

磁化处理对绒毛白蜡嫩枝扦插生根的影响

张新宇^{1,2}, 董玉峰³, 刘佩迎², 刘秀梅^{1,2}, 朱 红^{1,2}, 王华田^{1,2}

(1. 山东农业大学 山东省高校森林培育重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018; 3. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 257091)

摘要: 以绒毛白蜡 ‘鲁蜡 5 号’ *Fraxinus velutina* ‘Lula-5’ 无性系 3 年生母树的当年生半木质化枝条为试材, 采用完全随机区组试验设计, 研究了磁化水喷淋(MW)+磁化毯(MR), 磁化水喷淋(MW)及非磁化水喷淋(ck)等 3 个处理对绒毛白蜡生根率、生物量积累、根系营养物质含量的影响。结果表明: ①MW+MR 处理有利于促进插条生根, 插穗生根率和根系效果指数均极显著高于 MW 处理及 ck($P<0.01$); 新梢平均基径和平均长度均显著高于 MW 处理及 ck($P<0.05$)。②磁化处理对扦插苗细根形态有显著影响, 其中 MW+MR 处理和 MW 处理的细根长度、直径、表面积和体积显著高于 ck($P<0.05$)。③MW+MR 及 MW 处理氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜、可溶性糖质量分数均高于 ck, 钠质量分数则低于 ck, 差异极显著($P<0.01$)。因此, 磁化处理有利于提高绒毛白蜡嫩枝扦插生根率, 根系生长发育、生物量积累和营养物质的积累得到进一步提高。图 2 表 2 参 22

关键词: 森林培育学; 绒毛白蜡; 扦插; 根系; 磁化处理

中图分类号: S792.41

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)05-0949-06

Magnetic treatment on rootings of semi lignified twigs of *Fraxinus velutina*

ZHANG Xinyu^{1,2}, DONG Yufeng³, LIU Peiying², LIU Xiumei^{1,2}, ZHU Hong^{1,2}, WANG Huatian^{1,2}

(1. Key Laboratory of Silviculture of Shandong Province, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; 2. Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; 3. Shandong Forestry Academy, Ji'nan 257091, Shandong, China)

Abstract: This research explored the effect of magnets on the rooting of cutting slips, young seedling growth and biomass accumulation, and nourishing matter content in roots. Using a current year, sprouting branchlet from a cloned 3-year-old female *Fraxinus velutina* ‘Lula-5’ tree as cuttage material and three treatments of magnetized water spray (MW), [magnetized water spray (MW) + magnetization blanket (MR)], and non-magnetized water spray (NMW) (the control) an experiment was carried out with a randomized complete block design trial. Results showed that: (1) the cuttage segment rootage ratio and the root effective index for (MW + MR) were greater and highly significant ($P<0.01$) compared to the MW and NMW treatments (control). The average diameter and length growth of young sprouting shoots in the (MW + MR) treatment were also significantly higher than MW and NMW treatments ($P<0.05$). (2) The fine root length, diameter, surface area, and volume showed no difference for the three treatments; whereas, all root morphology indexes in (MW + MR) and MW treatments were significantly higher than the NMW treatment ($P<0.05$). (3) Compared to the control, nutrient content of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, and soluble sugar in the other two treatments was greater and highly significant ($P<0.01$), but Na was lower and highly significant ($P<0.01$). In conclusion, magnetization was beneficial for enhancement of the rooting rate, for promoting root growth as well as for

收稿日期: 2016-09-23; 修回日期: 2016-10-25

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新计划资助项目(鲁财农指[2016]36号); 山东省科技发展计划项目(2015GGB22008); 国家林业局引进国际先进林业科学技术计划资助项目(2011-4-60)

作者简介: 张新宇, 从事工业人工林培育理论与技术研究。E-mail: 1473056593@qq.com。通信作者: 董玉峰, 高级工程师, 博士, 从事森林培育与林木育种学等研究。E-mail: dongyf719@163.com

biomass and nutrient accumulation. [Ch, 2 fig. 2 tab. 22 ref.]

Key words: silviculture; *Fraxinus velutina*; cuttage; root system; magnetization treatment

扦插育苗是将离体植物营养器官如根、茎(枝)、叶等插入基质中,利用植物的再生能力,经过人工培育使之发育成完整新植株的繁育方法。扦插育苗方法简单,取材方便,能够保持母本优良性状并实现快速批量繁殖,是木本植物的重要繁育方法之一,但很多树种因生根困难而无法利用扦插进行繁殖^[1]。以往扦插育苗主要应用于较易生根的树种,近年来针对难生根树种的生根机制和生根技术等方面开展了大量研究,发现通过插穗消毒处理、流水冲洗生根抑制物质、黄化处理及激素处理、调控环境温湿度等技术措施^[2],能够大大提高难生根树种的扦插生根率。生物磁学(biomagnetism)是研究外磁场对生物体的影响以及生物磁性生命活动关系的磁学和生物学相互渗透的新兴交叉学科。随着生物磁学在农业、医学、环保、食品以及生物工程等领域的广泛应用,生物磁学已经得到国内外各领域专家的重视,这为揭示生物磁学机制提供了有利的证据。研究发现磁化处理能够促进种子萌发^[3]、提高作物产量^[4]、促进植物细胞分裂^[5-6]、对植物的生理生化反应也有一定的影响^[7-11]。目前,磁化处理对于木本植物扦插生根的相关研究却很少见,在促进难生根树种生根、根系发育和扦插苗生长及生理特性方面,仍需做大量研究工作。绒毛白蜡 *Fraxinus velutina* 具有抗旱、耐涝、耐盐碱、速生、材性好、树姿美观等特点,广泛用于盐碱地造林和城乡园林绿化。绒毛白蜡优良无性系‘鲁蜡 5 号’ *Fraxinus velutina* ‘Lula-5’ 耐旱性强、生长迅速、观赏价值高,然而由于其扦插繁殖困难,限制了该优良品种的快速繁育和大规模推广应用。本研究采用磁处理技术对绒毛白蜡新品种插穗进行处理,以探讨磁处理技术在难生根树种扦插育苗中的应用前景。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为绒毛白蜡优良无性系‘鲁蜡 5 号’,采自山东省济南市德林种苗有限公司 3 年生采穗圃。2015 年 8 月下旬取采穗母树上无病虫害的当年生半木质化健壮新梢,剪取插穗长度 12~15 cm,粗度 1.0~1.2 cm,在芽上 1 cm 剪成平口,下切口剪成马耳形,保持切口平滑。保留 2 叶片并剪成半叶,将插穗在质量浓度为 1.0 g·L⁻¹ 高锰酸钾溶液中消毒 0.5 h,然后将插穗基部浸泡在 200 mg·L⁻¹ 的吲哚丁酸(I-BA)溶液中 4 h。选用珍珠岩作为基质,扦插前 5 d 喷淋质量浓度为 0.5% 的高锰酸钾溶液消毒,用黑色塑料薄膜覆盖 3 d 后揭开薄膜,待药剂挥发后扦插。扦插棚为智能控制温湿度的联栋大棚。

1.2 试验设计

试验设置磁化水喷淋(MW)+磁化毯(MR),磁化水喷淋(MW)和对照(ck,清水喷淋)3 个处理,重复 4 次,扦插 100 株·小区⁻¹。其中:①喷淋处理:采用 PP-25-ADS-600 型磁化水处理器($\Phi=25$ mm,磁场强度为 600 T,水流量为 6 m³·h⁻¹)处理的磁化水对插床进行喷淋处理,所用喷淋水为饮用自来水;②磁化毯处理:将磁场强度为 300 T 的磁化毯铺设在扦插基质下方 25 cm 处,插穗下端高于磁化毯 5 cm。设定棚内温度为 25~27 ℃,相对湿度(85±5)%,自动控制喷淋。喷头采用十字雾化喷头(KL3073)。扦插后每 7 d 采样 1 次,随机抽样 10 株·处理⁻¹,观察插穗生根进程及生长状况(在愈伤组织形成以后至生根以前,适当加大观测密度,以确定不定根产生的准确时间)。扦插 90 d,调查各处理所有材料的生根率、根系特征及生长量、新梢及叶片生长量。

1.3 测定分析方法

11 月中旬,采用冲洗法将全部扦插苗整株取出,统计生根率,新梢高,茎、叶片生长量。随机抽样扦插苗 10 株·处理⁻¹,去离子水冲洗根系表面残留物,将每个插穗构型完整的根系,按照 PREGITZER 等^[12]的方法对根系进行分级,即将根系最外端的细根定为 1 级根,其母根为 2 级根,2 级根的母根为 3 级根。将各级根序细根放入装有去离子水的培养皿中并进行编号,用根系分析仪 Winrhizo(德国)测定各级根序细根长度、直径、表面积和体积,计算根系效果指数^[13]。将各处理植株置于 103 ℃烘箱中杀青 10 min 后 80 ℃烘干至恒量,测定单株根系干质量。将烘干的根系及新梢分别研磨过 100 目筛,采用张志良等^[14]的方法测定可溶性糖,凯氏定氮法测定总氮,采用燃烧氧化法用总碳分析仪(Elementar Vario,

德国)测定总碳含量。

根系效果指数 $I=(L\times M\times R)/N$ 。其中： L 为插穗平均根长， M 为插穗根系数量， R 为插穗生根率， N 为生根插穗数。

1.4 数据处理

利用统计软件 SAS 9.2, Excel 2016 对数据进行分析，采用 Duncan 多重比较法(Duncan’s multiple-range)进行处理间差异性分析。生根率百分数经过反正弦转换。

2 结果与分析

2.1 磁化处理对扦插生根成活率和根系生长的影响

由表 1 可知：MW+MR 处理的绒毛白蜡嫩枝扦插生根率最高，达到 84.2%，MW 为 60.4%，分别比 ck 高 60.7%和 36.9%，差异极显著($P<0.01$)；扦插后第 10 天分别随机抽取 10 株发现，MW+MR 处理有 4 株出现愈伤组织，MW 和 ck 分别只有 2 株和 1 株出现愈伤组织；MW+MR 处理在扦插后 15 d 出现不定根，MW 不定根出现于 19 d，ck 则在扦插后 25 d 左右才出现不定根；MW+MR 处理的插穗根干质量相对较大(0.090 g)，高于 MW 及 ck，差异极显著($P<0.01$)；MW+MR 处理的根系含水量比 ck 高 0.516 g，MW 比 ck 高 0.284 g，差异极显著($P<0.01$)。不同处理根系效果指数比较，MW+MR 及 MW 处理根系效果指数均高于 ck，而 MW+MR 比 MW 高 0.577，说明磁化毯能够促进插穗生根。

表 1 扦插后不定根出现期、成活率、根干质量、根含水量和根系效果指数的比较

Table 1 Comparison of different treatment on rooting date, rooting rate, root drought weight, root water content and root effect index

处理	不定根出现期/d	生根率/%	根干质量/g	根含水量/g	根系效果指数
ck	25	23.5 ± 1.594 C	0.062 ± 0.002 C	0.510 ± 0.057 B	0.410
MW	19	60.4 ± 2.838 B	0.081 ± 0.005 B	0.782 ± 0.077 AB	0.987
MW+MR	15	84.2 ± 2.341 A	0.107 ± 0.005 A	0.996 ± 0.100 A	1.567

说明：数据为 3 次测定的平均值±标准误，同列中不同大写字母表示处理间的差异达到极显著水平($P<0.01$)。

2.2 磁化处理对新梢及叶片生长的影响

由图 1 可知：磁化处理能有效促进绒毛白蜡扦插苗的新梢和叶片生长。MW+MR，MW 和 ck 等 3 个处理 75 d 龄扦插苗新梢平均基径分别为 0.26，0.24 和 0.22 cm，MW+MR 处理显著($P<0.05$)高于 MW 及 ck，MW 显著($P<0.05$)高于 ck；MW+MR，MW 和 ck 处理的新梢平均长度分别为 4.95，4.07 和 2.83

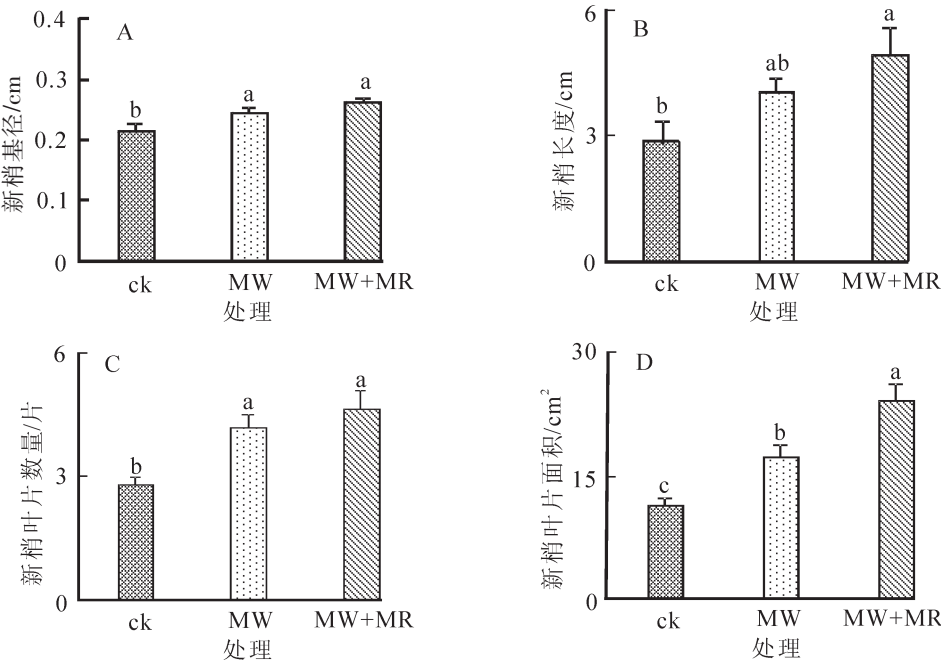


图 1 不同处理对新梢基径(A)，长度(B)，叶片数量(C)和叶片面积(D)的影响

Figure 1 Effect of different treatment on new shoot diameter (A), new shoot length (B), blade quantity (C) and blade area (D)

cm, MW+MR 显著($P<0.05$)高于 MW 及 ck, MW 显著($P<0.05$)高于 ck。MW+MR 处理的叶片数量及面积最高, 分别为 4.7 片和 24.15 cm^2 , 其次为 MW, 分别为 4.2 片和 17.41 cm^2 , ck 最低, 分别为 2.8 片和 11.31 cm^2 , MW+MR 和 MW 处理的叶片数量及面积显著($P<0.05$)高于 ck, MW+MR 处理的叶片面积显著高于($P<0.05$)MW, 但 MW+MR 和 MW 处理的叶片数量差异性不显著($P>0.05$)。说明磁化处理显著促进了插穗苗新梢和叶片的生长。

2.3 不同处理插穗根系形态参数的比较

从图 2 中看出: 不同处理根系形态参数存在较大差异, MW+MR 及 MW 处理的一级根序细根长度、直径、表面积、体积均显著($P<0.05$)高于 ck, 虽然二级根系形态差异不显著($P>0.05$), 但是 MW+MR 及 MW 处理的根系分为 3 级, ck 的根系只有 2 级, 表明磁场有助于促进生根及根系发育, 这与磁化处理高于 ck 的生根成活率是一致的。

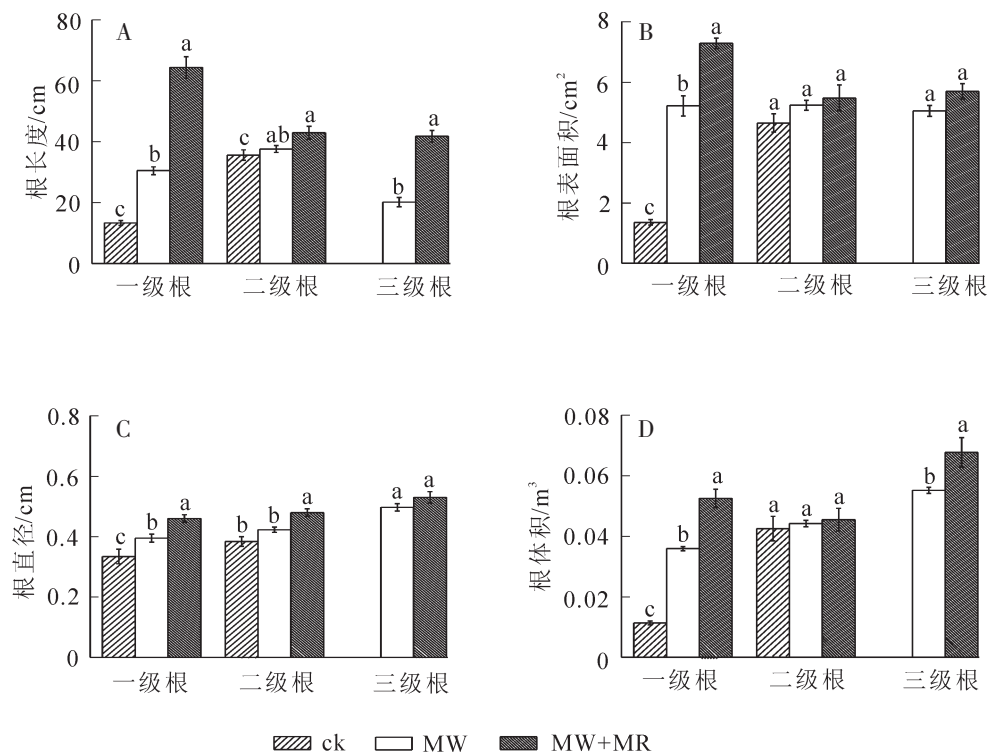


图 2 不同处理根长度(A), 表面积(B), 直径(C), 体积(D)的比较

Figure 2 Comparison of different treatment on root length (A), surface area (B), diameter (C) and volume (D)

2.4 磁化处理对扦插苗根系营养物质积累的影响

由表 2 可知: MW+MR 处理的碳氮比极显著($P<0.01$)低于 MW 及 ck, MW+MR 处理扦插苗氮质量分数最高, 其次为 MW, ck 的氮质量分数最低, 差异极显著($P<0.01$)。MW+MR 及 MW 处理钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜质量分数均高于 ck, 差异极显著($P<0.01$)。然而磁化处理后钠质量分数则减少,

表 2 不同处理碳氮比及营养物质质量分数的比较

Table 2 Comparison of different treatment on C/N and element

处理	碳氮比	氮/(mg·g ⁻¹)	磷/(mg·g ⁻¹)	钾/(mg·g ⁻¹)	钙/(mg·g ⁻¹)	钠/(mg·g ⁻¹)
ck	8.135±0.456 A	41.618±2.013 C	160.029±5.405 B	1.899±0.093 B	5.566±0.420 C	28.732±1.007 A
MW	5.369±0.348 B	72.326±2.936 B	208.781±13.194 A	2.227±0.010 B	7.499±0.455 B	25.937±0.717 B
MW+MR	3.966±0.315 C	103.797±8.508 A	226.402±13.749 A	2.625±0.128 A	9.075±0.511 A	22.180±0.812 C
处理	镁/(mg·g ⁻¹)	铁/(mg·g ⁻¹)	锰/(mg·g ⁻¹)	锌/(mg·g ⁻¹)	铜/(mg·g ⁻¹)	可溶性糖/(mg·g ⁻¹)
ck	0.644±0.021 A	0.523±0.098 B	0.128±0.017 A	0.112±0.008 C	0.037±0.001 C	142.954±1.175 C
MW	0.736±0.008 B	1.532±0.257 B	0.075±0.003 B	0.198±0.016 B	0.228±0.013 B	154.554±2.544 B
MW+MR	0.835±0.014 C	2.963±0.387 A	0.050±0.001 B	0.321±0.012 A	0.393±0.004 A	167.819±3.379 A

说明: 数据为 3 次测定的平均值±标准误, 同列中不同大写字母表示处理间的差异达到极显著水平($P<0.01$)。

与 ck 相比, MW+MR 及 MW 处理分别减少了 22.8% 和 9.7%, 差异极显著($P < 0.01$)。MW+MR 处理的可溶性糖质量分数最高, MW 次之, 但高于 ck, 差异显著($P < 0.05$), 因此磁化处理能够明显加快插穗可溶性糖的积累, 促进不定根的形成, 从而缩短生根周期。

3 结论与讨论

3.1 磁化处理能够有效促进绒毛白蜡扦插生根

绒毛白蜡嫩枝插穗经过磁化处理对插穗形成愈伤组织、缩短生根时间以及对提升根系质量与扦插成活率有显著的促进作用。有研究认为:磁化处理能够影响酶的活性及内源激素的成分, 从而促进植物愈伤组织与生根基因的表达, 产生不定根^[15]。磁化水水培小麦 *Triticum aestivum* 和水稻 *Oryza sativa* 能够促进次生根的分化, 提高对矿质元素和水分的吸收效率^[16]。也有研究认为:磁化处理后亚麻 *Linum sp.* 和小扁豆 *Polygala tatarinowii* 的细胞增殖活性减弱, 增殖周期减缓^[17]。本次研究发现, 磁化处理后绒毛白蜡的一级根系形态参数明显高于对照组, 表明在磁场环境下很可能激活了植物生长的某条代谢途径, 或者生根关联酶活性, 从而促进了绒毛白蜡生根及生长发育。

3.2 磁化处理能有效促进绒毛白蜡扦插苗的生长和生物量积累

磁化处理技术在扦插繁育中起到有效的促进作用, 不仅能够促进插穗生根, 增加根系数量, 而且提高了苗木繁育速度, 大大缩短了育苗周期。本研究证明, 磁化处理能够明显加快插穗可溶性糖的积累, 促进插穗不定根的形成, 从而缩短生根周期; 能够促进扦插苗生物量积累, 能够降低植物根系中钠质量分数, 促进氮磷钾及微量元素的累积。有研究表明, 磁化水通过影响水的渗透力、溶解力与缔合度产生的物理效应来促进插穗对水分的吸收^[15], 从而对植物生长发育、产量和生物量的提高具有显著影响。磁化处理提高了有效态养分的利用率, 抑制了对钠离子(Na^+)的吸收、积累, 促进植株对钾离子(K^+), 钙离子(Ca^{2+}), 镁离子(Mg^{2+})等矿物养分离子的选择吸收能力^[18]。磁化微咸水能够增强欧美杨-107 *Populus × euramericanna* ‘Neva’ 根系对水分和养分的吸收, 能够极显著地提高其根、叶的生物量累积^[19]。磁化处理能够显著提高鹰嘴豆 *Cicer arietinum* 的种实量、秸秆量及生物产量^[7]。高矿化度水经过磁化处理能够促进绒毛白蜡植株的光合作用, 从而促进其生长及生物量的累积^[20]。

也有研究表明:不同磁场强度对植物影响不同, 这可能与磁场环境改变了某些关联酶活性有关^[21]。磁场对于植物的效应还与磁场的分布及频率有关, 所以磁场作用于植物生长是由多种机制共同作用决定最终效应的^[22]。磁化作用对于植物的最佳作用机制和技术条件还需进一步探究, 以促进该技术在林业领域更广泛的应用。

4 参考文献

- [1] 沈海龙. 苗木培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [2] 苏金乐. 园林苗圃学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [3] 齐建双, 卢彩霞, 岳润清, 等. 复合磁场处理对玉米种子萌发及幼苗生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 2015, **31**(27): 41 – 45.
QI Jianshuang, LU Caixia, YUE Runqing, et al. Effect of composite magnetic field on seeds germination and seedling growth and development of maize [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2015, **31**(27): 41 – 45.
- [4] 周胜, 张瑞喜, 褚贵新, 等. 磁化水在农业上的应用[J]. 农业工程, 2012, **2**(6): 44 – 48.
ZHOU Sheng, ZHANG Ruixi, CHU Guixin, et al. Effects of magnetized water in agriculture [J]. *Agric Eng*, 2012, **2**(6): 44 – 48.
- [5] BELYAVSKAYA N A. Biological effects due to weak magnetic field on plants [J]. *Adv Space Res*, 2004, **34**(7): 1566 – 1574.
- [6] BELYAVSKAYA N A. Ultrastructure and calcium balance in meristem cells of pea roots exposed to extremely low magnetic fields [J]. *Adv Space Res*, 2001, **28**(4): 645 – 650.
- [7] HOZAY M, QADOS A M S A. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) [J]. *Agric Biol J North Am*, 2010, **1**(4): 671 – 676.
- [8] 肖望, 叶素琴, 王玉玲, 等. 磁化水浸种对西瓜种子萌发及幼苗生理的影响[J]. 生物技术, 2003, **13**(6): 39

– 41.

- XIAO Wang, YE Suqin, WANG Yuling, *et al.* Effects of seeds soaking in magnetized water on seed germination and physiological characteristics of watermelon seedlings [J]. *Biotechnology*, 2003, **13**(6): 39 – 41.
- [9] SELIM A F H, EL-NADY M F. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field [J]. *Acta Astronaut*, 2011, **69**(7/8): 387 – 396.
- [10] 林健, 张国财, 毕冰. 生物磁化水对杏鲍菇胞外酶活性影响及营养品质分析[J]. 东北林业大学学报, 2009, **37**(8): 59 – 61.
- LIN Jian, ZHANG Guocai, BI Bing. Effect of magnetized water treatment on extracellular enzyme activities and nutritive value of *pleurotus eryngii* [J]. *J Northeast For Univ*, 2009, **37**(8): 59 – 61.
- [11] 邱念伟, 谭廷鸿, 戴华, 等. 磁化水对小麦种子萌发、幼苗生长和生理特性的生物学效应[J]. 植物生理学报, 2011, **47**(8): 803 – 810.
- QIU Nianwei, TAN Tinghong, DAI Hua, *et al.* Biological effects of magnetized water on seed germination, seedling growth and physiological characteristics of wheat [J]. *Plant Physiol J*, 2011, **47**(8): 803 – 810.
- [12] PREGITZER K S, DEFOREST J L, BURTON A J, *et al.* Fine root architecture of nine North American trees [J]. *Ecol Monogr*, 2002, **72**(2): 293 – 309.
- [13] 靳景春, 胡勐鸿, 张宋智, 等. 欧洲云杉扦插生根特性的研究[J]. 西北林学院学报, 2009, **24**(5): 70 – 73.
- JIN Jingchun, HU Menghong, ZHANG Songzhi, *et al.* Rooting capability of twigs of *Picea abies* [J]. *J Northwest For Univ*, 2009, **24**(5): 70 – 73.
- [14] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [15] 徐伟忠. 一叶成林: 植物非试管克隆新技术[M]. 北京: 台海出版社, 2006.
- [16] 王艳红, 杨小刚. 磁化水处理技术及其在农业上的应用[J]. 农业工程, 2014, **4**(5): 74 – 77.
- WANG Yanhong, YANG Xiaogang. Magnetized water treatment technology and its application in agriculture [J]. *Agric Eng*, 2014, **4**(5): 74 – 77.
- [17] BELYAVSKAYA N A. Biological effects due to weak magnetic field on plants [J]. *Adv Space Res*, 2004, **34**(7): 1566 – 1574.
- [18] 刘秀梅, 王录, 王华田, 等. 磁化微咸水灌溉对土壤交换性盐基离子组成的影响[J]. 水土保持学报, 2016, **30**(2): 266 – 271.
- LIU Xiumei, WANG Lu, WANG Huatian, *et al.* Effects of magnetic brackish water irrigation on composition of soil exchangeable base ions [J]. *J Soil Water Conserv*, 2016, **30**(2): 266 – 271.
- [19] 刘秀梅, 王华田, 王延平, 等. 磁化微咸水灌溉促进欧美杨 I-107 生长及其光合特性分析[J]. 农业工程学报, 2016, **32**(1): 1 – 7.
- LIU Xiumei, WANG Huatian, WANG Yanping, *et al.* Analysis of magnetic salinity water irrigation promoting growth and photosynthetic characteristics of *Populus × euramericana* ‘Neva’ [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, **32**(1): 1 – 7.
- [20] 万晓, 刘秀梅, 王华田, 等. 高矿化度灌溉水磁化处理对绒毛白蜡生理特性及生长的影响[J]. 林业科学, 2016, **52**(2): 120 – 126.
- WAN Xiao, LIU Xiumei, WANG Huatian, *et al.* Effect of magnetic treatment of salty irrigation water on physiological and growth characteristics of potted *Fraxinus velutina* seedlings [J]. *Sci Silv Sin*, 2016, **52**(2): 120 – 126.
- [21] MAHESHWARI B L, GREWAL H S. Magnetic treatment of irrigation water: its effects on vegetable crop yield and water productivity [J]. *Agric Water Manage*, 2009, **96**(8): 1229 – 1236.
- [22] 朱杰. 磁场的生物学效应及其机理的研究[J]. 生物磁学, 2005, **5**(1): 26 – 29.
- ZHU Jie. Study on the biological effects of magnetic fields and its possible mechanisms [J]. *Biomagnetism*, 2005, **5**(1): 26 – 29.