

10 种淡水常见浮游藻类营养组成的研究^{*}

曹吉祥¹⁾ 李德尚²⁾ 王金秋²⁾

(1) 中山大学生物工程研究中心, 广州 510275; 2) 青岛海洋大学水产学院)

摘 要 报导了淡水中绿藻 (蛋白核小球藻、小球衣藻、斜生栅藻)、蓝藻 (铜绿微囊藻、水华鱼腥藻、变异鱼腥藻)、隐藻 (卵形隐藻)、裸藻 (中型裸藻、血红裸藻) 及硅藻 (变异直链藻) 等门的 10 种常见浮游种类的 C、N、H 元素组成、脂肪、糖、灰分含量以及氨基酸、脂肪酸含量及组成。结果表明, 不同藻类之间营养组成差异很大。微囊藻、隐藻蛋白质含量最高, 其次为裸藻、绿藻, 硅藻最低; 氨基酸总量、必需氨基酸含量及主要氨基酸种类, 不同藻类之间有差异, 但 EAA 比例相差不大; 脂肪酸组成的差异最明显。

关键词 淡水浮游藻类; 营养组成

分类号 S 963. 161

有关淡水浮游藻类的营养组成, 已有一些报导^[1, 2]; 其中研究较多的为单细胞绿藻^[3]。淡水中经常出现 (或形成优势种) 的浮游藻类, 除绿藻门的种类外, 还有蓝藻、裸藻、隐藻、硅藻等门的种类。浮游藻类是水域生态系统中重要的初级生产者, 也是相当一部分水生动物的天然饵料。分析其营养组成, 不仅对生态系的能流、物流的研究, 而且对藻类营养价值的评判均有重要意义。本文分析比较了在实验室中培养的 10 种淡水常见浮游藻类的营养组成。

1 材料与方法

1. 1 实验藻类及培养

实验藻类种类及培养液如下: 蛋白核小球藻 *Chlorella pyrenoidosa* (简称小球藻), 小球衣藻 *Chlamydomonas microspheara* (简称衣藻) 及斜生栅藻 *Scenedesmus obliquus* (简称栅藻), 培养时用水生 4 号 (HB-4)^[3]; 铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa* (简称微囊藻), 水华鱼腥藻 *Anabaena flos-aquae* 及变异鱼腥藻 *A. variabilis* 培养液组成为 (mg/L): NaNO_3 (1 500), K_2HPO_4 (39), $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (75), NaCO_3 (20), CaCl_2 (27), $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (58), EDTA (1), 柠檬酸 (6), 柠檬酸铁 (6), As (1); 卵形隐藻 *Cryptomonas ovata* (简称隐藻), 用 WC 培养液培养^[5]; 中型裸藻 *Euglena intermedia* 及血红裸藻 *E. sanguinea*, 培养液组成为 (mg/L): NH_4NO_3 (500), KH_2PO_4 (500), MgSO_4 (250), NaCl (100), FeSO_4 (4), 脲 (200), 发酵人尿 (10); 变异直链藻 *Melosira varians* (简称直链藻), 培养液同蓝藻。血红裸藻于 1994 年 8 月采自山东省淡水水产试验场; 直链藻藻种由青岛海洋大学应用微藻研究所提供; 其余藻种均

^{*} 收稿日期: 1996-06-24 曹吉祥, 男, 32 岁, 博士

购自中科院水生生物研究所.培养中光强为 3 200~ 3 500 lux,温度为 (26± 1)℃. 24 h光照;不充气,每日摇动 3~ 5次.藻类培养至指数生长期并有较大密度时,离心收获.藻泥在 65℃下烘至恒重.充氮气密封保存 (− 18℃),备测.

1.2 基本成分的测定

- 基本成分包括 C, N, H元素组成及蛋白质、脂肪、糖类、灰分等的含量.
- 1.2.1 元素组成 以 PE240 C元素分析仪测定样品中的 C, H及 N含量;由 $N \times 6.25$ 得粗蛋白质含量^[4].
- 1.2.2 脂肪 以索氏抽提法测定脂肪含量.
- 1.2.3 总糖 以葡萄糖为标准,用蒽酮法测定总糖含量.
- 1.2.4 灰分 将已知重量的干样品置于马福炉 (500℃)中灼烧 4~ 6 h,冷却后称重,剩余的重量即为样品的灰分.

1.3 氨基酸的测定

样品经 6 mol/L盐酸处理后,以日立 835-50型氨基酸自动分析仪测定氨基酸含量.

1.4 脂肪酸的测定

测定脂肪酸时,用藻类鲜样品,在 HP 5880 A气相色谱仪上进行分析.

表 1 藻类的基本营养组成

Tab. 1 Principal biochemical composition of experimental algae %

藻 类	C	H	N	蛋白质	脂肪	糖	灰分
小球藻	46.38	6.48	8.39	52.44	7.51	32.57	7.48
衣藻	40.50	6.14	8.34	52.13	2.97	36.29	8.61
栅藻	51.28	7.46	8.72	54.50	4.34	30.37	10.79
微囊藻	29.55	4.15	11.18	69.78	2.11	16.83	11.18
水华鱼腥藻	68.76	4.38	6.81	42.56	3.10	43.72	10.62
变异鱼腥藻	38.73	6.14	7.11	44.44	3.24	40.71	11.61
隐藻	43.94	6.67	10.96	68.50	3.23	15.88	12.39
中型裸藻	40.39	6.45	10.04	62.75	15.41	10.75	11.09
血红裸藻	32.84	5.15	9.62	60.13	14.57	14.58	10.72
直链藻	16.88	3.0	3.55	22.19	5.23	22.65	49.33

2 结 果

2.1 基本营养组成

不同藻类之间基本营养组成差异很大(表 1). C元素以水华鱼腥藻含量最高,直链藻最低; N元素以微囊藻含量最高,直链藻最低.相应地,蛋白质含量微囊藻最高,直链藻最低.以蛋白质水平分组,10种藻类可划分为 4类.Ⅰ类(蛋白质 60% ~ 70%):微囊藻、隐藻、中型裸藻及血红裸藻;Ⅱ类(50% ~ 60%):栅藻、小球藻及衣藻;Ⅲ类(40% ~ 50%):水华鱼腥藻及变异鱼腥藻;Ⅳ类(20% ~ 30%):直链藻.同门藻类的蛋白质水平相近,如 3种绿藻、2种裸藻;但蓝藻间(微囊藻与鱼腥藻)差异较大.蛋白质是藻类的主要成分,其次为糖类;但直链藻例外.直链藻因含有大量的硅酸盐为其机体的构成物质,因而灰分含量最高.

2.2 氨基酸组成

实验藻类的氨基酸组成见表 2.实验中共检测了 17种氨基酸.氨基酸总量 $\sum A_i$ 及

必需氨基酸 (EAA) 含量,以微囊藻最高,其次为血红裸藻,直链藻最低;但 EAA 比例 $\sum EAA/\sum AA$,各种藻类之间相差不大 (45% ~ 50%). 3 种绿藻的氨基酸组成,以 Glu 含量最高,其次为 Asp 及 Leu; 3 种蓝藻中则以 Leu 最高,其次为 Gly(变异鱼腥藻为 Glu); 2 种裸藻均以 Glu 含量最高,但中型裸藻中 Arg 含量大大高于血红裸藻中的含量;隐藻及硅藻与绿藻的主要氨基酸相同,即 Glu 含量最高,其次为 Asp 及 Leu.

表 2 藻类的氨基酸组成¹⁾

Tab. 2 Amino acid composition of experimental algae $\times 10\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$

氨基酸	小球藻	衣藻	栅藻	微囊藻	水华 鱼腥藻	变异 鱼腥藻	隐藻	血红 裸藻	中型 裸藻	直链藻
必需氨基酸 EAA ²⁾										
Thr	2.22	2.35	2.51	2.55	1.23	2.24	2.44	2.74	2.13	1.07
Val	2.18	2.11	2.40	4.89	1.95	2.77	2.05	3.22	2.25	1.57
Met	0.28	0.78	0.53	0.25	0.29	0.51	0.29	0.35	0.71	0.25
Leu	3.92	3.28	3.82	5.23	5.27	3.71	3.24	3.67	3.10	1.41
Ile	1.63	1.27	1.49	3.37	1.66	2.19	1.44	1.95	1.21	1.07
Phe	1.96	1.94	2.10	1.73	0.64	2.13	1.98	2.01	1.71	0.91
Lys	2.14	2.26	2.30	2.52	0.43	1.66	2.30	3.96	2.27	0.46
Arg	1.93	2.14	2.39	2.34	1.49	1.36	2.20	1.98	4.06	0.30
His	0.56	0.56	0.41	0.33	0.30	0.50	0.46	0.71	0.62	0.77
非必需氨基酸										
Glu	4.28	4.39	4.45	2.82	1.77	4.92	4.16	5.47	4.48	1.54
Asp	3.46	3.61	4.14	2.89	2.01	5.69	3.98	4.71	3.46	1.34
Ser	1.23	1.44	1.30	2.57	0.73	1.55	1.18	1.92	1.42	0.66
Gly	2.25	2.25	2.46	3.44	5.24	2.36	1.47	3.96	3.16	1.04
Ala	3.44	3.43	3.44	4.73	1.47	3.05	3.16	3.96	2.83	1.04
Cys	1.75	1.55	1.65	1.01	0.72	0.60	1.84	0.41	1.36	0.30
Tyr	1.03	1.04	0.89	2.27	0.79	0.83	1.07	1.92	1.48	0.56
Pro	1.67	1.45	1.80	3.02	3.29	1.01	1.25	1.21	1.62	0.30
$\sum EAA$	16.82	16.69	17.95	23.21	13.26	17.47	16.40	20.59	18.06	7.81
$\sum AA$	35.93	35.84	38.04	46.16	28.28	37.48	35.80	43.19	36.61	16.84
$\sum EAA/\sum AA$	46.81	46.57	47.19	50.28	46.89	46.61	45.81	47.67	49.34	46.38

1) 色氨酸未测; 2) 指鱼类的 EAA

2.3 脂肪酸组成

不同藻类之间脂肪酸组成的差异非常大(表 3).根据碳链长度和不饱和双键数,10 种藻可分为 2 大类.Ⅰ类:包括 3 种绿藻和 3 种蓝藻,碳链在 12(或 14)~ 18 之间,不饱和双键有 1~ 4 个.Ⅱ类:包括隐藻、直链藻及 2 种裸藻,碳链在 12(或 14)~ 22 之间,不饱和双键为 1~ 6 个.由 PUFA(高度不饱和脂肪酸)总量看,隐藻最高,其次为衣藻及中型裸藻,微囊藻最低;而 PUFA 中营养价值较高的 $\omega 3$ PUFA 与 $\omega 6$ PUFA 比值,则以直链藻最高,其次为隐藻和衣藻,微囊藻最低.3 种绿藻中,小球藻及栅藻脂肪酸组成中均以 $C16:0$ 含量最高,其次为 $C18:3\omega 3$,而衣藻中则以 $C18:3\omega 3$ 最高, $C16:0$ 其次.3 种蓝藻脂肪酸组成均以 $C16:0$ 含量最高,直链藻以 $C16:0$ 含量最高,2 种裸藻中以 $C18:3\omega 3$ 含量最高.隐藻中

以 C18: 4 3 含量最高, 其次为 C18: 3 3 及 C16: 0.

表 3 藻类的脂肪酸组成 (相对含量)

Tab. 3 Fatty acid composition of experimental algae %

脂肪酸	小球藻	衣藻	栅藻	微囊藻	水华 鱼腥藻	变异 鱼腥藻	隐藻	血红 裸藻	中型 裸藻	直链藻
C12: 0	0.18	0.11	0.21	—	—	—	0.07	20.10	0.21	—
C14: 0	0.60	0.87	0.78	9.34	0.96	0.47	0.54	15.16	0.79	8.17
C14: 1 5	—	—	—	—	1.73	—	—	—	1.93	—
Cai-15: 0	2.16	12.7	2.65	4.29	—	1.80	1.61	1.88	3.58	—
Cai-16: 0	1.43	0.87	1.57	0.60	—	—	0.49	0.21	1.41	—
C15: 0	—	—	0.74	2.29	0.49	0.33	—	7.6	—	2.34
C16: 0	30.81	24.84	42.57	28.57	31.25	26.61	17.64	13.85	8.50	20.73
C16: 1 9	5.06	1.08	5.05	6.87	16.81	15.44	3.14	1.02	2.82	36.48
C16: 1 7	3.38	1.04	1.09	0.50	—	—	0.28	1.16	1.82	1.23
C16: 2 6	2.19	1.45	0.35	0.59	—	—	0.55	—	2.05	—
C16: 2 4	—	—	—	1.00	1.91	2.15	—	1.30	—	5.01
C17: 0	0.29	—	—	—	—	—	0.31	—	—	—
C16: 3 3	8.93	1.86	0.71	1.59	—	—	1.17	—	6.17	5.37
C16: 4 3	0.35	15.48	5.71	—	—	—	—	—	9.10	—
C18: 0	1.48	0.99	1.08	6.33	3.99	3.31	1.44	0.94	0.59	1.61
C18: 1 9	1.18	0.38	10.36	5.00	5.50	4.04	0.99	1.97	2.18	1.12
C18: 1 7	2.75	4.64	5.87	9.14	6.61	4.45	2.43	—	6.47	0.73
C18: 2 4	—	—	—	—	—	—	—	4.30	—	—
C18: 2 6	7.71	4.17	3.91	4.01	7.59	6.67	2.83	0.51	6.77	0.45
C18: 3 6	—	1.39	—	2.17	—	—	—	—	—	—
C18: 3 3	19.63	26.68	11.76	2.96	17.37	19.49	19.31	21.00	22.93	—
C18: 4 3	—	9.84	1.49	—	—	—	22.59	—	0.66	—
C20: 2 6	—	—	—	—	—	—	0.53	—	0.70	—
C20: 3 3	—	—	—	—	—	—	—	—	0.53	—
C20: 4 6	—	—	—	—	—	0.65	0.55	0.21	1.76	0.65
C20: 4 3	—	—	—	—	—	—	0.69	0.43	0.76	—
C20: 5 3	—	—	—	—	—	0.56	15.53	0.44	4.60	7.23
C22: 4 6	—	—	—	—	—	—	0.21	—	—	—
C22: 5 6	—	—	—	—	—	—	1.40	0.20	1.42	0.41
C22: 5 3	—	—	—	—	—	—	—	0.39	—	—
C22: 6 3	—	—	—	—	—	—	3.57	0.37	2.36	1.55
C24: 0	10.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Σ SFA	47.37	28.95	48.86	52.32	36.69	32.52	22.09	59.74	15.08	32.25
Σ MUFA	12.37	7.14	22.37	21.51	30.65	30.85	6.84	4.15	13.33	11.49
Σ PUFA	33.81	60.77	23.91	12.32	26.81	29.52	68.72	39.18	59.41	20.07
Σ ω 3	28.71	53.76	19.66	3.08	17.32	20.05	63.41	23.12	46.58	14.15
Σ ω 6	9.90	7.01	4.25	9.24	9.49	7.32	5.86	12.05	12.30	0.91
Σ ω 3 Σ ω 6	2.92	7.67	4.63	0.33	1.83	2.74	10.82	1.92	3.79	15.55

“ — ” 表示未检出

3 讨 论

3.1 藻类蛋白质及氨基酸组成

蛋白质是构成藻体干物质的主要化学物质(硅藻例外)。藻类在食物、饲料等方面的应用潜力,也正是基于藻类较高的蛋白质含量^[1]。但不同藻类之间蛋白质含量差异较大。实验表明,蓝藻中的微囊藻及隐藻、2种裸藻蛋白质含量高于绿藻,更高于硅藻(直链藻);在根据蛋白质含量对藻类的分类中,微囊藻、隐藻、裸藻分在Ⅰ类,绿藻在Ⅱ类,而直链藻Ⅳ类。一般规律是,蓝藻蛋白质含量最高,绿藻其次,硅藻最低。

Ahlgren等^[2]研究了淡水中蓝藻门、绿藻门种类的氨基酸组成;国内学者所作的研究也有一些报导^[3]。蓝藻中氨基酸含量较高,甚至高于奶粉中的含量^[2]。本次研究表明,微囊藻及鱼腥藻中均以 Leu 含量最高。有关绿藻(包括海产绿藻)氨基酸组成的报导较多^[2,6]。以前的研究及本次实验均表明单细胞绿藻以 Glu, Asp, Leu, Ala等为主要氨基酸。硅藻的蛋白质含量一般较低^[6],但其氨基酸组成并不差。直链藻的 EAA比例为 46.38%;曹淑莉^[6]也报导硅藻中角毛藻、褐指藻、骨条藻等的 EAA比例在 45.9%~55.7%之间。但裸藻及隐藻的氨基酸组成尚未见报导。

3.2 藻类的脂肪酸组成

Becker^[1]报导淡水中绿藻几乎不含有 3个以上不饱和双键的 PUFA。Ahlgren等^[2]认为绿藻仅含有少量 C18:4,而无 C16:4。本次实验表明,3种绿藻均含有 C16:4及 C18:4(表 3),其中衣藻 2种 PUFA的含量达 25.3%。Volkman^[7]报导海产绿藻中含有丰富的 C16:4及 C18:4;并认为这种特有的丰富脂肪酸可以在生态研究中用于估计绿藻和硅藻混合藻液中绿藻的相对含量。多数研究认为微藻中不具有 C18以上的饱和脂肪酸;即使通过灵敏的色谱分析,也只能在海产微藻中检测到。本次实验在小球藻中检测到占总量 10.4%的 C24:0。Ahlgren等^[2]也报导小球藻、衣藻及栅藻中有少量 C24:0。有报导认为,蓝藻脂肪酸组成中 MUFA(单不饱和脂肪酸)以 C16:1ω7最丰富^[2]。而本次实验表明微囊藻及鱼腥藻以 C16:1ω9含量最高,而较少或没有 C16:1ω7。微囊藻中 SFA(饱和脂肪酸)含量较高,而其 PUFA含量低,且 ω3ω6比值仅为 0.33。尽管同为原核生物,但蓝藻与细菌的脂肪酸组成有很大差别^[8]。一般认为,长链 PUFA是海产藻类所具有的特征^[9]。本次实验表明,淡水隐藻及硅藻含有大量的长链 PUFA。隐藻 PUFA组成中,具有高营养价值的 EPA(C20:5ω3)及 DHA(C22:6ω3)含量相当丰富,这一结论与已有报导相同^[2]。本次实验及他人研究均表明 C18:3ω3是隐藻中最丰富的脂肪酸^[2,9]。隐藻是许多浮游动物的优良饵料,与其含有丰富的 PUFA密切相关^[2]。有关硅藻的脂肪酸组成已进行了许多研究^[7];硅藻中最丰富的脂肪酸为 C16:1ω7及 C16:0,而本次实验的结果是直链藻中 C16:1ω9及 C16:0最丰富。直链藻含有丰富的 EPA及 DHA,与对其它硅藻所作的分析一致。裸藻脂肪酸的组成未见报导。2种裸藻均以 C18:3ω3含量最高,都含有长链 PUFA。但它们之间也有差异。血红裸藻 SFA含量很高,约为中型裸藻的 4倍(表 3),相应地其 PUFA比中型裸藻低得多。

藻类脂肪酸组成受诸如光照、温度、营养盐等理化因子的影响很大^[3]。但正常情况下,藻类脂肪酸组成具有稳定性。已有的报导及我们的实验均表明,不同藻之间脂肪酸组成差异很大,而同门或同属藻类在脂肪酸组成上具有共同的特征。这种特征为藻类的分类鉴别及进化研究提供了生物化学的参考指标。

参 考 文 献

- 1 Becker E W. Nutritional properties of microalgae, potentials and constrains. In A Richmond, ed, CRC Handbook of Microalgae Mass Culture. CRC Press, 1986. 339~ 419
- 2 Ahlgren G, Gustafsson I, Boberg M. Fatty acid content and composition of freshwater microalgae, J Phycol. 1992, 28 37
- 3 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用. 北京: 农业出版社, 1986. 272~ 356
- 4 Osborne D R, Voogt P. The Analysis of Nutrients in Foods. USA Academic Press, 1978. 45~ 55
- 5 Guillard R R L, Lorenzen C J. Yellow-green algae with chlorophyllide. J Phycol, 1972, 8 10
- 6 曹淑莉. 8种海洋饵料微藻蛋白质含量及氨基酸组成比例的比较研究. 海洋学报, 1993, 15(4): 98
- 7 Volkman J K. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. J Exp Mar Biol Ecol, 1989, 128 219
- 8 Kenyon C N. Fatty acid composition of unicellular strains of bluegreen algae J Bacteriol, 1972, 109(2): 827
- 9 Beach D H, Harrington G W, Holz, G G Jr. The polyunsaturated fatty acids of marine and freshwater cryptomonads. J Protozool, 1970, 17: 501

Studies on Biochemical Composition of 10 Species of Common Freshwater Phytoplankton

Cao Jixiang* Li Deshang Wang Jinqiu

Abstract The biochemical composition (C, N, H elements, fat, sugar, ash, amino acids and fatty acids) was studied of 10 species of common freshwater phytoplankton *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlamydomonas microspheara*, *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyta), *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae*, *A. variabills* (Cyanophyta), *Cryptomonas ovata* (Cryptophyta), *Euglena intermedia*, *E. sanguinea* (Euglenophyta), *Melosira varians* (Bacillariophyat). Results showed that there's great difference among the experimental algae. *M. aeruginosa* and *C. ovata* have the highest protein content, followed by *Euglena* and the greens, and diatom the lowest. Both total amino acid($\sum$ AA) and essential amino acid(EAA) contents were different, but the ratio of $\sum$ EAA $\sum$ AA very similar(43% ~ 50%). Fatty acid profile differs most obviously. *Cryptomonas*, *Euglena* and diatom contain 12~ 22 carbons and 1~ 6 double bonds, while the greens and blue-greens contain only 12~ 18 carbons and 1~ 4 double bonds.

Keywords freshwater phytoplankton, biochemical composition

* Biotechnology Research Center, Zhongshan University, Guangzhou 510275