

(知识介绍)

数学模型在马铃薯研究中的应用

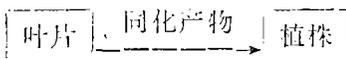
谢从华

(中国南方马铃薯研究中心)

随着生物科学的不断发展, 数学模型现已成为我们研究植物生态学和生理学的一个有效手段。近20年来, 一些描述作物群体特性的数学模型已在玉米 (dewit, et al. 1978)、大豆 (Carry, et al. 1975)、甜菜 (Fick, et al. 1975)、棉花 (Duncan, 1972)、苜蓿 (Holt, et al. 1975)、马铃薯 (Ng and Loomis, 1984) 和小麦 (Day and Atkin, 1984) 等作物上相继建立起来。数学模型的建立使人们能运用数学手段描述和预测作物的生长发育过程, 为作物生产、田间管理、市场预测、农业规划及经济政策的制订提供迅速有效的科学依据。许多数学模型计算简单, 适用范围广泛, 具有很大的运用价值。下面就数学模型的基本概念、种类、模型的建立与检验程序以及马铃薯数学模型的研究状态等作一粗略介绍。

1 模型的概念

模型定义: 是一个被研究系统的相似物。也就是说模型是另外一个简单一些的系统, 但这个系统可以代表某一被研究的复杂系统的某些方面。下图是由一个叶片和一株植株所构成的表示叶片与植株同化产物形成与转运关系的模型 (Bell, 1981)。



这个简单的模型就可以代表叶片——植株这个复系统中的某些关系, 如叶片是植株的同化产物来源等等。数学模型就是用数学关系式来描述所研究系统的特征特性。

2 数学模型的分类

目前, 数学模型的分类方法较多, 但各种分类方法均有其优缺点。一般来说, 数学模型可根据其性质、功能等进行成对分类。

2.1 线性模型与非线性模型

线性模型指所研究的自变量与因变量之间具有简单的线性关系, 如作物产量与作物蒸腾关系的模型就是一种简单的直线回归关系。非线性模型指所研究的变数之间的关系为一种曲线函数关系, 如指数函数、双曲线函数、“S”型曲线等等。作物的生长速率与时间的函数关系就属于“S”型曲线。

2.2 经验模型与机械模型

经验模型是利用已有的关系式 (如线性式各种非线性曲线) 来描述所得到的经验数据, 并可用这种关系式对所研究的性状进行预测。这类模型常用于作物的生长分析, 光合作用研究等等。机械模型则是在充分了解了所研究对象的物理、化学、生物学机制后所建立的。该模型用以描述某一过程的发生机理, 因而模型中的每一个参数均具有很强

的专业意义。如叶片生长的机械模型, 可由一套数学公式组成, 这些公式包含了各种需要研究的假设, 包括了对叶片生长的数量描述。若某一假设与观察数据不符, 则这种模型可提供还需要进行哪些方面的试验和理论研究的信息。机械模型只能在某一特定的条件下应用, 而经验模型则适应范围较广。

2.3 决定模型和随机模型

决定模型是指在表达模型的关系式中, 若给予一定的自变量(输入), 其因变量(输出)就具有相应的具体值。而随机模型则包含了随机因子, 其输出往往是以频率分布的形式出现, 例如植株体积的分布(Harper, 1977), 子粒和果实的体积分布等。

2.4 动态模型与静止模型

动态模型是指以时间为自变量来描述事物过程的模型。在生物学方面尤其适用于植物生长、产量的形成等与时间的关系方面的研究。静止模型多用于描述最后的结果, 不反应任何动态变化。如预测产量与气候因子关系的模型就属于这一类。

3 模型的结构

数学模型谈起来似乎十分复杂, 但其基本结构一般包括下述几个方面。

3.1 亚系统

如一个作物生长系统的模型, 有可能包括叶片生长系统、根系生长系统等。这些叶片生长系统、根系生长系统就称为作物生长系统的亚系统。

3.2 变量

一个模型通常包含有两个变量, 在统计学上称之为自变量和因变量。如在研究作物产量与土壤含水量关系的模型中, 作物产量随土壤含水量的变化而变化。在这里土壤含水量就为自变量, 而作物产量则为因变量。

3.3 参数

在一个模型中, 参数是一个定量。我们通常运用统计分析的方法来确定试验数据中的参数, 如直线回归中的截距(a)与斜率(b)等。

3.4 函数关系

函数关系是指用以描述模型的亚系统内或亚系统间各变量与参数特性的数学表达式。函数关系的建立必须以统计分析式数学分析为基础。

4 模型的建立与检验

任何模型都有其不同的适应范围亦即变量的取值范围, 超过其限制范围, 模型的外延应用必须十分谨慎。

一个模型的建立通常要确定研究目的、数据的收集、分析、模型的检验等步骤组成。下面就 ENG 和 RSLoomis(1984) 建立“马铃薯作物生长和产量模拟”模型(亦称 POTATO 作物模型)的具体步骤作一简要说明。

4.1 确定研究目的和应用方向

研究马铃薯作物的整体生理学, 描述作物与气候因子的相互关系, 用以评价遗传特性和检验管理措施。

4.2 系统限制在可控范围

将所研究的系统限制在可控制的范围内, 通常要作某些假定, 模型的形式和具体内容均受研究目的和假定的支配。以单株为基础模拟主要器官的生长发育, 假定每株各主茎间对于种薯的养分不发生相互竞争, 每主茎均可正常发育。同时假定水、肥供应良好, 植株无病虫害危害。

4.3 数据的收集、评价和分析

该步骤主要根据建立模型的要求进行, 并在很大程度上取决于研究人员的经验与调节水平。

4.4 模型的修正

通常利用一套比较完整的田间试验数

据,在一定条件下对模型的运转结果进行精确性检验和修正,一般包括改变某些参数和函数关系,有时也有必要对不完整或不连续的输入数据进行补充。该步骤亦称为模型的验证。

4.5 模型的有效性检验

再次以田间观测的独立数据为标准,对模型的精确性进行检验。

4.6 灵敏度分析

该项分析的主要目的,仍然是用以指导进一步完善模型。通过测定输入的变量与参数,进一步限制不适合的输入数据,以提高模型的可靠性。

通过验证、有效性检验及灵敏度分析后,模型即可用于解决生产实际中的具体问题。当然,在实际的模型建立过程中,会出现各种复杂情况,如试验过程中会出现某些研究目标的调整、增加等等,且研究领域不同(如经济发展模型的建立),其某些具体步骤亦会有差异。

5 马铃薯数学模型的研究与利用

数学模型在马铃薯作物方面的研究与应用虽然不如谷类作物那么深,但自60年代以来有较大的发展,已越来越受到重视。从简单的单个性状的预测模型到复杂的作物生长的计算机模拟程序均有报道。现按不同的研究内容作些介绍。

5.1 产量模型

苏格兰作物研究所Marshall等(1984)报道,马铃薯的最大干物产量可由播种及收获的时间、土壤和空气的温度以及光辐射等基本数据估算。根据以前的试验,他们假定植株获得的光辐射转换成干物质的比率为1.8克干物质/百万焦耳辐射(1.8gDM/MJ)。

Sibma(1977)利用总二氧化碳同化率和日呼吸量来计算马铃薯的总干物产量。若

块茎的干物重占总干物重的80%,块茎的干物质含量占20%的话,那么,每公顷22吨干物质产量的马铃薯,其鲜薯将可达每公顷110吨。

马铃薯的潜在产量亦可由植株截获的总辐射量、转化效率、收获指数及块茎的干物质含量求得。模型的表达式为:

$$\text{产量}(\text{g}/\text{M}^2) = \text{光辐射}(\text{MJ}/\text{M}^2) \times \text{转化效率}(\text{y干物质}/\text{MJ}) \times \text{收获}$$

$$\text{指数} \times \frac{1}{\text{干物含量}(\text{g}/\text{g})}$$

5.2 需肥模型

1982年Remy和Viaux报道马铃薯对氮肥的需求量可由以下公式求得:

$$bY = (Nm + Ms + Mr + Mo + F)XC$$

在这里, Y: 预计产量 b: 每单位产量的含氮量; Nm: 冬季末土壤无机氮含量; Ms: 土壤有机质中无机化的氮; Mr: 上茬作物残体中无机化的氮; Mo: 有机肥中无机化的氮; F: 施用肥料中的氮; C: 氮素利用效率。

这一模型在法国亦用来计算冬小麦的施肥量。从这个公式中可以看到马铃薯的产量与需肥量成正比。

5.3 生长模型

近10年来,一些研究人员试图建立比较全面的马铃薯生长模型,其中最好的例证要算是前面提及的Ng和Loomis(1984)的POTATO作物模型了。这是一个机械模型,具有详细的形态学与生理学内容。这个模型现已编成计算机程序,将所需参数输入后,可由计算机预测马铃薯主要器官的生长发育速度、块茎的干物产量等,并且已成功地应用于马铃薯赤褐布尔班克品种(Russet Burbank)上。这一模型的研究起始于1977年,以美国西部爱达荷州的环境条件为基础。

Feddes等的SWACRO模型也是一个比较大的综合生长模型。这一模型是由土壤水分平衡模型(SWATER)和作物生长模型两个亚系统组成,主要用于描述作物水分管理的变化对马铃薯呼吸作用和产量的影响。

5.4 块茎大小分布模型

澳大利亚的Sands和Regel(1983)定义马铃薯块茎的重量函数为不同重量等级的块茎产量的频率分布,并且假定在一个成熟的马铃薯作物群体中,块茎的重量成正态分布,这样,他们建立了一个预测马铃薯块茎重量函数的经验模型:

$$G(\omega, \mu, \sigma) = [N(\hat{\omega} - \hat{\mu}) - N(-\hat{\mu})] / [1 - N(-\hat{\mu})]$$

在这里, $G(\omega, \mu, \sigma)$: 块茎重量函数, 其平均数 μ 和标准差 σ ; $\hat{\omega}$, $\hat{\mu}$: 以标准差 σ 为单位的块茎重量和平均重量; $N(x)$ 可由“累积正态分布 $F_N(x)$ 值表”查出。

该模型仅涉及两个输入数据: 块茎的平均重量与其标准差, 因而使用十分方便。

1987年, Travis以块茎体积为基础(块茎体积由通过一定孔径的筛网来确定), 研究了马铃薯块茎的大小分布。他假定块茎体积的分布亦为正态分布, 因而也只涉及平均体积(μ)和标准差(σ)两个数据。

笔者(未发表资料)在马铃薯块茎大小及其控制的研究中发现,按重量分级的块茎,其块茎的数目呈指数分布:

$$F(b) = 1 - e^{-\lambda b}$$

在这里, F : 块茎数量分布的频率; b : 重量级别中的上限; λ : $1/\text{块茎平均重量}$ 。

因为已发现块茎的数量和平均重量与密度、品种及某些栽培环境条件有关,亦可进行预测,或者通过现场取样调查获得这两个数据,所以上述块茎重量的分布模型具有一定的实用价值。

对马铃薯病虫害发生、流行以及与产量损失的关系的模型也有不少报道(Ward and Radinge, 1984; Cupsa, Panfil and Lgnat, 1984)。数学模型在马铃薯作物上的应用与研究正逐步走向深入。

通过回顾数学模型在作物方面的研究与发展,我们可以看到,20多年来,数学模型经历了一个由简单到复杂再到简单的过程。这主要是因为大型的计算机程序模拟模型运转比较复杂,设备费用昂贵,不适于大范围的推广应用。同时,比较简单的数学模型有时也可达到研究的目的,解决生产上的实际问题,并且只要一般的计算器即可,各种数据的取得亦比较简单,容易理解,容易计算,便于推广,因而这类模型目前呈发展趋势。

(上接190页)

质体的来源是重要的。众所周知,在愈伤组织和细胞致悬浮液中染色体的高度畸形是导致减弱细胞再分化能力的原因。在未来马铃薯杂交试验中,只有叶肉细胞的原生质体才能被融合。已经提出了一个产生马铃薯体细胞杂种的体系,在这个体系中,只有表现型相

似、来自不同亲本的叶肉细胞原生质体,并结果电刺激融合法才能被应用(Schieder等, 1986)。

朱克寅 译 李雅志 校
译自《Plant Breeding》

1986, 97 (3) 255~260