

许彦明,张震,陈永忠,等.油茶古树抗衰老叶片生理特性[J].江苏农业科学,2019,47(22):188-191.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.043

油茶古树抗衰老叶片生理特性

许彦明,张震,陈永忠,王湘南,彭邵锋,陈隆升,王瑞,马力,李志钢,李美群

(湖南省林业科学院/国家油茶工程技术研究中心,湖南长沙 410004)

摘要:以不同树龄油茶的叶片为试验材料,研究不同树龄油茶叶片的叶绿素含量、渗透调节物质含量及抗氧化酶活性的变化状况,分析叶片生理指标随树龄的变化规律。结果表明,在不同树龄的油茶树中,二年生叶片的叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b) 和 Chl a + Chl b 含量均显著高于一年生叶片;古树二年生叶片的 Chl a、Chl b、Chl a + Chl b 含量最高,分别为 1.57、0.12、1.69 mg/g;在不同树龄的油茶树中,二年生叶片中丙二醛 (MDA) 和过氧化氢 (H_2O_2) 含量均高于一年生叶片中的含量;在古树中,一年生叶片中的 MDA 和 H_2O_2 含量分别为 13.61 nmol/g、131.06 μ g/g,均高于壮龄树和幼树;在古树中,一年生叶片中的脯氨酸含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量均偏高,部分渗透调节物质随树龄越低而逐渐减少,且低于二年生叶片中的含量;在壮龄树中,二年生叶片中超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性均高于一年生叶片,且古树叶片中的 SOD、POD 和 CAT 活性均明显强于壮龄树和幼树。油茶古树有较高的酶活性,能有效清除植物衰老过程中自身代谢所产生的活性氧 (ROS) 等物质,使古树依然保持着正常的生理代谢活动。

关键词:油茶古树;抗衰老;叶片;叶绿素含量;生理特性

中图分类号: S794.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)22-0188-03

植物衰老指植物的某个器官或整个植株生命功能的衰退并最终导致其自然死亡的一系列变化过程,是植物生长发育周期中一个重要的生理现象^[1]。植物衰老过程受到多种因素的影响,生物因素包括植物竞争关系、自身基因等^[2],非生物因素主要包括不良外界环境导致的干旱、盐碱、高温、低温以及重金属等胁迫逆境^[3-4]。叶片是植物重要的生长器官,植物衰老的主要外部特征表现是生长速率下降、叶片变黄、脱落,生理特性表现是叶片中氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、铜 (Cu) 等含量降低,钙 (Ca)、镁 (Mg) 等含量增加^[5]。在生命周期的不同阶段,随着年龄的增加,植物生长速率降低,抗逆性能力下降,光合作用减弱,细胞内一系列抗氧化酶表现出动态变化。对古树而言,在细胞器中发生的渐进性功能衰退及细微的结构变化,都会直接影响古树的代谢平衡,干扰古树的正常生长,其中叶片的衰老是程序性细胞死亡的特殊退化过程^[6]。植物叶片中叶绿素含量的高低和降解的速率可作为衡量植物衰老与否和衰老快慢的重要标志^[7];同样,随着叶片中磷酸烯醇式丙酮酸 (PEP) 羧化酶活性的降低,超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 等保护酶活性的降低以及可溶性蛋白含量、可溶性糖含量等部分渗透调节物质浓度的降低,作为植物衰老指标的丙二醛 (MDA) 含量会增加,进而加速其衰老进程。

目前,国内外关于植物衰老的生理特性研究很多,并取得了一些成果。孙艳等发现,MDA 含量、相对电导率 (REC) 及

POD 活性随黄芩叶片逐渐衰老而显著升高,光合色素含量、可溶性蛋白质含量、SOD 与 CAT 活性显著降低^[8]。在古油松衰弱衰老树中,针叶长度、叶绿素含量、MDA 含量及 SOD 活性等生理指标均不及幼树^[9]。朱利君等对珙桐叶的研究发现,珙桐叶 POD 活性和 MDA 含量对生长期敏感,同树龄同叶位的珙桐叶随叶片的生长和衰老,POD 活性和 MDA 含量逐渐升高,且不同树龄、叶位、层次的 POD 活性和 MDA 含量存在差异^[10]。薛秋华等发现,古槐叶片中 N、P、Mg 元素含量低于幼槐,Ca、铁 (Fe)、锰 (Mn) 含量则高于幼槐,K 元素含量在古槐和幼槐叶片中基本相同^[11]。

关于植物衰老指标的研究有很多^[12-14],这些研究能够从生理特性方面揭示植物衰老进程,为古树复壮、更新、濒危树种的保护等研究提供一定的参考。油茶作为我国特有的木本油料树种,生命周期长达数百年。目前,关于油茶的研究主要集中在高效栽培^[15-16]、育种^[17-18]、繁育及加工利用^[19]等方面,关于油茶古树衰老中光合色素、酶活性等生理特性的研究相对较少。本研究通过测定不同树龄油茶叶片的相关生理指标,如叶绿素、抗氧化系统酶、部分渗透调节物质等,比较不同树龄油茶的叶片生理生化指标与树龄之间的差异,以期明确油茶古树抗衰老的生理特性,为油茶古树的树势评价、日常养护管理以及复壮、保护等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

研究地位于湖南省林业科学院试验林场 (113°01'30"E, 28°06'40"N)。该区域属亚热带季风湿润气候,年平均气温 17.5 $^{\circ}$ C,年日照时数为 1 841.8 h,年平均降水量为 1 378 mm,年平均相对湿度为 81%;土壤系第四纪红色黏土网纹层母质发育的酸性红壤,pH 值在 4.5~5.5 之间。

收稿日期:2018-08-18

作者简介:许彦明(1987—),男,河南驻马店人,硕士,助理研究员,主要从事经济林栽培技术研究。E-mail:2661006139@qq.com。

通信作者:陈永忠,博士,研究员,主要从事经济林研究。E-mail:chenyongzhong06@163.com。

1.2 供试材料

于 2017 年 6 月中旬,选择生长健壮、长势良好的油茶幼树(6 年)、壮龄树(30 年)、古树(>100 年)的优良单株进行采样。在 6 月下旬,分别采取每个单株树冠外围中上部受光相对一致、健壮、无病变损伤的一年生和二年生功能叶片作为试验材料(3 个生物学重复)。采集的叶片装入塑封袋并编号,迅速放入冰盒并带回实验室,用去离子水擦洗干净后,置于 -70 ℃ 冰箱中保存备用。

1.3 指标测定方法

叶绿素含量的测定采用丙酮浸提法;超氧化物酶活性的测定采用核黄素-氮蓝四唑(NBT)光还原法;过氧化物酶活性的测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶活性的测定采用高锰酸钾滴定法;脯氨酸含量的测定采用茚三酮显色法;可溶性糖含量的测定采用比色法;可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法;丙二醛含量的测定采用硫代巴比妥酸法;过氧化氢含量的测定采用三氯乙酸比色法。叶片相关生理生化指标的测定均重复 3 次。

1.4 数据分析

用 Excel 2003 对原始数据进行整理、作图,用 SPSS 16.0 对数据进行统计与方差分析。同一树龄不同年龄叶片的生理指标差异显著性采用成对 t 检验法,不同树龄同一年龄叶片的生理指标差异显著性采用单因素方差分析,多重比较采用最小显著差异法。

2 结果与分析

2.1 油茶叶片中叶绿素含量的变化

不同树龄油茶叶片的叶绿素含量存在明显差异(表 1)。从树龄看,除幼树 Chl a 含量外,3 种树龄油茶的二年生叶片 Chl a、Chl b 和 Chl a + Chl b 的含量均显著高于一年生的叶片。其中,油茶古树的二年生叶片 Chl a、Chl b 和 Chl a + Chl b 的含量分别为 1.57、0.12、1.69 mg/g,分别比一年生叶片高 0.45、0.03、0.48 mg/g。

表 1 不同树龄油茶树叶片中叶绿素含量比较

油茶树 类型	叶片年龄 (年)	叶绿素含量(mg/g)		
		Chl a	Chl b	Chl a + Chl b
古树	1	1.12 ± 0.09Ba	0.09 ± 0.002Ba	1.21 ± 0.09Ba
	2	1.57 ± 0.04Aa	0.12 ± 0.001Aa	1.69 ± 0.04Aa
壮龄树	1	0.65 ± 0.02Bc	0.07 ± 0.002Bb	0.72 ± 0.02Bc
	2	0.92 ± 0.05Ab	0.11 ± 0.001Ab	1.03 ± 0.05Ab
幼树	1	0.83 ± 0.03Ab	0.09 ± 0.002Ba	0.92 ± 0.03Bb
	2	0.88 ± 0.03Ab	0.11 ± 0.003Ab	0.99 ± 0.03Ab

注:不同大写字母表示同一树龄不同年龄叶片之间差异显著($P < 0.05$);不同小写字母表示同一年龄叶片不同树龄之间差异显著($P < 0.05$)。表 2 ~ 表 4 同。

3 种树龄油茶的一年生油茶叶片中,叶绿素含量随树龄的增加均呈现先降后增的趋势。古树叶片的 Chl a、Chl a + Chl b 含量最高,分别为 1.12、1.21 mg/g,其次为幼树和壮龄树。而在二年生油茶叶片中,叶绿素含量随树龄的增加而升高,古树的 Chl a、Chl b、Chl a + Chl b 含量均显著高于壮龄树和幼树,分别是幼树的 1.78、1.09、1.71 倍。

2.2 油茶叶片中 MDA、H₂O₂ 含量的变化

3 种树龄油茶的二年生叶片的 MDA 和 H₂O₂ 含量均显著高于一年生叶片的含量;其中,古树的二年生叶片中 MDA 含量最高,为 22.88 nmol/g,是一年生叶片含量的 1.68 倍;壮龄树二年生叶片中 H₂O₂ 含量最高,为 416.26 μg/g(表 2)。

表 2 不同树龄油茶树叶片中 MDA 和 H₂O₂ 含量比较

油茶树类型	叶片年龄 (年)	MDA 含量 (nmol/g)	H ₂ O ₂ 含量 (μg/g)
古树	1	13.61 ± 0.04Ba	131.06 ± 7.75Ba
	2	22.88 ± 0.72Aa	249.55 ± 24.42Ac
壮龄树	1	12.77 ± 0.42Ba	118.07 ± 5.47Bab
	2	19.75 ± 1.21Ab	416.26 ± 22.19Aa
幼树	1	7.83 ± 0.48Bb	110.04 ± 5.77Bb
	2	20.64 ± 1.08Aab	322.13 ± 9.02Ab

3 种树龄油茶的一年生油茶叶片中 MDA 和 H₂O₂ 含量变化趋势一样,均随树龄的增长而增加;古树叶片中 MDA 和 H₂O₂ 含量最高,分别为 13.61 nmol/g、131.06 μg/g,其次为壮龄树,分别为 12.77 nmol/g、118.07 μg/g,幼树叶片中 MDA 和 H₂O₂ 含量最低,分别为 7.83 nmol/g、110.04 μg/g。在二年生叶片中,古树叶片中的 MDA 含量最高,为 22.88 nmol/g,壮龄树叶片中 H₂O₂ 含量最高,为 416.26 μg/g。

2.3 油茶叶片中渗透调节物质含量的变化

古树一年生叶片中 3 种渗透调节物质含量均高于二年生叶片中的含量(表 3),分别为 8.58 μg/g、23.83 mg/g、17.15 mg/g。壮龄树一年生叶片中脯氨酸和可溶性蛋白含量高于二年生叶片,可溶性糖含量显著低于二年生叶片。而幼树一年生叶片仅有可溶性蛋白含量显著高于二年生叶片,为 27.24 mg/g。

表 3 不同树龄油茶树叶片中脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量比较

油茶树 类型	叶片年龄 (年)	脯氨酸含量 (μg/g)	可溶性糖含量 (mg/g)	可溶性蛋白含量 (mg/g)
古树	1	8.58 ± 1.04Aa	23.83 ± 0.73Aa	17.15 ± 1.81Ab
	2	5.40 ± 0.66Ba	22.82 ± 1.11Ab	11.10 ± 0.74Bb
壮龄树	1	4.27 ± 0.98Ab	23.31 ± 0.53Ba	28.27 ± 2.34Aa
	2	1.95 ± 0.17Bb	30.06 ± 1.21Aa	25.90 ± 1.04Aa
幼树	1	1.28 ± 0.19Bc	20.72 ± 1.07Bb	27.24 ± 2.55Aa
	2	2.06 ± 0.12Ab	30.63 ± 1.87Aa	12.82 ± 0.56Bb

随着油茶树树龄的增加,一年生叶片中的脯氨酸和可溶性糖含量逐渐增加,在古树叶片中的含量最高,分别是幼树叶片中含量的 6.70、1.15 倍,而可溶性蛋白含量在古树中远低于壮龄树和幼树,仅为 17.15 mg/g。二年生叶片中的脯氨酸含量变化趋势不同于一年生,古树叶片中脯氨酸含量最高,为 8.58 μg/g,而可溶性糖和可溶性蛋白的最大含量分别出现在幼树和壮龄树,分别为 30.63、25.90 mg/g。

2.4 油茶叶片中 SOD、POD 和 CAT 活性的变化

在 3 种树龄油茶中,二年生叶片中 SOD 活性显著高于一年生叶片中酶活性,尤以古树叶片中 SOD 活性最高,为 898.37 U/g;虽然二年生叶片 POD 活性在壮龄树和幼树中略高于一年生叶片,但 3 种树龄不同年龄叶片中 POD 活性之间差异不显著;除幼树叶片中 CAT 活性以外,其他树龄不同年

龄叶片中 CAT 活性差异不显著(表 4)。

3 种树龄油茶的一年生油茶叶片中,古树叶片中 SOD 活性为 372.52 U/g,显著低于壮龄树和幼树,而 POD 和 CAT 的活性显著高于壮龄树和幼树,分别为 34.68、585.91 U/(g·min)。二年生叶片中,古树叶片中 SOD、POD、CAT 酶活性最高,分别为 898.37 U/g、25.31 U/(g·min)、487.64 μg/(g·min),其次是壮龄树叶片中的酶活性,幼树叶片中的酶活性最低(表 4)。

表 4 不同树龄油茶树叶片中 SOD、POD、CAT 活性比较

油茶树 类型	叶片年龄 (年)	SOD (U/g)	POD [U/(g·min)]	CAT [μg/(g·min)]
古树	1	372.52±26.16Bc	34.68±5.22Aa	585.91±30.08Aa
	2	898.37±12.58Aa	25.31±0.96Aa	487.64±27.16Aa
壮龄树	1	600.52±15.87Ba	9.45±1.36Ab	394.63±30.91Ab
	2	752.42±25.44Ab	14.52±4.46Ab	467.09±26.83Aa
幼树	1	502.71±17.61Bb	7.85±1.66Ab	395.19±40.56Ab
	2	574.59±9.09Ab	12.12±1.32Ab	231.21±21.91Bb

3 结论与讨论

叶绿素是植物进行高效光合作用的保证,叶绿素的降解也是植物叶片衰老的主要标志^[20]。在本试验中,随油茶树龄的增加,相同叶龄的油茶叶片中叶绿素含量在古树中明显高于壮龄树和幼树,这在一定程度上反映出油茶古树叶片内的生命活动更为活跃,且叶片中叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量的比值有所增加,这与戚元春等对古樟树(*Cinnamomum camphora*)的研究结果^[21]相一致。在小麦的生长过程中,叶片中叶绿素 a 和叶绿素 b 含量的比值产生了变化,衰老叶片中叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量的比值增加^[22]。但关于古树中叶绿素含量高于其他树龄的树种少有报道,油茶古树叶片中叶绿素含量高于幼树的生理机制,尚待进一步研究。

可溶性糖可维持生理代谢反应场所的渗透平衡动态^[23],可溶性蛋白作为各种新陈代谢反应的催化剂,也与叶绿素形成色素蛋白复合体,影响植物光合作用。李东林等比较了黄山松不同龄阶针叶衰老指标,发现随树龄增加,可溶性蛋白含量与叶绿素含量的变化趋势呈正相关关系^[24]。本试验结果,二者之间呈负相关关系,可能是由于古树自身存在的自我修复能力,树势逐渐增强;油茶古树中可溶性糖和可溶性蛋白的含量低于壮龄树和幼树,而脯氨酸含量在古树中有所增加,这可能与可溶性糖和可溶性蛋白分解有关^[25-26],增加的脯氨酸与可溶性蛋白和可溶性糖一同维持叶片细胞渗透压,保持了内生物膜的完整性^[27],延缓植物衰老进程。

脯氨酸同时还是一种抗氧化剂,与 SOD、POD、CAT 等抗氧化酶协同作用,清除细胞器产生的 H₂O₂、·OH 等活性氧(ROS),缓解 ROS 对细胞的氧化损坏^[28]。植物衰老中积累的 ROS 对生物体具有毒害效应,加速植物的衰老^[29-30]。在本试验中,古树二年生叶片中 SOD 活性要明显强于壮龄树和幼树;而 POD 和 CAT 活性在古树不同年龄叶片中均高于壮龄树和幼树。由 3 种酶活性与 MDA 含量变化的响应来看,油茶古树的 MDA 含量并没因树龄的增加而远高于壮龄树和幼树,H₂O₂ 含量的增幅也低于壮龄树和幼树,同时表现出较高

的 SOD、POD、CAT 活性,这与古树叶片内抗氧化酶的活性调节是密不可分的。MDA 和 H₂O₂ 积累越多表明植物受到活性氧的伤害越大^[29-30],油茶古树中 MDA 和 H₂O₂ 的含量仍在较低的水平,抗氧化酶有效地清除了植物衰老过程中自身代谢所产生的 ROS,古树依然保持正常生理代谢活动。

众多研究表明,植物中 SOD、POD、CAT 等酶活性会随植物衰老而大幅度下降,表现在 MDA 和 H₂O₂ 大量的积累,树势的衰老度与树龄增长相一致^[9,21]。在油茶古树生理特征指标上并没有表现出衰老的势态,甚至优于壮龄树和幼树,这可能是由于其他因素,如树势强、树体自生修复能力、土肥水管理等因素共同影响油茶树的生长和衰老过程。本试验从叶片生理方面解释了油茶古树抗衰老的生理机制,为油茶古树的复壮措施奠定了基础,从而可以有效保护古树,延长油茶树的经济效益周期。

参考文献:

[1] 张爱玲,贺军民. 一氧化氮在光延缓小麦叶片衰老中的作用[J]. 西北植物学报,2009,29(3):512-517.

[2] Efroni I,Han S K,Kim H J,et al. Regulation of leaf maturation by chromatin-mediated modulation of cytokinin responses[J]. Developmental Cell,2013,24(4):438-445.

[3] Vijayalakshmi K,Fritz A K,Paulsen G M,et al. Modeling and mapping QTL for senescence-related traits in winter wheat under high temperature[J]. Molecular Breeding,2010,26(2):163-175.

[4] Lim P O,Kim H J,Nam H G. Leaf senescence[J]. Annual Review of Plant Biology,2007,58:115-136.

[5] Sahrawat K L,Rao J K,Burford J R. Elemental composition of groundnut leaves as affected by age and Iron chlorosis[J]. Journal of Plant Nutrition,1987,10(9):1041-1049.

[6] 梁秋霞,曹刚强,苏明杰,等. 植物叶片衰老研究进展[J]. 中国农学通报,2006,22(8):282-285.

[7] 李栋栋,罗自生. 植物衰老叶片与成熟果实中叶绿素的降解[J]. 园艺学报,2013,40(10):2039-2048.

[8] 孙艳,梁宇柱,陈敬东,等. 黄瓜叶片衰老过程中抗坏血酸含量与生理指标关系的研究[J]. 西北植物学报,2008,28(3):512-516.

[9] 郭希梅,丛日晨,张常青,等. 古油松衰弱衰老诊断的生理指标[J]. 林业科学,2011,47(4):43-48.

[10] 朱利君,苏智先,胡进耀,等. 珍稀濒危植物珙桐过氧化物酶活性和丙二醛含量[J]. 生态学杂志,2009,28(3):451-455.

[11] 薛秋华,徐炜,艾明波. 古槐树的保护与复壮研究[J]. 中国农学通报,2006,22(2):262-266.

[12] 何奇江,汪奎宏,华锡奇,等. 雷竹开花期内源激素、氨基酸和营养成分含量变化[J]. 林业科学,2005,41(2):169-173.

[13] 杨淑慎,高俊凤,李学俊. 高等植物叶片的衰老[J]. 西北植物学报,2001,21(6):1271-1277.

[14] 闫荣玲,廖阳,黄玉钱,等. 油茶叶片营养元素、叶脉密度及生理指标随树龄变化规律及其与产量的相关性[J]. 广西植物,2016,36(8):980-985.

[15] 罗佳,陈永忠,周小玲,等. 油茶林果实成熟期养分分配特征[J]. 经济林研究,2017,35(3):102-108.

[16] 陈永忠,彭邵峰,王湘南,等. 油茶高产栽培系列技术研究——配方施肥试验[J]. 林业科学研究,2007,20(5):650-655.

刘成,李彩凤,刘兵,等. 3种人参根系分泌物的成分比较及化感效应分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(22):191-195.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.044

3种人参根系分泌物的成分比较及化感效应分析

刘成¹,李彩凤¹,刘兵²,于海阳²

(1.东北农业大学农学院,黑龙江哈尔滨 150030; 2.吉林省白山人参特产研究所,吉林白山 134300)

摘要:为了比较不同品种人参耐连作能力强弱,探讨人参连作障碍的可能机制,通过提取3个不同品种吉黄果参(R1)、边参1号(R2)、吉参1号(R3)7年生人参根系分泌物,利用GC-MS方法对根系分泌物的主要成分进行鉴定,并通过生物检测验证其化感效应。结果表明:R1、R2、R3根系分泌物中鉴定出的化感物质主要有酸类、醇类、酯类、胺类等,但各类化感物质的数量和含量不同。R1、R2、R3中均鉴定出阿魏酸,相对质量浓度分别为0.31、0.21、0.34 mg/L。所有根系分泌物和外源化感物质阿魏酸处理,均明显抑制人参种子的出苗率和幼苗株高、最大叶长和叶宽、根长等形态指标,各处理对幼苗抗氧化酶、叶片光合色素、内源激素含量均表现出化感毒性,但边参1号根系分泌物化感效应较其余处理弱,证明其抗连作能力较强。阿魏酸是人参根系分泌的化感自毒物质之一。

关键词:人参;根系分泌物;阿魏酸;化感效应

中图分类号:S567.5⁺10.1

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2019)22-0191-05

人参为五加科人参属植物,为我国传统名贵中药材,被誉为21世纪最重要和最具发展前景的药用作物之一。现代栽培的人参,是由野生人参经长期引种驯化、栽培而形成的经济价值很高的作物。近年来,国家对人参产品药食同源的放开,导致人参需求量猛增,种植面积逐年扩大。人参忌地性非常强,重茬参地要30年后才能再栽参,不宜轮作。人参在中国的栽培面积和总产均居世界第一位,是中国用量较大的药材之一,占据较大的出口市场份额,是传统林区改制后重要的经济来源^[1]。韩国、日本等已实现大田连续栽参,中国还未掌

握人参连作关键技术。连作障碍问题制约了人参产业的可持续发展,栽培土地严重短缺,长期采用伐林栽参方式,即将森林全部砍伐后再栽参,严重破坏自然环境^[2]。

化感作用就是指一个活体植物通过地上部分茎叶挥发、茎叶淋溶、根系分泌等途径向环境中释放一些化学物质,从而影响周围植物的生长和发育^[3]。连作障碍一直是栽培学研究的重点,人参发生连作障碍,轻则减产、减收,重则绝收,严重制约了人参产业的可持续发展。人参忌连作是一个世界性的技术难题,更是长期以来困扰我国参业稳定发展的主要问题。前人研究表明,引起连作障碍的原因众多,土壤理化性状的变化、病原微生物及土传病害的增加都是重要的原因,但都未从根本上揭示连作障碍的产生机制。研究表明化感物质在人参连作障碍中有着重要影响,根系分泌物是人参重要的化感物质来源,与植物的连作障碍有着重要联系,成为众多作物栽培学者研究的热点。根系分泌物在植物根际对话中发挥重

收稿日期:2019-07-19

作者简介:刘成(1982—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,主要从事作物生理研究。E-mail:liucheng101@126.com。

通信作者:李彩凤,教授,博士生导师,主要从事作物栽培与生理研究。E-mail:licaifen@neau.cn。

[17]谭晓凤,陈永忠. 油茶分子育种的重点和策略[J]. 湖南林业科技,2004,31(6):13-14.

[18]李泽,谭晓凤,袁军,等. 油茶良种‘华硕’的组织培养及高效生根[J]. 植物生理学报,2014,50(11):1721-1726.

[19]马力,陈永忠,钟海雁,等. 工艺差异对油茶籽油品质的影响[J]. 西南林业大学学报,2016,36(6):164-169.

[20]马林. 植物衰老期间生理生化变化的研究进展[J]. 生物学杂志,2007,24(3):12-15.

[21]戚元春,肖昆仑,王小德,等. 环西湖不同树龄古樟树生理特性及复壮对比[J]. 中国农学通报,2012,28(25):32-38.

[22]Lu C, Lu Q, Zhang J, et al. Characterization of photosynthetic pigment composition, photosystem II photochemistry and thermal energy dissipation during leaf senescence of wheat plants grown in the field[J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52(362): 1805-1810.

[23]赵江涛,李晓峰,李航,等. 可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J]. 安徽农业科学,2006,34(24):6423-6425,6427.

[24]李东林,严景华,曹恒生,等. 黄山松不同龄阶针叶衰老指标的比较研究[J]. 林业科学研究,1998,11(2):103-106.

[25]史玉炜,王燕凌,李文兵,等. 水分胁迫对刚毛怪柳可溶性蛋白、可溶性糖和脯氨酸含量变化的影响[J]. 新疆农业大学学报,2007,30(2):5-8.

[26]祁伟亮,冯鸿,刘松青,等. 不同桑品种在干旱胁迫下脯氨酸及可溶性蛋白质含量的变化规律研究[J]. 中国野生植物资源,2017,36(5):34-36,39.

[27]全先庆,张渝洁,单雷,等. 高等植物脯氨酸代谢研究进展[J]. 生物技术通报,2007(1):14-18.

[28]温银元,郭平毅,尹美强,等. 扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响[J]. 生态学报,2012,32(8):2506-2514.

[29]常二梅,史胜青,刘建锋,等. 古侧柏针叶活性氧产生及其清除机制[J]. 东北林业大学学报,2011,39(11):8-11.

[30]陈晓婷,林捷,邵雪凤,等. 草酸胁迫对拟南芥抗氧化酶和苯丙氨酸解氨酶的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2009,38(4):356-360.