

基于植物营养的荔枝龙眼果实异常现象的初步诊断

姚丽贤¹ 周昌敏² 何兆桓² 姜子德¹ 白翠华¹ 涂仕华³

(1 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州, 510642; 2 广东省农业科学院农业资源与环境研究所, 广东 广州, 510640;

3 国际植物营养研究所成都办事处, 四川 成都)

摘要: 近年来我国荔枝龙眼主产区出现这两种果实发育期果实异常的现象, 具体表现为小果和中果期内、外果皮出现黑褐色斑点/块, 但内果皮更为严重, 重者果皮开裂, 种胚坏死。大果期外果皮皱缩凸起, 果实畸形变小; 内果皮有黑褐色或淡绿色向果肉侵入的痂状物, 严重者侵入部位果肉褐变腐烂。不同时期果实异常现象均表现出由内而外更为严重的规律。作者在排除病原物侵染致病前提下, 观察对比了异常与正常果实的微观形貌, 测试了果实不同部位 N、P、K、Ca、Mg 和 B 等养分含量, 跟踪调查了果实异常果园的管理、施肥及气候情况。初步判断这些果实异常现象是由于不良气候引起的果实缺 Ca 生理性病害。对个别果园, 缺 B 可能也是一个共同影响因素。

关键词: 荔枝; 龙眼; 钙; 硼; 生理性病害

近年来我国荔枝、龙眼主产区频现成年树果实发育期生长异常现象, 对区域水果生产造成了较大影响。2014–2015 年我们收集了多个果园的异常果和正常果样本, 首先由国家荔枝龙眼产业技术体系病害防控岗位专家姜子德教授团队对异常果进行了病原物培养、分离和鉴定, 但均未发现有可疑病原物存在。然后, 利用扫描电镜对部分荔枝果实样本进行了形貌观察和能谱分析, 同时测定了 2014–2015 年所有样本的相关养分含量。综合果园管理、施肥和气候数据, 对荔枝龙眼果实异常现象进行了初步诊断。本文将诊断过程介绍如下, 希望为今后此类异常现象的诊断及进一步深入研究提供前期研究基础, 也为生产上判断和预防此类现象提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2014 年 5 月中旬分别收到广西灵山文利镇某果园草莓荔小果期的正常和异常果实样本、广东汕尾东冲镇某果园妃子笑中果期的正常和异常果实样本。将两种荔枝正常和异常果实分别分为果皮和果核样本备用。2015 年 5 月 22 日收到海南澄迈县永兴镇某果园紫娘喜大果期异常果

实样本, 但该次样本量不足以进行相关测试分析。5 月 30 日再次收到该果园寄来的足量异常和正常果实样本。将果皮分为正常果实果皮、异常果黑褐色皱缩凸起部分果皮及其他部分果皮共三种样本, 果肉和果核则仅分为正常果和异常果样本。2015 年 6 月 17 日收集了广西钦州钦北区某果园中果期龙眼正常和异常果实, 分别分为果皮、果肉 + 果核两部分样本。

1.2 样本处理及测试

将 2014 年广西灵山文利镇草莓荔和广东汕尾市东冲镇妃子笑正常和异常果果皮和果核样本分别再分为两部分, 一部分利用扫描电镜进行形貌观察和能谱分析。其中, 异常果取褐变的果皮和果核作为样本。植株样本进行以下前处理: 首先滴加 1–2 滴 2.5% 戊二醛防止样本继续褐变; 用剪刀、镊子对所选部位进行取样, 取样面积为 5×5 毫米, 然后放入已加有 1.5 毫升 4% 戊二醛的 2 毫升塑料离心管里, 静置过夜。用滴管把戊二醛吸出, 加入 0.1M 磷酸缓冲溶液 1.5 毫升, 放置 10 分钟, 重复 3 次。然后, 用 30% 乙醇脱水 10 分钟, 重复 2 次。再用 50% 乙醇脱水 10 分钟, 重复 2 次。再用 70% 乙醇脱水 1 次 10 分钟, 90% 乙醇脱水 10 分钟 1 次, 100% 乙醇脱水 10 分钟 2

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(荔枝龙眼, CARS-33-10)

作者简介: 姚丽贤, 女, 博士, 研究员, 主要从事果树营养与养分管理技术研究。E-mail: lyaolx@scau.edu.cn

次。最后，样本用醋酸异戊酯过渡 15 分钟，重复 2 次，再用二氧化碳在临界点干燥 180 分钟后，送至华南理工大学分析测试中心进行场发射扫描电镜观察。所用扫描电镜为德国 LEO 公司 LEO 1530 Vp 型产品，分辨率为 1nm (20 千伏)，放大倍率为 20X-900000X，工作加速电压为 0.1 千伏-30 千伏。其主要附件能量谱仪为英国 Oxford 公司的 EDS Inca 300。另一部分正常果和异常果果皮和果核样本经杀青、烘干、粉碎，用常规方法^[1]测定不同部位 K、Ca、Mg 和 B 含量，用标准物质 GBW 07603 (GSV-2) 控制测试质量。广东汕尾东冲妃子笑果实由于样本量太少，未能进行养分含量测试。

2015 年海南澄迈永兴紫娘喜及广西钦州钦北储良龙眼果实不同部位样本经杀青、烘干、粉碎后按照常规方法测定 N、P、K、Ca、Mg 和 B 含量。用标准物质 GBW 07603 (GSV-2) 控制测试质量。2014-2015 年每种样本视样本量多少，样本重复 2-4 次进行测试。

1.3 数据处理

正常和异常果实样本养分含量用成对样本 t 检验统计其差异显著性 ($p=0.05$)，部分 3 对样本数据用 SAS 9.0 进行 LSD 显著性统计 ($p=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 荔枝龙眼果实异常现象

2014-2015 年荔枝龙眼果实异常现象随果实发育阶段有一定差别。如图 1 所示，广西灵山文利镇草莓荔小果期出现大量果实异常现象，周边数个果园荔枝也出现同样症状。异常现象症状较轻者外果皮正常或有轻微黑褐斑点，内果皮则已有明显黑褐斑，但种胚（果核）尚正常完好；稍严重者外果皮有黑褐斑，但内果皮大面积出现黑褐色；严重者则果皮开裂，露出种胚，种胚从顶部开始部分坏死，内果皮基本全部为黑褐色，也有部分果实外果皮虽未开裂，但种胚已部分坏死，内果皮大部分为黑褐色。草莓荔这种异常现象是由内而外发生，内部症状比外部严重。因草莓荔果实异常现象原因未明，该果园仍按照常规方法管理，并观察异常症状的发展。至 2015 年 6 月成熟期，小果期异常现象较轻果实变为畸形、皱缩，明显小于正常果实，内果皮有向内凸起的痂状物，与内果皮相接处为黑褐色，凸起部分为淡绿色（如图 2）。小果期种胚坏死果实则停止发育，逐渐变得干枯。



图 1 2014 年广西灵山文利草莓荔小果期果实异常症状

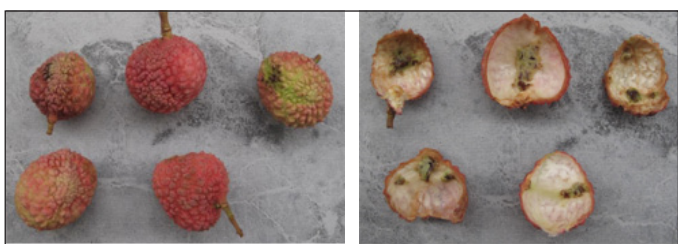


图 2 2014 年广西灵山文利草莓荔小果期异常果在成熟期果实形貌

广东汕尾东冲镇中果期妃子笑果实外果皮有轻微黑褐斑点，肉眼观察果肉及果核尚正常，但内果皮有明显黑褐斑（图 3）。

2015 年 5 月 22 日海南澄迈永兴紫娘喜异常果生长比正常果明显偏慢，果实小且硬，外果皮着色迟或难以着色，而且果蒂处内果皮有向果肉侵入的黑褐色痂状物或出现水渍状腐烂（图 4）。至 5 月 30 日，异常果外果皮虽能着色，但着色迟，而且着色不均匀或甚至出现黑褐色皱缩凸起，



图3 2014年广东汕尾东冲镇妃子笑中果期果实异常现象

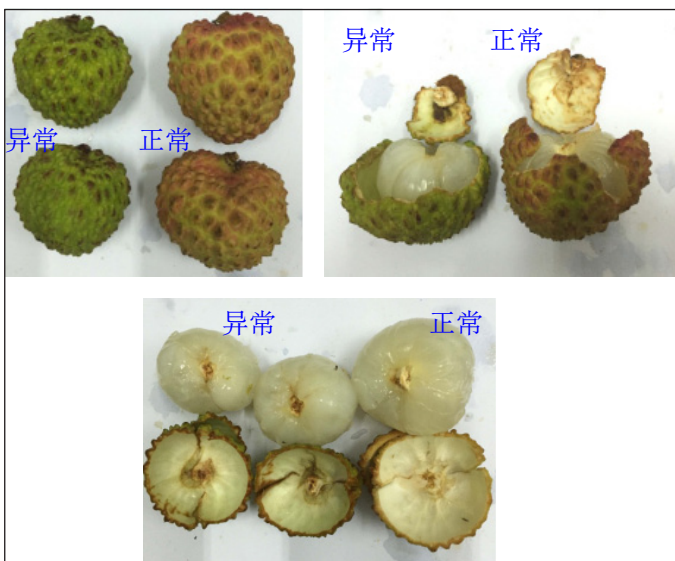


图4 2015年5月22日海南澄迈永兴紫娘喜大果期果实异常现象



图5 2015年5月30日海南澄迈永兴紫娘喜大果期果实异常现象

果蒂内部腐烂且附近内果皮黑褐色斑块明显，与果蒂相接附近果肉也出现褐色腐烂（图5）。

广西钦州钦北区储良龙眼果实在直径约为1厘米时约有40%的果实出现生长缓慢甚至停滞的异常现象，果实僵硬、外果皮有黑褐斑或整个变为褐色，严重者果皮开裂，可见坏死的褐变果核（图6）。异常果内果皮大部分或全部褐变，果肉也褐变。纵切果实，正常果果肉及果核内部呈乳白色，但异常果果肉和果核出现不同程度褐变，严重者果核完全褐变坏死。龙眼果实异常症状具有内部比外部严重的规律（图6）。



图6 2015年广西钦州钦北区储良龙眼异常现象

2.2 荔枝果实形貌观察及能谱分析

利用扫描电镜对广西灵山文利草莓荔和广东汕尾东冲妃子笑正常果和异常果果皮和果核形貌进行观察，结果分别见图7和8。可见草莓荔和妃子笑正常果果皮和果核组织纹理清晰有序，草莓荔异常果内果皮和果核组织结构破碎、散乱且有空洞，但妃子笑异常果仅果皮组织散乱无序，果核组织仍然正常。这表明妃子笑果实异常现象轻于草莓荔，这与肉眼观察结果一致。

进一步的能谱分析结果（表1）显示，与正常果果皮和果核Ca含量相比，草莓荔和妃子笑异常果Ca含量均

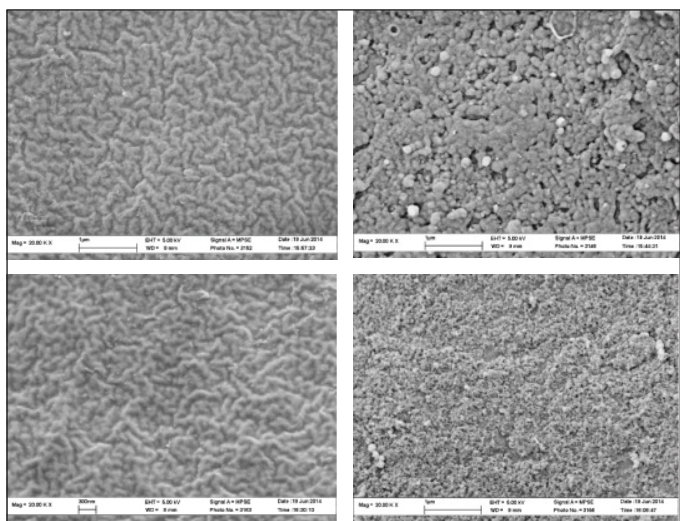


图7 广西灵山文利草莓荔正常（左）和异常（右）果皮（上）及果核（下）形貌比较（2万倍）

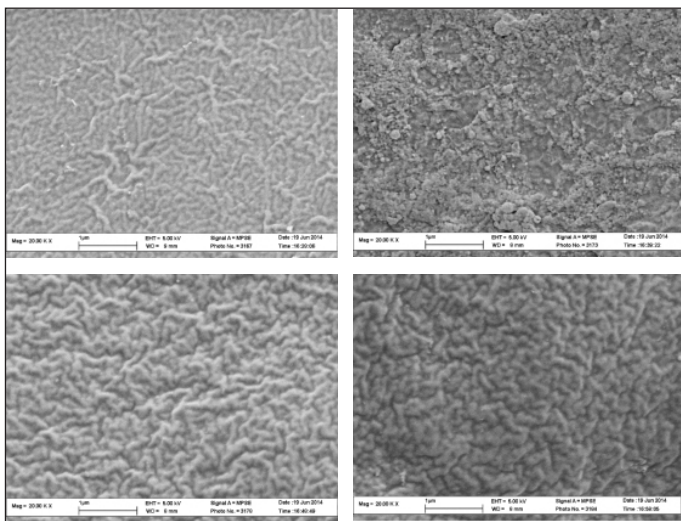


图8 广东汕尾东冲妃子笑正常(左)和褐变(右)果皮(上)及果核(下)形貌比较(2万倍)

明显偏低, 仅为正常果的 1/6 至 1/2。由于能谱分析仪对原子量 <40 的元素含量测试准确度相对较差, 果实样本的 K 含量不能全部测出。

地点及品种	部位	样本来源	K (%)	Ca (%)
广西灵山文利草莓荔	果皮	正常果	--	0.50
		异常果	--	0.23
	果核	正常果	--	0.53
		异常果	--	0.12
广东汕尾东冲妃子笑	果皮	正常果	1.35	0.76
		异常果	1.47	0.12
	果核	正常果	--	--
		异常果	--	--

2.3 荔枝龙眼果实养分含量

广西灵山文利草莓荔果实养分含量测定结果(表 2)显示, 除 Ca 外, 草莓荔正常和异常果实的果皮和果核 K、Mg 和 B 含量均没有明显差别。正常果果皮和果核 Ca 含量均显著高于异常果。然而, 与表 1 能谱分析仪测定的 Ca 含量相比, 原子吸收分光光度法测定的正常和异常果实样本间的 Ca 含量差异相对较小, 这可能是样本本身造成的差异。因为用于形貌观察的异常果样本为完全褐变的果皮和果核组织, 而原子吸收分光光度法由于所需样本量较大, 所用异常果样本中仍包含了部分绿色正常组织, 在一定程度上掩盖了正常果和异常果 Ca 含量的差异。因此, 能谱分析仪测定的 Ca 含量能更准确反映正常果和异常果 Ca 含量差异。由于 Ca 是植物细胞壁的必要组成, 维持细胞膜的结构和稳定, 缺 Ca 会导致膜结构破碎^[2]。异常草莓荔果皮及果核的微观形貌结构观察结果与该结论吻合。综上所述, 我们初步判断草莓荔果实异常现象由缺 Ca 造成。

根据海南永兴紫娘喜正常果和异常果不同部位养分含量测定结果(表 3), 与正常果相比, 异常果果皮、果肉和果核 N、P、K 含量均显著高于正常果, 而且异常果其他部分果皮 N、P、K 含量也显著高于异常果黑褐色部分果皮的含量。然而, 异常果果皮 Ca、Mg 含量则显著低于正常果, 而且异常果黑褐色部分的 Ca、Mg 含量也显著低于异常果其他部分的含量。果肉 Ca、Mg 含量则为异常果显著高于正常果。异常果果核 Ca、Mg 含量则与正常果的十分接近。对于 B 含量, 异常果其他部分果皮

部位	样本性质	K Ca Mg B			
		(克/公斤)			
果皮	正常果	14.6±0.0a	4.3±0.2a	1.7±0.0a	16.7±0.6a
	异常果	14.9±0.0a	4.0±0.0b	1.7±0.1a	18.7±0.6a
果核	正常果	16.7±0.0a	4.7±0.1a	1.8±0.1a	18.2±0.6a
	异常果	17.4±0.0a	4.0±0.0b	2.0±0.0a	16.6±0.6a

部位	样本性质	N P K Ca Mg B					
		(克/公斤)					
果皮	正常果	10.4±0.0c	1.0±0.0c	9.6±0.0c	6.8±0.1a	2.7±0.0a	19.7±0.7a
	异常果黑褐色部分	12.7±0.2b	1.4±0.0b	15.2±0.2b	4.2±0.0c	1.9±0.0c	13.5±0.5b
	异常果其他部分	15.6±0.2a	1.7±0.0a	16.9±0.0a	5.2±0.1b	2.3±0.0b	20.6±0.5a
果肉	正常果	11.8±0.2b	1.4±0.0b	14.2±0.0b	0.6±0.0b	1.1±0.0b	9.7±0.8a
	异常果	18.9±0.3a	2.3±0.0a	22.1±0.1a	0.9±0.1a	1.8±0.0a	10.8±0.1a
果核	正常果	12.7±0.2b	1.4±0.0b	8.6±0.1b	0.6±0.0a	1.4±0.0a	10.9±0.1a
	异常果	14.0±0.2a	1.6±0.0a	10.2±0.1a	0.5±0.0a	1.4±0.0a	10.8±0.5a

表4 广西钦州钦北区储良龙眼果实养分含量

部位	样本性质	N P K Ca Mg B (克/公斤)					
		果皮	正常果	10.6±0.1b	1.0±0.0a	9.8±0.1b	10.9±0.1a
	异常果	12.0±0.2a	1.1±0.0a	10.6±0.1a	7.3±0.1b	1.8±0.0a	4.2±0.2b
果肉+核	正常果	13.1±0.6a	2.4±0.0a	16.3±0.1a	3.3±0.2a	1.1±0.0a	7.8±0.0a
	异常果	15.5±0.2a	2.4±0.0a	17.6±0.4a	3.2±0.2a	1.3±0.0a	2.2±0.1b

与正常果果皮的接近,且两者均显著高于异常果黑褐色部分果皮 B 含量。由此推测,紫娘喜果实异常现象可能与果皮 Ca、Mg 含量偏低有关。

由于紫娘喜正常果果皮 K 含量显著低于异常果,但其 Ca、Mg 含量则显著高于异常果,这进一步证实了荔枝植株中 K 与 Ca、Mg 营养间存在拮抗关系^[3]。故紫娘喜异常果果皮 K、Ca、Mg 营养失衡应该是由过高的 K 营养对 Ca、Mg 养分的抑制或是由过低的 Ca、Mg 养分供应导致 K 累积过高造成。海南澄迈永兴紫娘喜产区土壤为火山灰土壤。该园土壤基本理化性质经测试为: pH 6.3, 土壤碱解 N 和有效 P 含量分别为 322.3 和 37.7 毫克/公斤,速效 K 和交换性 Ca、Mg 含量分别为 226.5、2783.9 和 307.6 毫克/公斤,有效 B 含量为 0.1 毫克/公斤。除土壤有效 B 含量缺乏外,土壤整体养分配力高。另外,该果园施肥调查显示,该园按照往年常规方法施肥,并未过量施用钾肥。因此,异常果果皮 K、Ca、Mg 营养失衡估计是由于 Ca、Mg 营养供应不足而造成的 K 累积偏高。本文紫娘喜果实处于着色期,果实迅速膨大,累积养分能力强,但异常果生长迟缓,果小且僵硬,在 Ca、Mg 养分供应不足而 N、P、K 供应充足的情况下,N、P、K 养分吸收正常,生物量浓缩作用导致了异常果 N、P、K 含量显著高于正常果。

从广西钦州钦北储良龙眼果实养分含量测定结果(表4)来看,异常果果皮、果肉+核的 N、P、K、Mg 含量与正常果的接近或甚至显著提高(大概也由生物量浓缩效应所致),但果皮 Ca 含量则显著低于正常果。异常果果皮及果肉+核 B 含量均显著低于正常果。这表明储良果实异常现象与 N、P、K、Mg 营养关系不大,应与 Ca 或 B 营养不足有关。

3 讨论

植株体内 Ca 运输主要是依靠蒸腾拉力,蒸腾作用越大,生长时间越长,经木质部运入的 Ca 就越多。果实中 Ca 含量与 Ca 素的运输分配有密切关系,而与土壤 Ca 供应水平关系不大^[4,5]。水分是植株地上部 Ca 分配的决定

性因素之一^[6]。果实膨大期的蒸腾强度远小于叶片,有时会出现果实中 Ca 向叶片倒流而引起果实缺 Ca^[6-8]。气候条件如低温^[9]、干旱^[6]和光照^[10]、营养不平衡(如氮营养过高)^[11]和土壤盐分含量高^[12]会抑制 Ca 的吸收和运输,树体激素水平^[13,14]对 Ca 的运输也有影响。因此,即使在含 Ca 丰富的土壤上也可观察到植物缺 Ca 的生理紊乱现象^[15]。另外,果实发育过程中,Ca 在果实的分配并不均匀。叶片吸收的 Ca 很少向果实运输,即使外源喷施的 Ca 被果皮吸收后,也不是累积在果皮,而是向果肉转移^[7]。此外,在快速生长的器官,Ca 含量往往较低,也容易出现缺 Ca 现象^[6]。

根据广西农科院园艺研究所科研人员提供的 2014 年广西灵山文利草莓荔果实异常果的日常管理、施肥及当地天气记录数据,该果园按照常规方式管理,上年采果后至发现小果异常现象期间各种养分施入量在正常范围。气象数据显示,当地 2014 年 2 月 1 日至 4 月 9 日 69d 内,降雨天数 37d,且降雨在 3-4 月上旬较为集中且雨量较大,期间空气相对湿度在 82-93% 之间且气温低于常年同期温度。该果园在 5 月 5 日开始发现果皮出现黑褐斑甚至裂果现象。周边部分荔枝园也陆续出现这种果实异常现象。这表明草莓荔果实缺 Ca 并不是由于管理或施肥不当造成,而应该与该地区 3-4 月间持续低温高湿、荔枝树体蒸腾拉力显著降低减少导致的 Ca 吸收不利及运输障碍有关。

广东汕尾东冲镇发生妃子笑果实异常现象的果农反映,当地 2014 年 4 月 3 日至 4 月底连续降雨 20 多天,在 5 月 1 日即发现妃子笑果皮出现黑褐斑,剥开果皮发现内果皮褐变更明显,以中果褐变最为明显,小果次之,大果相对较少,但均未出现裂果现象。该果园附近多个果园荔枝也出现类似情况。我们初步判断这种异常现象也是由气候因素(高湿)造成的 Ca 运输障碍造成的果皮缺 Ca 有关。

据海南省农科院热带果树研究所研究人员反映,澄迈永兴紫娘喜果实异常果园所在地区 5 月中下旬高温干旱(缺乏当地气象数据),也是果肉快速膨大接近成熟的时期,果农需要每天深夜灌水解旱。因此,即使在果园土壤 Ca

丰富条件下, 由于高温干旱仍然会出现果实缺 Ca 而导致的异常现象。

以上显示, 上述数起荔枝龙眼果实异常现象多在低温、阴雨、潮湿或高温干旱的不良气候条件下出现, 而且症状均表现出由内而外更为严重的规律。因此, 在排除病原物侵染的前提下, 我们初步判断广西灵山文利、广东汕尾东冲和海南澄迈永兴荔枝果实膨大期异常现象是由于不良气候引起 Ca 吸收运输障碍而导致的果实缺 Ca 生理性病害。另外, 由于 Ca、B 共同维持细胞壁的稳定, 影响细胞膜的透性^[16], 而且均主要依靠蒸腾拉力作为运输动力^[17], 这可能是作物缺 Ca 和缺 B 症状相似^[18]的主要原因。目前对 Ca、B 两者互作关系虽有大量研究, 但结果并不一致^[18, 19]。根据目前已有数据及信息, 并不能确定广西钦州龙眼异常现象是由于缺 Ca、缺 B 或是由两者共同造成。虽然由于气候原因造成的植物缺 Ca 引起的生理性病害早已被人们认识^[5]并在很多植物上有所报道, 该文是国内对荔枝龙眼果实缺 Ca 相关的生理性病害的首次报道。

由于本文涉及的荔枝龙眼果实异常现象为突发事件,

缺乏预先的试验设计及人为诱导, 不能深入系统研究异常现象的发生机理, 仅能进行事后的形貌观察和营养诊断, 为将来进一步的深入研究提供思路 and 基础。

4 结论

对 2014—2015 年多起荔枝龙眼果实异常现象的果实样本, 先后进行了病原物培养观察、果实形貌结构观察及不同部位养分含量测试, 结合果园管理和施肥情况调查及当地气候条件, 我们初步认为荔枝龙眼中小果果皮从内至外黑褐变甚至果皮开裂、种胚坏死及大果期果实畸形、皱缩及内果皮出现向果肉入侵痂状物的症状是一种由于不良气候引起的果实缺 Ca 或缺 Ca 和 B 而引起的生理性病害。但还需进一步研究才能完全确诊。一旦形成异常果, 就基本散失了果实的商品价值, 严重损害了果农的种植效益。由于荔枝龙眼果实膨大期通常会遭遇低温、高湿、高温或干旱等不良气候, 今后值得对此类现象进行深入研究。

参考文献

- [1] 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.
- [2] White P J, Broadley M R. Calcium in plants [J]. *Annals of Botany*, 2003, 92:487-511.
- [3] 杨苞梅, 姚丽贤, 李国良, 等. 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.
- [4] 张新生, 熊学林, 周卫, 等. 苹果钙素营养研究进展 [J]. *中国土壤与肥料*, 1999, 4:3-6.
- [5] Scaife, M A, Clarkson, D T. Calcium-related disorders in plants - a possible explanation for the effect of weather [J]. *Plant and Soil*, 1978, 50:723-725.
- [6] Bangerth F. Calcium-related physiological disorders of plants. *Annual Review of Phytopathology* [J]. 1979, 17:97-122.
- [7] 毛节铸, 缪颖. 桔果对采前施用的 45Ca^{2+} 的吸收与运转 [J]. *核农学报*, 1994, 8:33-40.
- [8] 龚云池, 徐季娥, 张淑珍, 等. 鸭梨叶片和果实中钙素含量年周期变化的研究 [J]. *园艺学报*, 1987, 14(1):1-5.
- [9] Miyasaka S C, Grunes D L. Root temperature and calcium level effects on winter wheat forage: I. Shoot and root growth [J]. *Agronomy Journal*, 1990, 82:236-242.
- [10] Hepler P K, Wayne R O. Calcium and plant development [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1985, 36:397-439.
- [11] 龚云池, 徐季娥, 张淑珍, 等. 鸭梨黑心病与钙素营养的关系 [J]. *园艺学报*, 1986, 13(3):145-149.
- [12] Muhammad A, Muhammad S, Javaid A, et al. Effect of calcium on the salt tolerance of different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes [J]. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 49:497-504.
- [13] Cutting J G M, Bower J P. The relationship between basipetal auxin transport and calcium allocation in vegetative and reproductive flushes in avocado [J]. *Scientia Horticulturae*, 1989, 41:27-34.
- [14] 周卫, 汪洪, 赵林萍, 等. 苹果 (*Malus pumila*) 幼果钙素吸收特性与激素调控 [J]. *中国农业科学*, 1999, 32:52-58.
- [15] Millaway R M, Wiersholm L. Calcium and metabolic disorders [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1979, 10:1-28.
- [16] 汪鑫, 徐建明. 硼的植物生理功能研究综述 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(30):9611-9613, 9693.
- [17] 何建新. 植物对硼吸收转运机理的研究进展 [J]. *中国沙漠*, 2008, 28(2):266-273.
- [18] 周卫, 林葆. 植物钙素营养机理研究进展 [J]. *土壤学进展*, 1995, 23:12-17, 25.
- [19] 梁和, 马国瑞, 石伟勇, 等. 钙硼营养与果实生理及耐贮藏性研究进展 [J]. *土壤通报*, 2000, 31(4):187-190.