

文章编号:1674-0874(2018)05-0001-04

石墨烯对欧洲山杨组培苗不定根表观形态影响作用的研究

姚建忠¹, 张占才², 薛斌龙¹, 周玉泉¹, 胡晓飞², 邢宝岩², 王海雁^{2*}, 白鹤鹤²,
刘鑫杰², 赵建国^{2*}

(1. 山西省桑干河杨树丰产林实验局, 山西大同 037006;

2. 山西大同大学化学与环境工程学院/炭材料研究所, 山西大同 037009)

摘要: 研究了不同浓度石墨烯溶胶(Graphene Gel)对欧洲山杨组培苗不定根的形态、分化状况和生长状况的影响。发现适宜浓度的石墨烯能够促进植株不定根伸长、主根形成, 促进不定根根数的增加, 使根系健壮、颜色加深; 同时植株分芽及苗高均与对照组呈显著差异, 叶片颜色深绿。高浓度石墨烯处理的组培苗虽然形成明显黑褐色主根系, 但须根稀少, 其植株地上部分颜色浅绿略微发黄, 叶片变小, 正常生长发育被抑制。这表明石墨烯能够与培养基中阳离子以及植物生长激素等发生相互作用, 引起植株根系微区域周围营养成分改变, 导致植株发生表观形态变化。

关键词: 石墨烯溶胶; 欧洲山杨; 组培苗; 不定根

中图分类号: S722

文献标识码: A

碳纳米材料在各种类型的纳米材料中, 以其特殊的机械、电磁特性成为最具有前景的材料之一^[1]。石墨烯是一种由碳原子组成的六角型呈蜂巢晶格的平面薄膜, 是目前已知的世界上最薄、最坚硬、导电性最好的纳米材料。石墨烯溶胶(Graphene Gel)是经过表面功能化修饰的石墨烯纳米材料(Graphene Family Nanomaterials, GFNs)中的一种, 其单层碳原子基面含 π - π 堆积等作用力, 联接了羟基、羧基、环氧键等富氧官能团^[2]。这些含氧官能团赋予了石墨烯溶胶良好的亲水性、分散性和生物相容性^[3]。研究发现低浓度的碳纳米材料对植物的生长发育起到生物毒害作用^[4]。石墨烯对杨树组培苗的影响作用未见报道。

林木植物在所有陆地生态系统中具有最大的生物量和生物生产力。杨属植物作为林业研究的模式植物, 具有优良的实验特性: 容易进行种间杂交和无性繁殖; 生长迅速、并已建立完善的遗传转化系统; 基因组相对较小, 约450~550 Mbp, 易于进行遗传研究; 适应性强、生长速度快、丰产性强

等^[5]。欧洲山杨(*Populus tremula* linn)为白杨派(Sect. *Populus*)树种, 属于杨属, 该树种具有生长迅速、材性好、抗病虫害能力强等优良特性, 是营造用材林、防护林的优良树种。

本研究采用欧洲山杨组培苗作为试验材料, 研究石墨烯溶胶处理对欧洲山杨组培苗不定根形态、分化状况等方面的影响, 为更加合理使用碳纳米材料, 揭示植物对纳米材料生态效应的反馈作用研究提供基础数据支持。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

培养山西省杨树局科技中心组培室保存的欧洲山杨(*Populus tremula* linn)组培苗作为试验材料, 石墨烯溶胶由大同大学炭材料研究所提供。

挑选生长良好且发育一致的欧洲山杨组培苗作为试验材料。取欧洲山杨组培苗的相同部位, 将其修剪成2 cm长、无顶芽、具2片叶的茎段, 分别转入添加不同浓度(0、0.25、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、

收稿日期: 2018-09-02

基金项目: 山西省石墨烯产业化应用技术协同创新中心[晋财教(2017)204号]; “1331”工程资助山西省石墨烯功能材料工程技术中心开放基金[DTGH2017002; DTGH2017012]; 山西省人才专项[201705D211010]; 山西省重点研发计划[工业项目 201703D121037-2]; 大同市应用基础研究[2017123]、[2017126]

作者简介: 姚建忠(1973-), 男, 山西阳高人, 工程师, 研究方向: 林木育种; *王海雁, 女, 博士, 教授, 通信作者; *赵建国, 男, 博士, 教授, 通信作者。

7.5 mg / L)石墨烯溶胶的(1/2MS+0.05mg / L α -萘乙酸+0.3 mg / L吲哚丁酸)的培养基中进行生根培养, 浓度编号对应为1~8, 试验中每个浓度处理30瓶。对诱导后的组培苗进行同样的光照, 培养温度为 25 ± 2 °C, 光照强度2 000 LX, 光照时间14 h, 培养30 d。

1.2 测定方法

从山西省杨树局科技中心组培室采集样本。用自来水冲洗根系培养基, 再用去离子水洗净, 吸干水分。应用LA-S根系分析系统测量生根率、苗高、最长根、最短根、根数和芽数。

1.3 数据统计分析

采用SPSS22.0和Origin8.5软件进行方差分析, 检验水准为 $P = 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 不同浓度石墨烯溶胶处理对欧洲山杨不定根形态的影响

如图1所示, 经0.5 mg / L石墨烯溶胶处理后, 欧洲山杨组培苗处理组的不定根与对照相比并没有明显变化, 整个根系呈辐射状, 须根毛白色浓密, 没有明显主根。图2显示经适中浓度(3.0 mg / L)作用后, 处理组根系形态与对照组明显不同, 不仅根系颜色加深, 更有粗壮主根出现。图3显示经7.5 mg / L的石墨烯溶胶处理后处理组培苗形成明显主根, 根系颜色变深, 但须根较对照组稀疏。

不定根中的主根主要起固定植物的作用, 须根负责收集、吸收养分。组培苗的练苗成活率主要取决于主根是否足够粗壮, 须根是否足够浓密。矿质养分和激素影响着不定根生长发育各个阶段, 尤其对须根末端生长影响大。植物根系吸收土壤中氮元素影响植物须根的生长, 同时研究还发现钙与钾也参与须根的生长发育^[5]。石墨烯溶胶中的负电官能团能与培养基中无机盐离子、 NH_4^+ 等发生静电作用, 使得组培苗根系微区域离子浓度发生集聚, 促进植株生长成不同的根系形态。



图1 0.5mg/L石墨烯溶胶处理后欧洲山杨组培苗不定根形态变化



图2 3.0mg/L石墨烯溶胶处理后欧洲山杨组培苗不定根形态变化



图3 7.5mg/L石墨烯溶胶处理后欧洲山杨组培苗不定根形态变化

2.2 不同浓度石墨烯溶胶处理对欧洲山杨不定根发生的影响

如图4~7统计分析所示, 培养基中添加3.0 mg / L石墨烯溶胶处理后, 组培苗的生根率达到100%。设定3.0 mg / L为最适宜浓度, 此浓度作用下的生根率为100%, 该浓度作用下的生根率和最短根统计结果与其它处理相比并没有表现出显著性差异。最长根和根数的统计结果表明最适宜石墨烯溶胶浓度作用下的组培苗根更粗壮, 主根更长更多, 根系特征显著优于对照, 统计结果与形态表现一致。表明适宜浓度的石墨烯增强了根系吸收水分和养分的能力, 促进根系健壮生长。

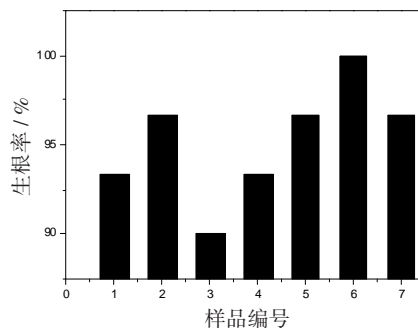
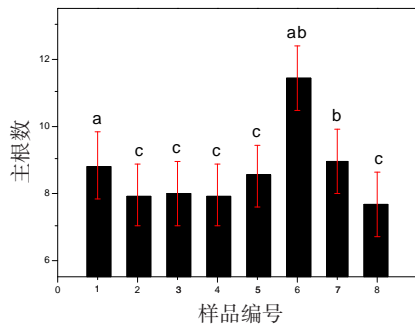
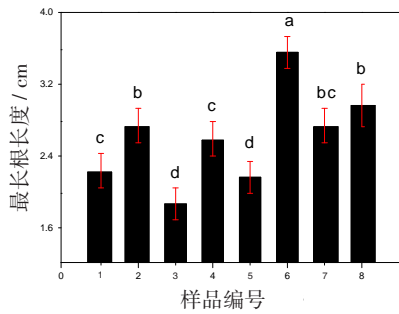


图4 不同浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨生根率统计



注:小写字母表示不同处理间差异显著

图5 不同浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨组培苗根数统计



注:小写字母表示不同处理间差异显著

图6 不同浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨最长根统计

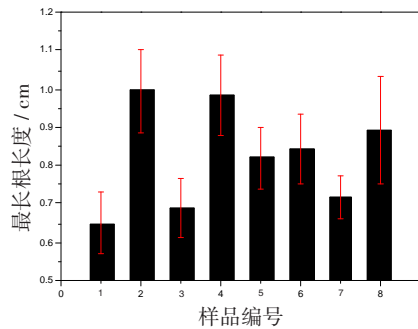


图7 不同浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨最短根统计

2.3 不同浓度石墨烯溶胶处理对欧洲山杨组培苗地上部分形态的影响

如图8所示,在0.5 mg/L石墨烯溶胶处理后,欧洲山杨组培苗地上部分形态与对照并没有明显变化,植株叶片大,叶色浓绿,但分芽较少。由图9可以看出,3.0 mg/L浓度处理后,欧洲山杨组培苗与对照相比植株叶子相差不大,但分芽相对增多。由图10可知,7.5 mg/L的GO处理相对对照植株叶子明显减小,芽数增多,但叶色淡绿。

图11~12可知,选定的适宜浓度(3.0 mg/L)能够促进植株芽数以及苗高的生长,与其它浓度的统计数据相比均呈显著性差异。高浓度石墨烯溶

胶能促进组培苗对培养基中生长激素的吸收,导致芽数增多,但并不同时促进叶绿素合成,导致叶色发黄。

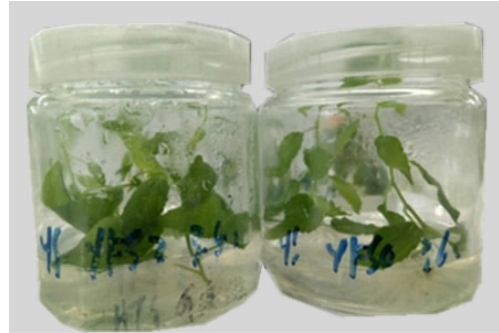


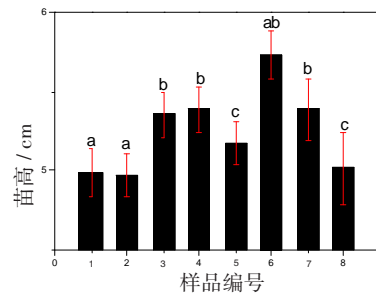
图8 0.5 mg/L低浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨地上部分形态



图9 3 mg/L适中浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨地上部份分形态

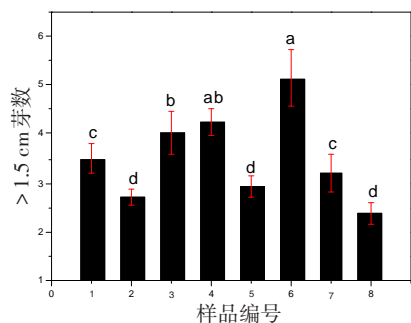


图10 7.5 mg/L高浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨1.5 cm芽数的变化



注:小写字母表示不同处理间差异显著

图11 不同浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨苗高统计



注:小写字母表示不同处理间差异显著

图 12 不同浓度石墨烯溶胶处理下欧洲山杨 > 1.5cm 芽数统计

3 结论

在本实验设定的石墨烯溶胶作用浓度范围内,经处理的欧洲山杨组培苗植株不定根和地上部分形态均发生变化,但较低浓度的石墨烯处理植株并未出现显著性差异。选定的适宜浓度(3 mg/L)石

墨烯溶胶的作用促进了植株根系伸长、主根形成、加深根系颜色,同时促进不定根的根数增加;而且植株地上部分分芽明显增多,颜色深绿,苗高变化也有显著性差异。而高浓度(7.5 mg/L)的石墨烯溶胶处理抑制了植株正常生长发育,虽然形成明显主根系,但根系稀疏,颜色呈黑褐色。植株地上部分颜色浅绿略微发黄,叶片变小。不同浓度石墨烯对组培苗不定根表现形态的影响不同,意味着其对培养基中无机盐、激素和水份的聚集输送是多种因素协同作用,需要进一步建立溶胶状态下多电子流转的相互作用模型,反推机理。

总之,石墨烯溶胶能够与组培瓶培养基中无机盐离子和生长激素以及水份发生静电作用,影响到植株不定根周围微区域的营养状态改变,导致植株根系表现形态发生变化,进而影响到植株地上部分的生长状况和形态,进一步机理研究正在进行中。

参考文献

- [1] Dresselhaus M S, Dresselhaus G, Jorio A. Unusual properties and structure of carbon nanotubes [J]. Annual Review of Materials Research, 2004, 34(1): 247 - 278.
- [2] Shih C J, Lin S, Sharma R, et al. Understanding the pH-dependent behavior of graphene oxide aqueous solutions: a comparative experimental and molecular dynamics simulation study [J]. Langmuir, 2012, 28(1): 235 - 241.
- [3] Dreyer D R, Park S, Bielawski C W, et al. The chemistry of graphene oxide [J]. Chem Soc Rev, 2010, 39(1): 228.
- [4] Arnab M, Sanghamitra M, Servin A D, et al. Carbon nanomaterials in agriculture: a critical review [J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 172.
- [5] 牛耀芳. 大气 CO₂ 浓度升高对拟南芥根毛发育与养分吸收的影响及根系对养分的响应机理 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

Effect of Graphene on Adventitious Roots' Morphology of Tissue Culture Seedlings of *Populus Davidiana*

YAO Jian-zhong¹, ZHANG Zhan-cai², XUE Bin-long¹, ZHOU Yu-quan¹, HU Xiao-fei², XING Bao-yan²,
WANG Hai-yan^{2*}, BAI He-he², LIU Xin-jie², ZHAO Jian-guo^{2*}

(1. Shanxi Poplar High-yield Forest Bureau, Datong Shanxi, 037006; 2. School of Chemistry and

Environmental Engineering /Institute of Carbon Materials Science, Shanxi Datong University, Datong Shanxi, 037009)

Abstract: The effects of different concentrations of grapheme gel on adventitious roots morphology, differentiation and plant growth of poplar were studied. It was found that grapheme gel of suitable concentration could promote the elongation of adventitious roots and the formation of main roots, deepen the color of roots and the number of adventitious roots also increased. Meanwhile, the plants are significantly different in budding and seedling height from the control group, and the leaf color was dark green. Grapheme gel of high concentration inhibited normal growth and development of plants, although the plantlets formed the main dark brown root system, the fibrous roots were rare, the shoot color of the plantlets was light green and yellowish, the leaves became smaller. The results showed that grapheme gel can interact with cations in the medium, resulting in a decrease in the conductivity of the medium, and cause changes in ion and growth hormone concentration around the plant roots, resulting in changes of plant morphology, differentiation and growth.

Key word: graphene gel; populus tremula linn; tissue culture seedlings; adventitious roots

[责任编辑 杨德兵]