

## 华南主栽及优新品种荔枝果实养分转移及累积特征

杨博凯, 张嘉雯, 韦增辉, 白翠华, 姚丽贤\*

华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642

**摘要:** 明确华南主栽及优新品种荔枝果实不同部位养分含量、养分转移能力和养分累积量差异, 为不同荔枝品种果实生长发育的差异化养分管理提供参考, 以促进优新品种的推广种植。本研究从华南产区 29 个荔枝园 25 个主栽和优新荔枝品种中共采集 73 个果实样本, 测定果皮、果肉和果核的 12 种养分含量, 比较不同品种荔枝果实养分转移和累积特点的差异, 通过聚类分析将荔枝果实养分累积类型进行分类。结果表明: 大部分荔枝品种的果皮和果肉以 K 含量最高, 果核以 N 含量最高。P、S、Fe、Cu 和 Zn 从果皮至果核的转移系数均值在 1.09~1.58 之间, 转移能力强; N、K、Mg、B 和 Mo 转移能力中等, 转移系数均值为 0.53~0.99; Ca 和 Mn 的转移能力较低, 转移系数均值分别为 0.35 和 0.481。N、K、Mg、S、Fe、Zn、B 和 Mo 从果皮至果肉的转移系数均值在 0.49~0.87 之间, Cu 和 P 从果皮至果肉的转移系数均值分别为 5.91 和 1.32, 而 Ca 和 Mn 的转移系数均值仅分别为 0.069 和 0.112。在 25 个荔枝品种中, 仙桃荔果皮的 Ca、Mg、Mn 含量明显高于其他品种, 分别为 6.13 g/kg、3.34 g/kg 和 233.52 mg/kg, 且这 3 种元素从果皮转移至果核或果肉的能力均较其他品种低, 容易在果皮中过量积累。25 个品种果实中 N、K 的累积类型可分为低 N 高 K、中 N 低 K、中 N 中 K、中 N 高 K、高 N 低 K、高 N 中 K 和高 N 高 K 共 7 种, Ca、Mg、B 和 Mo 可分为低、中、高 3 种累积型。在荔枝生长发育过程中, Ca 和 Mn 在荔枝果实中的转移能力低, 成为果实生长发育的营养限制因素。总之, 不同荔枝品种果实养分累积类型各异, 可根据其养分累积类型制订更为精细的养分管理策略。优新荔枝品种施肥技术的制定可参考同类型的主栽传统品种。

**关键词:** 荔枝; 果实生长; 养分转移; 养分累积

中图分类号: S667.1

文献标志码: A

## Nutrient Transfer Capacity and Nutrient Accumulation of Main and New Quality Litchi Cultivars in South China

YANG Bokai, ZHANG Jiawen, WEI Zenghui, BAI Cuihua, YAO Lixian\*

College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China

**Abstract:** The present work aims to provide references for differentiated nutrient management of litchi cultivars, and enhance the cultivation promotion of the new quality cultivars via clarifying the differences in nutrient content, nutrient transfer capacity and nutrient accumulation in different parts of litchi fruits among the main and the new quality cultivars in South China. A total of 73 litchi fruit samples belonging to 25 main and new quality litchi cultivars were collected from 29 litchi orchards in South China. The contents of 12 nutrients in pericarp, flesh and kernel of litchi fruits were determined to compare the discrepancies in nutrient transfer and accumulation among cultivars. Further, the types of nutrient accumulation in litchi fruit were categorized through cluster analysis. The results show that, most cultivars of litchi had the highest K content in the pericarp and the flesh, whereas the highest N content were observed in the kernel. The average transfer factors of P, S, Fe, Cu and Zn from pericarp to kernel ranged from 1.09 to 1.58, with strong transfer ability. N, K, Mg, B and Mo had medium transfer ability, with the average transfer factors within 0.53–0.99. The average transfer factor of Ca and Mn was only 0.35 and 0.481 respectively, with relative low transfer capability. With regard

收稿日期 2024-12-02; 接受日期 2025-01-23

基金项目 国家现代农业产业技术体系建设专项 (No. CARS-32)。

作者简介 杨博凯 (2000—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 荔枝果色营养调控。\*通信作者 (Corresponding author): 姚丽贤 (YAO Lixian), E-mail: lyao1x@scau.edu.cn。

to the transfer capability from pericarp to flesh, N, K, Mg, S, Fe, Zn, B and Mo were figured by average transfer factors of 0.49–0.87, and Cu and P by high average transfer factors (5.91 and 1.32). However, Ca and Mn were characterized by extremely low average transfer factors of 0.069 and 0.112, respectively. Among the 25 cultivars, the content of Ca, Mg and Mn in Xiantaoli peel was higher than that of all the other cultivars, which was 6.13 g/kg, 3.34 g/kg and 233.52 mg/kg, respectively. Moreover, the ability of the three elements transferring from peel to kernel or flesh was lower than that of all the other cultivars, leading to excess accumulation in the peel. The requirement of N and K in 25 litchi cultivars was categorized into seven types: low N and high K, medium N and low K, medium N and medium K, medium N and high K, high N and low K, high N and medium K, high N and high K. The accumulation of Ca, Mg, B and Mo was divided into three groups including the low-, medium- and high-types, respectively. Ca and Mn were difficult to transfer in litchi fruit, being an obstacle to the development of litchi fruit. Conclusively, the nutrient accumulation of litchi fruit is cultivar dependent, therefore, elaborate nutrient strategy for litchi can be made to meet the nutrient demand for fruit development. The fertilization strategy for the new quality varieties of litchi can be referred to the traditional cultivars belonging to the same nutrient requirement type.

**Keywords:** litchi; fruit development; nutrient transfer; nutrient accumulation

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.05.014

荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 是无患子科荔枝属的多年生木本果树, 适宜种植区域仅为南纬和北纬  $18^{\circ}\sim 26^{\circ}$  范围内<sup>[1]</sup>。荔枝主产国包括中国、印度和越南等 8 个国家, 东南亚地区生产全球约 95% 的荔枝, 而我国荔枝种植面积和总产量均位居世界第一<sup>[2]</sup>。目前对于荔枝栽培技术的研究较多, 而荔枝树体养分需求的研究较少。国内外对荔枝叶片养分含量变化及养分转移<sup>[3-5]</sup>、树体营养累积<sup>[6]</sup>、叶片营养诊断<sup>[7]</sup>等方面开展了不少研究, 为荔枝养分管理提供了重要理论支持。然而, 对于不同品种, 尤其是一些优质新荔枝品种果实的营养累积特性, 则缺乏研究报道, 导致对优新荔枝品种的施肥技术制定缺乏基础指导参数。

我国荔枝品种多达 200 多个, 商业化种植品种有 30 多个<sup>[8]</sup>。其中, 妃子笑和桂味分别是我国最广泛种植且种植面积最大的早熟和中晚熟优质荔枝品种, 白糖罂和黑叶是传统的早熟优质品种和大众化品种。随着荔枝选育种技术的进步, 近年荔枝优新品种不断出现, 如仙进奉、井岗红糯、仙桃荔、巨美人、岭丰糯、新球蜜荔、贵妃红和庙种糯等, 不但丰富了我国荔枝主栽品种结构, 满足人们对不同风味荔枝的需求, 而且这些优新品种的种植效益明显高于传统品种, 对于荔枝产业的高质量发展具有重大推动作用。

目前已有的荔枝营养特性研究多集中在 1 个或数个传统荔枝品种, 对主栽品种, 尤其是优新品种果实养分累积特性研究不足, 难以为优新品种栽培提供配套施肥技术支持, 这在很大程度上限制了优新品种的推广种植。已有研究表明, 荔枝果实累积的 N、K、Ca、Zn、S 养分基本全部

为果实膨大期树体新增吸收, 而 P、Mg、B、Mo 则部分来自上一年秋梢的养分转移<sup>[9]</sup>。这表明荔枝果实发育期的养分供应对果实的生长发育、产量和品质形成具有重要影响。近年优新荔枝品种的推广种植, 通常是在老果园进行高接换种更新品种, 原有树体养分累积仍然保留, 优新品种果实养分需求主要依赖当年树体新增吸收。因此, 本研究在广东、广西和福建等省 (区) 荔枝主产区采集 25 个主栽和优新品种荔枝的 73 个果实样本, 对不同品种果实大、中、微量元素养分转移能力及累积特点进行比较, 探明不同类型品种果实的养分需求参数, 为基于品种养分累积类型制定分类施肥技术方案提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

于 2020—2022 年果实成熟期, 在广东、广西和福建等省 (区) 荔枝主产区 29 个生产果园, 采集 25 个荔枝品种共 73 个果实样本 (表 1)。2020 年在 21 个荔枝园采集 6 个优新荔枝品种, 共 49 个果实样本, 分别为桂味 16 个、妃子笑 11 个、糯米糍 6 个、仙进奉 6 个、井岗红糯 7 个和鸡嘴荔 3 个。2021 年在 2 个荔枝园采集 9 个品种共 10 个果实样本, 9 个品种分别为鸡嘴荔、新球蜜荔、草莓荔、马贵荔、仙进奉、唐夏红、桂味、紫娘喜和井岗红糯。2022 年在 6 个荔枝园采集 14 个品种共 14 个果实样本, 14 个品种分别为仙桃荔、白糖罂、黑叶、巨美人、庙种糯、岭丰糯、绿纱、黑珍珠、水晶球、胭脂红、甜岩、挂绿、翡翠和贵妃红。所选优新品种均采用高接换种的技术进行品种

更新, 换种品种的砧木树龄均在 10 a 以上, 与所选用的传统品种树龄接近。选择树体独立完整、中高产且无裂果的荔枝树进行采样, 所采果实样本均生长正常、大小中等且无病虫害及机械损伤。

表 1 华南地区主栽及优新荔枝品种  
Tab. 1 Main and new quality litchi cultivars in South China

| 编号 No. | 品种 Cultivar | 编号 No. | 品种 Cultivar |
|--------|-------------|--------|-------------|
| 1      | 桂味          | 14     | 黑叶          |
| 2      | 妃子笑         | 15     | 巨美人         |
| 3      | 鸡嘴荔         | 16     | 庙种糯         |
| 4      | 仙进奉         | 17     | 岭丰糯         |
| 5      | 糯米糍         | 18     | 绿纱          |
| 6      | 井岗红糯        | 19     | 黑珍珠         |
| 7      | 新球蜜荔        | 20     | 水晶球         |
| 8      | 草莓荔         | 21     | 胭脂红         |
| 9      | 马贵荔         | 22     | 甜岩          |
| 10     | 唐夏红         | 23     | 挂绿          |
| 11     | 紫娘喜         | 24     | 翡脆          |
| 12     | 仙桃荔         | 25     | 贵妃红         |
| 13     | 白糖罂         |        |             |

1.2 方法

将荔枝果实样本清洗后, 用吸水纸吸干水分, 分为果皮、果肉和果核, 采集 3 部分样本, 在 105 ℃杀青 0.5 h 后, 在 65 ℃烘干, 并记录干质量, 计算水分含量。烘干样本用粉碎机粉碎后, 在干燥器中保存备用, 测定 N、P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo 等营养元素含量。每个样本测定 3 次重复。样本 N 含量用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消解-凯氏定氮法测定。取部分样本用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮, 消煮液 P 含量用钼锑抗比色法测定, 消煮液 K 含量用火焰光度计法测定, 消煮液 Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 含量使用 ICP-OES 测定, B、Mo 含量使用 ICP-MS 测定<sup>[10]</sup>。

1.3 数据处理

养分元素从果皮到果肉或果核的转移系数=果肉或果核的养分含量/果皮养分含量。试验数据使用 Excel 软件进行整理, 用 Origin Pro 软件绘图, 使用 SPSS 24.0 软件进行聚类分析。每个品种养分含量为所有样本数据的平均值。

2 结果与分析

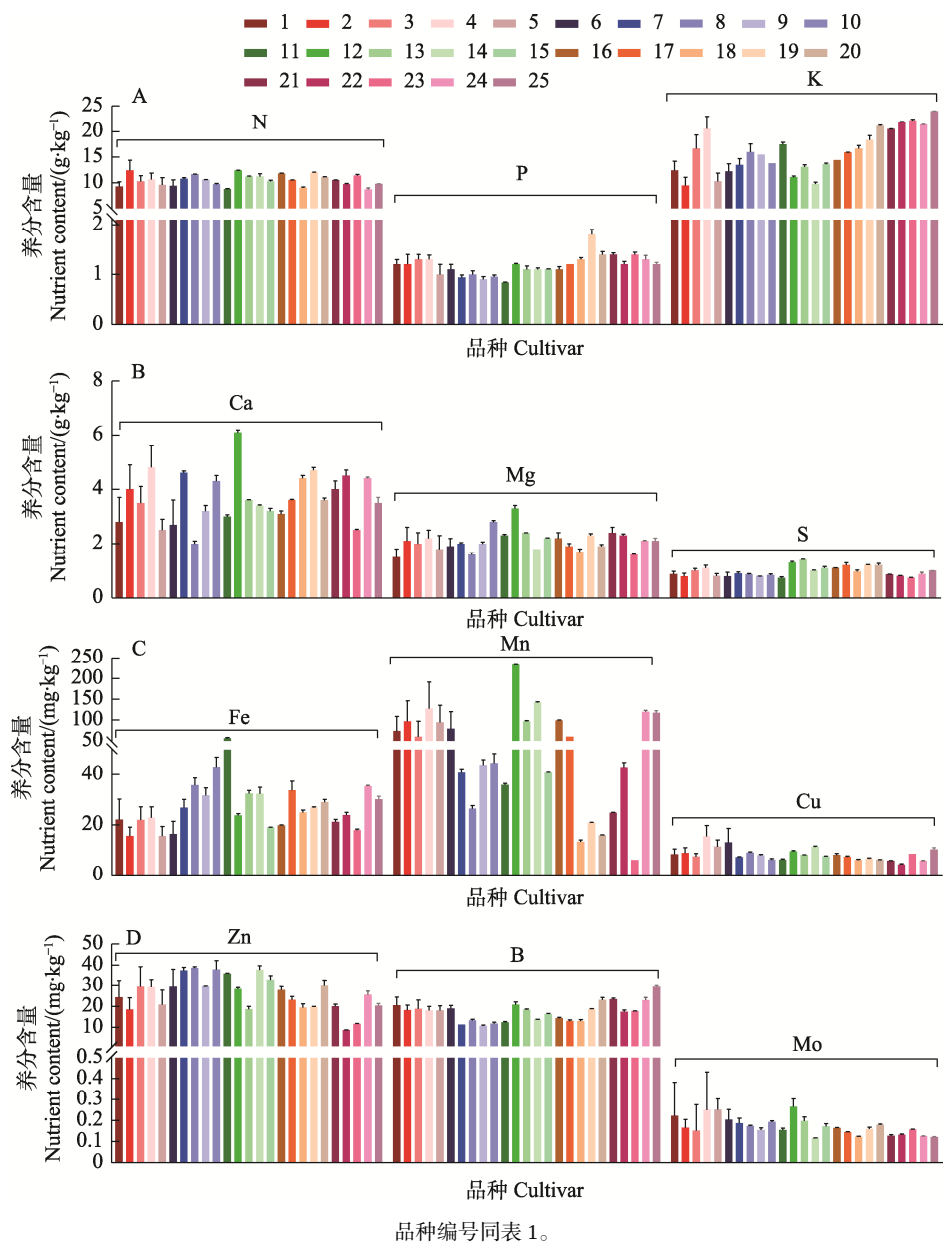
2.1 荔枝果皮养分含量

如图 1 所示, 不同品种荔枝果皮养分含量有一定差异。妃子笑、仙桃荔和黑叶 3 个品种果皮

以 N 元素含量最高, 分别为 12.45、12.44、11.20 g/kg (图 1A); 其余 21 个品种果皮均以 K 含量为最高, 其中贵妃红果皮的 K 含量最高 (24.03 g/kg)。25 个品种中以黑珍珠果皮的 P 含量最高 (1.76 g/kg), 紫娘喜最低 (0.84 g/kg)。果皮 Ca 含量以仙桃荔的最高 (6.13 g/kg), 而草莓荔最低 (2.00 g/kg) (图 1B)。Mg 含量也以仙桃荔最高 (3.34 g/kg), 而挂绿最低, 仅为 1.59 g/kg。白糖罂果皮的 S 含量最高 (1.44 g/kg), 而挂绿最低 (0.74 g/kg)。桂味和妃子笑等 14 个品种果皮的 Mn 元素含量远高于其他微量元素, 其中仙桃荔果皮的 Mn 含量最高达 233.52 mg/kg (图 1C)。草莓荔、紫娘喜、绿纱、黑珍珠、水晶球和挂绿 6 个品种果皮的 Mn 含量低于 Fe 含量, Fe 含量则以紫娘喜的最高 (56.29 mg/kg)。Cu 以仙进奉的最高 (15.40 mg/kg), 甜岩则最低 (4.22 mg/kg)。果皮的 Zn 含量则以草莓荔最高 (38.61 mg/kg), 甜岩最低 (8.82 mg/kg) (图 1D)。果皮的 B 含量介于 10.64~29.48 mg/kg 之间, 其中贵妃红最高, 马贵荔最低。Mo 是荔枝果皮中含量最低的养分元素, 25 个品种荔枝果皮的 Mo 含量在 0.120~0.260 mg/kg 之间, 其中黑叶、贵妃红和绿纱 3 个品种果皮的 Mo 含量仅为 0.120 mg/kg。

2.2 荔枝果核养分含量

不同品种荔枝果核养分含量见图 2。紫娘喜、黑叶、巨美人、甜岩、挂绿和贵妃红 6 个品种果核的 K 含量最高, 在 9.67~13.77 g/kg 之间 (图 2A)。其余 19 个品种果核以 N 含量最高, 其中妃子笑的 N 含量最高 (12.37 g/kg), 水晶球最低 (9.01 g/kg)。挂绿和马贵荔的 P 含量最高 (1.67 g/kg), 糯米糍最低 (0.75 g/kg)。仙进奉、糯米糍、绿纱、黑珍珠和水晶球 5 个品种果核的 Ca 含量 (2.12~2.60 g/kg) 高于 Mg 含量 (图 2B)。其余 20 个品种则 Mg 含量高于 Ca 含量, 以庙种糯的最高 (2.71 g/kg), 甜岩最低 (1.18 g/kg)。庙种糯的 S 含量最高 (2.56 g/kg), 黑叶最低 (0.83 g/kg)。桂味、妃子笑、仙进奉、糯米糍、井岗红糯和庙种糯 6 个品种果核的 Mn 含量 (29.69~60.17 mg/kg) 大于 Fe 含量, 其余 19 个品种的 Fe 含量高于 Mn 含量 (图 2C)。荔枝果核的 Zn 含量变化幅度较大 (14.98~62.85 mg/kg), 黑珍珠的 Zn 含量最高。供试品种中大部分品种果核的 B 含量与 Cu 含量相近 (图 2D)。其中井岗红糯的 Cu 含量最高 (26.52 mg/kg), 甜岩的最低 (7.35 mg/kg); 绿



品种编号同表 1。  
Cultivars No. are the same as Table 1.

图 1 不同荔枝品种果皮养分含量

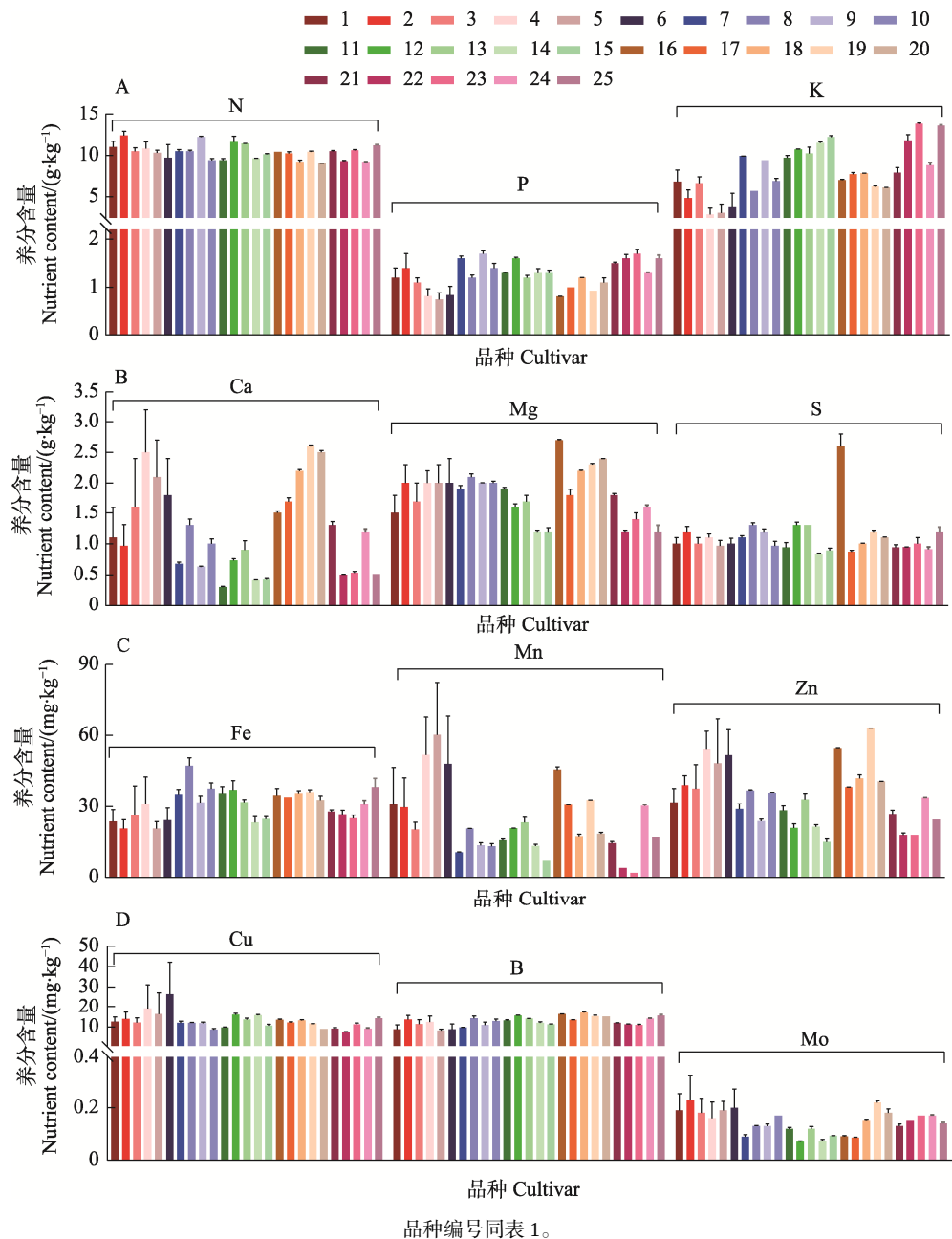
Fig. 1 Nutrient contents in litchi pericarp of different cultivars

纱的 B 含量最高 (17.07 mg/kg)，糯米糍的最低 (8.13 mg/kg)。Mo 是果核内含量最低的养分元素，以妃子笑最高 (0.230 mg/kg)，黑叶与仙桃荔的最低 (0.073 mg/kg)。

2.3 荔枝果肉养分含量

除妃子笑和马贵荔果肉以 N 含量为最高外，其余 23 个品种果肉均以 K 含量最高，在 7.68~15.68 g/kg 之间 (图 3A)。紫娘喜和唐夏红果肉的 P 含量最高 (2.47 g/kg)，水晶球、仙进奉和岭丰糯为最低 (1.07 g/kg)。果肉 Ca 含量以唐夏红最高 (0.61 g/kg)，桂味最低 (0.15 g/kg) (图 3B)。

果肉 S 含量与 Mg 含量较为接近。果肉 S 含量以唐夏红最高 (1.00 g/kg)，黑叶最低 (0.46 g/kg)；Mg 含量也以唐夏红最高 (1.9 g/kg)，绿纱、岭丰糯和仙进奉最低 (0.65 g/kg)。唐夏红的 Fe 含量最高 (40.12 mg/kg)，挂绿最低 (14.35 mg/kg) (图 3C)。大部分品种的果肉 Cu 元素含量高于其他微量元素，以马贵荔果肉 Cu 含量最高 (164.98 mg/kg)，井岗红糯最低 (5.25 mg/kg)。不同品种果肉 Zn 含量在 11.59~29.16 mg/kg 之间，马贵荔最高，糯米糍最低。桂味 Mn 含量最高 (8.57 mg/kg)，挂绿最低 (1.68 mg/kg)。



品种编号同表 1。  
Cultivars No. are the same as Table 1.

图 2 不同荔枝品种果核养分含量

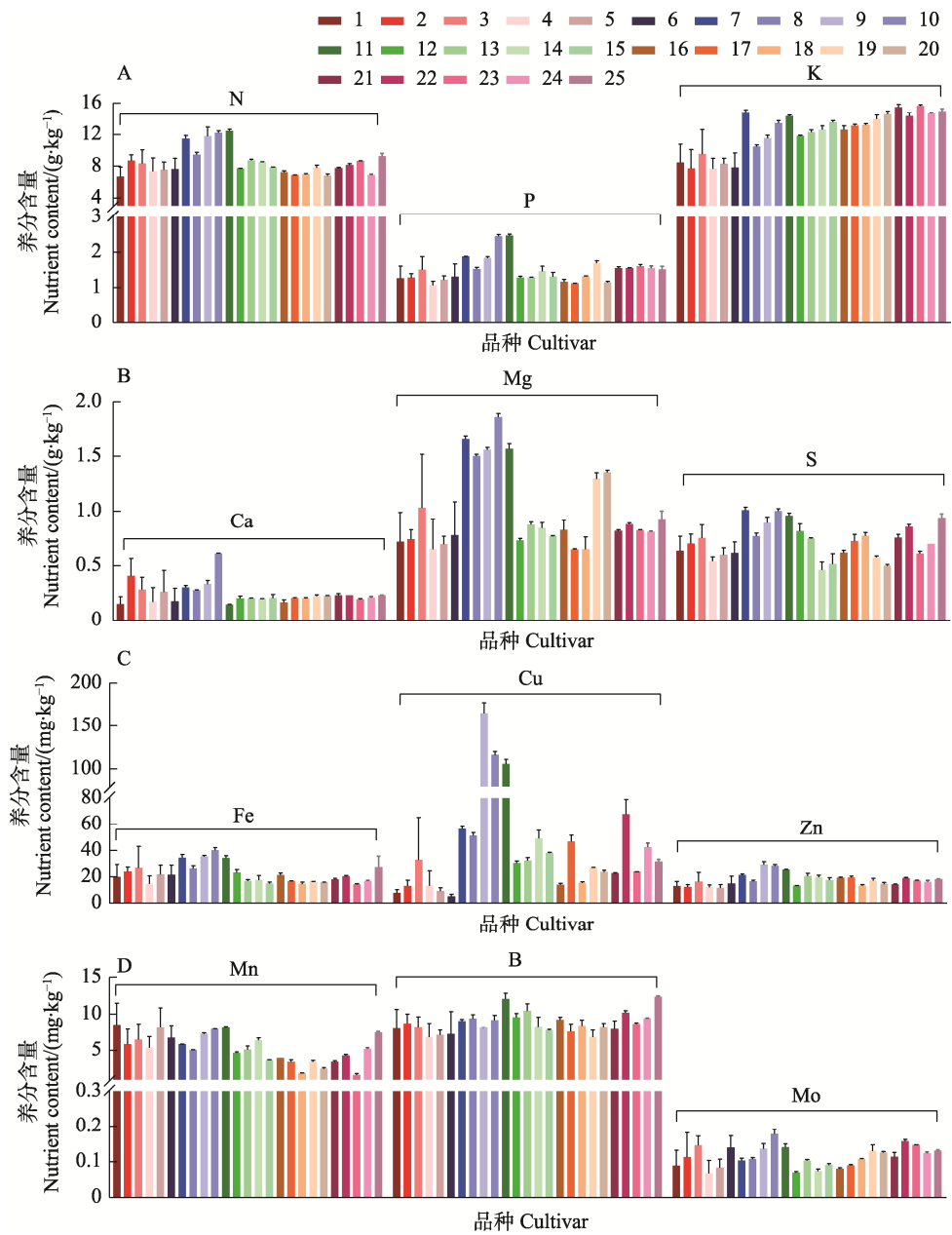
Fig. 2 Nutrient contents in litchi kernel of different cultivars

贵妃红的 B 含量最高 (12.39 mg/kg), 仙进奉和黑珍珠最低 (6.79 mg/kg)。各品种荔枝果肉 Mo 含量在 0.067~0.180 mg/kg, 其中仙进奉仅为 0.067 mg/kg (图 3D)。

2.4 养分元素在荔枝果实中的转移

2.4.1 养分从荔枝果皮转移至果核的能力  
不同品种荔枝从果皮转移 N 至果核的能力较为接近, 转移系数介于 0.81~1.18 之间, 其中以桂味最高, 水晶球最低。P 的转移系数差异较大, 其中

马贵荔的转移系数最高达 1.84, 而黑珍珠的仅为 0.53。除少数品种转移 K 能力较强外, 大部分品种 K 的转移能力均较弱, 其中仙进奉的 K 转移系数仅为 0.13。与 K 类似, 除少数品种从果皮转移 Ca 至果核的能力较强外, 大部分品种的 Ca 转移系数均较低, 其中巨美人、黑叶、仙桃荔、甜岩、紫娘喜的 Ca 转移系数分别为 0.13、0.12、0.12、0.11、0.10。不同品种的 Mg 转运能力存在较大差异, 其中绿纱的转移系数最高 (1.30), 仙桃荔最



品种编号同表 1。  
Cultivars No. are the same as Table 1.  
**图 3 荔枝不同品种果肉养分含量**  
Fig. 3 Nutrient contents in litchi flesh of different cultivars

低（0.49）。大部分品种的 S 转移能力较强，其中庙种糯转移 S 的能力最强（2.26），岭丰糯相对最弱（0.75）。Cu 是从果皮向果核转移能力最强的养分元素。其中，转移 Cu 能力最强的是绿纱（2.19），最弱的是仙进奉（1.24）。庙种糯对 Fe 的转移系数最高（1.76），紫娘喜最低仅为 0.63。大部分品种对 Mn 转运能力极弱，其中仙桃荔、甜岩和黑叶的转移系数分别为 0.089、0.092 和 0.094。Zn、B 和 Mo 在不同品种果皮至果核间的转移能力存在较大差异，如黑珍珠的 Zn 转移系数

（3.18）约为巨美人（0.45）的 7 倍，绿纱的 B（1.30）的转移系数为桂味（0.42）的 3 倍，翡翠和妃子笑的 Mo（1.39）的转移系数为仙桃荔（0.28）的 5 倍（表 2）。  
2.4.2 养分从荔枝果皮转移至果肉的能力 整体来看，Cu 从荔枝果皮向果肉的转移能力最强，转移系数均值高达 5.91；P 次之，转移系数均值为 1.32；N、K、Mg、S、Fe、Zn、B 和 Mo 8 种元素的转移能力中等，转移系数均值在 0.49~0.87 之间；而 Ca 和 Mn 元素向果肉转移的能力极低，

表 2 养分元素在不同品种荔枝果实从果皮至果核的转移系数

Tab. 2 Transfer factors of nutrient elements from pericarp to kernel in different litchi cultivars

| 品种 Cultivar | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | S    | Fe   | Mn    | Cu   | Zn   | B    | Mo   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 桂味          | 1.18 | 0.99 | 0.55 | 0.38 | 0.97 | 1.16 | 1.07 | 0.416 | 1.52 | 1.30 | 0.42 | 0.85 |
| 妃子笑         | 0.99 | 1.20 | 0.51 | 0.24 | 0.93 | 1.46 | 1.32 | 0.383 | 1.57 | 2.11 | 0.75 | 1.39 |
| 鸡嘴荔         | 1.02 | 0.88 | 0.39 | 0.46 | 0.85 | 1.03 | 1.20 | 0.231 | 1.62 | 1.28 | 0.60 | 1.17 |
| 仙进奉         | 1.00 | 0.62 | 0.13 | 0.52 | 0.90 | 1.02 | 1.36 | 0.577 | 1.24 | 1.86 | 0.68 | 0.63 |
| 糯米糍         | 1.07 | 0.72 | 0.28 | 0.85 | 1.13 | 1.20 | 1.33 | 0.769 | 1.44 | 2.31 | 0.45 | 0.75 |
| 井岗红糯        | 1.03 | 0.77 | 0.31 | 0.66 | 1.05 | 1.27 | 1.48 | 0.576 | 2.03 | 1.76 | 0.46 | 1.00 |
| 新球蜜荔        | 0.97 | 1.67 | 0.74 | 0.15 | 0.94 | 1.21 | 1.31 | 0.259 | 1.68 | 0.77 | 0.84 | 0.49 |
| 草莓荔         | 0.90 | 1.13 | 0.35 | 0.63 | 1.26 | 1.52 | 1.32 | 0.779 | 1.32 | 0.96 | 1.07 | 0.78 |
| 马贵荔         | 1.15 | 1.84 | 0.61 | 0.20 | 0.96 | 1.46 | 1.00 | 0.310 | 1.47 | 0.80 | 1.03 | 0.86 |
| 唐夏红         | 0.97 | 1.47 | 0.50 | 0.23 | 0.71 | 1.14 | 0.87 | 0.296 | 1.39 | 0.94 | 1.10 | 0.90 |
| 紫娘喜         | 1.07 | 1.54 | 0.55 | 0.10 | 0.85 | 1.27 | 0.63 | 0.437 | 1.57 | 0.79 | 1.06 | 0.75 |
| 仙桃荔         | 0.93 | 1.29 | 0.96 | 0.12 | 0.49 | 0.97 | 1.57 | 0.089 | 1.69 | 0.74 | 0.75 | 0.28 |
| 白糖罂         | 1.01 | 1.11 | 0.78 | 0.25 | 0.73 | 0.91 | 0.98 | 0.239 | 1.71 | 1.77 | 0.77 | 0.60 |
| 黑叶          | 0.85 | 1.11 | 1.18 | 0.12 | 0.67 | 0.81 | 0.72 | 0.094 | 1.39 | 0.57 | 0.87 | 0.63 |
| 巨美人         | 0.98 | 1.16 | 0.90 | 0.13 | 0.53 | 0.83 | 1.30 | 0.169 | 1.44 | 0.45 | 0.68 | 0.54 |
| 庙种糯         | 0.88 | 0.72 | 0.48 | 0.47 | 1.21 | 2.26 | 1.76 | 0.461 | 1.70 | 1.95 | 1.13 | 0.55 |
| 岭丰糯         | 0.97 | 0.89 | 0.49 | 0.47 | 0.96 | 0.75 | 1.01 | 0.510 | 1.67 | 1.66 | 1.03 | 0.59 |
| 绿纱          | 1.02 | 0.93 | 0.47 | 0.51 | 1.30 | 1.03 | 1.42 | 1.304 | 2.19 | 2.15 | 1.30 | 1.26 |
| 黑珍珠         | 0.87 | 0.53 | 0.33 | 0.55 | 0.99 | 0.99 | 1.35 | 1.570 | 1.79 | 3.18 | 0.82 | 1.37 |
| 水晶球         | 0.81 | 0.81 | 0.29 | 0.69 | 1.24 | 0.93 | 1.13 | 1.157 | 1.46 | 1.36 | 0.66 | 0.98 |
| 胭脂红         | 1.01 | 1.05 | 0.38 | 0.33 | 0.77 | 1.08 | 1.31 | 0.580 | 1.55 | 1.33 | 0.51 | 1.05 |
| 甜岩          | 0.97 | 1.33 | 0.54 | 0.11 | 0.51 | 1.17 | 1.11 | 0.092 | 1.74 | 2.04 | 0.64 | 1.15 |
| 挂绿          | 0.93 | 1.20 | 0.62 | 0.21 | 0.86 | 1.41 | 1.39 | 0.333 | 1.32 | 1.55 | 0.62 | 1.06 |
| 翡脆          | 1.05 | 1.01 | 0.41 | 0.28 | 0.75 | 1.03 | 0.87 | 0.253 | 1.58 | 1.32 | 0.62 | 1.39 |
| 贵妃红         | 1.14 | 1.26 | 0.57 | 0.15 | 0.58 | 1.14 | 1.28 | 0.144 | 1.39 | 1.19 | 0.53 | 1.13 |
| 均值          | 0.99 | 1.09 | 0.53 | 0.35 | 0.89 | 1.16 | 1.20 | 0.481 | 1.58 | 1.45 | 0.78 | 0.89 |

转移系数均值分别仅为 0.069 和 0.112（表 3）。

不同品种荔枝大、中量养分元素从果皮转移至果肉的能力也有较大差异。如，N 从紫娘喜果皮至果肉的转移系数最高（1.42），而庙种糯和水晶球则最低（0.61）。P 的转移系数以紫娘喜最高（2.95），仙进奉最低（0.81）。K 的转移能力以黑叶最强（1.29），仙进奉最低，仅为 0.37。Ca 是转移能力最低的元素，其转移系数介于 0.033~0.141 之间，以唐夏红最高，而仙桃荔最低。Mg 的转移系数以草莓荔最高（0.92），而仙桃荔最低仅为 0.22。紫娘喜（1.29）对 S 的转移能力最强，其转移能力是最低的水晶球（0.41）的 3 倍。

对于微量元素，不同品种从果皮运输至果肉的能力也存在一定差异。不同品种以妃子笑转移

Fe 的能力最强（1.52），翡脆最低（0.47）。挂绿和仙桃荔分别是转运 Mn 能力最强和最弱的品种，前者的转移系数（0.281）约为后者（0.020）的 14 倍。各种养分元素中品种间转移 Cu 能力的差异最大，马贵荔对 Cu 转移系数（20.73）是井岗红糯的（0.40）50 余倍。对于 Zn，甜岩的转移系数最高（2.14），仙进奉最低（0.41）。紫娘喜转移 B 的能力相对最强（0.97），而胭脂红最低（0.34）。甜岩转移 Mo 的能力最强（1.20），仙桃荔最低（0.26）。

N、K、Mg、B 和 Mo 5 种元素在果皮-果肉和果皮-果核间的转移能力均为中等，Ca 和 Mn 从果皮至果肉的转移能力极弱。S、Fe 和 Zn 从果皮至果肉的转移能力较弱，而从果皮至果核的转

表 3 养分元素在不同荔枝品种果实从果皮至果肉的转移系数  
Tab. 3 Transfer factors of nutrient elements from pericarp to flesh of different litchi cultivars

| 品种 Cultivar | N    | P    | K    | Ca    | Mg   | S    | Fe   | Mn    | Cu    | Zn   | B    | Mo   |
|-------------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 桂味          | 0.72 | 1.09 | 0.68 | 0.054 | 0.48 | 0.72 | 0.91 | 0.116 | 0.93  | 0.53 | 0.39 | 0.40 |
| 妃子笑         | 0.70 | 1.12 | 0.81 | 0.107 | 0.35 | 0.89 | 1.52 | 0.075 | 1.49  | 0.66 | 0.48 | 0.68 |
| 鸡嘴荔         | 0.81 | 1.15 | 0.57 | 0.071 | 0.53 | 0.74 | 1.22 | 0.074 | 4.38  | 0.55 | 0.44 | 0.96 |
| 仙进奉         | 0.69 | 0.81 | 0.37 | 0.072 | 0.29 | 0.50 | 0.64 | 0.060 | 0.86  | 0.41 | 0.37 | 0.27 |
| 糯米糍         | 0.79 | 1.17 | 0.80 | 0.091 | 0.40 | 0.74 | 1.39 | 0.105 | 0.80  | 0.55 | 0.39 | 0.33 |
| 井岗红糯        | 0.81 | 1.21 | 0.64 | 0.045 | 0.41 | 0.78 | 1.32 | 0.081 | 0.40  | 0.51 | 0.38 | 0.68 |
| 新球蜜荔        | 1.06 | 1.99 | 1.10 | 0.066 | 0.83 | 1.12 | 1.28 | 0.143 | 7.99  | 0.57 | 0.79 | 0.55 |
| 草莓荔         | 0.80 | 1.46 | 0.65 | 0.138 | 0.92 | 0.89 | 0.74 | 0.190 | 5.69  | 0.43 | 0.71 | 0.62 |
| 马贵荔         | 1.11 | 2.03 | 0.75 | 0.104 | 0.76 | 1.11 | 1.11 | 0.165 | 20.73 | 0.98 | 0.76 | 0.87 |
| 唐夏红         | 1.26 | 2.58 | 0.97 | 0.141 | 0.67 | 1.18 | 0.93 | 0.177 | 18.72 | 0.75 | 0.78 | 0.91 |
| 紫娘喜         | 1.42 | 2.95 | 0.82 | 0.049 | 0.69 | 1.29 | 0.61 | 0.225 | 17.06 | 0.70 | 0.97 | 0.90 |
| 仙桃荔         | 0.62 | 1.03 | 1.06 | 0.033 | 0.22 | 0.61 | 0.98 | 0.020 | 3.20  | 0.47 | 0.46 | 0.26 |
| 白糖罂         | 0.78 | 1.20 | 0.94 | 0.056 | 0.37 | 0.52 | 0.52 | 0.052 | 4.01  | 1.11 | 0.57 | 0.52 |
| 黑叶          | 0.76 | 1.28 | 1.29 | 0.058 | 0.47 | 0.45 | 0.54 | 0.045 | 4.35  | 0.52 | 0.60 | 0.63 |
| 巨美人         | 0.76 | 1.17 | 0.99 | 0.063 | 0.34 | 0.48 | 0.79 | 0.090 | 5.16  | 0.53 | 0.47 | 0.52 |
| 庙种糯         | 0.61 | 1.05 | 0.88 | 0.053 | 0.37 | 0.54 | 1.08 | 0.040 | 1.77  | 0.68 | 0.64 | 0.48 |
| 岭丰糯         | 0.66 | 0.96 | 0.83 | 0.056 | 0.34 | 0.62 | 0.50 | 0.057 | 6.38  | 0.85 | 0.59 | 0.62 |
| 绿纱          | 0.77 | 1.01 | 0.79 | 0.046 | 0.39 | 0.78 | 0.59 | 0.140 | 2.57  | 0.69 | 0.64 | 0.87 |
| 黑珍珠         | 0.65 | 0.96 | 0.76 | 0.047 | 0.57 | 0.49 | 0.62 | 0.165 | 4.12  | 0.87 | 0.36 | 0.81 |
| 水晶球         | 0.61 | 0.85 | 0.69 | 0.062 | 0.70 | 0.41 | 0.55 | 0.158 | 3.90  | 0.49 | 0.36 | 0.70 |
| 胭脂红         | 0.74 | 1.12 | 0.76 | 0.058 | 0.35 | 0.86 | 0.85 | 0.140 | 3.93  | 0.70 | 0.34 | 0.89 |
| 甜岩          | 0.84 | 1.30 | 0.66 | 0.052 | 0.38 | 1.05 | 0.86 | 0.100 | 16.09 | 2.14 | 0.58 | 1.20 |
| 挂绿          | 0.76 | 1.15 | 0.71 | 0.077 | 0.52 | 0.82 | 0.80 | 0.281 | 2.81  | 1.46 | 0.49 | 0.94 |
| 翡翠          | 0.79 | 1.23 | 0.69 | 0.048 | 0.38 | 0.79 | 0.47 | 0.043 | 7.35  | 0.63 | 0.41 | 0.98 |
| 贵妃红         | 0.94 | 1.22 | 0.62 | 0.067 | 0.44 | 0.93 | 0.91 | 0.064 | 3.08  | 0.89 | 0.42 | 1.08 |
| 均值          | 0.82 | 1.32 | 0.79 | 0.069 | 0.49 | 0.77 | 0.87 | 0.112 | 5.91  | 0.75 | 0.54 | 0.71 |

移能力较强。P 从果皮至果肉或果核的转移能力均较强，Cu 从果皮至果肉的转移能力极强，从果皮至果核的转移能力则有所降低。

2.5 不同荔枝品种果实养分累积特征

2.5.1 果实 N、K 累积聚类分析 对荔枝果实 N、P、K 累积量进行聚类分析时，由于 P 累积量远低于 N 和 K 累积量，难以作出明显的聚类区分，因此，仅对不同品种果实的 N 和 K 累积量进行聚类分析。由聚类分析结果可知，可将 25 个荔枝品种分为 7 个类群，第 1 类群为低 N 高 K 累积型，包含水晶球、胭脂红与翡翠 3 个品种，此类品种的 K、N 平均累积量分别为(329.3±15.1)、(165.1±4.4)g/100 kg，K/N 累积比为 1.99。第 2 类群为中 N 低 K 累积型，包含糯米糍、井岗红糯、桂味、马贵荔、草莓荔和唐夏红 6 个品种，N、K 平均累积量分别为(176.2±11.1)、(194.3.±14.3)g/100 kg，K/N

累积比为 1.10。第 3 类群为中 N 中 K 累积型，有鸡嘴荔、仙进奉和仙桃荔 3 个品种，N、K 平均累积量分别为(189.4±5.9)、(231.8.4±10.5)g/100 kg，K/N 累积比为 1.22。第 4 类群为中 N 高 K 累积型，包含巨美人、庙种糯、岭丰糯、绿纱和黑珍珠 5 个品种，N、K 平均累积量分别为(177.2±10.6)、(288.6±10.6)g/100 kg，K/N 累积比为 1.63。第 5 类群为高 N 低 K 累积型，仅有妃子笑 1 个品种，N、K 累积量分别为 210、168.3 g/100 kg，K/N 累积比为 0.80。第 6 类群为高 N 中 K 类型，包括新球蜜荔、白糖罂、紫娘喜和黑叶 4 个品种，N、K 平均累积量分别为(213.2±9.9)、(268.3±15.3)g/100 kg，K/N 累积比为 1.26。第 7 类群为高 N 高 K 类型，包含甜岩、挂绿和贵妃红 3 个品种，K 平均累积量为(380.8±19.1)g/100 kg，N 平均累积量为(222.4±14.3)g/100 kg，K/N 累积比例为 1.71(图 4)。

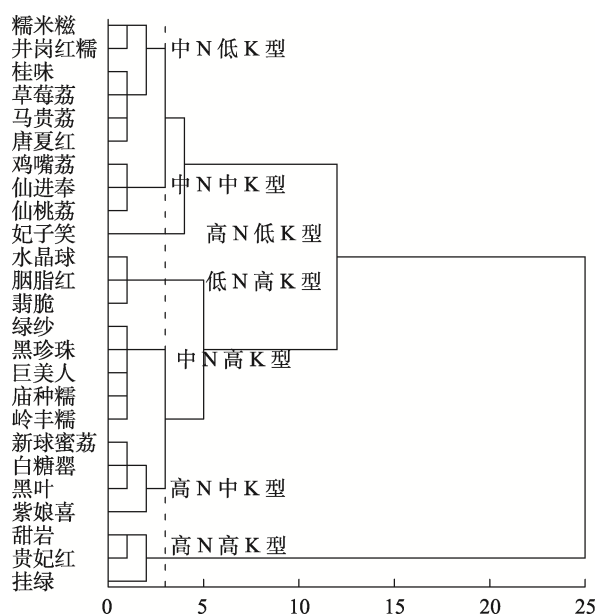


图 4 不同荔枝品种果实 N 和 K 养分累积聚类分析  
Fig. 4 Cluster analysis of N and K nutrient accumulation types in different litchi cultivars

2.5.2 果实微量元素累积聚类分析 对荔枝果实的 Ca、Mg、B 和 Mo 累积量进行聚类分析, 可将 25 个荔枝品种分为低、中、高 3 种累积类型 (图 5)。Ca 低累积型品种有桂味、糯米糍、黑叶等 10 个品种, Ca 平均累积量为  $(17.6 \pm 1.7) \text{g}/100 \text{kg}$ ; Ca 中累积型有白糖罂、水晶球、胭脂红和贵妃红 4 个品种, Ca 平均累积量为  $(22.3 \pm 1.1) \text{g}/100 \text{kg}$ ; Ca 高累积型品种包括妃子笑、鸡嘴荔、翡翠等 11 个品种, Ca 平均累积量达到  $(28.3 \pm 1.6) \text{g}/100 \text{kg}$ 。

25 个荔枝品种中, 对 Mg 累积量低的有桂味、妃子笑、巨美人等 13 个品种, Mg 平均累积量为  $(23.7 \pm 2.0) \text{g}/100 \text{kg}$ ; Mg 累积量中等的有鸡嘴荔、贵妃红、黑珍珠等 8 个品种, 平均累积量为  $(28.7 \pm 1.2) \text{g}/100 \text{kg}$ ; Mg 高累积型品种有新球密荔、唐夏红、紫娘喜和水晶球等 4 个品种, Mg 平均累积量高达  $(35.4 \pm 1.8) \text{g}/100 \text{kg}$ 。

属于 B 低累积型的品种包括仙进奉、糯米糍、黑珍珠等共 9 个品种, B 平均累积量为  $(190.0 \pm 16.1) \text{mg}/100 \text{kg}$ ; 桂味、妃子笑、水晶球等 15 个品种为 B 中累积型品种, B 平均累积量为  $(250.0 \pm 22.6) \text{mg}/100 \text{kg}$ ; 贵妃红属于 B 高累积型, B 累积量高达  $369.4 \text{mg}/100 \text{kg}$ 。

Mo 是荔枝果实累积量最低的养分元素, 其累积量远远低于其他微量元素养分。黑叶、仙桃荔、黑珍珠等 16 个品种为 Mo 低累积型, Mo 平均累积量为  $(2.4 \pm 0.3) \text{mg}/100 \text{kg}$ ; 桂味、妃子笑、水晶

球等 7 个品种属于 Mo 中累积型, Mo 平均累积量为  $(3.1 \pm 0.1) \text{mg}/100 \text{kg}$ ; 甜岩和挂绿则为 Mo 高累积品种, Mo 平均累积量为  $(3.7 \pm 0.1) \text{mg}/100 \text{kg}$ 。

### 3 讨论

#### 3.1 荔枝品种差异化养分管理类型

在作物生产中, 目前确定果树合理施肥量的主要方法有 4 种: 养分平衡法、土壤肥力指标法、肥料效应函数法、营养诊断法<sup>[11]</sup>。由于肥料效应函数法考察的是作物产量对施肥的真实田间反映, 被认为是确定合理施肥量的最准确方法。由于荔枝为多年生长寿命木本果树, 树体营养为多年累积的结果, 且荔枝主栽品种多, 近年优新品种不断出现, 通过田间试验确定不同品种荔枝合理施肥量, 不但难度大, 而且试验周期长。华南大部分荔枝园同时种植 2 个或 2 个以上品种荔枝, 根据荔枝品种养分累积特性进行差异化养分管理是极为必要的。不同品种荔枝果实养分累积量及累积比例差别较大, 本研究将 25 个主栽及优新荔枝品种分为低 N 高 K、中 N 低 K、中 N 中 K、中 N 高 K、高 N 低 K、高 N 中 K 和高 N 高 K 共 7 种养分累积类型。在荔枝座果后, 参考已有主栽品种妃子笑、桂味、白糖罂等的田间施肥技术研究结果<sup>[12-14]</sup>, 结合主栽和优新品种果实养分累积分类, 可制订有针对性的果实发育期氮钾养分管理策略。

#### 3.2 荔枝果皮 Mn 含量与黑皮病品种易感性差异的关系

近年来, 我国荔枝主产区 (广东、广西、海南、福建、云南和四川) 很多荔枝品种爆发一种由 Mn 胁迫诱发的生理性病害——黑皮病<sup>[15-17]</sup>。其中, 桂味、马贵荔和黑珍珠尤其容易发病且发病严重, 井岗红糯、岭丰糯、仙进奉等优新品种也较容易发病。发病荔枝果皮在果实膨大期出现不规则的黑褐斑, 严重影响果实外观, 大幅降低荔枝售价, 发病严重者甚至失去商品价值, 对荔枝生产打击很大。

本研究显示, Mn 从荔枝果皮向果核和果肉转移的能力均很低, 大部分的 Mn 累积在果皮, 这是荔枝易发黑皮病的重要生理基础。然而, 虽然桂味尤其容易发生黑皮病, 但本研究表明, 桂味果皮的 Mn 含量在 25 个荔枝品种中属中上水平。同时, 仙桃荔果皮的 Mn 含量明显高于其他供试品种, 但根据本课题组近年在华南荔枝主产区的

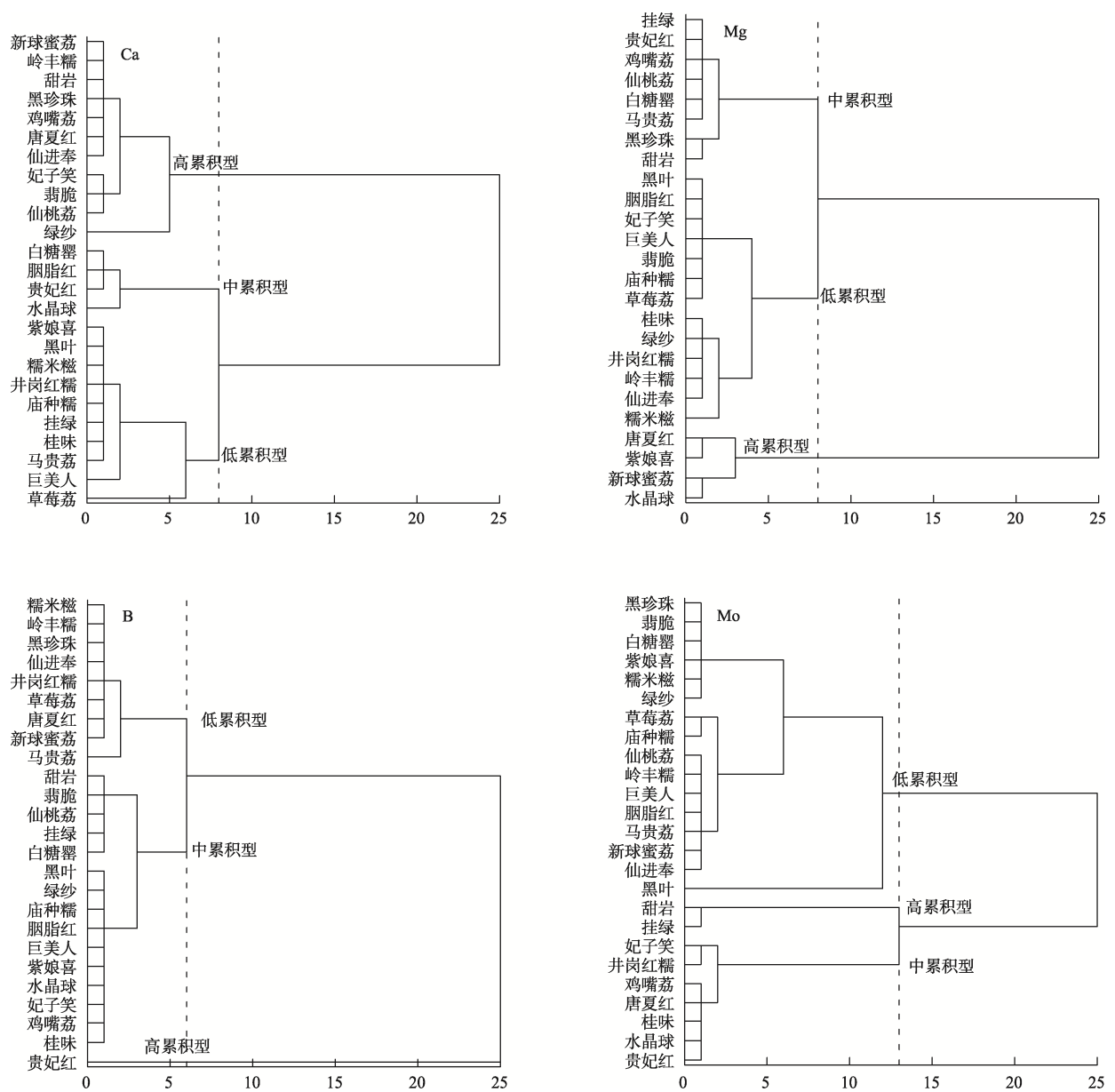


图 5 不同荔枝品种果实微量元素养分累积聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of secondary and micro-nutrient accumulation types in different litchi cultivars

观察，该品种不易发生黑皮病。在果皮 Mn 含量较高的新球蜜荔、马贵荔、唐夏红、巨美人和胭脂红中，仅有马贵荔在广东、广西、云南和四川多省（区）均普遍发病；唐夏红在四川产区也见发病；其他品种由于种植面积有限，目前难以确定其发病难易和普遍程度。这说明荔枝果皮 Mn 含量的高低并不是黑皮病品种敏感性差异的主要原因。这也佐证了本课题组前期研究提出的 Mn 胁迫下荔枝果皮活性氧累积响应是黑皮病发生关键的观点<sup>[15-17]</sup>。根据以上分析，比较不同荔枝品种黑皮病发生的差异，还需从 Mn 胁迫下不同品种荔枝果皮的生化响应机制进行深入研究。

3.3 荔枝果皮养分缺乏引起的生理性病害发生的品种间差异

华南荔枝园土壤普遍缺乏钙、镁、硼、钼 4 种养分<sup>[18-19]</sup>。根据本课题组多年调查和检测，华南 5 省（区）的妃子笑均容易出现缺钙、或钙镁或钙镁硼同时缺乏的生理性病害<sup>[20]</sup>，这可能与该品种 Ca 需求量高，且为早熟品种，果实发育期恰逢多雨季节有关。此外，糯米糍是传统优质品种，但其采前裂果现象尤为突出。这可能与糯米糍果皮 Ca 含量和果实 Ca 累积量低，且果皮薄有关。近年荔枝由锰胁迫、缺钙、钙镁缺乏或钙镁硼同时缺乏诱发的生理性病害发生越来越普遍，

而这种现象被认为与气候变化有很大关系<sup>[15-17, 20]</sup>。高温、干旱、低温、高湿均会加剧荔枝生理性病害的发生。IPCC 报告<sup>[21]</sup>指出,在全球大部分地区,极端气候呈显著上升趋势。《中国气候变化蓝皮书(2023)》<sup>[22]</sup>显示,中国气候系统变暖仍在持续,极端高温和极端强降雨事件自 20 世纪 90 年代中期以来明显增多,极端天气气候事件风险进一步加剧。20 世纪 90 年代初以来,华南地区前汛期总降水量呈显著增加趋势,极端强降水量异常程度也明显增强<sup>[23-24]</sup>,而该时期与荔枝果实膨大期(5—6 月)高度重合,导致荔枝果实出现生理性病害的风险也在增加。

为预防荔枝果实生理性病害的发生,根据不同品种锰、钙、镁、硼累积类型,尤其是对这 4 种养分累积量较高或较低的品种,研究有针对性的技术措施预防生理性病害的发生,是值得关注的科学问题。对于优新荔枝品种,在大规模推广种植之前,加强对其营养需求特性的研究,为科学施肥提供基础数据,也是十分必要且迫切的。

## 4 结论

大中微量元素养分在 25 个荔枝品种果皮、果核和果肉中的含量有一定差异,不同养分从果皮转移至果核和果肉的能力也有差异。Ca 和 Mn 从果皮向果核,尤其向果肉转移能力很低,成为荔枝果实发育的重要限制因素。优新品种仙桃荔 Ca、Mg、Mn 果皮中含量最高,向果核和果肉转移能力最弱,在生产上需要关注该品种生理性病害的发生。根据荔枝果实养分累积特点,25 个品种的 N、K 养分累积类型可划分为 7 种, Ca、Mg、B、Mo 的累积类型可分为 3 种,研究结果为制定不同品种的养分管理策略提供依据。

## 参考文献

- [1] 陈厚彬, 庄丽娟, 黄旭明, 苏钻贤. 荔枝龙眼产业发展现状与前景[J]. 中国热带农业, 2013(2): 12-18.  
CHEN H B, ZHUANG L J, HUANG X M, SU Z X. Status and prospects of litchi longan industry development[J]. China Tropical Agriculture, 2013(2): 12-18. (in Chinese)
- [2] 齐文娥, 陈厚彬, 罗滔, 宋凤仙. 中国大陆荔枝产业发展现状、趋势与对策[J]. 广东农业科学, 2019, 46(10): 132-139.  
QI W E, CHEN H B, LUO T, SONG F X. Development status, trend and suggestion of litchi industry in China's mainland[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2019, 46(10): 132-139. (in Chinese)
- [3] YANG B M, YAO L X, LI G L, HE Z H, ZHOU C M. Dynamic changes of nutrition in litchi foliar and effects of potassium-nitrogen fertilization ratio[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2015, 15(1): 98-110.
- [4] 侯延杰, 李鸿莉, 邱宏业, 李东波, 徐宁, 秦献泉, 张树伟, 朱建华, 彭宏祥. 桂味荔枝 2 种不同时期老熟秋梢营养变化研究[J]. 南方园艺, 2021, 32(6): 11-14.  
HOU Y J, LI H L, QIU H Y, LI D B, XU N, QIN X Q, ZHANG S W, ZHU J H, PENG H X. Study on nutritional changes of autumn shoots of Guiwei litchi matured at two different stages[J]. Southern Horticulture, 2021, 32(6): 11-14. (in Chinese)
- [5] 苏雪霞, 白翠华, 周昌敏, 朱陆伟, 姚丽贤. 养分元素在荔枝叶片-枝条-果实间的转移能力[J]. 中国南方果树, 2022, 51(1): 75-81.  
SU X X, BAI C H, ZHOU C M, ZHU L W, YAO L X. Mobility of nutrient elements via leaf-twig-fruit in litchi[J]. South China Fruits, 2022, 51(1): 75-81. (in Chinese)
- [6] 姚丽贤, 周昌敏, 何兆桓, 李国良, 杨苞梅. 荔枝主栽品种树体营养累积特点及与土壤养分关系[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(2): 40-47.  
YAO L X, ZHOU C M, HE Z H, LI G L, YANG B M. Nutrient accumulation characteristics of main litchi cultivars and their relationships with soil nutrients[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(2): 40-47. (in Chinese)
- [7] 罗东林, 王伟, 朱陆伟, 白翠华, 李欢, 周昌敏, 邱全敏, 姚丽贤. 华南荔枝叶片营养诊断指标的建立[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(5): 859-870.  
LUO D L, WANG W, ZHU L W, BAI C H, LI H, ZHOU C M, QIU Q M, YAO L X. Establishment of foliar nutrient diagnosis norms for litchi in South China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2019, 25(5): 859-870. (in Chinese)
- [8] 苏钻贤, 杨胜男, 陈厚彬, 申济源. 2020 年我国荔枝主产区的生产形势分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(7): 1598-1605.  
SU Z X, YANG S N, CHEN H B, SHEN J Y. Analysis of the production situation for litchi in main planting areas of China in 2020[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(7): 1598-1605. (in Chinese)
- [9] 姚丽贤, 周昌敏, 何兆桓, 李国良, 白翠华. 荔枝年度枝梢和花果发育养分需求特性[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 1128-1134.  
YAO L X, ZHOU C M, HE Z H, LI G L, BAI C H. Annual nutrient demand for the growth of autumn branch, spica and fruit in litchi[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,

- 2017, 23(4): 1128-1134. (in Chinese)
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 44-58.
- LU R K. Methods of soil agrochemical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 44-58. (in Chinese)
- [11] 谭金芳. 作物施肥原理与技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2021: 108-130.
- TAN J F. Principle and techniques of crop fertilization[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2021: 108-130. (in Chinese)
- [12] 李国良, 姚丽贤, 何兆桓, 周昌敏, 黄连喜, 国彬, 涂仕华. 肥料运筹对荔枝生长、品质及产量的影响[J]. 热带作物学报, 2011, 32(1): 15-20.
- LI G L, YAO L X, HE Z H, ZHOU C M, HUANG L X, GUO B, TU S H. Effect of fertilizer application strategy on the growth, quality and yield of litchi[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(1): 15-20. (in Chinese)
- [13] 杨苞梅, 姚丽贤, 李国良, 周昌敏, 何兆桓. 荔枝叶片养分含量动态及不同比例钾、氮肥施用效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1212-1220.
- YANG B M, YAO L X, LI G L, ZHOU C M, HE Z H. Dynamic changes of nutrition in litchi leaves and effects of potassium and nitrogen fertilization[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(5): 1212-1220. (in Chinese)
- [14] 姚丽贤, 周昌敏, 王祥和, 何兆桓, 罗东林, 白翠华. 施用常用有机肥对荔枝产量、品质及土壤性质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 87-93.
- YAO L X, ZHOU C M, WANG X H, HE Z H, LUO D L, BAI C H. Effect of application of organic fertilizers on litchi[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2017(5): 87-93. (in Chinese)
- [15] SU X X, ZHU Y C, BAI C H, LIU H L, WEI Z H, YAO L X. Dark pericarp disease in litchi is induced by manganese stress[J]. Plant and Soil, 2022, 481(1/2): 563-579.
- [16] LIU H L, BAI C H, GUO Y J, YANG Z, LUO X P, LIU S L, HUANG Y H, YAO L X. The combined use of soil conditioner and foliar sulfur spray successfully prevents dark pericarp disease induced by manganese toxicity in litchi[J]. Agronomy, 2024, 14(3): 449.
- [17] LIU S L, XIAO Y P, BAI C H, LIU H L, SU X X, JIN P, XU H T, CAO L X, YAO L X. The physiological and biochemical responses to dark pericarp disease induced by excess manganese in litchi[J]. Plant Physiology Biochemistry, 2024, 206: 108269.
- [18] 李国良, 姚丽贤, 何兆桓, 张育灿, 周修冲, 涂仕华. 广东省荔枝园土壤养分肥力现状评价[J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 800-804.
- LI G L, YAO L X, HE Z H, ZHANG Y C, ZHOU X C, TU S H. Evaluation on soil nutrient fertility status in litchi plantation of Guangdong[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(4): 800-804. (in Chinese)
- [19] 李国良, 张政勤, 姚丽贤, 杨苞梅, 何兆桓. 广西壮族自治区与福建省荔枝园土壤养分肥力现状研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 867-871.
- LI G L, ZHANG Q Z, YAO L X, YANG B M, HE Z H. Soil nutrient fertility in litchi orchards of Guangxi Zhuang Autonomous Region and Fujian province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(4): 867-871. (in Chinese)
- [20] 姚丽贤, 周昌敏, 何兆桓, 姜子德, 白翠华. 荔枝龙眼果实异常症状观察及矿质营养分析[J]. 中国南方果树, 2017, 46(4): 49-54.
- YAO L X, ZHOU C M, HE Z H, JIANG Z D, BAI C H. Observation of abnormal symptoms and mineral nutritional analysis of litchi and longan fruit[J]. South China Fruits, 2017, 46(4): 49-54. (in Chinese)
- [21] TOMAS F S. Climate change 2013: the physical science basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014: 12-15.
- [22] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2023)[M]. 北京: 科学出版社, 2023: 33-35.
- National Climate Center. Blue book on climate change in China (2023)[M]. Beijing: Science Press, 2023: 33-35. (in Chinese)
- [23] 张辛, 张凌云. 我国极端降水时空分布及大气环流背景研究进展[J]. 气象研究与应用, 2023, 44(4): 70-77.
- ZHANG X, ZHANG L Y. Progress in the study of spatio-temporal distribution of extreme precipitation and its atmospheric circulation background in China[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(4): 70-77. (in Chinese)
- [24] HUANG F, HE M, TANG Z, LI H S, WANG S Q, JIN C. Climatological characteristics of heavy rainfall during rainy season in South China: an analysis of IMERG precipitation data from 2001 to 2020[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2024, 40(2): 272-284.