

文章编号: 1000-8551(2007)05-436-05

^{60}Co γ 辐射对毛竹种子活力及早期幼苗生长的影响

蔡春菊 高 健 牟少华

(国际竹藤网络中心/国家林业局竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

摘 要:以毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 干种子为材料, 采用室内发芽实验、电导率测定和 TTC 活力测定以及早期幼苗生长分级等 4 种方法研究了 ^{60}Co γ 射线对种子活力及早期幼苗生长的诱导效应。结果表明: 当辐照剂量低于 100 Gy 时, 辐照能加快种子萌发进程, 提高发芽率; 而当剂量超过 100 Gy, 则对毛竹种胚组织造成损伤, 抑制细胞生长和分裂, 不同程度地延迟了毛竹种子发芽过程, 降低了种子活力, 造成早期苗高和根生长受到明显抑制, 抑制作用随辐照剂量的增大而增强。毛竹种子发生诱变效应的最佳辐照剂量范围为 100~175 Gy。24h 电导率与发芽率、发芽指数、活力指数、苗高和根生长等活力指标间存在极显著线性关系, 是快速检验毛竹种子活力的重要指标。24h 电导率和苗高又可作为检查辐射后毛竹种子活力变化和发生诱导效应的有效指标。

关键词: ^{60}Co γ 射线; 毛竹; 辐射剂量; 种子活力; 萌发

EFFECTS OF ^{60}Co γ RAYS RADIATION ON SEED VIGOR AND YOUNG SEEDLING GROWTH OF *Phyllostachys edulis*

CAI Chun-ju GAO Jian MU Shao-hua

(International Center for Bamboo and Rattan/Key Laboratory of Science and Technology of
Bamboo and Rattan, State Forestry Administration, Beijing 100102)

Abstract: The dry seeds of *Phyllostachys edulis* were irradiated by different doses of ^{60}Co γ rays, the effects of the radiation on seed vigor and seedling growth characters were investigated by four testing methods, i. e. germination testing indoor, electrical conductivity, TTC vigor testing and growth classification of seedling. Results showed that the germination process and germination rate could be accelerated by doses of ^{60}Co γ rays ($\leq 100\text{Gy}$), and higher doses of ^{60}Co γ rays ($> 100\text{Gy}$) could obviously inhibit the germination process and reduce seed vigor, while induce seed embryo broken, cell division, growth restrained, the height of young seedling and length of root decreasing. The inhibition effects were significantly increased with radiation dose increase. The optimal range of radiation dose for radiation breeding of *Phyllostachys edulis* dry seeds was 100 to 175 Gy. Linear relationships were existed in electrical conductivity after dipping in water for 24h in germination rate (G), germination index (GI), vigor index (VI), height of seedlings and length of root. EC after 24h and height of seedlings were chosen to test the change of seeds vigor and the effect of the radiation of ^{60}Co γ rays on *Phyllostachys edulis*.

Key words: ^{60}Co γ rays; *Phyllostachys edulis*; irradiation dose; seed vigor; germination

辐射诱变育种是获得新种质资源和选育新品种的有效途径之一, 其具有突变率高、突变谱宽、后代性状稳定快、育种周期短等优点, 易于创造新的资源材料与

类型, 且方法简便, 可在短时间内改变植物的某一性状。1934 年, 世界上第一个辐射诱变植物新品种烟草新品种 (Chlorina F₁) 在印度尼西亚育成并在生产上推

收稿日期: 2007-04-25

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目资助 (2006BAD19B0203)。

作者简介: 蔡春菊 (1975-), 女, 山东青州人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为竹子遗传育种。E-mail: caicj@icbr.ac.cn

通讯作者: 高 健 (1966-), 女, 安徽五河人, 博士, 研究员, 主要研究方向为植物诱变育种。E-mail: gaojian@icbr.ac.cn

广应用后,辐射诱变育种研究在美、苏、日和西欧一些国家较多地开展起来,并与现代生物技术、有效的常规育种等方法结合,到 20 世纪 80 年代辐射诱变育种研究逐渐发展成为一种成熟的综合性育种新技术,并在农作物、蔬菜、果树和观赏植物育种中取得了很多可喜的成果^[1~4]。

我国从 20 世纪 50 年代后期开始辐射育种的研究并得到了快速发展。在 2000 年 IAEA 登记的 2252 个诱变新品种中,我国利用辐射诱变育成的新品种就达 605 个(40 多种植物),占 26.7%;2001 年 625 个,占全球的 27.2%,成为世界上育成农作物品种较多的国家之一。据 2001 年底不完全统计,我国辐射诱变育成新品种年推广种植面积达 330 万 hm^2 以上,育成的新品种每年为国家创经济效益 33~40 亿元^[2~4]。

林木辐射育种研究还刚刚起步,在生产中应用少。竹子由于其自身的生物学特性,开花周期不确定,开花后结实率低,不易获得种子,生产上常采用无性繁殖与无性系改良等常规育种方法^[5~8]。杂交育种则在丛生竹育种方面取得一定成果^[8,11],近年来,现代生物技术应用到竹子育种中,在组织培养、试管苗诱导开花、转基因育种等^[1,2]方面有一定进展,但总体上竹子遗传育种仍处于较低水平^[13]。迄今为止,国内外辐射育种在竹类植物中的应用未见报道。竹子与辐射育种中较为成功的玉米、水稻、小麦、草坪草等植物同属于禾本科,种子结构相似。因此,竹子的诱变育种在理论上具有较强的可行性,将成为竹类植物今后遗传改良的重要方向。研究辐射处理对毛竹种子萌发及早期幼苗生长的影响,旨在了解辐射引起的毛竹种子内部生理生化反应及遗传变化的早期现象,对竹子辐射育种目的变异性状的早期筛选,竹子的遗传改良及定向培育具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

供试毛竹种子为 2006 年 9 月份收获的新种子,种子采集地点为广西省临桂县。采后通风干燥并于 4℃ 冰箱中塑料袋封存。种子净度为 $(56.6 \pm 0.31)\%$,千粒重为 $(24.1 \pm 0.53)\text{g}$ 。处理时净种子平均含水量为 8.26%。

1.2 方法

1.2.1 辐射处理 将毛竹干种子装入牛皮纸袋内,于 2006 年 10 月在中国农业科学院原子能利用研究所钴源室进行辐射处理,辐照剂量分别为 50、100、150、200、

250、275、300、325、350 和 400 Gy,剂量率为 1.90 Gy/min。以未辐射种子为对照。

1.2.2 发芽试验 滤纸发芽床,25℃ 恒温生化培养箱内发芽。每处理 50 粒种子,3 次重复。种子萌发后以胚加上下胚轴达到或超过种子长度为标准记载发芽数,当未处理种子发芽率达到 50% 时计算各处理种子的发芽势,发芽结束后统计发芽率,计算发芽指数、活力指数、发芽值等相关指数^[14,15]。

计算公式为:

发芽率 (G_r) = $\sum G_t / N_T \times 100\%$; 发芽指数 (GI) = $\sum (G_t / D_t)$; 活力指数 (V_i) = $S \times \sum (G_t / D_t)$; 平均发芽天数 = $\sum (G_t \times D_t) / \sum G_t$; 发芽值 (GV) = 峰值 (PV) $\times$ 平均发芽率 (MDG); 苗生长抑制量 = $(H_t - H_0) / H_0 \times 100\%$ 。其中, G_t 表示在 t 日时的发芽数, D_t 表示相应的发芽天数, N_T 表示种子总数, S 表示幼苗的生长势(以苗鲜重 g 表示), H_t 表示处理苗的根长和苗高, H_0 为对照苗的根长和苗高。

1.2.3 电导率测定 取不同辐射处理的净种子,用自来水洗净种子表面,蒸馏水和超纯水各冲洗 2 遍,将 30 粒种子放入洁净的 100ml 烧杯中,加入 50ml 超纯水(电导率为 0.62 $\mu\text{S}/\text{cm} \cdot \text{g}$),于 25℃ 下浸泡 24h 和 48h,用 DDS-320 型精密电导仪测定浸出液的电导值,再将种子及浸出液沸水浴 30min,冷却至 25℃ 后测定总电导值,分别计算 24h 电导率、48h 电导率及相对电导率(相对电导率 = 24h 浸泡液电导值/总电导值 $\times 100\%$)。重复 3 次。

1.2.4 TTC 活力测定 随机取不同处理完全吸涨后净种子,切开露胚,取带胚的一半种子加入浓度为 0.5% 的 (TTC) 溶液 ($\text{pH} 7.0$),以完全淹没种子为宜,并在 35℃ 恒温培养箱内黑暗条件染色 4h,用清水冲洗并在解剖镜下观察、判断种子生活力^[15],取正常染色种胚 15 粒,丙酮提取并于 490nm 波长测 OD 值^[14,15]。每个处理 50 粒种子,重复 3 次。

1.2.5 统计方法 用 SPSS11.0 统计软件进行数据统计及相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同剂量辐照对细胞膜损伤的影响

辐射处理不仅能引起细胞核中 DNA 产生变异,同时在一定剂量处理后会引引起膜损伤,膜透性会明显改变,表现出种子浸出液电导率增加,不同植物对辐照剂

量反应的敏感性不同。

对辐射处理后毛竹种子浸泡液 24h 和 48h 电导率及相对电导率测定结果见图 1。图 1 显示:辐照剂量不超过 100Gy 时,3 种电导率变化均小,说明细胞膜透性变化小,细胞损伤不严重;当剂量超过 150Gy,细胞渗出液浓度随着辐射剂量的加大而增加。电导率越大,膜透性越大,细胞受损伤程度越大。毛竹种子的 24h 电导率、48h 电导率以及相对电导率变化趋势表现出一致性。

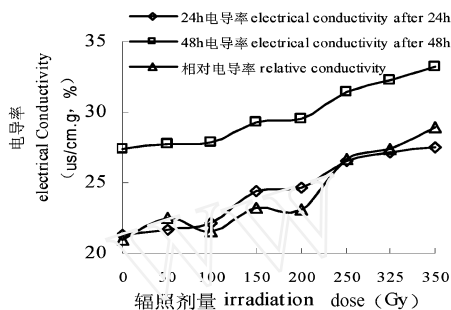


图 1 辐照处理对毛竹种子细胞膜透性的影响
Fig. 1 Effect of irradiation on the membrane conductivity of *Phyllostachys edulis* seeds

2.2 辐照处理对毛竹种子萌发的影响

2.2.1 对萌发进程的影响 辐射不同程度地影响了

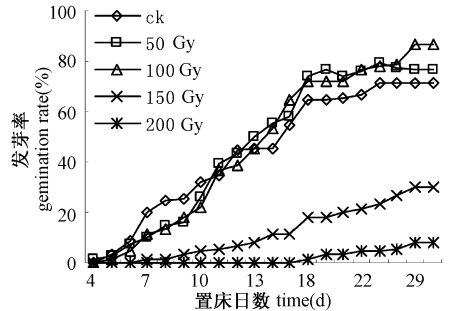


图 2 辐照处理对毛竹种子发芽进程的影响
Fig. 2 Effect of irradiation on the germination of *Phyllostachys edulis* seeds

毛竹种子萌发(图 2)。萌发过程表现出 3 种结果:当辐照剂量为 50 和 100Gy 时,发芽势分别比对照提高了 15.1 %和 12.1 %,发芽率分别提高了 9.0 %和 10.9 %,这与其他作物相类似;辐照剂量在 100~200Gy 范围内,抑制作用显著;随着辐照剂量的增大,种子发芽进程明显延迟,其发芽势、发芽率急剧降低,平均发芽天数延迟 1~3d,辐照剂量达到 200Gy,发芽值由 9.17 突降至 0.64(图 3),种子活力已受到明显阻碍。当辐照剂量超过 250Gy,置床后 3~5d 左右均开始露白,置床 15d 不同辐射处理的种子露白率达到 52.8 %~82.5 %,但由于生长点受射线损伤严重,代谢活动紊乱,生长缓慢或停滞,置床 20d 左右,逐渐表现出根尖萎缩,茎尖失水干瘪,45d 左右均仍达不到发芽标准,最终丧失活力。

2.2.2 对种子活力的影响 辐射对毛竹种子 5 种活力指数的影响见图 3。结果表明,随着辐照剂量的增大,毛竹种子活力总体表现出先增后减的趋势,不同活力指标间变化临界点又表现出差异性。其中,发芽率、发芽值变化临界点在 100Gy,而发芽势、发芽指数和活力指数临界点低于 100Gy,当辐照剂量超过 250Gy,5 种活力指标均为 0,种子活力完全丧失。

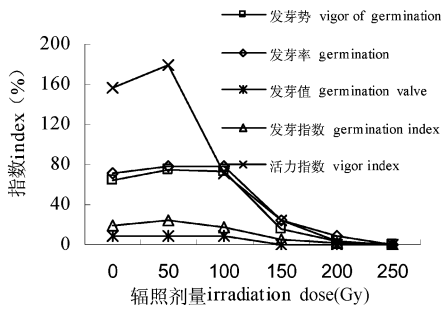


图 3 辐照对毛竹种子活力的影响
Fig. 3 Effect of irradiation on seed vigor of *Phyllostachys edulis*

表 1 辐射对毛竹种子生活力的影响(TTC)

Table 1 Effect of irradiation on the viability of *Phyllostachys edulis* seeds(TTC)

种子生活力百分比 seed viability percentage (%)	辐照剂量 irradiation dose (Gy)										
	0	50	100	150	200	250	275	300	325	350	400
有生活力种子 percentage of having seed viability	85	87	84	79	64	58	48	55	46	62	48
部分失活 percentage of seed viability loss partly	9	7	12	18	40	38	40	33	42	28	32
完全失活 percentage of seed viability loss totally	6	6	4	3	6	4	12	12	14	10	20

四唑测定技术(TTC)是《国际种子检验规程》中用于测定发芽缓慢或有休眠种子的生活力、快速判断种子潜在发芽能力的一种有效方法,应用范围广泛。本试验中 TTC 测定结果(见表 1)与发芽法测定的结果基本一致。同样表现为随着辐照剂量的增加种子活力降低。其中,辐照剂量低于 100 Gy 对毛竹种子活力影响不大,在 50 Gy 时甚至略有提高;在 100 Gy~250 Gy 范围内,随辐照剂量的增加导致种子部分活力丧失,同时此范围的诱变几率也较高;当辐照剂量高于 250 Gy,种子完全丧失活力的比率明显增加,说明高于该剂量的辐

射对种子已经产生了极强的抑制效应。

与发芽试验法测定结果不同的是:当辐照剂量高于 250 Gy, TTC 法测定有活力种子比率基本保持在 50 %左右,正常染色的有活力的种胚 OD 值不同处理间差异不大,综合高剂量辐射后种子发芽进程表现,可以断定种子发芽能力丧失的原因可能是高剂量辐射处理导致代谢活动紊乱,萌发过程中生理过程受阻。

2.2.3 种子活力指数间的相关关系 毛竹种子活力指数间的相关关系结果见表 2。

表 2 毛竹种子活力指数间的相关关系

Table 2 The Correlation analysis on vigor indexes of *Phyllostachys edulis* seeds

指标 index	发芽指数 GI	活力指数 VI	根长 root length	苗高 seedling height	24h 电导率 electrical conductivity after 24h	相对电导率 relative electrical conductivity
发芽率 germination percentage	0.976 **	0.866 **	0.907 **	0.952 **	- 0.974 **	- 0.914 **
发芽指数 germination index (GI)	1	0.941 **	0.912 **	0.973 **	- 0.910 **	- 0.816 *
活力指数 vigor index (VI)		1	0.932 **	0.961 **	- 0.962 **	- 0.899 **
根长 root length			1	- 0.976 **	- 0.951 **	- 0.851 **
苗高 seedling height				1	- 0.961 **	- 0.852 **
24h 电导率 electrical conductivity after 24h					1	0.960 **

注: *和 **分别表示达到显著水平($P < 0.05$)和达到极显著水平($P < 0.01$)。

Note: * and ** mean correlations between vigor indexes in significant level ($P < 0.05$) and extremely significant level ($P < 0.01$), respectively.

表 2 表明:除个别指数外,毛竹种子 6 种活力指数间均表现出极显著相关。其中,苗高与其他 5 种指标相关系数都极高,发芽后幼苗的根长和苗高生长存在极显著相关关系,且辐射处理对根和苗高的影响作用均为负相关,表现出一致性。所以,苗高生长可作为评价辐射处理后种子活力和竹苗早期生长表现的直观指标。

毛竹种子萌发过程长,大约需要 30d 左右,辐射处理后需要时间更长,而 24h 电导率与其余 6 项活力指标均存在极显著相关关系。24h 电导率测定简单易行,时间短,不仅可以直接评价毛竹种子活力高低,而且与其他活力指数间建立起回归方程(见表 3),还可判断种子活力的其他指标提供参考。

表 3 24h 电导率(x) 与种子活力指标(Y)间相关关系方程

Table 3 The correlative equation between electrical conductivity after 24h (x) and some vigor indexes (Y) of *Phyllostachys edulis*

指标 index	$Y = a + bx$	相关系数 r
发芽率 germination	$Y = 26.10 - 0.06x$	- 0.97
发芽指数 GI	$Y = 118.32 - 4.54x$	- 0.96
活力指数 VI	$Y = 847.47 - 32.87x$	- 0.95
根长 root length	$Y = 63.01 - 2.45x$	- 0.96
苗高 seedling height	$Y = 27.31 - 1.06x$	- 0.96

2.3 辐射处理对毛竹幼苗生长的影响

辐射对毛竹幼苗早期生长的影响见表 4。

由测定结果可知,各种辐射处理后胚根生长明显

表 4 辐射处理对毛竹幼苗早期生长的影响

Table 4 Effect of irradiation on the seedling growth of *Phyllostachys edulis* seeds

处理 treatment (Gy)	根长 root length (cm)					苗高 seedling height (cm)				
	平均 average	降低 decrease (%)	$< \bar{x}$	$\bar{x} \leq x < \bar{x} + \delta$	$\geq \bar{x} + \delta$	平均 average	降低 decrease (%)	$< \bar{x}$	$\bar{x} \leq x < \bar{x} + \delta$	$\geq \bar{x} + \delta$
0 (ck)	13.38 **	-	43.18	45.46	11.36	4.94	-	47.73	36.36	15.91
50	9.49 **	29.07	40.96	45.79	13.25	4.97	- 0.61	40.96	44.58	14.46
100	7.41 **	44.62	59.57	40.43	0	3.49 *	29.35	55.32	44.68	0
150	1.87 **	86.02	85.19	3.70	11.11	0.43 **	91.30	51.85	40.74	7.41
200	0.53 **	96.04	100	0	0	0 **	100.00	100	0	0

注:“ $\bar{x}$ ”为调查总株数的平均苗高(根长);“ δ ”为调查总株数的苗高(根长)标准差

Note: “ $\bar{x}$ ” means average value of seedling height or root length; “ δ ” means standard deviation of seedling height or root length.

受到限制,出苗和生长抑制作用随着剂量的加大而增强,不同处理间差异达到极显著水平。与对照相比,辐照剂量低于 100 Gy,发芽率和发芽势略有提高,苗高生长表现为先略增后减的趋势,处理间的苗高与对照生长差异不显著,而根长受到明显抑制;辐照剂量高于 150 Gy,幼苗根长和苗高生长均明显受到抑制,且室内辅助播种实验幼苗死亡率随辐射剂量的增大而增加,处理间差异达到极显著水平;当辐照剂量达到 200 Gy,幼苗根的平均长度为 0.53cm,比对照降低了 96%,苗高降低幅度达 100%;辐照剂量高于 250 Gy,种子已基本失去活力。

2.4 毛竹育种适宜辐照剂量的确定

适宜剂量的确定对辐射育种来说至关重要,但目前对此还缺乏统一的标准。辐射当代的相对出苗率是确定辐射损伤效应的重要指标,近年来多采用对照生长量的 70%,植株成活率的 50%左右的剂量(即半致死剂量)和 40%左右的剂量(临界剂量)之间作为最佳辐照剂量范围的参考。以发芽试验和室内辅助播种试验数据为基础,以不同辐照剂量 x 为自变量,不同剂量下的相对出苗率 y 为因变量,利用直线回归方程 $y = a + bx$ 和公式 $x = (LD_{50} - a) / b$ 计算毛竹辐射育种的半致死剂量和临界剂量^[18~20]。通过计算,建立毛竹相对出苗率与辐照剂量建立的回归关系方程: $Y = 122.44 - 0.4715x$, $r = 0.927$; LD_{50} 在 150 Gy 左右, LD_{40} 在 175 Gy 左右;辐照后毛竹生长量为对照苗高或根长的 70%时,所采用的辐照剂量为 100 Gy(表 4)。毛竹种子诱变效应的最佳辐照剂量范围为 100~175 Gy。

3 结论与讨论

^{60}Co γ 射线不同程度地影响了毛竹种子萌发及幼苗生长进程。当辐照剂量较低时,辐射能够促进种胚组织细胞生长和分裂,提高种子活力;而当剂量超过 100 Gy, ^{60}Co γ 辐射对毛竹种胚组织造成损伤,影响了细胞生长和分裂,延迟了种子萌发进程,种子活力降低。辐照剂量越高,影响越大,发芽率和活力越低。同时辐射导致代谢活动紊乱,苗木生长缓慢,苗高和根长都低于对照,并且随着剂量增大而降低。

苗高与其他活力指数间相关关系密切,可作为辐照处理后毛竹种子活力和早期生长表现的良好指标;由于毛竹种子发芽时间长,24h 电导率可作为快速测定毛竹种子活力的有效指标,并可为其他活力指标判断种子活力的参考。

辐照处理对不同植物表现出的效应是不同的,有

的表现在根上如拟南芥^[16],有的则表现在不定芽分化上如杜鹃^[17]。对毛竹种子的处理结果看,低剂量(低于 100 Gy)处理后,短时间内对胚根和根生长抑制效应大,对胚芽及苗高生长影响不显著;辐照剂量在 100 Gy~200 Gy 范围,对幼苗根长和苗高生长抑制均显著;萌发成苗期间幼苗黄化、矮化和叶片变小等畸形率明显提高,表明此剂量范围对毛竹种子的效应明显增强,是毛竹种子有效的辐照剂量范围。辐照剂量在 250 Gy~400 Gy,极大地抑制了根茎生长,根系不能伸出胚芽。

辐射对毛竹种子及幼苗的效应主要表现在生理受阻导致的根和苗高生长受到明显抑制,幼苗白化、矮化、畸形和叶片变小、节间变短等诱变效应在少量植株上已有表现,但由于实验时间短,不能确定这是辐射后的生理损伤还是遗传物质变化造成的,还有待于进一步观察和开展细胞学效应的鉴定。从辐射对毛竹种子萌发进程、活力变化以及早期幼苗生长的影响来看,选择临界剂量和半致死剂量之间的范围即 100~175 Gy,可作为毛竹种子诱变处理的最佳辐照剂量范围,有望产生较多的突变。

辐射育种中,适宜辐照剂量的选择是诱变成功的前提。除种子萌发和幼苗早期生长外,田间出苗、 M_1 植株生长和形态等性状指标、内源物质和酶活性等生理代谢指标测定以及细胞有丝分裂指数、染色体变异类型等细胞学效应的研究都均应作为适宜辐射剂量确定的依据,更有利于辐照材料的选择、适宜辐照剂量的确定及诱变效果的提高。

由于辐射对毛竹苗木、成竹生长的影响是不定向和多方面的,本文仅对种子活力和苗木发芽进行研究,其研究结果是初步的,但是否产生变异和能否定向选育尚无法得出结论,深入开展这些方面的后续研究对于竹子诱变育种具有重要的理论及实践意义。

参考文献:

- [1] 陈子元. 从辐射育种的发展来展望航天育种的前景. 核农学报, 2002, 16(5): 261~263
- [2] 温贤芳, 汪勋清. 中国核农学的现状及发展建议. 核农学报, 2004, 18(3): 164~169
- [3] 温贤芳. 中国核农学现状与 21 世纪初的发展. 核科学与工程, 2000, 20(3): 332~338
- [4] 汪勋清, 华 珞. 中国核农学的成就与展望. 中国核科技报告, 2001, 1~19
- [5] 张光楚, 王裕霞. 竹子遗传育种工作现状及前景. 竹子研究汇刊, 1998, 17(1): 6~9
- [6] 郑维鹏. 福建绿竹地理种源的生长适应性. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(5): 51~54

(下转第 455 页)

2.5 培养基优化配方验证

通过上面的培养基优化,确定最优发酵培养基配方中碳源与氮源分别为可溶性淀粉 20.12g/L, D-核糖为 7.81g/L,豆粕粉为 25.23g/L,大豆蛋白胨为 5.06g/L。通过摇培发酵验证,阿维拉霉素发酵单位为 103.99 $\pm$ 4.2mg/L,试验结果和预测值很接近,说明整个方程的预测较为成功。

3 结论

本试验以链霉菌 A-05 为出发菌株,经过⁶⁰Co γ 射线诱变,获得了较佳的诱变剂量并筛选获得高产突变株 H-15。采用响应面法对其发酵培养基配方中的碳源、氮源的种类、浓度与组合进行了优化设计。试验结果表明,优化后的培养基配方与原始培养基相比,组份虽然增多了,但产物阿维拉霉素的合成获得了较大的提高。文献报道的培养基以甘露醇作为碳源,以豆粕粉、缬氨酸作为氮源,成本较高;经优化后以可溶性淀粉、核糖作为碳源,适量增加大豆蛋白胨,取消缬氨酸,原料成本下降的同时发酵单位也提高了。

参考文献:

- [1] Wright D E. The orthosomycins, a new family of antibiotics. *Tetrahedron*, 1978, 35: 1207~1237
- [2] Champney W S, Tober C L. Evernimycin (SCH27899) inhibits both translation and 50S ribosomal subunit formation in *Staphylococcus aureus* cells, *Antimicrob. Agents Chemother*, 2000, 44: 1413~1417
- [3] Foster D R, Rybak M J. Pharmacologic and bacteriologic properties of SCH27899 (Ziracin), an investigational antibiotic from the evernimycin family. *Pharmacotherapy*, 1999, 19: 1111~1117
- [4] Fuchs P C, Barry A L, et al. In vitro activities of SCH27899 alone and in combination with 17 other antimicrobial agents. *Antimicrob. Agents Chemother*, 1999, 43: 2996~2997
- [5] 欧盟决定延长阿维拉霉素的使用. *中国动物保健*, 2003, 5: 41
- [6] Chauvin C, Gicquel-Bruneau M, et al. Use of avilamycin for growth promotion and avilamycin-resistance among *Enterococcus faecium* from broilers in a matched case-control study in France. *Preventive Veterinary Medicine*, 2005, 70: 155~163
- [7] <http://www.ivdc.gov.cn://8080/was40/search?channelid=44500>
- [8] 朱传合,贺亚男,等.微波对阿维拉霉素产生菌诱变效应的研究. *现代生物医学进展*, 2006, 4: 32~34
- [9] 朱传合,贺亚男,等. N⁺ 离子注入阿维拉霉素产生菌诱变效应的研究. *核技术*, 2006, 8: 609~613
- [10] Weitnauer G, Muhlenweg A, et al. Biosynthesis of the orthosomycin antibiotic avilamycin A: deductions from the molecular analysis of the avilamycin biosynthetic gene cluster of *Streptomyces viridochromogenes* Tu 57 and production of new antibiotics. *Chemistry & Biology*, 2001, 8: 569~581
- [11] Miller A, Sitter R R. Using the folded-over 12-run Plackett-Burman design to consider interactions. *Technometrics*, 2001, 1: 44~54
- [12] Ratnam B V V, Narasimha Rao M, et al. Optimization of fermentation conditions for the production of ethanol from sago starch using response surface methodology. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2003, 5: 523~526
- [13] Ismail A, Under M, et al. Optimization of butylgalactoside synthesis by *B. galactosidase* from *Aspergillus oryzae* -new orientations. *Enzyme and Microbial Technology*, 1999, 3: 208~213
- [14] 郑光华. 种子生理研究. 北京: 科学出版社, 2004
- [15] 宋松泉,程红焱,等. 种子生物学研究指南. 北京: 科学出版社, 2005
- [16] 郝建平,郭美丽,宋莲芬. 拟南芥抗盐单基因突变体的诱导与筛选. *山西大学学报*, 2003, 26(4): 349~351
- [17] 王长泉,宋恒. 杜鹃抗盐突变体的筛选. *核农学报*, 2003, 17(3): 179~183
- [18] 周小梅,赵运林,等. 几种冷季型草坪草辐射敏感性及其辐射育种半致死剂量的确定. *湘潭师范学院学报(自然科学版)*, 2005, 27(1): 75~78
- [19] 马建中,鱼红斌,伊虎英. 中国北方主要牧草品种的辐射敏感性与辐射育种适宜剂量的探讨. *核农学报*, 1997, 18(3): 101~105
- [20] 冯志杰. 高等植物的辐射敏感性. 北京: 原子能出版社, 1995, 75~81
- [7] 陈存及,梁一池,等. 毛竹种源多性状综合选择的研究. *林业科学*, 2001, 37(1): 18~23
- [8] 陈光才,马乃训. 竹子遗传育种研究进展. *林业科学研究*, 2005, 18(6): 749~754
- [9] 宁材强,戴启惠. 撑篙竹 $\times$ 大绿竹杂交选育的研究. *广西林业科学*, 1995, 24(4): 167~168
- [10] 邢新婷. 麻竹不同地理群体遗传变异分析及良种选育研究. *中国林业科学研究院*, 2003
- [11] 袁金玲,傅懋毅,等. 几个丛生竹种杂交育种的研究. *中国林学会竹子分会编. 中国林学会首届竹业学术大会论文集*, 2004
- [12] 卓仁英. 竹子生物技术育种研究进展. *浙江林学院学报*, 2003, 20(4): 424~428
- [13] 江泽慧主编. *世界竹藤*. 辽宁科学技术出版社, 2002

(上接第 440 页)