第41卷 第2期
2022年 3月

华 中 农 业 大 学 学 报
Journal of Huazhong Agricultural University

Vol.41 No.2
Mar. 2022,9～19

武松伟,梁珊珊,胡承孝,等.我国柑橘园“因土补肥”与化肥减施增效生态分区[J].华中农业大学学报,2022,41(2):9-19.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.02.002

我国柑橘园“因土补肥”与化肥减施增效生态分区

武松伟[1,2],梁珊珊[1,2],胡承孝[1,2],谭启玲[1],张晶[3],董治浩[1,2]

1.园艺植物生物学教育部重点实验室,武汉 430070;
2.华中农业大学新型肥料湖北省工程实验室/微量元素研究中心,武汉 430070;
3.华中农业大学理学院,武汉 430070

摘要 土壤养分始终是柑橘树体养分最直接、最主要的来源,其含量高低直接决定着树体养分积累和储备,是树体营养的基础,土壤养分缺乏必然导致树体养分缺乏。本文研究了柑橘园叶片分析与土壤分析诊断养分丰缺的关系、我国柑橘园土壤及其肥力“缺乏”因子,明确了柑橘钙、镁、硼、锌缺乏与土壤酸化及磷、铁、锰、铜过量是我国柑橘园树体营养的突出问题,提出了叶片-土壤分析联合诊断柑橘园养分丰缺状况以及我国柑橘园“因土补肥”与化肥减施增效生态分区,为我国柑橘绿色低碳施肥和绿色高效生产提供参考依据。

关键词 柑橘; 土壤养分; 土壤分析; 叶片分析; 土壤肥力; 缺乏因子; 因土补肥; 化肥减施; 生态分区

中图分类号 S14; S666 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)02-0009-11

柑橘是我国种植规模与产量最大的果树,尤其是经过近20年的快速发展,我国柑橘种植面积和产量均位居全球之首。我国柑橘栽培区主要分布于广西、湖南、四川、广东、湖北、江西、福建、重庆和浙江等南方省(市、区),此外,云南、贵州等省区也有一定栽培面积[1]。然而,我国柑橘园主产区大多处于不与“粮棉油”争地的山地,立地及土壤条件差,果园土层浅薄、贫瘠、理化性质差。尤其是“3个长期”,即柑橘长期固定在同一位置上、果农长期单一习惯施肥和果实长期按比例带走大量养分,必然导致柑橘园尤其是投产柑橘园土壤供肥能力下降或养分比例不协调,不断诱发营养障碍。当前,我国主产区柑橘氮磷钾肥不平衡、过量施用严重[2],柑橘缺素症多发、易发、并发,导致柑橘树势早衰和果实产量、品质下降。《“十四五”全国种植业发展规划》发布了“主要产业与区域布局”,以及“到2025年,全国柑橘种植面积稳定在286.68万 hm^2,产量稳定在5 500万t,晚熟柑橘(1月及之后上市)产量占比达到35%左右”;引导柑橘区域布局由东南沿海地区向中部和西部地区转移,大力推进柑橘测土配方施肥、有机肥施用等绿色低碳技术,着力构建高品质、多样化和周年均衡供应的生产体系。因此,本文从我国柑橘园叶片样品与土壤养分诊断的关系、土壤及其肥力“缺乏”因子进行分析,提出叶片-土壤分析联合诊断柑橘园养分丰缺状况及我国柑橘园“因土补肥”与化肥减施增效生态分区,旨在为我国柑橘绿色低碳施肥提供参考依据。

1 柑橘园养分丰缺状况诊断

植物生长或产量与其养分含量紧密相关,所以植株及其器官的化学分析常常用于养分丰缺诊断。由于植株营养主要依赖于土壤肥力或土壤养分供应,故土壤分析可以作为一年生作物的养分诊断和施肥推荐;但由于柑橘植株上年度养分储备是当年生长的主要来源,土壤分析不能够反映果树营养状况,故叶片养分含量是果树树体营养状况更为精准的诊断指标,是查明果树养分障碍和调整施肥方案的有用工具之一。综合国内外报道的柑橘树体养分含量及分级标准[3-4],我们提出了叶片养分诊断推荐值:N 2.5%～2.9%,P 0.13%～0.17%,K 1.0%～1.6%,Ca 2.8%～4.5%,Mg 0.28%～0.45%;Fe 60～120 mg/kg,Mn 20～90 mg/kg,Cu 5～15 mg/kg,Zn 25～70 mg/kg,B 30～100 mg/kg,Mo 0.1～1.0 mg/kg。

对我国主产区柑橘园2 374个土壤样品和2 087

收稿日期: 2022-02-26
基金项目:国家现代农业(柑橘)产业技术体系(CARS-26);国家重点研发计划项目(2017YFD0202000)
武松伟,E-mail:wusw@mail.hzau.edu.cn
通信作者: 胡承孝,E-mail:hucx@mail.hzau.edu.cn

个叶片样品进行养分含量分析，并结合土壤和叶片养分分级标准[4-5]，发现叶片Ca、Mg、Zn含量低到缺乏和Mn高至过量的比例高于50%(表1)；土壤养分有效N、Ca、Mg、B含量低到缺乏和Fe、Cu高至过量的比例高于50%(表2)。由此说明，柑橘园叶片养分和土壤养分诊断结果有一致性和不一致性，前者反映树体养分，后者反映土壤养分，只有两者结合才能客观反映柑橘园养分状况，有利于提出针对性的施肥或养分管理推荐方案。较早研究提出将叶分析与土壤分析甚至果汁分析结合起来应用，柑橘叶片K、Ca含量与土壤代换性K、Ca含量以及果汁K、Ca含量之间均呈极显著正相关，柑橘叶Mn含量与土壤有效Mn含量、果汁Mn含量之间呈极显著正相关，而柑橘叶P与土壤速效P含量、柑橘叶Zn与土壤有效Zn含量相关性均不显著[6]。柑橘叶片P、K含量可较好地反映土壤速效P和代换性P含量状况；土壤有效Fe含量与叶片、果汁Fe含量均显著正相关，但叶片Fe含量与果汁Fe含量相关性不显著，果园土壤全N含量增加而柑橘叶片N含量并不一定相应增加，土壤、叶片和果汁间Mg、Mn、Zn含量相关性均不显著[7]，由此说明，单一的营养诊断并不能反映柑橘树体的营养状况，需要将叶片诊断和土壤诊断结合起来进行。朱攀攀等[8]研究发现，整个云南玉溪产区柑橘园土壤与叶片营养元素含量相关性规律不强，测土不能良好反映树体的实际营养状况，需要探索改进测土方法，或结合叶片营养诊断制定施肥方案。唐玉琴等[9]研究认为，测土配方施肥不适宜红壤甜橙园，建议实行以叶片营养诊断为主、土壤诊断为辅的配方施肥策略。

土壤养分始终是植物养分的最直接、最主要的来源，土壤养分缺乏必然导致植物养分缺乏，其含量高低直接决定着植物体内的养分积累和储备，是植物营养的基础。植物养分或者果树叶片养分是植物营养状况的真实反映，也是土壤养分状况的生物反映，由于养分元素间相互作用如Ca和Mg拮抗，以及环境因素如土壤含水率低时即使土壤速效养分含量高植物也无法吸收，所以植物养分缺乏并不一定表示土壤养分缺乏。为了更准确地反映柑橘园养分丰缺状况，我们提出了叶片-土壤分析联合诊断柑橘园养分丰缺。基于我国主产区柑橘园土壤理化和叶片养分分级状况(表1、2)可知，柑橘Ca、Mg、B、Zn缺乏与土壤酸化及P、Fe、Mn、Cu过量是我国柑橘园营养突出问题，但施肥的首要任务要补充土壤“缺乏”即“因土补肥”，指根据土壤速效养分丰缺诊断结果补充缺乏养分的肥料；而树体营养“失调”需要通过补充、减量、改土等措施综合调节。

表1 我国柑橘主产区柑橘叶片养分含量分级状况

Table 1 Classification of nutrient content of citrus leaves in main producing areas of China %

矿质养分 Mineral nutrient	缺乏 Deficiency	偏低 Low range	适量 Optimum range	偏高 High range	过量 Excess range
氮N	18.69	17.20	34.07	11.69	18.35
磷P	2.40	10.92	61.76	23.77	1.15
钾K	12.44	30.88	36.79	14.50	5.40
钙Ca	19.70	34.36	34.47	9.19	2.28
镁Mg	30.18	31.31	33.56	3.55	1.41
铁Fe	4.11	3.50	42.86	23.11	26.42
锰Mn	5.52	6.93	36.37	51.13	0.06
铜Cu	51.75	20.91	26.38	0.96	0.00
锌Zn	10.56	10.22	35.97	9.43	33.82
硼B	9.83	22.68	58.35	8.93	0.21

2 我国柑橘园土壤及其肥力“缺乏”因子

我国柑橘主产区湖南、江西、广东、广西、四川、湖北、重庆、福建、浙江9省(市)27个市(区)2 458个柑橘种植户问卷调查结果[2]显示，仅47.84%的施用有机肥，年平均有机肥N、P、K用量分别占总量的12.86%、12.65%、8.08%，各省柑橘园有机肥投入明显不足；化肥以复合肥为主占95.81%，其中以N-P_2O_5-K_2O为15-15-15、17-17-17和16-16-16的复合肥共占比72.33%，微肥仅占7.47%；高达40.98%的农户采用人工撒施。结果说明，我国柑橘园一方面长期偏施氮磷钾肥且比例不合理，而轻视有机肥、中微量元素肥料；另一方面大多采用浅层施肥，养分易淋失又诱导根层变浅不利于吸收利用深层土壤养分尤其是中微量元素，必然加剧柑橘园土壤养分供应

表 2　我国柑橘主产区柑橘园土壤速效养分、pH 及有机质分级状况

Table 2　Classification of soil available nutrients, pH and organic matter in citrus orchards in main producing areas of China

%

土壤理化性质 Soil properties	甚缺 Extreme deficiency	缺乏 Deficiency	适量 Optimum range	偏高 High range	过量 Excess range
有机质 OM	6.47	10.08	32.07	42.05	9.33
速效氮 Avail-N	16.51	43.29	35.77	4.43	0
速效磷 Avail-P	19.82	19.95	39.48	20.74	0
速效钾 Avail-K	12.75	24.03	35.14	28.08	0
交换性钙 Excha-Ca	16.55	40.96	16.51	6.91	19.07
交换性镁 Excha-Mg	49.89	15.21	14.58	5.91	14.40
有效铁 Avail-Fe	5.37	17.59	7.98	27.38	41.68
有效锰 Avail-Mn	6.35	10.58	35.55	29.30	18.23
有效铜 Avail-Cu	11.45	11.18	16.63	18.21	42.54
有效锌 Avail-Zn	7.83	14.89	51.42	17.09	8.77
速效硼 Avail-B	0	81.02	18.98	0	0
pH	偏酸（<4.8）	酸性适宜（4.8～5.4）	最适（5.5～6.5）	碱性适宜（6.5～8.5）	偏碱（>8.5）
	49.08	22.85	13.07	14.70	0.29

失调。

2.1　四川柑橘园土壤及肥力“缺乏”因子

四川省柑橘园土壤类型主要由朱罗系与第四沉积物母质形成，尤以朱罗系紫色母质形成的紫色土，广泛分布于盆地柑橘产区[10]。四川盆地柑橘园 85% 以上是中性和石灰性紫色土，紫色土一般以物理风化为主，风化浅、结构好，富含 K、Ca，土壤肥力水平高于黄壤，但有机质含量较低，全 Zn 量较高而有效 Zn 含量低[10]。以“四川”“柑橘”“土壤”“养分”“营养”等关键词在中国知网（CNKI）检索文献，得到 4 篇相关文献[11-14]，共涉及到 1 257 个果园土壤样品。通过统计分析发现 pH 值小于 4.8 的果园占 40.9%，有机质缺乏占 42.5%；养分过量的情况比缺乏更严重，如 N、P、K、Ca、Mg、Fe 和 Cu 的过量比例均大于缺乏的比例（表 3）。

2.2　重庆柑橘园土壤及肥力“缺乏”因子

重庆是以丘陵为主体、兼具中低山的地区，成土母质多为紫色砂泥岩和石灰岩，土壤类型主要是紫色土、水稻土、黄壤、红壤、黄棕壤等，其中紫色土分布最广，占 56.7%[15]。以“重庆”“柑橘”“土壤”“养分”等关键词在中国知网（CNKI）检索文献，得到 9 篇相关文献[16-24]，共涉及到 2 528 个果园土壤样品。通过统计分析发现有机质缺乏占 67.6%，养分缺乏较严重的是 N、P、K、Mn、Zn 和 B，而过量较严重的是 Ca、Fe 和 Cu（表 3）。

2.3　湖北柑橘园土壤及肥力“缺乏”因子

湖北柑橘集中分布在鄂西南、鄂西北和鄂东南 3 片。鄂西南土壤类型主要为紫色土、红壤、黄壤、石渣子土、白鳝土、沙土等，肥力一般较差，土壤养分变异较大[25]。鄂西北土壤类型主要是黄棕壤、棕色石灰土、石渣子土，一般土层较厚但肥力较低，黄棕壤质地粘重[25]。鄂东南主要土壤类型为黄壤、红壤、石渣子土及部分暗紫色土，土层较深厚，淋溶较严重[25-26]。以“湖北”“宜昌”“秭归”“丹江口”“柑橘”“土壤”“养分”等关键词在中国知网（CNKI）检索文献，得到相关文献 11 篇[26-36]，共涉及到 2 248 个果园土壤样品。统计分析发现，pH 值小于 4.8 的橘园占 10.2%，有机质缺乏占 47.8%。养分缺乏较严重的是 N、P、K、Ca、Zn 和 B，而过量较严重的是 Fe、Mn 和 Cu（表 3）。

2.4　湖南柑橘园土壤及肥力“缺乏”因子

湖南省红壤占全省土壤总面积的 51.0%，其次是黄壤占 12.6%[37]。以“湖南”“湘南”“湘西”“湘北”“柑橘”“土壤”“养分”等关键词在中国知网（CNKI）检索文献，得到相关文献 9 篇[38-46]，共涉及到 1 441 个果园土壤样品。统计分析发现，pH 值小于 4.8 的橘园占 33.8%，有机质缺乏占 13.6%。养分缺乏较严重的是 N、P、K、Ca、Zn 和 B，而过量较严重的是 Fe、Mn 和 Cu（表 3）。

2.5　江西柑橘园土壤及肥力“缺乏”因子

江西红壤占全省总土地面积 72.8%，普遍酸、瘦、

板、粘,存在着大面积缺硼、缺钼土壤[47]。以"江西""赣南""柑橘""土壤"和"养分"为关键词在中国知网(CNKI)检索文献,得到相关文献9篇[9, 48-55],所涉及的果园土壤样品数量共933个。统计分析发现,pH值小于4.8的橘园占72.1%,有机质缺乏占72.1%。养分缺乏较严重的是P、Ca、Mg和B,而过量较严重的是Fe和Cu(表3)。

2.6 浙江柑橘园土壤及肥力"缺乏"因子

浙江柑橘主产区在金华、衢州、浦江等低穴丘陵,以第三纪衢江红砂岩和第四纪红土砾石层分布最广,衢州常山县尚有中生代火山岩系分布,河床两侧的近代冲积层大部分为细砂、潮土,也是河谷盆地的成土物质,其土壤类型主要包括红壤、潮土、滨海盐土等[56]。以"浙江""台州""柑橘""土壤"和"养分"等为关键词在中国知网(CNKI)检索文献,得到相关文献9篇[57-65],共涉及到892个果园土壤样品。统计分析发现,pH值小于4.8的柑橘园占43.8%,有机质缺乏占20.0%。养分缺乏较严重的是Ca、Mg和B,而过量较严重的是P、Fe、Mn和Cu(表3)。

2.7 福建柑橘园土壤及肥力"缺乏"因子

福建90%以上面积的柑橘园土地类型是丘陵山地红壤,分布在海拔400~1 000 m的丘陵、山地,赤红壤主要分布在海拔400 m以下的丘陵、台地[66]。以"福建""平和""柑橘""土壤"和"养分"等为关键词在中国知网(CNKI)检索文献,得到相关文献12篇,共涉及到10 512个果园土壤样品[67-78]。统计分析发现,pH小于4.8的柑橘园占78.9%,有机质缺乏占8.1%。养分含量缺乏较严重的是Ca、Mg、B和Mo,而过量较严重的是P、Fe和Mn(表3)。

2.8 广东柑橘园土壤及肥力"缺乏"因子

广东以山地面积最广、丘陵次之,土壤类型包括红壤、黄壤、赤红壤、水稻土和砖红壤,红壤是广东分布最广的土壤类型,普遍酸性强、有机质少和有效氮、磷、钙、镁较少等;黄壤土质贫瘠、土色较浅、结构紧密[79]。以"广东""柑橘""砂糖橘""土壤"和"养分"等为关键词在中国知网(CNKI)检索文献,得到相关文献9篇[80-88],共涉及到335个果园土壤样品。统计分析发现,pH值小于4.8的柑橘园占64.2%,有机质缺乏占42.3%。养分缺乏较严重的是N、K、Ca、Mg、B和Mo,而过量较严重的是P、Fe和Cu(表3)。

2.9 广西柑橘园土壤及肥力"缺乏"因子

广西柑橘栽培分布于14个地级市,集中于桂林、南宁、柳州,柑橘产量占全区柑橘产量的59.97%[89]。以北纬24°线为界,将广西划分成南、北地带,北部为中亚热带常绿阔叶季风林红壤带,以山地红壤为主,土壤有机质较多、盐基迁移量较大;南部为南亚热带常绿阔叶季雨林砖红壤性红壤(赤红壤)带,多分布于低丘平地,土壤富铝化、脱硅量和盐基迁移量均较红壤强,土壤有机质累积则比红壤少[90]。以"广西""桂林""柑橘""土壤"和"养分"等为关键词在中国知网(CNKI)检索文献,得到相关文献9篇[91-99],共涉及到719个果园土壤样品。统计分析发现,pH小于4.8的柑橘园占44.1%,有机质缺乏占22.8%。养分缺乏较严重的是K、Ca、Mg、Cu、Zn和B,而过量较严重的是Fe和Mn(表3)。

2.10 云南柑橘园土壤及肥力"缺乏"因子

云南省柑橘种植区主要分布在红河、玉溪,占全省柑橘种植面积的45%,以特早熟蜜桔、冰糖橙和甜橙为主;曲靖、昭通、文山、德宏、普洱占全省柑橘种植面积的35%,以中晚熟和晚熟的橙、柑、柚为主,德宏以柠檬为主,初步形成了7月中旬到翌年3月均有柑橘上市的生产格局[100]。自南向北,云南土壤水平分布依次是砖红壤、砖红壤性红壤、红壤与黄壤[101]。以"云南""玉溪""柑橘""土壤"和"养分"等为关键词在中国知网(CNKI)检索文献,得到相关文献2篇[8, 102],共涉及202个柑橘果园土壤样品。统计分析发现,云南柑橘园肥力较其他产区肥力高,所涉及到的缺乏因子较少,主要是缺N占78.2%和缺B占66.3%,但养分过量的指标较多如K、Ca、Fe、Mn和Cu(表3)。

3 我国柑橘园"因土补肥"与化肥减施增效生态分区

3.1 柑橘园"因土补肥"

2009年,我们采样分析了7省市10个试验站10~15个定点柑橘园土壤13个肥力常规指标数据。参考柑橘园土壤肥力评价指标适宜范围的下限值为标准[5]即:pH 6.0、有机质(OM)15 g/kg、速效养分含量值(mg/kg)依次为N 100、P 15、K 100、Ca 1 000、Mg 150、Fe 10、Mn 5、Cu 0.5、Zn 1.0、B 0.5、Mo 0.1,对各指标测定值作标准化处理,即平均标准化值为各试验站柑橘园土壤肥力指标测定平均值与标准值的比值。为了评价各试验点土壤肥力状况,我们提出了肥力的"整体富裕度"和"综合平衡值"2个概念。"整体富裕度"用于评价不同试验点某个土壤肥力指标状况,指土壤肥力指标标准化值之和与试验点个

表3　我国柑橘主产区柑橘园土壤肥力“缺乏”因子

Table 3　Factors of soil fertility deficiency of citrus orchards in main producing areas of China　　%

产区 Producing area	土壤理化 Soil properties	碱解氮 N	速效磷 P	速效钾 K	交换性钙 Ca	交换性镁 Mg	有效铁 Fe	有效锰 Mn	有效铜 Cu	有效锌 Zn	有效硼 B	有效钼 Mo	pH<4.8	有机质 OM
四川 Sichuan	偏低 Low range	20.7	38.6	27.0	22.3	31.7	34.4	12.9	0.0	36.7	100.0	—	40.9	42.5
	偏高 High range	23.0	47.8	41.1	60.4	64.5	61.2	0.0	82.8	23.0	0.0	—	—	—
重庆 Chongqing	偏低 Low range	80.6	50.5	45.4	9.4	25.2	27.1	48.4	28.0	46.9	85.8	—	8.7	67.6
	偏高 High range	3.3	4.0	19.0	57.8	38.0	57.1	30.6	44.5	6.0	0.1	—	—	—
湖北 Hubei	偏低 Low range	68.8	42.3	42.7	40.1	29.4	17.0	10.9	20.2	42.6	73.7	28.8	10.3	47.8
	偏高 High range	2.6	10.1	19.4	29.1	27.6	55.0	55.3	40.1	3.8	19.3	19.6	—	—
湖南 Hunan	偏低 Low range	47.4	43.8	42.0	36.6	50.2	4.1	4.9	27.2	16.4	87.0	14.6	33.8	13.6
	偏高 High range	10.8	22.7	22.5	16.3	5.6	74.9	54.1	44.5	11.2	0.0	1.9	—	—
江西 Jiangxi	偏低 Low range	38.6	50.1	38.8	88.8	70.9	19.9	15.3	30.9	27.6	63.5	68.4	38.0	72.1
	偏高 High range	21.8	29.0	34.6	2.4	6.5	54.9	24.8	50.1	29.6	10.7	8.7	—	—
浙江 Zhejiang	偏低 Low range	30.7	15.6	21.2	66.3	69.7	1.4	12.0	4.1	8.0	63.2	—	43.8	20.0
	偏高 High range	19.5	62.4	36.3	13.1	14.7	93.0	52.2	67.7	35.3	10.6	—	—	—
福建 Fujian	偏低 Low range	35.9	24.6	34.2	84.7	77.8	10.0	36.3	22.6	33.4	84.9	68.5	78.9	8.1
	偏高 High range	23.7	63.2	33.7	1.6	5.5	53.8	40.3	32.0	28.6	2.8	0.0	—	—
广东 Guangdong	偏低 Low range	57.0	13.0	46.3	78.2	96.1	0.0	20.9	15.1	30.0	63.9	0.0	64.2	42.3
	偏高 High range	9.5	57.2	24.0	6.2	0.6	79.1	30.0	63.9	14.1	6.0	27.3	—	—
广西 Guangxi	偏低 Low range	36.8	24.3	46.0	43.4	82.2	10.1	16.7	64.7	67.6	84.8	—	44.1	22.8
	偏高 High range	7.2	23.8	27.3	29.7	3.9	56.8	44.3	12.3	13.2	2.0	—	—	—
云南 Yunnan	偏低 Low range	78.2	31.7	5.9	22.8	35.6	24.8	2.0	3.0	11.9	66.3	—	5.0	28.7
	偏高 High range	1.0	18.8	64.4	51.5	33.7	44.6	56.4	83.2	30.7	5.9	—	—	—

注：表中数据均来源于已发表文献。偏低/高比例的计算方法：根据每篇文献中某个元素的缺乏/过量比例（元素缺乏/过量的样本占比）计算元素缺乏/过量的样本数，各篇文献中元素缺乏/过量的样本数之和再除以所有文献的总样本数。“—”指文献中未报道相关数据。Note：The data in the table are all obtained from the published literature.Low/high ratio calculation method：According to the number of samples of element deficiency/excess in each literature，the number of element deficiency/excess in each literature is divided by the total number of samples in all literature.“—” indicates that therelevant datas were not reported in cited literature.

数的比值，比值小于1的程度越大表示整体越缺乏，而高于1的程度越大表示整体越富裕；“综合平衡值”表示土壤肥力的总体平衡状况，指同一柑橘园或区域柑橘园土壤各肥力指标标准化值减去1后的绝对值之和，值越大表示越远离平衡。结果表明，7省市10个试验站定点柑橘园土壤肥力指标富裕度由低到高依次为：N 0.70、B 0.77、OM 0.82、Mg 0.84、pH 0.89、Ca 1.0、K 1.7、Mo 1.9、P 2.7、Fe 4.4、Mn 4.4、Cu 6.4和Zn 8.4，由此说明柑橘园最主要的土壤“缺乏”因子为N、B、OM、Mg，这与柑橘园土壤肥力“缺乏”因子的文献分析结果基本一致（表3）；有效Fe、Mn、Cu、Zn过于富裕，其负面效应值得关注。7省市10个试验站柑橘园土壤肥力指标综合平衡值由低到高依次为：湖北丹江口柑橘北缘综合试验站6、陕西城固柑橘综合试验站8、湖南郴州湘南脐橙综合试验站18、江西南丰蜜桔综合试验站20、重庆三峡库区甜橙综合试验站和湖南吉首湘西椪柑综合试验站均为25、湖北秭归三峡库区脐橙试验站28、福建永春芦柑综合试验站36、广东梅州沙田柚综合试验站45、江西赣南脐橙综合试验站47，由北或西北向南或东南柑橘园土壤肥力综合平衡值越大，即偏离平衡越远、丰缺矛盾越大。因此，我国柑橘园土壤肥力各指标间丰缺程度差异很大，各产区柑橘园土壤肥力及指标间的平衡状况差异也很大，说明“因土补肥”既紧迫又重要。

3.2　我国柑橘园生态分区及其对策

为应对我国柑橘园土壤生态环境的变化，综合笔者所在课题组对全国柑橘园施肥问卷调查的结果[2]和我国柑橘园土壤肥力“缺乏”因子的分析结果（表3），我们提出了我国柑橘园化肥减施增效的生态分区，并根据各生态区果园施肥及肥力特征提出了减施增效的对策（表4）。

一是生态保育区强调绿色，重点是四川、重庆及湖北紫色土柑橘园秭归等生态敏感区，肥料用量相

表4 我国柑橘主产区柑橘园生态分区

Table 4 Ecological region division in citrus orchard of China

生态分区 Ecological region division	产区 Producing area	NPK	ENPK	土壤类型 Soil type	肥力"缺乏"因子 Deficient factors	肥力"过量"因子 Excessive factors
生态保育区 Ecological conservation	湖北 Hubei	24.1	9.68	紫色土、黄壤、黄棕壤 Red soil, yellow soil, yellow brown soil	N、B、Zn、OM	Fe、Mn
	四川 Sichuan	43.9	0.45	紫色土 Purple soil	Zn、B	Ca、Mg、Fe、Cu
	重庆 Chongqing	45.1	9.52	紫色土 Purple soil	N、B、Zn	Ca、Fe、Cu
生态保养区 Ecological maintenance	湖南 Hunan	31.2	11.00	红壤、黄壤 Red soil, yellow soil	N、P、Mg、B、酸 Acid、OM	Fe、Mn、Cu
	江西 Jiangxi	43.4	15.20	红壤 Red soil	P、Ca、Mg、B、Mo、酸 Acid、OM	Fe、Cu
生态保护区 Ecological protection	福建 Fujian	71.3	25.90	红壤 Red soil	Ca、Mg、B、Mo、酸 Acid	P、Fe、Mn、Cu
	广西 Guangxi	52.1	26.80	红壤、赤红壤 Red soil, lateritic red soil	Mg、Zn、B、酸 Acid	Fe、Mn
	云南 Yunnan	—	—	砖红壤、红壤 Latosol, red soil	N、Mg、B	K、Fe、Mn、Cu
生态保值区 Ecological preservation	广东 Guangdong	41.5	10.8	红壤、赤红壤 Red soil, lateritic red soil	N、K、Ca、Mg、B、酸 Acid、OM	P、Fe、Cu
	浙江 Zhejiang	26.9	4.84	红壤、潮土、滨海盐土 Red soil, tidal soil, coastal salt soil	Ca、Mg、B、酸 Acid	P、Fe、Mn、Cu

注 Note：NPK，每吨果实的氮磷钾用量 NPK Application amount per ton fruit(kg/t)；ENPK，氮磷钾过量施用量 Excessive NPK application amount (10^4 t)；"—"表示未进行相关数据的调查"—" indicates that the relevant datas were not collected in cited literature.

对较少，要确保生态尤其是水生态安全，NPK要适宜减量与调比，重在"因土补缺"和有机肥尤其是种植绿肥替代化肥减量。

二是生态保养区强调配套，重点是黄壤、黄棕壤及江西、湖南红壤等亚热带丘陵生态涵养区，肥料用量居中，要维护生态协调，同时要加大NPK减量、调比和"因土补缺""降酸"及有机肥尤其是作物秸秆替代化肥减量。

三是生态保护区强调减控，重点是福建、广西以及云南山地红壤、赤红壤等热带、亚热带季雨区，已成为农资集聚区，肥料施用过量严重，要保护生态环境，既要加强NPK减量、调比、控污，又要加强"因土补缺""降酸"和多种有机肥替代化肥减量。

四是生态保值区强调精准，重点是浙江、广东红壤、潮土、盐土等柑橘产区，土壤障碍多、高值肥料投入多，要提升生态功能，既要注重NPK精准减量、调比，更要注重精准"因土补缺""降酸"和培肥地力，为高品质、高效益提供保障。

总之，柑橘园"因土补肥"，既针对单个柑橘园土壤，也针对区域性柑橘园土壤，可以实现宏、微观的指导。化肥减施增效生态分区对指导我国柑橘绿色低碳施肥和高效生产具有重要意义，同时可为进一步制定精准的柑橘园生态区划奠定基础。

参考文献 References

[1] 邓秀新，王力荣，李绍华，等.果树育种40年回顾与展望[J].果树学报，2019，36(4)：514-520.DENG X X，WANG L R，LI S H，et al.Retrospection and prospect of fruit breeding for last four decades in China[J].Journal of fruit science，2019，36(4)：514-520(in Chinese with English abstract).

[2] 雷靖，梁珊珊，谭启玲，等.我国柑橘氮磷钾肥用量及减施潜力[J].植物营养与肥料学报，2019，25(9)：1504-1513.LEI J，LIANG S S，TAN Q L，et al.NPK fertilization rates and reducing potential in the main citrus producing regions of China[J].Journal of plant nutrition and fertilizers，2019，25(9)：1504-1513(in Chinese with English abstract).

[3] SRIVASTAVA A K，HU C X. Fruit crops：diagnosis and management of nutrient constraints[M]. Amsterdam：Elsevier，2020.

[4] 尹恒，刘淙，王露，等.四川广安柑橘叶片养分丰缺与果实品质分析[J].中国果树，2021(6)：50-54.YIN H，LIU C，WANG L，et al.Analysis of nutrient abundance and deficiency in leaves and fruit quality of citrus in Guang'an，Sichuan Province[J].China fruits，2021(6)：50-54(in Chinese).

[5] 鲁剑巍，陈防，王富华，等.湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J].植物营养与肥料学报，2002，8(4)：390-394.LU J W，CHEN F，WANG F H，et al.Study of classification of the soil nutrient status of citrus orchard in Hubei Province[J]. Plant nutrition and fertilizing science，2002，8(4)：390-394(in Chinese with English abstract).

[6] 程湘东，黄秋林，成映波，等.叶分析、土壤分析和果汁分析用于柑桔营养诊断的相关性研究[J].中国柑桔，1992，21(4)：3-6.CHENG X D，HUANG Q L，CHENG Y B，et al.Correlations of leaf，soil and juice analyses used for citrus nutrition diagnosis[J].China citrus，1992，21(4)：3-6(in Chinese with English abstract).

[7] 程昌凤，廖聪学，吴纯清，等．柑橘果园土壤、叶片和果汁矿质营养元素含量相关性研究[C]//中国农学会．中国青年农业科学学术年报．北京：中国农业出版社，2004：202-205. CHENG C F，LIAO C X，WU C Q，et al. Study on the correlation of mineral nutrient elements in soil，leaves and fruit juice of citrus orchard[C]//Chinese Society of Agriculture. Annual report of Chinese youth agricultural science. Beijing：China Agricultural Press，2004：202-205(in Chinese).

[8] 朱攀攀，李有芳，邱洁雅，等．云南玉溪柑橘园土壤养分水平和叶片营养状况相关性分析[J]．果树学报，2019，36(12)：1658-1666.ZHU P P，LI Y F，QIU J Y，et al.Correlation between soil and leaf nutrient element contents in citrus orchards of Yuxi City，Yunnan Province[J].Journal of fruit science，2019，36(12)：1658-1666(in Chinese with English abstract).

[9] 唐玉琴，彭良志，淳长品，等．红壤甜橙园土壤和叶片营养元素相关性分析[J]．园艺学报，2013，40(4)：623-632.TANG Y Q，PENG L Z，CHUN C P，et al.Correlation analysis on nutrient element contents in orchard soils and sweet orange leaves in southern Jiangxi Province of China[J].Acta horticulturae sinica，2013，40(4)：623-632(in Chinese with English abstract).

[10] 周学伍，谭大秀，唐时嘉，等．四川柑桔果园施肥与营养问题调查的初步研究[J]．四川果树科技，1984(2)：6-12，5.ZHOU X W，TAN D X，TANG S J，et al.A preliminary study on fertilization and nutrition in citrus orchards in Sichuan[J].Sichuan fruit science and technology，1984(2)：6-12，5(in Chinese).

[11] 王杰，张春燕，卢加文，等．广安区柑橘土壤养分状况及综合肥力评价[J]．土壤通报，2021，52(6)：1360-1367. WANG J，ZHANG C Y，LU J W，et al.Nutrient status and comprehensive fertility evaluation of the citrus soil in Guang'an district[J].Chinese journal of soil science，2021，52(6)：1360-1367(in Chinese with English abstract).

[12] 周上铃．柠檬园土壤养分、叶片营养与果实品质的相关性研究[D]．重庆：西南大学，2021.ZHOU S L.Study on the correlation analysis of soil and leaf mineral nutrients with fruit quality of lemon[D].Chongqing：Southwest University，2021(in Chinese with English abstract).

[13] 何玉亭，李浩，谢丽红，等．成都市柑橘主要产区土壤pH和碳氮含量现状与适宜性评价[J]．四川农业科技，2020(7)：44-46.HE Y T，LI H，XIE L H，et al.Current situation and suitability evaluation of soil pH，carbon and nitrogen content in main citrus producing areas in Chengdu[J]. Sichuan agricultural science and technology，2020(7)：44-46(in Chinese).

[14] 张森．四川梓潼县蜜柚肥料施用现状及其提质增效配方施肥方案研发[D]．雅安：四川农业大学，2019.ZHANG S.Study on fertilization and optimization of qualityand efficiency improvement of pummelo (*Citrus grandis*) in Zitong County，Sichuan Province[D]. Ya'an：Sichuan Agricultural University，2019(in Chinese with English abstract).

[15] 凌辉．重庆市柑橘果园生产环境研究[D]．重庆：西南大学，2008.LING H.The research of citrus orchard production environment in Chongqing[D].Chongqing：Southwest University，2008(in Chinese with English abstract).

[16] 王彤，朱攀攀，习建龙，等．重庆柑橘园土壤微量营养元素养分状况分析[J]．果树学报，2018，35(12)：1478-1486.WANG T，ZHU P P，XI J L，et al.A study on nutrient status of microelements in soils of citrus orchards in Chongqing[J].Journal of fruit science，2018，35(12)：1478-1486(in Chinese with English abstract).

[17] 苏婷婷，周鑫斌，徐墨赤，等．重庆市柑橘园土壤养分现状研究[J]．土壤，2017，49(5)：897-902.SU T T，ZHOU X B，XU M C，et al. Study on nutrient status of citrus orchard soil in Chongqing[J]. Soils，2017，49(5)：897-902(in Chinese with English abstract).

[18] 唐平，叶荣生，商要凤，等．重庆三峡库区柑橘园土壤酸碱度及有效氮磷钾的含量特征[J]．贵州农业科学，2016，44(3)：96-98，105.TANG P，YE R S，SHANG Y F，et al.Characteristics of soil pH and available NPK contents of citrus orchards in Chongqing Sanxia reservoir area[J].Guizhou agricultural sciences，2016，44(3)：96-98，105(in Chinese with English abstract).

[19] 周薇，彭良志，淳长品，等．重庆三峡库区柑橘硼营养状况及其影响因子[J]．应用生态学报，2014，25(4)：991-996.ZHOU W，PENG L Z，CHUN C P，et al.Citrus boron nutrient level and its impact factors in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing，China[J].Chinese journal of applied ecology，2014，25(4)：991-996(in Chinese with English abstract).

[20] 邢飞，付行政，彭良志，等．重庆三峡库区柑橘叶片锌营养状况及其影响因子分析[J]．果树学报，2014，31(4)：602-609.XING F，FU X Z，PENG L Z，et al.Citrus leaf zinc nutrient level and its impact factors in the Three Gorgesarea of Chongqing[J].Journal of fruit science，2014，31(4)：602-609(in Chinese with English abstract).

[21] 王秀英．重庆地区柑橘园土壤养分现状及优化施肥研究[D]．重庆：西南大学，2011.WANG X Y.Study on soil nutrient status of citrus orchards and optimization fertilization in Chongqing area[D]. Chongqing：Southwest University，2011(in Chinese with English abstract).

[22] 周鑫斌，石孝均，孙彭寿，等．三峡重庆库区柑橘园土壤养分丰缺状况研究[J]．植物营养与肥料学报，2010，16(4)：817-823. ZHOU X B，SHI X J，SUN P S，et al.Status of soil fertility in citrus orchards of Chongqing Sanxia Reservoir Area[J].Plant nutrition and fertilizer science，2010，16(4)：817-823(in Chinese with English abstract).

[23] 冯洋，李伟，武伟．重庆市新建柑橘园土壤养分现状研究[J]．现代农业科技，2010(24)：292-293，296.FENG Y，LI W，WU W. Study on soil nutrient status of newly built citrus orchard in Chongqing[J].Modern agricultural sciences and technology，2010(24)：292-293，296(in Chinese with English abstract).

[24] 淳长品，彭良志，江才伦，等．三峡库区部分柑桔园土壤营养状况的初步研究[J]．中国南方果树，2009，38(2)：1-6.CHUN C P，PENG L Z，JIANG C L，et al.Preliminary study on soil nutrient status of some citrus orchards in Three Gorges reservoir district[J]. South China fruits，2009，38(2)：1-6(in Chinese with English abstract).

[25] 沈兆敏．中国柑桔区划与柑桔良种[M]．北京：中国农业科技出版社，1988.SHEN Z M.Chinese citrus division and citrus varieties[M].China Agricultural Science and Technology Press，1988(in Chinese).

[26] 鲁剑巍．湖北省柑橘园土壤—植物养分状况与柑橘平衡施肥技术研究[D]．武汉：华中农业大学，2003.LU J W.Study on soil and plant nutrition status and balanced fertilization techniques of the citrus orchards in Hubei[D].Wuhan：Huazhong Agricultural University，2003(in Chinese with English abstract).

[27] 李俊杰，张绩，万连杰，等．秭归‘纽荷尔’脐橙养分水平与果实品质相关性分析[J/OL]．中国土壤与肥料，2021：1-12[2022-02-26]. https://kns. cnki. net/kcms/detail/11.5498. S.20210628.1614.002.html.LI J J，ZHANG J，WAN L J，et al. Correlation analysis between nutrition level and fruit quality of Zigui 'Newhall' navel orange[J/OL]. Soil and fertilizer sciences in China，2021：1-12[2022-02-26].https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20210628.1614.002.html(in Chinese with English abstract).

[28] 何利刚,吴黎明,蒋迎春,等.湖北省主要产区柑橘园土壤、叶片及果实矿质营养现状调查与分析[J].湖北农业科学,2020,59(24):135-140.HE L G,WU L M,JIANG Y C,et al.Investigation and preliminary analysis on nutritional factors of soil,leaf and fruit in citrus orchards in Hubei Province[J].Hubei agricultural sciences,2020,59(24):135-140(in Chinese with English abstract).

[29] 刘东海,乔艳,谢和平,等.夷陵区柑橘园土壤和叶片养分状况研究[J].中国土壤与肥料,2020(5):237-242.LIU D H,QIAO Y,XIE H P,et al.Study on nutrient status of citrus orchard soils and leaves in Yiling[J].Soil and fertilizer sciences in China,2020(5):237-242(in Chinese with English abstract).

[30] 刘东海,郑守会,陈云峰,等.丹江口柑橘园土壤和叶片营养状况调查分析[J].中国土壤与肥料,2020(4):95-100.LIU D H,ZHENG S H,CHEN Y F,et al.Studies on nutrient contents of citrus orchard soils and leaves in Danjiangkou[J].Soil and fertilizer sciences in China,2020(4):95-100(in Chinese with English abstract).

[31] 韩庆忠,张光国,周玉枝,等.秭归柑橘园土壤现状分析及管理对策[J].中国农技推广,2020,36(4):60-61.HAN Q Z,ZHANG G G,ZHOU Y Z,et al.Present situation analysis and management countermeasures of soil in Zigui citrus orchard[J].China agricultural technology extension,2020,36(4):60-61(in Chinese).

[32] 陶梦铭,应虹,孙强,等.湖北与湖南柑橘园土壤及树体养分状况[J].湖北农业科学,2016,55(13):3289-3292,3297.TAO M M,YING H,SUN Q,et al.Soil and plant nutrient status of citrus orchard in Hubei and Hunan Province[J].Hubei agricultural sciences,2016,55(13):3289-3292,3297(in Chinese with English abstract).

[33] 杨青,刘云,黎纯斌,等.宜昌市柑橘园土壤肥力调查研究[J].中国园艺文摘,2013,29(5):7-10,224.YANG Q,LIU Y,LI C B,et al.Yichang citrus orchard soil fertility survey[J].Chinese horticulture abstracts,2013,29(5):7-10,224(in Chinese with English abstract).

[34] 刘云,黎纯斌,杨青,等.宜昌市窑湾乡柑橘园施肥现状及土壤肥力调查研究[J].现代农业科技,2012(6):286-287,292.LIU Y,LI C B,YANG Q,et al.Investigation on fertilization and soil fertility of citrus orchards in yaowan township of Yichang City[J].Modern agricultural science and technology,2012(6):286-287,292(in Chinese with English abstract).

[35] 向长海,杜江,吴述勇,等.湖北秭归桃叶橙果园土壤养分评价分析[J].中国果树,2010(6):18-22.XIANG C H,DU J,WU S Y,et al.Evaluation and analysis on soil nutrient of Taoyecheng orange orchard in Zigui,Hubei Province[J].China fruits,2010(6):18-22(in Chinese).

[36] 韩庆忠,夏立忠,向琳,等.三峡库区脐橙园土壤养分、酸度变化特征与施肥管理对策:以秭归县水田坝乡为例[J].土壤,2008,40(4):602-607.HAN Q Z,XIA L Z,XIANG L,et al.Characteristics of soil nutrients and acidity and fertilization management of hillside orange gardens in Three Gorges region: a case study of shuitianba town,Zigui City[J].Soils,2008,40(4):602-607(in Chinese with English abstract).

[37] 张杨珠,周清,黄运湘,等.湖南土壤分类的研究概况与展望[J].湖南农业科学,2014(9):31-34,38.ZHANG Y Z,ZHOU Q,HUANG Y X,et al.General situations and prospects of soil classification in Hunan Province[J].Hunan agricultural sciences,2014(9):31-34,38(in Chinese with English abstract).

[38] 曹胜,周卫军,刘沛,等.冰糖橙果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J].土壤,2021,53(1):97-104.CAO S,ZHOU W J,LIU P,et al.Multivariate analysis and optimization of relationship between soil nutrients and fruit quality in *C.sinensis* (L.) osbeck orchard[J].Soils,2021,53(1):97-104(in Chinese with English abstract).

[39] 黄兰,周卫军,崔浩杰,等.湖南柑橘土壤中微量养分特征及施肥对策[J].土壤,2020,52(2):287-293.HUANG L,ZHOU W J,CUI H J,et al.Distribution characteristics of soil medium and micro nutrients in citrus orchards in Hunan and suitable fertilization strategies[J].Soils,2020,52(2):287-293(in Chinese with English abstract).

[40] 韩健,赵宜波,李先信,等.湖南省宽皮柑橘主产区土壤及柑橘叶片和果实营养元素状况分析[J].南方农业学报,2020,51(11):2747-2756.HAN J,ZHAO Y B,LI X X,et al.Status of soil,leaves and fruit nutrient elements of mandarins in Hunan main mandarin production areas[J]. Journal of southern agriculture,2020,51(11):2747-2756(in Chinese with English abstract).

[41] 唐志文,蒋雅琴,谭善凯,等.新宁县脐橙园土壤养分特征及其培肥改良对策[J].湖南农业科学,2020(7):41-46.TANG Z W,JIANG Y Q,TAN S K,et al.Soil nutrient characteristics of navel orange orchards in Xinning County and countermeasures of improving fertility[J].Hunan agricultural sciences,2020(7):41-46(in Chinese with English abstract).

[42] 曹胜,欧阳梦云,周卫军,等.湖南省柑橘园土壤pH和主要养分特征及其相互关系[J].中国土壤与肥料,2020(1):31-38.CAO S,OUYANG M Y,ZHOU W J,et al.Soil pH and main nutrient characteristics of citrus orchards and their correlation in Hunan Province[J].Soil and fertilizer sciences in China,2020(1):31-38(in Chinese with English abstract).

[43] 曹胜,欧阳梦云,周卫军,等.湖南省柑橘园土壤营养状况及其对叶片养分的影响[J].土壤,2019,51(4):665-671.CAO S,OUYANG M Y,ZHOU W J,et al.Soil nutrient status of citrus orchard and its effects on nutrients in citrus leaf in Hunan Province[J].Soils,2019,51(4):665-671(in Chinese with English abstract).

[44] 赵宜波.湖南省柑橘树体及土壤养分状况分析与改良[D].长沙:湖南农业大学,2019.ZHAO Y B.*Citrus* tree and soil nutrient analysis and improvement in Hunan Province[D].Changsha:Hunan Agricultural University,2019(in Chinese with English abstract).

[45] 马小川,卢晓鹏,张子木,等.湖南省不同纬度温州蜜柑园土壤和叶片营养及果实品质分析[J].果树学报,2018,35(4):423-432.MA X C,LU X P,ZHANG Z M,et al.Analyses of the soil and tree nutrition and fruit quality of *Satsuma* mandarin in orchards at different latitudes in Hunan Province[J].Journal of fruit science,2018,35(4):423-432(in Chinese with English abstract).

[46] 周奕廷,周卫军,黄兰,等.永兴县冰糖橙土壤养分丰缺状况及施肥建议[J].湖南农业科学,2018(8):32-36.ZHOU Y T,ZHOU W J,HUANG L,et al.Soil nutrient abundance and deficiency of Bingtang orange orchard and fertilizer recommendation in Yongxing[J].Hunan agricultural sciences,2018(8):32-36(in Chinese with English abstract).

[47] 魏向文,温永煌,翁善兰,等.江西土壤微量元素含量水平与微肥效应[J].土壤肥料,1986(1):23-27,18.WEI X W,WEN Y H,WENG S L,et al.Content level of soil trace elements and effect of micro fertilizer in Jiangxi Province[J].Soils and fertilizers,1986(1):23-27,18(in Chinese).

[48] 余璇,文婷,马青龄,等.金沙柚果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析[J].江西农业大学学报,2021,43(1):70-81.YU X,WEN T,MA Q L,et al.Correlation between fruit quality and mineral nutrients in soil,leaf and fruit of 'Jinsha' pomelo[J].Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,2021,43(1):70-81(in Chinese with English abstract).

[49] 文婷，杨莉，刘德春，等．遂川金柑果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析[J]．江西农业大学学报，2021，43(5)：983-995.WEN T，YANG L，LIU D C，et al.Correlation analysis of the fruit quality of Suichuan kumquat and mineral nutrients in soil，leaf and fruit[J].Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis，2021，43(5)：983-995(in Chinese with English abstract).

[50] 谢凯柳，商庆银，王小慧，等．赣南脐橙园种植区和背景区不同土层养分丰缺状况[J]．果树学报，2021，38(9)：1503-1514.XIE K L，SHANG Q Y，WANG X H，et al.Analysis and evaluation of nutrient contents ofdifferent layers of virginal and cultivated soils in navel orange orchards of Southern Jiangxi Province[J].Journal of fruit science，2021，38(9)：1503-1514(in Chinese with English abstract).

[51] 吴强建，肖委明，赵晓东，等．江西井冈蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征[J]．农业资源与环境学报，2021：1-11. WU Q J，XIAO W M，ZHAO X D，et al. Status，spatial distribution，and fertility of soil in pomelo orchards in Jinggang，Jiangxi Province[J]. Journal of agricultural resources and environment，2021：1-11(in Chinese with English abstract).

[52] 孙永明，黄欠如，叶川，等．江西寻乌脐橙果园土壤养分变化特征研究[J]．中国南方果树，2014，43(4)：60-64.SUN Y M，HUANG Q R，YE C，et al.Study on soil nutrient variation characteristics of navel orange orchard in Xunwu of Jiangxi Province[J].South China fruits，2014，43(4)：60-64(in Chinese).

[53] 刘秀红．南丰和衢州柑橘园土壤与树体营养状况的分析[D]．武汉：华中农业大学，2014.LIU X H.Analysis on soil and leaf nutrient element contents in citrus orchards in the Nanfeng and Quzhou [D]. Wuhan：Huazhong Agricultural University，2014 (in Chinese with English abstract).

[54] 魏清江，杨莉，刘德春，等．江西新余蜜桔园土壤和叶片养分现状分析[J]．中国南方果树，2020，49(1)：10-13，17.WEI Q J，YANG L，LIU D C，et al.Analysis of nutrient status of soil and leaf in citrus orchards in Xinyu of Jiangxi Province[J].South China fruits，2020，49(1)：10-13，17(in Chinese).

[55] 刘桂东，姜存仓，王运华，等．赣南脐橙园土壤基本养分含量分析与评价[J]．中国南方果树，2010，39(1)：1-3，8.LIU G D，JIANG C C，WANG Y H，et al.Analysis and evaluation on basic nutrient contents in the soil of navel orange orchards in southern Jiangxi[J].South China fruits，2010，39(1)：1-3，8(in Chinese with English abstract).

[56] 浙江省土壤普查土地规划工作委员会．浙江土壤志[M]．杭州：浙江人民出版社，1964.Zhejiang Province Soil Census Land Planning Working Committee.Zhejiang Province soil chronicle [M].Hangzhou：Zhejiang People Press，1964(in Chinese).

[57] 郑铭洁，余红伟，陈志良，等．浙西丘陵区柑橘园土壤健康状况及管理对策[J]．浙江农业科学，2022，63(2)：324-329，362. ZHENG M J，YU H W，CHEN Z L，et al.Soil health status and management countermeasures of citrus orchards in hilly areas of the Western Zhejiang[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences，2022，63(2)：324-329，362(in Chinese).

[58] 冯先橘，林媚，张伟清，等．温州蜜柑和红美人果园土壤营养状况评价[J]．浙江农业科学，2022，63(2)：318-321.FENG X J，LIN M，ZHANG W Q，et al.Evaluation of soil nutrient status in *Satsuma* mandarin and Hongmeiren orchard[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences，2022，63(2)：318-321(in Chinese).

[59] 温明霞，鹿连明，王鹏，等．浙江省柑橘园土壤养分调查[J]．浙江农业科学，2019，60(2)：208-211.WEN M X，LU L M，WANG P，et al.Status of soil nutrients in citrus orchards of Zhejiang Province[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences，2019，60(2)：208-211(in Chinese).

[60] 刘春荣，王登亮，胡燕芳，等．衢州市柑橘园土壤养分调查[J]．浙江农业科学，2019，60(2)：234-236，240.LIU C R，WANG D L，HU Y F，et al.Status of soil nutrients in citrus orchards of Quzhou City[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences，2019，60(2)：234-236，240(in Chinese).

[61] 常笑妍．典型滨海盐碱地柑橘铁营养状况及根际细菌群落特征[D]．杭州：浙江大学，2020.CHANG X Y.Iron status and rhizosphere bacterial community characteristics of citrus in typical coastal saline alkali land [D]. Hangzhou：Zhejiang University，2020(in Chinese with English abstract).

[62] 刘国群，李玲玲，毛正荣，等．衢州市柯城区桔园土壤养分丰缺状况研究[J]．中国南方果树，2015，44(6)：29-30，33.LIU G Q，LI L L，MAO Z R，et al.Research on soil nutrient abundance and deficiency in orange orchards in Kecheng District，Quzhou City [J].South China fruits，2015，44(6)：29-30，33(in Chinese).

[63] 林媚，温明霞，冯先桔，等．台州柑橘园土壤有效铜锌养分现状[J]．浙江农业科学，2012，53(3)：321-323.LIN M，WEN M X，FENG X J，et al.Status of available copper and zinc nutrients in soil of citrus orchards in Taizhou[J].Journal of Zhejiang agricultural sciences，2012，53(3)：321-323(in Chinese).

[64] 徐春燕，何风杰，高洪勤，等．台州柑橘园土壤养分现状分析与施肥对策[J]．浙江柑橘，2011，28(1)：18-21.XU C Y，HE F J，GAO H Q，et al.Analysis of soil nutrients in citrus orchards in Taizhou and fertilization countermeasures [J]. Zhejiang Ganju，2011，28(1)：18-21(in Chinese).

[65] 林媚，冯先桔，温明霞，等．浙江台州柑橘主产区土壤养分现状分析[J]．现代农业科技，2007(9)：11-12.LIN M，FENG X J，WEN M X，et al.Analysis on the status of soil nutrients in the main citrus producing areas in Taizhou，Zhejiang Province[J].Modern agricultural sciences and technology，2007(9)：11-12(in Chinese).

[66] 施清．福建柑橘产业现状与发展方向[J]．东南园艺，2014，2(5)：36-38.SHI Q.Status and development direction of citrus industry in Fujian Province[J].Southeast horticulture，2014，2(5)：36-38(in Chinese with English abstract).

[67] 詹婷，胡承孝，庄木来，等．平和县琯溪蜜柚主产区果园营养状况及调控建议[J]．农学学报，2021，11(10)：83-89.ZHAN T，HU C X，ZHUANG M L，et al.Investigation on nutrition status of guanxi pomelo orchards in Pinghe and fertilization suggestions [J].Journal of agriculture，2021，11(10)：83-89(in Chinese with English abstract).

[68] 张亚东，姜亚男，李梦婷，等．福建平和蜜柚园土壤镁含量状况研究[J]．中国土壤与肥料，2021(4)：142-147.ZHANG Y D，JIANG Y N，LI M T，et al.Effect of long-term fertilization on soil magnesium content of pomelo orchard in Pinghe County[J].Soil and fertilizer sciences in China，2021(4)：142-147(in Chinese with English abstract).

[69] 林红梅．平和县蜜柚果园土壤肥力状况评价[J]．中国农技推广，2021，37(11)：70-74.LIN H M.Evaluation of soil fertility of pomelo orchard in Pinghe County[J].China agricultural technology extension，2021，37(11)：70-74(in Chinese).

[70] 黄绿林．平和县山地琯溪蜜柚果园土壤养分评价[J]．中国南方果树，2015，44(2)：63-65.HUANG L L.Evaluation of soil nutrients in Guanxi honey pomelo orchard in mountainous area of Pinghe County[J].South China fruits，2015，44(2)：63-65(in Chinese).

[71] LI Y，HAN M Q，LIN F，et al.Soil chemical properties，‘Guanximiyou’ pummelo leaf mineral nutrient status and fruit quality in the southern region of Fujian Province，China[J].Journal of soil science and plant nutrition，2015，15(3)：625-628.

[72] 吴方堂.尤溪金柑园土壤速效钾含量的空间变异分析[J].东南园艺,2013,1(1):8-12.WU F T.Spatial variability analysis of soil available potassium content in Youxi kumquat orchard and fertilization recommendations[J].Southeast horticulture,2013,1(1):8-12(in Chinese with English abstract).

[73] 黄智娜.永春县山地柑桔园土壤养分状况及其施肥建议[J].福建农业科技,2013(4):61-63.HUANG Z N.Nutrition status in soil of hilly citrus orchard in Yongchun and recommendations for fertilization[J].Fujian agricultural science and technology,2013(4):61-63(in Chinese with English abstract).

[74] 张世祺.蜜柚集中连片种植区的氮、磷环境风险及其阻控措施研究[D].福州:福建农林大学,2019.ZHANG S Q.Study on the environmental risk of nitrogen and phosphorus and its control measures in the concentrated planting region of pomelo[D].Fuzhou:Fujian Agriculture and Forestry University,2019(in Chinese with English abstract).

[75] 程琛,张世祺,林伟杰,等.福建省平和县蜜柚园土壤铜素(Cu)状况及其影响因素研究[J].果树学报,2018,35(3):301-310.CHENG C,ZHANG S Q,LIN W J,et al.Soil copper(Cu) nutrient status and its influencing factors in pomelo orchards in Pinghe County,Fujian Province[J].Journal of fruit science,2018,35(3):301-310(in Chinese with English abstract).

[76] 曾瑞琴.平和县琯溪蜜柚果园土壤养分状况及其施肥建议[J].福建农业科技,2012(10):67-69.ZENG R Q.Soil nutrient status and recommendation for fertilization in Guanxi honey pomelo garden in Pinghe County[J].Fujian agricultural science and technology,2012(10):67-69(in Chinese with English abstract).

[77] 陈秀莲.永安市柑桔园土壤肥力状况与施肥建议[J].中国南方果树,2007,36(6):21-22.CHEN X L. Soil fertility status and fertilization suggestions of citrus orchard in Yong′an City[J].South China fruits,2007,36(6):21-22(in Chinese).

[78] 章明清,林琼,杨杰,等.平和琯溪蜜柚果园养分状况与平衡施肥研究[J].福建农业学报,2003,18(3):163-167.ZHANG M Q,LIN Q,YANG J,et al.Balanced fertilization and nutrients condition of Guanxi pomelo garden in Pinghe County[J].Fujian journal of agricultural sciences,2003,18(3):163-167(in Chinese with English abstract).

[79] 陆发熹.广东土壤及其农业利用改良区域[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(4):299-308.LU F X.Soils and their rations of agricultural utilization and amelioration in Guangdong[J].Ecology and environmnet,1998,7(4):299-308(in Chinese with English abstract).

[80] 蒋惠,郭雁君,郭丽英,等.广东省西江流域黄化沙糖桔园土壤养分和叶片营养状况[J].中国南方果树,2015,44(3):59-63.JIANG H,GUO Y J,GUO L Y,et al.Soil nutrients and leaf nutrition status in Huanghuashatang orange orchards in the Xijiang River Basin of Guangdong Province[J].South China fruits,2015,44(3):59-63(in Chinese).

[81] 梁小媚,黄建昌,张建文,等.南盛丘陵山地沙糖橘果园土壤养分状况调查[J].中国园艺文摘,2015,31(12):24-26.LIANG X M,HUANG J C,ZHANG J W,et al.Investigation on soil nutrient condition of 'Shatangju' orchard in Nansheng hills[J].China horticulture abstracts,2015,31(12):24-26(in Chinese).

[82] 姜波,吕远达,闫化学,等.酸橘砧和枳砧沙糖橘果园土壤、叶片、果实养分比较与相关性分析[J].热带作物学报,2021,42(8):2289-2296.JIANG B,LÜ Y D,YAN H X,et al.Comparison and correlation analysis of soil,leaf,fruit nutrients of Shatangju (*Citrus reticulate*) with *Citrus Reticulata* and *Poncirus trifoliate* rootstock[J].Chinese journal of tropical crops,2021,42(8):2289-2296(in Chinese with English abstract).

[83] 赖多,邵雪花,匡石滋,等.粤东地区柑橘园土壤养分调查分析[J].广东农业科学,2019,46(11):45-53.LAI D,SHAO X H,KUANG S Z,et al.Investigation and analysis on soil nutrients in citrus orchards in eastern Guangdong Province[J].Guangdong agricultural sciences,2019,46(11):45-53(in Chinese with English abstract).

[84] 洪励伟.'砂糖橘'镁营养诊断及果园施镁效应研究[D].广州:华南农业大学,2018.HONG L W.Study on the magnesium nutrition diagnosis and effect of magnesium application in 'Shatangju' orchard[D].Guangzhou:South China Agricultural University,2018(in Chinese with English abstract).

[85] 郭雁君,吉前华,蒋惠,等.地方柑橘良种(贡柑)新建果园土壤和树体养分分布特征[J].中国园艺文摘,2014,30(4):7-10.GUO Y J,JI Q H,JIANG H,et al.Investigation and analysis on nutrient status and distribution of soil and leaves in new orchards of a Zhaoqing local *Citrus* cultivars(*Citrus nobilis* lour.Gonggan)[J].Chinese horticulture abstracts,2014,30(4):7-10(in Chinese with English abstract).

[86] 陈伟立,陈意,崔航,等.广东省沙糖桔主产区果园土壤与树体养分状况分析[J].中国南方果树,2013,42(1):5-7,11.CHEN W L,CHEN Y,CUI H,et al.Analysis of nutrient status of soil and plants in 'shatangju' orchards in main production areas of Guangdong Province[J].South China fruits,2013,42(1):5-7,11(in Chinese with English abstract).

[87] 黄建昌,肖艳,李娟,等.广东丘陵山地沙糖桔果园土壤肥力调查与分析[J].北方园艺,2011(24):193-196.HUANG J C,XIAO Y,LI J,et al.Investigation and analyse on the soil fertility in the mainly cultivation area of *Citrus reticulata* blanco cv.Shatangju in hilly and mountainous of Guangdong[J].Northern horticulture,2011(24):193-196(in Chinese with English abstract).

[88] 黄建昌,李娟,肖艳,等.沙糖桔示范园土壤及植株叶片营养状况分析[J].仲恺农业工程学院学报,2010,23(4):16-19.HUANG J C,LI J,XIAO Y,et al.Study on nutrient status of soil and leaf for *Citrus reticulata* Blanco cv.Shatangju demonstration orchard[J].Journal of Zhongkai university of agriculture and engineering,2010,23(4):16-19(in Chinese with English abstract).

[89] 向云,梁小丽,陆倩.广西柑橘生产的区域比较优势及其影响因素:基于29个主产县区的实证[J].热带农业科学,2020,40(11):126-134.XIANG Y,LIANG X L,LU Q.Comparative advantages and influencing factors of citrus production in Guangxi:an empirical analysis based on the data of 29 major citrus producing counties/districts[J].Chinese journal of tropical agriculture,2020,40(11):126-134(in Chinese with English abstract).

[90] 蔡如棠.广西土壤地域性分布规律[J].广西农业科学,1980,11(10):19-24.CAI R T.Regional distribution of soil in Guangxi[J].Guangxi agricultural sciences,1980,11(10):19-24(in Chinese).

[91] 刘敏竹,易晓瞳,杨超,等.桂中南产区柑橘园土壤养分状况分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2021(4):75-78.LIU M Z,YI X T,YANG C,et al.Soil nutrient status analysis of citrus orchard in South-central Guangxi Province[J].Journal of Hunan Agricultural University(natural sciences edition),2021(4):75-78(in Chinese with English abstract).

[92] 张焕菊,王贵嵩,史庆才,等.桂林市柑橘园土壤养分现状分析[J].中国农技推广,2021,37(4):75-78.ZHANG H J,WANG G S,SHI Q C,et al.Analysis of soil nutrients in citrus orchards in Guilin[J].China agricultural technology extension,2021,37(4):75-78(in Chinese).

[93] 张社南,梅正敏,贺申魁,等.衰老沙田柚低产果园土壤营养状况分析[J].南方园艺,2021,32(3):1-4.ZHANG S N,MEI Z M,HE S K,et al.Study on soil nutrition status of low yield orchard of senile Shatian pomelo[J].Southern horticulture,2021,32(3):1-4

(in Chinese).
[94] 张超博,邱洁雅,王敏,等.桂北柑橘园土壤化学性状研究[J].土壤,2020,52(6):1187-1195.ZHANG C B,QIU J Y,WANG M,et al.Study on soil chemical properties of *Citrus* orchards in northern Guangxi[J].Soils,2020,52(6):1187-1195(in Chinese with English abstract).
[95] 蒋运宁,付慧敏,刘冰浩,等.红壤脐橙园土壤、叶片养分状况研究[J].南方园艺,2020,31(4):6-11.JIANG Y N,FU H M,LIU B H,et al.Research on soil and leaf nutrient status in red soil navel orange orchard[J].Southern horticulture,2020,31(4):6-11(in Chinese).
[96] 易晓曈.桂南柑橘园土壤与树体养分状况及对沃柑品质的影响[D].重庆:西南大学,2019.YI X T.Soil and tree nutrient status in citrus orchards in southern Guangxi and their effects on the quality of orah[D].Chongqing:Southwest University,2019(in Chinese with English abstract).
[97] 曾林芳,陈爱华,王成秋,等.广西南丰蜜桔园土壤养分状况及其对果实品质的影响[J].中国南方果树,2015,44(3):49-52,58.ZENG L F,CHEN A H,WANG C Q,et al. Soil nutrient status and its effect on fruit quality in Nanfeng orange orchard, Guangxi[J].South China fruits,2015,44(3):49-52,58(in Chinese).
[98] 曾林芳,陈爱华,王成秋,等.广西富川纽荷尔脐橙园土壤和叶片营养状况研究与评价[J].中国南方果树,2012,41(5):8-12.ZENG L F,CHEN A H,WANG C Q,et al.Analysis and evaluation on nutritional status in soils and leaves of newhall orange in Fuchuan of Guangxi[J].South China fruits,2012,41(5):8-12(in Chinese with English abstract).
[99] 余红兵,王仁才,肖润林,等.桂西北环境移民示范区柑橘园土壤和叶片营养状况[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2007,33(3):341-344,357.YU H B,WANG R C,XIAO R L,et al.Soil and leaf nutrient condition of plants from citrus orchards in demonstration area of environmental immigrants, Northwest Guangxi Province[J].Journal of Hunan Agricultural University (natural science edition),2007,33(3):341-344,357(in Chinese with English abstract).
[100] 李春,赵东兴,张建春,等.云南省热带水果产业发展现状·问题及对策建议[J].安徽农业科学,2021,49(3):232-234.LI C,ZHAO D X,ZHANG J C,et al.Development status, problems and countermeasures of tropical fruits in Yunnan Province[J].Journal of Anhui agricultural sciences,2021,49(3):232-234(in Chinese with English abstract).
[101] 虞光复,陈永森.论云南土壤的地理分布规律[J].云南大学学报(自然科学版),1998,20(1):55-58,63.YU G F,CHEN Y S.On soil distribution in Yunnan[J].Journal of Yunnan University (natural science edition),1998,20(1):55-58,63(in Chinese with English abstract).
[102] 李有芳,张超博,易晓曈,等.云南玉溪柑橘园土壤养分状况与分布特征[J].土壤,2020,52(3):487-493.LI Y F,ZHANG C B,YI X T,et al.Characteristics of soil nutrients and frequency distribution of Yuxi citrus orchards in Yunnan Province[J].Soils,2020,52(3):487-493(in Chinese with English abstract).

Ecological region division of soil based supplementary fertilization and decrement fertilization in China citrus orchards

WU Songwei[1,2], LIANG Shanshan[1,2], HU Chengxiao[1,2], TAN Qiling[1], ZHANG Jing[3], DONG Zhihao[1,2]

1. *Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Wuhan* 430070, *China*;
2. *Hubei Province Engineering Laboratory for New-Type Fertilizer / Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *China*;
3. *College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *China*

Abstract Soil nutrients are always the most direct and main source of nutrients for citrus trees. The level of soil nutrient content directly determines the nutrient accumulation and storage of trees, which is the basis of tree nutrition. The lack of soil nutrients will inevitably lead to the lack of tree nutrients. This article summarizes the relationship between leaf analysis and soil analysis in citrus orchards to diagnose nutrient status, soil and its fertility "deficiency" factors in Chinese citrus orchards. It is defined that the deficiency of calcium, magnesium, boron and zinc in citrus, soil acidification and excess of phosphorus, iron, manganese and copper are the prominent problems of tree nutrition in Chinese citrus orchards. The joint diagnosis of nutrient status in citrus orchards by leaf-soil analysis, as well as the ecological region division of soil based supplementary fertilization and decrement fertilization in Chinese citrus orchards were proposed. It will be of great significance to guide the fertilization and production of citrus with low-carbon and green and high efficiency in China..

Keywords citrus; soil nutrient; soil analysis; leaf analysis; soil fertility; deficiency factors; soil based supplementary fertilization; decrement fertilization; ecological region division

(责任编辑:赵琳琳)