

还田秸秆分解与氮素释放的动态模拟

庄恒扬¹, 曹卫星², 陆建飞¹

(1. 扬州大学农学院农学系, 江苏 扬州 225009; 2. 南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 南京 210095)

摘要: 还田秸秆的分解与氮素释放动态是作物养分管理的重要依据, 建立了秸秆分解氮素释放动态的“整吞”式动态模拟模型。模型由秸秆有机质分解和残余有机质含氮率动态模拟两部分组成。有机质分解的温度效应应用指数函数描述, 水分效应应用分段线性函数描述, 用“标准天”反映温度与水分的综合影响。残余有机质含氮率动态变化用“标准天”为变量的函数模拟, 初始秸秆含氮量与残余秸秆含氮量之差即为秸秆分解的氮素净释放。“整吞”式较之“吃馅饼”式建模构思, 所需参数少且易通过实验获得, 增加了模型的可用性。利用在淮北滨海地区小麦的试验资料对模型的有效性进行了验证。

关键词: 秸秆还田; 分解; 氮素释放; 模拟

Simulation of Nitrogen Release from Decomposition of Straw Manure

ZHUANG Heng-Yang¹, CAO Wei-Xing², LU Jian-Fei¹ (1. Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou, 225009, China; 2. MOA Key Lab. of Crop Growth Regulation, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1358~1361.

Abstract: The nitrogen release from the decomposition of straw manure is closely related to crop nutrition management. The effects of temperature and soil moisture on the decomposition of straw were described by using exponential functions and segmented linear functions respectively and their synthesized effects were described by “normalized days”. The concept of “whole swallowing” modeling structure was developed. In the new modeling structure, the forms and compositions of the organic materials changed with the process of decomposition and as a result, nitrogen concentrations in the straw residue were changed. The amount of released nitrogen was estimated by the difference in nitrogen content between the initial organic material and the residue. Because of its low parameter requirement and ease of parameter estimation through simple experiments, the developed simulation was more practical than de Vries’s “pie-eating” model structure. The validity of the models was tested using the experimental data in the seashore region of Jiangsu.

Key words: straw returning to the fields; decomposition; nitrogen release; modeling

文章编号: 1000-0933(2002)08-1358-04 中图分类号: S154.1 文献标识码: A

农作物秸秆是重要的有机肥源之一, 秸秆作为有机肥的途径包括堆沤、垫圈和直接还田等。近十几年来, 在我国由于作物产量的提高与机械收割的发展, 秸秆直接还田的数量与比例不断增加^[1]。对秸秆还田的方式、数量、时期、土壤生物学效应及产量效应等问题已进行了较多的研究^[2]。还田秸秆的氮素释放或生物固定与化学氮肥的运筹有密切关系, 但目前对其相互关系的分析仍停留在静态分析水平, 如根据秸秆的 C/N 比来调节氮肥用量^[2]。这种静态分析的方法不能综合考虑土壤、气候、作物差异对秸秆与化肥配施的影响, 也难以实现优化决策的目标。对秸秆有机碳分解的模拟已有较多的研究^[3~8], 但对氮素释放动态的模拟研究较少^[9]。本研究的主要目的在于建立还田秸秆分解释放氮素的动态模型, 为秸秆还田的定量管理提

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (863-306-ZD05-01-7); 国家自然科学基金重点资助项目 (30030090)

收稿日期: 2001-10-09 修稿日期: 2002-11-10

作者简介: 庄恒扬 (1957~), 男, 江苏泗阳县人, 博士, 副教授。主要从事农业生态研究。

供手段。

1 材料与方法

1.1 田间试验

于1998~1999年在江苏省响水县进行。土壤为沙壤土,供试土壤理化性状为有机质 10.6g/kg、全氮 1.12 g/kg、碱解氮 84.5 mg/kg、速效磷 8.86 mg/kg、速效钾 49.5 mg/kg、pH 7.4,为中等肥力水平。试验处理由氮肥 4 个水平(0、150、225、300 kg N/ hm²)与秸秆(稻草,含氮率 6.2g/kg)4 个水平(0、1875、3750、5625 kg/ hm²,以风干重计)组合共 16 个处理。小区长 5m、宽 4m,随机区组设计,重复 3 次。分别于小麦分蘖期、抽穗期、成熟期取土壤样品,测土壤有机质和全氮、无机态氮含量。土壤有机质测定为 K₂Cr₂O₇ 外加热法,土壤全氮为半微量开氏法(K₂SO₄-CuSO₄-Se 混合催化-蒸馏法),无机态氮采用 1mol/L NaCl 及 0.5mol/L CaCl₂ 混合液提取后蒸馏测定。

1.2 资料收集

1998~1999 年小麦生长期的逐日气象资料由响水县气象局提供,包括气温(日平均、日最高、日最低气温),定时降雨量、蒸发量,日照时数。土壤资料(包括饱和含水量、田间持水量、凋萎湿度、容重、物理性粘粒含量),由响水县农业局提供。

1.3 模型建立与检验

建模过程将机理与经验模型方法有机结合,采用非线性优化方法进行参数优化,用根均方差 RMSE 反映整体拟合效果。

2 秸秆分解氮素释放建模

秸秆有机碳分解的动态模拟是秸秆分解中氮素固定与释放动态模拟的基础。研究表明,影响秸秆分解速率的主要因素是温度、土壤湿度、物料的 C/N 比和木质素含量^[2,3,7]。秸秆还田的方式也影响其分解,覆盖于地表大大慢于翻埋于土中的分解速率^[8]。

温度是影响秸秆分解的最重要因素,温度效应函数为:

$$f_T(t) = Q_{10}^{(T(t)-TOPT)/10}$$
(1)

$T(t)$ 为日平均温度(℃), Q_{10} 为温度系数,表示温度每增加 10℃,秸秆分解速度增加的倍数。 Q_{10} 是重要的特征参数,从已有的研究看, Q_{10} 表现出一定的差异。由于 f_T 取确定的形式且只有一个参数 Q_{10} ,因而可以集中研究它的变化规律。在缺少信息的情况下,一般取 $Q_{10}=2, TOPT=30℃$ 。

在秸秆掩埋还田情况下,水分影响函数 $f_W(t)$ 为:

$$f_W(t) \begin{cases} 0.2 & W(t) \leq W_D \\ 0.2 + 0.8 \times (W(t) - W_D) / (W_{OPT} - W_D) & W_D < W(t) \leq W_{OPT} \\ 1 - 0.6 \times (W(t) - W_{OPT}) / (W_S - W_{OPT}) & W_{OPT} < W(t) \leq W_S \\ 0.4 & W(t) > W_S \end{cases} \tag{2}$$

$$W_{OPT} = a \times W_{FC} \tag{3}$$

式中, $W(t)$ 为实际含水量(g/kg), W_{OPT} 为分解作用的最适含水量(g/kg), W_{FC} 为田间持水量(g/kg), W_S 为饱和含水量(g/kg), W_D 为凋萎含水量(g/kg)。 a 为矫正系数,粘性土壤取 0.8,壤性土壤取 0.9,沙性土壤取 1.0。

在秸秆地表覆盖的情况下,水分影响函数为:

$$f_{MW}(t) = 0.7 \times f_W(t) + 0.3 \times PC(t) \tag{4}$$

$$PC(t) = \begin{cases} P(t) / 4 & P(t) \leq 4 \\ 1.0 & P(t) > 4 \end{cases} \tag{5}$$

式中, $PC(t)$ 为降雨影响因子, $P(t)$ 为日降雨量(mm/d)。

用标准化天 Nd (Normalized days)综合温度与水分的影响。旱田秸秆掩埋还田情况下,

$$Nd(t) = \sum f_T(t) \times f_W(t) \tag{6}$$

旱田秸秆覆盖还田情况下,

$$Nd(t) = \sum f_T(t) \times f_{MW}(t) \tag{7}$$

对于水田,因为水分条件相对固定,可以不考虑水分因子的变化,则:

$$Nd(t) = 0.4 \times \sum f_T(t) \tag{8}$$

根据 Ma 等^[8]的研究,秸秆含氮率对秸秆分解的效应函数为:

$$f_N = 0.570 + 0.126 \times NC_{STRAW} \tag{9}$$

NC_{STRAW} 为秸秆初始含氮率(g /kg)。

秸秆分解残余量 $STRAWL(t)$ (kg / hm^2)为:

$$STRAWL(t) = STRAW \times \exp(-K_{SOPT} \times f_N \times Nd(t)) \tag{10}$$

式中, $STRAW$ 为秸秆还田量(kg/ hm^2), K_{SOPT} 为最佳温度与 $f_N=1$ 时的秸秆分解相对速率,据 Ma 等^[8]的研究, K_{SOPT} 为 0.01026,另据王志明等^[4]用同位素标记淹水培养试验的结果, K_{SOPT} 约为 0.01。

假定秸秆经过 150 个标准化天(此值约为江淮地区一年的标准化天数)分解的腐殖化系数称标准腐殖化系数,此时的腐殖质含氮率为 50g/kg,则秸秆分解净释放氮量 $N_{STRAWM}(t)$ (kg/ hm^2)由式(11)~式(13)计算:

$$NC_{STRAWL}(t) = (50 - NC_{STRAW}) \times (Nd(t)/150)^{C2} + NC_{STRAW} \tag{11}$$

$$N_{STRAWL}(t) = STRAWL(t) \times NC_{STRAWL}(t) \tag{12}$$

$$N_{STRAWM}(t) = STRAW \times NC_{STRAW} - N_{STRAWL}(t) \tag{13}$$

式中, NC_{STRAWL} 为残余物含氮率(g/kg), N_{STRAWL} 为残余物含氮量(kg/ hm^2), N_{STRAWM} 为秸秆分解氮素累积净释放(kg / hm^2), $C2$ 为与秸秆种类有关的矫正系数,绿肥取 1.2,油菜茎、荚壳取 1.0,禾谷类秸秆取 0.8。对代表性的秸秆(绿肥)紫云英(含氮 27.5g/kg)、“标准秸秆”(C/N 比为 25 的秸秆,含氮 16g /kg)、水稻秸秆(含氮 5g /kg)的动态模拟结果(图 1),氮素释放趋势与已有研究的结果基本一致^[10]。

小麦分蘖期、抽穗期与成熟期各处理秸秆残余氮量模拟值与实测值比较,相对偏差一般在 -0.093~0.147 范围内,RSME 分别为 2.73 kg/ hm^2 、3.12 kg/ hm^2 、3.27 kg/ hm^2 ,各时期模拟值与实测值相关显著,表明所建模型对秸秆分解氮素释放有较好的预测性能。

3 讨论

秸秆分解过程中,氮素释放表现出复杂的行为模式。Isaac 等^[11]用双库模型(two-pool model)较好地模拟了一种灌木枝条分解氮素释放动态,但双库模型难以描述氮素先生物固定后释放的过程。在 Isaac 等^[11]的研究中,无论是含氮量较高的叶(含氮量 25.9~36.5 g/kg)还是含氮量较低的茎(含氮量 6.6~12.8g/kg)在分解过程中都表现为单调的氮素释放过程,这与本文提出的模型有矛盾。可能的原因是,Isaac 等^[11]的研究氮的残余仅考虑了有形的残余物,而没有考虑碎屑化的有机物及微生物体残余的氮。

de Vries 等^[6]假定秸秆分解以“吃馅饼”的方式进行,即秸秆未分解部分保持初始状态,已分解的有机碳转化为腐殖质和土壤微生物体,腐殖质和微生物体再进一步分解。此种建模假定,可以描述多种氮素动态行为,模型机理性较强,但参数多且很难用试验资料求出,给建模和应用带来困难。本文提出的“整吞”式建模仿思,需参数少且可以通过简单的试验加以确定,从而增加了模型的可用性。在“整吞”式结构模型中,秸秆分解氮素的释放涉及两方面的变化,秸秆分解过程中残留有机物含氮率动态模拟是氮素释放动态模拟的关键之一,由于缺少必要的试验数据的支持,本文提出的残余秸秆含氮率

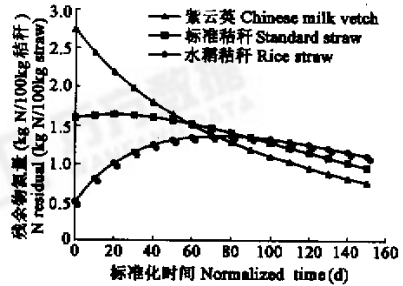


图1 由模型计算的几种典型秸秆在分解过程中的氮素释放特征

Fig. 1 N release characters in decomposition of some typical organic materials calculated by the simulation

与分解标准天之间近线性的动态关系的可靠性有待进一步验证。

参考文献

[1] Zhuang H Y (庄恒扬),Cao W X (曹卫星),Shen X P (沈新平),*et al.* Soil nutrient balance and adjustment under intensive wheat-rice double cropping. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报),2000,**20**(5):766~770.

[2] Liu G L (刘更另),Jin W X (金维续),Zhang F D (张夫道),*et al.* *Organic manure in China* (in Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1991. 112~142.

[3] Guo J X (郭继勋),Jiang S C (姜世成),Ren B Z (任炳忠). A study on the decomposition of *Aneurolepidium chinense* standing dead litter in Songnen grassland. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报),2000,**20** (5): 784~787.

[4] Wang Z M (王志明),Zhu P L (朱培立),Huang D M (黄东迈). Carbon transformation and balance of ¹⁴C-labelled straw in submerged soil. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences* (in Chinese) (江苏农业学报),1998,**14**(2):112 ~117.

[5] Wang W M (王维敏),Zhang J Q (张镜清),Wang W S (王文山),*et al.* A study on the organic matter balance in the soils of farmlands in the Huang-Huai-Hai Plain. *Scientia Agricultura Sinica* (in Chinese) (中国农业科学), 1988, **21**(1):19~26.

[6] Penning de Vries F W T, van Laar H H,translated by Wang F T(王馥棠),*et al.* *Simulation of plant growth and crop production* (in Chinese). Beijing: Science Press. 1988. 250~276.

[7] Douglas C L Jr, Rickman R W. Estimating crop residue decomposition from air temperature, initial nitrogen content, and residue placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 1992, **44**: 833~837.

[8] Ma L W, Peterson G A, Ahuja L R, *et al.* Decomposition of surface crop residues in long-term studies of dry land agroecosystems. *Agronomy Journal*, 1999, **91**: 401~409.

[9] Thonissen C, Midmore D J, Ladha J K, *et al.* Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agronomy Journal*, 2000, **92**: 253~260.

[10] Zhu Z L (朱兆良),Wen Q X (文启孝),Chen L L (程励励),*et al.* *Soil nitrogen in China* (in Chinese). Nanjing: Jiangsu Scientific & Technological Press,1992. 49~50.

[11] Isaac L, Wood C W, Shannon D A. Decomposition and nitrogen release of prunings from hedgerow species assessed for alley cropping in Haiti. *Agronomy Journal*, 2000, **92**: 501~511.