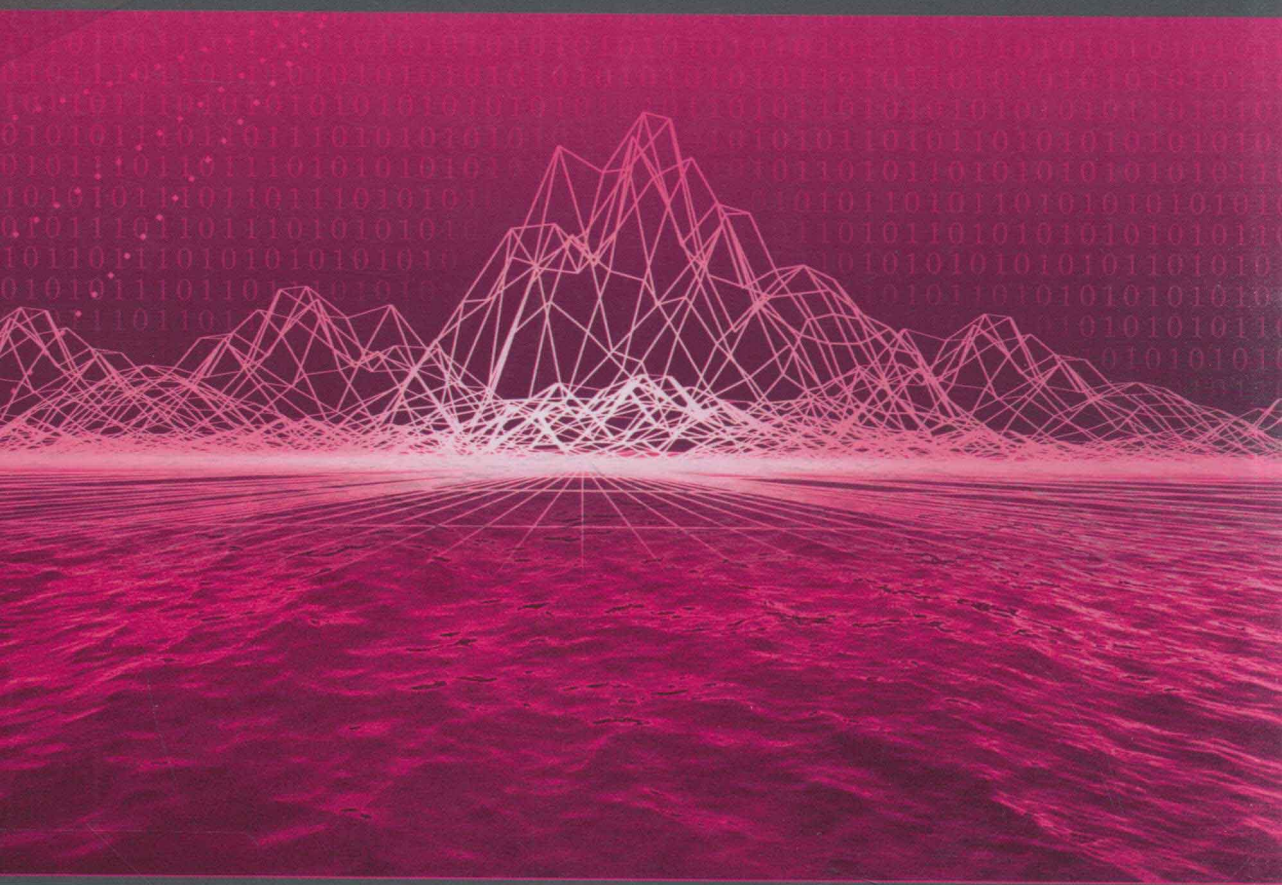


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

20

数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 陈 豫 编著



 海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(20)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(20)

杨东方 陈 豫 编著

海洋出版社

2012 年 · 北京

内 容 提 要

本书介绍了各种数学模型在生态学不同领域的应用,如地理、地貌、水文和水动力,以及环境变化、生物变化和生态变化等;详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,定量化地展示了生态系统中环境因子和生物因子的变化过程,揭示了生态系统的规律和机制,以及其稳定性、连续性的变化,使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的人员参阅,也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

图书在版编目(CIP)数据

数学模型在生态学的应用及研究. 20/杨东方,陈豫编著. —北京:海洋出版社,2012. 10
ISBN 978 - 7 - 5027 - 8379 - 2

I. ①数… II. ①杨… ②陈… III. ①数学模型 - 应用 - 生态学 - 研究 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 223887 号

责任编辑:方 菁

责任印制:赵麟芬

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:18.75

字数:580 千字 定价:60.00 元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《数学模型在生态学的应用及研究(20)》编委会

主 编 杨东方 陈 豫

副主编 郭远明 苗振清 冯志纲 高振会 殷月芬

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁咨汝 王伶俐 白红妍 石 强 刘 琴

孙静亚 吴志祥 宋祥云 张荣保 李铁军

杨丹枫 杨端阳 陈 晨 徐焕志 高国瑞

数学是结果量化的工具
数学是思维方法的应用
数学是研究创新的钥匙
数学是科学发展的基础

杨东方

要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,尽可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

生态数学模型体现了在定性描述与定量处理之间的关系,使研究展现了许多妙不可言的启示,使研究进入更深的层次,开创了新的领域。

杨东方

摘自《生态数学模型及其在海洋生态学应用》

海洋科学(2000),24(6):21-24.

前 言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性和定量的。若定性地研究,提出的问题是:“发生了什么?或者发生了没有?”若定量地研究,提出的问题是“发生了多少?或者它如何发生的?”前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2)量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3)能够动态的模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1)建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量的了解。(2)模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3)与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面将所取得的材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1)模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测1年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚;(2)模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数是说明尺度、大小、范围而已;(3)模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题;(4)解决生态问题时,所提出的观点,不仅从数学模型支持这一观点,还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力,以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构,以及其数学模型应用的意义。要熟练掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程和生态数学模型预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书在浙江海洋学院出版基金、浙江海洋学院承担的“舟山渔场渔业生态环境研究与污染控制技术开放”和“近海水域预防环境污染养殖模型”项目、“浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室科研基金”和“国家海洋公益行业科研专项(200905010-15)”、国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金—长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海环境监测中心崔文林主任和上海海洋大学的李家乐院长;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筭院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心间。

杨东方 陈 豫

2012年7月7日

目 次

气肥二氧化碳的效益计算	(1)
脐橙果实的膨大速率计算	(3)
水稻生育期的生产潜力计算	(6)
植被参数化的模型	(9)
植被群体辐射传输参数	(15)
粮食生产的持续性模型	(17)
农业组合技术的效益公式	(20)
植物群体受光的参数计算	(22)
作物水分的利用公式	(24)
作物净光合量的函数	(26)
作物根系的生长公式	(28)
土壤退化的评价公式	(30)
昆虫群落的数量和种类计算	(33)
流域生态农业的预测模型	(35)
农牧区系统的区域差异评价指标	(37)
系统的环境辨识模型	(39)
农田水分利用的效率公式	(42)
农业资源利用的评价指标	(45)
生态农业技术的进步率	(48)
作物长势及产量的遥感模型	(50)
海洋波动的传播方程	(53)
最速下降法	(56)
海浪谱的滑动公式	(58)
海表高度的计算	(61)
海洋声层析的方程	(63)
球坐标的海水温度共轭方程	(67)
流动结构的摄动解模型	(72)
海面风应力和热通量的计算	(74)
潮流水道的发育模式	(77)

溶解氧数据的偏差校正公式	(79)
柑橘果锈的波段比算公式	(81)
农用地分等的计算	(84)
沼气池的减排量计算	(88)
农用地分等的等级折算	(93)
土地开发的耕地等级公式	(97)
土地生产潜力的计算	(100)
雾滴显微图像处理公式	(105)
土地利用的结构特征公式	(107)
裸地的潜水蒸发模型	(110)
干物质的转移计算	(114)
土地利用的情景模型	(116)
作物蒸发蒸腾量的估算	(119)
黑豆皮色素的提取率计算	(122)
粮虫特征的计算	(125)
对流换热的系数计算	(129)
淡水鱼的热特性模型	(133)
核桃壳热解动力学公式	(136)
黄瓜叶片的图像模型	(139)
蚕蛹蛋白浸提模型	(143)
硫自养反硝化动力学方程	(146)
麦胚蛋白提取工艺计算	(149)
汽油机的循环波动率计算	(152)
玉米秸秆的热解计算	(155)
玉米籽皮制备丁二酸的检测公式	(158)
区域粮食的生产演变测算	(160)
土壤的容重和运移公式	(162)
水果的称重模块公式	(167)
寄生蜂的功能反应模型	(171)
农业生态系统的评价模型	(174)
野燕麦的发育速率计算	(178)
羊草地的生态场特征模型	(180)
网围养鱼的生态对策模型	(183)
核素迁移数值模型	(186)

杨树林的生长阶段模型	(190)
菜蚜二项式抽样模型	(192)
林带中阻力分布模型	(197)
棉铃虫的种群能量模型	(200)
斑苦竹克隆生长模型	(203)
野生大豆的种群模型	(206)
环境中石油烷烃迁移模型	(208)
湿地景观的破碎化模型	(211)
作物的耗水量模型	(214)
森林碳汇的功能模型	(216)
白骨壤的生长及生物量模型	(220)
防护林的树冠截留模型	(223)
新银鱼的胚胎发育模型	(227)
禾谷缢管蚜的空间格局模型	(229)
沙地樟子松的生长模型	(233)
土壤热的状况模型	(236)
异色瓢虫的捕食模型	(239)
旱作的生产潜力模型	(242)
玉米的辐射截获模型	(245)
核型多角体病毒的温度模型	(248)
春播期的土壤水分模型	(252)
陆地表层动力学模型	(255)
星星草的数量公式	(260)
草地枯枝落叶中氮、磷、钾变化模型	(266)
地表面与大气的热交换模型	(269)
鲥鱼的生长模型	(273)
朱砂叶螨动态模型	(276)
土壤氧化亚氮和甲烷的排放通量计算	(281)
土壤动物的季节动态模型	(283)
小麦耗水量与产量的模型	(286)

气肥二氧化碳的效益计算

1 背景

大量工业尾气中的 CO_2 排放造成空气污染,环境密闭的蔬菜大棚设施栽培中 CO_2 气体极度匮乏,为此,王西平等^[1]通过试验研究收集利用工业尾气中的 CO_2 建立大棚蔬菜 CO_2 气肥施放技术体系,观测和分析了蔬菜大棚内小气候(气温、湿度、土壤温度)差异、 CO_2 气肥施放方法及效果,建立 CO_2 回收、运输、施放技术体系,对减少工业尾气污染环境和提高农作物产量具有综合效益。

2 公式

2.1 不同天气蔬菜大棚内 CO_2 浓度变化规律

光合作用是植物物质积累和产量形成的基础,蔬菜干物质中 CO_2 含量达 45%,是由光合作用从空气中吸收的。光合速率大小与空气和作物叶片气孔内 CO_2 浓度关系可表示为:

$$P = \frac{CNT_{\text{空气}} - CNT_{\text{气孔}}}{r_{\text{总}}}$$

式中, P 为光合速率; $r_{\text{总}}$ 为 CO_2 从空气到作物叶片气孔内的传输阻力; $CNT_{\text{空气}}$ 和 $CNT_{\text{气孔}}$ 分别为作物叶片周围空气和叶片气孔内 CO_2 浓度。

2.2 不同天气蔬菜大棚 CO_2 气肥施放指标

晴天早晨随太阳的升起,光照增强,温度升高,蔬菜大棚内 CO_2 浓度因光合速率增加而锐减,这时 CO_2 浓度增加可提高光合速率。考虑土壤有机质分解施放和植株呼吸作用产生的 CO_2 浓度补偿作用,确定出易于操作的不同天气条件下蔬菜大棚内 CO_2 气肥施放期、施放时间和施放量。晴好天气,蔬菜大棚每天 CO_2 气肥施放量 C_m (kg) 应为:

$$C_m = 1.977 \times 10^{-6} \times V_c \times C_d$$

式中, V_c 为大棚体积(m^3); C_d 为施放前后 CO_2 浓度差(mg/kg)。晴天施放前, CO_2 浓度约为 100 ~ 200 mg/kg ,施放后, CO_2 浓度约为 1 000 mg/kg , C_d 取值一般为 800 mg/kg 。若用塑料袋施放 CO_2 气肥,则袋中 CO_2 (C'_m) 气肥量应为:

$$C'_m = C_m - 1.292 \times V_b - C_b$$

式中, V_b 为塑料袋体积(m^3); C_b 为袋重(kg)。不同天气条件下 CO_2 气肥施放量不同,多云

天气 CO_2 气肥施放量约为 C_m 的 60%, 阴天时施放量约为 C_m 的 40%, 连阴天气可考虑不施放 CO_2 气肥。若外界气温较高, 中午可放风换气, 施放时间稍提前, 施放量根据放风时间早晚不变或略减。

CO_2 气肥施放效益决策。 CO_2 气肥施放经济效益可由投入产出比表示:

$$P = \frac{\Delta Y \times Y \times P_{r2}}{D(C_m \times P_{r1} + h_u)}$$

式中, P 为投入产出比, $\Delta Y(\%)$ 为蔬菜增产百分率; Y 为未施 CO_2 气肥产量(kg); P_{r2} 为蔬菜价格; C_m 为 CO_2 气肥日施放量; D 为 CO_2 气肥施放天数; P_{r1} 为 CO_2 气肥每千克价格; h_u 为每天 CO_2 气肥施放用工费。据公式 $P > 1$ 为 CO_2 气肥施放决策原则, P 值越大, 效益越好。可根据核算费用, 随时决策 CO_2 气肥施放量和施放时间; CO_2 销售部门也可据此制定 CO_2 气肥浮动销售价格。

3 意义

以蔬菜大棚内 CO_2 浓度变化规律、小气候变化规律为依据, 从酒厂工业生产尾气中回收高纯度 CO_2 并以液态存放于高压钢瓶内, 以钢瓶形式进入流通, 用控制流量装置定量施放到蔬菜大棚内。 CO_2 气肥施放无副产品, 使用方便, 易形成规模, 具有重要的经济、生态和社会效益。 CO_2 气肥生产厂商和农民可依据气象条件、 CO_2 气肥施放指标及效益决策方法对 CO_2 气肥价格、施放量和施放时间进行合理决策。

参考文献

- [1] 王西平, 魏瑞江, 相云, 等. 利用工业尾气进行大棚蔬菜 CO_2 施肥技术体系研究. 生态农业研究, 2000, 8(1): 53 - 55.

脐橙果实的膨大速率计算

1 背景

近年我国脐橙栽培面积和产量呈明显上升趋势,是我国秋冬季节主要水果品种之一。脐橙以其果质优良、耐储存、便于运输等特点赢得了广大果农和消费者的青睐。脐橙果实膨大是其生物量(包括果汁和水分)积累过程,以往对农作物(如小麦、水稻、玉米等)生物量积累及灌浆过程的研究较深入和系统,但对脐橙果实膨大时间进程的研究尚未见详实和系统报道。王信理等^[1]对脐橙果实膨大时间进程、规律和影响因素进行了测定研究。

2 公式

研究表明^[1],脐橙果实膨大的时间进程可用 Logistic 方程表示:

$$D = \frac{D_{\max}}{1 + e^{a+bt}} \quad (1)$$

式中, D 代表脐橙果实在 t 时刻横径和纵径的平均值; t 是自脐橙开花末期始计算的天数; $D_{\max}$ 是 D 的理论上限值,对于正常自然成熟的果实,它与成熟果实的 D 值较为接近; a 和 b 为参数,其数值大小表征了果实膨大时间进程的基本特征。

对式(1)求导并作适当变换得:

$$GR = \frac{dD}{dt} = -D_{\max} \frac{be^{a+bt}}{(1 + e^{a+bt})^2} \quad (2)$$

$$RGR = \frac{1}{D} \frac{dD}{dt} = \frac{be^{a+bt}}{1 + e^{a+bt}} \quad (3)$$

式中, GR 为果实膨大速率; RGR 为相对膨大速率。分析可知, GR 和 RGR 皆是 a, b 绝对值的增函数,即 a, b 绝对值的大小在某种程度上表征了果实膨大速率和相对速率的优劣。对式(2)进一步分析表明,当 $t = t_0 = -a/b$ 时, GR 达到最大值 $GR_{\max}$,此时:

$$GR_{\max} = -\frac{D_{\max} b}{4} \quad (4)$$

$$D(t_0) = \frac{D_{\max}}{2} \quad (5)$$

式(4)和式(5)表述了 $D_{\max}$ 和 b 与果实膨大速率、果实大小之间的数量关系。对式(1)求高阶导数,结合式(2)可得:

$$t_1 = \frac{\ln(2 + \sqrt{3}) - a}{b} \quad (6)$$

$$t_2 = \frac{\ln(2 - \sqrt{3}) - a}{b} \quad (7)$$

其中, t_1 和 t_2 分别代表果实膨大进程中两个拐点。研究表明, 在 t_1 和 t_2 之间, D 随时间几乎呈直线增大, 膨大速率较大, 为果实快速膨大期。

对式(2)作适当变换可得:

$$\frac{1}{D} \frac{dD}{dt} = -b + \frac{b}{D_{\max}} D \quad (8)$$

由式(8)可知, 若不考虑等式右边的第2项, 则 D 将随时间以指数规律增长, b 值是果实指数膨大速率。对式(1)作适当变换可得:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{D_{\max}}{D} - 1\right) - a}{b} \quad (9)$$

设 $t = t_r$ 时为果实成熟期, 此时 $D = D_r$, 代入式(9)得:

$$t_r = \frac{\ln\left(\frac{D_{\max}}{D_r} - 1\right) - a}{b} \quad (10)$$

果实成熟时, 接近于一个常数。由式(8)和式(10)可知, 果实膨大的持续时间与果实指数膨大率成反比。以开花末期到成熟期的实测天数代替式(10)左边的 t_r , 将果实成熟时实测的横径与纵径之平均值 (D_r) 代入式(10)的右边, $D_{\max}$ 、 a 、 b 值采用相应的拟合值, 式(10)可较好地反映脐橙果实膨大时间进程中各特征量之间的相互制约关系。

王信理等^[1]对“纽荷尔”脐橙果实膨大时间进程、规律和影响因素进行了测定研究, 结果见图1和图2。

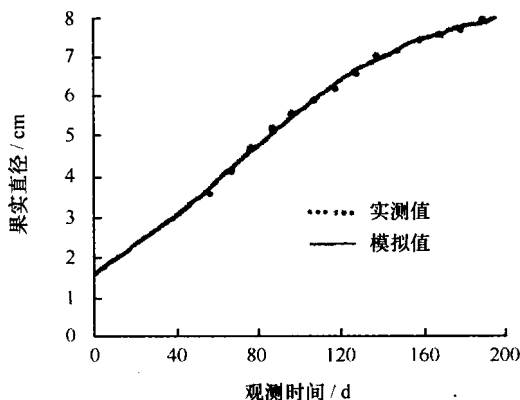


图1 “纽荷尔”脐橙果实膨大时间进程(1996年)

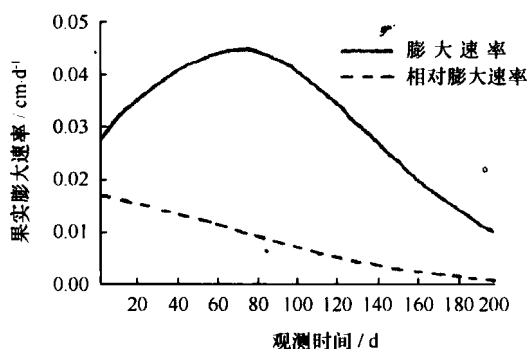


图2 “纽荷尔”脐橙果实膨大速率随时间的变化

3 意义

脐橙果实快速膨大期持续时间长,在其生长后期,果实膨大过快会发生裂果,因此应采取有效措施促进脐橙生长前期的快速膨大,生长后期可适当控制膨大速率,减少裂果和落果。正常条件下,Logistic 方程能很好地反映脐橙果实膨大的时间规律,有关生长特性可通过对该方程的分析推理得知,从而可以为培育脐橙新品种及其优化栽培管理调控措施、提高果实品质提供理论依据。

参考文献

- [1] 王信理,倪国裕. 脐橙果实膨大时间进程的研究. 生态农业研究,2000,8(1):56-59.

水稻生育期的生产潜力计算

1 背景

气候变化对作物生长发育和生产潜力的影响已引起人们的普遍关注^[1-5]。研究表明,气候条件,尤其是温度条件的变化对作物产生的影响显著。但气候变化对不同区域、不同作物及其不同生长发育期的影响不同。杭嘉湖地区属北亚热带季风气候,是我国双季稻种植的北缘区域,李全胜等^[6]在田间试验和实地观测资料的基础上,确定了温度适宜性评价函数和生产潜力计算参数,分析了气候变化对杭嘉湖地区水稻生长发育期温度适宜性和生产潜力的影响。

2 公式

2.1 温度条件适宜性评价函数及其参数确定

不同作物在不同生长发育期都有其自身最高、最低和最适温度的存在,不同温度水平的同样温差变化对作物生长发育和产量形成的作用不同。建立温度条件适宜性的评价函数是为客观反映不同温度条件对作物生长发育的影响。实际应用中温度条件适宜性评价价值应是一个介于 $[0,1]$ 之间的连续函数,据田间试验和模拟研究,温度条件适宜性的评价函数可用下式表示^[7]:

$$f(T) = \exp \left[a \left(\frac{T - T_0}{10} \right)^2 \right]$$

式中, $f(T)$ 为温度条件适宜性的评价函数; T 为某生长发育期实际温度; T_0 为某生长发育期最适温度; a 为不同温度区间的待定系数($a < 0$)。

据田间试验并结合温度条件适宜性评价函数^[1],得出杭嘉湖地区早稻、晚稻主要生长发育期不同温度区间的参数值(表1)。

表1 早稻、晚稻主要生长发育期不同温度区间适宜性评价参数值(a)

温度区间		生长发育期			
		移栽分蘖期	拔节孕穗期	抽穗开花期	灌浆成熟期
早稻	$T < T_0$	-1.61	-2.51	-4.47	-10.06
	$T > T_0$	-6.44	-10.06	-10.06	-2.51