

不同收获策略对养殖长吻鮠网箱大藻生物量的影响

雷钧镓^{1,2,3,4}, 王奇杰^{1,3,4}, 马旭洲^{1,3,4*}, 王武^{1,3,4}, 高建忠^{1,3,4}, 李猛⁵, 李星星⁶

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 长沙正大有限公司, 长沙 410000; 3. 上海市水产养殖工程技术研究中心 上海 201306; 4. 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306; 5. 芜湖绿食农业投资有限公司, 芜湖 241000; 6. 遵义市水产站, 遵义 563002)

摘要: 为了降低网箱养殖长吻鮠对水体的污染, 探究环保型生态网箱, 在网箱内种植了漂浮植物大藻。为探讨合理的收获策略, 比较了几种不同收获方式对大藻生物量的影响。在收获频率分别为 5 d、10 d、15 d 和 20 d, 收获面积分别为 20%、40%、60% 和 80% 的条件下, 以收获频率为 5 d, 收获面积为 20%, 收获的生物量最多, 60 d 共收获大藻 13655.2 g。不同收获方式对大藻的氮和磷含量以及干湿重均无显著性影响。移除氮和磷量最多的是收获频率 5 d, 收获面积 20% 的收获策略, 60 d 共收获氮和磷量分别为 28.13 g 和 5.50 g, 移除氮和磷量分别为 26.62 g 和 5.06 g。移除氮和磷量最少的是收获频率 10 d, 收获面积 80% 的收获策略, 60 d 共收获氮和磷量分别为 8.88 g 和 1.80 g, 移除氮和磷量分别为 7.37 g 和 1.37 g。收获频率 5 d, 收获面积 20% 的收获策略的氮和磷的移除量是收获频率 10 d, 收获面积 80% 的收获策略的 3.61 倍和 3.69 倍。

关键词: 大藻(*Pistia stratiotes* L.); 收获频率; 收获面积; 生物量

中图分类号: S964.7

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)06-0955-05

Effects of different harvesting strategies on the biomass of cage *Pistia stratiotes*

LEI Junyi^{1,2,3,4}, WANG Qijie^{1,3,4}, MA Xuzhou^{1,3,4}, WANG Wu^{1,3,4}, GAO Jianzhong^{1,3,4}, LI Meng⁵, LI Xingxing⁶

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Chiatai Co.Ltd, Changsha 410000; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306; 4. Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai 201306; 5. Wuhu Green Food Agricultural Investments Co.Ltd, Wuhu 241000; 6. Zunyi Fisheries Technical Extension Station, Zunyi 563002)

Abstract: In order to decrease the water pollution and explore an environmentally friendly ecological cage culture system for *Pistia stratiotes*, the strategy of harvesting *Pistia stratiotes* plants grown in a net cage was studied and the effects of several harvesting ways on pistia biomass were compared. The experiment was carried out from September to October in 2012 in Yichang Yingwu Yangtze River Ecological Fishery Co. Ltd (northern latitude 30°46', east longitude 111°19'). The net cage was 1.0 m × 1.0 m × 1.0 m. The average water temperature was 25.2°C during the experiment. Under the experimental conditions of harvesting area of 20%, 40%, 60% and 80% with the harvest frequency of 5, 10, 15, and 20 d, respectively, the pistia biomass was the highest at the condition of 20% harvest area with the frequency of 5 days and a total of 13655.2 g biomass being harvested in 60 days. The different harvesting ways had no significant influence on the dry-wet weight and the content of nitrogen and phosphorus in *Pistia stratiotes*. The best strategy of removing N and P was to harvest at the harvest frequency of 5 days with the harvest area of 20% in which 26.62 g N and 5.06 g phosphorus were removed, respectively. The strategy of removing the least N and P was to harvest at the harvest frequency of 10 days with the harvest area of 80% in which only 7.37 g N and 1.37 g P were removed, respectively. The removal of N was 3.61 times higher in the frequency of 5 days with the harvest area of 20% than that of 10 days frequency and 80% harvest area. The removal of P was 3.69 times higher in the frequency of 5 days with the harvest area of 20% than that of 10 days frequency and 80% harvest area.

收稿日期: 2015-02-02

基金项目: 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心 (ZF1206) 和欧盟 FP7 亚欧水产平台项目(245020)共同资助。

作者简介: 雷钧镓, 硕士研究生。E-mail: whilejunyi@163.com

* 通信作者: 马旭洲, 博士, 副教授。E-mail: xzma@shou.edu.cn

Key words: *Pistia stratiotes*; harvest frequency; harvest area; biomass

网箱养殖长吻鮠具有高产、高效的优势,给人们带来了可观的经济效益,但网箱养殖面积的盲目增长也导致水体的污染越来越严重。利用水生植物净化污水投资少、设施简单、不产生二次污染、耗能低、管理方便、去污效果好等优点^[1],且长吻鮠是一种喜阴避光的鱼类,故在网箱内种植漂浮性水生植物大藻,通过定期采收大藻将水体中的氮和磷等营养元素带出水体,既可以减轻网箱养殖对水环境的污染^[2]又对长吻鮠起到了遮阴效果。由于种植了大藻,所以不需要在网箱表层加盖遮阳网,从而降低了养殖成本。水生植物的净增生物量是决定水生植物净化水质能力的一个重要因素^[3],所以网箱中水生植物的生物量增长量是衡量生态网箱净化能力的一个重要标准。

大藻(*Pistia stratiotes*),隶属天南星科(Araceae)大藻属(*Pistia*),为多年生漂浮性水生草本植物。关于利用大藻净化富营养化水体、大藻的初始放养密度^[4]以及光照强度对大藻生长影响^[5-16]的研究已有报道^[2,17-19],但关于大藻的收获频率和收获面积对大藻生物量影响的研究尚未报道。本试验初步研究了不同收获频率和收获面积对大藻生物量的影响,旨在探求大藻在最适初始放养密度下的收获策略,为大藻净化养鱼网箱水质提供基础数据和参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与试验材料

试验于2012年9—10月在宜昌英武长江生态渔业有限公司养殖基地(北纬30°46',东经111°19')进行,基地位于湖北宜昌百岁溪库湾内,库湾内水体流速为0.09~0.14 m·s⁻¹,水深为70~80 m,水体透明度为0.8~1.0 m,风力一般不超过5级。实验网箱为浮动式网箱,养殖网箱呈一字排列,每列20个网箱,串联4列为1组,网箱组与组之间相隔30 m,基地养殖鱼类品种为长吻鮠。试验用大藻来自基地网箱,试验网箱规格为1.0 m×1.0 m×1.0 m,网眼大小为3 cm×3 cm。

1.2 试验设计

选择长势良好、健壮、大小相近的大藻植株(2309.1±29.55) g投放于网箱内。按照不同收获频率分为4个大处理:5、10、15和20 d;每个收获频率按不同收获面积又分为4个梯度处理:收获80%、60%、40%和20%,每个处理均设3个平行,定期收获大藻并称重(表1)。实验开始和实验结束时,采

集样品(烘干后粉碎)测量大藻干重和氮、磷含量。试验期间平均水温为25.2℃,试验周期为60 d。

1.3 测定项目与方法

定期采收大藻,称重后取样分析,实验开始和结束时,采集的植物样品经H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后,TN、TP分别采用凯式定氮法和钒钼黄比色法测定。

1.4 有关计算方法

$$S_{GR}=(\ln W_t - \ln W_0)/t \times 100\%$$

式中, W_t :试验第 t 天大藻重量(g); W_0 :初始大藻重量(g); t :试验持续的天数(d)。

表 1 不同收获策略
Table 1 The different strategy of harvest

收获天数/d Days of harvest	5	10	15	20
收获面积/%	20	20	20	20
Area of harvest/%	40	40	40	40
	60	60	60	60
	80	80	80	80

1.5 统计分析

试验数据采用 EXCEL 软件进行处理,并用 SPSS19.0 软件对试验结果进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同收获方式对大藻生物量的影响

不同收获频率收获生物量不同,但同一收获频率随着收获面积的减少,收获的总生物量增加。收获频率为5 d、10 d和15 d的不同收获面积之间有显著性差异($P<0.05$)。收获频率20 d,收获面积20%与40%间无显著性差异($P>0.05$),与60%和80%间差异显著($P<0.05$);收获面积40%与60%和80%间差异显著($P<0.05$);收获面积60%与80%间差异显著($P<0.05$)。收获面积为20%和40%,不同收获频率收获的生物量差异显著($P<0.05$)。收获面积为60%,收获频率5 d与10 d间差异不显著($P>0.05$),与15 d和20 d间差异显著($P<0.05$);收获频率10 d与15 d和20 d间差异显著($P<0.05$);收获频率15 d与20 d间差异不显著($P>0.05$)。收获面积为80%,收获频率5 d与10 d和20 d间差异显著($P<0.05$),与15 d就差异间不显著($P>0.05$);收获频率10 d与15 d和20 d间差异显著($P<0.05$);收获频率15 d与20 d间差异显著($P<0.05$)。收获生物量最多的是收获频率5 d收获面积20%的收获方式(表2)。

表 2 不同收获方式对大藻生物量的影响

Table 2 Effects of different harvest methods on the *Pistia stratiotes* L. biomass

频率/天·次 ⁻¹ Frequency	80%	60%	40%	20%
初始投放/g Initial release	2317.4±31.97 ^a	2288.6±30.55 ^a	2327.0±24.60 ^a	2303.4±15.90 ^a
5	5628.0±48.32 ^{Bb}	6197.1±8.83 ^{bA}	8109.0±151.27 ^{cB}	13655.2±365.93 ^{dD}
10	4371.4±47.71 ^{aA}	6307.4±82.12 ^{bA}	9080.5±176.13 ^{cC}	11108.3±151.25 ^{dC}
15	5663.2±21.75 ^{aB}	7689.6±35.52 ^{bB}	9952.5±136.99 ^{cD}	8671.2±28.36 ^{dB}
20	6264.0±76.66 ^{aC}	7805.8±163.92 ^{cB}	7374.3±19.45 ^{bA}	7507.2±78.83 ^{bA}

注: 表中同一列标有不同字母的数据表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Note: Data in the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$). The same blow.

表 3 不同收获策略对大藻生物量特定生长率的影响

Table 3 Effects of different fishing frequency of *Pistia stratiotes* specific growth rate

频率/天·次 ⁻¹ Frequency	特定生长率 Specific growth rate			
	80%	60%	40%	20%
5	6.22±0.12 ^{aA}	5.90±0.08 ^{bA}	5.42±0.06 ^{cA}	4.83±0.09 ^{dA}
10	5.51±0.21 ^{aB}	5.22±0.11 ^{bB}	4.39±0.05 ^{cB}	3.05±0.15 ^{dB}
15	4.80±0.14 ^{aC}	4.25±0.35 ^{bC}	3.72±0.31 ^{cC}	2.60±0.08 ^{dC}
20	4.21±0.28 ^{aD}	3.61±0.19 ^{bD}	2.70±0.13 ^{cD}	2.22±0.04 ^{dD}

表 4 不同收获方式对大藻干重、氮磷含量的影响

Table 4 Effects of different harvesting methods on *Pistia stratiotes* wet and dry weight, nitrogen and phosphorus content

时间/收获量 date/harvest area	干重比率 Dry weight ratio		氮含量 Nitrogen content/(g)		磷含量 Phosphorus content/(g)	
	初始 Start	结束 Final	初始投入 Start	结束收获 Final	初始投入 Start	结束收获 Final
	5/80%	4.84±0.05 ^a	5.38±0.03 ^a	1.52±0.03 ^a	11.53±0.32 ^b	0.43±0.01 ^a
5/60%	4.79±0.01 ^a	5.36±0.01 ^a	1.52±0.06 ^a	12.46±0.18 ^c	0.44±0.01 ^a	2.72±0.12 ^{cd}
5/40%	4.83±0.02 ^a	5.40±0.05 ^a	1.48±0.03 ^a	16.92±0.76 ^f	0.43±0.02 ^a	3.29±0.81 ^{ef}
5/20%	4.83±0.01 ^a	5.41±0.03 ^a	1.51±0.02 ^a	28.13±1.18 ^k	0.44±0.02 ^a	5.50±0.69 ⁱ
10/80%	4.81±0.02 ^a	5.39±0.02 ^a	1.51±0.04 ^a	8.88±0.17 ^a	0.43±0.01 ^a	1.80±0.11 ^a
10/60%	4.82±0.01 ^a	5.35±0.03 ^a	1.54±0.01 ^a	12.84±0.56 ^c	0.44±0.01 ^a	2.75±0.20 ^{cd}
10/40%	4.84±0.07 ^a	5.39±0.03 ^a	1.52±0.02 ^a	18.50±0.39 ^h	0.43±0.02 ^a	3.69±0.36 ^f
10/20%	4.83±0.03 ^a	5.40±0.02 ^a	1.50±0.02 ^a	22.47±0.52 ^s	0.43±0.01 ^a	4.68±0.37 ^s
15/80%	4.81±0.04 ^a	5.40±0.01 ^a	1.55±0.03 ^a	11.19±0.29 ^b	0.43±0.01 ^a	2.29±0.16 ^{bc}
15/60%	4.83±0.02 ^a	5.38±0.03 ^a	1.53±0.01 ^a	15.74±0.68 ^e	0.44±0.01 ^a	3.30±0.22 ^{ef}
15/40%	4.82±0.04 ^a	5.39±0.03 ^a	1.52±0.02 ^a	20.14±0.52 ⁱ	0.44±0.01 ^a	4.18±0.31 ^h
15/20%	4.82±0.03 ^a	5.40±0.02 ^a	1.54±0.06 ^a	17.58±0.73 ^f	0.44±0.02 ^a	3.65±0.33 ^{ef}
20/80%	4.82±0.02 ^a	5.35±0.03 ^a	1.52±0.03 ^a	12.79±0.07 ^c	0.44±0.01 ^a	2.51±0.44 ^{bc}
20/60%	4.83±0.02 ^a	5.36±0.04 ^a	1.54±0.03 ^a	15.65±0.45 ^e	0.43±0.01 ^a	3.49±0.16 ^{ef}
20/40%	4.82±0.04 ^a	5.34±0.04 ^a	1.54±0.03 ^a	14.60±0.11 ^d	0.43±0.01 ^a	3.16±0.17 ^{de}
20/20%	4.85±0.04 ^a	5.37±0.01 ^a	1.51±0.02 ^a	15.08±0.60 ^{de}	0.43±0.01 ^a	3.17±0.32 ^{de}

2.2 不同收获方式对大藻特定生长率的影响

李猛等认为, 密度为 $2.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 大藻生长速度最快; 密度达 $5.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 大藻生物量几乎不再继续增加^[4]。说明大藻的密度影响其特定生长率。随着收获频率的降低, 收获面积相同的大藻特定生长率逐渐下降。收获频率 5 d、10 d、15 d 和 20 d, 收获面积 20%、40%、60%和 80%之间大藻特定生长率差异显著 ($P<0.05$)。随着收获面积的减少, 收获

频率相同的大藻特定生长率逐渐下降。收获面积 20%、40%、60%和 80%, 收获频率 5 d、10 d、15 d 和 20 d 之间大藻特定生长率差异显著 ($P<0.05$)。随着收获频率的降低, 收获面积 20%大藻的特定生长率逐渐下降的原因是由于每次收获 20%的面积后, 大藻密度依旧较大, 种间竞争力较强。收获面积为 80%特定生长率均较高 (表 3), 是因为收获 80%面积后, 初始密度较低, 大藻的生长空间足够,

但由于收获后密度较低导致其总的生物量有限(表2)。

2.3 不同收获方式对大藻的干重及氮磷含量影响

试验开始和结束时不同收获策略对大藻干湿重及大藻体内氮和磷含量均无显著影响($P>0.05$),这说明不同的收获策略并不能显著影响大藻体内氮和磷含量的多少,但大藻自身的氮和磷含量随着时间的生长增加会有一定的积累,体内干物质含量也会稍有增加^[7, 20-21],郭长城等对湿地植物香蒲的研究结果表明,不同生长时期的植物体氮和磷含量会有所变化^[22]。随着收获策略的不同,大藻移除的氮和磷含量不同,移除氮和磷量最多的收获策略是收获频率为5 d,收获面积为20%,60 d共收获氮28.13 g,磷5.50 g;移除氮26.62 g,移除磷5.06 g。(表4)。

3 讨论与结论

选择移除水体氮和磷含量的植物应满足4个要求:(1)对养殖鱼类的生长无显著性影响;(2)植物体内氮和磷含量高;(3)植物生长速度快;(4)植物打捞方便。漂浮植物大藻能满足以上4个要求。由于漂浮植物大藻能较快地生长,如果在池塘中放养会大量生长覆盖水体表面影响水体的溶氧,对鱼类的生长产生不利影响,而在大水体中种植对水体溶氧影响不大。大藻种植在网箱表层,只需要使用抄网定期打捞即可,操作简单易行。大藻最适生长繁殖温度为20~35℃,低于10℃不能正常生长繁殖,低于5℃难以保持生存能力,最适pH为6~10^[23];11月中旬时,大藻开始腐烂沉降,需要及时收获,防止N、P重新进入水体产生二次污染。不同收获策略收获的大藻生物量不同,这说明合理的收获策略能促进大藻更好地生长,收获面积为80%的大藻生长空间大,生长速度较快,但收获的总生物量并不是最多的,效果并不理想。而收获面积为20%的收获策略适合较高频率的收获方式,本实验中是通过控制大藻的密度来影响其收获策略,主要表现在不同收获策略大藻的特定生长率不同以及收获总量不同这两个方面。本试验中以收获频率为5 d,收获面积为20%收获的生物量最多,这可能是因为这种收获方式放养的大藻数量最接近大藻的最适放养密度^[4],大藻总的生物量增长最多。收获频率为5 d,收获面积为20%收获策略大藻的特定生长率最高。

有研究证明,水生植物的根系对水体也有净化作用^[24-26],大藻具有发达的根系,不仅可以通过吸收水体内的营养盐来满足自身的生长,也可以通过

吸附水体中的悬浮颗粒,形成根系附着物来达到净化水体的目的。大藻根系间附着物的重量与外界环境,自身根系长度等的关系,及大藻根系不同季节附着物的主要组成成分还有待进一步的试验研究。而收获的大藻可以用作绿肥,也可作为养猪养鱼的青饲料或者用作沼气。由于大藻性喜高温高湿,不耐严寒故其分布在长江以南地区,大藻生长迅速,繁殖能力很强,很容易过度繁殖引起河道堵塞等生态灾难,故可以在长江以南的网箱等易于控制便于管理的水体内运用大藻来净化养殖水体。

通过本试验,可以得到如下结论:

(1)初始放养密度一致的情况下,不同收获方式收获大藻的生物量不同。收获频率相同时,收获大藻的生物量随着收获面积的变化会有所变化。收获生物量最多的是收获频率5 d,收获面积为20%的收获方式。

(2)本试验中,以收获频率为5 d,收获面积为20%收获的生物量最多。这说明在一定范围内,高频率低面积的收获方式获得的大藻生物量最多。

(3)不同收获方式对大藻的干湿重以及体内的氮和磷含量没有显著性影响,所以通过收获最大的大藻生物量,可以有效地移除网箱中的氮和磷含量。单位面积移除氮磷量最多的是收获频率为5 d,收获面积为20%的收获策略,60 d共收获氮28.13 g,磷5.50 g。移除氮为26.62 g,移除磷为5.06 g。

参考文献:

- [1] 周小平,徐晓峰,王建国,等. 3种植物浮床对冬季富营养化水体氮磷的去除效果研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 102-104.
- [2] 李猛,马旭洲,王武. 大藻对网箱养殖长吻鮠氮、磷排放的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5): 402-406.
- [3] 金树权,周金波,朱晓丽,等. 10种水生植物的氮磷吸收和水质净化能力比较研究[J]. 农业环境保护, 2010, 29(8): 1571-1575.
- [4] 李猛,马旭洲,王武. 光照强度和初始放养密度对大藻生长的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(10): 162-165.
- [5] 王艺,韦小丽. 不同光照对植物生长、生理生化和形态结构的研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2010, 29(4): 353-359.
- [6] 徐飞,郭卫华,徐伟红,等. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3098-3107.
- [7] 李志刚,侯扶江,安渊. 不同光照强度对三种牧草生长发育的影响[J]. 中国草地学报, 2009, 31(3): 55-61.
- [8] 陈璇. 不同光照强度对3种石楠属植物幼苗生长影响[D]. 南京:南京林业大学, 2012.
- [9] 毛立彦,慕小倩,董改改,等. 光照强度对曼陀罗和紫

- 花曼陀罗生长发育的影响[J]. 植物生态学报, 2012, 36(3): 243-252.
- [10] 徐步青, 崔永一, 郭岑, 等. 不同光照强度和培养时间下铁皮石斛类原球茎生物量、多糖和生物碱量的动态变化[J]. 中草药, 2012, 43(2): 355-359.
- [11] 毛立彦. 光照强度及温度对曼陀罗生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [12] 唐前勇, 张耀华, 赵翠荣, 等. 不同温度和光照对紫叶酢浆草生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(3): 1737-1738.
- [13] 林卫东, 母其胜, 桑林, 等. 不同光照强度对香石竹生长的影响[J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2009, 29(4): 65-67.
- [14] 张建华, 范志伟, 沈奕德, 等. 不同光照率对飞机草生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(21): 9967-9968.
- [15] 陈中义, 王府京, 王英英, 等. 光照强度对 2 种来源的空心莲子草生长的影响[J]. 长江大学学报: 自然科学版(农学卷), 2007, 4(1): 68-71.
- [16] 季高华, 李燕, 王丽卿, 等. 光照对苦草种子发芽和生长的影响[J]. 科学养鱼, 2006(7): 43-44.
- [17] 娄敏, 廖柏寒, 刘红玉, 等. 3 种水生漂浮植物处理富营养化水体的研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 194-195.
- [18] 吾甫尔·米吉提, 艾尔肯·热合曼, 苏里坦·阿巴拜克力, 等. 利用水浮莲(*Pistia stratiotes* L.)净化城市污水的实践[J]. 中国环境科学, 2002, 22(3): 268-271.
- [19] Sooknah R D, Wilkie A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater[J]. Ecological Engineering, 2004, 22(1): 27-42.
- [20] Zimmels Y, Kirzhner R F, Malkovskaja A. Application of eichhornia crassipes and pistia stratiotes for treatment of urban sewage in Israel[J]. Journal of Environmental Management, 2006, 81: 420-428.
- [21] 李猛, 马旭洲, 王武. 大藻对水体氮磷去除效果的初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(9): 1137-1142.
- [22] 郭长城, 胡洪营, 李锋民, 等. 湿地植物香蒲体内氮、磷含量的季节变化及适宜收割期[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1020-1025.
- [23] 艾山江·阿布都拉, 古力孜拉·沙帕尔汉, 吾甫尔·米吉提. 水浮莲(*Pistia stratiotes* L.)在极端环境中的生存能力检测[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2007, 24(3): 335-338.
- [24] 罗固源, 韩金奎, 肖华, 等. 美人蕉和风车草人工浮床治理临江河[J]. 水处理技术, 2008, 34(8): 46-48.
- [25] 宋伟, 周庆, 王彦玲, 等. 几种植物净化能力的比较及浮床应用效果研究[J]. 江苏农业科学, 2010(5): 474-477.
- [26] 张毅敏, 高月香, 吴小敏, 等. 复合立体生物浮床技术对微污染水体氮磷的去除效果[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(Z1): 24-29.