第17卷 第1期　　水 生 生 物 学 报　　Vol. 17, No. 1
1993 年 3 月　　ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA　　Mar., 1993

我国淡水优质草食性鱼类的营养和能量学研究*

II. 草鱼、团头鲂对七种水生高等植物的最大摄食量和消化率的测定

陈少莲　刘肖芳　苏泽古
（中国科学院水生生物研究所，武汉　430072）

提　　要

作者采用常规生化分析法测定草食性鱼类天然食料（七种水生高等植物）的生化成分和能值。在实验室特定条件下测定了草鱼和团头鲂的系列体重组对七种水生高等植物的最大摄食量和消化率。

1. 七种水生高等植物的生化成分的含量和能值的分析结果表明，苲草、黄丝草、聚草、苦草、小茨草、轮叶黑藻和紫背浮萍的水分百分含量范围为 80.85—92.72%、蛋白质为 1.69—4.96%、脂肪为 0.35—1.09%、灰分为 0.98—2.6%、纤维素为 0.66—2.17%、无氮浸出物为 2.3—9.95%。

七种水生植物的蛋白质均含有常见十七种氨基酸，包括鱼体必需氨基酸九种和非必需氨基酸八种。其中苲草的氨基酸含量最高（36.63mg/g 湿重）、苦草最低（12.92mg/g 湿重）；苲草的能值最高（3.36KJ/g 湿重）、小茨藻最低（1.28KJ/g 湿重）。

2. 草鱼、团头鲂对七种水生植物的最大摄食量（Y,g/24h）及消化率（Y，%）与鱼体重（X，g）相关显著，关系式为 $Y = aX^b$。从结果表明，随着鱼体重的增加，鱼对七种食料的相对摄食量下降（绝对摄食量上升），消化率提高。草鱼的最大摄食量一般比团头鲂高，而消化率一般比团头鲂低。

关键词　水生高等植物、草鱼、团头鲂、最大摄食量、消化率

有关草食性鱼类对水生高等植物（以下简称水草）的消化率和摄食量的研究，已有一些报道[1-5]，但缺乏系统的资料。本研究测定了七种水草生化成分、系列体重草鱼（*Ctenopharyngodon idella*）和团头鲂（*Megalobrama amblycephala*）对七种水草的消化率和最大摄食量。本文取得系列参数和有关经验公式，可作估算草型湖泊中草鱼和团头鲂对水草消化率、排粪量、能量转化率的基本参数，为草型湖泊资源的合理开发利用提供科

* 本研究属国家自然科学基金资助项目，项目编号：3860589。
1990 年 3 月 22 日收到

学依据，并具有广泛应用价值。

材 料 和 方 法

（一）实验材料的来源和处理

实验用七种水草：菹草（*Potamogeton crispus*）、黄丝草（*Potamogeton maackianus*）、聚草（*Myriophyllum spicatum*）、苦草（*Vallisneria spiralis*）、小茨藻（*Najas minor*）、轮叶黑藻（*Hydrilla verticillata*）及紫背浮萍（*Spirodela polyrhiza*），取自保安湖、武汉东湖湖汊和本所关桥试验场。水草经漂洗干净，除去附着的沙土和螺丝等生物，放入盛有水的锥形缸中贮养，随时取用。

实验用鱼取自本所试验场、关桥试验场和南湖养殖场。鱼置入实验缸中加入呋喃唑酮（浓度为 2 ppm）暂养 2—3 d，并投喂足量水草。选择体质正常鱼作实验用鱼。

（二）实验条件

实验在恒温室内进行。恒温室温度控制在 30℃，水温保持在 30℃，水溶解氧在 8ppm 以上，pH 在 7—8 之间，光照度昼间约 1800—2800 lx。实验缸水容量定量在 45 及 60L。实验用水均为经活性炭柱过滤除去余氯的自来水。

（三）测定饵料消化率方法 采用全量法。

1. 实验鱼处理 将选择出的鱼分组、停食，待其肠道排空后进行实验。

2. 饵料及余饵的处理 将预先贮备的水草表面水吸干，按分组定量称重。同时另取两份定量样品烘干，恒重。投喂量可供鱼摄食 24 h 有剩余。实验结束时将剩余水草分组烘干、恒重。

3. 鱼粪收集及处理 每次实验按组分别收集鱼粪、烘干、恒重。

测定饵料的消化率实验，以 2—5 尾鱼为一组，分别收集鱼粪烘干后恒重，以其数据计算干物质消化率；并在同一条件下以 10—30 尾为一组收集鱼粪烘干后恒重，作为测定鱼粪的生化成分样品，这样不但可以消除鱼类的个体差异，而且还能取得足够的分析样品。

上述样品均在 105℃以下烘干、恒重后置干燥器中保存、供生化分析用。

计算公式：

$$\text{饵料干物质消化率}(\%) = \frac{\text{摄取饵料干重} - \text{排出粪干重}}{\text{摄取饵料干重}} \%$$

$$\text{饵料营养成分消化率}(\%) = \frac{\text{摄取饵料的某营养成分重} - \text{粪中的某营养成分重}}{\text{摄取饵料某成分重}} \%$$

（四）测定鱼的最大摄食量的方法

1. 实验鱼的处理 将选择出的鱼分组（每组 1—5 尾），喂以足量水草，使鱼处在正常摄食状况下开始进行实验。

2. 预先备好七种水草 每组鱼分别隔 24h 相继更换投喂一种水草。实验始投喂的水

草、实验终收集的剩余水草的处理方法与上述相同。

计算公式：

$$\text{鱼最大摄食量(湿重 g/24h)} = \frac{\text{饵料投喂量干重} - \text{饵料剩余量干重}}{\text{饵料干物质\%}}$$

$$\text{鱼最大摄食量占鱼体重(\%)} = \frac{\text{鱼 24 h 摄取食物重量 (g 湿重)}}{\text{鱼体重量 (g 湿重)}}$$

本研究的饵料、余饵及鱼粪的生化成分均采用常规生化分析法[6]。

结 果 与 讨 论

(一) 七种水生高等植物的生化成分和能值

在水草生长最繁茂的夏季 (6—7 月)收集了菹草、黄丝草、聚草、苦草、小茨藻、轮叶黑藻和紫背浮萍等七种水草。分析其生化成分百分含量和能值 (表 1,2)。

表 1　七种水草生化成分及能值

Tab. 1　The chemical composition (%) and calorific value (Joule/g. wet) of seven aquatic macrophytes

水草 Aquatic macrophytes	生化成份 Chemical composition						能值 Energy content		C/P Protein J/g
	水分 Moisture	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	灰分 Ash	纤维素 Cellulose	无氮浸出物 Non nitrogen	J/g, wet	J/g, dry	
*菹草①	80.85	4.82	0.66	2.45	1.27	9.95	3.36	17.56	69.79
黄丝草②	82.89	4.28	0.90	1.97	2.17	7.79	3.11	18.17	72.63
聚草③	85.89	3.49	0.61	1.56	2.14	6.31	2.54	18.01	72.80
苦草④	92.52	1.69	0.41	0.98	0.66	3.74	1.33	17.80	78.79
小茨藻⑤	92.72	1.81	0.54	1.29	1.34	2.30	1.28	17.52	70.50
轮叶黑藻⑥	90.94	2.15	0.35	1.51	1.49	3.56	1.53	16.90	71.21
紫背浮萍⑦	83.04	4.96	1.09	2.69	0.86	7.36	3.04	17.92	61.25

* ① *Potamogeton crispus* ② *Potamogeton maackianus* ③ *Myriophyllum spicatum* ④ *Vallisneria spiralis* ⑤ *Najas minor* ⑥ *Hydrilla verticillata* ⑦ *Spirodela polyrhiza*

从表 1 中可以看出七种水草的水分百分含量的变化范围为 80.85% (菹草)—92.72% (小茨藻)、蛋白质为 1.69% (苦草)—4.96% (紫背浮萍)、脂肪为 0.35% (轮叶黑藻)—1.09%(紫背浮萍)、灰分为 0.98%(苦草)—2.69%(紫背浮萍)、纤维素为 0.66%(苦草)—2.17%(黄丝草)、无氮浸出物为 2.30%(小茨藻)—9.95%(菹草)，能值的变化范围为 1.33 (苦草)—3.36 KJ/g 湿重(菹草) 或者 16.90 (轮叶黑藻)—18.17 KJ/g 干重。能量与蛋白质比 (C/P) 的变化范围为 61.25 (紫背浮萍)—78.79 (苦草)。

七种水草均含有常见的十七种氨基酸(除因酸水解处理色氨酸未作分析外)，其中包括必需氨基酸九种(异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、缬氨酸、精氨酸及组氨酸) 和八种非必需氨基酸。七种水草中菹草的氨基酸总含量最高 (36.63 mg/g 湿重)、苦草最低 (12.92 mg/g 湿重)，必需氨基酸含量最高的是菹草 (占氨基酸总含量 48.63%)、最低是紫背浮萍(占氨基酸总含量 34.42%)。七种水草中最高含量的必需氨基

表 2 七种水草氨基酸含量（单位：mg/g 湿重）

Tab. 2 Composition of amino acids of seven aquatic macrophytes (mg/g wet)

水草 Aquatic macrophytes	苴草①	黄丝草②	聚草③	苦草④	小茨藻⑤	轮叶黑藻⑥	紫背浮萍⑦
天冬氨酸 ASP	4.42	3.88	5.26	1.52	4.19	3.55	1.93
苏氨酸 THR	1.80	1.64	1.02	0.58	0.94	0.91	0.88
丝氨酸 SER	2.01	1.97	1.26	0.71	0.98	1.05	1.08
谷氨酸 GLU	4.44	4.02	4.35	1.44	3.09	2.42	2.96
甘氨酸 GLY	2.16	2.09	1.21	0.88	1.17	1.30	3.70
丙氨酸 ALA	2.38	2.19	1.51	0.84	1.30	1.20	1.80
胱氨酸 CYS	0.46	0.38	0.30	0.23	0.16	0.13	0.17
缬氨酸 VAL	2.38	2.17	1.50	0.82	1.27	1.14	1.00
蛋氨酸 MET	1.05	1.04	1.02	0.44	0.30	0.16	0.27
异亮氨酸 ILE	1.92	1.68	1.11	0.63	1.03	0.92	0.81
亮氨酸 LEU	3.39	3.17	2.03	1.20	1.92	1.80	1.37
酪氨酸 TYR	1.46	1.45	0.90	0.47	0.65	0.67	0.64
苯丙氨酸 PHE	2.55	2.45	1.51	0.92	1.09	1.03	0.84
赖氨酸 LYS	1.86	1.37	1.31	0.64	1.17	1.02	0.85
组氨酸 HIS	0.65	0.62	0.45	0.27	0.38	0.32	0.38
精氨酸 ARG	2.03	1.80	1.19	0.69	1.05	1.04	1.33
脯氨酸 PRO	1.67	1.54	0.99	0.64	0.91	0.94	2.45
*必需氨基酸(%)	48.63	47.64	41.38	47.91	42.36	42.57	34.42
氨基酸总和 Amino acids (total)	36.63	33.46	26.92	12.92	21.60	19.59	22.46

①—⑦ 同表 1, The same as Tab. 1

* 占氨基酸总和 % of total amino acids

酸均为亮氨酸、最低含量的氨基酸是组氨酸或蛋氨酸（表 2）。

从七种水草的氨基酸的总含量和能值比较可以看出，苴草的营养价值高，其余营养成分在七种水草中各有不同。由此可以认为栖息在天然水体中的草食性鱼类，从多种水草中获得较丰富多样的营养。

（二）草鱼、团头鲂对七种水草的消化率和最大摄食量(30℃)

本研究在实验室特定的条件下，测定了系列体重组的草鱼（139 尾、体长 8.70—22.02 cm，体重 10.50—226.56 g）和团头鲂（126 尾、体长 8.50—24.90 cm、体重 6.50—381.05 g）对苴草、黄丝草、聚草、苦草、小茨藻、轮叶黑藻和紫背浮萍的干物质、蛋白质、氨基酸、脂肪、灰分及碳水化合物的消化率及最大摄食量。

1. 草鱼、团头鲂对七种水草的消化率

在表 3、4 所列的草鱼和团头鲂的六个体重组对七种水草的消化率可以看出：同一体重组的鱼对七种水草的消化率是不同的，不同体重组的鱼对同一种水草的消化率也是存在差异的；还可以看出七种水草的消化率的高低与其营养成分消化程度有关；团头鲂对七

表 3　草鱼、团头鲂对七种水草的生化成分的消化率的比较（30℃）

Tab. 3　Comparison of digestibility of chemical components of seven aquatic macrophytes by grass carp and Chinese bream

鱼别	体长 B.L. (cm)	体重 B. W. (g)	苗草① DM	P	F	A	CH	黄丝草② DM	P	F	A	CH	聚草③ DM	P	F	A	CH
草鱼 Grass carp	11.06±0.15	23.00±1.37*(5)	55.32	63.33	60.03	51.09	53.63	48.52	64.07	69.80	30.69	47.58	52.31	73.55	61.59	24.46	47.19
	13.04±0.32	37.78±1.08(5)	58.13	65.64	62.55	54.17	56.55	49.87	65.01	70.59	32.51	48.96	54.62	74.83	63.45	28.12	49.75
	14.76±0.56	63.62±1.01(5)	60.42	67.52	64.60	56.68	58.93	52.30	66.71	72.02	35.78	51.43	58.10	76.76	66.25	33.63	53.61
	17.38±0.40	104.98±4.40(5)	63.21	69.81	67.09	59.73	61.82	53.94	67.85	72.98	37.99	53.10	62.77	79.35	70.01	41.03	58.78
	19.78±0.53	161.10±4.30(5)	65.31	71.53	68.97	63.44	64.00	56.71	69.79	74.60	41.72	55.92	63.04	79.50	70.23	41.46	59.08
	22.02±0.56	226.56±11.98(5)	67.24	73.12	70.70	64.14	66.00	59.62	71.82	76.31	45.64	58.88	64.28	80.19	71.23	43.42	60.45
	平均值±标准差 $\bar{X}\pm SD$		61.01±4.50	68.49±3.69	65.66±4.02	58.21±5.18	60.16±4.67	53.49±4.18	70.63±6.33	72.72±2.45	37.39±5.63	52.65±4.26	59.19±4.96	77.36±2.75	67.13±3.99	35.35±7.86	54.81±5.49
团头鲂 Chinese bream	11.20±0.20	24.18±1.34(5)	64.31	75.60	75.87	84.54	45.31	64.98	75.07	80.51	52.92	64.47	56.16	68.65	62.13	49.06	52.22
	13.68±0.49	37.04±1.04(5)	65.04	76.10	76.36	84.86	46.43	64.13	74.46	80.03	51.78	63.61	58.73	70.49	64.35	52.04	55.02
	17.12±0.26	66.54±2.75(5)	65.24	76.23	76.50	84.95	46.73	65.10	75.15	80.57	53.08	64.59	60.47	71.73	65.85	54.06	56.92
	20.12±0.30	107.50±4.18(5)	66.83	77.32	77.57	85.64	49.17	65.50	75.44	80.80	53.62	65.00	62.82	73.41	67.88	56.80	59.48
	24.00±1.41	250.10±46.96(2)	68.24	78.29	78.53	86.25	51.33	65.81	75.66	80.97	54.04	65.31	68.76	77.66	73.01	63.70	65.95
	24.90±0.57	381.05±5.02(2)	69.21	78.95	79.18	86.67	52.82	68.40	77.55	82.45	57.61	68.01	70.20	78.69	74.26	65.37	67.52
	平均值±标准差 $\bar{X}\pm SD$		66.48±1.95	77.08±1.33	77.34±1.32	85.49±0.85	48.63±2.99	65.66±1.47	75.56±1.06	80.89±0.83	53.84±2.00	65.17±1.51	62.86±5.59	73.44±4.00	67.91±4.83	56.84±6.50	59.52±6.09

续表 3

鱼别	体长 B. L. (cm)	体重 B. W. (g)	苦草④ DM	P	F	A	CH	小灰藻⑥ DM	P	F	A	CH
草鱼 Grass carp	11.06±0.15	23.00±1.37*(5)	58.31	64.95	77.34	71.96	51.05	56.48	65.05	77.03	57.31	48.86
	13.04±0.32	37.78±1.08(5)	60.22	66.56	78.38	73.25	53.29	57.97	66.12	77.73	58.62	50.43
	14.76±0.56	63.62±1.01(5)	63.05	68.94	79.92	75.15	56.62	58.42	66.61	78.06	59.22	51.15
	17.38±0.40	104.98±4.40(5)	66.74	72.04	81.92	77.63	60.95	60.23	68.07	79.01	60.99	53.27
	19.78±0.53	161.10±4.30(5)	68.31	73.36	82.78	78.69	62.79	65.44	72.25	81.76	66.10	59.39
	22.02±0.56	226.56±11.98(5)	70.24	74.98	83.83	79.99	65.06	68.81	74.96	83.54	69.01	63.35
	平均值±标准差 $\bar{X}\pm SD$		64.48 ± 4.72	70.14 ± 3.97	80.70 ± 2.57	76.11 ± 3.17	58.29 ± 5.54	61.23 ± 4.84	68.84 ± 3.91	79.52 ± 2.57	61.88 ± 4.65	54.41 ± 5.72
团头鲂 Chinese bream	11.20±0.20	24.18±1.34(5)	50.32	68.42	61.78	70.76	40.36	53.23	58.60	79.94	53.50	46.51
	13.68±0.49	37.04±1.04(5)	52.61	69.88	63.55	72.10	43.10	54.94	60.11	80.67	55.20	48.46
	17.12±0.26	66.54±2.75(5)	54.36	70.99	64.89	73.13	45.21	56.77	61.73	81.46	57.01	50.56
	20.12±0.30	107.50±4.18(5)	58.29	73.49	67.92	75.45	49.92	59.03	63.73	82.43	59.26	53.14
	24.00±1.41	250.10±46.96(2)	60.71	75.03	69.78	76.87	52.83	62.81	67.08	84.05	63.02	57.46
	24.90±0.57	381.05±5.02(2)	61.01	75.22	70.01	77.05	53.19	65.42	69.39	85.17	65.62	60.45
	平均值±标准差 $\bar{X}\pm SD$		56.22 ± 4.44	72.17 ± 2.83	66.32 ± 3.42	74.23 ± 2.62	47.44 ± 5.33	58.70 ± 4.69	63.44 ± 4.15	82.29 ± 2.01	58.94 ± 4.66	52.76 ± 5.36

续表 3

鱼别	体长 B. L. (cm)	体重 B. W. (g)	轮叶黑藻⑥ DM	P	F	A	CH	紫背浮萍⑦ DM	P	F	A	CH
草鱼 Grass carp	11.06±0.15	23.00±1.37*(5)	60.98	79.02	81.66	51.11	54.80	70.90	85.93	83.26	68.34	61.05
	13.04±0.32	37.78±1.08(5)	64.13	80.71	83.14	55.05	58.45	74.17	87.49	85.11	71.84	65.35
	14.76±0.56	63.62±1.01(5)	66.37	81.92	84.19	57.86	61.05	76.97	88.86	86.75	74.94	69.17
	17.38±0.40	104.98±4.40(5)	67.44	82.49	84.69	59.20	62.29	80.09	90.37	88.54	78.33	73.34
	19.78±0.53	161.10±4.30(5)	68.22	82.91	85.06	60.18	63.19	83.42	91.98	90.46	81.96	77.80
	22.02±0.56	226.56±11.98(5)	70.13	83.94	85.96	62.58	65.41	87.57	93.99	92.85	86.47	83.36
	平均值±标准差 $\bar{X}\pm SD$		66.22 ± 3.24	81.83 ± 1.74	84.12 ± 1.52	57.66 ± 4.07	60.87 ± 3.76	78.85 ± 6.12	89.77 ± 2.96	87.83 ± 3.52	76.98 ± 6.66	71.68 ± 8.20
团头鲂 Chinese bream	11.20±0.20	24.18±1.34(5)	64.92	79.13	60.64	67.16	58.49	75.45	86.41	81.33	77.03	68.81
	13.68±0.49	37.04±1.04(5)	66.31	79.96	62.20	68.46	60.14	76.00	85.30	82.51	78.48	70.78
	17.12±0.26	66.54±2.75(5)	68.47	81.24	64.62	70.48	62.69	79.07	86.62	84.08	80.42	73.41
	20.12±0.30	107.50±4.18(5)	70.84	82.65	67.28	72.70	65.50	82.32	88.70	86.55	83.46	77.54
	24.00±1.41	250.10±46.96(2)	73.93	84.49	70.75	75.60	69.15	83.13	89.21	87.17	84.21	78.56
	24.90±0.57	381.05±5.02(2)	72.71	83.77	68.81	74.45	67.71	88.23	92.49	91.06	89.00	85.07
	平均值±标准差 $\bar{X}\pm SD$		69.53 ± 3.58	81.87 ± 2.13	65.72 ± 3.92	71.48 ± 3.35	63.95 ± 2.30	80.70 ± 4.85	88.12 ± 2.60	85.45 ± 3.55	82.10 ± 4.37	75.70 ± 5.94

* ()括号内表示鱼的尾数 Values in brackets represent number of fish, ①–⑦ 同表 1, The same as Tab. 1

DM——干物质 (Dry matter), P——蛋白质 (Protein), F——脂肪 (Fat), A——灰分 (Ash), CH——碳水化合物 (Carb hydrate)

表 4 草鱼、团头鲂对七种

Tab. 4 Digestibility of amino acids of seven aquatic

鱼别	水草名称	体长范围 S. L. (cm)	体重范围 B. W (g)	天冬氨酸 ASP	苏氨酸 THR	丝氨酸 SER	谷氨酸 GLU	甘氨酸 GLY	丙氨酸 ALA	胱氨酸 CYS
草鱼 Grass carp	苜草①	11.06—22.02	23.00—226.56	78.58 ±2.51	69.77 ±3.54	68.33 ±3.71	73.13 ±3.15	65.57 ±4.03	69.75 ±3.54	61.60 ±4.52
	黄丝草②			75.22 ±2.23	70.85 ±2.62	65.12 ±3.13	74.09 ±2.41	60.14 ±3.58	70.72 ±2.63	56.59 ±3.90
	聚草③			76.90 ±2.81	78.62 ±2.60	78.37 ±2.63	76.72 ±2.83	81.71 ±2.22	78.43 ±2.62	76.68 ±2.83
	苦草④			78.46 ±2.86	69.09 ±4.10	65.33 ±4.61	70.13 ±3.97	59.59 ±5.36	68.46 ±4.19	55.00 ±5.97
	小茨藻⑤			85.18 ±1.86	67.04 ±4.09	65.16 ±4.37	76.39 ±2.96	58.87 ±5.16	68.96 ±3.89	70.90 ±3.65
	轮叶黑藻⑥			90.86 ±0.88	84.03 ±1.53	81.02 ±1.82	86.32 ±1.32	61.53 ±3.69	82.26 ±1.70	53.23 ±4.49
	紫背浮萍⑦			89.04 ±3.17	88.94 ±3.20	87.86 ±3.51	91.14 ±2.56	95.31 ±1.36	92.83 ±2.08	87.56 ±3.60
团头鲂 Chinese bream	苜草①	11.20—24.90	24.18—381.05	68.08 ±1.86	70.40 ±1.72	71.13 ±1.78	72.24 ±1.61	86.43 ±0.79	75.42 ±1.43	61.33 ±2.25
	黄丝草②			80.90 ±0.83	76.32 ±1.02	71.64 ±1.23	78.15 ±0.95	63.86 ±1.57	76.65 ±1.01	68.31 ±1.37
	聚草③			73.03 ±4.06	74.53 ±3.84	73.97 ±3.92	74.61 ±3.82	77.97 ±3.32	75.86 ±3.64	73.47 ±3.99
	苦草④			91.95 ±0.84	62.88 ±3.77	59.07 ±4.16	71.22 ±2.92	48.78 ±5.20	67.62 ±3.29	44.28 ±5.65
	小茨藻⑤			86.69 ±1.51	70.13 ±3.39	63.76 ±4.11	77.01 ±2.61	36.11 ±7.25	66.01 ±3.86	43.21 ±6.44
	轮叶黑藻⑥			92.96 ±0.83	86.61 ±1.57	84.91 ±1.77	88.54 ±1.35	70.23 ±3.49	85.02 ±1.76	83.59 ±1.93
	紫背浮萍⑦			80.69 ±4.15	85.65 ±3.50	86.36 ±3.33	89.40 ±2.59	94.88 ±1.25	90.33 ±2.36	82.00 ±4.40

①—⑦ 同表 1, The same as Tab. 1.

种水草的消化率除苦草和小茨藻低于草鱼外，对其余五种水草消化率均高于草鱼。通过数理统计结果表明，鱼对水草的消化率与鱼体重相关显著，从取得七种水草消化率（$\hat{Y}$, %）与鱼体重（X, g）的关系式(表 5—6)可以看出两种鱼对七种水草的消化率，随着鱼体重增加而逐渐提高。

2. 草鱼、团头鲂对七种水草的最大日摄食量(30℃)

测定草鱼 20 个体重组和团头鲂 21 个体重组（表 7)。将测定结果进行数据处理，表明鱼对七种水草的最大日摄食量（$\hat{Y}$, g 湿重/24 h）与鱼体重（X, g）相关显著。在表

水草的氨基酸消化率（30℃）

macrophytes by grass carp and Chinese bream

缬氨酸 VAL	蛋氨酸 MET	异亮氨酸 ILE	亮氨酸 LEU	酪氨酸 TYR	苯丙氨酸 PHE	赖氨酸 LYS	组氨酸 HIS	精氨酸 ARG	脯氨酸 PRO	氨基酸消化率 Digestion (%)
69.07 ±3.62	75.23 ±2.91	69.70 ±3.54	69.38 ±3.59	69.02 ±3.63	71.73 ±3.31	76.17 ±2.79	71.84 ±3.29	73.35 ±2.86	64.27 ±4.18	71.56 ±3.33
71.19 ±2.59	93.59 ±0.58	68.35 ±2.85	70.02 ±2.70	56.94 ±3.87	60.54 ±3.55	73.22 ±2.41	61.24 ±3.48	73.42 ±2.39	69.00 ±2.79	69.81 ±2.71
78.22 ±2.65	77.19 ±2.77	78.71 ±2.59	76.90 ±2.81	78.95 ±2.56	75.58 ±2.97	73.13 ±3.26	79.15 ±2.52	78.34 ±2.63	81.55 ±2.25	77.84 ±2.69
71.46 ±3.79	77.95 ±2.93	68.03 ±4.25	68.73 ±4.15	63.92 ±4.79	68.63 ±4.17	64.92 ±4.66	57.17 ±5.69	72.99 ±3.59	60.72 ±5.21	68.80 ±4.14
69.75 ±3.79	74.13 ±3.25	69.11 ±3.87	69.89 ±3.78	61.79 ±4.79	68.67 ±3.93	76.12 ±3.00	67.33 ±4.10	68.96 ±3.89	59.07 ±5.13	72.32 ±3.47
82.52 ±1.68	78.89 ±2.03	79.43 ±1.97	82.36 ±1.69	70.75 ±2.81	79.01 ±2.02	90.06 ±0.95	77.82 ±2.13	83.11 ±1.62	82.39 ±1.69	82.44 ±1.69
85.83 ±4.10	90.60 ±2.72	86.26 ±3.92	85.33 ±4.25	84.14 ±5.05	86.40 ±3.94	91.04 ±2.59	88.87 ±3.22	94.43 ±1.61	95.51 ±1.30	90.98 ±2.61
65.39 ±2.01	60.09 ±2.32	65.57 ±2.00	65.15 ±2.03	65.84 ±1.99	66.93 ±1.92	51.19 ±2.84	71.10 ±1.68	66.48 ±1.95	85.13 ±0.86	72.00 ±1.63
76.53 ±1.02	68.75 ±1.28	77.76 ±0.96	78.80 ±0.92	67.01 ±1.43	76.65 ±1.01	74.98 ±1.08	69.96 ±1.30	80.15 ±0.86	76.03 ±1.04	75.90 ±1.06
74.40 ±3.85	77.06 ±3.45	73.08 ±4.05	74.73 ±3.81	76.15 ±3.59	73.97 ±3.92	77.72 ±3.36	75.24 ±3.73	76.91 ±3.44	74.81 ±3.79	75.02 ±3.76
59.79 ±4.10	73.73 ±2.67	61.24 ±3.94	63.59 ±3.69	54.97 ±4.57	62.28 ±3.83	65.66 ±3.48	63.83 ±3.67	67.54 ±3.29	59.42 ±4.12	72.62 ±2.78
71.71 ±3.21	73.85 ±2.97	72.74 ±3.10	74.62 ±2.88	54.89 ±5.12	73.10 ±3.06	70.71 ±3.33	63.13 ±4.34	63.03 ±4.20	43.27 ±6.44	70.56 ±3.34
87.17 ±1.50	73.34 ±3.13	86.75 ±1.56	86.97 ±1.53	84.99 ±1.76	87.58 ±1.46	90.44 ±1.12	81.98 ±2.22	87.40 ±1.48	80.23 ±2.32	86.52 ±1.58
83.17 ±4.11	85.83 ±3.46	82.29 ±4.33	80.03 ±4.88	83.26 ±4.09	79.96 ±4.90	82.90 ±4.18	86.41 ±3.32	87.77 ±2.99	94.22 ±1.41	87.76 ±2.99

8 的关系式中鱼体重指数 b 值小于 1（草鱼在 0.5236—0.7119 之间、团头鲂在 0.3580—0.7364 之间），表明随着鱼体增重鱼的绝对摄食量（每尾总体重摄食率）增加，而相对摄食量（单位体重摄食率）则减少。草鱼对七种水草的摄食量除轮叶黑藻低于团头鲂外，其余六种水草均高于团头鲂（表 7）。

综上所述，草鱼和团头鲂对七种水草的消化率随着鱼体增长而提高，摄食率（单位体重）则随着鱼体增长而减少。草鱼和团头鲂对七种水草的消化率最高的为紫背浮萍，最低的分别为黄丝草和苦草；草鱼和团头鲂分别对黄丝草和轮叶黑藻的摄食率最高，对菹草的摄食率最低。早已查明，鱼类对食物的消化率和摄食量的高低，主要取决于鱼类消化道结

表5 草鱼、团头鲂对七种水草消化率与体重的关系式 (30℃)

Tab. 5 Equations relating digestibility (Y,%) of seven aquatic macrophytes to body weight (X, g) in grass carp and Chinese bream

水 草	草鱼对水草干物质消化率 ($\hat{Y}_D$%) Grass carp	团头鲂对水草干物质消化率 ($\hat{Y}_D$%) Chinese bream
菹草①	$\hat{Y}_D = 42.6319X^{0.0842}$ ($r = 0.9994, n = 6$)	$\hat{Y}_D = 58.8647X^{0.0268}$ ($r = 0.9861, n = 6$)
黄丝草②	$\hat{Y}_D = 36.4119X^{0.0879}$ ($r = 0.9874, n = 6$)	$\hat{Y}_D = 60.7737X^{0.0170}$ ($r = 0.8287, n = 6$)
聚草③	$\hat{Y}_D = 38.9586X^{0.0955}$ ($r = 0.9772, n = 6$)	$\hat{Y}_D = 43.2695Y^{0.0818}$ ($r = 0.9947, n = 6$)
苦草④	$\hat{Y}_D = 44.6480X^{0.0840}$ ($r = 0.9964, n = 6$)	$\hat{Y}_D = 40.3824X^{0.0726}$ ($r = 0.9975, n = 6$)
小茨藻⑤	$\hat{Y}_D = 42.6062X^{0.0830}$ ($r = 0.933, n = 6$)	$\hat{Y}_D = 41.9719X^{0.07}{}_{40}$ ($r = 0.998, n = 6$)
轮叶黑藻⑥	$\hat{Y}_D = 51.9354X^{0.0560}$ ($r = 0.976, n = 6$)	$\hat{Y}_D = 56.3172X^{0.0460}$ ($r = 0.967, n = 6$)
紫背浮萍⑦	$\hat{Y}_D = 53.5706X^{0.0880}$ ($r = 0.995, n = 6$)	$\hat{Y}_D = 63.1176X^{0.0340}$ ($r = 0.971, n = 6$)

式中: X,g——鱼体重; ①—⑦ 同表 1, The same as Tab. 1

表6 草鱼、团头鲂对七种水草氨基酸消化率与体重的关系式 (30℃)

Tab. 6 Equations relating digestibility ($\hat{Y}_{A,C}$,%) of amino acids of seven aquatic macrophytes to body weight (X,g) in grass carp and Chinese bream

水 草	草鱼对水草氨基酸消化率 ($\hat{Y}_{A,C}$%) Grass carp	团头鲂对水草氨基酸消化率 ($\hat{Y}_{A,C}$%) Chinese bream
菹草①	$\hat{Y}_{A,C} = 56.66X^{0.0337}$ ($r = 0.9994$ $n = 6$)	$\hat{Y}_{AC} = 65.56X^{0.0207}$ ($r = 0.9853$ $n = 6$)
黄丝草②	$\hat{Y}_{A,C} = 57.68X^{0.0438}$ ($r = 0.9861$ $n = 6$)	$\hat{Y}_{AC} = 7231X^{0.0107}$ ($r = 0.8274$ $n = 6$)
聚草③	$\hat{Y}_{A,C} = 65.65X^{0.0391}$ ($r = 0.9800$ $n = 6$)	$\hat{Y}_{AC} = 60.80X^{0.0460}$ ($r = 0.9941$ $n = 6$)
苦草④	$\hat{Y}_{A,C} = 50.88X^{0.0691}$ ($r = 0.9965$ $n = 6$)	$\hat{Y}_{AC} = 61.96X^{0.0390}$ ($r = 0.9798$ $n = 6$)
小茨藻⑤	$\hat{Y}_{A,C} = 5800X^{0.0506}$ ($r = 0.9320$ $n = 6$)	$\hat{Y}_{AC} = 57.84X^{0.0437}$ ($r = 0.9971$ $n = 6$)
轮叶黑藻⑥	$\hat{Y}_{A,C} = 74.56X^{0.0231}$ ($r = 0.9783$ $n = 6$)	$\hat{Y}_{AC} = 80.30X^{0.0165}$ ($r = 0.9666$ $n = 6$)
紫背浮萍⑦	$\hat{Y}_{A,C} = 78.92X^{0.0326}$ ($r = 0.9928$ $n = 6$)	$\hat{Y}_{AC} = 76.37X^{0.0306}$ ($r = 0.9710$ $n = 6$)

X,g——鱼体重; ①—⑦ 同表 1, The same as Tab. 1

表7 草鱼、团头鲂对七种水草的最大摄食量 (30℃)

Tab. 7 The maximum rate of food consuption of seven aquatic macrophytes by grass carp and Chinese bream

草鱼 Grass carp				团头鲂 Chinese bream			
体长范围 S.L. range (cm)	体重范围 B.W.range (g)	水 草 Aquatic Plant	最大摄食量 (g) Maximum rate of food consumption (g) ($\bar{X}\pm SD$)	体长范围 S.L. range (cm)	体重范围 B.W.range (g)	水 草 Aquatic Plant	最大摄食量 (g) Maximum rate of food consumption (g) ($\bar{X}\pm SD$)
8.7—22.02	10.50—226.56	菹草①	15.15±7.89	8.50—24.90	6.50—381.05	(1) 菹草	9.49±6.91
		黄丝草②	35.40±16.89			(2) 黄丝草	17.48±16.77
		聚草③	32.40±23.42			(3) 聚草	17.89±13.42
		苦草④	28.32±17.12			(4) 苦草	14.73±12.43
		小茨藻⑤	27.67±18.34			(5) 小茨藻	17.23±7.51
		轮叶黑藻⑥	28.27±16.86			(6) 轮叶黑藻	33.04±13.29
		紫背浮萍⑦	23.60±15.85			(7) 紫背浮萍	18.01±10.20

①—⑦ 同表 1, The same as Tab. 1

表 8　草鱼及团头鲂对七种水草最大摄食量与体重的关系式（30℃）

Tab. 8　Equations relating maximum rate ($\hat{Y}_R$ g/24hr) of seven aquatic macrophtes to body weight (X, g) by grass carp and Chinese bream

水　草	草鱼最大摄食量 ($\hat{Y}_R$ g/24hr) Grass carp	团头鲂最大摄食量 ($\hat{Y}_R$ g/24hr) Chinese bream
苋草①	$\hat{Y}_R = 1.762X^{0.5236}$ (r = 0.9813, n = 20)	$\hat{Y}_R = 0.8914X^{0.5384}$ (r = 0.9703, n = 21)
黄丝草②	$\hat{Y}_R = 5.1654X^{0.4708}$ (r = 0.9701, n = 20)	$\hat{Y}_R = 0.6191X^{0.7364}$ (r = 0.9838, n = 21)
聚草③	$\hat{Y}_R = 1.6435X^{0.7119}$ (r = 0.9890, n = 20)	$\hat{Y}_R = 1.3018X^{0.5943}$ (r = 0.9612, n = 21)
苦草④	$\hat{Y}_R = 1.923X^{0.6489}$ (r = 0.9964, n = 20)	$\hat{Y}_R = 0.8991X^{0.6269}$ (r = 0.9101, n = 21)
小茨藻⑤	$\hat{Y}_R = 1.7718X^{0.6390}$ (r = 0.9770, n = 20)	$\hat{Y}_R = 1.9937X^{0.4390}$ (r = 0.9640, n = 21)
轮叶黑藻⑥	$\hat{Y}_R = 2.0037X^{0.6390}$ (r = 0.9950, n = 20)	$\hat{Y}_R = 7.66064X^{0.3580}$(r = 0.9790, n = 20)
紫背浮萍⑦	$\hat{Y}_R = 1.6670X^{0.6350}$ (r = 0.9750, n = 20)	$\hat{Y}_R = 2.7401X^{0.4370}$ (r = 0.9670, n = 21)

式中：X，g—鱼体重；①—⑦ 同表 1，The same as Tab. 1

构和功能、以及食物种类的结构和组分，此外还随着鱼的年龄、生理状况、摄食强度和环境因子（主要是水温和水溶解氧）而变化。鱼类消化食物主要是通过机械性消化（食物通过口、口腔、咽喉、胃及肠管的肌肉收缩、将食物磨碎、混合、使食物向消化道下方不断推移）和化学性消化（通过消化腺中的蛋白质、脂肪和糖酶，分别对食物中的蛋白质、脂肪和糖类等物质进行生化过程的分解，使之成为可被吸收的非特异性的小分子物质）两种消化方式。在一般正常的生理状况下，这两种方式的消化作用是同时进行、相互配合的[7]。草鱼和团头鲂虽属淡水鲤科鱼类，它们共同特点是消化道无胃，但是它们的消化道的结构和功能并不完全相同。草鱼的口端位，口裂中等，上颌稍突出于下颌，下咽齿为梳状栉齿，咽喉齿属碾磨型，有切割、磨损植物之嚼咀功能，肠管长度为体长的 2 倍[8,9]。团头鲂的口端位，吻较钝圆，上下颌等长，下咽齿细，齿端呈小钩状，咽喉齿属具有咀嚼的抓捕型，肠的长度为体长的 3 倍[10]。由此可以认为，草鱼和团头鲂对七种水草的消化率和摄食量的差异，除了七种水草的结构[11]和组分（表 1、2）的不同外，主要是由于两种鱼消化道结构和功能上存在差异。同时随着鱼机体发育和生长、其消化道的结构和功能不断完善、鱼对食物消化率不断提高；随鱼年龄增长，其摄食率也逐渐下降。在正常生理状况下，鱼类摄食量增大而消化率下降，这些都是鱼类摄食与消化生理的一般规律。本实验所取得结果正是反映了这一规律。

参　考　文　献

[1] 中山大学生物系教研室同位素实验室。草鱼的营养代谢生理研究 II. 应用 P^{32} 研究草鱼对几种水生植物的消化吸收。中山大学学报，1978，(1)：110—116。

[2] 刘文郁等。草鱼鱼种对几种植物性饲料的消化与利用。水生生物学集刊，1963，(3)：112—119。

[3] 蒋一珪、张锦霞、陈锡涛。草鱼的营养及饵料的研究，见：太平洋西部渔业委员会第七次全体会议论文集。北京：科学出版社，1966：88—94。

[4] Cai Z, Curtis L R. Effects of diet on consumption, growth and fatty acid composition in young grass carp. *Aquaculture*, 1989. **81**: 47—60.

[5] Fischer Z, The elements of energy balance in grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.). part IV. Consumption rates of grass rate fed on different type of food. *Polsk. Arch. Hydrobiol.*, 1973, **20**(2): 309—318.

[6] 陈少莲、胡传林，华元渝。鲢、鳙肌肉生化成分分析。水生生物学集刊，1983，**8**(1)：125—132。

[7] M. Z，勃朗编著，费鸿年译。鱼类生理学（上册）北京：科学出版社，1962，111—165。

[8] 倪达书、洪雪峰。草鱼消化道组织学研究。水生生物学集刊，1963，(3)：1—25。

[9] 湖北省水生生物研究所鱼类研究室。长江鱼类，北京：科学出版社，1960，98—99,107。
[10] 曹文宣。梁子湖的团头鲂和三角鲂。水生生物学集刊，1960，(1)：57—82。
[11] 中国科学院武汉植物研究所。中国水生维管束植物图谱。武汉：湖北人民出版社，1983。

NUTRITION AND BIOENERGETICS OF THE CHINESE HERBIVOROUS FISHES WITH IMPORTANT FOOD VALUES, II. MAXIMUM CONSUMPTION AND DIGESTION OF SEVEN AQUATIC PLANTS BY *CTENOPHARYNGODON IDELLA* AND *MEGALOBRAMA AMBLYCEPHALA*

Chen Shaolian Liu Xiaofang and Su Zegu

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan* 430072)

Abstract

Chemical composition and energy contents were determined for seven aquatic plants which are natural foods of herbivorous fishes Under laboratory conditions(water temperature = 30°C; dissolved oxygen = 8ppm; pH = 7—8; light intensity = 1800—2800Lx), measurements were made on the maximum rate of consumption and digestibilities of dry matter, protein, amino acids, fat, ash and carbohydrates in *Ctenopharyngodon idella* and *Megalobrama amblycephala* fed various aquatic plants. The size range was 8.70—22.02cm in length and 10.50—226.56g in weight for *C. idella*, and 8.50—24.96cm in length and 6.50—381.05g in weight for *M. amblycephala*.

1. In the seven aquatic plants (*Potamogeton crispus, Potamogeton maackianus, Myriophyllum spicatum, Vallisneria spiralis, Najas minor, Hydrilla verticillata* and *Spirodela polyrhiza*), water content ranged from 80.85—92.72%, protein content ranged from 1.69—4.96%, fat content ranged from 0.35—1.09% ash content ranged from 0.98—2.45%, cellulose content ranged from 0.66—2.17%, and the content of non-nitrogen extracts ranged from 2.30—9.95%.

The proteins of all the seven plants contained 17 common amino acids (tryptophane was not measured), including 9 essential amino acids for fish. The content of amino acids was highest in *P. crispus* (36.63mg/g wet wt.) and lowest in *V. spiralis* (12.92mg/g). Energy content was highest in *P. crispus* (3.36KJ/g wet wt.) and lowest in *N. minor* (1.28KJ/g).

2. Maximum rate of food consumption and digestibility in the two fish species fed each plant were related to the body weight (X, g) of the fish by the equation : $Y = aX^b$, where Y (g/24hr or %) is either maximum rate of food consumption or digestibility. As body weight increased, the relative consumption rate decreased and digestibility increased. Usually, *C. idella* had higher rates of maximum food consumption, but lower digestibilities than *M. amblycephala*.

Key words Aquatic plants, *Ctenopharyngodon idella*, *Megalobrama amblycephala*, Maximum consumption, Digestion