

编号: 0181

科学技术成果报告

鲢鱼（草鱼）饲料研究

科学技术文献出版社

9
33
45

刊登国内、外广告启事

我社出版的科技刊物，学科较全，专业较广。为给国内、外各厂矿、企业、科研单位、大专院校等刊登广告提供方便，决定从即日起开辟广告栏，欢迎选用。

有关刊登广告的具体手续、价目及刊物，详见我社的“承办国内广告业务暂行办法”及“承办国外广告业务暂行办法”。此项业务请直接与我社广告组联系，统一办理。

(社址：北京和平街北口 电话：46局4504)

科学技术文献出版社

一九八〇年四月十日

科学技术成果报告

鲢鱼(草鱼)饲料研究

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆。 印张：2.5 字数：65.6千字

1980年12月北京第一版第一次印刷

印数：1—1,530册

科技新书目：182—34

统一书号：13176·97 定价：0.40元

目 录

前 言	(1)
一、鲢鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> (Cuvier et Valenciennes) 酶纤颗粒饲料及鲢鱼营养代谢	(3)
(一) 鲢鱼酶纤颗粒饲料的配制	(4)
(二) 酶纤颗粒饲料饲养鲢鱼效果	(5)
1. 鲢鱼鱼种越冬试验	(5)
2. 鲢鱼鱼种培育试验	(6)
3. 成鱼饲养试验	(6)
4. 成鱼大田饲养试验	(8)
(三) 鲢鱼营养代谢研究	(8)
1. 鲢鱼鱼种蛋白质最适需要量	(8)
2. 饲料蛋白质氨基酸组成与生长关系	(10)
3. 饲料粗纤维含量对鲢鱼消化率影响	(11)
4. 鲢鱼颗粒饲料配制应该注意的几个营养学问题	(11)
(四) 鲢鱼酶纤颗粒饲料生产工艺	(13)
1. 鲢鱼酶纤颗粒饲料制作原理	(13)
2. 酶纤颗粒饲料生产工艺流程	(18)
(五) 存在问题与前景	(21)
1. 存在问题	(21)
2. 前景	(21)
二、利用水生维管束凤眼兰 (<i>Eichhornia crassipes</i> Solm) 饲养鲢鱼试验	(22)
(一) 凤眼兰(假水仙)的醱化发酵	(23)
1. 菌种和发酵方法的比较及选择	(23)
2. 醱化凤眼兰发酵饲料的制作	(23)
3. 凤眼兰醱化发酵前后营养成分变化和消化吸收的测定	(23)
(二) 发酵凤眼兰饲养鲢鱼试验	(26)
1. 1971~1972年试验情况	(26)
2. 1976年试验情况	(31)
(三) 应用放射性同位素 ³² P研究鲢鱼对凤眼兰和旱草的消化吸收	(32)
1. 鲢鱼对凤眼兰和两耳草消化吸收的特点	(33)
2. 鲢鱼消化吸收凤眼兰后在体内分布和代谢的特点	(34)
(四) 应用放射性同位素 ¹⁴ C研究鲢鱼对粗纤维的消化吸收	(34)
1. 鲢鱼消化吸收粗纤维的证据	(35)
2. 鲢鱼对粗纤维摄食量和消化吸收率的关系	(36)
3. 鲢鱼取食粗纤维后的代谢情况	(37)
(五) 凤眼兰用作鲢鱼青饲料的探讨	(38)
参考文献	(39)

鲢鱼(草鱼)饲料研究*

廖翔华等

前 言

饲料是养鱼的物质基础,当前池塘养鱼较突出的问题是饲料不足,这个问题已成为全国性普遍的难题,在广东、浙江、江苏等省池塘高度集中的地区,矛盾就更为突出。饲料问题不解决,池塘增产就受到限制。应该承认饲料是个老大难问题,但是,实践证明,经过主观的努力,饲料的条件有可能逐步改善,困难最终是可以获得解决的。解决的途径,关键在于领导重视,发动群众,发扬自力更生,艰苦奋斗的精神,根据各地区的特点,因地制宜,发掘潜力,广辟饲料来源,千方百计地为塘鱼增产创造条件。另一方面,有关养鱼饲料的科学研究也要紧跟上去。我国淡水养鱼业已有悠久的历史,积累了丰富的经验。但是,根据养殖鱼类的营养生理要求,配制适合鱼类生长需要的饲料,进一步合理使用饲料,科学养鱼等方面的基础理论还是极其贫乏。我室近年来,根据广大渔农及水产部门提出的要求,进行了鲢鱼饲料和营养生理的研究。

一九七三年开始探索制糖工业的废渣—甘蔗糠纤维作为鲢鱼饲料的可能性。一九七三年以来和广东甘蔗糖业科学研究所、中山糖厂协作、采用蔗糠纤维,经过物理、化学、微生物处理转化含有鱼类生长所需要的粗蛋白,从纤维生产饲料,在广东养鱼主产区进行饲养试验,获得良好效果,为解决饲料不足开辟了新的途径。在此基础上,进一步研究了鱼类对营养物质需要量,以及营养物质在鱼体内消化吸收和转化的过程,为配制鱼用颗粒饲料提供了一些理论依据。

另外,鲢鱼的饲养过程,还需要大量的青饲料,随着生产建设的迅速发展,草源不断缩减,青饲料不足的矛盾也愈益尖锐。广东鱼塘主产区,一般仅有少量的旱地,多用于种植蚕桑、甘蔗和其他经济作物,饲料基地就更为缺少,远远不能满足养鱼的需要。但是,鱼塘区多半地处水网纵横交错密集地带,青饲料的一个来源,可以利用江河港叉、河涌和荒芜水面大量种植水生维管束植物。我室从一九七一年以来曾提出“以水养水”,以种植水生植物解决鱼塘青饲料不足的矛盾。但是,水生植物是否可以代替旱草、其营养价值和旱草可否比拟?针对这些问题,我室利用一种最习见、产量高的水生维管束植物—凤眼兰进行一系列的研究,对这种植物在养鱼方面的价值作出评价。

要解决好鱼类饲料,还必须加强鱼类营养学研究,这方面我国几乎是空白的。鱼类饲料的营养大致包括能量和非能量营养物质两个方面:能量物质主要为蛋白质、醣类和脂肪;非

*本文主要是中山大学生物系鱼类研究室研究成果,第一部分(鲢鱼酶纤颗粒饲料及鲢鱼营养代谢)广东甘蔗糖业科学研究所、广东中山糖厂参加了部分工作。本报告并得到国家水产总局、广东省水产局、广东省轻工局、广东省科委及顺德县、南海县、中山县水产局、养殖场和社队的大力支持,在此表示感谢。

能量物质主要是矿物质和多种维生素。其中最重要，来源最困难的为价昂的蛋白质。国外用作饲料的蛋白质源多来自食品工业的下脚料经过加工而成，如鱼粉、血粉及油料作物种子的渣粕。在我国动物性蛋白质来源较少，而且价格昂贵，还不适于大量采用。因此，饲料中的蛋白质主要来自植物性蛋白质，使用最大量的是豆饼。黄豆含有高质量的植物蛋白，近年来发现黄豆含有几种影响动物生长的因素，其中最重要的为抑制胰脏酶，因此在饲养禽、家畜、鱼类之前需要加热（232℃，8分钟），而且黄豆中缺乏磷和蛋氨酸，含有较高的镁和钾。黄豆粉含有大量的植酸（Phytic acid）和其他矿物质化合时，在饲料中需增加锌、铜、镁、碘和其他元素（Lovell, 1977）。德国近来用禽类副产品和水解羽毛粉代替部分鱼粉（5.7:4.3）。但是，我国目前工业水平不高，食品工业的副产品产量不大，因此开辟廉价的蛋白质来源是鱼类饲料研究重要课题之一。

在鱼类饲料和营养研究中，首先要考虑鱼类对蛋白质、脂肪、糖、矿物质和维生素的需要量。鱼类体蛋白约含有18种氨基酸，其中10种为必需氨基酸，体内难以合成，必须从饲料中获得。因此，不仅要满足鱼类蛋白质需要量而且也要满足鱼类对氨基酸的需要量。几种氨基酸以赖氨酸、蛋氨酸、胱氨酸更为重要，在蛋白质中约占2.8%，而且蛋氨酸和胱氨酸比例应为3:7。但需要量则因鱼的种类而异。

鱼类对饲料中糖类 and 脂肪的需要量也因鱼类不同食性而异，暖水性鱼类能将饲料中35%的蛋白质转变为鱼体蛋白质，一般暖水性的鱼类蛋白质需要量每天每公斤体重约为11.4克，能量需要每公斤饲料为3058千卡，亦即每公斤鱼体重需要量为106千卡；糖类需要量，冷水性鱼类为21%，暖水性鱼类为30%；脂肪需要量，冷水性鱼类为10%，暖水性鱼类为6%（Hasting, 由Lovell, 1976）。

其次，在鱼类饲料营养研究中，还应注意蛋白质和糖、脂肪之间的合理的比例关系。三者都属于能量营养素，它们之间最突出的关系是表现在糖和脂肪对蛋白质利用率提高的作用上。由于在饲料中补充糖或脂肪，就补充了能量，从而减少蛋白质作为供给能量的消耗而有助于蛋白质的合成。但是，这种关系，若在饲料蛋白质供给量不足，未达到最低需要量的情况下，单纯提高能量，其改善氮平衡的效果要受到一定的限制。反之，如果饲料中能量供给不足，只提高蛋白质的供给量，也不能使氮平衡有很大的改善。由此看来，只有蛋白质达到鱼类需要量一定的水平时，增加能量（糖或脂肪）才会对蛋白质发挥有效的节约作用；也只有能量达到一定水平时，对增加蛋白质才会有好的效果。绝不能因为糖和脂肪对蛋白质有节约作用而过分降低饲料中的蛋白质供给量，也不能在能量供给尚且不足的情况下片面强调蛋白质的营养。因此，在配制颗粒饲料中，应该很好注意合适“热能·蛋白质比”（Calorie protein ratio）简称C/P比（C/P ratio）。

鱼类生长还需要矿物质和维生素。矿物质可分为两大类，一类是较大量需要的，如钠、钾、钙、镁、磷、硫、氯等；另一类需要微量的，称为微量元素，如铁、碘、钴、铜、锰、锌等。而后者虽需微量，却常感不足。因为普通所用的青饲料中，矿物质含量不全面而导致多种病症之发生。所以在人工配制颗粒饲料时，添加此类微量元素实为重要。维生素的种类很多，有脂溶性维生素，包括维生素A、D、E、K；水溶性维生素包括维生素B₁、B₂、B₆、B₁₂和尼克酰胺。它们是维持鱼类生命正常活动不可缺少的营养物质。一般来说，维生素在鱼体内不能合成或合成不足，故必须经由饲料中供给。

饲料中各种营养物质和矿物质以及多种维生素都必须适量。某种物质的过量和不足都能影响生长，甚至产生营养性的疾病，严重的导致死亡。

由此可见，鱼类营养和饲料配制是很复杂而细致的问题。鱼类对各种营养物质的要求，不但因不同种类，不同生长阶段、季节而异，而且不同的饲料来源，鱼体吸收量也有不同。因此，要求塘鱼高产就必须就饲料问题进行系统的研究，解决一系列存在的问题。饲料的科学投放应根据养殖对象对各种营养物质的需要量，将各种定量的原料搅拌均匀后，依据鱼体大小，压成大小不同的颗粒饲料，定时定量投喂。

鱼类正常生长除开科学搭配各种饲料外，同时还要考虑正常的摄食，而摄食量又和环境有密切的关系。影响鱼的摄食环境条件是多样的，但归纳有以下几项：（1）水温；（2）水中溶氧量；（3）投喂时间；（4）鱼体大小和年龄；（5）饲料中能量；（6）饲料中的营养；（7）适应性。

一、鲢鱼 *Ctenopharyngodon idellus* (Cuvier et Valenciennes) 酶纤颗粒饲料 及鲢鱼营养代谢

近十多年来国外渔业发达的国家采用配合颗粒饲料养鱼，产量显著提高，并促进了工厂化养鱼的发展。但是国外配合颗粒饲料的蛋白质源常以鱼粉，豆粉等精饲料为主要原料。采用这种高蛋白原料，我国目前生产水平是难以直接仿效。我国有丰富的植物纤维资源，如山草、作物秸秆、工业纤维废渣等，可否利用这些纤维来生产蛋白质饲料，变废为宝，解决我国养鱼饲料不足，实现我国养鱼饲料颗粒化的方向呢？这就是我们要研究的课题。

糖厂的“三废”不少，特别是有综合利用生产的糖厂尤甚，如造纸筛出的蔗渣糠、废纸浆（粗浆）、制人纤的废黑浆、糠醛残渣、糖蜜酒精蒸馏废液，人纤予水解液、酸碱法造纸废液等等。这些废渣、废液如不经处理排出，将污染江河，造成公害。但是，它们都含有碳水化合物，可以通过微生物的作用，变成有营养价值的糖和蛋白质，实行工业化生产饲料。这不仅对发展牧、渔业起促进作用，且可治理三废、减少污染。实践证明糖厂可制饲料的“三废”资源丰富，大有可为。故是一项化害为利，变废为宝，具有深远意义的工作。

一九七一年以来广东省甘蔗糖业食品研究所和广东省中山糖厂利用甘蔗渣造纸分筛出来的纤维废渣——蔗糠、经过物理、化学和微生物处理，即经过蒸煮、研磨、并加入纤维素酶曲种，把蔗糠纤维酶解成单糖，然后接种白地霉菌种，把单糖转化成为菌体蛋白质，脱水即得含粗蛋白10%~15%的酶解蔗糠纤维蛋白质，简称“酶纤蛋白”。一九七六年以来中山大学生物系以此为主要原料，掺入少量精饲料和添加物（矿物质、微量元素和维生素等）加工制成颗粒饲料，简称为“酶纤颗粒饲料”。几年来用此颗粒饲料作鲢鱼饲养试验，不论鱼种阶段或是成鱼阶段，饲养效果均比对照塘好，鲢鱼生长快，个体整齐，产量高，饲料系数低。一九七八年十一月由广东省轻工业局主持召开了本研究项目的鉴定会议，有省科委、省水产局、省微生物研究所等省地县社四级三十多个单位参加，会议一致认为：“酶纤颗粒饲料生产工艺是可行的，养鱼效果是好的”。1978年在中山糖厂已建成日产1吨干产品酶纤颗粒饲料试验车间。在此基础上，目前有关部门正在准备筹建一间年产5000吨干品的鱼用酶纤颗粒饲料工厂。这给鱼类养殖业颗粒饲料生产提供了一定科学依据和技术经验。

另外，我们用山草加工成干草粉配制的“草粉颗粒饲料”，饲养鲢鱼也取得一定成果。

(一) 鲢鱼酶纤颗粒饲料的配制

酶纤颗粒饲料配方筛选。我们采用网箱饲养试验，尼龙网箱 $5 \times 2 \times 1.4$ 立方公尺，放养密度为500~700尾，鲢鱼平均体长51.44~75.10毫米，平均体重2.92~9.9克。以不同配方颗粒饲料为试验组，以广东塘鱼主产区现行常规鱼种饲养法（投喂麦粉等精料为主）作对照组。先后经过三期21个组合网箱饲养试验，初步筛选出如下较优的配方（表1）

关于配方筛选，早期我们曾经试验单纯以酶纤蛋白以及酶纤蛋白为60%和单一精料（麦粉）加工制成颗粒饲料，营养成分粗蛋白11.63~12.99%，粗脂肪1.28~1.98%，总糖10.69~12.34%，粗纤维47.90~50.51%。结果这两种颗粒饲料饲养效果都不好。分析发现以鱼体蛋白质氨基酸组成为标准，这两种颗粒饲料蛋白质氨基酸组成是极不完全。后来经过分析研究、不断改进配方，发现以60~80%酶纤蛋白和多种精料配合就可以克服蛋白质氨基酸不完全的缺点，同时添加一定量维生素和无机盐，结果饲料营养价值大为提高，饲养效果很好。因此，我们认为配制颗粒饲料，精料搭配以多种精料配合为好。因为一般来说，植物性蛋白质氨基酸比较不完全，而动物性蛋白质比较完全，所以采用动植物性蛋白质互相配合时，就充分发挥了蛋白质互补作用而提高了饲料蛋白质生理价值。

表1 酶纤颗粒饲料、草粉颗粒饲料配方、

饲料简称	颗粒饲料组成(%)						
	酶纤(草粉)	豆饼	花生饼	麦粉	蚕蛹粉	鱼粉	添加物*
60%酶纤颗粒饲料	60	5	5	20	5	4	1
80%酶纤颗粒饲料	80	5	3	7	2	4	1
60%草粉颗粒饲料	60	5	5	20	5	4	1
80%草粉颗粒饲料	80	5	3	7	2	4	1

营养成分、热能和鲢鱼生长效果

颗粒饲料营养成分(%)			每公斤饲料热能 (千卡/公斤)	各营养素热能占总热能(%)			热能蛋白质比 (C/P)	生长指标(增重率比对照组增长%)
粗蛋白	粗脂肪	总糖		蛋白质	脂肪	糖		
18.15	3.41	15.63	1989	51.57	16.21	32.22	109	141
17.44	3.34	14.63	1900	51.84	16.60	31.56	108	132
14.12	4.26	18.70	1967	40.56	20.47	38.98	139	97
10.38	3.58	20.50	1765	33.22	19.17	47.61	170	45

* 添加物：酵母粉0.5%，土霉素0.2%，生长素0.3%（生长素是白云山农药厂出品，主要是维生素B₁₂和矿物盐的混合物）。

另外，我们还配制了一种穿心莲药饲料，即在表1饲料配方中，减少麦粉而增加穿心莲粉7~10%制成颗粒饲料，在鲢鱼鱼病季节（三~八月）作为防治鲢鱼肠炎病用，鱼病季节每10天投喂一次。

按上述饲料配方分别将各种饲料送至混合机充分混匀，然后送至颗粒机，按照鱼体大小压成不同口径的颗粒，经干燥机烘干至含水量约10%颗粒饲料备用。由于酶纤蛋白饲料比重小，重量轻，颗粒饲料浮水性强，我们要求加工的颗粒饲料在水中半个小时不沉，一个小时不散，这样浮性颗粒饲料，适于投喂鲢鱼。它具有如下几个优点：

1. 减少饲料中水溶性营养成分的散失，易保持水质清新，以利提高鱼种放养密度。
2. 颗粒饲料适口性好，浮水性强，投喂后易被鲢鱼摄食，减少饲料浪费，提高饲料利用率。
3. 提高了颗粒饲料的质量。经过颗粒机加工有局部加温作用，使饲料中淀粉质易于糊化，提高饲料消化率。
4. 易使饲料接近于全价性，饲料营养素比较完全，易于接近鱼体对各营养素的需要。
5. 扩大了鱼饲料来源，有利于作物秸秆、蔗渣、草粉等加工制成配合颗粒饲料。
6. 可掺入穿心莲粉等防病药物，有利于鲢鱼鱼病防治，提高鲢鱼成活率。
7. 便于饲料贮存、运输，并便于调节饲料四季供应平衡，使投喂饲料均匀。
8. 颗粒饲料适于使用自动投饵机投喂，有利于养鱼机械化。

(二) 酶纤颗粒饲料饲养鲢鱼效果

1. 鲢鱼鱼种养冬试验*

1976年11月26日至1977年3月8日，在面积1亩的三口鱼塘进行。放养规格：平均体长55毫米，平均体重3.92克。每亩放养鱼种3000尾，饲养期共103天，平均水温15.4℃，试验结果见表2。

试验表明，60%酶纤颗粒饲料试验塘，鲢鱼平均体长71.42毫米。平均体重8.99克，经103天试验，每亩净产量为23.3斤，比对照塘14.4斤增产8.9斤，约增加61.8%。饲料系数4.3，精料系数1.72，均比对照塘低，节约精料约为70%。60%草粉颗粒饲料试验塘，鲢鱼生长比对照塘略差些，但基本上达到养冬出塘规格。

表2 鲢鱼鱼种养冬结果

项 塘 号	饲料名称**	出塘规格		出塘率 (%)	每亩增 重量 (斤)	投放颗粒 饲料总量 (斤)	饲料系数	精料 系数***
		体长(毫米)	体重(克)					
1号(试验)	60%酶纤颗粒饲料	71.42	8.99	91.0	23.3	100.3	4.30	1.72
2号(试验)	60%蔗叶粉颗粒饲料	63.98	6.14	94.9	8.7	101.7	11.60	4.64
3号(对照)	麦粉	67.38	7.46	97.6	14.4	108.3	7.40	7.40

** 饲料配方稍作修改：鱼粉2%；蚕蛹粉3%；麦粉24%。

*** 精料系数 = $\frac{\text{饲养期中鱼体增重量(斤)}}{\text{饲养期中精饲料投喂量(斤)}}$

* 广东培养鱼苗的一种方法。每年10月份后将当年的鱼种集中，加以培育，至明春供应渔农。

2. 鲢鱼鱼种培育试验

1977年6月24日至8月25日, 在面积0.5亩的三口鱼塘进行, 采用鲢鱼和鳊鱼混养, 放养规格: 鲢鱼平均体长51.44毫米, 平均体重2.92克。鳊鱼平均体重0.7克。每亩放养鲢鱼4400尾, 搭配鳊鱼8600尾, 饲养2个月, 饲养期平均水温33.5°C, 试验结果见表3。

表3 鲢鱼鱼种培育试验结果

塘号	项目 饲料名称	出塘总重量(斤)*		净增重(斤)			投饲料量(斤)	鲢鱼饲料系数	鲢鱼精料系数
		鲢	鳊	鲢	鳊	合计			
16 (试验)	60% 酶纤颗粒饲料	44.14	30.10	32.24	23.75	55.99	117.41	3.64	1.46
17 (试验)	80% 酶纤颗粒饲料	32.98	30.53	21.08	24.18	45.26	117.41	5.57	1.11
18 (对照)	麦粉	26.76	27.09	14.86	20.74	35.60	84.1	5.66	5.66

* 放养总重量: 鲢鱼11.90斤; 鳊鱼6.35斤。

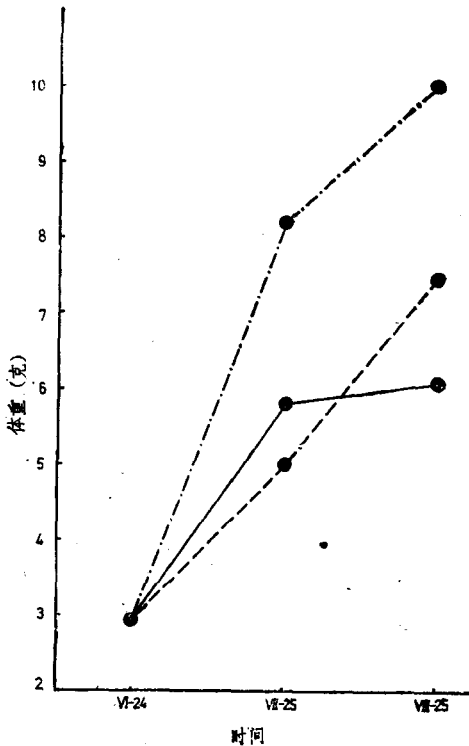


图1 试喂不同组合颗粒饲料与鲢鱼生长关系
60% ----80% ——对照

试验表明, 投喂60%酶纤颗粒饲料试验塘, 鲢鱼净产32.24斤比对照塘14.86斤增产17.38斤, 约增加116.9%, 鳊鱼生长也比对照塘好, 鲢、鳊鱼总产比对照塘高20.39斤。鲢鱼饲料系数比对照塘低, 仅为3.64, 精料系数为1.46。投喂80%酶纤颗粒饲料试验塘, 鲢鱼净产21.08斤亦比对照塘增产6.22斤, 约增加41.9%, 鳊鱼生长同样比对照塘好, 鲢、鳊鱼总产比对照塘高9.66斤, 鲢鱼饲料系数为5.57与对照塘差异不显著, 但是精料系数为1.11比对照塘低很多。从试验来看, 试验塘比对照塘可节约精料70~80%。

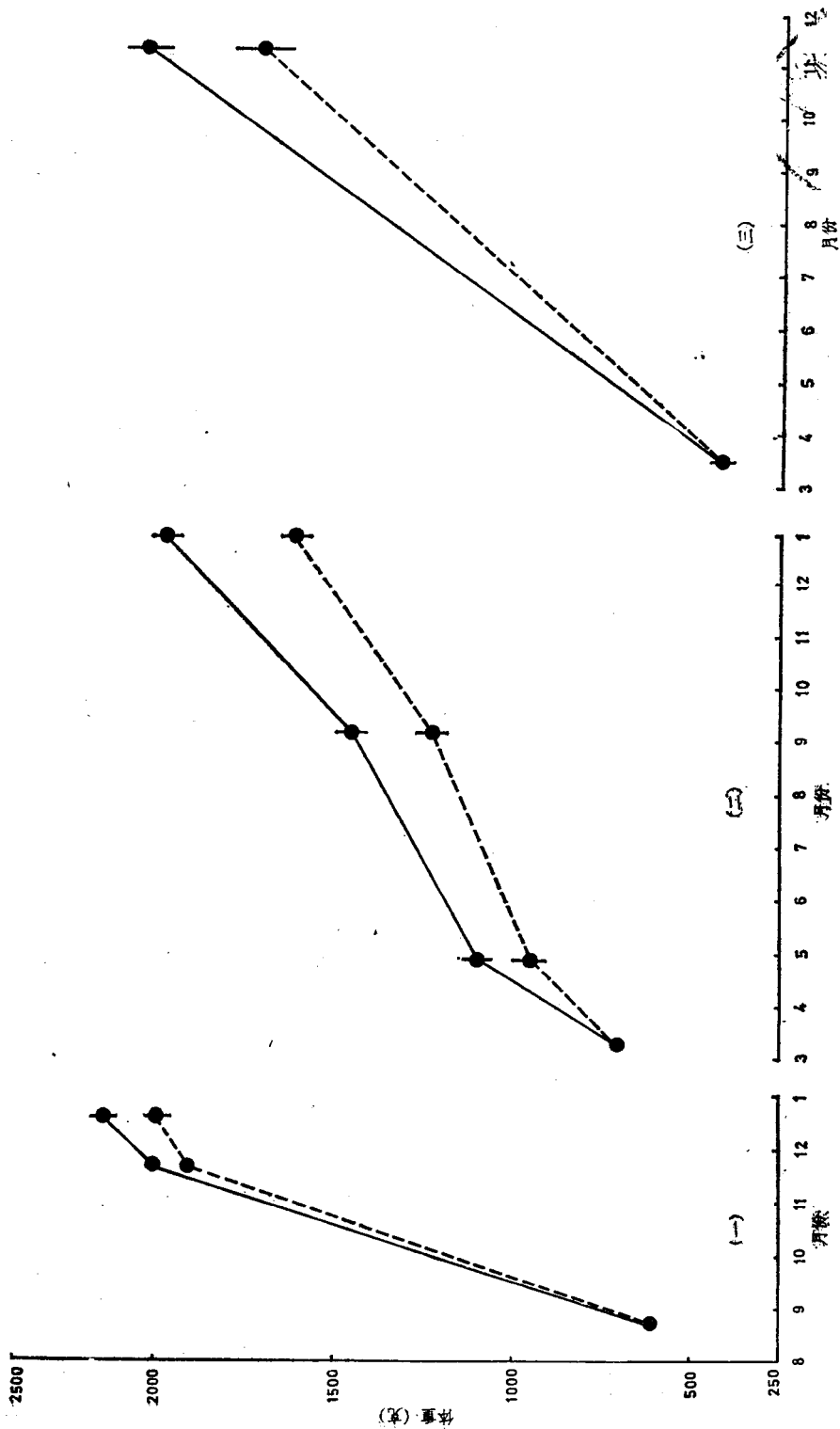
60%、80%酶纤颗粒饲料试验塘鲢鱼生长速度远比麦粉对照塘快(图1), 鲢鱼平均体重分别为10.01克、7.48克和6.01克, 平均增长量分别为 7.09 ± 0.4601 克、 4.56 ± 0.2936 克和 3.09 ± 0.1080 克。经生物统计均数显著性检验, 差异显著, 尤其60%酶纤颗粒饲料的鲢鱼生长最快。

3. 成鱼饲养试验

1978年分别在如下三个试验点进行鲢鱼成鱼饲养对比试验, 试验塘面积共21.6亩, 按照广东常规养殖方法, 搭配放养。三个试验点, 我们设计了三种不同方式的对比试验:

(1) 顺德县沙滘鱼苗场: 试验塘投喂60%酶纤颗粒饲料*, 对照塘按当地常规方法投

* 60%酶纤颗粒饲料配方略有简化, 即60%酶纤, 25%谷粉, 4%花生麸, 10%蚕蛹粉, 0.7%骨粉, 0.3%生长素。



(一) 沙潜鱼苗场 (二) 中大试验农场 (三) 龙江公社农校——试验组-----对照组
 图2 不同试验点颗粒饲料饲养成鱼生长情况 (1978年)

喂麦粉饲料。

(2) 顺德县龙江公社农校：试验塘投喂 60% 酶纤颗粒饲料，对照塘投喂 60% 麦粉，40% 多种精料的混合饲料（精料组成与 60% 酶纤颗粒饲料的另外 40% 精料相同）。

(3) 中大试验农场：试验塘和对照塘分别投喂等量的青饲料（青草为主），试验塘另加 10% 的 60% 酶纤颗粒饲料。

三种方式饲养，结果表明试验塘投喂 60% 酶纤颗粒饲料饲养鲢均有增产效果（见表 4）。试验塘的鲢鱼生长均比对照塘快（见图 2）。

表 4 成鱼饲养试验鲢鱼净增重显著性检验*

试验地点(日期)		样品量 (尾)	平均净增重 (斤/尾)	标准误	t 值	显著性
顺德县沙湾鱼苗场 (Ⅷ-23至 Ⅷ-20)	试验塘(面积2.06亩)	66	3.17	0.0667	2.871	p<0.01
	对照塘(面积2.27亩)	82	2.95	0.0771		
顺德县龙江公社农校 (Ⅲ-13 至Ⅴ-6)	试验塘(面积6.2亩)	100	3.24	0.0742	5.217	p<0.01
	对照塘(面积6.3亩)	92	2.64	0.0886		
中大试验农场 (Ⅲ-8 至Ⅴ- 26)	试验塘(面积2.5亩)	147	2.54	0.0364	10.908	p<0.01
	对照塘(面积2.3亩)	77	1.82	0.0545		

* 采用 $\sigma_1 \approx \sigma_2$, $N_1 \approx N_2$ 的平均数差异的显著性检验统计方法。

经过均数显著性 t 检验的计算，t 值的 p 均小于 0.01，表示试验塘和对照塘鲢净增重差异非常显著。

4. 成鱼大田饲养试验

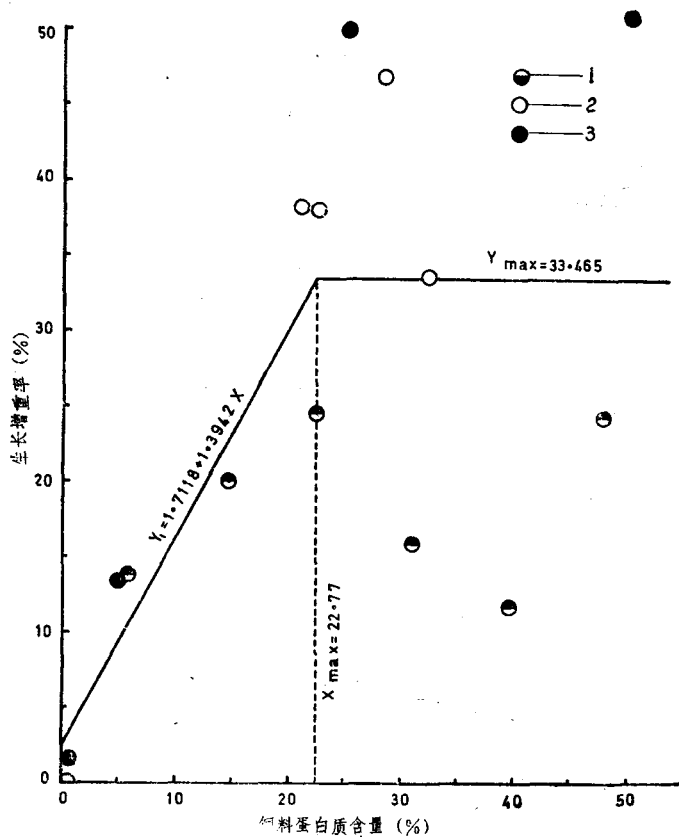
1978年3月至1979年1月，我们在顺德县沙湾公社沙边大队南中生产队进行大面积（119.6亩）鱼塘使用上述 60% 酶纤颗粒饲料饲养鲢鱼试验。试验结果，1978年鲢鱼总产达到 12,275 斤比 1977 年增产了 4,794 斤，亩产达 102.6 斤比 1977 年亩产 62.5 斤，每亩增产 64.2%。1978 年各类鱼总产达到 67,005 斤比 1977 年增产了 8,623 斤，平均亩产达 560.2 斤，比 1977 年亩产 472 斤，每亩增产 18.7%。

(三) 鲢鱼营养代谢研究

1. 鲢鱼鱼种蛋白质最适需要量

我们采用蛋白质梯度饲养法，试验鲢鱼体重 2.4~8.0 克，水温 26—30.5℃，分别以酪蛋白和鱼肉粉作蛋白源，以糊精粉作碳源来调节饲料蛋白质的含量。综合三期试验结果，从图 3 可见，饲料蛋白质含量低，鱼生长不良，随着饲料蛋白质含量由 0.44% 增高到 24.0% 左右时，鱼生长加速，近似直线增长，当饲料蛋白质含量再往上增高达到 50% 左右时，鱼的生长速度减慢，增长量几乎达到一个恒定值。关于饲料蛋白质最适点的确定，我们采用了直线回归和曲线回归（抛物线）两种统计计算方法。根据生长率均数显著性多重比较结果，图 3 实测值存在两条回归直线，经计算结果分别以两个直线回归式表达为 $Y_1 = 1.7118 + 1.3942X$ 和 $Y_2 = 36.8307 - 0.1054X$ 然后再计算出 Y_2 的平均值为 33.465，如以值作一条平行线交于 Y_1 ，

求出X最大值，即求出饲料蛋白质最适点为22.77%另外根据曲线回归的二次多项式（抛物线）分别求出三期试验饲料蛋白质含量最适点（表5）。



1 —— 试验期 I, 2 —— 试验期 II, 3 —— 试验期 III

图3 饲料蛋白质含量与鲢鱼生长增重率关系

表5 鲢鱼鱼种蛋白质最适量计算结果

试验期	试验天数	试验鱼平均体重(克)	试验饲料蛋白源	饲料蛋白质最适量 (%)
I	27	5.5	酪蛋白	27.81
II	21	8.0	鱼肉粉	26.50
III	21	2.4	鱼肉粉	37.70

同时我们将三期试验合并计算求出抛物线方程式为 $Y = -72.385 + 8.42X - 0.1522X^2$ ，从中求出X最大值，即求得饲料蛋白质含量最适点为27.66%（图4）根据以上直线回归和曲线回归的两种方法求得鲢鱼鱼种阶段（平均体重2.4~8.0克）蛋白质最适需要量为22.77%~27.66%。

鱼体对饲料蛋白质利用率*，随饲料蛋白质含量增高而逐渐递降（图5），经采用直线回

* 蛋白质利用率 (%) = $\frac{\text{试验结束平均每尾鱼体蛋白增加量 (克)}}{\text{试验期平均每尾鱼摄食饲料蛋白质量 (克)}} \cdot 100$

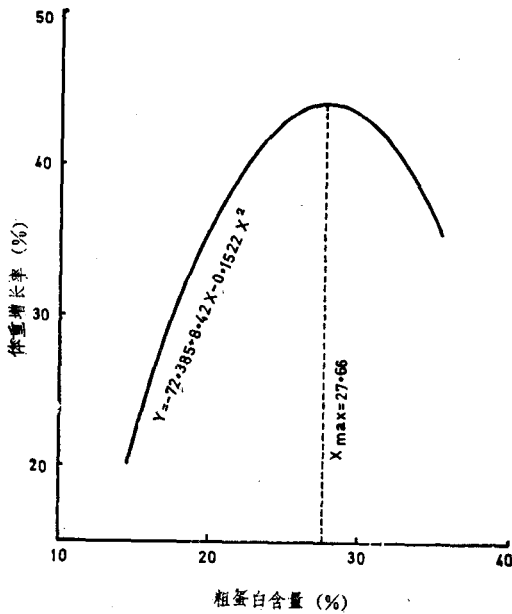


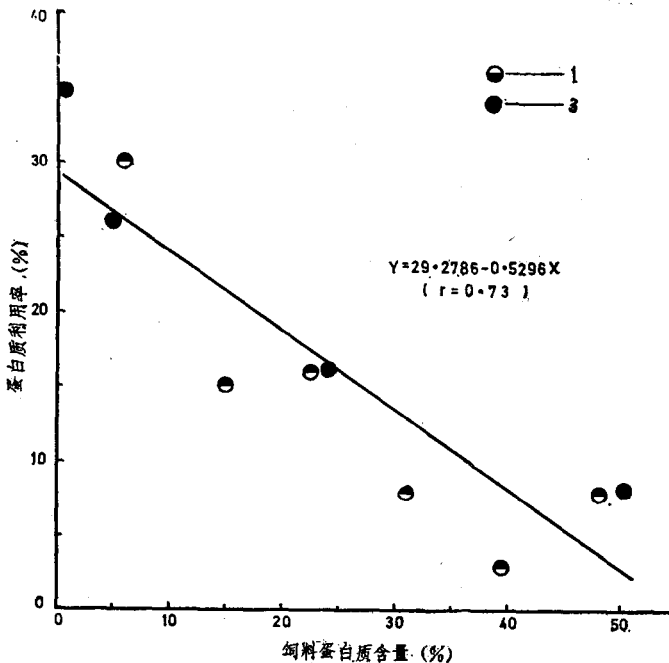
图4 饲料蛋白质含量与鲢鱼体重增长率的关系 (抛物线理论曲线)

与花生麸、豆饼、麦粉、蚕蛹粉或鱼粉多种精料配合制成60%酶纤颗粒饲料和80%酶纤颗粒饲料，饲养效果好，经分析饲料氨基酸组成为18种，与鲢鱼体蛋白质的氨基酸组成相一致。

归和曲线回归计算两者无显著差异。因此，鲢鱼鱼种对饲料蛋白质利用率可用直线回归方程式来表达更为合适， $Y = 29.2786 - 0.5296X$ 。

2. 饲料蛋白质氨基酸组成与生长关系

我们采用纸上层析法研究了鲢鱼鱼体蛋白质氨基酸组成为18种，10种必须氨基酸为：精氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸。8种非必须氨基酸为：丙氨酸、门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸、酪氨酸、丝氨酸。酶纤蛋白仅有14种，蛋氨酸，苏氨酸和谷氨酸、羟脯氨酸未能测出。麦粉为17种，蛋氨酸仅有痕量。最初我们单纯以酶纤蛋白以及以酶纤蛋白饲料为主要原料仅与麦粉一种配合制成颗粒饲料，鲢鱼生长不好，经分析氨基酸组成不完全。后来经过配方改进以酶纤蛋白饲料为主



1 — 试验期 I, 3 — 试验期 III

图5 饲料蛋白质含量与鲢鱼对饲料蛋白质利用率关系

3. 饲料粗纤维含量对鲢鱼消化率影响

我们采用三氧化二铬指标物质测定饲料总消化率方法, 测定了鲢鱼(平均体长78.5毫米, 平均体重9.67克)对各组饲料的总消化率, 从图6可见, 鲢鱼总消化率与饲料粗纤维含量关系极为密切。麦粉和玉米粉粗纤维含量分别为8.53%和1.49%, 其总消化率比较高, 分别为54.9%和53.6%, 而酶纤颗粒饲料和草粉颗粒饲料, 粗纤维含量较高, 约为23.59%~37.70%, 故其总消化率低, 约为17.86%~30.91%, 饲料粗纤维含量与鲢鱼总消化率存在着负的直线相关关系, 经计算直线回归方程式可表达为: $Y=57.03-1.099X$ 。

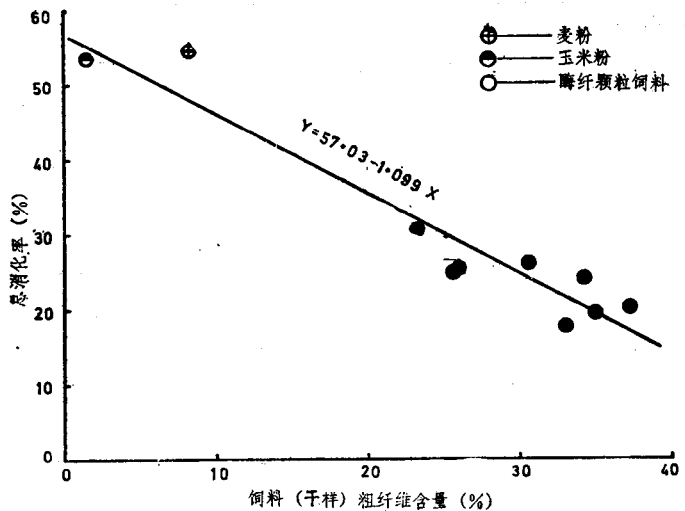


图6 饲料粗纤维含量与总消化率的关系

注: 图6右上角图注中○应为●

我们目前配制的鲢鱼酶纤颗粒饲料, 虽然在生产中获得比较好的效果, 但实际上还不完善, 存在许多盲目性。还要深入开展鱼类营养学方面的基础理论研究。现仅就试验结果所涉及的提出几点配制颗粒饲料有关营养学的问题。

4. 鲢鱼颗粒饲料配制应该注意的几个营养学问题

(1) 饲料蛋白质最适量。配制的颗粒饲料蛋白质含量要适中, 含量过低不能满足鱼的生长需要, 发生蛋白质营养缺乏症, 但过量造成蛋白质的浪费。因此, 应该按照鱼的不同生长阶段对蛋白质的最适要求量合理配制。此外, 蛋白质营养的本质问题是氨基酸最适要求量的问题, 我们仅仅做了饲料和鱼体蛋白质氨基酸组成的定性工作, 因为设备限制还没有完成定量工作, 因此对必须进一步研究各种氨基酸的最适量的问题进一步确定饲料中各种动物性蛋白质的合理搭配, 以提高饲料蛋白质生理利用值。

不同种鱼对蛋白质最适需要量不同, 关根(1931)研究美洲红点鲑 (*Salvelinus fontinalis*) 为42.5%, 花冈等(1949)研究鲤鱼为40~60%, 荻野等(1970)研究鲤鱼为38%, Dupree等(1966)研究河鲶为35%, 能势(1972)研究鳊鱼为44.6% 我们研究鲢鱼鱼种阶段为22.77~27.66%。这些差异可能由于研究鱼个体大小, 饲料蛋白源不同, 温度不同而引起的。但是总的比较来看鲢鱼蛋白质最适需要量比上述肉食性鱼类和杂食性鱼类要低得多。Dabrowski(1977)研究鲢鱼幼鱼(体重0.15~0.2克)蛋白质最适需要量为52.6±1.93%, 比我们在鲢鱼鱼种所得到的需要量要高, 这是否可能由于生长阶段不同所导致的结果, 因为体重为0.15~0.2克的鲢鱼生长阶段还处于以浮游动物为主的动物食性阶段, 而我们试验的鲢鱼体重为2.5~8.0克, 食性基本上已转变为草食性为主阶段。同时从我们研究结果表5, 看出个体小的鱼蛋白质需要量高。因此, 不同年龄, 不同生长发育阶段和不同食性与蛋白质需要量关系等方面值得我们进一步深入研究。

(2) 饲料蛋白质、醣类和脂肪的比例。在研究配合饲料时, 常采用“营养率”来研究饲料中可消化非蛋白质成份与可消化蛋白质之间的比例关系, 这关系也表示了饲料营养成分

的特征。一般认为“营养率”为8以上是宽比例，表示饲料蛋白质少，4以下是窄比例，表示饲料含蛋白质较多。鱼类不同生长阶段对饲料“营养率”要求不同，幼鱼阶段需要蛋白质丰富的饲料，要求营养率窄些，成鱼阶段稍宽些。我们在幼鲢饲养试验中发现，饲料营养率在2以下鱼生长较好。

颗粒饲料配制中，除了须要考虑蛋白质、糖类和脂肪三者合理配比外，还应该注意添加适量的矿物盐、维生素和微量元素。

(3) 饲料热能—蛋白质合理比例。在确定饲料中蛋白质含量时，必须同时考虑饲料中能量水平。因为能量是直接影响着鱼类对蛋白质利用率。所以在研究饲料营养配比时，要注意饲料中热能和蛋白质合理比例。Phillips等(1966)首先在养鳟饲料的研究中引入“热能—蛋白质比”**的概念，提高饲料中热能可节约蛋白质需要量。桥本芳郎(1973)认为目前日本养鱼配合饲料，蛋白质含量极高，一般都在45%以上，今后有必要研究降低的办法。Phillips(1966)就如何降低饲料中蛋白质含量，采用各种配方在美洲红点鲑作反复试验，其中在动物肝脏饲料中添加12.4%的麦芽糖作补充热能，饲料蛋白质含量比原来约减低了40%，饲料总热量却保持相近水平1564千卡/公斤，结果鱼生长，体脂含量没有明显下降。Ringrose(1971)采用添加小麦粉等作为补充热能，得到相似的结果，其热能—蛋白质比(C/P ratio)为75。日本鲑鳟饲料C/P比为73，鳗鲡为77.5，鲷鱼稍低些为63。我们前述鲢鱼酶纤颗粒饲料C/P比为108—109，均比上述高。这数值与湖泊中鱼类天然饵料等足类Pontoporeia很接近，PontoporeiaC/P比为105。但是，关于鱼类不同生长阶段的能需量的知识还相当贫乏，其不同生长阶段最合理的C/P比尚有待深入研究。这些问题在国外家禽饲料配方中是研究的比较普遍的，例如认为肉用鸡饲料C/P比应为88~123，卵用鸡C/P比应为123~136。这方面是值得研究鱼类饲料时的借鉴。

(4) 饲料粗纤维最适量。饲料中含有适量的粗纤维可能有助于蛋白质、脂肪的消化吸收。但是，如果饲料中粗纤维含量太多，不仅影响消化率，直接影响生长率下降。小笠原义光(1949)在金鱼研究中指出在蛋白质含量40%的基本饲料中，粗纤维含量增加到15%时，金鱼对蛋白质消化率略有下降，但是不十分明显，只有当粗纤维含量再增加时，才会影响金鱼的生长。增田(1949)研究了含纤维质饲料对幼鲤生长的影响，他用添加不同含量纤维素的饲料饲养幼鲤，结果当纤维含量增高达30%时，生长率下降5%左右。我们上述研究表明，幼鲢对饲料总消化率随饲料粗纤维含量增加而降低。目前酶纤颗粒饲料粗纤维含量一般在30%左右，似乎偏高些，今后有必要降低粗纤维含量，以提高饲料品质。

(5) 饲料与产生脂肪肝的关系。酶纤颗粒饲料是否引起营养性脂肪肝病变，我们作了肝组织学的初步观察，投喂青草的幼鲢肝脏红润，肝细胞索排列比较规则，肝细胞多呈多角形，细胞染成紫兰色，细胞质有嗜碱性颗粒，其中可见少数小脂肪滴存在，肝组织正常。投喂60%酶纤颗粒饲料，肝脏外观呈淡紫红色，肝细胞索排列较规则，肝细胞内充满嗜碱性颗粒，亦可见少数小脂肪滴，细胞核明显可见，肝组织基本正常。投喂麦粉饲料，肝脏呈现乳黄色，肝实体近糜状，肝细胞肥大，显现不出细胞索规则排列，肥大的肝细胞中，仍可见明

$$* \text{ 营养率} = \frac{\text{可消化粗脂肪} \times 2.25 + \text{可消化无氮物} + \text{可消化纤维}}{\text{可消化粗蛋白质}}$$

$$** \text{ 热能—蛋白质比} = \frac{1 \text{ 磅饲料总热能}}{\text{蛋白质含量}(\%)} \text{ 或 } \frac{1 \text{ 公斤饲料总热能}}{\text{蛋白质含量}(\%)}, \text{ 本文均以后者为准。}$$

显的细胞核，但核外细胞质中充满大的脂肪滴，这与脂肪肝病变组织学特征十分近似，但还未达到肝细胞崩坏、核溶解那样严重程度。因此，单独使用麦粉饲料可能产生脂肪肝。

发生营养性脂肪肝其原因之一，可能是由于饲料醣类成份过高。一般低蛋白高淀粉的饲料或严重缺乏蛋氨酸的饲料容易发生脂肪肝病变。因为饲料中过量的糖通过体内三羧循环转变成脂肪，脂肪大量浸润肝脏，且由于缺乏蛋氨酸，合成胆碱量不足，胆碱有抗脂肪肝作用，因为胆碱与肝脏中真脂合成磷脂，磷脂比真脂容易被氧化，容易被运出肝脏。所以，胆碱量不足时，浸润肝脏的真脂难以合成磷脂而运出肝脏，浸润的脂肪则散布于肝脏中形成微滴，则形成了脂肪肝。因此，在颗粒饲料配制中应注意适当增加动物性蛋白质，因为动物蛋白质的蛋氨酸含量比植物蛋白高，一般植物蛋白质的蛋氨酸含量很低，甚至有的完全欠缺。由于我们配制酶纤颗粒饲料中注意了这问题，饲料组成中搭配了一定比例的动物蛋白，使氨基酸组成与鱼体较为一致，可能是这个缘故，我们配制的酶纤颗粒饲料饲养鲢没有发生脂肪肝病变。

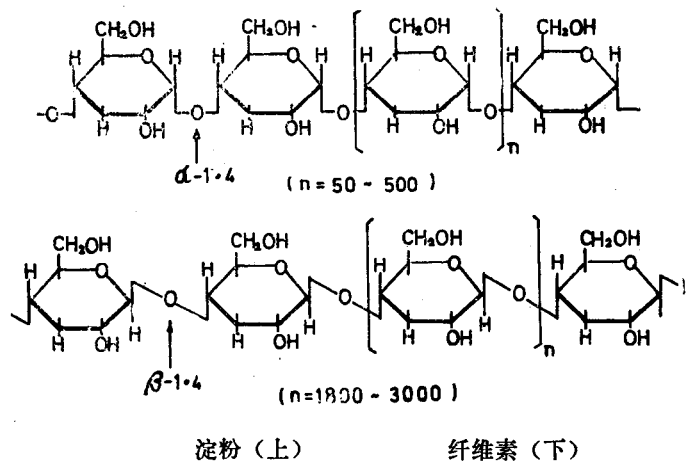
(四) 鲢鱼酶纤颗粒饲料生产工艺

1. 鲢鱼酶纤颗粒饲料制作原理

(1) 纤维素变糖的机理。我们利用蔗渣糠或造纸废浆作饲料，不是利用其微量的残糖，而是着眼于利用含量比较大，一般动物不能或难于消化的纤维素与半纤维素部份。纤维素、半纤维素与淀粉、蔗糖一样都是由高等植物的叶子通过光合作用形成的“碳水化合物”，它们分解的最终产物都是单糖。

既然纤维素与淀粉、蔗糖一样都是由单糖——葡萄糖分子所构成的，但是为什么蔗糖具有甜味，淀粉加水能煮成糊状，而纤维素却既没有甜味、又不能煮成糊状呢？原来它们结构是不一样的，纤维素结构复杂。淀粉是由50~500个 α 葡萄糖分子以1,4-糖苷键，直链或支链形式构成。但纤维素则由1800~3000个 β 葡萄糖分子以1,4-糖苷键连接成直链的多聚物。在电子显微镜下观察，纤维素是一条条纤维素分子链按平行方向排列成束或交互错又排列成绳索状，都称之为胶束，链间藉氢键连接，每一胶束的宽度为60Å，长度至少为600Å，分子量极大，约为22~184万。同时，纤维素分子排列规则，平行程度高的区域称为晶相区，排列不规则，平行程度差的称为无定形区。虽然，目前关于纤维素分子空间结构及晶相区和无定形区的空间关系模型有不同意见，但明白纤维素结构是如此复杂，纤维素的机械强度和化学稳定性高就完全可以理解了。

淀粉和纤维素化学结构式比较图如右图。



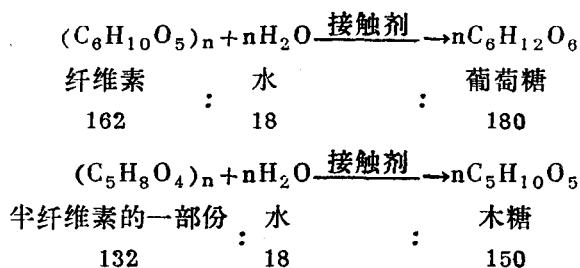
同时，粗纤维原料（如蔗渣糠）的细胞结构中，纤维素、半纤维素往往与木质素绞结在一起，形成栅栏屏障，妨碍微生物分解和动物消化。更由于人和一般动物消化道中无消化纤

纤维素的酶，所以纤维素不能作为食物和一般动物饲料。但是草食动物则可利用一定量的纤维素作为饲料，这种利用往往并非由草食性动物消化道分泌纤维素酶，而是由消化道中的细菌能将纤维素分解成可被吸收的物质。

由此可知纤维素结构虽然复杂，但在一定物理、化学和微生物纤维素酶的条件作用下，可以被转化为单糖。

纤维素酶怎样酶解（糖化）纤维素呢？

要把纤维素、半纤维素水解变成糖，一般通过催化作用而获得，其化学反应式如下：



蔗糖纤维含纤维素约38~42%，可水解成葡萄糖（六碳糖）；含半纤维素约22~27%，可水解成木糖、阿拉伯糖（五碳糖）、甘露蜜糖，半乳糖（六碳糖）；含木质素约20~24%，可水解产生苯丙烷。

在上述催化反应中，催化剂有化学和生物两种。本试验是采用微生物——木霉所产生的纤维素复合酶作催化剂，把蔗糖中的纤维素、半纤维素酶解成糖的。

纤维素酶是一种胞外复合酶，根据近来各方面研究结果证明这种复合酶，是由下列几种成份组成：①C₁酶，作用还不清楚，目前只了解在β-1,4葡聚糖酶水解排列规则，具有晶相结构的固体纤维素时，必须它参加才成。②C_x酶（β-1,4葡聚糖酶）是水解酶，C_x中的x就是强调此酶的多成分性质。它明显的分为两种类型：（A）外端分解型β-1,4葡聚糖酶，它可从纤维素非还原末端逐一地切下单个葡萄糖单位；（B）内间分解型β-1,4葡聚糖酶，它可使纤维素分子链上中间任意部份的葡萄糖苷键上进行水解。③β-葡萄糖苷酶（或纤维二糖酶），它对葡萄糖β-二聚物都有作用功能。

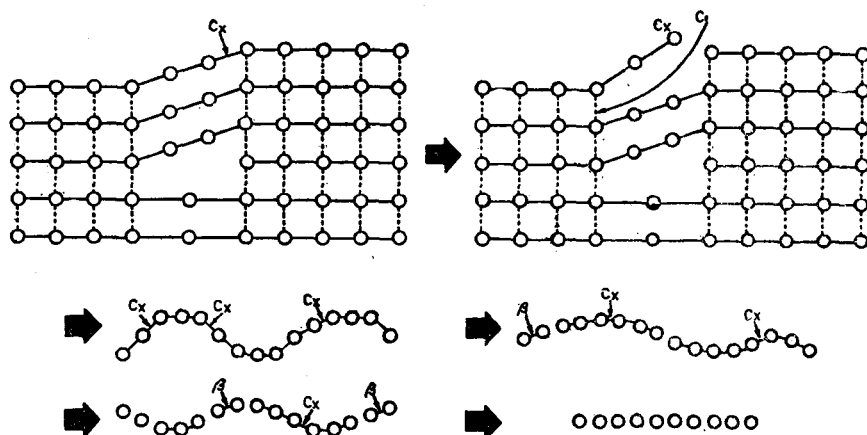


图7 C_x酶，C₁酶，β-葡萄糖苷酶作用于纤维素示意图