

李艳艳,王俊青,许英豪,等.油用牡丹不同种源光合特性的比较研究[J].江苏农业科学,2018,46(17):137-141.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.035

油用牡丹不同种源光合特性的比较研究

李艳艳¹,王俊青¹,许英豪²,王东旭¹

(1.平顶山学院,河南平顶山 467000; 2.仲景宛西制药股份有限公司,河南南阳 474550)

摘要:为了探讨油用牡丹 4 个不同种源需光特性,采用 CIRAS-3 便携式光合仪测定其果实发育期的光合作用日变化和光响应曲线,通过相关分析,探讨油用牡丹净光合速率与生理环境因子的关系。研究结果表明,南阳和杂交种源油用牡丹净光合速率和气孔导度的日变化呈现双峰型,南阳、杂交和亳州种源净光合速率的日变化存在典型的“光合午休”现象,而保康种源净光合速率的日变化呈单峰型,无“光合午休”现象;油用牡丹不同种源的蒸腾速率的日变化趋势均呈单峰型。相关性分析说明油用牡丹 4 个不同种源净光合速率日变化的影响因子大体一致,其中水分利用效率、蒸腾速率和细胞间 CO₂ 浓度为最稳定的影响因子。在光响应试验中,4 个不同种源油用牡丹的光饱和点为 533.33~646.61 μmol/(m²·s),光补偿点为 49.76~21.07 μmol/(m²·s)。保康种源的光饱和点和光补偿点相对均最低,说明其相对比较耐阴,对弱光的利用能力较强;南阳种源的光补偿点低而光饱和点最高,说明其对光的适应能力较强,属于喜光型。

关键词:油用牡丹;种源;光合特性

中图分类号: S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)17-0137-04

油用牡丹属毛茛科(Ranunculaceae)芍药属(*Paeonia*)植物,为我国的原生灌木树种,除观赏价值外,还具有重要的药用与油用价值。以干燥根皮入药,药材名为丹皮,始载于《神农本草经》,用于治疗温毒发斑、夜热早凉、跌扑伤痛、痈肿疮毒、经闭痛经等症。籽仁经加工制成的牡丹籽油营养丰富,富含 α-亚麻酸,被列为优质食用油,品质堪比橄榄油^[1-3],国家卫生部于 2011 年 3 月发布公告,批准牡丹籽油作为新资源食品,使得开发牡丹籽油正式上升为国家战略。牡丹花蕊可制作成牡丹花茶,长期饮用,能降血脂、清火明目、活血化痰、润肠静心^[4]。牡丹花配制的润肤油中含有胡萝卜素、尼克酸等成分,有抑制脂质过氧化,加快皮肤中毛细胞的微循环,改善皮肤细胞循环和延缓衰老的功能^[5]。

近年来,油用牡丹栽培种植面积不断扩大,油用牡丹产业在地方经济中的作用日益显现。种源选择能有效地利用种源的优良性状^[6-7],引选抗性强、品质优良的人工栽培油用牡丹种源极为重要。由于种源筛选易受环境因素的影响,光合作用中的光照强度,空气中 CO₂ 浓度、温度、湿度等环境因子与植物适应生态环境存在密切联系,而光合特性是揭示植物对生存环境生态适应性的有效途径^[8-10]。植物光合作用是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本过程,强弱与植物生产力有密切关系^[11-12],光合作用的研究在理论上和实践上都有很大意义。油用牡丹开花后果实和种籽发育的同时,新

的花芽也随之开始分化。牡丹花芽分化从 6 月初至 9 月中旬^[13],光合作用对花芽及果实生长发育有着至关重要的作用^[14-15],果实发育期的油用牡丹叶片生理代谢旺盛,通过光合作用持续向果实输送营养物质,因此维持油用牡丹果实发育期的叶片较高的净光合速率是获得牡丹籽油高产的关键基础。目前,有关油用牡丹光合特性研究大多集中在原产区、激素胁迫、遮阴处理、盐胁迫、高效栽培等方面^[16-20],但有关油用牡丹不同种源果实发育期光合特性的比较研究鲜有报道。本研究测定了油用牡丹 4 个不同种源在果实发育期的光合作用参数,研究油用牡丹不同种源的光合特性,以期对油用牡丹优良种源的选择及栽培推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地位于河南省平顶山市,位于 113°04'~113°26'E、33°40'~33°39'N,大陆性季风气候,年平均气温 12.8~15.5℃之间。年平均降水量为 600~800 mm,年平均日照 2 061 h。

试验材料为 3 年生油用牡丹苗,油用牡丹品种杨山(*Paeonia ostii* T. Hong et T. Hong et L. X. Zhong)种源分别来自湖北襄阳保康县(简称保康种源)、河南南阳(简称南阳种源)、安徽亳州(简称亳州种源),油用牡丹品种杨山与红斑(*Paeonia ridleyi* Z. L. et T. Hing)杂交种源来自湖北襄阳(简称杂交种源)。

1.2 方法

于 2016 年 6 月下旬晴朗无风无云天气进行,利用 CIRAS-3 便携式光合测定仪对光合生理指标进行测定,每个种源随机选取 3 株生长健壮的植株顶端向下第 2 至第 3 片完全展开的叶片,避开叶脉上部的正常叶片^[21],每个种源油用牡丹的光合指标重复测定 3 次,每次至少读取 3 个稳定读数,最后取平均值。

收稿日期:2017-10-21

基金项目:国家自然科学基金(批准号:31700597);河南省高等学校重点科研项目(编号:16A210035);平顶山学院青年基金(编号:PXQYQNJJ2016018);平顶山学院高层次人才启动基金资助(编号:PXQY-BSQD2016005、PXQY-PYJJ2017005)。

作者简介:李艳艳(1984—),女,河南许昌人,博士,从事植物分子育种研究。E-mail:liyanyan041@163.com。

1.2.1 光合作用日变化的测定 选择晴天的 08:00—18:00, 参数设置为光合有效辐射为 $1\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 CO_2 浓度为 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 、叶室温度为 $25\ ^\circ\text{C}$ 、空气相对湿度为 70%, 每隔 2 h 测定 1 次, 测定指标为净光合速率(P_n)、光照有效辐射(PAR)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、空气 CO_2 浓度(C_a)、气孔导度(G_s)、空气相对湿度(RH)、蒸腾速率(T_r)、大气温度(T_a)、水分利用率(WUE)等。并根据测定指标计算气孔限制值: 气孔限制值(LS) = $1 - C_i/C_a$ 。

1.2.2 光响应曲线的测定 测定前进行诱导试验, 诱导照度约为 $2\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 诱导时间 30 min。测定时使用开放气路, 参数设置为空气流速 $0.5\ \text{L}/\text{min}$, 叶片温度 $25\ ^\circ\text{C}$, 叶室中相对湿度 75%, CO_2 浓度 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$, 模拟光照度梯度由强到弱依次为 $2\ 000$ 、 $1\ 800$ 、 $1\ 600$ 、 $1\ 400$ 、 $1\ 200$ 、 $1\ 000$ 、 800 、 600 、 400 、 200 、 100 、 50 、 20 、 $0\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 测定时等净光合速率数值趋于平稳时记录, 每一梯度下最大等待时间为 3 min。采用非直角双曲线对光合响应曲线进行拟合^[22], 结合 $0 \sim 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光合有效辐射通量密度的直线回归方程, 计算出各类种源类型的光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、表观量子效率(AQY)^[23], 其模型理论公式为:

$$A = \frac{\partial Q + A_{\max} - \sqrt{(\partial Q + A_{\max})^2 - 4\partial Q A_{\max}}}{2k} - R_{day}.$$

式中: A 为净光合速率, ∂ 为表光量子速率, A_{\max} 为最大净光合速率, Q 为光合有效辐射, k 为光响应曲线曲角, R_{day} 为暗呼吸速率。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 软件对数据进行处理和制作图表, 并利用 SPSS 22.0 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 油用牡丹不同种源光合生理指标的日变化

2.1.1 净光合速率(P_n)日变化 随着光合有效辐射的变化, 空气温度也随之发生变化, 从而导致光合作用发生变化。由图 1 可知, 油用牡丹不同种源的净光合速率变化趋势不一致, 其中南阳、杂交、亳州种源净光合速率日变化呈现典型的双峰型变化趋势, 第一峰值均出现在 10:00, 其峰值分别为 12.5 、 13.3 、 $12.0\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 随后呈下降趋势, 在 14:00 出现谷值, 均表现出明显的“午休”现象; 随后继续增强, 第二峰值均出现在 16:00, 其峰值分别为 8.5 、 8.4 、 $8.1\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。而保康种源净光合速率日变化呈现单峰型变化趋势, 即从 08:00 左右开始升高, 在 10:00 达到峰值, 为 $8.3\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 在 12:00—18:00 期间, 净光合速率的值一直在减小, 呈现低—高一低的变化趋势。

2.1.2 蒸腾速率(T_r)和水分利用效率(WUE)日变化 叶片的蒸腾作用是植物保持叶片温度的重要方式, 其与气孔的开合有密切直接相关。从图 1 中可以看出, 油用牡丹 4 个种源蒸腾速率的日变化趋势基本相同, 均呈单峰型, 呈现出低—高一低—低—高的趋势, 峰值均出现在 12:00 左右, 南阳、杂交、亳州、保康种源蒸腾速率分别为 5.8 、 6.4 、 6.3 、 $4.8\ \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 最低值均出现在 18:00。中午由于大气温度最高, 使得各种源的蒸腾速率整体较其他时段高, 说明蒸腾速率与外界温度有关。水分利用率的大小往往与植物适应能力的强弱相关,

油用牡丹不同种源的水分利用效率日变化规律总体呈现先下降后上升再下降的变化趋势, 南阳、杂交和亳州种源在 16:00 达到峰值后又下降, 峰值分别为 2.15 、 1.6 、 $1.85\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

2.1.3 气孔导度(G_s)与气孔限制值(L_s)日变化 气孔导度和气孔限制值是直接影响植物光合作用最重要的生理指标之一, 同时也与植物的蒸腾作用强弱、胞间 CO_2 浓度有密切联系, 受到环境因子如光照度、温度等的调节作用。由图 1 可知, 油用牡丹不同种源的气孔导度日变化差别较大, 南阳、杂交种源气孔导度日变化均呈现双峰型, 在 10:00 出现第 1 次峰值, 分别是 456.8 、 $485.5\ \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 在 16:00 出现第 2 次峰值, 分别为 134.0 、 $192.5\ \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。保康种源气孔导度日变化也呈现双峰型的变化趋势, 只是第 2 次峰值在 14:00 出现, 为 $155.5\ \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。而亳州种源气孔导度日变化呈单峰型, 从 08:00 开始变大, 在 10:00 达到峰值, 为 $407.0\ \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 随后一直呈下降趋势。杂交种源的气孔导度明显高于其他 3 个种源。油用牡丹 4 个种源, 不同种源的气孔限制值峰值出现时间存在着差异(图 1)。南阳、杂交、亳州种源气孔限制值的峰值出现在 16:00, 分别为 0.29 、 0.22 、 0.23 ; 保康种源气孔限制值在 10:00 达到的最大值, 为 0.24 。不同种源气孔限制值的最小值均出现在 18:00, 杂交种源的气孔限制值最低。

2.1.4 细胞间 CO_2 浓度(C_i)日变化 CO_2 是植物进行光合作用的主要原料之一, 细胞间 CO_2 浓度反映了光合作用过程中的气体交换能力, 过低会影响光合作用的正常进行。油用牡丹 4 个种源的细胞间 CO_2 浓度日变化趋势与水分利用率日变化趋势相反, 但不同种源间也存在一定的差异(图 1)。南阳、杂交、亳州种源细胞间 CO_2 浓度最小值出现在 16:00, 分别为 277.5 、 308.5 、 $302.5\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。保康种源细胞间 CO_2 浓度日变化在 12:00 左右处于最低值, 为 $291.5\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

2.2 光响应曲线

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度变化而变化的规律。由图 2 可以看出, 油用牡丹 4 个种源的光合—光响应曲线有着相似的变化趋势, 随着光合有效辐射的增强, 净光合速率都有不同程度的增加, 并逐渐趋于一定的值。在光合有效辐射小于 $400\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 油用牡丹植株叶片的净光合速率随着光照度的增加在快速增加, 在光合有效辐射大于 $400\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 随着光照度增加, 4 个种源油用牡丹的净光合速率的变化速率增加变缓至趋于稳定。

净光合速率是反映光合能力的重要指标, 净光合速率趋于稳定不再增大时, 能够反映叶片的最大光合能力。4 个种源光合能力强弱为南阳种源 > 保康种源 > 杂交种源 > 亳州种源, 在低光照的情况下油用牡丹不同种源的净光合速率基本一致, 但是光合有效辐射一旦超过 $200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后, 南阳种源的净光合速率逐渐高于其他种源类型, 且呈现随着光合有效辐射的增强, 净光合速率差值逐渐加大, 南阳种源呈现较强高光效利用率的能力。

光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)反映植物对光照条件的要求。由表 1 可以看出, 4 个种源类型油用牡丹的 LCP 顺序为杂交种源 > 南阳种源 > 亳州种源 > 保康种源, 保康种源的 LSP 和 LCP 相对均最低, 说明其相对比较耐阴, 光合能力

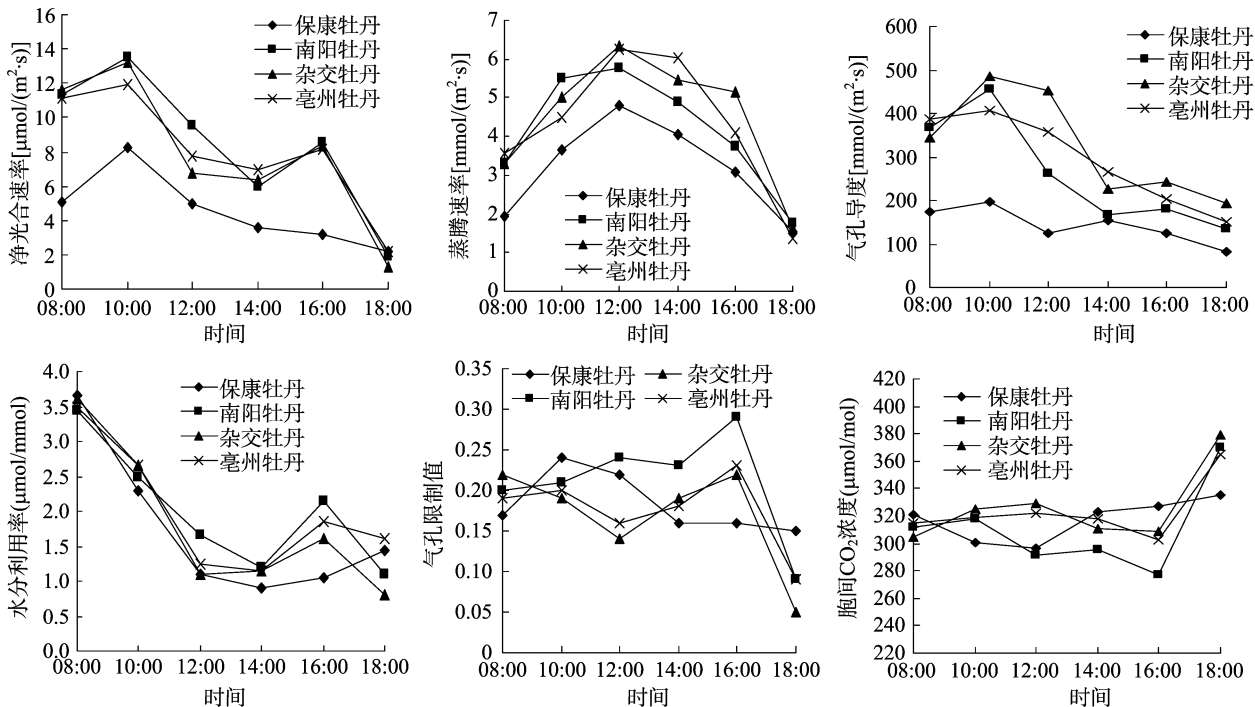


图1 油用牡丹不同种源光合生理指标的日变化

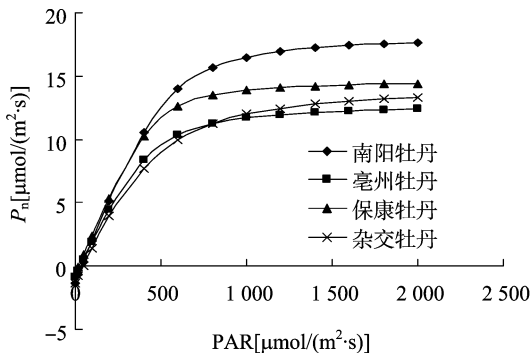


图2 油用牡丹不同种源的光响应曲线

相对较弱。南阳种源的 LCP 低于杂交种源,但是 LSP 最高,表明南阳种源对光照适应能力较强。杂交种源的 LSP 介于南阳种源和亳州种源之间,而 LCP 则明显大于其他 3 个种源,说明杂交种源对弱光的要求相对较高。

2.3 净光合速率与生理环境因子的相关分析

对油用牡丹不同种源的 P_n 与生理环境因子进行了相关

表 1 油用牡丹不同种源的光响应曲线参数

种源	LSP	LCP	A_{max}	AQY
南阳	646.61	39.54	19.67	0.034
杂交	642.57	49.76	14.45	0.025
亳州	549.88	32.20	13.94	0.030
保康	531.33	21.07	15.83	0.034

性分析(表 2)。南阳种源的 P_n 与 WUE 、 T_r 和 C_a 均呈极显著正相关,与 G_s 、 C_i 、 RH 均呈显著或极显著负相关,而与 T_a 相关性不显著。保康种源的 P_n 与 WUE 、 T_r 均呈极显著正相关,与 C_i 呈极显著负相关,而与 G_s 、 T_a 、 RH 、 C_a 相关性均不显著。杂交种源的 P_n 与 WUE 、 T_r 均呈极显著正相关,与 C_i 呈极显著负相关,而与 G_s 、 C_a 、 T_a 、 RH 相关性不显著。亳州种源的 P_n 与 G_s 、 WUE 、 T_r 和 C_a 均呈显著或极显著正相关,与 C_i 呈极显著负相关,而与 T_a 、 RH 的相关性不显著。

综上所述,油用牡丹不同种源 P_n 的影响因子比较一致,与 T_r 和 WUE 均达到极显著正相关,与 C_i 均达到极显著负相关,其中 WUE 、 T_r 和 C_i 是最稳定的影响因子。

表 2 油用牡丹不同种源 P_n 与生理环境因子的相关分析

种源	相关系数						
	G_s	T_r	WUE	C_i	C_a	T_a	RH
南阳种源	-0.099 *	0.874 **	0.939 **	-0.869 **	0.486 **	-0.145	-0.450 **
保康种源	-0.050	0.624 **	0.888 **	-0.931 **	0.263	-0.046	-0.150
杂交种源	0.085	0.896 **	0.972 **	-0.917 **	0.140	-0.197	-0.202
亳州种源	0.355 *	0.816 **	0.947 **	-0.895 **	0.415 **	0.020	0.125

注:“*”表示存在显著差异($P < 0.05$),“**”表示存在极显著差异($P < 0.01$)。

3 讨论

植物光合作用对环境因素的适应性反映了遗传特性和适

应能力,光合效率与自身因素如叶绿素含量、叶片成熟度密切相关,同时又受光照度、大气温度、大气 CO_2 浓度、大气相对湿度等外界环境因素的影响。本研究结果表明,在相同的栽

培环境中油用牡丹 4 个不同种源的光合特性不尽相同。油用牡丹南阳、杂交和亳州种源的净光合速率日变化趋势呈“双峰型”，都出现了“光合午休”现象，而保康种源呈单峰型，无“光合午休”现象。研究表明“光合午休”有利于植物在逆境条件下生存，是植物对强光照、干旱等某些特定环境的一种调节适应方式^[24]。本研究不同种源净光合速率和气孔导度、水分利用率的日变化趋势相似，而与气孔限制值的日变化趋势相反。夏季中午时段随着光合有效辐射增强，大气温度达到最高，蒸腾速率不再增加，水分利用率减小，引起叶片气孔关闭，气孔限制值增大，可以避免植物叶片水分散失和光合器官的破坏；随着气温的降低和辐射的减弱，蒸腾能力降低，气孔限制值也减小。

采用相关分析探讨生理环境因子对净光合速率的影响，其中水分利用效率、蒸腾速率和细胞间 CO_2 浓度为最稳定的影响因子。油用牡丹不同种源的净光合速率与水分利用效率、蒸腾速率呈极显著的正相关性，表明在油用牡丹生长环境中含水量对油用牡丹的生长有至关重要的作用。微环境的干旱会导致植物蒸腾速率需求的上升^[19]，尤其是水分条件可以直接导致气孔的关闭，光合作用受到抑制^[20]，增加牡丹生长环境的空气湿度来提高净光合速率，从而可以增加光合作用产物。其净光合速率与胞间 CO_2 浓度呈极显著负相关，这一结果与 2 年生淫羊藿 (*Epimedium brevicornu*) 的净光合速率与胞间 CO_2 浓度呈正相关^[25]不同，高建国等认为大气 CO_2 进入叶片细胞会存在一定阻力，当净光合速率增大时， CO_2 供应量也增加，但由于进入阻力的影响，所以胞间 CO_2 得不到快速补给进而浓度不高，反之，胞间 CO_2 出现盈余浓度就高了，这一原因还有待研究^[26]。

植物对光吸收能力的强弱在一定程度上跟物种的基因和遗传特性有关，因而油用牡丹不同种源的光饱和点、光补偿点存在着差异。植物叶片的光饱和点和光补偿点能够反映植物对光照的要求和对光照的适应范围，其大小常可以衡量植物对光的利用能力，以及判定植物是否耐荫的一个标准^[27]。在光响应试验中，不同种源油用牡丹的光饱和点为 $533.33 \sim 646.61 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，光补偿点为 $49.76 \sim 21.07 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。保康种源的光饱和点和光补偿点相对均最低，说明其相对比较耐荫，对弱光的利用能力较强，在推广和应用中应栽植在光照较弱的地区，可采用林下种植模式。南阳种源的光补偿点低而光饱和点最高，而且表观量子效率是最大的，说明其对光的适应能力较强，属于喜光型；从光合日变化及光响应参数来看，南阳种源具有相对较高的净光合速率和水分利用效率，且随着光合有效辐射的增强，其光合速率逐渐显著超过其他种源，表明南阳种源具有高光效利用率，是有较高光能生产潜力的种质资源，因此在推广和应用中应栽植在光照充足的地区。光合作用与植物的次生代谢密切相关^[28]，作为油料作物，还应考虑牡丹籽油有效成分的含量。总之，油用牡丹不同种源存在一定光合特性的差异，体现了其内在节律以及对环境的适应性，在实际生产中应根据栽培目的合理调整栽培策略。

参考文献：

[1] 张涛, 高天姝, 白瑞英, 等. 油用牡丹利用与研究进展[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2015, 32(2): 143–149.

- [2] 张衷华, 唐中华, 杨逢建, 等. 2 种主要油用牡丹光合特性及其微环境影响因子分析[J]. 植物研究, 2014, 34(6): 770–775.
- [3] 刘瑞霞, 杨玉珍, 王国霞, 等. 油用牡丹“凤丹”叶片 DNA 提取方法研究[J]. 生物技术世界, 2015(6): 44–45.
- [4] 张小冬, 路迈, 侯素真. 油用牡丹发展前景浅析[J]. 乡村科技, 2013(7): 11.
- [5] 刘德品. 我国油用牡丹产业发展若干问题的思考[J]. 中国林业产业, 2015(1): 67–71.
- [6] 马育华. 植物育种的数量遗传学基础[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1982: 245–279.
- [7] 刘来福. 作物数量遗传[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 206–284.
- [8] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 1–7.
- [9] Photosynthesis P J. A key life process in a changing environment[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2013, 28(6): 328–329.
- [10] Catoni R, Gratani L. Variations in leaf respiration and photosynthesis ratio in response to air temperature and water availability among Mediterranean evergreen species[J]. Journal of Arid Environments, 2014, 102(2): 82–88.
- [11] Kobayashi T, Okamoto K, Hori Y. Differences in field gas exchange and water relations between a C_3 dicot (*Planta goasiatica*) and C_4 monocot (*Eleusine indica*) [J]. Photosynthetica, 1999, 37(1): 123–130.
- [12] 李慧, 丁莉. 不同生境条件下续断的光合特性研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2011, 29(2): 227–231.
- [13] 王莲英. 牡丹品种花芽形态分化观察及花型成因分析[J]. 园艺学报, 1986, 13(3): 203–208.
- [14] 李敏. 环境生态因子对牡丹花色及光合特性的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(13): 47–49.
- [15] 崔洋, 张凌, 李永华, 等. 不同生育时期的牡丹叶片和花瓣光合相关生理指标变化分析[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(1): 29–33.
- [16] Zhou L, Dong L, Jia P Y, et al. Expression of ethylene receptor and transcription factor genes, and ethylene response during flower opening in tree peony (*Paeonia suffruticosa*) [J]. Plant Growth Regulation, 2010, 62(2): 171–179.
- [17] 蔡艳飞, 李世峰, 王继华, 等. 遮阴对油用牡丹植株生长和光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(8): 1623–1631.
- [18] 魏冬峰, 张利霞, 常青山, 等. 氮磷钾平衡施肥对凤丹光合特性的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(11): 2265–2273.
- [19] 梁倩倩, 王维华, 郭绍霞, 等. 盐胁迫下丛枝菌根对牡丹光合作用的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2013, 30(2): 79–83.
- [20] 翟敏, 李永华, 杨秋生. 盆栽和地栽牡丹光合特性的比较[J]. 园艺学报, 2008, 35(2): 251–256.
- [21] Zhang S R, Ma K P, Chen L Z. Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments [J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49(2): 121–133.
- [22] 刘宇锋, 萧浪涛, 童建华, 等. 非直线双曲线模型在光合光响应曲线数据分析中的应用[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 76–79.
- [23] 岳淑芳, 刘彩凤, 许冬梅. 荒漠草原 5 种禾本科牧草光合特性及其影响因子研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(1): 390–396.
- [24] 舒英杰, 周玉丽, 郁继华. 茄子 P_n 日变化及光合“午休”的生理生态子分析[J]. 中国农学通报, 2006(9): 225–228.
- [25] 潘俊倩, 谷小红, 郭宝林. 2 种淫羊藿的光合日变化比较[J]. 农

朱秀辉,丁 丹,茹淑玲,等. Ca^{2+} 和四环素类抗生素单体、复合溶液及土壤解吸液对白菜种子萌发和根芽伸长的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(17): 141–144.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.036

Ca^{2+} 和四环素类抗生素单体、复合溶液及土壤解吸液对白菜种子萌发和根芽伸长的影响

朱秀辉¹, 丁 丹¹, 茹淑玲¹, 檀 笑², 解启来¹, 邓春军¹, 曾巧云¹

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东广州 510655)

摘要:采用水培法研究 Ca^{2+} 和 3 种四环素类抗生素(四环素、土霉素、金霉素)溶液对白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) 种子萌发、根和芽伸长抑制的影响。结果表明:在设置浓度范围内, Ca^{2+} 和 3 种抗生素单体及其复合溶液对白菜种子的萌发影响显著, 发芽率在 60.00% ~ 88.33%, 而广州北郊供试土壤的解吸液抑制白菜种子萌发; Ca^{2+} 和 3 种四环素类抗生素单体以及它们的复合溶液均能抑制白菜根和芽伸长, 且复合溶液对根和芽的伸长抑制作用明显高于 3 种单体和 Ca^{2+} , 其生态毒性大小顺序为 Ca^{2+} 和抗生素的复合体溶液 > 3 种抗生素单体溶液 > Ca^{2+} 溶液, 并且根长 > 芽长。3 种抗生素对白菜种子根伸长的影响顺序为金霉素 > 四环素 > 土霉素。当抗生素单体溶液处于低浓度 (< 5 mg/L) 时, 对芽伸长有一定的促进作用。

关键词:四环素类抗生素; Ca^{2+} ; 发芽率; 土壤解吸液; 生态毒性; 白菜

中图分类号: S351.1; S634.301; X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)17-0141-04

抗生素作为促生长剂和预防、治疗人类及畜禽等动物疾病的特效抗菌药而在全球范围内广泛使用。但这些抗菌药有 30% ~ 90% 不能被机体的组织细胞吸收, 以药物原液或其代谢物的形成随粪便排出^[1]。畜禽粪便作为有机肥料是目前改善耕作土壤的主要和最前景的方法之一^[2], 广泛应用于果蔬生产。抗生素进入土壤后易被吸附而长期滞留, 危害环境和生态系统, 干扰生态系统物质循环和能量流动^[3-4], 降低土壤肥力, 甚至会被农作物吸收富集^[5-6] 而危害农产品安全。

四环素类抗生素(TCs)是一种使用非常普遍、价格低廉、副作用小且强有效的人畜共用抗菌药。据统计, 2013 年我国抗生素的总产量达 248 000 t, 消耗总量达 162 000 t, 其中用于动物的消耗量为 84 240 t, 用于人类的消耗量为 77 760 t^[7]。白菜是人们最常食用的蔬菜且被大面积种植, 它具有对污染物敏感、易于栽培、生命周期短等特性, 常被用作评价生态毒

性的受试植物^[8-9]。因此, 本研究选择常用的 3 种四环素类抗生素[四环素(TC)、土霉素(OTC)和金霉素(CTC)], 研究钙离子(Ca^{2+})与四环素类抗生素单体、复合溶液以及广东省广州市北郊供试土壤解吸液对白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) 种子的萌发、根和芽伸长的影响, 旨在评价复杂体系四环素类抗生素对生态环境的影响, 为其风险评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

3 种四环素类抗生素: 四环素、金霉素和土霉素, 均购买于 CATO(美国), 纯度均 > 96.2%。 CaCl_2 、次氯酸钠溶液等试剂购买于广州化学试剂厂。白菜种子购买于当地市场上的种子公。

1.2 仪器设备

本试验所用仪器设备包括培养箱、离心机、高压灭菌锅、直径 90 mm 的玻璃培养皿、容量瓶(50、100 mL)、10 mL 量筒、10 mL 移液管、100 mL 烧杯、温度计、玻璃棒、镊子、剪刀、刻度尺、保鲜膜、纱布、定性滤纸(90 mm 定性滤纸)。

1.3 样品采集

供试土壤采集于广东省广州市北郊区域典型蔬菜基地, 均为 0 ~ 20 cm 土层样品, 风干磨细过 60 目筛, 经检测后筛选

收稿日期: 2017-04-18

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41471215); 广东省科技计划(编号: 2016A020210107); 东莞市社会科技发展项目(编号: 2016108101012)。

作者简介: 朱秀辉(1990—), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 研究方向为有机污染控制技术。E-mail: zghnjyzzh@163.com。

通信作者: 曾巧云, 博士, 副教授, 研究方向为农业生态系统有机污染行为及调控。E-mail: qiaoyunzeng@126.com。

学报, 2017, 7(4): 51–57.

[26] 高建国, 徐根娣, 李文巧, 等. 濒危植物长序榆(*Ulmus elongata*) 幼苗光合特性的初步研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1): 66–71.

[27] 王玉佳, 姜 华, 毕玉芬, 等. 紫花苜蓿光合作用对干热条件的生理响应[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2011, 26(2):

190–193.

[28] Ouzounis T, Razi Parjikolaei B, Fretté X, et al. Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PS II and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigments in *Lactuca sativa* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6: 19.