

马尾松与5种乡土树种混交的叶片超微弱发光特征研究*

肖可菁 洗丽铎 鲍海泳 陈红跃

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东广州 510642)

摘要 以马尾松 *Pinus massoniana* 与乡土树种荷木 *Schima superba*、黧蒴 *Castanopsis fissa*、红锥 *Castanopsis hystrix*、枫香 *Liquidambar formosana* 和假苹婆 *Sterculia lanceolata* 为研究对象进行混交试验, 研究苗木叶片超微弱发光特征的差异。结果表明, 各树种的超微弱发光特征值大小总体表现为对照组 < 单混种组 < 双混种组, 各树种混种后树种的超微弱发光特征值均有不同程度提高, 所有组合中, 马尾松 + 黧蒴 + 枫香组合超微弱发光特征值最高。从聚类分析结果来看, 马尾松 + 黧蒴 + 荷木、马尾松 + 枫香 + 荷木、马尾松 + 红锥 + 荷木、马尾松 + 红锥 + 黧蒴以及马尾松 + 红锥 + 枫香等组合, 各树种内部相互联系程度高, 代谢旺盛, 树种组合抗性好, 生命力强, 是马尾松纯林林分改造的理想树种搭配选择。

关键词 马尾松; 混交; 乡土树种; 超微弱发光

中图分类号: S791.24 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2020) 02-0013-06

Study on Ultra Weak Luminescence Characteristics of *Pinus massoniana* Mixed with Five Native Tree Species

XIAO Kejing XIAN Lihua BAO Haiyong CHEN Hongyue

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract The mixing experiment was designed between *Pinus massoniana* and *Schima superba*, *Castanopsis fissa*, *Castanopsis hystrix*, *Liquidambar formosana* and *Sterculia lanceolata*. The results showed that the variation rule of ultra weak luminescence characteristic value of each species was the control group < single hybrid group < double hybrid group. The ultra weak luminescence index of *Pinus massoniana* + *Castanopsis fissa* + *Liquidambar formosana* combination was the best. *Pinus massoniana* + *Schima superba* + *Castanopsis fissa*, *Pinus massoniana* + *Schima superba* + *Liquidambar formosana*, *Pinus massoniana* + *Schima superba* + *Castanopsis hystrix*, *Pinus massoniana* + *Castanopsis fissa* + *Castanopsis hystrix*, *Pinus massoniana* + *Castanopsis fissa* + *Liquidambar formosana* performed well on the values of the ultra weak luminescence, which mean these groups were available for the stand transformation of *Pinus massoniana* forest.

Key words *Pinus massoniana*; mixed-species; native tree species; Ultra Weak Luminescence

所有的生命有机体都有自发的超微弱发光 (Ultra Weak Luminescence, UWL)。UWL 是生物系统中自发辐射的一种极弱的准连续光子辐射, 这种光子辐射通常极其微弱, 强度一般为 $100\sim 103 \text{ hv}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$, 射光谱覆盖从近红外、可见光到紫外线的相对较宽的光谱范围^[1-3]。超微弱发光指标不仅可以反映植物的生长状况, 也可表征植物的抗逆性, 可作为植物生理生长的特性指标^[4-6]。

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2017KJCX010, 2014KJCX015)。

第一作者: 肖可菁 (1997—), 女, 硕士研究生, 研究方向为森林培育, E-mail: 1161814694@qq.com。

通信作者: 陈红跃 (1964—), 男, 教授, 主要从事森林培育教学和研究, E-mail: chenryue@scau.edu.cn。

荷木 *Schima superba*、红锥 *Castanopsis hystrix*、黧蒴 *Castanopsis fissa*、枫香 *Liquidambar formosana* 和假苹婆 *Sterculia lanceolata* 等树种是中国华南地区马尾松林分改造常用乡土树种, 本研究在模拟马尾松 *Pinus massoniana* 林地中混种上述 5 种试验树种, 并对马尾松与各树种的超微弱发光特征指标进行跟踪监测与分析, 探讨不同混种模式下各树种相关生理活动与代谢活动的变化特点与适生机制, 分析了各混种模式下树种的生长特点, 归纳了马尾松林地内适生乡土树种, 为华南地区马尾松人工林林分改造与生态公益林建设提供可靠的参考与依据。

1 研究区概况

试验地设在广州市华南农业大学林学与风景园林学院 8 楼天台, 位于北纬 23°09', 东经 113°21', 全年平均气温为 21.9 °C, 平均相对湿度 77 %, 年均降雨量 1 899.8 mm, 集中在 4—9 月, 属亚热带季风气候。试验地环境热量资源丰富, 光照充足, 太阳年辐射热量 106.7 k cal · cm⁻², 年平均日照时数 1 906 h, 日照率 43%, 有利于苗木生长。

2 材料与设计

2.1 试验材料

试验树种为马尾松、红锥、黧蒴、枫香、荷木和假苹婆。试验前进行初步筛选, 选择冠幅、地径、苗高及长势相近的苗木, 其苗高约为 30 cm。

2.2 试验设计

苗木采用 75 cm × 30 cm × 35 cm 种植盆, 土壤为普通黄心土与沙质土 1:1 混合, 适量添加腐殖土。试验设对照组 (CK), 单混种组试验 (B) 与双混种组试验 (C), 试验设计如表 1。每盆苗以矩阵排列, 每半月移动一次种植盆摆放位置, 避免边缘效应对试验的影响。每个月施肥一次, NPK 复合肥, 及时清除种植盆中杂草。每盆种植 12 株, 每行 6 株, 分 2 行种植, 树种依次交叉混交, 每种试验重复 3 次, 共 63 盆, 试验时间持续 9 个月。

表 1 试验设计与处理
Table 1 Experiment design and treatment

对照组 CK		单混种组 (B) Mixed forest		双混种组 (C) Mixed forest	
处理号 Test code	树种组合 Tree species combination	处理号 Test code	树种组合 Tree species combination	处理号 Test code	树种组合 Tree species combination
CK1	马尾松	B1	马尾松 + 荷木	C1	马尾松 + 黧蒴 + 枫香
CK2	荷木	B2	马尾松 + 红锥	C2	马尾松 + 黧蒴 + 荷木
CK3	红锥	B3	马尾松 + 黧蒴	C3	马尾松 + 黧蒴 + 红锥
CK4	黧蒴	B4	马尾松 + 枫香	C4	马尾松 + 黧蒴 + 假苹婆
CK5	枫香	B5	马尾松 + 假苹婆	C5	马尾松 + 枫香 + 荷木
CK6	假苹婆			C6	马尾松 + 枫香 + 红锥
				C7	马尾松 + 枫香 + 假苹婆
				C8	马尾松 + 荷木 + 红锥
				C9	马尾松 + 荷木 + 假苹婆
				C10	马尾松 + 红锥 + 假苹婆

2.3 指标测定

随机选择长势相近且具有代表性的新鲜成熟叶片为材料, 统一称取 0.15 g, 经过 5 min 暗处理后放入 BPCL 型超微弱发光测量仪样品室, 测定样品的自发发光值; 在光强为 1 000~1 500 Lx 荧光灯下光照 5 min 后, 将叶片放入 BPCL 型超微弱发光测量仪样品室, 仪器自动开始延迟发光的测定。每次测量持续时间为 60 s, 每间隔 1 s 采集 1 次数据。工作电压 1 000 V, 维持室温 25 °C, 在暗室中进行试验。测量前后各测一次本底, 每个处理做 3 个重复, 取平均值作为结果。

2.4 数据处理

试验数据应用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析以及邓肯多重检验分析。延迟发光的 DL 曲线^[7-8]如式 1。

$$I(t) = \frac{I_0}{(1+t/\tau)^\beta} \dots\dots\dots(1)$$

式中 I_0 为初始发光值, β 为衰减系数, τ 为相干时间。 I_0 、 β 和 τ 都是衡量树种生长的正相关指标。

3 结果与分析

各树种生物超微弱发光 (Biological ultra weak photon emission, BPE 值) (I)、初始发光值 (I_0)、衰减系数 (β) 和相干时间 (τ) 数值如表 2 所示。

3.1 树种自发光比较

超微弱发光特征指标分为自发光和延长发光两部分。综合比较各树种 BPE 值, 总体变化趋势是单混种组 (B) 与对照组 (CK) 相比变化并不显著 ($P > 0.05$), BPE 值略有升高甚至小幅下降, 双混种组 (C) 则有显著升高 ($P < 0.05$), 除双混种组 (C) 假苹婆的 BPE 值增加不明显, C10 组还略有下降外, 总体 BPE 值表现为 C 组 $>$ B 组 $>$ CK 组。这说明双混种试验各树种间的相互作用对马尾松 BPE 值的影响要比单混种树种的影响大, 马尾松 BPE 值明显受到各试验树种的影响。综合各试验组分析, C1 试验组 (马尾松 + 紫荆 + 枫香) 中 3 种树种的 BPE 值都有显著升高, 由此可知, 此 3 种树种混交时能相互促进。

3.2 树种延迟发光比较

3.2.1 DL 曲线特征指标 I_0 比较 综合比较各树种特征指标 I_0 , 与对照组 (CK) 相比, 单混种组 (B) 的假苹婆 I_0 值出现了小幅下降, 低至 10 892.64。除荷木双混种组 (C) 的值与对照组 (CK) 相比有显著提高外, 双混种组 (C) 的值仅有极小程度的升高, 差异并不显著。说明马尾松与假苹婆混交时, 马尾松对假苹婆的代谢活动有所抑制, 而马尾松与枫香混种对荷木的代谢活动有所促进。

3.2.2 DL 曲线特征指标 τ 比较 综合比较各树种 τ 值, 单混种组 (B) 与对照组 (CK) 相比升幅不大甚至假苹婆单混种组 (B) 有小幅下降, 说明马尾松对这五种树种 τ 值变化影响有限, 尤其是对假苹婆的生命活动的有序运行有抑制作用。双混种组 (C) 较对照组 (CK) 除红锥有明显升高外其余树种均无明显变化, 由此可知, 马尾松与枫香混种对红锥的系统内部联系以及生命活动有序性有促进作用。各试验组马尾松 τ 值变化不大, 马尾松受其他树种影响不明显。综合比较 τ 值表现为 C 组 $>$ B 组 $>$ CK 组。

3.2.3 DL 曲线特征指标 β 比较 综合比较各树种 β 值, 总体变化趋势与其他超微弱发光特征指标有所不同。特别是紫荆, 其 β 值在混种试验中低于对照组, 表现为 CK 组 $>$ C 组 $>$ B 组。说明马尾松与荷木、红锥、假苹婆分别混交时都对紫荆内部组分间的相互联系有抑制作用, 但在马尾松与枫香混交中, 紫荆的 β 值却有所上升。

3.3 超微弱发光指标的聚类分析

为综合分析评价各树种在不同处理中 (含对照) 的超微弱发光指标, 对各树种的超微弱发光指标进行聚类分析, 结果如图 1~6 所示。

马尾松可分为 3 类: 第一类为双混种组 (C) 的混种组合 C2~C10, 第二类为单混种组 (B) 的混种组合 B4 与双混种组 (C) 的混种组合 C1。第三类为单混种组 (B) 的混种组合 B1、B2、B3、B5 与对照组 (CK)。

荷木可分为 3 类: 第一类为双混种组 (C) 的混种组合 C2、C5 以及 C8, 第二类为双混种组

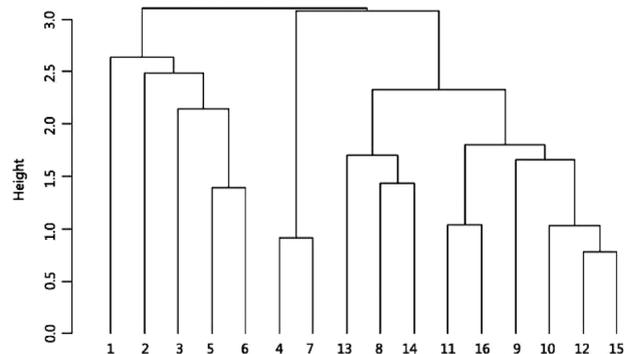


图 1 马尾松超微弱发光指标聚类分析

Fig.1 Cluster analysis diagram of ultra-weak luminescence index of *Pinus massoniana*

表2 各树种超微弱发光特征参量
Table 2 Ultra weak photon emission characteristic parameters of each species

树种 Species	处理号 Test Code	超微弱发光 Ultra weak photon emission (I)	初始发光值 Initial photon value (I_0)	衰减系数 Attenuation coefficient (β)	相干时间 Coherence time (τ)	
马尾松	CK1	224.47 ± 7.49d	7 344.84 ± 554.18a	1.44 ± 0.15a	8.84 ± 1.73a	
	B1	231.18 ± 8.32bcd	7 827.27 ± 615.74a	1.48 ± 0.18a	8.93 ± 1.22a	
	B2	234.22 ± 8.18abcd	7 492.39 ± 475.47a	1.42 ± 0.09a	10.21 ± 1.51a	
	B3	242.44 ± 6.19abc	7 260.05 ± 641.83a	1.47 ± 0.54a	9.29 ± 1.24a	
	B4	229.53 ± 4.98cd	7 628.19 ± 684.96a	1.49 ± 0.26a	9.74 ± 0.94a	
	B5	228.87 ± 6.12cd	7 389.55 ± 617.82a	1.51 ± 0.37a	10.11 ± 1.26a	
	C1	247.08 ± 5.94a	7 284.67 ± 624.09a	1.48 ± 0.19a	9.58 ± 1.19a	
	C2	243.62 ± 7.07ab	7 563.48 ± 693.88a	1.55 ± 0.08a	11.13 ± 1.47a	
	C3	236.79 ± 8.29abcd	7 913.29 ± 589.24a	1.54 ± 0.11a	9.96 ± 1.24a	
	C4	237.52 ± 5.38abcd	7 822.37 ± 697.62a	1.49 ± 0.17a	10.44 ± 2.18a	
荷木	C5	239.84 ± 7.02abc	7 493.52 ± 749.57a	1.52 ± 0.29a	9.65 ± 1.42a	
	C6	241.29 ± 4.90abc	7 647.93 ± 641.69a	1.51 ± 0.21a	10.16 ± 1.81a	
	C7	237.82 ± 8.55abcd	7 804.49 ± 574.28a	1.56 ± 0.40a	11.02 ± 1.17a	
	C8	241.44 ± 11.04abc	7 529.72 ± 552.93a	1.59 ± 0.38a	10.44 ± 1.44a	
	C9	240.8 ± 5.27abc	7 714.14 ± 615.42a	1.48 ± 0.25a	10.28 ± 2.17a	
	C10	236.64 ± 4.93abcd	7 644.56 ± 624.83a	1.53 ± 0.22a	9.36 ± 0.89a	
	CK2	292.69 ± 6.33bc	6 425.37 ± 577.24a	1.37 ± 0.18a	14.92 ± 1.25a	
	B1	291.88 ± 8.98c	6 943.81 ± 861.26a	1.31 ± 0.22a	15.27 ± 0.84a	
	C2	327.64 ± 10.24a	7 254.22 ± 740.38a	1.42 ± 0.41a	15.91 ± 2.18a	
	C5	311.44 ± 12.41ab	7 986.09 ± 917.68a	1.39 ± 0.07a	16.44 ± 1.92a	
红锥	C8	322.68 ± 9.94a	7 508.36 ± 783.28a	1.47 ± 0.28a	16.38 ± 1.27a	
	C9	308.29 ± 14.19abc	7 442.27 ± 766.09a	1.24 ± 0.24a	15.80 ± 1.08a	
	CK3	424.18 ± 9.19b	13 094.47 ± 1 057.48b	1.18 ± 0.14a	22.11 ± 1.24b	
	B2	437.94 ± 14.24b	13 997.58 ± 1 740.94ab	1.22 ± 0.07a	24.83 ± 1.96ab	
	C3	481.29 ± 13.91a	14 487.31 ± 2 227.61ab	1.31 ± 0.13a	25.52 ± 3.81ab	
	C6	489.38 ± 12.88a	15 326.64 ± 2 624.29a	1.29 ± 0.29a	27.49 ± 1.94a	
	C8	476.52 ± 15.09a	15 029.93 ± 1 485.83ab	1.26 ± 0.21a	25.84 ± 3.43ab	
	C10	479.96 ± 14.73a	15 228.00 ± 3 324.79ab	1.27 ± 0.12a	26.62 ± 2.14ab	
	CK4	524.13 ± 14.31b	13 117.46 ± 2 309.84a	0.94 ± 0.08ab	32.81 ± 3.31a	
	黧蒴	B3	528.14 ± 19.29b	13 962.31 ± 3 793.08a	0.85 ± 0.09ab	33.98 ± 4.07a
C1		561.89 ± 28.42ab	15 695.89 ± 4 754.29a	1.02 ± 0.10ab	37.43 ± 5.52a	
C2		585.44 ± 24.18a	15 877.42 ± 2 937.62a	0.87 ± 0.11ab	35.64 ± 3.83a	
C3		577.91 ± 30.24a	15 650.47 ± 2 764.58a	0.81 ± 0.09b	36.21 ± 5.14a	
C4		584.29 ± 22.87a	14 940.52 ± 3 636.91a	0.82 ± 0.11b	34.16 ± 1.97a	
CK5		318.34 ± 9.97b	8 103.24 ± 672.42a	2.04 ± 0.42a	14.49 ± 1.56a	
B4		336.47 ± 8.16ab	8 827.57 ± 1 427.99a	2.38 ± 0.47a	15.12 ± 1.93a	
枫香		C1	341.25 ± 13.34a	9 046.28 ± 1 829.96a	2.61 ± 0.51a	15.84 ± 0.64a
		C5	331.56 ± 12.08ab	9 426.53 ± 773.41a	2.54 ± 0.28a	15.39 ± 2.14a
		C6	329.94 ± 13.40ab	9 159.67 ± 1 424.38a	2.57 ± 0.31a	15.32 ± 1.66a
	C7	344.71 ± 11.27a	8 562.82 ± 1 102.29a	2.46 ± 0.26a	14.67 ± 1.27a	
假苹婆	CK6	364.22 ± 8.84a	11 230.54 ± 374.94a	1.86 ± 0.08a	13.29 ± 0.86a	
	B5	357.87 ± 9.39a	10 892.64 ± 502.88a	1.87 ± 0.11a	13.27 ± 1.34a	
	C4	371.29 ± 7.51a	11 234.73 ± 746.58a	1.89 ± 0.10a	13.87 ± 1.19a	
	C7	374.66 ± 11.04a	11 556.29 ± 974.33a	1.92 ± 0.06a	14.24 ± 1.28a	
	C9	368.28 ± 6.08a	11 489.81 ± 1 102.59a	1.91 ± 0.05a	14.29 ± 2.01a	
	C10	361.17 ± 9.24a	11 909.93 ± 479.68a	1.94 ± 0.04a	14.27 ± 1.24a	

注:表中数据为平均值 ± 标准误差,标准误差后的相同字母表示差异不显著 ($P \geq 0.05$)。

Note: Data are shown as mean ± standard deviation. Means followed by the same letters in rows do not differ from each other significantly ($P \geq 0.05$).

(C) 的 C9, 第三类为单混种组 (B) 和对照组 (CK)。

红锥可分为两类：第一类为双混种组 (C) 的混种组合 C3、C6、C8 以及 C10, 第二类为单混种组 (B) 和对照组 (CK)。

黧蒴可分为 3 类：第一类为双混种组 (C) 的混种组合 C2、C3 以及 C4, 第二类为双混种组 (C) 的混种组合 C1, 第三类为单混种组 (B) 和对照组 (CK)。

枫香可分为 3 类：第一类为双混种组 (C) 的混种组合 C1、C5 以及 C6, 第二类为双混种组 (C) 的混种组合 C7 和单混种组 (B), 第三类为对照组 (CK)。

假苹婆可分为 3 类：第一类为双混种组 (C) 的混种组合 C10, 第二类为双混种组 (C) 的混种组合 C4、C7 以及 C9, 第三类为单混种组 (B) 和对照组 (CK)。

综合各树种超微弱发光指标可以发现, 各树种指标数值基本表现为双混种组 (C) 优于单混种组 (B), 优于对照组 (CK)。

马尾松 + 黧蒴 + 荷木、马尾松 + 枫香 + 荷木、马尾松 + 红锥 + 荷木、马尾松 + 红锥 + 黧蒴以及马尾松 + 红锥 + 枫香等 5 种混种组合超微弱发光强度较高, 树种内部相互联系紧密, 抗逆性强。

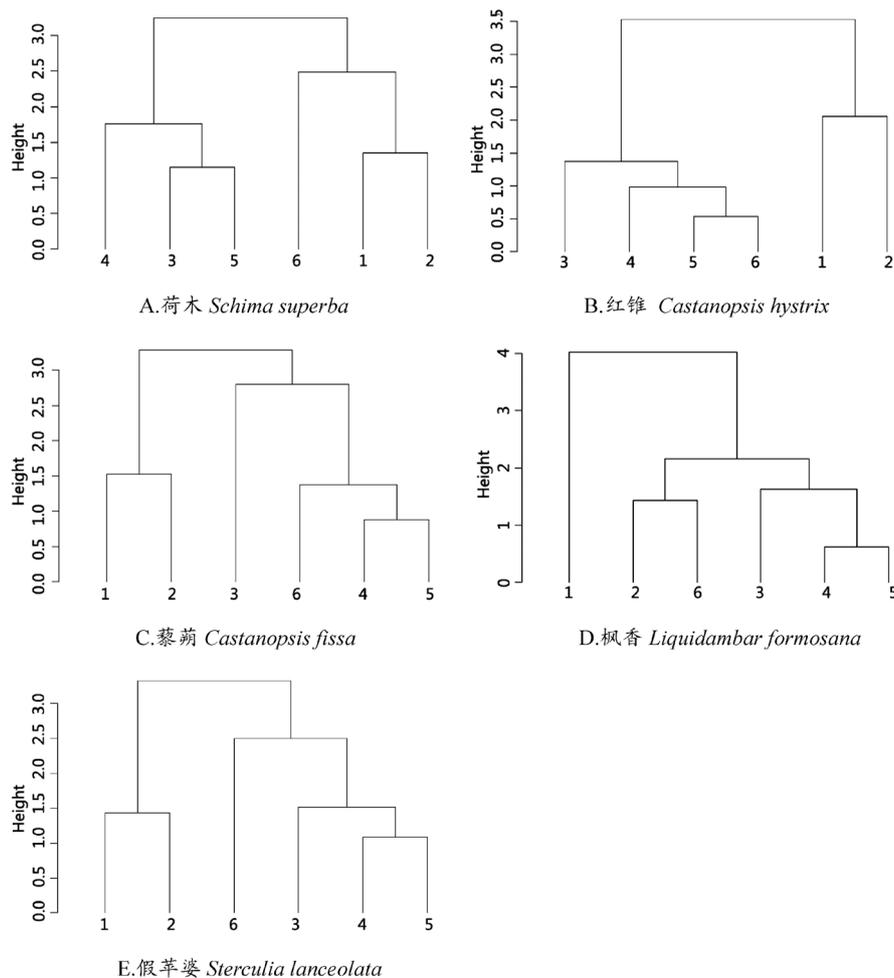


图 2 5 种乡土树种的超微弱发光指标聚类分析

Fig.2 Cluster analysis diagram of ultra-weak luminescence index of 5 native species

4 讨论与结论

自发光与细胞代谢氧化过程密切相关, 延迟发光则代表了生物生命活动强度内部相互联系紧密程度^[9-11]。一般认为, BPE 与生物体的氧化代谢活动密切相关, 其强弱与生物体内氧化还原代谢过程中产生

的活性氧代谢有关, BPE 值越大, 表示植物体内活性氧含量越高, 代谢活动越旺盛^[12]; I_0 表示初始光量子, I_0 的大小代表生物总体的新陈代谢活动强度, 初始光量子值越大, 代谢活动越旺盛, 相干时间 τ 代表着系统内部关联性的强弱与系统的有序性, 在生物发光中可以作为生命活动有序性的度量, 衰减系数是影响弛豫速率的重要参数, 可以用来表征生物内部各组分间相互作用的大小^[13]。 β 值越大, DL 曲线衰减越慢, 生物内部个组分相互作用越大, 相互联系越紧密。由各树种的具体超微弱发光特征数值及邓肯分析结果可知, 各树种普遍存在超微弱发光特征值由对照组至单混种组, 至双混种组依次增大的规律, 这说明各树种混种, 混种程度的增大会对植物的生长带来正面效应。混种可以有效增强各树种生理生长活动。对于马尾松, 混种使其 BPE 有显著提高, 其他几项指标受影响不大, 其中, 双混种组中马尾松的指标变化更明显, 说明混种试验对马尾松的代谢活动产生了较大影响。由此表明, 马尾松与其他树种混交时, 植物细胞代谢氧化过程有明显提高, 代谢旺盛, 尤其是在双混种实验中。而对植物生命活动强度以及内部联系的紧密程度无太大影响。

综合各项研究指标, 试验结果证明各树种混种其超微弱发光会有不同程度提高。马尾松 + 藜蒻 + 枫香组合超微弱发光最高, 是马尾松纯林林分改造的理想树种搭配选择, 马尾松与枫香的混交组合与其他 3 种树种混交都有促进作用, 而马尾松与假苹婆混交却对假苹婆有抑制作用, 对此情况可能的解释是马尾松对假苹婆有抑制作用, 而枫香对假苹婆有促进作用且枫香的促进作用大于马尾松的抑制作用。试验仅对单混种与双混种情况进行了监测分析, 随着混种种树种类的增加, 与各树种的生理活动相关的各项监测有待开展进一步的试验研究。

参考文献

- [1] 袁佐清. 生物超微弱发光研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(8): 3092-3094.
- [2] 程海鹏, 王君晖, 池浩超, 等. 豌豆种子萌发过程中超微弱发光的研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2001(6): 94-97.
- [3] Komatsu S, Kamal A H, Makino T, et al. Ultra weak photon emission and proteomics analyses in soybean under abiotic stress[J]. *Bichimica et Biophysica Acta*, 2014, 1844(7): 1208-1218.
- [4] 马玉琴, 糜福顺. 肺癌患者血液超微弱发光光谱特性的研究[J]. 中华肿瘤杂志, 1992, 14(1): 54-56.
- [5] 王树禹, 赵越, 李茫雪, 等. 低剂量 γ 辐射诱导作物种子超弱发光研究[J]. 核农学报, 2000, 14(1): 12-16.
- [6] 聂继云, 彭运生. 生物超弱发光及其应用研究概述[J]. 激光生物学报, 1998(2): 45-51.
- [7] 习岗. 植物超弱发光及其在农业上的应用[J]. 物理, 1994(9): 548-552.
- [8] 顾樵. 生物光子学[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [9] POPP F A, YAN Y. Delayed luminescence of biological systems in terms of coherent states[J]. *Physics Letters A*, 2002, 293 (1): 93-97.
- [10] KIM H W, SIM S B, KIM C K, et al. Spontaneous photon emission and delayed luminescence of two types of human lung cancer tissues: Adenocarcinoma and Squamous cell carcinoma [J]. *Cancer Letters*, 2005, 229(2): 283-289.
- [11] 王红梅. 碱胁迫对叶片延迟发光的实验研究[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(10): 52-55.
- [12] L O Björn, CALLAGHAN T V, JOHNSEN I, et al. The effects of UV-B radiation on European heathland[J]. *Plant Ecology*, 1997, 128(1): 253-264.
- [13] 顾樵. 生物系统的超弱光子辐射[J]. 量子电子学, 1988(1): 93.