

固相微萃取 - 气相色谱质谱联用 测定水中桉树叶溶出物*

黄本胜¹, 洪昌红¹, 徐明智², 栾天罡², 王晓玮³

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510275;

2. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275;

3. 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275)

摘要: 为评价桉树叶水溶物对水环境的影响, 该研究采用固相微萃取 (SPME) 与气相色谱 - 质谱联用检测技术 (GC - MS) 研究了桉树叶在不同浸泡时间下的溶出物的组成与含量。在桉树叶溶出物中共发现 139 种化合物, 但不同浸泡时间所获得的溶出物化学组分差异较大。与文献报道过的结果比较发现, 采用 SPME 前处理方法可以鉴定出更多的化合物; 同时, 该研究也对桉树叶溶出物组分中相对丰度高 (>1%)、检出率大 (>80%) 的 22 种化合物进行了相对定量分析。结果发现有 7 种组分和总有机碳 (TOC) 随浸泡时间增加而增加, 其中 TOC 在浸泡 30 d 时到最大值 (5 848 ng/mL) 并保持稳定。对溶出物样品中常规水质参数的分析结果发现, COD 和 TN 超过国家《地表水环境质量标准》规定的 V 类水质标准, 而在浸泡 15 d 后, 其溶出物中的氨氮 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 超过 III 类水标准。因此, 在水库等水源地附近种植的桉树, 其桉树叶溶出物对水体环境质量存在一定的影响。

关键词: 桉树叶; 溶出物; 固相微萃取 (SPME)

中图分类号: O657.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529 - 6579 (2016) 03 - 0111 - 06

Qualitative and quantitative analysis of dissolved matters of eucalyptus leaves by solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry

HUANG Bensheng¹, HONG Changhong¹, XU Mingzhi¹, LUAN Tiangang², WANG Xiaowei³

(1. Guangdong Research Institute of Water Resource and Hydropower, Guangzhou 510080, China;

2. School of life science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. School of marine science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In order to reveal the effects of dissolved matters of eucalyptus leaves to the aquatic environments. Solid phase microextraction (SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was selected for qualitative and quantitative determination of dissolved matters of eucalyptus leaves in pure water during different immersing times in this study. By searching NIST database, 139 different chemicals are identified with the matching degree higher than 85%, and the composition of dissolved matters varies significantly during the immersing time. While using SPME as the sample pretreatment method, the identified chemicals are much more than those reported previously. Moreover, 22 chemicals with relative abundance higher than 1% and the detection rate higher than 80%, are investigated quantitatively. The result shows that 7 components increase by the increasing immersing times, and reach the highest concentration of 5 848 ng/mL after 30 days. Nevertheless, the COD and TN values of the dissolved matters are inferior to V class of surface water quality standards of China, while $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ is infe-

* 收稿日期: 2016 - 01 - 08

基金项目: 广东省水利科技创新资助项目 (2009 - 30); 高校基本科研业务费资助项目 (14lgpy22)

作者简介: 黄本胜 (1964 年生), 男; 研究方向: 水力学及河流动力学; 通讯作者: 王晓玮; E-mail: wangxw5@mail.sysu.edu.cn

rior to III class after 15 days. Obviously, more attentions should be paid for the effects of dissolved matters of eucalyptus Leaves to the aquatic environments.

Key words: eucalyptus leaves; dissolved matters; solid phase microextraction (SPME)

桉树 *Eucalyptus* sp. 原产于澳大利亚及附近岛屿, 是世界 3 大速生树种之一, 为常绿乔木^[1]。迄今已有包括我国在内的 120 多个国家和地区先后引种了不同品种的桉树。桉树叶可提炼挥发油, 广泛用于香料、调味、香水以及化妆品等^[2]。随着桉树人工林规模的不断扩大, 在带来经济效益的同时, 其在生态环境方面的负面影响也越来越受到人们的关注, 特别是水库周边桉树林对水源地水质的影响。

多年来, 对桉属植物成分研究主要集中在两方面: 一是挥发油成分分析和利用研究。桉属植物挥发油主要成分为 1, 8 - 桉叶油素、 α - 蒎烯、4 - 松油烯醇、 α - 松油醇、蓝桉醇等, 这些成分广泛用于医药、化工原料、香料调味、香水及化妆品制作等。二是桉树化感作用的研究, 大多数桉属植物具有不同程度的化感作用。桉属植物化感成分比较复杂, 包括烷烃、烯烃、芳香烃、醇、醛、酮、萜醌、萜类、烯酸酯、芳香酸酯等多种成分。有研究表明, 桉树对周围的生态系统具有较强的化感作用, 能释放出具有化感作用的代谢物, 抑制微生物或植物生长, 从而导致林内群落结构简单, 林下灌木于草本植物稀少, 同时, 桉树叶在水中的溶出物会影响植物种子的萌发率, 对生物多样性造成影响^[3-4]。但是, 对于桉树叶水溶物的研究还相对较少, 特别是经过细菌、真菌等微生物分解后的化学组分, 及其对水质的影响, 目前还未见报道。

固相微萃取 (SPME) 技术是由加拿大 Waterloo 大学的 Pawliszyn 教授于 1989 年最先提出的, 集采样、萃取、浓缩、进样于一体, 具有简便、快速、便携、高效、无需有机溶剂及易于与气相色谱 (GC)、高效液相色谱 (HPLC)、气质联用 (GC-MS)、毛细管电泳 (CE) 等分析仪器联用的优点^[5]。并且, SPME 可以通过不同的操作方式 (直接进入、顶空等) 以及不同的探针涂层材料, 对不同极性的化合物进行富集、萃取^[6]。因此, 本研究通过 SPME 与 GC-MS 联用技术相联合, 获取桉树叶在不同的浸泡天数下, 其溶出物的组成与含量, 为评价桉树叶溶出物对水环境的影响提供科学依据。

1 实验部分

1.1 实验材料及仪器设备

实验所需的 SPME 萃取探针 (Fiber) 为 Supelco

公司的 100 μm 聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 以及 85 μm 聚丙烯酸酯 (PA)。样品的萃取以及进样主要通过 Gerstel MPS2 多功能自动进样器完成, 而用于定性、定量分析的气相色谱质谱联用仪 (GC-MS) 则采用 Agilent 的 7890 GC 以及 5975c MS, 溶出物样品的总有机碳 (TOC)、总氮 (TN) 分析采用美国 OI 公司的 TOC 1030D, 溶出物的 COD 以及氨氮则采用美国哈希 (HACH) 水质分析仪进行测定。

1.2 桉树叶溶出、SPME 萃取及仪器分析条件

将 500 g 桉树叶 (湿质量) 浸泡在 2 L 超纯水中, 分别在第 1 天、第 7 天、第 15 天、第 30 天以及第 60 天平行采集浸泡后的水样 3 份。对于桉树叶在不同浸泡时间后的样品在进入 GC-MS 进行定性定量分析前, 根据组分不同的极性, 对其进行富集萃取。即, 对于溶出物中非极性组分采用 PDMS 作为涂层材料的 SPME 萃取头, 而对于中等极性组分则采用 PA 材料的 SPME 萃取头, 两种萃取头均分别以顶空及直接浸入两种方式进行萃取。对于直接浸入式萃取, 每个样品为 10 mL, 顶空萃取则采用 5 mL 样品, 萃取时间均设置为 60 min, 解吸附时间为 3 min (280 $^{\circ}\text{C}$)。对于顶空萃取的样品, 萃取过程在 60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下进行 (预热 5 min), 而对于直接浸入式 SPME 萃取, 则在室温 (25 $^{\circ}\text{C}$) 条件下操作。GC-MS 仪器条件包括: 载气为高纯氦气 (99.999%), 流速为 1.0 mL/min, 进样口温度为 280 $^{\circ}\text{C}$, 升温程序为: 初始温度为 60 $^{\circ}\text{C}$, 然后以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至 300 $^{\circ}\text{C}$ 并且保留 5 min。质谱采用扫描方式 (Scan mode), 相对分子质量为 50 ~ 550, 离子源电离能量为 70 eV。

此外, 桉树叶浸泡后的每份水样, 分别取 10 mL 过 0.7 μm 的玻璃纤维滤膜 (GF/F, Whatman), 然后进入总有机碳分析仪分析其中的总有机碳 (TOC) 以及总氮 (TN) 的含量。氨氮以及 COD 的测定则采用 HACH 水质分析仪进行测定。

1.3 数据处理

桉树叶溶出物定性结果与 NIST 数据库中的 NIST02 和 NIST08 进行比对, 当匹配度超过 85% 的时候认为定性准确, 并记录结果。每份溶出物样品分别经过 PDMS 探针以及 PA 探针进行富集萃取 (分别以直接浸入式以及顶空萃取两种方式进行), 并将所得定性结果进行合并 (4 个数据)。

2 结果与讨论

2.1 桉树叶溶出物定性结果分析

浸泡时间分别为 1、7、15、30 以及 60 d, 共 5 组浸泡实验组的总离子流图叠加如图 1 所示, 溶出物样品中一共定性检出 139 种化合物。桉树叶在纯水中浸泡 1 d 溶出物为 64 种, 浸泡 7 d 溶出物为 40 种, 浸泡 15 d 溶出物为 70 种, 浸泡 30 d 溶出物为 44 种, 浸泡 60 d 溶出物为 99 种。由以上结果可知, 桉树叶溶出物的化学组成是非常复杂的。有文献报道^[1], 从桉叶中已分离鉴定的化合物达一百余种, 并且其化学组成随树种、树龄、生长地理环境、采集季节以及部位等的不同而有很大差异。同时, 桉树叶挥发油、水浸物等化学组分(平均约为 20~60 种)主要通过水蒸气蒸馏法、有机溶剂液液萃取(LLE)法等进行富集与萃取, 然后进入 GC-MSD 分析^[1,7-9]。受到萃取溶剂的选择性以及进样量(一般进样量只有最后定容后体积的 1/1 000 或者 1/500)的限制, 一些浓度或响应值较低的化合物则无法被准确定性定量。显然, 通过采用不同材料的 SPME 对桉树叶溶出物样品进行富集进样并且将所得结果合并, 可以最大限度的得到桉树叶溶出物的定性结果。

将定性结果与已报道的文献[10-11]以及中国科学院上海有机所植物化学数据库(7种桉树品种中桉树叶的化学组分)进行比对^[12], 结果发现在本研究中所获得的 139 种化合物中, 有 48 种为已报道的桉树叶中的化学组分, 包括: 左旋- α -蒎烯、右旋- α -蒎烯、 β -蒎烯、水芹烯、松油烯、3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯、桉

叶油醇、 γ -松油烯、萜品油烯、芳樟醇、4-甲基-2-(2-甲基丙基)四氢-2H-吡喃、小茴香醇、松香芹酮、2-茨醇、(-)-4-萜品醇、 α -松油醇、乙酸松油酯、反式石竹烯、顺-茉莉酮、(+)-香橙烯、 α -石竹烯、(+)-喇叭烯、*d*-杜松烯、白菖蒲烯、橙花叔醇、桉油烯醇、匙桉醇、香树烯、石竹素、(-)-蓝桉醇、蓝桉醇、佛术烯、白千层醇、喇叭茶醇、(+)- γ -古芸烯、 α -毕橙茄醇、 α -蒎烯、十六酸、左旋- β -蒎烯、4-异丙基甲苯、双戊烯、4-萜烯醇、香叶醇、(*Z*)-石竹烯、亚油酸和亚麻酸。本研究对其余的 91 种化学组分进行研究, 发现其中有 36 种作为已报道的植物中的化学组分, 有可能是本实验中桉树叶的溶出组分(主要为萜烯类化合物), 主要包括 *P*-伞花烃、(+)-柠檬烯、2-萜烯、*D*-樟脑、异龙脑、合成右旋龙脑、8-对-薄荷三烯、乙酸异龙脑酯、2,3-蒎烷二醇、反式-2-辛烯酸乙酯、百里醌、 δ -榄香烯、4-萜烯、 α -恰米稀、丁香酚、 α -金合欢烯、 α -榄香烯、 α -瑟林烯、 α -萜烯、*Z*- β -紫罗酮、(+)-瓦伦亚烯、二环倍半水芹烯、*T*-依兰油醇、 β -杜松烯、愈创木烯、*b*-侧柏烯、(1*S*)-(+)-3-萜烯、别罗勒烯、 α -松油醇、丁香酚、(-)-异丁香烯、月桂酸、杜鹃醇、紫罗烯、 α -藿香萜烯和肉豆蔻酸。

同时, 除了已有文献报道的 48 种以及可能为桉树叶溶出的 36 种化合物, 另外的 54 种可能来源于桉树叶溶出物在水样中的降解产物, 包括 2,4-二溴-6-硝基苯胺、异戊酸乙酯、戊酸乙酯、正己酸乙酯、间甲酚、对甲苯酚、1-甲基-4-(1-甲基乙基)苯、左旋葡萄糖酮、十四烷、正十六烷、*trans*-4-(isopropyl)-1-methylcyclohex-

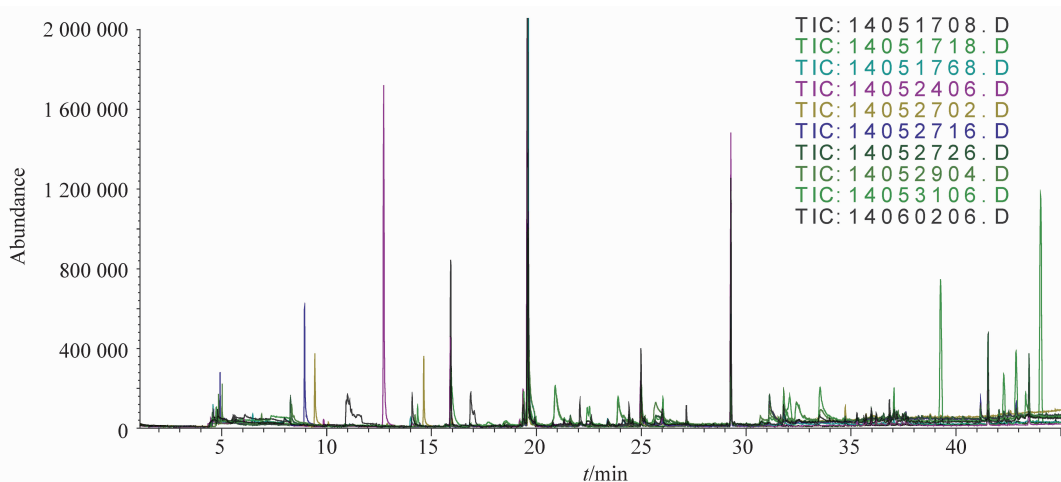


图1 桉树叶在纯水中的溶出物的总离子流图(TIC)

Fig. 1 Total ion chromatography of dissolved matters of eucalyptus leaves in pure water

2-en-1-ol、双酚 A、3,6-二氢-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃、(1 α ,2 α ,5 α)-2,6,6-trimethylbicyclo[3.1.1]heptan-3-one、4-乙基苯酚、(1 α ,2 β ,5 α)-2,6,6-trimethylbicyclo[3.1.1]heptan-3-one、(1,7,7-三甲基降冰片烷-2-YL)乙酸、2,6-dimethyloctane, hexadecydro derivative、2,6-二甲基萘、1,6-脱水- β -D-葡萄糖、2-isopropyl-5-methyl-9-methylene[4.4.0]dec-1-ene、二十烷、6-isopropyl-4,8 α -dimethyl-1,2,3,7,8,8 α -hexahydronaphthalene、苯酮、二苯基甲烷、11-isopropyl-7-methyl-4-methylene-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene、正十五烷、乙位环高柠檬醛、1,2,3,4,6,8 α -hexahydro-1-isopropyl-4,7-dimethylnaphthalene、(1R,8 α)-decahydro-4a β -methyl-8-methylene-2 β -(1-methylethyl)naphthalen-1 α -ol、2-十五烷酮、脱氢枞酸甲酯、顺-3-己烯-1-醇、甲氧基-苯基-肟、2-苯基乙醇、(1S-exo)-1,3,3-trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-ol、2-乙基苯酚、3-乙基苯酚、2,3-二氢苯并咪唑、1,3,3-trimethyl-2-oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol、2-甲基-1-十二(碳)烯、吡啶、丁酸 1-甲基-1-(4-甲基-3-环己烯-1-基)乙酯、甲苯-2,4-二异氰酸酯、2,4-二氨基甲苯、5-甲基-1,3-二氢苯并咪唑-2-酮、6-脱水- β -D-葡萄糖、1-萘酚、1,1-diphenylgermolane、1,4-二苯丁烷、9-羟基芴、7,10,13-hexadecatrienal、(7Z,10Z,13Z)-10-顺-十七碳烯酸。

上述 54 种化合物中, 主要包括了酯类、直链及支链烷烃、3 种葡萄糖衍生物以及烷基苯酚类化合物等。值得注意的是, 其中还包括了双酚 A (来源广泛)、2,6-二甲基萘 (来源于原油或燃烧等)、1-萘酚等 (萘的降解产物) 和 9-羟基芴 (芴的降解产物) 等公认的环境有机污染物, 但是其具体来源仍不确定, 也许是通过叶表的大气吸附或植物根部吸收和转运。

2.2 桉树叶溶出物相对定量结果分析

为了探讨桉树叶溶出物在水样中的相对含量, 选取不同浸泡天数下, 总离子流出色谱图 (TIC) 中平均相对峰面积大于 1% 的溶出物 (浓度相对较大) 且与 NIST 数据库比对匹配度大于 85% 的化合物 (共计 51 种) 作为研究对象, 发现含量较大的化合物 (平均相对丰度) 包括桉叶油醇 (48.41%)、 α -恰米稀 (10.21%)、2,3-二氢苯并咪唑 (21.07%)、 α -毕橙茄醇 (5.86%)、

对甲苯酚 (6.97%)、4-乙基苯酚 (8.08%)、5-甲基-1,3-二氢苯并咪唑-2-酮 (5.06%) 和 1,6-脱水- β -D-葡萄糖 (6.08%)。对 51 种化合物进行进一步筛选, 找出样品中出现频率高的化合物 (检出率 > 80%) 探讨其在不同浸泡时间中相对丰度的变化规律, 结果如表 1 所示。

表 1 中的定量结果大致分为 3 类, 第 1 类为随着浸泡时间增加其相对丰度也增加的, 包括 α -松油醇、4-萜烯、乙酸松油酯、邻苯二甲酸二丁酯、(+)-柠檬烯、 γ -松油烯以及对甲苯酚; 第 2 类为随着浸泡时间的增加而相对丰度减少的, 主要包括右旋- α -蒎烯、1,6-脱水- β -D-葡萄糖、桉油烯醇、T-依兰油醇、 α -毕橙茄醇、双酚 A、脱氢枞酸甲酯、5-甲基-1,3-二氢苯并咪唑-2-酮、(+)-桉油烯醇以及十六酸; 第 3 类则为随着浸泡时间的增加而相对丰度不变化, 主要包括桉叶油醇、2-茨醇、合成右旋龙脑、邻苯二甲酸二异丁酯以及芳樟醇。

桉树叶在不同浸泡天数下水样中 TOC 的变化规律如图 2 所示。可见, 桉树叶溶出物中的 TOC 随着浸泡时间的增加而增加, 并且大约在浸泡 30 d 后达到平衡, 在浸泡 60 d 以后, 其 TOC 质量浓度均为 4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 左右。

2.3 桉树叶溶出物对水质的影响

为了更深入地探讨桉树叶溶出物对水质的影响, 我们根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 选取了 pH 值、COD、TN 以及氨氮作为评价指标。结果发现, 桉树叶浸泡溶液的 pH 值均随着浸泡天数的增加而降低 (图 3(a))。pH 值的降低会改变水体样品中微生物群落结构以及功能, 在酸性条件下细菌的生长会受到抑制, 从而更利于真菌的生长。《地表水环境质量标准》中对于 pH 值的规定范围为 6~9, 对于桉树叶浸泡 15 d 以后, 水样的 pH 值均小于 5。

由前述定性结果可知, 桉树叶溶出物中主要以小分子有机物为主, 并且难以对所有的溶出物进行定性定量分析 (特别是相对分子质量大、极性大的一些有机化合物), 而这些小分子有机化合物在进入水体环境后可能会对水质产生影响, 其中一些组分可以通过被氧化的方式消耗水体中的溶解氧。桉树叶溶出物随着浸泡时间增加而增加, 使 COD 增加 (图 3(b)), 且浓度均高于《地表水环境质量标准》中的 V 类水质标准。COD 浓度在浸泡 15 d 达到最大值 (2 280 mg/L), 超过 V 类水标准的 57 倍。显然, 桉树叶溶出物包含大量的还原性有机

表 1 桉树叶溶出物中化合物相对丰度随浸泡时间的变化¹⁾

Table 1 Variation of the relative abundance of dissolved matters of eucalyptus leaves during different immersing times %

序号	中文名称	浸泡时间/d				
		1	7	15	30	60
1	右旋- α -蒎烯	5.18	1.66	0.39	2.17	2.03
2	桉叶油醇	48.83	48.01	61.89	49.79	33.55
3	2-蒎醇	1.56	0.31	0.37	0.98	1.63
4	合成右旋龙脑	1.14	1.68	nd	0.38	1.30
5	α -松油醇	0.60	0.80	1.65	1.92	3.70
6	4-萜烯	3.24	0.71	2.25	nd	7.24
7	乙酸松油酯	1.44	4.58	4.31	7.1	2.52
8	1,6-脱水- β -D-葡萄糖	nd	10.64	5.58	2.26	2.62
9	桉油烯醇	3.84	1.89	0.82	0.32	0.5
10	T-依兰油醇	5.38	9.31	0.80	nd	3.30
11	α -毕橙茄醇	16.04	18.02	8.74	6.47	3.34
12	邻苯二甲酸二异丁酯	nd	2.27	2.15	2.38	0.32
13	邻苯二甲酸二丁酯	0.51	1.54	1.52	2.01	nd
14	双酚 A	2.33	1.85	1.55	0.93	nd
15	脱氢枞酸甲酯	2.43	3.65	0.30	nd	0.78
16	(+)-柠檬烯	0.59	0.66	0.46	1.58	5.87
17	γ -松油烯	0.80	1.20	2.60	nd	1.80
18	对甲苯酚	1.38	3.48	5.68	7.25	6.69
19	芳樟醇	2.14	2.18	2.42	nd	2.15
20	5-甲基-1,3-二氢苯并咪唑-2-酮	4.83	3.78	3.26	1.98	1.03
21	(+)-桉油烯醇	4.87	3.19	0.32	0.51	1.06
22	十六酸	-	2.74	1.45	1.95	1.67

1) nd 表示没有检出

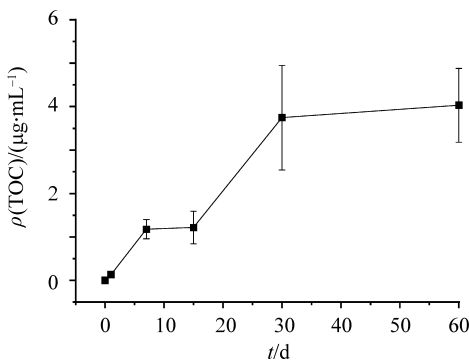


图 2 桉树叶在不同浸泡时间下水中 TOC 含量 (mg/mL) 的变化

Fig. 2 Variation of TOC content of dissolved matters of eucalyptus leaves during different immersing times

物，这些有机物除了大量消耗水中的溶解氧之外，其本身也会对水生生物造成影响。

对于溶出物 TN 的研究结果表明 (图 3 (c))，桉树叶在纯水以及自来水中溶出物的 TN 浓度也随着浸泡天数增加而增加。所有的桉树叶浸泡样品，其 TN 值超过标准中的 V 类水浓度，其中溶出物样品中最高为 44.6 mg/L (60 d)，超过 V 类水标

准的 22 倍。有文献报道，由于桉树种植过程中盲目、不合理地施加氮肥，致使桉树种植区氮含量过高，随地表径流流入到附近水库中而造成地表水氮污染以及水体富营养化^[13-14]。显然，桉树叶水溶物也可以成为水体氮污染的来源之一。

不仅如此，水体中 TN 由不同形态的 N 元素组成，主要包括亚硝氮 (NO_2^-)、硝氮 (NO_3^-) 以及氨氮等。其中，氨氮是指水中以游离氨 (NH_3) 和铵离子 (NH_4^+) 形式存在的氮。氨氮是水体中的主要耗氧污染物，对鱼类及某些水生生物有急性或慢性毒理^[15]。并且，水中的氨氮可以在一定条件下转化成亚硝酸盐，如果长期饮用，水中的亚硝酸盐将和蛋白质结合形成亚硝胺，这是一种强致癌物质，对人体健康造成严重影响。结果显示 (如图 3 (d))，桉树叶溶出物样品总体随着浸泡时间的增加而增加。并且，只有桉树叶在纯水中浸泡时间超过 15 d 后，水中的氨氮含量超过《地表水环境质量标准》中 III 类水标准的浓度，相关标准主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及

游泳区。因此,在水库等水源地附近种植的桉树,其叶子的溶出物会对影响水体质量的氨氮污染有一定的贡献。

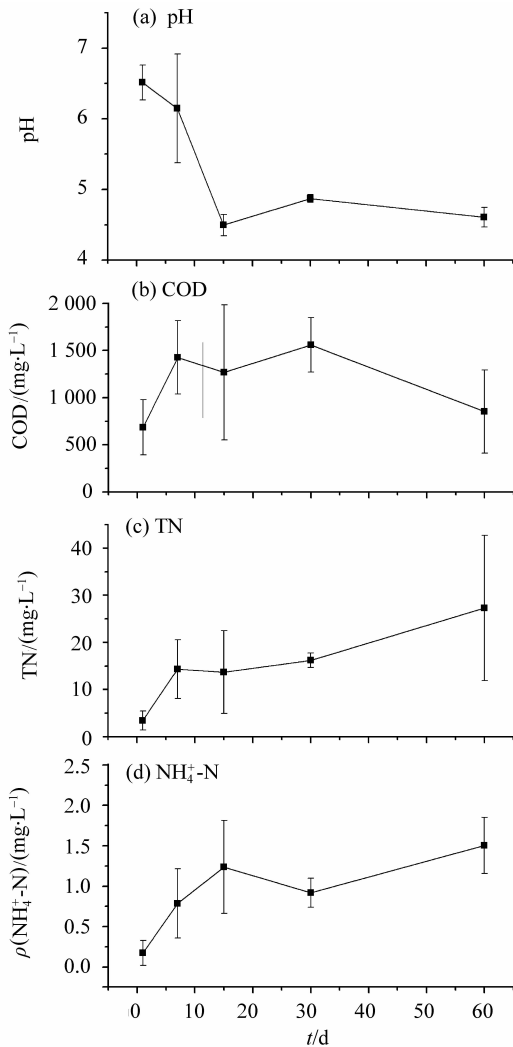


图3 桉树叶在不同浸泡时间下溶出物样品中 pH 值(a), COD(b), TN(c), NH₄⁺-N(d)的变化规律

Fig. 3 Variation of pH (a), COD (b), TN (c) and NH₄⁺-N (d) of dissolved matters of eucalyptus leaves during different immersing times

3 结论

1) 通过 SPME 与 GC-MS 联用的方法,对桉树叶在不同浸泡时间下的溶出物进行定性定量分析,共定性出 139 种化合物,其中有 36 种为可能为新发现的桉树叶组分,而其余 63 种组分可能来源于环境/实验污染或者是桉树叶溶出组分的降解产物;

2) 采用 SPME 作为样品的前处理方法,并针对溶出物样品中化合物的极性不同而选取不同萃取

材料的探针以及萃取方式,可以从溶出物样品中鉴定出更多的化合物;

3) 桉树叶溶出组分随着浸泡时间的增加而增加,但不同浸泡时间下溶出物的化学组分差异过大,因此可采用溶出物样品的 TOC 用于指示溶出物的组成及含量。在定量研究的 22 种溶出物中,随着浸泡时间增加有 7 种化合物的含量增加,10 种减少,5 种保持不变。

4) 桉树叶溶出物均能显著影响水体环境中的 pH、COD 以及 TN 值,进而对影响水体环境质量。

参考文献:

- [1] 李群,谭韵雅,王平,等. 大叶桉叶水浸提液成分分析[J]. 广西植物,2014,34(4):520-524.
- [2] 杨静学,黄本胜,洪昌红,等. 基于遥感技术的广州市水库库区桉树林覆盖变化情况研究[J]. 广东水利水电,2015(2):65-69.
- [3] 朱宇林,谭萍,卢绍峰,等. 桉树叶水浸提取液对 4 种植物种子化感作用的生物测定[J]. 西北林学院学报,2011,26(1):134-137.
- [4] 杨东升,李会萍,谢晓红,等. 海南桉叶提取物熊果醇和桉叶油的抑菌特性研究[J]. 化学与生物工程,2009,26(12):60-62.
- [5] WANG Xiaowei, CHEN Ruohong, LAN Tiangang, et al. Full automatic determination of chlorophenols in water using solid-phase microextraction/on-fiber derivatization and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Separation Science, 2012, 35:1017-1026.
- [6] DENG Jiewei, YANG Yunyun, WANG Xiaowei, et al. Strategies for coupling solid-phase microextraction with mass spectrometry[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2014, 55: 55-67.
- [7] 陈婷婷,周晓农,朱丹,等. 广东尾叶桉叶挥发油化学成分的气相色谱-质谱分析[J]. 广东药学院学报,2011,27(5):464-467.
- [8] 吴青业,关业枝,张清明,等. 两种方法提取桉树叶挥发油成分的比较研究[J]. 中药材,2010,33(8):1346-1349.
- [9] 陈月圆,卢凤来,李典鹏,等. 不同品种桉树叶挥发性成分的 GC-MS 分析[J]. 广西植物,2010,30(6):895-898.
- [10] 殷清华,梁振益,陈祎平,等. 桉树叶挥发油化学成分的研究[J]. 化学分析计量,2008,17(3):30-31.
- [11] 陈虹霞,王成章. 4 种非洲桉树叶挥发油的化学成分研究[J]. 生物质化学工程,2010,44(6):23-27.
- [12] http://202.127.145.134/scdb/main/plant_introduce.asp[DS].
- [13] 杨凤根,赵燕容,郭晋川,等. 广西速生桉树种植区水库水化学特征及其氮来源研究[J]. 江西农业学报,2015,27(10):6-10.
- [14] 朱婷. 汤溪水库富营养化与浮游植物分布特征[J]. 广东水利水电,2015(8):48-52.
- [15] 闫振广,孟伟,刘廷涛,等. 我国淡水生物氨氮基准研究[J]. 环境科学,2011,32(6):1564-1570.