

不同剂型和剂量的维生素 C 对幼刺参生长的影响

王吉桥¹, 苏久旺¹, 姜玉声¹, 张剑诚², 梁志军³

(1. 大连水产学院 生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连太平洋海珍品有限公司, 辽宁 大连 116045; 3. 辽宁省渔港监督局, 辽宁 大连 116000)

摘要:在水温 11.0~14.0℃条件下,将平均体质量 2.29 g 的幼刺参(*Apostichopus japonicus*)随机放入 39 个容积 50 L 塑料水槽中,投喂以玉米蛋白为蛋白源,分别添加 0、500、1 000、2 000 和 4 000 mg/kg V_C-2-三聚磷酸酯(L-ascorbyl-2-polyphosphate, LAPP)、V_C-棕榈酸酯(L-ascorbyl palmitate, LAP)和 V_C-磷酸酯镁(L-ascorbyl-2-monophosphate-magnesium, APM)的 13 种饲料。90 d 的饲养情况表明,摄食添加 V_C饲料的刺参的生长、蛋白质效率均显著高于摄食未添加 V_C的幼参($P < 0.05$)。摄食添加 LAPP 饲料幼参的特殊生长率最高(0.21%/d),添加 LAP(0.17%/d)的次之,添加 APM(0.15%/d)的最低,分别比对照组(0.12%/d)高 75.00%、41.67%和 25.00%。摄食添加 LAPP 饲料幼参的平均蛋白质效率最高(12.57%),摄食添加 LAP 饲料的(7.76%)次之,摄食添加 APM(6.86%)的最低,分别比对照组(5.52%)高 127.72%、40.58%和 24.28%。在 3 种剂型 V_C组中,饲料系数由低到高依次为:LAPP<LAP<APM。饲料中 LAPP、APM 和 LAP 的添加量为 2 000~2 500 mg/kg、1 000~1 500 mg/kg 和 2 000~3 125 mg/kg 时,幼刺参对饲料蛋白的表现消化率最高,生长最快,饲料系数最低。

关键词:仿刺参; 维生素 C; 生长

中图分类号:S96

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2009)12-0056-08

大多数鱼虾缺乏古洛内酯氧化酶,不能合成维生素 C(V_C),必需从食物中摄取。V_C具有较强的还原性,在碱性或酸性溶液中易被空气氧化,紫外线、加热和金属离子等理化因素也能加剧 V_C的破坏。目前,多采用包膜(制成微囊)和酯化的方法来提高 V_C的稳定性。鱼虾对不同剂型和剂量 V_C的需要量已有许多研究^[1~7]。

刺参(*Apostichopus japonicus*)为“海产八珍”之一,营养和药用价值很高,是中国北方海水养殖的新兴种类,养殖面积不断扩大^[8]。饲料是海参养殖的物质基础。随着海参养殖业的迅速发展,海参饲料的研究越来越受到人们的关注。有关刺参幼体和稚参的饵料及饲料研究较多^[9~12],但 V_C对刺参生长的影响尚未见报道。

刺参养殖业的发展需要高效、绿色和抗病饲料。在饲料中合理添加 V_C,可增强刺参的免疫力,提高刺参的成活率,确保养殖环境和食品安全。因此,本实验采用“3 因子、4 水平”设计和实验生态法研究了 3 种剂型和 4 种剂量的 V_C对幼刺参生长的影响,为

合理选用 V_C剂型,确定适宜的饲料添加量,提高养殖的生态和经济效益提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用刺参来自大连水产学院养殖场培育的 1 龄健康海参,平均体质量 2.29 g±0.21 g。

V_C-2-三聚磷酸酯(L-ascorbyl-2-polyphosphate, LAPP),购于台湾培镒食业有限公司,纯度 90%;V_C-棕榈酸酯(L-ascorbyl palmitate, LAP),购于北京国人逸康科技有限公司,纯度 98%;V_C-磷酸酯镁(L-ascorbyl-2-monophosphate-magnesium, APM),购于河南强生生物科技开发有限公司,纯度 99%。3 种不同剂型的 V_C,每种剂型分别设置 500、1 000、2 000 和 4 000 mg/kg 4 个添加量,以未添加 V_C的饲料为对照组(表 1)。

收稿日期:2009-01-05;修回日期:2009-06-05

基金项目:辽宁省教育厅计划项目(20060186)

作者简介:王吉桥(1950-),男,博士,教授,研究方向:水产养殖生态学和饲料学,E-mail:jqwang1950@163.com

表 1 实验饲料配方组成和营养成分(%)

Tab. 1 Ingredients and approximate composition of the experimental diets(%)

成分	P-1	P-2	P-3	P-4	M-1	M-2	M-3	M-4	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Φ
玉米蛋白	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46
马尾藻 (<i>Sargassum</i> sp.)	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
海泥	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39	53.39
贝壳粉	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
黄原胶	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
V _C (mg/kg)	579	1 029	1 929	3 729	624	1 119	2 109	4 089	619	1 109	2 089	4 049	129

注:P、M和Z分别示添加 V_C-2-三聚磷酸酯、V_C-磷酸酯镁和 V_C-棕榈酸酯的饲料;Φ为对照组。下同

1.2 实验设计与饲养管理

刺参经 2 周驯养后,随机放入 39 个容积 50 L (45 cm×31 cm×30 cm)的塑料水槽中,每槽中 15 头。水槽分为 13 组,分别投喂添加不同剂型和剂量 V_C的 13 种饲料(表 1)。每组 3 个重复,每个重复的总质量基本一致。投喂时,将饲料用 80℃左右的温水搅拌均匀,在室温下放置成松软的膏状,然后均匀涂抹到 20 cm×30 cm 的波纹板上,置于水槽底部,涂抹饲料面朝上,防止饲料被冲散。

养殖用水为天然海水,经过沉淀、沙滤。实验期间,水温 11.0~14.0℃,连续充气。每天下午吸除残饵及粪便,换水 2/3,然后投喂。投饲率为 2%~3%。每 30 d 测一次体质量,实验期为 90 d。

1.3 指标及其测定

样品用 105℃下烘干 2 h 后,再转入 60℃烘至恒重的方法、凯式定氮法(总氮×6.25)、索氏抽提法(以乙醚为抽提液)和马福炉中灼烧(600℃,8 h)法测定饲料中的水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量。饲料消化率用间接法测定,以 Cr₂O₃ 为指示剂。营养物质表观消化率 $D(\%) = [1 - (e/E \times B/B_1)] \times 100$,式中 E 和 e 分别为饲料和粪便中营养物质的质量分数, B 和 B_1 分别为饲料和粪便中 Cr₂O₃ 的质量分数。饲料蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER) = 体质量增加量/(摄食量×饲料蛋白质含量)。计算特殊生长率(special growth rate, SGR): $SGR = (\ln M_1 - \ln M_0) \times 100\% / \text{饲养天数}$, M_0 为初始体质量, M_1 为实验末体质量。

1.4 数据处理

所有实验数据均用 SPSS13.0 软件进行相关性检验、方差分析和 LSD 多重比较,以 $P < 0.01$ 为差

异极显著, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 不同剂型和剂量的维生素 C 对幼参生长的影响

2.1.1 不同剂型维生素 C 对幼参生长的影响

整个实验期间,摄食添加 V_C 饲料的刺参的生长速度均大于摄食未添加 V_C 的幼参(图 1)。其中摄食添加 V_C-2-三聚磷酸酯饲料幼参的特殊生长率最高(0.21%/d),摄食添加 V_C-棕榈酸酯饲料(0.17%/d)的次之,摄食添加 V_C-磷酸酯镁(0.15%/d)的最低,分别比对照组(0.12%/d)高 75.00%、41.67%和 25.00%。

不同实验阶段,摄食添加不同剂型 V_C 饲料的刺参的生长速度不同(图 2)。11 月 15 日至 2 月 15 日,摄食添加 V_C-磷酸酯镁和 V_C-棕榈酸酯饲料的刺参的特殊生长率与对照组的幼参相同,均随实验时间的延长即水温的降低而降低。此间(即 11 月 15 日至 12 月 15 日、12 月 16 日至 1 月 15 日、1 月 16 日至 2 月 15 日)3 个阶段,摄食添加 V_C-磷酸酯镁和 V_C-棕榈酸酯饲料的刺参的特殊生长率分别为 0.22%/d、0.18%/d、0.06%/d 和 0.25%/d、0.18%/d、0.06%/d,分别占整个实验阶段总生长量的 48.25%、38.80%、12.95%和 50.01%、37.37%、11.62%,与对照组的幼参相近(49.13%、46.11%和 4.76%)。但是,摄食添加 V_C-2-三聚磷酸酯饲料幼参的特殊生长率与其他组不同,11 月 15 日至 2 月 15 日期间 3 个阶段的特殊生长率分别为 0.30%/d、0.40%/d 和 0.09%/d,分别占整个实验中总生长量的 37.54%、51.19%和 11.30%,并未随实验时间的延长即水温的降低而降低,反而先增高(图 2),足见该种 V_C 的促长作用。

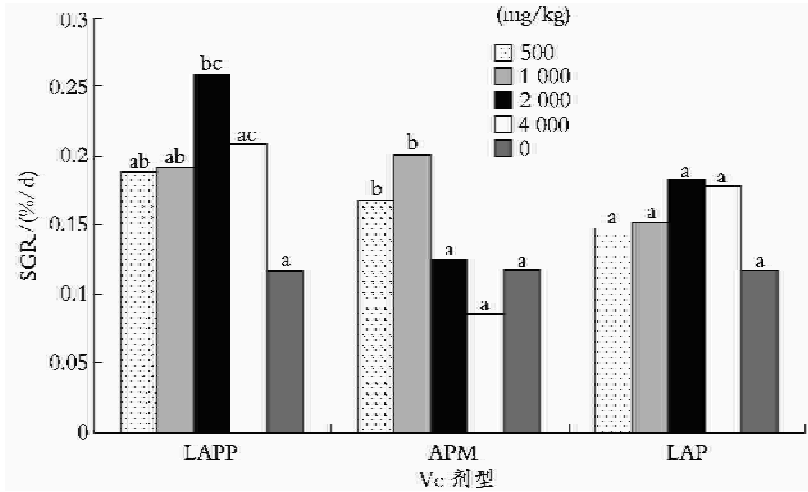


图 1 不同剂型和剂量 V_C 对刺参 3 个月总特殊生长率(SGR)的影响

Fig. 1 Specific growth rate (SGR) of the sea cucumber juveniles fed the diets supplemented with different VC sources and at various levels

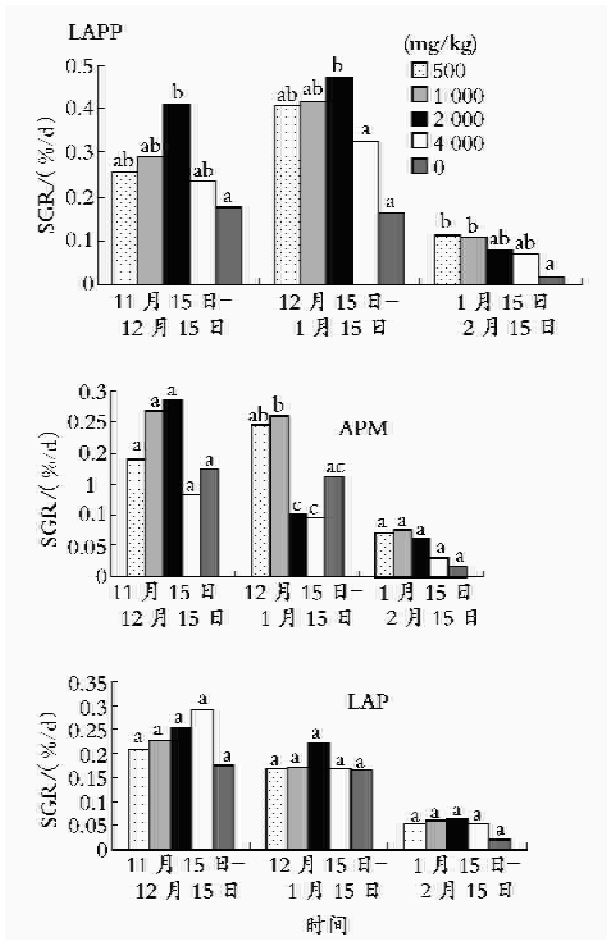


图 2 刺参摄食含不同剂型和剂量 V_C 时不同阶段的特殊生长率(SGR)

Fig. 2 Specific growth rate (SGR) of the sea cucumber juveniles fed the diets containing different types of vitamin C at various levels during different periods in the experiment

2.1.2 不同剂量维生素 C 对幼参生长的影响

整个实验期间,摄食添加 V_C 饲料的刺参的生长速度均随剂量的增加而“先增加后降低”,但生长的变化幅度和生长最快时的剂量有所不同(图 1)。摄食添加 V_C-2-三聚磷酸酯、V_C-磷酸酯镁和 V_C-棕榈酸酯饲料的幼参,分别在剂量为 2 000 mg/kg(0.96%/d)、1 000 mg/kg(0.60%/d)和 2 000 mg/kg(0.54%/d)时特殊生长率最高;摄食添加前两种 V_C 饲料的刺参的生长速度显著高于对照组(0.35%/d)($P < 0.05$),后一种与对照组差异不显著($P > 0.05$)。在 3 种 V_C 中,当添加量达到 4 000 mg/kg 时,幼参的特殊生长率明显降低。

根据二次曲线拟合计算拐点对应的添加量表明:V_C-2-三聚磷酸酯($y = -4 \times 10^{-8}x^2 + 0.0002x + 0.142$)、V_C-磷酸酯镁($y = -1 \times 10^{-8}x^2 + 3 \times 10^{-5}x + 0.1409$)和 V_C-棕榈酸酯($y = -8 \times 10^{-9}x^2 + 5 \times 10^{-5}x + 0.1202$)的添加量在 2 500、1 500 和 3 125 mg/kg 时,幼参生长最快。在 3 种不同剂型 V_C 的最优添加量中,幼参特殊生长率由大到小依次为:V_C-2-三聚磷酸酯 > V_C-磷酸酯镁 > V_C-棕榈酸酯,摄食添加 V_C-2-三聚磷酸酯饲料的幼参特殊生长率显著高于其他两组($P < 0.05$)。

不同实验阶段,摄食添加不同剂型和剂量 V_C 饲料的刺参的生长速度不同(图 2)。11 月 15 日至 12 月 15 日,3 种剂型 V_C 添加组中刺参特殊生长率均随剂量的增大而先增高后降低。当 V_C-2-三聚磷酸

酯添加量为 2 000 mg/kg 时,刺参特殊生长率最高,显著高于对照组($P < 0.05$)。当 V_C -磷酸酯镁和 V_C -棕榈酸酯的添加量在 2 000 mg/kg 和 4 000 mg/kg 时,特殊生长率最高,但与空白对照组差异均不显著($P > 0.05$)。在 12 月 16 日至 1 月 15 日,当 V_C -2-三聚磷酸酯和 V_C -磷酸酯镁的添加剂量分别为 2 000 mg/kg 和 1 000 mg/kg 时,特殊生长率显著高于对照组($P < 0.05$),其中 V_C -2-三聚磷酸酯最高。饲料中添加 V_C -棕榈酸酯 2 000 mg/kg 时,特殊生长率在同剂型组中最高,但与对照组差异不显著($P > 0.05$)。从 1 月 16 日到 2 月 15 日,水温最低,所有实验组刺参的生长率较前两个月均明显下降,但摄食添加不同剂型和剂量 V_C 饲料的刺参的特殊生长率仍高于对照组,而只有添加 500 mg/kg 和 1 000 mg/kg V_C -2-三聚磷酸酯组的特殊生长率显著高于对照组($P < 0.05$),其他各组间均差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 不同剂型和剂量维生素 C 对饲料系数的影响

与生长相应,刺参摄食添加 V_C -2-三聚磷酸酯(1.33)、 V_C -棕榈酸酯(1.78)和 V_C -磷酸酯镁(2.20)饲料时平均饲料系数均小于摄食未添加 V_C (2.44)饲料的幼参,分别比对照组低 45.49%、27.05% 和 9.84%(表 2)。

刺参摄食添加不同剂型的 V_C 饲料时,饲料系数最低时 V_C 的剂量不同。在添加 V_C -2-三聚磷酸酯和 V_C -磷酸酯镁组中,剂量为 2 000 mg/kg 和 1 000 mg/kg 时,饲料系数最低,显著低于对照组(表 2)($P < 0.05$),4 000 mg/kg 时反而显著高于对照组($P < 0.05$);饲料中 V_C -棕榈酸酯添加量达到 2 000 mg/kg 时,饲料系数最低,但与对照组和其他各组均无显著差异($P > 0.05$)。

根据二次曲线拟合计算拐点对应的添加量表明: V_C -2-三聚磷酸酯($y = 3 \times 10^{-7}x^2 - 0.0011x + 2.3025$)、 V_C -磷酸酯镁($y = 2 \times 10^{-7}x^2 - 0.0006x + 2.1153$)和 V_C -棕榈酸酯($y = 1 \times 10^{-7}x^2 - 0.0007x + 2.4585$)的添加量分别为 1 833、1 500 和 3 500 mg/kg 时,饲料系数最低。在 3 种剂型 V_C 的最优添加量中,饲料系数由高到低依次为: V_C -棕榈酸酯 $>$ V_C -磷

酸酯镁 $>$ V_C -2-三聚磷酸酯,各组之间差异不显著($P > 0.05$)。

表 2 幼刺参摄食添加不同剂量 V_C -2-三聚磷酸酯、 V_C -磷酸酯镁和 V_C -棕榈酸酯饲料时对饲料的利用率

Tab. 2 Dietary utilization by the juvenile sea cucumber fed the diets containing L-ascorbyl-2-polyphosphate (P), L-ascorbyl-2-momophosphate-magnesium (M) and L-ascorbyl palmitate (Z) at various levels ($n=3$, Mean value \pm SE)

组别	饲料系数	蛋白质效率
P-500	1.42 \pm 0.34 ^{ab}	11.74 \pm 2.17 ^{ab}
P-1000	1.40 \pm 0.46 ^{ab}	12.26 \pm 3.42 ^{ab}
P-2000	1.18 \pm 0.14 ^b	15.41 \pm 1.97 ^b
P-4000	1.31 \pm 0.28 ^{ab}	10.88 \pm 4.60 ^{ab}
M-500	1.47 \pm 0.08 ^{ac}	8.03 \pm 0.90 ^b
M-1000	1.32 \pm 0.04 ^{ab}	9.98 \pm 0.30 ^b
M-2000	2.39 \pm 0.31 ^c	5.65 \pm 0.66 ^a
M-4000	3.63 \pm 0.56 ^d	3.77 \pm 0.51 ^a
Z-500	2.16 \pm 0.41 ^a	6.60 \pm 1.45 ^a
Z-1000	1.85 \pm 0.16 ^a	7.20 \pm 0.66 ^a
Z-2000	1.50 \pm 0.17 ^a	8.87 \pm 0.99 ^a
Z-4000	1.62 \pm 0.23 ^a	8.38 \pm 1.07 ^a
Φ	2.44 \pm 0.27 ^a	5.52 \pm 0.62 ^a

注:同一行中标有不同字母的平均值间差异显著($P < 0.05$),反之,组间差异不显著, Φ 为对照组,下同

2.3 不同剂型和剂量维生素 C 对饲料蛋白质效率的影响

整个实验期间,摄食添加 V_C 饲料的刺参蛋白质效率均高于摄食未添加 V_C 饲料的对照组(表 2)。摄食添加 V_C -2-三聚磷酸酯饲料的幼参平均蛋白质效率最高(12.60),摄食添加 V_C -棕榈酸酯饲料的(7.76)次之,摄食添加 V_C -磷酸酯镁(6.86)的最低,分别比对照组(5.52)高 127.66%、40.61% 和 24.19%。在 3 种剂型 V_C 组中,饲料蛋白质效率由高到低依次为: V_C -2-三聚磷酸酯 $>$ V_C -棕榈酸酯 $>$ V_C -磷酸酯镁。

摄食添加 V_C 饲料的刺参的蛋白质效率均随剂量的增加而“先增加后降低”,当添加剂量达到 4 000 mg/kg 时反而下降,但蛋白质效率最高时的剂量有

所不同(表 2)。饲料中添加 V_C -2-三聚磷酸酯浓度为 2 000 mg/kg 时,饲料蛋白质效率最高,显著高于对照组($P<0.05$)。在 V_C -磷酸酯镁组中,当添加剂量为 500 mg/kg 和 1 000 mg/kg 时,蛋白质效率显著高于对照组($P<0.05$),其中 1 000 mg/kg 组与对照组差异极显著($P<0.01$)。随着剂量的继续增大,蛋白效率开始降低,当添加剂量达到 4 000 mg/kg 时,蛋白效率显著低于 500 mg/kg 组和 1 000 mg/kg 组($P<0.05$)。在 V_C -棕榈酸酯组中,添加剂量为 2 000 mg/kg 时,刺参的蛋白质效率最高(表 2),但各剂量组之间差异不显著($P>0.05$)。

2.4 摄食添加不同剂型和剂量维生素 C 饲料的刺参对蛋白质和脂肪的表现消化率

2.4.1 对蛋白质的表现消化率

实验期间,摄食添加 V_C 饲料的刺参对饲料中蛋白质的表现消化率均高于摄食未添加 V_C 的对照组(表 3)。其中摄食添加 V_C -2-三聚磷酸酯饲料的幼参对蛋白质的平均表现消化率最高(66.45%),摄食添加 V_C -磷酸酯镁的(59.90%)次之,摄食添加 V_C -棕榈酸酯饲料的(59.44%)最低,均显著地分别比对照组(49.26%)高 34.89%、21.60%和 20.66%($P<0.05$)。

幼刺参摄食添加不同剂型的 V_C 饲料后,对蛋白质的表现消化率均随剂量的增加而“先增高后降低”,但蛋白质表现消化率最高的剂量各不相同(表 3)。在添加 V_C -2-三聚磷酸酯组中,剂量为 2 000 mg/kg 时,蛋白质消化率最高,极显著地高于对照组($P<0.01$)。在添加 V_C -磷酸酯镁和 V_C -棕榈酸酯组中,剂量为 1 000 mg/kg 和 2 000 mg/kg 时,蛋白质消化率最高,显著地高于对照组($P<0.05$)。

2.4.2 脂肪的表现消化率

与对饲料蛋白质的消化率不同,摄食添加 V_C 饲料的刺参对饲料中脂肪的表现消化率,除 V_C -磷酸酯镁组(74.97%)外,均低于摄食未添加 V_C 的对照组(74.35%)(表 3)。其中摄食添加 V_C -2-三聚磷酸酯和 V_C -棕榈酸酯饲料的幼参对脂肪的平均表现消化率分别为 66.74%和 72.95%,各组之间差异不显著($P>0.05$)。

表 3 刺参幼参摄食添加不同剂量 V_C -2-三聚磷酸酯(P)、 V_C -磷酸酯镁(M)和 V_C -棕榈酸酯(Z)饲料时对蛋白质和脂肪的表现消化率(%)

Tab. 3 Apparent digestibility of dietary protein and fat by the sea cucumber juveniles fed the diets containing L-ascorbyl-2-polyphosphate (P), L-ascorbyl-2-momophosphate-magnesium (M) and L-ascorbyl palmitate (Z) at various levels ($n=3$, Mean value \pm SE)

组别	粗蛋白	粗脂肪
P-500	62.56 \pm 2.58 ^b	62.37 \pm 7.63 ^a
P-1000	66.04 \pm 3.2 ^{bc}	73.00 \pm 5.57 ^a
P-2000	70.66 \pm 1.99 ^c	67.98 \pm 5.90 ^a
P-4000	66.53 \pm 1.04 ^{bc}	63.63 \pm 4.53 ^a
M-500	61.78 \pm 1.91 ^d	70.73 \pm 1.12 ^a
M-1000	68.90 \pm 2.62 ^{bc}	77.77 \pm 5.15 ^a
M-2000	63.33 \pm 2.61 ^{cd}	74.36 \pm 3.20 ^a
M-4000	45.62 \pm 0.56 ^a	77.02 \pm 1.54 ^a
Z-500	57.74 \pm 0.18 ^{ab}	79.45 \pm 4.79 ^a
Z-1000	62.33 \pm 4.83 ^{bc}	77.62 \pm 1.34 ^a
Z-2000	66.54 \pm 1.05 ^b	66.91 \pm 4.42 ^a
Z-4000	54.14 \pm 4.91 ^{ac}	67.82 \pm 5.61 ^a
Φ	49.26 \pm 2.00 ^a	74.35 \pm 2.76 ^a

3 讨论

3.1 在刺参饲料中添加维生素 C 的必要性

自 Kilamura 等^[13]1965 年鉴定了鲑鳟坏血病以来,现在普遍认为,维生素 C 在鱼虾体内具有解毒,抵御环境压力,控制疾病和促进生长等功效。缺乏维生素 C 的鱼类,生长延缓、厌食、活性下降,继而脊椎变形、软骨、出血、贫血等。大多数鱼类和虾类都不能合成 V_C ,即使鲤等少数鱼类能少量合成,在集约化养殖条件下也不能满足需要。所以,在鱼虾饲料中必需添加维生素 C。

关于刺参是否具有合成维生素 C 的能力,尚未见报道。本实验中,刺参摄食添加 V_C -2-三聚磷酸酯、 V_C -棕榈酸酯和 V_C -磷酸酯镁的饲料时,特殊生长率分别比对照组高 75.00%、41.67%和 25.00%;

蛋白质效率比对照组高 127.66%、40.61%和 24.19%；饲料系数显著降低；这表明在饲料中适量添加维生素 C，刺参的生长显著加快，对饲料蛋白质的消化能力明显提高，证明即便刺参具备合成维生素 C 的能力，合成量也远不能满足在集约养殖条件下快速生长和抵御外界环境应激刺激的需求，所以在饲料中必须添加。

3.2 不同剂型维生素 C 对刺参幼参生长的影响

维生素 C 不稳定，生产中多用乙基纤维素和油脂包膜的维生素 C 或维生素 C 硫酸酯、磷酸酯等稳定形式。大量实验表明，鱼类生长迅速、抗病力强时，对包膜维生素 C 的适宜需要量多为维生素 C 单硫酸酯或聚磷酸酯的二分之一^[14~19]。缓释型动力维生素 C 和多聚磷酸酯维生素 C 在饲料中的添加量分别为 300 mg/kg 和 1 600 mg/kg 时，团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 幼鱼生长率最高，饲料系数最低^[13]，即缓释型动力维生素 C 的需要量仅为维生素 C 多聚磷酸酯的三分之一。在杂交罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 饲料中，L-抗坏血酸磷酸镁的效果仅为抗坏血酸磷酸钠的 85%^[20]，而 L-抗坏血酸磷酸酯对鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 的促生长作用较抗坏血酸磷酸钠更为明显^[21]。本实验中，摄食添加 V_C-2-三聚磷酸酯饲料幼刺参的平均特殊生长率最高(0.21%/d)，摄食添加 V_C-棕榈酸酯饲料(0.17%/d)的次之，摄食添加 V_C-磷酸酯镁(0.15%/d)的最低。造成这种情况可能与三种剂型维生素 C 分子大小及结构不同有关。V_C-2-三聚磷酸酯、V_C-磷酸酯镁和 V_C-棕榈酸酯的分子质量为 326.28、379.62 和 414.54。分子质量小的 V_C更易为幼参吸收和利用率，所以生长较快。测定表明，V_C-2-三聚磷酸酯在水中的稳定性最好，亲水基团被隐蔽起来，在水中的溶失率低，为幼刺参吸收和利用率较高，这也是其促长效果好的另一原因。V_C-磷酸酯镁的稳定性也较好，但促长效果却不及 V_C-2-三聚磷酸酯；这些有关不同剂型维生素 C 的理化性质及其在水产动物中的应用有待进一步研究。

3.3 幼刺参对维生素 C 的需要量

养殖动物对维生素 C 的需要量主要取决于动物(种类、规格、生理状态等)、环境(水温、盐度、溶解氧和污染源等)和管理(技术水平和衡量指标等)三个方面。

大量实验表明，鱼类生长迅速、抗病力强时，包膜维生素 C 的适宜需要量多在 200~600 mg/kg 饲料之间^[14~19]，维生素 C 单硫酸酯或聚磷酸酯的需要量多在 1 000 mg/kg 饲料左右^[22~26]；虾类多在 200~400 mg/kg 饲料^[27]。本实验中，摄食添加 V_C-2-三聚磷酸酯、V_C-磷酸酯镁和 V_C-棕榈酸酯饲料的幼刺参，分别在剂量为 2 000 mg/kg、1 000 mg/kg 和 2 000 mg/kg 时特殊生长率和对饲料中蛋白质的消化率最高，饲料系数最低，从生长指标来看，刺参对维生素 C 的需要量显著高于鱼虾。这可能与刺参的杂食性偏植食性和摄食方式有关。刺参长期适应富含 V_C的沉积物，对维生素 C 的需要量高于鱼虾类。刺参的摄食方式有两种：在泥沙底用触手扒取表面泥沙为食；在岩石等硬质表面靠触手扫取或挑取表面颗粒食物。刺参摄食较鱼虾缓慢；刺参的食物要软于鱼虾饲料，水稳定性低于鱼虾饲料，维生素 C 的溶失率高于鱼虾饲料。所以，即使在同样的生理需要量下，刺参饲料中维生素 C 的添加量也要高于鱼虾饲料。

本实验中 11 月 15 日-12 月 15 日期间，饲料中维生素 C 的添加剂量较高(V_C-2-三聚磷酸酯：2 000 mg/kg、V_C-磷酸酯镁：2 000 mg/kg、V_C-棕榈酸酯：4 000 mg/kg)时，幼刺参生长较快。这可能与饲养初期水温较高，幼参摄食量较大，对维生素 C 的需求量较大。12 月 16 日到 1 月 15 日期间，水温下降，摄食量减少，V_C-磷酸酯镁(1 000 mg/kg)和 V_C-棕榈酸酯(2 000 mg/kg)的需求量下降，但特殊生长率仍较高。值得注意的是，V_C-2-三聚磷酸酯的添加量(2 000 mg/kg)仍与水温较高时一样，特殊生长率仍最高，表明 V_C-2-三聚磷酸酯的功能稳定、效果优于 V_C-磷酸酯镁和 V_C-棕榈酸酯。这可能与其理化性质和在生物体内的代谢途径有关。这有待进一步研究。从 1 月 16 日到 2 月 15 日，水温最低，所有实验组刺参的生长率较前两个月均明显下降，但摄食添加不同剂型和剂量 V_C饲料的刺参的特殊生长率仍高于对照组，而只有添加 500 mg/kg 和 1 000 mg/kg V_C-2-三聚磷酸酯组的特殊生长率显著高于对照组($P < 0.05$)，其他各组间均差异不显著($P > 0.05$)，表明在刺参代谢缓慢时期，可适当减少维生素 C 的添加量。实验表明，以生长为指标，水温 10℃ 以上或以下时，刺参饲料中 V_C-2-三聚磷酸酯(含量 > 98%)的添加量分别以 2 000 mg/kg 和 1 000 mg/kg 为宜。

- 参考文献:
- [1] Al-Amoudi M M, El-Nakkadi A M N, El-Nouman B M. Evaluation of optimum dietary requirement of vitamin C for the growth of *Oreochromis spilurus fingerlings* in water from the Red Sea [J]. **Aquaculture**, 1992, 105: 165-173.
 - [2] Lin M F, Shiau S Y. Dietary L-ascorbic acid affects growth, nonspecific immune responses and disease resistance in juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. **Aquaculture**, 2005, 244: 215-221.
 - [3] Ai Q H, Mai K S, Zhang C X, *et al.* Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. **Aquaculture**, 2004, 242: 489-500.
 - [4] Moreau R, Kaushik S J, Dabrowski K. Ascorbic acid status as affected by dietary treatment in the Siberian sturgeon (*Acipenser baeri Brandt*): Tissue concentration, mobilization and L-gulonolactone oxidase activity [J]. **Fish Physiol Biochem**, 1996, 5: 431-438.
 - [5] Dabrowski K, Moreau R. Do all fish need ascorbic acid? [J]. **Aqua Mag**, 1996, 22(5): 96-98.
 - [6] Moreau R, Dabrowski K. Body pool and synthesis of ascorbic acid in adult sea lamprey *Petromyzon marinus*: an agnathan fish with gulonolactone oxidase activity [J]. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 1998, 95(10): 279-282.
 - [7] 艾庆辉, 麦康森, 王正丽. 维生素 C 对鱼类营养生理和免疫作用的研究进展 [J]. 水产学报, 2005, 29(6): 857-858.
 - [8] Conand C, Byrne M. A review of recent development in the world sea cucumber fisheries [J]. **Mar Fish Rev**, 1993, 55(4): 1-13.
 - [9] 隋锡林, 胡庆明. 幼参人工配合饲料的研究 [J]. 水产科学, 1986, 5(3): 22-25.
 - [10] 朱伟, 麦康森, 张百刚, 等. 刺参稚参对蛋白质和脂肪需求量的初步研究 [J]. 海洋科学, 2005, 29(3): 54-58.
 - [11] 王吉桥, 陈国泰, 李振武, 等. 三种粘合剂及其不同组合对仿刺参配合饲料水稳定性和消化率的影响 [J]. 饲料博览, 2007, 3: 5-8.
 - [12] 王吉桥, 蒋湘辉, 赵丽娟, 等. 不同饲料蛋白源对仿刺参幼参生长的影响 [J]. 饲料博览, 2007, 19: 9-13.
 - [13] 冷向军, 李小勤. 水产动物的维生素 C 营养 [J]. 饲料工业, 2002, 23(5): 39-42.
 - [14] 王文辉, 王吉桥, 程鑫, 等. 不同剂型维生素 C 对黄颡鱼生长和几种免疫指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2006, 13(6): 951-958.
 - [15] Dabrowski K, Matusiewicz M, Blom J H. Hydrolysis, absorption and bioavailability of ascorbic acid esters in fish [J]. **Aquaculture**, 1994, 124: 169-191.
 - [16] Gouillou-Coustans M F, Bergot P, Kaushik S J. Dietary ascorbic acid needs of common carp (*Cyprinus carpio*) larvae [J]. **Aquaculture**, 1998, 161: 453-461.
 - [17] 刘天赋, 涂放, 彭金刚. 不同剂型包膜维生素 C 对鲤鱼生产性能影响的试验 [J]. 饲料博览, 2002, 2: 2-4.
 - [18] 崔峰, 王松, 鲍方印, 等. 饲料中添加不同类型 Vc 对团头鲂幼鱼生长的影响 [J]. 安徽技术师范学院学报, 2002, 16(4): 7-9.
 - [19] 宋学宏, 蔡春芳, 潘新法, 等. 用生长和非特异性免疫力评定异育银鲫 Vc 需要量 [J]. 水产学报, 2002, 26(4): 351-356.
 - [20] Shiau S Y, Hsu T S. Quantification of vitamin C requirement for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*, with L-ascorbyl-2-monophosphate Na and L-ascorbyl-2-Mg [J]. **Aquaculture**, 1999, 175: 317-326.
 - [21] Amerio M, Ruggi C, Rovelli R M, *et al.* Ascorbic acid availability from ascorbyl-2-polyphosphate and ascorbyl-2-sulfate in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. **Aquaculture**, 1998, 159: 233-237.
 - [22] 冷向军, 王道尊. 异育银鲫对维生素 C 需要量的研究 [J]. 上海水产大学学报, 1996, 5(4): 240-245.
 - [23] 陈建明, 叶金云, 潘茜, 等. 饲料中添加维生素 C 对翘嘴红鲌鱼种生长及组织中抗坏血酸含量的影响 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 106-112.
 - [24] 周歧存, 刘永坚, 麦康森, 等. 维生素 C 对点带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 生长及组织中维生素 C 积累的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(2): 152-158.
 - [25] Ruff N, Fitzgerald R D, Cross T F, *et al.* The effect of dietary vitamin E and C on market-size turbot (*Scophthalmus maximus*) fillet equality [J]. **Aquaculture Nutrition**, 2003, 9: 91-103.
 - [26] Li M H, Wise D J, Robinson E H. Effect of dietary vitamin C on weight gain, tissue ascorbate concentration, stress response, and disease resistance of channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. **J World Aquacult Soc**, 1998, 29(1): 1-8.
 - [27] 王吉桥. 南美白对虾生物学研究与养殖 [M]. 北京: 海洋出版社, 2003. 35-36.

The effects of dietary vitamin C sources and levels on growth in juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)

WANG Ji-qiao¹, SU Jiu-wang¹, JIANG Yu-sheng¹, ZHANG Jian-cheng², LIANG Zhi-jun³

(1. Life Science and Technology Institute, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China; 2. Dalian Pacific Seafood Co., Ltd, Dalian 116045, China; 3. Liaoning Bureau of Fishery Port Supervision, Dalian 116000, China)

Received: Jan. , 5, 2009

Key words: sea cucumber (*Apostichopus japonicus*); vitamin C; growth

Abstract: Few studies have been reported on effects of dietary vitamin C sources and levels on growth of juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*), though vitamin C as an essential micronutrition for animals is widely added to feed in fish and shrimp. The sea cucumber juveniles averaging 2.29 g in body weight were randomly stocked into 39 plastic tanks of each 45 cm×31 cm×30 cm at rate of 15 individuals per tank and fed formulated feed containing 7.63% crude protein (corn gluten as only protein source) and 3.89% crude fat supplemented with 5 levels (0 mg/kg, 500 mg/kg, 1 000 mg/kg, 2 000 mg/kg and 4 000 mg/kg diet) of L-ascorbyl-2-polyphosphate (LAPP), L-ascorbyl palmitate (LAP) or L-ascorbyl-2-monophosphate-magnesium (APM) to investigate the effects of dietary vitamin C sources and levels on the growth of the juveniles with triplication at water temperatures of 11.0~14.0°C for 90 days. The higher specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER), and lower feed conversion ratio (FCR) were found in the juveniles fed the diets supplemented with the vitamin C than those in the juveniles in the control groups ($P<0.05$). The juveniles fed the diets supplemented with LAPP (0.21(%/d)) had the maximal SGR (0.21(%/d)), followed by the juveniles (0.17(%/d)) fed the diets supplemented with LAP and the next in the juveniles (0.15(%/d)) fed the diets supplemented with APM, 75.00%, 41.67% and 25.00% higher than those in the control groups. There were the maximal PER in the juveniles fed the diets supplemented with LAPP (12.57%), followed by the juveniles fed the diets supplemented with LAP (7.76%) and the next in the juveniles fed the diets supplemented with APM (6.86%), 127.72%, 40.58% and 24.28% higher than those in the control groups (5.52%). The FCR was in a descendent order arranged for the vitamin C's as follows: LAPP<LAP<APM. Second-degree polynomial regression revealed that the maximal apparent digestibility of dietary protein, SGR and minimal FCR were observed in the juveniles fed the diets supplemented with LAPP at a rate of 2 000~2 500 mg/kg, APM 1 000~1 500 mg/kg and LAP 2 000~3 125 mg/kg. The results come to the conclusion from the improvement of growth in the sea cucumber that the optimal dietary vitamin C micronutrition is of LAPP.

(本文编辑:康亦兼)