

文章编号: 1001-1498(2008)06-0818-07

脉冲磁场对马尾松愈伤组织生长和生理生化特性的影响

梁 军¹, 宁少华^{1,2}, 王振朝³, 张星耀^{1*}

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境和保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091;

2. 北京市西山试验林场, 北京 100093; 3. 河北大学电信学院, 河北 保定 071002)

摘要:以马尾松愈伤组织为试验材料,通过不同脉冲前沿宽度和处理时间的磁场处理,观察了马尾松愈伤组织在磁场处理后的生长变化,探讨了磁场处理对马尾松愈伤组织外部形态、可溶性蛋白和可溶性糖含量、保护酶活性和细胞膜透性的影响。结果表明:(1)脉冲磁场处理后,马尾松愈伤组织的鲜质量生长与对照相比有明显增加,其趋势为先缓慢上升,再急速下降;(2)脉冲磁场处理后,可溶性蛋白的含量、可溶性糖的含量与对照相比都有增加的趋势,当脉冲前沿宽度为 5 ms、处理时间为 8 h 时,马尾松愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖的含量增加到峰值;(3)脉冲磁场处理后,与对照相比,由 POD、SOD、CAT 构成的保护酶系统的活性随脉冲前沿宽度、处理时间的增加而增强,在脉冲前沿宽度为 5 ms、处理时间为 8 h 时,三种酶活性达到一定的峰值后又出现不同程度的下降;(4)在一定的脉冲前沿宽度和处理时间内,马尾松愈伤组织细胞膜仍可保持较强的稳定性,马尾松愈伤组织细胞对脉冲磁场具有一定的抗性和耐性。

关键词:脉冲磁场;马尾松;愈伤组织;生长;酶活性;细胞膜透性

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

Effect of Pulsed Magnetic Field on the Growth, Physiological and Biochemical Characteristics of *Pinus massoniana* Callus

LIANG Jun¹, NING Shao-hua^{1,2}, WANG Zhen-chao³, ZHANG Xing-yao¹

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Key Laboratory of Forestry Protection, State Forestry Administration,

Beijing 100091, China; 2. Beijing Xishan Experimental Forest Farm, Beijing 100093, China; 3. College of Electronic and

Information Engineering, Hebei University, Baoding 071002, Hebei, China)

Abstract: The present research used *Pinus massoniana* callus as the experiment material. *P. massoniana* callus were treated with different pulse rise time and treating time, then the growth condition of *P. massoniana* callus was observed, the exterior shape, the content of soluble protein and soluble sugar and the activity of protective enzymes of *P. massoniana* callus were also been discussed. The experiment results were as follows: (1) After treated with pulsed magnetic field, the fresh weight of *P. massoniana* callus increased obviously compared with the control group. The trend of its development was increasing slowly then decreasing sharply. (2) The treatment of pulsed magnetic field on the *P. massoniana* callus could increase the contents of soluble protein and soluble sugar. And those parameters increased to the highest level at the pulse rise time of 5 ms and treating time of 8 h. (3) After treated with pulsed magnetic field, the activity of protective enzyme system comprised of peroxidase (POD),

收稿日期: 2008-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30671687)

作者简介: 梁军(1963—),男,宁夏中卫人,研究员,博士生导师,研究方向为有害生物生态控制。

*通讯作者。

superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) increased with the improvement of pulse rise time and treating time. The activities of POD, SOD, CAT increased to the highest level at the pulse rise time of 5 ms and treating time of 8 h and then decreased with different degree. (4) At a certain pulse rise time and treating time, the cell membrane of *P. massoniana* callus could still maintain a relatively strong stability, indicating that cells of *P. massoniana* callus had a certain resistance and endurance against pulsed magnetic field.

Key words: pulsed magnetic field; *Pinus massoniana*; callus; growth; enzyme activity; cell membrane permeability

近年来,磁场生物效应在植物方面的研究工作逐步进行并有一定进展。国内外已有资料表明,植物的种子或植株经外加电磁场处理后可提高活力,促进营养吸收,加速其生长,还可起到提高抗病虫害、抗严寒的能力和 提高产量的作用,对细胞的分裂分化也有明显的促进作用^[1-4]。外加磁场处理既可以促进生物体的生长,加速新陈代谢,增加核酸的总量,使酶活性增强,也能使生物的染色体畸变、点突变,使生物生长受抑或造成死亡^[5-7]。磁场对植物的影响是非常复杂的过程,主要表现在磁场对 DNA 的影响,对蛋白质大分子和酶活性的影响,对细胞器的影响,对生物膜透性的影响等^[8-9]。总之,磁场对植物所产生的生物学效应,影响着整个植物体的新陈代谢,表现出综合效应的特征,其复杂的过程尚需进一步的研究。

苜蓿 (*Medicago sativa* L.)^[10]、烟草 (*Nicotiana tabacum* L.)^[11]、银杏 (*Ginkgo biloba* L.)^[12]、蝶叶秋海棠 (*Begonia rex* P.)^[13] 等生物体在静电场作用下的生理生化特性表现出了明显的响应,而脉冲磁场对细胞生长和分化影响的研究尚为数不多,且有关于脉冲磁场对木本松科 (*Pinaceae*) 植物愈伤组织生长及分化影响方面的研究尚未见报道。本试验以我

国乡土树种马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 为材料,脉冲磁场处理后分别测定和统计愈伤组织的生长量,可溶性蛋白和可溶性糖含量,过氧化物酶、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性,细胞膜透性等变化,以阐述脉冲磁场对马尾松愈伤组织所产生的生物效应,为研究脉冲磁场促进植物生长和细胞分裂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 脉冲磁场发生装置

试验室用脉冲磁场生成装置为自制,采用河北大学设计研制的可调磁场,结构如图 1 所示。由脉冲电源主机机柜和磁场线圈两部分构成,二者由电缆连接。脉冲电源机柜为磁场线圈提供可控的脉冲电流。磁场线圈为空芯螺线管结构,通电后在空芯内形成磁场。

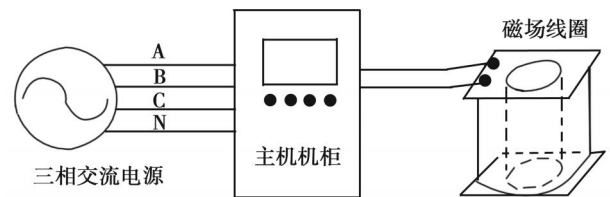


图 1 脉冲磁场发生装置

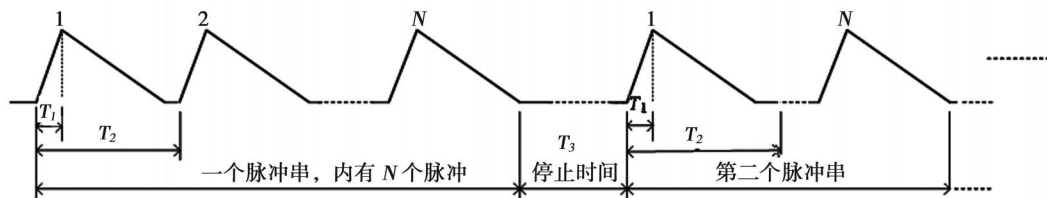


图 2 磁场波形示意图

装置的主要可控参数有:脉冲前沿宽度,脉冲周期,脉冲个数,停止时间和脉冲串个数,磁场波形如图 2 所示。脉冲前沿宽度 T_1 在 0.1~10 ms 范围内以 0.1 ms 为单位可调;脉冲周期 T_2 以 1 ms 为单位可调(最大值为 200 ms);脉冲个数即一个脉冲串内的脉冲个数,以 1 为单位可调(最大值为 100);停止

时间 T_3 即两个脉冲串之间的间歇时间,以 1 s 为单位可调(最大值为 100 s);脉冲串个数以 1 为单位可调(最大值为 100)。磁场强度峰值是通过脉冲前沿宽度 T_1 计算出来的。根据脉冲磁场发生装置,1 ms 脉冲前沿宽度时磁场强度峰值为 720 Gs;5 ms 脉冲前沿宽度时磁场强度峰值为 3 180 Gs;10 ms 脉冲前

沿宽度时磁场强度峰值为 5 080 Gs。

1.2 试验材料

以马尾松成熟种子诱导形成的愈伤组织为试验材料。马尾松种子于 2006 年采于浙江省余姚市。种子在使用前先经 4 ℃ 低温处理 3~4 周,取出用清水洗净,去种皮后用 75%乙醇溶液表面消毒 3 次,每次 40 s,无菌水冲洗 3 次,再用 0.1%的升汞溶液处理 4 min,无菌水冲洗 5 次。在超净工作台上,用灭菌镊子将成熟胚取出,放入诱导培养基中,每瓶 5 个,于培养室内暗培养,15 d 后,将生长良好未被污染和未发生褐化的个体转到继代培养基中保持和增殖,之后 20 d 继代 1 次,转移继代均在超净工作台上进行。本试验所用材料为继代培养的马尾松愈伤组织,培养中注意剔除活力不高和褐化的愈伤组织,培养箱温度为 (25 ± 2) ℃。

诱导培养基配方为 1/2 MS + 2, 4D (10.0 mg · L⁻¹) + KT (4.0 mg · L⁻¹) + BA (4.0 mg · L⁻¹); 琼脂 6.5 g · L⁻¹; 蔗糖 30 g · L⁻¹; pH 值 5.8。

继代培养基配方为 1/2 MS + NAA (0.5 mg · L⁻¹) + BA (0.1 mg · L⁻¹) + GA₃ (1.0 mg · L⁻¹) + LH (100 mg · L⁻¹) + 2, 4D (1.0 mg · L⁻¹); 琼脂 6.5 g · L⁻¹; 蔗糖 30 g · L⁻¹; pH 值 5.8。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 以脉冲前沿宽度和处理时间作为处理因子,采用完全随机区组试验设计,脉冲前沿宽度设 3 个水平 1、5、10 ms; 处理时间设 4 个水平 2、4、8、12 h,共 12 个处理。设无磁场处理为对照。各处理重复 3 次,每重复 5 瓶愈伤组织。实验前先称量愈伤组织鲜质量,之后将其放入磁场线圈内,按照设定的脉冲磁场处理因子水平进行处理。磁场处理结束后开始计时,培养 20 d 后取出,分别测定各项指标,观察不同磁场处理对马尾松愈伤组织形态、生理性状和保护酶活性的影响。

1.3.2 指标测定

(1)愈伤组织相对生长量:用电子天平称量磁场处理前后的马尾松愈伤组织鲜质量。愈伤组织初始鲜质量计算方法:装培养基后称出瓶子 + 培养基的质量,接种后称出瓶子 + 培养基 + 愈伤组织的质量,计算出愈伤组织的质量。培养 20 d 后的愈伤组织鲜质量:镊子取出愈伤组织后,用无菌水洗去愈伤组织上多余的培养基,滤纸吸干水分后,电子天平称质量。

相对生长量 = (培养 20 d 后的愈伤组织鲜质量 - 愈伤组织初始鲜质量) / 愈伤组织初始鲜质量

(2)可溶性糖、蛋白质含量测定:培养 20 d 后分别称取 0.5 g 愈伤组织,用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定蛋白质含量^[14],用硫酸-蒽酮法测定可溶性糖含量^[15]。

(3)过氧化物酶、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性的测定:培养 20 d 后称取 0.5 g 的愈伤组织,加入 5 mmol · L⁻¹ pH 值 7.8 的磷酸缓冲液 2 mL,冰浴上研磨匀浆,转移至 10 mL 量瓶中,用磷酸缓冲液冲洗研钵 2 次,合并冲洗液于量瓶中,定容至 10 mL。取 5 mL 提取液于 4 ℃ 下 10 000 r · min⁻¹ 离心 15 min,上清液即为供试酶液。POD 活性采用愈创木酚法^[16],每 1 min 变化 0.01 OD 为 1 个酶活性单位; SOD 活性用氯化硝基四氮唑蓝法 (NBT) 进行测定^[17],以抑制 50% 的 NBT 光化还原作用为 1 个酶活性单位; CAT 活性测定参照蒋传英等^[18]的方法,每 1 min 变化 0.1 OD 为 1 个酶活性单位。

(4)相对电导率:磁场处理结束后,称取 0.5 g 愈伤组织,放入试管中加无菌水 10 mL,于 30 ℃ 水浴保温 1.5 h,用 DDS-A 型电导仪测定各处理的电导率 L₁,然后将各处理材料煮沸 15 min,冷却至 30 ℃ 后再测定愈伤组织细胞膜彻底破坏后的最大电导率 L₂,测定结果按以下公式计算^[19]:相对电导率 = L₁ / L₂ × 100%

2 结果与分析

2.1 磁场处理对马尾松愈伤组织鲜质量生长的影响

马尾松愈伤组织用脉冲磁场处理后,试验结果如图 3。不同脉冲前沿宽度对马尾松愈伤组织的相对生长量产生不同影响,不同处理时间对马尾松愈伤组织的相对生长量的影响也存在差异。

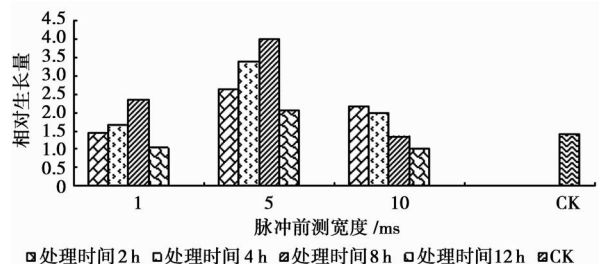


图 3 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织相对生长量的影响

对于脉冲前沿宽度 1 ms 和 5 ms 处理来说,马尾松愈伤组织的相对生长量对不同处理时间的反映变化趋于一致,均表现为相对生长量随着处理时间的延长而逐渐增加,但到 8 h 后,再快速降低。处理时间为 8 h 时,脉冲前沿宽度 1 ms 和 5 ms 处理的马尾松愈伤组织的相对生长量明显高于其他 3 个处理时间,说明马尾松愈伤组织的相对生长量对 8 h 的处理时间有较好的适应性。

脉冲前沿宽度为 5 ms 时,各处理时间下的马尾松愈伤组织的相对生长量都明显高于对照,说明马尾松愈伤组织的相对生长量对 5 ms 的处理强度有很好的适应性。脉冲前沿宽度为 10 ms 时,相对生长量随着处理时间的延长而逐渐降低,处理时间为 8 h 和 12 h 时,马尾松愈伤组织的相对生长量都低于对照,说明脉冲前沿宽度 10 ms 的处理对马尾松愈伤组织生长有一定抑制作用。

由表 1 可以看出,脉冲前沿宽度对马尾松愈伤组织鲜质量相对生长量的影响差异是极显著的,处理时间对马尾松愈伤组织鲜质量相对生长量的影响差异也达到显著水平,对脉冲前沿宽度各水平的相对生长量采用 q 检验进行多重比较,结果表明,脉冲前沿宽度 1 ms 与 5 ms 和脉冲前沿宽度 10 ms 与 5 ms 处理的愈伤组织相对生长量差异显著;脉冲前沿宽度 1 ms

与 10 ms 处理的愈伤组织相对生长量差异不显著。

表 1 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织鲜质量相对生长量影响的方差分析

变异来源	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	Fa
脉冲前沿宽度	5.125	2	2.562	10.226 ^{**}	
处理时间	2.421	3	0.807	3.220 [*]	$F_{0.05} = 2.57$
误差	1.503	6	0.251		$F_{0.01} = 3.86$
(总计)	9.049	11			

注: * 表示在 0.05 水平上差异显著; ** 表示在 0.01 水平上差异极显著

2.2 磁场处理对马尾松愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

试验结果(表 2)表明,磁场处理对马尾松愈伤组织的可溶性蛋白和可溶性糖含量表现为促进作用。脉冲前沿宽度 1 ms 处理的愈伤组织可溶性蛋白含量随着处理时间的延长未表现出规律性变化,可溶性糖含量随着处理时间的延长表现为缓慢上升再到缓慢降低;脉冲前沿宽度 5 ms 处理的愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖含量随时间的延长,呈现上升趋势,且在 4~8 h 间上升较快,8 h 时达到最大值;脉冲前沿宽度 10 ms 处理的愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖含量随时间延长呈现先升高,后降低的波动性变化。

表 2 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

处理组	可溶性蛋白		可溶性糖		
	含量 / (mg · g ⁻¹)	>CK/%	含量 / (mg · g ⁻¹)	>CK/%	
脉冲前沿宽度 1 ms	处理时间 2 h	14.19	5.42	64.70	4.09
	处理时间 4 h	13.66	1.49	68.68	10.49
	处理时间 8 h	16.27	20.88	75.81	21.96
	处理时间 12 h	15.55	15.53	69.06	11.10
脉冲前沿宽度 5 ms	处理时间 2 h	18.05	34.10	79.95	28.62
	处理时间 4 h	22.99	70.80	94.64	52.25
	处理时间 8 h	32.45	141.08	125.93	102.59
	处理时间 12 h	25.53	89.67	97.82	57.37
脉冲前沿宽度 10 ms	处理时间 2 h	22.29	65.60	73.49	18.23
	处理时间 4 h	26.28	95.25	75.73	21.83
	处理时间 8 h	20.04	48.89	79.58	28.02
	处理时间 12 h	16.82	24.96	63.04	1.42
(CK)		13.46		62.16	

对马尾松愈伤组织可溶性蛋白含量进行方差分析,如表 3,脉冲前沿宽度对马尾松愈伤组织可溶性蛋白含量的影响极显著,表明脉冲前沿宽度是影响愈伤组织可溶性蛋白含量的主要因子。对脉冲前沿宽度各水平的可溶性蛋白含量进行 q 检验,结果表明,脉冲前沿宽度 1 ms 与 5 ms 和脉冲前沿宽度

10 ms 与 5 ms 处理的愈伤组织可溶性蛋白含量差异显著;脉冲前沿宽度 1 ms 与 10 ms 处理的愈伤组织可溶性蛋白含量差异不显著。

由表 3 可以看出,脉冲前沿宽度对可溶性糖含量的影响差异是极显著的,处理时间对可溶性糖含量影响的差异表现显著,这说明不同脉冲前沿宽度

对可溶性糖含量的影响具有较强的作用。对脉冲前沿宽度各水平的可溶性糖含量采用 q 检验进行多重比较,结果表明,脉冲前沿宽度 10 ms 与 5 ms 和脉冲

前沿宽度 1 ms 与 5 ms 处理的愈伤组织可溶性糖含量差异显著;脉冲前沿宽度 10 ms 与 1 ms 处理的愈伤组织可溶性糖含量差异不显著。

表 3 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖含量影响的方差分析

变异来源		平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	F_{α}
可溶性蛋白含量	脉冲前沿宽度	199.724	2	99.862	4.944**	
	处理时间	38.470	3	12.823	0.635	$F_{0.05} = 2.57$
	误差	121.181	6	20.197		$F_{0.01} = 3.86$
	(总计)	359.375	11			
可溶性糖含量	脉冲前沿宽度	2162.379	2	1081.189	11.494**	
	处理时间	756.648	3	252.216	2.681*	$F_{0.05} = 2.57$
	误差	564.403	6	94.067		$F_{0.01} = 3.86$
	(总计)	3483.430	11			

2.3 磁场处理对马尾松愈伤组织保护酶活性的影响

试验结果(表 4)表明,脉冲前沿宽度对马尾松愈伤组织的保护酶活性产生不同的影响,处理时间对马尾松愈伤组织的保护酶活性的影响也存在差

异。与对照组数据相比较,正值表示该磁场处理对马尾松愈伤组织保护酶活性的影响为促进作用,负值表示该磁场处理对马尾松愈伤组织保护酶活性的影响为抑制作用。

表 4 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织保护酶活性的影响

处理组		POD / (U · g ⁻¹)	>CK/%	SOD / (U · g ⁻¹)	>CK/%	CAT / (U · g ⁻¹)	>CK/%
脉冲前沿宽度 1 ms	处理时间 2 h	39.72	-1.27	95.82	-4.05	73.42	2.89
	处理时间 4 h	41.94	4.25	97.90	-1.96	74.97	5.06
	处理时间 8 h	42.87	6.56	102.53	2.67	78.82	10.45
	处理时间 12 h	40.69	1.14	98.57	-1.29	69.43	-2.70
脉冲前沿宽度 5 ms	处理时间 2 h	48.93	21.63	108.39	8.54	79.96	12.05
	处理时间 4 h	52.45	30.38	112.64	12.80	84.71	18.71
	处理时间 8 h	59.04	46.76	122.79	22.96	100.59	40.96
	处理时间 12 h	42.85	6.51	100.49	0.63	80.92	13.40
脉冲前沿宽度 10 ms	处理时间 2 h	46.79	16.31	103.95	4.10	77.63	8.79
	处理时间 4 h	40.13	-0.25	98.16	-1.70	70.93	-0.60
	处理时间 8 h	36.25	-9.89	90.73	-9.14	66.06	-7.43
	处理时间 12 h	32.19	-19.99	81.16	-18.73	60.74	-14.88
(CK)		40.23		99.86		71.36	

脉冲前沿宽度为 1 ms 时,各处理时间下马尾松愈伤组织保护酶活性变化比较平缓,与对照相近。马尾松愈伤组织保护酶活性在脉冲前沿宽度为 5 ms 时都出现了相对值的最高峰值,说明马尾松愈伤组织保护酶活性变化对 5 ms 的处理强度有很好的适应性。脉冲前沿宽度为 10 ms 时,POD、SOD、CAT 活性随着处理时间的延长逐渐降低,8 h 和 12 h 处理的酶活性明显低于对照,所得相对值除处理时间为 2 h 外,其他处理均为负值,说明该磁场处理对马尾松愈伤组织保护酶活性

表现为一定的抑制作用。

由表 5 可以看出,脉冲前沿宽度对马尾松愈伤组织保护酶活性的影响差异极显著,处理时间对保护酶活性的影响差异不显著。对脉冲前沿宽度各水平的 POD、SOD 和 CAT 活性采用 q 检验进行多重比较,结果表明,脉冲前沿宽度 10 ms 与 5 ms 和脉冲前沿宽度 1 ms 与 5 ms 处理的愈伤组织 POD、SOD 和 CAT 活性差异显著;脉冲前沿宽度 10 ms 与 1 ms 处理的愈伤组织 POD、SOD 和 CAT 活性差异不显著。

表 5 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织保护酶活性影响的方差分析

项目	变异来源	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	Fa
POD 酶活性	脉冲前沿宽度	320.033	2	160.016	6.261**	
	处理时间	105.512	3	35.171	1.376	$F_{0.05} = 2.57$
	误差	153.346	6	25.558		$F_{0.01} = 3.86$
	(总计)	578.891	11			
SOD 酶活性	脉冲前沿宽度	652.186	2	326.093	6.037**	
	处理时间	249.342	3	83.114	1.539	$F_{0.05} = 2.57$
	误差	324.086	6	54.014		$F_{0.01} = 3.86$
	(总计)	1225.614	11			
CAT 酶活性	脉冲前沿宽度	660.210	2	330.105	7.157**	
	处理时间	199.158	3	66.386	1.439	$F_{0.05} = 2.57$
	误差	276.737	6	46.123		$F_{0.01} = 3.86$
	(总计)	1136.105	11			

2.4 磁场处理对马尾松愈伤组织细胞膜透性的影响

脉冲前沿宽度为 1 ms 时,各处理时间下马尾松愈伤组织相对电导率变化比较平缓(图 4),与对照相近;脉冲前沿宽度为 5 ms 时,2 h、4 h 和 8 h 处理的相对电导率比对照略有增高,但对细胞的刺激不足于影响组织的生长,对细胞膜未造成很大的伤害,12 h 处理的相对电导率明显高于对照,对细胞膜造成一定的伤害;脉冲前沿宽度为 10 ms 时,随着处理时间的延长,相对电导率比对照都有增高,且增加幅度很大,这说明在该磁场条件下,细胞膜结构破坏,对细胞造成不可修复的伤害,影响组织的生长。

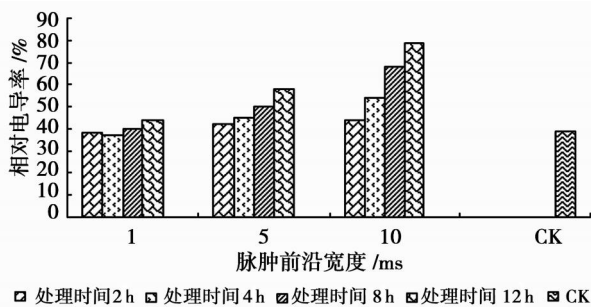


图 4 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织相对电导率的影响

表 6 脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织相对电导率影响的方差分析

变异来源	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	Fa
脉冲前沿宽度	932.667	2	466.333	11.016**	$F_{0.01} = 3.86$
处理时间	632.250	3	210.750	4.978**	
误差	254.000	6	42.333		
(总计)	1818.917	11			

对马尾松愈伤组织相对电导率进行方差分析(表 6),结果表明,脉冲前沿宽度和处理时间对马尾

松愈伤组织细胞膜透性的影响极显著。对脉冲前沿宽度各水平的相对电导率采用 q 检验进行多重比较,结果表明,脉冲前沿宽度 1 ms 与 10 ms 和脉冲前沿宽度 5 ms 与 10 ms 处理的愈伤组织相对电导率差异极显著;脉冲前沿宽度 1 ms 与 5 ms 处理的愈伤组织相对电导率差异不显著。对处理时间各水平的相对电导率采用 q 检验进行多重比较,结果是处理 2 h 和 12 h 的相对电导率差异显著。

3 结论与讨论

(1) 磁场处理后,与对照相比,马尾松愈伤组织的鲜质量增加量都有所提高,在脉冲前沿宽度 1 ms 的处理下,处理时间对马尾松愈伤组织鲜质量的生长影响不明显;脉冲前沿宽度 5 ms 的 2 h、4 h 和 8 h 处理的鲜质量明显增加,8 h 时马尾松愈伤组织的鲜质量达到最大值;对于脉冲前沿宽度 10 ms 来说,随着处理时间的延长,愈伤组织鲜质量的增加量呈下降趋势,说明脉冲前沿宽度越大,处理时间越长,愈伤组织生长受到磁场的伤害作用越强。

(2) 由脉冲前沿宽度和处理时间对马尾松愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响来看,磁场处理可以在一定程度上影响愈伤组织的生理代谢过程,可以影响代谢产物的积累。脉冲前沿宽度为 5 ms、处理时间为 8 h 时,马尾松愈伤组织可溶性蛋白和可溶性糖含量最大。

(3) 脉冲前沿宽度、处理时间对马尾松愈伤组织保护性酶活性均有不同程度的提高;脉冲前沿宽度为 5 ms、处理时间为 8 h 时,有利于保护酶活性的增高。就磁场处理的生理生化机理而言,磁场处理可能通过对植物细胞内 POD、SOD、CAT 等多种酶活性的影响,从而达到控制植物体生长和发育的目的,这与郑巧

兰^[20]等、弥晓菊等^[21]的试验结果基本一致。

(4) 马尾松愈伤组织对磁场胁迫有一定耐受力, 细胞膜结构相对稳定, 但随着脉冲前沿宽度的增加和处理时间的延长, 磁场处理后的马尾松愈伤组织相对电导率明显高于对照, 说明脉冲前沿宽度越大, 处理时间越长, 脉冲磁场对马尾松愈伤组织细胞相对电导率的影响越大, 细胞膜受损程度越高。

本次试验表明马尾松组织对脉冲磁场具有一定的抗性, 在一定的磁场作用下, 其鲜质量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、POD、SOD 和 CAT 酶活性比对照有所增加, 这从侧面说明一定强度的脉冲磁场可能会刺激愈伤组织生长, 影响其生理生化活动。因此, 脉冲磁场对马尾松愈伤组织的影响效应应当继续深入研究, 从生理生化角度分析脉冲磁场的作用机制以及愈伤组织对脉冲磁场的反应机制。

参考文献:

- [1] 张振球. 静电生物效应 [M]. 北京: 万国学术出版社, 1989: 1 - 5
- [2] Maria P P, Daniele F, Elena P. Senescence delay and change of antioxidant enzyme in *Cucumis sativus* L. etiolated seedlings by ELF magnetic fields [J]. *Plant Science*, 2001, 161 (1): 45 - 53
- [3] Jae-Duk Moon, Hwa-Sook Chung. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields [J]. *Journal of Electrostatics*, 2000, 48 (2): 103 - 114
- [4] Yao Yinan, Li Yuan, Yang Yongqing. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 54 (3): 286 - 294
- [5] 夏丽华, 郭继勋. 磁场对羊草过氧化物酶的激活效应及同工酶分析 [J]. *应用生态学报*, 2000, 11 (5): 699 - 702
- [6] Shin-ichiro H, Yoshimasa I, Kazumasa O. Drastic high magnetic field effect on suppression of *Escherichia coli* death [J]. *Bioelectrochemistry*, 2001, 53 (2): 149 - 153
- [7] Yoshimasa I, Shin-ichiro H, Kazumasa O. Twelve hours exposure to inhomogeneous high magnetic field after logarithmic growth phase is sufficient for drastic suppression of *Escherichia coli* death [J]. *Bioelectrochemistry*, 2001, 54 (2): 101 - 105
- [8] 毛宁, 黄谚谚. 生物磁技术在农业的应用及机理探讨 [J]. *激光生物学报*, 1998, 7 (4): 122 - 126
- [9] Zhang Xiaoyun. Effect and mechanism discuss of magnetic field on cells growth and divide [J]. *China Science (Series B)*, 1989, 2: 164 - 170
- [10] 赵剑, 马福荣, 杨文杰, 等. 静电场对苜蓿愈伤组织抗寒能力的影响 [J]. *生物物理学报*, 2000, 16 (2): 406 - 412
- [11] 石贵玉, 周巧劲, 郭平生. 高压静电对烟草愈伤组织生长和根分化的效应 [J]. *广西植物*, 2002, 22 (4): 364 - 367
- [12] 石贵玉, 周巧劲, 张振球. 高压静电场对银杏愈伤组织生长的影响 [J]. *生物物理学报*, 1999, 15 (3): 547 - 550
- [13] 石贵玉, 邓欢爱, 周巧劲. 高压静电场对蟪叶秋海棠愈伤组织生长的效应 [J]. *广西科学*, 1999, 6 (4): 296 - 298
- [14] 赵亚华. 生物化学试验技术教程 [M]. 雅安: 四川农大生化教研室, 2000: 210 - 215
- [15] 张维杰. 糖复合物生化研究技术 (第二版) [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999: 1 - 540
- [16] 吴家和, 陈志贤, 李淑君, 等. 棉花体细胞愈伤组织诱导和增殖期间某些代谢产物的动态变化 [J]. *中国棉花*, 1999, 26 (3): 17 - 18
- [17] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 164 - 261
- [18] 蒋传英, 金承德, 吴仁龙, 等. 工具酶的活力测定 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982: 36 - 38
- [19] 邹绮. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995
- [20] 郑巧兰, 张祖新, 赵仲仁. 磁处理对植物生长的影响 [J]. *天津农业科学*, 1997, 3 (3): 11 - 13
- [21] 弥晓菊, 马越, 郭贵云. 磁场处理番茄种子对其生理生化影响的研究 [J]. *植物研究*, 2000, 19 (1): 68 - 74