

武松伟,梁珊珊,谭启玲,等.柑橘营养特性与“以果定肥”[J].华中农业大学学报,2021,40(1):12-21.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.01.002

# 柑橘营养特性与“以果定肥”

武松伟<sup>1,2</sup>,梁珊珊<sup>1,2</sup>,谭启玲<sup>1</sup>,陈敏<sup>1,2</sup>,  
王诗慧<sup>1,2</sup>,彭柱青<sup>1,2</sup>,胡佳玉<sup>1,2</sup>,胡承孝<sup>1,2</sup>

1.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;

2.园艺植物生物学教育部重点实验室,武汉 430070

**摘要** 氮、磷、钾、钙和镁是柑橘需求量较多的矿质营养,施肥不足既不利于柑橘生长发育也不利于果实高产优质。然而随着柑橘产业的快速发展,氮磷钾肥料逐步由用量不足转向普遍过量,成为我国柑橘单产不高及品质下降的关键诱因。本文分析了柑橘果实产量、品质与肥料用量的关系,指出氮磷钾定量、调比成为最紧迫现实需求,适宜的用量既是柑橘果实高产更是果实优质的需要;归纳比较了国内外柑橘推荐施肥的方法和肥料用量,提出根据柑橘单位果实产量的养分携出量和目标产量推荐肥料用量的方法即“以果定肥”法,对于指导柑橘生产具有重要意义。

**关键词** 柑橘;施肥;果实产量;果实品质;需肥量;以果定肥;优质高效;精准施肥;营养特性;平衡施肥;肥料利用率;定量施肥;肥料减施

中图分类号 S 14;S 666 文献标识码 A 文章编号 1000-2421(2021)01-0012-10

柑橘是世界第一大类水果,也是我国南方栽培面积最广、经济地位最重要的果树。近年来我国柑橘产业的规模迅速增长,至2017年我国柑橘年总产量已超过3 820万t,施肥对柑橘果实产量的增加功不可没。然而由于果农过于追求高产,相应的肥料投入也随之增加,导致我国柑橘园的肥料丰缺现状由不足转为过量<sup>[1-5]</sup>,肥料施用量过高也是导致柑橘果实单产和品质降低的原因。针对我国柑橘园肥料施用量高而单产较低的问题,本文分析了国内外柑橘园肥料施用现状及与果实产量和品质的关系,归纳总结了不同柑橘品种的肥料需求量与推荐用量,提出了“以果定肥”的柑橘推荐施肥定量方法,旨在为我国柑橘施肥提供科学依据。

## 1 柑橘果实产量与肥料用量

根据国家统计局数据显示,2000年我国柑橘栽培面积、总产和单产分别为127万hm<sup>2</sup>、878万t和6 900 kg/hm<sup>2</sup>,2017年分别为244万hm<sup>2</sup>、3 820万t和15 700 kg/hm<sup>2</sup>,18年间依次增长0.92、3.34、1.27倍。说明我国柑橘栽培面积、总产和单产都迅

速增长。鲁剑巍<sup>[1]</sup>在2003年调查湖北省柑橘施肥现状,发现氮磷钾用量不足、比例不协调、分配不合理,钾肥、有机肥及壮果肥的比例偏低,难以满足丰产需求。尹杰<sup>[2]</sup>于2007年调查认为,贵州省柑橘园氮、磷、钾用量不足、比例不协调,氮、钾及有机肥的比例偏低。谭飞<sup>[3]</sup>于2010年调查了湖北省宜昌市窑湾乡柑橘施肥现状,认为氮肥过量,磷、钾用量不足,有机肥施用少,造成果实粗皮大果、味酸不甜及产量下降。然而,代文才等<sup>[4]</sup>2012—2013年对175户橘农的调查结果表明,重庆奉节县柑橘氮磷钾投入量分别为678.0、450.0和571.5 kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾用量大、比例不合理。2015—2016年,梁珊珊<sup>[5]</sup>、雷靖等<sup>[6]</sup>对湖南、江西、湖北、广西、福建、浙江、重庆、四川、广东共9个产区2 458柑橘种植户采用问卷调查结合实地走访进行柑橘肥料施用现状研究,结果显示:调查区柑橘平均单产为26 480 kg/hm<sup>2</sup>,柑橘园氮、磷、钾肥年均用量分别为494、364和397 kg/hm<sup>2</sup>,比例为1:0.74:0.80;52.2%的柑橘园不施有机肥,年均有机氮、磷、钾用量仅分别占9.58%、19.60%和6.24%,即有机肥投入严重不足;经统计,

收稿日期:2021-01-11

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0202001);国家现代农业(柑橘)产业技术体系(CARS-26)

武松伟, E-mail:wusw@mail.hzau.edu.cn

通信作者:胡承孝, E-mail:hucx@mail.hzau.edu.cn

柑橘园氮、磷、钾肥过量施用面积占比分别为 57.30%、76.60% 和 69.10%，氮、磷、钾分别过量 36.2 万、42.5 万、35.5 万 t，减量潜力分别为 28.3%、48.2% 和 29.0%，其中以磷肥施用过量比例最高、减量潜力最大。值得关注的是，柑橘果实单产水平最高的浙江、湖北的施肥量却最低，柑橘施肥量最高的四

川其柑橘单产水平却最低(表 1)，这说明高施肥量并不是柑橘果实高产的必要条件。综上，柑橘施肥从氮、磷、钾用量不足，氮多而磷、钾不足，到氮、磷、钾都过多，而氮、磷、钾比例不合理以及有机肥投入不足一直是需要解决的老问题。因此，柑橘施用氮、磷、钾肥的定量、调比成为最为紧迫的现实需求。

表 1 我国柑橘主产区每吨果实产量的施肥量<sup>[5]</sup>

Table 1 The amount of fertilizer per ton of fruit in major citrus planting regions of China

产区 Regions	氮用量/kg N amount	磷用量/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> amount	钾用量/kg K <sub>2</sub> O amount	氮磷钾总量/kg NPK amount	产量(kg/667 m <sup>2</sup> ) Average yield
湖北 Hubei	13.43	6.86	8.67	28.96	2 511
湖南 Hunan	16.00	11.57	12.65	40.22	1 595
江西 Jiangxi	18.01	14.93	15.65	48.59	1 436
浙江 Zhejiang	11.44	9.67	9.60	30.71	2 660
福建 Fujian	30.57	23.27	24.23	78.07	1 992
广西 Guangxi	22.51	18.79	21.22	62.52	1 769
广东 Guangdong	18.86	15.70	15.54	50.10	1 462
四川 Sichuan	36.00	24.65	25.80	86.44	1 057
重庆 Chongqing	30.57	19.53	20.48	70.56	1 197
平均 Mean	19.62	14.42	15.48	49.52	1 765

## 2 柑橘果实品质与营养

### 2.1 柑橘果实品质与氮营养

氮素是作物生长发育所必需的营养元素之一，对改善农产品品质至关重要；对果树器官建造、物质代谢、果实产量与品质形成有重要作用<sup>[7]</sup>，获得最高产量、最好品质和最佳效益尤其是协调施肥与环境的矛盾具有重要意义<sup>[8]</sup>。

氮素充足与否直接关系柑橘器官分化、形成以及树体结构<sup>[7]</sup>。早春萌芽到新梢加速生长为大量需氮期，氮肥显著促进柑橘叶片和枝梢生长，对开花和结果产生影响<sup>[9]</sup>；还促进坐果及果实膨大，增加柑橘单株结果数和产量。氮素影响果树营养生长向生殖生长转化，在土壤氮含量较低时，树体 C/N 往往较高，有利于从营养生长向生殖生长转化，即果树提早开花结果；果树花芽分化需要较高含氮物质，如蛋白质与氨基酸<sup>[7]</sup>，花芽分化时不仅花器官中含氮化合物积累，而且整个树体都有积累，伏令夏橙花器官分化前一般首先是氨基酸积累、其后蛋白质积累、再是氨基酸下降，花器官分化后蛋白质积累下降<sup>[10]</sup>。因

此，适宜氮肥用量可以适时协调柑橘营养(枝叶)生长与生殖(花果)生长。

氮素是影响作物生物产量的首要养分因素<sup>[11]</sup>，足量氮素促进柑橘成花、坐果及果实膨大而有利于提高产量<sup>[7]</sup>，叶片全氮含量在 1.70%~2.75% 时，果实产量与叶片氮含量正相关。氮缺乏，柑橘枝梢生长不良，造成减产或大小年，果小且回青加重，果皮变薄，着色提早，早熟，贮藏时果实表皮易脱水、果肉易腐烂致使保存期大大缩短<sup>[12]</sup>。氮过多，植株徒长，抗性下降，果皮变厚变粗，果实着色差且出汁率、可溶性固形物及维生素 C 含量低、糖酸比降低<sup>[8]</sup>，果实总酸与叶片氮含量显著正相关<sup>[13-14]</sup>。曾伟男等<sup>[15]</sup>报道，适宜氮用量下温州蜜柑果实产量以及叶片含氮量、叶绿素总量、游离氨基酸、可溶性蛋白质含量均达最高值，但可溶性糖含量随施氮量增加而下降。Ram 等<sup>[16]</sup>较早研究氮肥用量对柑橘果实产量、品质的影响，发现只有适宜的氮用量柑橘才能既高产又优质(表 2)。因此，适宜氮肥用量可以协调柑橘果实产量与品质的关系，氮过量会降糖、提酸、促旺长。

表 2 氮肥用量对柑橘果实产量和品质的影响<sup>[16]</sup>

Table 2 Effects of nitrogen fertilizer level on fruit yield and quality of citrus

年均单株氮用量/g Amount of N per tree	单株累计产量/kg Cumulative yield per tree	平均单果质量/g Fruit weight	可溶性固形物/% TSS	酸度/% Acidity	固酸比 TSS/Acidity
0	39.5	81.1	10.7	1.4	7.6
200	65.7	121.5	13.7	2.3	6.0
400	71.6	97.3	13.7	2.0	6.8
600	74.8	84.4	14.2	1.7	8.3
800	67.9	83.7	15.0	2.1	7.1

## 2.2 柑橘果实品质与磷营养

磷是生命物质核酸、蛋白质、酶和卵磷脂的组成成分,磷主要分布在柑橘的花器官、种子以及新梢、新根生长点和细胞分裂活跃的部位,在植物碳水化合物合成、氮代谢、果实增大、果实品质和果实耐贮性等方面起着重要作用<sup>[17]</sup>。樊卫国等<sup>[18]</sup>研究表明,磷水平在 25 mg/kg 时,纽荷尔脐橙生物量、根系发育最好,根系体积和总表面积最大,且有利于叶片氮、钾、钙、镁、铜积累;高或低于适宜用量,根系生物量、体积和总表面积均降低,叶片其他矿质营养失衡。郭延平等<sup>[19]</sup>报道,缺磷降低温州蜜柑叶片光合速率、核酮糖二磷酸羧化酶活性、核酮糖-1,5-二磷酸再生速率、表观量子效率、光化学效率及电子传递速率;缺磷还加剧温州蜜柑和纽荷尔脐橙叶片光合作用的光抑制<sup>[20-21]</sup>。磷肥 ( $P_2O_5$ ) 用量超过 150 kg/hm<sup>2</sup> 时使柑橘根系减少,且抑制植株对锌、锰和硼的吸收<sup>[22-23]</sup>。因此,适宜磷用量既有利于柑橘生长发育也有利于物质代谢。

柑橘对磷的需求量低于氮和钾,1 t 果实带走 0.17~0.27 kg 磷、1.18~1.90 kg 氮、1.48~2.61 kg 钾,磷缺乏果园土壤施磷使柑橘产量平均增产 16.8%~70.8%<sup>[1]</sup>。朱宗瑛等<sup>[24]</sup>报道,纽荷尔脐橙每株施磷 0.40 kg 使果实产量提高 44.6%;黄鸿<sup>[25]</sup>对纽荷尔脐橙、罗宾逊脐橙和红肉脐橙的研究显示,施磷增加果实产量、可溶性固形物而降低可滴定酸的含量,李明<sup>[26]</sup>和苏少康<sup>[27]</sup>有类似的研究结果;林咸永等<sup>[28]</sup>也报道,施磷增加椪柑果实可溶性固形物、可溶性糖、还原糖、糖/酸比和维生素 C 含量,降低果实可滴定酸含量;施磷增加纽荷尔脐橙果实果糖、葡萄糖、蔗糖含量而降低柠檬酸含

量<sup>[24]</sup>;刘运武<sup>[29]</sup>报道,低丘红壤橘园每株施磷 ( $P_2O_5$ ) 0.85 kg 温州蜜柑果实外观内质得以改善。因此,适宜磷用量对柑橘果实既能增加产量更能增糖、降酸。

## 2.3 柑橘果实品质与钾营养

钾是植物正常生理活动的必需元素,有品质元素和抗逆元素之称。柑橘对钾需求量较大,钾素能够不断向代谢作用最旺盛部位转移,是柑橘最重要的阳离子尤其是果实中优势成分<sup>[30]</sup>。钾素供应不足会减缓柑橘树体生长,成年橙树叶片钾含量小于 0.4% 时,树体以及叶片发育受到抑制。鲁剑巍等<sup>[31]</sup>报道,施钾能显著提高脐橙产量 26.3%~41.8%,且改善脐橙外观和内在品质,施钾 ( $K_2O$ ) 250 kg/hm<sup>2</sup> 时增产效果最好、经济效益最高。施钾增加纽荷尔脐橙和红肉脐橙可溶性固形物和可滴定酸含量,改善果实风味品质<sup>[25,27]</sup>;叶面喷施钾肥也增加柑橘果实可滴定酸含量<sup>[32]</sup>;施钾 (0.75 kg/株) 可使纽荷尔脐橙果实产量提高 24.6%,增加果实果糖、葡萄糖、蔗糖和柠檬酸的含量;纽荷尔脐橙年施氮量 0.80 kg/株时,以果实风味最佳、产量较高为目标的磷 ( $P_2O_5$ ) 和钾 ( $K_2O$ ) 推荐施用量分别为 0.41~0.46、0.45~0.50 kg/株<sup>[24]</sup>。施用氯化钾增加苹果果实可溶性糖、酸和维生素 C 含量的效果优于硫酸钾,而硫酸钾对提高果实耐贮性的效果优于氯化钾<sup>[33]</sup>。不同施钾水平均可提高梨果实可溶性固形物、总糖和总酸含量并改善梨风味品质<sup>[34]</sup>;我们的研究表明,适宜的钾用量 (0.50 kg/株) 能够达到果实高产优质的效果 (表 3),钾用量过高反而导致减产。总之,适量的钾肥既能够提高柑橘果实产量又能增加糖、酸含量而改善风味。

表 3 钾肥用量对温州蜜柑果实产量、品质的影响

Table 3 Effects of potassium fertilizer level on fruit yield and quality of Satsuma orange

年均单株钾用量/g Amount of $K_2O$	单株产量 Yield/kg	单果质量/g Fruit weight	可溶性固形物/% TSS	酸度/% Acidity	固酸比 TSS/Acidity
0	33.08	136.4	10.0	0.85b	11.8
250	39.80	149.4	9.7	0.91ab	10.6
500	42.94	138.4	10.4	0.95ab	10.9
750	39.20	140.6	10.7	1.07a	10.0
1000	24.66	138.6	10.2	0.90ab	11.3

## 2.4 柑橘果实品质与钙营养

钙,作为植物细胞偶联胞外信号与胞内生理生化反应的第二信使,能维持细胞壁、细胞膜及膜结合蛋白稳定性,参与调控植物生长发育过程<sup>[35]</sup>。柑橘果实钙与土壤钙含量之间没有明显相关性,当土壤

富含钙时,柑橘果实仍会发生钙缺乏症状;叶片缺钙主要表现在新叶上,先叶尖发黄,向叶缘扩展,叶片小而狭长、畸形,随病情加剧而黄化区域扩大,以至出现大量枯梢落叶;缺钙使根系生长瘦弱且细根少,严重者变黑而易腐烂;缺钙使前期果小、畸形,后期

裂果、浮皮严重,尤其是薄皮柑橘,果实变软,影响果实贮藏期<sup>[36]</sup>。钙能够调节植物体内渗透作用,提高保护酶活性和保护物质含量,延缓果实衰老;当暴露于高温、干旱、低温和其他不利的环境胁迫下,细胞质钙离子浓度增加,触发基因表达,引起一系列生理变化并改善柑橘对逆境的响应<sup>[37]</sup>。

在土壤酸性的柑橘园施用氧化钙能很好提高柑橘果实产量和品质<sup>[38-39]</sup>;陈桂芬等<sup>[40]</sup>报道,在果实膨大初期喷施不同类型的钙肥均能提高柑橘果实产量,其中以石灰和醋酸钙增产效果最佳;在赣南脐橙坐果期及膨大期喷施不同浓度的氯化钙及硝酸钙均可显著降低果实裂果率<sup>[41]</sup>;在塔罗科血橙果实转色期,随钙肥浓度增加,果实固酸比降低,可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、总糖含量呈先升后略降的变化<sup>[42]</sup>;在幼果期和膨大期喷施 0.5% 硝酸钙对柑橘果实维生素 C 含量、可溶性固形物和糖酸比的增加效果最佳<sup>[43]</sup>。但在温州蜜柑采前 2 周叶面喷施硝酸钙,果实可溶性固形物和可滴定酸含量显著降低,在苹果上也有类似报道<sup>[44-45]</sup>。成熟柑橘果实中大多数钙与果胶酸结合形成果胶酸钙,保留在新组织的细胞壁中以增加柑橘果实硬度而延长货架期;钙可以减少贮藏期间霉菌感染引起的柑橘果实腐烂而延长贮藏期;施钙可增加果实细胞壁细胞间层的密度,防止水解酶进入,防止中间胶层腐烂,保持细胞壁稳定性和柑橘果实硬度<sup>[46-47]</sup>。因此,足量的钙既保障柑橘树体健康生长又提高果实产量品质尤其是商品性能。

## 2.5 柑橘果实品质与镁营养

镁是参与植物光合作用的重要元素,占据叶绿素分子的中心位置。植物叶片中约 35% 的镁参与叶绿素合成<sup>[48]</sup>,一旦缺镁,植物叶绿体结构即受到破坏,叶绿素含量减少尤其下部老叶的下降幅度高于上部叶<sup>[49]</sup>,光合作用变弱,发生并加剧光抑制。镁是植物体内是多种酶的组成元素或辅酶因子,是植物体内所有的磷酸化酶、磷酸激酶的活化剂<sup>[50]</sup>,参与多种物质的生物合成。因此,镁对柑橘生长发育以及产量品质形成具有重要作用。镁缺乏,根系、地上部和植株总干物质质量减少,且对根干质量的影响大于对茎、叶的影响<sup>[51]</sup>;叶片参与光合作用的多种蛋白质水平降低,光合作用减弱<sup>[52-53]</sup>;引起内皮层细胞壁结构发生改变,叶肉细胞体积增大,次生韧皮部发育不良,阻碍同化物的运输<sup>[54]</sup>,因此,缺镁阻碍柑橘地上部光合产物向根系分配,叶片碳水化合物

总量明显增加,根系与地上部干质量比例降低。不同柑橘品种、砧木类型等对镁缺乏的敏感程度不同。砧木,以酸柚砧柑橘叶片镁元素含量最低,枳橙砧柑橘叶片镁含量最高;品种,有核品种较无核品种易缺镁,以杂柑叶片镁含量最高,柚类缺镁最为严重;树龄,8 年生以上树叶片镁含量较 3~8 年生树低;成熟期,早熟品种叶片镁缺乏最为严重,夏橙次之<sup>[55]</sup>。因此,早熟品种、柚类及成年树更易缺镁,缺镁引发柑橘“头重脚轻”。

韩艳婷等<sup>[56]</sup>报道,适宜镁用量能够提高葡萄果实总糖含量、可溶性固形物含量和固酸比,降低可滴定酸含量。温明霞等<sup>[57]</sup>报道,土施和叶面喷施 MgO 结合明显促进果实镁吸收和提高果实可溶性糖含量,缓解膨大后期叶片黄化现象;但邱超<sup>[58]</sup>认为单施镁对常山胡柚果实可溶性固形物、可滴定酸和固酸比无显著的影响。邱超<sup>[58]</sup>和雷靖<sup>[36]</sup>研究表明,施镁显著增加常山胡柚、琯溪蜜柚和梅州沙田柚果实产量,提高果实出汁率、可食率和维生素 C 含量。Zhou 等<sup>[59]</sup>发现,不同品种柑橘果实镁与蔗糖、葡萄糖和果糖呈显著负相关,而与柠檬酸呈显著正相关关系,施镁诱导温州蜜柑果实成熟期液泡转化酶基因 *VIN2*、*CWI1* 和蔗糖/H<sup>+</sup> 共向运载体基因 *SUC1* 表达上调,增强成熟期蔗糖转化酶活性,促进蔗糖分解和转运,导致果肉蔗糖含量降低<sup>[60]</sup>。因此,缺镁柑橘既可能“根基不稳”更可能果实糖/酸失调,适量镁有利于柑橘稳产优质。

综上,柑橘对氮、磷、钾、钙、镁需求量较大,过多、过少既不利于柑橘健康生长发育,也不利于果实产量、品质形成;适宜的用量,既是柑橘果实高产的需要更是果实优质的需要。

## 3 柑橘需肥量与施肥定量

### 3.1 柑橘肥料需要量

柑橘为多年生果树,长期生长在稳定场所,不断消耗大量养分;果实是产品器官,果实的养分带走量可以表征柑橘的肥料需要量。综合研究数据<sup>[61]</sup>,1 t 柑橘果实养分平均携出量分别是 N 1.75 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.53 kg、K<sub>2</sub>O 2.40 kg、CaO 0.78 kg、MgO 0.27 kg。鲁剑巍<sup>[1]</sup>对湖北省柑橘园土壤养分状况的研究表明,1 t 柑橘果实养分平均携出量分别是 N 1.18~1.90 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.39~0.62 kg、K<sub>2</sub>O 1.78~3.14 kg、CaO 0.50~1.46 kg、MgO 0.27~0.32 kg。整理 Srivastava 等<sup>[62-63]</sup>的研究数据,1 t 柑橘果实养分平

均携出量分别是 N 2.18 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.45 kg、K<sub>2</sub>O 3.12 kg、MgO 0.32 kg。笔者所在课题组采样分析结果(表4)表明,1 t 柑橘果实养分平均携出量分别是 N 2.08 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.52 kg、K<sub>2</sub>O 3.06 kg、CaO 1.46 kg、MgO 0.36 kg。尽管存在品种、时空等差异,总体上4组数据具有一致性。综合以上结果,1 t 柑橘果实平

均的养分携出量是 N 1.89 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.50 kg、K<sub>2</sub>O 2.76 kg、CaO 1.07 kg、MgO 0.31 kg。研究表明,柑橘果实氮、磷、钾分别约占整株氮、磷、钾的40%、50%和60%(待发表),因此,每生产1 t 柑橘果实需要消耗 N 4.73 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.00 kg、K<sub>2</sub>O 4.60 kg,总养分为 10.33 kg。

表4 我国主要柑橘品种每吨果实养分平均携出量

Table 4 The nutrient removal by one ton fruit of main citrus cultivars in China

数据来源 Data source	氮 N	磷 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	钾 K <sub>2</sub> O	钙 CaO	镁 MgO
陕西,温州蜜柑 Shannxi,Satsuma orange(n=8)	1.40	0.18	1.56	0.88	0.18
湖北,温州蜜柑 Hubei,Satsuma orange(n=8)	1.26	0.32	1.98	1.12	0.25
湖南,椪柑 Hunan,Ponkan(n=4)	2.39	0.82	3.28	1.83	0.40
福建,芦柑 Fujian,Ponkan(n=5)	1.82	0.34	3.18	1.40	0.28
江西,南丰蜜橘 Jiangxi,Nanfeng tangerine(n=7)	1.10	0.57	3.21	1.54	0.42
湖南,脐橙 Hunan,navel orange(n=10)	2.18	0.50	3.39	1.90	0.38
湖北,脐橙 Hubei,navel orange(n=5)	2.63	0.62	2.61	2.20	0.47
江西,脐橙 Jiangxi,navel orange(n=6)	2.45	0.50	3.11	1.67	0.50
广东,沙田柚 Guangdong,Shatian pomelo (n=5)	3.50	0.80	5.19	0.88	0.37
平均 Mean	2.08	0.52	3.06	1.49	0.36

### 3.2 柑橘施肥定量

1) 柑橘推荐施肥方法及肥料用量。目前柑橘常用推荐施肥方法主要包括叶营养诊断、花营养诊断、果汁营养诊断以及传统的测土配方施肥等。Embleton 等<sup>[23]</sup>采用叶营养分析法推荐氮用量为112~168 kg/hm<sup>2</sup>,而 Hammami 等<sup>[64]</sup>推荐克莱门汀橙最优氮、钾用量分别是 192 和 200 kg/hm<sup>2</sup>,其目标产量为 43 t/hm<sup>2</sup>,即每吨果实需要施用氮、钾分别4.46 和 4.65 kg。但是,叶营养诊断一般采集 6 月龄的春梢叶片,对指导当年柑橘施肥具有局限性<sup>[65]</sup>。Gui 等<sup>[66]</sup>研究表明,柑橘花营养诊断可以对树体营养进行年度早期诊断,对指导当年柑橘施肥具有重要意义,但柑橘花期较短且花营养诊断标准还需完善。邓长华等<sup>[67]</sup>根据土壤肥力状况,推荐温州蜜柑和脐橙的肥料用量分别为 840 和 705 kg/hm<sup>2</sup>,其产量分别为 37.5 和 45 t/hm<sup>2</sup>,即每吨果实推荐肥料用量分

别 22.4 kg 和 15.7 kg。基于土壤和植株养分丰缺的肥料用量推荐方法广泛应用于大田作物上,但属于定性推荐,导致柑橘推荐施肥量存在偏差,尤其是国内外差异较大。

2) 柑橘“以果定肥”及肥料用量。Alva 等<sup>[68]</sup>根据目标产量及叶片氮和土壤速效磷、钾含量水平提出了巴西甜橙的推荐施肥量,取其平均推荐量,如表5所示。尽管肥料推荐用量随着果实产量增加而提高,但每生产 1 t 柑橘果实的氮、磷、钾用量之和变化不大,其平均量为 10.40 kg,N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O 平均为 1.00 : 0.60 : 0.70。本文“3.1”中“每生产1 t柑橘果实消耗的平均养分量 N 4.73 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.00 kg、K<sub>2</sub>O 4.60 kg,总量为 10.33 kg”,两者具有一致性。由此说明,国外研究者推荐的柑橘施肥量也与实际果实养分带走的量基本一致,保持了输入与输出平衡。

表5 巴西甜橙果实产量水平与推荐施肥量<sup>[68]</sup>

Table 5 The N, P, K recommendation rate of sweet orange in Brazil

果实产量/t Fruit yield	氮/(kg/hm <sup>2</sup> ) N	磷/(kg/hm <sup>2</sup> ) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	钾/(kg/hm <sup>2</sup> ) K <sub>2</sub> O	生产 1 t 果实养分消耗量/kg Amount of NPK per ton	比例 N : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O
<15	70	40	40	10.0	1.00 : 0.57 : 0.57
16~20	80	50	60	10.6	1.00 : 0.62 : 0.75
21~30	120	70	80	10.6	1.00 : 0.58 : 0.67
31~40	160	100	120	10.7	1.00 : 0.62 : 0.75
41~50	200	120	140	10.1	1.00 : 0.60 : 0.70

梁珊珊<sup>[5]</sup>综合分析国内外文献资料得出柑橘氮、磷、钾肥适宜用量,其中,我国成年柑橘树建议施肥量为 N 200 ~ 450 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 ~ 250

kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 150 ~ 400 kg/hm<sup>2</sup>,取中间值则为 N 325 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 175 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 275 kg/hm<sup>2</sup>,N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O 平均为 1.00 : 0.50 : 0.80,总量为

775 kg/hm<sup>2</sup>;按目前我国柑橘平均单产为 26.5 t/hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>,1 t 柑橘果实的肥料用量为 N 12.3 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6.6 kg、K<sub>2</sub>O 10.4 kg,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 平均为 1.00:0.50:0.80,总量为 29.3 kg,是本文“3.1”中“1 t 柑橘果实养分平均携出量 10.33 kg”的 2.8 倍,其果实养分占比是 35.26%,这与我国当季作物的肥料利用率接近<sup>[69]</sup>,即我国柑橘推荐肥料用量都考虑了肥料利用率或养分利用率。

表 6 不同种类柑橘单株氮、磷、钾肥推荐用量<sup>[62]</sup>

数据来源 Date source	单株建议施肥量/kg Recommendation fertilization per plant		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
印度 India;Khasi mandarin	0.500	0.100	0.400
印度 India;Khasi mandarin	0.300	0.250	0.300
中国 China;Satsuma mandarin	0.125	0.175	0.100
印度 India;Nagpur mandarin	0.600	0.135	0.285
中国 China;Satsuma mandarin	0.475	0.320	0.355
印度 India;Kinnow mandarin	0.250	0.250	0.500
印度 India;Kinnow mandarin	0.800	0.200	0.400
印度 India;Mandarin	0.600	0.200	0.200
印度 India;Kinnow mandarin	1.000	0.500	0.500
中国 China;Satsuma mandarin	0.420	0.320	0.360
格鲁吉亚 Georgia;Satsuma mandarin	1.020	0.580	0.550
中国 China;Dancy Tangerine	0.240	0.040	0.100
古巴 Cuba;Valencia late orange	0.160	0.320	0.480
印度 India;Sweet orange‘Sathgudi’	2.720	1.810	0.600
美国 America;Valencia orange	0.100	0.200	0.300
印度 India;Sweet orange ‘mosambi’	0.500	0.100	0.400
埃及 Egypt;Egyptian balady lime	0.750	0.200	0.500
埃及 Egypt;Egyptian balady lime	1.500	0.400	0.750
印度 India;Citrus limon burm	0.500	—	0.250
印度 India;Acid lime	0.600	0.200	0.300
平均 Mean	0.660	0.330	0.380

Srivastava 等<sup>[62]</sup>推荐用量(表 6)因国别及产区、品种等而异,总体上,柑橘单株推荐平均肥料用量(kg)为 N 0.66、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.33、K<sub>2</sub>O 0.38,总量达 1.37 kg,其 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 平均为 1.00:0.50:0.60。每生产 1 t 柑橘果实,氮、磷、钾国外推荐用量为 10.4 kg,则每株柑橘目标果实产量为 97.5 kg;我国生产 1 t 柑橘果实肥料推荐量为 29.3 kg,单株目标产量为 46.7 kg,这与我国实际单株产量接近。综上所述,国内外生产 1 t 柑橘果实氮磷钾实际需要量基本一致,但受单株产量差异影响,国外按照“输入输出”平衡来推荐柑橘肥料用量,我国则根据肥料利用率来推算柑橘肥料用量,都能够按照柑橘果实的养分携出量和目标产量来考虑肥料用量,即采用“以果

定肥”确定肥料用量。

我国柑橘园土壤酸性不断增强,易导致钙镁流失而引起土壤速效钙、镁缺乏,增施钙镁肥料能够对柑橘具有显著的增产、提质作用。如,江西南丰蜜橘在单株施用氮磷钾肥(0.68 N、0.31 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、0.5 kg K<sub>2</sub>O)的基础上配施 500 g CaO 和 100 g MgO,能够显著改善果肉化渣性<sup>[71]</sup>;浙江省衢州市常山胡柚在每株施用 0.5 kg N、0.3 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、0.4 kg K<sub>2</sub>O 的基础上配施 0.25 kg 硫酸镁、0.50 kg 生石灰和 25 g 硼砂,使果实增产 7.3%~29.8%且品质明显改善<sup>[58]</sup>。雷靖<sup>[36]</sup>研究发现,对广东梅州市沙田柚每年每株施用 CaO 0.9 kg、MgO 0.6 kg,产量平均增加 33.67%,且明显提高果实可食率、降低可滴定酸含量;对福建省平和县琯溪蜜柚每年每株施用 CaO 1.2 kg、MgO 0.3 kg,果实产量增加 5.7%~61.4%,且提高果实榨汁率、维生素 C 含量,降低可滴定酸含量。张影等<sup>[38]</sup>通过对酸性土壤温州蜜柑果园施用石灰 2 kg/株,能够降低温州蜜柑果实酸度而提高固酸比和维生素 C 含量。因此,对酸性土壤柑橘园可以推荐与氮、钾等量的 CaO 和与磷等量的 MgO。

由此,我们提出“以果定肥”的柑橘推荐施肥定量方法,即根据实测 1 t 柑橘果实养分携出量和目标产量推荐柑橘氮、磷、钾、钙、镁肥料用量。

## 参考文献 References

- [1] 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).
- [2] 尹杰.贵州柑橘园土壤与树体养分状况及其评价[D].贵阳:贵州大学,2007. YIN J. Soil and tree nutrient status and evaluation of Guizhou citrus orchards [D].Guiyang:Guizhou University,2007 (in Chinese with English abstract).
- [3] 谭飞.宜昌市窑湾乡柑橘园施肥现状调查分析[J].现代商贸工业,2011,23(5):271. TAN F. Investigation and analysis of fertilization status of citrus orchards in Yaowan Township, Yichang City[J]. Modern Business and Trade Industry,2011, 23(5):271 (in Chinese).
- [4] 代文才,周鑫斌,黄兴成.重庆市奉节县柑橘施肥现状调查与评价[J].贵州农业科学,2014,42(8):175-178. DAI W C, ZHOU X B, HUANG X C. Current status investigation and evaluation on citrus fertilization in Fengjie County of Chongqing [J]. Guizhou agricultural sciences,2014,42(8):175-178 (in Chinese with English abstract).

- [5] 梁珊珊.我国柑橘主产区氮磷钾肥施用现状及减施潜力研究[D].武汉:华中农业大学,2017. LIANG S S. Studies on NPK fertilization status and the potential of reducing application rate in major citrus planting regions of China[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2017 (in Chinese with English abstract).
- [6] 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).
- [7] 李文庆,张民,束怀瑞.氮素在果树上的生理作用[J].山东农业大学学报(自然科学版),2002(1):96-100. LI W Q, ZHANG M, SHU H R. The physiological effects of nitrogen on fruit trees[J]. Journal of Shandong Agricultural University (natural science edition), 2002(1): 96-100 (in Chinese).
- [8] 黄成能,卢晓鹏,李静,等.柑橘氮素营养生理研究进展[J].湖南农业科学,2013(15):76-79. HUANG C N, LU X P, LI J, et al. Advances in nutrient and physiology of nitrogen in citrus[J]. Hunan agricultural sciences, 2013(15): 76-79 (in Chinese with English abstract).
- [9] 鲁剑巍,陈防,王运华,等.氮磷钾肥对红壤地区幼龄柑橘生长发育和果实产量及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004(4):413-418. LU J W, CHEN F, WANG Y H, et al. Effect of N,P,K fertilization on young citrus tree growth, fruit yield and quality in area of red soil[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2004(4): 413-418 (in Chinese with English abstract).
- [10] 刘孝仲,赖毅,许生吉,等.伏令夏橙花芽分化期蛋白质和氨基酸含量的变化[J].园艺学报,1984,12(2):85-92. LIU X Z, LAI Y, XU S J, et al. A study on the fluctuation of protein and amino acid contents during the flower bud differentiation period in valencia orange trees[J]. Acta horticulturae sinica, 1984, 12(2): 85-92 (in Chinese with English abstract).
- [11] 殷春渊,王书玉,薛应征,等.氮肥处理对水稻穗部性状和品质的影响[J].天津农业科学,2013,19(1):15-19. YIN C Y, WANG S Y, XUE Y Z, et al. Effects of nitrogen treatment on the rice characteristics and quality[J]. Tianjin agricultural sciences, 2013, 19(1): 15-19 (in Chinese with English abstract).
- [12] 魏胜林,秦焯南.氮钾水平与多酚氧化酶活性对柠檬流胶病抗性的影响[J].西南农业大学学报,1996(1):6-9. WEI S L, QIN X N. Effects of nitrogen, potassium and the activity of polyphenol oxidase on the resistance of lemon gummosis[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 1996(1): 6-9 (in Chinese with English abstract).
- [13] 凌丽俐,彭良志,淳长品,等.赣南脐橙叶片营养状况对果实品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):947-954. LING L L, PENG L Z, CHUN C P, et al. The relationship between leaf nutrients and fruit quality of navel orange in southern Jiangxi province of China[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2012, 18(4): 947-954 (in Chinese with English abstract).
- [14] 杨生权.土壤和叶片养分状况对柑橘产量和品质的影响[D].重庆:西南大学,2008. YANG S Q. Studies on the influence of soil and leaf nutrient on citrus fruit's output and quality [D]. Chongqing: Southwest University, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [15] 曾伟男,谭启玲,胡承孝,等.不同氮水平对温州蜜柑产量、叶绿素及碳氮代谢物的影响[J].湖北农业科学,2015,54(3):539-542. ZENG W N, TAN Q L, HU C X, et al. Effects of different nitrogen levels on production, chlorophyll, carbon and nitrogen metabolites of satsuma mandarin[J]. Hubei agricultural sciences, 2015, 54(3): 539-542 (in Chinese with English abstract).
- [16] RAM L, KOHLI R R, SRIVASTAVA A K, et al. Nutritional requirement of Nagpur mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) grown on vertisol in Central India[J]. Indian journal of horticulture, 1997, 54(2): 91-97.
- [17] 廖炜,李先信,阳志慧,等.氮肥对柑橘的影响研究进展[J].湖南农业科学,2010(24):34-35. LIAO W, LI X X, YANG Z H, et al. Research progress on the effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on citrus[J]. Hunan agricultural sciences, 2010(24): 34-35 (in Chinese).
- [18] 樊卫国,王立新.不同供磷水平对纽荷尔脐橙幼树生长及叶片营养元素含量的影响[J].中国农业科学,2012,45(4):714-725. FAN W G, WANG L X. Effect of different phosphorus levels on growth and leaf element contents of young newhall navel orange trees[J]. Scientia agricultura sinica, 2012, 45(4): 714-725 (in Chinese with English abstract).
- [19] 郭延平,陈屏昭,张良诚,等.不同供磷水平对温州蜜柑叶片光合作用的影响[J].植物营养与肥料学报,2002,8(2):186-191. GUO Y P, CHEN P Z, ZHANG L C, et al. Effects of different phosphorus nutrition levels on photosynthesis in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) leaves[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2002, 8(2): 186-191 (in Chinese with English abstract).
- [20] 郭延平,陈屏昭,张良诚,等.缺磷胁迫加重柑橘叶片光合作用的光抑制及叶黄素循环的作用[J].植物营养与肥料学报,2003,9(3):359-363. GUO Y P, CHEN P Z, ZHANG L C, et al. Phosphorus deficiency stress aggravate photoinhibition of photosynthesis and function of xanthophyll cycle in citrus leaves[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2003, 9(3): 359-363 (in Chinese with English abstract).
- [21] 陈屏昭,王磊,代勋,等.缺磷强光下脐橙的过剩能量耗散机制[J].应用生态学报,2005(6):1061-1066. CHEN P Z, WANG L, DAI X, et al. Dissipation mechanism of excessive energy in umbilical orange under phosphorus deficiency and strong light stress[J]. Chinese journal of applied ecology, 2005(6): 1061-1066 (in Chinese with English abstract).
- [22] 陈屏昭,蒋彬,王锐,等.磷过量对温州蜜柑叶片光合作用的影响[J].广东微量元素科学,2004(9):17-22. CHEN P Z, JIANG

- B, WANG R, et al. Effects of phosphorus excess on photosynthesis in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) leaves[J]. Guangdong trace elements science, 2004(9):17-22 (in Chinese with English abstract).
- [23] EMBLETON T W, JONES W. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization [M]// REUTHER W. The citrus industry. Berkeley: University of California Press, 1973: 183-210.
- [24] 朱宗瑛, 李明, 张长明, 等. 纽荷尔脐橙高产优质的磷钾最佳配比研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 1105-1112. ZHU Z Y, LI M, ZHANG C M, et al. Optimum P and K ratio for high yield and good quality of 'Newhall' navel orange[J]. Journal of plant nutrition and fertilizer, 2018, 24(4): 1105-1112 (in Chinese with English abstract).
- [25] 黄鸿. 湖北省秭归地区三个品种脐橙矫正施肥及其效应研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012. HUANG H. Research on the nutrient diagnosis and fertilization of three navel orange cultivars in Zigui, Hubei Province[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012 (in Chinese with English abstract).
- [26] 李明. 不同施肥处理对纽荷尔和肉脐橙果实糖积累的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. LI M. Effect of different fertilizer treatments on the sugar accumulation in Newhall and cara orange [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [27] 苏少康. 不同施肥处理对两种脐橙产量、品质及养分利用效率的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015. SU S K. Effects of different fertilizer treatments on yield, quality and nutrient efficiency of two cultivars of navel orange[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [28] 林咸永, 章永松, 蔡妙珍, 等. 磷、钾营养对柑桔果实产量、品质和贮藏性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 82-88. LIN X Y, ZHANG Y S, CAI M Z, et al. Effects of phosphorus and potassium application on yield, quality, and storability of citrus fruits[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2006, 12(1): 82-88 (in Chinese with English abstract).
- [29] 刘运武. 温州蜜柑氮素营养特性的研究[J]. 中国南方果树, 1998(3): 16-17. LIU Y W. Study on the nitrogen nutrition characteristics of Wenzhou tangerine[J]. South China fruit tree, 1998(3): 16-17 (in Chinese).
- [30] 庄伊美. 柑桔树缺素的形态诊断[J]. 中国南方果树, 1996(3): 57. ZHUANG Y M. Morphological diagnosis of citrus tree deficiency[J]. South China fruit tree, 1996(3): 57 (in Chinese).
- [31] 鲁剑巍, 陈防, 万运帆, 等. 钾肥施用量对脐橙产量和品质的影响[J]. 果树学报, 2001(5): 272-275. LU J W, CHEN F, WAN Y F, et al. Effect of application of potassium on the yield and quality of navel oranges[J]. Journal of fruit science, 2001(5): 272-275 (in Chinese with English abstract).
- [32] LIU X, HU X M, JIN L F, et al. Identification and transcript analysis of two glutamate decarboxylase genes, CsGAD1 and CsGAD2, reveal the strong relationship between CsGAD1 and citrate utilization in citrus fruit[J]. Molecular biology reports, 2014, 41(9): 6253-6262.
- [33] 湛琛, 同延安, 路永莉, 等. 不同钾肥种类对苹果产量、品质及耐贮性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 216-224. SHEN C, TONG Y A, LU Y L, et al. Effects of different potassium fertilizers on production, quality and storability of Fuji apple[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2016, 22(1): 216-224 (in Chinese with English abstract).
- [34] SHEN C, WANG J, JIN X, et al. Potassium enhances the sugar assimilation in leaves and fruit by regulating the expression of key genes involved in sugar metabolism of Asian pears[J]. Plant growth regulation, 2017, 83(2): 287-300.
- [35] WÓJCIK P, LEWANDOWSKI M. Effect of calcium and boron sprays on yield and quality of "Elsanta" strawberry[J]. Journal of plant nutrition, 2003, 26(3): 671-682.
- [36] 雷靖. 不同钙镁配比对柚果实产量、品质及钙镁吸收的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019. LEI J. Effect of different Ca/Mg ratio fertilizers on yield, quality and calcium and magnesium uptake of pomelo [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [37] 王玲利, 曾明, 刘超. 钙素营养对果实衰老调控的研究进展[J]. 中国南方果树, 2014, 43(3): 47-53. WANG L L, ZENG M, LIU C. Research progress of calcium nutrition on the regulation of fruit senescence [J]. South China fruit tree, 2014, 43(3): 47-53 (in Chinese).
- [38] 张影, 胡承孝, 谭启玲, 等. 施用石灰对温州蜜柑树体营养和果实品质及酸性柑橘园土壤养分有效性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(4): 72-76. ZHANG Y, HU C X, TAN Q L, et al. Effects of liming on nutrition status, quality of Satsuma mandarin and acid soil nutrients availability of citrus orchard [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(4): 72-76 (in Chinese with English abstract).
- [39] 邱超, 胡承孝, 谭启玲, 等. 钙、硼对常山胡柚叶片养分、果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 459-467. QIU C, HU C X, TAN Q L, et al. Effects of calcium and boron on leaf nutrition, fruit yield and quality of Changshan-huyou (*Citrus changshanensis*) [J]. Journal of plant nutrition and fertilizer, 2016, 22(2): 459-467 (in Chinese with English abstract).
- [40] 陈桂芬, 黄玉溢, 熊柳梅, 等. 钙肥对春甜桔产量和品质的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(1): 92-95. CHEN G F, HUANG Y Y, XIONG L M, et al. Effect of calcium fertilizer on the fruit yield and quality of Chuntian tangerine [J]. Southern journal of agricultural sciences, 2013, 44(1): 92-95 (in Chinese with English abstract).
- [41] 赖九江, 马小焕, 乐晨, 等. 两种钙肥对赣南纽荷尔脐橙果皮内裂的影响研究[J]. 现代园艺, 2014(21): 14-15. LAI J J, MA X H, LE C, et al. The effects of two kinds of calcium fertilizers on the internal splitting of the peel of Newhall navel orange in southern Jiangxi [J]. Modern horticulture, 2014(21): 14-15 (in Chinese).
- [42] 王武, 尹旭敏, 胡佳羽, 等. 喷施叶面肥对塔罗科血橙果实内在品质的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(12):



- 27-33. WANG W, YIN X M, HU J Y, et al. Effects of foliar fertilizer application on the interior quality of Tarocco blood orange[J]. Journal of Southwest University (natural science edition), 2012, 34(12): 27-33 (in Chinese with English abstract).
- [43] 温明霞. 重庆柑橘钙素营养及调控研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012. WEN M X. Study on calcium nutrition of citrus and its regulation in Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2012 (in Chinese with English abstract).
- [44] 肖家欣, 彭抒昂, 何华平, 等. 硝酸钙和 IAA 对温州蜜柑果实钙含量及其品质的影响[J]. 果树学报, 2005(3): 211-215. XIAO J X, PENG S A, HE H P, et al. Effects of calcium nitrate and IAA on calcium concentration and quality of Satsuma mandarin fruit[J]. Journal of fruit science, 2005(3): 211-215 (in Chinese with English abstract).
- [45] 边少敏, 孙建设, 张建光, 等. 柠檬酸钙对红富士苹果果实中钙含量及品质影响的研究[J]. 河北农业大学学报, 2002(3): 37-40. BIAN S M, SUN J S, ZHANG J G, et al. Study on the effects of citrate calcium on the quality and calcium concentrations of red Fuji apples[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2002(3): 37-40 (in Chinese with English abstract).
- [46] 罗志军, 田秀英. 果树钙素营养研究进展[J]. 北方园艺, 2006(1): 56-58. LUO Z J, TIAN X Y. Research progress on calcium nutrition of fruit trees[J]. Northern horticulture, 2006(1): 56-58 (in Chinese).
- [47] 杨廷良, 崔国贤, 罗中钦, 等. 钙与植物抗逆性研究进展[J]. 作物研究, 2004(S1): 380-384. YANG T L, CUI G X, LUO Z Q, et al. Research progress on calcium and plant resistance[J]. Crop research, 2004(S1): 380-384 (in Chinese).
- [48] CAKMAK I, YAZICI A M. Magnesium: a forgotten element in crop production[J]. Better crops plant food, 2010, 94(2): 23-25.
- [49] LI C, QI Y, ZHANG J, et al. Magnesium-deficiency-induced alterations of gas exchange, major metabolites and key enzymes differ among roots, and lower and upper leaves of *Citrus sinensis* seedlings[J]. Tree physiology, 2017, 37(11): 1564-1581.
- [50] 陈欢欢, 王玉雯, 张利军, 等. 我国柑橘镁营养现状及其生理分子研究进展[J]. 果树学报, 2019, 36(11): 1578-1590. CHEN H H, WANG Y W, ZHANG L J, et al. Advances in magnesium nutritional status and its mechanisms of physiological and molecule in citrus[J]. Journal of fruit science, 2019, 36(11): 1578-1590 (in Chinese with English abstract).
- [51] 靳晓琳, 马翠兰, 陈立松. 植物缺镁研究进展[J]. 亚热带农业研究, 2012, 8(2): 118-122. JIN X L, MA C L, CHEN L S. Research progress on magnesium deficiency in plants[J]. Subtropical agricultural research, 2012, 8(2): 118-122 (in Chinese with English abstract).
- [52] PENG H, QI Y, LEE J, et al. Proteomic analysis of *Citrus sinensis* roots and leaves in response to long-term magnesium-deficiency[J/OL]. BMC genomics, 2015, 16(1): 253[2021-01-11]. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1462-z>.
- [53] YE X, CHEN X, DENG C, et al. Magnesium-deficiency effects on pigments, photosynthesis and photosynthetic electron transport of leaves, and nutrients of leaf blades and veins in *Citrus sinensis* seedlings[J/OL]. Plants, 2019, 8(10): 389[2021-01-11]. <https://doi.org/10.3390/plants8100389>.
- [54] 徐婧. 缺镁对雪柑元素含量及根叶解剖结构的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2015. XU J. Effects of magnesium deficiency on citrus sinensis elements and root and leaf anatomical structures[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [55] 黄翼, 彭良志, 凌丽俐, 等. 重庆三峡库区柑橘镁营养水平及其影响因子研究[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 962-967. HUANG Y, PENG L Z, LING L L, et al. Citrus magnesium nutrient level and its impact factors in the Three Gorges Area of Chongqing[J]. Journal of fruit science, 2013, 30(6): 962-967 (in Chinese with English abstract).
- [56] 韩艳婷, 杨国顺, 石雪晖, 等. 不同镁营养水平对红地球葡萄叶绿体结构及光合响应的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(4): 603-609. HAN Y T, YANG G S, SHI X H, et al. Effects of different magnesium concentrations on chloroplast ultra structure and photosynthetic response of *Vitis vinifera* cv. 'Red Globe' [J]. Journal of fruit science, 2011, 28(4): 603-609 (in Chinese with English abstract).
- [57] 温明霞, 吴韶辉, 王鹏, 等. 缺镁温州蜜柑果园的施镁效应研究[J]. 果树学报, 2015, 32(1): 63-68. WEN M X, WU S H, WANG P, et al. Effect of magnesium (Mg) application in Satsuma mandarin orchard with Mg nutrient deficiency[J]. Journal of fruit science, 2015, 32(1): 63-68 (in Chinese with English abstract).
- [58] 邱超. 钙、镁、硼肥对常山胡柚产量、品质及果实养分积累的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015. QIU C. Effects of Ca, Mg and B fertilizers on yield, quality and nutrient accumulation of Changshanhuoyou fruit [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [59] ZHOU Y, HE W, ZHENG W, et al. Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars [J]. Food chemistry, 2018, 259: 278-285.
- [60] 周媛. 柑橘果实糖酸代谢与镁的关系及其机制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020. ZHOU Y. The relationship between citrus fruit sugar and organic acid metabolism and magnesium and its mechanism [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [61] 王运华, 胡承孝. 实用配方施肥技术 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1999. WANG Y H, HU C X. Practical formula fertilization technology [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1999 (in Chinese).
- [62] SRIVASTAVA A K, SINGH S, ALBRIGO L G. Diagnosis and remediation of nutrient constraints in citrus [M]//JANICK J. Horticultural reviews. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2008: 277-364.
- [63] SRIVASTAVA A K, HU C X. Fruit crops diagnosis and management of nutrient constraints [M]. Amsterdam: Elsevier, 2020.
- [64] HAMMAMI A, MIMOUN M B, REZGUI S, et al. A new ni-

- trogen and potassium fertilization management program for clementine mandarin under mediterranean climate [C]//The proceedings of the international plant nutrition colloquium XVI. Davis: University of California, 2009.
- [65] 李文涛, 杨江波, 余倩倩, 等. 柑橘施肥养分推荐方法研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45(28): 7-10. LI W T, YANG J B, YU Q Q, et al. Research progress on methods of nutrient recommendation for fertilization in citrus [J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2017, 45(28): 7-10 (in Chinese with English abstract).
- [66] GUI H, TAN Q, HU C, et al. Floral analysis for Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) nutrient diagnosis based on the relationship between flowers and leaves [J]. Scientia horticulturae, 2014, 169: 51-56.
- [67] 邓长华, 邓孝祺. 福建三明三元区回瑶果场土壤肥力状况与推荐施肥方案 [J]. 中国果树, 2014(4): 32-35. DENG C H, DENG X Q. Soil fertility status and recommended fertilization plan in Huiyao Fruit Farm, Sanyuan District, Sanming, Fujian [J]. China fruit tree, 2014(4): 32-35 (in Chinese).
- [68] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459. YAN X, JIN J Y, HE P, et al. Recent advances in technology of increasing fertilizer use efficiency [J]. Scientia agricultura sinica, 2008, 41(2): 450-459 (in Chinese with English abstract).
- [69] 郑苍松. 南丰蜜橘果实品质与土壤-树体营养的关系及其调控 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015. ZHENG C S. Relationships between fruit quality and soil-plant nutrients of Nanfeng tangerine and regulation by fertilization application [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).

## Nutritional characteristics and determining amount of fertilizer by fruit nutrients removal in citrus

WU Songwei<sup>1,2</sup>, LIANG Shanshan<sup>1,2</sup>, TAN Qiling<sup>1,2</sup>, CHEN Min<sup>1,2</sup>, WANG Shihui<sup>1,2</sup>,  
PENG Zhuqing<sup>1,2</sup>, HU Jiayu<sup>1,2</sup>, HU Chengxiao<sup>1,2</sup>

1. Hubei Provincial Engineering Laboratory for New-Type Fertilizer/  
Micro-Element Research Center, Wuhan 430070, China;

2. Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education,  
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** Nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) are the mineral nutrients that citrus needs in large number. Insufficient fertilization is not conducive to the growth and development of citrus, nor is it conducive to high yield and quality of fruit. However, with the rapid development of the citrus industry, the application of N, P, K fertilizers have gradually changed from insufficient amounts to generally excessive amounts, which has become a key incentive for the low yield and declining quality of citrus in China. In this paper, the relationships between the yield and quality of citrus fruit and usage of fertilizer were analyzed. It was put forward that the quantification and adjustment of N, P, K rations has become the most urgent practical need. The proper usage is both the high yield and the high quality of citrus fruit. The methods of fertilization and usages of fertilizer for citrus recommended at home and abroad are summarized and compared. A method named as the “determining amount of fertilizer by fruit nutrients removal” method for usage of fertilizer based on the amount of nutrients removal per unit fruit yield and target yield of citrus is proposed. It will be of great significance for guiding citrus production in China.

**Keywords** citrus; fertilization; fruit yield; fruit quality; fertilizer requirement; determining amount of fertilizer by fruit nutrients removal; high quality, high efficiency; precision fertilization; nutritional characteristics; balanced fertilization; fertilizer efficiency; quantitative fertilization; fertilizer application reduction

(责任编辑: 张志钰)