

DND

模型使用手册

(9.3 版本)

新罕布什尔大学地球海洋与空间研究所 著

一个服务农业生产和环境保护的
计算机模拟模型

中国农业科学技术出版社

DNDC

模型使用手册

(9.3 版本)

新罕布什尔大学地球海洋与空间研究所 著

一个服务农业生产和环境保护的
计算机模拟模型

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

DNDC 模型使用手册 (9.3 版本) / 新罕布什尔大学地球海洋与空间研究所著. — 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010. 5
ISBN 978-7-5116-0137-7

I. ①D… II. ①新… III. ①农业 - 生态系统 - 计算机模拟 - 模型 - 手册 IV. ①S181 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 048680 号

责任编辑 杨玉文 鲁卫泉
责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 82106631(编辑室) (010) 82109704(发行部)
(010) 82109703(读者服务部)
传 真 (010) 82106636
网 址 [http:// www. castp. cn](http://www.castp.cn)
经 销 者 新华书店北京发行所
印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司
开 本 850 mm × 1168 mm 1/32
印 张 4.125
字 数 108 千字
版 次 2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷
定 价 20.00 元

致 谢

我们感谢美国国家科学基金会 (NSF)、美国航天与空间总署 (NASA)、美国农业部 (USDA)、美国环境保护署 (EPA)、美国国家海洋与大气总署 (NOAA) 及美国国家大气研究中心 (NCAR/UCAR) 自 1989 年以来为发展 DNDC 模型所提供的持续支持。世界许多国家的科研人员为该模型的发展作出了贡献, 他们既为模型验证提供数据, 还为模型添加新的功能。这些研究者包括李长生 (Changsheng Li 美国)、史蒂夫·富罗京 (Steve Froking 美国)、罗伯特·哈里斯 (Robert Harriss 美国)、里查德·泰瑞 (Richard Terry 美国)、麦克·凯雷 (Michael Keller 美国)、帕提克·葛瑞尔 (Patrick Crill 美国)、安姬·卫紫 (Antje Weitz 德国)、泰德·派克 (Ted Peck 美国)、卫理·温岚德 (Wayne Wendland 美国)、大卫·金克森 (David Jenkinson 英国)、王英平 (Yingping Wang 澳大利亚)、庄亚辉 (Yahui Zhuang 中国)、戴昭华 (Zhaohua Dai 中国)、罗尔·布兰特 (Roel Plant 荷兰)、周叶 (Ye Zhou 中国)、张宇 (Yu Zhang 中国)、林清华 (Qinghua Lin 中国)、王晓科 (Xiaoke Wang 中国)、富罗里安·史坦格 (Florian Stange 德国)、克劳斯·布特巴赫-巴尔 (Klaus Butterbach-Bahl 德国)、汉斯·帕潘 (Hans Papen 德国)、索菲亚·泽克美斯特-波坦斯顿 (Sophie Zechmeister-Boltenstern 奥地利)、郑循华 (Xunhua Zheng 中国)、孙建中 (Jianzhong Sun 中国)、秦晓光 (Xiaoguang Qin 中国)、斯蒂夫·佳伟斯 (Steve Jarvis 英国)、布朗尼·斯依德 (Bronwyn Syed 英国)、劳娜·布朗 (Lorna Brown 英国)、雷·德斯佳丁 (Ray Desjardins 加拿大)、沃特·斯密思 (Ward Smith 加拿大)、布莱安·格兰特 (Brian Grant 加拿大)、罗·萨斯 (Ron Sass 美国)、黄耀 (Yao Huang

中国)、蔡祖聪 (Zucong Cai 中国)、康国鼎 (Guoding Kang 中国)、佳瑞亚·波佳瓦特 (Jariya Boonjawat 泰国)、鹤田治雄 (Haruo Tsuruta 日本)、泽本卓治 (Takuji Sawamoto 日本)、小林和彦 (Kazuhiko Kobayashi 日本)、邱建军 (Jianjun Qiu 中国)、拉福·柯斯 (Ralf Kiese 德国)、卡尔·特伦蒂 (Carl Trettin 美国)、葛荪 (Sun Ge 美国)、徐成一 (Cheng-I Hsieh 中国台湾)、雷纳德·莱姆克 (Reynald. Lemke 加拿大)、瑟雷德·萨喀 (Surinder Saggar 新西兰)、罗波·安德欧 (Robbie Androw 新西兰)、阿温·缪斯 (Arvin Mosier 美国)、卡罗斯·爱得阿多 (Carlos Eduardo 巴西)、程根伟 (Genwei Cheng 中国)、卡里·明科恩 (Cari Minkinen 芬兰)、雷诺·华兹曼 (Reiner Wassmann 德国)、雷·斯玛喀甘 (Nui Smakgahn 泰国)、旭日 (Xu Ri 中国)、罗达·兰亭 (Rhoda Lantin 菲律宾)、罗伯特·雷 (Robert Rees 英国)、中川阳子 (Yoko Nakagawa 日本)、丽达·法拉芭莎赞德 (Neda Farahbakhshazad 美国)、威廉·萨拉斯 (William Salas 美国)、斯蒂夫·波斯 (Steve Boles 美国)、麓多门 (Tamon Fumoto 日本)、玛格达·克斯喀 (Magda Kesik 德国)、唐娜·基尔特拉普 (Donna Giltrap 新西兰)、纳拉辛哈·萨帕里 (Narasinha Shurpali 芬兰)、赫曼舒·帕德克 (Himanshu Pathak 印度)、加格蒂斯·巴布依日帕蒂 (Jagadeesh Babu Yeluripati 印度)、达安·巴赫德特 (Daan Baheydt 比利时)、斯蒂文·斯罗特尔 (Steven Sleutel 比利时)、八木一行 (Kazuyuki Yagi 日本)、丹·杰伊斯 (Dan Jaynes 美国)、坦娜·泰娜斯 (Dana Dinners 美国)、丹尼斯·麦克劳林 (Dennis Mclaughlin 美国)、克里斯蒂娜·托里特 (Christina Tonitto 美国)、卡尔斯蒂·托普 (Kairsty Topp 英国)、劳拉·克蒂娜斯 (Laura Cardenas 英国)、泰德·迈克尔 (Todd Mitchell 美国)、张凡 (Fan Zhang 中国)、周再兴 (Zaixing Zhou 中国)、邓佳 (Jia Deng 中国)、朱波 (Bo Zhu

中国)、王立刚 (Ligang Wang 中国)、富兰克·密莱尔 (Frank Mitloehner 美国)、乔基·木拉毛特 (Joji Muramoto 美国)、朱丽叶·库芭托瓦 (Juliya kurbatova 俄国)、安德烈·瓦尔金 (Andrej Varlegin 俄国)、娜塔丽娅·芭克娜 (Natalya Buchkina 俄国)、陈德立 (Deli Chen 澳大利亚)、李勇 (Yong Li 澳大利亚)、鲁伊斯·巴登 (Louise Barton 澳大利亚)、坦妮拉·克拉奇 (Daniela Kracher 德国)、托德·富罗京 (Tod Frolking 美国)、友瑞娜·可瓦克 (Yurina Kwack 日本)。

感谢美国环保协会 (Environmental Defense Fund) 为 DNDC 模型使用手册 (9.3 版本) 的更新与中文版的翻译提供财政方面的支持;“新英格兰中国文化中心”的吕瑞兰女士精心翻译了此手册,在此谨表谢意。

序

气候变化问题攸关人类生存和发展，是当今世界各国共同面临的严峻挑战。全球气候变化对农业有很大影响，反过来农业也影响全球气候变化。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）于1990年、1995年、2001年和2007年先后发布了4次全球气候变化评估报告及一系列特别报告、技术报告和方法指南，告诫世人全球气候变化的重要性以及目前气候变暖的主要原因是人类活动所致，并提出了阻止气候继续变暖趋势的对策与方法。IPCC指出，农业温室气体排放以非CO₂排放为主，在全球温室气体排放总量中所占的比例大于整个运输业所占的比例，约占全球温室气体排放总量的14%，主要排放源有以下4个方面：饲养反刍动物，如牛、羊、骆驼等，饲料在其肠内发酵引起甲烷排放；种植水稻，因土壤长时间用水淹没，形成厌氧条件，产生并排放甲烷；农田过量施用氮肥，造成土壤中的氧化亚氮排放；家畜粪肥处理过程也会引起甲烷和氧化亚氮的排放。

为应对气候变化，避免粮食生产不受威胁，农业节能减排也面临巨大挑战。中国大量、分散的农村人口以及各地不同的自然条件和经济发展水平使得农村的能源问题远比城市复杂得多。保障粮食增产500亿千克的提高灌溉能力、改造中低产田以及水肥耦合技术的推广和综合机械化水平的提高，以及农村生活用能商品化程度的加快，都不可避免地要增加能源消费和CO₂排放。2009年年底中国宣布了到2020年单位GDP二氧化碳排放量减40%~45%的自主减排目标，这样，2020年中国的农业面临再增产500亿千克粮食和单位GDP减少40%~45%CO₂排放的双重任务。虽然该目标目前并没有分解到行业层次，但是农业生产总值的增加值占全国GDP总量11.3%的

现实，不可避免地需要农林业固碳及非二氧化碳温室气体减排为国家自主减排目标的实现发挥作用。

农村是最容易受气候变化不利影响的领域，也是增强碳汇潜力最大的领域之一。农村该如何适应气候变化，急需做战略性考虑。在《京都议定书》的大背景下，发达国家需要“购买”CO₂排放指标，而对于发展中国家来说，通过CDM“碳汇”项目可以获得部分资金援助和先进技术，有利于发达国家和发展中国家共同实现《联合国气候变化框架协议》的目标。因此，对于中国这样的发展中国家而言，积极探索“碳汇”市场是有积极意义的。

“碳汇”市场的发育能够为新农村建设、农民和农村生态环境带来多重利益，但是，这需要在政策上、科学上、环境整体性上和实际可操作性的方法上进行研究和实践。DNDC模型是一个描述农业生态系统中碳和氮生物地球化学过程的计算机模拟模型，可以用来模拟农业生态系统的农作物产量、土壤固碳作用、硝酸盐淋失以及碳和氮多种气体的排放。研究者们经过20多年的开发和在世界各地的应用，证明此模型能够较好地模拟农业固碳和温室气体排放，因此可以作为农业固碳和氮减排项目计量的一个方便的工具。为了让广大中文使用者能够更好地应用此模型，在美国环保协会（Environmental Defense Fund）的资助下，“新英格兰中国文化中心”的吕瑞兰女士精心翻译了9.3版本的实用手册，希望在中国实施的农业CDM项目、自愿减排项目，甚至是某些生态补偿项目计量过程中，都可以借鉴此模型，使之为保护全球气候和中国的生态环境做贡献。

中国农业科学院

农业与气候变化研究中心主任 林而达

目 录

第一章 DNDC 简述 / 1

一、导引 / 1

二、DNDC 模型概述 / 1

第二章 DNDC 的 PC 微软窗口版本 / 6

一、模型综述 / 6

二、硬件要求 / 6

三、模型安装 / 6

四、点位和区域模拟 / 7

(一) 点位模拟模式 / 8

(二) 区域模拟模式 / 9

第三章 模型操作 / 11

一、点位模式 / 11

(一) 输入参数 / 11

(二) 保存输入参数 / 32

(三) 点位尺度模拟 / 40

(四) 快速查看模拟结果 / 41

(五) 批量模拟 / 45

二、区域模式 / 46

(一) 地理信息数据库 / 48

(二) 气象数据库 / 52

(三) 作物和土壤数据库 / 53

(四) 区域模拟的初始化 / 56

(五) 实施区域模拟 / 60

第四章 模拟结果数据 / 61

一、点位模拟结果 / 61

二、区域模拟结果 / 71

第五章 不确定性分析 / 74

第六章 实例分析 / 80

一、实例 1：美国衣阿华州玉米生长 / 80

二、实例 2：美国夏威夷的甘蔗生长 / 84

三、实例 3：英国洛桑实验站冬小麦土壤有机碳 150 年
动态 / 87

四、实例 4：法国阿罗农田氧化亚氮排放 / 95

五、实例 5：美国得克萨斯州水稻田甲烷排放 / 100

第七章 相关文章目录 / 105

第一章 DNDC 简述

一、导引

DNDC 模型是一个描述农业生态系统中碳和氮生物地球化学过程的计算机模拟模型。本手册告诉使用者怎样用 DNDC 模型来模拟农业生态系统的农作物产量、土壤固碳作用、硝酸盐淋失以及碳和氮多种气体的排放。本手册第一部分简要介绍与 DNDC 有关的科学背景知识；第二部分介绍如何安装模型；第三部分介绍如何分别在点位和区域尺度上输入参数及进行模拟；第四部分介绍模拟结果的内容；第五部分介绍如何对 DNDC 模拟的结果进行不确定性分析；第六部分提供了五个点位尺度的实例研究，具体展示如何一步步地输入模型模拟所需的输入参数；第七部分提供了迄今已发表的与 DNDC 相关的部分文章的目录，这些文章提供了更多的有关 DNDC 的科学背景及应用情况。

二、DNDC 模型概述

DNDC 是 Denitrification-Decomposition（即“反硝化—分解作用”）的缩写。反硝化和有机质分解是导致氮和碳从土壤丢失而转移入大气的主要生物地球化学过程。DNDC 模型是农业生态系统中一系列控制碳和氮迁移转化的生物化学及地球化学反应机制的计算机模拟表达。DNDC 由两大部分组成。第一部分包括土壤气候、农作物生长和土壤有机质分解三个子模型，

利用生态驱动因子（即气候、土壤、植被以及人类活动）来模拟土壤环境条件（即土壤温度、水分、酸碱度、氧化还原电位以及相关化学底物浓度梯度）。第二部分包括硝化作用、反硝化作用以及发酵作用三个子模型，模拟土壤环境条件对微生物活动的影响，计算植物—土壤系统中二氧化碳（ CO_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、氨（ NH_3 ）、氧化亚氮（ N_2O ）、一氧化氮（ NO ）以及氮气（ N_2 ）的排放。DNDC 中所采用的函数来自物理学、化学和生物学的经典法则或实验室研究所产生的经验方程。DNDC 是一座架在基本生态驱动因子和碳氮生物地球化学循环之间的桥梁（图 1-1）。

在 DNDC 模型中，土壤碳存在于四个主要碳库中：即植物凋落物、微生物、活性腐殖质和惰性腐殖质。上述每一碳库又包含两到三个亚库。每一亚库有一特定分解速率；每个亚库中有机碳（SOC）的分解速度是由该库的库容、土壤温度和湿度、土壤黏土含量及土壤可给态氮量所决定。当一个库中的土壤 SOC 发生分解时，被分解的 SOC 一部分以二氧化碳的形式从土壤丢失而进入大气，另一部分转移入该土壤其他碳库。在此过程中，溶解态的有机碳（DOC）会产生出来，这部分碳或被土壤微生物再利用，或随水淋失。SOC 总是与有机氮（SON）共存；当 SOC 分解时，SON 或转化到另一有机物库，或被矿化为铵离子（ NH_4^+ ）。游离态铵与吸附在黏土表面的可交换铵之间保持动态化学平衡。土壤水相中铵和氨保持化学平衡。溶解态氨可转换为氨气而从土壤挥发出去；此氨挥发过程受土壤氨量及土壤环境要素（即温度、水分及酸碱度）控制。当下雨或灌溉时，土壤中的硝酸根离子（ NO_3^- ）会溶解入淋溶水而渗透到深层土壤或地层中。为模拟微生物参与的氧化还原反应（即硝化作用、反硝化作用、甲烷生成及甲烷氧化作用），模型中使用了一个虚拟的“厌氧气球”来模拟氧化和还原反应在一个土壤中不同微区同时发生的动态过程。例如，

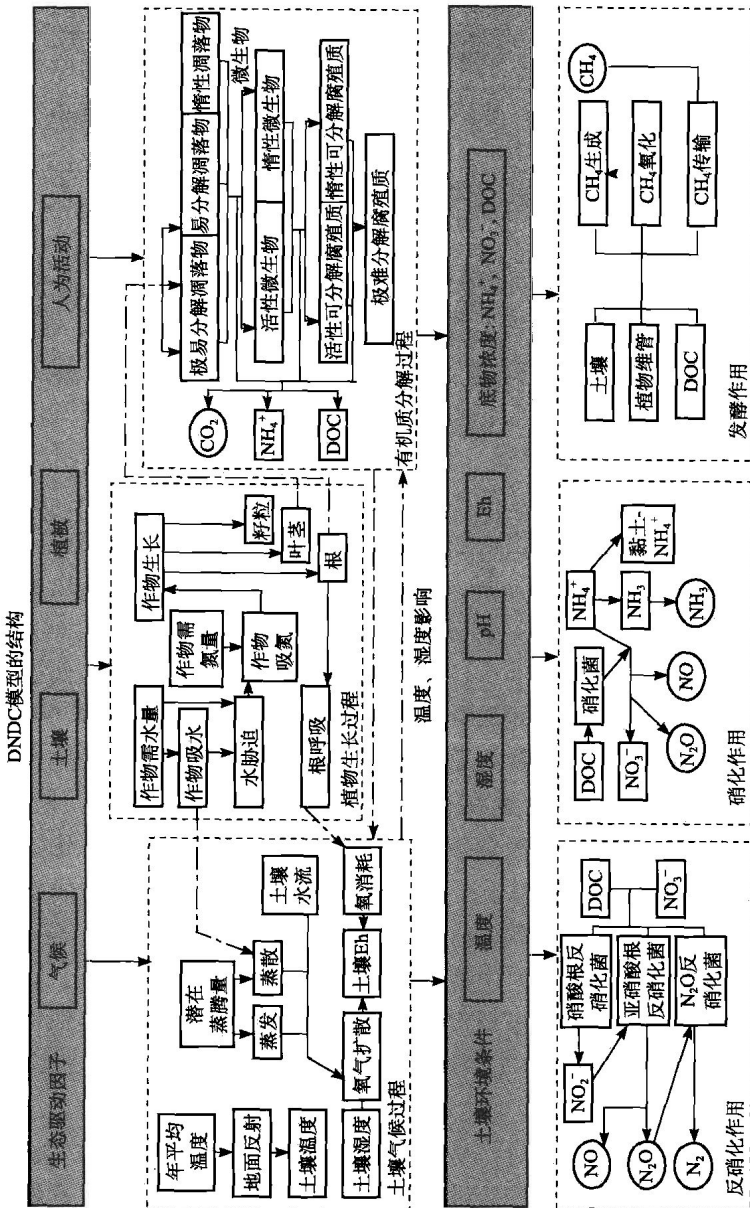


图1-1 DNDC模型的结构图

根据模拟的土壤氧气或其他氧化物含量，DNDC 依靠能斯特公式（Nernst Equation）计算土壤的氧化还原电位（Eh）；然后依据 Eh 值将土壤划分为相对好氧与相对厌氧两部分。在好氧部分，硝化作用发生；在厌氧部分，反硝化作用发生。硝化或反硝化作用的速率由米邵公式（Michaelis-Menten Equation）计算，该公式计算在双营养物料浓度驱动下的微生物生长。当土壤 Eh 值变小，这个厌氧气球胀大，更多的营养物质（即 DOC、铵或硝酸根）将分配到气球内部（即厌氧微区），从而加强了反硝化作用。当土壤 Eh 值变大时，厌氧气球缩小，较多营养物质被重新分配到好氧的微环境，硝化作用从而被加速。如果厌氧气球很大，由硝化或反硝化作用所产生的气体（如 NO 和 N_2O ）都要在厌氧环境中扩散较长路径，从而可能被更多地还原成氮气（ N_2 ）。如果土壤长期（几天至几个月）被水浸没，土壤中氧化物会消耗殆尽，土壤氧化还原电位将进一步降低，导致厌氧分解或发酵作用发生，此时即有硫化氢（ H_2S ）和甲烷（ CH_4 ）气体产生。

植物生长对土壤中水、碳和氮的动态有重大影响，从而控制土壤的一系列生物地球化学过程。DNDC 模拟作物生长时，需要该作物的生理及物候学参数，这组参数包括作物最大生产量、生长积温、生物量在根、茎、叶及籽粒间的分配、根、茎、叶及籽粒中的碳氮含量比值（C/N）、作物需水量、作物固氮能力等。DNDC 提供了约 50 种主要作物的生理及物候学参数的默认值，这些默认值大部分来自北美的观测数据，不一定适合于其他地区。使用者需对这些参数进行检验或修正，以使 DNDC 可较准确地模拟作物生长。使用者如果有自己在作物生长方面的观测数据（如生长期生物量、产量、 CO_2 排放量等），可用自己的实地观测数据来检查模拟的植物生长动态或产量。如有偏差，应对作物相应参数进行修正，直到作物生长得到正确模拟。这一校验过程是有趣的，有助于你了解自己的

作物；大部分使用者经过几次练习，即可熟练掌握此技术。为方便使用者，DNDC 提供一个名为“作物创造者”（Crop Creator）的工具；打开此工具，使用者可以容易地修改作物参数。对土壤参数也可以进行类似修改。农作物对氮的需求量是根据每日作物生长量及作物碳/氮比值来计算的。作物的实际氮吸收量受制于土壤中氮和水的可供给能力。庄稼收割后所有根都留在土壤中，一部分或全部地面上作物秸秆残留在地上，直到下次耕地时，才被翻进土中。这些秸秆一旦与土壤混合，即被 DNDC 根据其碳/氮比值分配到土壤的三个凋落物库，即非常易分解、易分解和难分解的凋落物库。这些凋落物的混入，是土壤有机质的主要来源，使植物与土壤结合成一个相互反馈的生物地球化学系统。

DNDC 的运行依靠四个基本生态因子驱动，即气候、土壤、植被和农田管理。因此，要实现一个成功的模拟，获得这四个因子的充分并准确的数据是至关重要的。本书将通过输入界面介绍和实例分析，向使用者详述如何进行参数输入。

第二章 DNDC 的 PC 微软窗口版本

一、模型综述

DNDC 模型可模拟点位和区域尺度上农业生态系统中碳和氮的生物地球化学过程。对于点位的模拟,使用者可通过模型的输入界面手动操作录入所有必须的输入参数。对于区域上的模拟, DNDC 需要从一个事先设置好的数据库中读取所有输入参数;该数据库包含了模拟区域中的所有多边形或坐标格点的气候、土壤、植被和农田管理方面的信息。

DNDC 用 Visual C++ 6.0 语言写成,在微软 Windows 环境下运行。

二、硬件要求

运转 DNDC 模型需要一部有微软 Windows 配置的计算机。最低的储存是 64M。计算机处理速度为 350MHz 或更高,需要 SVGA 或更高级的图像插卡。一个 100 年的模拟所产生的结果文件需要硬盘空间约为 0.5MB。

三、模型安装

你可以随此手册得到一个 DVD 光盘,其中录有 DNDC 模型及所有支持文件。如果没有此光盘,你可进入 DNDC 网址 <http://www.dnnc.sr.unh.edu>,从中下载一个压缩文件包,此文件包中包含 DNDC 模型及所有相关数据文件。解压缩文件包