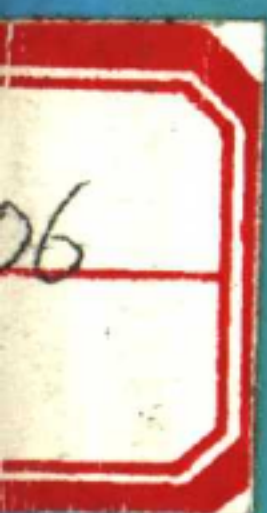


柑桔营养与施肥

庄伊美 主编



中国农业出版社



柑桔营养与施肥

庄伊美 主编

中国农业出版社

序

70年代以来,我国柑桔生产发展颇为迅速,并已跃居世界前列;近几年,全国柑桔面积居世界首位,产量名列第三。目前,我国柑桔业正在向现代化方向迈进。

实践证明,科学施肥是实现果树生产现代化的关键环节。许多发达的柑桔生产国,立足于基础性研究,广泛应用营养诊断技术于指导合理施肥,并取得了相当显著的效益;而且,此项技术仍随着科技进步正在不断地改进和发展之中。80年代以来,我国在果树营养诊断指导施肥方面进展亦较快,特别是柑桔营养与施肥的研究和实践尤为突出,成效明显。然而,与世界先进水平相比,仍有所差距。为了促进我国柑桔生产和科技现代化的实现,出版一本较为全面、系统的柑桔营养与施肥专著甚属必要。有鉴于此,我的助手庄伊美教授潜心于这方面的工作,并积极组织和主持编撰《柑桔营养与施肥》一书。他和编著者们为填补此项空白,付出了艰辛的劳动,终于使新书顺利问世,此乃值得庆幸矣!

《柑桔营养与施肥》一书的内容较为全面、丰富和新颖,且密切联系生产实际,具有一定的科学性、先进性及实用性,故该书是柑桔生产、科研、教学的一本重要参考书。值此新书付梓之际,余深感喜慰,特为作序,以资纪念。

福建农学院名誉院长 李来荣
福建省亚热带植物研究所名誉所长

1992年9月于鼓浪屿寓所

前 言

世界柑桔营养与施肥的研究，经历了约一个世纪，无论在广度或深度上，均取得长足的进展。尤其是近二、三十年来，其研究已从基础理论进入商品生产应用的阶段，不少国家普遍开展营养诊断指导施肥，并获得显著的经济、生态和社会效益。业已证明，合理施肥是实现柑桔生产现代化的重要环节，亦是保证高产、稳产、优质、低耗和保护环境的极其重要的农业措施。

随着现代科学的迅速发展，柑桔营养与施肥研究的进展是令人瞩目的。综观其大量的研究和实践，大致有三方面：其一，柑桔植株的营养生理，以及植株、土壤、肥料之间的营养关系；其二，施肥与植株生长、产量、品质的关系，以及合理施肥方案的建立；其三，柑桔营养诊断技术的改进和发展。

尽管国际上的园艺、土肥科学工作者，已在柑桔营养与施肥领域，进行过相当长期和大量的探索，获得了广泛和丰硕的成果。然而，迄今尚罕见涉及柑桔营养与施肥方面的较为全面、系统的专著。显然，此与当今柑桔生产的迅猛发展颇不相应。有鉴于此，近几年来，我们尽力而为地去尝试和完成此项颇具意义的工作，以期能有益于促进我国柑桔业发展到一个新的水平。

本书的主要内容有：柑桔营养与施肥研究进展；营养元素生理功能；柑桔营养特点；影响柑桔营养的因素；树体和土壤营养诊断；柑桔合理施肥；柑桔营养失调及其矫治；田间试验和调查研究方法等。在编写过程中，作者考虑到面向我国当前生产实际，在顾及全书系统性的前提下，力求做到：理论与实践相结合，重视实际应用；国外与国内资料相结合，注意国内工作；早

期与近期文献相结合，着重近期成果。

本书由庄伊美任主编，负责全书的审稿和统稿。第一、二、三章由庄伊美编写（其中第二章第五节由俞立达编写）；第四章由丘星初、王仁玠编写；第五章由俞立达编写（其中第四节由丘星初编写）；第六章由王仁玠、庄伊美编写；第七章由周学伍、俞立达、庄伊美编写。

值此新书出版之际，我首先要感谢诸位编著者的通力合作，他（她）们是：浙江省科学院柑桔研究所俞立达副研究员、四川省农业科学院果树研究所所长周学伍研究员、江西省赣州地区环境保护科学研究所丘星初所长、福建省亚热带植物研究所王仁玠副研究员。我特别要感谢年逾八旬的恩师、著名园艺学者李来荣教授，30余年来给予我的谆谆教导。我还要借此纪念严父庄为玠教授，先父于去春参加国际学术讨论会期间不幸仙逝之前，一直鼓励我致力于此项工作。同时，并向支持和帮助本书编写的诸多同事，表示衷心的感谢。

正如前述，此书的编写尚属初试，且限于编著者的学识和水平，书中欠妥和错误之处在所难免，敬希诸位批评指正为幸。

主编 庄伊美

1992年9月于厦门

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
一、柑桔营养研究和施肥技术的发展	1
二、柑桔的营养特点	4
(一) 柑桔的矿质成分	4
(二) 柑桔营养元素的季节性变化	8
(三) 柑桔不同年龄时期的营养特点	12
(四) 栽培特点与树体营养的关系	14
(五) 柑桔根系的营养特点	16
第二章 营养元素生理功能与营养失调	21
一、元素的生理功能及对树体的效应	21
(一) 氮	21
(二) 磷	25
(三) 钾	27
(四) 钙	31
(五) 镁	32
(六) 硫	34
(七) 锌	35
(八) 硼	37
(九) 铁	39
(十) 锰	40
(十一) 铜	42
(十二) 钼	43
(十三) 氯	44
二、矿质元素的吸收、运转与同化	45

(一) 根对矿质元素的吸收和运转	45
(二) 叶片对矿质元素的吸收和运转	50
(三) 矿质元素的同化作用	51
三、元素间的相互作用	53
四、植株养分浓度与营养失调的关系	57
五、营养元素的缺乏与过剩症状	61
第三章 影响柑桔营养的因素	72
一、柑桔种类、品种和砧穗组合的影响	72
二、环境条件和栽培管理的影响	82
(一) 地点及年份的影响	82
(二) 土壤pH值的影响	86
(三) 土壤母质的影响	87
(四) 土壤元素含量的影响	88
(五) 温度的影响	90
(六) 光照的影响	92
(七) 灌水的影响	92
三、菌根的影响	94
四、激素的影响	100
五、树体产量的影响	102
第四章 树体的营养诊断	106
一、叶分析的基本原理	107
二、叶样的采集和处理	110
(一) 样品的采集	110
(二) 样品的制备	115
(三) 样品的灰化	119
三、叶分析方法	122
(一) 氮的测定	122
(二) 磷的测定	128
(三) 钾的测定	133
(四) 钙的测定	137
(五) 镁的测定	143
(六) 铁的测定	150
(七) 锰的测定	153

(八) 锌的测定	158
(九) 铜的测定	162
(十) 铝的测定	164
(十一) 硫的测定	167
(十二) 氮的测定	170
(十三) 硼的测定	174
四、常规分析的质量控制	177
五、柑桔叶片标样	183
六、其它诊断方法	191
(一) 生物化学诊断	191
(二) 植物显微化学鉴定法	197
(三) 果实分析	198
(四) 植株组织测定	198
七、柑桔营养诊断标准	200
(一) 营养诊断指标确定的方法	200
(二) 柑桔营养诊断标准	202
(三) DRIS (诊断施肥综合法) 诊断标准	208
第五章 土壤的营养诊断	216
一、土壤分析的基本原理	216
二、土壤样品的采集与处理	217
(一) 采样原则和方法	217
(二) 土壤样品的处理	221
三、土壤分析方法	222
(一) 土壤水解性氮的测定	222
(二) 土壤有效磷的测定	227
(三) 土壤有效钾的测定	231
(四) 土壤有效钙、镁的测定	234
(五) 土壤有效硼的测定	236
(六) 土壤有效铁、锰、锌和铜的测定	239
(七) 土壤有效铝的测定	243
四、土壤pH和石灰需用率的测定	248
(一) 土壤pH的测定	248
(二) 土壤石灰需用率的测定	252

五、土壤养分状况与树体矿质营养.....	254
(一) 氮	254
(二) 磷	255
(三) 钾	256
(四) 钙	257
(五) 镁	258
(六) 硫	259
(七) 微量元素	261
六、土壤分析的诊断指标	270
(一) 氮的诊断指标	270
(二) 磷的诊断指标	271
(三) 钾的诊断指标	272
(四) 钙的诊断指标	273
(五) 镁的诊断指标	274
(六) 硫的诊断指标	275
(七) 铁的诊断指标	275
(八) 锰的诊断指标	276
(九) 锌的诊断指标	277
(十) 硼的诊断指标	278
(十一) 铜的诊断指标	279
(十二) 钼的诊断指标	280
第六章 田间试验及调查研究方法	282
一、柑桔营养与施肥研究方法概述.....	282
二、田间试验法.....	284
(一) 田间试验的意义和要求	284
(二) 田间试验的设计	285
(三) 田间试验实施要点	294
三、调查研究法.....	297
(一) 调查研究的意义和要求	297
(二) 调查研究的内容和方法	298
(三) 调查资料的整理和总结	303
第七章 合理施肥与营养失调的矫治.....	306
一、柑桔施肥的特点	306

(一) 营养生长期与结果期施肥的特点	306
(二) 保持结果期高产稳产优质的平衡施肥	307
(三) 年生长周期中的适期、适量施肥	307
(四) 根系及地上部生长发育与施肥的关系	307
二、柑桔施肥技术	307
(一) 肥料种类及施肥须注意问题	308
(二) 施肥期	316
(三) 施肥量	321
(四) 施肥法	346
三、营养失调(缺乏和过剩)的矫治	354
(一) 氮素失调的矫治	354
(二) 磷素失调的矫治	355
(三) 钾素失调的矫治	356
(四) 钙素失调的矫治	357
(五) 镁素失调的矫治	358
(六) 硫素失调的矫治	360
(七) 铁素失调的矫治	361
(八) 锰素失调的矫治	362
(九) 锌素失调的矫治	363
(十) 铜素失调的矫治	364
(十一) 钼素失调的矫治	365
(十二) 硼素失调的矫治	365
(十三) 氯素失调的矫治	366
参考文献	368

第一章 绪 论

一、柑桔营养研究和施肥技术的发展

合理施肥是实现柑桔生产现代化，保证高产、稳产、优质、低耗和防止环境污染的极其重要的环节，因此，施肥技术在柑桔栽培总体措施中居相当重要的位置。从本世纪初开始，科学工作者比较注重柑桔营养问题的研究，早期的工作侧重于田间柑桔植株缺素症的鉴别和矫治，以及探讨增加产量的施肥技术。随着科学技术的不断进步，许多柑桔主产国积极开展系统和深入的营养与施肥研究，特别是营养诊断指导施肥方面取得显著的进展，促进了世界柑桔业的迅速发展。鉴于柑桔生产在世界果树栽培业中居首要的地位，而且柑桔植株又是探讨树体营养的最佳试材之一，因此，其营养诊断技术的发展亦相当迅速。

19世纪末，受李比希（Liebig）“矿质营养学说”和“归还学说”的影响，许多园艺学家对果树生长结果与土壤养分状况进行了研究，侧重探讨果树吸收的元素及其数量以及通过施肥补充营养元素的效应。就柑桔营养而言，19世纪60至90年代，Thorpe、Ricciardi、Wolff、Boschi及Oliveri等人，对柑桔树体各部分的矿质成分作了较为全面的分析，为研究柑桔营养奠定初步的基础。20世纪20年代，米采利希（Mitscherlich）“限制因子”和“报酬递减律”的理论，促进了柑桔缺素和过量症的研究，尤其是对柑桔缺素的探讨。除了早期Fowler（1875）首次报道美国佛州柑桔缺铜症、Floyd（1908）发现柑桔黄斑病（缺钼）外，本世纪20至40年代，众多研究工作者对柑桔的营养缺乏症进行了

广泛和具有实际意义的探讨。例如硼 (Hass、Klotz、Morris)、锌 (Kelley、Chapman、McWry)、钙 (Reed、Camp、Bryon、Chapman)、铁 (Camp、Chapman)、镁 (Reed、Parbery)、锰 (Hass、Skinner、Chapman)、钼 (Vanselow)、氮 (Camp、Hass、Foote)、钾 (Reed、Hass、Eckstein)、磷 (Hass)、硫 (Chapman)。

从本世纪10至20年代开始,各国营养工作者着手研究柑桔叶片分析的标准值;进入40年代,特别是60年代之后,柑桔叶片分析的标准值日趋完善。这些诊断标准为矫治缺素或过量,特别是潜在失调,提供了必要的依据。在这个阶段,各国科学工作者根据其生态条件,开展了大量、系统的施肥试验研究工作(包括施肥技术与植株生长、产量、品质的相关性),并直接把柑桔叶片分析(临界值法)应用于矫治营养失调和指导合理施肥,在柑桔生产上取得明显的效益。基于此,许多柑桔主产国积极推行叶片分析的营养诊断技术,使之成为现代柑桔栽培系统技术的重要组成部分。诸如美国加州和佛州建立70多个商业性营养诊断实验室,从事指导柑桔园的合理施肥,据统计约占两州的50—80%柑桔园受益;其它如巴西、日本、西班牙、意大利、澳大利亚等亦广泛应用营养诊断技术于指导施肥。

由于近代分析方法学上发生具有实际意义的改革,分析手段不断更新,从火焰发射、原子吸收、电弧发射、x-射线荧光等方法,发展到现代的等离子发射光谱法。因此,亦有助于柑桔营养诊断技术自动化程度的提高,使得分析快速、准确,在生产上效果极其显著。

随着生物统计学及电子计算机在农业上的应用愈益广泛,它不仅有助于现代柑桔营养研究的深入,而且促进其营养诊断技术水平的迅速提高,尤其是近二十多年来,应用电子计算机处理复杂的诊断数据和影响果树生长结果的各种参数,以制定施肥方案,为诊断的精确性和预测预报开辟了广阔的道路。70年代,以

营养平衡学说为基础的诊断施肥综合法 (DRIS) 应运而生, 此法是基于植物组织内矿质元素含量的平衡, 来诊断养分的正常或失调状况。自1973年Beaufils提出诊断施肥综合法之后, 已在多种作物上采用, 效果甚佳。1984年, 美国Beverly等利用加州伏令夏橙的大量叶片分析和产量数据, 制定出该品种的DRIS诊断标准。这套标准能对柑桔植株的需肥顺序进行诊断, 它比常规的临界值法更为科学和准确, 从而显示出诊断施肥综合法在诊断技术上的优越性。

值得指出, 各国园艺、土肥科学工作者在探明柑桔植株营养特点及规律的同时, 着重柑桔营养诊断和施肥技术开展了广泛的研究。60年代以来的历届国际柑桔会议, 营养与施肥的内容均颇突出。虽然, 迄今尚罕见完整、系统的柑桔营养与施肥专著。然而, 这个时期以后, 国际上的著名柑桔营养学者, 诸如Chapman、Embleton、Jones、Cohen、Kato等, 曾综合大量的试验研究成果, 就“柑桔矿质营养”、“柑桔施肥”、“柑桔叶片分析作为营养诊断指导施肥”、“柑桔氮素的利用和代谢”等专题作过详细的论述, 无疑的, 这些文献对柑桔营养研究具有指导性的作用。Chapman主编的《植物和土壤的诊断标准》一书, 收集了柑桔营养诊断较为详尽的资料和标准; Walsh主编的《土壤检验与植株分析》一书, 阐述了柑桔叶片分析技术。上列经典著作对于柑桔营养诊断技术的应用和发展具有重要的实践价值。

综观世界柑桔营养与施肥研究的进展, 主要包括三个方面。第一, 营养元素在柑桔植株中的生理功能, 植株对养分的吸收、运转、分配和利用, 树体营养变化规律, 土壤、植株元素之间的相互作用, 植株、土壤、肥料之间的营养关系, 以及影响植株营养状况的内在和外界因素。第二, 施肥技术与植株生长、产量和品质的关系, 特别是依据各地果园的生态条件, 提出适合于当地柑桔园的相应施肥方案, 并探明施肥、灌溉、覆盖及其它栽培措施对柑桔生长的效应, 以及施肥技术的改进。第三, 柑桔营养诊

断技术的研究和应用，包括各种诊断途径及技术的探讨，例如形态诊断、土壤诊断、叶片分析（临界值法、诊断施肥综合法）、生物化学诊断以及植物显微化学鉴定法、微生物测定法、示踪原子法等；植株和土壤营养诊断标准的建立；植株营养失调问题的研究及矫治方法的探讨。

我国柑桔营养诊断和施肥技术的研究，早期亦做了一些工作，并积累了经验，但进展较慢；近十多年来则取得明显进步。这个时期，国内有关单位立足于各地生产发展之需，开展了大量的试验研究工作，并积极应用于生产实际；同时，在应用基础的研究上亦取得成果。主要有：探讨柑桔植株的营养特点、规律和机制，以及菌根在营养上的作用；建立某些主栽品种的叶片营养诊断标准，为指导合理施肥提供科学的依据；对柑桔施肥技术进行较长期的定位试验，针对某些地区、品种的特点，提出获取高产优质的有机、无机肥相结合的配方施肥方案；探明生产上出现的营养失调问题，提出有效的矫治措施；探讨红壤柑桔园土壤熟化规律、培肥途径及土壤熟化指标。

根据我国柑桔生产特点和实际情况，今后除继续加强有关的基础性研究工作外，仍应密切结合生产实际，着重开展以下几方面的研究：我国柑桔主要良种的营养诊断标准；叶片分析指导施肥技术及柑桔营养的综合诊断技术（包括叶片分析、土壤诊断及其它辅助诊断技术）；不同生态区主要柑桔品种优质高产的优化施肥技术；我国柑桔主产区的土壤特点及其培肥途径、措施；柑桔复合肥料的研制、应用及效应。

二、柑桔的营养特点

（一）柑桔的矿质成分 柑桔同其它果树一样，其生长结果需要足够的养分供应。柑桔树体必要的营养元素有16种。按矿质元素的需要量，可分为大量（常量）元素（氮、磷、钾、钙、

镁、硫)和微量元素(硼、锌、铁、铜、锰、钼)。这些营养元素在柑桔生理上各有其重要作用,且元素间不能互为代替。

对柑桔树体各部位的矿质元素含量已作过大量的分析。根据Kelley等对伏令夏橙、Barnette等对葡萄柚的报道,其营养器官的大量元素成分见表1-1。

表 1-1 柑桔营养器官的常量元素含量 (综合资料)

植株部位	种、品种	元素含量(%,干重)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
叶片	伏令夏橙	2.04— 2.31	0.16— 0.26	0.71— 2.09	2.15— 5.81	0.26— 0.58	0.33
	葡萄柚	2.41	0.14	2.46	2.21	0.14	—
新梢	伏令夏橙	0.79— 1.00	0.14— 0.18	0.55— 0.95	0.90— 1.58	0.17— 0.36	—
枝条(直径 1.3cm)	葡萄柚	0.67	0.09	0.66	1.72	0.60	—
树干	伏令夏橙	0.40	0.07	0.22	0.51	0.07	0.03
	葡萄柚	0.47	0.05	0.38	1.35	0.07	—
根系	伏令夏橙	0.82	—	0.28	0.70	0.05	0.06
	葡萄柚	0.87	0.13	0.46	1.29	0.07	—

就全株而言, Barnette对19年生马叙葡萄柚植株所进行的解体分析表明, 全树总鲜重538.5kg, 总干重273.2kg, 其中氮2.06kg, 磷(P_2O_5) 0.27kg, 钾(K_2O) 1.92kg, 钙(CaO) 3.33kg, 镁(MgO) 0.22kg。从研究资料可见, 钙、镁在枝、干和粗根中最多, 磷在根中的含量较多; 而氮和磷主要集中在叶和根中, 大根和树干含量较少。根据Chapman的报道, 柑桔植株营养器官各元素占灰分中的比例有明显的差异。在所有营养器官中, 钙的比率最高, 绝大部分器官的钙含量占灰分总量的34%以上; 钾其

次，占7—15%；镁、磷、硫和硅较低，大致占0.6—6.9%；氯的含量最低，占0.25—0.90%。

1962年，Chapman综合了柑桔叶片微量元素含量的资料（表1-2）。

表1-2 柑桔叶片微量元素含量

(Chapman, 1962)

元 素	含量范围 (ppm, 干重)		
	低 量	中 量	高量—过量
铝 (Al)	6.0—20.0	6.0—30.0	40.0—200.0
砷 (As)	<1.0	<1.0	>1.0—116.0
钡 (Ba)	5.0—20.0	5.0—49.0	50.0—250.0
硼 (B)	<15.0—40.0	50.0—200.0	200.0—1679.0
溴 (Br)	—	200.0—1000.0	1000.0—18000.0
铬 (Cr)	痕量—0.2	痕量—0.5	>1.0
钴 (Co)	<0.4	痕量—0.4	>10.0
铜 (Cu)	<4.0—5.0	5.0—15.0	15.0—>20.0
氟 (F)	<1.0—5.0	<1.0—20.0	25.0—365.0
镓 (Ga)	<1.0	<1.0—4.0	5.0—10.0
铟 (In)	<1.0	<1.0	1.0—2.0
铁 (Fe)	<40.0—60.0	60.0—150.0	>150.0
铅 (Pb)	<0.5	<1.0	2.0—20.0
锂 (Li)	<0.5	0.5—0.9	13.5—220.0
锰 (Mn)	5.0—24.0	25.0—100.0	100.0—>1000.0
钼 (Mo)	0.01—0.1	0.1—3.0	4.0—>100.0
镍 (Ni)	<0.5	0.5—1.0	1.0—140.0
银 (Ag)	<0.05	0.1—0.5	>1.0
锶 (Sr)	30.0—90.0	40.0—90.0	200.0—1000.0
锡 (Sn)	<1.0	<1.0—2.0	4.0—12.0
钛 (Ti)	0.3—4.0	—	4.0—20.0
钒 (V)	1.5—3.0	—	—
锌 (Zn)	4.0—24.0	25.0—100.0	110.0—200.0

柑桔树体各部位中的矿质成分受器官年龄的影响；从叶片分析结果来看，明显地呈现出这种规律。Kelley等的报道表明，叶片元素含量与叶龄关系密切（表1-3）。叶片的灰分和钙含量随叶龄的增加而上升，而氮、钾、磷含量却相反。1981—1982年，庄伊美等对蕉柑和椪柑的叶片分析，亦证实了此种趋势（表1-4）。

表 1-3 脐橙不同叶龄叶片的矿质成分
(Kelley等, 1920)

叶 龄	水分 (%)	灰分 (%)	矿质成分 (%，干重)				
			N	P	K	Ca	Mg
1 周	72.31	6.54	3.01	0.36	1.30	1.36	0.26
6 周	70.81	9.20	2.45	0.21	0.85	2.62	0.30
成熟(6月—2年)	60.98	16.95	2.39	0.13	0.96	5.63	0.37
老叶(3年或以上)	60.73	21.39	1.31	0.14	0.36	7.36	0.36

注：除N外的元素，均以氧化物表示。

表 1-4 蕉柑和椪柑不同叶龄叶片矿质成分的变化 (%，干重)
(庄伊美等, 1984)

叶 龄	蕉 柑					椪 柑				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
2 个月	3.02	0.16	1.20	1.84	0.31	2.80	0.16	1.46	1.76	0.29
6 个月	3.21	0.16	0.90	2.61	0.29	2.99	0.14	1.15	2.60	0.29
10个月	2.94	0.15	0.81	3.01	0.24	2.70	0.16	0.96	2.80	0.24

柑桔果实矿质成分与施肥管理的关系密切，许多研究工作者探讨其鲜果中的营养元素含量。1977年，Rodriguez等对9个柑桔品种的果实进行分析，统计出每吨鲜果各元素的含量（表1-5）。我国现有栽培的几个主要品种（或种）果实大量元素的成分见表1-6，其N、P₂O₅、K₂O的比例大致为3：1：5。