DOI:10.13758/j.cnki.tr.2006.06.010

土 壤 (Soils), 2006, 38 (6): 717~726

一个稻田土壤-作物体系的氮素循环模型①

唐昊冶[1]， 韩 勇[1*]， 黄俏丽[2]

（1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室（中国科学院南京土壤研究所），南京 210008；
2 扬州大学，江苏扬州 225009）

摘 要： 模型为一维模型，其主要框架由土壤水分运动、N 素迁移转化以及水稻生长 3 个模块组成。在土壤水分运动模拟中，考虑了可能存在的饱和流和非饱和流；在 N 素运移中将土壤中的 NH_4^+、NO_3^- 和尿素视为土壤溶质，用对流弥散方程模拟其在垂直方向上的运移；在 N 素转化过程中考虑了尿素水解、有机 N 矿化、氨挥发、硝化、反硝化以及 NH_4^+ 的吸附这 6 个过程；对于作物生长的模拟，选用了 ORYZA 水稻生长模型，并结合田间实验修改了其中一些参数。使用该模型对 3 年的田间试验进行了模拟验证，对于土壤中矿质态 N 素以及水稻生长的模拟，都得到了较好的模拟结果，通过与实测值的分析比较，耕作层的 NH_4^+-N 浓度，水稻各部分的生物量模拟值与实测值的吻合都达到了显著水平。

关键词： 稻田；氮素循环；模型；土壤-作物体系

中图分类号： S153

近年来，N 肥的大量使用引发了较为严重的环境问题[1]，如何经济合理地使用 N 肥日益受到人们的关注。对此，必须了解 N 素在土壤-作物体系中循环的全过程，并进一步地对 N 素迁移转化各个过程之间的关系进行研究，给出定量描述。这正是建立 N 素在土壤-作物体系循环模型的必要性。国外对这方面的研究较早，但建立的大多是旱地模型[2]。由于稻田土壤特殊的剖面结构，田面水的长期存在以及淹水、排干交替所引起的氧化还原条件的变化，使稻田土壤-作物体系的 N 素循环模型与旱地模型相比有其特殊性，不能单纯地套用旱地模型。

在我国，水稻田占了耕地总面积的 29%，分布遍及全国，耕作强度大、施肥量高[3]，因此迫切需要建立适合我国农业实情的稻田 N 素循环模型。对此，国内外学者进行了一些研究，但大多是针对其中某些独立的过程的模型[4-5]，对于稻田土壤-作物系统中 N 素循环的整体模型的报道并不多。本研究正是针对我国稻田的实际情况，将土壤水分运动、N 素迁移转化以及作物生长三者的模拟有机地结合起来，建立了土壤-作物体系中 N 素循环的整体模型，并结合田间试验，对模型进行了模拟检验。

1 模型框架

由于土壤-作物体系中的 N 素行为以及作物生长与土壤水分状况密切相关，所以需要将土壤水分运动、N 素迁移转化、作物生长三者联合，建立其整体模型（图 1）。三者的模拟分为 3 个子模块，各个模块之间相互传递计算过程中所需要的数据。由于水稻土特殊的剖面形态，不同深度上的土壤性质有所不同，因此模型可以根据不同情况把土壤分层并确定每层的厚度。在水分运动和 N 素迁移上，我们只考虑了其垂直方向上的运动，所模拟的对象为 N 素在稻田的 3 种主要存在形式：尿素、NO_3^- 和 NH_4^+。模拟过程从水稻移栽开始，到收割结束。在模拟开始前，首先初始化各层土壤的属性数据、N 素迁移转化方程所需要的各个参数、作物生长模拟所需的各个参数以及各土层和田面水中的尿素、NO_3^-、NH_4^+ 的初始浓度。模型开始运行后，每天读入气象数据和田间管理数据，模拟水稻生长、土壤水分运动、N 素迁移转化等各个过程。并将模拟得到的各层尿素、NO_3^-、NH_4^+ 的浓度，土壤水分含量、田面水厚度、作物生长情况等分别输入到指定的文

①基金项目：国家自然科学基金面上基金（20377042）资助。

* 通讯作者（hanyong@issas.ac.cn）

作者简介：唐昊冶（1981—），男，重庆人，硕士研究生，主要从事氮素循环模型研究。E-mail:hytang@issas.ac.cn

件内。模型运行的时间步长为 1 天，但在模拟水分运动和 N 素迁移转化时，由于采用差分方法解偏微分方程，时间步长预设值为 1/1000 天，在计算过程中根据水分运动的迭代情况自动调节。

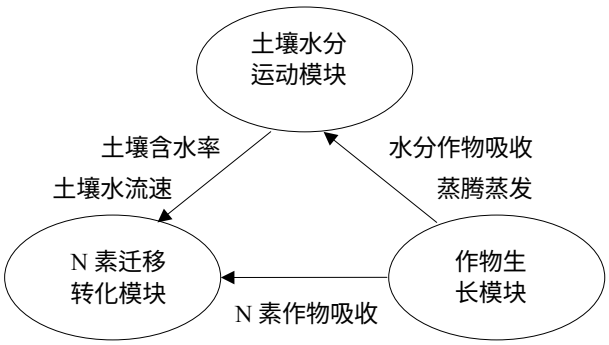


图 1 模型的整体框架

Fig. 1 Frame of the model

2 土壤水分运动模块

水分运动是 N 素运移的前提。在稻田环境下，由于犁底层的作用，水分在垂直方向上运动比较困难，土壤水分流动往往同时存在着饱和流和非饱和流两种状态。通常淹水条件下，犁底层以上是饱和流，以下是非饱和流，但在地下水位较高时，犁底层以下土壤也可能存在饱和流。因此它的水分运动是两种状态的耦合。

在模型中，考虑土壤水流为 Darcy 流，因此饱和土层的水分运动与土壤饱和导水率有关，但是通过土层的饱和流速不仅取决于该层的饱和导水率，还要考虑在该层之上饱和土层以及田面水的压力势。

$$q = -k_S \frac{dH}{dz} = -k_S \frac{dh}{dz} + k_S \qquad (1)$$

式中 z 为饱和水流垂直方向上流动的距离 (cm)，向下方向为正；q 为土壤的达西流速 (cm/d)；k_S 为土壤饱和导水率 (cm/d)；H 为总的土水势 (cm)，在饱和情况下为压力势 h (cm) 和重力势（其值等于-z）之和。

在非饱和情况下，Darcy 流速为土水势梯度和土壤导水率的函数：

$$q = -k(h)\frac{dH}{dz} = -k(h)\frac{dh}{dz} + k(h) \qquad (2)$$

式中 h 为由土壤水分特征曲线所决定的基质势(cm)，在模型中采用 Driessen 提出的方程 (3) 计算；k (h) 为非饱和导水率，在非饱和情况下是 h 的函数在模型中采用 Full Rijtema 方程 (4) 计算。

$$\theta = \theta_s \mathrm{e}^{-\beta \mathrm{In}2\ |h|} \qquad (3)$$

式中 θ 为 h 所对应的土壤含水率；θ_s 为土壤饱和含水率；β 为经验常数。

$$\begin{aligned} k(h) &= k_s \mathrm{e}^{-\alpha|h|} \quad (|h| \le |h|_{\max}) \\ k(h) &= \mathrm{a}\,|h|^{-1.4} \quad (|h| > |h|_{\max}) \end{aligned} \qquad (4)$$

式中 k_s 为饱和导水率；α，a，h_{max} 为与土壤性质有关的经验常数。

对于水分运动的边界条件，考虑蒸发、降雨以及灌溉直接作用在田面水厚度上，当田面水不能满足蒸发时，田面水厚度为零，蒸发在第 1 层土层中考虑。各土层水分含量的变化由流进、流出该层的达西流速以及作物根系的吸水量决定。田面水或第 1 层土层的蒸发量以及各层的作物根系的吸水量由 Penman-Monteith 方程计算得出。

3 氮素迁移转化模块

N 素在稻田中的迁移转化过程十分复杂，要全面地模拟全部过程非常困难。因此模型中选取了其中的几个主要过程进行模拟。包括：尿素水解、有机 N 矿化、硝化、反硝化、NH_4^+-N 的吸附、氨挥发以及可溶性 N 的淋失（图 2）。

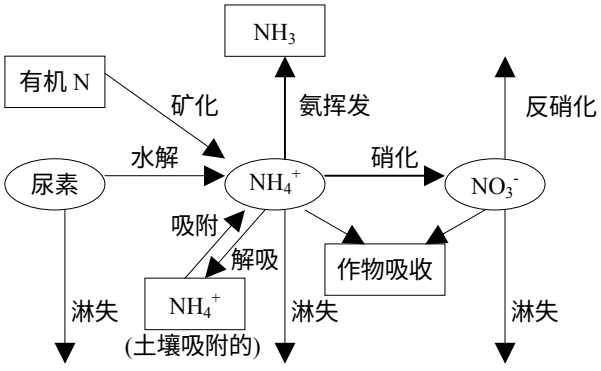


图 2 模型所模拟的稻田 N 素迁移转化过程

Fig. 2 Simulated nitrogen transport and transformation processes in paddy soil

在 N 素的转化过程中，对于尿素的水解过程，

借鉴了 Nye 所提出的模型[6]，认为在尿素浓度＞0.2 mmol/cm^3 时，水解过程符合线性方程；在小于或等于这个值时，符合 Michaelis–Menten 方程。对于有机 N 矿化，为了使模型更具灵活性，提供了 special 模型和有效积温式，可以根据需要选用；同时，由于温度和土壤含水量对矿化的影响很大，在模型中提供了 Arrhenius 方程和一个水分影响函数来反映温度和土壤含水量对矿化的作用。对于硝化、反硝化过程，考虑得比较简单，用一个一级动力学方程描述；在稻田环境下由于淹水、排干造成的土壤含水量变化对硝化、反硝化过程的影响很大，因此模型中分别有不同的水分影响函数来校正硝化、反硝化过程的反应速率。对于 NH_4^+-N 的吸附过程，模型中提供了常见的线性吸附，Freundlich 吸附和 Langmuir 吸附方程供灵活选用。对于氨挥发过程，由于稻田的氨挥发大部分是发生在田面水的表面，所以模型中使用了 jayaweera–mikkelsen 传质双膜模型[7]来描述这一过程。

在模型中，考虑了尿素、NO_3^- 和 NH_4^+ 的运移，使用对流弥散方程计算。

在田面水中：

$$d\frac{\partial U}{\partial t} = F_u - d\upsilon \tag{5}$$

$$d\frac{\partial N}{\partial t} = F_n + d\mathrm{K_n}A - d\mathrm{K_d}N \tag{6}$$

$$d\frac{\partial A}{\partial t} = F_a + d\upsilon - d\mathrm{K_n}A - A_{vol} \tag{7}$$

在土壤中：

$$\frac{\partial \theta U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[D_u\frac{\partial U}{\partial z} - qU\right] - \upsilon\theta \tag{8}$$

$$\frac{\partial \theta N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[D_n\frac{\partial N}{\partial z} - qN\right] + \mathrm{K_n}A\theta - \mathrm{K_d}N\theta - S_n \tag{9}$$

$$\frac{\partial(\theta A + \rho A_s)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[D_a\frac{\partial A}{\partial z} - qA\right] + \upsilon\theta + N_{\min} - K_nA\theta - S_a \tag{10}$$

式中：U、N、A 为田面水或土壤溶液中的尿素、NO_3^-、NH_4^+ 浓度（mmol/cm^3）；F_u、F_n、F_A 为田面水–土壤边界上的尿素、NO_3^-、NH_4^+通量 (mmol/(cm^2·d))；d 为田面水厚度（cm）；υ 为尿素水解速率 (mmol/(cm^3·d))，由尿素水解模块计算得出；K_n、K_d 为水分影响函数修正过的硝化、反硝化反应速率常数（1/d）；A_{VOL} 为氨挥发模块计算出的氨挥发速率（mmol/(m^2·d)）；θ 为土壤体积含水率 (cm^3/cm^3)；q 为土壤水的达西流速（cm/d）；D_U、D_N、D_A 为尿素、NO_3^-、NH_4^+ 的弥散系数（cm^2/d）；S_n、S_a 为作物对 NO_3^-、NH_4^+ 的吸收速率（mmol/(cm^3·d)），由作物生长模块根据水稻 N 吸收曲线计算得出；A_S 为 NH_4^+ 的被土壤吸附项（mmol/g），由 NH_4^+ 吸附模块计算得出；ρ 为土壤密度（g/cm^3）；N_{min} 为矿化速率（mmol/(cm^3·d)），由矿化模块计算得出。

对于上边界条件，以尿素为例，当没有田面水时，考虑田面水–土壤边界上的尿素通量为零。

$$F_u = -D_u\frac{\partial U}{\partial z} + qU \tag{11}$$

对于下边界条件，考虑比较简单：

$$D_u\frac{\partial U}{\partial z} = 0 \tag{12}$$

NO_3^-、NH_4^+ 的边界条件考虑与尿素相同。

这 3 个对流弥散方程，模型中采用有限差分法进行数值求解，由于此方法比较成熟，这里就不做专门介绍。

4　作物生长模块

对于 N 素的迁移转化部分，国内一些学者做了很多研究，也建立了一些模型。但这些模型中，都没有把作物生长作为一个单独的模块建立，只是综合一些资料，估算出根系对 N 素的吸收速率。然而作物作为土壤–作物 N 素循环体系中重要的一个环节，详细地模拟其生长是十分必要的。因此在本模型中，以国际水稻所建立的 ORYZA 水稻生长模型为基础，建立了作物生长模块。

ORYZA 水稻生长模型是一个光合作用动力模型，每天的冠层太阳辐射在入射辐射、叶面积指数、叶片在冠层的垂直分布基础上计算出来。逐日的冠层光合作用同化速率通过计算每片叶片对冠层高度和天数的积分得到，减去呼吸消耗就得到了每日净生产率，生成的干物质则根据作物的发育阶段（为日平均气温的函数）被分配到不同的器官。

在 ORYZA 模型中，大部分参数是对所有水稻品种有效的，不需要校正。需要根据试验校正的经

验参数主要是对环境反应最重要的作物特性，这些特性根据水稻品种而不同，主要包括发育速率、干物质分配系数、比叶面积、叶片死亡率以及茎秆保留系数等。在本模型中，根据田间试验数据，校正了这部分参数。

5 模型参数的获取

水分运动的水力学参数，一般被认为与土壤结构、紧实程度、物理性质有关。在本次模拟过程中，由试验地的实际情况，根据不同深度土壤水力学性质的不同，把土壤垂直方向上分为 10 层，每层深度有所不同。由于时间以及条件限制，并没有对实验地土壤的水力学参数进行测定，其参数查阅相关文献获得。本次模拟中划分的每层的厚度、相关的水力学参数以及 Full Rijtema 方程和 Driessen 方程的经验常数见表 1。

表 1 部分水分运动模块所需参数

Table 1 Parameters needed in simulating soil water movement

层号	每层深度（cm）	ρ（g/cm^3）	θ_s（cm^3/cm^3）	k_s (cm/d)	h_{max} (cm)	α	a	β
1	6	1.2	0.5409	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0150
2	7	1.2	0.5409	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0150
3	12	1.37	0.4884	1.0000	135	0.0378	2.1000	0.0140
4	10	1.46	0.4587	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0140
5	10	1.46	0.4587	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0140
6	10	1.46	0.4587	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0140
7	11.25	1.53	0.4347	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0140
8	11.25	1.53	0.4347	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0140
9	11.25	1.53	0.4347	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0140
10	11.25	1.53	0.4347	3.5000	300	0.0274	2.7700	0.0140

在 N 素迁移转化部分中，对于尿素水解以及硝化、反硝化反应的参数，国内外学者对此的研究比较多，资料也相应较多，因此参数从相关文献中获取；对于有机 N 矿化、NH_4^+-N 吸附，采集试验地耕作层土壤，进行了室内培养实验，获得了相关参数；对于氨挥发模型，进行了田间试验验证，校正了部分参数。

表 2 模拟中采用的部分 N 素转化参数

Table 2 Nitrogen transformation parameters adopted in simulating process

参数	单位	采用值
硝化反应常数 k_n	1/d	0.35
反硝化反应常数 k_d	1/d	3.5
Special 模型中缓慢矿化部分常数 C_r	mg/(kg•d)	0.7
Special 模型中易矿化部分矿化势 N_a	Mg/kg	57
Special 模型中易矿化部分反应常数 k_a	1/d	0.03
Freundlich 方程中的吸附常数 K		0.87
Freundlich 方程中的吸附常数 N		0.86

为了得到作物生长模块所需要修改的部分参数，我们设置了田间试验，在水稻生长的幼苗期、拔节期、抽穗期、乳熟期以及成熟期对于水稻植株进行采样，分析植株样品根、茎、绿叶、黄叶、穗的干物质量、N 含量，并测量叶面积。根据试验得到的各个时期水稻总的干物质重，以及它在各个器官之间的分配，求出它在每个时期的干物质总的增长率以及各个器官干物质的增长率。然后根据各器官干物质增长率所占总的增长率的比例，得到这一时期的生产率分配系数。对于其他需要修改的参数也与之类似。

6 模型的模拟验证

为了得到模型需要的部分参数以及验证模型，我们在太湖以西的宜兴市大浦镇进行了田间试验。水稻品种为 “Youjing 5356”，施用尿素总施肥量为 N 270 kg/hm^2，基肥、返青肥、穗肥分别为 N 132、69、69 kg/hm^2，并设置了 3 个重复小区，具体施肥时间见表 3。模型所需要的气象数据由当地气象站 提供。

图 3 反映了耕作层土壤溶液中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 浓度随时间的变化，从与实测值的比较来

表 3　施肥时间

Table 3　Date of fertilization

时间	基肥	返青肥	穗肥
2003 年	6 月 9 日	6 月 18 日	8 月 1 日
2004 年	6 月 11 日	6 月 18 日	8 月 1 日
2005 年	6 月 9 日	6 月 18 日	8 月 1 日

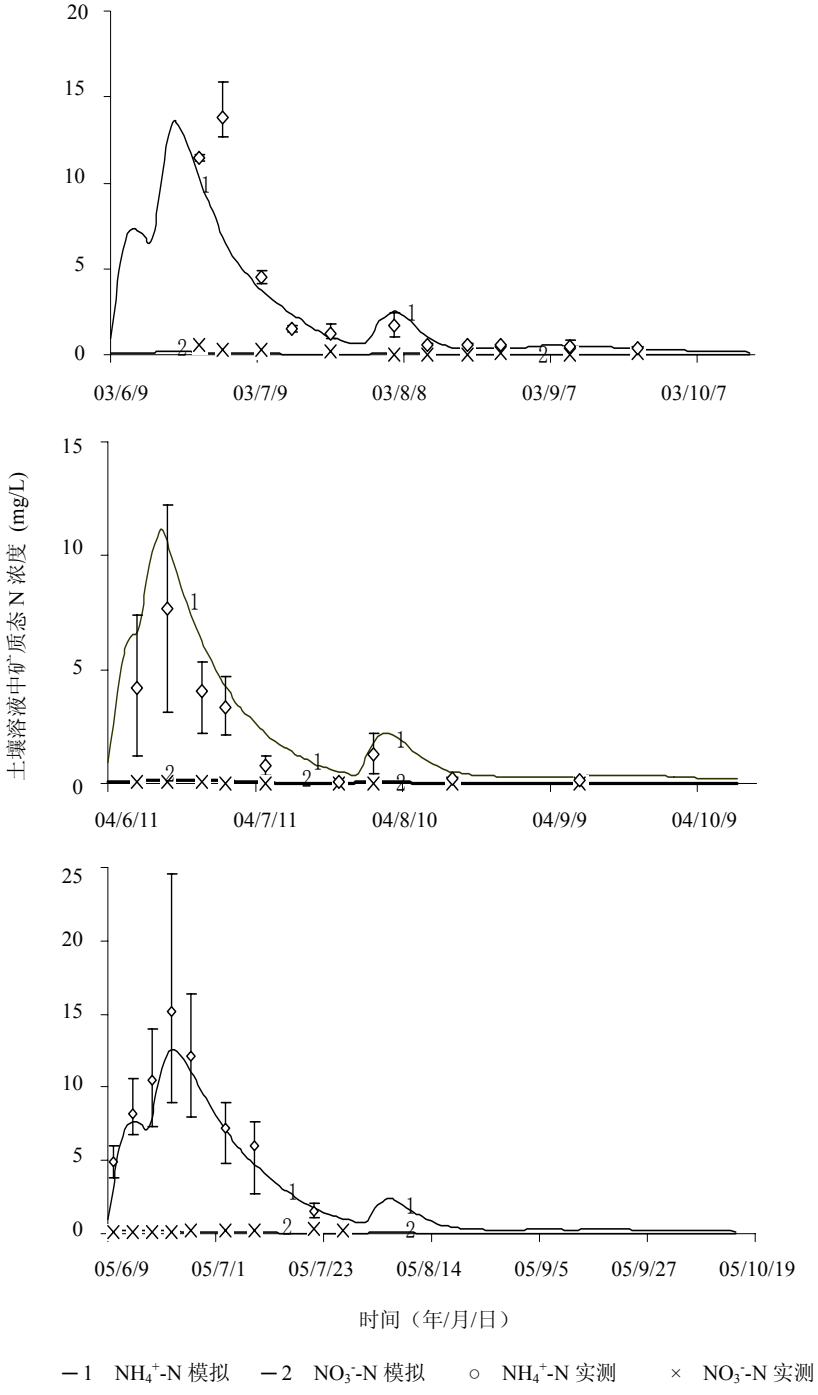


图 3　耕作层中矿质态 N 的变化过程

Fig. 3　Temporal change of mineral nitrogen concentration in paddy soil

看，除个别点外，模拟结果都在实测值正负误差线以内。从图 4 来看，绝大部分散点都在 1:1 线附近，R^2 值为 0.8495。可以看出，模型对耕作层的 NH_4^+-N 浓度变化有着较好的模拟结果。由于稻田中 NO_3^--N 的浓度是很低的，大部分的实测值都在 0.1 mg/L 以下，在仪器分析的灵敏度之下，所以对于 NO_3^--N 的模拟结果没有特别加以分析。

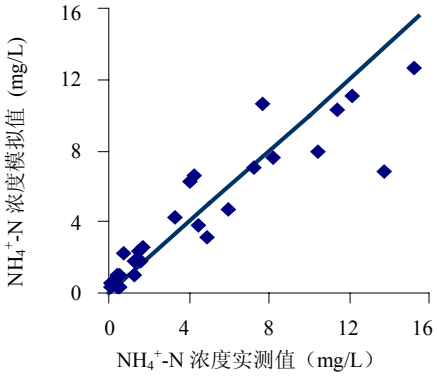


图 4 NH_4^+-N 浓度实测值与模拟值比较

Fig. 4 Comparison between simulated and measured ammonium concentrations

图 5 和表 4 反映了模拟范围（1 m 深土壤）内 N 素的分配情况。从氨挥发的模拟结果来看，氨挥发主要在施肥 6 天之后完成，这期间的氨挥发量占对应施肥期间总氨挥发量的 78.9% ~ 96.8%，总的氨挥发量占总施肥量的 15.3% ~ 17.6%，这与宋勇生

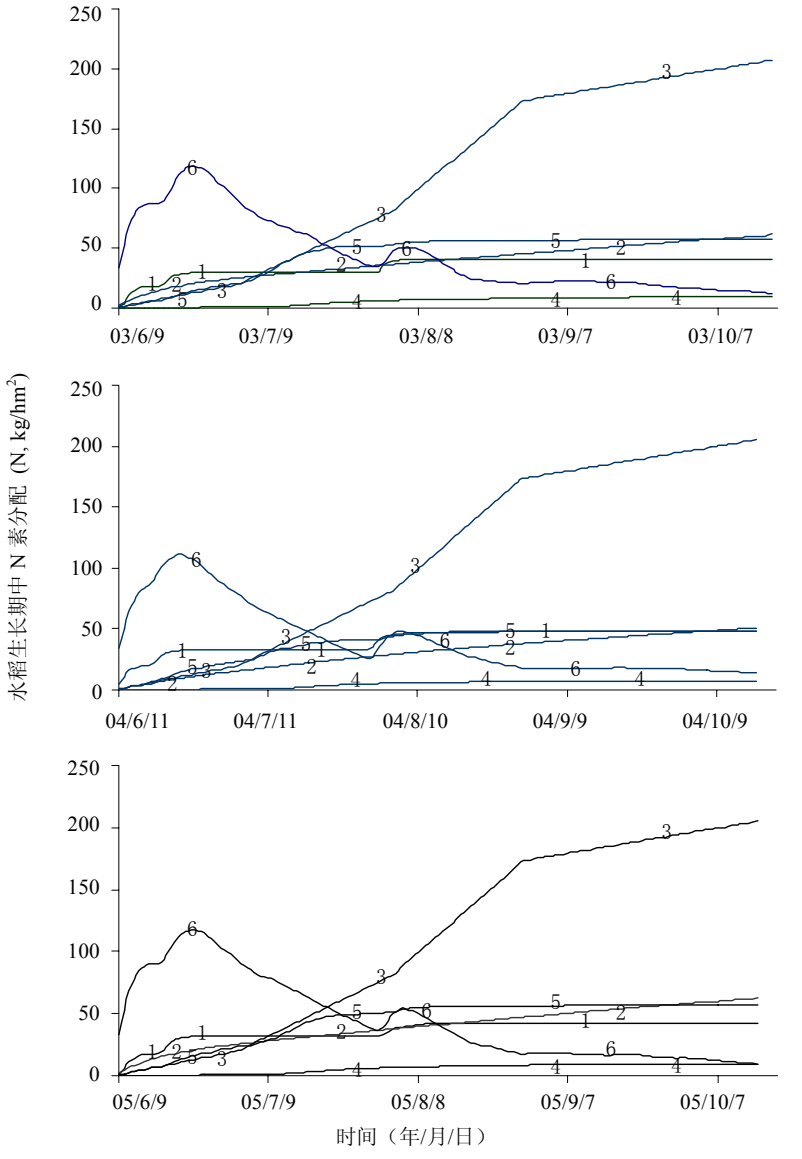


图 5 土壤-作物体系 N 素循环中的各个过程 N 素分配的模拟变化

Fig. 5 Stimulated nitrogen distribution changes of each process in nitrogen cycling in soil-plant system

等[8-9]的研究结果基本一致。淋失的 N 素总量都在 10 kg/hm^2 以下，比朱兆良等[10]的研究结果略高，与连纲等[11]的研究结果相仿。由于淋失的 N 素总量与土壤的水力学性质有密切关系，在模拟验证中，我们没有对这部分数据进行实测，只是从文献中获取了这部分数据，因此可能对模拟的结果有一定影响。对于稻田硝化、反硝化过程引起的 N 素损失，国内外学者的研究结果差异很大，在 16%～41%之间[12]，模型所模拟的的反硝化损失为 18.0% ～21.3%。稻田土壤矿化能力，与有机质含量、N 肥供应、温度、土壤水分含量等密切相关，已有的研究表明一般在 41.25～96.75 kg/hm^2[13]，模型所模拟的结果也在这个范围之内。对于作物吸收的 N 素部分，我们是根据田间试验，对不同生长期的水稻进行采样，分析其中 N 的含量，得到它的 N 吸收曲线；对于同一个水稻品种和同一个施肥水平，模型中使用的是同一条 N 吸收曲线，因此可以看作是一个实测值。

表 4　水稻生长期内模型所模拟过程的 N 素分配

Table 4　Simulated nitrogen distribution of each process in rice-growing season

年份	输入 (kg/hm^2)		输出 (kg/hm^2)				
	施肥	矿化	作物吸收	氨挥发	反硝化	淋失	残留矿质态 N
2003	270	61.7	207.1	41.2	57.6	9.2	11.8
2004	270	50.6	205.1	47.6	48.7	7.6	13.6
2005	270	62.3	205.1	47.5	57.2	9.3	9.5

图 6 反映了施肥之后不同深度土壤中 NH_4^+-N 以及尿素浓度模拟的变化。从图中我们可以看到，尿素和 NH_4^+-N 主要集中在耕作层中，在犁地层及其以下的浓度都比较低，施肥前后其浓度变化也不太大。尿素在施肥 5 天之后基本上已经水解完全，在土壤各个深度的含量都已经很低。NH_4^+-N 的浓度随土壤深度而下降，但是在施肥 10 天之后，田间已经落干没有田面水，氨挥发在土壤表层发生，因此从图中反映出表层的 NH_4^+-N 浓度略低于第 2 层的 NH_4^+-N 浓度。

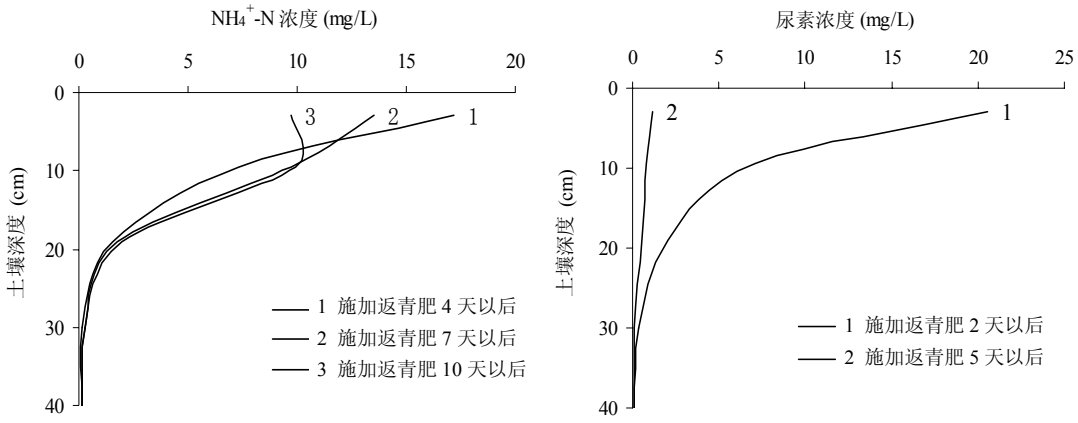


图 6　施肥之后不同深度土壤中 N 素浓度的模拟变化

Fig. 6　Stimulated nitrogen concentration changes at different depths after fertilizing

图 7 和表 5 反映了模型对水稻生长的模拟情况。从图中可以看出，水稻生长的前期，生物量主要分配在茎、叶、根上；抽穗期以后，其他器官发育几乎停止，生物量几乎全部分配在穗上。从图 8 水稻生长各部分生物量实测值与模拟值的 1:1 图上，我们可以看到，产量、茎、绿叶、黄叶以及总生物量的模拟结果非常好，R^2 值都在 0.97 以上。对根的模拟较差，R^2 值为 0.8865，这可能是因为对于水稻根系的采样较地上部分采样准确性差造成的。但总体上来说，模型能够较好地模拟水稻生长情况以及生

物量在各个器官的分配。

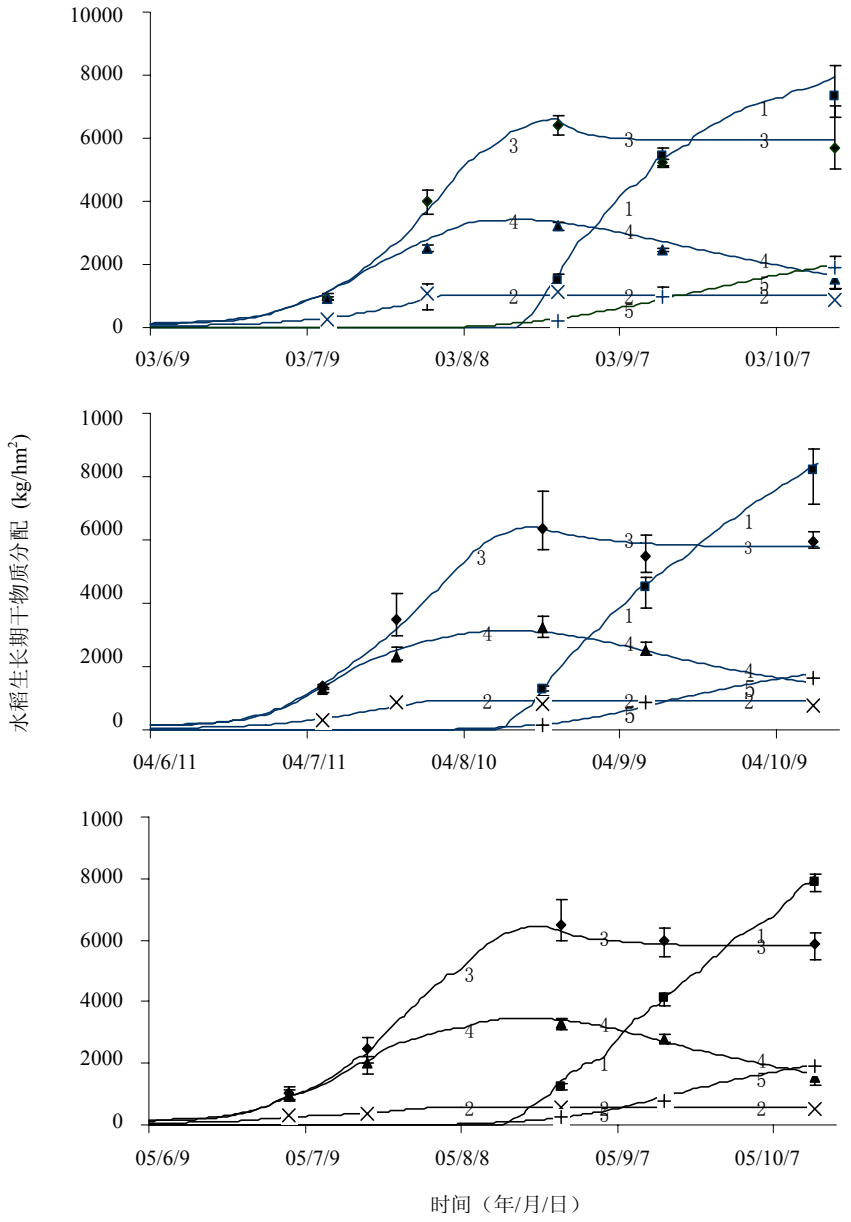


图 7 水稻生长期各部分干物质重随时间的变化

Fig. 7 Temporal changes of total dry biomass and dry biomass of various organs of rice

表 5 水稻生长模拟结果 (kg/hm²)

Table 5 Simulated total dry biomass and dry biomass of various organs of rice

年份	总干物重	穗	根	茎	绿叶	黄叶
2003 年	16884.1	7938.5	1013	5949.2	1644.7	1983.4
2004 年	18171.7	8430.9	913.6	5575.6	1439.6	1812
2005 年	17551.9	8067.9	554.9	5809	1161.6	1958.5

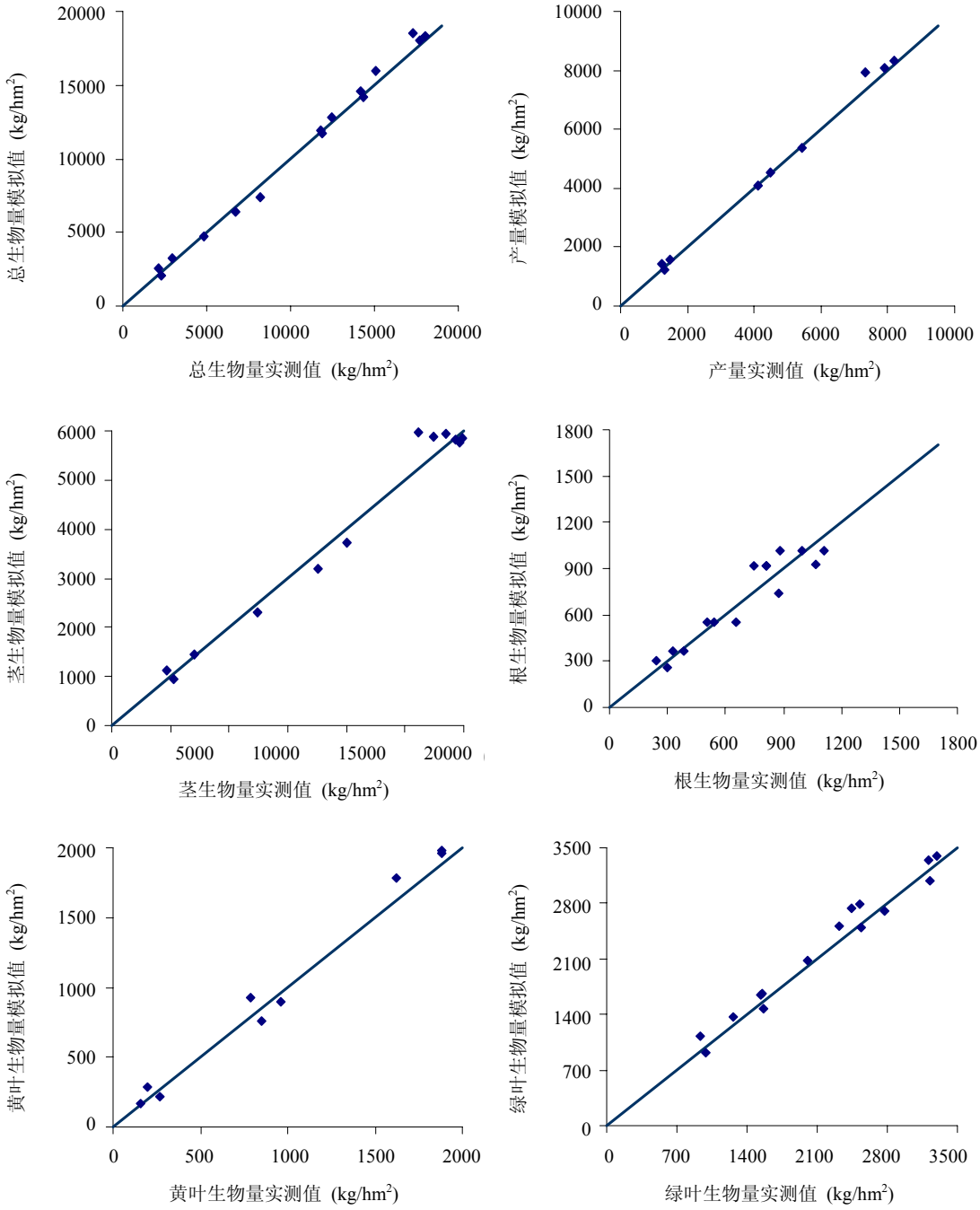


图 8　水稻各器官生物量、总生物量实测值与模拟值比较

Fig. 8　Comparison between simulated and measured total dry biomass and dry biomass of various organs of rice

7　结论

通过模型对 3 年试验数据的模拟验证，可以看出，模型能够较好地模拟土壤中的 N 素动态变化情况，对于作物生长的模拟也达到了较好的水平。可以用来研究气候、土壤、水肥管理等对 N 素循环以及作物产量的影响，探索最有效的水肥管理方式。但是由于模型处于初步的阶段，对于很多过程的模拟不够精细，有待于进一步的认识和探索。

参考文献：

[1]　Xing GX, Zhu ZL. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in china. Nutrient Cycling in Agroecosystem, 2000, 57 (1): 67-63

[2] de Willigen P. Nitrogen turnover in the soil-crop system: Comparison of fourteen simulation models. Fertilizer Research, 1991, 27 (2/3): 141−149

[3] 李庆逵主编. 中国水稻土. 北京: 科学出版社, 1992

[4] Li HL, Han Y, Cai ZC. Modeling nitrogen mineralization in paddy soils of shanghai region. Pedosphere, 2003, 13 (4): 331−336

[5] 黄元仿, 李韵珠, 陆锦文. 田间条件下土壤氮素运移的模拟模型 I. 水利学报, 1996, 6: 9−14

[6] Kirk GJD, Nye PH. A model of ammonia volatilization from applied urea. VI. The effects of steady-state water evaporation. Journal of Soil Science, 1991, 42 (1): 115−125

[7] Jayaweera GR, Mikkelsen DS. Ammonia volatilization from flooded soil systems: A computer model. I. Theoretical aspects. Soil Society of America Journal, 1990, 54: 1447−1455

[8] 宋勇生, 范晓晖, 林德薯, 杨林章, 周健民. 太湖地区稻田氨挥发及影响因素的研究. 土壤学报, 2004, 41 (2): 265−269

[9] 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 沈其荣. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气氮的湿沉降. 应用生态学报, 2003, 14 (11): 1884−1888

[10] 朱兆良, 范晓晖, 孙永红, 王德建. 太湖地区水稻土上稻季氮素循环及其环境效应. 作物研究, 2004, 4: 187−191

[11] 连纲, 王德建, 林静慧, 阎德智. 太湖地区稻田土壤养分淋洗特征. 应用生态学报, 2003, 14 (11): 1879−1883

[12] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. 土壤与环境, 2000, 9 (1): 1−6

[13] 朱兆良, 文孝启主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990: 37−52

A Nitrogen Cycling Model in Soil−Crop System of Paddy Soil

TANG Hao-ye[1], HAN Yong[1], HUANG Qiao-li[2]

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture* (*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science*), *Nanjing* 210008, *China*; 2 *Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu* 225009, *China*)

Abstract: A one-dimension model of nitrogen cycling was described in this paper. The model constituted of three modules: soil-water-movement module, nitrogen-transport module and rice-growth module. In simulating soil water movement, potential saturated and unsaturated flow in soil were considered; In simulating nitrogen transport, NO_3^-, NH_4^+, and urea were taken as soil solutes and their vertical movement were simulated by convection-dispersion equation; In simulating nitrogen transformation, urea hydrolysis, mineralization, ammonia volatilization, nitrification, denitrification and ammonium adsorption-desorption were considered together; In simulating crop growth, ORYZA rice-growth model was selected and some parameters were modified by field experiment. The model was validated by a 3-year field experiment, and simulated results of mineral nitrogen in soil and rice-growth were proved well. Comparison analysis showed there were significant correlation between simulated and measured ammonium nitrogen concentrations, as well as dry biomass of rice different organs.

Key words: Paddy soil, Nitrogen cycling, Model, Soil−crop system