月份含量达到最低点,H2、OC、788分别降低了5.13%、32.97%和21.05%,在3月和6月OC叶片中Ca含量要高于其他2个品种,到9月份H2叶片的Ca含量最高,而788的Ca含量一直最低。

**2.1.5 Mg 含量。**H2和OC这2个品种叶片中Mg含量都呈

现逐渐上升趋势,而788叶片中Mg含量变化较平稳,先微升后保持稳定。整个生长季H2叶片中Mg含量要大于其他2个品种,OC叶片的Mg含量上升幅度最高(50.00%)。

**2.1.6 Cu 含量。**3个澳洲坚果品种Cu含量在3~6月2个时间点变化趋势一致,都出现明显的下降,其中788叶片中Cu含量下降了25.07%,到9月份OC和788这2个品种的Cu含量出现了一定幅度的回升,而H2叶片中的Cu含量与6月份相比变化不大。

**2.1.7 Fe 含量。**Fe是澳洲坚果叶片中含量最高的微量元素,3个澳洲坚果品种叶片Fe含量变化一致,均呈现倒“V”型,在3个不同生长期Fe含量变化比较剧烈。6月份3个品种叶片中Fe含量出现最大值,H2、OC、788叶片中Fe含量分别为288.1、218.2、205.3 mg/kg,H2上升的幅度最大,到9月份果实成熟时3个品种叶片中Fe含量又出现了明显下降,其中H2叶片中Fe含量下降幅度最大。

**2.2 3个澳洲坚果品种叶片中矿质营养元素含量比较**由图2及表1可知,3种澳洲坚果叶片中大量元素平均含量从大到小依次为N、Ca、K、P、Mg,OC叶片中的大量矿质营养元素含量从大到小的顺序与平均含量相同,而H2和788叶片中大量矿质元素含量从大到小依次为N、Ca、K、Mg、P。澳洲坚果叶片中N的平均含量为1.517%,OC和H2是含N量较高的品种,而788是含N量最低品种。澳洲坚果叶片P和Mg的平均含量较低,分别为0.129%和0.128%。澳洲坚果叶片中微量元素平均含量从大到小依次为Fe、Cu,3个品种微量元素含量顺序都一致,其中OC叶片中Fe含量最高(190.600 mg/kg),788品种的Fe含量最低(141.500 mg/kg)。3个品种Cu平均含量为6.504 mg/kg,品种间差别不大。OC叶片中除了Mg和Cu以外,其他5种营养元素含量都要大于H2和788。

对3个品种澳洲坚果不同月份营养元素含量计算平均值并进行统计分析,结果表明3个品种澳洲坚果叶片中N、

P、Ca、Mg、Cu、Fe 之间差异不显著, OC 叶片中的 K 含量与另外 2 个品种差异达到了显著, OC 叶片中 K 含量显著高于 H2

和 788(表 1)。该结果说明对树体矿质养分进行分析诊断时,还要综合考虑矿质养分的种类及果树品种类型等因素。

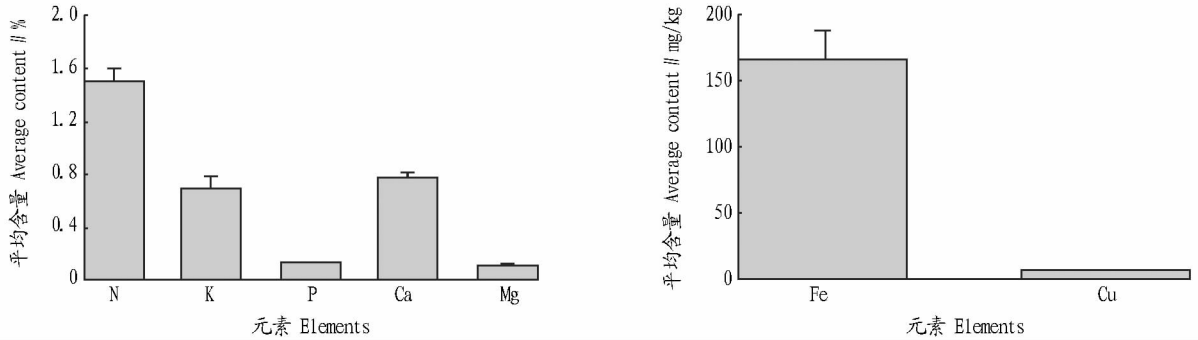


图 2 3 个澳洲坚果品种叶片中矿质营养元素的平均含量

Fig. 2 The average contents of mineral element in leaves of three varieties of *M. ternifolia*

表 1 3 个澳洲坚果品种叶片中矿质营养元素含量比较

Table 1 Comparison of the mineral element contents in leaves of three varieties of *M. ternifolia*

品种 Varieties	N//%	P//%	K//%	Ca//%	Mg//%	Cu//mg/kg	Fe//mg/kg
H2	1.580a	0.130a	0.453b	0.770a	0.137a	6.347a	169.833a
OC	1.580a	0.137a	0.697a	0.777a	0.120a	6.477a	190.600a
788	1.390a	0.120a	0.540b	0.697a	0.127a	6.687a	141.500a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different small letters in the same column indicate the significant differences ( $P < 0.05$ ).

**2.3 澳洲坚果叶片内矿质营养元素含量的相关性分析** 对 3 个澳洲坚果品种叶片中 7 种矿质营养元素进行相关性分析,结果表明叶片中 P 与 Cu 的含量变化达极显著负相关,相关系数为  $r(P, Cu) = -1.903$ ; Mg 与 Ca 含量达显著负相关  $r(Mg, Ca) = -0.683$ ; N 与 P、Mg 含量呈正相关, N 与 K、Ca、Cu、Fe 含量呈负相关; P 与 Ca、Mg、Fe 含量呈正相关,与 K 含量呈负相关; K 与 Ca、Cu、Fe 含量呈正相关,与 Mg 含量呈负

相关; Ca 与 Cu 含量呈负相关,与 Fe 含量呈正相关; Mg 与 Cu、Fe 含量呈负相关; Cu 与 Fe 含量呈负相关,但都没达到显著水平(表 2)。

对 OC 叶片中矿质元素含量进行相关性分析发现(表 2), P 与 K、Cu 含量达极显著负相关; Mg 与 Ca 含量呈显著负相关。可以看出澳洲坚果叶片在生长过程中,其矿质营养元素之间存在着协同和拮抗的动态平衡作用。

表 2 澳洲坚果叶片内矿质营养元素含量间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among different mineral elements in leaves of *M. ternifolia*

元素 Elements	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe
N		0.234	-0.309	-0.631	-0.052	-0.396	-0.28
P	0.203		-0.857**	-0.215	-0.093	-0.964**	0.377
K	-0.071	-0.102		0.522	-0.276	0.854	-0.232
Ca	-0.141	0.092	0.368		-0.684*	0.260	0.586
Mg	0.387	0.214	-0.546	-0.683*		0.166	-0.439
Cu	-0.229	-0.903**	0.244	-0.019	-0.331		-0.405
Fe	-0.231	0.465	0.105	0.384	-0.145	-0.559	

注:下三角为 3 个品种的平均值,上三角为 OC 品种分析值。\* 表示 0.05 水平上相关性显著; \*\* 表示 0.01 水平上相关性极显著。

Note: The below triangle is the means of three varieties and the top is the value of OC. \* represents remarkable significant correlation at 0.05 level. \*\* represents remarkable significant correlation at 0.01 level.

### 3 结论与讨论

植物叶片是光合作用制造养分的主要器官,也是为植物营养生长和生殖生长提供养分的重要“源”器官,植物叶片中矿质营养的变化规律在一定程度上能反映果树吸收利用矿质营养状况。研究也发现叶片营养状况能够反映树体的营养状态<sup>[12]</sup>。不同品种澳洲坚果叶片中矿质元素含量在不同生育期呈现一定的规律性,总体来说澳洲坚果叶片中大量元素平均含量最高的是 N(1.517%),其次是 Ca(0.748%),P

和 Mg 是平均含量较低的 2 种大量元素,含量分别为 0.129%、0.128%; 叶片微量元素含量从大到小顺序为 Fe、Cu,含量分别为 167.311 mg/kg 和 6.504 mg/kg。OC 叶片中除了 Mg 和 Cu 以外,其他 5 种营养元素含量都要大于 H2 和 788。

N 是植物蛋白质、核酸等大分子物质形成的基本元素,在生长发育、产量的建成中起到中心的作用<sup>[13]</sup>。澳洲坚果 (下转第 52 页)

表2 不同自沉温度处理后天然油的理化指标和感官鉴评

Table 2 Physical and chemical indexes and sensory evaluation of natural oil after different treatments of self-precipitation temperatures

自沉温度 Self-precipitation temperature//℃	氨基酸 Amino acid//g/L	还原糖 Reducing sugar//g/L	全氮 Total nitrogen //g/L	OD	感官鉴评 Sensory evaluation
15	11.00	47.00	16.50	0.233	有正常的酱香
20	10.80	47.00	16.80	0.234	有正常的酱香
25	11.50	47.00	16.80	0.215	有正常的酱香
30	10.80	46.00	16.70	0.246	有正常的酱香
35	11.20	47.00	16.70	0.240	有正常的酱香
40	10.90	48.00	16.90	0.256	有正常的酱香
45	11.00	47.00	17.30	0.264	酱香浓郁
50	10.60	46.00	17.90	0.268	酱香浓郁,有焦香味
55	10.80	46.00	17.50	0.284	酱香浓郁,有焦香味
60	10.80	46.00	17.40	0.310	酱香浓郁,有焦香味

### 3 结论与讨论

该研究着眼于解决广式发酵酱油原油原沉淀多、体态浑浊的问题,在深层次理解微生物作用及酶的催化反应机理基础上,通过改变原油自沉过程中的温度、溶盐、盐分、糖分、酶等条件,调控微生物代谢及酶促反应,达到澄清酱油、改善风味的目的。项目的开展有利于理清酱油发酵的复杂过程,有利于提高技术人员的整体理论水平。该研究获得一项新的天然油原沉淀自沉方法:自然状态下,适宜的原油自沉时间为6~10 d,适宜的原油自沉温度为15~20℃(物理作用)和45~60℃(生化作用)。该方法有利于节约酱油发酵成本、提高酱油质量,研究结果对整个酱油行业均有推广意义,对

酱油酿造行业有一定的贡献。此外,该研究可通过调控自沉过程中的微生物活动及酶促反应,提高原料利用率,提升原油风味。

### 参考文献

- [1] 陈有容,刘庆玮. 酱油中沉淀及浑浊物产生的原因初探[J]. 天津微生物,1989(2):22-27.
- [2] 张志航,李国基,于淑娟,等. 酱油沉淀物的溶解性能[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2000,28(11):59-62.
- [3] 张林,赵友新,刘会勇. 论酱油中沉浮物质和滤除方法[J]. 中国酿造,1998(1):13-15.
- [4] 袁会英,罗瑞山. 除去酱油沉淀的探讨[J]. 中国酿造,1995(6):24-25.
- [5] 汪勇,唐书泽,张景. 无机陶瓷膜超滤澄清酱油的研究[J]. 中国调味品,2004(1):38-41.

(上接第10页)

叶片中N含量在6月份微量升高,到9月份大幅度上升。这可能是前期N主要流向生殖生长,用于开花、坐果及果实发育,致使叶片中的N含量增加微弱。随着果实成熟,N才大量转移到营养生长,叶片中N含量大幅升高。澳洲坚果在果实生殖生长和营养生长中都需要大量的N,所以在整个果实发育期应该保证充足的N肥供应。P是植物油脂形成的关键元素,在植物能量的储运代谢中起到关键的作用<sup>[9]</sup>。澳洲坚果叶片P含量先大幅上升后又显著下降,可能是前期施肥,P大量吸收而消耗很少,到后期果实发育油脂形成消耗了大量的P,致使叶片中的P含量显著下降。H2叶片中P含量在6月份和9月份基本持平可能是由于结果量少、消耗少的原因。这也说明,果实油脂形成中需要充足的P,此时期要保证P的合理供应。K在果树开花坐果中起到重要的作用,叶片中K在前期(3~6月)大量用于开花、坐果,所以在叶片中含量下降,等到9月份果实成熟,消耗减少,叶片积累增多。在澳洲坚果果实生长前期保证大量营养元素的充足供应,对果实发育可起到重要的保证作用。Mg是叶绿素的组成部分,在整个检测过程中叶片中Mg含量是逐渐升高的。Ca含量一直下降,说明在检测期Ca需求量一直增加。2种微量元素Fe和Cu含量在叶片中的变化趋势相反,Fe含量呈现倒“V”型,而Cu呈现“V”型,说明二者在利用生理上有差异。叶片中Fe含量在整个检测期变化比较剧烈,Fe在坚果果实发育中起到重要的作用。

对澳洲坚果不同元素相关性进行分析发现,叶片中P与Cu含量变化达极显著负相关,Mg与Ca含量达显著负相关,说明2组元素之间存在明显的拮抗作用。对OC叶片中矿质元素含量进行相关性分析,除了P与Cu,Mg与Ca 2组元素存在显著相关外,P与K元素也存在极显著负相关。

### 参考文献

- [1] STEPHENSON R. Macadamia: Domestication and commercialization[J]. Chronica horticulture, 2005,45(2):11-15.
- [2] 刘建福,黄莉. 澳洲坚果的营养价值及其开发利用[J]. 中国食物与营养, 2005(2):25-26.
- [3] 焦云,邹明宏,曾辉,等. 澳洲坚果营养特性及其营养诊断研究进展[J]. 广东农业科学,2009(1):33-34.
- [4] 陆超忠,肖邦森,孙光明,等. 澳洲坚果优质高效栽培技术[M]. 北京:中国农业出版社,2000:1-3.
- [5] 刘晓,陈健. 澳洲坚果的起源、栽培史及国内外发展现状[J]. 西南园艺,1999,27(2):18-20.
- [6] 潘立忠,张森,王延书,等. 落叶果树果实矿质营养的研究现状[J]. 安徽农学通报,2006,12(10):77-80.
- [7] 阴黎明,王力华,刘波. 文冠果叶片养分元素含量的动态变化及再吸收特性[J]. 植物研究, 2009,29(6):685-691.
- [8] 丁壮,张彦东,齐学军. 红松人工林矿质营养元素含量与贮量的研究[J]. 植物研究,2008,28(4):503-508.
- [9] 莫宝盈,易立斌,奚如春,等. 油茶叶片营养诊断分析样品适宜采集期研究[J]. 经济林研究,2013,31(1):13-19.
- [10] 张少若,梁继兴,余让水,等. 我国热带作物营养诊断研究工作的进展[J]. 热带作物研究,1996(2):60-70.
- [11] 吴锡麟,叶功富,张尚炬,等. 不同海岸梯度上短枝木麻黄小枝金属元素含量及其再吸收率动态[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(5):645-650.
- [12] 鲁如坤,刘晓松,陆少华. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000:146-226.
- [13] 张新民,何铁扬,陆超忠,等. 不同种质澳洲坚果叶片氮磷钾含量研究[J]. 中国南方果树,2015,44(6):66-70.