



(21) 申请号 202410459631.3

(22) 申请日 2024.04.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118278317 A

(43) 申请公布日 2024.07.02

(73) 专利权人 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院

地址 210000 江苏省南京市广州路223号

(72) 发明人 申霞 姬昌辉 林伟波 闻云呈
谢瑞 张帆一 王永平 孙英广
黄雁飞 彭博 于剑 叶林枫

(74) 专利代理机构 成都宏田知识产权代理事务所(普通合伙) 51337

专利代理师 邓辉

(51) Int.Cl.

G06F 30/28 (2020.01)

G06F 17/18 (2006.01)

G06Q 50/26 (2024.01)

G06F 113/08 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

AU 2020101936 A4, 2020.10.01

CN 109101707 A, 2018.12.28

审查员 严陇兵

权利要求书2页 说明书10页 附图1页

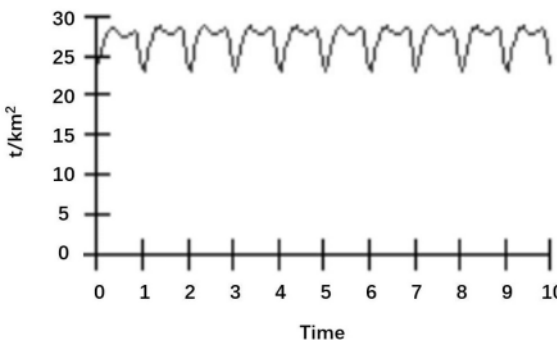
(54) 发明名称

水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法及计算系统

(57) 摘要

本发明公开了水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法及计算系统,包括构建水生生态系统结构模型与水质模型的耦合,设定水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性,基于所述耦合与环境条件的变化关联性,计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率。该计算方法通过设定水生生态系统结构模型中初级生产的生产量/生物量(P/B值)随环境条件的变化函数,以及构建水生生态系统结构模型与水质模型之间的耦合纽带,综合计算出考虑环境影响因素而计算出准确度高的初级生产生产率,可以进一步提升生态系统结构模型的适应性和模拟精度。

Biomass



1.水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、构建水生生态系统结构模型与水质模型的耦合,具体包括计算初始时刻系统中游离养分与初始时刻系统总养分,将计算结果与水质模型耦合得到任一时刻系统总养分,耦合过程如下:

初始时刻游离养分 $N_{f,0}$ 计算公式如下:

$$N_{f,0} = N_{T,0} * p_{f,0} = \sum \eta_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0}) * p_{f,0};$$

其中: $N_{f,0}$ 为初始时刻游离养分, t/km^2 ;其他变量同后;

初始时刻水生生态系统总养分 $N_{T,0}$ 计算公式如下:

$$N_{T,0} = \sum \eta_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0});$$

其中: $N_{T,0}$ 为初始时刻水生生态系统总养分, t/km^2 ; $p_{f,0}$ 为初始时刻水体中游离养分占比, %; $B_{i,0}$ 为初始时刻各营养级生物量, t/km^2 ; η_i 为每个营养级生物体中的养分含量, %;

任一时刻系统总养分计算公式如下:

$$dN_{T,t} / dt = I - vN_{T,t};$$

其中: $N_{T,t}$ 为任一时刻 t 水生生态系统中的总养分, t/km^2 ; I 为从所有养分源流入系统的速率, $t/(km^2 \cdot d)$; v 为系统中的营养总损失率, $1/d$, I 和 v 由水动力水质模型和捕捞数据计算得到;

设定时间乘数 $f_t = f(I, v)$, 其由流入系统和流出系统的养分决定;任一时刻 t 水生生态系统中的总养分: $N_{T,t} = f_t * N_{T,0}$;

S2、设定水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性,包括养分限制计算、温度限制计算及光照限制计算,所述养分限制计算基于任一时刻系统中游离养分,具体计算如下:

任一时刻系统中游离养分计算公式如下:

$$N_{f,t} = N_{T,t} - \sum \eta_i * B_{i,t};$$

其中: $N_{f,t}$ 为任一时刻系统中游离养分浓度, t/km^2 ; $N_{T,t}$ 为任一时刻 t 水生生态系统中的总养分, t/km^2 ; $B_{i,t}$ 为任一时刻各营养级生物量, t/km^2 ;其他变量同前;

养分限制计算:

$$F(N) = N_{f,t} / (K_N + N_{f,t})$$

其中: $F(N)$ 为养分对初级生产生产率的限制函数; $N_{f,t}$ 为任一时刻系统中游离养分浓度, t/km^2 ; K_N 为养分限制常数, t/km^2 ;

温度限制计算:

$$F(T) = T_t / (K_T + T_t);$$

其中: $F(T)$ 为水温对初级生产生产率的限制函数; T_t 为任一时刻的水体温度, $^{\circ}C$; K_T 为温度限制常数, $^{\circ}C$;

光照限制计算:

$$F(R) = R_t / (K_R + R_t);$$

其中: $F(R)$ 为光照对初级生产生产率的限制函数; R_t 为任一时刻的光照强度, W/m^2 ; K_R 为光照限制常数, W/m^2 ;

K_N 、 K_T 、 K_R 的取值,使得 $N_{f,0} / (K_N + N_{f,0}) = (1/Max \ rel. \ P/B)^{(1/3)}$ 、 $T_0 / (K_T + T_0) = (1/Max$

$rel. P/B)^{(1/3)} \cdot R_0 / (K_R + R_0) = (1/Max rel. P/B)^{(1/3)}$, $N_{f,0}$ 为初始时刻游离养分浓度, T_0 为初始时刻水体温度, R_0 为初始时刻光照强度; $Max rel. P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值; $(1/Max rel. P/B)$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数; $(1/Max rel. P/B)^{(1/3)}$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数的三分之一次方;

S3、基于所述耦合与环境条件的变化关联性,计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率,具体包括计算初级生产的最大生产率,并结合环境条件的变化关联性计算得到,计算过程如下:

所述初级生产的最大生产率计算如下:

$$P/B_{\max} = (P/B_0) * (Max rel. P/B) ;$$

其中: $P/B_{\max}$ 为初级生产的最大生产率, $1/a$; P/B_0 为基础生产率, $1/a$; $Max rel. P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值;

任一时刻环境条件下的初级生产的生产率计算为:

$$P/B_t = P/B_{\max} * F(N) * F(T) * F(R) ;$$

其中: P/B_t 为考虑环境因素的任一时刻初级生产的生产率, $1/a$; $P/B_{\max}$ 为初级生产的最大生产率, $1/a$; 其他变量同前, 生产率的最大值 $P/B_{\max}$ 采用 P/B 初始值乘以一个大于1的倍数来给定, 将 $P/B_{\max}$ 作为上限, 考虑营养盐、水温、光照三个要素同时对初级生产的限制作用。

2. 一种实现如权利要求1所述的水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法的系统, 其特征在于, 包括:

耦合模块, 用于将水生生态系统结构模型与水质模型进行耦合;

环境条件模块, 用于对水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性计算;

生产率计算模块, 基于耦合模块与环境条件模块的计算结果, 综合计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率。

水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法及计算系统

技术领域

[0001] 本发明涉及初级生产的生产率技术领域,尤其涉及水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法及计算系统。

背景技术

[0002] 水生生态系统结构模型是基于营养动力学原理直接构造水域生态系统结构,描述能量或物质流动以及确定生态参数的能量平衡模式。生态系统中每个营养级生物的物质平衡方程为:生产量(Production)=捕捞量(Catches)+捕食死亡(Predation)+生物量积累(Biomass accumulation)+净迁移(Net migration)+其他死亡(Other mortality),生态系统结构模型计算过程中一般给定每个营养级的生产率,即生产量/生物量(P/B)。水生生态系统中营养级的起点一般为初级生产(浮游植物),因此初级生产的生产量/生物量(P/B)值对于整个生态系统结构和能流具有重要意义。

[0003] 在水生生态系统结构的时间动态建模中,通常给定初级生产固定的生产量/生物量(P/B)值。但是,以浮游植物作为主要初级生产的水生生态系统,其生长受环境条件的制约较为明显。如果时间动态模型中仍采用固定不变的初级生产生产量/生物量(P/B值),将给模型模拟结果带来较大偏差。

[0004] 目前,生态系统结构模型在设置初级生产的生产率时一般采用固定值,或者仅考虑与养分的相关关系。但是,在水生生态系统中,初级生产的生产率随着环境条件的变化而变化,并且其作为生态系统营养级的开端,数值的大小将对系统营养结构产生较大影响。水生生态系统是水生生物群落与水环境构成的生态系统,水生生态系统结构模型旨在构建生物群落之间的食物网结构,模拟系统内物质循环和能量流动。水生生态系统结构模型包含不同营养级的生物,最低营养级生物一般为浮游植物,又称为初级生产。初级生产的生产率是整个生态系统能量输入的主要渠道。大部分情况,生态系统结构模型将初级生产的生成率设定为固定值,或者仅与水体营养盐相关。根据生态学知识,浮游植物生长的主要环境因子包括光照、水温、营养盐浓度。因此,如果不考虑环境因素或者只考虑一种环境因素,都会造成浮游植物生产率的不准确。

发明内容

[0005] 针对上述存在的问题,本发明旨在提供生态系统结构模型与水动力水质模型的耦合的计算方法及计算系统,并给出考虑养分、温度和光照等多因素的初级生产生产率计算方法,可以进一步提升生态系统结构模型的适应性和模拟精度。

[0006] 为了实现上述目的,本发明所采用的技术方案如下:水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0007] S1、构建水生生态系统结构模型与水质模型的耦合,具体包括计算初始时刻系统中游离养分与初始时刻系统总养分,将计算结果与水质模型耦合得到任一时刻系统总养

分,耦合过程如下:

[0008] 初始时刻游离养分 $N_{f,0}$ 计算公式如下:

$$[0009] \quad N_{f,0} = N_{T,0} * p_{f,0} = \sum \eta_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0}) * p_{f,0}$$

[0010] 其中: $N_{f,0}$ 为初始时刻游离养分, t/km^2 ; 其他变量同后;

[0011] 初始时刻水生生态系统总养分 $N_{T,0}$ 计算公式如下:

$$[0012] \quad N_{T,0} = \sum \eta_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0})$$

[0013] 其中: $N_{T,0}$ 为初始时刻水生生态系统总养分, t/km^2 ; $p_{f,0}$ 为初始时刻水体中游离养分占比 (模型给定值), %; $B_{i,0}$ 为初始时刻各营养级生物量 (模型给定值), t/km^2 ; η_i 为每个营养级生物体中的养分含量 (固定值), %;

[0014] 任一时刻系统总养分计算公式如下:

$$[0015] \quad dN_{T,t} / dt = I - v N_{T,t}$$

[0016] 其中: $N_{T,t}$ 为任一时刻 t 水生生态系统中的总养分, t/km^2 ; I 为从所有养分源流入系统的速率, $t / (km^2 \cdot d)$; v 为系统中的营养总损失率 (包括体积交换、沉降、捕捞等), $1/d$ 。 I 和 v 由水动力水质模型和捕捞数据计算得到。

[0017] 设定时间乘数 $f_t = f(I, v)$, 其由流入系统和流出系统的养分决定。任一时刻系统总养分计算公式为: $N_{T,t} = f_t * N_{T,0}$ 。实现水质模型与生态动力学模型的耦合。

[0018] S2、设定水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性, 包括养分限制计算、温度限制计算及光照限制计算, 所述养分限制计算基于任一时刻系统中游离养分, 具体计算如下:

[0019] 任一时刻系统中游离养分计算公式如下:

$$[0020] \quad N_{f,t} = N_{T,t} - \sum \eta_i * B_{i,t}$$

[0021] 其中: $N_{f,t}$ 为任一时刻系统中游离养分浓度, t/km^2 ; $N_{T,t}$ 为任一时刻 t 水生生态系统中的总养分, t/km^2 ; $B_{i,t}$ 为任一时刻各营养级生物量 (生态系统结构模型计算得到), t/km^2 ; 其他变量同前;

[0022] 养分限制计算:

$$[0023] \quad F(N) = N_{f,t} / (K_N + N_{f,t})$$

[0024] 其中: $F(N)$ 为养分对初级生产生产率的限制函数; $N_{f,t}$ 为任一时刻系统中游离养分浓度, t/km^2 ; K_N 为养分限制常数, t/km^2 ;

[0025] 温度限制计算:

$$[0026] \quad F(T) = T_t / (K_T + T_t)$$

[0027] 其中: $F(T)$ 为水温对初级生产生产率的限制函数; T_t 为任一时刻的水体温度 (由水文资料给定), $^{\circ}C$; K_T 为温度限制常数, $^{\circ}C$;

[0028] 光照限制计算:

$$[0029] \quad F(R) = R_t / (K_R + R_t)$$

[0030] 其中: $F(R)$ 为光照对初级生产生产率的限制函数; R_t 为任一时刻的光照强度(由气象资料给定), W/m^2 ; K_R 为光照限制常数, W/m^2 。

[0031] K_N, K_T, K_R 的取值,使得 $N_{f,0}/(K_N+N_{f,0})=(1/Max\ rel.\ P/B)^{(1/3)}$ 、 $T_0/(K_T+T_0)=(1/Max\ rel.\ P/B)^{(1/3)}$ 、 $R_0/(K_R+R_0)=(1/Max\ rel.\ P/B)^{(1/3)}$, $N_{f,0}$ 为初始时刻游离养分浓度, T_0 为初始时刻水体温度, R_0 为初始时刻光照强度; $Max\ rel.\ P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值; $(1/Max\ rel.\ P/B)$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数; $(1/Max\ rel.\ P/B)^{(1/3)}$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数的三分之一次方。

[0032] S3、基于所述耦合与环境条件的变化关联性,计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率,具体包括计算初级生产的最大生产率,并结合环境条件的变化关联性计算得到。计算过程如下:

[0033] 所述初级生产的最大生产率计算如下:

[0034] $P/B_{max}=(P/B_0)*(Max\ rel.\ P/B)$

[0035] 其中: P/B_{max} 为初级生产的最大生产率, $1/a$; P/B_0 为基础生产率(模型给定), $1/a$; $Max\ rel.\ P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值(模型给定);

[0036] 任一时刻环境条件下的初级生产的生产率计算为:

[0037] $P/B_t=P/B_{max}*F(N)*F(T)*F(R)$

[0038] 其中: P/B_t 为考虑环境因素的任一时刻初级生产的生产率, $1/a$; P/B_{max} 为初级生产的最大生产率, $1/a$; 其他变量同前。生产率的最大值 P/B_{max} 采用 P/B 初始值乘以一个大于1的倍数来给定。将 P/B_{max} 作为上限,考虑营养盐、水温、光照三个要素同时对初级生产的限制作用。

[0039] 本申请还提供水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算系统,包括:

[0040] 耦合模块,用于将水生生态系统结构模型与水质模型进行耦合;

[0041] 环境条件模块,用于对水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性计算;

[0042] 生产率计算模块,基于耦合模块与环境条件模块的计算结果,综合计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率。

[0043] 本发明的有益效果是:本申请的计算方法通过设定水生生态系统结构模型中初级生产的生产量/生物量(P/B 值)随环境条件的变化函数,以及构建水生生态系统结构模型与水质模型之间的耦合纽带,综合计算出考虑环境影响因素而计算出准确度高的初级生产生产率,可以进一步提升生态系统结构模型的适应性和模拟精度。

附图说明

[0044] 图1为本发明水生生态系统初级生产的生物量随时间的变化。

[0045] 图2为本发明水生生态系统各营养级相对生物量随时间的变化。

具体实施方式

[0046] 为了使本领域的普通技术人员能更好的理解本发明的技术方案,下面结合附图和实施例对本发明的技术方案做进一步的描述。

[0047] 参照附图1~2所示的水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算方法,包括以下步骤:

[0048] S1、构建水生生态系统结构模型与水质模型的耦合,具体包括计算初始时刻系统中游离养分与初始时刻系统总养分,将计算结果与水质模型耦合得到任一时刻系统总养分,耦合过程如下:

[0049] 初始时刻游离养分 $N_{f,0}$ 计算公式如下:

$$[0050] \quad N_{f,0} = N_{T,0} * p_{f,0} = \sum \eta_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0}) * p_{f,0}$$

[0051] 其中: $N_{f,0}$ 为初始时刻游离养分, t/km^2 ; 其他变量同后。

[0052] 水生生态系统在任何时刻的总养分浓度 N_T , 包括生物体内结合的养分 N_B 和周围环境中的游离养分 N_f 。其中, 游离养分 N_f 是初级生产可以吸收利用的。初始时刻水生生态系统总养分 $N_{T,0}$ 计算公式如下:

$$[0053] \quad N_{T,0} = \sum \eta_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0})$$

[0054] 其中: $N_{T,0}$ 为初始时刻水生生态系统总养分, t/km^2 ; $p_{f,0}$ 为初始时刻水体中游离养分占比 (模型给定值), %; $B_{i,0}$ 为初始时刻各营养级生物量 (模型给定值), t/km^2 ; η_i 为每个营养级生物体中的养分含量 (固定值), %;

[0055] 假设任一时刻 t 系统总养分 $N_{T,t}$ 的变化由流入系统养分速率和系统营养总损失率决定, 则任一时刻系统总养分计算公式如下:

$$[0056] \quad dN_{T,t} / dt = I - v N_{T,t}$$

[0057] 其中: $N_{T,t}$ 为任一时刻 t 水生生态系统中的总养分, t/km^2 ; I 为从所有养分源流入系统的速率, $t / (km^2 \cdot d)$; v 为系统中的营养总损失率 (包括体积交换、沉降、捕捞等), $1/d$ 。 I 和 v 由水动力水质模型和捕捞数据计算得到, 实现水质模型与生态动力学模型的耦合。

[0058] 设定时间乘数 $f_t = f(I, v)$, 其由流入系统和流出系统的养分决定。任一时刻系统总养分计算公式如下:

$$[0059] \quad N_{T,t} = f_t * N_{T,0}$$

[0060] S2、设定水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性, 包括养分限制计算、温度限制计算及光照限制计算, 所述养分限制计算基于任一时刻系统中游离养分, 具体计算如下:

[0061] 任一时刻水生生态系统中游离养分浓度为养分总浓度与生物体养分浓度的差值。计算公式如下:

$$[0062] \quad N_{f,t} = N_{T,t} - \sum \eta_i * B_{i,t}$$

[0063] 其中: $N_{f,t}$ 为任一时刻系统中游离养分浓度, t/km^2 ; $N_{T,t}$ 为任一时刻 t 水生生态系统中的总养分, t/km^2 ; $B_{i,t}$ 为任一时刻各营养级生物量 (模型计算得到), t/km^2 ; 其他变量同前。

[0064] 初级生产的生产率 (P/B) 与游离营养 (N_f) 之间存在一定的限制关系, 养分限制计算:

[0065] $F(N) = N_{f,t} / (K_N + N_{f,t})$

[0066] 其中: $F(N)$ 为养分对初级生产生产率的限制函数; $N_{f,t}$ 为任一时刻系统中游离养分浓度, t/km^2 ; K_N 为养分限制常数, t/km^2 。

[0067] 初级生产的生产率(P/B)与水体温度(T)之间存在一定的限制关系,温度限制计算:

[0068] $F(T) = T_t / (K_T + T_t)$

[0069] 其中: $F(T)$ 为水温对初级生产生产率的限制函数; T_t 为任一时刻的水体温度(由水文资料给定), $^{\circ}\text{C}$; K_T 为温度限制常数, $^{\circ}\text{C}$ 。

[0070] 初级生产的生产率(P/B)与光照(R)之间存在一定的限制关系,光照限制计算:

[0071] $F(R) = R_t / (K_R + R_t)$

[0072] 其中: $F(R)$ 为光照对初级生产生产率的限制函数; R_t 为任一时刻的光照强度(由气象资料给定), W/m^2 ; K_R 为光照限制常数, W/m^2 ,光照限制常数 K_R 由下式计算: $R_0 / (K_R + R_0) = (1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$ 。

[0073] K_N 、 K_T 、 K_R 的取值,使得 $N_{f,0} / (K_N + N_{f,0}) = (1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$ 、 $T_0 / (K_T + T_0) = (1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$ 、 $R_0 / (K_R + R_0) = (1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$, $N_{f,0}$ 为初始时刻游离养分浓度, T_0 为初始时刻水体温度, R_0 为初始时刻光照强度; $\text{Max rel. } P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值; $(1/\text{Max rel. } P/B)$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数; $(1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数的三分之一次方。

[0074] 水温限制函数与光照限制函数类似。营养盐限制函数与光照和水温类似,营养盐浓度的计算涉及水质模型和生态系统结构模型的耦合。水体中总营养盐分为两部分:生物体中的营养盐和水体中游离的营养盐。浮游植物的生产仅与游离营养盐有关。水体中总营养盐根据每个时刻输入、输出系统的营养盐相关,由水质模型计算得到。生物体中的营养盐与生物量直接相关,而生物量是生态模型每个时间步长计算出来的。

[0075] 因此,某个时刻游离营养盐由该时刻总营养盐减去生物体中的营养盐得到。这样可以实现水质模型与生态系统结构模型的耦合,即:水质模型—总营养盐—游离营养盐—营养盐限制函数 $F(N)$ —初级生产生产率—生态模型。

[0076] S3、基于所述耦合与环境条件的变化关联性,计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率,具体包括计算初级生产的最大生产率,并结合环境条件的变化关联性计算得到。计算过程如下:

[0077] 生产率定义为生产量与生物量的比值(P/B),初级生产的最大生产率由基础生产率和相应比例计算,初级生产的最大生产率计算如下:

[0078] $P/B_{\max} = (P/B_0) * (\text{Max rel. } P/B)$

[0079] 其中: $P/B_{\max}$ 为初级生产的最大生产率, $1/a$; P/B_0 为基础生产率(模型给定), $1/a$; $\text{Max rel. } P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值(模型给定)。

[0080] 初级生产的生产率(P/B)与养分、温度、光照的限制相关,任一时刻环境条件下的初级生产的生产率计算为:

[0081] $P/B_t = P/B_{\max} * F(N) * F(T) * F(R)$

[0082] 其中: P/B_t 为考虑环境因素的任一时刻初级生产的生产率, $1/a$; $P/B_{\max}$ 为初级生产

的最大生产率, $1/a$; 其他变量同前。生产率的最大值 P/B_{max} 采用 P/B 初始值乘以一个大于1的倍数来给定。将 P/B_{max} 作为上限, 考虑营养盐、水温、光照三个要素同时对初级生产的限制作用。

[0083] 上述所述限制函数的值处于0到1之间。以光照限制函数为例, $F(R) = R_t / (K_R + R_t)$, 该公式的计算结果大于0小于1, 且随着营养盐浓度、水温、光照的增加而增加, 前期增加速度快, 后期趋缓, 上述限制函数的变化规律与认知吻合。

[0084] 本申请还提供水生生态系统结构模型中初级生产的生产率随环境条件变化的计算系统, 包括:

[0085] 耦合模块, 用于将水生生态系统结构模型与水质模型进行耦合;

[0086] 环境条件模块, 用于对水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性计算;

[0087] 生产率计算模块, 基于耦合模块与环境条件模块的计算结果, 综合计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率。

[0088] 实施例1

[0089] (1) 本实施例模拟时长10年, 时间步长为1个月, 环境条件年内随月份变化。假设水域初级生产的生产率最大值 P/B_{max} 为1000, 单位: $1/a$ 。

[0090] 初始条件: 假设基础生产率较低, 设定为 $P/B_0 = 100 (1/a)$, 对应的初始游离营养盐 $N_{f,0} = 150 \text{ t/km}^2$, 水温 $T_0 = 5^\circ\text{C}$, 光照 $R_0 = 280 \text{ W/m}^2$, 则 $\text{Max rel. } P/B = P/B_{max} / (P/B_0) = 10$ 。

[0091] 计算 K_N 、 K_T 、 K_R 的取值, 使得 $N_{f,0} / (K_N + N_{f,0}) = (1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$ 、 $T_0 / (K_T + T_0) = (1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$ 、 $R_0 / (K_R + R_0) = (1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$, $N_{f,0}$ 为初始时刻游离养分浓度, T_0 为初始时刻水体温度, R_0 为初始时刻光照强度; $\text{Max rel. } P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值; $(1/\text{Max rel. } P/B)$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数; $(1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}$ 为最大生产率与基础生产率的比值的倒数的三分之一方。

[0092] (2) 初始时刻水体中游离养分占比 $P_{f,0}$, 为30%。

[0093] (3) 初始时刻水生生态系统总养分 $N_{T,0}$, $N_{T,0} = \sum \Pi_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0})$, 首先根据初始时刻各营养级生物量, 计算生物体内养分总量 $\sum \Pi_i * B_{i,0}$, 为 112 t/km^2 。则, $N_{T,0} = 112 / (1 - 0.3) = 160 \text{ t/km}^2$ 。

[0094] (4) 初始时刻游离养分 $N_{f,0}$ 计算公式如下:

[0095] $N_{f,0} = N_{T,0} * p_{f,0} = \sum \Pi_i * B_{i,0} / (1 - p_{f,0}) * p_{f,0} = 112 / (1 - 0.3) * 0.3 = 48 \text{ t/km}^2$

[0096] (5) 任一时刻系统总养分 $N_{T,t}$ 的变化由流入系统养分速率和系统营养总损失率决定:

[0097] $N_{T,t} = f_t * N_{T,0}$

[0098] 其中, $f_t = f(I, v)$, I 和 v 由水动力水质模型和捕捞数据计算得到。一年内每个月的 f_t 值为 $(1.1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.3, 1.2, 1.1, 1.1, 1.1, 1.0, 1.0)$, 则一年内每个月的 $N_{T,t}$ 值为 $(176, 176, 192, 208, 224, 208, 192, 176, 176, 176, 160, 160)$

[0099] (6) 根据水文资料, 一年内每个月的水体温度 T_t 值为 $(10, 12, 15, 18, 20, 24, 25, 20,$

15,10,8,8),初始时刻水体温度 $T_0=8$ 。根据气象资料,一年内每个月的光照强度 R_t 值为(340,360,380,420,480,530,600,700,600,550,450,300),初始时刻光照强度 $R_0=300$ 。

[0100] (7) 初级生产的最大生产率计算如下:

$$[0101] \quad P/B_{\max} = (P/B_0) * (\text{Maxrel}.P/B)$$

[0102] 其中 P/B_0 为基础生产率(模型给定,为240,1/a); $\text{Maxrel}.P/B$ 为最大生产率与基础生产率的比值(模型给定,为8),则最大生产率 $P/B_{\max}$ 为1920,1/a。

[0103] (8) 初级生产的生产率(P/B)与游离营养(N_f)之间存在一定的限制关系,养分限制计算:

$$[0104] \quad F(N) = N_{f,t} / (K_N + N_{f,t})$$

[0105] 其中: K_N 为养分限制常数,t/km²,使得 $N_{f,0} / (K_N + N_{f,0}) = (1/\text{Maxrel}.P/B)^{(1/3)}$,计算得到 $K_N=48\text{t}/\text{km}^2$ 。

[0106] (9) 初级生产的生产率(P/B)与水体温度(T)之间存在一定的限制关系,温度限制计算:

$$[0107] \quad F(T) = T_t / (K_T + T_t)$$

[0108] 其中: K_T 为温度限制常数,°C,使得 $T_0 / (K_T + T_0) = (1/\text{Maxrel}.P/B)^{(1/3)}$,计算得到 $K_T=8$ °C。则一年内每个月温度限制 $F(T)$ 值为(0.56,0.60,0.65,0.69,0.71,0.75,0.76,0.71,0.65,0.56,0.50,0.50)。

[0109] (10) 初级生产的生产率(P/B)与光照(R)之间存在一定的限制关系,光照限制计算:

$$[0110] \quad F(R) = R_t / (K_R + R_t)$$

[0111] 其中: K_R 为光照限制常数,W/m²,使得 $R_0 / (K_R + R_0) = (1/\text{Maxrel}.P/B)^{(1/3)}$,计算得到 $K_R=300\text{W}/\text{m}^2$ 。则一年内每个月的光照限制 $F(R)$ 值为(0.53,0.55,0.56,0.58,0.62,0.64,0.67,0.70,0.67,0.65,0.60,0.50)。

[0112] (11) 初级生产的生产率(P/B)与养分、温度、光照的限制相关,任一时刻环境条件下的初级生产的生产率计算为:

$$[0113] \quad P/B_t = P/B_{\max} * F(N) * F(T) * F(R)$$

[0114] 初始时刻 $P/B_0=1920*0.5*0.5*0.5=240(1/a)$ 。

[0115] (12) 由生态系统结构模型,计算1个时间步长后(即1个月后)系统内各营养级生物量,得到生物体内养分总量 $\sum \Pi_i * B_{i,1}$,为120t/km²。

[0116] 根据(5)可知 $N_{T,1}=176\text{t}/\text{km}^2$,则 $N_{f,1}=56\text{t}/\text{km}^2$, $F(N)_1=0.54$ 。根据(9)、(10), $F(T)_1=0.56$, $F(R)_1=0.53$,则 $P/B_1=P/B_{\max} * F(N) * F(T) * F(R)=1920*0.54*0.56*0.53=307.7(1/a)$

[0117] (13) 根据初级生产的生产率 P/B_1 ,计算下一时刻系统各营养级生物体内养分总量 $\sum \Pi_i * B_{i,2}$,根据 $N_{T,2}$ 计算 $N_{f,2}$,再计算 $F(N)_2$,再计算 P/B_2 ,重复上述步骤,直到完成全部时长的计算。

[0118] 计算条件及计算结果详见下表1:

[0119]

条件: $P/B_{\max}=1000$					
条件: $P/B_0=100$, $N_{f,0}=150$, $T_0=5$, $R_0=280$					
结果: $\text{Max rel. } P/B = 10$					
结果: $(1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}=0.464$, $K_N=173.17$, $K_T=5.77$, $K_R=423.24$					
结果: $F(N)$ 、 $F(T)$ 、 $F(R)$ 随 $N_{f,t}$ 、 T_t 、 R_t 的增加而增加。详见下表。					
$N_{f,t}$	$F(N)$	T_t	$F(T)$	R_t	$F(R)$
150	0.464	5	0.464	280	0.464
160	0.480	6	0.510	300	0.481
170	0.495	7	0.548	320	0.497
180	0.510	8	0.581	340	0.513
190	0.523	9	0.609	360	0.527
200	0.536	10	0.634	380	0.540
210	0.548	11	0.656	400	0.553
220	0.560	12	0.675	420	0.565
230	0.570	13	0.693	440	0.576
240	0.581	14	0.708	460	0.587
250	0.591	15	0.722	480	0.598
260	0.600	16	0.735	500	0.607
270	0.609	17	0.747	520	0.617
280	0.618	18	0.757	540	0.626
290	0.626	19	0.767	560	0.634
300	0.634	20	0.776	580	0.642
310	0.642	21	0.784	600	0.650
320	0.649	22	0.792	620	0.657
330	0.656	23	0.799	640	0.664
340	0.663	24	0.806	660	0.671
350	0.669	25	0.812	680	0.678
360	0.675	26	0.818	700	0.684
370	0.681	27	0.824	720	0.690
380	0.687	28	0.829	740	0.696
390	0.693	29	0.834	760	0.702
400	0.698	30	0.839	780	0.707
410	0.703	31	0.843	800	0.712
*****	*****	*****	*****	*****	*****

[0120] 表1 实施例1中计算条件及不同阶段生产率计算结果
实施例2

[0121] 初始条件:假设基础生产率较高,设定为 $P/B_0=500$ (1/a),根据上面计算出的三个限制常数 $K_N=173.17$, $K_T=5.77$, $K_R=423.24$,可知初始时刻对应的游离营养盐 $N_{f,0}=666 \text{ t/km}^2$,水温 $T_0=22^\circ\text{C}$,光照 $R_0=1244 \text{ W/m}^2$ 。

[0122] 计算条件及计算结果详见下表2:

[0123]

条件: $P/B_{max}=1000$					
条件: $P/B_0=500$, $K_N=173.17$, $K_T=5.77$, $K_R=423.24$					
结果: $\text{Max rel. } P/B = 2$					
结果: $(1/\text{Max rel. } P/B)^{(1/3)}=0.794$, $N_{\xi 0}=666$, $T_0=22$, $R_0=1244$					
结果: $F(N)$ 、 $F(T)$ 、 $F(R)$ 随 $N_{\xi t}$ 、 T_t 、 R_t 的减小而减小。详见下表。					
$N_{\xi t}$	$F(N)$	T_t	$F(T)$	R_t	$F(R)$
666	0.793	22	0.794	1244	0.793
650	0.789	21	0.786	1200	0.787
630	0.783	20	0.778	1150	0.780
610	0.778	19	0.769	1100	0.772
590	0.772	18	0.759	1050	0.764
570	0.766	17	0.748	1000	0.755
550	0.760	16	0.737	950	0.745
530	0.753	15	0.724	900	0.735
510	0.745	14	0.710	850	0.723
490	0.738	13	0.695	800	0.711
470	0.730	12	0.677	750	0.698
450	0.721	11	0.658	700	0.683
430	0.712	10	0.636	650	0.667
410	0.702	9	0.611	600	0.649
390	0.691	8	0.583	550	0.629
370	0.680	7	0.550	500	0.606
350	0.668	6	0.512	450	0.581
330	0.655	5	0.466	400	0.552
*****	*****	*****	*****	*****	*****

[0124] 表2 实施例2中计算条件及不同阶段生产率计算结果

[0125] 通过以上实施例1-2可知,该发明提出的计算方法,已知条件包括:初级生产的最大生产率,初始时刻的生产率以及对应的水体游离营养盐浓度、水温、光照。由此计算营养盐限制常数 K_N 、温度限制常数 K_T 、光照限制常数 K_R 。随后即可计算出不同营养盐、温度、光照条件下的限制函数的值,从而计算特定条件下的初级生产的生产率。

[0126] 对于某个特定水生生态系统,营养盐限制常数 K_N 、温度限制常数 K_T 、光照限制常数 K_R 是固定的。一年内,温度、光照和营养盐浓度会随季节或其他条件变化而变化,处于波动状态。因此,初始时刻的初级生产生产率可能处于较低水平,也可能处于较高水平。从上面两个测试案例来看,无论初始时刻的状态如何,只要环境条件确定,则限制函数的值确定。

[0127] 由图1-2计算结果可知,初级生产的生产率(P/B)年内随养分、温度、光照的变化而变化,导致初级生产的生物量年内发生变动。在食物网的作用下,整个生态系统内部其他营

养级的生物量亦随之改变。

[0128] 本发明的原理是:该计算方法通过构建水生生态系统结构模型与水质模型的耦合,设定水生生态系统结构模型中初级生产的生产率与环境条件的变化关联性,以及基于所述耦合与环境条件的变化关联性,计算任一时刻环境条件下的初级生产的生产率。其给出考虑养分、温度和光照等多因素的初级生产生产率计算方法,可以进一步提升生态系统结构模型的适应性和模拟精度。

[0129] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。

Biomass

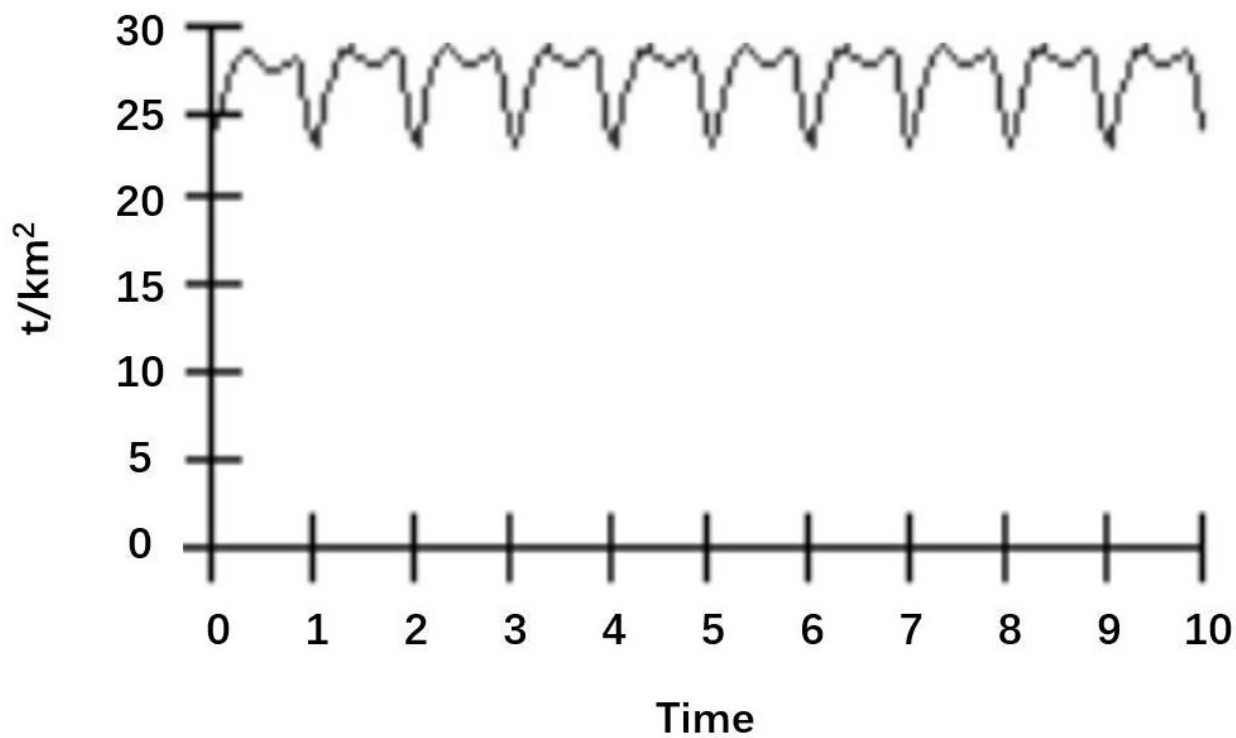


图 1

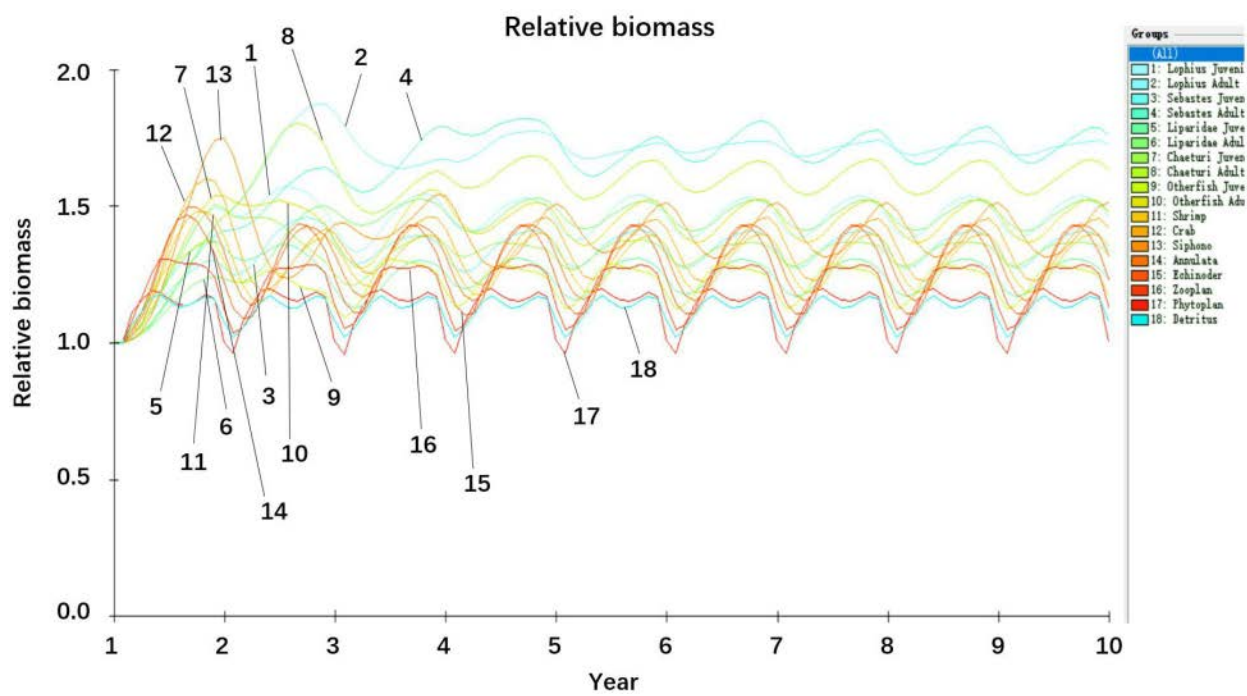


图 2