

文章编号 : 0254 - 5357(2007) 04 - 0269 - 06

福建沿海地区芦柑的地质环境适宜性评价

杨军华

(福建省地质调查研究院 , 福建 福州 350011)

摘要 : 通过福建省沿海地区不同地质环境区芦柑果实、叶片、果园土壤营养元素含量的对比,在芦柑品质评判、土壤和叶片营养诊断的基础上,分析了影响芦柑品质和产量的地貌、地质、地球化学因素。认为农作物营养平衡是制约农产品品质、产量的主要因素,而地质地球化学环境是影响农作物营养平衡的主要因素,其中土壤 pH 值偏低和 Ca 等元素缺乏对芦柑品质影响最大。提出了优质高产芦柑果园土壤营养元素全量的诊断标准。土壤 pH 值偏低和 Ca 等元素缺乏问题对柑橘生产的影响可以通过土壤改良、合理施肥加以解决。

关键词 : 芦柑 ; 地质环境适宜性 ; 地球化学特征 ; 农业 ; 福建沿海地区

中图分类号 : P596 ; X171 **文献标识码 :** A

Assessment of Geological Environmental Adaptability for Growing Citrus in Coastal Region of Fujian Province

YANG Jun-hua

(Fujian Institute of Geological Survey , Fuzhou 350011 , China)

Abstract : Through the contrast of citrus fruits , lamina and orchard soil nutrition element contents in different geological environment districts along the coastal region in Fujian Province , and base on the assessment for citrus quality and diagnosis for soil and lamina nutrition , the factors of physiognomy , geology and geochemistry which affect the quality and yield of citrus , are studied. The results show that the nutrition balance of crops is the major factor which affects the quality and yield of farm products , but geological and geochemical environment conditions are the important factors which affect the nutrition balance of crops , among which low pH value of the soils and insufficiency of calcium have great influence on the quality of citrus. Accordingly the diagnostic standards for the total nutritive elements which leading to produce high quality and high yield of citrus are put forward. And the problems of low pH value of soil and the insufficiency of calcium in soils can be solved by soil amelioration and adequate fertilization.

Key words : citrus ; geological environmental adaptability ; geochemical characteristics ; agriculture ; coastal regions of Fujian Province

福建为我国芦柑优势区域与主产区之一,柑橘产量、人均占有量和鲜果出口量均位居全国第一,产值居全省经济作物之首。2005 年全省柑橘面积 255.5 万亩、产量 215.3 万吨、产值 90 亿元,分别

占全省水果的 30.9%、44.9%、38.17%,出口鲜果柑橘约 15 万吨,占全国柑橘出口量的 40%。柑橘已成为福建最具竞争力的农产品之一,但也面临着“提升品质、降低成本、增加效益”的压力。

收稿日期 : 2007-03-01 ; 修订日期 : 2007-04-20

基金项目 : 国土资源地质大调查——福建省沿海经济带生态地球化学调查项目资助(1212010310307)

作者简介 : 杨军华(1963 -) 男,福建莆田人,高级工程师,地球化学专业。E-mail : 21yangjh@163.com。

《福建省沿海经济带生态地球化学调查》项目根据福建省农业发展的需求,设置了《福建省沿海经济带柑橘种植区区域生态地球化学评价》专项研究课题,在福建沿海地区 100 个芦柑果园、52 个琯溪蜜柚果园,配套采集了土壤、叶片、果实 3 类样品,果实样品分析测试了可滴定酸、可溶性固形物、粗纤维等 5 项品质指标;土壤、叶片和果实配套分析了 N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn、B、Mo、Se 等 22 个元素指标;土壤样品还分析测试了 pH、有机质、碱解 N、速效 P、K、交换性 Ca、Mg、有效 Cu、Zn、Fe、Mn、Mo、S、Cl、Se 和水溶性 B 等。全面、客观和高精度地反映了福建沿海地区柑橘树体、果实、土壤的养分和质量现状,评价成果已应用于柑橘果园施肥改进、柑橘土壤生态区划等生产指导。

在柑橘的营养诊断标准、营养与施肥等方面,我国的许多学者和专家作过较系统的研究^[1-5],主要根据果园土壤、柑橘叶片的营养元素含量进行营养诊断和施肥研究。本次除果园土壤、柑橘叶片两种介质外,增加分析了土壤元素全量、柑橘果实元素含量与品质指标,全面地研究了芦柑生长系统中元素含量以及地貌、地质背景对芦柑品质和产量的影响,其系统性在国内尚属首次。

1 芦柑品质评判

按照国内外通常做法,本文采用给芦柑品质评分的方法确定其品质优劣。根据福建省农业厅果树站提供的方案,芦柑品质得分(Y_i)=风味得分(Y_{1i})+粗纤维得分(Y_{2i})。分值高,品质优;分值低,品质差。

风味得分 $Y_{1i} = Y_{11i} + 40$ 。风味是芦柑果实品质的重要指标之一,通常芦柑风味由果实可溶性固形物与含酸量共同构成。本文采用“日本香川县农协友人提供的芦柑风味评价体系记分表”,即:可溶性固形物由 7.0% ~ 14.0% (质量分数, μ , 下同)每 0.2% 为 1 等分计 37 等分,果实含酸量由 0.50% ~ 1.65% 每 0.05% 为 1 等分计 24 等分,共计 $24 \times 37 = 888$ 个风味组合。根据实测的可溶性固形物和可滴定酸含量,对照该“风味评价体系记分表”查出芦柑的风味记分 Y_{11i} ,计算风味得分 (Y_{1i})。

粗纤维得分 $Y_{2i} = 30[2 - (X_{2i}/X_{\min})^{1.28}]$,其中 X_{2i} 为粗纤维含量; X_{\min} 为参评样品中粗纤维含量的最小值;1.28 为幂次方。

依据上述芦柑品质评分方法,求得福建省沿海地区芦柑品质得分为:原始参数最大值 75,最小值

12,平均值 54(样品数 90 件);3 次剔除离群样品(平均值 ± 2 倍标准偏差)后,中值 55,算术平均值 54.6,标准偏差 8.4,变异系数 0.15,样品数 82。

采用“算术平均值 ± 0.5 倍标准偏差”的方法,将本区芦柑品质分成优质(≥ 59 分)、中等(59 ~ 50 分)和差质(< 50 分)3 个品质等级,优质占 35.56%,中等和差质均占 32.22%。

2 地质环境与芦柑品质

2.1 地貌与芦柑品质

地貌条件反映了地表化学物质组成的差异,其对于局部地区元素的迁移、聚集、腐殖质的形成、堆积和流失有着重要影响,也影响着芦柑树体、果实对环境中的水、光、热以及土壤中化学元素的吸收与采集,影响到芦柑树体的生长和品质。

福建沿海地区芦柑种植于中山、中低山、低山、高丘陵、低丘陵、台地、冲(洪)积平原阶地和海积平原阶地等 8 种地貌区。各地貌区芦柑品质和产量见表 1。

表 1 芦柑品质、产量与地貌类型的关系

Table 1 The relationship between citrus qualities and outputs with physiognomy types

| 指标 ^① | 地貌类型 | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 中山 | 中低山 | 低山 | 高丘陵 | 低丘陵 | 台地 | 冲(洪)积 | 海积 |
| 可滴定酸/% | 1.20 | 0.96 | 0.98 | 1.00 | 0.99 | 0.90 | 0.93 | 0.95 |
| 粗纤维/% | 0.34 | 0.33 | 0.32 | 0.32 | 0.31 | 0.35 | 0.31 | 0.31 |
| 固形物/% | 8.08 | 8.64 | 8.90 | 8.38 | 8.88 | 7.67 | 8.56 | 8.35 |
| 品质得分 | 43 | 52 | 59 | 51 | 56 | 46 | 56 | 54 |
| 优质率/% | 0 | 40 | 38.89 | 28.57 | 20 | 0 | 47.37 | 0 |
| 差质率/% | 66.67 | 40 | 22.22 | 57.14 | 20 | 66.67 | 26.32 | 0 |
| 单产量/(kg/hm ²) | 30585 | 37440 | 38715 | 22830 | 26475 | 42000 | 42405 | 28335 |

① 优质率为优质芦柑样品数/该地貌区芦柑样品总数,差质率为差质芦柑样品数/该地貌区芦柑样品总数。

根据品质得分、果品优质率和差质率大小判断,低山和冲(洪)积平原阶地两类地貌区芦柑品质好、产量高;中山和台地两类地貌区芦柑品质差、产量较高;低丘陵区芦柑品质虽较好,但优质率小和产量低;中低山、高丘陵和海积平原阶地 3 类地貌区芦柑品质居中产量较低。

2.2 地质背景与芦柑品质

芦柑品质优劣与成土母地质背景间的关系见表 2。

根据品质得分、果品优质率和差质率大小判断,芦柑品质:流纹质火山岩区最好,花岗闪长岩区

和冲(洪)积层区较好,二长花岗岩区和砂(砾)岩区中等,花岗岩区中等偏下,英安质火山岩区最差。单产量以花岗闪长岩区和冲(洪)积层区高,流纹质火山岩和英安质火山岩区较高,花岗岩区最低。

表 2 芦柑品质与地质背景的关系

Table 2 The relationship between citrus qualities with geological background

| 指标 ^① | 地质背景 | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | 花岗岩 | 二长花岗岩 | 花岗闪长岩 | 流纹质火山岩 | 英安质火山岩 | 砂(砾)岩 | 冲(洪)积层 |
| 可滴定酸/% | 0.89 | 0.74 | 0.96 | 1.06 | 1.10 | 0.92 | 0.83 |
| 粗纤维/% | 0.33 | 0.31 | 0.31 | 0.30 | 0.33 | 0.32 | 0.34 |
| 可溶性固形物/% | 8.57 | 8.18 | 8.84 | 9.35 | 8.31 | 8.64 | 8.76 |
| 品质得分 | 52 | 56 | 57 | 63 | 48 | 54 | 55 |
| 优质率/% | 21.74 | 40 | 35.71 | 76.92 | 16.67 | 40 | 60 |
| 差质率/% | 34.78 | 20 | 21.43 | 7.69 | 54.17 | 20 | 40 |
| 单产量/(kg/hm ²) | 28020 | 32400 | 46755 | 40260 | 38325 | 31170 | 46500 |

① 优质率为优质芦柑样品数/该地质背景区芦柑样品总数×100, 差质率为差质芦柑样品数/该地质背景区芦柑样品总数×100。

3 果园土壤营养元素诊断

1:25 万多目标区域地球化学调查结果表明,福建沿海地区土壤 Mo、Se、S 丰富,主要存在 pH 值偏低和 Ca、Mg、Cu、B、Fe₂O₃、Mn 等营养元素普遍缺乏问题^[6],芦柑果园土壤 pH 值偏低和 Ca 等缺乏问题更为严重。

3.1 果园土壤营养元素全量营养诊断

土壤营养元素全量的营养诊断方法:计算芦柑品质得分≥59 的 32 件优质果园土壤营养元素全量的算术平均值和标准偏差,剔除离群样品(算术平均值±2 倍标准偏差)后,取算术平均值±0.5 倍标准偏差的含量范围作为优质芦柑果园土壤元素的适宜范围,将土壤元素全量分为:低量、适宜和高量 3 级。诊断标准和诊断评价结果见表 3。

从表 3 可知,不同地质背景区果园土壤营养元素含量的低量、适宜和高量差别较大。土壤 pH 值偏低的现象在花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩和英安质火山岩区果园最为突出,花岗岩区多数果园土壤缺乏 CaO、MgO、B、S、Cl、Fe₂O₃、Cu、Zn 等营养元素,是缺营养元素现象最严重的地质背景区,与 1:25 万多目标区域地球化学调查结果最为吻合;品质最好、产量较高的流纹质火山岩区,果园土壤 CaO、MgO、B 等缺乏的果园数仅占 15%~31%,且 pH 值偏低的土壤所占比例较小,有机质、N 和 SiO₂

含量高的果园所占比例大;品质最差、产量较高的英安质火山岩区果园土壤 pH 偏低所占的比例较大,达 54.17%,且 MgO、S、Cl、Fe₂O₃、Se 等元素的高量级含量占的比例大,达 50%~58.33%。

进一步研究表明,除土壤养分指标外,土壤 pH 值和 SiO₂ 含量也是影响芦柑品质与产量的重要土壤环境因素(表 3)。有 84% 的果园土壤 pH 偏低(pH≤5),其中芦柑品质差、产量较低的花岗岩和英安质火山岩区土壤 pH 偏低最为严重,而品质好的流纹质火山岩和冲(洪)积层区土壤 pH 值相对较高。土壤 SiO₂ 含量也影响芦柑品质。总体上,除花岗闪长岩外,土壤 SiO₂ 含量高,芦柑品质好。英安质火山岩区高硅土区芦柑品质明显好;冲(洪)积层和花岗岩区的中硅土芦柑品质较好、优质率高,但花岗闪长岩区低硅土芦柑品质较好、优质率较高。这种现象与各地质背景区土壤矿物组成、土壤结构、元素含量及其存在形式不同有关。

表 3 不同地质背景区芦柑果园土壤元素全量营养诊断标准和结果^①

Table 3 The diagnostic standards and results of the nutritive elements in citrus orchard soils from different geological background regions

| 指标 | 地质背景 | | | | | | | 诊断标准适宜范围 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-----------|
| | 花岗岩 | 二长花岗岩 | 花岗闪长岩 | 流纹质火山岩 | 英安质火山岩 | 砂(砾)岩 | 冲(洪)积层 | |
| pH | 9.77 | 3.11 | 8.42 | 3.82 | 13.74 | 1.22 | 0.32 | 4.2~4.7 |
| SiO ₂ | 10.94 | 1.13 | 7.52 | 1.66 | 3.129 | 1.13 | 3.02 | 67.6~75.3 |
| 有机质 | 8.69 | 3.20 | 9.41 | 4.36 | 6.117 | 2.12 | 1.22 | 1.5~2.0 |
| N | 7.106 | 2.30 | 3.101 | 3.64 | 7.143 | 1.31 | 1.22 | 0.08~0.12 |
| P | 9.95 | 2.12 | 3.56 | 3.55 | 7.116 | 2.30 | 1.31 | 0.06~0.12 |
| K ₂ O | 11.39 | 0.05 | 2.57 | 3.64 | 16.62 | 3.11 | 2.12 | 1.2~2.0 |
| CaO | 12.92 | 0.32 | 6.53 | 4.63 | 8.133 | 1.40 | 1.22 | 0.14~0.26 |
| MgO | 13.82 | 1.22 | 1.211 | 2.65 | 1.1112 | 3.11 | 3.11 | 0.13~0.18 |
| S | 11.75 | 2.30 | 4.64 | 4.63 | 6.513 | 2.21 | 0.23 | 225~329 |
| Cl | 14.63 | 2.12 | 3.47 | 4.54 | 5.712 | 1.04 | 2.30 | 169~238 |
| Fe ₂ O ₃ | 16.52 | 4.10 | 1.310 | 4.72 | 4.614 | 2.21 | 5.00 | 2.27~3.6 |
| Mn | 9.86 | 1.22 | 7.61 | 7.42 | 11.67 | 2.12 | 1.22 | 278~443 |
| Cu | 10.85 | 2.21 | 3.29 | 5.44 | 8.106 | 2.30 | 3.11 | 22.9~44 |
| Zn | 14.45 | 2.03 | 4.37 | 8.32 | 8.106 | 1.22 | 1.22 | 35.9~50 |
| B | 10.94 | 5.00 | 8.33 | 4.54 | 6.108 | 0.23 | 1.22 | 12.2~15.6 |
| Mo | 6.107 | 4.10 | 6.44 | 4.63 | 6.711 | 3.20 | 1.13 | 1.58~2.31 |
| Se | 9.113 | 5.00 | 8.42 | 3.64 | 1.1112 | 1.31 | 4.10 | 0.22~0.46 |

① 指标适宜范围含量单位 N、P、K₂O、CaO、MgO、Fe₂O₃、有机质为质量分数/%,其他指标为 mg/kg,pH 无量纲。数值“9.7,7”等分别代表“低量,适宜,高量”的果园个数。

3.2 果园土壤元素有效态养分营养诊断

不同地质背景区芦柑果园土壤元素有效态养

分营养诊断标准和结果见表4。

从表4可知,果园土壤营养失调现象较为严重,普遍存在交换性Ca、交换性Mg、有效Zn和水溶性B不足,速效P、有效Cu过量的问题。

表4 不同地质背景区芦柑果园土壤元素有效态营养诊断标准和结果^①

Table 4 The diagnostic standards and results for the availability forms of nutritive elements in citrus orchard soils from different geological background regions

| 指标 | 地质背景 | | | | | | | | 诊断标准 适宜范围 (mg/kg) |
|-------|--------|-----------|-----------|------------|------------|------------------|------|---|-------------------------|
| | 花岗岩 | 二长 花岗岩 | 花岗 闪长岩 | 流纹质 火山岩 | 英安质 火山岩 | 砾(砾)冲(洪) 岩 积层 | | | |
| 水解N | 10.11 | 2.30 | 5.90 | 5.71 | 8.14 | 2.04 | 1.14 | 0 | 100~200 |
| 速效P | 3.119 | 0.05 | 1.013 | 1.210 | 4.416 | 0.32 | 0.05 | 0 | 25~90 |
| 速效K | 4.145 | 2.30 | 2.93 | 2.92 | 6.135 | 2.30 | 0.50 | 0 | 100~300 |
| 交换性Ca | 18.50 | 4.10 | 10.40 | 8.50 | 13.110 | 3.20 | 0.50 | 0 | 500~2000 |
| 交换性Mg | 20.21 | 5.00 | 11.30 | 10.30 | 18.42 | 5.00 | 5.00 | 0 | 80~125 |
| 有效Fe | 2.156 | 0.23 | 1.112 | 2.92 | 8.133 | 0.32 | 0.14 | 0 | 20~100 |
| 有效Mn | 6.116 | 2.30 | 5.54 | 3.55 | 12.57 | 1.22 | 1.22 | 0 | 7~15 |
| 有效Cu | 5.513 | 2.12 | 4.28 | 3.46 | 8.313 | 2.12 | 1.22 | 0 | 2~6 |
| 有效Zn | 12.101 | 2.30 | 11.30 | 6.70 | 19.32 | 3.11 | 1.31 | 0 | 2~8 |
| 水溶性B | 20.30 | 5.00 | 11.30 | 12.10 | 22.20 | 3.20 | 5.00 | 0 | 0.5~1.0 |
| 有效Mo | 2.156 | 0.50 | 7.43 | 3.73 | 7.98 | 0.41 | 1.40 | 0 | 0.15~0.3 |
| 有效S | 11.102 | 2.30 | 4.55 | 6.61 | 9.69 | 3.11 | 0.32 | 0 | 55~130 |
| 有效Cl | 14.54 | 2.12 | 2.75 | 1.11 | 4.812 | 4.10 | 0.23 | 0 | 15~52 |
| 有效Se | 5.135 | 3.20 | 4.82 | 2.92 | 3.1011 | 1.31 | 4.10 | 0 | 0.027~0.036 |

①有效S、Cl和Se的诊断标准算法同本文土壤元素全量的诊断标准,其他指标的诊断标准引自文献[2]。数值“10.11 2”等分别代表“缺乏、适宜、过量”的果园个数。

相对而言,流纹质火山岩果园土壤营养失调程度较低,且英安质火山岩和花岗岩区果园土壤营养失调现象最为严重。花岗岩区的交换性Ca、Mg和水溶性B缺乏比例达78.26%~86.96%,且水解N、有效Zn的缺乏比例也达43.48%~52.17%,速效P和有效Cu过量比例分别为82.61%和56.52%。英安质火山岩区水溶性B缺乏比例最大,达91.67%,交换性Mg和有效Zn缺乏比例为75%~79.17%,交换性Ca和有效Mn缺乏比例为50%~54.17%,且速效P和有效Cu过量比例高,分别为66.67%和54.17%。

芦柑果园施肥状况调查结果表明,有83%果园存在磷肥滥用的问题,其中有1/3的果园土壤速效P超出适宜标准10~40倍。交换性Ca、交换性Mg、有效Zn和水溶性B不足现象与1:25万多目标区域地球化学调查结果相吻合,果园土壤pH值越低,Ca、Mg、Zn、B等营养元素缺乏程度就越高。果园土壤有效Cu过量的问题,可能与果园普

遍使用含铜杀菌剂有关(树龄越大,果园土壤有效Cu含量越高),也可能与土壤pH值偏低有关。

4 芦柑叶片营养元素诊断

叶片是芦柑植株的重要营养器官,采用叶片分析可判断植株营养状况。不同地质背景区叶片营养元素诊断结果见表5。

表5 不同地质背景区芦柑叶片营养元素诊断标准和结果^①

Table 5 The nutrition diagnostic standards and results for the citrus lamina from different geological background regions

| 指标 | 地质背景 | | | | | | | | 诊断标准 适宜范围 |
|-----|-------|-----------|-----------|------------|------------|------------------|------|---|--------------|
| | 花岗岩 | 二长 花岗岩 | 花岗 闪长岩 | 流纹质 火山岩 | 英安质 火山岩 | 砾(砾)冲(洪) 岩 积层 | | | |
| N | 0.176 | 0.41 | 1.94 | 0.112 | 0.1410 | 0.50 | 0.50 | 0 | 2.77~3.49 |
| P | 0.212 | 0.50 | 0.140 | 0.121 | 0.231 | 1.40 | 0.50 | 0 | 0.10~0.17 |
| K | 2.174 | 0.50 | 2.93 | 1.102 | 1.1112 | 1.40 | 1.40 | 0 | 1.06~1.79 |
| Ca | 1.211 | 0.41 | 0.131 | 0.121 | 1.194 | 0.50 | 0.32 | 0 | 2.14~3.74 |
| Mg | 2.192 | 1.40 | 2.120 | 0.130 | 4.191 | 0.41 | 0.50 | 0 | 0.24~0.40 |
| Fe | 0.230 | 0.50 | 0.140 | 0.130 | 0.231 | 0.50 | 0.50 | 0 | 50~140 |
| Mn | 0.203 | 0.41 | 1.121 | 0.121 | 0.222 | 0.41 | 0.50 | 0 | 20~150 |
| Cu | 0.617 | 0.32 | 0.311 | 0.211 | 0.717 | 0.32 | 0.14 | 0 | 4~16 |
| Zn | 0.230 | 0.50 | 0.140 | 0.130 | 1.212 | 0.50 | 1.40 | 0 | 20~50 |
| B | 3.173 | 0.50 | 0.131 | 0.130 | 1.176 | 0.32 | 1.40 | 0 | 20~60 |
| Mo | 14.90 | 2.30 | 10.40 | 9.40 | 16.80 | 4.10 | 5.00 | 0 | 0.1~1.0 |
| *Ca | 10.94 | 2.21 | 1.85 | 3.91 | 7.98 | 1.31 | 0.23 | 0 | 2.77~3.35 |
| *Mg | 7.79 | 2.21 | 5.45 | 3.46 | 8.88 | 1.31 | 0.50 | 0 | 0.27~0.30 |
| *Cu | 9.86 | 4.01 | 3.56 | 4.45 | 8.610 | 3.02 | 2.30 | 0 | 19.1~30.7 |
| *B | 11.75 | 1.40 | 7.52 | 7.51 | 9.87 | 2.12 | 3.20 | 0 | 33~55 |
| *Mo | 7.79 | 1.13 | 5.54 | 5.44 | 9.87 | 3.11 | 3.20 | 0 | 0.07~0.1 |
| *S | 4.127 | 2.21 | 5.63 | 3.64 | 5.109 | 2.30 | 0.14 | 0 | 3155~3505 |
| *Cl | 6.116 | 0.41 | 2.84 | 2.74 | 12.84 | 2.12 | 0.32 | 0 | 420~700 |
| *Se | 5.117 | 3.20 | 8.42 | 5.53 | 3.138 | 1.22 | 3.20 | 0 | 0.047~0.078 |

①干基分析结果,各指标适宜范围含量单位N、K、Ca、Mg为质量分数%,其他元素为mg/kg。带“*”的元素诊断标准算法同本文土壤元素全量的诊断标准,其他指标的诊断标准引自文献[2]。数值“0.17 6”等分别代表“缺乏、适宜、过量”的果园个数。

从表5知,芦柑品质较好的流纹质火山岩区叶片营养元素除Cu过量、Mo缺乏外,其他营养元素以适宜为主,说明其树体营养较正常并相对保持平衡;芦柑品质较差的英安质火山岩区叶片营养元素N、K、Cu、S、Se、B过量比例大,Mo、Cl缺乏比例也大,树体营养欠平衡。

各地质背景区芦柑叶片普遍存在Cu过量、Mo缺乏和Ca、Mg适宜的现象,这与土壤养分Cu、Ca、Mg缺乏、Mo过量刚好相反,叶片Ca甚至有盈余。Ca、Mg可能与喷施波尔多液、石硫合剂,以及富含Ca、Mg营养液有关;Cu过量则与施用Cu农药有关

(果园使用含 Cu 0.59 ~ 15.11 mg/kg 的杀菌剂,超标率达 50%) ;Mo 缺乏可能与土壤酸化有关。

根据土壤、叶片元素相关分析,叶片 Mo 来源主要土壤有效 Mo,其相关系数为 0.57(99% 的置信度)。土壤 Mo 不缺乏,而叶片 Mo 严重缺乏,这种现象有可能是叶片营养诊断标准出现问题,在果园土壤环境和养分状况发现变化的情况下(土壤 pH 更低),原有的诊断标准应作修正。为此,笔者采用同土壤元素全量营养诊断标准相同的算法,计算 32 个优质果园芦柑叶片的 Ca、Mg、Cu、B、Mo 的适宜范围(见表 5 中带 * 部分),其诊断结果与土壤养分状况较相似。

5 地质背景的影响分析

各地质背景区芦柑果园土壤元素全量、有效量和叶片、果实元素含量的 K 值和 $K_{\text{差异值}}$ 见表 6。 K 值为各地质背景区元素含量均值与全区元素含量均值的比值,反映了不同地质背景区各介质元素含量的差异; $K_{\text{差异值}}$ 为 $K_{\text{最大值}}$ 与 $K_{\text{最小值}}$ 之差值,其大小反映出元素受地质背景影响的程度, $K_{\text{差异值}}$ 大,说明该元素含量受地质背景的影响大,反之则小。而从土壤全量→有效态含量→芦柑叶片→芦柑果实间的 K 值大小,反映出元素在芦柑生长系统中的迁移转化能力。

表 6 不同地质背景区土壤、芦柑叶片和果实元素含量 K 值对比^①

Table 6 Comparison of K values for element content in soils, citrus lamina and fruits from different geological background regions

| 指标 | 地质背景 K | | | | | | | $K_{\text{差异值}}$ |
|--------------------|----------|-------|--------|--------|--------|------|--------|------------------|
| | 花岗岩 | 二长花岗岩 | 花岗岩闪长岩 | 流纹质火山岩 | 英安质火山岩 | 砂砾岩 | (冲洪)积层 | |
| 果 N | 0.99 | 0.93 | 1.00 | 0.97 | 1.04 | 0.94 | 1.09 | 0.16 |
| 叶 N | 0.97 | 0.94 | 0.97 | 1.02 | 1.07 | 0.96 | 0.97 | 0.13 |
| 水解 N | 1.09 | 0.87 | 0.95 | 1.08 | 0.99 | 1.36 | 0.98 | 0.49 |
| 土 N | 1.01 | 0.81 | 0.93 | 1.08 | 0.98 | 1.03 | 1.09 | 0.28 |
| 果 P | 1.13 | 1.17 | 1.00 | 0.91 | 0.99 | 1.05 | 1.24 | 0.33 |
| 叶 P | 0.99 | 0.88 | 0.94 | 1.00 | 1.07 | 1.02 | 1.01 | 0.19 |
| 速效 P | 1.11 | 1.33 | 1.20 | 1.30 | 0.81 | 0.40 | 0.93 | 0.93 |
| 土 P | 1.01 | 1.12 | 1.18 | 1.09 | 0.93 | 0.63 | 1.09 | 0.55 |
| 果 K | 1.08 | 1.04 | 1.04 | 0.91 | 0.96 | 0.95 | 0.97 | 0.17 |
| 叶 K | 0.96 | 0.77 | 0.98 | 1.06 | 1.17 | 0.86 | 0.82 | 0.40 |
| 速效 K | 0.96 | 0.69 | 1.13 | 0.94 | 1.08 | 0.57 | 0.98 | 0.56 |
| 土 K ₂ O | 1.07 | 1.85 | 1.17 | 1.00 | 0.61 | 0.80 | 0.93 | 1.24 |

续表 6

| 指标 | 地质背景 K | | | | | | | $K_{\text{差异值}}$ |
|----------------------------------|----------|-------|--------|--------|--------|------|--------|------------------|
| | 花岗岩 | 二长花岗岩 | 花岗岩闪长岩 | 流纹质火山岩 | 英安质火山岩 | 砂砾岩 | (冲洪)积层 | |
| 果 Ca | 0.99 | 1.21 | 1.14 | 0.94 | 1.00 | 0.89 | 1.19 | 0.32 |
| 叶 Ca | 0.93 | 1.03 | 1.02 | 0.95 | 1.06 | 1.00 | 1.17 | 0.24 |
| 交换性 Ca | 0.94 | 0.74 | 1.08 | 1.16 | 1.07 | 0.83 | 1.54 | 0.80 |
| 土 CaO | 0.81 | 1.62 | 1.06 | 1.17 | 0.95 | 0.81 | 1.50 | 0.81 |
| 果 Mg | 1.09 | 1.08 | 1.03 | 0.97 | 1.01 | 1.02 | 0.92 | 0.17 |
| 叶 Mg | 0.99 | 0.91 | 0.98 | 1.03 | 1.06 | 1.16 | 0.99 | 0.25 |
| 交换性 Mg | 0.98 | 0.56 | 1.12 | 1.09 | 1.11 | 0.79 | 1.03 | 0.56 |
| 土 MgO | 0.69 | 0.97 | 1.46 | 1.08 | 1.09 | 0.85 | 0.78 | 0.77 |
| 果 S | 1.03 | 1.13 | 1.02 | 0.94 | 1.00 | 0.91 | 1.13 | 0.22 |
| 叶 S | 0.97 | 1.00 | 0.96 | 1.00 | 1.03 | 0.97 | 1.17 | 0.21 |
| 有效 S | 0.77 | 0.72 | 1.26 | 0.69 | 1.34 | 0.69 | 1.48 | 0.79 |
| 土 S | 0.89 | 0.79 | 0.98 | 0.92 | 1.18 | 0.89 | 1.42 | 0.63 |
| 果 Cl | 1.00 | 0.92 | 0.92 | 0.88 | 1.04 | 1.20 | 1.20 | 0.34 |
| 叶 Cl | 0.95 | 1.23 | 1.09 | 1.14 | 0.87 | 1.12 | 1.18 | 0.36 |
| 有效 Cl | 0.60 | 0.76 | 1.90 | 0.82 | 1.39 | 0.34 | 2.55 | 2.21 |
| 土 Cl | 0.73 | 1.13 | 1.22 | 0.95 | 1.12 | 1.11 | 0.77 | 0.49 |
| 果 Fe | 1.00 | 1.01 | 0.99 | 1.06 | 0.94 | 0.99 | 1.12 | 0.18 |
| 叶 Fe | 0.99 | 1.04 | 0.95 | 1.01 | 1.04 | 1.09 | 0.96 | 0.14 |
| 有效 Fe | 1.12 | 1.60 | 0.88 | 0.90 | 0.50 | 1.40 | 1.84 | 1.34 |
| 土 Fe ₂ O ₃ | 0.67 | 0.60 | 1.42 | 0.94 | 1.26 | 0.90 | 0.57 | 0.85 |
| 果 Mn | 1.25 | 0.97 | 1.13 | 0.85 | 0.85 | 1.12 | 0.94 | 0.40 |
| 叶 Mn | 1.24 | 1.61 | 1.23 | 0.94 | 1.05 | 1.79 | 0.85 | 0.94 |
| 有效 Mn | 1.02 | 0.58 | 0.98 | 1.24 | 1.07 | 2.12 | 1.36 | 1.54 |
| 土 Mn | 1.06 | 1.32 | 0.74 | 0.72 | 1.03 | 1.95 | 1.25 | 1.23 |
| 果 Cu | 1.02 | 1.08 | 1.07 | 0.94 | 1.01 | 0.85 | 1.06 | 0.23 |
| 叶 Cu | 0.89 | 0.71 | 1.17 | 1.01 | 1.41 | 1.01 | 0.82 | 0.70 |
| 有效 Cu | 1.06 | 0.93 | 1.34 | 1.38 | 0.84 | 0.65 | 0.71 | 0.73 |
| 土 Cu | 0.82 | 0.90 | 1.60 | 1.20 | 0.90 | 0.76 | 0.83 | 0.84 |
| 果 Zn | 1.03 | 1.14 | 1.05 | 0.89 | 0.97 | 0.99 | 1.34 | 0.45 |
| 叶 Zn | 1.00 | 0.95 | 0.99 | 1.07 | 1.02 | 1.12 | 0.83 | 0.29 |
| 有效 Zn | 1.21 | 1.44 | 0.89 | 1.13 | 0.55 | 1.60 | 2.56 | 2.01 |
| 土 Zn | 0.91 | 1.14 | 1.21 | 0.85 | 0.97 | 1.17 | 1.06 | 0.36 |
| 果 B | 0.88 | 0.86 | 1.12 | 1.08 | 1.14 | 0.93 | 0.59 | 0.55 |
| 叶 B | 0.95 | 1.04 | 1.05 | 0.90 | 1.27 | 1.36 | 0.78 | 0.58 |
| 水溶性 B | 1.03 | 0.80 | 1.41 | 1.00 | 0.98 | 1.12 | 0.67 | 0.74 |
| 土 B | 0.94 | 0.74 | 1.07 | 1.09 | 1.11 | 1.42 | 1.29 | 0.68 |
| 果 Mo | 0.97 | 1.14 | 1.32 | 1.03 | 1.10 | 1.27 | 0.28 | 1.04 |
| 叶 Mo | 1.19 | 1.12 | 1.08 | 1.02 | 1.05 | 1.05 | 0.71 | 0.48 |
| 有效 Mo | 1.04 | 1.00 | 0.92 | 1.13 | 1.11 | 1.26 | 1.09 | 0.34 |
| 土 Mo | 1.22 | 0.68 | 1.84 | 1.00 | 1.07 | 0.78 | 1.04 | 1.16 |
| 果 Se | 1.00 | 0.44 | 0.89 | 1.00 | 1.44 | 1.33 | 0.67 | 1.00 |
| 叶 Se | 1.01 | 0.58 | 0.69 | 0.99 | 1.25 | 1.44 | 0.67 | 0.86 |
| 有效 Se | 1.02 | 0.80 | 0.98 | 1.06 | 1.11 | 1.06 | 0.77 | 0.34 |
| 土 Se | 0.84 | 0.39 | 0.71 | 1.17 | 1.30 | 1.04 | 0.54 | 0.91 |
| 土 pH | 1.02 | 0.97 | 0.98 | 1.01 | 0.97 | 1.04 | 1.08 | 0.11 |
| 土有机质 | 1.00 | 0.79 | 0.81 | 1.14 | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 0.35 |

① K 值为各地质背景区元素含量均值/全区元素含量均值;
 $K_{\text{差异值}}$ 为同类样品同种元素 K 的最大值与最小值之差值。

从表6结果可知 $K_{\text{差异值}}$ 一般为:果实 < 叶片 < 土壤元素有效态含量 < 土壤全量,说明果实中元素含量受地质背景的影响最小,其次是叶片,土壤元素全量受地质背景的影响最大。果实 $K_{\text{差异值}}$: $N < K, Mg < Fe < S < Cu < Ca < P < Cl < Mn < Zn < B < Se < Mo$; 叶片 $K_{\text{差异值}}$: $N < Fe < P < S < Ca < Mg < Zn < Cl < K < Mo < B < Cu < Se < Mn$; 土壤元素有效态 $K_{\text{差异值}}$: 有效 Mo、有效 Se < 水解 N < 速效 K、交换性 Mg < 有效 Cu < 水溶性 B < 有效 S < 交换性 Ca < 速效 P < 有效 Fe < 有效 Mn < 有效 Zn < 有效 Cl; 土壤元素全量的 $K_{\text{差异值}}$: $N < \text{有机质} < Zn < Cl < P < S < B < Mg < Ca < Cu < Fe_2O_3 < Se < Mo < Mn < K$ 。说明芦柑生态系统中主要营养元素 N、P 含量受地质背景影响小,微量元素 Mn、Cu、Zn、B、Se、Mo 等含量受地质背景影响大。

多数元素的 K 值从土壤→叶片→果实呈递减趋势,符合元素迁移转化的一般规律。英安质火山岩区叶片或果实 N、P、K、Fe、Cu、B、Se 的 K 值明显高于土壤,植株吸收异常,元素含量过剩,营养不平衡,导致了其果实品质差、产量低。流纹质火山岩区除 K、Fe、Cl、B 外,多数元素的 K 值从土壤→叶片→果实呈递减趋势,特别是主要营养元素 N、P、Ca、Mg,说明其植株吸收正常,营养较平衡,可能是其品质好、产量较高的主要原因。

芦柑果实品质得分与果实、叶片、土壤元素含量的相关分析表明,果实 Fe 高,Cl、Se、P、N、K 低;叶片 Cl 高,B、P、Se、Cu、Ca、N、Fe 低;土壤有效 Cu、Zn、Fe、交换性 Ca 高,有效 S 低;土壤 N、P、K、Ca、Mg、Cu、pH 高,Mn、S 低,芦柑品质好。英安质火山岩区,果实 Cl、Se、N、B 高,Fe 低;叶片 N、P、K、Ca、Fe、Cu、B、Se 高,Cl 低;土壤有效 S 高,有效 Cu、Zn、Fe 和交换性 Ca 低;土壤 Mn、S 高,N、P、Ca、Cu、pH 低。刚好与优质芦柑所需的生态环境条件相反,而流纹质火山岩区则相似。

6 结论与生产建议

综上所述,地质环境、土壤 pH 偏低和 Ca、Mg 等元素缺乏对芦柑品质和产量具有较大影响。土壤 pH 值适中和 N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn 等元素含量相对较高的流纹质火山岩区芦柑品质好、产量高,而土壤 pH 值偏低和 Ca 等元素缺乏较严重的英安质火山岩区芦柑品质较差、产量相对低。

土壤 pH 值偏低和 Ca、Mg 等元素缺乏问题对柑橘生产的影响可以通过土壤改良、合理施肥等

加以解决。具体措施如下:

(1) 土壤改良。通过施用生石灰和增施有机肥,提高土壤 pH 值和有机质含量。对于长期未施用生石灰或 pH < 5.0 的果园建议年施用生石灰 900 kg/hm² 连续 2~3 年,而作为柑橘果园正常管理每年应保持 450 kg/hm² 生石灰施用量,沙壤土用量相应减少 40%,同时增施有机肥。

(2) 合理施肥。平衡施肥是柑橘生产中的难点。根据果园土壤营养与施肥状况分析,对于年产 37500 kg/hm² 的柑橘果园推荐全 N 施用 750~900 kg/hm²,施肥配方为 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O):m(CaO):m(MgO) = 1.00:0.25:0.80:1.00:0.40$,控制氮肥、钾肥使用量与增施 Ca、Mg、Zn 等肥料。对于多年采用与氮肥等量施用磷肥或土壤速效磷含量 > 200 mg/kg 的果园,建议间歇停施磷肥 1~3 年。

(3) 修订土壤和叶片营养诊断标准。土壤和叶片营养诊断标准是指导生产的重要依据,但随着土壤 pH 值偏低现象日益严重,土壤环境发生变化,有必要重新修订适应土壤 pH 值偏低的营养诊断标准。

农作物的营养平衡是制约其品质、产量的最主要因素。营养过剩或不足,农作物品质和产量均不好,营养适中,品质好、产量高。而地质地球化学环境是影响农作物营养平衡的主要因素,其中土壤 pH 值偏低和 Ca 元素缺乏对芦柑品质影响最大。

致谢:在本文编写的过程中得到了福建省农业厅李健研究员、福建省地质矿产勘查开发局林才浩教授级高级工程师的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

7 参考文献

- [1] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[M]. 北京:中国农业出版社,1994:45-100.
- [2] 庄伊美,王仁凯,谢志南,等. 柑橘、龙眼、荔枝营养诊断标准研究[J]. 福建果树,1995(1):6-9.
- [3] 李健. 福建柑橘园营养施肥状况及其施肥改进建议[J]. 果树科学,1998,15(2):145-149.
- [4] 施清. 福建柑橘园营养状况诊断与改善措施[J]. 福建果树,1998(3):29-31.
- [5] 董燕,王正银. 矿质营养对柑橘品质的影响[J]. 土壤肥料,2004(6):37-40,46.
- [6] 杨军华. 福建沿海地区农业土壤全量养分丰缺评价[J]. 第四纪研究,2005,25(3):340-346.