

两种甘薯饲料原料的营养成分及其对仿刺参 (*Apostichopus japonicus*)摄食与生长的影响^{*}

赵 斌 胡 炜 李成林^① 韩 莎 严 芳

(山东省海洋生物研究院 青岛 266104)

摘要 在刺参配合饲料中添加 6 个比例(10%、20%、30%、40%、50%、60%)的甘薯块根粉与甘薯蔓茎粉,测定两种甘薯饲料原料的营养成分及其对仿刺参摄食与生长的影响。结果显示,甘薯块根粉中粗蛋白含量为 10.01%,甘薯蔓茎粉中粗蛋白含量为 5.54%;每 100 g 甘薯块根与蔓茎粉中氨基酸总量分别为 7.33 g 和 4.37 g。在 30 d 的实验期间,投喂添加甘薯块根粉饲料的实验组仿刺参平均体重随实验时间呈上升趋势,实验结束时,10%和 20%组特定生长率(SGR)显著高于对照组($P<0.05$),30%组 SGR 与对照组差异不显著($P>0.05$)。投喂添加 10%甘薯蔓茎粉的实验组仿刺参 SGR 与对照组差异不显著($P>0.05$),其余各组 SGR 均低于对照组($P<0.05$)。投喂添加 10%、20%甘薯块根粉饲料的实验组仿刺参食物转化率(FCE)显著高于对照组($P<0.05$),投喂添加 10%甘薯蔓茎粉饲料的实验组 FCE 与对照组差异不显著($P>0.05$),其余各实验组仿刺参 FCE 显著低于对照组($P<0.05$)。结果表明,当甘薯块根粉和甘薯蔓茎粉添加比例分别低于 30%和 10%时,可满足刺参的营养需求,提高饲料利用效率,保证并促进仿刺参的摄食与生长。

关键词 仿刺参;甘薯块根粉;甘薯蔓茎粉;营养成分;生长

中图分类号 S963.16 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)01-0080-07

仿刺参(*Apostichopus japonicus*)是我国常见海参种类中经济价值和营养价值最高、深受消费者喜爱的品种(李成林等,2010)。近年来,随着仿刺参养殖业的拓展,对仿刺参饲料的需求量不断增加,构成仿刺参饲料中重要组成部分的天然饵料如鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)等大型藻类资源受到过度开发。同时,因近海水质污染与城市化建设进程的加快,鼠尾藻等藻类生活环境受到不同程度的破坏,生存空间受到极大压缩,自然资源锐减,产量逐年下降,导致天然大型海藻呈供不应求,刺激了鼠尾藻粉等饲料价格的不断攀升,养殖成本不断增加(王维新等,2012)。为补充对鼠尾藻等大型藻类的大量需求,寻

求来源广泛、成本低廉、投喂效果好的饲料源已成为当务之急。目前,相关植物源添加或替代饲料的研究对象主要有大叶藻(*Zostera marina*)、螺旋藻(*Spirulina* sp.)、玉米粉、马铃薯粉、芋头粉、豆粕、山药粉、凤眼莲等种类(谭肖英等,2009;姜森颖等,2012;李旭等,2013;刘旭佳等,2013;王维新等,2013),特别是近年来伴随着浒苔(*Enteromorpha prolifera*)在我国近海季节性大面积暴发式繁生,利用其替代鼠尾藻、马尾藻(*Sargassum muticum*)饲料源的研究工作也陆续开展(廖梅杰等,2011;李晓等,2013),但涉及甘薯这一陆生植物作为仿刺参添加饲料的研究至今鲜有报道。

^{*} 国家“863”计划(2012AA10A412)、国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目(201305001-4)、山东省现代农业产业技术体系刺参产业创新团队建设(SDAIT-08-011-01)、山东省自然科学基金项目(GB/T 6433-2006)、山东省农业良种工程项目(2014-2016)、山东省科技发展计划项目(2014GNC111022)和山东省农业科技成果转化资金项目(2014-2016)共同资助。赵 斌, E-mail: jmzoster@gmail.com

^① 通讯作者:李成林,研究员, E-mail: lcl_xh@hotmail.com

收稿日期:2015-05-14,收修改稿日期:2015-06-29

甘薯, 又称红薯、番薯、红苕、地瓜等, 是中国分布很广的经济作物, 规模约占全世界的 80%(杜连起等, 2006)。有关甘薯营养价值的研究较多, 其各部位的营养价值已被很多研究证实(何川, 2003; 伍军, 2004; 王文亮等, 2009), 其干制粉可作为鱼类饲料进行投喂(孙育平等, 2014; 陈菲菲等, 2014), 甘薯本身种植广泛, 易于取材, 不存在浒苔等海藻类饲料源在供应方面的季节性局限, 有潜力成为较好的仿刺参植物源蛋白添加饲料。本实验研究了两种甘薯饲料原料营养成分, 分析了在配合饲料中按不同比例分别添加两种成分后仿刺参的摄食与生长情况, 旨在拓展目前仿刺参饲料源的营养学研究范围, 探索开发陆生植物蛋白源饲料的可行性, 为研制绿色、高效、低成本的优质仿刺参全价配合饲料提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验用两种甘薯饲料原料分别为甘薯块根与甘薯蔓茎经晾晒干后制成的干粉, 粉碎粒径小于 150 μm 。实验用仿刺参为山东省海洋生物研究院种质资源研究中心培育的健康苗种, 平均体重为(6.1 \pm 0.3) g。

1.2 实 验 设 计

实验根据添加饲料成分不同分为两组, 分别添加甘薯块根粉与甘薯蔓茎粉。根据在市售商品配合饲料(主要成分为鼠尾藻、马尾藻、鱼粉、虾粉、大豆酶解蛋白、维生素及类维生素、矿物元素及其络合物等)中添加甘薯粉的不同比例分别设计 6 个处理组, 并设商品配合饲料为对照组(CK), 其营养成分见表 1。从表 1 可以看出, 6 个处理组添加甘薯粉水平分别为 10% (I)、20%(II)、30%(III)、40%(IV)、50%(V)、60%(VI), 投喂添加甘薯粉的配合饲料总重为仿刺参总重的 5%, 同时按饲料的重量与海泥的重量比为 1:3 的比例搭配投喂。实验仿刺参饲养于 45 cm \times 35 cm \times 30 cm

表 1 商品配合饲料主要营养成分组成

Tab.1 Basic nutritional components of commercial diets

营养指标 Nutrition component	成分组成 Chemical composition(%)
粗蛋白 Crude protein	16
粗脂肪 Crude fat	5
粗纤维 Crude fiber	8
总磷 Total Phosphorus	0.6–1.0
粗灰分 Crude ash	25
赖氨酸 Lys	0.8
水分 Moisture	10

的塑料整理箱中, 每个整理箱中放养仿刺参 10 头, 每个实验组各设 3 个平行。每天 17:00 投喂饲料 1 次。投喂实验自 2014 年 4 月 26 日开始, 实验共进行 30 d。

1.3 日 常 管 理

实验期间, 水体盐度为 30.2–31.4, pH 为 8.1 \pm 0.2, 水温为 17–20 $^{\circ}\text{C}$, 连续微量充气, 每天全量换水 1 次, 用虹吸法清除残饵与粪便, 换水前后水温差小于 1 $^{\circ}\text{C}$, 盐度差小于 1。

1.4 测 定 方 法 与 数 据 计 算

1.4.1 饲料营养成分的测定 粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定; 粗脂肪含量采用索氏提取法测定; 灰分测定采用马弗炉 550 $^{\circ}\text{C}$ 灼烧法; 水分测定采用干燥箱 103 $^{\circ}\text{C}$ 烘干法。

氨基酸的分析: 样品经 6 mol/L HCl 水解, 水解时充氮气 24 h, 采用氨基酸自动分析仪测定 17 种氨基酸。

1.4.2 仿刺参生长指标的测定 实验开始时, 将每个整理箱内仿刺参取出称其湿体重, 为初始体重 $W_0(\text{g})$; 实验结束时, 取出仿刺参称其湿体重, 为末结果体重 $W_t(\text{g})$ 。称重时阴干 10 min, 用吸水纸吸干仿刺参体表水分, 避免体表水分所引起的称量误差。仿刺参特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)采用以下公式计算:

$$SGR(\%/d) = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%$$

式中, t 为实验持续的时间(d)。

1.4.3 测定体重 实验开始前 1 d 停止投喂, 测其体重初始值, 实验 30 d 结束时, 同样停止投喂 1 d, 测其体最终值。

通过食物转化率(Food conversion efficiency, FCE), 观察饲料中添加不同比例的甘薯原料成分对仿刺参摄食的影响。计算公式如下:

$$FCE = 100 \times (W_t - W_0) / F$$

式中, W_0 为体重初始值(g), W_t 为测定值(g), t 为实验时间(g), F 为饲料摄入量(g)。

1.4.4 数据统计 实验数据利用 SPSS 17.0 软件进行单因子方差分析(One-Way ANOVA)和多重比较, 以 $P < 0.05$ 作为不同处理之间显著差异的标志。

2 结 果

2.1 甘薯块根粉与甘薯蔓茎粉的营养成分

两种甘薯饲料原料中粗蛋白、粗脂肪、粗灰分与水分组成见表 2。从表 2 中可知, 甘薯块根粉中粗蛋白含量为 10.01%, 甘薯蔓茎粉中粗蛋白含量较低, 为 5.54%。

表2 两种甘薯饲料原料主要成分组成

Tab.2 Basic nutritional components of two kinds of sweet potato powders

营养成分 Nutrition component(%)	甘薯块根粉 Tuber powder of sweet potato	甘薯蔓茎粉 Stem powder of sweet potato	检测方法 Test method
粗蛋白 Crude protein	10.01	5.54	GB/T 6432-1994
粗脂肪 Crude fat	3.52	1.13	GB/T 6433-2006
粗灰分 Crude ash	10.52	3.39	GB/T 6438-2007
水分 Moisture	6.57	9.82	GB/T 6435-2006

两种甘薯饲料原料中氨基酸组成见表3。从表3中可知,甘薯块根粉中含量较高的氨基酸有天门冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、赖氨酸等,甘薯蔓茎粉中含量较高的氨基酸有谷氨酸、天门冬氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸等。每100g甘薯块根与蔓茎干粉中氨基酸总量分别为7.33g和4.37g。

表3 两种甘薯饲料原料氨基酸组成

Tab.3 Amino acid contents of two kinds of sweet potato powders

序号 No.	检测项目 Test item	氨基酸组成 Amino acid contents(%)	氨基酸组成 Amino acid contents(%)	
			甘薯块根粉 Tuber powder	甘薯蔓茎粉 Stem powder
1	天门冬氨酸 Asp	1.18	0.61	
2	苏氨酸 Thr	0.40	0.23	
3	丝氨酸 Ser	0.36	0.21	
4	谷氨酸 Glu	0.98	0.66	
5	甘氨酸 Gly	0.42	0.23	
6	丙氨酸 Ala	0.57	0.24	
7	胱氨酸 Cys	0.25	0.12	
8	缬氨酸 Val	0.44	0.27	
9	蛋氨酸 Met	0.03	0.03	
10	异亮氨酸 Ile	0.27	0.19	
11	亮氨酸 Leu	0.60	0.35	
12	酪氨酸 Tyr	0.21	0.19	
13	苯丙氨酸 Phe	0.43	0.35	
14	赖氨酸 Lys	0.47	0.25	
15	组氨酸 His	0.15	0.09	
16	精氨酸 Arg	0.31	0.18	
17	脯氨酸 Pro	0.26	0.17	
	氨基酸总量 Taa	7.33	4.37	

2.2 添加两种甘薯饲料对仿刺参摄食与生长的影响

2.2.1 添加两种甘薯饲料对仿刺参生长的影响

实验期间,投喂添加两种甘薯饲料的实验仿刺参体重变化情况见图1和图2。从图1中可以看出,添加甘薯块根粉的实验组在30d内仿刺参平均体重

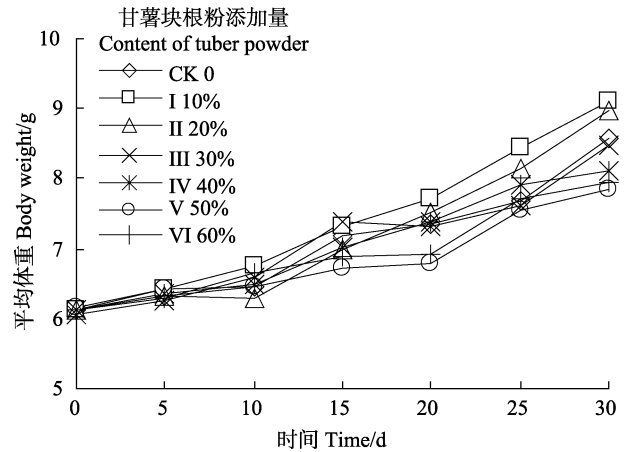


图1 添加甘薯块根粉组仿刺参体重变化

Fig.1 Variation of body weight of sea cucumber fed with different diets supplemented with the tuber powder of sweet potato

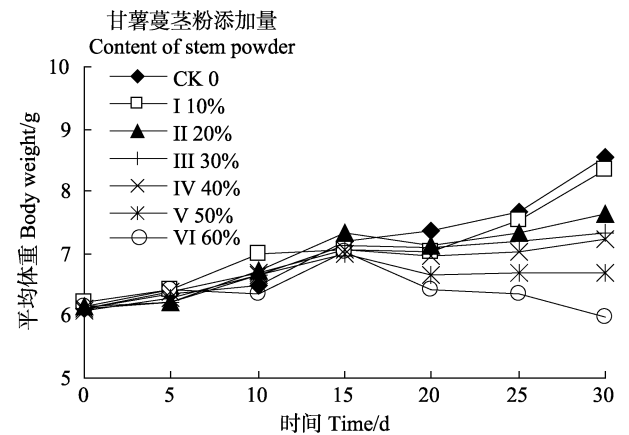


图2 添加甘薯蔓茎粉组仿刺参体重变化

Fig.2 Variation of body weight of sea cucumber fed with different diets supplemented with the stem powder of sweet potato

均有增加,且随实验时间呈上升趋势(图1)。实验结束时,添加甘薯块根粉的实验组中体重最高的为10%(I)组,平均体重达9.09g,增重为48.0%;20%(II)实验组的平均体重为8.97g,增重为46.3%;30%(III)组与对照组平均体重接近,分别为8.47g和8.56g,分别增重39.8%和39.6%;40%(IV)、50%(V)和60%(VI)实验组平均体重均低于对照组,分别为8.10、7.85、7.94,增重亦均低于对照组。

实验期间, 投喂添加甘薯蔓茎粉饲料的实验组仿刺参平均体重变化见图 2。从图 2 可以看出, 在实验 0–15 d 期间, 所有实验组仿刺参平均体重随时间呈增加趋势; 15 d 后, 除 10%(I)实验组外, 其他各组仿刺参生长逐渐趋缓甚至呈现生长停滞或下降现象; 至实验 30 d 结束, 添加甘薯蔓茎粉 10%(I)组与对照组生长情况接近, 平均体重分别为 8.35、8.56 g, 分别增重 34.7%和 39.6%; 20%(II)、30%(III)、40%(IV)和 50%(V)组生长不明显, 分别为 7.63、7.34、7.22、6.69 g, 分别增重 24.0%、20.0%、17.8%、9.9%。60%(VI)实验组平均体重最低, 为 5.98 g, 呈负生长。

2.2.2 添加两种甘薯饲料对仿刺参 SGR 的影响

实验对添加两种甘薯成分饲料实验组仿刺参的 SGR 按不同实验天数分别进行了测定, 结果见表 4 和表 5。从表 4 和表 5 中可以看出, 投喂添加甘薯块根粉饲料的实验组仿刺参在实验期间的 SGR 随实验天数增加出现显著差异($P<0.05$)。实验结束时, 10%

(I)和 20%(II)组 SGR 显著高于对照组($P<0.05$), 30%(III)组 SGR 与对照组比较差异不显著($P>0.05$), 40%(IV)、50%(V)、60%(VI)组 SGR 显著低于对照组($P<0.05$)。

投喂添加甘薯蔓茎粉饲料的实验组仿刺参在实验期间的 SGR 随实验天数增加呈显著差异($P<0.05$)。实验结束时, 除 10%(I)组外, 各实验组仿刺参 SGR 均低于对照组($P<0.05$), 且随甘薯蔓茎粉添加量的增大呈下降趋势, 其中, 60%(VI)组 SGR 出现负值。

2.2.3 添加两种甘薯饲料对仿刺参 FCE 的影响

对添加两种甘薯成分饲料实验组仿刺参的 FCE 分别进行了测定, 结果见表 6。从表 6 可以看出, 投喂添加甘薯块根粉饲料的实验组仿刺参 10%(I)、20%(II)组 FCE 显著高于对照组($P<0.05$), 30%(III)组 FCE 与对照组差异不显著($P>0.05$), 40%(IV)、50%(V)、60%(VI)均显著低于对照组($P<0.05$); 投喂添加甘薯蔓茎粉饲料的 10%(I)实验组与对照组

表 4 甘薯块根粉组仿刺参 SGR

Tab.4 The SGR of sea cucumber fed with the tuber powder of sweet potato (%/d)

组别 Groups	实验天数 Days(d)					
	5	10	15	20	25	30
CK	0.661±0.023 ^a	0.540±0.085 ^a	1.073±0.040 ^a	0.908±0.112 ^a	0.896±0.069 ^a	1.113±0.073 ^a
I	0.954±0.054 ^b	0.955±0.078 ^b	1.163±0.145 ^{ab}	1.132±0.120 ^a	1.268±0.125 ^b	1.308±0.093 ^b
II	0.642±0.034 ^a	0.234±0.022 ^c	0.866±0.116 ^c	1.015±0.078 ^a	1.134±0.063 ^{bc}	1.269±0.061 ^b
III	0.672±0.076 ^a	0.846±0.031 ^{bd}	1.332±0.096 ^b	0.938±0.137 ^a	0.906±0.108 ^{ad}	1.116±0.206 ^a
IV	0.691±0.035 ^a	0.547±0.069 ^a	0.898±0.087 ^c	0.913±0.077 ^a	1.023±0.099 ^{cd}	0.923±0.098 ^c
V	0.769±0.074 ^a	0.467±0.055 ^c	0.569±0.064 ^d	0.482±0.043 ^b	0.802±0.067 ^a	0.803±0.088 ^c
VI	0.553±0.103 ^c	0.822±0.068 ^d	0.779±0.178 ^{ab}	0.599±0.111 ^c	0.925±0.074 ^{cd}	0.862±0.072 ^c

注: 同一列中的不同字母表示显著性差异($P<0.05$)

Note: Different letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

表 5 甘薯蔓茎粉组仿刺参 SGR

Tab.5 The SGR of sea cucumber fed with the stem powder of sweet potato (%/d)

组别 Groups	实验天数 Days(d)					
	5	10	15	20	25	30
CK	0.661±0.023 ^a	0.540±0.085 ^a	1.073±0.040 ^{ab}	0.908±0.112 ^a	0.896±0.069 ^a	1.113±0.073 ^a
I	0.732±0.046 ^b	1.185±0.139 ^b	0.875±0.176 ^d	0.617±0.021 ^b	0.780±0.024 ^{ab}	0.992±0.087 ^a
II	0.255±0.044 ^c	0.894±0.082 ^c	1.184±0.108 ^b	0.750±0.065 ^c	0.699±0.046 ^{bc}	0.717±0.113 ^b
III	0.356±0.053 ^d	0.850±0.042 ^c	1.028±0.078 ^{ab}	0.750±0.077 ^c	0.645±0.064 ^{cd}	0.608±0.086 ^c
IV	0.768±0.068 ^{bc}	0.882±0.096 ^c	0.942±0.095 ^{ad}	0.624±0.039 ^b	0.542±0.033 ^d	0.546±0.048 ^c
V	0.637±0.075 ^a	0.865±0.080 ^c	0.909±0.072 ^{ad}	0.455±0.018 ^d	0.367±0.027 ^e	0.313±0.023 ^d
VI	0.852±0.071 ^e	0.288±0.054 ^d	0.885±0.068 ^d	0.199±0.042 ^e	0.125±0.024 ^f	-0.102±0.032 ^e

注: 同一列中的不同字母表示显著性差异($P<0.05$)

Note: Different letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

表6 添加两种甘薯饲料对仿刺参 *FCE* 的影响

Tab.6 The effects of two kinds of sweet potato powders on the food conversion efficiency in sea cucumber

组别 Groups	食物转化率 Food conversion efficiency(%)	
	甘薯块根粉 Tuber powder	甘薯蔓茎粉 Stem powder
CK	44.18±2.89 ^a	44.18±2.89 ^a
I	53.64±3.63 ^b	39.09±2.94 ^a
II	51.64±3.42 ^b	26.82±3.15 ^{bc}
III	43.82±2.78 ^a	22.25±4.58 ^{cd}
IV	35.64±4.87 ^c	19.82±3.23 ^d
V	30.55±4.55 ^c	10.91±3.69 ^e
VI	32.91±5.32 ^c	—

注: 同一列中的不同字母表示显著性差异($P < 0.05$)Note: Different letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$)

FCE 差异不显著($P > 0.05$), 其余的各实验组仿刺参 *FCE* 显著低于对照组($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 甘薯块根粉与甘薯蔓茎粉营养成分比较

在目前开展研究的仿刺参植物源蛋白添加饲料中, 陆生植物蛋白源饲料因其来源广泛、成本低廉颇受研究者关注。据国内外医学研究, 甘薯的茎尖、叶片、块根中含有多种胶原和粘多糖物质, 可有效促进机体免疫力; 此外, 还含有丰富的纤维素、微量元素、胡萝卜素、核黄素、尼克酸、抗坏血酸等成分(伍军, 2004; 王文亮等, 2009), 是营养成分齐全且含量较高的理想陆生植物添加饲料。

王际英等(2009)、李素红等(2012)研究表明, 饲料中蛋白含量是影响仿刺参生长的关键因素。仿刺参在生长发育过程中, 通过不断摄食藻类成分饲料累积体内蛋白质(宋志东等, 2009)。饲料中适宜的蛋白含量可有效提高仿刺参 *SGR*(Seo *et al.*, 2011), 幼参阶段蛋白需求量水平为 18.21%–24.18%(朱伟等, 2005; 吴永恒等, 2012)。在以藻粉为主要成分的刺参饲料中, 鼠尾藻饲料的蛋白含量为 12.23%–19.35%, 马尾藻饲料的蛋白含量为 11.74%–14.20%, 海带粉饲料的蛋白含量为 6.84%–8.70%(刘营, 2010¹); 郭娜, 2011²); 李晓等, 2013)。从本研究对两种甘薯饲料原料营养成分测定结果来看, 甘薯块根粉中粗蛋白含量较高, 接近鼠尾

藻、马尾藻等优质大型藻类成分的蛋白含量水平, 高于海带粉。甘薯蔓茎粉蛋白占甘薯块根粉 55.3%, 含量相对较低, 略低于海带粉。因此, 从蛋白含量方面考虑, 适宜比例的甘薯块根粉和甘薯蔓茎粉作为仿刺参饲料添加成分可起到类似海洋大型藻类的作用, 通过与动物源蛋白(如鱼粉、虾糠等)合理搭配、混合投喂, 完全可以满足仿刺参生长发育中的蛋白需求。

仿刺参的氨基酸组成有着一定的规律性, 如谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、精氨酸等含量较高(宋志东等, 2009), 刺参在摄食苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸等氨基酸含量较高的食物后, 体重增长较快。在其他海洋大型藻类中, 浒苔与鼠尾藻的氨基酸构成相似, 含量较高的氨基酸为天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸、苏氨酸等(李晓等, 2013)。本研究测得甘薯块根粉中含量较高的氨基酸为天门冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、赖氨酸等, 甘薯蔓茎粉中含量较高的氨基酸为谷氨酸、天门冬氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸等, 接近鼠尾藻与仿刺参体组成氨基酸含量, 因此可推断, 两种甘薯饲料中氨基酸的组成与含量能够满足仿刺参的营养需求, 可为仿刺参生长发育提供充足、平衡的氨基酸营养。

3.2 甘薯块根粉与甘薯蔓茎粉对仿刺参摄食与生长的影响

研究显示, 刺参是典型的沉积食性动物, 其食物来源广泛(Hamel *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2005; Yuan *et al.*, 2006)。目前, 陆生植物中存在氨基酸不平衡、含有抗营养因子和消化率低等问题, 在饲料中添加的比例过高时, 养殖对象生长会明显下降(王吉桥等, 2010)。因此, 本实验设计了添加 10%–60%的比例来研究适宜的甘薯原料成分添加量。结果显示, 添加 10%、20%甘薯块根粉的实验组经 30 d 饲养后, 仿刺参体重与 *SGR* 均显著高于其他实验组($P < 0.05$), *FCE* 也是实验组当中最高的($P < 0.05$), 当添加量超过 30%时, 仿刺参 *SGR* 随饲养天数的增加而呈现下降趋势, 其中 30%(III)组 *SGR* 略低于对照组, 但未出现显著差异($P > 0.05$); 40%(IV)、50%(V)、60%(VI)组 *SGR* 显著低于对照组($P < 0.05$)。结果显示, 当甘薯块根粉添加量低于 30%时, 甘薯块根粉中所含植物蛋白、氨基酸等营养成分能够与商品配合饲料中的营养成分有效搭配, 满足仿刺参对食物的营养需求, 有效促进仿刺参的摄食与生长。

1) 刘营. 不同饲料对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长及能量收支的影响及机制. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2010, 8–10

2) 郭娜. 不同饲料对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长、消化生理和能量收支的影响. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2011: 21–30

添加甘薯蔓茎粉实验组中, 10%(I)组仿刺参体重增长与对照组接近, 实验结束时, *SGR* 与对照组无显著差异($P>0.05$); 其余实验组随着甘薯蔓茎粉添加比例的增大, 在实验前 15 d 时, 仿刺参与对照组无明显差异, 但在 15 d 后, 仿刺参 *SGR* 出现显著降低($P<0.05$), 而 *FCE* 较低。结果显示, 甘薯蔓茎粉添加量以 10%为宜, 当添加量超过 10%、且持续饲养超过 15 d 时, 对仿刺参生长会造成一定影响。究其原因分析认为, 相对于甘薯块根粉, 中观察到甘薯蔓茎粉在投喂后的凝沉性明显低于投喂商品配合饲料及甘薯块根粉的实验组, 导致水体长时间混浊, 甚至出现泡沫, 在一定程度上影响了仿刺参正常摄食与生长。同时, 根据研究结果, 甘薯蔓茎粉的粗蛋白含量与藻粉为主要成分的仿刺参饲料存在一定差异, 当添加量增加时, 不能很好地满足仿刺参生长发育的营养需求, 也影响其正常生长。此外, 适口性也是饵料影响动物生长的关键因素之一(李旭等, 2013), 研究中甘薯蔓茎粉的投喂效果不如甘薯块根粉也可能与此有关。

3.3 结论

本研究表明, 两种甘薯饲料原料作为陆生植物蛋白源成分按一定比例添加在仿刺参饲料中是可行的, 当甘薯块根粉添加比例不超过 30%、蔓茎粉添加比例不超过 10%时, 可保证或促进仿刺参摄食与生长。同时, 由于甘薯块根来源广泛, 加工时不受表观、质地限制, 而甘薯蔓茎在日常生产中基本属废弃材料, 二者均具备取材便利的特点。在仿刺参养殖生产中, 通过制订两种甘薯饲料原料的科学投饲策略, 设计相应的添加投喂频次, 在充分满足添加投喂效果的同时, 可大大降低饲料成本, 提高资源化利用程度。因此, 以甘薯原料作为仿刺参配合饲料添加原料的研究应用, 具有十分广阔的产业化开发与推广前景。本研究为仿刺参养殖中陆生植物蛋白源添加饲料的开发提供了两种完全可行的原材料, 随着仿刺参养殖产业的健康持续发展, 寻求更多来源广泛、成本低廉、效果优良的陆生植物饲料源, 将是未来进一步研究开发的方向和重点。

参 考 文 献

王吉桥, 张坤, 姜玉声, 等. 在无藻粉饲料中添加包膜氨基酸对幼刺参生长、消化和免疫指标的影响. 海洋科学, 2010, 34(9): 36-43

王文亮, 杜方岭, 徐同成. 甘薯茎叶的营养价值及其开发利用研究. 中国食物与营养, 2009, 15(7): 29-31

王际英, 宋志东, 王世信, 等. 刺参不同发育阶段对蛋白质需

求量的研究. 水产科技情报, 2009, 36(5): 229-233

王维新, 白燕. 刺参营养饲料的研究开发现状与展望. 科学养鱼, 2012(8): 72-73

王维新, 白燕, 侯文久, 等. 凤眼莲在刺参饲料中的应用研究. 饲料及饲养试验, 2013(8): 51-54

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. 海洋科学, 2005, 29(3): 53-58

伍军. 红薯营养保健价值及综合利用. 粮食与油脂, 2004, 17(1): 18-19

刘旭佳, 周毅, 杨红生, 等. 大叶藻碎屑作为刺参食物来源的实验研究. 海洋科学, 2013, 37(10): 32-38

孙育平, 王国霞, 胡俊茹, 等. 不同种类碳水化合物对吉富罗非鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响. 水产学报, 2014, 38(9): 1486-1493

杜连起, 赵永光, 李润丰. 甘薯茎尖营养成分分析及评价. 中国农学通报, 2006, 22(6): 99-101

李成林, 宋爱环, 胡炜, 等. 山东省刺参养殖产业现状分析与可持续发展对策. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 126-132

李素红, 梁萌青, 孙慧玲, 等. 饲料中适宜的蛋白质和氨基酸水平对刺参生长的影响. 渔业科学进展, 2012, 33(5): 59-63

李晓, 王颖, 吴志宏, 等. 浒苔对刺参幼参生长影响的初步研究. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1092-1099

李旭, 章世元, 陈四清, 等. 四种饲料原料对刺参生长、体成分及消化生理的影响. 饲料工业, 2013, 34(8): 36-40

吴永恒, 王秋月, 冯政夫, 等. 饲料粗蛋白含量对刺参消化酶及消化道结构的影响. 海洋科学, 2012, 36(1): 36-41

何川. 红薯的营养价值及开发利用. 西部粮油科技, 2003, 28(5): 44-46

宋志东, 王际英, 王世信, 等. 不同生长发育阶段刺参体壁营养成分及氨基酸组成比较分析. 水产科技情报, 2009, 36(1): 11-13

陈菲菲, 邹应龙. 柠檬酸甘薯淀粉对齐口裂腹鱼生长及肠道菌群的影响. 食品科学, 2014, 35(13): 266-270

姜森颢, 梁峻, 孙欣. 紫蛇尾的生化成分及作为饲料原料对刺参幼参生长和存活的影响. 饲料工业, 2012, 33(16): 13-17

廖梅杰, 郝志凯, 尚德荣, 等. 浒苔营养成分分析与投喂刺参试验. 渔业现代化, 2011, 38(4): 32-36

谭肖英, 罗智, 李晓东, 等. 用螺旋藻替代鱼粉对仿刺参生长及其体组成的影响. 大连水产学院学报, 2009, 24(6): 559-562

Hamel JF, Conand C, Pawson DL, et al. The sea cucumber *Holothuria scabra* (Holothuroidea: Echinodermata): Its biology and exploitation as Beche-de-Mer. Adv Mar Biol, 2001, 41: 131-223

Seo JY, Lee SM. Optimum dietary protein and lipid levels for growth of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Aquacult Nutr, 2011, 17(2): 56-61

Yang HS, Yuan XT, Zhou Y, et al. Effects of body size and water temperature on food consumption and growth in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) with special

reference to aestivation. *Aquac Res*, 2005, 36(11): 1085–1092
Yuan XT, Yang HS, Zhou Y, *et al.* The influence of diets containing dried bivalve feces and/or powdered algae on

growth and energy distribution in sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Echinodermata: Holothuroidea). *Aquaculture*, 2006, 256(1–4): 457–467

(编辑 陈严)

The Nutritional Effects of Two Feedstuffs from Sweet Potato on Feeding and Growth of Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

ZHAO Bin, HU Wei, LI Chenglin^①, HAN Sha, YAN Fang

(*Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104*)

Abstract In recent years the prices for macroalgae such as sargassum have been rising due to higher demands on the seaweed during the expansion in the sea cucumber aquaculture. In this study, we investigated the nutritional components of two feedstuffs and their effects on the feeding and growth of sea cucumber. The experimental diets were formulated with tuber and stem powders from sweet potato at 6 levels (10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60%). The results showed that the crude protein contents in the tuber and stem powders were 10.01% and 5.54% respectively. The total amino acids per 100 g tuber and stem powders were 7.33 g and 4.37 g respectively. During a 30-day experiment, the average body weight of sea cucumber fed with the tuber powder continued to increase. At the end of the experiment, the *SGRs* in the 10% group and the 20% group were significantly higher than in the control group ($P < 0.05$), whereas there was no difference between the 30% group and the control group ($P > 0.05$). The *SGR* of sea cucumber fed with the stem powder in the 10% group was not significantly different from that in the control ($P > 0.05$), while *SGRs* in the other groups were significantly lower than that in the control ($P < 0.05$). The *FCEs* of sea cucumber fed with the tuber powder of the 10% and the 20% group were significantly lower than that in the control group. The *FCE* of sea cucumber fed with the stem powder in the 10% group was similar to the control, but it was significantly higher in other groups compared to the control ($P < 0.05$). These results suggested that 30% tuber powder and 10% stem powder (or less) could improve the feeding and growth of sea cucumber.

Key words *Apostichopus japonicus*; Tuber powder of sweet potato; Stem powder of sweet potato; Nutrition component; Growth

① Corresponding author: LI Chenglin, E-mail: lcl_xh@hotmail.com