

桑树(*Morus alba*)幼苗根系分泌物对雌雄植株生长发育的影响

竺诗慧^{1,2}, 董廷发^{1,2}, 刘刚³, 肖娟^{1,2}, 朱娟^{1,2}, 曾贞^{1,2}, 陈德甫⁴, 胥晓^{1,2,*}

¹西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川南充637009; ²西华师范大学生命科学学院, 四川南充637009; ³四川省农业科学院蚕业研究所, 四川南充637009; ⁴西双版纳州景洪市第四中学, 云南景洪666100

摘要: 以桑树(*Morus alba*)雌雄幼苗为实验材料, 采用水培法种植植株, 将同龄单培雌雄植株及混培雌雄植株的根系分泌物水溶液分别倒入不同处理组(对照组不作处理), 研究了不同来源的根系分泌物对受体雌雄植株生长和分配的影响。结果显示: 桑树单培雌雄植株的根系分泌物促进了异性受体植株的生长和干物质积累, 导致受体雌株的株高、基径、叶面积和根、茎、叶生物量以及受体雄株的根、茎生物量显著增加, 雌株的增加幅度大于雄株。与对照相比, 雌/雄株的株高、基径、叶面积以及根、茎、叶生物量分别增加了107%/31%、164%/41%、94%/31%、349%/52%、216%/53%和86%/43%。除雌株根系生物量和根冠比增加外, 混培雌雄植株的根系分泌物对受体雌雄植株大部分生长和生物量性状均无显著影响。这些结果表明, 不同来源的根系分泌物对受体桑树雌雄植株生长发育的影响不同。这种由根系分泌物引起的差异可能是雌雄植株间相互作用的一种机制。

关键词: 根系分泌物; 雌雄异株; 桑树; 植株相互作用

根系分泌物是植物根系释放到周围环境中的化学物质, 在地下生态过程中起着多重作用, 已经成为当前生态学研究的热点(Bais等2006)。其不仅能直接改变土壤的理化性质、调节植物自身生长、影响土壤微生物群落动态, 而且还可作为信号分子参与植物根系与根际微生物、土壤昆虫以及相邻植株根系间的相互作用(Rovira 1969; Rougier 1981; Bais等2002; 史刚荣2004; Baetz和Martinoia 2014)。近年来, 随着有关植物根系间相互作用机制研究的不断深入, 根系分泌物在这一过程中的角色开始引起人们重视(Yu和Matsui 1997; Bertin等2003; Pierik等2013)。从现有文献来看, 人们的研究不再局限于根系分泌物的非特异性化感作用, 还逐渐向其特异性作用方向发展(Biedrzycki等2010, 2011; Semchenko等2014)。如Biedrzycki等(2010)对拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)的研究发现, 根系分泌物能促使远缘植株的侧根数量增多, 而对近缘植株则无此作用。另外, Semchenko等(2014)对发草(*Deschampsia caespitosa*)的研究也表明, 根系分泌物水溶液对植物根系生长的影响具有基因型和物种特异性, 指示其可能与根系间的识别作用有关。然而, 此类研究工作开展甚少, 目前仅涉及少数几种草本植物, 针对木本植物的研究更是未见报道。

雌雄异株植物由于适应长期进化, 其雌雄个体间存在着不同的资源需求和生长分配策略, 因此, 在不同性别组合的相互作用中表现不同(Haw-

kins等2009; Mercer和Eppley 2010; Chen等2014, 2015)。如Chen等(2014)研究了不同水分条件下青杨(*Populus cathayana*)雌雄植株在性别内和性别间的竞争差异, 发现在水分充足的条件下, 处于性别间竞争的雌株生长状况优于雄株, 处于性别内竞争的雌雄植株生长无显著差异; 而在干旱胁迫下, 处于性别内竞争的雌株生物量积累最少。这种性别差异不仅与雌雄植株对生长资源的直接响应有关, 作为地下生态过程中的重要角色, 根系分泌物也可能参与到雌雄植株相互作用这一过程中(Pierik等2013; Mercer和Eppley 2014)。根据Mercer和Eppley (2014)对海滨盐草(*Distichlis spicata*)不同性别组合相互作用的研究结果, 相比于对照和同性植株的根系分泌物处理, 异性植株的根系分泌物使得海滨盐草的干物质积累减少, 根冠比增大。由于根系分泌物具有高度的特异性(Micallef等2009; Pierik等2013; Badri等2009), 且不同性别的受体可能会对同一来源的根系分泌物产生不一致的响应。因此, 我们推测不同来源的根系分泌物对雌雄植株的生长发育具有不同影响。

桑树是桑科(Moraceae)桑属的一种雌雄异株植物, 该树种具有栽培广、生长迅速、存活容易、应用广泛等特点, 既是我国重要的经济树种,

收稿 2015-11-09 修订 2015-12-18

资助 国家自然科学基金(31370596)和四川省青年科技基金(2012JQ0045)。

* 通讯作者(E-mail: xuxiao_cwnu@163.com)。

也是近年来雌雄异株植物研究中常用的实验材料(陈梦华等2014; 秦芳等2014)。目前对桑树的研究主要见于品种改良、病虫害防治及抗逆性等方面(姚永泉和杨万明2008; 潘一乐2009; 陈梦华等2014)。本研究以桑树为材料, 采用水培法比较不同来源根系分泌物分别对雌雄植株生长和生物量分配的影响, 以期验证我们的推测, 并为探究雌雄异株植物间的相互作用机制提供参考。

材料与方法

1 试验材料和设计

试验材料桑树(*Morus alba* L.)来源于四川省农业科学院蚕业研究所。2014年5月中旬, 将不同性别的扦插苗分别移栽至西华师范大学生命科学学院实验地均质沙床内, 保持水分充足。待幼苗稳定生长2个月后, 选取株高、基径、叶片数量基本一致的雌雄扦插苗各30株, 移入水培营养液中缓苗2周, 移栽前用蒸馏水洗净幼苗根部。所有幼苗随机划分为2个组(P组和T组), 其中P组24株用于提供根系分泌物, T组36株用于处理。试验采用水培法, 于7月25日开始进行。水培容器为自制的玻璃缸, 规格分为容积12 L (20 cm×20 cm×30

cm)和24 L (40 cm×20 cm×30 cm)两种。其中12 L玻璃缸内种植1棵雄株或雌株, 24 L玻璃缸中种植2棵植株(1雌1雄)。试验设置对照和两种不同来源根系分泌物处理(试验设计见图1)。根系分泌物分别来源于单培的异性植株和混培的雌雄植株, 每组处理6个重复。试验持续100 d。

2 培养条件和处理

水培溶液为改良Hoagland溶液(Fodor等2005): 1.25 mmol·L⁻¹ KNO₃、1.25 mmol·L⁻¹ Ca(NO₃)₂、0.24 mmol·L⁻¹ MgSO₄、0.25 mmol·L⁻¹ KH₂(PO₄)、11.6 μmol·L⁻¹ H₃BO₃、2.92 μmol·L⁻¹ MnCl₂、0.1 μmol·L⁻¹ ZnSO₄、0.10 μmol·L⁻¹ Na₂MoO₄、0.05 μmol·L⁻¹ CuSO₄、5.47 μmol·L⁻¹ FeSO₄及10 μmol·L⁻¹ Na₂EDTA。玻璃缸内加入8 L水培溶液。每隔5 d, 倒掉T组植株的营养液, 并将P组植株生长的水培溶液对应倒入T组相应的玻璃缸内, 每隔10 d更换所有玻璃缸中的营养液(含对照组)。为排除光照对幼苗根系生长的影响, 玻璃缸的外侧均用黑色塑料袋包裹, 并在玻璃缸表面用相同尺寸的泡沫板固定植株。为保证植株正常生长, 试验处理期间, 每隔2 d用加氧泵(ACO-005, 东莞艾森泵业科技有限公司)给各组同步加氧一次, 每次持续2 h。

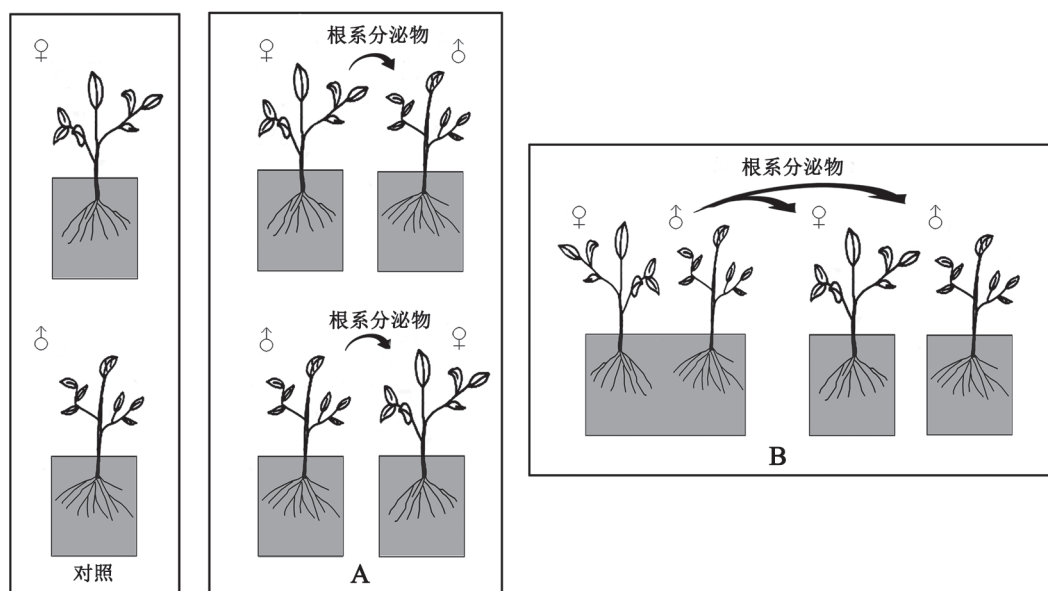


图1 试验设计示意图

Fig.1 Experimental design sketch

A: 单培异性植株根系分泌物处理; B: 混培雌雄植株根系分泌物处理。下同。

3 测定方法

试验结束后, 随机选取各处理的雌雄植株各5株, 测定其株高、基径、叶片数和叶面积。基径为植株基部的直径, 本研究基径的测量统一选择扦插条长出的枝干基部。叶面积的测定采用LI-3000C便携式叶面积仪(LI-COR Inc., USA)。然后将植株分成根、茎、叶三部分, 用清水洗净, 放入烘箱内至恒重(70°C, 48 h), 测定各部分重量, 并计算比叶面积(叶面积/叶干重)和根冠比(地下部分与地上部分生物量之比)。

4 数据分析

采用SPSS 19.0软件进行数据分析。其中, 各处理间性状差异的比较采用单因素方差分析(one-way ANOVA), 性别与处理间的交互作用比较采用双因素方差分析, 各组值的两两比较采用Duncan检验, 显著性水平选取 $\alpha=0.05$ 。

实验结果

1 根系分泌物对桑树雌雄幼苗生长性状的影响

由表1可知, 在对照条件下, 桑树雌雄植株的株高、基径、叶面积、叶片数、比叶面积等生长形态指标均无显著差异。单培异性植株的根系分泌物促进了受体雌雄植株的生长。雌雄植株的株高、基径、叶面积均有所增加, 且雌株的增长幅度大于雄株。与对照相比, 雌株的株高、基径、叶面积分别增加了107%、164%和94%, 达到显著水平, 雄株的株高、基径、叶面积分别增加了31%、41%和31%。另外, 在异性根系分泌物处理条件下, 雌雄植株各生长性状间也无显著差异。混培雌雄植株的根系分泌物对受体植株的生长不再有促进作用, 植株各指标与对照相比均无显著

差异。此外, 桑树幼苗叶片数受到性别与处理交互作用的显著影响。

2 根系分泌物对桑树雌雄幼苗生物量及其分配的影响

在对照条件下, 桑树雄株的茎、根生物量均显著高于雌株(图2)。单培异性植株的根系分泌物促进了受体植株的干物质积累, 与对照相比, 除雄株叶生物量外, 雌雄幼苗各部分生物量均显著增加, 且雌株的生物量积累增加量高于雄株(图2-A~E)。雌株的根、茎、叶生物量分别增加了349%、216%和86%; 雄株的根、茎、叶生物量分别增加了52%、53%和43%。同时, 雌株的根冠比也显著增加(图2-F)。另一方面, 除雌株根系生物量和根冠比显著增加外, 混培雌雄植株的根系分泌物对受体雌雄植株的其他生物量指标无显著作用(图2)。此外, 茎生物量受到根系分泌物和性别交互作用影响显著。

讨 论

由研究结果可知, 单培异性植株的根系分泌物促进了桑树雌雄幼苗的生长和生物量积累, 且雌株的增长量大于雄株(表1和图2)。与对照相比, 异性植株根系分泌物水溶液处理后, 桑树雌株的株高、基径、叶面积及根、茎、叶生物量均显著增加, 同时, 根冠比也明显增大。雄株的根、茎生物量积累增加达到显著水平。而Mercer和Eppley (2014)对另一种雌雄异株植物海滨盐草的研究显示, 在异性根系分泌物处理下, 植株的根冠比增大, 干物质积累减少, 这与本研究结果并不完全一致, 可能是由于物种差异性、试验条件或试验持续时间不同所致。另外, Mercer等分析数据时未将雌雄

表1 根系分泌物对桑树雌雄幼苗生长性状的影响

Table 1 Growth traits of male and female *M. alba* seedlings affected by root exudates

组别	性别	株高/cm	基径/mm	叶面积/cm ²	叶片数/片	比叶面积/cm ² ·g ⁻¹
对照	雌	10.52±1.31 ^c	0.58±0.13 ^b	830.95±81.55 ^b	14.40±0.68 ^{ab}	265.62±42.58 ^a
	雄	14.32±1.27 ^{abc}	0.81±0.07 ^b	1 254.91±197.6 ^{ab}	14.60±0.68 ^{ab}	312.64±24.83 ^a
A	雌	21.74±4.51 ^a	1.53±0.21 ^a	1 610.87±262.4 ^a	14.80±0.86 ^a	322.61±58.94 ^a
	雄	18.80±1.74 ^{ab}	1.14±0.17 ^{ab}	1 643.25±276.1 ^a	14.80±0.66 ^a	292.68±13.73 ^a
B	雌	13.10±2.23 ^{bc}	0.71±0.26 ^b	977.26±75.36 ^b	12.40±0.93 ^b	387.05±39.79 ^a
	雄	19.80±2.50 ^{ab}	0.84±0.17 ^b	1 255.70±82.04 ^{ab}	16.00±0.45 ^a	425.60±90.79 ^a

图中数据代表平均值±标准误, 同一列数据不同小写字母标识表示差异显著($P<0.05$)。

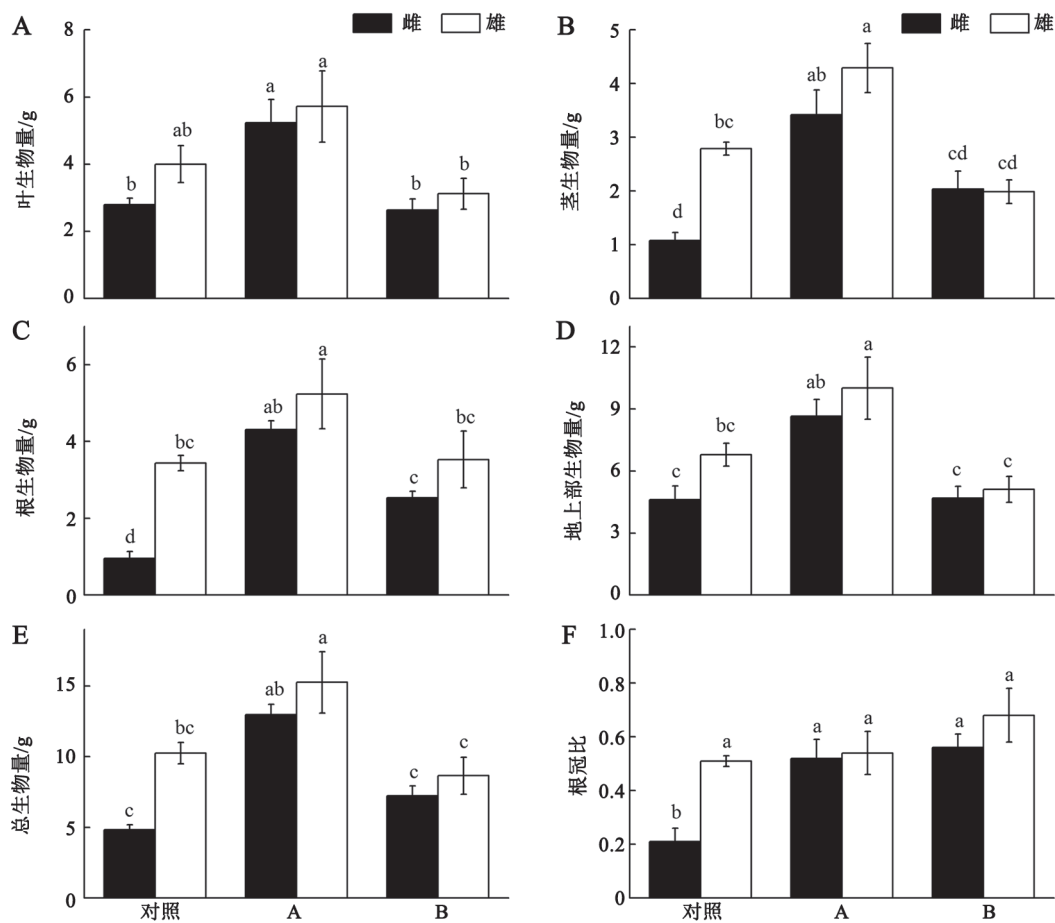


图2 根系分泌物对桑树雌雄幼苗生物量和分配的影响

Fig. 2 Biomass and allocation indices of male and female *M. alba* seedlings affected by root exudates

图中数据代表平均值±标准误, 图中各柱形上不同小写字母标识表示差异显著($P < 0.05$)。

植株分开来比较, 这也导致了与本研究结果的差异。已有的研究表明, 根系分泌物能改善土壤养分条件或作为根系交流的信号分子, 在植株的相互作用中带来积极效应(Walker等2003; Bais等2006)。本研究中, 由于植株处于均质水培环境, 养分充足, 单培异性植株的根系分泌物对植株生长发育的促进可能是由于分泌物中某种或某些物质起到信号传递的作用, 促使植株在相同条件下根系生长加快, 故能获取更多养分, 因此生物量积累更多。另外, 单培异性植株的根系分泌物对雌株生长的促进作用更强。首先, 从雌雄植株的分配和繁殖的角度来看, 雌株往往有着更高的生殖投入, 由于资源分配的权衡策略, 木本雌雄异株植物的雌株个体往往比雄株小(Obeso 2002; Varga和Kytöviita 2012)。在本研究对照条件下, 雌株因其

繁殖成本较高, 故将更多资源分配给地上部分, 地下分配较少, 因而获取的养分和水分较少, 植株较小。另外, 有研究表明, 雌株比雄株更具竞争力(Eppley 2006; Mercer和Eppley 2010; Sánchez-Vilas等2011; Hesse和Pannell 2011)。在本研究中, 桑树雌株受到异性根系分泌物处理时, 根系分配显著增加, 有利于雌株增强其地下竞争能力, 因而获得更多的水分和养分, 植株生物量积累更多, 而雄株的这种现象则相对较弱, 这与前人对雌雄植株竞争能力的研究结果相吻合(Eppley 2006; Sánchez-Vilas等2011; Hesse和Pannell 2011)。因此, 从整体上来看, 异性根系分泌物对雌株生长促进的幅度较大。然而, 此前尚未有实验排除其他因素的干扰, 单独比较异性植株根系分泌物对雌雄植株生长发育影响的差异, 其生态学意义有待于进

一步探索。此外,混培植株的根系分泌物水溶液对雌雄植株的生长不再有促进作用(表1和图2)。根系分泌物的产生会受到土壤理化性质、光照、温度等多种环境因素以及病虫害、微生物等生物因素的影响(Rovira 1969)。因此,在雌雄植株混培模式下,植物根系可能会互相影响其分泌物的产生,导致其中对植株生长起促进作用的有效成分减少或消失。

植物总是与邻株存在着各种相互作用,且随邻株物种、基因型的变化会有不同的表现(Semchenko等2007; Milla等2009),这种相互作用在雌雄异株植物的研究中主要体现于其对不同性别组合的响应。如Rogers等(2012)在对海滨盐草的空间分布的研究中发现,异性竞争比同性竞争激烈,处于性别内竞争的植株的干重、株高显著大于处于性别间竞争的植株。而Varga和Kytöviita (2012)在雌雄异株植物蝶须(*Antennaria dioica*)的研究中发现同性竞争更加激烈。雌雄植株相互作用(包括竞争在内)结果的不同,除了与雌雄植株对资源的直接响应有关外,其他信号可能也参与了这一过程。已有的研究表明,根系分泌物参与了植物对不同物种和不同基因型邻株的感知与响应(Mahall和Callaway 1996; Dudley和File 2007; Biedrzycki等2010; Pierik等2013)。此外, Mercer等(2014)的研究也表明,根系分泌物参与了海滨盐草雌雄植株的相互作用。本试验排除了根系物理接触及其他相互作用因素的干扰,植株生长的营养、空间条件也完全一致,试验结果只能由根系分泌物及植株对其响应的差异带来,这可能是桑树雌雄植株间的相互作用的机制之一。从本研究的结果来看,在异性植株的根系分泌物处理下,桑树雌株的株高、基径及生物量的增长量均大于雄株,这表明在养分水分充足的条件下,性别间相互作用可能对桑树雌株的生长更为有利,这与Chen等(2014, 2015)的研究结果相似。此外,混培植株与单培植株根系分泌物的效应不同,说明了邻株的存在可能会对根系分泌物的成分有影响,进而改变雌雄植株的生长状况,这可能对雌雄异株植物种群的维持具有重要意义。然而根系分泌物中具体哪些成分参与了植物的相互作用,以及其内在机制还有待进一步探讨。

综上所述,桑树雌雄植株的根系分泌物会影响同源植株的生长发育,且这些影响在植物性别间存在差异,这表明根系分泌物可能参与了桑树雌雄植株的相互作用。

参考文献

- Badri DV, Quintana N, El Kassis EG, Kim HK, Choi YH, Sugiyama A, Verpoorte R, Martinoia E, Manter DK, Vivanco JM (2009). An ABC transporter mutation alters root exudation of phytochemicals that provoke an overhaul of natural soil microbiota. *Plant Physiol*, 151 (4): 2006–2017
- Baetz U, Martinoia E (2014). Root exudates: the hidden part of plant defense. *Trends Plant Sci*, 19 (2): 90–98
- Bais HP, Walker TS, Stermitz FR, Hufbauer RA, Vivanco JM (2002). Enantiomeric-dependent phytotoxic and antimicrobial activity of (±)-catechin. A rhizosecreted racemic mixture from spotted knapweed. *Plant Physiol*, 128 (4): 1173–1179
- Bais HP, Weir TL, Perry LG, Gilroy S, Vivanco JM (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu Rev Plant Biol*, 57 (1): 233–266
- Bertin C, Yang X, Weston LA (2003). The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil*, 256 (1): 67–83
- Biedrzycki ML, Jilany TA, Dudley SA, Bais HP (2010). Root exudates mediate kin recognition in plants. *Commun Integr Biol*, 3 (1): 28–35
- Biedrzycki ML, Venkatachalam L, Bais HP (2011). The role of ABC transporters in kin recognition in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Signal Behav*, 6 (8): 1154–1161
- Chen J, Dong T, Duan B, Korpelainen H, Niinemets Ü, Li C (2015). Sexual competition and N supply interactively affect the dimorphism and competitiveness of opposite sexes in *Populus cathayana*. *Plant Cell Environ*, 38 (7): 1285–1298
- Chen J, Duan B, Wang M, Korpelainen H, Li C (2014). Intra- and inter-sexual competition of *Populus cathayana* under different watering regimes. *Funct Ecol*, 28 (1): 124–136
- Chen MH, Qin F, Liu G, Huan HH, Yang S, Huang YY, Xu X (2014). Various response of antioxidant enzyme system and photosynthetic pigment in male and female mulberry (*Morus alba* L.) seedlings to UV-B radiation. *J China West Norm Univ-Nat Sci*, 35 (4): 327–332 (in Chinese with English abstract) [陈梦华, 秦芳, 刘刚, 郇慧慧, 杨帅, 黄尤优, 胥晓(2014). 桑树雌雄幼苗抗氧化酶系统和光合色素对UV-B辐射的响应差异. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 35 (4): 327–332]
- Dudley SA, File AL (2007). Kin recognition in an annual plant. *Biol Lett*, 3 (4): 435–438
- Eppley SM (2006). Females make tough neighbors: sex-specific competitive effects in seedlings of a dioecious grass. *Oecologia*, 146 (4): 549–554
- Fodor F, Gáspár L, Morales F, Gogorcena Y, Lucena JJ, Cseh E, Kröpl K, Abadía J, Sárvári É (2005). Effects of two iron sources on iron and cadmium allocation in poplar (*Populus alba*) plants exposed to cadmium. *Tree Physiol*, 25 (9): 1173–1180

- Hawkins TS, Schiff NM, Leininger TD, Gardiner ES, Devall MS, Hamel PB, Wilson AD, Connor KF (2009). Growth and intraspecific competitive abilities of the dioecious *Lindera melissifolia* (Lauraceae) in varied flooding regimes. *J Torrey Bot Soc*, 136 (1), 91–101
- Hesse E, Pannell JR (2011). Sexual dimorphism in a dioecious population of the wind-pollinated herb *Mercurialis annua*: the interactive effects of resource availability and competition. *Ann Bot*, 107 (6): 1039–1045
- Mahall BE, Callaway RM (1996). Effects of regional origin and genotype on intraspecific root communication in the desert shrub *Ambrosia dumosa* (Asteraceae). *Am J Bot*, 83 (1): 93–98
- Mercer CA, Eppley SM (2010). Inter-sexual competition in a dioecious grass. *Oecologia*, 164 (3): 657–664
- Mercer CA, Eppley SM (2014). Kin and sex recognition in a dioecious grass. *Plant Ecol*, 215 (8): 845–852
- Micallef SA, Shiaris MP, Colón-Carmona A (2009). Influence of *Arabidopsis thaliana* accessions on rhizobacterial communities and natural variation in root exudates. *J Exp Bot*, 60 (6): 1729–1742
- Milla R, Forero DM, Escudero A, Iriondo JM (2009). Growing with siblings: a common ground for cooperation or for fiercer competition among plants? *P Roy Soc B*, 276 (1667): 2531–2540
- Obeso JR (2002). The costs of reproduction in plants. *New Phytol*, 155 (3): 321–348
- Pan Y (2000). Progress and prospect of germplasm resources and breeding of mulberry. *Sci Seric*, 26 (S1): 1–5 (in Chinese with English abstract) [潘一乐(2000). 桑种质资源和桑树育种的研究现状与展望. *蚕业科学*, 26 (S1): 1–5]
- Pierik R, Mommer L, Voeselek LACJ (2013). Molecular mechanisms of plant competition: neighbour detection and response strategies. *Funct Ecol*, 27 (4): 841–853
- Qin F, Xu X, Liu G, Huan H, Chen M, Yang S, Wang Y (2014). Sexual differences in physiological tolerance and accumulation capacity against lead pollution in *Morus alba* seedlings. *Acta Sci Circum*, 34 (10): 2615–2623 (in Chinese with English abstract) [秦芳, 胥晓, 刘刚, 郇慧慧, 陈梦华, 杨帅, 王悦(2014). 桑树(*Morus alba*)幼苗对铅污染的生理耐性和积累能力的性别差异. *环境科学学报*, 34 (10): 2615–2623]
- Rogers SR, Eppley SM (2012). Testing the interaction between inter-sexual competition and phosphorus availability in a dioecious grass. *Botany*, 90 (8): 704–710
- Rougier M (1981). Secretory activity of the root cap. In: Tanner W, Loewus FA (eds). *Plant Carbohydrates II: Extracellular Carbohydrates*. Berlin: Springer-Verlag. 542–574
- Rovira AD (1969). Plant root exudates. *Bot Rev*, 35 (1): 35–57
- Sánchez-Vilas J, Turner A, Pannell JR (2011). Sexual dimorphism in intra- and interspecific competitive ability of the dioecious herb *Mercurialis annua*. *Plant Biol*, 13 (1): 218–222
- Semchenko M, John EA, Hutchings MJ (2007). Effects of physical connection and genetic identity of neighbouring ramets on root-placement patterns in two clonal species. *New Phytol*, 176 (3): 644–654
- Semchenko M, Saar S, Lepik A (2014). Plant root exudates mediate neighbour recognition and trigger complex behavioural changes. *New Phytol*, 204 (3): 631–637
- Shi G (2004). Ecological effect of plant root exudates. *Chin J Ecol*, 23 (1): 97–101 (in Chinese with English abstract) [史刚荣(2004). 植物根系分泌物的生态效应. *生态学杂志*, 23 (1): 97–101]
- Varga S, Kytöviita MM (2012). Differential competitive ability between sexes in the dioecious *Antennaria dioica* (Asteraceae). *Ann Bot*, 110 (7): 1461–1470
- Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM (2003). Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiol*, 132 (1): 44–51
- Yao YQ, Yang WM (2008). Agricultural control technology for *Morus alba* disease and pest injury. *Guangxi Seric*, 45 (1): 21–24 (in Chinese) [姚永泉, 杨万明(2008). 桑树病虫害的农业防治技术. *广西蚕业*, 45 (1): 21–24]
- Yu JQ, Matsui Y (1997). Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *J Chem Ecol*, 23 (3): 817–827

Effects of root exudates on the growth and development of male and female *Morus alba* seedlings

ZHU Shi-Hui^{1,2}, DONG Ting-Fa^{1,2}, LIU Gang³, XIAO Juan^{1,2}, ZHU Juan^{1,2}, ZENG Zhen^{1,2}, CHEN De-Fu⁴, XU Xiao^{1,2,*}

¹Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Ministry of Education, Nanchong, Sichuan 637009, China; ²College of Life Science, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009, China; ³Sericultural Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong, Sichuan 637009, China; ⁴Fourth Middle School of Jinghong City in Xishuangbanna, Jinghong, Yunnan 666100, China

Abstract: To investigate effects on the growth and biomass allocation of male and female *Morus alba* seedlings by its root exudates from different origins, the seedlings were exposed to liquid medium containing the root exudates from single-planted seedlings of opposite sex or companion-planted seedlings (a male and a female), and the group without treatment was the control. All the plants were of the same age. The results show that the growth and dry matter accumulation of male and female seedlings were promoted by the root exudates from the opposite sex. In treatment of the exudates from the opposite sex, height, base diameter, leaf area, and biomasses of roots, stems and leaves of females were significantly increased, and biomasses of stems and roots of males were also significantly increased. Furthermore, the increasing amplitude of females was higher than that of males. Compared with the control, height, basal diameter, leaf area, and biomasses of roots, stems and leaves of females/males were increased by 107%/31%, 164%/41%, 94%/31%, 349%/52%, 216%/53%, and 86%/43%, respectively. However, the growth of seedlings were not facilitated by the exudates from the companion-planted seedlings. In treatment of the exudates from the companion-planted seedlings, most of traits in growth and biomass were not significantly different with those of the control except for root biomass and root-shoot ratio. The results thus suggest that the growth performance of male and female *Morus alba* seedlings were affected by its root exudates from different origins, and the different effects caused by roots exudates may be an explanation for the interaction of male and female plants.

Key words: root exudates; dioecism; *Morus alba*; plant interaction

Received 2015-11-09 Accepted 2015-12-18

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31370596), and Sichuan Youth Sci-tech Foundation (Grant No. 2012JQ0045).

*Corresponding author (E-mail: xuxiao_cwnu@163.com).