

龙眼栽培的生态因子研究进展

朱建华, 李鸿莉, 秦献泉, 徐宁, 李冬波, 邱宏业, 侯延杰, 张树伟, 房晨, 彭宏祥

(广西壮族自治区农业科学院园艺研究所, 广西南宁 530007)

摘要 龙眼起源于我国南方, 适应热带、亚热带湿热的气候条件, 对各类气象条件有较严格的要求。综述了我国科技工作者对龙眼栽培的生态因子, 包括温度、水分、日照、风和大气研究结果, 探讨了龙眼不同适宜区域的气候特点, 以期对龙眼防灾减灾和生产区划提供理论依据。

关键词 龙眼; 温度; 水分; 日照; 生态因子

中图分类号 S667.2 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)14-0001-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.14.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress on Ecological Factors of Longan Cultivation

ZHU Jian-hua, LI Hong-li, QIN Xian-quan et al (Institute of Horticulture, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007)

Abstract Longan originated in the south of China. It is adapted to humid and hot climate conditions in the tropics and south subtropics, and has strict requirements for all kinds of meteorological conditions. This paper summarizes the research results of Chinese scientists on the ecological factors of longan cultivation, including temperature, moisture, sunshine. The article explored the climatic characteristics of different suitable planting areas for longan, so as to provide a theoretical basis for production division of longan.

Key words Longan; Temperature; Moisture; Sunshine; Environmental factors

龙眼是我国南方的珍贵水果, 发源于我国南方, 适应热带、亚热带湿热的气候条件, 对各类生态条件有较严格的要求, 分布地域狭窄, 而且经常出现因气候条件不适而造成的成花难、严重落果、霜冻等灾害, 因此科技工作者长期以来重视龙眼栽培的生态因子研究, 取得了一定的研究成果。笔者总结了龙眼栽培的生态因子研究进展, 以期对龙眼生产区划、防灾减灾提供参考。

1 温度的生态效应

龙眼是典型的亚热带水果, 喜温忌冻是限制龙眼地域分布不广的主要原因^[1]。在年平均气温 18.4~26.0℃的地区有龙眼商品生产区分布; 年平均气温 20.0~23.5℃, 冬季绝对最低气温平均值不低于-1.5℃的地区, 可作为我国华南龙眼商品生产的经济栽培适宜区; 年平均气温 20℃以下、最冷月均温 10℃以下, 冬季绝对对低温低于-5℃的地区不适宜发展龙眼生产^[2-3]。

龙眼枝梢在 15℃开始萌芽, 17℃开始生长^[4], 其生长最适温度为 23~32℃, 在这一温度范围内枝梢生长快, 气温 35℃以上则生长受抑制^[5]。晚秋梢作为龙眼结果母枝, 其枝梢质量直接关系到翌年的产量。苏永秀等^[6]研究指出, 龙眼晚秋梢生长和老熟期的丰产年气候指标为 10 月下旬—12 月上旬平均气温 ≥19.4℃, 10 月中旬—11 月中旬平均最高气温 ≥27.2℃; 歉年的气候指标为 10 月下旬—12 月上旬平均气温 ≤19.1℃, 10 月中旬—11 月中旬平均最高气温

温 ≤26.5℃。

龙眼在不同生长季节对温度要求有较大差别, 其中花芽生理分化期对温度有较严格的要求, 在冬季和早春需要有一段时间的相对低温, 才能完成由营养生长向生殖生长的转变, 即生理分化。当温度 ≥15℃时, 营养生长旺盛, 抽发大量冬梢, 从而消耗大量的营养, 对花芽分化不利; 当温度 <15℃时营养生长受到抑制, 温度越低受抑制的程度就越深, 只要气温 >0℃就不会对成熟的枝梢造成伤害。在不受寒害或冻害的前提下, 温度越低对生理分化越有利。龙眼花芽分化要求有连续一段时间的日平均温度偏低, 这比最低温度虽低但出现次数少更为有利^[7]。当日平均气温 <12℃的低温寒积量为 10~45℃时最有利于龙眼从营养生长向生殖生长的转化, 当低温寒积量 ≤10℃时则容易产生“暖害”而抽发大量冬梢。但低温过程并不是越长越好, 当低温寒积量 ≥45℃则会产生冷害, 使花芽从生理分化向形态分化的过渡阶段始终处于休眠状态, 最终无法完成花芽的形态分化^[8]。陈清西^[9]应用智能人工气候室诱导龙眼成花的结果表明, 适当的低温 (6~15℃, 日均温 9.75℃ 30 d) 和一定的寒积 (不遭受冷害的前提下, ≤6℃寒积时数 125 h 或 ≤10℃寒积时数 812 h, 或日均温 ≤10℃寒积天数 21 d) 是诱导龙眼成花的关键因子。温福光^[10]根据广西玉林龙眼产区 16 年的气象资料 and 产量进行研究分析, 提出龙眼相对低温的气象指标: ①冬季 ≤10℃总寒积量 50~120℃为丰产年 (或特丰年), ≤25℃为歉产年 (或特歉年); ②冬季日平均气温 ≤10℃最大一次寒积量 40~72℃为丰产年 (或特丰产年), ≤25℃为歉产年 (或特歉产年); ③冬季极端最低气温 0.5~2.0℃为丰产年 (或特丰年), ≤3.5℃为歉产年 (或特歉年)。如果冬期温度过高, 冬梢抽生, 消耗养分多, 不利于生理分化就会造成冬季暖害。匡昭敏等^[7]提出龙眼暖害年的气象指标: ①轻暖害年为 12

基金项目 广西荔枝龙眼创新团队建设专项项目 (nycytxgxstd-12); 国家荔枝龙眼产业技术体系项目 (CARS-32-04); 广西重点研发计划项目 (桂科 AB20297043); 广西农业科学院荔枝龙眼团队项目 (桂农科 2021YT043); 广西特色作物试验站建设专项项目 (桂 TS2022024)。

作者简介 朱建华 (1962—), 男, 广西博白人, 研究员, 从事龙眼、荔枝育种与栽培技术研究。

收稿日期 2021-09-21; **修回日期** 2021-11-11

月至翌年1月上旬期间极端最低气温 $\geq 5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,而且12、1、2月平均气温分别 ≥ 16.0 、 14.0 、 $15.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中有连续2个月达到气象指标;②重暖害年为12月至翌年1月上旬期间极端最低气温 $\geq 6.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,而且12、1、2月平均气温分别 ≥ 17.0 、 15.0 、 $16.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中有连续两个月达到气象指标。

龙眼具有成花逆转现象,即在花穗在抽生期间随着外界条件的变化,可发育成纯花穗,也可发育成叶和花混合的花穗,还可发育成梢而形成“冲梢”现象,花穗抽生时的气温是影响“冲梢”的关键因素,因此,花芽形态分化期对温度也有严格的要求。柯冠武^[11]认为低温条件对花芽形态分化影响较大,由于低温程度不同而出现纯花穗或花带叶的“冲梢”花穗。春季花芽形态分化期温度如在 $8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,小叶在展开初期即枯萎脱落而形成纯花穗; $11\sim 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 花和叶都发育而成为带叶花穗; $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上不利于花芽分化和发育而利于叶片发育; $18\sim 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 仍可形成带叶小花穗但极少能结果;高于 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 小叶生长旺盛,不再发育成花穗而逆转为营养枝。因此, $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是龙眼能否成花的临界温度。但如果温度过低则不利于花穗发育,黄汝红等^[12]指出 $1\sim 3\text{月}<12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 寒积量达到 $90\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 或最强一次寒积量 $>45\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时,龙眼生长点及花芽(序)将发生寒害。苏永秀等^[6]对广西龙眼产量和气候资料通过平行分析和数理统计研究指出,在日平均气温 $\geq 18.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 $\geq 16.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高气温 $\geq 25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,南风天数 $\geq 3\text{ d}$ 时发生轻度“冲梢”;在日平均气温 $\geq 18.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 $\geq 25.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高气温 $\geq 29.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,南风天数 $\geq 5\text{ d}$ 时发生严重“冲梢”。同时提出了龙眼花芽分化期丰年的气候指标为1月中旬至2月下旬平均气温 $14.0\sim 16.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均最低气温 $11.5\sim 13.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;歉年气候指标为1月中旬至2月下旬平均气温 $\leq 12.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq 16.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均最低气温 $\leq 10.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq 13.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。匡昭敏等^[7]分析广西玉林市1960—2002年气象资料,发现龙眼轻度暖春“冲梢”的发生频率为88%,大量“冲梢”年的发生频率为40%。可见龙眼“冲梢”发生频率很高,对生产影响较大。

温度还会影响花粉的萌发,从而影响坐果率。刘星辉等^[13]报道,龙眼花粉萌发的适温为 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时略有下降, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时花粉萌发率为0。朱建华等^[14]研究表明,储良龙眼花期的平均温度、平均最低温度和平均最高温度与坐果率有密切关系,其中平均温度、平均最低温度与坐果率呈正相关的直线线性相关关系,说明随平均温度和平均最低温度升高,坐果率相应提高。此外,温度也通过影响传粉昆虫的活动而影响坐果率。朱建华等^[15]报道,龙眼的主要传粉昆虫蜂和蝇类在龙眼花穗上的活动主要受温度影响,蜂类访花的适宜温度在 $25\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$,而蝇类在 $20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始访花并随温度升高访花次数增多,超过 $30.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 访花次数减少。匡昭敏等^[7]认为龙眼开花期以晴朗微风的天气,日平均气温 $20\sim 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为宜,日平均气温 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的低温天气授粉受精不良,并提出龙眼花期低温阴雨或高温干燥指标为轻度低温阴雨指标为 $3\sim 5\text{月日平均气温}\leq 16.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 连续天数达 $3\sim 5\text{ d}$,中度低温阴雨指标为 $6\sim 9\text{ d}$,重度低温阴雨指标为 $\geq 10\text{ d}$;高温干燥指标

为 $3\sim 5\text{月日最高气温}\geq 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 连续 $\geq 3\text{ d}$ 。

龙眼的低温伤害分为冻害和寒害,冻害是气温下降至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,植物内部组织结冰脱水而受害^[16]。气温 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时龙眼幼苗受冻害,气温 $-1.0\sim -3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时成年树受冻害, $-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时冻害严重^[17]。朱建华等^[18]研究表明,霜冻期间昼夜温差大,太阳升空后气温上升快,霜晶快速溶化使细胞质、细胞器等原生质裂解、互溶,使细胞结构发生不可逆转的变化,致使细胞死亡而发生冻害。涂方旭等^[19]提出龙眼冻害温度指标为冬季极端最低气温 $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 无冻害, $-1.9\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为轻冻害, $-3.9\sim -2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为中等程度冻害, $\leq -4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为重冻害。冻害对我国龙眼生产影响较大,如在1999年12月下旬发生的特大冻害中,受害龙眼园约占全国龙眼总面积的40%,损失惨重。

寒害是指 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上低温的危害,由平流型天气造成,因气温降低引起生理机能上的障碍而发生寒害。日平均气温在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下对龙眼营养生长有抑制作用,并且低温抑制有累积作用,日平均气温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为龙眼营养生长抑制的临界温度^[7]。龙眼寒害多发生在春季花芽形态分化和花穗生长、开花期,在日平均气温 $<4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续 $3\sim 5\text{ d}$,嫩叶(梢、花序)即受害^[20]。如1996年2月中下旬桂南、桂东南地区出现强平流天气,使龙眼花穗受害枯死,成花率为常年的10%~15%,造成当年广西龙眼大面积减产。钟思强^[21]以广西1996年强平流年份调研资料为基础,确定 $1\sim 3\text{月}<12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 寒积量达 $90\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 或最强一次寒积量达 $45\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上为划分有无寒害发生的临界指标。匡昭敏等^[7]提出龙眼低温寒害指标为中等以上寒害最大低温寒积量 $\geq 44.9\text{ }^{\circ}\text{C}$;重寒害总低温寒积量 $\geq 66.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或最大低温寒积量 $\geq 56.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 水分的生态效应

龙眼是一种耐旱、喜湿而怕涝的果树,在土壤含水量低于凋萎系数时仍能生存,即土壤含水量低至5%左右龙眼树仍不至枯萎死亡^[22]。龙眼在自然气候条件下生长时年需水量为 780 mm ,日平均 2.1 mm ,需水系数为 0.457 ^[23]。虽然龙眼对干旱有较强的耐受力,但适宜的水分条件对龙眼生长有利。刘殊等^[22]研究表明,严重的水分胁迫导致龙眼叶片光合作用急剧下降,使光合作用处于较低水平或为负值,且复水后光合作用不能恢复到胁迫前的最高水平,说明龙眼的生长发育要求有足够的水分供应,适当的湿润条件对龙眼的光合作用更为有利,龙眼生长的最适土壤相对含水量为62%~84%,灌水临界期为38%~42%。但龙眼在不同的生长时期对水分的需求有所不同,在花芽生理分化期需要相对干旱的条件,而在夏秋梢生长期需要较多水分,果实发育增大期需水量达到高峰。我国龙眼产区降水量多在 $1\text{ }100\text{ mm}$ 以上,其中华南龙眼产区降水量在 $1\text{ }300\text{ mm}$ 以上,且雨季集中在4—10月,可满足龙眼对水分的需求。

花芽生理分化期是龙眼对水分最为敏感的时期,适度干旱有利于龙眼花芽分化。陈清西^[9]指出,诱导龙眼成花的适宜土壤含水量为14%~18%,10%的土壤含水量不能诱导成花,土壤含水过高则促进营养生长、抽发冬梢而影响产量。

龙眼花芽形态分化和抽穗期需要适度的水分供应,以利花穗生长、提高花质和雌花比例。砂壤土龙眼园的土壤含水量在 14.11%~21.46%时可显著提高抽穗率^[24]。此期土壤湿度过低则过度抑制生长,使结果母枝顶芽萌动过迟,推迟花穗抽生期而易遇到高温,导致“冲梢”严重。而土壤湿度过高也会导致营养生长过旺而出现“冲梢”。

开花坐果期需要晴朗、微风的天气,空气相对湿度70%~80%有利于花粉萌发和受精。长时间低温阴雨会使花药难于开裂,昆虫活动减少,影响传粉。而且雨水冲淡柱头黏液浓度,不利于花粉萌发而造成“沤花”。但高温干燥天气也对开花坐果不利,如果空气相对湿度在60%以下会使蜜盘和柱头分泌物增多、浓度增大而出现“焯花”,同样降低坐果率^[7]。朱建华等^[14]研究指出,储良龙眼坐果率随花后1~6 d日均空气相对湿度的提高而下降。苏永秀等^[6]提出龙眼开花坐果期丰歉年的气候指标为3月下旬至5月上旬雨日 ≤ 25 d为丰年,雨日 ≥ 28 d为歉年。

龙眼夏秋梢生长需要充足的水分供应,苏永秀等^[6]根据对广西龙眼产量和气象条件的研究提出龙眼晚秋梢生长期的丰歉年降雨量指标为10月上旬至11月上旬降雨量32~145 mm为丰年,降雨量 ≤ 20 mm或降雨量 ≥ 165 mm为歉年。

龙眼根系生长的适宜土壤含水量为15%~19%,此时根系生长最快;土壤含水量小于15%时根系生长减缓,当土壤含水量降至5.5%~7.4%时根系生长量大为减少^[17]。龙眼根系能耐短期水淹,但长期泡水会造成烂根而影响植株生长。

3 日照的生态效应

龙眼四季常绿,生长季长,属喜光植物,需要充足的阳光和较长时间的日照,要求年日照时数1 200 h以上,年太阳辐射376.73 kJ/cm²以上,年日照百分率37%以上^[17],但日照过强对其生长和开花结果不利。“当日荔枝,背日龙眼”并不是说龙眼不喜光,而是指龙眼不耐强光。我国龙眼主产区日照时数为1 800~2 250 h^[11],能满足龙眼生长发育的需要。

龙眼的不同生育期对日照要求不同。花芽分化期虽然要求较低温度,但也需要充足的日照,以使结果母枝生长更为充实,制造更多养分有利于花芽分化。陈海清等^[25]指出,1月中旬至2月上旬的日照时数与龙眼产量有明显的正相关。生产上对过于密闭的龙眼园要适当疏剪,增加树冠光照,有利于成花。

龙眼开花坐果期以晴朗微风天气,日太阳总辐射为1.47 kJ/cm²左右为宜^[17]。日照过强、温度过高会使蜜盘和柱头分泌液浓度大而黏稠,造成“焯花”而影响授粉受精;低温阴雨、日照偏少会使花粉质量下降、花药不能正常开裂,影响昆虫的传粉活动而降低坐果率。龙眼幼果呈绿色,本身具有光合作用能力,如日照偏少会造成营养供应不足而加剧落果。杨冬渝^[26]根据四川泸州多年气象与龙眼产量资料分析认为,3—5月日照是影响龙眼产量的关键气候因子;当5月日照时数 $< 105 \sim 115$ h,尽管3—4月的日照时数在正常范围内,仍会造成减产;当3月或4月的日照时数 $> 160 \sim 123$ h,5月日照时数 $< 105 \sim 115$ h会造成大减产。

4 讨论

从前人对龙眼生态因子研究的成果可以看出,龙眼生长发育和开花结果受各生态因子的综合影响,其中年平均温度、年 ≥ 10 °C积温、年极端最低气温和年降雨量对龙眼的生长影响较大,尤其是极端最低气温决定龙眼是否能正常生长,因而是影响龙眼分布范围的主要因素;12月—翌年2月的气温影响龙眼花芽生理分化和形态分化,对龙眼成花影响最大;4月中旬至5月中旬的日照情况则对龙眼开花、授粉受精和坐果产生较大影响,是影响产量的重要因子。大气、风等因素在一般情况下都能满足龙眼生长的需要,但局部条件恶化如大气污染等也会给龙眼生长和开花结果带来较大影响。因此,在制订龙眼生态区划气候指标时要以气温作为主要指标,同时也要适当考虑降雨量和日照因素。

综合前人的研究成果,提出龙眼不同适宜区域的气候特点如下:①最适宜区。年平均气温和降雨量满足龙眼生长发育需要,冬季适度低温干旱有利于龙眼花芽分化,且多数年份无冻害或仅有局部地区轻度冻害,自然灾害少。在正常管理条件下开花结果好,产量较稳定,能充分发挥优良品种的固有特性,果实商品率高,适宜建立大面积的商品生产基地。②适宜区。年平均气温和降雨量满足龙眼生长发育需要,冬季低温干旱能满足龙眼花芽分化需要,但偶有中等程度冻害发生,有些年份抽穗期遇高温天气出现“冲梢”,或花期遇阴雨天气而影响坐果,在加强栽培管理条件下能获得较好的产量和果实品质。在技术力量保证的条件下可建立商品生产基地。③次适宜区。年平均气温和降雨量基本满足龙眼生长发育需要,是龙眼经济栽培的北缘地带,冻害发生频繁,不适宜建立大面积的商品生产基地,但可选择历年霜线以上或大水体旁等避冻区域建园,适度种植迟熟品种以延长龙眼鲜果供应期。

今后随着龙眼抗寒品种的选育推广,以及设施栽培使其生产区域北移,龙眼栽培的生态因子研究领域将会不断扩大,有待进一步开展更为深入的研究,促进龙眼产业健康发展。

参考文献

- [1] 邱武陵,章恢志.中国果树志·龙眼枇杷卷[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 广东省农业科学院果树研究所.龙眼品种与栽培彩色图说[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [3] 曾文献,李金和.龙眼栽培二百题[M].2版.北京:中国农业出版社,1998:29-30.
- [4] 何文登,黄业球.龙眼(桂圆)高产栽培技术[M].北京:中国农业科技出版社,1994:18.
- [5] 甘廉生.龙眼早结丰产优质栽培[M].北京:金盾出版社,1997.
- [6] 苏永秀,丁美花,李政,等.气候条件对广西地区龙眼产量的影响及其丰歉气候指标研究[J].热带气象学报,2006,22(3):308-312.
- [7] 匡昭敏,李强.龙眼气象灾害指标及发生规律研究综述[J].中国南方果树,2003,32(6):35-38.
- [8] 陈国保,李莲英.2008年初极端寒冷天气对荔枝龙眼成花的利弊分析[J].气象研究与应用,2008,29(2):57-59,65.
- [9] 陈清西.温度和断根等处理影响龙眼成花的生理生化机制研究[D].福州:福建农林大学,2006.
- [10] 温福光.相对低温对龙眼产量的影响[J].福建果树,1988(1):55-59.
- [11] 柯冠武.龙眼无公害生产技术[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [12] 黄汝红,夏小曼,陈明艳,等.2008年钦州市龙眼丰产的气象成因分析[J].河北农业科学,2009,13(6):27-28,30.

- ease in transgenic peanut using a combination of PR genes[J].Funct Integr Genomics,2012,12(4):625-634.
- [52] KUMAR K R R, KIRTI P B. Differential gene expression in *Arachis diogeni* upon interaction with peanut late leaf spot pathogen, *Phaeoisariopsis personata* and characterization of a pathogen induced cyclophilin[J]. Plant Mol Biol, 2011, 75(4/5): 497-513.
 - [53] 廖俊华, 何泽民, 敬昱霖, 等. 花生晚斑病抗性育种研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(6): 961-974.
 - [54] KELLY L A, RYLEY M J, TREVORROW P R, et al. Reduced fungicide use on a new Australian peanut cultivar, highly resistant to the late leaf spot and rust pathogens[J]. Australasian Plant Pathol, 2012, 41(4): 359-373.
 - [55] DWIVEDI S L, PANDE S, NARAYAN RAO J, et al. Components of resistance to late leaf spot and rust among interspecific derivatives and their significance in a foliar disease resistance breeding in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Euphytica, 2002, 125(1): 81-88.
 - [56] 董伟博, 石延茂, 赵志强, 等. 花生品种(系)叶部病害综合抗性鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(3): 71-74.
 - [57] STALKER H T. Utilizing wild species for peanut improvement[J]. Crop Sci, 2017, 57(3): 1102-1120.
 - [58] 袁虹霞, 孙炳剑, 李洪连, 等. 花生品种(系)对叶斑病的抗性鉴定[J]. 河南农业科学, 2004, 33(12): 35-38.
 - [59] 全鑫, 宋玉立, 何文兰, 等. 花生网斑病国内外研究进展[J]. 河南农业科学, 2008, 37(7): 13-16.
 - [60] 李绍建, 高蒙, 王娜, 等. 花生网斑病不同病斑类型及其病原菌致病力差异[J]. 植物保护, 2018, 44(3): 150-155.
 - [61] ZHANG X, XU M L, WU J X, et al. Draft genome sequence of *Phoma arachidicola* Wb2 causing peanut web blotch in China[J]. Curr Microbiol, 2019, 76(2): 200-206.
 - [62] LI S J, XUE X, GAO M, et al. Genome resource for peanut web blotch causal agent *Peyronella arachidicola* strain YY187[J]. Plant Dis, 2021, 105(4): 1177-1178.
 - [63] 徐秀娟, 崔凤高, 石延茂, 等. 中国花生网斑病研究[J]. 植物保护学报, 1995, 22(1): 70-74.
 - [64] 夏淑春, 王学武, 王志葵, 等. 花生网斑病诱导抗性及其寄主防御酶应答反应和 NPR1 表达的测定[J]. 华北农学报, 2013, 28(S1): 388-392.
 - [65] 臧超群, 赵颖, 谢瑾卉, 等. 贝莱斯芽胞杆菌 BP-1 筛选、鉴定及其对花生网斑病的田间防效评价[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(2): 259-265.
 - [66] LIU H, SUN Z Q, ZHANG X Y, et al. QTL mapping of web blotch resistance in peanut by high-throughput genome-wide sequencing [J]. BMC Plant Biol, 2020, 20(1): 1-11.
 - [67] 廖伯寿, 王玉莹, 段万雄. 花生抗锈性的遗传改良研究概述[J]. 中国油料, 1991, 13(4): 92-94.
 - [68] 姜慧芳, 段万雄, 谈宇俊, 等. 花生种质资源抗花生锈病初步鉴定[J]. 中国油料, 1993, 14(3): 43-46.
 - [69] CHAUDHARI S, KHARE D, PATIL S C, et al. Genotype $\times$ environment studies on resistance to late leaf spot and rust in genomic selection training population of peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Frontiers in Plant Sci, 2019, 10: 1-12.
 - [70] RATHOD V, HAMID R, TOMAR R S, et al. Comparative RNA-Seq profiling of a resistant and susceptible peanut (*Arachis hypogaea*) genotypes in response to leaf rust infection caused by *Puccinia arachidis* [J]. 3 Biotech, 2020, 10(6): 1-15.
 - [71] MARKA R, NANNA R S. Expression of Tcchitinase-I gene in transgenic peanut (*Arachis hypogaea* L.) confers enhanced resistance against leaf spot and rust diseases[J]. Plant Growth Regul, 2021, 93(1): 53-63.
 - [72] BERTIOLI D J, GAO D, BALLENTABORDA C, et al. Registration of GA-BatSten1 and GA-MagSten1, two induced allotetraploids derived from peanut wild relatives with superior resistance to leaf spots, rust, and root-knot nematode[J]. J Plant Regist, 2021, 15(2): 372-378.
 - [73] 方树民, 王正荣, 柯玉琴, 等. 花生品种对疮痂病抗性及其机制的研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 291-297.
 - [74] 郭陞堃, 陈永水, 陈剑洪, 等. 花生品种资源抗疮痂病鉴定研究初报[J]. 福建农业科技, 2014(2): 11-14.
 - [75] 常娟霞, 黄建祥, 苏明, 等. 花生新品种对疮痂病抗性筛选研究[J]. 南方农业, 2018, 12(9): 1-2.
 - [76] 肖迪, 薛彩云, 周如军, 等. 花生疮痂病菌生物学特性研究[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(1): 134-139.
 - [77] 李元杰, 刘璐, 周如军, 等. 花生疮痂病菌 ISSR-PCR 反应体系的建立和优化[J]. 吉林农业大学学报, 2019, 41(2): 142-148.
 - [78] 焦文莉. 花生疮痂病菌光生物学及全基因组序列分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
 - [79] 许梦雪. 花生疮痂病菌突变体库的构建及其突变体特性分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
 - [80] 郭金利. 河南省花生焦斑病菌的生物学特性及其遗传多样性研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2019.
 - [81] 胡艳红, 崔林开, 郭金利, 等. 花生焦斑病菌的鉴定及生物学特性分析[J]. 植物保护学报, 2020, 47(1): 221-222.
 - [82] ZHAO Q, CHEN X, REN G W, et al. First report of *Colletotrichum chlorophyti* causing peanut anthracnose in China[J]. Plant Dis, 2020, 105(1): 226.
 - [83] 张烁. 花生智能管理信息系统的研究与实现[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
 - [84] 陈煜. 基于颜色特征的花生叶褐斑病及黑斑病图像识别技术研究[D]. 开封: 河南大学, 2019.

(上接第3页)

- [13] 刘星辉, 邱栋梁, 谢传龙, 等. 龙眼授粉生物学研究[J]. 中国南方果树, 1996, 25(1): 34-36.
- [14] 朱建华, 欧世金, 徐宁, 等. 花期温湿度条件对储良龙眼生理落果的影响[J]. 热带作物学报, 2010, 31(6): 936-941.
- [15] 朱建华, 徐宁, 王助引, 等. 龙眼传粉昆虫种类及其传粉活动与温度的关系[J]. 热带作物学报, 2010, 31(4): 646-650.
- [16] 崔读昌. 关于冻害、寒害、冷害和霜冻[J]. 中国农业气象, 1999, 20(1): 56-57.
- [17] 陈尚漠, 黄寿波, 温福光. 果树气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 431-433.
- [18] 朱建华, 黄江流, 罗木林, 等. 龙眼叶片冻害症状及细胞超微结构变化[J]. 广西植物, 2008, 28(5): 589-591.
- [19] 涂方旭, 苏志, 李艳兰. 广西荔枝龙眼的冻害区划研究[J]. 广西科学, 2002, 9(3): 225-230.
- [20] 陈汉娟. 龙眼、荔枝生产主要农业气象问题与对策[J]. 广西园艺, 2002(3): 12-13.
- [21] 钟思强. 广西龙眼荔枝成花率低的原因分析[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 55-57.
- [22] 刘殊, 廖镜思. 水分胁迫对龙眼光合作用的影响[J]. 果树科学, 1997, 14(4): 244-247.
- [23] 吴端普, 洪波涛, 李晓瑜, 等. 龙眼需水量及微喷灌增产效益分析[J]. 中国农村水利水电, 2002(3): 28-30.
- [24] 胡智勇. 土壤水分含量对龙眼成花的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2005.
- [25] 陈海清, 陈秀发. 龙眼产量与气象条件之关系[J]. 福建果树, 1992(3): 39-40, 56.
- [26] 杨冬渝. 气候因子对龙眼产量的影响[J]. 福建果树, 1993(1): 57-59.