

水稻氮行为模拟模型和数学优化程序

结合在氮肥运筹中的应用*

郑志明 严力蛟 王兆骞 徐照本¹ 楼余产

(浙江农业大学农业生态研究所 杭州 310029) (金华县农技推广中心 金华 321000)

APPLICATION OF COMBINATION OF N-BEHAVIOR
SIMULATION MODEL AND AN ALGORITHM NUMERICAL
OPTIMIZING PROCEDURE IN FERTILIZER-N
OPERATION OF RICE PRODUCTION

Zheng Zhiming Yan Lijiao Wang Zhaoqian

(Agroecology Institute of Zhejiang Agricultural University, Hangzhou, 310029, China)

Xu Zhaoben Lou Yuchan

(Agricultural Technology Transfer Center of Jinhua County, Jinhua, 321000, China)

近年来,随着计算机技术和作物生产模拟与系统分析方法的发展,使定量化描述氮与作物和其它环境因子相互关系成为可能,并已成功推出了用于描述氮在器官间分配和干物质生产、氮与冠层 CO_2 同化率之间关系的氮行为模拟模型^[1]。但这些模型大多用于动态描述氮在作物-土壤系统中的行为,距模型直接指导作物生产还有差距。因此,如何将氮行为模型的模拟结果转化为生产上的氮运筹措施尚待进一步研究。本研究以金华地区杂交晚稻生产为例,尝试性地将水稻 ORYZA₀ 氮行为模拟模型与 Price 规则系统数学优化程序^[1,2] 结合以实现这种转化,为模型直接用于指导作物生产提供借鉴。

1 模型与规则系统数学优化程序简介

ORYZA₀ 模型能模拟氮在土壤-作物系统中的复杂行为和给定氮水平下的潜在产量(生物量或经济产量)或纯收入。它由氮素吸收、氮在器官间的分配和利用叶片氮转化太阳辐射能为干物质等过程组成。模型主要通过揭示太阳辐射量(R)与由氮肥施用量决定的水稻叶片氮含量(N_L)之间的数量关系以描述氮限制干物质($W_c(t)$)生产的过程。模型考虑作物的氮需求($N_c(t)$)主要决定于土壤固有供氮量(S_N)、氮肥应用量(A_{in})和氮肥的回收率($P_N(t)$)。同时作物氮吸收受制于逐日氮吸收绝对最大值(U_N)、逐日最大吸氮量占每日干物质增重最大值(qN)、最大作物氮浓度对时间的生成元函数($C_{max(t)}$)和最大叶片氮总量($N_{L,max}$)因子。叶片氮量(N_L)决定于作物总吸氮量(N_c)和叶片氮占作物全氮的分配率(f_{NL})及开花后穗氮占干物质的比率(n_P)。

假设连续施氮可能,氮肥应用曲线(A_{in})为对时间的 Logistic 函数; $A_{in}(t) = C[1 + ae^{-b(t-m)}]^{-1/a}$,式中 a, b, c, m 为定义曲线形状,相对位置和渐近线值的常数,其值可由能对规则系统的多种决策行为作出优化选择的 Price(1979)数学优化程序优化而得。Price(1979)数学优化程序和 ORYZA₀ 氮行为模拟模型结合,

* 浙江省自然科学基金和“作物生产模拟与系统分析(SARP)”国际项目资助课题。

收稿日期:1996-04-20,修改稿收到日期:1996-09-15。

能制定任意给定氮水平下的最佳氮肥应用曲线(A_{opt})和最佳氮肥运筹策略,即最佳的氮肥施用数量和时间。关于 ORYZA_0 的结构和 Price(1979)数学优化程序的作用机理,已在另文中作详细介绍^[1]。

2 实例分析——以金华地区杂交晚稻生产为例

2.1 试验设计

试验分1993年参数试验和1994,1995年的验证试验。1993年参数试验设7个氮水平处理(0,150,180,210,240,270,300 kg N/hm²),4次重复,供试品种为协优46和汕优10,试验地有机质为2.0%,全氮0.12%,水解氮120ml/l,速效磷20ml/l,速效钾38ml/l。当地常规氮肥管理方法,移栽后每隔7d对植株和土壤取样以测定模型必需的输入参数的函数。

1994年小区验证试验设5个处理:①无氮肥处理;②当地常规氮肥处理(180 kg N/hm²分别于移栽后0,5,25d施入);③当地常规氮肥量+模型推荐的施氮时间 t_1 (4次平均分别于移栽后8,19,27,38d施入);④模型推荐的施氮量(150 kg N/hm²) + 模型推荐的施氮时间 t_1 ;⑤模型推荐的施氮量+模型推荐的施氮时间 t_2 (4次按0.55:0.15:0.2:0.1比例分别于移栽后0,8,27,40d施入)。小区面积为30m²,4次重复。1995年大区(667m²/区)验证(示范)试验只设小区验证试验的②,④,⑤3个处理(这里的模型推荐的施氮时间 t_1 根据 Wopereis 的“等分半量法”产生;模型推荐的施氮时间 t_2 则由模型的 NAPOSP 子模块按“分离赋值法(split evaluation)”原理产生^[1]。两种方法都可将由 Logistic 方程确定的每天连续施氮转化为分次施氮,但必须有一定的产量损失为代价。

2.2 模型推荐氮肥应用曲线的确定

2.2.1 模型模拟的经济产量和追加收入 在系统分析1993年的参数试验材料,测得 ORYZA_0 模型运行所需的水稻品种生理生态参数和土壤特性参数值的基础上^[1],模型模拟不同氮水平下的产量和氮肥追加收入(即一定氮肥投入水平下的纯收入与无氮投入下的纯收入之差)表明,模型模拟的经济产量和追加收入与实际观测值相吻合(图1)。虽然180 kg N/hm²处理的经济产量虽略高于150 kg N/hm²的处理,但其追加收入却略低于150 kg N/hm²的处理,因此同时考虑经济和环境(如过量氮肥施用对环境的非点源污染等),模型确定150 kg N/hm²为该品种在该地区的最经济用肥量。

2.2.2 模型推荐的氮肥应用曲线 为取得任

意给定氮水平下(如 FERMAX=50,100,150,180,210,240,270,300)的目标产量(如图1),经与 Price(1979)优化程序连接的 ORYZA_0 模型运行后推荐的优化氮肥应用曲线如图2。由图2可见:①在低氮投入水平(如50,100 kg N/hm²),最佳的氮肥管理策略是所有氮肥集中在移栽后25d(幼穗分化期)前施下;②随施氮水平提高,后期施氮比重增加,但90%~100%的氮肥应在移栽后40d(约开花期前一周)前施下;③当施氮量超过一阈值(如210 kg N/hm²),在高氮水平各处理采取类似的氮运筹方法。这些结论较客观地反映了当地生产上氮管理实际,因此,模型对生产具有指导意义。

2.2.3 模型推荐氮肥应用曲线的验证

1994,1995年两年验证试验结果表明(表1),与当地的氮管理方法(处理②)相比,在节省30 kg N/hm²前提下的模型推荐的两种氮管理方法(处理④和⑤)实测产量仍分别比当地常规氮管理方法增产6.03%~6.87%和8.58%~11.08%,其中以150 kg N/hm²分别于移栽后0,8,27,40d分4次施下的氮运筹方法为最佳,说明模型推荐的氮肥运筹方法具节氮增产作用。

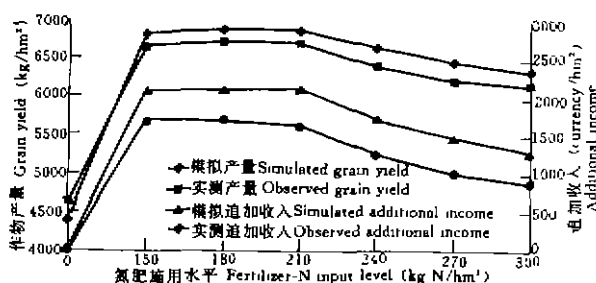


图1 模型模拟经济产量和追加收入与实测值的比较
(协优46,金华,1993)

Fig.1 Comparison of simulated grain yield and additional income with observation

(cv. Hybrid Xieyou 46, Jinhua, 1993)

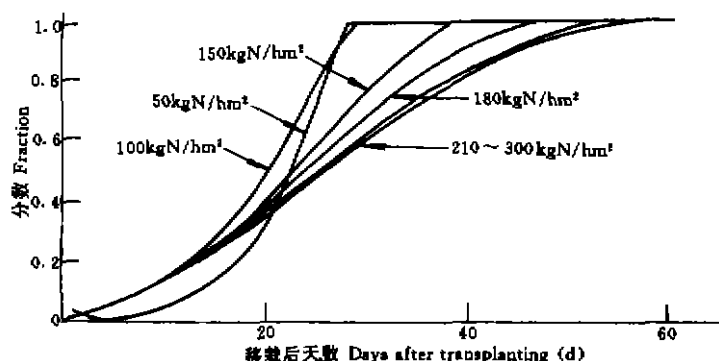


图2 给定氮水平下对应最大经济产量的模型推荐氮肥管理曲线(协优46,金华,1993)

Fig. 2 Fertilizer-N recommendation curves corresponding to maximum grain yield for cv. Xieyou 46 at Jinhua, 1993

表1 模型推荐的氮肥应用曲线的产量验证结果比较(协优46,金华,1994~1995)

Table 1 Comparison of the grain yield with and without model recommendation for hybrid cv. Xieyou 46 at Jinhua, 1994, 1995

处 理 Treatment	统计产量* (kg/hm ²) Calculated yield		实际产量* (kg/hm ²) Real yield		颖花/叶比 Spikelets-leaf ratio	
	1994	1995	1994	1995	1994	1995
T1	4951.2 d		4870.3 b		0.41	
T2(CK)	6230.8 c	6383.7	6045.6 b	6046.2	0.46	0.46
T3	6383.7 bc		6296.5 b		0.47	
T4	6678.3 ab	6785.1	6410.4 a	6461.6	0.51	0.52
T5	6922.1 a	7081.3	6715.5 a	6564.8	0.53	0.53

* ,产量水分0%, 0% moisture grain yield. 产量显著性检验为5%水平. yield difference is significant at 5% level.

在群体适宜叶面积范围内,颖花/叶(cm²)比是库源关系和群体光合生产力的综合指标^[4].分析模型推荐氮肥管理方案增产原因认为,抽穗期模型推荐氮肥管理方案的植株颖花/叶(cm²)比高于当地常规氮肥管理处理(表1),说明抽穗期后其植株具有较适宜的库源关系和较强的群体光合生产力.

3 结论

根据太阳辐射量和叶片氮之间的作用原理建立的水稻氮行为模拟模型 ORYZA_0,能用于描述氮在土壤-作物间的复杂行为,模拟不同氮水平下的水稻潜在产量或纯收入,ORYZA_0模型可与 Price(1979)规则系统数学优化程序结合,以用于制定为取得给定氮水平下的目标产量或纯收入所必需的最佳氮运筹策略.田间试验材料验证表明,与数学优化程序连接后的 ORYZA_0模型推荐的氮管理方案具有节氮增产作用,说明 ORYZA_0氮行为模拟模型与数学优化程度结合,对水稻生产上的氮肥运筹具有现实指导意义.

参 考 文 献

- 1 Ten Berge H F M, Wopereis M C S & Rithoven J J M. The ORYZA_0 model applied to optimize nitrogen use in rice. In: Ten Berge H F M, Wopereis M C S & Shin J C Eds., *Nitrogen economy of irrigated rice, field and simulation studies*. SARP Research Proceedings, AB-DLO, TPE-WAU, Wageningen, IRR1, Los Banos, 1994. 235~253
- 2 Stol W, Rouse D I, Kraaijen D V G *et al.* FSEOPT a FORTRAN program for calibration and uncertainty analysis of simulation models. Simulation Reports nr. 24, CABODLO, Wageningen Agricultural University, 1992, 24
- 3 郑志明, Ten Berge H F M. 水稻氮肥管理的 ORYZA_0模型之理论与验证. 浙江农业大学学报, 1994. 20(6): 611~616
- 4 凌启鸿等. 水稻群体粒/叶比与高产栽培途径研究. 中国农业科学, 1986, (3): 1~8