

炭疽病对不同核桃品种抗性生理指标的影响

任得元¹,高向倩²,王田雨²,惠建超²,杨桂燕^{2*}

(1. 杨凌职业技术学院,陕西 杨陵 712100;2. 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100)

摘 要:核桃是我国重要木本油料及经济树种,其生长发育、坚果产量及品质易受病害影响,其中炭疽病为核桃主要病害之一。因此,深入了解常见核桃品种响应炭疽病的能力,可为选育抗病性较强品种提供理论依据。对‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’核桃分别进行炭疽病胁迫,分析胁迫下的活性氧(ROS)代谢以及抗氧化酶活性。结果表明,炭疽病菌胁迫前各植株生理指标差异均不明显,胁迫后各植株均表现为 ROS(H_2O_2 、 O_2^-) 积累增多,膜脂过氧化(MDA)加剧,抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性增强。其中‘契可’MDA 含量明显高于‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’;‘西林 3’‘契可’的 H_2O_2 与 O_2^- 含量明显高于‘香玲’‘西洛 3’。而‘香玲’的 SOD、POD、CAT 活性明显高于‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’,且活性增强幅度为‘香玲’>‘西洛 3’>‘西林 3’>‘契可’。由此可知‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’核桃响应炭疽病的生理表现上为‘香玲’>‘西洛 3’>‘西林 3’>‘契可’。

关键词:核桃;炭疽病;ROS 积累;生理表现

中图分类号:S763.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2020)02-0137-05

Effects of *Colletotrichum gloeosporioides* on the Physiological Indexes of Resistance of Fifferent Walnut Varieties

REN De-yuan¹, GAO Xiang-qian², WANG Tian-yu², HUI Jian-chao², YANG Gui-yan^{2*}

(1. Yangling Vocational & Technical College, Yangling 712100, Shaanxi, China;
2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: *Juglans regia* (walnut) is an important woody oil and non-timber tree species in China, which is susceptible to diseases, resulting negative impacts on the tree development, nut yield and quality. Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) is one of the main diseases occurring in walnut tree. Therefore, an in-depth understanding of the ability of common walnut varieties to respond to anthracnose can provide a theoretical basis for breeding varieties with strong disease resistance. In this study, four walnut varieties ‘Xiangling’, ‘Xiluo 3’, ‘Xilin 3’, and ‘Qike’ were anthracnose-stressed, respectively, and the active oxygen (ROS) metabolism and antioxidant enzyme activities were analyzed. The results showed that all the physiological indexes of all the selected species were not significantly different before the anthracnose stress. However, after stress, all plants showed an increase in ROS (H_2O_2 , O_2^-) accumulation, an intensification in membrane lipid peroxidation (MDA), and enhancement in antioxidant enzyme (SOD, POD, CAT) activities. Among these four varieties, the MDA content of ‘Qike’ was significantly higher than ‘Xiangling’, ‘Xiluo 3’, ‘Xilin 3’; the H_2O_2 and O_2^- content of ‘Xilin 3’ and ‘Qike’ was significantly higher than ‘Xiangling’ and ‘Xiluo 3’. However, the activities of SOD, POD and CAT of ‘Xiangling’ were significantly higher than ‘Xiluo 3’, ‘Xilin 3’ and ‘Qike’, and the range was ‘Xiangling’>‘Xiluo 3’>‘Xilin 3’.

收稿日期:2019-11-26 修回日期:2020-01-09
基金项目:中央财政林业科技推广项目“千阳核桃综合配套丰产栽培技术示范与推广”SLTG[2016]14 号;陕西省博士后基金项目(2016BSHEDZZ117);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2018JQ3066);大学生创新创业训练计划项目(S201910712143)。
作者简介:任得元,男,高级工程师,研究方向:林业研究与技术推广。E-mail:Rdy123@163.com
*通信作者:杨桂燕,女,博士,副教授,研究方向:林木遗传育种、野生植物资源利用。E-mail:yangguiyan@yahoo.com

>‘Qike’. These results suggested that the physiological performance of these four walnut varieties in response to anthracnose were ‘Xiangling’>‘Xiluo 3’>‘Xilin 3’>‘Qike’.

Key words: *Juglans regia*; anthracnose; ROS accumulation; Physiological performance

核桃(*Juglans regia*)为胡桃科多年生乔木,是我国重要的木本油料树种及经济、用材树种,其种仁含有丰富的饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸,以及大量人体所需的多种氨基酸、微量元素、维生素,有“万岁子”“长寿果”之称,是世界四大坚果之一^[1-2]。核桃分布广泛,亚洲、欧洲、大洋洲等均有分布。其中核桃产量居多的是亚洲、北美洲、欧洲,占世界核桃总产量的 98%。我国主要分布在云南、新疆、四川、陕西、河北等地^[3]。核桃种质资源丰富,常见品种有‘香玲’‘西林’‘契可’‘西扶’‘西洛’‘强特勒’等,其中‘契可’‘强特勒’为优良外来引种^[4]。因其良好的经济价值和社会效益,核桃产业发展迅速,但随着产业扩大其病害所造成损失也不断增多^[5]。有报道显示,对山东省 2009—2010 年间不同种植区核桃定点调查发现,核桃在生长发育过程中主要病害有炭疽病、黑斑病、褐色顶端坏死病、溃疡病、枯梢病,其中,以炭疽病最为严重^[5]。在植株响应病害胁迫时,通常会引起活性氧(reactive oxygen species, ROS)代谢发生改变。如,用 100 mmol/L 硅酸钠常温浸泡处理‘玉金香’厚皮甜瓜(*Cucumis melo*) 10 min, 12 h 后接种粉红单端孢(*Trichothecium roseum*), 结果发现果实 H₂O₂ 的积累增加,超氧阴离子(O₂⁻)产生速率提高,过氧化氢酶(catalase, CAT)活性增强,丙二醛(malondialdehyde, MDA)产生量增多,表明采后硅酸钠处理可通过调节果实活性氧的代谢来提高厚皮甜瓜果实对采后病害的抗性^[6]。NO 处理后损伤接种胶孢链格孢(*Alternaria alternata*)的新疆‘西州蜜 25 号’甜瓜的 H₂O₂、O₂⁻、(catalase, CAT)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)等也都发生了明显变化,表明 NO 处理诱导果实采后抗病性与调节果实的 ROS 代谢密切相关^[7]。因此,通过研究常见核桃品种响应炭疽病的活性氧代谢,可有效比较不同核桃品种的抗病性,这对进一步筛选优质、抗性较强核桃品种,及对区域核桃经济发展以及品质提升具有重要意义。

核桃炭疽病是由胶孢炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)侵染引起的真菌性病害,主要危害核桃果实、叶片及嫩梢,引起果实早落或果仁干瘪,病果表现为表面具有褐色或黑褐色病斑,圆形或近圆形;叶片感病后叶缘四周枯黄;新梢枯萎,呈焦枯状^[5]。核桃炭疽病潜伏期长、发病时间短、爆发性

强,目前防治技术效果一般,严重影响核桃产量与品质。因此,本研究选取核桃栽培品种‘香玲’‘西林 3’‘契可’‘西洛 3’,通过分析它们响应炭疽病的 ROS 代谢相关生理指标,比较其抗病能力,以期为选育抗病性较强品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

核桃炭疽病原菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)为西北农林科技大学核桃研究中心分离获得^[8],保存于 4℃ 冰箱备用。将菌种置于 PDA 液体培养基进行活化后接至 PDA 培养基上于 25℃ 恒温培养 5~6 d,挑取菌种于高粱粒固体培养基上培养至长满菌丝体,灭菌水洗除表面菌丝体后约 48 h 后对高粱粒保湿保温培养至产生大量分生孢子,制备菌悬液。

将 2 年生‘香玲’‘西林 3’‘契可’‘西洛 3’嫁接盆栽苗转移至温室,培养湿度为 70%~75%,平均温度为(22±2)℃,光照条件为 14 h/10 h。培养 6 个月后,对核桃叶片进行表面清洗,针刺损伤(每片小叶上下左右均匀分布 1 个针孔)后将核桃炭疽病菌悬液喷洒各植株,隔 12 h 喷 1 次,每次喷施使叶片布满水珠(保护茎不接触菌悬液),菌悬液浓度为 1.0×10⁵ 个/mL^[9]。处理 0(对照)、1、3、6、9、12、15、30 d 后分别进行观察和取材,预试验分析后发现 9 d 时各项指标差异较大,所以确定 9 d 用于不同品种的 ROS 代谢分析,包括 H₂O₂ 含量、O₂⁻ 含量、MDA 含量、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性,每个处理重复 3 次。

1.2 试验方法

1.2.1 MDA 含量测定方法 收集处理 9 d 的‘香玲’‘西林 3’‘契可’‘西洛 3’叶片用于 MDA 含量测定。方法采用硫代巴比妥酸(TBA)法。试验材料用三氯乙酸研磨后将混合物在 95℃ 加热 15 min,冰浴中快速冷却。在 12 000 r/min 离心 20 min,分别记录上清液在 450、532 nm 处的吸光度^[10]。计算公式如下:

$$C_1 = 6.45 \times OD_{532} - 0.56 \times OD_{450} \quad (1)$$

$$y_1 = (C_1 \times V) / W_1 \quad (2)$$

式中, C₁ 为 MDA 浓度(μmol/L); y₁ 为每克样品中 MDA 含量(μmol/g); V 为提取液体积(mL); W₁ 为测定样品质量; OD₅₃₂ 为在波长 532 nm 时的吸光度;

OD₄₅₀ 为在波长 450 nm 时的吸光度。

1.2.2 H₂O₂ 含量测定方法 收集处理 9 d 的‘香玲’‘西林 3’‘契可’‘西洛 3’叶片用于 H₂O₂ 含量测定。将材料在冰浴中用 2 mL 0.1% (w/v) 三氯乙酸研磨,以 12 000 r/min 离心 20 min,转移 0.5 mL 上清液与 0.5 mL 10 mmol · L⁻¹ 磷酸钾缓冲液 (pH = 7.0)、1 mL 1 mol/L KI 混合。测量上清液在 415 nm 时的吸光度,用已知浓度的 H₂O₂ 绘制标准曲线计算 H₂O₂ 含量^[10]。

1.2.3 超氧阴离子 (O₂⁻) 含量测定方法 收集处理 9 d 的‘香玲’‘西林 3’‘契可’‘西洛 3’叶片用于 O₂⁻ 含量测定。将材料在 3 mL 65 mmol/L 磷酸钾缓冲液研磨,以 12 000 r/min 离心 20 min 作为提取液,根据李忠光等^[11] 方法进行测定。测定上清液在波长 530 nm 处的光谱吸光度,并使用已知浓度的 NO₂⁻ 绘制的标准曲线计算 O₂⁻ 含量。

1.2.4 酶活性测定方法 收集处理 9 d 的‘香玲’‘西林 3’‘契可’‘西洛 3’叶片用于酶活性测定。将不同处理材料用液氮研磨,根据班巧英等^[12] 方法测定。SOD 测定波长为 560 nm 处的吸光度 (OD₅₆₀),POD 测定波长为 470 nm 处的吸光度 (OD₄₇₀)。CAT 测定波长为 240 nm 处的吸光度 (OD₂₄₀)^[13]。

1.3 数据处理

每个处理重复 3 次,每个重复包含 6 棵植株。所有数据使用 SPSS 软件分析。

2 结果与分析

2.1 核桃响应炭疽病胁迫的 ROS 积累

对 4 个不同核桃品种进行炭疽病处理 9 d 后,测定植株的膜质过氧化情况和 ROS 积累相关指标,发现在非胁迫下,‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’的 MDA、H₂O₂、O₂⁻ 含量均无明显差异 (图 1)。炭疽病胁迫后各植株的 MDA、H₂O₂、O₂⁻ 含量较胁迫前均明显升高,‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’的

MDA 含量分别为处理前的 2.54、2.75、2.96、3.10 倍。从 4 个品种看,MDA 含量从大到小依次为‘契可’>‘西林 3’>‘西洛 3’>‘香玲’,且‘契可’的 MDA 含量分别为‘西林 3’‘西洛 3’‘香玲’的 1.63、1.39、1.11 倍 (图 1)。

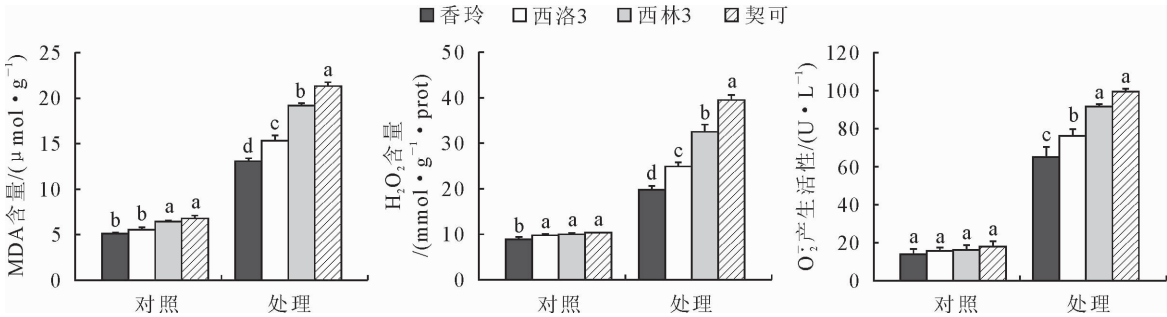
炭疽病胁迫下各植株 H₂O₂、O₂⁻ 含量与 MDA 含量变化趋势相似,即非胁迫下各品种 H₂O₂、O₂⁻ 含量差异较小,但胁迫后显著升高且明显高于对照。胁迫后‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’H₂O₂ 含量为对照组的 2.21~3.79 倍,其中‘香玲’‘西洛 3’的 H₂O₂ 含量变化较小。各植株 O₂⁻ 含量变化趋势与 H₂O₂ 含量一致,炭疽病胁迫后‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’的 O₂⁻ 含量分别为胁迫前的 4.67、4.85、5.64、5.52 倍 (图 1)。可看出‘香玲’‘西洛 3’在炭疽病处理后 O₂⁻ 含量升高较‘西林 3’‘契可’小。

炭疽病胁迫前后各品种植株 MDA 含量与 H₂O₂、O₂⁻ 含量变化情况可知 ROS 积累由大到小依次为‘契可’‘西林 3’‘西洛 3’‘香玲’。

2.2 炭疽病胁迫下核桃 ROS 清除活性

SOD、POD、CAT 是植株细胞内清除活性氧的重要保护酶类^[11]。不同植株在炭疽病胁迫后的数据显示,SOD、POD、CAT 活性均有所增强,胁迫后各植株的 SOD 活性增强为胁迫前的 1.31~1.42 倍;POD 活性则增强为非胁迫的 1.93~2.47 倍;CAT 活性增强为非胁迫的 1.45~2.29 倍。综合可知,各植株活性增强能力为‘香玲’>‘西洛 3’>‘西林 3’>‘契可’ (图 2)。其中‘香玲’SOD、POD、CAT 活性与增强幅度均明显高于‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’。

上述 SOD、POD、CAT 活性与所测 ROS 积累形成对比。当植株 ROS 积累较多时,其抗氧化酶 (SOD、POD、CAT) 活性相对较低,植株损伤程度较高。由此可知,所测核桃品种的抗氧化活性为‘香玲’>‘西洛 3’>‘西林 3’>‘契可’。



注:不同小写字母表示相同处理下不同品种之间的差异显著性。图 2 同。

图 1 炭疽病胁迫下的 MDA、H₂O₂、O₂⁻ 含量

Fig. 1 The content of MDA, H₂O₂, O₂⁻ under anthracnose stress

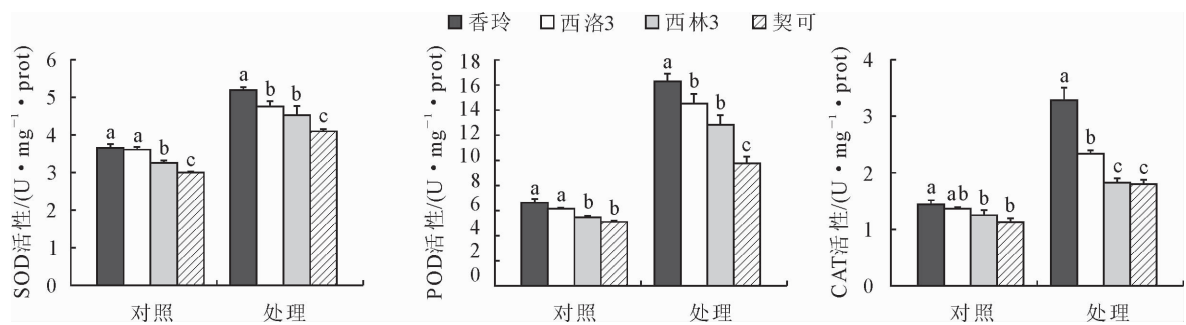


图 2 炭疽病胁迫下的 SOD、POD、CAT 活性

Fig. 2 The activities of SOD,POD,CAT under anthracnose stress

3 结论与讨论

核桃是我国重要经济、木本油料树种,部分地区如陕西,将其作为脱贫攻坚战略树种,鼓励发展核桃经济^[14]。而目前核桃产业面临众多亟待解决的问题,如品质低、抗性差、产量低^[15]。因此,通过选育优良品种从根源改善核桃质量显得尤为重要。一直以来,选育及评价新品种的相关报道较多^[16]。如,早在 1998 年,杨克强等^[17]对 20 个普通核桃品种就白粉病抗性进行分级评价,区分为高抗品种、抗性品种、感病品种。陈于等^[18]对常州金坛地区所推广的不同品系薄壳山核桃黑斑病发病率及抗病指数进行调查,得到高抗品种。耿树香等^[19]对粗脂肪、粗蛋白、微量元素、维生素等 10 个指标进行主成分测定,进一步对云南地区核桃主栽品种的功能成分进行评价与分析,为功能性食品开发提供理论依据。这些研究对后期核桃选育种、开发利用、引种栽培具有重要指导作用。

该研究对常见核桃栽培品种‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’就突出病害——核桃炭疽病的抗性进行分析与评价,旨在深入了解其抗逆能力并为优良品种选育打下基础。史冠昭^[8]在利用叶片法测定木醋液对核桃炭疽病原菌的抑制试验中,以病斑直径的大小作为衡量品种抗病性的标准,发现核桃品种抗炭疽病的抗性大小顺序为‘香玲’>‘西洛 3’>‘清香’>‘西林 3’;利用果实法测定木醋液对核桃炭疽病原菌的抑制效果结果为‘辽 4’>‘香玲’>‘西林 3’>‘契可’>‘西林 2’。本研究结果显示,炭疽病胁迫后,‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’的 MDA、H₂O₂、O₂⁻ 含量均明显升高,表明炭疽病菌可刺激各植株产生 ROS,并使细胞膜脂过氧化产生 MDA。而在相同处理下,‘契可’的 ROS 积累明显多于‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’,说明‘契可’受损伤和膜质化程度更严重。对各植株胁迫后保护酶(SOD、POD、CAT)活性测定发现,各植株保护酶活性均有

所增强。其中,‘香玲’‘西洛 3’的活性增强幅度大于‘西林 3’‘契可’,表明在相同胁迫条件下,‘香玲’‘西洛 3’对逆境响应及调节能力强于‘西林 3’‘契可’,即‘香玲’‘西洛 3’抗炭疽病能力大于‘西林 3’‘契可’。综合可知这 4 个核桃品种响应炭疽病的生理表现优劣顺序为‘香玲’>‘西洛 3’>‘西林 3’>‘契可’。

H₂O₂、O₂⁻ 是活性氧(ROS)主要类别,可破坏细胞结构,与细胞膜作用产生过氧化产物 MDA^[1],因此,MDA 含量可作为细胞膜损伤监视性物质。SOD、POD、CAT 是植物在逆境胁迫下重要保护酶。利用抗逆的相关生理指标分析植物抗性具有合理性。如郑磊等^[20]对‘铁核桃’‘绵阳早熟’‘新疆 2 号’3 种核桃品种在腐皮镰刀菌(*Fusarium solani*)侵染后对 MDA 含量及 SOD、POD 活性等生理指标进行分析,得出 MDA、POD、SOD 可作为核桃品种抗性评价指标。胡春霞等^[21]以‘南果梨’嫁接苗为试材测定低温胁迫下不同部位可溶性糖、可溶性蛋白、MDA 含量、SOD 活性为后期抗寒育种提供理论依据。蒋瑶等^[22]测定野生湖北百合(*Lilium henryi*)在高温胁迫下的 MDA 含量、POD、SOD 活性等进行测定,分析指出 MDA 含量、POD 活性是湖北野生百合高温胁迫主导指标。综合分析,本研究分析的 ROS 积累(MDA、H₂O₂、O₂⁻)及抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性能够在一定程度上为判定‘香玲’‘西洛 3’‘西林 3’‘契可’炭疽病抗性大小提供依据,也可选育和推广优良抗逆品种提供参考依据。

参考文献:

[1] 李大培,李生萍,高向倩,等.安康‘紫仁’核桃响应干旱胁迫的生理评价研究[J].西南林业大学学报:自然科学,2018,38(1): 202-206.
LI D P, LI S P, GAO X Q, et al. Physiological evaluation of response of ‘Ziren’ walnut from ankang under drought stress [J]. Journal of Southwest Forestry University: Natural Sci-

ences,2018,38(1):202-206. (in Chinese)

[2] 王利华. 核桃的营养保健功能及加工利用[J]. 中国食物与营养,2007(8):28-30.

[3] 高秀梅. 危害核桃的胶孢炭疽菌对核桃组织侵染过程的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2017.

[4] 余仲东,李涛,王兴旺,等. 5 个核桃主栽品种对 *Botryosphaeria* 溃疡病的抗性评估[J]. 中国南方果树,2016,45(4):123-125.

[5] 曲文文. 山东省核桃 (*Juglans regia*) 主要病害病原鉴定[D]. 泰安:山东农业大学,2011.

[6] 王云飞,毕阳,任亚琳,等. 硅酸钠处理对厚皮甜瓜果实采后病害的控制及活性氧代谢的作用[J]. 中国农业科学,2012,45(11):2242-2248.

WANG YUN-FEI,BI YANG,REN YA-LIN,*et al.* Control of postharvest diseases and potentiation of reactive oxygen species metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits treated by sodium silicate[J]. Scientia Agricultura Sinica,2012,45(11):2242-2248. (in Chinese)

[7] 敬媛媛,吴斌,李艳娇,等. 一氧化氮处理对甜瓜果实采后病害的控制及活性氧代谢的作用[J]. 现代食品科技,2016,32(12):186-190,119.

JING YUAN-YUAN,WU BIN,LI YAN-JIAO,*et al.* Control of post-harvest diseases and potentiation of metabolism of reactive oxygen species in post-harvest muskmelons treated by nitric oxide[J]. Modern Food Science and Technology,2016,32(12):186-190,119. (in Chinese)

[8] 史冠昭. 2 种核桃壳木醋液的化学组成及抑菌作用研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2015.

[9] 王丰,马跃,高秀岩,等. 草莓品种对炭疽病抗性的鉴定技术研究[J]. 果树学报,2008,25(4):542-547.

WANG ,MA Y,GAO X,*et al.* Study on the identification techniques for determining strawberry cultivar's resistance to anthracnose[J]. Journal of Fruit Science,2008,25(4):542-547.

[10] WANG B,BIAN B,WANG C,*et al.* Hydrogen gas promotes the adventitious rooting in cucumber under cadmium stress [J]. PLOS ONE,2019,14(2):e0212639.

[11] 李忠光,龚明. 植物中超氧阴离子自由基测定方法的改进[J]. 云南植物研究,2005,27(2):211-216.

LI Z G,GONG M. Improvement of measurement method for superoxide anion radical in plant[J]. Acta Botanica Yunnanica,2005,27(2):211-216. (in Chinese)

[12] QIAO Y B,GUI F L,YU C W. A DREB gene from *Limonium bicolor* mediates molecular and physiological responses to copper stress in transgenic tobacco[J]. Journal of Plant Physiology,2010,168(5).

[13] 姜波. 桤柳硫氧还蛋白过氧化物酶基因耐盐功能分析[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011.

[14] 栗莉圆,李孝哲,陈淑雯,等. 核桃 *JrGRAS2* 基因响应热胁迫的表达及功能分析[J]. 植物研究,2018,38(1):125-131.

SU L Y,LI X Z,CHEN S W,*et al.* Expression and function analysis of walnut *JrGRAS2* gene under heat stress[J]. Bulletin of Botanical Research,2018,38(1):125-131. (in Chinese)

[15] 刘杜玲,张博勇,彭少兵,等. 氮磷钾配方施肥对核桃产量和品质指标的影响[J]. 西北林学院学报,2018,33(6):113-117.

LIU D L,ZHANG B Y,PENG S B,*et al.* Effects of nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilizers on the yield and quality of walnut[J]. Journal of Northwest Forestry University,2018,33(6):113-117. (in Chinese)

[16] 栗莉圆,李大培,常远,等. 核桃 *JrGSTTau1* 基因的克隆及转入酵母的抗逆功能分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):98-102.

SU L Y,LI D P,CHANG Y,*et al.* Cloning and stress tolerance analysis of a *JrGSTTau1* gene from juglans regia in *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(3):98-102. (in Chinese)

[17] 杨克强,程三虎,牛亚胜,等. 若干个核桃品种(系)对白粉病的抗性[J]. 果树科学,1998(2):154-157.

ANG K Q,CHENG S H,NIU Y S,*et al.* Study on the evaluation of resistance to powdery mildew of walnut varieties[J]. Journal of Fruit Science,1998(2):154-157. (in Chinese)

[18] 陈于,王敏,朱灿灿,等. 常州金坛地区不同薄壳山核桃品种黑斑病抗性田间调查[J]. 江苏林业科技,2018(6):26-29.

CHEN Y,WANG M,ZHU C C,*et al.* Field investigation of resistance against black spot of different pecan varieties in Jintan,Changzhou[J]. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology,2018(6):26-29. (in Chinese)

[19] 耿树香,宁德鲁,陈海云,等. 云南主栽核桃品种功能成分综合评价分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2019,43(2):209-215.

GENG S X,NING D L,CHEN H Y,*et al.* Comprehensive evaluation and analysis of nutrient contents of the main walnut varieties in Yunnan[J]. Journal of Nanjing Forestry University; Natural Sciences Edition,2019,43(2):209-215. (in Chinese)

[20] 郑磊,张静,麻文建,等. 腐皮镰刀菌对不同品种核桃抗性生理指标的影响[J]. 广西植物,2016,36(6):651-657.

[21] 胡春霞,王丽,汤杰. 低温对南果梨的生理生化指标的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2009,40(3):349-352.

HU C X,WANG L,TANG J. Effect of low temperature on physiological indicators of nanguo-pear[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2009,40(3):349-352. (in Chinese)

[22] 蒋瑶,陈文波,黄江中,等. 高温胁迫对野生湖北百合生理指标的影响[J]. 西北林学院学报,2019,34(1):62-68.

JIANG Y,CHEN W B,HUANG J Z,*et al.* Effects of high temperature stress on physiological indexes of wild *Lilium henryi* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2019,34(1):62-68. (in Chinese)