

DOI: 10.5846/stxb201212231846

陈娟, 白尚斌, 周国模, 王懿祥, 梁倩倩, 程艳艳, 沈蕊. 毛竹浸提液对苦槠幼苗生长的化感效应. 生态学报, 2014, 34(16): 4499-4507.

Chen J, Bai S B, Zhou G M, Wang Y X, Liang Q Q, Cheng Y Y, Shen R. Allelopathic effects of *Phyllostachys edulis* extracts on *Castanopsis sclerophylla*. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(16): 4499-4507.

毛竹浸提液对苦槠幼苗生长的化感效应

陈 娟¹, 白尚斌^{1,*}, 周国模², 王懿祥², 梁倩倩¹, 程艳艳¹, 沈 蕊¹

(1. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 临安 311300; 2. 浙江农林大学环境与资源学院, 临安 311300)

摘要:为探讨毛竹(*Phyllostachys edulis*)扩张过程中潜在的化感作用,选择苦槠(*Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schott)为研究对象。采用水浸提的方法,用毛竹茎叶、枯落物和土壤 3 部分浸提液浇灌苦槠幼苗,以蒸馏水处理作为对照,对比分析质量浓度分别为 0.1、0.05、0.02 g/mL 的 3 个浓度梯度浸提液处理下苦槠幼苗生长指标及各项光合生理指标的差异。结果表明,毛竹浸提液对苦槠幼苗苗高、地径和叶绿素相对含量的影响大体上呈现高浓度抑制低浓度促进的双重浓度效应。不同来源毛竹浸提液的化感效应不尽相同,土壤浸提液对苦槠幼苗生长和光合生理均呈现抑制作用,而茎叶、枯落物浸提液低浓度时为促进作用。毛竹潜在的化感作用,在其扩张过程中可能会干扰森林主要树种更新,从而对森林群落产生威胁。

关键词:毛竹;浸提液;光合生理;化感作用;苦槠幼苗

Allelopathic effects of *Phyllostachys edulis* extracts on *Castanopsis sclerophylla*

CHEN Juan¹, BAI Shangbin^{1,*}, ZHOU Guomo², WANG Yixiang², LIANG Qianqian¹, CHENG Yanyan¹, SHEN Rui¹

1 School of Forestry & Biotechnology, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Lin'an 311300, China

2 School of Environment & Resource Sciences, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Lin'an 311300, China

Abstract: Interspecific competition is often cited as one of the main reasons for the successful expansion of plant species, and it can result in irreversible homogenization of plant communities. Allelopathy is a special type of interference competition. There have been relatively few studies on allelopathy, especially in woody species, even though allelopathy is increasingly regarded as a mechanism underlying the expansion of various plant species. Its importance in the structure of plant communities has been demonstrated by the fact that some allelopathic plants form monocultures in previously diverse communities. Allelopathic plants produce toxic compounds that give them an advantage over competitors. These compounds, known as allelochemicals, include a wide range of phenolic acids such as benzoic and cinnamic acids, alkaloids, and terpenoids. They are released into the environment in appreciable quantities via root exudates and leaf leachates, and via degradation of roots and other plant tissues. These substances can modify many processes in plant growth and development, including germination, early seedling growth, biomass accumulation, respiration, and photosynthesis, leading to the failure of competing species to grow and regenerate. Therefore, allelopathy is thought to be an important mechanism in the expansion of plant communities. *Phyllostachys edulis* (Poaceae) is a popular and useful plant indigenous to China. Its shoots and culms are harvested as a food source, but it is also an important biomass resource. Plantations of *Ph. edulis* have expanded rapidly in southern China. Recently, this species has come to be regarded as a weed; with its robust growth and strong rhizomes, it is capable of dominating some forest stands by displacing other native forest species. Thus, it is a threat

基金项目:国家自然科学基金项目(31170594);浙江省大学生科技创新(新苗人才)项目(2012R412041);浙江农林大学科研发展基金项目(2009FR060)

收稿日期:2012-12-23; **网络出版日期:**2014-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sequia96@163.com

to biodiversity when it spreads from plantations into neighboring evergreen broad-leaved forests. However, there is little information about the allelopathic effects of this species on the regeneration of the main tree species in neighboring forests. To explore the potential allelopathy in the invasion process of *Ph. edulis*, we determined the effects of aqueous extracts from *Ph. edulis* on the growth of *Castanopsis sclerophylla* in a pot experiment. We prepared aqueous extracts from *Ph. edulis* leaves and stems, litter, and soil, at three concentrations; 0.1 g/mL, 0.05 g/mL, and 0.02 g/mL. We measured the height, ground diameter, and photosynthesis of *C. sclerophylla* seedlings after treatments with the extracts. The allelopathic effects depended on the concentration of the aqueous extract and its source. The aqueous extracts of *Ph. edulis* affected the height, ground diameter, and chlorophyll relative content of *C. sclerophylla* seedlings. The highest extract concentration (0.1 g/mL) showed significant inhibitory effects on these parameters, while the lowest concentration (0.02 g/mL) showed stimulating effects. The 0.1 g/mL extract reduced net photosynthetic rate and stomatal conductance of *C. sclerophylla* seedlings. The light compensation point of *C. sclerophylla* seedlings was increased by treatments with high and low concentrations of the extracts. The effects of the extract differed depending on the source. The soil extracts showed stronger allelopathic effects than did the stem and leaf extracts and the litter extracts. Soil extracts showed inhibitory effects at all concentrations (0.1 g/mL, 0.05 g/mL, and 0.02 g/mL), while stem and leaf extracts and litter extracts showed stimulating effects at the lowest concentration (0.02 g/mL). The changes in chlorophyll content and photosynthetic performance were among the most important allelopathic effects of *Ph. edulis* aqueous extracts on seedling growth. In these experiments, *Ph. edulis* showed allelopathic effects against *C. sclerophylla* seedlings. These findings indicate that as *Ph. edulis* invades into new environments, it may interfere with the regeneration of the main tree species and harm the surrounding forest. To better understand the importance of allelopathy, future research should focus on determining the chemical composition of aqueous extracts from *Ph. edulis* and its mechanisms of action.

Key Words: *Phyllostachys edulis*; aqueous extract; photosynthetic physiology; allelopathy; *Castanopsis sclerophylla* seedlings

化感作用,是植物与植物、植物与微生物之间的生物化学关系,是植物通过化学媒介在生态系统中的一种自然调控作用^[1]。它在森林生态系统中普遍存在,是不可忽视的化学生态因子,对森林群落的结构、功能、效益及发展均有重大影响^[2]。研究表明,许多植物可通过释放有害的化感物质,干扰森林植物的种子萌发、幼苗生长、生物量积累以及呼吸作用、光合作用等生理过程,从而影响其幼苗的生长发育,造成树种更新和重建的失败^[3-5]。因此,研究化感植物对树木生理生态过程的化感效应对认识和评估其对森林群落潜在的影响有着重要的科学意义。

毛竹(*Phyllostachys edulis*)属禾本科竹亚科刚竹属植物,是我国森林资源的重要组成部分,因其良好的经济价值而得到大力发展。然而近年来发现毛竹逐渐向周边林分扩张,并不断纯林化,蚕食原始植被,威胁生物多样性^[6-7],如在天目山国家级自然保护区,由于毛竹的扩张使阔叶林的面积和数量减少,影响了保护区内丰富的生物多样性^[8]。但有关毛竹

扩张机制方面的探讨却鲜见报道,尤其从化感作用角度研究的更少。本项研究选择常绿阔叶林群落优势树种苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)为测试物种,测定毛竹不同来源浸提液对其幼苗生长及光合生理等的化感效应。探讨毛竹扩张对周边常绿阔叶林主要树种更新的影响,为进一步分析毛竹扩张对常绿阔叶林群落产生的潜在影响及扩张机制提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料及试验地概况

本试验的供体植物是毛竹,分别采用3年生毛竹的茎叶、枯落物以及林下土壤3部分作为浸提液的来源。受体植物为苦槠幼苗(株高 (16.3 ± 0.25) cm,地径 (0.70 ± 0.03) cm)。

试验地位于浙江农林大学东湖校园内($119^{\circ}44'E, 30^{\circ}16'N$),海拔约50 m,此地属亚热带季风气候区,全年降雨量为1628.6 mm,极端高温41.9℃,极

端低温-13.3 ℃,年平均温度为 15.8 ℃,历年平均日照 1939 h,无霜期约 234 d。

1.2 实验设计

1.2.1 毛竹浸提液制备

参考朱旺生等^[9]的方法。将新鲜毛竹枝叶洗净、晾干,剪成 1 cm 左右的小段,按 1 g/mL(1 g 干物质中加入 10 mL 蒸馏水,下同)的比例加入适量的蒸馏水,常温下浸泡 48 h,双重过滤,第一重用定性滤纸过滤,第二重用滤元单位为 0.45 μm 的滤膜过滤,得到茎叶浸提液的母液。

去除毛竹枯落物中的杂质,将其剪碎,按 1 g/mL 的比例加入适量的蒸馏水,在常温下浸泡 48 h,经双重过滤后得到枯落物浸提液的母液。

将毛竹林下 0—20 cm 的土壤鲜样晾干、研碎,按 1 g/mL 的比例加入蒸馏水,在常温下浸泡 48 h,经双重过滤得到土壤浸提液的母液。

分别将上述不同来源的毛竹浸提液母液加蒸馏水稀释,得到 0.1、0.05、0.02 g/mL 3 种质量浓度的溶液,即 3 种不同来源的毛竹浸提液均设 3 个浓度梯度。消毒后置 4 ℃ 冰箱中备用。

1.2.2 盆栽试验布置

选取生长健壮、长势相同的 2 年生苦槠幼苗 30 株于 2011 年秋季移栽于 22 cm×27 cm 的花盆中,每盆 1 株,置于大棚内进行实验,常规管理。取现实林分土壤作为栽培土,土壤为黄红壤,呈酸性,pH 值 5.7,有机质含量 8.56%,全氮 0.8%,总磷含量 0.13%,总钾含量 1.22%,水解性氮 157.12 mg/kg,有效磷 5.58 mg/kg,速效钾 56.23 mg/kg。

在缓苗期间,用清水浇灌。经过 4 个月的恢复生长后,将苦槠幼苗随机分成 10 组(3 处理×3 浓度+1 对照),每组 3 个重复。分别用 3 种不同浓度的毛竹水浸提液浇灌,对照组用蒸馏水浇灌。每 2d 浇灌 1 次。观察幼苗生长状况,3 个月后,测定生长及光合生理指标。

1.2.3 生长指标测定

苗高测定 用卷尺从幼苗基部到主茎顶部,精确到 0.1 cm;

地径测定 用游标卡尺测定幼苗主茎基部的直径,精确到 0.001 cm。

1.2.4 光合指标测定

采用 LI-6400 便携式光合测定仪(Li-COR,

USA),选择晴朗无风的天气于 8:00—11:00 采用内置红蓝光源对植株进行光合测定。测定时,在每组 3 株植物中随机选取 5 片主梢上当年生成熟叶片,设置光强梯度为 2000、1500、1200、1000、800、500、300、100、50、30、10 和 0 μmol m⁻² s⁻¹,从最高光强开始测定。叶室温度为 25 ℃,气体流量为 500 μmol/s,相对湿度为 50%。

1.2.5 叶绿素相对含量测定

利用便携式叶绿素含量测定仪 SPAD-502 (Millipore, Japan) 在光合测定的相同叶片上同时进行叶绿素相对含量的测定,每个处理 5 个叶片,在每个叶片中脉两侧均匀选取 5 个点,这 10 个点的平均值为该叶片的 SPAD 值。

1.3 数据处理

以光合有效辐射(PPFD)为横坐标,净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)为纵坐标绘制光响应曲线,并利用光合助手(Photosyn Assistant, 1.1.2)对原始数据进行曲线拟合,得到如下参数:植物叶片的暗呼吸速率(R_d)、表观量子效率(AQE)、光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)和最大光合速率(A_{max})。此软件采用的曲线拟合方程为:

$$A = \frac{\varphi Q + A_{max} - \sqrt{(\varphi Q + A_{max})^2 - 4 \varphi Q K A_{max}}}{2K} - R_d$$

式中, A 代表光合速率; Q 代表的是光照强度; φ 代表表观量子效率; K 代表的是光合曲线的曲率,其大小介于(0,1)之间, R_d 代表暗呼吸速率。

所有数据都通过 Excel 2010 软件进行整理,并采用 SPSS Statistics 19.0 软件中的单因素方差分析(One-way ANOVA)进行处理与分析。进行方差分析前,对所有数据进行正态性和方差齐性检验。利用 Sigmaplot 10.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 毛竹不同浸提液对苦槠幼苗生长的影响

苗高和地径是植物生长最终也是最直观的表现形式^[10]。由表 1 可以看出,与对照(CK)相比,高浓度的茎叶浸提液和枯落物浸提液降低了苦槠的苗高、地径,低浓度则提高,且低浓度与高浓度间差异显著($P<0.05$)。3 种不同质量浓度的土壤浸提液均降低了苦槠的苗高、地径,且处理间存在显著差异,

表 1 毛竹不同浸提液对苦槠苗高和地径的影响(平均值±标准误差)

Table 1 Effects of different types of the aqueous extracts of *Phyllostachys edulis* on height and ground diameter of *Castanopsis sclerophylla* seedlings (mean±SE)

浸提液类型 Treatment	苗高/cm Height	地径/cm Ground diameter
茎叶浸提液 Stem and leaf extracts		
0.1 g/mL	43.4 ± 0.9 Aa	0.792 ± 0.021 A
0.05 g/mL	46.4 ± 1.0 ABab	0.913 ± 0.038 B
0.02 g/mL	48.7 ± 1.6 Bb	0.942 ± 0.032 B
CK	47.3 ± 0.6 Bab	0.865 ± 0.021 AB
枯落物浸提液 Litter extracts		
0.1 g/mL	38.3 ± 2.2 A	0.776 ± 0.035 A
0.05 g/mL	44.0 ± 3.4 AB	0.821 ± 0.035 AB
0.02 g/mL	48.7 ± 4.2 B	0.956 ± 0.837 B
CK	47.3 ± 0.6 AB	0.865 ± 0.021 AB
土壤浸提液 soil extracts		
0.1g g/mL	36.6 ± 2.5 Aa	0.702 ± 0.038 Aa
0.05 g/mL	37.5 ± 4.8 Aa	0.773 ± 0.077 Aa
0.02 g/mL	45.7 ± 3.9 Bab	0.846 ± 0.089 Bab
CK	47.3 ± 0.6 Bb	0.865 ± 0.021 Bab

同列同种浸提液中标有不同大写(小写)字母分别表示 $P=0.05$ ($P=0.01$) 水平上差异显著

苗高分别比对照降低了 22.62%, 20.72%, 3.38%; 地径降低了 18.84%, 10.64%, 2.20%。说明高浓度的毛竹浸提液对苦槠苗高、地径生长产生了较大影响。

2.2 毛竹不同浸提液对苦槠幼苗光合特性的影响

2.2.1 苦槠幼苗在毛竹不同浸提液处理下的光合作用-光响应曲线

光是植物进行光合作用的能量来源,化感物质会影响植物对光的反应。从图 1 中可以看出,苦槠净光合速率在光照强度 (PPFD) 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 内随着 PPFD 的升高呈线性增加,各浓度梯度间差异不大。而在 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上光合有效辐射中,苦槠净光合速率 (P_n) 随浸提液浓度的增加而降低,各浓度梯度间差异显著 ($P<0.05$)。在土壤浸提液处理下,对照组的净光合速率明显高于浸提液处理组,净光合速率的大小顺序为 $\text{CK}>0.02 \text{ g/mL}>0.05 \text{ g/mL}>0.1 \text{ g/mL}$,这说明毛竹浸提液对苦槠光合有抑制作用,且抑制作用随着浓度的增加逐步增强。而在茎叶浸提液和枯落物浸提液处理中,CK 组的净光合速率明显高于中、高浓度浸提液处理组,而低于低浓度浸提液处理组,即毛竹浸提液对苦槠叶片的净光合速率有促进和抑制的双重作用。这说明经过一段

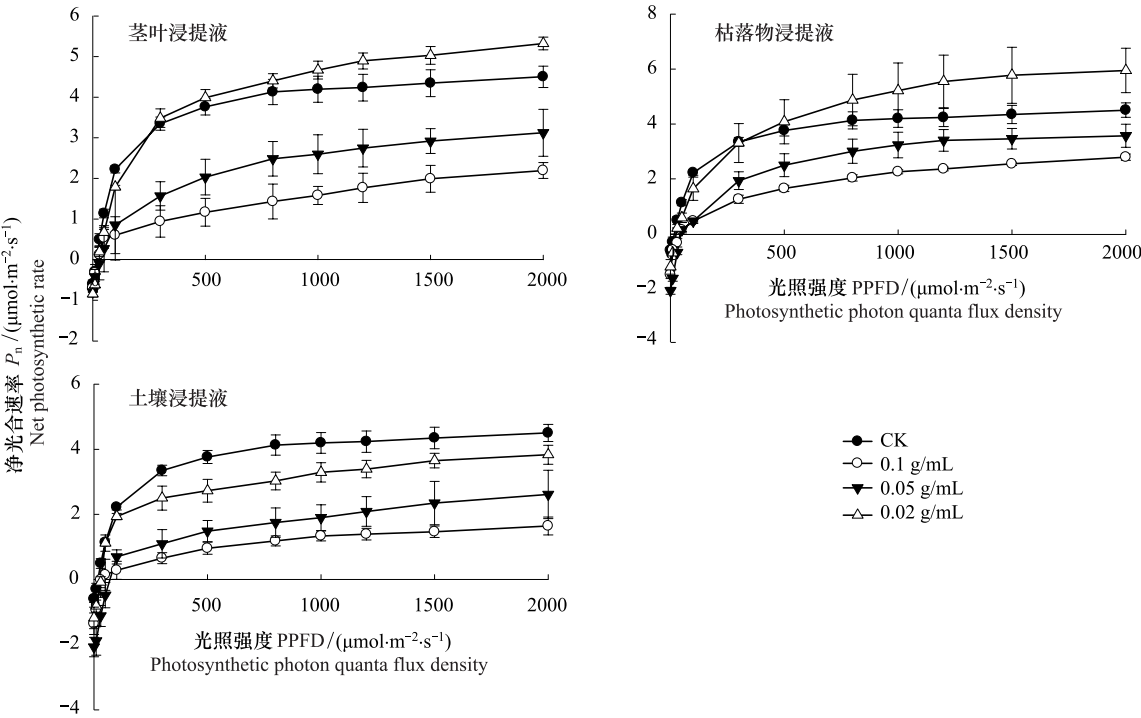


图 1 苦槠幼苗在不同毛竹浸提液处理下的光合作用-光响应曲线(平均值±标准误差)

Fig.1 Photosynthesis-light response curves of *C. sclerophylla* seedlings under different treatments of aqueous extracts of *Ph. edulis* (mean±SE)

时间的毛竹浸提液处理,中、高浓度的浸提液使苦槠利用光合有效辐射的能力降低,而低浓度的浸提液(除土壤外)则提高。

2.2.2 苦槠幼苗在毛竹不同浸提液处理下的气孔导度

气孔导度反映气体通过气孔传导的能力,直接影响蒸腾、水势和光合速率等。由图 2 可以看出,随光照强度的增加,苦槠气孔开张程度不断增大。其

中土壤水浸液处理对苦槠叶片气孔导度都呈现抑制的效应,同时表现出同一处理之间的浓度梯度效应,即随着处理液浓度的增加,抑制效应增强。其它两种浸提液对苦槠气孔导度的影响表现为高浓度抑制、低浓度促进的双重效应,说明不同毛竹浸提液对苦槠叶片气孔导度的影响和对净光合速率的影响一致。

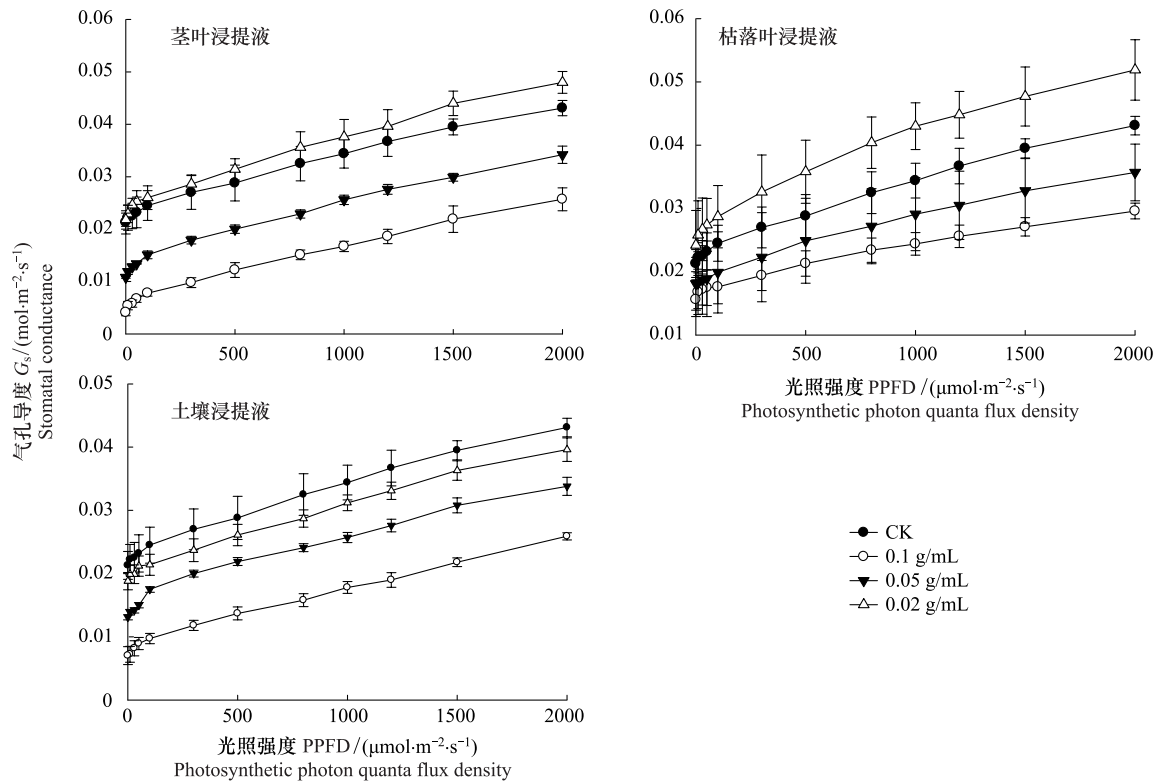


图 2 苦槠幼苗在不同毛竹浸提液处理下的气孔导度(平均值±标准误差)

Fig.2 Stomatal conductance (G_s) of *C. sclerophylla* seedlings under different treatments of aqueous extracts of *Ph. edulis* (mean±SE)

G_s :气孔导度 Stomatal conductance

2.2.3 苦槠幼苗在毛竹不同浸提液处理下的光合作用-光响应

苦槠幼苗各项光合生理参数在毛竹不同浸提液处理下均有显著性差异。如图 3 所示,苦槠的 R_d 值在 3 种浸提液处理下均呈现 $0.1 \text{ g/mL} < 0.05 \text{ g/mL} < 0.02 \text{ g/mL} < \text{CK}$,这说明毛竹化感物质抑制了苦槠的暗呼吸速率,且随浸提液浓度的提高抑制程度增强,其中枯落物浸提液抑制作用最突出。

$A_{\max}$ 反映植物利用光能的多少,具有较高 $A_{\max}$ 的植物可以更有效地利用叶片吸收的光能,减少对光合结构的光破坏^[11]。3 种浸提液处理下的 $A_{\max}$ 值的变化规律与光响应曲线及气孔导度的大致相同。即

在土壤浸提液处理组中,苦槠 $A_{\max}$ 均受到了显著抑制,浸提液浓度为 0.1 g/mL 时的值与其他 3 组差值较大,说明高浓度的浸提液处理可能增加了其光合结构的光破坏。在茎叶浸提液和枯落物浸提液处理下均表现为在浸提液浓度为 0.02 g/mL 时 $A_{\max}$ 值最大,其中枯落物处理处出现了极大值。 0.05 g/mL 时与对照差值不大,而在高浓度时 $A_{\max}$ 值最低。与对照相比, 0.1 g/mL 的茎叶浸提液比对照降低了 42.64%, 0.1 g/mL 的枯落物浸提液比对照降低了 23.24%。说明苦槠在长期高浓度浸提液处理下,降低了自身的净光合速率,反之,低浓度的浸提液提高了苦槠的净光合速率。

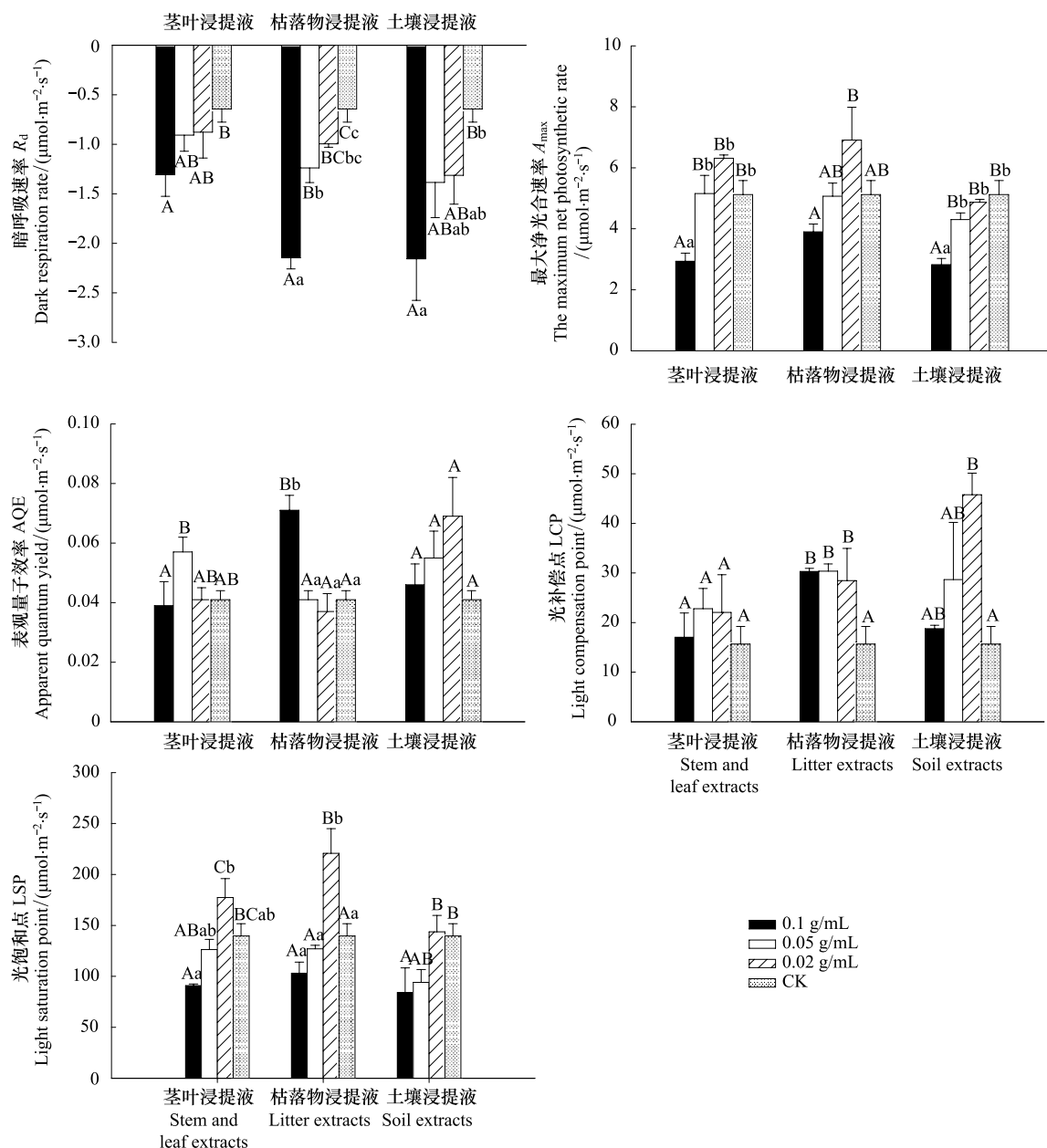


图3 苦槠幼苗在不同毛竹浸提液处理下最大净光合速率(A_{max})、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、表现量子效率(AQE)和暗呼吸速率(R_d)

Fig.3 The maximum net photosynthetic rate (A_{max}), light saturation point (LSP), light compensation point (LCP), apparent quantum efficiency (AQE) and dark respiration rate (R_d) of *C. sclerophylla* seedlings under different treatments of aqueous extracts of *Ph. edulis*

误差线上不同大写(小写)字母分别表示 $P=0.05$ ($P=0.01$) 水平上差异显著

AQE 反映植物对光能的利用效率,毛竹不同浸提液处理下的 AQE 在土壤浸提液处理下表现为 $0.02 \text{ g/mL} > 0.05 \text{ g/mL} > 0.1 \text{ g/mL} > \text{CK}$ 的规律,但是处理间差异不显著。在其它两种浸提液处理下的 AQE 没有呈现特定的规律,而且处理间差值不大,说明 AQE 对浸提液处理的反应不灵敏。

LCP 和 LSP 反映的是植物对光强的利用范围。

毛竹浸提液对 LSP 的影响表现为中、高浓度抑制、低浓度促进的效应,而且处理间差值较大。 LSP 在质量浓度为 0.02 g/mL 的枯落物处理处出现了极大值,这与 A_{max} 值的研究结果一致。3 种浸提液处理下的苦槠 LCP 值均高于对照,但各处理组内的差值不大,这说明长期的毛竹浸提液处理使苦槠的光补偿点提高。表明苦槠对弱光的利用能力减弱,对强光的利

用能力增加,进而缩短了植物进行光合作用的时间,影响了同化 CO₂ 的能力,增加了有机物的消耗,使光合作用有机物积累量减少,影响了苦槠的生长。

2.3 毛竹不同浸提液对苦槠幼苗叶绿素相对含量的影响

叶绿素是评价植物叶色和观赏价值的重要指标,植物叶绿素的含量和组成与光合速率有着密切的关系。

从表 1 中可以看出,毛竹浸提液对苦槠叶绿素相对含量的影响作用整体上表现为低浓度促进高浓

度抑制的趋势。质量浓度为 0.1 g/mL 的 3 种浸提液均抑制苦槠的叶绿素相对含量,且枯落物浸提液的抑制作用最显著,比对照下降了 22.85%,茎叶和土壤浸提液的叶绿素相对含量比对照下降了 17.55% 和 18.87%。质量浓度为 0.05 g/mL 的枯落物浸提液抑制苦槠的叶绿素相对含量,其他两种浸提液均促进叶绿素相对含量,但促进和抑制作用均不显著。质量浓度为 0.02 g/mL 的 3 种浸提液均促进苦槠叶绿素相对含量的积累。

表 2 毛竹不同浸提液对苦槠幼苗叶绿素相对含量的影响(平均值±标准误差)

Table 2 Effects of different types of the aqueous extracts of *Ph. edulis* on chlorophyll relative content of *C. sclerophylla* seedlings (mean±SE)

处理 Treatment	叶绿素相对含量 SPAD 值 chlorophyll relative content			
	0.1 g/mL	0.05 g/mL	0.02 g/mL	CK
茎叶浸提液 Stem and leaf extracts	24.9 ± 0.781 Aa	34.0 ± 0.406 BCb	35.3 ± 1.260 Cb	30.2 ± 1.910 Bab
枯落物浸提液 Litter extracts	23.3 ± 1.637 Aa	27.9 ± 3.030 Aab	37.8 ± 2.117 Bb	30.2 ± 1.910 Aab
土壤浸提液 Soil extracts	24.5 ± 2.157 Aa	30.7 ± 0.491 Bab	34.4 ± 0.689 Bb	30.2 ± 1.910 Bab

同一行中标有不同大写(小写)字母分别表示 $P=0.05$ ($P=0.01$) 水平上差异显著

3 讨论

研究表明,毛竹不同来源水浸提液处理苦槠幼苗,引起苦槠幼苗生长及各项光合生理特征的抑制或促进,说明毛竹浸提液中具有化感活性物质。化感物质对植物光合作用的抑制效应主要表现为叶绿素含量的减少和光合速率的降低^[12-14],本研究中,高浓度的毛竹水浸提液显著降低了苦槠幼苗的叶绿素相对含量、净光合速率和气孔导度等光合特性。浸提液处理增加 *LCP*,而降低 *LSP*,说明毛竹浸提液降低了苦槠对光能的利用效率。因此叶绿素含量及光合因子的改变可能是毛竹水浸提液化感效应引起苦槠幼苗生长产生相应变化的生理机制之一。毛竹化感物质对苦槠幼苗生长的干扰很有可能是先通过影响生理过程而最终表现出来的。

化感作用依赖于浸提液浓度、测试物种和化感来源^[15]。本研究中,高浓度的浸提液抑制苦槠的生理过程,低浓度则促进,反映出化感物质具有浓度效应^[16-17]。植物间的化感作用十分复杂,同一供体不同来源的浸提液也能表现出一定的差异^[18]。本研究发现低浓度的茎叶和枯落物浸提液能促进苦槠幼苗的光合生理过程,土壤浸提液则表现出较强的抑制作用,这可能与不同部位的化感成分不同有关^[5],

尽管各种物质进入土壤会经过理化反应或微生物活动进行分解或降解^[19],但这些物质的瞬时存在会直接、及时、有效地发挥作用。

毛竹化感作用近年来受到广泛关注,已有研究发现毛竹不同来源浸提液对许多植物的种子萌发和幼苗早期生长具有一定的抑制作用。如,鲜毛竹叶化感物质对阳春砂仁种子的萌发具有显著抑制作用,且质量浓度越高抑制作用越显著^[20];毛竹水浸提液对高羊茅种子的萌发产生明显的抑制作用,对苗高、干重等指标的影响表现为低浓度促进高浓度抑制的趋势^[21];毛竹叶和鞭生化物质对马尾松种子的萌发及鲜重、干重等具有不同程度的促进作用^[5],说明毛竹代谢过程释放出的次生代谢物质与化感作用有关,这些物质的释放可能是毛竹扩张对森林生态系统造成干扰的重要原因。毛竹属于典型的无性系繁殖植物,无性繁殖的营养生长过程(即克隆生长)使其具有相当大的水平扩展能力,通过地下竹鞭向周边常绿阔叶林分扩张。苦槠作为常绿阔叶林的主要树种,必然与扩张而来的毛竹形成强烈的种间关系。毛竹不同来源浸提液对苦槠幼苗生长、生理生态过程产生的化感效应,说明毛竹在扩张过程中释放的代谢物质可能会干扰常绿阔叶林主要树种苦槠的更新,从而对常绿阔叶林群落产生潜在的影响。

化感物质主要是通过淋洗、植物体分解浸出液及根系分泌物等发挥作用^[22-24]。本研究结果显示毛竹的茎叶和枯落物浸提液均对苦槠幼苗生长及光合生理有明显的影响,说明毛竹化感物质可能是由地表茎叶通过雨水和雾滴等的淋溶或枯落物分解等方式释放到环境中,来干扰其他植物的生长、发育。因此在毛竹林的经营管理中,为了防止“有毒物质”积累造成混交树种生长抑制及林下更新失败,要及时清除毛竹的枯枝落叶,提高林下透光率,为其他树种更新创造有利条件。毛竹扩张是一个较为敏感的生态学问题^[25],为了对其扩张过程的更好理解,毛竹浸提液的化学组成及作用方式还需进一步研究。

References:

- [1] Kong C H, Hu F. Plant Allelopathy and Its Application. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2001.
- [2] Lin W H, Zan C A, Chen H Y. Effects of allelopathy among tree species. World Forestry Research, 2011, 24(5): 13-17.
- [3] Li X F, Xu X, Wang B X, Huang Y Y, Wang Z F, Li J Y. Effects of forest litter layer on regeneration of *Populus cathayana* natural population in Xiaowutai Mountains in China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(2): 109-116.
- [4] Wang H X, Li G Z, Yu D M, Chen Y M. Barrier effect of litter layer on natural regeneration of forests: A review. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(1): 83-88.
- [5] Lin W H, Lu Y L, Lu G C, Chen H Y. Effect of water extraction from leaf and litter of *Pinus massoniana* on *Michelia macclurei* seed germination. Seed, 2010, 29(12): 52-54.
- [6] Hong W, Hu X S, Wu C Z, Yan S J, Feng L, Lin Y M. Comparison study on community structure features of the mixed forest of *Phyllostachys pubescens* in Fujian Province. Journal of Plant Resources and Environment, 2004, 13(1): 37-42.
- [7] Ding L X, Wang Z L, Zhou G M, Du Q Z. Monitoring *Phyllostachys pubescens* stands expansion in National Nature Reserve of Mount Tianmu by remote sensing. Journal of Zhejiang Forestry College, 2006, 23(3): 297-300.
- [8] Bai S B, Zhou G M, Wang Y X, Liang Q Q, Chen J, Cheng Y Y, Shen R. Plant species diversity and dynamics in forests invaded by Moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) in Tianmu Mountain Nature Reserve. Biodiversity Science, 2013, 21(3): 288-295.
- [9] Zhu W S, Shen Y X. A study on allelopathic potential of white clover and tall fescue on seedling of radish. Journal of Nanjing Agricultural University, 2004, 27(1): 28-31.
- [10] Lu M J, Jiang H, Li W, Yu S Q, Zeng B, Jiang F W, Li J, Jin Q. Effect of simulated acid rain on growth and photosynthetic physiology of *Machilus pauhoi*. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5986-5994.
- [11] Wang B Y, Feng Y L. Effects of growth light intensities on photosynthesis in seedlings of two tropical rain forest species. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(1): 23-30.
- [12] Baziramakenga R, Simard R R, Leroux G D. Effects of benzoic and cinnamic acids on growth, mineral composition, and chlorophyll content of soybean. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(11): 2821-2833.
- [13] Pandey D K, Kauraw L P, Bhan V M. Inhibitory effect of parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.) residue on growth of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* mart solms.) II. Relative effect of flower, leaf, stem, and root residue. Journal of Chemical Ecology, 1993, 19(11): 2663-2670.
- [14] Merlo L, Ghisi R, Passera C, Rascio N. Effects of humic substances on carbohydrate metabolism of maize leaves. Canadian Journal of Plant Science, 1991, 71(2): 419-425.
- [15] Wu A P, Yu H, Gao S Q, Huang Z Y, He W M, Miao S L, Dong M. Differential belowground allelopathic effects of leaf and root of *Mikania micrantha*. Trees, 2009, 23(1): 11-17.
- [16] Saxena A, Singh D V, Joshi N L. Autotoxic effects of pearl millet aqueous extracts on seed germination and seedling growth. Journal of Arid Environments, 1996, 33(2): 255-260.
- [17] Reigosa M J, Sánchez-Moreiras A, González L. Ecophysiological approach in allelopath. Critical Reviews in Plant Sciences, 1999, 18(5): 577-608.
- [18] Huang Q T. Effect of leaf and root allelochemicals of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* on germination of Chinese fir seed. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2008, 35(2): 75-77.
- [19] Fageria N K, Baligar V C. Upland rice and allelopathy. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2003, 34(9): 1311-1329.
- [20] He F W, Lai J Y, Zhu S S, Jiang G X. Effect of allelochemicals of *Phyllostachys heterocycla* cv. *Pubescens* leaves on germination of *Amomum villosum* Lour. seeds. Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2012, 25(2): 13-16.
- [21] Liang Q Q, Bai S B, Zhou G M, Wang Y X, Liao J. Effect of aqueous extracts of *Phyllostachys heterocycla* cv. *Pubescens* on seed germination and seedling growth of *Festuca arundinacea*. Acta Agriculture Zhejiangensis, 2012, 24(3): 434-439.
- [22] Wu X H. Allelopathy mechanisms of plants and its application in landscape plant configuration. Shandong Forestry Science and Technology, 2010, 40(3): 125-129.
- [23] Han F, Wang H, Bian Y X, Li Y B. Chemical components and their allelopathic effects of the volatiles from *Larix principisrupprechtii* leaves and branches. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(11): 2327-2332.
- [24] Zuo J L, Hu S Z, Guo W C. Influence mechanism of allelopathy

and its application to forest seedlings. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2004, (1): 27-29.

- [25] Bai S B, Zhou G M, Wang Y X, Yu S Q, Li Y H, Fang F Y. Stand structure change of *Phyllostachys pubescens* forest expansion in Tianmushan national nature reserve. Journal of West China Forestry Science, 2012, 41(1): 77-82.

参考文献:

- [1] 孔垂华, 胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [2] 林文欢, 詹潮安, 陈红跃. 林木种间的化感作用. 世界林业研究, 2011, 24(5): 13-17.
- [3] 李霄峰, 胥晓, 王碧霞, 黄尤优, 王志峰, 李俊钰. 小五台山森林落叶层对天然青杨种群更新方式的影响. 植物生态学报, 2012, 36(2): 109-116.
- [4] 王贺新, 李根柱, 于冬梅, 陈英敏. 枯枝落叶层对森林天然更新的障碍. 生态学杂志, 2008, 27(1): 83-88.
- [5] 林文欢, 卢雅莉, 路光超, 陈红跃. 马尾松枝叶及枯落物水浸提液对火力楠种子发芽的影响. 种子, 2010, 29(12): 52-54.
- [6] 洪伟, 胡喜生, 吴承祯, 闫淑君, 封磊, 林勇明. 福建省毛竹混交林群落结构特征的比较. 植物资源与环境学报, 2004, 13(1): 37-42.
- [7] 丁丽霞, 王祖良, 周国模, 杜晴洲. 天目山国家级自然保护区毛竹林扩张遥感监测. 浙江林学院学报, 2006, 23(3): 297-300.
- [8] 白尚斌, 周国模, 王懿详, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊. 天目山保护区森林群落植物多样性对毛竹入侵的响应及动态变化. 生物多样性, 2013, 21(3): 288-295.
- [9] 朱旺生, 沈益新. 白三叶草和高羊茅不同品种对萝卜幼苗的化感作用. 南京农业大学学报, 2004, 27(1): 28-31.
- [10] 鲁美娟, 江洪, 李巍, 余树全, 曾波, 蒋馥蔚, 李佳, 金清. 模拟酸雨对刨花楠幼苗生长和光合生理的影响. 生态学报, 2009, 29(11): 5986-5994.
- [18] 黄启堂. 毛竹叶及其竹鞭生物物质对杉木种子的发芽效应. 福建林业科技, 2008, 35(2): 75-77.
- [20] 何飞武, 赖家业, 朱盛山, 蒋国秀. 毛竹叶化感成分对阳春砂仁种子发芽的影响. 仲恺农业工程学院学报, 2012, 25(2): 13-16.
- [21] 梁倩倩, 白尚斌, 周国模, 王懿详, 廖娟. 毛竹浸提液对高羊茅种子萌发及幼苗生长的影响. 浙江农业学报, 2012, 24(3): 434-439.
- [22] 吴晓华. 植物化感作用机理及其在园林植物配置中的应用. 山东林业科技, 2010, 40(3): 125-129.
- [23] 韩芬, 王辉, 边银霞, 李永兵. 华北落叶松枝叶挥发性物质的化学成分及其化感作用. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2327-2332.
- [24] 左继林, 胡松竹, 郭文才. 化感作用对林木种苗的影响机理及应用. 江西林业科技, 2004, (1): 27-29.
- [25] 白尚斌, 周国模, 王懿详, 余树全, 李艳华, 方飞燕. 天目山国家级自然保护区毛竹扩散过程的林分结构变化研究. 西部林业科学, 2012, 41(1): 77-82.