



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101508490 B

(45) 授权公告日 2011. 09. 07

(21) 申请号 200910111411. 7

(22) 申请日 2009. 04. 01

(73) 专利权人 厦门大学

地址 361005 福建省厦门市思明南路 422 号

专利权人 厦门市筓筓湖管理中心

(72) 发明人 黄凌风 郑新庆 洪清波 张志英

吴佳鑫 谢天宏

(74) 专利代理机构 厦门南强之路专利事务所

35200

代理人 马应森

(51) Int. Cl.

C02F 3/32(2006. 01)

A01G 9/02(2006. 01)

C02F 103/08(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1953655 A, 2007. 04. 25, 说明书

41-44, 62, 112, , 117, 121, 122 段, 权利要求

10-13, , 29, 31, 32 及附图 3, 10.

JP 2002136983 A, 2002. 05. 14, 全文.

CN 2848843 Y, 2006. 12. 20, 全文.

姜丹 等. 盐度和温度对北美海蓬子在厦门海区引种以及生长特性的影响. 《植物学通报》. 2008, (第 5 期), 533.

审查员 王海才

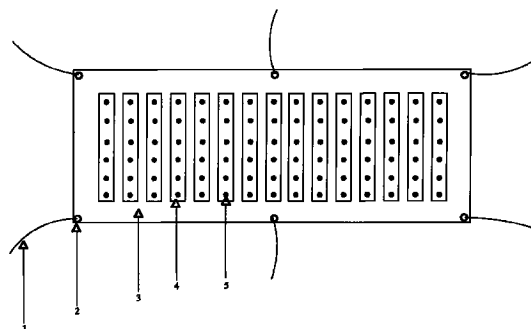
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种耐海水的生态浮床

(57) 摘要

一种耐海水的生态浮床, 涉及一种植物生长载体。提供一种能应用于富营养化海水环境的植物修复的耐海水的生态浮床、浮床固定装置和富营养化海水环境的植物修复方法。浮床设有床体和栽培植物, 床体设有双层塑料膜, 在双层塑料膜之间设泡沫条, 泡沫条上设栽培孔, 在双层塑料膜周边设固定环。固定装置设有固定桩和固定绳, 固定桩固定在水下, 固定绳与固定桩相连。修复方法: 制备浮床床体, 将固定桩打入水下, 沿水流方向将固定绳一端固定在固定桩上; 将耐盐修复植物扦插到栽培孔中, 运至修复区域; 将固定环与固定绳连接, 调节固定绳松紧度, 使固定绳能随着潮水的涨落上下浮动; 根据耐盐修复植物的生长状态和修复效果, 调整耐盐修复植物。



1. 一种耐海水的生态浮床,其特征在于设有床体、固定桩、固定绳和栽培植物,床体设有双层塑料膜,在双层塑料膜之间设有泡沫条,在泡沫条上设有用于栽培植物的栽培孔,在双层塑料膜周边设有固定环,栽培植物设在栽培孔内;所述双层塑料膜为双层透明的聚氯乙烯膜,双层塑料膜呈矩形;相邻泡沫条的间隔为8~15cm;

所述固定桩固定在水下,利用扎带将固定绳的一端与固定环连接,固定绳的另一端与固定桩连接,固定环设于双层塑料膜的4个角和两侧中部。

2. 富营养化海水环境的植物修复方法,其特征在于包括以下步骤:

1) 制备耐海水的生态浮床床体,所述耐海水的生态浮床设有床体和栽培植物,床体设有双层塑料膜,在双层塑料膜之间设有泡沫条,在泡沫条上设有用于栽培植物的栽培孔,在双层塑料膜周边设有固定环,栽培植物设在栽培孔内;

2) 将固定桩打入水下,沿水流方向将固定绳的一端固定在固定桩上;

3) 将耐盐修复植物扦插到耐海水的生态浮床床体的栽培孔中,再运至所需的修复区域,所述耐盐修复植物选自海马齿 *Sesuvium portulacastrum*(Linn.)Linn. 或北美海蓬子 *Salicornia bigelovii* Torr;

4) 将设于耐海水的生态浮床床体上的固定环与固定绳连接,调节固定绳松紧度,使固定绳能随着潮水的涨落上下浮动;

5) 根据耐盐修复植物的生长状态和修复效果,调整耐盐修复植物。

## 一种耐海水的生态浮床

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种植物生长载体,尤其是涉及一种能应用于富营养化海水环境的植物修复的耐海水的生态浮床。

### 背景技术

[0002] 滨海湿地在调节气候、污染物净化、防灾减灾、保护生物多样性、孕育海洋生物资源、提供旅游资源和后备国土资源等方面发挥重要作用。但这些区域位于海陆交互作用的重要地带,是地球上最脆弱的生态系统之一,一旦受到损害,很难自我恢复。伴随着社会经济的发展,各行业的排污倾废也迅速增加,造成滨海浅水湿地的富营养化、有机物污染、农药污染和重金属污染呈严重上升趋势,环境生态问题日益突出,不少内湾、泻湖、盐沼和河口已经成为了典型的高污染海水环境,需要人类积极介入,开展环境和生态修复工作。

[0003] 多年来,在滨海浅水湿地环境生态修复中,植物修复技术的研究和应用已经受到广泛的重视,大型海藻、红树林植物和其它耐盐植物的开发和利用分别在滩涂和浅海都已取得了一定的成效。但是,也遇到了一些不可回避的问题,如大米草等外来种入侵的问题(喻龙,龙江平,李建军,等. 生物修复技术研究进展及在滨海湿地中的应用. 海洋科学进展,2002. 20(4):99-108)。

[0004] 近年来,将陆生植物应用于受污水域环境修复的浮床型植物修复技术(也称生态浮床或浮岛技术)的开发和利用引起关注。该技术不但能够修复水环境,而且能较好地降低外来种入侵的风险,已成为淡水系统的湖泊、河渠等富营养化水体生物修复技术的亮点之一,在国内外得到一定的应用,取得较好的成效(Miyazaki A, Takeuchi T, Nakamura H, Yamamoto Y, Kubota F,2004.Characteristics of nutrient absorption and water purification in some plant species grown by floating culture system. Soil Science and Plant Nutrition,50:357-363;周小平,王建国,薛利红,等. 浮床植物系统对富营养化水体中氮、磷净化特征的初步研究. 应用生态学报,2005. 16:2199-2203)。

[0005] 实践证明,浮床型植物修复技术是一项成本低、效果好、应用广、生物安全性高的水环境生物修复的新技术。该技术的核心原理是将陆生植物种植在漂浮于水面的浮床上,利用伸入水中的植物根系吸收水中的营养盐、矿物质和其他污染物,降低水中污染负荷,改善水质,并通过收割植物最终将这些物质从水环境中移除。另外,水中的植物根系还能够吸附悬浮颗粒物,使水变清(陈桂珠,马曼杰. 香蒲植物净化塘净化生态系统调查研究. 生态学杂志,1999,9(4):11-15);植物的根际微生物系统能高效降解有机质,减轻有机污染(桑伟莲,孔繁翔. 植物修复研究进展. 环境科学进展,1999,7(3):40-44);一些植物还能分泌对赤潮生物有强烈抑制作用的抑藻物质(或称,克生物质)(唐萍,吴国荣,陆长梅,等. 凤眼莲根系分泌物对栅藻结构及代谢的影响. 环境科学学报,2005,20(3):355-359),降低赤潮发生的几率(杨小茹,苏建强,郑天凌. 化感作用在赤潮调控中的意义及前景. 环境科学学报,2008,28(2):219-226)。而且,利用该技术还能够构建水面生态景观,美化环境,因此,有很好的应用前景。

[0006] 尽管浮床型植物修复技术在城市河道、湖泊和水库等淡水环境治理上已得到较好的应用和推广。但是,由于海水的盐碱度问题,一般的陆生植物无法生长,而且海水的腐蚀性强,临海环境易受风浪影响,对植物种植载体(指浮床)的要求很高,所以,这种技术在海水环境治理上尚未得到开发和应用。因此,突破以上技术瓶颈成为了本发明的关键。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种能应用于富营养化海水环境的植物修复的耐海水的生态浮床。

[0008] 本发明的另一目的是提供一种用于耐海水的生态浮床固定装置。

[0009] 本发明的另一目的是提供一种富营养化海水环境的植物修复方法。

[0010] 本发明所述耐海水的生态浮床设有床体和栽培植物,床体设有双层塑料膜,在双层塑料膜之间设有泡沫条,在泡沫条上设有用于栽培植物的栽培孔,在双层塑料膜周边设有固定环,栽培植物设在栽培孔内。

[0011] 双层塑料膜最好采用双层透明的聚氯乙烯膜,双层塑料膜最好呈矩形。

[0012] 泡沫条最好为乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(EVA)条,相邻泡沫条的间隔最好为(8~15)cm。

[0013] 固定环最好设于双层塑料膜的4个角和两侧中部,用于固定浮床。

[0014] 泡沫条上所设栽培孔(或定植孔)的孔径标准以植物的茎粗细为主要参考指标。孔距以种植植物的最佳密度为标准。

[0015] 本发明所述耐海水的生态浮床的固定可采用简单实用的打桩方法,即将桩打在水下,再通过固定绳连接到耐海水的生态浮床的固定环上,使浮床得到固定。

[0016] 本发明所述用于耐海水的生态浮床的固定装置设有固定桩和固定绳,固定桩固定在水下,固定绳与固定桩相连,调节固定绳的松紧度,使其能随着潮水的涨落上下浮动。

[0017] 所述固定绳与固定桩相连最好是利用扎带将固定绳的一端与固定环连接,固定绳的另一端与固定桩连接。扎带可采用尼龙扎带,固定绳可采用尼龙绳。

[0018] 本发明所述富营养化海水环境的植物修复方法如下:

[0019] 1) 制备耐海水的生态浮床床体;

[0020] 2) 将固定桩打入水下,沿水流方向将固定绳的一端固定在固定桩上;

[0021] 3) 将耐盐修复植物扦插到耐海水的生态浮床床体的栽培孔中,再运至所需的修复区域;

[0022] 4) 将设于耐海水的生态浮床床体上的固定环与固定绳连接,调节固定绳松紧度,使固定绳能随着潮水的涨落上下浮动;

[0023] 5) 根据耐盐修复植物的生长状态和修复效果,调整耐盐修复植物。

[0024] 所述耐盐修复植物可选自海马齿 *Sesuvium portulacastrum* (Linn.) Linn. 和北美海蓬子 *Salicornia bigelovii* Torr 等。

[0025] 所述耐盐修复植物的生长状态是指耐盐修复植物的根系发育情况、耐盐修复植物的密度等。利用植物吸收水体中的氮、磷、金属元素等物质,达到净化湖水的目的。

[0026] 所述海马齿在生态浮床上生长状态良好,在根系发育完全后,相对生长率迅速提高(244.8%/month),其绝对生长率为15.5g FW/shoot/month。海马齿的生长受到密度的

制约,因此当海马齿的生物量约为  $1.6 \sim 2.0 \text{ kg FW/m}^2$  时,海马齿生长缓慢,此时应考虑开始收割部分海马齿,使其从竞争抑制中解放出来,进一步挖掘它的生长潜力,提高海马齿的修复效果。

[0027] 所述北美海蓬子生长迅速,相对生长率  $821.0\% / \text{month}$ ,绝对生长率  $36.2 \text{ gFW/shoot/month}$ ,能很好地适应水体浮床生态环境。

[0028] 通常,使用时,根据修复区域的面积,营建一定数量耐海水的浮床,以达到较好的修复效果。

[0029] 尽管浮床型植物修复技术在城市河道、湖泊和水库等淡水环境治理上已得到较好的应用和推广。但是,由于海水的盐碱度问题,一般的陆生植物无法生长,而且海水的腐蚀性强,临海环境易受风浪影响,对植物种植载体(指浮床)的要求很高,因此这种技术在海水环境治理上尚未得到开发和应用。突破以上技术瓶颈成为了本发明的关键,由此可见,本发明具有以下突出的优点:

[0030] 1) 本发明所采用的耐海水的生态浮床不仅具有成本低、耐腐蚀、老化速率慢、强度与柔韧性俱佳和抗波浪打击等特点,而且重量轻、浮力与承重大、对水体无污染。

[0031] 2) 本发明所采用的耐海水的生态浮床可采用聚氯乙烯膜中穿插 EVA 泡沫条结构,不仅材料易得,制作装配简单,而且透明的聚氯乙烯膜使阳光充分投射入水中,有利于水中大型海藻和好氧菌的生长和水体修复。

[0032] 3) 本发明所采用的耐海水的生态浮床由于没有固定的框架,因此当漂浮在海面时,可随潮水涨落自由伸缩,削弱波浪对耐海水的生态浮床的打击。

[0033] 4) 本发明所采用的耐海水的生态浮床在不用时可以卷起,减少占用的空间。浮床主要由轻质材料制成,浮床轻便,在制作、运输和储藏时易于操作,适于大面积推广;而且栽培方法简单,节省劳力。只要将栽培好的植株移植或扦插于栽培孔上即可,整个过程不到 20 分钟即可完成。

[0034] 5) 所述浮床型植物修复技术能适用在富营养化的咸水环境,通过栽培的耐盐植物生物量的增加,能有效去除水体 N 和 P 等生源要素,富集水体中的重金属元素,达到水质净化的目的。





[0035] 6) 本发明所采用的耐盐植物生长迅速,能迅速从水体中移出大量的生源要素。而且所述植物经济价值较高(除了含有普通蔬菜所含的各类营养成分外,粗蛋白、维生素 B2、维生素 C 以及胡萝卜素含量要比同类普通蔬菜高,其中胡萝卜素含量高近 40 倍,锌、硒等微量元素高出 2~6 倍,有突出的减肥、保健作用(参见文献:张华. 海水蔬菜有前景. 中国农业信息,2006,2:34),用于污染水体的治理,具有良好的经济和社会效益。

## 附图说明

[0036] 图 1 为本发明实施例的耐海水的生态浮床的结构示意图。

[0037] 图 2 为本发明实施例的耐海水的生态浮床放置在富营养水体中的立体侧视图。

[0038] 图 3 为本发明实施例的耐海水的生态浮床放置在富营养水体中的平面布置图。

[0039] 图 4 为本发明实施例栽培在某湖的海马齿根茎叶生物量及总生物量(干重)的月变化。在图 4 中,横坐标为月份,左纵坐标为生物量(gDW/ind.),右纵坐标为生物量(gDW/ind.);为根,为茎,为叶,为总生物量;回归方程为: $y =$

3.428x-19.872;绝对系数  $r^2 = 0.9545$ ,回归分析数据点  $n = 4$ ,概率  $p < 0.05$ 。

### 具体实施方式

[0040] 参见图 1 ~ 3,耐海水的生态浮床设有双层聚氯乙烯膜 3,在双层聚氯乙烯膜 3 之间设有乙烯-醋酸乙烯酯共聚物 (EVA) 泡沫条 4,在泡沫条 4 上设有用于栽培植物 6 的栽培孔 5,在双层聚氯乙烯膜 3 周边设有固定环 2。

[0041] 双层聚氯乙烯膜 3 为双层透明的聚氯乙烯膜,双层聚氯乙烯膜 3 呈矩形,相邻泡沫条的间隔为 (8 ~ 15)cm,固定环 2 设于双层聚氯乙烯膜 3 的 4 个角和两侧中部,用于固定浮床 9。

[0042] 泡沫条 4 上所设栽培孔 (或定植孔) 5 的孔径标准以植物的茎粗细为主要参考指标。孔距以种植植物的最佳密度为标准。

[0043] 耐海水的生态浮床的固定可采用简单实用的打桩方法,即将固定桩 7 打在水下,再通过固定绳 1 连接到耐海水的生态浮床 9 的固定环 2 上,固定绳 1 的另一端与固定桩 7 连接,固定桩 7 固定在水下,固定绳 1 可采用尼龙绳,使浮床 9 得到固定。

[0044] 浮床 9 为矩形,规格为长 300cm × 宽 150cm。聚氯乙烯膜透明,厚度为 0.15cm,每隔 10cm 双层聚氯乙烯膜上设有一个容纳泡沫条 4 的空间,15 条泡沫条 4 均匀穿插在双层聚氯乙烯膜 3 中间。泡沫条 4 上设有栽培植物的定植孔 5,孔径依栽种植物 6 的茎粗而定,孔距以种植植物的最佳密度为标准。以海马齿为例,孔径最好为 2cm,孔距最好为 25cm。泡沫条 4 的规格为长 120cm × 宽 10cm × 高 3.0cm,相邻两条泡沫条相距最好为 10cm。

[0045] 本发明通过打桩的方法来固定浮床,即将固定桩 7 打在水下,沿水流方向将两条固定绳 1 固定在固定桩 7 上,调节固定绳 1 的松紧度,使其能随着潮水的涨落上下浮动,使浮床 9 得到固定。

[0046] 本发明所述耐盐修复植物 6 可采用海马齿 *Sesuvium portulacastrum* (Linn.) Linn. 和北美海蓬子 *Salicornia bigelovii* Torr. 两种植物。

[0047] 所述海马齿在生态浮床上生长状态良好,在根系发育完全后,相对生长率迅速提高 (244.8% /month),其绝对生长率为 15.5g FW/shoot/month。所述海马齿的生长受到密度的制约,因此当海马齿的生物量约为 1.6 ~ 2.0kg FW/m<sup>2</sup> 时,海马齿生长缓慢,此时应考虑开始收割部分海马齿,使其从竞争抑制中解放出来,进一步挖掘它的生长潜力,提高海马齿的修复效果。

[0048] 所述北美海蓬子生长迅速,相对生长率 821.0% /month,绝对生长率 36.2gFW/shoot/month,能很好地适应浮床生态环境。

[0049] 本发明所述浮床最小理论使用寿命为 2 年。如果考虑到浮床上栽培的植物达到一定的覆盖面积,削弱阳光对浮床的暴晒,浮床的使用寿命将大大延长。

[0050] 本发明所述耐盐修复植物对富营养化的海水环境有明显的修复效果。

[0051] 所述海马齿对某湖富营养化水体 N 和 P 生源要素的月移除量分别为 1.11gN/m<sup>2</sup>/month 和 0.081gP/m<sup>2</sup>/month。按 500 亩的示范种植面积算,以海马齿为栽培对象,每年能从湖中移出 4.44t 氮和 0.32t 磷,能有效地减少湖水体生源要素的数量,达到良好的修复效果。

[0052] 所述马齿还具有富集水体的污染重金属元素的能力。它对重金属 Pb、Cd、Cu 和

Zn 的月富集量分别为  $56.02 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{month}$ 、 $5.25 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{month}$ 、 $147.42 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{month}$  和  $1888.24 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{month}$ ，富集效果明显。同样以某湖为例，按 500 亩的示范种植面积算，利用海马齿为栽培对象，通过在湖中开展浮床型植物修复，每年能从湖中移出 224.10kg 铅、21.00kg 镉、589.67kg 铜和 7552.90kg 锌，能有效地减少湖水体重金属的数量，达到良好的修复效果。

[0053] 以下实施例便于更好地理解本发明。

[0054] 实施例 1：某湖生态浮床的铺设方法

[0055] 在某湖干渠位置铺设 30 个浮床，具体实施方式如图 3 所示。首先在浮床放置区预先打好固定桩，沿水流方向拉两根径粗 2.5cm 的尼龙绳，调节尼龙绳松紧使其能随着潮水的涨落上下浮动。然后在岸上将海马齿扦插到浮床的栽培孔中，将浮床用机动舢板拖至浮床铺设区，用尼龙扎带将浮床紧紧固定在粗尼龙绳上。营建一定面积的植物修复浮床，利用植物吸收水体中的氮、磷、金属元素等物质，达到净化湖水的目的。

[0056] 实施例 2：浮床的使用寿命

[0057] 通过对铺设在某湖上不同时期浮床的聚乙烯膜进行拉伸测试和透射比测试，并以全新浮床作为对照评估浮床的使用寿命，其结果如表 1 所示。

[0058] (1) 本发明所采用的聚乙烯膜处于自然的老化过程中，受力能力与形变能力随着时间的推移缓慢下降。

[0059] 表 1

[0060]

时间 (week)	0	4	17	19	20	21	半年后 估算值
最大拉力 (N)	83.10 ±3.45	76.13 ±3.94	69.24 ±2.68	70.46 8.37	65.04 ±11.98	65.84 ±3.46	61.92
剩余拉伸强度 (%)	100.00 ±4.15	91.61 ±4.74	83.42 ±3.23	84.79 ±10.08	78.22 ±14.42	79.23 ±4.20	74.51
最大变形 (mm)	174.64 ±9.77	132.17 ±20.56	144.21 ±21.27	141.79 ±22.00	121.00 ±37.76	102.18 ±16.56	110.29
剩余变形强度 (%)	100.00 ±5.60	75.68 ±11.77	82.58 ±12.18	81.19 ±12.60	69.29 ±21.62	58.51 ±9.47	63.15
剩余透射率 (%)	100.00 ±0.99	95.57 ±1.40	80.08 ±2.33	77.93 ±5.93	76.88 ±17.64	75.84 ±5.20	68.95

[0061] (2) 本发明所采用聚乙烯膜的透射百分比会随使用时间的增加而下降，但速度缓慢。

[0062] (3) 在使用 21 周后的浮床完整性良好，无明显破损。由表 1 测得数据算出目前（半年后的估算值）浮床性能良好，符合实际情况。

[0063] (4) 通过表 1 的数据进行回归分析，利用曲线外推法估算，若浮床的性能下降到原来的 25% 将不能使用，则本发明浮床的理论寿命在 2 年以上。但是，如果考虑到浮床上栽培的植物达到一定的覆盖面积。削弱阳光对浮床的直接暴晒，浮床的使用寿命将大大延长。

[0064] 实施例 3 :栽培在某湖浮床上的海马齿的生长效果、对水体中生源元素的移除效果及其富集重金属的能力

[0065] 在某湖干渠铺设浮床栽培海马齿,浮床铺设和海马齿扦插方法如应用实施例 1 所述,海马齿的栽种密度  $\rho$  为 30shoot/m<sup>2</sup>。从 2008 年 4 月起至 10 月止,每月取样(样品数  $N = 10$ ),分别测定海马齿的茎节数和茎长,海马齿根、茎和叶的重量及总重量等生长参数(具体如表 2 所示),用相对生长率和绝对生长率评估海马齿的生长效果。相对生长率和绝对生长率计算公式如下:

[0066] 海马齿的相对生长率(%/month) =  $(B_{i+1}-B_i)/B_i \times 100\%$ ,绝对生长率(g/shoot/month) =  $(B_{i+1}-B_i)/t$ ;其中  $B_i$  为第  $i$  月单株海马齿的平均重量(g/shoot)。

[0067] 海马齿对水体中生源元素的移除率及对重金属的富集能力方法如下:取部分样品于 60℃ 烘 48h,研磨成粉后,测定海马齿的 N 和 P 含量,通过月移除量估算海马齿每月去除的生源要素的总量,月移除量(g/m<sup>2</sup>/month) =  $(X_{i+1}-X_i)/t$ ,其中  $X_i$  为第  $i$  月海马齿的 N 或 P 含量(g/m<sup>2</sup>)。C、N 含量经 CNH 元素分析仪测定;P 测定时,海马齿样品需先采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮法处理获得待测液,然后用磷钼蓝比色法测定。重金属的测定具体参照国标 GB 3097-1997 所述。通过月富集量估算海马齿每月从水体中去除的重金属总量,月富集量( $\mu$ g/m<sup>2</sup>/month) =  $M \times \rho \times (B_{i+1}-B_i)/t$ ,其中  $M$  表示每克海马齿(干物质)的重金属含量( $\mu$ g/g DW)。

[0068] 海马齿的生长情况见表 2 和图 4。在 6 月浮床栽培的海马齿根系长出后,海马齿生长情况良好,茎节数和茎长稳定增加,海马齿的生长率也迅速提高(表 2)图 4 也显示,从 6 月至 9 月,海马齿干物质的变化呈现出近线性增长的趋势。通过单因素方差分析,比较了 7 月~10 月海马齿根系部分的生物量的差异,检验结果显示它们之间无显著差异( $p > 0.05$ ),这说明自 7 月起,海马齿的根系已基本发育完全,此时,它的相对生长率也达到最高(244.8%/month)。9~10 月份,海马齿茎节数和茎长增幅减少,10 月份茎节数基本保持不变(表 2),这说明此时浮床上的海马齿生物量(1.6~2.0kg/m<sup>2</sup>)已经开始制约海马齿的生长,这也可以从海马齿 9~10 月根茎叶生物量的变化中进一步得到印证(表 2,图 4),此时可以考虑从浮床上收割部分海马齿,人为干扰降低浮床海马齿的密度和生物量,进一步挖掘它的生长潜力,提高海马齿的修复效果。但从总体平均来看,海马齿的绝对生长率仍高达 15.5g/month/shoot,能很好地适应浮床生态环境。虽然海马齿种植后第一个月内平均死亡率为 20.4%,但这主要是由于刚栽种的幼苗受到白鹭等鸟类踩踏和啄食。通过后期补种,最终成活率达到 100%。

[0069] 海马齿体内营养元素的月变化及水体营养元素的月移除量如表 3 所示。海马齿体内营养元素的月变化与其干物质的月变化相类似。在根系长出后,海马齿体内 N 和 P 含量迅速增加,在 6~9 月也表现出类似的线性增长趋势。和 9 月相比,10 月份的 N 和 P 含量没有增加甚至根、叶部分还略有下降,这和该时期海马齿高密度导致的生长缓慢有关。通过移除效率公式计算出每平方米的浮床栽种的海马齿对水体 N 和 P 的月移除量分别为 1.11gN/m<sup>2</sup>/month 和 0.081gP/m<sup>2</sup>/month。以 500 亩的示范种植面积算,利用海马齿为栽培对象,通过在某湖开展浮床型植物修复手段,每年能从某湖中移出 4.44t 氮和 0.32t 磷,能有效地减少湖水体生源要素的数量,达到良好的修复效果。

[0070] 表 2



[0071]

月份	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
茎节数	3.4±0.6	3.7±0.9	5.9±1.1	7.5±1.4	10.7±1.7	12.2±2.3	12.4±3.0
茎长 (cm)	12.5±2.0	14.0±1.6	20.0±3.8	32.2±10.3	44.8±11.7	47.1±12.0	54.7±19.4
根量 (g FW/shoot)	0.0	0.1±0.1	1.0±0.8	6.5±3.2	4.8±3.3	10.0±5.5	7.4±8.1
茎量 (g FW/shoot)	1.9±0.6	2.3±0.5	4.4±1.3	12.7±6.0	20.1±10.1	31.7±17.8	45.8±29.4
叶量 (g FW/shoot)	1.3±0.4	1.1±0.5	4.2±1.7	13.9±6.2	20.1±9.2	38.4±21.1	43.0±33.6
总量 (g FW/shoot)	3.2±0.8	3.5±0.7	9.6±3.6	33.1±14.6	44.9±21.2	80.1±42.3	96.2±66.8
相对生长率 (%/month)	/	9.4	174.3	244.8	35.6	78.4	20.1
平均死亡率 (%)				20.4			
绝对生长率 (g/shoot /month)				15.5			

[0072] 表 3

[0073]

元素	项目	月份							月移除量 (g/m <sup>2</sup> /month)
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	
N 含量 (gN/m <sup>2</sup> )	根	—	0.01	0.13	0.84	0.45	0.90	0.79	0.16
	茎	0.20	0.25	0.30	1.24	1.67	2.82	3.97	0.63
	叶	0.17	0.13	0.32	1.19	1.28	2.65	2.28	0.36
	总量	0.37	0.39	0.75	3.27	3.40	6.37	7.03	1.11
P 含量 (gP/m <sup>2</sup> )	根	—	CN	0.014	0.082	0.029	0.053	0.059	0.011
	茎	0.013	0.015	0.018	0.051	0.064	0.137	0.199	0.045
	叶	0.013	0.009	0.022	0.047	0.058	0.137	0.120	0.025
	总量	0.026	0.024	0.055	0.181	0.152	0.328	0.378	0.081

[0074] 注：“—”：该值不存在（4月份刚栽种的海马齿还没长出根系）。“CN”表示该月份海马齿的P含量没有测定。

[0075] 表 4

	重金属含量 ( $\mu\text{g/g}$ )				重金属月富集量 ( $\mu\text{g/m}^2/\text{month}$ )			
	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn
	[0076] 根	10.01	2.51	24.96	338.15	35.31	3.93	88.02
茎	1.98	0.10	6.50	71.13	10.92	0.555	35.865	392.48
叶	3.42	0.27	8.22	105.92	9.795	0.765	23.535	303.34
总量					56.02	5.25	147.42	1888.24

[0077] 海马齿根茎叶的重金属含量及重金属的月富集量如表 4 所示。结果显示,海马齿根部的四种重金属含量都明显高于茎、叶部分,其根部的 Pb 含量为  $10.011 \mu\text{g/g DW}$ ,分别为茎叶部分的 5.1 倍和 2.9 倍;Cd 含量为  $2.51 \mu\text{g/g DW}$ ,分别为茎叶部分的 25.1 倍和 9.3 倍;Cu 的含量为  $24.96 \mu\text{g/g DW}$ ,分别为茎叶部分的 3.8 倍和 3.0 倍;Zn 的含量为  $338.15 \mu\text{g/g DW}$ ,分别为茎叶部分的 4.8 倍和 3.2 倍。尽管海马齿根茎叶各部分各月的重金属含量并没有明显变化,但通过植株生物量的增加,海马齿体内的重金属含量逐渐增加,实现了对重金属的富集。它对 Pb、Cd、Cu 和 Zn 的月富集量分别为  $56.02 \mu\text{g/m}^2/\text{month}$ 、 $5.25 \mu\text{g/m}^2/\text{month}$ 、 $147.42 \mu\text{g/m}^2/\text{month}$  和  $1888.24 \mu\text{g/m}^2/\text{month}$ ,富集效果明显。同样以 500 亩的示范种植面积算,利用海马齿为栽培对象,通过在某湖开展浮床型植物修复,每年能从湖中移出 224.10kg 铅、21.00kg 镉、589.67kg 铜和 7552.90kg 锌,能有效减少湖水体重金属的数量,达到良好的修复效果。

[0078] 实施例 4:栽培在某湖浮床上的北美海蓬子的生长效果

[0079] 2007 年 12 月在湖干渠铺设浮床栽培北美海蓬子,浮床铺设和北美海蓬子扦插方法如应用实例 1 所述,栽种密度为  $30 \text{shoot/m}^2$ 。每周观察北美海蓬子的死亡情况并及时补种植株。4 个月后,在各浮床上随机采集北美海蓬子植株(样品数  $N=20$ ),测定北美海蓬子栽培前后生物量的变化,根据相对生长率和绝对生长率评估海马齿的生长效果,相对生长率和绝对生长率的计算如应用实例 2 所述。结果如表 5 所示。由于初始栽种在浮床上的北美海蓬子植株已有一定长度的根系,因此北美海蓬子的存活率较高(第一个月的存活率:  $94.9 \pm 2.6\%$ ),通过后期补种,最终成活率达 100%。在某湖,北美海蓬子生长迅速,相对生长率  $821.0\%/\text{month}$ ,绝对生长率  $36.2 \text{g/month/shoot}$ ,能很好地适应湖浮床生态环境。

[0080] 表 5

[0081]

第一个月的存活率 (%)	生物量(g/shoot)		相对生长率 (%/month)	绝对生长率 (g/month/shoot)
	初量	末量		
$94.9 \pm 2.6\%$	$4.4 \pm 0.6$	$148.9 \pm 38.9$	821.0	36.2

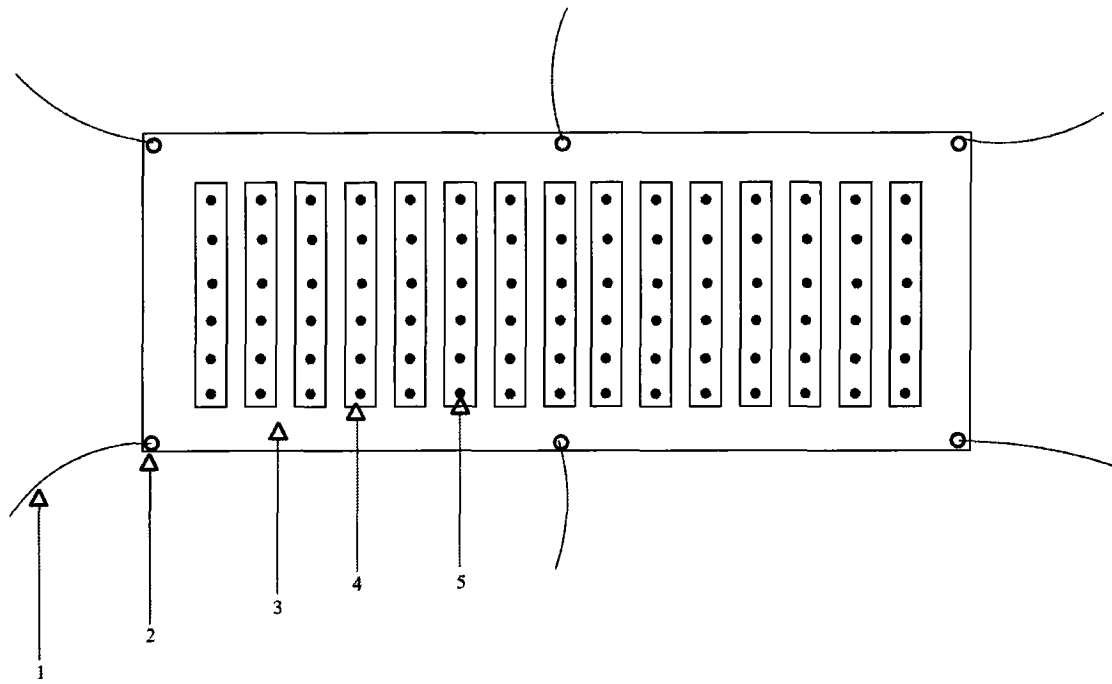


图 1

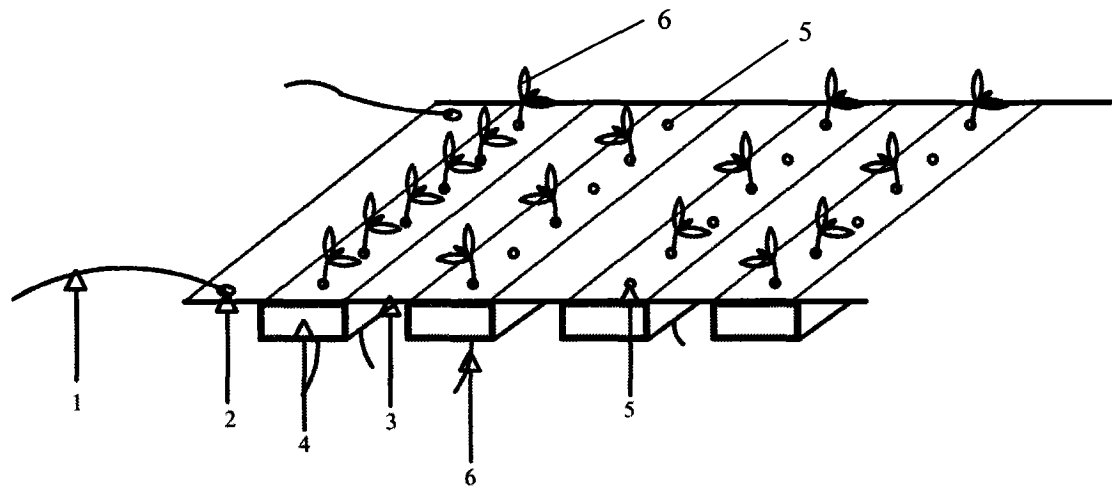


图 2

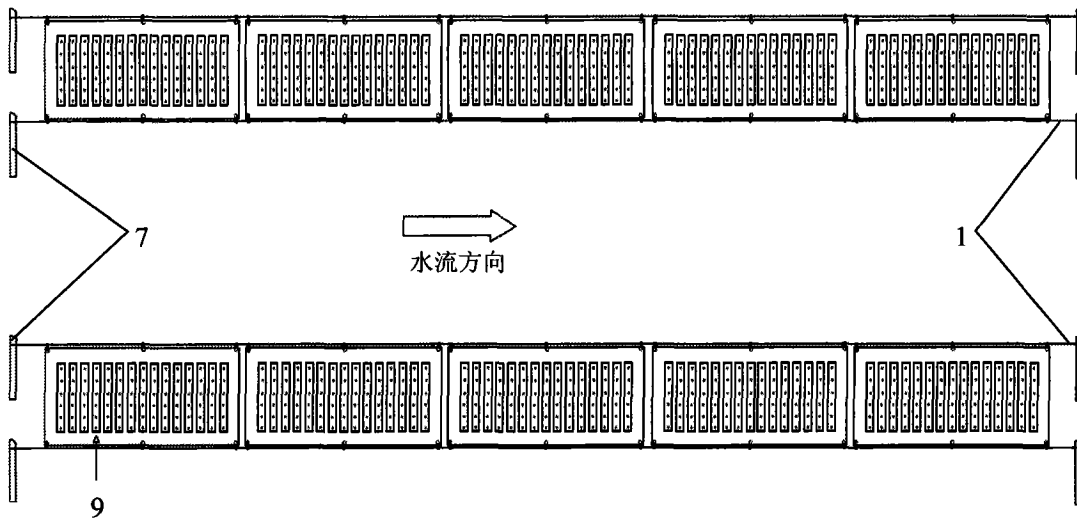


图 3

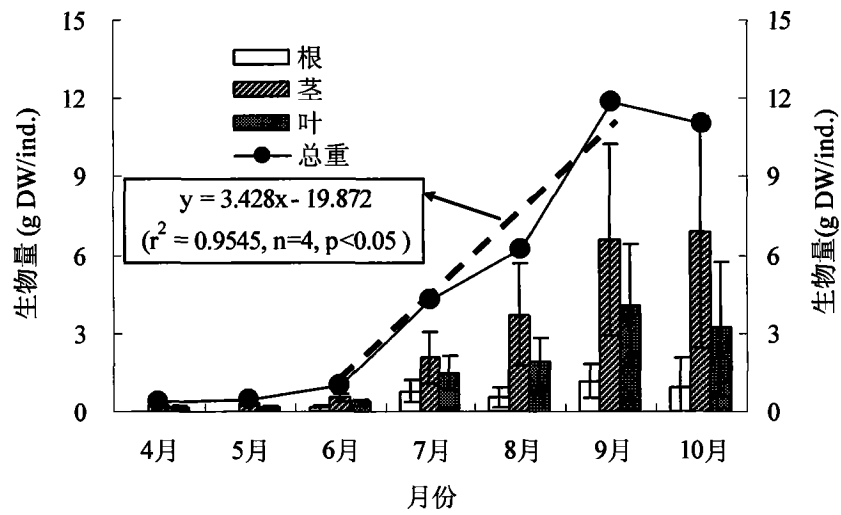


图 4