

亚热带果树 逆境生理研究进展

刘星辉 陈立松 编
李 延 邱栋梁

中国农业科学技术出版社

亚热带果树逆境生理研究进展

刘星辉 陈立松 编
李 延 邱栋梁

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

亚热带果树逆境生理研究进展/刘星辉等编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2004

ISBN 7-80167-763-3

I. 亚… II. 刘… III. 亚热带果树-生理学-研究 IV. S667. 01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 005518 号

责任编辑
责任校对
出版发行

梅 红
马丽萍 贾晓红 张京红
中国农业科学技术出版社
(邮编: 100081 电话: 010-62189012)

经 销
印 刷
开 本
印 数
版 次
定 价

新华书店北京发行所
河北秦皇岛文苑印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张: 21.5
1~500 册 字数: 500 千字
2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷
100.00 元

谨以此书献给尊敬的导师
刘星辉教授七十岁生日

——全体研究生

参著人员：刘星辉 陈立松 李 延 邱栋梁 马翠兰
肖祥希 余文琴 陈国林 张惠斌 罗华建

前言

我国地域辽阔，地跨热带、亚热带、温带、寒温带，地形亦较复杂，气候多样，适于多种果树生长发育，是世界栽培植物最早与最大的起源中心。其中亚热带地区虽占国土面积不大，但受热带和亚热带季风气候的影响，热量丰富，雨量充沛，且有干湿季和冬夏之分，生产着多种名特优佳果，如柑橘、荔枝、龙眼、枇杷、香蕉、橄榄等，深受消费者欢迎。

众所周知，良好的亚热带气候及生态环境，是亚热带果树赖以生存的条件，对果树的生长发育具有极其重要的影响。古传“汉武帝破南粤，起扶荔宫，以植所得奇花异木”，其中有荔枝、龙眼、橄榄等，皆因“南北异宜，岁时多枯瘁”。应该指出，亚热带果树盲目迁徙固然不宜，但即使在亚热带地区也不可能均具备适宜亚热带果树生长发育的生态环境，逆境是果树生产中经常遇到的问题，常使果树生长发育偏离最佳状态，影响果树的产量与品质，严重时甚至制约亚热带果树的发展。

在亚热带地区，亚热带果树生产上最常遇到的逆境有：冬季低温造成果树冻害或冷害、旱害，果园土壤（多系红壤、赤红壤）常见的营养胁迫（缺镁、缺钙、缺硼等）以及由于土壤酸化导致土壤中铝的大量活化，对亚热带果树造成的毒害。近年来环境污染亦较普遍，其中酸雨污染比较严重，降水酸度逐年增加，亦影响亚热带果树的生长发育。

本书是刘星辉教授与研究生陈立松博士、李延博士、邱栋梁博士、马翠兰博士、肖祥希博士、余文琴硕士、陈国林硕士、张惠斌硕士、罗华建硕士等针对当前生产上常遇到的逆境，研究亚热带果树在逆境状况下的生理生化变化及调控措施，现将部分研究的论文汇集成册，冠名为《亚热带果树逆境生理研究进展》，温度胁迫论文14篇，水分胁迫15篇，营养胁迫17篇，酸雨胁迫10篇，盐害与铝毒害5篇。内容涉及逆境对果树叶片亚显微结构的影响、碳代谢、氮代谢、活性氧代谢、营养吸收特性、内源激素变化等方面，内容颇丰，旨为果树科学工作者、植物生理与生态工作者提供有益的资料，供教学、科研及推广工作者参考。由于作者水平限制、错误之处，敬请读者给予更正。

作者

2004年12月10日

目 录

香蕉叶片组织细胞结构和生理特性与耐寒性的关系	(1)
龙眼叶片组织细胞结构特性与耐寒性的关系	(6)
荔枝叶片细胞结构紧密度与耐寒性的关系	(12)
龙眼越冬期叶片细胞亚显微结构的变化	(14)
柚品种间的耐寒性差异及其机理	(18)
龙眼、荔枝叶片膜脂脂肪酸与耐寒性的研究	(25)
荔枝叶片膜透性和束缚水/自由水与耐寒性的关系	(31)
电导法测定龙眼耐寒性的研究	(36)
渗透调节物质和水分状态与琯溪蜜柚抗寒性的关系	(40)
低温胁迫下芒果叶片若干生理生化变化	(45)
越冬期番石榴叶片脂质的过氧化状况	(50)
PP ₃₃₃ 对柚叶片组织结构、枝梢生长及抗寒性的影响	(56)
PP ₃₃₃ 对柚越冬期耐寒性调控的研究	(60)
高温胁迫对桃和柚细胞膜透性和光合色素的影响	(66)
水分胁迫对荔枝叶片超微结构的影响	(70)
水分胁迫对荔枝叶片活性氧代谢的影响	(74)
水分胁迫对枇杷叶片活性氧代谢的影响	(81)
水分胁迫条件下枇杷若干生理指标的变化	(87)
水分胁迫对荔枝叶片氮和核酸代谢的影响及其与抗旱性的关系	(91)
水分胁迫对荔枝叶片内源激素含量的影响	(100)
水分胁迫对荔枝叶片糖代谢的影响及其与抗旱性的关系	(105)
水分胁迫对荔枝叶片呼吸代谢有关酶活性的影响	(111)
水分胁迫下荔枝叶片过氧化物酶和 IAA 氧化酶活性的变化	(117)
水分胁迫对抗旱性不同的荔枝叶片细胞壁 H ⁺ -ATPase 活性的影响	(124)
水分胁迫对抗旱性不同的荔枝实生幼苗叶片质膜透性和各细胞器中 Na ⁺ -K ⁺ ATPase 活性的影响	(129)
PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF LITCHI UNDER DROUGHT	(135)
水分胁迫对枇杷光合特性的影响	(139)
水分胁迫对龙眼幼苗叶片膜脂过氧化及内源保护体系的影响	(143)
渗透胁迫下 Ca ²⁺ 对龙眼叶片光合色素及膜脂过氧化的影响	(148)

龙眼叶片营养诊断的研究	(151)
福建山地龙眼园土壤镁素状况与龙眼缺镁调控措施研究	(158)
山地龙眼园土壤镁素淋失特点模拟	(163)
龙眼幼苗镁素吸收特性研究	(168)
缺镁对龙眼光合作用的影响	(173)
缺镁对龙眼光合产物生产和分配的影响	(179)
缺镁胁迫对龙眼氮代谢的影响	(184)
缺镁对龙眼叶组织活性氧代谢及膜系统的影响	(189)
Mg 对乌龙岭龙眼苗期植株生长的影响及诊断指标	(195)
缺 Mg 胁迫对龙眼叶片衰老的影响	(199)
柑橘叶片矿质营养与产量的相关性	(205)
福建柑橘主栽品种叶片矿质营养成分的研究	(209)
柑橘不同物候期叶片营养元素变化的研究	(216)
棕果肉的褐变机理	(221)
棕贮藏过程中果肉褐变的研究	(227)
喷钙对果实含钙量及果肉褐变的影响	(230)
模拟酸雨胁迫下钙对龙眼光合功能的调节作用	(234)
模拟酸雨对龙眼叶绿体活性的影响	(242)
模拟酸雨对龙眼叶绿体的伤害效应	(249)
模拟酸雨对龙眼叶片叶绿素 a 荧光特性的影响	(256)
模拟酸雨对龙眼落果及果实品质的影响研究	(262)
模拟酸雨对龙眼幼果纤维素酶活性和内源激素含量的影响	(266)
模拟酸雨对龙眼坐果的影响及钙调节	(272)
模拟酸雨伤害龙眼的酸度阈值研究	(280)
模拟酸雨对龙眼叶片气体交换和叶绿素 a 荧光参数的影响	(286)
EFFECTS OF SIMULATED ACID RAIN ON LONGAN	
PHOTOSYNTHESIS	(297)
模拟酸雨对荔枝叶片膜透性的影响	(300)
盐胁迫下柚实生苗生长、矿质营养及离子吸收特性研究	(304)
盐胁迫对柚、福橘种子萌发和幼苗生长的影响	(311)
铝胁迫对龙眼叶和根细胞超微结构的影响	(317)
铝胁迫对龙眼叶片活性氧代谢及膜系统的影响	(324)
铝胁迫对龙眼幼苗生长的影响	(331)

香蕉叶片组织细胞结构和生理特性 与耐寒性的关系

刘星辉 王宏华 蔡建明 魏学贵

摘 要 1987~1988 年对福建香蕉主栽品种天宝蕉、台湾蕉和柴蕉的叶片组织细胞结构进行观察和若干生理指标测定。结果表明,耐寒性较强的柴蕉叶片角质层细胞层数较多,角质层厚度+栅状组织厚度/叶片厚度比天宝蕉和台湾蕉高,但海绵组织厚度/叶片厚度则较低。前者叶片膜脂不饱和脂肪酸的含量、不饱和脂肪酸指数、越冬前淀粉含量、越冬期可溶性糖、束缚水含量以及束缚水/自由水的比值均高于后两者。供试 3 个栽培品种的耐寒性为柴蕉>天宝蕉>台湾蕉。叶片组织细胞结构和上述生理指标可作为香蕉耐寒性的指标。

关键词 香蕉 叶片 细胞结构 耐寒性

香蕉原产热带,喜温畏寒忌冻,地处亚热带的福建常因寒流入侵,使香蕉遭受冻害,轻则减产,严重时导致冻死,给香蕉生产带来严重的损失(李来荣等,1959;林日荣,1979)。对于香蕉耐寒性的研究,过去多从受害后的植株症状进行描述(李来荣等,1959;林日荣,1979),对植株形态结构及生理生化变化与耐寒性关系的研究甚少(黄晓钰等,1982)。本文拟从叶片组织细胞结构和生理指标来比较福建省香蕉主栽品种的耐寒性,并探讨鉴别香蕉耐寒性的方法。

1 材料与方法

供试香蕉为福建省主栽品种天宝蕉、台湾蕉(*Musa nana* Lour.)和闽东、闽中、闽北零星栽培的柴蕉(*Musa paradisica* L.)。1987~1988 年从福建农学院果园栽植的上述品种中,选取栽培条件一致、生长正常的植株,从顶部心叶向下算起的第 3~4 叶片中部取样,进行下列观察和分析。

1.1 叶片组织细胞结构观察

取叶样后用 F. A. A. 溶液固定,按常规法进行石蜡切片,切片厚度为 12 μ m。后用光学显微镜镜检其叶片组织细胞结构,并用测微尺测量叶片横切面上角质层、栅状组织、海绵组织及下部紧密组织的厚度,计算(角质层厚度+栅状组织厚度)/叶片厚度(CC-TR)值和海绵组织厚度/叶片厚度(SR)值。

1.2 膜脂脂肪酸组分测定

按照苏维埃等(1980)的方法进行香蕉叶片膜脂脂肪酸提取、组分分离和计算各组分摩尔百分比含量。

1.3 自由水、束缚水含量测定

按照糖液浸提法进行,蔗糖溶液浓度为65%~70%,各叶样测定重复3次。

1.4 可溶性糖测定

用蒽酮比色法。待测液以蒽酮试剂为显色剂,显色稳定后,用721型光电比色计,在620nm波长下测定其吸收度,后在标准曲线上查其含糖量。

1.5 淀粉含量测定

以高氯酸作提取剂,加入一定量的碘化钾与碘酸钾,使其呈现蓝色络合物。在一定浓度下,蓝色深浅与淀粉含量成正比。显色后在分光光度计上测定其吸收度,从标准曲线上查其含量。

2 结果与讨论

2.1 香蕉主栽品种叶片组织细胞结构与耐寒性的关系

香蕉叶片表层有1~3层细胞角质化、排列紧密的角质层,其下部为栅状组织,紧接着是形状不规则、排列疏松的海绵组织、再下部是一层与下表皮呈平行排列的细胞。称“下部紧密组织”。

2.1.1 叶片角质层细胞数与耐寒性的关系

福建省香蕉各主栽品种之间叶片的角质层细胞层数存在着明显的差异(表1)。其中柴蕉等叶片的角质层细胞层数最多,观察叶样中角质层均有2~3层细胞,平均2.33层;而天宝蕉、台湾蕉等叶片角质层则含有1~2层细胞,其中,天宝蕉角质层有2层细胞的占88.9%,平均为1.89层,台湾蕉叶片角质层有77.8%是只有1层细胞,平均为1.22层,从叶片角质层细胞层数来看,柴蕉>天宝蕉>台湾蕉。众所周知,叶片的角质层是保护组织,角质层细胞层数越多,越有利于香蕉度过不良环境。观察表明,它与香蕉的耐寒性呈正相关,这与实践中观察到的香蕉耐寒性是一致的。

表1 福建香蕉主栽品种叶片角质层的细胞层数

栽培品种	观察叶数	角质层细胞层数						平均层数
		1		2		3		
		I ¹⁾	%	I ¹⁾	%	I	%	
柴 蕉	18	0	0	12	66.7	6	33.3	2.33
天宝蕉	18	2	11.1	16	88.9	0	0	1.89
台湾蕉	18	14	77.8	4	22.2	0	0	1.22

¹⁾ I = 叶片数。

2.1.2 香蕉叶片组织的 CCTR 值、SR 值与耐寒性

简令成等(1986)认为,柑橘叶片组织细胞结构的紧密度是反映不同种类抗寒性的一个指标,提出了CTR值(栅状组织厚度+下层紧密度组织厚度/叶片厚度)、SR值(海绵组织厚度/叶片厚度)与抗寒性的相关性。笔者在香蕉上也观察到叶片组织结构的紧密度

与其耐寒性有密切的关系。香蕉叶片下部紧密组织仅为一条线，几乎可忽略不计；而上表皮角质层排列有 1~3 层的角质化细胞，与耐寒性有密切的关系。香蕉叶片组织细胞结构的紧密度是栅状组织厚度 + 角质层厚度占全叶厚度的比例，我们以 CCTR 表示，以示与 CTR 区别。从表 2 可见，抗寒性较强的柴蕉，CCTR 值最高，天宝蕉次之，抗寒性较低的台湾蕉最低；SR 值恰恰相反，台湾蕉最高，柴蕉最低。

表 2 福建香蕉主栽品种叶片组织细胞结构的特性¹⁾

栽培品种	叶片厚度 (μm)	角质层厚度 (μm)	栅状组织厚度 (μm)	海绵组织厚度 (μm)	CCTR ²⁾ (%)	SR ³⁾ (%)
柴蕉	855.48	136.91	221.23	488.24	41.72	57.07
天宝蕉	1330.56	156.40	352.69	811.47	38.26	60.99
台湾蕉	1147.34	106.08	315.07	717.17	36.88	62.51

¹⁾ 表中叶片数据系 9 叶片的平均值；²⁾ CCTR = (角质层厚度 + 栅状组织厚度) / 叶片厚度；³⁾ SR = 海绵组织厚度 / 叶片厚度。

对不同栽培品种香蕉叶片 CCTR 值与 SR 值采用 Duncan 新复极差多重比较进行显著性测定，其结果是大蕉类的柴蕉 CCTR 值、SR 值与矮蕉类的天宝蕉、台湾蕉比较，均存在着极显著的差异。同是矮蕉类的天宝蕉、台湾蕉之间，CCTR 值与 SR 值亦存在着显著的差异。说明了 CCTR 值与香蕉耐寒性呈正相关，而与 SR 值呈负相关。为此，可以用 CCTR 值与 SR 值作为香蕉耐寒能力的指标。

2.2 香蕉主栽品种叶片膜脂脂肪酸组分与耐寒性的关系

众所周知，膜脂脂肪酸组分的差异与植物抗寒力有密切的关系（邓令毅，1983；郭金铨等，1985；张永和等，1988）。Lyons (1973) 发现抗寒植物的线粒体膜脂脂肪酸不饱和度明显高于不抗寒植物。福建省香蕉主栽品种以耐寒性较强的柴蕉叶片膜脂不饱和脂肪酸含量与不饱和脂肪酸指数最高，天宝蕉、台湾蕉较低（表 3）。膜脂不饱和脂肪酸含量之所以能增强植株的耐寒性，主要是因为它能降低脂质体的凝聚温度，增加低温下膜的流动性和结合酶能力。生物膜系统是细胞代谢的产物，既受系统发育的遗传信息即基因的控制，也受个体发育过程中生理生化状况的制约。因此，从同一时期香蕉不同品种的膜脂脂肪酸组分的比例可以看出其耐寒性。诚然，同一品种在不同时期膜脂脂肪酸含量是有差异的。

表 3 香蕉主栽品种叶片膜脂脂肪酸的组分 (%)

栽培品种	C16:0 棕榈酸	C18:0 硬脂酸	C18:1 油酸	C18:2 亚油酸	C18:3 亚麻酸	饱和脂肪酸含 量 (%)	不饱和脂肪 酸含量 (%)	IUFA ¹⁾
香蕉	17.1	1.7	1.6	15.1	64.5	18.8	81.2	225.30
天宝蕉	17.7	4.6	4.3	11.9	61.5	22.3	77.7	211.10
台湾蕉	20.2	3.8	3.8	11.4	60.8	24.0	76.0	209.00

¹⁾ IUFA = $[18:1 \text{ mole\%} + (18:2 \text{ mole\%} \times 2) + (18:3 \text{ mole\%} \times 3)] \times 100$ ，为不饱和脂肪酸指数。

2.3 香蕉主栽品种的束缚水、自由水含量及其比例与耐寒性的关系

越冬期随着气温的降低，香蕉各主栽品种叶片中束缚水含量逐渐增加，自由水含量逐

渐降低 (表 4)。各个时期不同品种之间束缚水含量、自由水含量均有差异。但无论是哪一时期, 束缚水含量均是柴蕉 > 天宝蕉 > 台湾蕉; 自由水含量是柴蕉 < 天宝蕉 < 台湾蕉。在越冬期束缚水增加的速率 (或自由水降低的速率) 也是柴蕉 > 天宝蕉 > 台湾蕉。越冬期中, 随着气温的降低, 束缚水/自由水比值明显增加。柴蕉的束缚水/自由水比值无论是绝对值, 或是增长速率均高于天宝蕉和台湾蕉, 其抗寒能力也明显比较高; 天宝蕉的束缚水/自由水比值的绝对值或增长的速率略高于台湾蕉。越冬期束缚水/自由水比值的增加是香蕉对不良环境适应性的一种表现, 可以作为测定或比较耐寒性的一个指标。

表 4 越冬期香蕉主栽品种的叶片水分状态

栽培品种	束缚水含量 (%)			自由水含量 (%)			束缚水/自由水		
	11~03	12~02	12~22	11~03	12~02	12~22	11~03	12~02	12~22
柴蕉	36.36	43.80 (20.46)	53.34 (46.70)	40.31	32.49 (-19.40)	24.70 (-38.72)	0.90	1.35 (50.00)	2.21 (145.56)
天宝蕉	35.18	39.26 (11.60)	41.89 (19.07)	49.55	42.48 (-14.27)	43.49 (-12.23)	0.71	0.92 (29.58)	0.96 (35.21)
台湾蕉	33.06	36.55 (10.06)	38.29 (15.82)	50.55	45.20 (-10.58)	44.72 (-11.53)	0.65	0.81 (24.62)	0.85 (30.77)

括号内数据为 11 月 3 日观察值增减的百分率。

2.4 香蕉主栽品种叶片淀粉和含糖量与耐寒性的关系

香蕉各主栽品种越冬初期淀粉含量均高。其中柴蕉淀粉含量最高, 为台湾蕉淀粉含量的 178.05%, 为天宝蕉的 167.82%; 其次是天宝蕉, 但天宝蕉与台湾蕉差异不大。随着越冬期气温的降低, 淀粉含量急剧下降, 至 12 月 22 日, 香蕉各品种叶片淀粉含量仅为痕迹至 0.15%, 绝大部分均转化为可溶性糖 (表 5)。3 个主栽品种中, 柴蕉含可溶性糖最高, 由于可溶性糖的增加, 提高了细胞渗透压, 增强了植株的抗寒性。另外, 糖液浓度的增加, 促使 ABA 的积累诱导了蛋白质的合成, 也可增加抗寒性。由此可见, 香蕉越冬前叶片淀粉的积累是越冬的先决条件, 与植株耐寒性呈明显的正相关。所以, 香蕉越冬前叶片淀粉含量可作为鉴别耐寒性的指标之一。

表 5 越冬期香蕉主栽品种的叶片淀粉含量的变化

栽培品种	淀粉含量 (%) ¹⁾			可溶性糖含量 (%) ¹⁾		
	11~03	12~02	12~22	11~03	12~02	12~22
柴蕉	2.92	1.49(-48.97)	0.01(-99.06)	1.22	2.50(104.92)	5.07(315.57)
天宝蕉	1.74	1.03(-40.80)	痕迹(-100.0)	0.95	0.37(-61.05)	1.30(36.84)
台湾蕉	1.64	0.94(-42.69)	0.15(-90.95)	1.00	0.50(-50.00)	1.17(11.71)

¹⁾ 括号内数据为 11 月 3 日观察值增减的百分率。

参考文献

- [1] 李来荣, 周祖英, 洪东生. 霜冻对福建热带、亚热带果树的影响及今后预防霜冻的意见. 福建农业科学研究十年 (果树), 1959, 556~563

-
- [2] 林日荣. 香蕉. 广东科技出版社, 1979, 85~86
 - [3] 黄晓钰, 季作梁, 李沛文. 香蕉冷害症状及生理指标和有效防寒措施研究. 华南农学院学报, 1982, 3 (4): 1~11
 - [4] 简令成, 孙德兰, 施国雄等. 不同柑橘种类叶片组织的细胞结构与抗寒性的关系. 园艺学报, 1986, 13 (3): 163~168
 - [5] 邓令毅, 王洪春. 葡萄膜脂肪酸组分与抗寒性关系的研究. 植物生理学报, 1983, (3): 273~281
 - [6] 苏维埃等. 植物类脂及脂肪酸分析技术. 植物生理学通讯, 1980, (3): 54~60
 - [7] 张永和, 高庆玉, 周 恩. 幼龄苹果树抗寒力早期鉴定方法——膜脂肪酸分析法. 中国果树, 1988, (1): 45~47
 - [8] 郭金铨, 陈文涛, 王振泉等. 菠萝叶膜脂肪酸组成的温度效应及抗寒性的研究. 植物生理学报, 1985, 11 (4): 319~327
 - [9] 纪中雄. 柑橘抗寒性的生理生化指标. 园艺学报, 1983, 10 (4): 239~245
 - [10] Lyons J M. Chilling injury in plants. Ann Rev Plant Physiol, 1973, 24: 445~446

龙眼叶片组织细胞结构特性与耐寒性的关系

张惠斌 刘星辉

摘 要 1988~1990 年对我国 40 个龙眼栽培品种进行研究结果表明, 龙眼叶片组织细胞结构紧密度 (CTR 值) 与品种耐寒性密切相关, 且具有相对的稳定性, 反映了龙眼品种耐寒性遗传上的差异, 可作为耐寒性的鉴定指标。据此, 可将供试品种的耐寒性分为 3 类, 其中耐寒性强的品种 15 个, 中等的 19 个, 较弱的 6 个。

关键词 龙眼 叶片组织细胞结构 耐寒性

龙眼喜温忌冻, 冬季常遇冻害, 尤其是周期性冻害, 给龙眼生产和发展造成严重影响^[2,3]。对于龙眼耐寒性的研究鲜见报道, 李来荣^[2]、陈文训^[3]曾对龙眼冻害作过田间调查, 刘星辉等^[1]用电导法对 4 个主栽品种进行了耐寒性差异的测定。本试验以我国 40 个龙眼品种为材料, 通过对叶片组织细胞结构特性进行测定分析, 了解其与耐寒性的关系以及品种间耐寒性的差异, 探讨鉴定龙眼耐寒性的方法, 以期为我国龙眼的栽培和选育提供科学依据。

1 材料与方法

试验于 1988~1990 年进行, 供试品种有东壁、乌龙岭、福眼、石峡、油潭本等 40 个品种, 主要取自国家龙眼品种资源圃 (福建农科院果树研究所), 树龄为 8~10 年。不同地域叶片测定材料分别取自泉州登丰 (南部)、福州八一水库 (中部) 和福安赛歧 (东北), 树龄为 25~30 年。试样均选取树冠外围中部东南向成熟夏梢的第 3 片复叶的第 3 对小叶, 每品种选 2 株, 每株取 10 对小叶, 进行叶片组织细胞结构紧密度测定。观察方法, 从叶样中部切取 0.5cm^2 , 用 FAA 溶液固定, 按常规方法作石蜡切片, 切片厚度 $12\mu\text{m}$, 制片后在光学显微镜下观察, 用目测微尺测量叶片厚度、栅栏组织、海绵组织和下部紧密组织的厚度^[6], 并分别计算:

$$\text{叶片组织细胞结构紧密度 (CTR)} = \frac{\text{栅栏组织厚度} + \text{下部紧密组织厚度}}{\text{叶片厚度}} \times 100\%$$

$$\text{叶片组织细胞结构疏松度 (SR)} = \frac{\text{海绵组织厚度}}{\text{叶片厚度}} \times 100\%$$

为了验证龙眼叶片组织细胞结构紧密度与耐寒性的关系, 选 CTR 值不同的 3 种类型 8 个代表品种, 将叶样分别置于室温、 3°C 、 0°C 、 -3°C 和 -6°C 处理 12 小时后, 用 DDS-II 型电导仪测定电导率^[1], 测定结果按下列公式计算:

电解质渗出率（电渗率）= $\frac{\text{低温处理电导率}}{\text{煮沸后的电导率}} \times 100\%$

2 结 果

2.1 龙眼叶片组织细胞结构紧密度的稳定性

龙眼叶片的上下表皮层均为单层细胞构成，靠近上表皮层栅栏组织通常由 2~3 层细长的、排列整齐而紧密的细胞组成，其下为细胞形状不规则、排列疏松的海绵组织，靠近下表皮的是下部紧密组织，由 1~3 层排列紧密且与下表皮平行的较小细胞组成。

观测结果表明，龙眼叶片 CTR 值是稳定的。尽管叶龄不同，CTR 值有一定差异，幼龄叶片 CTR 值较低，但随着叶龄的增加，叶片渐趋成熟，至 4 个月叶龄时，细胞结构已稳定，福眼和红核子 CTR 值分别为 69.0% 和 71.2%（表 1）。

表 1 龙眼不同叶龄叶片细胞结构紧密度的差异

叶龄	栽培品种	叶片厚度 (μm)	栅栏组织厚度 (μm)	海绵组织厚度 (μm)	下部紧密组织厚度 (μm)	CTR (%)	SR (%)
1 个月	福眼	281	142	99	40	64.8	35.2
	红核子	316	170	98	48	69.0	31.0
2 个月	福眼	300	153	102	45	66.0	34
	红核子	339	187	101	51	70.2	29.8
4 个月	福眼	332	180	103	49	69.0	31.0
	红核子	368	205	106	57	71.2	28.8
1 年	福眼	335	181	104	50	69.0	31.0
	红核子	366	204	105	57	71.3	28.7

表 1 还表明，尽管叶龄不同，但品种间 CTR 值的差异仍是稳定的。红核子叶片 CTR 值均比福眼大。

表 2 同样表明，尽管栽培地域不同，生态条件有差异，但测定的福眼和赤壳硬枝的叶片 CTR 值是稳定的。

表 2 不同地域龙眼叶片细胞组织结构紧密度的差异

叶 龄	栽培品种	叶片厚度 (μm)	栅栏组织厚度 (μm)	海绵组织厚度 (μm)	下部紧密组织厚度 (μm)	CTR (%)	SR (%)
泉州登丰	福眼	333	178	106	49	68.7	31.3
	赤壳硬枝	280	150	86	44	69.5	30.5
福州八一水库	福眼	325	171	101	53	68.9	31.1
	赤壳硬枝	282	151	86	45	69.5	30.5
福安赛歧	福眼	322	169	97	56	68.9	31.1
	赤壳硬枝	278	149	85	44	69.4	30.6

2.2 龙眼品种间叶片组织细胞结构紧密度的差异

表 3 可见，龙眼品种间叶片组织细胞结构紧密度（CTR 值）存在着一定的差异，从

排列顺序看,从油潭本、焦核到郊溪早熟、东壁,叶片 CTR 值呈现着递降的趋势,而疏松度 (SR 值) 呈现着递增的趋势。其中,以油潭本、焦核、处署本等品种的 CTR 值较高,东壁、郊溪早熟、八一早等较低。如油潭本的 CTR 值比乌龙岭高 11.4%,比东壁高 14.6%,这种叶片的 CTR 值与叶片厚度无关。

表 3 龙眼不同品种叶片组织细胞结构的紧密度

栽培品种	叶片厚度* (μm)	栅栏组织厚度 (μm)	海绵组织厚度 (μm)	下部紧密组织厚度 (μm)	CTR (%)	SR (%)
油潭本	297	164	72	61	75.8	24.2
焦核	311	180	81	50	74.0	26
处署本	354	201	94	59	73.5	26.5
红壳宝圆	279	153	76	50	72.8	27.2
九月乌	284	156	78	50	72.5	27.5
烟包	271	153	75	43	72.3	27.7
普明庵	323	178	91	54	71.8	28.2
萩芦	284	158	81	45	71.5	28.5
桂花味	315	171	90	54	71.4	28.6
红核子	368	205	106	57	71.2	28.8
后壁埔	329	184	95	50	71.1	28.9
迟熟龙眼	276	145	80	51	71.0	29.0
九月焦	256	143	75	38	70.7	29.3
西埔本	317	168	94	55	70.4	29.6
古店二号	296	169	88	39	70.3	29.7
乌壳本	386	201	116	69	69.9	30.1
青桥柴螺	289	150	87	52	69.9	30.1
赤壳硬枝	276	149	84	43	69.6	30.4
大广眼	247	130	76	41	69.2	30.8
十二月龙眼	402	209	124	69	69.2	30.9
古山本	353	190	109	54	69.1	30.9
马尾穗	327	176	101	50	69.1	30.9
福眼	332	180	103	49	69.0	31.0
丰州早白	328	174	102	52	68.9	31.1
深固焦核	330	178	103	49	68.8	31.2
信代本	331	183	106	42	68.0	32.0
上宅早种	309	168	99	42	68.0	32.0
野生种	310	162	100	48	67.7	32.3
洪武本	381	198	124	59	67.4	32.6
青壳	318	172	104	42	67.3	32.7
赤壳软枝	330	175	109	46	67.0	33.0
薛庄本	330	182	109	39	67.0	33.0
石峡	366	199	121	46	66.9	33.1
大鼻龙	310	168	105	37	66.1	33.9

续表

栽培品种	叶片厚度* (μm)	栅栏组织厚度 (μm)	海绵组织厚度 (μm)	下部紧密组织厚度 (μm)	CTR (%)	SR (%)
乌龙岭	345	174	123	48	64.3	35.7
鸡蛋龙眼	354	181	127	46	64.1	35.9
公妈本	326	176	118	32	63.8	36.2
八一早	325	163	121	41	62.8	37.2
郊溪早熟	358	176	139	43	61.2	38.8
东壁	358	174	139	45	61.2	35.8

* 叶片厚度 = 栅栏组织厚度 + 海绵组织厚度 + 下部紧密组织厚度。

2.3 龙眼叶片组织细胞结构紧密度与耐寒性的关系

细胞膜透性与耐寒性有密切的关系^[1]。为了验证龙眼叶片 CTR 值与耐寒性的关系, 将表 3 中叶片 CTR 值在 70% 以上的油潭本、红核子、九月焦 (I 类) 和 65%~70% 之间的赤壳硬枝、福眼、石峡 (II 类) 以及在 65% 以下的乌龙岭、东壁 (II 类) 等 8 个品种叶片用电导法测定膜透性。测定结果表明 (表 4), 0℃ 时各类间电渗率出现一定的差异, I 类品种电渗率均在 50% 以下, 而 II、III 类品种电渗率已在 50% 以上。根据 Sukumaran^[4]提出的以电渗率为 50% 时的温度为组织受害温度 (LT_{50}), 可以认为 0℃ 时 I 类品种尚未受低温危害, 而 II、III 类已开始受害, -3℃ 时各品种电渗率差异不明显, 但 III 类品种电渗率比 II 类高, II 类又比 I 类高, 这反映了叶片 CTR 值与膜透性的相关性, 其相关系数为 -0.9435。可以证明龙眼叶片 CTR 值与品种的耐寒性有关。另外, 在测定低温持续时间对不同品种叶片膜透性影响时, 也表明叶片 CTR 值与品种耐寒性密切相关。0℃ 时东壁 (CTR 值为 61.2%) 经过 12 小时, 电渗率即达 57.2%, 24 小时达 60.0%, 而红核子 (CTR 值为 71.2%) 12 小时仅 43.3%, 48 小时达 60.9%; -3℃ 时东壁经 3 小时电渗率为 59.4%, 而红核子 6 小时为 56.8%, 东壁明显比红核子不耐寒, 这与实践中观察结果是一致的。

表 4 龙眼不同品种叶片膜透性的差异

类别	栽培品种	电 渗 率 (%)				
		室温(℃)14~17	3	0	-3	-6
I	油潭本	37.68	40.91	46.10	63.76	86.88
	红核子	36.40	39.76	46.37	65.31	85.41
	九月乌	36.19	40.56	45.85	69.35	86.05
II	赤壳硬枝	37.57	40.45	49.76	71.22	85.96
	福眼	38.26	40.48	52.13	73.89	86.32
	石峡	37.55	41.53	52.38	74.40	86.95
III	乌龙岭	38.79	42.41	54.80	78.85	86.85
	东壁	38.62	41.59	53.22	79.12	86.52