

巢湖水质现状及浮游生物群落结构特征

李怀国¹, 杨长明^{2*}, 王育来³ (1. 安徽省巢湖管理局渔政管理总站, 安徽合肥 238000; 2. 同济大学长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092; 3. 安徽工业大学能源与环境学院, 安徽马鞍山 243002)

摘要 [目的]了解巢湖浮游生物群落结构特征。[方法]以巢湖为研究对象,分析巢湖全湖水体生源要素空间分布特征,监测巢湖浮游植物和浮游动物群落组成特征及多样性。[结果]巢湖氮磷比仍较适宜蓝藻生长,巢湖水域共鉴定出7门42属93种浮游植物,其中绿藻门为优势种(50种),浮游植物密度在 $1.48 \times 10^7 \sim 17.44 \times 10^7$ cells/L,且浮游植物群落结构不稳定,易受外界环境影响;浮游动物4门35属70种,其中轮虫种类数最多,占浮游动物总种类的45.71%,巢湖浮游动物多样性比较丰富,群落结构稳定性好。[结论]研究结果为巢湖生态恢复提供了基础数据。

关键词 巢湖;浮游植物;浮游动物;生物多样性

中图分类号 X524 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)22-0013-04

Water Quality and Community Structure Characteristics of Plankton in Chaohu Lake

LI Huai-guo¹, YANG Chang-ming^{2*}, WANG Yu-lai³ (1. Fishery Management Center, Chaohu Basin Authority of Ministry of Water Resources, Hefei, Anhui 238000; 2. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092; 3. School of Energy and Environment, Anhui University of Technology, Maanshan, Anhui 243002)

Abstract [Objective] The aim was to understand community structure characteristics of plankton in Chaohu Lake. [Method] We investigated water quality for Chaohu Lake. Simultaneously, we investigated the community structure of phytoplankton and zooplankton, including plankton composition, cell density and their biodiversity. [Result] The ratio of N/P was suitable to the growth of blue-green algae, and we identified 7 phyla, 42 genera and 93 species for phytoplankton in Chaohu Lake, and Cryptophyta was the dominant species (50 species). Phytoplankton cell density in Chaohu Lake ranged from 1.48×10^7 cells/L to 17.44×10^7 cells/L, and the phytoplankton community structure was unstable, which was affected by other environmental factors. Simultaneous, there were high richness biodiversity for zooplankton in Chaohu Lake, including 4 phyla, 35 genera and 70 species, and we observed rotifer was the dominant species, which contributed to 45.71% of zooplankton in Chaohu Lake, but the phytoplankton community structure was stable. [Conclusion] These results would provide the basic data and novel ideas for ecological restoration.

Key words Chaohu Lake; Phytoplankton; Zooplankton; Bio-diversity

随着城市化进程的加速,人类对流域水资源的过度开发与利用导致了流域水资源“质”和“量”方面的退化,进而影响了流域水生态系统的健康^[1]。巢湖是我国五大淡水湖之一,位于长江中下游左岸,属长江流域重要支流,属过流性湖泊。随着巢湖流域社会经济的快速发展和人口数量的急剧增加,大量污染物和营养盐不断排入巢湖,水环境质量与水生态功能日趋恶化。

生源要素(如氮和磷)是藻类生长最重要的营养因子,李哲等^[2]对三峡水库小江回水区进行调查,认为较低水平的氮磷比会诱使固氮型蓝藻迅速生长,并最终促成水华。在营养程度高的水体,光对浮游植物的群落结构影响非常重要;而在营养程度低或水力条件相对稳定的情况下,营养盐对浮游植物群落的结构影响较大^[3]。另外,有研究表明,除了营养状态的因素,浮游动物可能是控制浮游植物现存量的主要因子之一,“上行效应”和“下行效应”同时调节着浮游植物和浮游动物丰度的动态变化^[4]。提出浮游动物的生物量不仅是营养负荷的反映,而且取决于鱼类的存在,因为鱼类能够降低浮游动物的生物量,进一步引起浮游植物生长;武汉东湖利用放养鲢、鳙的办法控制了微囊藻的水华,至今效果长达10余年。笔者以巢湖为研究对象,考察了巢湖水体营养要素、浮游植物与浮游动物空间分布特征,并初步探讨了巢湖增殖放流的可能环境效益,以期对巢湖流域水生

态健康与可持续渔业发展提供新思路。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 巢湖(117°16'54"~117°51'46" E, 31°25'28"~31°43'28" N)是我国第五大淡水湖,位于长江下游的安徽省中部,是合肥沿湖县(市)区的重要饮用水源地,具有工业用水、农业灌溉、交通运输、渔业、防洪和旅游等多种功能。巢湖流域属北亚热带季风气候,四季分明,雨量适中,巢湖流域面积达13 350 km²,正常水位湖面面积为780 km²,平均深度为3 m。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集。在巢湖全湖设置20个调查样点(图1),于2015年7月20日采集水样,开展水质指标与浮游植物和浮游动物调查。水样于4℃保存并运回实验室进行分析。

1.2.2 水质分析方法。巢湖水体总氮(TN)、总磷(TP)、溶解性总氮(DTN)、溶解性总磷(DTP)、NH₄⁺、NO₃⁻、NO₂⁻、PO₄³⁻和COD_{Mn}采用国家水质标准监测分析方法^[5]。叶绿素a含量使用浮游植物荧光仪(Phyto-PAM, Walz)通过活体藻细胞叶绿素荧光测定,并通过传统方法(热乙醇法)^[6]进行校正。

1.2.3 浮游植物分析方法。浮游植物样品使用1 L的有机玻璃采水器于水面下0.5 m左右采样,转移到塑料采样瓶后立即加入15 mL鲁哥试剂进行固定。带回实验室后,将水样充分摇荡后倒入广口玻璃瓶内,静置24~48 h使浮游藻类自动沉淀下来,利用虹吸法将沉淀器中上清液缓慢吸出,剩余沉淀收集到定量瓶内浓缩至50 mL,以待镜检鉴定。种类鉴定参考用书为《中国淡水藻志》《淡水藻类写真(第一卷)》,

基金项目 国家水污染控制与治理科技重大专项(014ZX07303-003)。

作者简介 李怀国(1972—),男,安徽巢湖人,工程师,从事水环境保护研究。*通讯作者,副教授,博士,从事水环境保护研究。

收稿日期 2017-05-26

每个样品重复3次。

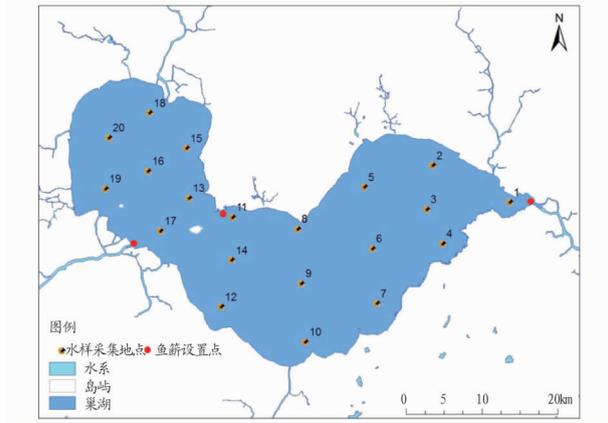


图1 巢湖调查点位分布

Fig.1 Map showing of sampling locations in Chaohu Lake

采用25号浮游生物网采集(网孔0.064 mm),于水面以下作“∞”状拖动浮游动物网数次,将浓缩于网头的水样收集于50 mL标本瓶中,用4%甲醛溶液现场固定,以待镜检鉴定。种类鉴定参照《淡水微型生物图谱》《淡水浮游生物研究方法》《中国淡水轮虫志》《中国动物志淡水枝角类》《中国动物志淡水桡足类》,每个样品重复3次。

1.2.4 数据处理。采用物种多样性指数——Shannon - Wiener 指数(H')、物种丰富度指数——Margalef 指数(d)和物种均匀度指数——Pielou 指数(J)。

$$\text{Shannon - Wiener 指数}(H') : H'_2 = - \sum_{i=1}^s P_i \times \ln P_i$$

$$P_i = n_i / N$$

$$\text{Margalef 指数}(d) : d_{\text{Ma}} = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

$$\text{Pielou 指数}(J) : J = \frac{H'}{H_{\text{max}}}, H_{\text{max}} = \log_2 S$$

式中, S 为群落中所有物种数目; N 为群落中所有个体数量; n_i 为群落中第*i*个种的个体数量。

2 结果与分析

2.1 巢湖水质现状分析 由表1可知,TN和TP分别为(5.11 ± 0.73)和(0.074 ± 0.055) mg/L,DTN和DTP含量分别为(3.58 ± 0.76)和(0.030 ± 0.026) mg/L,氨氮浓度为(0.71 ± 0.28) mg/L,COD_{Mn}含量为(3.95 ± 1.53) mg/L,叶绿素a含量为(14.15 ± 8.78) μg/L。巢湖水体污染主要是TP和TN超标,东半湖氮磷比基本维持在10.0~25.0;西半湖氮磷比近年来明显升高,但仍在25.0以下,基本维持在5.0~25.0,仍较适宜蓝藻生长。

表1 巢湖2015年7月各站点水质参数

Table 1 Water quality parameters for Chaohu Lake in July, 2015

点位 Locations	TN mg/L	DTN mg/L	TP mg/L	DTP mg/L	氨氮 Ammonia nitrogen mg/L	硝氮 Nitrate nitrogen mg/L	COD _{Mn} mg/L	Chl - a μg/L
1	3.57	3.50	0.02	0.002	0.55	0.26	2.21	13.14
2	6.30	2.18	0.03	0.002	0.44	0.29	3.06	6.00
3	6.26	2.14	0.02	0.006	0.46	0.36	2.94	8.64
4	4.98	2.34	0.01	0.002	0.79	0.33	2.46	6.71
5	5.13	3.51	0.03	0.026	0.90	0.25	2.92	5.14
6	5.12	3.55	0.08	0.002	0.98	0.26	3.37	7.65
7	5.74	3.49	0.04	0.002	0.93	0.32	3.81	13.76
8	4.95	3.50	0.04	0.021	0.94	0.38	3.71	13.09
9	4.97	3.58	0.07	0.039	0.82	0.32	3.88	19.90
10	5.73	5.06	0.05	0.028	0.91	0.41	3.90	35.57
11	4.91	4.07	0.09	0.032	0.52	0.59	3.58	12.33
12	5.16	3.51	0.07	0.045	0.49	0.50	4.50	10.23
13	5.82	4.75	0.12	0.061	0.46	0.56	4.96	30.82
14	5.98	4.84	0.17	0.015	0.51	0.46	3.40	12.36
15	4.30	3.63	0.06	0.026	0.44	0.20	3.20	10.54
16	4.34	3.46	0.11	0.058	0.45	0.28	4.36	13.31
17	5.41	3.57	0.06	0.037	1.03	0.26	3.50	10.13
18	4.11	3.62	0.07	0.037	0.54	0.33	3.33	7.24
19	5.10	3.51	0.24	0.100	1.48	0.20	7.18	31.93
20	4.30	3.73	0.10	0.061	0.56	0.20	8.67	14.42
平均 Average	5.11	3.58	0.07	0.030	0.71	0.34	3.95	14.15
SE	0.73	0.76	0.05	0.026	0.28	0.11	1.53	8.78
最大 Maximum	6.30	5.06	0.24	0.100	1.48	0.59	8.67	35.57
最小 Minimum	3.57	2.14	0.01	0.002	0.44	0.20	2.21	5.14

2.2 巢湖浮游植物群落结构特征

2.2.1 巢湖浮游植物组成。2015年夏季通过对巢湖水域20个采样点的采样调查,共鉴定出绿藻门(Chlorophyta)、硅藻

门(Bacillariophyta)、蓝藻门(Cyanophyta)、隐藻门(Cryptophyta)、甲藻门(Pyrophyta)、金藻门(Chrysophyta)和裸藻门(Euglenophyta)共7门42属93种(包括变种和变型)。其中,绿

藻门种类最多,为 50 种,占浮游植物种类总数的 53.76%;其次为裸藻门,共计 14 种,占浮游植物种类总数的 15.05%;蓝藻门共计 12 种,占浮游植物种类总数的 12.90%;硅藻门共计 11 种,占浮游植物种类总数的 11.83%;隐藻门 3 种,占浮游植物种类总数的 3.23%;甲藻门共计 2 种,占浮游植物种类总数的 2.15%;金藻门种类最少,为 1 种,占浮游植物种类总数的 1.08%。

以优势度指数 $Y > 0.02$ 定为优势种,通过 2015 年调查采样,巢湖共发现浮游植物优势类群为 1 门 2 属 2 种,分别为蓝藻门微囊藻属的微囊藻(*Microcystis* spp.)和假鱼腥藻属的假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.),其优势度分别为 0.90 和 0.02。

2.2.2 浮游植物现存量。由图 2 可知,2015 年调查采样巢湖 20 个采样点浮游植物密度在 $1.48 \times 10^7 \sim 17.44 \times 10^7$ cells/L,平均密度为 6.46×10^7 cells/L。其中,浮游植物最大密度出现在 13 号采样点,其次为 16 号采样点,浮游植物最小密度出现在 11 号采样点。巢湖水域 20 个采样点浮游植物生物量在 1.80 ~ 12.21 mg/L,平均生物量为 5.16 mg/L。浮游植物最大生物量出现在 13 号采样点,其次为 16 号采样点,浮游植物最小生物量出现在 5 号采样点。

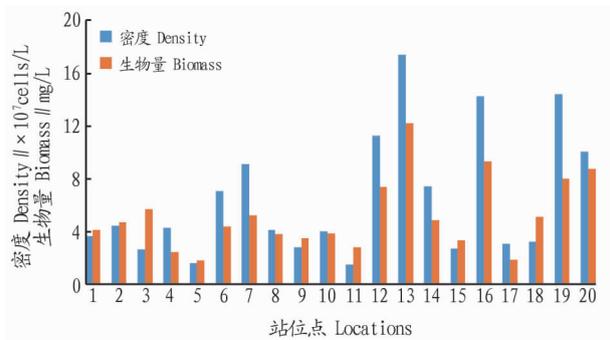


图 2 巢湖各采样点浮游植物密度和生物量的空间特征

Fig. 2 Spatial characteristics of density and biomass of the phytoplankton at Chaohu Lake's sampling points

2.2.3 浮游植物群落多样性。浮游植物作为水域中生命有机体的最原始生产者,其组成与多样性的变化将直接影响到江湖生态系统的结构与功能。多样性指数随藻类种(属)数的增多而增大,在受污染的水体中,Shannon - Weiner 指数减小,相似性增大,一些耐受污染的种类细胞数(个体数)明显增加,所以多样性指数越小,水体富营养化程度越严重。均匀度是实际多样性指数与理论上最大多样性指数的比值,是一个相对值,其数值在 0 ~ 1,用它来评价生物群落的多样性更为直观、清晰,能够反映出各物种个体数目分配的均匀程度。通常以均匀度大于 0.3 作为生物群落多样性较好的标准进行综合评价。一般而言,较为稳定的群落具有较高的多样性和均匀度。通过分析浮游生物群落的多样性能更好地反映调查水域的生态环境质量。

巢湖 20 个采样点浮游植物密度的调查结果(图 3)表明,该水域浮游植物的 Shannon - Weiner 指数在 0.11 ~ 1.85,均值为 0.86,Shannon - Weiner 指数最大值出现在 9 号采样点,最小值出现在 4 号采样点。浮游植物 Shannon - Weiner

指数是表示其种群多样性的特征值,一般认为大于 1 属于浮游植物生长正常,小于 1 时可能受到环境因素的影响,Shannon - Weiner 指数越大,水质越好。浮游植物群落 Shannon - Weiner 指数计算结果表明,巢湖水域浮游植物群落结构不稳定,易受外来因素的影响。

巢湖 20 个采样点浮游植物群落均匀度指数在 0.03 ~ 0.42,平均为 0.19。浮游植物群落均匀度指数最大值出现在 9 号采样点,最小值出现于 4 号采样点。巢湖水域浮游植物丰富度指数在 0.43 ~ 1.77,平均为 0.86。浮游植物群落丰富度指数最大值出现在 18 号采样点,最小值出现于 4 号采样点。



图 3 巢湖各采样点浮游植物多样性的空间特征

Fig. 3 Spatial characteristics of phytoplankton diversity at Chaohu Lake's sampling points

2.3 巢湖浮游动物群落结构特征

2.3.1 浮游动物群落组成。2015 年通过对巢湖 20 个采样点的定性采样调查,共鉴定浮游动物 4 门 35 属 70 种,其中轮虫种类数最多,为 16 属 32 种,占浮游动物总种类的 45.71%;原生动物次之,为 5 属 22 种,占浮游动物总种类的 31.43%;枝角类 7 属 9 种,占浮游动物总种类的 12.86%;桡足类种类数最少,为 7 属 7 种(包含桡足幼体和无节幼体),占浮游动物总种类的 10.00%。

以优势度指数 $Y > 0.02$ 定为优势种,通过 2015 年的调查采样,巢湖共发现浮游动物优势类群 3 门 5 属 5 种,分别为原生动物、轮虫和桡足类,其中原生动物和桡足类优势种均为 1 种,而轮虫优势种类最多为 3 种。第一优势种为原生动物的雷殿似铃壳虫(*Tintinnopsis leidyi* sp.),优势度为 0.28,第二优势种为轮虫类的针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*),其优势度为 0.09,之后为轮虫类的曲腿龟甲轮虫(*Keratella valaa*)和桡足类的无节幼体(*Copepod nauplii*),优势度分别为 0.09 和 0.05,而第五优势种为轮虫类的瘤甲腔轮虫(*Lecane nodosa*),其优势度为 0.02。

2.3.2 浮游动物群落现存量。2015 年巢湖 20 个采样点浮游动物的调查结果(图 4)表明,巢湖浮游动物平均密度为 2 734.05 ind./L,变化幅度为 748.35 ~ 13 788.15 ind./L,其中浮游动物最大密度出现在 15 号采样点,2 号采样点浮游动物密度最小;浮游动物生物量在 1.21 ~ 5.90 mg/L,浮游动物平均生物量为 2.90 mg/L,其中浮游动物最大密度出现在 19 号采样点,4 号采样点浮游动物密度最小。

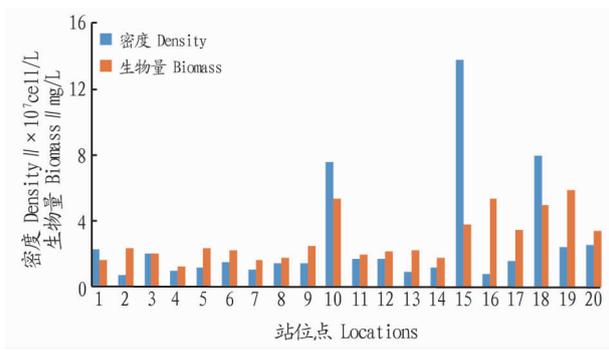


图4 巢湖各采样点浮游动物密度和生物量的空间特征

Fig. 4 Spatial characteristics of density and biomass of the zooplankton at Chaohu Lake's sampling points

2.3.3 浮游动物群落多样性。2015年巢湖浮游动物调查结果(图5)表明,巢湖浮游动物 Shannon - Weiner 指数在 1.64 ~ 3.85,平均值为 2.83,其中浮游动物多样性指数最高值出现在10号采样点,最低值出现在15号采样点;浮游动物均

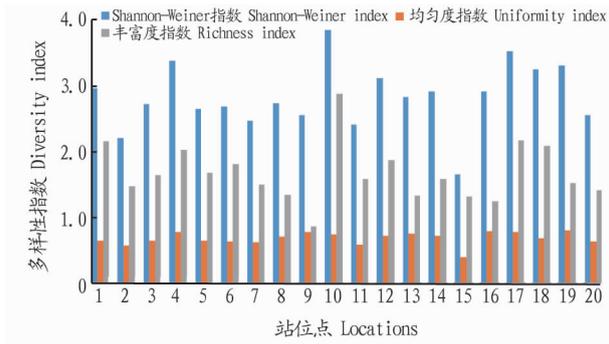


图5 巢湖各采样点浮游动物多样性的空间特征

Fig. 5 Spatial characteristics of zooplankton diversity at Chaohu Lake's sampling points

(上接第4页)

计)得率达 3.28%。该法与王顺民等^[12]的超声波协同乙醇-硫酸铵双水相体系提取法相比,总黄酮提取率提高了 16%,与乙醇回流法^[13]相比总黄酮提取率提高了 28%,并且用 95%乙醇-沸水浴回流提取 4 次,工业化生产成本相对较高;而该法使用石油醚^[13]对初提的总黄酮浓缩液进行除脂、脱色,消除了色素和脂类物质对黄酮含量测定的干扰,确保了黄酮含量的准确度和可靠性,可为新疆芫荽资源的精细加工提供参考。

参考文献

- [1] 刘永民. 维吾尔药志:上册[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1999:215.
- [2] 柴玉花. 美味良药话香菜[J]. 蔬菜,2002(1):40.
- [3] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表:全国分省值[M]. 北京:北京人民卫生出版社,1999.
- [4] 全国中草药汇编编写组. 全国中草药汇编[M]. 北京:人民卫生出版社,

均匀度指数在 0.39 ~ 0.79,平均值为 0.67,浮游动物均匀度指数最高值出现在 19 号采样点,最低值出现在 15 号采样点;浮游动物丰富度指数在 0.86 ~ 2.87,平均值为 1.67,其中浮游动物丰富度指数最高值出现在 10 号采样点,最低值出现在 9 号采样点。根据生物多样性阈值的分级评价标准,巢湖浮游动物多样性比较丰富;根据均匀度指数,群落结构稳定性较好。

3 结论

巢湖水体污染主要是总磷和总氮超标,氮磷比基本维持在 5.0 ~ 25.0,仍较适宜蓝藻生长。巢湖水域共鉴定出 7 门 42 属 93 种浮游植物,其中绿藻门为优势种(50 种),占浮游植物种类总数的 53.76%,浮游植物密度在 $1.48 \times 10^7 \sim 17.44 \times 10^7$ cells/L,且浮游植物群落结构不稳定,易受外界环境影响;巢湖水域共鉴定浮游动物 4 门 35 属 70 种,其中轮虫种类数最多,为 16 属 32 种,占浮游动物总种类的 45.71%。巢湖浮游动物多样性比较丰富,群落结构稳定性较好。

参考文献

- [1] 濮培民,王国祥,李正魁,等. 健康水生态系统的退化及其修复:理论、技术及应用[J]. 湖泊科学,2001,13(3):193-203.
- [2] 李哲,方芳,郭劲松,等. 三峡小江回水区段 2007 年春季水华与营养盐特征[J]. 湖泊科学,2009,21(1):36-44.
- [3] MOUSTAKA-GOUNI M, VARDAKA E, TRYFON E. Phytoplankton species succession in a shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): Steady-state dominance of *Limnothrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*[J]. Hydrobiologia, 2007, 575(1): 129-140.
- [4] BERNOT R J, DODDS W K, QUIST M C, et al. Spatial and temporal variability of zooplankton in a great plains reservoir[J]. Hydrobiologia, 2004, 525(1): 101-112.
- [5] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] 陈宇炜,陈开宁,胡耀辉. 浮游植物叶绿素 a 测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨[J]. 湖泊科学,2006,18(5):550-552.

1975.

- [5] VASI I G, KALINTHA B P. Amino acid composition of leafy vegetables[J]. J Inst Chemists, 1980, 152: 13-16.
- [6] 罗富英,张伟国. 新型植物调节剂在芫荽制种生产上的应用研究[J]. 种子, 2005, 24(11): 84-85.
- [7] 郭红转,陆占国,李健. 芫荽的研究开发现状[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(2): 104-106.
- [8] 李小梅,张丽苗,张景涛. 芫荽营养与药理作用研究[J]. 黑龙江农业科学, 2010(3): 121-123.
- [9] 黄泽元,王海滨,刘志伟. 芝麻叶中总黄酮的最佳提取工艺研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 201-204.
- [10] 华辉,郭勇. 黄酮类化合物药理研究进展[J]. 广东药学, 1999, 9(4): 9-12.
- [11] 周凌霄,杨荣华,岳富浩. 芫荽的抗菌作用研究[J]. 中国调味品, 2001(3): 21-32.
- [12] 王顺民,季长路,任晶晶. 超声波协同双水相体系提取芫荽总黄酮的研究[J]. 安徽工程科技学院学报(自然科学版), 2009, 24(3): 28-30, 48.
- [13] 刘恒蔚. 石油醚除脂处理对香菜总黄酮提取的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 13699-13700.