

赵卫红,张余霞,於叶兵,等. 停乳链球菌活菌和死菌对日本沼虾机体 SOD 活性和 MDA 含量影响的比较[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):284-287.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.096

停乳链球菌活菌和死菌对日本沼虾机体 SOD 活性和 MDA 含量影响的比较

赵卫红,张余霞,於叶兵,王资生,齐志涛

(盐城工学院化学与生物工程学院,江苏盐城 224051)

摘要:将健康日本沼虾[(1.40 ± 0.12) g]随机分为3组,注射2针PBS的对照组,第1针注射PBS、第2针注射停乳链球菌活菌的感染组,第1针注射停乳链球菌死菌、第2针注射停乳链球菌活菌的免疫组,2针相隔24 h。第2针注射后6 h、12 h、24 h、5 d和10 d分别采集肝胰腺、肌肉和鳃组织,测定其中的总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性和丙二醛(MDA)含量。试验结果显示:感染组活菌注射6、12 h肌肉以及5 d肝胰腺中SOD活性相对于对照组均显著升高($P < 0.05$);免疫组活菌注射6 h后肝胰腺、肌肉和鳃中SOD活性显著高于感染组,而MDA含量显著低于感染组($P < 0.05$);6、12、24 h肌肉、24 h肝胰腺、5 d鳃中SOD活性均为免疫组显著高于感染组($P < 0.05$);12 h的肌肉和5 d的鳃中MDA含量,免疫组显著小于感染组($P < 0.05$)。结果表明,灭活链球菌注射日本沼虾24 h后再注射活菌,6 h后可提高日本沼虾机体免疫活性,降低机体MDA含量。

关键词:停乳链球菌;日本沼虾;疫苗;总超氧化物歧化酶(T-SOD);丙二醛(MDA)

中图分类号: S945.4⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)12-0284-03

日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*),别称青虾、河虾,是我国重要的淡水养殖经济品种,具有较高的食用价值和经济价值,并具有潜在的药用价值^[1],由于其肉味鲜嫩、营养丰富,一直深受消费者喜爱。近年来,随着人工养殖技术的快速发展,规模化高密度养殖模式的普及,水产动物间病原体交叉感染严重,细菌病等疾病的暴发制约着日本沼虾产业的发展。在我国一些水产养殖地区,均不同程度地暴发链球菌病,给水产养殖业造成了严重的经济损失。大连某养殖场发生过对虾链球菌病,造成了严重的经济损失^[2]。近年来,广东地区也出现南美白对虾感染链球菌病例。虽然未见日本沼虾养殖中链球菌病大规模暴发的报道,但是在本课题组的前期研究中发现,停乳链球菌同样对日本沼虾具有较高的感染致死作用,因此,研究停乳链球菌对日本沼虾免疫机能的影响对防范该菌所致疾病在虾类养殖中大规模暴发,进一步探讨甲壳动物的免疫机制有着现实的指导意义。超氧化物歧化酶(SOD)是细胞内最有效的抗氧化酶之一,SOD促进生物体内 O_2^- 与 H^+ 反应生成 H_2O_2 ,从而降低 O_2^- 对生物体的伤害,是生物体内清除活性氧从而保护机体组织的第1道防线^[3]。SOD活性与甲壳动物的免疫能力有重要关系^[4-5]。生物膜中的多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)受到 O_2^- 攻击,会产生脂质过氧化作用,产生丙二醛(malondialdehyde,

MDA)等脂质过氧化物,引起细胞损伤,最终降低甲壳动物的免疫水平,因此MDA含量常常可反映机体内脂质过氧化的程度,间接反映机体抗氧化能力^[6]。笔者所在课题组在前期研究中发现给日本沼虾注射一定剂量的停乳链球菌死菌后再进行活菌感染,死亡率显著低于单独注射活菌(未发表)。为了研究预先注射死菌降低其活菌感染死亡率的机理,本研究主要比较停乳链球菌死菌注射后感染活菌和活菌单独感染的日本沼虾肝胰腺、肌肉和鳃中T-SOD活性和MDA含量的变化,为日本沼虾停乳链球菌疫苗研制提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验虾及其养殖管理

从盐城人民菜场购买日本沼虾(1.1 ± 0.2 g)400尾,实验室暂养7 d后选取规格整齐、活泼健壮个体进行停乳链球菌(*Streptococcus dysgalactiae*,以下简称链球菌)注射试验,试验期间投喂体重3%的鲜活碎河蚌肉,每天投喂2次。每天24 h充氧,试验期间水温为20℃,试验虾养殖于规格为100 L水族箱中,每箱60尾。

1.2 链球菌的获得和配制

链球菌来源于得病的鲟鱼(sturgeon),从10条患病的鲟鱼体内分离获得,通过生理、生化特性和分子分析确认。

链球菌在24℃下于100 mL Todd Hewitt 培养基(THB)中振荡培养24 h。10 000 r/min离心10 min后收集,用无菌磷酸盐缓冲液(PBS,0.1 mol/L,pH值=7.0)冲洗3遍后用PBS制成 6×10^6 CFU悬液备用。40%的福尔马林灭活活菌24 h获得死菌。注射用菌液现配现用。

1.3 菌种注射方案

试验分3组,每组3个平行,每个平行60尾虾,均注射2针,2针注射间隔时间为24 h。第1组为对照组,注射2针

收稿日期:2014-11-15

基金项目:国家自然科学基金(编号:31101887);江苏省自然科学基金(编号:BK2011419、BK2012675);江苏省2011年企业博士聚集项目。

作者简介:赵卫红(1973—),女,江苏东台人,博士,副教授,硕士生导师,从事水产动物繁殖、营养与免疫方面的教学与研究。Tel:(0515)88298190;E-mail:misszwh@163.com。

通信作者:王资生。E-mail:wzs@ycit.edu.cn。

PBS;第2组为感染组,第1针注射 PBS,第2针注射 6×10^6 CFU 活菌;第3组为免疫组,第1针注射 6×10^6 CFU 死菌,第2针注射 6×10^6 CFU 活菌。第2腹甲和第3腹甲之间与身体呈 45° 角处进行肌肉注射,注射剂量 $10 \mu\text{L}/\text{尾}$ 。

1.4 日本沼虾组织的提取与处理

取样前 24 h 停食,第2针注射 6 h、12 h、24 h、5 d 和 10 d 后取 5 尾试验虾的肝胰腺、肌肉、鳃的组织,用于 SOD 活性和 MDA 含量的测定。测定时肌肉和鳃按重量体积比加生理盐水制成 10% 的组织匀浆,肝胰腺制成 5% 的组织匀浆, $6\,000 \text{ r}/\text{min}$ 离心 15 min,上清液用于 SOD 活性和 MDA 含量的测定。

1.5 蛋白浓度的测定

采用南京建成生物工程研究所考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒。原理:蛋白质分子有 $-\text{NH}_3^+$ 基团,当棕红色的考马斯亮蓝色剂加入蛋白标准液或样品中时,考马斯亮蓝染料上的阴离子与蛋白 $-\text{NH}_3^+$ 结合,使溶液变为蓝色,通过测定吸光度可计算出蛋白含量。

1.6 SOD 活性的测定

总 SOD 酶活性采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定,方法为黄嘌呤氧化法。SOD 活性定义为 1 mg 组织蛋白在 1 mL 反应液中 SOD 抑制率达 50% 时所对应的 SOD 量为 1 个 SOD 活性单位(U)。

1.7 MDA 含量测定

MDA 含量采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测

定。其原理为过氧化脂质降解产物中的 MDA 可与硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid,TBA)缩合,形成红色产物,在 532 nm 处有最大吸收峰,简称 TBA 法。

1.8 数据处理

试验数据以平均值 \pm 标准差形式表示,经 Excel2007 初步整理后,用 SPSS18.0 对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),用 Duncan 氏法进行多重比较,分析组间差异显著性程度,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 肌肉注射链球菌对日本沼虾各组织 SOD 活性的影响

日本沼虾肌肉注射链球菌活菌后各组织 SOD 活性变化如下:12 h 和 24 h 肝胰腺中 SOD 活性和对照组的差异不大,5 d 后显著升高($P < 0.05$),为对照组的 9 倍左右;肌肉中 SOD 活性在注射 6 h 达到最大值,为对照组的 7 倍左右;鳃中 SOD 活性注射后 6 h、12 h、24 h 和 5 d 变化不大(表 1);10 d 后所有注射活菌组肝胰腺中 SOD 活性均降为对照组的一半左右(表 1)。

感染组和免疫组 SOD 活性差异如下:6 h 免疫组肝胰腺、肌肉和鳃中 SOD 活性均显著高于感染组($P < 0.05$);所有时间段免疫组肌肉中 SOD 活性均高于感染组,其中 6 h、12 h 和 24 h 后 2 组差异显著($P < 0.05$),5 d 和 10 d 差异不显著($P > 0.05$);24 h 肝胰腺和 5 d 鳃中 SOD 活性免疫组显著高于感染组($P < 0.05$)(表 1)。

表 1 链球菌对日本沼虾组织中 SOD 活性的影响

组织	组别	SOD 活性相对于对照组的比值				
		6 h	12 h	24 h	5 d	10 d
肝胰腺	感染组	1.05 \pm 0.05bA	1.46 \pm 0.02bA	1.14 \pm 0.11bA	8.99 \pm 0.20cD	0.46 \pm 0.01aA
	免疫组	2.75 \pm 0.35cB	1.44 \pm 0.46bA	1.79 \pm 0.01bB	9.12 \pm 0.10dD	0.57 \pm 0.01aA
肌肉	感染组	7.43 \pm 0.35cD	5.00 \pm 0.02dB	1.21 \pm 0.05bA	3.24 \pm 0.04cC	0.43 \pm 0.02aA
	免疫组	18.62 \pm 2.58dE	6.98 \pm 0.27cC	4.60 \pm 0.11bC	4.10 \pm 0.39bC	0.72 \pm 0.02aA
鳃	感染组	1.36 \pm 0.04bA	1.28 \pm 0.01bA	1.04 \pm 0.03bA	1.39 \pm 0.02bA	0.54 \pm 0.01aA
	免疫组	5.37 \pm 0.45dC	1.22 \pm 0.12bA	1.25 \pm 0.03bA	2.35 \pm 0.03cB	0.52 \pm 0.03aA

注:表中数字后面的字母不同表示差异显著($P < 0.05$),相同表示差异不显著($P > 0.05$),其中小写字母表示同行数据之间比较,大写字母表示同列数据之间比较。

2.2 肌肉注射链球菌疫苗对日本沼虾各组织 MDA 含量的影响

肌肉注射链球菌活菌对各组织中 MDA 含量的影响如下:6 h 肝胰腺中 MDA 含量急剧增加,高达对照组的 24 倍左右,而 12 h 后肌肉中 MDA 含量显著增加至对照组的 4.64 倍左右($P < 0.05$);24 h 后肝胰腺和鳃中 MDA 含量均低于对照

组,鳃中只有对照组的 28% 左右。

相同感染时间同组织内感染组和免疫组 MDA 含量之间的比较结果为:注射 6 h 后感染组肝胰腺、肌肉和鳃中 MDA 含量均显著大于免疫组($P < 0.05$);注射 12 h 后肝胰腺和鳃中则相反,感染组显著小于免疫组($P < 0.05$);注射 5 d 免疫组鳃中 MDA 含量显著高于免疫组($P < 0.05$)(表 2)。

表 2 链球菌对日本沼虾组织中 MDA 含量的影响

组织	组别	MDA 含量相对于对照组的比值				
		6 h	12 h	24 h	5 d	10 d
肝胰腺	感染组	24.61 \pm 1.01dE	1.02 \pm 0.08bcA	0.53 \pm 0.02aA	0.87 \pm 0.01abA	1.18 \pm 0.02cA
	免疫组	1.14 \pm 0.24bD	2.95 \pm 0.12cA	0.53 \pm 0.01aA	1.31 \pm 0.01bC	1.21 \pm 0.01bA
肌肉	感染组	0.23 \pm 0.03aB	4.64 \pm 0.47cD	1.27 \pm 0.06bB	1.19 \pm 0.04bBC	1.28 \pm 0.25bAB
	免疫组	0.07 \pm 0.01aA	2.23 \pm 0.12cBC	1.67 \pm 0.13bcB	1.29 \pm 0.04bC	1.42 \pm 0.08bA
鳃	感染组	0.65 \pm 0.02bC	1.03 \pm 0.07bA	0.28 \pm 0.01aA	1.03 \pm 0.01bB	2.28 \pm 0.01cC
	免疫组	0.19 \pm 0.02aB	2.04 \pm 0.09bB	0.41 \pm 0.01aA	0.50 \pm 0.02aA	1.89 \pm 0.09bBC

注:表中数字后面的字母不同表示差异显著($P < 0.05$),相同表示差异不显著($P > 0.05$),其中小写字母表示同行数据之间比较,大写字母表示同列数据之间比较。

3 讨论

3.1 链球菌活菌对日本沼虾 SOD 活性和 MDA 含量

O_2^- 能够与生物膜不饱和脂肪酸进行反应,产生脂质过氧化,形成细胞损伤,造成功能性障碍,甚至会使组织变性坏死,破坏机体代谢平衡。SOD 是机体内一种能够直接清除 O_2^- 的抗氧化酶。机体清除 O_2^- 的能力可以由 SOD 活性的高低间接反映,机体受到细菌感染时,体内 SOD 活性会发生改变。本试验结果表明,感染组注射链球菌活菌感染 10 d 后机体肝胰腺、肌肉和鳃中 SOD 活性均低于对照组,这和罗氏沼虾 *Macrobrachium rosenbergii* 感染莫格球拟酵母后^[7]和斑节对虾 *Penaeus monodon* 感染典型弧菌后^[8]的研究结果类似。日本沼虾注射链球菌活菌 6 h 肌肉中 SOD 活性达到对照组的 7 倍左右,6~24 h 肌肉中 SOD 活性随着作用时间的延长逐渐降低。这一结果与镭对克氏原螯虾 *Procambarus clarkii* 胁迫中的报道结果类似,镭胁迫 24 h 克氏原螯虾体内 SOD 活性达到最大值,随着作用时间的推移,SOD 活性逐渐降低^[9]。机体遇到不良环境胁迫会做出应激反应,调动机体免疫因子,如促使 SOD 活性急剧增加以清除体内胁迫产生的 O_2^- 。活菌感染 6、12 h 日本沼虾肌肉中 SOD 活性均显著高于肝胰腺和鳃,这和本试验中肌肉注射的感染方式有关。感染至 5 d 肝胰腺中 SOD 活性显著升高,肝胰腺是甲壳动物最重要的免疫器官,面对细菌的侵染,肝胰腺中 SOD 活性升高,担负起清除体内 O_2^- 的作用。

MDA 作为脂质过氧化的终产物,在组织中的含量可以表现生物体细胞氧化的水平。注射链球菌活菌 6 h 后肝胰腺中 MDA 含量急剧增加,而 6 h 后肌肉中 MDA 反而低于对照组,在 12 h 后肌肉中 MDA 含量才急剧增加。机体 MDA 含量与多种因素有关,机体在不良环境刺激下会产生 O_2^- , O_2^- 含量与机体 MDA 含量有关,同时 O_2^- 与 SOD 活性有关,日本沼虾注射活菌后 6 h 肌肉中 SOD 活性急剧增加,可能是此时 MDA 含量降低的原因。MDA 短时间内在肝胰腺中大量增加,可能有以下几个方面的原因:首先肝胰腺是日本沼虾最重要的免疫器官,是 O_2^- 首先攻击的部位;另外肝胰腺含有大量的不饱和脂肪酸,这些不饱和脂肪酸在 O_2^- 的氧化下会产生大量的 MDA,而此时检测到机体肝胰腺中的 SOD 活性相对于对照组变化不大,没有起到应对短时间内产生的 O_2^- 氧化的作用,上述几个方面综合作用,促使肝胰腺中 MDA 含量大量增加。

有研究表明,MDA 含量与外界刺激物具有剂量-时间效应。如沼水蛙蝌蚪 MDA 含量随着有机磷农药作用时间与浓度的增加而增加^[10],剑尾鱼 (*Xiphophorus helleri heckel*) 肝脏中 MDA 含量在整个汞染毒过程中随着染毒时间的延长而持续升高^[11]。本试验中日本沼虾肝胰腺中 MDA 的含量在链球菌活菌感染 6 h 达到最高,在肌肉中 MDA 含量在 12 h 达到最高,随后降低,这一结果与王奇等^[12]和罗义等^[13]的研究结果相似,MDA 在 24 h 达到最高,随着暴露时间的延长,MDA 含量逐渐下降。这表明 6×10^6 CFU 的链球菌活菌注射日本沼虾发生的氧化损伤是可逆的。

3.2 灭活链球菌疫苗对日本沼虾 SOD 活性及 MDA 含量的影响

笔者所在课题组在前期研究过程中发现福尔马林灭活链球菌注射后会大大降低其活菌感染后的死亡率(未发表)。灭活疫苗是采用物理或者化学方法杀死具有感染性的完整病原生物,使该病原生物失去传染其他生物体能力的同时保留其抗原性,并能够用于预防免疫的生物制品制备。水产上研究较多的有弧菌灭活苗、嗜水气单胞菌疫苗、链球菌疫苗等^[14]。我国有关灭活疫苗在水产上的研究主要集中在鱼类,且目前大部分还停留在疫苗对死亡率的影响方面,有关其机理研究较少^[14]。本试验中,用福尔马林灭活的停乳链球菌作为抗链球菌的疫苗,注射 24 h 后感染链球菌活菌,比较其与单独感染活菌不同时间段组织中 SOD 活性和 MDA 含量的变化,初步探讨灭活链球菌对日本沼虾免疫机能的影响。本试验中免疫组注射活菌 6 h 后肝胰腺、肌肉和鳃中 SOD 活性均显著高于对照组,MDA 含量显著低于对照组。这表明疫苗在注射 30 h 后对日本沼虾产生了免疫保护作用,当机体再次受到链球菌侵袭时,机体迅速做出反应,产生大量 SOD,消灭体内多余 O_2^- ,降低 MDA 含量。灭活菌作为疫苗注射可以提高水产动物免疫机能的报道在虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 中也有报道,Ispir 等^[15]制备了福尔马林灭活耶尔森氏菌疫苗,发现这种疫苗能够提高虹鳟的吞噬细胞活性。此外陈昌福^[16]通过对鲤鱼母源的免疫研究,证明了雌亲鱼不仅可以产生很强的免疫反应,而且其凝集抗体可以传递给子代并对初生幼体产生作用。

综上所述,停乳链球菌活菌注射 6 h 肌肉中 SOD 活性大量增加,5 d 肝胰腺中 SOD 活性大量增加,6 h 肝胰腺中 MDA 含量大量增加。灭活链球菌注射后 24 h 再注射链球菌活菌,6 h 后肝胰腺、肌肉和鳃中 SOD 活性显著高于单独注射链球菌活菌,MDA 含量显著低于单独注射链球菌活菌。

参考文献:

- [1]江辉,李大高,向国荣. 日本沼虾的人工养殖(上)[J]. 湖南农业,2009(7):19-20.
- [2]杜佳垠. 大连发生养殖对虾链球菌病[J]. 现代渔业信息,1989,4(5/6):59.
- [3]黄旭雄,周洪琪. 甲壳动物免疫机能的衡量指标及科学评价[J]. 海洋科学,2007,31(7):90-96.
- [4]王玥,胡义波,姜乃澄. 氨态氮、亚硝态氮对罗氏沼虾免疫相关酶类的影响[J]. 浙江大学学报:理学版,2005,32(6):698-705.
- [5]呼光富,李忠,梁宏伟,等. 镭对克氏原螯虾肝胰腺触角腺及鳃中 SOD 和 CAT 活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(9):1806-1811.
- [6]黄旭雄,周洪琪. 甲壳动物免疫机能的衡量指标及科学评价[J]. 海洋科学,2007,31(7):90-96.
- [7]蔡完其. 罗氏沼虾莫格球拟酵母病的病理研究[J]. 水产学报,1996,20(1):13-17.
- [8]陶保华,胡超群,任春华. 斑节对虾弧菌病的病理学研究[J]. 热带海洋学报,2001,20(3):47-52.
- [9]呼光富,李忠,梁宏伟,等. 镭对克氏原螯虾肝胰腺触角腺及鳃中 SOD 和 CAT 活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(9):1806-1811.
- [10]钟碧瑾,姚丹,刘娟娟,等. 两种有机磷农药对沼水蛙蝌蚪抗氧化系统及 MDA 浓度的影响[J]. 福建师范大学学报:自然科学

陈绕生. 密度与肥料组合对中药材白芷生长发育的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 287-289.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.097

密度与肥料组合对中药材白芷生长发育的影响

陈绕生

(江苏联合职业技术学院淮安生物工程分院, 江苏淮安 223200)

摘要: 肥料运筹和种植密度是中药材生产过程中2个重要的技术措施, 通过不同密度、肥料组合对川白芷1号生长发育特性进行研究。结果表明, 在较高的密度与较低的肥料水平之下(组合3), 有利于形成合理的群体结构, 进而提高川白芷1号产量; 同时, 掐薹比未掐薹处理的根系发育好, 产量较大。

关键词: 中药材; 密肥组合; 白芷; 产量

中图分类号: S567.23⁺9.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)12-0287-03

随着人民生活水平的提高, 对中药材的数量和质量的要求不断提高。在我国耕地面积逐年减少的情况下, 依靠科技进步提高单产是发展中药材生产的唯一途径。本试验以白芷为例进行研究和应用, 对于提高白芷中药材种植的经济效益具有参考意义。

1 材料与与方法

1.1 试验设计与处理

密度、肥料组合(简称密肥组合)试验于江苏联合职业技术学院试验农场进行, 按随机区组排列, 3个重复, 小区面积20 m², 具体组合为: 组合1, 密度: 35 cm × 15 cm, 肥料: 299.85 kg/hm² 氮; 组合2, 密度: 35 cm × 25 cm, 肥料: 299.85 kg/hm² 氮; 组合3, 密度: 35 cm × 35 cm, 肥料: 299.85 kg/hm² 氮; 组合4, 密度: 35 cm × 15 cm, 肥料: 449.78 kg/hm² 氮; 组合5, 密度: 35 cm × 25 cm, 肥料: 449.78 kg/hm² 氮; 组合6, 密度: 35 cm × 35 cm, 肥料: 449.78 kg/hm² 氮^[1-2]。土壤肥力中等, 为沙壤土。试验品种为川白芷1号, 采用移栽、地膜覆盖的种植方式。川白芷1号于2012年9月21日播种, 12月1日移栽。

1.2 肥料运筹及其他管理措施

本试验肥料运筹为尿素、氯化钾、过磷酸钙。棉田早期未进行打药治虫, 其他田间管理按高产要求进行。

1.3 调查与测定项目

于不同生育阶段, 在每一小区定点调查10株, 测定单株农艺性状等。

2 结果与分析

2.1 不同密肥组合的川白芷1号形态指标

于2013年4月26日、5月23日、6月12日对川白芷1号进行形态指标测定, 结果见表1、表2、表3。

从表1可以看出, 组合3的壮苗指数^[3]是0.3038, 在各组合中处于最高, 说明组合3的植株最壮, 长势最好; 组合3的根冠比是29.02%, 在各组合中处于中等, 说明组合3植株的地下部与地上部比例比较合理; 再从干物质积累^[4]方面比较, 组合3的总鲜质量17.965 g、总干质量3.690 g, 相差14.275 g, 总干质量/总鲜质量为0.2054, 在各组合中偏高, 这说明组合3的植株积累的干物质比较多, 植株比较壮实; 从根系来看, 组合3的根长13.25 cm, 根的直径1.16 cm, 根的数量6.35条, 根的长度中等、直径大、数量多, 这为高产奠定了一定的基础。

从表2可以看出, 组合3的壮苗指数是3.3554, 在各组合中最高, 说明组合3的植株最壮, 长势最好; 组合3的根冠比是63.01%, 在各组合中处于中等, 说明组合3的植株的地下部与地上部比例比较合理; 再从干物质积累方面比较, 组合3的总鲜质量172.775 g, 总干质量29.425 g, 相差143.350 g, 总干质量/总鲜质量为0.1703, 在各组合中偏高, 这说明组合3的植株积累的干物质比较多, 植株比较壮实; 从根系来看, 组合3的根的长度16.75 cm, 根的直径3.50 cm, 根的数量16.50条, 其根的长度中等、直径大、数量多, 这为高产奠定

收稿日期: 2014-01-23。

基金项目: 江苏省淮安市科技支撑计划(农业)(编号: SN0916)。

作者简介: 陈绕生(1973—), 男, 江苏淮安人, 硕士, 副教授, 从事园艺栽培研究。E-mail: chenraosheng@126.com。

学版, 2009, 25(2): 91-96。

[11] 方展强, 王春风. 硒对汞致剑尾鱼肝氧化损伤的拮抗作用[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(5): 3-6。

[12] 王奇, 范灿鹏, 陈铿慈, 等. 三种磺胺类药物对罗非鱼肝脏组织中谷胱甘肽转氨酶(GST)和丙二醛(MDA)的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(5): 1014-1019。

[13] 罗义, 纪靓靓, 苏燕, 等. 2,4-二氯苯酚诱导鲫鱼活性氧(ROS)的产生及其分子致毒机制[J]. 环境科学学报, 2007, 27

(1): 129-134。

[14] 杨先乐, 曹海鹏. 我国渔用疫苗的研制[J]. 水产学报, 2006, 30(2): 264-271。

[15] Ispir U H, Gokhan B, Ozcan M, et al. Immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to selected antigens of *Yersinia ruckeri* [J]. Acta Vet Brno, 2009, 78: 145-150。

[16] 陈昌福. 不同方法提取的柱状嗜纤维菌脂多糖对鲤免疫活性的比较[J]. 华中农业大学学报, 1997, 16(4): 381-385。