

5 种藻和 2 种酵母对萼花臂尾轮虫饵料效果的比较研究

王金秋¹ 李德尚² 曹吉祥²

(1. 复旦大学生命科学学院, 上海 200433; 2 青岛海洋大学水产学院, 青岛 266003)

摘要: 采用蛋白质和脂肪酸两项指标评价了 7 种饵料, 包括 5 种藻(蛋白核小球藻、斜生栅藻、小球衣藻、卵形隐藻、中型裸藻)和 2 种酵母(面包酵母和啤酒酵母)对萼花臂尾轮虫的营养价值。

蛋白质的评价结果显示, 轮虫体总氮(TN)的含量为 10.08%; 粗蛋白(CP)的含量为 63.0%; 总氨基酸(TAA)占粗蛋白的 48.10%; 总必需氨基酸(TEAA)占粗蛋白的 22.02%; TEAA 与 TAA 的比值(TEAA/TAA)为 45.8。在 7 种饵料中 TN 的含量在 6.57%—10.96% 之间, 其中在卵形隐藻中的含量最高, 在面包酵母中的含量最低; 粗蛋白的含量介于 41.06%—68.54% 之间, 在各饵料中含量由高到低的排列顺序与 TN 一致; TAA 的含量在 54.694—73.235 之间, 其中在斜生栅藻中的含量最高, 在卵形隐藻中含量最低; TEAA 的含量在 23.836—34.136 之间, 其中在面包酵母中含量最高, 在卵形隐藻中含量最低; TEAA/TAA 比值在 43.3—49.1 之间, 其中两种酵母的该比值最大。实验共测出 17 种氨基酸。轮虫蛋白质中以组氨酸含量最低(0.540%), 其次为蛋氨酸(0.556%)和胱氨酸(0.762%); 含量最高的是天门冬氨酸(5.206%)和甘氨酸(4.571%)。其饵料蛋白质中含量较低的是蛋氨酸(0.421%—1.495%)、组氨酸(0.675%—1.967%)和胱氨酸(0.439%—3.332%); 含量较高的是谷氨酸(6.073%—11.447%)、天门冬氨酸(5.519%—8.281%)和亮氨酸(4.143%—7.473%)。分别用全卵蛋白和轮虫蛋白作为标准测得各种饵料的第一限制氨基酸有所不同, 前者有 6 种是蛋氨酸, 1 种为组氨酸(蛋白核小球藻); 后者有 5 种为异亮氨酸, 另 2 种分别为蛋氨酸(蛋白核小球藻)和赖氨酸(啤酒酵母)。本项综合结果显示, 蛋白核小球藻、斜生栅藻和两种酵母的蛋白质营养价值较高。

脂肪酸的评价结果显示, 饵料中粗脂肪的含量在 1.64%—15.41% 之间, 其中中型裸藻中含量最高, 啤酒酵母中含量最低。在 7 种饵料中共测出 29 种脂肪酸, 其中中型裸藻和卵形隐藻中含量最为丰富, 分别检出 24 种和 22 种; 而在面包酵母和啤酒酵母中较缺乏, 只检出 9 种和 13 种。5 种饵料中不饱和脂肪酸的含量高于饱和脂肪酸的含量, 其余 2 种饵料(斜生栅藻和啤酒酵母)则相反; 5 种藻中不饱和脂肪酸含量最高的是 18:3 ω 3, 其值在 11.76%—26.58%; 卵形隐藻的 18:4 ω 3 和小球衣藻的 16:4 ω 3 的含量亦较高, 分别为 22.59% 和 15.48%; 在卵形隐藻和中型裸藻中, 长碳链(二十碳以上的)不饱和脂肪酸的含量丰富, 其含量为: 中型裸藻 16.2%, 卵形隐藻 18.7%, 而在其他饵料中则较缺乏。除啤酒酵母外, 饵料中缺乏的高度不饱和脂肪酸, 均可在其培养的轮虫中检出, 说明该轮虫可能具有将 18:4 ω 3 和 18:3 ω 3 转化为 20:5 ω 3 和 22:6 ω 3 等 ω 3 系列高度不饱和脂肪酸(ω 3HUFA)的代谢机制。用藻培养的轮虫, 富含鲤科鱼类所必需的脂肪酸(18:2 ω 6 和 18:3 ω 3), 其中蛋白核小球藻轮虫的含量最高(17.36% 和 24.64%), 其次为斜生栅藻轮虫(12.23% 和 21.66%); 面包酵母轮虫的 ω 3HUFA 的含量占第四位, 即脂肪酸营养价值较高。由此项指标得出结论, 蛋白核小球藻和斜生栅藻是该轮虫工厂化培养的首选饵料, 面包酵母是很有前途的饵料。这与 7 种饵料的投喂效果实验和蛋白质营养价值的评价结果基本一致。

关键词: 萼花臂尾轮虫; 饵料; 蛋白质; 氨基酸; 脂肪酸; 营养评价

中图分类号: S963.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2003)05-0476-011

对浮游动物营养的研究始于 20 世纪 50 年代, 并且起源于海水种类^[1]。有关研究在国内尚少见报道^[2]。国外的一些研究认为, 某些硅藻、隐藻和其他鞭毛藻类是浮游动物的优质饵料, 而另一些种类(某

些绿藻和蓝藻)则饵料效果较差^[3]。影响藻类对浮游动物饵料效果的原因是多方面的, 如可接受的颗粒规格、细胞壁的可消化性、有无毒性和适宜的生化组成等。以往对前三者研究的较多^[4-11]。适宜颗

收稿日期: 2002-10-21; 修订日期: 2003-05-31

基金项目: 上海市高校重点学科项目(L990204); 山东省科委基金项目(941406)资助

作者简介: 王金秋(1962—), 女, 汉族, 山东省黄县人; 博士; 副教授; 研究方向: 水生生物学

粒规格的饵料可被浮游动物顺利摄入, 但摄入的饵料能否满足其营养的需求则也是重要的。因此, 人们开始探讨饵料的营养成分对浮游动物的影响, 但多以咸淡水的褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*) 为对象, 而涉及淡水轮虫的较少。淡水轮虫与咸淡水轮虫生活于不同的生境, 具有不同的营养需求和代谢特点。因而, 深入探讨淡水轮虫的营养需求, 对其大批量培养时饵料的选择无疑具有重要的指导意义。

20 世纪 90 年代, Awaiss 等报道了萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*) 摄食胶网藻(*Dictyosphaerium chlorelloides*) 时, 其氨基酸、碳水化合物和脂肪酸的组成与变化, 以及投喂幼鱼的效果^[12, 13]。Isik 等对藻-轮虫-鱼类幼体这一食物链各级上的脂肪酸的变化进行了探讨^[14], Oltra 等研究了褶皱臂尾轮虫摄食不同藻类时其脂肪酸组成^[15]。但针对多种饵料对淡水的萼花臂尾轮虫蛋白质和脂肪酸的营养评价尚未见报道。

本研究选择了 5 种淡水藻和 2 种酵母作为萼花

臂尾轮虫的饵料, 在对其种群增长, 即饵料投喂效果评价的基础上^[16, 17], 又从蛋白质和脂肪两方面进行营养评价, 并与投喂效果实验结果进行比较分析, 同时讨论了培养的轮虫对淡水鱼类及甲壳动物的营养价值, 目的是为淡水轮虫产业化生产之饵料的选择提供可靠的依据。

1 材料和方法

1.1 实验用饵料种类、培养及其处理 所用饵料为 5 种藻和 2 种酵母(表 1)。各种藻在实验室条件下培养至指数增长后期后浓缩成藻泥, 装瓶、充氮气。用于培养轮虫的藻泥, 置冰箱中冷藏(4℃, 不超过 48h, 下同), 实验时再配成所需密度的藻液; 用于脂肪酸分析的藻泥, 置冰箱中冷冻(-18℃, 下同) 备测。用于培养轮虫的 2 种酵母均配成母液, 置冰箱中冷藏; 实验时再配成所需密度的酵母液; 面包酵母干品和啤酒酵母鲜品直接用于测定脂肪酸; 用于测定其他成分的样品, 均在 60℃下烘干至衡重, 放干燥器中备测。

表 1 实验用各种藻的细胞规格、形状及其培养液
Tab. 1 Cell sizes, shapes and culture media of the various algae used in the cexperiment

饵料种类 Foods	细胞大小 ^① Cell size (μm)	形状 Shape	培养液 Culture media
蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>)	3.78	球形	HB ₄ ^[20]
斜生栅藻 (<i>Scenedesmus obliquus</i>)	4.91	纺锤形	HB ₄
小球衣藻 (<i>Chlamydomonas microspheara</i>)	8.91	球形	HB ₄
卵形隐藻 (<i>Cryptomonas ovata</i>)	13.88	椭圆形	WC ^[21]
中型裸藻 (<i>Euglena intermedia</i>)	17.70	圆柱形	E ^②
面包酵母 (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	5.74	球形	干品
啤酒酵母 (<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>)	6.31	近球形	鲜品

① 即 ESD, 相当于球体的直径。各种藻类体积分计算方法见[18]; ② E 配方: 每升加入营养盐的克数—NH₄NO₃ 0.5, KH₂PO₄ 0.5, MgSO₄ 0.025, NaCl 0.1, FeSO₄ 0.004 和尿素 0.2。

1.2 实验轮虫的培养和处理条件 实验用萼花臂尾轮虫的来源见文献[21]。用于测蛋白质分析的轮虫以蛋白核小球藻为饵料, 投喂密度为 45×10⁶ cell·mL⁻¹。轮虫培养至指数增长期(4d 左右), 用 300 目筛绢过滤(用蒸馏水冲洗数次, 以洗净培养液)后, 装瓶, 60℃下烘至干品, 置干燥器中备测。用于分析脂肪酸的轮虫采用 30mL 的烧杯, 将轮虫在上述各种饵料最适密度下预培养 48h 后, 接种到 2000mL 的烧杯中培养, 其他培养条件和方法见文献[21]。每天计数一次饵料密度, 并将其补充至实验的初始密度。培养至 3—4d 的轮虫, 用 300 目的筛绢过滤(此后每

间隔 1d 过滤一次培养物), 用蒸馏水冲洗 3—4 遍后, 装瓶、充氮气、封瓶, 置冰箱中冷冻备测。

1.3 总氮及粗蛋白含量 饵料及轮虫的总氮量(N) 用 PE240C 元素分析仪测得, 将 N×6.25, 即得粗蛋白含量^[22]。

1.4 氨基酸的含量 用电子秤称取 20—25mg 样品, 装入特制的试管中(可密封, 抽真空), 加入 20mL 6mol/L 的 HCl, 抽真空后, 继续在酒精灯上加热排气, 封管, 于 110℃烘箱中水解 20—24h。开管、过滤, 其滤液以 Hiltachi 835—50 型氨基酸分析仪测定各种氨基酸的含量。

1.5 必需氨基酸指数(EAAI)的计算 按下列公式计算各饵料的必需氨基酸指数^[23]:

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100a}{A} \times \frac{100b}{B} \times \frac{100c}{C} \times \dots \times \frac{100j}{J}}$$

式中: a、b、c……j 分别代表饵料蛋白质必需氨基酸的含量;

A、B、C……J 分别代表标准蛋白质相应必需氨基酸的含量;

n 代表必需氨基酸的数目。

1.6 蛋白价(PS)的计算 各饵料蛋白质中第一限制氨基酸的含量与标准蛋白质相应氨基酸含量的百分比为蛋白价(PS)^[24]。

1.7 粗脂肪的测定 用索氏抽提法测定粗脂肪的百分含量^[22]。

1.8 脂肪酸的测定 样品用适量的混合溶剂(甲醇和氯仿)富集总脂,称取一定量的总脂进行皂化和甲酯化,将酯化液用正己烷萃取三次,蒸干后加适量的氯仿使之全溶,用硅胶薄板进行纯化,用不锈钢小铲取下 FAME 析层带,用有机溶剂洗脱 FAME,用真空旋转蒸发器蒸干,加适量的正己烷定容,取 2μL 进行气相色谱分析。

2 结果

2.1 轮虫蛋白质的含量与组成(表 2)

2.1.1 总氮(TN)及粗蛋白(CP)含量 轮虫 TN 的含量为 10.08%, CP 为 63.0%。

2.1.2 粗蛋白中氨基酸的组成和含量 共测出氨基酸 17 种。其中,组氨酸含量最低,其次为蛋氨酸和胱氨酸;含量最高的为天门冬氨酸,其次为甘氨酸、谷氨酸和亮氨酸。

2.1.3 总氨基酸(TAA)、必需氨基酸(TEAA)含量及 TEAA/TAA 轮虫蛋白质中 TAA 的含量为 48.096, TEAA 为 22.017,均低于 7 种饵料中的相应值; TEAA/TAA 为 45.8,与 7 种饵料的相应值接近。

2.1.4 氨(NH₃)含量 轮虫 NH₃ 的含量较低,仅为 0.333。

2.2 饵料蛋白质的营养价值(表 2)

2.2.1 总氮(TN)和粗蛋白质(CP)含量 各饵料的总氮含量在 6.57%—10.96% 之间,含量最高的是卵形隐藻,其次依次为中型裸藻、啤酒酵母、斜生栅藻、蛋白核小球藻和小球藻,面包酵母中含量为最低;粗蛋白含量介于 41.06—68.54 之间,其排列次序与 TN 相同。

2.2.2 氨基酸(AA)组成及含量 7 种饵料中测出 AA 的种类与轮虫相同。在藻类中其含量最低和次低的是组氨酸和蛋氨酸,其次依次为酪氨酸、丝氨酸和异亮氨酸;酵母中胱氨酸含量最低,其次为蛋氨酸和组氨酸。7 种饵料中氨基酸含量最高为谷氨酸,其次天门冬氨酸、亮氨酸、赖氨酸、丙氨酸的含量亦较高,只是在藻类和酵母中,其含量高低的排序有所差别。

2.2.3 TAA、TEAA 含量以及 TEAA/TAA 各饵料的 TAA 含量在 54.694—73.235 之间,由高到低的排列顺序为:斜生栅藻、面包酵母、小球藻、蛋白核小球藻、啤酒酵母、中型裸藻和卵形隐藻;TEAA 的含量在 23.836—34.136 之间,由高到低的排列顺序为:面包酵母、斜生栅藻、啤酒酵母、蛋白核小球藻、小球藻、中型裸藻和卵形隐藻;TEAA/TAA 值在 43.3—49.1 之间,啤酒酵母和面包酵母该比值最大,分别为 49.1 和 47.5,其次依次为中型裸藻(46.5)、斜生栅藻(45.0)、蛋白核小球藻(44.9)、小球藻(44.8)和卵形隐藻(43.3)。

2.2.4 必需氨基酸指数(EAAI)、第一限制氨基酸及蛋白价(PS) 各种饵料的 EAAI:以全卵蛋白为标准时,在 39.7—59.8 之间,由高到低的排列顺序为:啤酒酵母、面包酵母、小球藻、斜生栅藻、蛋白核小球藻、中型裸藻和卵形隐藻;以轮虫蛋白质的 EAA 为标准时,该值在 92.19—100.00 之间,由高到低的排列顺序为:啤酒酵母、面包酵母、蛋白核小球藻、斜生栅藻、小球藻、中型裸藻和卵形隐藻。

以全卵蛋白为标准时,PS 值在 12.4—41.5 之间,排列顺序为:小球藻> 啤酒酵母> 中型裸藻> 斜生栅藻> 面包酵母> 蛋白核小球藻> 卵形隐藻;以轮虫蛋白质的 EAA 为标准时,该值在 75.3—100.0 之间,排列顺序为:啤酒酵母= 面包酵母> 斜生栅藻> 蛋白核小球藻> 小球藻> 中型裸藻> 卵形隐藻。

以全卵蛋白为标准时,有 6 种饵料的第一限制性氨基酸为蛋氨酸,仅有 1 种为组氨酸(小球藻);以轮虫蛋白质的 EAA 为标准时,5 种为异亮氨酸,另 2 种分别为蛋氨酸(蛋白核小球藻)和赖氨酸(啤酒酵母)。

综上所述,多个指标的评价结果显示,以斜生栅藻、蛋白核小球藻和两种酵母的蛋白质的营养价值较高,其他几种藻则相对较差。

表 2 轮虫及饵料的氨基酸含量(占粗蛋白的百分比)
Tab 2 Content of amino acid of rotifer and its foods

氨基酸种类		含量(占粗蛋白的百分比) Content (Percent with coarse protein)							
Kind of amino acid	轮虫 rotifer	蛋白核小球藻 <i>Ch. pyrenoidosa</i>	斜生栅藻 <i>Sc. obliquus</i>	小球衣藻 <i>Ch. micro- haera</i>	中型裸藻 <i>E. intermedi a</i>	卵形隐藻 <i>C. ovata</i>	面包酵母 <i>S. cere- isiae</i>	啤酒酵母 <i>S. carlsbe- rgesis</i>	鸡卵蛋白 ⑤ Protein of chicken egg
ASP 天门冬氨酸	5 206	6 596	7. 603	6. 929	5. 519	5 812	8. 281	7. 203	
THR 苏 氨 酸	2 587	4 233	4. 594	4. 515	3. 395	3 563	4. 165	3. 967	5 2
SER 丝 氨 酸	1 540	2 350	2. 377	2. 764	2. 255	1 3718	3. 696	3. 154	
GLU 谷 氨 酸	4 524	8 162	8. 169	8. 417	7. 134	6 073	11. 447	8. 437	
GLY 甘 氨 酸	4 571	4 293	4. 510	4. 310	3. 073	4 139	3. 628	3. 886	
ALA 丙 氨 酸	2 968	6 555	6. 317	6. 582	4. 502	4 613	4. 603	5. 902	0 5
GYS 胱 氨 酸	0 762	3 332	3. 022	2. 966	2. 169	2 691	0. 608	0. 439	
VAL 缬 氨 酸	3 063	4 150	4. 406	4. 048	3. 578	2 998	3. 994	4. 650	6 7
MET 蛋 氨 酸	0 556	0 539	0. 973	1. 495	1. 132	0 421	0. 682	1. 122	3 4
ILE 异 亮氨酸	2 794	3 117	2. 732	2. 434	1. 922	2 104	3. 385	3. 675	5 5
LEU 亮 氨 酸	4 143	7. 473	7. 013	6. 285	4. 934	4 730	6. 040	4. 143	9 1
TYR 酪 氨 酸	3 032	1 958	1. 628	1. 998	2. 354	1 561	2. 728	2. 016	4 6
PHE 苯 丙氨酸	2 651	3 735	3. 844	3. 712	2. 729	2 888	3. 629	3. 756	5 8
LYS 赖 氨 酸	3 937	4 089	4. 222	4. 343	3. 618	3 356	6. 795	4. 764	6 9
HIS 组 氨 酸	0 540	1 065	0. 756	1. 078	0. 984	0 675	1. 583	1. 967	2 6
ARG 精 氨 酸	1 746	3 683	4. 386	4. 096	6. 462	3 098	3. 799	2. 407	6 5
TRP 色 氨 酸①	—	—	—	—	—	—	—	—	1 4
PRO 脯 氨 酸	3 143	3 193	3. 297	2. 786	2. 576	1 819	2. 509	2. 488	
NH ₃ 氨	0 333	2 910	3. 378	2. 685	3. 533	2 432	0. 097	0. 065	
TAA	48 096	71. 431	73. 235	71. 443	61. 868	54. 694	71. 675	66. 002	
TEAA	22 017	32. 083	32. 926	32. 006	28 753	23. 836	34. 136	32. 409	
TN	10. 08	8. 39	8. 72	8134	101 04	10196	6157	9184	
CP	631 00	52143	54105	521 13	621 75	68154	41106	611 56	
TEAA/TAA	4518	44109	451 0	441 8	4615	4313	471 5	491 1	
EAAI) /100		5310/ 991 70	551 6/99174	581 0/ 981 50	5011/ 951 92	3917/ 921 19	5819/ 100100	591 8/ 1001 00	100/)
第一限制氨基酸»		MET/MET	MET/ ILE	HIS/ ILE	MET/ILE	MET/ ILE	MET/ ILE	MET/ LYS	
PS		151 9/ 9619	281 6/9718	411 5/ 871 1	3313/ 681 8	121 4/ 7513	201 1/ 1001 0	341 4/ 1001 0	

色氨酸因与其他氨基酸水解条件不同, 此次未被检出; «、»、¼/ /0 上下或前后两个数值分别为以全卵蛋白质和轮虫蛋白质的 EAA 作标准的计算结果; 自 NRC。

21215 氨(NH₃)的含量 在 5 种藻类中, NH₃ 的含量为21432) 31533 之间, 差别不大; 而在 2 种酵母中其含量则较低, 分别为01097) 01065。

213 7 种饵料粗脂肪(CF) 的含量

饵料粗脂肪含量在1164%) 15141% 之间(表 3), 最高为中型裸藻(15141%), 其次为蛋白核小球藻(7151%); 最低的是啤酒酵母(1164%), 次低为小

球衣藻(2111%)。

214 7 种饵料脂肪酸(FA) 的组成和含量

在 7 种饵料中共测出脂肪酸 29 种(表 3)。其中中型裸藻和卵型隐藻中脂肪酸最为丰富, 分别检出 24 种和 22 种, 其余 3 种藻中均检出 17 种; 面包酵母和啤酒酵母中脂肪酸相对较贫乏, 分别检出 9 种和 13 种。

21411 不饱和脂肪酸(UFA) 与饱和脂肪酸(SAFA) 的含量 表 3 显示, 除啤酒酵母和斜生栅藻的 UFA 含量低于 SAFA 外, 其他饵料中均以 UFA 含量为高。在藻类中, 2 种非鞭毛藻两者相近; 3 种鞭毛藻的 UFA 远高于 SAFA(约 114) 318 倍); 面包酵母则约高 017 倍。

UFA 的含量以中型裸藻为最高(72180%), 其他依次为: 小球衣藻(67191%)、卵型隐藻(65156%), 均高于 2 种非鞭毛藻的 51118%(蛋白核小球藻) 和 46173%(斜生栅藻)。面包酵母的 UFA 含量处于鞭毛藻和非鞭毛藻之间, 为 60109%, 啤酒酵母的 UFA 含量为最低(35171%) 。

表 3 7 种饵料以及所喂轮虫的脂肪酸组成和含量
Tab13 The composition and content of fatty acid in seven foods and rotifer feeding them

脂肪酸种类 Kind of fatty acid	含量(占粗脂肪的百分比) Content (Percent with coarse fatty, %)						
	蛋白核小球藻 及轮虫	斜生栅藻及轮虫	小球衣藻及轮虫	中型裸藻及轮虫	卵形隐藻及轮虫	面包酵母及轮虫	啤酒酵母及轮虫
	<i>Ch. pyrenoidosa</i> and rotifer	<i>Sc. obliquus</i> and rotifer	<i>Ch. microshaera</i> and rotifer	<i>E. intermedia</i> and rotifer	<i>C. ovata</i> and rotifer	<i>S. cerevisiae</i> and rotifer	<i>S. carlsbergensis</i> and rotifer
12B0	01 18/ 01 14	0121/01 15	01 11/ 0127	01 21/ 01 57	0107/01 23	01 22/ 0137	21 38/ 1136
14B0	01 60/ 31 09	0178/11 55	01 87/ 1190	01 79/ 31 23	0154/21 36	01 83/ 1156	11 49/ 3117
a215B0	21 16/ 11 19	2165/11 79	11 27/ 1111	31 58/ 11 16	11 60/)	) / 1184	11 28/ 3176
15B0	) / 11 09	0174/01 72	) / 0158	) / 01 92	) / 0138	) / 0175	) / 0198
a216B0	11 43/ 01 64	1157/01 59	01 87/ 0167	11 41/ 01 45	0149/ 13155	) /)	) /)
16B0	301 80/ 141 15	42157/12164	241 84/ 191 12	81 50/ 141 86	17164/)	171 09/ 121 68	401 17/ 161 15
6B1X9	51 06/ 41 37	5150/11 83	11 08/ 3142	21 86/ 21 24	3114/21 73	341 37/ 8124	241 70/ 9122
16B1X7	31 38/ 01 77	1109/01 88	11 04/ 0169	11 82/ 01 42	0128/01 93	) / 1147	21 13/ 2148
16B2X6	21 19/ 21 18	0135/01 36	11 45/ 0165	21 05/)	0155/01 43	) / 0153	) /)
16B2X4	) / 01 91	) / 0153	) /)	) /)	) / 1130	) / 0128	0132/)
16B3X3	81 93/ 11 81	01 71/)	11 86/ 0155	61 17/)	11 17/)	) /)	) /)
16B4X3	01 35/)	5170/01 68	151 48/ 1107	91 10/)	) /)	) /)	) /)
17B0	01 29/ 01 94	) / 0140	) / 0126	) /)	0131/01 96	) / 0167	) / 0163
17B1X9	) /)	) /)	) / 1126	) /)	) /)	) /)	) /)
18B0	11 48/ 21 83	1108/31 33	01 99/ 3183	01 59/ 41 15	1144/31 28	161 81/ 8122	101 61/ 7111
18B1X9	11 18/ 31 19	10136/ 7145	01 38/ 9114	21 18/ 31 97	0199/21 30	251 47/ 8120	41 93/ 4194
18B1X7	21 75/ 11 15	5187/21 89	41 64/ 3131	61 47/ 11 23	2143/11 04	) / 4198	0125/11155
18B2X6	71 71/ 171 36	3190/ 12123	41 17/ 6179	61 77/ 101 85	2183/51 68	01 22/ 4195	2191/14178
18B3X6	) / 11 72	) / 1125	1139/)	) /)	) /)	) / 0133	) /)
18B3X3	191 63/ 241 64	11176/21166	261 58/ 181 45	221 93/ 131 99	19131/12124	01 03/ 2157	01 47/ 0169
18B4X3	) /)	1149/11 25	91 84/ 0198	01 66/)	22159/ 5105	) /)	) /)
20B0	) / 01 18	) / 0116	) / 0117	01 02/ 01 22	) / 0118	01 17/ 0148	01 06/ 0146
20B1X11	) / 01 63	) /)	) /)	) / 11 36	) /)	) /)	) /)
20B1X9	) / 01 95	) / 4157	) /)	) / 11 55	) / 1158	) / 3180	) / 1174
20B1X7	) / 01 77	) / 1140	) /)	) / 01 70	) / 0154	) / 1162	) / 2145
20B2X6	) / 11 15	) / 0134	) / 0110	01 70/ 11 91	0153/01 70	) / 0130	) /)
20B3X6	) /)	) / 0150	) / 0142	) /)	) /)	) / 0171	) /)

续表

脂肪酸种类 Kind of fatty acid	含量(占粗脂肪的百分比) Content (Percent with coarse fatty, %)						
	蛋白核小球藻 及轮虫 <i>Ch. pyrenoidosa</i> and rotifer	斜生栅藻及轮虫 <i>Sc. obliquus</i> and rotifer	小球衣藻及轮虫 <i>Ch. microshaera</i> and rotifer	中型裸藻及轮虫 <i>E. intermedia</i> and rotifer	卵形隐藻及轮虫 <i>C. ovata</i> and rotifer	面包酵母及轮虫 <i>S. cerevisiae</i> and rotifer	啤酒酵母及轮虫 <i>S. carlsbergensis</i> and rotifer
20B3X3	) /)	) / 0169	) / 0127	01 53/)	) / 0195	) /)	) /)
20B4X6	) / 11 93	) / 0180	) / 0125	11 46/ 31 38	0155/ 11 20	) / 3147	) /)
20B4X3	) / 01 88	) / 2125	) / 2177	01 76/ 31 98	0169/ 71 80	) / 0151	) /)
20B5X6	) /)	) /)	) /)	11 32/)	11 40/)	) /)	) /)
20B5X3	) / 11 17	) / 2141	) / 1100	41 66/ 51 38	5153/ 12102	) / 1149	) /)
20B6X3	) /)	) /)	) /)	21 36/)	31 57/)	)	) /)
22B1X9	) /)	) / 2127	) / 1114	) /)	) /)	) / 1180	) /)
22B3X6	) / 01 14	) /)	) /)	) / 01 50	) / 0141	) /)	) /)
22B4X6	) / 01 09	) /)	) /)	) / 01 94	) / 0122	) / 0193	) /)
22B5X6	) /)	) / 0124	) / 0104	) / 21 71	) / 2142	) / 3180	) /)
22B5X3	) / 01 17	) / 0123	) / 0113	) / 21 95	) / 4185	) / 0174	) /)
22B6X3	) /)	) / 0177	) / 0130	) / 41 10	) / 4147	) / 2125	) /)
24B0	10142/ 91 78	) /)	) /)	) /)	) /)	) / 0122	) /)
TX3	281 91/ 281 67	19166/ 29194	531 76/ 251 52	471 17/ 301 40	52186/ 47138	01 03/ 7156	01 47/ 0169
TX6	91 9/ 241 57	4125/ 15172	71 01/ 8125	121 30/ 201 29	5186/ 11106	0122/ 15102	2191/ 14178
TX3/ TX6	21 92/ 11 17	4163/ 11 90	71 67/ 3109	31 83/ 11 50	9102/ 41 28	01 14/ 0150	01 16/ 0105
TX3HUFA	) / 21 22	) / 6135	) / 4147	81 31/ 161 41	9179/ 30109	) / 4199	) /)
TSAFA	471 36/ 341 30	49160/ 21132	281 95/ 271 91	151 10/ 251 56	22109/ 20194	351 12/ 261 79	551 99/ 331 62
TUFA	511 18/ 651 98	46173/ 67148	671 91/ 521 73	721 80/ 621 16	65156/ 68186	601 09/ 521 97	351 71/ 471 85
TUFA/ TSAFA	11 08/ 11 92	0194/ 31 17	21 35/ 1189	41 82/ 21 43	2197/ 31 29	11 71/ 1198	01 64/ 1142
TMUFA	121 37/ 111 83	22182/ 21129	71 14/ 18196	131 33/ 111 47	6184/ 91 12	591 84/ 301 11	321 01/ 321 38
TPUFA	381 81/ 541 15	23191/ 46119	601 77/ 331 77	591 47/ 501 69	58172/ 59174	0125/ 22186	3170/ 15147
TPUFA/ TMUFA	31 13/ 41 58	1105/ 21 17	81 51/ 1178	41 46/ 41 42	8158/ 61 55	01004/ 0175	01 12/ 0148
TPUFA/ TSAFA	01 82/ 11 58	0148/ 21 17	21 10/ 1121	31 94/ 11 98	2166/ 21 85	01 01/ 0185	01 07/ 0146
CF	71 51/	4134/	2111/	151 41/	31 23/	2131/	1164/

注： 表中/) 0 符号示未检出该种脂肪酸； 表中/ / 0 上、下两个数值分别为轮虫的饵料、摄食该饵料之轮虫的测定值； X3HUFA 是指 20B5X3 和 22B6X3 等二十碳以上的X3 系列脂肪酸。

SAFA 含量最高的是十六碳酸(16B0), 除中型裸藻偏低(8150%) 外, 其他均在 17109%) 42157% 之间; 2 种酵母十八碳酸(18B0) 的含量亦较高, 分别是 16181%(面包酵母) 和 10161%(啤酒酵母)。此外, 蛋白核小球藻中二十四碳酸(24B0) 的含量亦较高(10142%) 。

5 种藻 UFA 的含量最高的是 X3 系列不饱和脂肪酸(详见 21412) 。此外, 斜生栅藻的十八碳一烯酸(18B1X9) 的含量亦较高(10136%); 2 种酵母十六碳一烯酸(16B1X9) 的含量较高, 分别为 34137%(面包酵母) 和 24170%(啤酒酵母); 面包酵母十八碳一

烯酸(18B1X9) 的含量亦较高(25147%) 。

2 种非鞭毛藻中多不饱和脂肪酸(PUFA) 的含量低于 SAFA, 其比值小于 1(蛋白核小球藻为 0182, 斜生栅藻为 0148); 3 种鞭毛藻则相反, 其比值分别为 3194(中型裸藻)、2166(卵形隐藻) 和 2110(小球衣藻); 2 种酵母的这一比值较低, 分别为面包酵母 0101、啤酒酵母 0107。

除斜生栅藻外, 各饵料中 PUFA 与单不饱和脂肪酸(MUFA) 的含量相差很大。藻中的 PUFA 远高于 MUFA(约高 2113) 7158 倍)。在 5 种藻中 PUFA 的含量由高到低的顺序为小球衣藻(60177%) 、中型

裸藻(59147%)、卵型隐藻(58172%)、蛋白核小球藻(38181%)和斜生栅藻(23191%)。由此可见,鞭毛藻 PUFA 含量远高于非鞭毛藻(约高 1 倍)。与藻类相反,酵母中的 MUFA 含量则远远高于 PUFA 含量,约高几倍(啤酒酵母 8165 倍)和几百倍(面包酵母约 240 倍)。

21412 X3 和 X6 系列不饱和脂肪酸(X3UFA 和 X6UFA)的含量 5 种藻中 X3UFA 的含量较高,且种间差别较大(19166%~52186%),以卵形隐藻为最高,斜生栅藻为最低;鞭毛藻明显地高于非鞭毛藻(约高 1163~2169 倍);X6UFA 的含量则远低于 X3UFA, X3/X6 值在 2192~9102 之间,最高为卵形隐藻(9102),其次为小球藻(7167),最低为蛋白核小球藻(2192)。而酵母中 X3UFA 的含量却相当低,其值为面包酵母 0103%,啤酒酵母 0147%;与藻类相反,酵母中 X6UFA 的含量较高, X3/X6 值分别为 0114(面包酵母)和 0116(啤酒酵母)。X3 系列高度不饱和脂肪酸(X3HUFA)仅在中型裸藻和卵形隐藻中检出,其含量分别为 8131%和 9179%。

5 种藻中 UFA 含量最高的是十八碳三烯酸(18B3X),其值在 11176%~26158%之间;卵形隐藻的十八碳四烯酸(18B4X3)、小球藻的十六碳四烯酸(16B4X3)的含量亦较高,其值分别为 22159%和 15148%。

21413 长碳链与短碳链脂肪酸的含量 在蛋白核小球藻中检出二十四碳酸(24B0,含量为 10142%),为本次检出最长碳链的脂肪酸。2 种鞭毛藻(中型裸藻和卵型隐藻)亦检出二十碳以上的 UFA,含量占 UFA 总量的 1612%(中型裸藻)和 1817%(卵形隐藻),其余饵料均缺乏长碳链的 FA,最长碳链为十八碳酸。

215 摄食不同饵料的轮虫脂肪酸的组成与含量特点

21511 UFA 和 SAFA 的含量特点 摄食 7 种饵料的轮虫的 UFA 含量均高于 SAFA 含量,除小球藻轮虫和中型裸藻轮虫外,其余均高出其饵料之幅度。藻类轮虫的 PUFA 的含量均高于 SAFA 的含量,其比值在 1121~2185 之间;2 种酵母轮虫则相反,该比值小于 1,其值分别为 0185(面包酵母)和 0146(啤酒酵母),与其饵料相比,比值明显增大。藻类轮虫的 PUFA 含量明显高于 MUFA 含量(约高 0178~5155 倍),平均高出的幅度(219 倍)低于其饵料中相应值(319 倍)。其中 PUFA 含量最高的是卵形隐藻轮虫(59174%),其次为蛋白核小球藻轮虫(54107%)。2

种酵母轮虫则 MUFA 的含量高于 PUFA 的含量。

21512 X3UFA 和 X6UFA 的含量特点 与其饵料相一致,藻类轮虫的 X3UFA 的含量均高于 X6UFA,酵母轮虫则以 X6UFA 的含量为高;X3/X6 的比值比其饵料低的多。除啤酒酵母轮虫外,其他轮虫均含有 X3HUFA,含量最高的是卵形隐藻轮虫(30109%),其次是中型裸藻轮虫(16141%),该值最低的是蛋白核小球藻轮虫(2122%)。

21513 长碳链与短碳链 FA 含量特点 除啤酒酵母轮虫外,其余轮虫均含有其饵料中缺乏的二十碳和二十二碳 HUFA。

3 讨论与结论

311 关于蛋白质的营养评价

31111 关于轮虫饵料评价问题 生物评价的结果(饵料的投喂效果)显示,用 5 种藻类、2 种酵母培养萼花臂尾轮虫种群的最大密度和瞬时增长率为:蛋白核小球藻轮虫>斜生栅藻轮虫>面包酵母轮虫>卵型隐藻轮虫>小球藻轮虫>啤酒酵母轮虫>中型裸藻轮虫^[16,17]。除啤酒酵母外,排在前 3 位的饵料与蛋白质营养评价结果基本一致。各种化学指标均表明了斜生栅藻的营养价值优于蛋白核小球藻,而种群增长指标却相反,这可能主要是由于斜生栅藻的特殊形态结构,使之可得性和可利用性较差的缘故。2 种酵母的部分化学评价指标亦高于蛋白核小球藻,但培养效果却相差很大,根据作者在培养中的体会,可能是用酵母培养轮虫时的水质较差所致;另外,亦可能是其他营养成分的差异所致,3 种鞭毛藻的化学指标相对较低,这可能是它们饵料投喂效果较差的原因之一;其中卵形隐藻化学指标近于最低,饵料投喂效果却最佳,亦可能是其他营养成分,如脂肪酸以及饵料的颗粒规格、可得性和可消化性等因素在起作用。

31112 作为标准的必需氨基酸 人们在对饵料进行营养评价时,普遍采用全卵蛋白的氨基酸作为标准,在鱼类提出了用鱼体蛋白的氨基酸作为标准更准确,并得到广泛应用,而对轮虫的同类研究尚未见报道。比较本研究用全卵蛋白和轮虫蛋白的 EAA 作为标准时 EAAI 和 PS 的计算结果发现,两个标准下 EAAI 的评价结果趋势接近,而 PS 的评价结果差异很大。用轮虫蛋白质 EAA 作标准时 EAAI 和 PS 的评价结果基本一致,而用全卵蛋白作标准时两者则不尽相同。将两个指标的评价结果与饵料投喂实验的评价结果相比较,结果是:以轮虫蛋白质 EAA

为标准的评价结果与其相一致。因此, 可以认为, 用轮虫蛋白质的氨基酸(EAA) 为标准评价其饵料的营养价值更准确。

已有的研究表明, 不同饵料投喂轮虫, 其蛋白质中氨基酸组成无明显差别, 所显出的差别为测定误差^[25,26], 因此, 本研究在对 7 种饵料的蛋白质进行营养评价时采用小球藻轮虫蛋白质的氨基酸组成作为评价标准是合理而准确的。

31113 各饵料蛋白质对轮虫的营养价值 7 种饵料蛋白质的 TAA 和 TEAA 含量均超过轮虫相应的含量, 说明各饵料蛋白质的氨基酸含量均能满足轮虫的需要。而 TEAA/TAA 只有两种酵母超过轮虫这一比值, 中型裸藻较接近, 其他藻类均低 110 左右, 以卵型隐藻为最低。以轮虫蛋白质 EAA 作为标准的 EAAI 和 PS 两项指标都显示了两种酵母蛋白质的营养最高(EAAI 和 PS 均等于 100100), 其次为斜生栅藻(EAAI= 99174, PS= 9718) 和蛋白核小球藻(EAA= 99170, PS= 9619); 表明, 这些饵料对轮虫有较高的营养价值。这两项指标最差的是卵型隐藻(EAAI 最低, 为 92119) 和中型裸藻(PS 最低, 为 6818), 表明这两种藻类的蛋白质对本种轮虫的营养价值相对较低。

上述结果显示, 各饵料蛋白质的营养价值有不同程度的差异。分析各饵料在 7 项评价指标中的排列顺序发现, 各饵料在前 4 位的出现次数由高到低

的顺序为: 斜生栅藻、啤酒酵母、面包酵母、蛋白核小球藻、中型裸藻、小球衣藻和卵形隐藻。因此, 可以认为, 斜生栅藻、蛋白核小球藻和 2 种酵母的蛋白质营养价值较高。

312 关于脂肪酸的营养评价

31211 从鱼类的必需脂肪酸(EFA) 看 7 种饵料所喂轮虫的 FA 营养价值 渡边和竹内俊郎^[26]对鲤鱼的研究发现, 无 FA 或 EFA 缺乏的饵料明显导致鱼类的生长阻碍和食欲不振现象。如在这些饵料中加入 18B2X6 或 18B3X3, 其生长状况会有很大改善。上述两种 FA 混合投喂比单一使用效果更好。因此, 18B2X6 和 18B3X3 是鲤鱼类等动物的 EFA。淡水轮虫的用途之一是作为鲤鱼类等的开口饵料, 用不同饵料培养的轮虫, 其 FA 的组成能否满足鱼的需要, 应是评价轮虫饵料质量优劣的重要指标。

表 4 可见, 各饵料所喂轮虫的 FA 中均有较高含量的 18B2X3 和 18B3X3。蛋白核小球藻所喂轮虫居首位, 含量高达 42100%; 其次为斜生栅藻轮虫的 33189%。已知鲤鱼对这两种 FA 的需求量为饵料的 1%, 但由于未能测出各种饵料所喂轮虫 FA 的绝对含量, 不能肯定这两种 FA 在量上能否满足鲤鱼类幼鱼的需求, 但仅就相对含量而言, 蛋白核小球藻轮虫和斜生栅藻轮虫的 FA 营养价值最高和次高。所以, 可以认为, 这两种藻是培养该轮虫的最佳和次佳饵料, 这一结论与轮虫种群增长实验^[6,17]的评价结果基本一致。

表 4 各饵料所喂轮虫的 18B2X6、18B3X3 和 X3HUFA 的含量							
Tab14 The content fo fatty acids, 18B2X6, C18B3X3 and X3HUFA, in rotifer fed various foods							
轮虫脂肪酸含量(占粗脂肪的百分比) Contents of fatty acid in rotifers (percent with coarse fatty, %)							
脂肪酸 Fatty acids	蛋白核小球 藻轮虫	斜生栅藻 轮虫	小球衣藻 轮虫	中型裸藻 轮虫	卵型隐藻 轮虫	面包酵母 轮虫	啤酒酵母 轮虫
18B2X6	17136	12123	6179	10185	5168	4195	14178
18B3X3	24164	21166	18145	13199	12124	2157	0169
两者E	42100	33189	25124	24184	17192	7152	15147
X3HUFA	2122	6135	4147	16141	30109	4199	)

31212 从 X3PUFA 含量看各饵料 FA 的营养价值

本研究结果表明, 7 种饵料中只有 2 种鞭毛藻(中型裸藻和卵形隐藻) 含有长碳链的 PUFA。许多学者认为, 鞭毛藻类是浮游动物, 例如, 轮虫和纤毛虫的重要饵料, 其饵料价值较高, 是因为它们的脂肪酸中有较高含量的 HUFA^[27) 28]。笔者已有的研究结果^[16]显示, 含有 FA 的中型裸藻和卵形隐藻投喂的轮虫, 其种群增长缓慢, 即培养时的投喂效果较差。原因

可能是, 第一, 以往作者讨论所涉及的轮虫多属肉食性的凶猛种类, 主动摄食能力较强, 而萼花臂尾轮虫则为滤食性种类, 摄食能力相对较弱; 第二, 以往研究对萼花臂尾轮虫饵料效果较好的鞭毛藻类的个体较小, 如, 红隐藻及其变种(*Rhodomonas minuta* Var. *nannoplantica* kuja) (1215 @710Lm), 其细胞大小在该轮虫的摄食的适宜范围(10) 12Lm) 之内, 而本研究中的中型裸藻和卵形隐藻的个体大小超出这一范

围,可得性较差;第三,蛋白质营养评价结果亦显示这两种藻对轮虫的营养价值较差。虽然中型裸藻和卵形隐藻投喂轮虫的效果较差,但其所喂轮虫却富含 X3HUFA,特别是卵形隐藻轮虫,含量高达 301.09%,这对于那些要求高 X3HUFA 含量饵料的鱼类及虾、蟹等,则具有重要的饵料价值。

31213 轮虫体内脂肪酸的转化机制问题 在用16B4X3和18B3X3 含量较高的淡水小球藻培养成淡水褶皱臂尾轮虫(*Brachionu plicatilis*)时,轮虫中几乎不存在X3HUFA,所以,渡边等^[26]认为,轮虫几乎不具有将16B4X3和18B3X3 转为二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)等 X3HUFA 的代谢机制;也有学者认为,轮虫能合成某些 X3HUFA,但数量很少。这些研究几乎完全否定了褶皱臂尾轮虫具有上述脂肪酸转化机制。本研究中,5 种藻的脂肪酸中均不含有 EPA,但所喂轮虫 4 种测出了该种脂肪酸;所有 7 种饵料均不含有 DHA,但所培养的轮虫中,有 5 种含有该种脂肪酸。此外,还含有一定量的其他种类的 X3HUFA(表 3,表 4),这就说明蓼花臂尾轮虫可能具有较强的上述脂肪酸转化能力。铃木平光认为,十八碳的亚麻酸和亚油酸在小到浮游动物、鱼类、老鼠,大到人类的体内,可转换成二十碳五烯酸(20B5X3)和二十二碳六烯酸(22B6X3)^[29]。Isik 等^[14]对藻-轮虫-鱼类幼体这一食物链各级上的脂肪酸的变化进行了探讨,提出,蓼花臂尾轮虫能合成自身需要的脂肪酸。这些结论,是对本文观点的有力支持。作者认为蓼花臂尾轮虫与褶皱臂尾轮虫生活的环境差异较大,可能与其相应生活环境的鱼类和虾、蟹等相似,有不同的脂肪酸代谢途径。这些方面还有待进一步系统、深入研究。

31214 关于酵母所喂轮虫脂肪酸的营养价值 日本学者^[26]对褶皱臂尾轮虫的研究还表明,用酵母投喂的轮虫 X3PUFA 含量极低,酵母和海水小球藻所喂轮虫 X3PUFA 含量的差异,是决定这两种饵料价值的主要原因。本研究中面包酵母培养的轮虫, X3HUFA 的含量在 7 种饵料中居第四位(表 4),即脂肪酸的营养价值尚好,并且种群增长亦良好。这可能亦是由于两种轮虫的生活环境的差异所致。所以,面包酵母作为淡水轮虫饵料的前景可观。但啤酒酵母所喂轮虫的脂肪酸中不含有 X3HUFA,即脂肪酸营养价值较低,这可能是该酵母投喂轮虫时种群增长较慢的原因之一。

参考文献:

[1] Comer E D S, Cowey C B. Biochemical studies on the production of

marine zooplankton [J]. *Biol Res*, 1968, **43**: 393) 426

[2] Cheng Y X, Wang W, Wu J M, et al. Effect of dietary lipid sources on fatty acid composition of rotifer *Brachionus plicatilis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2001, **8**(4): 52) 57

[3] Biolo M, Rosenthal H, Sindermann C J. Realims in aquaculture: Achievement, Connstrains, Perspectives[M]. European Aquaculture Society, Bredene, Belgium, 1986, 77) 106

[4] Bums C W. The relationship between the body size of filterfeeding cladocera and the maximum size of particle ingestion. [J]. *Limnol Oceanogr*, 1968, **13**: 675) 678

[5] Porter K R R. Selective grazing and differential digestion of algae by zooplankton [J]. *Nature*, 1973, **44**: 179) 180

[6] Lampert W, Fleckner W, Rai H, et al. Phytoplankton control by grazing zooplankton: A study on the spring clear water phase [J]. *Limnol Oceanogr*, 1986, **31**: 478) 480

[7] Lampert W. Laboratory studies on zooplankton cyanobacteria interaction [J]. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res*, 1987, **21**: 483) 490

[8] Skogstad A, Granskog L, Klaveness D. Growth of freshwater ciliates of fered planktonic algae as food [J]. *J Plankton Res*, 1987, **9**: 503) 512

[9] Bums C W. Insights into zooplankton2cyanobacteria interactions derived from enclosure studies [J]. *N Z J Mar Freshwater Res*, 1987, **21**: 477) 482

[10] Rothhaupt K O. Differences in particle size dependent feeding efficiencies of closely related rotifer species [J]. *Limnol Oceanogr*, 1990, **35**: (1): 16) 23

[11] Rothhaupt K O. Changes of the functional responses of the rotifer *Brachionus calyciflorus* with particle sizes [J]. *Limnol Oceanogr*, 1990, **35**(1): 24) 32

[12] Awaiss A, Kestemont P, Michu J C. Nutritional suitability of the rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas, for rearing freshwater fish larvae [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 1992, **8**(1) 4): 263) 270

[13] Awaiss A, Kestemont P, Michu J C. An investigation into the mass2production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Palk. 1. An ecophysiological approach to nutrition [J]. *Aquaculture*, 1992, **105**(3) 4): 325) 336

[14] Isik O, Sarihan E, Kusvuran E, et al. Comparison of the fatty acid composition of the freshwater fish larvae, *Tilapia zillii*, the rotifer, *Brachionus calyciflorus*, and the microalgae, *Scenedesmus abundans*, *Monoraphidium minutum* and *Chlorella vulgaris* in the algae2rotife2fish larvae food chains [J]. *Aquaculture*, 1999, **174**(3) 4): 299) 311

[15] Oltra R, Todoli R, Bosque T, et al. Life history and fatty acid composition of the marine rotifer *Synchaeta oecilia valentina* fed different algae [J]. *Marine Ecology2progress series*, 2000, **193**: 125) 133

[16] Wang J Q, Li D S, Cao J X. Comparative studies on feed efficiency of five freshwater planktonic algae for the rotifer, *Brachionus calya2florus*.))) Optimal algae densities and corresponding population increase of the rotifer [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1998, **29**(1): 15) 21. [王金秋,李德尚,曹吉祥. 5 种淡水浮游藻对蓼花臂尾轮虫饵料效果的比较研究))) 藻的最适密度及轮虫相应的种群增长 [J]. 海洋与湖沼, 1998, **29**(1): 15) 21]

[17] Wang J Q, Li D X. Feeding effect of yeast and yeast alga mixture on *Brachionus calyciflorus* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(3): 301) 304. [王金秋, 李德尚. 酵母及与藻类搭配对蓴花臂尾轮虫饵料效果的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 301) 304]

[18] Zhang Z S, Huang X F. Investigation method of freshwater plankton [M]. Beijing: Science Press, 1991, 342) 344. [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991, 342) 344]

[19] Li S H, Zhu H. Experiment of mass culture of the single algae. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1959, 4: 463) 463. [黎尚豪, 朱惠. 单细胞藻类的大量培养试验[J]. 水生生物学集刊, 1959, 4: 463) 463]

[20] Guillard R R L, Lorenzen C J. Yellow-green algae with chlorophyllide [J]. *C J Phycol*, 1972, 8: 10) 14

[21] Wang J Q. Effects of ecological factors on the population dynamic of *Brachionus calyciflorus*))) The effect of temperature and food density [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1995, (4): 21) 27. [王金秋. 影响蓴花臂尾轮虫种群增长的生态学因子的研究))) 温度和饵料密度的影响[J]. 海洋湖沼通报, 1995, (4): 21) 27]

[22] Osborne D R, Voont P. The analysis of nutrients in foods[M]. Beijing: Academic Press, 1978. [胡正芝, 刘仪, 尹宗伦译. 食品中营养素的分析. 北京: 科学出版社, 1987, 150]

[23] Wang Y Y. conspectus of nutrition for fish and shrimp[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 1993, 21. [王渊源. 鱼虾营养概论. 厦门: 厦门大学出版社, 1993, 21]

[24] Yang J S, Li F X, Guan Y H. Fodder study of amino acid[M]. Beijing: Agriculture Press, 1989, 44) 47. [杨嘉实, 李复兴, 关彦华. 氨基酸饲料学. 北京: 农业出版社. 1989, 44) 47]

[25] Frolov A V, Pankov S L, Geradze K N, et al. Influence of biochemical composition of food on the biochemical composition of the rotifer *Brachionus plicatilis* [J]. *Aquaculture*, 1991, 97(2) 3): 181) 202

[26] Chen G M, Huang X Q. Nutrition and fodder of fish [M]. Beijing: Ocean Press, 1987. [陈国铭, 黄小秋译. 鱼类的营养和饲料[M]. 北京: 海洋出版社, 1987]

[27] Stemberger R A. General approach to the culture of planktonic rotifer [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1981, 38(721) 724

[28] May L. Culturing freshwater, planktonic rotifers on the *Rhodomonas minuta* Var., *nannoplantcia* Skuja and *Stichococcus baillaris* Nageli [J]. *J Plankton Res*, 1987, 9: 1217) 1223

[29] Ye G R. Linolenic acid may be change to DHA in body [M]. Beijing: Agriculture press, 1991. 25) 28. [叶桂蓉译(铃木平光). 亚麻酸在体内可转换成 DHA. 吃鱼健脑. 北京: 农业出版社. 1991, 25) 28]

THE PROTEIN NUTRITIONAL EVALUATION OF ROTIFER
BRACHIONUS CALYCIFLORUS AND ITS FOODS

WANG JinQiu¹, LI DeShang² and CAO JiXiang²

(11 School of Life Sciences, State Key Laboratory of Genetic Engineering, Fudan University, Shanghai, 200433, China;
21 Fisheries College, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003, China)

Abstract: In the study the nutritive value of seven kinds of foods, including five kinds of algae(*Chlorella pyrenoidosa*, *Scenedesmus obliquus*, *Chlamydomonas microspheara*, *Cryptomonas ovata*, *Euglena intermedia*) and two kinds of yeast(*Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces carlsbergensis*) to rotifer(*Brachionus plicatilis*) was appraised using two indexes of protein and fatty acid.

The appraisal results of the protein showed that the content of the total nitrogen (TN) and the crude protein (CP) are 10.08% and 63.10% in the rotifer's body respectively. The total amino acid (TAA) and the total essential amino acid (TEAA) account for 48% and 22.02% of crude protein respectively. The ratio of total essential amino acid with total amino acid (TEAA/TAA) is 45.18. The contents of TN are between 61.57%) 101.96% of seven kinds of foods and among them the contents show highest and lowest value in *Cryptomonas ovata* and *Saccharomyces cerevisiae* respectively. The contents of CP lie between 41.06%) 68.54% and keep the same with TN from high to the low permutation order of various kinds of food. The contents of TAA are between 54.694%) 73.1235% and show highest and lowest value in *Scenedesmus obliquus* and *Cryptomonas ovata* respectively. The contents of TEAA are between 23.1836%) 34.1136% and show highest and lowest value in the *Saccharomyces cerevisiae* and *Cryptomonas ovata*. The ratio of TEAA/TAA are between 43.13) 49.11 and show highest value in two kinds of yeasts. In the study the seventeen kinds of amino acid were measured. The content of the HIS is lowest (0.540%) in the protein of the rotifer, secondly it is the MET (0.556%) and the CYS (0.762%). And the contents of the ASP is the highest (5.206%), secondly it is the GLY (4.571%). In the proteins of foods the content of the MTE is lowest (0.421%) 11.495%), secondly it is the HIS (0.675%)

11967%) and the GYS (01439%) 31332%). And the content of the GLU is highest (61073%) 111447%), secondly it is the ASP (51519%) 81281%) and the LEU (41143%) 71473%). When use protein of the whole ovum as the standard the first limitative amino acids are HIS for *Chlorella pyrenoidosa* and MET for other six kind of food respectively. When using rotifer's protein as standard the first limitative amino acid are MET for *Chlorella pyrenoidosa*, LYS for *Saccharomyces carlsbergensis* and LEU for other five kinds of food respectively. The evaluative comparative result with protein showed that the foods of *Chlorella pyrenoidosa*, *Scenedesmus obliquus* and two kinds of yeast have better nutritional value.

The appraisal results of the fatty acid showed the contents of crude fat are a wide range from 1164 to 15141% and there are found a highest level in *Euglena intermedia* and a lowest level in *Saccharomyces carlsbergensis*. The twenty nine kinds of fatty acid were measured in seven and a greatest number was found in *Euglena intermedia* in twenty four kinds and in *Saccharomyces carlsbergensis* in twenty two kinds, but was showed absence of kinds amount of fatty acid in two yeasts that they contain only nine and thirteen of kinds. Content of unsaturated fatty acid higher than saturated fatty acid of live kinds of foods among them, whereas was reduced opposite outcome in other two kinds of foods, such as *Scenedesmus obliquus* and *Saccharomyces carlsbergensis*, namely the content of saturated fatty acid higher than unsaturated fatty acid. Main unsaturated fatty acid was ω -linolenic acid (18B3X3) (Which ranged from 11176% to 26158%) for live algae. Also in certain algal treatment, such as in *Cryptomonas ovata* the steric acid (18B4X3) was higher level, the content is 22159%, and in *Chlamydomonas microspheara* the hexadecatetraenoic acid (16B4X3) was higher level too, its contents is 15148%. The long chain (longer than twenty carbon atom) unsaturated fatty acids was found in a higher proportion in both algae, such as *Cryptomonas ovata* and *Euglena intermedia*, the contents are 1817% and 1612% respectively. In fatty acids of rotifer fed sex foods (except *Saccharomyces carlsbergensis*) was contained high unsaturated fatty acid (twenty two carbon and twenty two carbon catena) though they were absented in various foods and the rotifer's abilities for trans formations steric acid 18B4X3 and ω -linolenic acid 18B3X3 to eicosapentaenoic acid (EPA) (20B5X3) and docosahexaenoic acid (DHA) (22B6X3) along with other ω -3 highly unsaturated fatty acid (X3HUFA) were evaluated. The essential fatty acids, such as linoleic acid (18B2X6) and 18B3X3 for the cyprinid were moderately abundant in rotifers fed with various foods and was must high of contents in rotifer fed with *Chlorella pyrenoidosa* (17136% and 24164%) and in rotifer fed with *Scenedesmus obliquus* (12123% and 21166%). Also the content of X3HUFA in *Saccharomyces cerevisiae* was arranged in four. The nutritional value from composition of fatty acid deduced that *Chlorella pyrenoidosa*, *Scenedesmus obliquus* are principal foods, and *Saccharomyces cerevisias* is promising using to mass batch culture of rotifer. This conclusion was similar to that outcome in experiment of feeding impact and nutritional evaluation of protein for seven kinds of foods in foregoing our works for the rotifer.

Key words: *Brachionus calyciflorus*; Food; Protein; Amino acid; Fatty acid; Nutritional evaluation